

Großversuche zur Ermittlung der
Tragsicherheit abgespannter Maste unter
der Einwirkung von Seilbruch

T 2735

T 2735

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. 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.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2007

ISBN 978-3-8167-

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

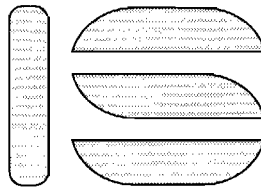
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Technische Universität Braunschweig
Institut für Stahlbau
Prof. Dr.-Ing. U. Peil



**Großversuche zur Ermittlung der
Tragsicherheit abgespannter Maste unter der
Einwirkung von Seilbruch**

Bericht Nr. 6321

Förderer: Deutsches Institut für Bautechnik

Dieser Bericht besteht aus 8 Seiten und 17 Anlagen

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51 · 38106 Braunschweig

Kurzfassung

Zur Ermittlung der Tragsicherheit abgespannter Maste unter der Einwirkung von Seilbruch wurden Dehnungsmessungen während des Abbruchs von vier Masten in Mainflingen durchgeführt. Bei den Masten handelte es sich um 84.2m hohe, in zwei Ebenen abgespannte Fachwerkgerüstmasten. Die Dehnungsmessungen erfolgten in einer Ebene ca. 2m unterhalb der unteren Abspannung. Sämtliche Diagonalen und Eckstiele der betrachteten Ebene wurden mit jeweils einer DMS-Vollbrücke bestückt. Da mehrere Meßobjekte zur Verfügung standen, konnte bezüglich des Versagens eines Abspannseils der unteren und der oberen Abspannung unterschieden werden. Die Meßergebnisse sind in den Anlagen grafisch dargestellt. Ihre Bewertung erfolgt im Rahmen eines parallelen Forschungsvorhabens.

Neben den Dehnungsmessungen wurden Videoaufzeichnungen mit mehreren Kameras und verschiedenen Perspektiven des Abbruchvorgangs angefertigt.

Abstract

In order to determine the bearing capacity of guyed masts under the effect of rope rupture, strain measurements were carried out during the demolition of four masts in Mainflingen. The masts were 84.2m high latticed masts guyed on two levels. The strain measurements were carried out on a level about 2m underneath the lower guying. Each of the diagonals and corner rods of the level observed was equipped with one strain gauge full bridge. As a number of measurement objects were available, a distinction was possible with regard to the failure of a guying line of the lower and upper guying. The measurement results are plotted in the enclosures. Their assessment will be carried out in the course of a parallel research project.

Alongside the strain measurements, video recordings were made with a number of cameras, showing varying perspectives of the demolition procedure.

Résumé

Des extensométries ont été effectuées, à Mainflingen, lors de la rupture de quatre pylônes, pour mesurer la sécurité de support des pylônes arrêtés soumis à une rupture de câble. Il s'agit de pylônes en treillis arrêtés à deux niveaux ayant une hauteur de 84,2m. Les extensométries ont été effectuées sur un seul niveau, à environ 2m en dessous du hauban inférieur. Chaque diagonale et chaque mât d'angle du niveau de mesurage ont été équipés d'un pont à jauge extensométrique. Comme il y avait plusieurs objets de mesurage, on pouvait bien distinguer, en ce qui

concerne la défaillance du câble d'arrêt, le hauban inférieur du hauban supérieur. Les résultats de mesurage sont illustrés dans les tableaux en annexe. Leur évaluation fera l'objet d'un projet de recherche parallèle.

Des enregistrements vidéo avec plusieurs caméras, et de différentes perspectives sur l'action de rupture, ont accompagné les extensométries

1 Einführung

Bedingt durch die relativ große Zahl von Einstürzen abgespannter Maste in den letzten Jahren, wird die Frage nach der Abhängigkeit der Standsicherheit von einem einzelnen Bauelement, dem Seil, zunehmend diskutiert (vgl. z.B. den Einsturz des 642m-Mastes bei Warschau im Sommer 1991 durch Versagen einer Seilanschlußkonstruktion). Erste Untersuchungen auf rein statischer Grundlage wurden gemeinsam mit Prof. Scheer bereits im Jahre 1984 durchgeführt /1/. Die dort untersuchten Vielseilabspannungen sind jedoch aus technischen Gründen (z.B. Funktechnik) nicht immer realisierbar. Darüberhinaus stellt eine statische Betrachtung allenfalls eine grobe Abschätzung des zu erwartenden Tragverhaltens dar: bedingt durch die dynamischen Effekte wird in der Realität bereits ein Einsturz eintreten, der durch eine statische Berechnung noch nicht prognostiziert wird.

Im Rahmen eines vom Institut für Bautechnik geförderten Vorhabens, werden zur Zeit mit Hilfe theoretischer Methoden, Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung des Traglastzustandes unter Seilbruch und Starkwind erarbeitet /2/. In Anbetracht der dabei zu treffenden Annahmen, z.B. über das

- komplizierte Verhalten des Werkstoffs unter wiederholter oder zyklischer Beanspruchung /2/, der
- Erfassung der Ausfachung durch ein (praxisnahes) Stabersatzmodell (die Abbildung aller Füllstäbe ist in der Praxis zu aufwendig), wobei die Füllstäbe selbst auch plastizieren oder ausknicken können und der
- Seildynamik bei großen Schwingungsamplituden /3,4/

ist eine experimentelle Überprüfung der theoretischen Ergebnisse notwendig.

