

Untersuchung der Auswirkung der
Vereisung auf die Tragsicherheit
abgespannter Maste

T 2285

T 2285

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Untersuchung der Auswirkung
der Vereisung
auf die Tragsicherheit
abgespannter Maste**

Prof. Dr.-Ing. U. Peil, Dipl.-Ing. H. Nölle

Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau
Universität Karlsruhe
Kaiserstr. 12

November 1990

Auftraggeber

Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 72 - 76
1000 Berlin 30

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Rechenverfahren	5
3	Lösungsweg	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Zur Parameterauswahl	6
3.2.1	Mastgeometrie	6
3.2.1.1	Zahl der Abspannungen	6
3.2.1.2	Abspannführung	7
3.2.1.3	Mastschaft	8
3.2.2	Seilabspannung	10
3.2.2.1	Allgemeines	10
3.2.2.2	Vorspanngrad	11
3.2.2.3	Abspannseile	12
3.2.2.4	Kurzbezeichnung der Geometrie	12
3.2.3	Belastung	14
3.2.3.1	Staudruckgesetz, Windlast	14
3.2.3.2	Windrichtungen	15
3.2.3.3	Vereisung	16
3.2.3.3.1	Allgemeines	16
3.2.3.3.2	Angesetzte Vereisung	17
3.2.3.4	Zugrundegelegte Lastfallkombinationen	20
4	Vorgehensweise bei der Parameterstudie	23
5	Ergebnisse	25
6	Auswirkung auf die Normungsarbeit	32
7	Zusammenfassung	33
8	Literaturzusammenstellung	34

1 Einleitung

In nahezu jedem Winter werden Schäden und Bauwerkseinstürze gemeldet, die auf die Auswirkung von Vereisung zurückgeführt werden können /13/. Bekannte Beispiele hierfür sind Freileitungsmasten, die durch Torsionsbeanspruchung infolge Bruch der vereisten Leiter versagen. Vereisung in Zusammenwirkung mit Windbelastung ist für eine Reihe Einstürzen von abgespannten Masten im Ausland (England, Finnland) verantwortlich /1,2/.

Bei der Berechnung abgespannter Maste wird nach der zur Zeit gültigen Norm DIN 4131 (Stählerne Antennentragwerke) und auch nach dem Entwurf der DIN 4131 (8.89) der Vereisungslastfall in der Regel durch einen Eisansatz gleicher Dicke an jedem Bauteil berücksichtigt. Hierdurch wird das zusätzliche Gewicht und die Vergrößerung des Windwiderstandes näherungsweise erfaßt. Wegen der geringen Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von voller Vereisung und vollem Wind darf nach den geltenden Normen der Staudruck auf 75% des vollen Wertes reduziert werden.

Es zeigt sich, daß bei den heute überwiegend gebauten Gittermasten der Eislastfall mit reduzierter Windbelastung in der Regel der Bemessungsfall ist, wenn Vereisung zu berücksichtigen ist.

Der nach den Normen zugrundegelegte Eisansatz ist als Verkehrslast einzustufen, d.h. der Eisansatz müßte so angesetzt werden, daß er für das untersuchte Bauteil ungünstig wirkt. Dies bedeutet für die Berechnungspraxis jedoch einen unzumutbaren Arbeitsaufwand, so daß man sich damit begnügt, gleichmäßige Vereisung an jedem Bauteil des Mastschaftes und an den Pardunen anzusetzen. Dies entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit. Die durch den Wind transportierten unterkühlten Regentropfen treffen die dem Wind zugewandten (luvseitigen) Seite etwa senkrecht zur Sehne, an diesen Seilen entstehen sehr starke Eiswalzen. Die dem Wind abgewandten (leeseitigen) Seite liegen etwa parallel zur Fallrichtung der Regentropfen und vereisen deshalb wesentlich geringer. Der Mastschaft vereist ebenfalls stärker auf der dem Wind zugewandten Seite. Durch die ungleiche Vereisung entsteht starkes Ungleichgewicht zwischen den Seilkräften einer Abspannebene, der Mastschaft wird zusätzlich auf Biegung beansprucht /3/.

Die entstehenden Ungleichgewichtskräfte am Mastschaft werden nun durch den gleichzeitig wirkenden Staudruck des Windes erheblich verstärkt. Die luvseitigen Seile mit Elswalzen und demzufolge großen Windangriffsflächen werden zusätzlich durch den Staudruck belastet, die leeseitigen Seile werden durch den Wind angehoben, sie werden entlastet (Bild 1). Dies kann bei bestimmten Parameterfällen dazu führen, daß sich der Abspannpunkt gegen den Wind verschiebt.

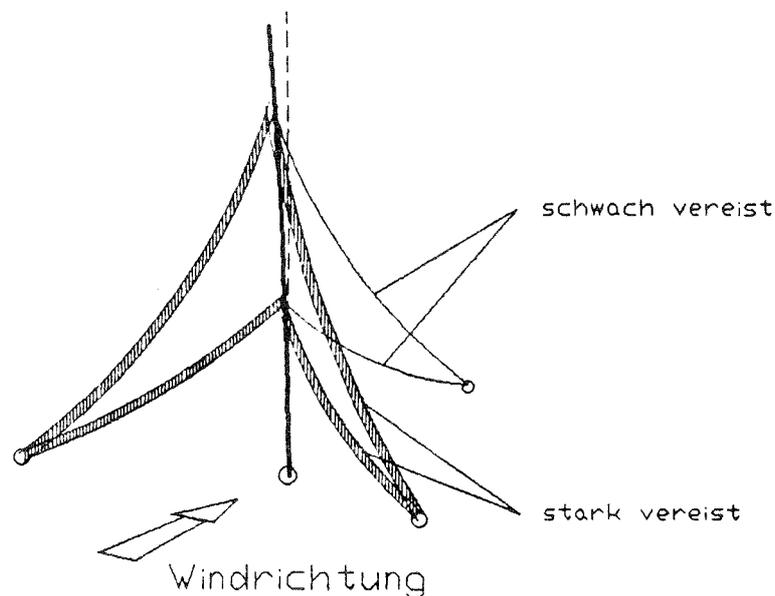


Bild 1 Unsymmetrische Vereisung der Pardunen

Da die luvseitigen Seile bei Windrichtung "in die Gabel" den Mastschaft quer zum Wind stützen, wird die Steifigkeit dieser Querstützung durch den entstehenden größeren Durchhang geringer, der Mast kann durch Knicken in Querrichtung versagen.

Eine genauere Untersuchung der Auswirkung der vorab beschriebenen Effekte auf das Tragverhalten abgespannter Masten ist aus Gründen der Tragwerkssicherheit geboten, zumal die Auftretenswahrscheinlichkeit von stärkerer Vereisung größer ist als die der maximalen Windbelastung.

Parallel zu den bisher diskutierten Auswirkungen der als statisch wirkend angenommenen Windlast sind auch die dynamischen Auswirkungen erheblich. Durch die veränderte Masse der einzelnen Kabel und die daraus folgenden Änderungen der dynamischen Eigenschaften ergeben sich erhebliche Veränderungen der mechanischen Übertragungsfunktion des Bauwerkes mit Auswirkung auf das Antwortverhalten des Mastes unter böigem Wind oder Erregung durch Kármánsche Wirbel.

Darüber hinaus können die Seile durch den Eisansatz aerodynamisch instabil werden, es kommt zu selbsterregten (Gallopings) Schwingungen mit großen Amplituden /5/. Durch die veränderte Masse von Mast und Seilen sind auch Verschiebungen der Eigenfrequenzen derart möglich, daß es zu kopfpunkterregten Parameterschwingungen der Seile kommen kann. Fragen dieser Art sind nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens.

Bei der Weiterentwicklung der DIN 4131 mit Zielrichtung auf die "Grundlagen für die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen" ergeben sich für die statische Berechnung unangemessene Forderungen, wenn man nicht durch Parameterstudien Kombinationen von Vereisungszuständen mit geringerer resultierender Bauwerksbeanspruchung von vornherein ausschließen kann.

Mit Hilfe ausführlicher Parameterstudien ist das Verhalten von abgespannten Masten unter symmetrischer und unsymmetrischer Vereisung untersucht worden. Hierbei sind über 6000 Parameterfälle behandelt worden. Dabei wurden unterschiedliche Vereisungsstärken vorgegeben, die tatsächlich zu erwartenden Eisdicken für Bauwerke abzuschätzen, ist nicht Gegenstand dieses Vorhabens.

Es ergibt sich eine gute Übersicht über die Beanspruchung von abgespannten Masten unter Eis- und Windlast, die Ergebnisse sind in Kapitel 5 und 6 zusammengefaßt, danach lassen sich Empfehlungen für die Berücksichtigung unsymmetrischer Eislasten geben.

Es zeigte sich, daß für die in der Bundesrepublik Deutschland in der Regel zu erwartenden Vereisungsstärken (bis zu 6 cm) bei der Berechnung und Bemessung von Masten auf eine Berücksichtigung von Lastfällen mit unsymmetrischer Vereisung verzichtet werden kann. Für Bauwerke, bei denen mit höheren Vereisungsstärken gerechnet werden muß, kann es jedoch zu erheblichen Vergrößerungen der Beanspruchung besonders des Mastschaftes kommen, die Parameterstudie zeigt hier, in welcher Größenordnung sich die Spannungserhöhungen bewegen und welche Lastfallkombinationen ihnen zugrunde liegen.

2 Rechenverfahren

Der statischen Berechnung der Maste liegt für den Mastschaft die Elastizitätstheorie II. Ordnung zugrunde. Die Seile gehorchen der nichtlinearen Seilgleichung und damit ebenfalls einer Theorie II. Ordnung. Das verwendete Rechenverfahren ist die Deformationsmethode in der Aufbereitung des Verfahrens der Steifigkeitsmatrizen. Die Grundlagen sind ausführlich in /7,8,9,10/ geschildert und werden hier nicht weiter erläutert.

Bei der Berechnung werden dem Vorspannzustand die einfachen Seilgewichte zugeordnet. Alle Lasten werden dagegen mit dem Sicherheitsbeiwert γ multipliziert, auch das Gewicht der Seile. So würde ein Mast ohne Belastung aus Wind und Eis beim Durchrechnen andere Seilkräfte als im Vorspannzustand haben, da das Eigengewicht in diesem Lastfall auf den γ -fachen Wert erhöht wird.

Es wurde die Möglichkeit vorgesehen, durch iteratives Vorgehen die Seilquerschnittsflächen oder die Seilvorspannungen so zu verändern, daß der Mastschaft unter Belastung an den Abspannpunkten beliebige vorgebbare Verformungen annimmt.

Für die bei der umfangreichen Parameterstudie große Anzahl der durchzuführenden Rechenläufe wurde der Rechenablauf weitgehend automatisiert. Bei der iterativen Berechnung der Seilflächen und bei der Berechnung der Zustandsgrößen der einzelnen Lastfälle wurde die Iteration gedämpft, da sonst in einigen Fällen keine Konvergenz erzielt worden wäre.

Das Rechenprogramm wurde um einige Bausteine erweitert, die während des Rechenablaufs die für die Auswertung benötigten signifikanten Beanspruchungswerte in gesonderte Dateien ausgeben.

3 Lösungsweg

3.1 Allgemeines

Zur Lösung der gestellten Aufgabe werden umfangreiche Parameterstudien durchgeführt. Hierbei wird versucht, den Parameterraum so weit aufzuspannen, daß alle üblichen Maste innerhalb der untersuchten Parameterschar liegen. Hierbei ergeben sich zwangsläufig Parameterkombinationen, die nicht baupraktisch sinnvoll sind. Dies zeigt sich in der Regel daran, daß die entsprechenden Maste schon beim Lastfall Wind (ohne Eis) durch Instabilitäten versagen. Diese Fälle wurden dann nicht weiter untersucht.

3.2 Zur Parameterauswahl

3.2.1 Mastgeometrie

3.2.1.1 Zahl der Abspannungen

Die in der Praxis vorkommende Zahl der Abspannungen bewegt sich üblicherweise zwischen eins und sechs, wobei Maste mit sechs Abspannungen bereits seltene, exponierte Bauwerke darstellen.

Maste mit lediglich einer Abspannung sind für die hier zu untersuchenden Fälle von untergeordnetem Interesse, die Auswirkungen einer Parameteränderung sind verhältnismäßig einfach abzuschätzen, bzw. aus den Ergebnissen eines zweifach abgespannten Mastes ableitbar.

Aus diesem Grunde wurde folgende Anzahl von Abspannungen den Untersuchungen zugrunde gelegt:

- 2fach
- 4fach abgespannte Maste
- 6fach

3.2.1.2 Abspannführung

Die Abspannführung wurde so festgelegt, daß stets zwei Seile an einem gemeinsamen Fundament angeknüpft sind. (Bild 2)

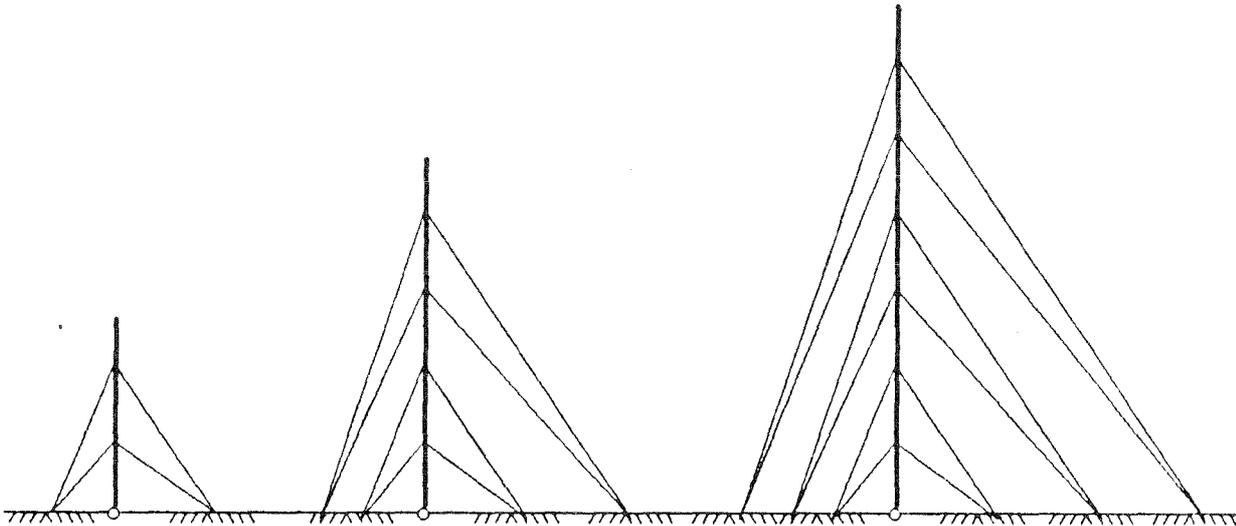


Bild 2 Abspannführung der untersuchten Maste

Eine Abspannführung mit parallelen Seilen und dann notwendigen Einzelfundamenten wurde nicht zugrunde gelegt, da eine solche Führung wegen der Vielzahl der Fundamente und der oft entstehenden größeren Mastnormalkräfte in der Regel zu unwirtschaftlichen Lösungen führt /18/.

Da der Winkel, in dem die Abspannseile zum Mastchaft hin angeordnet werden, die horizontale Stützung des Abspannpunktes wesentlich beeinflusst, werden drei unterschiedliche Winkel der Abspannführungen vorgesehen. Es wird unterschieden zwischen einer

- flachen Führung
- mittleren Führung
- steilen Führung.

Die mittlere Führung entspricht der in Bild 2 dargestellten. Die oberen Selle an einem gemeinsamen Fundament schließen hierbei mit der Horizontalen einen Winkel von $\alpha = 55^\circ$ ($\tan \alpha = 1,4$) ein. Die flache Führung hat einen doppelt so großen Fundamentabstand ($\tan \alpha = 0,7$) und ist damit als baupraktischer Grenzfall anzusehen. Die steile Führung hat Fundamentabstände von $2/3$ der mittleren Führung ($\tan \alpha = 2,1$)

3.2.1.3 Mastschaft

Der Mastschaft wird über die ganze Höhe mit konstantem Querschnitt und konstanter Windangriffsfläche ausgebildet. Es gilt also

- $E \cdot I = \text{const}$
- $E \cdot F = \text{const}$ über die Höhe
- $c \cdot F = \text{const}$

Diese Festlegung ist zweckmäßig, weil hierdurch die Zahl der zu untersuchenden Parameter stark reduziert werden kann. Eine zusätzliche Untersuchung verschiedener Querschnittsabstufungen hätte die (ohnehin schon sehr große) Parameterzahl praktisch unüberschaubar werden lassen. Die Festlegung ist aber im Regelfall auch zulässig, da später im Rahmen der Auswertung nicht absolute Spannungen, sondern die prozentualen Spannungsveränderungen in einem Querschnitt verglichen werden. Die Änderungen weichen bei einem Schaft mit konstantem und nichtkonstantem Querschnitt nur gering voneinander ab.

