

Ermittlung von aerodynamischen Formbeiwerten für Fassadengerüste

T 796

T 796

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



Abschlußbericht

=====

zum

Forschungsvorhaben "Ermittlung von aerodynamischen Form-
beiwerten für Fassadengerüste"

Auftraggeber: Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 72 - 76
1000 Berlin 30
Az.: IV/1-5-195/79
IV/1-5-195/80

Umfang des Berichtes: Textseiten 1 - 42
Abbildungen 1 - 56

München, den 30. April 1981
A 1/79 Schn/Sc

Der Bearbeiter:



Schnabel

(Dipl.-Ing. Schnabel)
Baoberrat

Landesgewerbeamt Bayern
Aerodynamische Untersuchungsstelle
für bauliche Anlagen

I.V.

Sehser

(Dipl.-Ing. Sehser)
Baudirektor





Inhalt:

1. Untersuchungsobjekt
2. Definitionen und allgemeine Überlegungen
 - 2.1 Aerodynamische Kraftbeiwerte
 - 2.2 Bezugsflächen
 - 2.3 Reynolds'sche Zahl
3. Literaturlauswertung
 - 3.1 Angaben in den Normenblättern
 - 3.2 Bauelemente von Gerüsten
 - 3.2.1 Rohre
 - 3.2.2 Bretter
 - 3.3 Fachwerke
 - 3.3.1 Fachwerke aus kantigen Profilen
 - 3.3.2 Fachwerke aus Rohren
 - 3.4 Frei durchströmte Rohrgerüste
 - 3.5 Gerüste am Gebäude
 - 3.5.1 Untersuchungen am Gesamtgerüst
 - 3.5.2 Teilfeldmessungen
 - 3.6 Zusammenfassende Beurteilung des vorliegenden Materials
4. Beschreibung der Modellversuche
 - 4.1 Vorüberlegungen
 - 4.1.1 Modellmaßstab
 - 4.1.2 Anströmrichtungen, Kraftkomponenten
 - 4.2 Versuchsprogramm
 - 4.2.1 Messungen am Gesamtgerüst
 - 4.2.2 Teilfeldmessungen
 - 4.2.3 Messungen an Gerüstelementen
 - 4.3 Modelle
 - 4.3.1 Verkleinerte Gerüstmodelle
 - 4.3.2 Gerüstbauteile



- 4.4 Windkanäle
- 4.5 Meßeinrichtungen
 - 4.5.1 Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit
 - 4.5.2 Kraftmessung
 - 4.5.2.1 Sechskomponentenwaage im Darmstädter Windkanal
 - 4.5.2.2 Dehnungsmeßstreifenwaagen für die Versuche im Münchner Windkanal
- 5. Versuchsergebnisse
 - 5.1 Allgemeine Anmerkungen
 - 5.1.1 Wahl der Bezugsfläche
 - 5.1.2 Übereinstimmung der in verschiedenen Windkanälen ermittelten Versuchsergebnisse
 - 5.2 Frei durchströmtes Gerüst
 - 5.2.1 Abhängigkeit der Beiwerte von der Reynolds'schen Zahl
 - 5.2.2 Einfluß des Anströmwinkels
 - 5.2.3 Einfluß der Abbreterung
 - 5.3 Gerüste vor geschlossener Bauwerksfassade
 - 5.3.1 Einfluß des Anströmwinkels
 - 5.3.2 Einfluß der Gebäudeabmessungen
 - 5.3.3 Einfluß der Lage des Gerüsts am Gebäude
 - 5.4 Gerüste vor teilweise winddurchlässigen Fassaden
 - 5.4.1 Allgemeine Anmerkungen
 - 5.4.2 Einfluß der Anströmrichtung
 - 5.4.3 Einfluß der Winddurchlässigkeit des Gebäudes
 - 5.4.4 Einfluß der Lage der einzelnen Gerüstfelder
 - 5.5 Aerodynamische Kraftbeiwerte für Einzelelemente des Gerüsts
 - 5.5.1 Bord- und Belagbretter
 - 5.5.2 Beläge aus gelochten Stahlprofilen
 - 5.5.3 Geflechte
 - 5.5.4 Fanggerüste
- 6. Vorschlag für die Darstellung der aerodynamischen Kraftbeiwerte für Fassadengerüste im Rahmen der Norm
- 7. Zusammenfassung