In Anbetracht dieser Situation wurden deshalb 4 Funkmaste der Telekom AG auf der Sendestelle Mainflingen (Aschaffenburg) durch Kappen definierter Seile umgestürzt. Die Maste standen auf einem nicht bebauten Gelände und konnten deshalb beim Umsturz keinen größeren Schaden verursachen. Über installierte Meßsensoren (Dehnungsmeßstreifen) und Videokameras wurde das Verhalten der Maste während des Seilbruchs aufgezeichnet.

2 Ausgangssituation

Über das dynamische Verhalten abgespannter Maste bei Seilbruch, ist nach unserer Kenntnis nur in /7/ berichtet worden. Dabei wurde das geometrisch nichtlineare Verhalten eines abgespannten Mastes unter Windbelastung bzw. bei Seilbruch mit Hilfe einer Berechnung im Zeitbereich behandelt. Plastizierungen wurden nicht erfaßt, so daß Traglasten hiermit nicht

ermittelt werden können. Parameterstudien wurden ebenfalls nicht durchgeführt, so daß Verallgemeinerungen nicht möglich sind.

Von Lindner et.al. wurde in /8/ über Untersuchungen berichtet, einen abgespannten Mast mit Hilfe von zwischengeschalteten Gelenken so zu entwerfen, daß er im Versagensfall in definierter Weise einstürzt. Hierzu wurden ausführliche kinetische und kinematische Untersuchungen durchgeführt. Die Untersuchung ist ein wertvoller Beitrag zur Klärung der Einsturzmechanismen von Masten, für die hier in Rede stehende Problematik können jedoch nur begrenzt Informationen entnommen werden.

Im Rahmen eines kurz vor dem Abschluß stehenden Vorhabens, wird das Verhalten abgespannter Maste unter Starkwindbelastung und bei Seilbruch theoretisch genauer untersucht /2/. Es ist vorgesehen, die im Rahmen der Umsturzversuche erhaltenen Erkenntnisse mit in jenes Vorhaben zu integrieren. Dort werden auch Vergleichsrechnungen etc. vorgenommen.

3 Versuchsbeschreibung

3.1 Beschreibung der Meßobjekte

Die Messungen wurden an 84.2m hohen, in zwei Ebenen abgespannten Masten durchgeführt. Die Abmessungen der Maste und der Abspannungen sind Anlage 1 zu entnehmen. Die Meßebebene lag ca. 2m unterhalb der unteren Abspannung. Sie ist in Anlage 1 gekennzeichnet. Anlage 2 zeigt Photos vom gesamten Mastschaft und der Ausbildung des Fußpunktes. Die Abspannungen und die Meßebebene sind in Anlage 3 abgebildet. Anlage 4 zeigt die vier Masten und ihre Abspannungen im Grundriß. Alle nachfolgenden Angaben im Text beziehen sich auf die dort angegebene Numerierung der Masten, Diagonalen und Eckstiele.

Aus witterungsbedingten Gründen konnten nur drei der vier Maste mit DMS ausgestattet werden (1,3 und 4).

3.2 Meßausrüstung

Als Meßverstärker wurde eine *DMCPlus* der Firma Hottinger Baldwin Meßtechnik mit DV 55 Verstärkereinschüben (Trägerfrequenzmeßverstärker) eingesetzt. Da die Verbindungskabel zu den Meßbrücken ca. 150m lang waren, wurde ein spezielles kapazitätsarmes Meßkabel mit zweifacher Abschirmung (Gesamtschirm + Schirm um jedes Aderpaar) verwendet. Die eingesetzten Dehnungsmeßstreifen besaßen zwei unter 90° angeordnete Meßgitter mit einer Gitterlänge von 6mm und einem Nennwiderstand von 120Ω.

3.3 Applikation und Verkabelung der DMS

Die Dehnungsmeßstreifen wurden in einer Ebene ca. 2m unterhalb der unteren Abspannung appliziert (Anlagen 1 und 3). Alle Diagonalen und Eckstiele der betrachteten Schnittebene wurden mit DMS-Vollbrücken ausgestattet, insgesamt waren somit 8 Vollbrücken pro Mast erforderlich. Die DMS waren so geklebt, daß sie Biegeanteile um die η -Achse nicht erfaßten (Lage der DMS in der Nulllinie, s. Abb. 1).