Der Schaftquerschnitt wird quadratisch mit über die Höhe unveränderlichen Abmessungen vorgesehen.

Die Abstände der Spannpunkte untereinander sind mit $a = 80$ m konstant festgelegt. An der Mastspitze wird ein Kragarm von der Länge $l_K = 0,3 \cdot a = 24$ m vorgesehen.

Die Querschnittswerte wurden zunächst dreifach verändert. Es wurden baupraktisch übliche Trägheitsmomente für einen

- weichen Mastschaft
- mittelsteifen Mastschaft
- steifen Mastschaft

gewählt. Im Verlauf der Berechnung der einzelnen Parameterfälle zeigte sich, daß bei 4- und 6-fach abgespannten Masten und stärkerer Vereisung die gewählten Steifigkeiten nicht ausreichten, daraufhin wurden noch drei weitere, größere Mastschaftsteifigkeiten untersucht, sie werden im folgenden vereinfacht mit X, Y und Z bezeichnet.

Die Windwiderstandsbeiwerte $c_f \cdot A$ sind dem jeweiligen Schafttyp zugeordnet, sie werden nicht variiert, da eine baupraktische, logische Zuordnung zwischen Maststeifigkeit und $c_f \cdot A$ - Wert besteht. Die zugrunde gelegten Schaftwerte wurden in Anlehnung an bestehende Bauwerke bestimmt und sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1 **Qerschnittswerte**

	I [m ⁴]	F [m ²]	$c_f \cdot A$ [m ² /m]	g [kN/m]
weich	0,040	0,080	1,5	12,8
mittel	0,150	0,100	4,5	16,0
stief	0,440	0,122	8,0	19,5
X	0,750	0,165	11,0	26,4
Y	1,270	0,190	13,2	30,0
Z	2,160	0,240	15,4	38,4

3.2.2 Seilabspannung

3.2.2.1 Allgemeines

Um einen Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlich abgespannten Systeme zu ermöglichen, ist es erforderlich, daß zunächst gleiche Voraussetzungen für alle Systeme zugrunde gelegt werden. Dies ist notwendig, weil durch die Wahl der Seilquerschnittsflächen oder der Seilvorspannung dem System nahezu beliebige Beanspruchungszustände eingeprägt werden können.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde – wie oft in der Praxis – so vorgegangen, daß die Seilquerschnittflächen derart festgelegt werden, daß bei gleichbleibendem Vorspanngrad (vergl. Kap. 3.2.2.2) alle Abspannpunkte unter maximaler Windbelastung (ohne Eis) auf einer um den Fußpunkt gedrehten Geraden mit dem Winkel $\psi = 0.01$ liegen (Bild 3). Der Biegemomentenverlauf des Schaftes entspricht dann dem eines Durchlaufträgers auf starren Stützen.

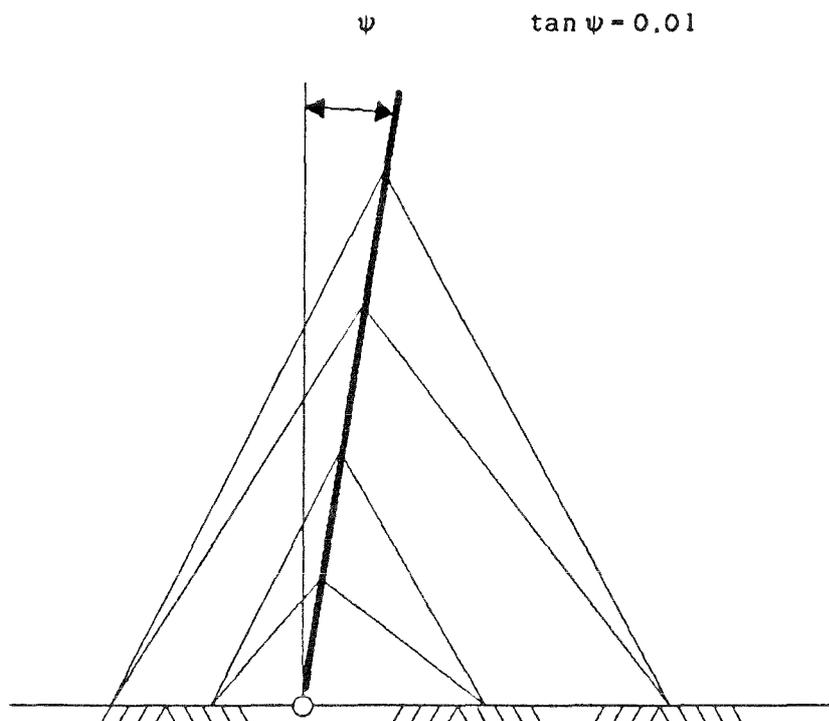


Bild 3 Mast unter voller Windlast

3.2.2.2 Vorspanngrad

Das Tragverhalten abgespannter Maste hängt in hohem Maße von der Höhe der Vorspannung der Abspannseile ab, da durch die Vorspannung der Durchhang der Pardunen in Abhängigkeit vom Seilgewicht verändert wird. Die Größe des Seildurchhanges bestimmt in erster Linie die Steifigkeit der horizontalen Stützung des jeweiligen Abspannpunktes, da unter Belastung zunächst der Durchhang aus dem Seil gezogen wird.

Eine sinnvolle Maßgröße für den Vorspanngrad stellt das Verhältnis des senkrecht zur Seilsehne gemessenen Seildurchhanges f zur Seilsehnenlänge s dar. Im Rahmen der vorliegenden Parameterstudie wurden drei unterschiedliche Vorspanngrade ausgewählt:

- hohe Vorspannung $f/s = 1/120$
- mittlere Vorspannung $f/s = 1/80$
- niedrige Vorspannung $f/s = 1/40$

Der Wert für die niedrige Vorspannung stellt einen baupraktischen Grenzfall dar. Da aber gerade für geringe Vorspannung die nichtlinearen Effekte groß sind, wurde, um Einflüsse dieser Art einzufangen, bewußt ein sehr niedriger Wert gewählt.

Die zugehörige Vorspannkraft S_0 ergibt sich damit zu

$$S_0 = \frac{g \cdot \cos \alpha \cdot s^2}{8 \cdot f} = \frac{g \cdot a \cdot s}{8 \cdot f}$$

mit

g = Seilgewicht (kN/m)

a = radialer Abstand des unteren vom oberen Seilanknüpfungspunkt

s = Seilsehnenlänge

f = Seildurchhang senkrecht zur Seilsehne.

Das Problem ist statisch bestimmt, da die Vorspannkraft S_0 kraftgesteuert am Bauwerk eingestellt wird.

3.2.2.3 Abspannseile

Die Flächen der Abspannseile bestimmen nach dem Hookschen Gesetz ebenfalls die Steifigkeit des Einzelseiles und damit auch die horizontale Steifigkeit der Abspannpunkte. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde keine unabhängige Veränderung der Querschnittsflächen vorgenommen, diese wurde vielmehr so bestimmt, daß die Abspannpunkte unter voller Windlast unter Einhaltung des gewählten Vorspanngrades auf einer geraden Linie liegen (vergl. 3.2.2.1), hierbei wurde eine Abweichung von 2% zugelassen. Die Veränderung der Seilgewichte und -durchmesser und damit auch der Windangriffsflächen der Seile aufgrund der Veränderung der Seilflächen wurden bei dem hier notwendigen iterativem Vorgehen berücksichtigt.

Bei der Festlegung wurde

- Lastfall "Wind in die Gabel"
- Vorspannkraft mit $\gamma = 1,0$ im Mastschaft abgesetzt, vorausgesetzt.

Für jeden in Anlage 1 angegebenen, globalen Mastgeometriefall wurde die Bestimmung der Seilflächen für die drei Vorspanngrade hoch, mittel und niedrig wie beschrieben vorgenommen.

Die Seilgewichte und Seildurchmesser entsprechen den ermittelten Seilflächen, dies führt zu Seilabmessungen, die z.T. nicht im Handel erworben werden können. Die Seilwerte sind in den Anlagen 2 bis 29 dokumentiert. Da für für alle drei Seile einer Abspannebene die gleichen Seile angesetzt wurden, entspricht jede Zeile dem Seiltyp der betreffenden Abspannung. Die Abspannebenen sind von unten nach oben durchnummeriert.

3.2.2.4 Kurzbezeichnung der Geometrie

Wie vorab beschrieben, werden bezüglich der Geometrie 4 Parameter variiert. Für die Berechnung wurden Datensätze für jeden Geometrietyt mit einer Bezeichnung erzeugt, aus der die jeweilige Geometrie ersichtlich ist.

Der erste Buchstabe gibt die Mastschaftsteifigkeit an:

- W für den weichen
- M für den mittelstiefen Mastschaft
- S für den stiefen

- X
- Y für die drei besonders stiefen Ausführungen (Z: stärkster Schaft)
- Z

Der zweite Buchstabe steht für die Vorspannung:

- H für hohe Vorspannung ($f/s = 120$)
- M für mittlere Vorspannung ($f/s = 80$)
- N für niedrige Vorspannung ($f/s = 40$)

An dritter Stelle steht eine Ziffer, sie gibt die Anzahl der Abspannebenen (2,4 oder 6) an.

Der letzte Buchstabe beschreibt die Abspannführung:

- S für steile
- M für mittlere Abspannführung
- F für flache

Die Kurzbezeichnung WN4S steht also für einen Mast mit

- weichem Mastschaft
- niedriger Seilvorspannung
- 4 Abspannebenen und
- steiler Seilführung.

3.2.3 Belastung

3.2.3.1 Staudruckgesetz, Windlast

Für das Staudruckgesetz wurde der Ansatz der DIN 4131 4.2.1 verwendet. Hiernach ergibt sich der Staudruck in Abhängigkeit mit der Höhe zu

$$q = q_0 + 0,003 \cdot h \quad [\text{kN/m}^2]$$

der Grundstaudruck wurde einheitlich mit $q_0 = 0,95 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ festgelegt, h gibt die Höhe in Metern an.

Für die Lastfälle mit Vereisung wurde der Staudruck gemäß DIN 4131 auf 75% reduziert, es ergibt sich

$$q = q_{0,R} + 0,00225 \cdot h$$

$$\text{mit } q_{0,R} = 0,7125 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Die auf das Bauwerk wirkende Windlast ergibt sich zu

$$w = q \cdot c_f \cdot A$$

Hierin ist c_f der sogenannte Formbeiwert oder aerodynamischer Kraftbeiwert, A ist die vom Wind getroffene Fläche.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Wert $c_f \cdot A$ konstant über die Höhe angesetzt, die Zahlenwerte sind Tabelle 1 (Kap. 3.2.1.3) zu entnehmen. Einzelwindlasten, wie z.B. Wind auf Parabolspiegel, Antennen etc. wurden nicht berücksichtigt.

3.2.3.2 Windrichtungen

Es wurden vier unterschiedliche Windrichtungen untersucht. Diese führen im Regelfall zu maximalen Schaftbeanspruchungen bzw. zu maximalen Seilkräften.

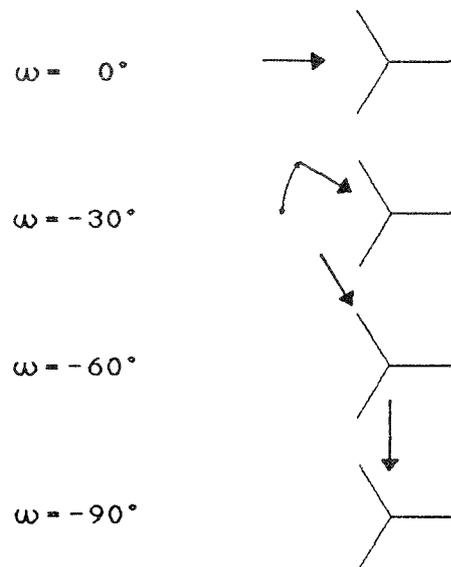


Bild 4 untersuchte Windrichtungen

3.2.3.3 Vereisung

3.2.3.3.1 Allgemeines

Über die zu erwartenden maximalen Eisdicken in der Bundesrepublik Deutschland liegen nur unzureichende Kenntnisse vor /6,13,14,15/. Die auftretenden Vereisungen sind neben bestimmten globalen klimatischen Bedingungen auch stark von örtlichen topographischen Bedingungen abhängig. Nach /16/ entsteht Vereisung im Allgemeinen bei folgenden Bedingungen

- a) Nebel, bei Windstille (Reif) und leichtem Wind (Raureif). Die entstehenden Eisablagerungen haben eine lockere Struktur (nadel-, schuppen- oder federförmig) mit einer Dichte von 0,5 bis 2,0 [kN/m³].
- b) Unterkühlte Nebel- und Wolkentröpfchen, bei mäßigen bis frischem Wind. Allgemein werden diese Ablagerungen mit Raufrost bezeichnet. Es handelt sich um eine ziemlich feste, weiße, körnige Masse mit einer Dichte von 3,0 bis 7,0 [kN/m³].
- c) Unterkühltem Regen oder sehr dichtem Nebel bei starkem Wind. Die Ablagerungen sind glasig, festhaftend und haben eine Dichte von 7,0 bis 9,0 [kN/m³].

Der Eisansatz nach b) und c) wächst gegen die Windrichtung und kann nach /16/ einseitig extreme Längen bis zu 2 m erreichen (sogenannte Eisfahnen), wegen der hohen Eisdichte und gleichzeitig auftretenden starken Winden ist besonders Fall c) für die Standsicherheit von Bauwerken von Interesse.

Im Bauingenieurwesen wird allerdings in der Regel mit gleichmäßigem, radialem Eisansatz an jedem Einzelteil gerechnet (sog. Radialeis). Nach /16/ ist diese vereinfachende Annahme in den meisten Fällen gerechtfertigt, Vergleichsrechnungen zeigen eine akzeptable Übereinstimmung bei der Ermittlung der Windwiderstandsflächen. An einigen Bauteilen, zum Beispiel an Antennenkabeln, werden häufig annähernd rotationssymmetrische Eiswalzen beobachtet, hier ist die Annahme von Radialeis zutreffend.

Die Schichtdicken solcher Eiswalzen überschreiten in einigen Fällen 5 bis 6 cm,

in einer von der Deutschen Bundespost herausgegebenen "Eiskarte" der Bundesrepublik Deutschland sind etwa 5% der Gesamtfläche als Gebiete mit mehr als 3 cm Schichtdicke bei Rauheis- und Raureifbeobachtungen an Fernmeldeleitungen in den Jahren 1951 bis 1959 gekennzeichnet.

Über die genaue zu erwartende Vereisung von Bauwerken in der BRD läßt sich aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes nur schwer etwas aussagen, dies ist auch nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Hierin werden nur die Auswirkungen von vorgegebener Vereisung auf die Standsicherheit abgespannter Maste untersucht.

3.2.3.3.2 Angesetzte Vereisung

Im Rahmen der vorliegenden Parameterstudie wird mit einem Radialeisansatz gerechnet. Dabei werden vier unterschiedliche Eisdicken angesetzt:

- 3 cm
- 6 cm
- 12 cm
- 24 cm (als Extremfall)

Die Eisdichte wird mit $7,5 \text{ [kN/m}^3\text{]}$ angenommen. Dieser Wert ist z.B. auch den Lastannahmen der VDE 0210, Dez. 85 zugrundegelegt. Der Windwiderstandsbeiwert c_f für die vereisten Pardunen wird wie für die unvereisten Seile zu 1,2 gesetzt. Der $c_f \cdot A$ -Wert des Mastschaftes wird durch den Eisansatz in Abhängigkeit von der Steifigkeit prozentual vergrößert. Bei niedrigen Mastschaftsteifigkeiten liegen in der Regel filigranere Strukturen vor, bei denen die auf den unvereisten Zustand bezogenen prozentualen Vergrößerungen der Windflächen durch Vereisung größer ausfallen als bei den gedrungeneren Strukturen der steifen Maste. Nach der Auswertung einiger exemplarischer Beispiele wurden folgende Windflächenvergrößerungen zugrundegelegt:

Diese prozentuale Erhöhung wird solange vorgenommen, bis der dadurch errechnete $c_f \cdot A$ -Wert den Wert $2,0 \cdot A_u$ (A_u ist Umrißfläche) überschreitet, in diesem Falle ist der Mast aerodynamisch "geschlossen", und der Wert $2,0 \cdot A_u$ wird maßgebend. Dieses Vorgehen steht im Einklang mit der EDIN 4131 (8.89).

Für die vereisten *Seile* ergeben sich die Eislasten aus den jeweiligen Seildurchmessern, der radialen Eisdicke und der Eisdichte.

