

Windlastbeanspruchung von Blitzschutz-Fangstangen

R. Brocke, S. Seger, Neumarkt/Opf.

Dächer werden immer mehr als technische Installationsebene genutzt, insbesondere für Erweiterungen der technischen Gebäudeausrüstung. Es gilt dann, die Dachaufbauten zu schützen (Bild 1), z. B. Klimaanlage und Kühleinrichtungen, Antennen von Mobilfunkanlagen, Lampen, Rauchgas-Entlüftungen mit Anschlüssen an das elektrische Niederspannungssystem.

1 Blitzschutz durch den Einsatz von Fangstangen

Entsprechend den geltenden Blitzschutznormen der Reihe DIN V VDE V 0185 (VDE V 0185) [1] können Dachaufbauten mit isoliert angebrachten Fangeinrichtungen vor direkten Blitzeinschlägen geschützt werden. Dabei werden sowohl die Fangeinrichtungen wie Fangstangen, -spitzen oder -maschen als auch die Ableitungen isoliert installiert, d. h. mit einem ausreichendem Trennungsabstand zu den im Schutzbereich liegenden Dachaufbauten. Durch den Aufbau einer isolierten Blitzschutzanlage entsteht ein Schutzraum in dem direkte Blitzeinschläge ausgeschlossen sind. Ebenfalls wird das Eindringen von Blitzteilströmen in das Niederspannungssystem und damit in das Gebäudeinnere damit vermieden. Dies ist wichtig, da durch die Verschleppung von Blitzteilströmen empfindliche elektrische/elektronische Einrichtungen beeinflusst oder zerstört werden können.

Für ausgedehnte Dachaufbauten wird dazu ein System von isolierten Fangeinrichtungen aufgebaut. Diese sind sowohl untereinander als auch mit der Erdungsanlage verbunden. Die Größe des entstehenden Schutzraums hängt u. a. von der Anzahl und der Höhe der installierten Fangeinrichtungen ab.

Für kleinere Dachaufbauten wird der Schutz durch eine einzelne Fangstange erreicht. Dabei wird das Blitzkugelverfahren nach DIN V VDE V 0185-3 [2] angewendet. Bei diesem Verfahren wird eine Blitzkugel, deren Radius von der gewählten Schutzklasse abhängig ist (Bild 2), in alle möglichen Richtungen an und über die zu schützende Anlage gerollt. Dabei darf die Blitzkugel nur den Erdboden und/oder die Fangeinrichtung berühren. Es ergibt sich somit ein geschütztes Volumen, innerhalb dessen direkte Blitzeinschläge ausgeschlossen sind.

Um ein möglichst großes geschütztes Volumen zu erreichen oder auch um größere Dachaufbauten vor direkten Blitzeinschlägen schüt-

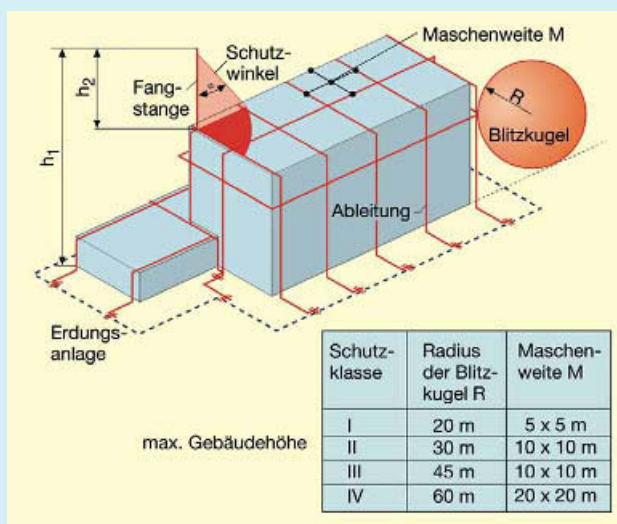
zen zu können ist es das Ziel, die einzelnen Fangstangen mit entsprechend großer Höhe aufzubauen. Dazu werden freistehende Fangstangen durch entsprechende Gestaltung des Fußes und durch zusätzliche Abspannungen gegen Kippen und Bruch gesichert (Bild 1). Der Forderung nach einer möglichst großen Bauhöhe für die freistehenden Fangstangen steht jedoch eine höhere Beanspruchung durch angreifende Windlasten gegenüber. So bedeutet z. B. eine 40 %ige Erhöhung der Windgeschwindigkeit eine Verdopplung des angreifenden Kippmoments. Gleichzeitig wird aus Sicht der Anwendung zur Erleichterung des Transports und der Montage ein Leichtbau des Systems „Freistehende Fangstange“ gefordert. Für den sicheren Einsatz von Fangstangen auf Dächern muss deshalb ein Nachweis der Standfestigkeit erfolgen.