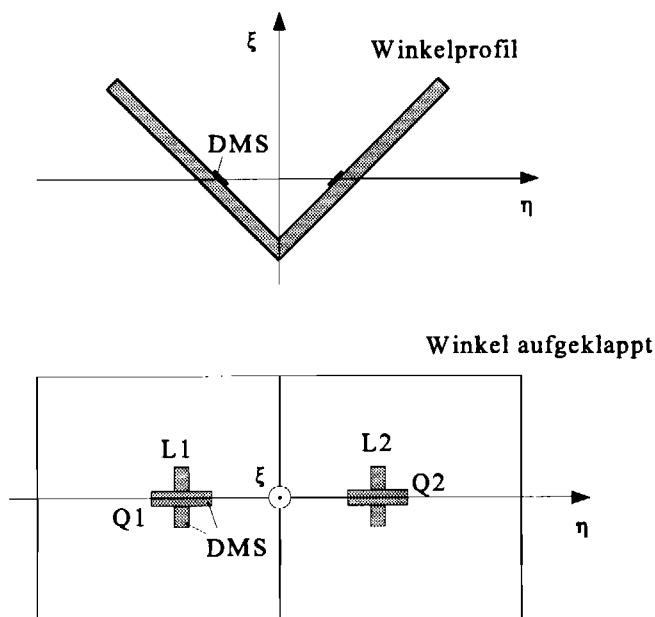


Abb. 1: Applikation der DMS in den Winkelprofilen. η und ξ sind Hauptachsen.

der die Versorgungsspannung am Meßverstärker automatisch entsprechend nachgeregelt wurde, so daß die Einhaltung der angenommenen Brückenversorgungsspannung gewährleistet war. Das Schema der Schaltung und die Anordnung der DMS innerhalb der Brücke zeigt Abb.2. Mit L sind die in Profillängsrichtung, mit Q die in Querrichtung geklebten DMS bezeichnet.

3.4 Durchführung der Messungen

Der Abriß der Maste erfolgte so, daß die beiden Seile einer Abspannrichtung nacheinander gekappt wurden. Die Reihenfolge beim Durchtrennen der Seile wurde variiert. Das Kappen des ersten Abspannseils führte in keinem der Fälle zum Einsturz. Bei einem

Biegeanteile um die ξ -Achse wurden durch die Verschaltung der DMS innerhalb der Wheatstoneschen Brücke eliminiert (s. Abb. 2), so daß die angezeigten Dehnungen nur Anteile aufgrund von Beanspruchungen in Stabrichtung beinhalteten. Temperaturbedingte Dehnungen wurden ebenfalls durch die Brückenschaltung kompensiert.

Aufgrund der langen Kabel und dem daraus resultierenden Spannungsabfall wurde eine Sechsliterschaltung verwendet, bei

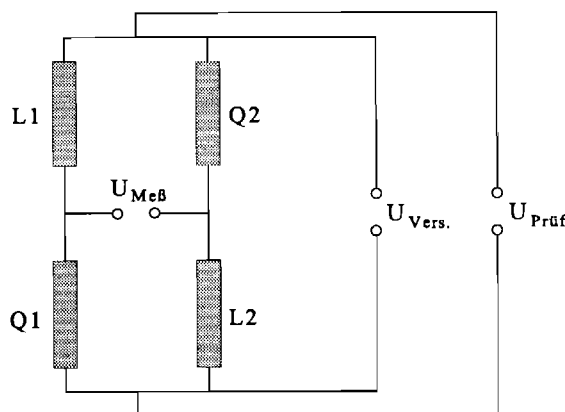


Abb. 2: Anordnung der DMS in der Meßbrücke.

der mit DMS ausgestatteten Maste (s. Anlage 4, Mast 1) wurde zuerst ein Seil der oberen Abspannung durchtrennt und danach das der unteren, bei den Masten 3 und 4 wurden zuerst die unteren und danach die zugehörigen oberen Abspannseile gekappt. Die Richtungen der Abspannungen, sowie die Reihenfolge beim Durchtrennen sind Anlage 4 zu entnehmen. Abbildung 8 in Anlage 5 zeigt den Mastschaft von Mast 3 nach dem Kappen eines Seiles der unteren Abspannebene. Die Durchbiegung des Schaftes ist erkennbar. Nach dem Durchtrennen des zweiten Seils fällt der Mast ohne einzuknicken um (Abbildung 9).

3.5 Darstellung der Meßergebnisse

Die Anlagen 6 bis 11 zeigen die gemessenen Dehnungen beim Kappen des jeweils ersten Abspannseils grafisch aufgetragen. Die Numerierung der Eckstiele und der Diagonalen entspricht der Darstellung in Anlage 4. Unmittelbar vor dem Durchtrennen der Seile wurden die Meßbrücken softwaremäßig abgeglichen (Definition des Nullpunktes). Das heißt, die aufgezeichneten Beanspruchungen sind die, die durch das Kappen der Seile entstanden sind, ihnen muß zur Ermittlung der tatsächlichen Spannung der Vorspannzustand überlagert werden.

Alle Signale wurden mit einer Meßrate von 60 Hz aufgezeichnet. Der Zeitpunkt des Kappens ist den Dehnungsverläufen zu entnehmen. Insbesondere die Schriebe der Maste 3 und 4, bei denen zuerst ein Abspannseil des unteren Seilsterns durchtrennt wurde, lassen bereits den Trennvorgang (Zerschneiden des Seils mit einem Trennschleifer) erkennen (vgl. Anlage 9).