Bei der Vereisung des *Mastschaftes* wurde zunächst unterschieden zwischen symmetrischer und halbseitiger Vereisung. Die halbseitige Vereisung wurde bei unsymmetrischer Vereisung der Seile auf der entsprechenden Seite angesetzt, sie führt zu zusätzlichen Biegemomenten im Mastschaft (Streckenlängsmomente M_f), das zusätzliche Eigengewicht g_f ist dagegen nur halb so groß wie bei der symmetrischen Vereisung.

Solche halbseitigen Vereisungen treten überwiegend bei relativ engmaschigen Strukturen oder geschlossenen Querschnitten (wie Rohrmantelmasten auf), bei den hier zugrundegelegten Gittermasten wird in der Regel weitgehende symmetrische Vereisung auftreten.

Eine annähernd das ganze Parameterfeld abdeckende Vorstudie zeigte, daß die durch halbseitige Vereisung gegenüber der symmetrischen Vereisung stark reduzierte Vertikallast den Mastschaft so weit entlastet, daß dieser Lastfall nicht maßgebend wurde. In der endgültigen Parameterstudie wurde dann nur der Fall der symmetrischen Vereisung des Schaftes (aber unsymmetrischer Vereisung der Pardunen) untersucht. Die Lasten sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt.

Tabelle 2 Mastschaft: vertikale Eislasten

Mastschaft	g_{Eis} [kN/m]	g_{Eis} [kN/m]	g_{Eis} [kN/m]	g_{Eis} [kN/m]
Eisdicke	3,0	6,0	12,0	24,0
W	2,70	5,40	10,80	21,60
M	5,40	10,80	21,60	43,20
S	8,10	16,20	32,40	64,80
X	9,80	19,60	39,20	78,40
Y	12,00	23,90	47,80	95,70
Z	14,10	28,20	56,50	112,90

Tabelle 3 Mastschaft: $c_f \cdot A$ -Werte des vereisten Schaftes

Mastschaft	$c_f \cdot A$ [m ² /m]			
Eisdicke	3,0	6,0	12,0	24,0
W	2,17	2,85	3,68	4,16
M	5,85	7,04	7,28	7,76
S	9,20	10,12	10,24	10,48
X	11,12	11,24	11,48	11,96
Y	13,32	13,44	13,68	14,16
Z	15,52	15,64	15,88	16,36

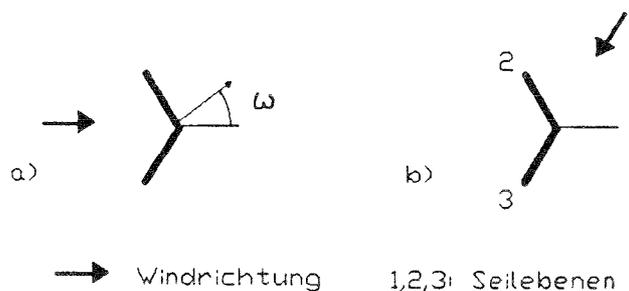
3.2.3.4 Zugrundegelegte Lastfallkombinationen

Um die rechnerischen Auswirkungen der angesetzten Vereisungen abschätzen zu können, wurde für jede Parameterkombination aus

- Mastschaftsteifigkeit,
- Vorspanngrad,
- Zahl der Abspannungen und
- Abspannführung

zunächst ein Lastfall gerechnet, bei dem der volle Staudruck (Windrichtung "in die Gabel", $\omega = 0^\circ$) und keine Vereisung angesetzt wurde. Die Seilparameter wurden so eingestellt, daß bei diesem Lastfall die Abspannpunkte auf einer Geraden liegen, der Lastfall erhält die Bezeichnung "1000".

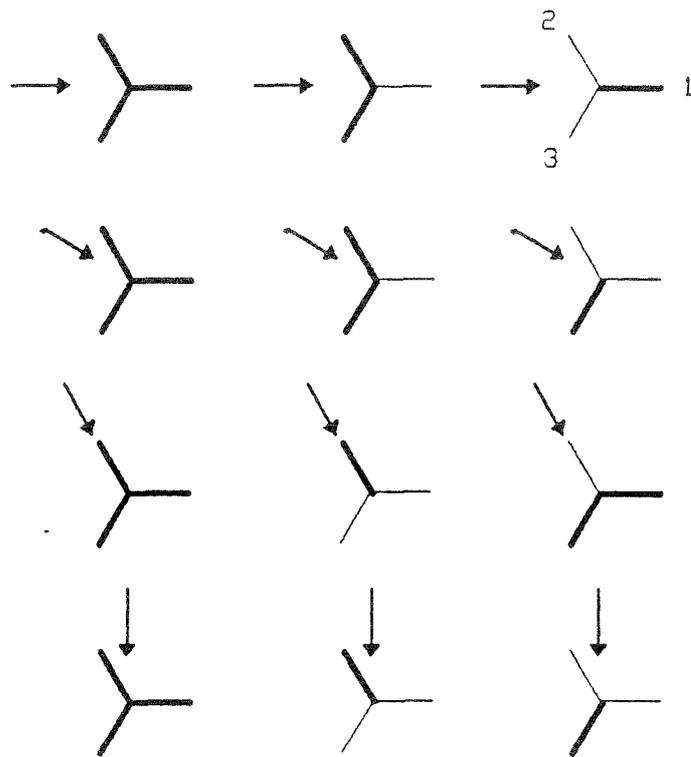
48 weitere Lastfälle (1001 bis 1048) behandeln dann die vereiste Situation mit reduziertem Staudruck. Wie vorab beschrieben, wurden 4 Windrichtungen untersucht. Für jede Windrichtung wurde zunächst der Fall der symmetrischen Vereisung und dann zwei Lastfälle mit unsymmetrischer Vereisung gerechnet. Dabei wurden auch Fälle untersucht, in denen die Vereisung nicht auf der dem Wind zugewandten Seite lag, so wurden auch Wettersituationen berücksichtigt, bei denen sich die Windrichtung gegenüber der bei der Vereisung vorliegenden Situation änderte (vergl. Bild 5).



a) Vereisungssituation b) Windrichtung mit max. Staudruck

Bild 5: Berücksichtigte Wettersituationen

Eine Übersicht über die gewählten Kombinationen aus Windrichtung und vereisten Seilebenen ist in Bild 6 ersichtlich. Jeder dieser Fälle wurde dann für 4 unterschiedliche Elsdicken untersucht. Die einzelnen Parameter sind in Tabelle 4 angegeben.



symmetrische

unsymmetrische

Vereisung

Bild 6: Kombinationen aus Windrichtung und vereisten Seilebenen
(vereiste Seilebenen: fetter Strich)

Tabelle 4 Übersicht über die Lastfallkombinationen

Lastfall	Windricht.	Elsdicke	vereiste Seile
1000	0	0	-
1001	0	3	1,2,3
1002	0	3	2,3
1003	0	3	1
1004	0	6	1,2,3
1005	0	6	2,3
1006	0	6	1
1007	0	12	1,2,3
1008	0	12	2,3
1009	0	12	1
1010	0	24	1,2,3
1011	0	24	2,3
1012	0	24	1
1013	-30	3	1,2,3
1014	-30	3	2,3
1015	-30	3	3
1016	-30	6	1,2,3
1017	-30	6	2,3
1018	-30	6	3
1019	-30	12	1,2,3
1020	-30	12	2,3
1021	-30	12	3
1022	-30	24	1,2,3
1023	-30	24	2,3
1024	-30	24	3
1025	-60	3	1,2,3
1026	-60	3	2
1027	-60	3	1,3
1028	-60	6	1,2,3
1029	-60	6	2
1030	-60	6	1,3
1031	-60	12	1,2,3
1032	-60	12	2
1033	-60	12	1,3
1034	-60	24	1,2,3
1035	-60	24	2
1036	-60	24	1,3
1037	-90	3	1,2,3
1038	-90	3	2
1039	-90	3	3
1040	-90	6	1,2,3
1041	-90	6	2
1042	-90	6	3
1043	-90	12	1,2,3
1044	-90	12	2
1045	-90	12	3
1046	-90	24	1,2,3
1047	-90	24	2
1048	-90	24	3

4 Vorgehensweise bei der Parameterstudie

Eine Übersicht über die untersuchten Parameterfälle der Mastgeometrie gibt die Tabelle in Anlage 1. Man erkennt, daß für alle untersuchten Maste mit 2, 4 und 6 Abspannungen die Seilführung (steil, mittel, flach) variiert wurde. Jede sich daraus ergebende Geometrie wurde dann durch Veränderung der Seilflächen und -vorspannung für hohe, mittlere und niedrige Vorspannung untersucht.

Für die sich ergebenden 150 Geometrien wurden, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, die Seilflächen und die Seilvorspannungen so eingestellt, daß die Abspannpunkte für den Lastfall Wind "in die Gabel" (ohne Eis) auf einer Geraden liegen (vergl. 3.2.2.1).

Beim 6-fach abgespannten Mast mit weichem Schaft oder steiler Abspannführung traten Instabilitätsfälle auf, der Mastschaft knickt auf Grund seiner geringen Steifigkeit zwischen den Abspannungen aus, diese Parameterfälle ergaben sich aufgrund der Parametervariation, sie sind praktisch nicht von Interesse.

Für die 142 verbleibenden Parameterfälle wurden dann jeweils 49 Lastfälle mit unterschiedlichen Wind- und Eislastkombinationen berechnet und ausgewertet (siehe Kap. 3.2.3), insgesamt wurden über 6000 Parameterfälle untersucht.

Bei der Ermittlung des Einflusses unsymmetrischer Vereisung wurde davon ausgegangen, daß der Fall symmetrischer Vereisung vom Statiker nach wie vor berechnet wird. Die maximalen Beanspruchungen aus symmetrischer Vereisung und ungünstiger Windlast wurden als Bezug zugrunde gelegt. Durch Gegenüberstellung der Ergebnisse aus symmetrischer und unsymmetrischer Vereisung ergibt sich dann unmittelbar der Fehler, der bei Vernachlässigung des Lastfalles mit unsymmetrischer Vereisung auftritt.

Für die Auswertung wurden die

- maximalen Seilkräfte eines jeden Seiles und die
- maximalen Absolutwerte der Eckstielspannungen für jeden Knotenpunkt des Mastschaftes

für die verschiedenen Lastfälle jeder Vereisungsstärke getrennt für die symmetrischen und unsymmetrischen Vereisungslastfälle bestimmt, einander gegenübergestellt und die prozentualen Abweichungen ermittelt.

In der Auswertung wurden die jeweiligen Maximalwerte eines Querschnittes bzw. eines Seiles miteinander verglichen, d.h. die Spannungsveränderungen jedes Knotenpunktes und die Seilkraftveränderungen eines jeden Seiles ausgewertet. In den Anlagen 30 bis 39 sind exemplarisch einige solche Gegenüberstellungen abgedruckt, hierbei wurden Beispiele ausgesucht, bei denen die Vergrößerung der Spannungen infolge unsymmetrischer Vereisung mehr als 10 % beträgt. Die größten prozentualen Abweichungen entlang der Mastachse werden im folgenden als "maximale örtliche Spannungsveränderungen" bezeichnet. Diese sind für alle untersuchten Geometrien für die vier verschiedenen Eisdicken in den Anlagen 40 bis 51 angegeben.

Es wurden nur die Vereisungsstärken ausgewertet, bei denen alle symmetrischen Lastfälle einer Mastgeometrie kein Stabilitätsversagen aufwiesen, für die Maste mit niedriger Mastschaftsteifigkeit konnten daher nur geringe Eisdicken untersucht werden. Hierbei wurde wieder von der plausiblen Annahme ausgegangen, daß der symmetrische Vereisungsfall vom Statiker nachgewiesen wurde, der Mast also hierunter stabil ist.

5 Ergebnisse

Die Auswertung der Parameterstudie ergibt, daß die aus unsymmetrischer Vereisung resultierenden örtlichen Spannungen und Seilkräfte in der Regel kleiner sind als die aus symmetrischer Vereisung gleicher Eisdicke. Dies folgt daraus, daß die durch unsymmetrische Vereisung verringerten Lasten zu kleineren Normalkräften im Mastschaft führen.

Für einzelne Querschnitte kann es allerdings zu einer Vergrößerung der Beanspruchung kommen, die Querschnittsabstufung des Mastschaftes kann hierdurch stark beeinflußt werden.

Örtliche Vergrößerungen der Eckstielspannungen von mehr als 10 % wurden nur bei großen Eisdicken beobachtet, bei Lastfallkombinationen aus Eis und Wind, wie sie in Bild 7 dargestellt sind.

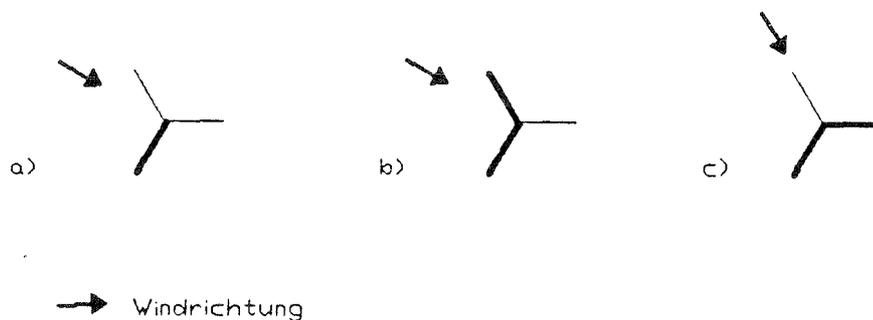


Bild 7: Lastfälle mit unsymmetrischer Vereisung der Seile

Die Vergrößerung der Eckstielspannungen rührt daher, daß die oberen, sehr viel längeren Seile aufgrund ihrer hohen Eislast den Mast stärker in Vereisungsrichtung ziehen als die unteren (Bild 8), der Mastschaft wird stark gebogen und erhält höhere Biegemomente. Dieser Effekt macht sich besonders bei flacher Seilführung bemerkbar. In Bild 8 ist der Effekt dargestellt, die Verformungen sind überhöht abgebildet.

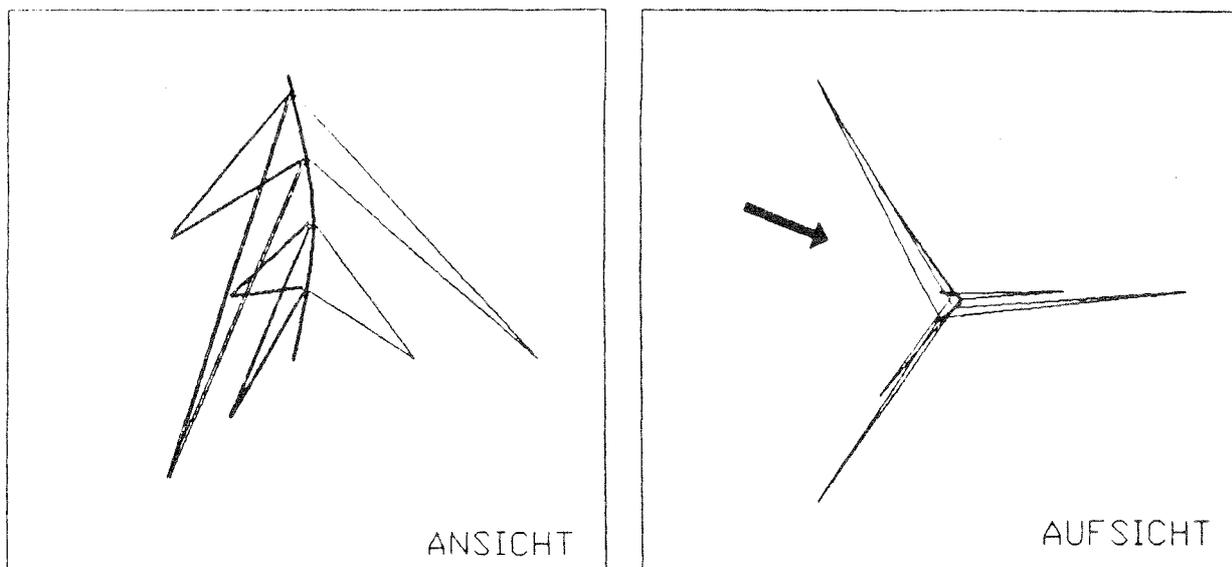


Bild 8: Verformungsfigur zum Lastfall Bild 7 b)

Bei symmetrischer Eislast (Bild 9) bleibt der Mastschaft fast gerade, die Biegebeanspruchung des Schaftes ist niedriger.

