

Warum der Holzmast noch immer eine sinnvolle Alternative im Freileitungsbau ist



Holzmast

- Der Holzmast ist ein vielseitiges Bauteil für die verschiedensten Anwendungen. In der Vergangenheit wurde bei den Herstellern des **Deutschen Holzmastverbandes** überwiegend der Einfachholzmast vertrieben. Der überwiegende Einsatz des Einfachholzmastes war die Übertragung von Elektrischer Energie, Telekommunikation, Träger von Signalleitungen bei Bahnanlagen und Beleuchtungsanlagen. Der Einfachmast ist auch heute noch das überwiegend vertriebene Betriebsmittel der Hersteller.
- Konstruktive Masten wurden von den Betreibern jeglicher Anlagen, in erster Linie bei den Energieversorgern erstellt.
- Spätestens mit der Einführung der DIN EN 50341 wurden die Anforderungen an Konstruktive Mastsysteme immer höher, sodass auch die Hersteller drei dieser Mastsysteme in Ihr Portfolio übernahmen und bei Bedarf über den DHMV Statiken bereit stellen.

Mastarten für Energieversorgungsleitungen

1. Einfachmast

Wie der Name schon sagt, die einfachste Mastart wird in Längen von 6m bis 18m Angeboten, der Nutzzug der erreicht werden kann wird u.a. durch den Fußdurchmesser ermittelt. Für Leitungen bis 1000 V hat die DIN 48350 nach wie vor Gültigkeit, für Leitungen über 1000 V die DIN EN 50341 (VDE 0210). Bedingt durch die Ablösung der VDE 0210 (Leitungen über 1000 V) mussten erst größere Fußdurchmesser verwendet werden um gleiche Eigenschaften zu erreichen. Der DHMV hat darauf hin mit Nachweisen erbracht das bei der Berechnung eine höhere Biegefestigkeitsklasse verwendet werden kann um wieder mit den alt bekannten Dimensionen gleiche Eigenschaften zu erreichen. Bei der Überarbeitung der EN 50341 wurden korrekturen vorgenommen, so ist ein etwas besseres Niveau als wie bei der DIN 48350 entstanden.

Beispiel :

Länge	Fußdurchmesser	DIN 48350	EN 50341	EN 50341 incl. kw25
12 m	25 cm	1,75 kN	2,01 kN	2,30 kN

Mastarten für Energieversorgungsleitungen

2. Ankermast

Der Ankermast besteht aus einem Einfachmast welcher mit einem Stahlseil oder Stahldraht verankert wird um höhere Nutzzüge die z.B. bei einer Leitungsführung mit Winkel benötigt werden. Je nach Querschnitt und Zugspannung kann er auch als Endmast verwendet werden. Die Ausführung und Berechnung werden vom Netzbetreiber oder Dienstleistern durchgeführt.

3. Strebenmast

Der Strebenmast besteht aus einem Einfachmast gegen den ein weiterer Mast in einem Winkel angebracht wird um höhere Nutzzüge bei Leitungsführungen mit Winkel zu erreichen. Er kann ebenfalls wie der Ankermast je nach Querschnitt und Zugspannung ebenfalls als Endmast verwendet werden. Die Ausführung und Berechnungen werden vom Netzbetreiber oder Dienstleistern durchgeführt.

Konstruktive Mastarten für Energieversorgungsleitungen

4. Doppelmast

Der Doppelmast besteht aus zwei mit miteinander verbundenen Einzelmasten. Bei Leitungen bis 1000 V kann bei der Berechnung gegen die Leitungsrichtung die zweifache Nutzlast, in Leitungsrichtung die dreifache Nutzlast angewendet werden. Seit 2007 ist das bei Leitungen über 1000 V nicht mehr möglich.