Die aus der Beanspruchung resultierenden Biegeanteile spiegeln sich in den zur Zeitachse symmetrischen Verläufen der Eckstieldehnungen direkt wieder. Die Eckstieldehnungen sind insgesamt ein Stück in Richtung der positiven Dehnungsachse verschoben, was sich aus dem Wegfall der vertikalen Kraftkomponente des gekappten Seils erklärt.

Die Beanspruchungen im Mastschaft nach dem Kappen des zweiten Abspannseils tragen zur Klärung der eigentlichen Problematik nicht bei. Sie wurden der Vollständigkeit halber ebenfalls aufgezeichnet und in den Anlagen 12 bis 17 dargestellt. Die zunehmende Biegebeanspruchung im Meßquerschnitt während des Fallens ist gut erkennbar. Sie führte jedoch nicht zum Einknicken des Schaftes (vgl. Abbildung 9).

Widrige Witterungsbedingungen beim Applizieren der Dehnungsmeßstreifen führten dazu, daß einige der Meßstellen unbrauchbare Resultate lieferten. Die entsprechenden Meßkurven, die sich mit Hilfe der oben genannten Plausibilitätsbetrachtungen durch Vergleiche untereinander identifizieren ließen, wurden aus der grafischen Darstellung entfernt.

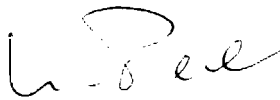
4 Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Tragsicherheit abgespannter Maste unter der Einwirkung von Seilbruch wurden Dehnungsmessungen während des Abbruchs von vier Masten in Mainflingen durchgeführt. Bei den Masten handelte es sich um 84.2m hohe, in zwei Ebenen abgespannte Fachwerkgerüstmasten. Die Dehnungsmessungen erfolgten in einer Ebene ca. 2m unterhalb der unteren Abspannung. Sämtliche Diagonalen und Eckstiele der betrachteten Ebene wurden mit jeweils einer DMS-Vollbrücke bestückt. Da mehrere Meßobjekte zur Verfügung standen, konnte bezüglich des Versagens eines Abspannseils der unteren und der oberen Abspannung unterschieden werden. Die Meßergebnisse sind in den Anlagen grafisch dargestellt.

Neben den Dehnungsmessungen wurden Videoaufzeichnungen mit mehreren Kameras und verschiedenen Perspektiven des Abbruchvorgangs angefertigt.

Theoretische Vergleichsrechnungen werden in einem parallelen Vorhaben durchgeführt.

Braunschweig, 02.07.96



Prof. Dr.-Ing. U. Peil



Dipl.-Ing. G. Telljohann

Literatur

- 1 Scheer, J., U. Peil: Multi guyed Masts. In : Masts and Towers for Radio and Television. IASS-Sympos. Bratislava 1981, 109-113.
- 2 Peil, U., M. Reinbold: Untersuchung der Tragsicherheit abgespannter Maste unter der Einwirkung von Starkwind oder Seilbruch. Zwischenbericht vom 11.11.1990.
- 3 Lazarides, N.: Zur dynamischen Berechnung abgespannter Maste und Kamine in böigem Wind unter besonderer Berücksichtigung der Seilschwingungen. Dissertation HBw, München/Neubiberg 1985.
- 4 Kärnä, T.: Dynamic and aeroelastic action of guy cables. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Espoo 1984.

- 5 Allsop,A.C.: Dynamic wind analysis of guyed masts, simplified methods. Master Thesis, University of Western Ontario, 1983.
- 6 Gerstof,P: Simplified methods for dynamic analysis of a guyed mast. Master Thesis, University of Western Ontario, 1984.
- 7 Buchholdt,H.A., S.Moossavinejad, I.Iannuzzi: Non linear dynamik analysis of guyed masts subjected to wind and guy rupture. Proc.Instn.Civ.Engrs. Part 2 1986, 81, 353-395.
- 8 Lindner,J., R.Gietzelt, J.Fehlau: Ein besonderer Sendemast für den SFB. Stahlbau 57 (1988), 289-297.
- 9 Peil,U., Nölle,H.: Wind- und Antwortmessungen an einem abgespannten Mast. D-A-CH Tagung der Windtechnologischen Gesellschaft, München 1989.
- 10 Peil,U., Nölle,H.: Windbelastung hoher Maste - Messungen und theoretische Vergleiche. Tagungsband des SFB 210 Fachkolloquium "Gestörte atmosphärische Grenzschicht". Karlsruhe 1990.
- 11 Peil,U., Nölle,H.: Windload and dynamic behavior of guyed masts. Proc. der CEEC-Conf. Aachen 1990.
- 12 Peil,U., Nölle,H.: Measurement of windload and response of a guyed mast. In. Structural dynamics, Proc. of the European conference on structural dynamics - **eurodyn '90**, Bochum 1990
- 13 Peil,U.: Schwingungsberechnungen im Stahlbau. In "Stahlbau-Handbuch, Band II", 1992.
- 14 Peil,U., H. Nölle: Guyed masts under wind load. In: Journ. of Wind eng. and industrial aerodynamics. New York, Elsevier 1991.
- 15 Nölle,H.: Schwingungsverhalten abgespannter Maste in böigem Wind. Dissertation Universität Karlsruhe 1991.