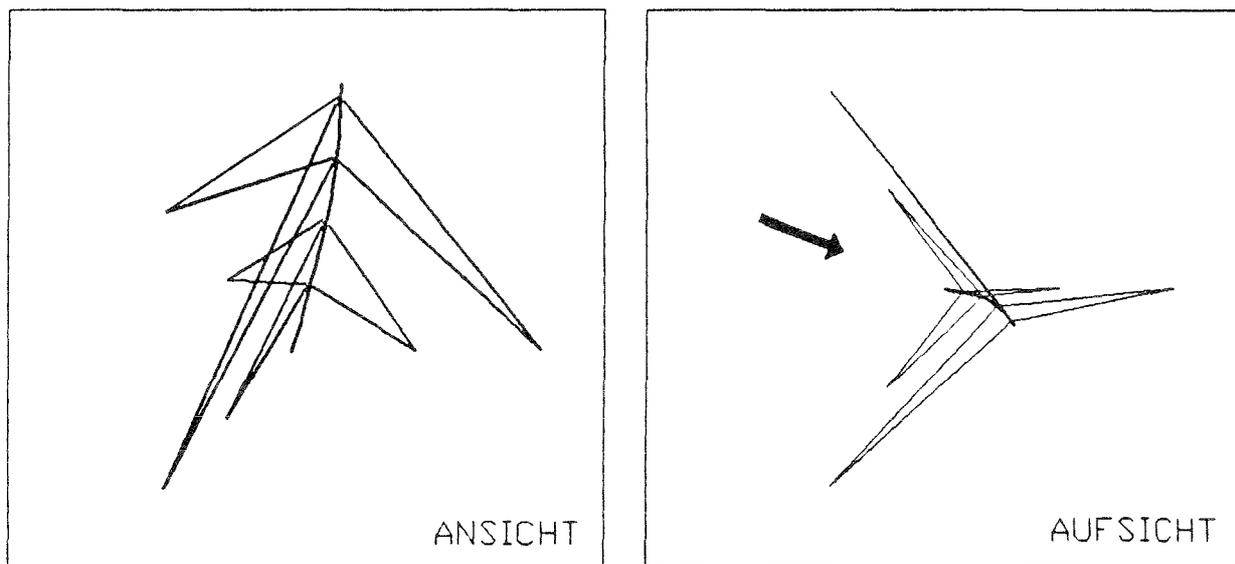


Bild 9: Verformungsfigur bei symmetrischer Vereisung

Die Zunahme der Eckstielspannungen aus unsymmetrischer gegenüber symmetrischer Vereisung wächst im Regelfall mit der Eisdicke, und zwar für flachere Abspanngeometrien stärker als für steilere. In den Bildern 10, 11 und 12 sind für ausgewählte Geometrien die maximalen prozentualen Spannungszuwächse über die Eisdicke aufgetragen. Als typisches Beispiel ausgewählt wurde ein 4-fach abgespannter Mast mit der Mastschaftsteifigkeit Y. Bild 10 zeigt die Ergebnisse für hohe, Bild 11 für mittlere und Bild 12 für niedrige Seilvorspannung. In jedem Bild sind die Ergebnisse für flache, mittlere und steile Abspannführung einander gegenübergestellt. Dieser Mast zeigt ein für abgespannte Maste typisches Verhalten, einige andere untersuchte Geometrien weichen in ihrem Verhalten wegen der Nichtlinearitäten vom Regelfall ab.

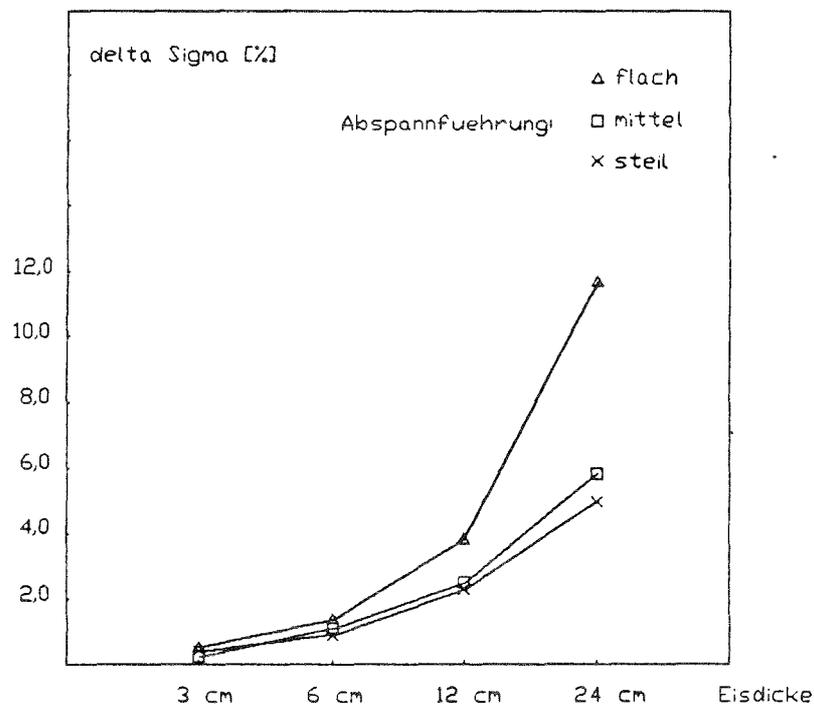


Bild 10: maximale örtliche Eckstielspannungszuwächse,
Mastgeometrie YH4S, YH4M, YH4F

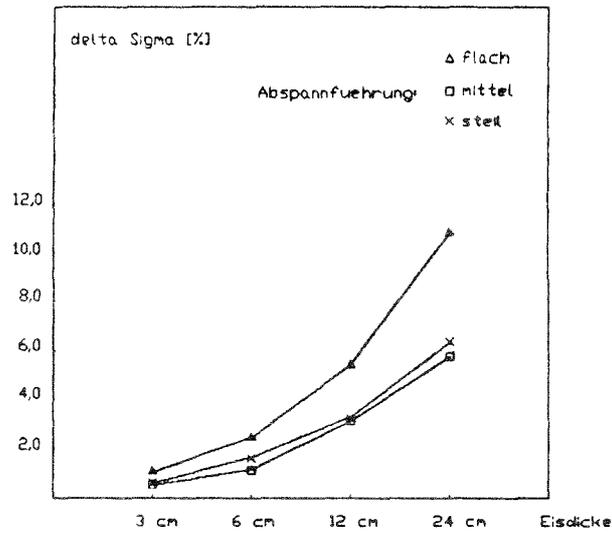


Bild 11: maximale örtliche Eckstielspannungszuwächse, Mastgeometrie YM4S, YM4M, YM4F

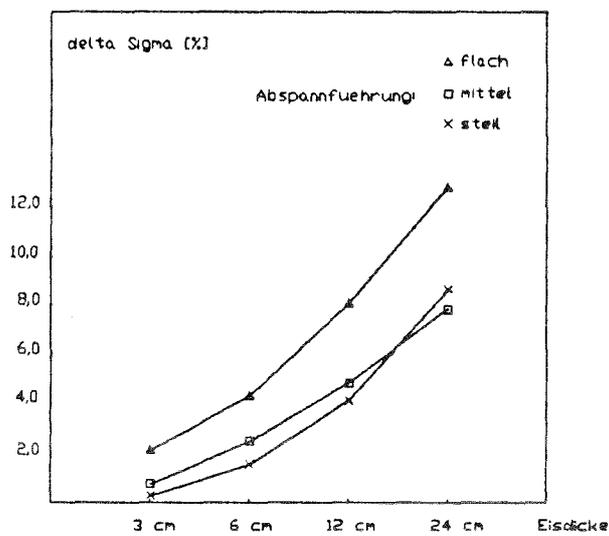


Bild 12: maximale örtliche Eckstielspannungszuwächse, Mastgeometrie YN4S, YN4M, YN4F

Die Bilder zeigen, daß es insbesondere bei flacher Seilführung für einzelne Knotenpunkte zu Vergrößerungen der Spannungen durch unsymmetrischen Eisansatz kommt.

Die maximale örtliche Zunahme der Eckstielspannungen für kleine Eisdicken ist gering, so ergeben sich bei 3 cm Eisansatz nur in 2 von 128 untersuchten Geometrievarianten Spannungsvergrößerungen über 3 % (MH6F 3,13%, MH4S 5,16%). Bei einer angesetzten Vereisung von 6 cm und 122 untersuchten Geometrien gab es einen Fall mit einer Spannungsvergrößerung von 5,23 % (MN4F), 17 Geometrien wiesen Vergrößerungen der Eckstielspannungen zwischen 3 und 5 % auf.

Bei geringen Eisdicken ist der Einfluß der unsymmetrischen Vereisung offensichtlich unkritisch und braucht bei der Bemessung nicht berücksichtigt zu werden. Bei 12 und 24 cm Eisansatz kommt es zu größeren Veränderungen der maßgebenden Spannungen. Für diese Vereisungsstärken kann demnach eine Bemessung, der nur die Untersuchung von Lastfällen mit symmetrischer Vereisung zugrunde liegt, auf der unsicheren Seite liegen.

Für 18 untersuchte Geometrien kommt es zu Vergrößerungen der Eckstielspannungen um mehr als 10 %, 17 davon treten bei Geometrien mit flacher Abspannführung auf, in einem Fall liegt eine Geometrie mit steller Abspannführung und niedrigem Vorspanngrad vor (vergl. Anlagen 30 bis 39). Diesen 18 Fällen liegen Geometrien zugrunde, die als baupraktischen Grenzfall anzusehen sind, in solchen Fällen wird für die sichere Bemessung die Untersuchung von Lastfällen mit unsymmetrischem Eisansatz erforderlich.

Der in der Parameterstudie aufgetretene Größtwert betrug 45% (vergl. Anlage 31). Diese hohen Vergrößerungsfaktoren ergeben sich aber nur für Knotenpunkte, die unter symmetrischer Eislast geringere Beanspruchungen aufweisen, für solche Punkte macht sich eine Verschiebung der Orte hoher Biegebeanspruchung proportional besonders stark bemerkbar. Die Auswirkung dieses Effektes wird in der Regel nicht so stark sein, da diese Bereiche häufig überbemessen sind.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht über die aufgetretenen Spannungsvergrößerungen

Vereisungs- stärke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Anzahl der ausgewerteten Geometrien	128	122	103	79
prozentualer Spannungs- zuwachs	5-10%, >10%	5-10%, >10%	5-10%, >10%	5-10%, >10%
Zahl des Auftretens	1 0	1 0	27 3	34 15

Die maximalen Seilkräfte nehmen bei unsymmetrischer gegenüber symmetrischer Vereisung in der Regel leicht ab, durch die Verschiebung der Abspannpunkte in Richtung der Seile mit der größten Eislast kommt es zu einer Entlastung der Seile. Bei manchen Geometrievarianten (insbesondere bei flacher Abspannführung, in seltenen Fällen auch bei steiler Führung) kommt es für einzelne Seile zu einer Vergrößerung der maximal auftretenden Seilkraft, der größte festgestellte Zuwachs beträgt 5,7%.

Zusätzlich zu der zuvor erläuterten Auswertung wurde noch eine zweite Auswertung durchgeführt, bei der die maximalen Eckstielspannungen aus symmetrischer und unsymmetrischer Vereisung unabhängig vom Ort ihres Auftretens, also nicht knotenpunktbezogen, verglichen wurden. In dieser Auswertung wurden also nur die absoluten aufgetretenen Größtwerte der Eckstielspannungen und Seilkräfte untersucht, diese Untersuchung ergab folgendes Ergebnis:

Betrachtet man den auftretenden Maximalwert für eine Eckstielspannung oder eine Seilkraft unabhängig vom Ort ihres Auftretens, ist der gefundene Größtwert der Spannungen des Mastschaftes für unsymmetrische Vereisung in der Regel kleiner als für symmetrische Vereisung. Ebenso nehmen in der Regel die maximalen

Seilkräfte ab. Für einige Geometrien kam es zu einer geringfügigen Vergrößerung der Beanspruchungen, die in der Parameterstudie aufgetretene maximale Vergrößerung der Spannungen betrug 3,1 % und bei den Seilkräften 1,2 %.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß sich die durchgeführte Untersuchung auf Gittermaste bezieht. Für Rohrmantelmaste ist der Lastfall "Wind und Eis" in der Regel nicht maßgebend, bei diesem Masttyp vergrößern sich der $c_s \cdot A$ -Wert und die vertikalen Lasten des Mastschaftes nicht so stark wie beim Gittermast, wegen der gleichzeitigen Reduzierung des Bemessungsstaudruckes kommt es zu einer niedrigeren Beanspruchung des Mastes. Wird die vorgenannte Lastfallkombination in speziellen Fällen aber maßgebend, so ist das vorab geschilderte Verhalten der Gittermaste auf die Rohrmantelmaste übertragbar, da die geschilderten Spannungsvergrößerungen im wesentlichen aus der unsymmetrischen Vereisung der Pardunen resultieren.

6 Auswirkung auf die Normungsarbeit

Für die statische Berechnung von abgespannten Masten kann im Hinblick auf zu untersuchende Lastfälle durch Vereisung bei gleichzeitig wirkendem Wind folgende Empfehlung gegeben werden:

Für radiale Vereisungsdicken bis zu 6 cm kann auf die Berechnung von Lastfällen mit unsymmetrischen Eisansatz verzichtet werden, hier ergeben sich zwar unter Umständen höhere Beanspruchungen des Mastschaftes (ca. 5%), sie liegen aber im Rahmen der üblichen Rechengenauigkeiten und sind damit durch den für die Berechnung vorgesehenen Sicherheitsbeiwert abgedeckt.

Bei Standorten, für die mit noch höherer Vereisung zu rechnen ist, muß bei abgespannten Masten mit ungewöhnlich flacher Seilführung für einzelne Schnitte mit teilweise erheblich höheren Beanspruchungen gerechnet werden. Eine Bemessung, die den Mastschaftquerschnitt an den aus Lastfällen mit symmetrischer Eislast bestimmten Verlauf der Schnittgrößen anpaßt, wird in einzelnen Querschnitten zu geringe Querschnittsabmessungen ermitteln. Für eine sichere und wirtschaftliche Bemessung ist es dann erforderlich, Lastfälle mit unsymmetrischer Vereisung mit zu untersuchen.

7 Zusammenfassung

Der vorliegende Forschungsbericht beschreibt umfangreiche Parameteruntersuchungen an abgespannten Masten. Es soll der Einfluß unsymmetrischer Vereisung des Mastes bei gleichzeitig wirkender Windlast auf die Beanspruchung des Bauwerkes untersucht werden.

Die Wahl der Eingangsparameter für die Untersuchung wird ausführlich erläutert und begründet.

Es zeigte sich, daß es nur bei sehr starker zu erwartender Vereisung erforderlich ist, Lastfälle mit ungleicher Vereisung der Pardunen zu untersuchen.

Prof. Dr.-Ing. U. Peil



Dipl.-Ing. H. Nölle



8 Literaturzusammenstellung

1. The collapse of the Ylläs-mast. The statement of the board of inquiry. Helsinki 1972.
2. BSI Code of basic data for the design of buildings, chapter V part 2 (wind loading) 1972. Hier Hinweis auf Einsturz des Mastes Emelymoor.
3. Davenport, A.G. : Interaction of ice and wind loading on guyed towers. 3. int. workshop on atmospheric icing of structures. Vancouver, 6.-8.5.86
4. Lehtonen, P., J. Laiho : Ice- and windload measurements on a TV-Mast in Finland. 2. int. workshop on atmospheric icing of structures. 19.-21.6.84, Trondheim
5. Novak, M., Davenport, A.G., Tanaka, H. : Vibration of towers due to galloping of iced cables. Journ. Struct. Div. 1978, 457-473.
6. Leibfried, W., Mors, H. : Versuchsanlage Hornisgrinde, Eislast, Seilschwingungen, Windbelastung, Ausschwingversuch. Versuchsbericht der Badenwerk AG, in Zusammenarbeit mit der Fa. BBC AG, Mannheim. 1964.
7. Peil, U. : Das abgespannte Tragwerk. In: Berichtsband "Seile und Bündel im Bauwesen", Herausgeber : Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf. 1981.
8. Scheer, J., Peil, U. : Zum Ansatz von Vorspannung und Windlast bei abgespannten Masten. Bauingenieur 60 (1985) 185-190.
9. Scheer, J., Peil, U. : Zur Berechnung von Tragwerken mit Seilabspannungen, insbesondere mit gekoppelten Seilabspannungen. Bauingenieur 59 (1984) 273-277.
10. Peil, U. : Zur Berechnung von Vorhangantennen. In: Festschrift J. Scheer, Herausgeber: Inst. für Stahlbau TU Braunschweig, 1987.