2 Beanspruchung durch auftretende Windlasten

Da der Einsatz von freistehenden Fangstangen an exponierten Stellen (z. B. auf Dächern) erfolgt, ergeben sich mechanische Belastungen, die wegen des vergleichbaren Einsatzortes und der vergleichbaren auftretenden Windgeschwindigkeiten den Beanspruchungen von Antennentragwerken entsprechen. Damit er-

geben sich für freistehende Fangstangen bezüglich der mechanischen Festigkeit prinzipiell die gleichen Anforderungen, wie sie in DIN 4131 [3] an Antennentragwerke gestellt werden. Nach [3] ist Deutschland in vier Windlastzonen, mit zonenabhängigen Windgeschwindigkeiten eingeteilt (Bild 3, Tafel 1).

In die Berechnung der tatsächlich zu erwartenden Windlastbeanspruchungen gehen neben der zonenabhängigen Windlast auch die Gebäudehöhe und die örtlichen Gegebenheit (Gebäude einzeln stehend im offenen Gelände oder eingebettet in andere Bebauung) mit ein. Im Bild 3 ist zu erkennen, dass ca. 95 % der Fläche Deutschlands durch die Windzonen I und II abgedeckt werden. Aus diesem Grund erfolgt die Auslegung der Fangstangen generell für die Windzone II. Die Verwendung von freistehenden Fangstangen in Windzone III und Windzone IV muss entsprechend der auftretenden Belastungen separat überprüft werden. Nach [3] kann bei Bauwerkshöhen bis 50 m mit einem über die Bauwerkshöhe konstanten Staudruck gerechnet werden. Für die Berechnungen wurde als max. Bauwerkshöhe 40 m angenommen, so dass eine Gesamthöhe (Gebäudehöhe plus Fangstangenlänge) unterhalb der 50-m-Grenze eingehalten wird.



▲ 1 Schutz einer Klimaanlage vor direkten Blitzeinschlägen durch freistehende Fangstangen

2 Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen nach DIN V VDE V 0185-3 [2]

Autoren

Dr.-Ing. Ralph Brocke und Dipl.-Ing. (FH) Siegfried Seger sind Mitarbeiter der Fa. Dehn & Söhne, Neumarkt/Opf..

③ Einteilung Deutschlands in Windlastzonen und zugehörige Werte für Staudruck und maximale Windgeschwindigkeit nach DIN 4131 [3]



Tafel 1 Windlastzonen

Zone	Staudruck q [kN/m ²]	Windgeschwindigkeit v [km/h]
I	0,8	126,7
II	1,05	145,1
III	1,4	161,5
IV	1,7	184,7

Bei der Auslegung freistehender Fangstangen müssen aus Sicht der Windlastbeanspruchung folgende Anforderungen erfüllt werden :

- Sicherheit der Fangstangen gegen Kippen.
- Sicherheit gegen Bruch der Stangen.
- Einhalten des notwendigen Trennungsabstands zum zu schützenden Objekt auch unter Windlast (Vermeidung unzulässiger Durchbiegungen).

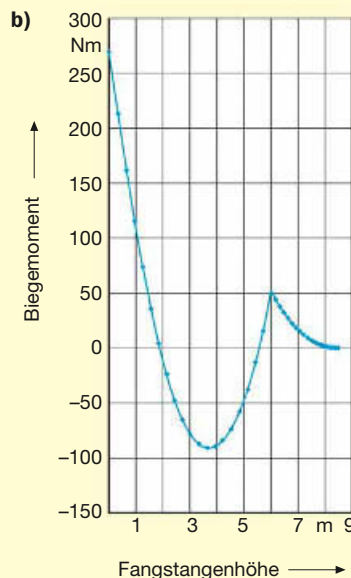
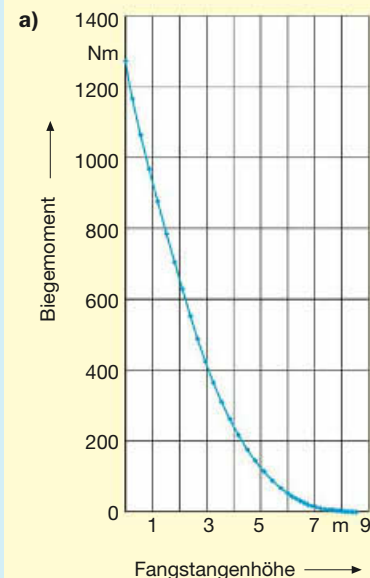
3 Bestimmung der Kippsicherheit