Anlagen

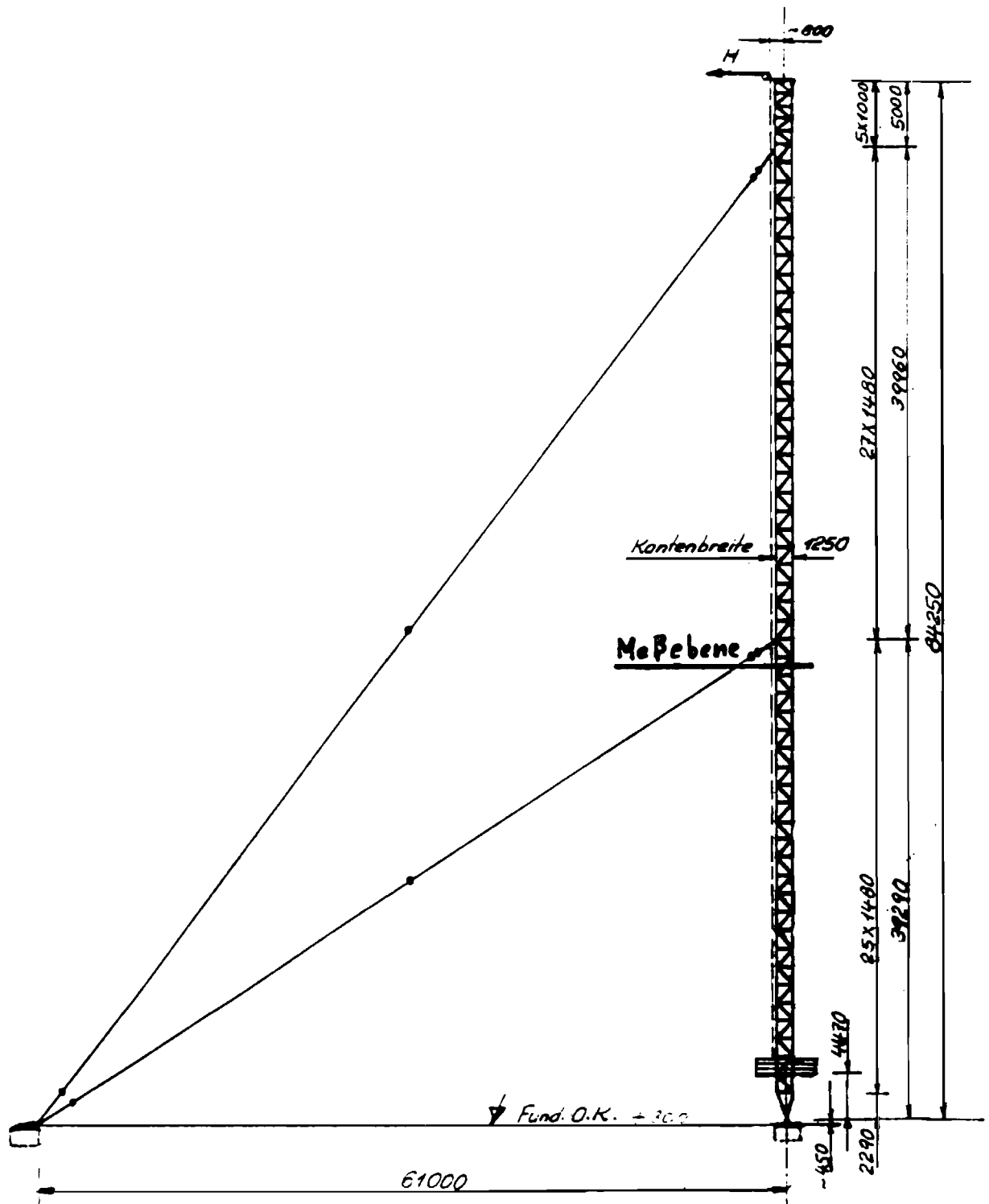


Abb. 3: Abmessungen des Mastschaftes und der Abspannungen. Die Ebene, in der die DMS-Vollbrücken geklebt wurden, ist gekennzeichnet.



Abb. 5: Ausbildung des Mastfußes.