11. Recommendations for the design of guyed masts. Herausgeber: IASS 1979
12. Petersen, Ch.: Abgespannte Maste und Schornsteine. Bauingenieur-Praxis, Heft 76, Berlin, Düsseldorf, München: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. 1970.
13. Kißig, H. : Gefährdung aus Eisbehang. Bauplanung - Bautechnik 42, Heft 4, (1986), 177-178.
14. Anders, H. : Der Einfluß von Nebelfrostablagerungen an Antennenträgern. Technische Mitteilungen RFZ 12 (1968) 1, 13-17.
15. Gäbler , H. : Definition und Klassifizierung der Nebelfrostablagerungen. Technische Mitteilungen RFZ 7 (1963) 3, 138-144.
16. Fecke, G. : Auswertung von Wettergutachten des Deutschen Wetterdienstes, 1985, unveröffentlicht.
17. Kolbig, J., Becker, T. : Untersuchungen der regionalen Unterschiede im Auftreten von Nebelfrost. Zeitschrift für Meteorologie 20 (1968), 148-160.
18. Scheer, J., Peil, U. : Multi guyed masts. In: Masts and towers for radio and television 109-113. IASS-Symposium Bratislava 1981

Parameterübersicht Mastgeometrie

Abspannung		Mastschaft					
Zahl	Führung	welch	mittel	steif	X	Y	Z
2	flach	x	x	x	x	x	x
	mittel	x	x	x	x	x	x
	steil	x	x	x	x	x	x
4	flach	x	x	x	x	x	x
	mittel	x	x	x	x	x	x
	steil	x	x	x	x	x	x
6	flach	instabil	x	x	x	x	x
	mittel	instabil	x	x	x	x	x
	steil	instabil	instabil	x	x	x	x

Seilwerte:

Geometrie: MH6M

Ebene	E [kN/m ²]	F [m ²]	g [kN/m]	d [m]	S0 [kN]
1	1.6E+08	0.0025	0.219	0.057	357
2	1.6E+08	0.0041	0.354	0.072	584
3	1.6E+08	0.0028	0.243	0.060	813
4	1.6E+08	0.0039	0.337	0.070	1133
5	1.6E+08	0.0032	0.282	0.064	1420
6	1.6E+08	0.0026	0.228	0.058	1146

Geometrie: MH6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0020	0.172	0.050	580
2	1.6E+08	0.0018	0.153	0.047	517
3	1.6E+08	0.0016	0.138	0.045	939
4	1.6E+08	0.0017	0.149	0.047	1005
5	1.6E+08	0.0018	0.154	0.047	1575
6	1.6E+08	0.0013	0.111	0.040	1132

Geometrie: MM6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0032	0.278	0.064	308
2	1.6E+08	0.0053	0.463	0.082	517
3	1.6E+08	0.0037	0.321	0.069	724
4	1.6E+08	0.0051	0.445	0.081	1008
5	1.6E+08	0.0043	0.377	0.074	1277
6	1.6E+08	0.0035	0.304	0.067	1026

Geometrie: MM6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0027	0.234	0.059	525
2	1.6E+08	0.0023	0.200	0.054	452
3	1.6E+08	0.0021	0.182	0.052	825
4	1.6E+08	0.0023	0.201	0.054	903
5	1.6E+08	0.0023	0.200	0.054	1359
6	1.6E+08	0.0017	0.145	0.046	985

Seilwerte:

Geometrie: MN6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0063	0.552	0.090	623
2	1.6E+08	0.0049	0.428	0.079	481
3	1.6E+08	0.0042	0.368	0.073	831
4	1.6E+08	0.0045	0.391	0.076	881
5	1.6E+08	0.0044	0.384	0.075	1303
6	1.6E+08	0.0031	0.268	0.063	909

Geometrie: SH6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0101	0.883	0.114	959
2	1.6E+08	0.0466	4.058	0.244	4432
3	1.6E+08	0.0151	1.315	0.139	2925
4	1.6E+08	0.0246	2.143	0.177	4784
5	1.6E+08	0.0156	1.355	0.141	4549
6	1.6E+08	0.0119	1.033	0.123	3471

Geometrie: SH6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0047	0.411	0.078	664
2	1.6E+08	0.0085	0.740	0.104	1225
3	1.6E+08	0.0052	0.456	0.082	1537
4	1.6E+08	0.0077	0.668	0.099	2223
5	1.6E+08	0.0061	0.527	0.088	2665
6	1.6E+08	0.0049	0.423	0.079	2128

Geometrie: SH6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0035	0.302	0.067	1010
2	1.6E+08	0.0034	0.293	0.066	975
3	1.6E+08	0.0027	0.238	0.059	1615
4	1.6E+08	0.0033	0.286	0.065	1898
5	1.6E+08	0.0031	0.273	0.063	2772
6	1.6E+08	0.0023	0.204	0.055	2043

Seilwerte:

Geometrie: SM6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0194	1.690	0.157	1223
2	1.6E+08	0.0987	8.583	0.354	6243
3	1.6E+08	0.0279	2.426	0.188	3589
4	1.6E+08	0.0492	4.279	0.250	6358
5	1.6E+08	0.0265	2.302	0.183	5141
6	1.6E+08	0.0201	1.746	0.160	3923

Geometrie: SM6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0061	0.529	0.088	587
2	1.6E+08	0.0118	1.023	0.122	1129
3	1.6E+08	0.0073	0.632	0.096	1420
4	1.6E+08	0.0105	0.914	0.116	2045
5	1.6E+08	0.0084	0.732	0.103	2465
6	1.6E+08	0.0066	0.574	0.092	1949

Geometrie: SM6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0047	0.410	0.077	916
2	1.6E+08	0.0044	0.383	0.075	856
3	1.6E+08	0.0037	0.320	0.068	1453
4	1.6E+08	0.0044	0.379	0.074	1707
5	1.6E+08	0.0041	0.361	0.073	2459
6	1.6E+08	0.0031	0.266	0.062	1804

Geometrie: SN6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0187	1.624	0.154	900
2	1.6E+08	0.0415	3.607	0.230	2000
3	1.6E+08	0.0187	1.628	0.154	1832
4	1.6E+08	0.0273	2.374	0.186	2675
5	1.6E+08	0.0195	1.698	0.158	2869
6	1.6E+08	0.0149	1.296	0.138	2191

Seilwerte:

Geometrie: SN6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0117	1.016	0.122	1135
2	1.6E+08	0.0095	0.830	0.110	932
3	1.6E+08	0.0079	0.683	0.100	1539
4	1.6E+08	0.0085	0.743	0.104	1679
5	1.6E+08	0.0082	0.714	0.102	2433
6	1.6E+08	0.0058	0.503	0.086	1709

XH6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0158	1.377	0.142	1441
2	1.6E+08	0.0857	7.457	0.331	7798
3	1.6E+08	0.0224	1.952	0.169	4200
4	1.6E+08	0.0413	3.597	0.229	7758
5	1.6E+08	0.0228	1.980	0.170	6428
6	1.6E+08	0.0172	1.495	0.148	4871

XH6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0062	0.540	0.089	892
2	1.6E+08	0.0118	1.023	0.122	1665
3	1.6E+08	0.0073	0.632	0.096	2116
4	1.6E+08	0.0106	0.925	0.116	3092
5	1.6E+08	0.0084	0.732	0.103	3706
6	1.6E+08	0.0066	0.574	0.092	2884

XH6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0048	0.421	0.079	1403
2	1.6E+08	0.0045	0.395	0.076	1330
3	1.6E+08	0.0039	0.337	0.070	2269
4	1.6E+08	0.0045	0.391	0.076	2614
5	1.6E+08	0.0044	0.382	0.075	3882
6	1.6E+08	0.0032	0.277	0.064	2808

Seilwerte:

XM6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0358	3.118	0.214	2210
2	1.6E+08	0.1745	15.179	0.471	10717
3	1.6E+08	0.0475	4.129	0.246	5924
4	1.6E+08	0.0835	7.265	0.326	10425
5	1.6E+08	0.0426	3.703	0.233	8033
6	1.6E+08	0.0305	2.650	0.197	5749

XM6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0085	0.735	0.104	797
2	1.6E+08	0.0166	1.443	0.145	1578
3	1.6E+08	0.0102	0.885	0.114	1953
4	1.6E+08	0.0148	1.290	0.137	2851
5	1.6E+08	0.0118	1.026	0.122	3428
6	1.6E+08	0.0091	0.790	0.107	2629

XM6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0065	0.562	0.091	1254
2	1.6E+08	0.0061	0.528	0.088	1163
3	1.6E+08	0.0052	0.451	0.081	2031
4	1.6E+08	0.0060	0.522	0.087	2328
5	1.6E+08	0.0059	0.512	0.086	3441
6	1.6E+08	0.0042	0.367	0.073	2467

XN6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0264	2.299	0.183	1264
2	1.6E+08	0.0599	5.214	0.276	2865
3	1.6E+08	0.0270	2.352	0.185	2625
4	1.6E+08	0.0389	3.388	0.223	3799
5	1.6E+08	0.0280	2.438	0.189	4102
6	1.6E+08	0.0205	1.779	0.161	3012

Seilwerte:

XN6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0159	1.388	0.143	1551
2	1.6E+08	0.0133	1.158	0.130	1287
3	1.6E+08	0.0111	0.963	0.119	2162
4	1.6E+08	0.0118	1.031	0.123	2324
5	1.6E+08	0.0116	1.012	0.122	3428
6	1.6E+08	0.0080	0.695	0.101	2355

YH6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0214	1.862	0.165	1928
2	1.6E+08	0.1217	10.591	0.394	10994
3	1.6E+08	0.0303	2.634	0.196	5644
4	1.6E+08	0.0544	4.730	0.263	10124
5	1.6E+08	0.0293	2.553	0.193	8268
6	1.6E+08	0.0210	1.830	0.164	5933

YH6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0080	0.698	0.101	1103
2	1.6E+08	0.0148	1.286	0.137	2095
3	1.6E+08	0.0090	0.786	0.107	2605
4	1.6E+08	0.0131	1.138	0.129	3779
5	1.6E+08	0.0104	0.904	0.115	4517
6	1.6E+08	0.0080	0.692	0.101	3410

YH6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0057	0.495	0.085	1660
2	1.6E+08	0.0058	0.507	0.086	1657
3	1.6E+08	0.0044	0.379	0.074	2554
4	1.6E+08	0.0059	0.510	0.086	3341
5	1.6E+08	0.0051	0.444	0.081	4440
6	1.6E+08	0.0040	0.344	0.071	3375

Seilwerte:

YM6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0513	4.463	0.256	3159
2	1.6E+08	0.2588	22.512	0.574	15942
3	1.6E+08	0.0638	5.553	0.285	8128
4	1.6E+08	0.1163	10.116	0.385	14818
5	1.6E+08	0.0554	4.822	0.266	10746
6	1.6E+08	0.0387	3.366	0.222	7479

YM6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0104	0.902	0.115	962
2	1.6E+08	0.0207	1.803	0.163	1964
3	1.6E+08	0.0125	1.091	0.126	2400
4	1.6E+08	0.0182	1.586	0.152	3493
5	1.6E+08	0.0145	1.261	0.136	4179
6	1.6E+08	0.0110	0.957	0.118	3143

YM6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0077	0.668	0.099	1478
2	1.6E+08	0.0076	0.662	0.098	1456
3	1.6E+08	0.0059	0.516	0.087	2325
4	1.6E+08	0.0077	0.669	0.099	2957
5	1.6E+08	0.0068	0.593	0.093	4013
6	1.6E+08	0.0052	0.452	0.081	2991

YN6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0336	2.926	0.207	1588
2	1.6E+08	0.0774	6.736	0.314	3662
3	1.6E+08	0.0344	2.996	0.209	3330
4	1.6E+08	0.0492	4.284	0.250	4747
5	1.6E+08	0.0352	3.059	0.211	5131
6	1.6E+08	0.0254	2.209	0.180	3680

Sellwerte:

YN6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0193	1.676	0.157	1856
2	1.6E+08	0.0166	1.442	0.145	1606
3	1.6E+08	0.0130	1.135	0.129	2546
4	1.6E+08	0.0149	1.299	0.138	2917
5	1.6E+08	0.0139	1.206	0.133	4074
6	1.6E+08	0.0098	0.855	0.112	2864

ZH6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0215	1.874	0.166	1932
2	1.6E+08	0.1151	10.014	0.383	10279
3	1.6E+08	0.0315	2.742	0.200	5854
4	1.6E+08	0.0556	4.838	0.266	10262
5	1.6E+08	0.0317	2.762	0.201	8913
6	1.6E+08	0.0223	1.943	0.169	6308

ZH6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0092	0.802	0.108	1264
2	1.6E+08	0.0169	1.471	0.147	2366
3	1.6E+08	0.0102	0.889	0.114	2966
4	1.6E+08	0.0149	1.298	0.138	4341
5	1.6E+08	0.0121	1.056	0.124	5310
6	1.6E+08	0.0089	0.773	0.106	3861

ZH6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0064	0.554	0.090	1844
2	1.6E+08	0.0073	0.632	0.096	2045
3	1.6E+08	0.0048	0.418	0.078	2787
4	1.6E+08	0.0069	0.602	0.094	3949
5	1.6E+08	0.0061	0.527	0.088	5222
6	1.6E+08	0.0045	0.395	0.076	3885

Seilwerte:

ZM6S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0397	3.451	0.225	2420
2	1.6E+08	0.2179	18.956	0.527	13396
3	1.6E+08	0.0575	5.006	0.271	7309
4	1.6E+08	0.1011	8.799	0.359	12863
5	1.6E+08	0.0534	4.645	0.261	10352
6	1.6E+08	0.0364	3.164	0.215	7033

ZM6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0118	1.030	0.123	1102
2	1.6E+08	0.0232	2.020	0.172	2173
3	1.6E+08	0.0142	1.238	0.135	2723
4	1.6E+08	0.0208	1.808	0.163	3971
5	1.6E+08	0.0168	1.461	0.146	4848
6	1.6E+08	0.0123	1.066	0.125	3542

ZM6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0086	0.747	0.105	1664
2	1.6E+08	0.0093	0.811	0.109	1796
3	1.6E+08	0.0066	0.575	0.092	2576
4	1.6E+08	0.0091	0.790	0.107	3539
5	1.6E+08	0.0080	0.697	0.101	4724
6	1.6E+08	0.0059	0.516	0.087	3479

ZN6M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0372	3.236	0.218	1756
2	1.6E+08	0.0802	6.979	0.320	3794
3	1.6E+08	0.0392	3.414	0.223	3796
4	1.6E+08	0.0537	4.673	0.261	5199
5	1.6E+08	0.0398	3.466	0.225	5818
6	1.6E+08	0.0278	2.418	0.188	4073

Sellwerte:

ZN6F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0214	1.863	0.165	2067
2	1.6E+08	0.0200	1.737	0.160	1933
3	1.6E+08	0.0143	1.246	0.135	2803
4	1.6E+08	0.0180	1.568	0.151	3510
5	1.6E+08	0.0160	1.391	0.143	4692
6	1.6E+08	0.0113	0.985	0.120	3339

Geometrie: WH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0008	0.068	0.032	112
2	1.6E+08	0.0010	0.090	0.036	149
3	1.6E+08	0.0009	0.076	0.033	257
4	1.6E+08	0.0008	0.073	0.033	239

Geometrie: WH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0007	0.059	0.030	201
2	1.6E+08	0.0005	0.047	0.026	155
3	1.6E+08	0.0005	0.048	0.026	323
4	1.6E+08	0.0004	0.034	0.022	230

Geometrie: WM4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0013	0.115	0.041	85
2	1.6E+08	0.0026	0.223	0.057	165
3	1.6E+08	0.0020	0.171	0.050	256
4	1.6E+08	0.0020	0.178	0.051	268

Geometrie: WM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0010	0.084	0.035	92
2	1.6E+08	0.0013	0.111	0.040	124
3	1.6E+08	0.0011	0.097	0.038	219
4	1.6E+08	0.0010	0.088	0.036	194

Seilwerte:

WM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0009	0.079	0.034	177
2	1.6E+08	0.0007	0.059	0.029	131
3	1.6E+08	0.0007	0.063	0.030	280
4	1.6E+08	0.0005	0.044	0.025	201

WN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0021	0.187	0.052	105
2	1.6E+08	0.0028	0.247	0.060	140
3	1.6E+08	0.0022	0.189	0.053	214
4	1.6E+08	0.0019	0.169	0.050	191

WN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0021	0.180	0.051	204
2	1.6E+08	0.0014	0.118	0.042	132
3	1.6E+08	0.0014	0.119	0.042	269
4	1.6E+08	0.0009	0.080	0.034	180

MH4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0033	0.291	0.065	314
2	1.6E+08	0.0077	0.671	0.099	740
3	1.6E+08	0.0051	0.442	0.080	980
4	1.6E+08	0.0050	0.432	0.079	963

MH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0023	0.201	0.054	326
2	1.6E+08	0.0034	0.295	0.066	490
3	1.6E+08	0.0028	0.240	0.059	795
4	1.6E+08	0.0024	0.213	0.056	715

Seilwerte:

MH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0020	0.170	0.050	571
2	1.6E+08	0.0017	0.149	0.047	498
3	1.6E+08	0.0016	0.142	0.046	964
4	1.6E+08	0.0012	0.107	0.040	718

MM4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0041	0.360	0.073	262
2	1.6E+08	0.0105	0.915	0.116	674
3	1.6E+08	0.0067	0.579	0.092	863
4	1.6E+08	0.0066	0.577	0.092	861

MM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0029	0.248	0.060	272
2	1.6E+08	0.0042	0.369	0.073	410
3	1.6E+08	0.0036	0.309	0.067	684
4	1.6E+08	0.0031	0.273	0.063	612