Abbildung 1	Bezeichnung der Gerüstelemente nach DIN 4420
Abbildung 2	Koordinatensystem, Definitionen, Bezeichnungen
Abbildung 3	aerodynamischer Kraftbeiwert für ein Rohr in Abhängigkeit von der Re-Zahl
Abbildung 4	aerodynamische Kraftbeiwerte für ein ebenes und ein räumliches Fachwerk aus Rohren
Abbildung 5	c_{fx} -Werte für Gesamtgerüste ohne Gebäude und ohne Abbreterung
Abbildung 6	c_{fy} -Werte für Gesamtgerüste ohne Gebäude und ohne Abbreterung
Abbildung 7	c_{fz} -Werte für Gesamtgerüste ohne Gebäude und ohne Abbreterung
Abbildung 8	Einfluß der Abbreterung auf die aerodynamischen Kraftbeiwerte
Abbildung 9	c_{fx} -Werte für Gerüste ohne Abbreterung am Gebäude
Abbildung 10	c_{fy} -Werte für Gerüste ohne Abbreterung am Gebäude
Abbildung 11	c_{fz} -Werte für Gerüste ohne Abbreterung am Gebäude
Abbildung 12	Einfluß der Abbreterung auf die aerodynamischen Kraftbeiwerte für ein Gerüst am Gebäude
Abbildung 13	Verteilung der Windkräfte auf ein Gerüst am Gebäude
Abbildung 14 und 15	Versuchsprogramm Gesamtgerüst
Abbildung 16	Versuchsprogramm Teilfeldmessungen
Abbildung 17	Versuchsprogramm für Messungen an Einzel-elementen
Abbildung 18	Gerüstmodell: Vollscheibe
Abbildung 19	Gerüstmodell: Vollscheibe mit Fanggerüst
Abbildung 20	Gerüstmodell: Drittelscheibe
Abbildung 21	Gerüstmodell für Teilfeldmessungen



Abbildung 22	Zusammenstellung der untersuchten Gerüstbauteile
Abbildung 23	Versuchsaufbau im Windkanal in Darmstadt
Abbildung 24	Versuchsaufbau für die Kraftmessung an Gerüstbauteilen
Abbildung 25	Versuchsaufbau im Windkanal in München
Abbildung 26 und 27	Ergebnis der Kontrollmessungen
Abbildung 28	Abhängigkeit der aerodynamischen Beiwerte für ein frei durchströmtes Gerüst von der Re-Zahl
Abbildung 29	Abhängigkeit der Beiwerte für ein frei durchströmtes Gerüst vom Anströmwinkel
Abbildung 30	Abhängigkeit der aerodynamischen Beiwerte von der Anströmrichtung für ein Gerüst am Gebäude
Abbildung 31	Einfluß der Bauwerksabmessungen auf die aerodynamischen Beiwerte am Gerüst
Abbildung 32	Einfluß der Position des Gerüstes am Gebäude auf die Größe der aerodynamischen Beiwerte
Abbildung 33 - 38	Verlauf der Kraftbeiwerte für ein Gerüst vor einer winddurchlässigen Fassade in Abhängigkeit von der Anströmrichtung
Abbildung 39	Einfluß der Winddurchlässigkeit der Bauwerksfassade auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte (Gesamtgerüst)
Abbildung 40 - 45	Einfluß der Winddurchlässigkeit der Bauwerksfassade auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte (Gerüstteilfelder)
Abbildung 46	Zusammenstellung der maximalen Beiwerte für die einzelnen Gerüstfelder
Abbildung 47 - 49	Kraftbeiwerte für Stahlprofile in Abhängigkeit von der Anströmrichtung
Abbildung 50	Windkräfte auf ein Fanggerüst
Abbildung 51	Modell im Darmstädter Windkanal
Abbildung 52	Modell im Münchner Windkanal
Abbildung 53	Meßraum in München



- Abbildung 54 a - m Zusammenstellung der Versuchsanordnungen
- Abbildung 55 Fanggerüst-Modell mit großer Dehnungsmeßstreifenwaage
- Abbildung 56 Modell für Teilfeldmessungen mit kleiner Dehnungsmeßstreifenwaage



Die Norm DIN 4420 "Arbeits- und Schutzgerüste" wird derzeit überarbeitet. Im Rahmen dieses Vorhabens werden auch Überlegungen zur Frage der Windbelastung von Gerüsten und Gerüstteilen notwendig. Die entsprechenden Angaben in der derzeit gültigen Norm stehen z.T. im Widerspruch zu den Erkenntnissen aus neueren Windkanalversuchen. Unsicherheiten bestehen auch beim Ansatz der Windlasten auf Gerüste an teilweise offenen Gebäuden. Darüber hinaus ist ungeklärt, in welchem Maße die Verwendung unterschiedlicher Bauteile in die Windbelastung eingeht.

Die Aerodynamische Untersuchungsstelle für bauliche Anlagen der Landesgewerbeanstalt Bayern wurde beauftragt, die für die Neufassung der Norm DIN 4420 benötigten aerodynamischen Beiwerte zusammenzustellen. Dabei sollte zunächst auf die in der Literatur angeführten Werte zurückgegriffen werden. Auftretende Lücken waren durch gezielte Modellversuche zu schließen.