Es muss der Nachweis erbracht werden das der Mast dies erreicht. Durch eine ausreichende Anzahl an Verbindungsmitteln, Abstand und Güte der Einzelmasten wurde erreicht das die vorgefertigten Doppelmasten einen Nutzzug von ca. 10 kN erreichen. Somit kann dieses Mastsystem wieder für eine Vielzahl von Anwendungen verwendet werden.

Konstruktive Mastarten für Energieversorgungsleitungen

5. A-Mast

Der A-Mast, der kräftigste Mast von allen Systemen. Um seine statischen Fähigkeiten zu berechnen wurde in der Vergangenheit die DIN 48351 verwendet, für Leitungen bis 1000 V gilt diese auch heute noch. Seine Verwendung war auch schon in der Vergangenheit vielfältig, da die Leiterquerschnitte bei Leitungen über 1000 V früher in ländlichen Gegenden oft meistens nur mit Querschnitten bis St/Al 70 12 mm² bestückt waren wurde er auch als Winkel-Abspannmast und als Endmast verwendet. Mit der Einführung der EN 50341 war ein Einsatz für diese Verwendung eingeschränkt worden. Durch geänderte Anbindungssysteme und somit der Berechnung konnten wieder Nutzzüge erreicht werden die den heutigen Anforderungen an die Masten entsprechen.

Holzmaste

Warum eigentlich A-Maste

- Bereits in den ersten Normen in der VDE 0210 01.1914 werden Vorschriften (ETZ 07.2003) zitiert die den Ordnungsgemäßen Umgang mit Holz und Holz-A-Masten beschreiben
- In den Anfängen des Freileitungsbaues in Europa waren zusammengesetzte Masten ein wichtiger Bauteil für den Normgerechten Betrieb. In älteren Literaturen wie z.b. von den Autoren K.Gierkmann+E.Koenigshofer „Die Hochspannungsfreileitung“ wurde intensiv auf diese Bauweisen eingegangen, Berechnungen und Versuche durchgeführt
- Durch die in der Norm (galt von 2 kV bis 50 kV) gegenüber heutigen Normen genannten Feldlängen und Zugspannungen war es möglich komplexe Leitungen in Holz zu bauen
- Die Bauweise des A-Mastes wurde in der DIN 48351 Erstausgabe vermutlich 1958 geregelt
- Als Verbindungsmittel der Masten wurde der Hartholzkeil bzw. nachweislich gleichwertige Verbindungsmittel (Einpressdübel) zugelassen diese waren auch benannt und rechnerisch nachgewiesen

Holzmaste

Warum eigentlich A-Maste

- Im Laufe der Jahrzehnte gewannen Alternative Mastsysteme aus Stahl bzw. Beton immer mehr an Bedeutung, da diese Systeme höhere Nutzlasten und somit größere Feldlängen ermöglichten. In der Ursprungsnorm wurden Stahlmaste schon erwähnt und beschrieben in der VDE 0210 von 1951 (keine Spannungsbegrenzung mehr/Unterteilung nach ≤ 1 kV und > 1 kV) sind Stahl und Stahlbetonmaste benannt und die Statischen Anforderungen beschrieben
- Ferner wurden sogenannte Verbundleiter wie Aluminium-Stahlseile entwickelt mit denen höhere Zugspannung und somit Feldlängen erreicht werden konnten
- Durch diese beiden Entwicklungen wurden Alternative Maste mit höheren Nutzzügen insbesondere im Ländlichen Bereich verwendet werden

Holzmaste

Warum eigentlich A-Maste / Doppelmaste

- Durch Normative Veränderungen verlor der A-Mast und der Doppelmast in der Mittelspannung immer mehr an Bedeutung, die Niederspannung blieb davon unberührt
- Spätestens mit der Inkraftsetzung der VDE 210 Ausgabe 1985 war es für einige Querschnitte nicht mehr möglich den A-Mast vollumfänglich als Winkelabspannmast bzw. Endmast einzusetzen da sich im Laufe der Jahre auch die Querschnitte der Leiterseile geändert hatten. Führend wurden in den Jahren Leiterseile aus Stahl-Aluminium nach DIN 48204 $\geq$ Al/St 70/12 mm² bzw. Al/St 95/15 mm² verwendet.