MM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0025	0.222	0.057	501
2	1.6E+08	0.0022	0.195	0.053	431
3	1.6E+08	0.0022	0.189	0.053	854
4	1.6E+08	0.0016	0.142	0.046	634

MN4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0134	1.170	0.131	432
2	1.6E+08	0.0424	3.692	0.233	1364
3	1.6E+08	0.0182	1.583	0.152	1187
4	1.6E+08	0.0184	1.602	0.153	1203

Seilwerte:

MN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0068	0.595	0.093	331
2	1.6E+08	0.0109	0.947	0.118	530
3	1.6E+08	0.0074	0.642	0.097	726
4	1.6E+08	0.0066	0.575	0.092	648

MN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0062	0.540	0.089	610
2	1.6E+08	0.0044	0.386	0.075	433
3	1.6E+08	0.0044	0.381	0.075	863
4	1.6E+08	0.0030	0.265	0.062	598

SH4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0067	0.579	0.092	616
2	1.6E+08	0.0165	1.437	0.145	1563
3	1.6E+08	0.0100	0.872	0.113	1923
4	1.6E+08	0.0092	0.799	0.108	1778

SH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0041	0.355	0.072	583
2	1.6E+08	0.0065	0.569	0.091	933
3	1.6E+08	0.0051	0.440	0.080	1453
4	1.6E+08	0.0044	0.385	0.075	1273

SH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0034	0.298	0.066	1002
2	1.6E+08	0.0031	0.268	0.063	896
3	1.6E+08	0.0030	0.258	0.061	1747
4	1.6E+08	0.0022	0.192	0.053	1282

Seilwerte:**SM4S**

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0083	0.724	0.103	528
2	1.6E+08	0.0232	2.021	0.172	1467
3	1.6E+08	0.0137	1.192	0.132	1771
4	1.6E+08	0.0127	1.107	0.127	1644

SM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0051	0.446	0.081	493
2	1.6E+08	0.0083	0.724	0.103	798
3	1.6E+08	0.0065	0.569	0.091	1271
4	1.6E+08	0.0057	0.500	0.086	1120

SM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0046	0.396	0.076	892
2	1.6E+08	0.0040	0.345	0.071	771
3	1.6E+08	0.0040	0.344	0.071	1550
4	1.6E+08	0.0029	0.251	0.061	1137

SN4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0352	3.065	0.212	1111
2	1.6E+08	0.1204	10.478	0.392	3826
3	1.6E+08	0.0443	3.856	0.237	2854
4	1.6E+08	0.0421	3.664	0.231	2714

SN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0131	1.140	0.129	631
2	1.6E+08	0.0226	1.967	0.170	1090
3	1.6E+08	0.0146	1.272	0.136	1419
4	1.6E+08	0.0126	1.097	0.127	1229

Seilwerte:

SN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0109	0.945	0.118	1062
2	1.6E+08	0.0083	0.720	0.103	804
3	1.6E+08	0.0081	0.701	0.101	1574
4	1.6E+08	0.0056	0.483	0.084	1093

XH4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0090	0.786	0.107	842
2	1.6E+08	0.0240	2.090	0.175	2239
3	1.6E+08	0.0137	1.192	0.132	2607
4	1.6E+08	0.0126	1.094	0.126	2355

XH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0058	0.506	0.086	811
2	1.6E+08	0.0092	0.798	0.108	1285
3	1.6E+08	0.0070	0.610	0.094	2016
4	1.6E+08	0.0059	0.517	0.087	1721

XH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0048	0.417	0.078	1398
2	1.6E+08	0.0042	0.364	0.073	1220
3	1.6E+08	0.0042	0.361	0.073	2435
4	1.6E+08	0.0030	0.260	0.062	1752

XM4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0118	1.024	0.122	727
2	1.6E+08	0.0341	2.966	0.208	2129
3	1.6E+08	0.0191	1.663	0.156	2448
4	1.6E+08	0.0172	1.498	0.148	2203

Seilwerte:

XM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0072	0.629	0.096	671
2	1.6E+08	0.0117	1.016	0.122	1099
3	1.6E+08	0.0090	0.787	0.107	1752
4	1.6E+08	0.0077	0.672	0.099	1505

XM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0063	0.548	0.090	1221
2	1.6E+08	0.0055	0.479	0.084	1063
3	1.6E+08	0.0055	0.480	0.084	2153
4	1.6E+08	0.0040	0.346	0.071	1553

XN4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0530	4.614	0.260	1649
2	1.6E+08	0.1831	15.931	0.483	5715
3	1.6E+08	0.0648	5.640	0.287	4143
4	1.6E+08	0.0585	5.086	0.273	3736

XN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0183	1.591	0.153	873
2	1.6E+08	0.0318	2.771	0.201	1521
3	1.6E+08	0.0205	1.784	0.162	1998
4	1.6E+08	0.0171	1.487	0.147	1662

XN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0149	1.294	0.138	1450
2	1.6E+08	0.0116	1.006	0.121	1119
3	1.6E+08	0.0111	0.968	0.119	2189
4	1.6E+08	0.0077	0.671	0.099	1510

Seilwerte:

YH4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0115	1.000	0.121	1034
2	1.6E+08	0.0304	2.646	0.197	2776
3	1.6E+08	0.0168	1.466	0.146	3234
4	1.6E+08	0.0150	1.302	0.138	2880

YH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0070	0.611	0.095	992
2	1.6E+08	0.0112	0.971	0.119	1569
3	1.6E+08	0.0084	0.735	0.104	2433
4	1.6E+08	0.0072	0.623	0.095	2078

YH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0058	0.504	0.086	1651
2	1.6E+08	0.0051	0.441	0.080	1461
3	1.6E+08	0.0050	0.436	0.080	2920
4	1.6E+08	0.0036	0.315	0.068	2107

YM4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0147	1.283	0.137	906
2	1.6E+08	0.0430	3.737	0.234	2659
3	1.6E+08	0.0238	2.070	0.174	3036
4	1.6E+08	0.0209	1.818	0.163	2662

YM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0088	0.768	0.106	810
2	1.6E+08	0.0143	1.244	0.135	1338
3	1.6E+08	0.0109	0.952	0.118	2118
4	1.6E+08	0.0093	0.813	0.109	1816

Sellwerte:

YM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0075	0.656	0.098	1460
2	1.6E+08	0.0066	0.578	0.092	1283
3	1.6E+08	0.0066	0.578	0.092	2591
4	1.6E+08	0.0048	0.418	0.078	1878

YN4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0696	6.052	0.298	2146
2	1.6E+08	0.2397	20.851	0.552	7438
3	1.6E+08	0.0853	7.419	0.329	5424
4	1.6E+08	0.0723	6.291	0.303	4606

YN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0224	1.949	0.169	1063
2	1.6E+08	0.0391	3.400	0.223	1855
3	1.6E+08	0.0256	2.223	0.180	2464
4	1.6E+08	0.0207	1.803	0.162	2009

YN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0178	1.546	0.150	1727
2	1.6E+08	0.0141	1.223	0.134	1357
3	1.6E+08	0.0134	1.169	0.131	2639
4	1.6E+08	0.0094	0.816	0.109	1833

ZH4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0133	1.161	0.130	1191
2	1.6E+08	0.0342	2.977	0.209	3111
3	1.6E+08	0.0193	1.679	0.157	3673
4	1.6E+08	0.0172	1.494	0.148	3281

Seilwerte:

ZH4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0079	0.688	0.100	1089
2	1.6E+08	0.0131	1.142	0.129	1804
3	1.6E+08	0.0097	0.843	0.111	2816
4	1.6E+08	0.0081	0.705	0.102	2342

ZH4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0066	0.573	0.092	1882
2	1.6E+08	0.0060	0.520	0.087	1709
3	1.6E+08	0.0060	0.519	0.087	3480
4	1.6E+08	0.0040	0.352	0.072	2378

ZM4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0171	1.484	0.147	1031
2	1.6E+08	0.0477	4.147	0.246	2917
3	1.6E+08	0.0270	2.347	0.185	3424
4	1.6E+08	0.0237	2.059	0.173	2997

ZM4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0101	0.876	0.113	933
2	1.6E+08	0.0167	1.453	0.146	1554
3	1.6E+08	0.0127	1.102	0.127	2449
4	1.6E+08	0.0105	0.915	0.116	2029

ZM4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0087	0.760	0.105	1682
2	1.6E+08	0.0078	0.677	0.100	1495
3	1.6E+08	0.0078	0.681	0.100	3065
4	1.6E+08	0.0054	0.473	0.083	2124

Sellwerte:

ZN4S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0738	6.418	0.307	2253
2	1.6E+08	0.2520	21.923	0.567	7743
3	1.6E+08	0.0946	8.234	0.347	5996
4	1.6E+08	0.0764	6.649	0.312	4840

ZN4M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0254	2.211	0.180	1202
2	1.6E+08	0.0435	3.787	0.235	2061
3	1.6E+08	0.0296	2.574	0.194	2851
4	1.6E+08	0.0230	2.002	0.171	2226

ZN4F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0205	1.786	0.162	1989
2	1.6E+08	0.0164	1.428	0.145	1580
3	1.6E+08	0.0158	1.378	0.142	3106
4	1.6E+08	0.0107	0.928	0.116	2082

WH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0010	0.084	0.035	92
2	1.6E+08	0.0014	0.122	0.042	137

WH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0008	0.066	0.031	110
2	1.6E+08	0.0008	0.067	0.031	110

WH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0007	0.059	0.029	199
2	1.6E+08	0.0004	0.036	0.023	122

Seilwerte:

WM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0012	0.102	0.039	75
2	1.6E+08	0.0018	0.153	0.047	113

WM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0009	0.080	0.034	89
2	1.6E+08	0.0009	0.081	0.035	90

WM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0009	0.078	0.034	177
2	1.6E+08	0.0005	0.045	0.026	103

WN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0026	0.227	0.058	85
2	1.6E+08	0.0046	0.404	0.077	152

WN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0020	0.172	0.050	97
2	1.6E+08	0.0020	0.171	0.050	96

WN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0020	0.178	0.051	202
2	1.6E+08	0.0010	0.087	0.036	98

MH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0030	0.259	0.062	286
2	1.6E+08	0.0042	0.362	0.073	401

Seilwerte:

MH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0022	0.195	0.053	320
2	1.6E+08	0.0022	0.193	0.053	324

MH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0020	0.177	0.051	596
2	1.6E+08	0.0012	0.107	0.040	362

MM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0035	0.303	0.067	224
2	1.6E+08	0.0053	0.457	0.082	336

MM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0027	0.235	0.059	260
2	1.6E+08	0.0027	0.236	0.059	265

MM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0027	0.233	0.058	525
2	1.6E+08	0.0015	0.135	0.044	303

MN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0084	0.735	0.104	271
2	1.6E+08	0.0160	1.392	0.143	515

MN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0060	0.523	0.088	293
2	1.6E+08	0.0061	0.529	0.088	294

Seilwerte:

MN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0062	0.543	0.089	611
2	1.6E+08	0.0031	0.269	0.063	302

SH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0055	0.478	0.084	524
2	1.6E+08	0.0074	0.644	0.097	698

SH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0040	0.351	0.072	579
2	1.6E+08	0.0039	0.340	0.070	564

SH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0036	0.315	0.068	1028
2	1.6E+08	0.0022	0.188	0.052	623

SM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0065	0.566	0.091	413
2	1.6E+08	0.0092	0.803	0.108	587

SM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0048	0.420	0.079	467
2	1.6E+08	0.0048	0.414	0.078	457

SM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0047	0.411	0.078	927
2	1.6E+08	0.0027	0.235	0.059	530

Seilwerte:

SN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0163	1.414	0.144	514
2	1.6E+08	0.0310	2.695	0.199	981

SN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0110	0.954	0.118	530
2	1.6E+08	0.0110	0.958	0.118	528

SN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0112	0.975	0.119	1091
2	1.6E+08	0.0055	0.479	0.084	539

XH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0079	0.690	0.101	743
2	1.6E+08	0.0099	0.863	0.112	904

XH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0057	0.493	0.085	809
2	1.6E+08	0.0053	0.462	0.082	745

XH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0050	0.431	0.080	1438
2	1.6E+08	0.0029	0.255	0.061	855

XM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0092	0.803	0.108	561
2	1.6E+08	0.0123	1.071	0.125	760

Sellwerte:

XM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0068	0.595	0.093	633
2	1.6E+08	0.0064	0.559	0.090	597

XM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0066	0.570	0.091	1275
2	1.6E+08	0.0038	0.327	0.069	730

XN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0230	2.003	0.171	716
2	1.6E+08	0.0413	3.597	0.229	1295

XN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0153	1.327	0.140	724
2	1.6E+08	0.0148	1.287	0.137	703

XN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0151	1.315	0.139	1473
2	1.6E+08	0.0076	0.658	0.098	732

YH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0094	0.821	0.110	853
2	1.6E+08	0.0111	0.967	0.119	1025

YH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0069	0.605	0.094	958
2	1.6E+08	0.0061	0.531	0.088	846

Seilwerte:

YH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0060	0.522	0.087	1707
2	1.6E+08	0.0035	0.305	0.067	1004

YM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0115	1.002	0.121	690
2	1.6E+08	0.0147	1.278	0.137	891

YM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0086	0.749	0.105	790
2	1.6E+08	0.0076	0.660	0.098	720

YM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0079	0.684	0.100	1513
2	1.6E+08	0.0045	0.389	0.075	853

YN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0282	2.456	0.190	870
2	1.6E+08	0.0490	4.261	0.250	1521

YN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0185	1.607	0.153	871
2	1.6E+08	0.0175	1.523	0.149	827

YN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0181	1.576	0.152	1761
2	1.6E+08	0.0090	0.787	0.107	872

Seilwerte:

ZH2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0112	0.977	0.120	1005
2	1.6E+08	0.0126	1.096	0.127	1159

ZH2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0079	0.690	0.101	1107
2	1.6E+08	0.0070	0.605	0.094	966

ZH2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0070	0.609	0.095	1988
2	1.6E+08	0.0041	0.355	0.072	1160

ZM2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0135	1.171	0.131	803
2	1.6E+08	0.0163	1.418	0.144	989

ZM2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0098	0.854	0.112	901
2	1.6E+08	0.0087	0.755	0.105	807

ZM2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0092	0.799	0.108	1757
2	1.6E+08	0.0052	0.457	0.082	987

ZN2S

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0328	2.853	0.204	1001
2	1.6E+08	0.0542	4.712	0.263	1667

Sellwerte:

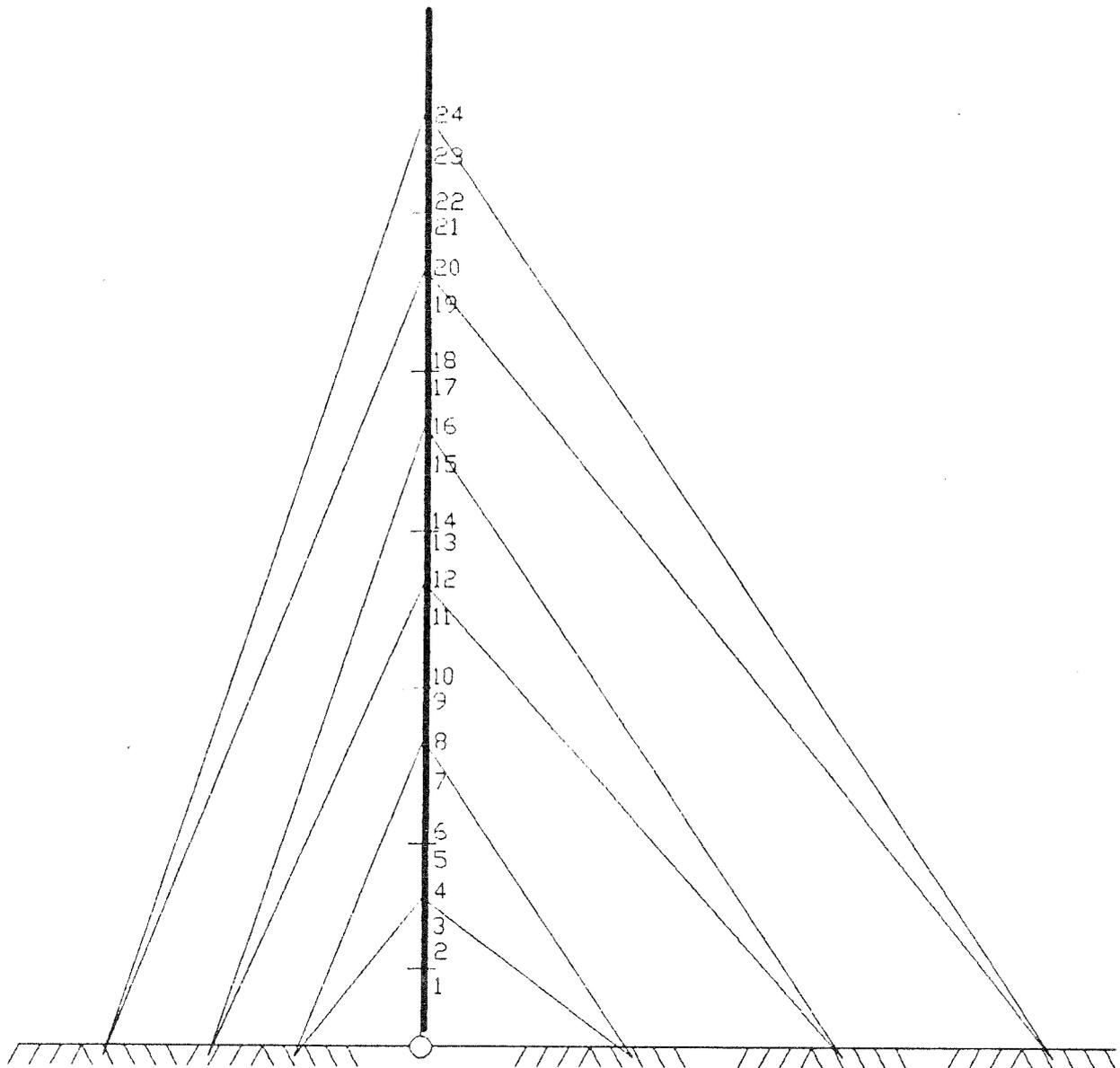
ZN2M

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0215	1.872	0.166	1009
2	1.6E+08	0.0199	1.735	0.159	936