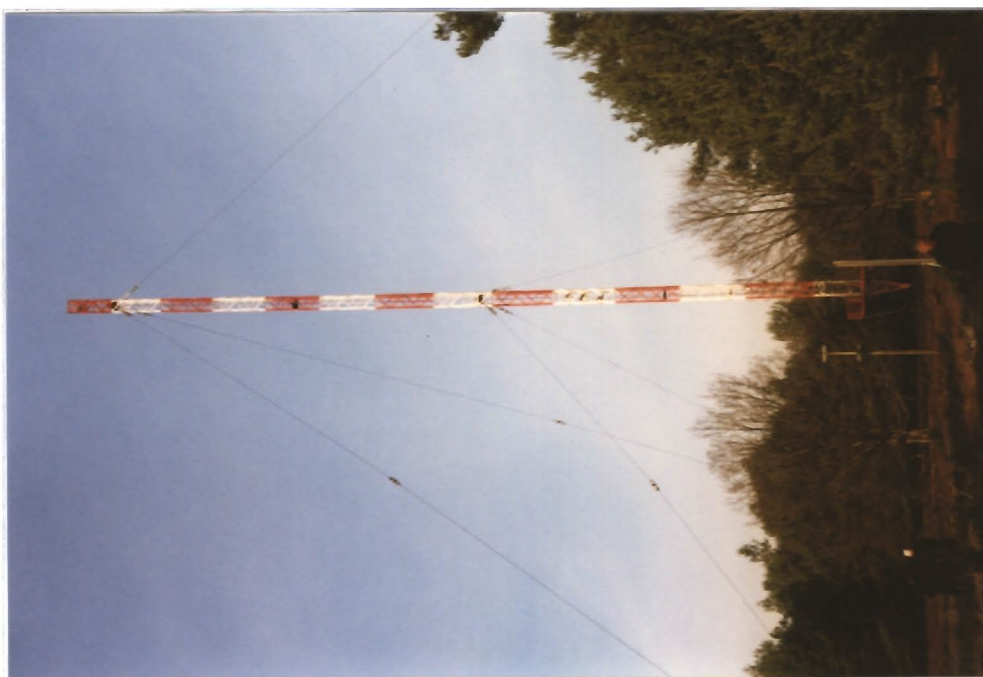


Abb. 4: Photo vom Mastschaft.

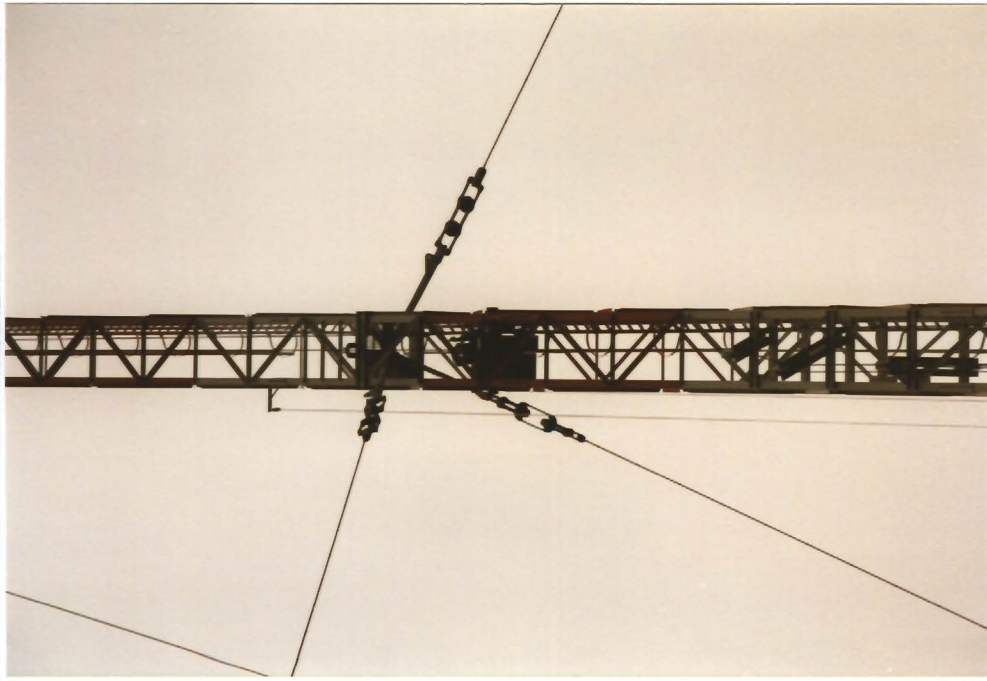


Abb. 7: Applikation der DMS in einer Ebene ca. 2 m unterhalb der unteren Abspannung.