Anm.: Mit Einführung der DIN EN 50182 wurden die Leiterseile anders benannt

- Spätestens mit Einführung der DIN EN 50341 im Jahr 2005 und den Verweis auf die Eurocodes wurde es fast unmöglich den A-Mast als Endmast bzw. Winkelabspannmast zu verwenden, der Doppelmast durfte in Leitungsrichtung nur noch mit der zwei fachen Last gerechnet werden.

Vorteile vom A-Mast

- A-Mastbauteile haben geringes Gewicht und werden vor Ort zusammengebaut
- Relativ günstige Preise zur „Konkurrenz“
- die Nachhaltigkeit, Holz ist ein Nachwachsender Rohstoff
- Kann ohne aufwendige Fundamente gegründet werden
- Torsionsbelastungen werden aufgenommen
- Vogelschutz

Vorteile vom Doppelmast

- Der Doppelmast kann auf Wunsch heute vorgefertigt geliefert werden
- Relativ günstige Preise zur „Konkurrenz“
- die Nachhaltigkeit, Holz ist ein Nachwachsender Rohstoff
- Kann ohne aufwendige Fundamente gegründet werden
- Torsionsbelastungen werden aufgenommen
- Vogelschutz

Produktverbesserung / Entwicklung

- Da sich bei anstehenden Mastauswechselungen der Einfachheit halber ein gleicher oder ähnlicher Mast am gleichen Ort verwendet wurde mussten hier Lösungen geschaffen werden
- Die erste Entwicklung die Statisch nach Eurocode nachgewiesen wurde entstand im Jahr 2008, der Nachweis dass der A-Mast in Anlehnung an die Euler-Formeln funktioniert wurde erstmalig durch die Firma Induo erbracht
- Somit war der Mast zu mindestens in der Eiszone 1 für einen Großteil der Anforderungen wieder einsetzbar
- Wie schon erwähnt durfte der Doppelmast in Leitungsrichtung nur noch mit der zweifachen Nutzlast verwendet werden, da allerdings auch höhere Nutzlasten wie z.B. bei großen bzw. voneinander abweichenden Feldlängen, Geländeunterschieden bestehen wurde auch der vorgefertigte Doppelmast für Nutzlasten um 10 kN rechnerisch nachgewiesen

Produktverbesserung / Entwicklung

Beispielhaft sind Masten aufgeführt die heute bei Leitungen >1000 V zum Einsatz kommen können.

- Einfachmast Leitungen über 1000 V ≥ 3 kN (bsp. 12m und 13m Mast 28 Fd.)
- Doppelmast gegen Leitungsrichtung ≥ 6 kN
- Doppelmast in Leitungsrichtung rd. 10 kN
- A-Mast mit Hartholzdübel rd. 17 kN
- A-Mast mit Ankersystem rd. 26 kN
- A-Mast mit Ankersystem geänderte Spreizung E-Modul nach Norm rd. 34 kN

Durch diese Aufteilung können Leitungen komplett mit Holz gebaut werden, ferner können durch Doppel oder A-Maste bei Teilverkabelungen Ersatzmassnahmen für Stahl oder Stahlbetonmasten geschaffen werden. Leitungen < 1000 V sind durch diese Aufteilung auch komplett abgedeckt, ferner können auch Anker bzw. Strebenmaste verwendet werden.

Berechnung

- Bereits in 1914 wurde die Berechnung nach Euler durchgeführt. Diese Vorgehensweise wurde auch in nachfolgenden Berechnungen u.a. DIN 48351 fortgeführt.