Durch den auftretenden Staudruck (abhängig von der Windgeschwindigkeit), dem Widerstandsbeiwert c_w und der Windangriffsfläche an der Fangstange, wird an der Oberfläche eine Streckenlast q' erzeugt, die an der freistehenden Fangstange ein entsprechendes Kippmoment M_K erzeugt. Um einen sicheren Stand der freistehenden Fangstange zu gewährleisten, muss dem Kippmoment M_K ein Gegenmoment M_G entgegenwirken, das durch

das Standbein erzeugt wird. Die Größe des Gegenmomentes M_G hängt vom Standgewicht und dem Standbeinradius ab.

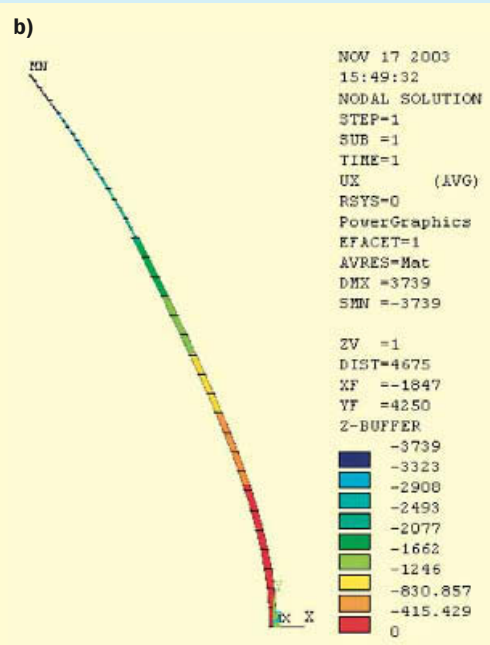
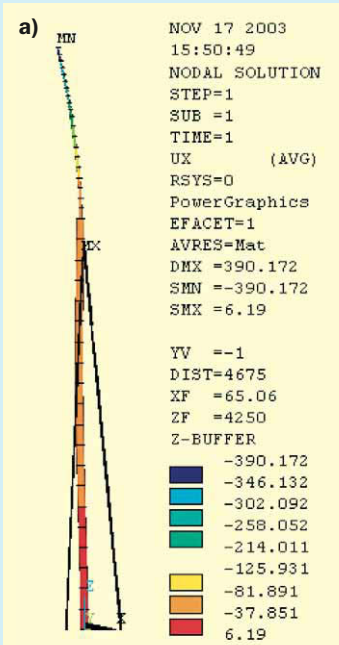
Der Nachweis der Standsicherheit freistehender Fangstangen erfolgt durch statische Berechnungen. Neben den mechanischen Kennwerten der eingesetzten Materialien sind folgende Angaben notwendig:

- **Windangriffsfläche der Fangstange:** Sie wird bestimmt durch Länge und Durchmesser der einzelnen Fangstangen-Teilstücke.
- **Windangriffsfläche der Abspannung:** Freistehende Fangstangen großer Bauhöhe werden durch drei Seile abgespannt, die gleichmäßig am Umfang angebracht sind. Die Windangriffsfläche dieser Seile entspricht der auf eine senkrecht zur Windrichtung stehende Ebene projizierten Fläche dieser Seile. Das heißt, die Seillängen werden entsprechend verkürzt in die Berechnung eingesetzt.
- **Gewicht der Fangstange und der Abspannseile:** Das Eigengewicht der Fangstange und der Abspannseile wird bei der Berechnung des Gegenmoments berücksichtigt.
- **Gewicht des Standbeins:** Das Standbein ist eine Dreibeinkonstruktion, die mit Betonsteinen beschwert wird. Das Gewicht dieses Standbeins setzt sich aus dem Eigengewicht des Dreibeins und den Einzelmassen der aufgelegten Betonsteine zusammen.
- **Kipphebel des Standbeins:** Der Kipphebel bezeichnet den kürzesten Abstand zwi-



4 Vergleich der Biegemomentverläufe an freistehenden Fangstangen

a) ohne und b) mit Abspannung (Länge = 8,5 m)



5 FEM-Modell der freistehenden Fangstange

a) mit und b) ohne Abspannung (Länge = 8,5 m)

schen Mittelpunkt des Dreibeins und Linie bzw. Punkt, um den das Gesamtsystem kippen würde.