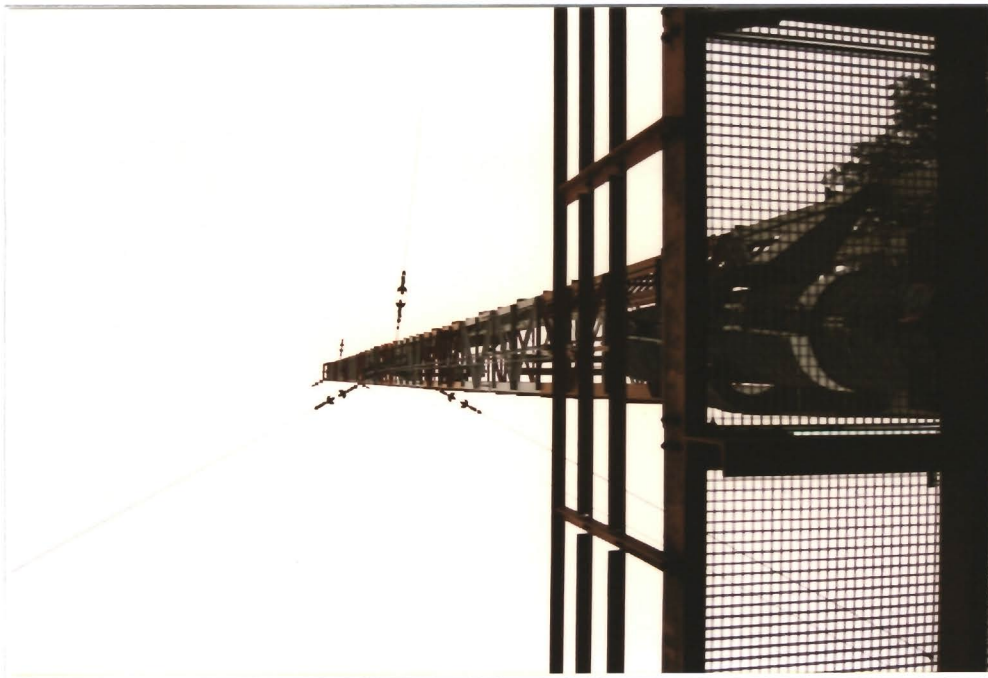
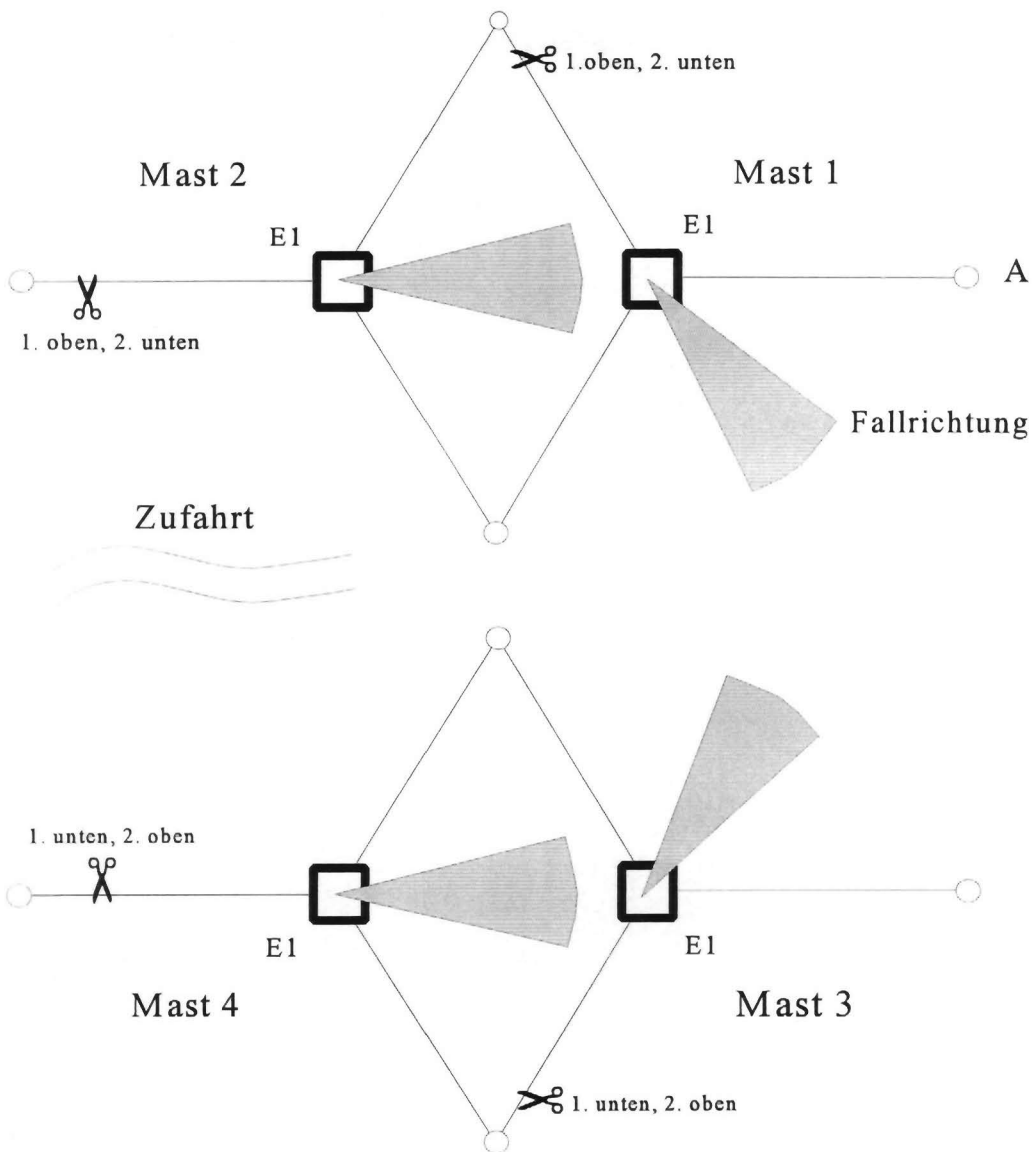


Abb. 6: Mast mit Seilabspannungen in zwei Ebenen.



Reihenfolge der Eckstiele (E) und Diagonalen (D),
ausgehend von E1:

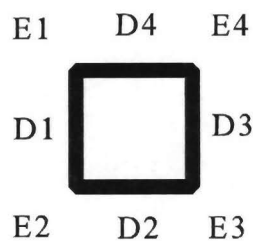


Abb. 8: Numerierung der Maste, Eckstiele und Diagonalen.