3. Berechnung des Nutzzuges an der Mastspitze

In A-Mastebene:

$$Z_L = Z_g - (W_1 + W_K) = \left(\frac{\pi \cdot d_m^4 \cdot 10^3}{64 \cdot 20 \cdot s_k^2} - \frac{G_{St} + G_R}{4} - \frac{G_K}{2} \right) \cdot \frac{b_1}{h + l_2} - (W_1 + W_K) \text{ in kp}$$

darin: Z_g gesamter zulässiger Zug

$$Z_g = \left(\frac{\pi \cdot 22,86^4 \cdot 10^3}{1280 \cdot 12,5^2} - \frac{798 + 10}{4} - \frac{310}{2} \right) \cdot \frac{2,65}{13,75} - (77,2 + 25)$$

Senkrecht zur A-Mastebene:

$$W_L = 2 \cdot \frac{\pi \cdot f_e^3}{32} \cdot \frac{\sigma_{b \text{ zul}} - \sigma_d}{h \cdot 10^2} - \left(W_2 + W_K + \frac{W_R}{2} \right) \text{ in kp} = \frac{\pi \cdot 26,64^3}{16} \cdot \frac{145 - 1}{1200} - \left(96,5 + 25 + \frac{15}{2} \right)$$

darin: $\sigma_{b \text{ zul}} = 145 \text{ kp/cm}^2$, nach VDE 0210 § 22

$$\sigma_d = \frac{G_{St} + G_R + G_K}{\frac{\pi}{2} \cdot f_e^2} \text{ in kp/cm}^2 = \frac{798 + 10 + 310}{\frac{\pi}{2} \cdot 26,64^2} = 1 \text{ kp/cm}^2$$

$k = 0,22$ für eine zulässige Biegungsspannung von 145 kg/cm^2 (s. § 22),
 $k = 0,19$ für eine zulässige Biegungsspannung von 190 kg/cm^2 (s. § 22).

e) Bei *A-Masten* muß das in halber Knicklänge vorhandene Trägheitsmoment I in cm^4 mindestens sein:

$$I = n \cdot 5 P l^2.$$

Nur bei Buchenholz ist $I = n \cdot 3 P l^2$ zulässig.

Hierin ist:

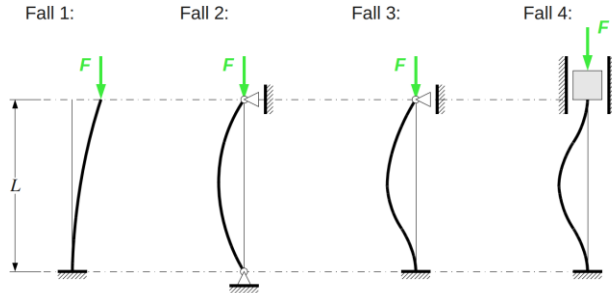
P = Druckkraft in t ,
 l = Knicklänge in m ,
 n = Knicksicherheit.

Als Knicklänge gilt bei eingegrabenen Masten die Entfernung von Mitte Dübel bzw. Schraubenbolzen bis zur halben Eingrabetiefe.

d) Bei *Doppelmasten* ist das doppelte Widerstandsmoment eines einfachen Mastes

Berechnung

- Falldarstellung nach Euler



Quelle Prof. Wandlinger

Knickfall	1	2	3	4
Knicklänge	$2L$	L	$0,7L$	$0,5L$

Wenn man sich die Zeichnungen ansieht kann für Freileitungsstützpunkte nur der Fall 3 (Formel DIN 48351) in Betracht kommen.

(Momentenbezugspunkt Zangenmitte)

auf die Stangen:

$$W_1 = (1 + \varphi) \cdot c \cdot q \frac{h}{2(h + t_2)} \left[\frac{h}{3} (f_e + 2z) + t_2 (f_e + z) \right] \cdot 10^{-2} \text{ in kp}$$

$$W_1 = (1 + 0,398) \cdot 0,7 \cdot 55 \frac{12}{2(12 + 1,75)} \left[\frac{12}{3} (26,64 + 36) + 1,75 (26,64 + 18) \right] \cdot 10^{-2}$$