ZN2F

Ebene	E	F	g	d	S0
1	1.6E+08	0.0217	1.890	0.166	2091
2	1.6E+08	0.0106	0.919	0.116	1022

Zuordnung der Punkte der Spannungsausgabe zur Mastgeometrie:
(siehe Anlagen 31 bis 39)



(Bei 4-fach abgespannten Masten werden die Spannungen dem Bild entsprechend für die Punkte 1 bis 16 ausgegeben)

Eckstielspannungen [N/mm²] aus symmetrischer und unsymmetrischer Vereisung:

MH4F

Eisdicke 12 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	450.27	/	438.66	-2.58
2	450.29	/	438.69	-2.58
3	333.54	/	351.54	5.40
4	330.27	/	352.88	6.85
5	253.98	/	271.22	6.79
6	253.98	/	271.22	6.79
7	388.40	/	404.41	4.12
8	391.22	/	405.32	3.60
9	174.96	/	254.18	45.28
10	174.96	/	254.19	45.28
11	256.36	/	244.69	-4.55
12	253.91	/	238.79	-5.95
13	184.49	/	181.24	-1.76
14	184.50	/	181.25	-1.76
15	95.89	/	101.14	5.48
16	97.71	/	99.22	1.55

MM4F

Eisdicke 12 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	452.00	/	444.46	-1.67
2	452.01	/	444.53	-1.65
3	346.95	/	356.57	2.77
4	342.89	/	357.37	4.22
5	243.46	/	280.60	15.26
6	243.46	/	280.60	15.26
7	371.09	/	391.03	5.37
8	372.61	/	390.73	4.86
9	175.56	/	253.70	44.51
10	175.56	/	253.70	44.51
11	241.83	/	234.91	-2.86
12	237.11	/	226.30	-4.56
13	190.04	/	188.14	-1.00
14	190.04	/	188.16	-0.99
15	94.10	/	100.52	6.82
16	93.04	/	95.55	2.70

MN4F

Eisdicke 12 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	452.05	/	457.55	1.22
2	452.06	/	457.62	1.23
3	405.25	/	400.92	-1.07
4	395.65	/	396.90	0.32
5	267.34	/	295.31	10.46
6	267.34	/	295.30	10.46
7	340.20	/	367.31	7.97
8	336.70	/	362.10	7.54
9	233.61	/	279.68	19.72
10	233.61	/	279.68	19.72
11	260.44	/	247.51	-4.96
12	247.08	/	238.53	-3.46
13	193.03	/	191.37	-0.86
14	193.03	/	191.38	-0.85
15	97.52	/	103.83	6.47
16	88.67	/	91.60	3.30

SH4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	612.74	/	616.84	0.67
2	612.76	/	616.90	0.68
3	567.76	/	527.65	-7.06
4	545.47	/	522.87	-4.14
5	501.17	/	482.41	-3.74
6	501.17	/	482.41	-3.74
7	562.04	/	609.47	8.44
8	549.28	/	594.54	8.24
9	347.75	/	401.03	15.32
10	347.75	/	401.07	15.33
11	355.43	/	374.03	5.23
12	329.59	/	337.38	2.36
13	214.23	/	221.18	3.24
14	214.23	/	221.19	3.25
15	116.16	/	127.95	10.15
16	95.34	/	100.13	5.02

SN4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	667.70	/	675.29	1.14
2	667.70	/	675.35	1.15
3	626.61	/	589.19	-5.97
4	599.68	/	575.80	-3.98
5	481.74	/	475.06	-1.39
6	481.74	/	475.06	-1.39
7	515.24	/	577.64	12.11
8	490.94	/	550.95	12.22
9	373.20	/	409.17	9.64
10	373.20	/	409.17	9.64
11	357.33	/	338.78	-5.19
12	308.88	/	289.25	-6.36
13	241.88	/	233.14	-3.61
14	241.88	/	233.17	-3.60
15	126.03	/	137.67	9.24
16	83.06	/	89.52	7.78

YM6F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	887.00	/	848.57	-4.33
2	887.01	/	848.66	-4.32
3	836.63	/	764.59	-8.61
4	818.49	/	756.24	-7.61
5	736.93	/	702.66	-4.65
6	736.94	/	702.71	-4.64
7	754.22	/	761.78	1.00
8	742.59	/	749.50	0.93
9	623.47	/	585.03	-6.17
10	623.47	/	585.15	-6.15
11	618.40	/	564.77	-8.67
12	589.99	/	555.42	-5.86
13	498.62	/	499.02	0.08
14	498.63	/	499.02	0.08
15	538.84	/	586.92	8.92
16	514.47	/	558.46	8.55
17	345.30	/	390.22	13.01
18	345.30	/	390.23	13.01
19	322.39	/	356.31	10.52
20	284.92	/	310.35	8.93
21	219.68	/	225.79	2.78
22	219.69	/	225.80	2.78
23	112.36	/	115.27	2.59
24	69.92	/	75.09	7.39

ZH6F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	764.76	/	738.92	-3.38
2	764.76	/	739.00	-3.37
3	725.40	/	674.63	-7.00
4	712.16	/	670.30	-5.88
5	655.31	/	634.66	-3.15
6	655.31	/	634.72	-3.14
7	684.56	/	689.00	0.65
8	677.70	/	681.56	0.57
9	557.76	/	545.63	-2.17
10	557.78	/	545.73	-2.16
11	537.33	/	507.76	-5.50
12	516.85	/	479.52	-7.22
13	435.21	/	438.97	0.86
14	435.23	/	439.03	0.87
15	479.37	/	520.57	8.59
16	463.59	/	501.66	8.21
17	299.99	/	337.44	12.48
18	300.01	/	337.53	12.51
19	287.87	/	319.50	10.99
20	260.48	/	285.61	9.65
21	174.93	/	188.64	7.84
22	174.95	/	188.64	7.83
23	93.81	/	93.68	-0.14
24	60.23	/	63.62	5.63

ZM6F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	786.03	/	757.43	-3.64
2	786.03	/	757.51	-3.63
3	744.12	/	691.17	-7.12
4	729.38	/	684.08	-6.21
5	665.38	/	642.70	-3.41
6	665.38	/	642.75	-3.40
7	684.03	/	692.91	1.30
8	675.08	/	683.80	1.29
9	562.02	/	544.75	-3.07
10	562.02	/	544.85	-3.06
11	544.73	/	508.31	-6.69
12	521.41	/	483.70	-7.23
13	440.43	/	440.79	0.08
14	440.47	/	440.79	0.07
15	475.33	/	519.71	9.34
16	454.63	/	496.57	9.23
17	296.49	/	337.30	13.76
18	296.50	/	337.30	13.76
19	289.19	/	320.05	10.67
20	256.08	/	280.76	9.64
21	181.93	/	191.15	5.07
22	181.94	/	191.16	5.07
23	98.44	/	96.95	-1.51
24	58.75	/	62.37	6.16

XH4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	507.17	/	500.27	-1.36
2	507.20	/	500.37	-1.35
3	488.71	/	457.81	-6.32
4	475.97	/	454.56	-4.50
5	391.05	/	398.44	1.89
6	391.06	/	398.49	1.90
7	436.91	/	480.79	10.04
8	430.23	/	471.26	9.54
9	273.15	/	316.38	15.83
10	273.17	/	316.38	15.82
11	284.63	/	302.13	6.15
12	263.22	/	273.24	3.81
13	172.88	/	181.11	4.76
14	172.89	/	181.12	4.76
15	85.84	/	97.01	13.01
16	68.35	/	73.11	6.96

XM4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	525.96	/	519.03	-1.32
2	525.97	/	519.12	-1.30
3	491.97	/	465.06	-5.47
4	477.86	/	460.93	-3.54
5	388.02	/	392.72	1.21
6	388.02	/	392.77	1.22
7	427.81	/	476.59	11.40
8	418.62	/	465.06	11.09
9	278.79	/	322.21	15.57
10	278.79	/	322.22	15.58
11	280.01	/	290.36	3.70
12	253.78	/	256.65	1.13
13	182.16	/	180.92	-0.68
14	182.16	/	180.92	-0.68
15	88.66	/	99.15	11.83
16	66.07	/	70.84	7.22

XN4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	569.12	/	566.91	-0.39
2	569.12	/	567.00	-0.37
3	541.16	/	508.78	-5.98
4	518.59	/	497.76	-4.02
5	436.18	/	417.65	-4.25
6	436.18	/	417.65	-4.25
7	430.64	/	485.36	12.71
8	411.79	/	465.16	12.96
9	326.43	/	348.54	6.77
10	326.43	/	348.54	6.77
11	295.28	/	291.05	-1.43
12	253.65	/	242.27	-4.49
13	198.74	/	188.13	-5.34
14	198.75	/	188.13	-5.34
15	100.31	/	108.64	8.30
16	62.99	/	67.75	7.56

YH4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	503.57	/	487.98	-3.10
2	503.59	/	488.07	-3.08
3	492.18	/	468.51	-4.81
4	480.01	/	452.59	-5.71
5	394.70	/	404.17	2.40
6	394.71	/	404.24	2.41
7	422.51	/	461.83	9.31
8	416.20	/	453.80	9.03
9	272.06	/	303.88	11.70
10	272.08	/	303.88	11.69
11	272.63	/	291.15	6.79
12	250.20	/	262.87	5.06
13	165.56	/	171.30	3.47
14	165.57	/	171.31	3.47
15	89.76	/	93.64	4.32
16	64.05	/	67.57	5.50

YM4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	521.75	/	506.44	-2.93
2	521.75	/	506.53	-2.92
3	494.53	/	466.23	-5.72
4	480.62	/	456.29	-5.06
5	395.16	/	399.39	1.07
6	395.19	/	399.46	1.08
7	415.49	/	459.70	10.64
8	406.59	/	449.66	10.59
9	281.56	/	312.12	10.85
10	281.59	/	312.13	10.85
11	269.72	/	283.31	5.04
12	242.80	/	250.52	3.18
13	174.44	/	173.12	-0.76
14	174.45	/	173.12	-0.76
15	93.13	/	95.76	2.82
16	62.44	/	66.05	5.78

YN4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	567.32	/	557.36	-1.76
2	567.32	/	557.45	-1.74
3	539.17	/	501.82	-6.93
4	516.90	/	490.25	-5.16
5	444.06	/	425.08	-4.27
6	444.06	/	425.09	-4.27
7	422.69	/	474.24	12.20
8	403.73	/	455.43	12.81
9	325.85	/	342.18	5.01
10	325.86	/	342.19	5.01
11	285.40	/	287.96	0.90
12	243.19	/	240.15	-1.25
13	192.29	/	183.98	-4.32
14	192.29	/	183.98	-4.32
15	106.19	/	105.02	-1.10
16	60.15	/	63.92	6.27

ZH4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	454.56	/	434.65	-4.38
2	454.63	/	434.73	-4.38
3	441.92	/	429.91	-2.72
4	431.95	/	416.81	-3.51
5	358.86	/	372.22	3.72
6	358.90	/	372.29	3.73
7	377.37	/	414.58	9.86
8	372.87	/	409.11	9.72
9	252.29	/	283.41	12.34
10	252.33	/	283.49	12.35
11	246.04	/	268.69	9.21
12	226.74	/	245.14	8.12
13	138.55	/	148.83	7.42
14	138.57	/	148.84	7.41
15	77.90	/	79.07	1.50
16	52.01	/	54.41	4.61

ZM4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	468.44	/	449.15	-4.12
2	468.47	/	449.23	-4.11
3	445.57	/	428.98	-3.72
4	434.11	/	414.30	-4.56
5	358.96	/	367.90	2.49
6	358.97	/	367.96	2.50
7	369.07	/	410.38	11.19
8	362.26	/	403.20	11.30
9	252.84	/	280.60	10.98
10	252.85	/	280.60	10.97
11	238.40	/	257.40	7.97
12	215.29	/	229.99	6.83
13	149.32	/	153.14	2.56
14	149.33	/	153.15	2.56
15	81.30	/	81.33	0.04
16	50.88	/	53.34	4.83

ZN4S

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	800.26	/	766.42	-4.23
2	800.27	/	766.44	-4.23
3	750.75	/	722.89	-3.71
4	728.02	/	712.84	-2.09
5	682.45	/	673.20	-1.36
6	682.45	/	673.20	-1.36
7	634.30	/	626.09	-1.29
8	457.51	/	466.86	2.04
9	442.55	/	438.28	-0.96
10	442.58	/	438.30	-0.97
11	370.14	/	392.50	6.04
12	306.35	/	337.01	10.01
13	234.93	/	231.85	-1.31
14	234.93	/	231.85	-1.31
15	197.95	/	185.33	-6.38
16	52.25	/	54.34	4.00

ZN4F

Eisdicke 24 cm

Punkt	max.Spannung	symm./unsymm.	vereist	delta [%]
1	510.95	/	495.77	-2.97
2	510.95	/	495.85	-2.96
3	481.07	/	448.49	-6.77
4	462.07	/	432.64	-6.37
5	401.17	/	393.72	-1.86
6	401.18	/	393.73	-1.86
7	373.82	/	422.82	13.11
8	357.92	/	407.95	13.98
9	290.50	/	309.52	6.55
10	290.51	/	309.52	6.54
11	248.85	/	261.92	5.25
12	212.17	/	221.38	4.34
13	167.21	/	164.88	-1.39
14	167.21	/	164.88	-1.39
15	95.37	/	90.34	-5.27
16	49.27	/	51.95	5.44

Maximale Vergrößerungen

der Eckstielspannungen $\Delta \sigma$ [%] und
der Seilkräfte ΔS [%]

durch unsymmetrischen Eisansatz:

Ein - in den Tabellen zeigt an, für welche Vereisungstärken die jeweilige Geometrie unter symmetrischer Eislast instabil wird.