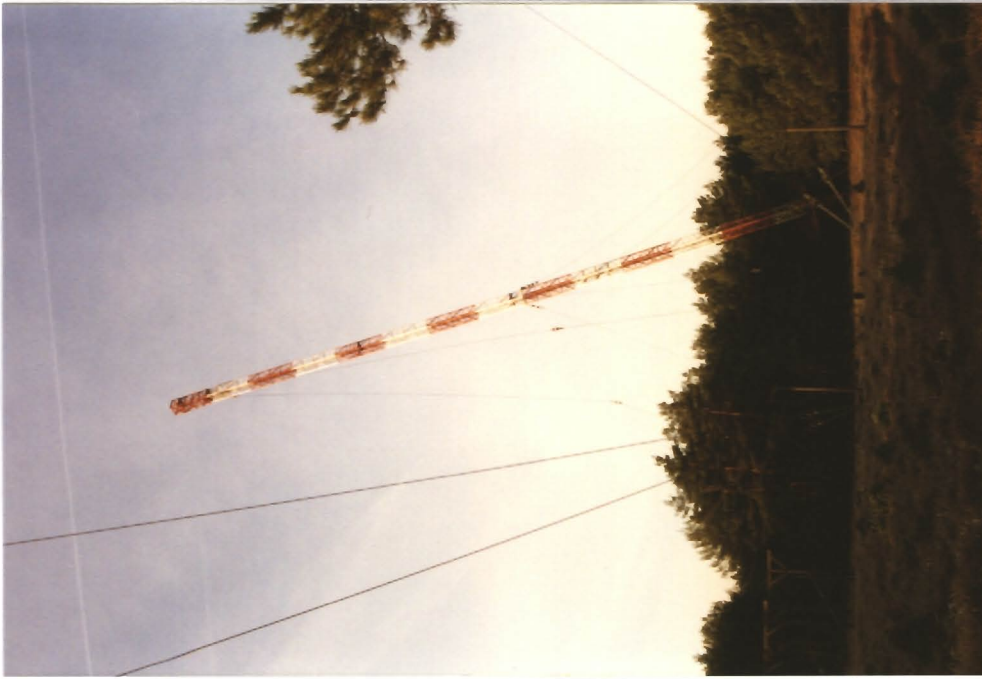


Abb. 9: Mast 3 nach dem Durchtrennen des zweiten Seils (obere Abspannebene).

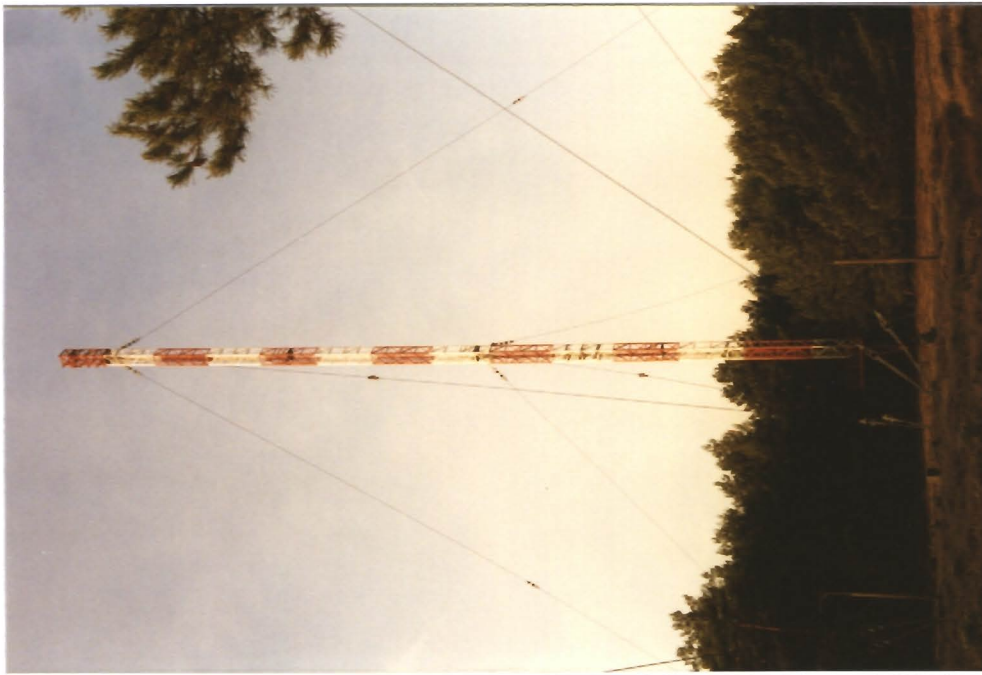


Abb. 8: Mast 3 nach dem Durchtrennen des ersten Seils (untere Abspannebene).

Mast 1, Kappen eines Abspannseils des oberen Seilsterns

— Eckstiel 1 — Eckstiel 2 — Eckstiel 3 — Eckstiel 4