Der Nachweis der Standsicherheit ergibt sich aus dem Vergleich der folgenden Momente:

- **Kippmoment**, gebildet aus der windlastabhängigen Kraft auf die Fangstange bzw. die Abspannseile und dem Hebelarm der Fangstange.
- **Gegenmoment**, gebildet aus dem Gewicht des Standbeins, dem Gewicht der Fangstange und den Abspannseilen und der Länge des Kipphebels durch das Dreibein.

Die Standsicherheit ist erreicht, wenn das Verhältnis von Gegen- zu Kippmoment einen Wert größer 1 annimmt. Prinzipiell gilt: Je größer das Verhältnis von Gegen- zu Kippmoment, umso größer ist die Standsicherheit.

Es bestehen folgende Möglichkeiten, die geforderte Standsicherheit zu erreichen:

- Um die Windangriffsfläche der Fangstange klein zu halten, werden möglichst kleine Querschnitte verwendet. Die Belastung auf die Fangstange wird reduziert, gleichzeitig nimmt jedoch die mechanische Festigkeit der Fangstange ab (Gefahr des Bruchs der Stange). Entscheidend ist somit ein Kompromiss zwischen einem möglichst kleinen Querschnitt zur Reduzierung der Windlast und einem möglichst großen Querschnitt zum Erreichen der notwendigen Festigkeit.
- Die Standsicherheit kann erhöht werden, indem größere Standgewichte und/oder größere Standbeinradien eingesetzt werden. Dies steht oftmals im Widerspruch zu den begrenzten Aufstellflächen und der allge-

meinen Forderung nach geringem Gewicht und Transportfreundlichkeit.

Realisierung

Um eine möglichst geringe Windangriffsfläche zu bieten, wurden die Querschnitte der Fangstangen entsprechend den Berechnungsergebnissen optimiert. Zur Erleichterung des Transports und der Montage besteht die Fangstange aus einem Aluminium-Rohr (auf Wunsch teilbar) und einer Aluminium-Fangstange. Das Standbein zur Aufnahme der Fangstange wird in zwei Varianten angeboten:

- feste Variante für kleinere Stangenhöhen
- variable Standbein-Ausführung für große Bauhöhen (Standbeinradius der Bauhöhe wird der Fangstange angepasst, so dass der Platzbedarf minimiert wird).

4 Bestimmung der Bruchsicherheit

Ein Nachweis der Bruchsicherheit ist zu erbringen, da durch die auftretende Windlast an der freistehenden Fangstange Biegebeanspruchungen erzeugt werden. Diese dürfen die max. zulässige Spannung nicht übersteigen. Fangstangen sind so auszulegen, dass bei Windlasten, wie sie in Windzone II auftreten können, keine bleibenden Verformungen an den Stangen auftreten.

Da sowohl die exakte Geometrie der Fangstange als auch das nichtlineare Verhalten der eingesetzten Materialien berücksichtigt werden muss, erfolgt der Nachweis der Bruchsicherheit durch ein FEM-Berechnungsmodell. Die Finite Elemente Methode, kurz FEM, ist ein numerisches Berechnungsverfahren, mit dem Spannungen und Verformungen komplexer geometrischer Strukturen berechnet werden können. Die zu untersuchende Struktur wird durch gedachte Flächen und Linien in sogenannte „Finite Elemente“ unterteilt, die über Knoten miteinander verbunden sind. Für die Berechnung werden folgende Eingaben benötigt:

- **FEM-Rechenmodell:** Das FEM-Rechenmodell entspricht in vereinfachter Form der Geometrie der freistehenden Fangstange.
- **Materialeigenschaften:** Das Materialverhalten wird über die Angabe von Querschnittswerten, E-Modul, Dichte und Querkontraktion vorgegeben.
- **Belastungen:** Die Windlast wird als Drucklast auf das Geometriemodell aufgebracht. Die Bruchsicherheit wird aus dem Vergleich von zulässiger Biegespannung (Materialkennwert) und max. auftretender Biegespannung (errechnet aus dem Biegemoment und dem wirksamen Querschnitt am Punkt der höchsten Beanspruchung) bestimmt. Bruchsicherheit als Verhältnis von zulässiger zu auftretender Biegespannung ist bei einem Wert größer 1 erreicht. Prinzipiell gilt auch hier: Je größer das Verhältnis von zulässiger zu auftretender Biegespannung, umso größer ist die Bruchsicherheit.

Mit dem FEM-Rechenmodell wurden für zwei Fangstangen (Länge = 8,5 m) mit Abspannung und ohne Abspannung die auftretenden Biegemomente als Funktion der Fangstangenhöhe berechnet (Bild 4). Dabei wird der Einfluss einer möglichen Abspannung auf den Verlauf der Momente deutlich. Während das max. Biegemoment bei der Fangstange ohne Abspannung im Einspannpunkt 1270 Nm beträgt, reduziert sich das Biegemoment durch die Abspannung auf 270 Nm. Durch diese Abspannung ist es möglich, die Spannungen in der Fangstange soweit zu reduzieren, dass bei den max. anzunehmenden Windlasten die Festigkeit der eingesetzten Materialien nicht überschritten wird und es nicht zur Zerstörung der Fangstange kommt.

Realisierung

Abspannseile erzeugen einen zusätzlichen „Lagerpunkt“, durch den die auftretenden Biegespannungen in der Fangstange deutlich verringert werden. Ohne zusätzliche Abspannung würden die Fangstangen den Beanspruchungen der Windzone II nicht standhalten. Aus diesem Grund werden Fangstangen ab einer Höhe von 6 m mit Abspannungen ausgerüstet. Neben den Biegemomenten liefert die FEM-Berechnung auch die auftretenden Zugkräfte

in den Abspannseilen, deren Festigkeit ebenfalls nachgewiesen werden muss.

Diese Berechnung ist sehr aufwändig. Deshalb ist es Aufgabe des Herstellers, für derartige Fangeinrichtungen den Nachweis für die Bruchsicherheit und die Kippstabilität zu führen. Der Planer von Blitzschutzanlagen bzw. der Anwender dieser Fangeinrichtungen sollte diesen Nachweis beim Hersteller erfragen.

5 Bestimmung der windlastbedingten Auslenkung

Ein weiteres wichtiges Berechnungsergebnis des FEM-Modells ist die Auslenkung der Fangstangenspitze. Windlasten bewirken, dass sich die Fangstangen biegen. Die Durchbiegung der Stange hat eine Veränderung des zu schützenden Volumens zur Folge. Zu schützende Objekte befinden sich nicht mehr im Schutzbereich und/oder Näherungen werden nicht mehr eingehalten.

Die Ergebnisse der Berechnung für eine freistehende Fangstange mit und ohne Abspannung zeigt Bild 5. Die Spitze der Fangstange mit Abspannung wird um etwa 390 mm verschoben. Ohne Abspannung käme es zu einer Auslenkung von etwa 3740 mm, einem theo-

retischen Wert, der die Bruchgrenze der betrachteten Fangstange überschreitet.

6 Fazit

Kippsicherheit, Bruchsicherheit und Auslenkung sind die entscheidenden Faktoren beim Auslegen von Fangstangen. Standfuß und Fangstange sind so aufeinander abzustimmen, dass die auftretenden Belastungen auf Grund der Windgeschwindigkeit entsprechend Zone II nicht zum Kippen und/oder zu einer Beschädigung der Stange führen.

Zu beachten ist weiterhin, dass große Auslenkungen der Fangstange den Trennungsabstand verringern und damit unzulässige Näherungen entstehen können. Eine zusätzliche Abspannung bei Fangstangen größerer Höhe ist notwendig, damit derartige, unzulässige Auslenkungen von Fangstangenspitzen verhindert werden.

Literatur

- [1] DIN V VDE V 0185-1-4:2002-11 Blitzschutz.
- [2] DIN V VDE V 0185-3:2002-11: –; Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [3] DIN 4131:1991-11 Antennentragwerke aus Stahl. ■