6-fach Abgespannte Maste:

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
MH6F	del σ	5.16	-	-	-
	del S	1.03	-	-	-
MM6F	del σ	2.11	-	-	-
	del S	0.60	-	-	-
MN6F	del σ	1.94	-	-	-
	del S	-0.16	-	-	-
SH6M	del σ	2.26	1.34	-	-
	del S	1.27	0.31	-	-
SH6F	del σ	1.79	3.10	7.04	-
	del S	-0.09	0.04	0.63	-
SM6M	del σ	1.44	1.96	-	-
	del S	0.53	-0.67	-	-
SM6F	del σ	1.27	2.86	6.68	-
	del S	0.06	0.27	0.96	-
SN6M	del σ	1.85	-	-	-
	del S	-0.29	-	-	-

	Elsdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
SN6F	del Sig	1.39	2.58	5.64	-
	del S	0.50	0.86	1.35	-
XH6M	del Sig	0.89	1.99	4.47	-
	del S	0.61	-0.19	-1.92	-
XH6F	del Sig	1.67	3.45	8.03	-
	del S	-0.04	-0.06	0.35	-
XM6M	del Sig	1.04	2.78	-	-
	del S	0.07	-1.00	-	-
XM6F	del Sig	1.44	3.33	7.61	-
	del S	0.05	0.23	0.86	-
XN6M	del Sig	1.88	3.79	-	-
	del S	-0.21	-0.42	-	-
XN6F	del Sig	1.60	3.24	6.13	-
	del S	0.43	0.93	1.68	-
YH6S	del Sig	1.01	2.26	-	-
	del S	0.00	-0.40	-	-
YH6M	del Sig	0.56	1.88	4.26	-
	del S	0.25	-0.65	-1.41	-
YH6F	del Sig	1.09	3.02	6.52	6.83
	del S	-0.06	0.10	0.60	0.04
YM6M	del Sig	1.07	2.66	5.41	-
	del S	-0.19	-0.72	-1.24	-
YM6F	del Sig	1.01	2.73	6.17	13.01
	del S	0.14	0.42	1.16	3.24
YN6M	del Sig	1.83	4.00	7.92	-
	del S	-0.17	-0.37	-0.54	-
YN6F	del Sig	1.40	2.95	5.29	8.78
	del S	0.55	1.03	2.41	3.86

	Elsdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
ZH6S	del Sig del S	0.91 -0.10	1.94 -0.25	4.23 -0.24	- -
ZH6M	del Sig del S	0.60 0.06	1.78 -0.66	4.14 -1.06	9.14 -0.92
ZH6F	del Sig del S	0.86 0.01	2.78 0.24	5.14 0.89	12.51 3.12
ZM6S	del Sig del S	1.17 -0.02	3.00 0.03	- -	- -
ZM6M	del Sig del S	1.04 -0.30	2.53 -0.55	5.29 -0.87	- -
ZM6F	del Sig del S	0.94 0.22	2.49 0.59	5.08 1.56	13.76 3.93
ZN6M	del Sig del S	1.53 -0.08	3.93 -0.18	7.76 -0.13	- -
ZN6F	del Sig del S	1.28 0.68	2.76 1.31	5.45 3.05	9.87 5.52

4-fach Abgespannte Maste:

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
MH4S	del Sig	3.13	-	-	-
	del S	1.43	-	-	-
MH4M	del Sig	0.89	0.71	-	-
	del S	1.88	-0.08	-	-
MH4F	del Sig	1.37	3.04	45.28	-
	del S	-0.14	-0.65	-1.18	-
MM4S	del Sig	2.17	-	-	-
	del S	0.79	-	-	-
MM4M	del Sig	1.19	1.25	-	-
	del S	1.11	-0.74	-	-
MM4F	del Sig	1.57	3.98	44.51	-
	del S	-0.39	-0.51	-1.21	-
MN4M	del Sig	1.37	0.93	-	-
	del S	-0.32	-1.85	-	-
MN4F	del Sig	3.13	5.23	19.72	-
	del S	-0.07	-0.05	-1.40	-
SH4S	del Sig	0.21	0.26	0.75	-
	del S	0.34	-0.42	-2.57	-
SH4M	del Sig	1.28	0.38	1.22	-
	del S	0.44	-0.98	-2.13	-
SH4F	del Sig	0.54	2.06	9.72	15.33
	del S	-0.31	-0.23	-0.26	-0.22

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
SM4S	del Sig	0.06	0.52	1.47	-
	del S	-0.05	-0.93	-2.49	-
SM4M	del Sig	0.67	0.37	1.48	-
	del S	0.02	-1.45	-2.05	-
SM4F	del Sig	1.29	2.62	6.01	-
	del S	-0.04	0.02	0.13	-
SN4S	del Sig	0.24	0.89	-	-
	del S	-0.39	-0.44	-	-
SN4M	del Sig	0.62	1.25	2.96	-
	del S	-0.53	-0.82	-1.63	-
SN4F	del Sig	2.72	4.93	8.70	12.22
	del S	0.26	0.83	1.35	-0.63
XH4S	del Sig	0.38	0.82	2.96	5.66
	del S	0.08	-0.63	-1.24	0.04
XH4M	del Sig	0.20	1.09	2.43	5.77
	del S	0.01	-0.95	-1.82	-3.19
XH4F	del Sig	0.75	2.68	6.22	15.83
	del S	-0.19	-0.26	-0.22	-0.03
XM4S	del Sig	0.73	1.48	3.92	-
	del S	-0.23	-0.81	-0.99	-

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
XM4M	del Sig	0.48	1.58	2.95	7.61
	del S	-0.26	-0.98	-1.84	-3.18
XM4F	del Sig	1.22	2.70	5.80	15.58
	del S	0.01	0.09	0.41	0.63
XN4S	del Sig	0.27	1.56	3.67	-
	del S	-0.14	-0.38	-0.60	-
XN4M	del Sig	0.81	2.36	4.64	6.85
	del S	-0.22	-0.46	-1.17	-2.26
XN4F	del Sig	2.27	4.53	8.42	12.96
	del S	0.46	0.97	1.67	1.38
YH4S	del Sig	0.40	0.88	2.29	4.98
	del S	-0.08	-0.79	-1.08	-0.96
YH4M	del Sig	0.23	1.10	2.49	5.82
	del S	-0.22	-0.78	-1.48	-2.60
YH4F	del Sig	0.54	1.40	3.86	11.70
	del S	-0.10	-0.07	0.24	1.31
YM4S	del Sig	0.61	1.63	3.27	6.30
	del S	-0.35	-0.89	-0.65	-0.06
YM4M	del Sig	0.55	1.14	3.12	5.73
	del S	-0.40	-0.78	-1.45	-2.43
YM4F	del Sig	1.13	2.48	5.44	10.85
	del S	0.08	0.33	0.88	2.16
YN4S	del Sig	0.26	1.56	4.11	8.62
	del S	-0.17	-0.15	-0.13	0.19
YN4M	del Sig	0.77	2.49	4.82	7.80
	del S	-0.11	-0.37	-0.66	-1.14
YN4F	del Sig	2.15	4.31	8.07	12.81
	del S	0.64	1.36	2.60	3.73

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
ZH4S	del Sig del S	0.43 -0.17	0.95 -0.85	2.12 -1.30	4.71 -1.02
ZH4M	del Sig del S	0.35 -0.24	1.30 -0.64	2.93 -1.19	6.16 -1.64
ZH4F	del Sig del S	0.57 -0.04	1.45 0.05	3.96 0.53	12.35 2.09
ZM4S	del Sig del S	0.51 -0.39	1.70 -0.89	3.46 -0.88	6.69 -0.10
ZM4M	del Sig del S	0.69 -0.49	1.46 -0.62	3.82 -1.22	6.99 -1.64
ZM4F	del Sig del S	1.17 0.16	2.55 0.50	5.61 1.31	11.30 3.32
ZN4S	del Sig del S	0.47 0.10	1.74 0.11	4.88 0.40	10.01 1.15
ZN4M	del Sig del S	0.97 0.00	3.05 -0.13	5.82 -0.17	9.83 -0.18
ZN4F	del Sig del S	2.43 0.63	4.80 1.32	8.58 3.35	13.98 5.62

2-fach Abgespannte Maste:

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
WH2S	del Sig	2.19	4.53	-	-
	del S	0.58	-0.33	-	-
WH2M	del Sig	2.53	3.11	-	-
	del S	-0.77	-4.12	-	-
WH2F	del Sig	2.79	0.77	-	-
	del S	0.92	-1.21	-	-
WM2S	del Sig	1.35	2.20	-	-
	del S	0.11	-1.22	-	-
WM2M	del Sig	1.35	1.57	-	-
	del S	-1.10	-3.61	-	-
WM2F	del Sig	0.60	0.58	-	-
	del S	0.01	-1.26	-	-
WN2S	del Sig	0.99	0.75	-	-
	del S	0.69	-0.81	-	-
WN2M	del Sig	0.53	0.23	-	-
	del S	1.06	-1.46	-	-
WN2F	del Sig	0.67	2.29	-	-
	del S	-1.04	-1.32	-	-
MH2S	del Sig	1.38	0.74	1.22	5.38
	del S	0.49	-0.29	-3.58	-5.68
MH2M	del Sig	0.50	-0.23	-0.86	4.88
	del S	0.42	-1.09	-3.72	-3.34
MH2F	del Sig	0.15	-0.51	2.45	9.21
	del S	-0.51	-0.78	-1.52	-1.85

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
MM2S	del Sig	1.00	0.67	1.63	3.58
	del S	0.27	-0.52	-3.30	-4.87
MM2M	del Sig	0.66	-0.17	-0.62	5.76
	del S	0.19	-1.30	-3.35	-2.93
MM2F	del Sig	0.50	-0.24	2.52	9.78
	del S	-0.67	-1.01	-1.80	-2.03
MN2S	del Sig	0.37	0.69	2.02	3.02
	del S	-0.62	-1.34	-2.33	-2.71
MN2M	del Sig	0.59	0.28	0.59	7.48
	del S	-0.65	-1.77	-2.73	-2.77
MN2F	del Sig	0.97	0.38	3.10	9.73
	del S	-0.70	-1.00	-1.88	-2.88
SH2S	del Sig	0.02	-0.02	-0.25	-0.89
	del S	0.04	-0.63	-1.70	-2.63
SH2M	del Sig	0.33	0.19	0.51	2.17
	del S	-0.15	-1.31	-2.39	-2.62
SH2F	del Sig	0.47	-0.24	1.46	6.11
	del S	-0.41	-0.78	-1.39	-2.12
SM2S	del Sig	0.02	-0.06	-0.14	-0.53
	del S	-0.11	-0.83	-1.34	-2.22
SM2M	del Sig	0.08	0.21	0.58	2.10
	del S	-0.31	-1.37	-2.27	-2.37
SM2F	del Sig	0.62	-0.09	1.17	6.21
	del S	-0.63	-0.96	-1.70	-2.32

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
SN2S	del Sig	0.44	0.42	1.58	3.22
	del S	-0.08	-0.11	-0.11	-1.55
SN2M	del Sig	0.39	0.21	0.45	1.99
	del S	-0.60	-0.96	-1.67	-1.71
SN2F	del Sig	0.92	0.61	1.25	5.72
	del S	-0.45	-0.71	-1.55	-2.69
XH2S	del Sig	0.00	0.03	-0.09	1.00
	del S	-0.09	-0.40	-0.55	-0.63
XH2M	del Sig	0.12	0.00	0.88	2.72
	del S	-0.34	-0.99	-1.62	-1.21
XH2F	del Sig	0.37	-0.16	2.59	7.54
	del S	-0.37	-0.78	-1.60	-2.25
XM2S	del Sig	0.08	0.00	0.00	1.63
	del S	-0.20	-0.25	-0.14	-0.06
XM2M	del Sig	-0.02	-0.05	0.72	2.90
	del S	-0.47	-0.89	-1.60	-1.22
XM2F	del Sig	0.58	-0.05	2.20	7.33
	del S	-0.54	-1.05	-1.89	-2.59
XN2S	del Sig	0.66	1.84	3.86	6.02
	del S	0.04	0.12	0.52	0.73
XN2M	del Sig	0.47	0.67	1.81	4.18
	del S	-0.49	-0.73	-1.37	-0.70
XN2F	del Sig	0.81	0.53	1.93	6.38
	del S	-0.41	-0.96	-1.68	-2.83

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
YH2S	del Sig	0.00	0.00	-0.03	0.74
	del S	-0.15	-0.33	-0.02	0.89
YH2M	del Sig	0.08	-0.03	0.15	2.23
	del S	-0.41	-0.68	-1.08	-1.12
YH2F	del Sig	0.32	-0.15	1.56	5.71
	del S	-0.33	-0.69	-1.40	-1.97
YM2S	del Sig	0.11	-0.06	-0.05	1.62
	del S	-0.03	0.09	0.66	1.86
YM2M	del Sig	-0.03	-0.06	0.25	2.60
	del S	-0.40	-0.63	-0.96	-0.91
YM2F	del Sig	0.49	-0.06	1.09	5.37
	del S	-0.44	-0.94	-1.67	-2.36
YN2S	del Sig	0.61	1.55	3.74	6.69
	del S	0.31	0.59	1.49	3.38
YN2M	del Sig	0.49	0.73	1.62	4.37
	del S	-0.32	-0.39	-0.73	-0.20
YN2F	del Sig	0.71	0.47	0.85	4.03
	del S	-0.30	-0.74	-1.42	-2.40
ZH2S	del Sig	0.00	0.00	-0.03	1.05
	del S	-0.20	-0.14	0.42	2.14
ZH2M	del Sig	0.09	0.00	0.06	2.29
	del S	-0.32	-0.46	-0.59	-0.34
ZH2F	del Sig	0.27	-0.14	1.10	3.76
	del S	-0.30	-0.62	-1.22	-1.66

	Eisdicke	3 cm	6 cm	12 cm	24 cm
Geometrie					
ZM2S	del Sig	0.14	-0.05	-0.09	1.68
	del S	0.07	0.31	1.16	3.25
ZM2M	del Sig	-0.04	-0.02	-0.05	2.75
	del S	-0.26	-0.35	-0.32	-0.12
ZM2F	del Sig	0.44	-0.07	0.42	3.24
	del S	-0.35	-0.85	-1.51	-2.22
ZN2S	del Sig	0.75	1.31	3.73	7.37
	del S	0.42	0.88	2.36	5.67
ZN2M	del Sig	0.54	0.89	1.68	4.93
	del S	-0.17	-0.21	-0.09	0.46
ZN2F	del Sig	0.68	0.50	0.18	2.12
	del S	-0.36	-0.52	-1.04	-1.90

Englische Kurzfassung:

Almost every winter there are reports on damages and building collapses due to the effect of icing. Well-known examples are transmission towers collapsing through torsional stress due to rupture of iced cables. Icing combined with wind strain is responsible for a number of collapses of guyed masts abroad (United Kingdom, Finland).

Ice loading based on the standards has to be rated as a traffic load, i.e. ice-loading should be calculated as having an unfavorable effect on the structural member examined. For practical calculations, however, this means an intolerable amount of work, so that it is considered sufficient to assume an even degree of icing in each component of the mast shaft and the cables. This is not realistic, however. The subcooled rain drops carried by the wind hit the windward cables roughly perpendicular. Thick ice barrels develop on these cables. The leeward cables lie roughly parallel to the direction in which the rain drops fall, and therefore suffer much less icing.

On the basis of present knowledge, it is difficult to make any statements on the exact extent of icing to be expected in Germany. Therefore, this project only calculates the effect of given icing.

This report describes what consequences the effect described above has on the stability of guyed masts. On the basis of extensive parametric studies their behaviour under the influence of symmetrical and asymmetrical icing has been examined. More than 6,000 parameter cases have been studied in this context. The result is a good survey of the strain of guyed masts under ice and wind loading. The results show that in the case of radial ice thickness up to 6 cm calculation and design of masts does not necessitate the consideration of asymmetrical icing. For buildings on which higher degrees of icing are to be expected, the strain especially on the mast shaft can be much higher. Here, the parametric study gives indications on the range of the increase of stress and on which combinations of loading cases they are based.

Französische Kurzfassung:

Presque chaque hiver on annonce des détériorations et des écroulements des structures, lesquels peuvent être ramenés à l'action du givrage. Ainsi les pylônes pour lignes électriques qui défaillassent sous la sollicitation de torsion par suite de la rupture des câbles givrés, sont des exemples bien connus. L'action combinée du givrage et de la charge de vent est responsable d'une série d'écroulements des mâts haubanés à l'étranger (Angleterre, Finlande).

La charge équivalente à l'action de la glace proposée par les normes peut être considérée comme surcharge, c'est-à-dire que celle-ci doit être appliquée de sorte que son effet soit défavorable pour l'élément de construction considéré. Cela signifie cependant un effet fastidieux de travail quant au calcul statique (usuel); raison pour laquelle on admet un givrage uniforme de chaque élément de construction du fût de pôteau et des galhaubans. Cette démarche ne correspond cependant pas à la réalité. Les gouttes de pluie surrefroidies, transportées par le vent, tombent à peu près perpendiculairement à la sécante des câbles exposés au vent, sur lesquels un limon important de glace se forme. Les câbles sous le vent se trouvent à peu près parallèlement à la direction des gouttes de pluie et sont par conséquent moins exposés à l'action du givrage.

L'état de connaissance actuel ne permet pas de prévoir exactement les épaisseurs de givrage aux quelles on puet s'attendre en République Fédérale d'Allemagne (R.F.A.); raison pour laquelle on étudie dans ce projet les effets d'un givrage donné.

Ce présent rapport décrit l'action des effets déjà expliqués sur la stabilité statique des pylônes haubanés. Leur comportement sous l'action asymétrique et symétrique du givrage a été examiné à l'aide des études détaillées de plusieurs paramètres. A cet effet, 600 cas de paramètres ont été traités donnant ainsi une bonne vue d'ensemble sur la sollicitation des pylônes haubanés sous l'action de la glace au vent.

Ce rapport montre que pour les épaisseurs de givrage allant jusqu'à 6 cm, la prise en considération des cas de charge incluant un givrage asymétrique n'est pas nécessaire pour le calcul et le dimensionnement du mât. Pour les structures auxquelles on peut s'attendre à des épaisseurs de givrage plus grandes, il peut y apparaître une augmentation très importante de la sollicitation, en particulier cell du fût de pôteau. L'étude des paramètres montre ici dans quel ordre de grandeur l'augmentation des contraintes varie ainsi que les cas de charge qui y sont associés.