1. Untersuchungsobjekt

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Überlegungen und Untersuchungen beziehen sich auf Stahlrohrkupplungsgerüste. Für die Modellversuche wurden Fassadengerüste aus Stahlrohren mit kreisförmigem Querschnitt ("Gerüste üblicher Bauart") nach DIN 4420 [1] eingesetzt. Eine Skizze des grundsätzlichen Aufbaues und die Benennung der einzelnen Gerüstbauteile sind in Abbildung 1, die der Norm entnommen wurde, enthalten

2. Definitionen und allgemeine Überlegungen

2.1 Aerodynamische Kraftbeiwerte

Für die Bemessung und Verankerung von Gerüsten und Gerüstbauteilen ist die Kenntnis der Windkraft W von Bedeutung. Übli-



cherweise wird diese in Form ihrer Komponenten W_x , W_y und W_z für die aufeinander senkrecht stehenden, parallel zu den Bauwerkshauptachsen verlaufenden Richtungen x , y und z angegeben (Abbildung 2).

Der aerodynamische Kraftbeiwert ist dann:

$$c_f = W/q \cdot A,$$

wobei W die Resultierende aller Druck- und Reibungskräfte aus Wind, q der Geschwindigkeitsdruck der ungestörten Strömung (Staudruck) und A eine Bezugsfläche ist.

Für die Komponenten W_x , W_y und W_z läßt sich analog schreiben:

$$c_{fx} = W_x/q \cdot A_x$$

$$c_{fy} = W_y/q \cdot A_y$$

$$c_{fz} = W_z/q \cdot A_z.$$

2.2 Bezugsflächen

Während die zahlenmäßige Größe von W und q vorgegeben ist, kann die Bezugsfläche A zunächst willkürlich gewählt werden. DIN 4420 unterscheidet zwischen einer Fläche F_{\perp}^* für Anströmung senkrecht zur Gebäudeoberfläche und einer Fläche F_{\parallel} für Anströmung parallel zur Bauwerks oberfläche. Dabei ist die Bezugsfläche als jeweilige Windangriffsfläche definiert. Für Gerüste der Regelausführung werden Windangriffsflächen bezogen auf die Gerüstansichtsfläche in Tabellenform angegeben (Tabelle 4).

* in DIN 4420 sind Flächen mit F in DIN 1055 mit A bezeichnet. Nachfolgend wird der Regelung in DIN 1055 Blatt 4 der Vorzug gegeben.



Die hier gewählte Definition der Bezugsflächen ist dann sinnvoll, wenn nur zwei Hauptwindrichtungen gewählt werden. Beabsichtigt man, wie dies nachfolgend z.T. geschieht, die aerodynamischen Beiwerte auch als Funktion des Anströmwindwinkels aufzutragen, ist diese Definition unbrauchbar. Es ist dann zweckmäßiger, eine von der Anströmrichtung unabhängige Bezugsfläche festzulegen. In den nachfolgenden Abschnitten wird hierauf noch näher eingegangen.

2.3 Reynolds'sche Zahl

Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Modellversuchen auf das Original sicherzustellen, sind verschiedene Ähnlichkeitskriterien einzuhalten. Neben der Forderung nach Einhaltung der geometrischen Ähnlichkeit spielt im vorliegenden Fall die Reynolds'sche Ähnlichkeitsbedingung eine Rolle. Diese besagt, daß die Umströmung zweier geometrisch ähnlicher Körper dann gleich ist, wenn die entsprechenden Reynoldszahlen gleich sind.

Die Reynoldszahl ergibt sich zu

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

aus der Anströmgeschwindigkeit v , dem Rohrdurchmesser d und der kinematischen Zähigkeit des strömenden Mediums ν . Um gleiche Reynoldszahlen zu erreichen, müßte also, konstante kinematische Zähigkeit vorausgesetzt, die Anströmgeschwindigkeit in demselben Maße erhöht werden, wie das Modell gegenüber dem Original verkleinert wird. Obwohl diese Forderung in vielen Fällen nicht eingehalten werden kann, sind Modellversuche dennoch sinnvoll. Es hat sich gezeigt, daß innerhalb bestimmter Grenzen die Größe der Windkräfte von der Reynolds'schen Zahl unabhängig ist.



3. Literaturlauswertung

3.1 Angaben in den Normenblättern

DIN 4420 selbst enthält keine Angabe der Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte von Gerüsten und Gerüstteilen, sondern nur einen Hinweis auf die entsprechenden Werte in DIN 1055 Blatt 4 |2|. In DIN 1055 Blatt 4 Ausgabe 1938 sind Gerüste jedoch nicht gesondert aufgeführt. Der Hinweis kann deshalb nur so verstanden werden, daß die Gesamtkraft entweder aus den Einzelkräften für die Gerüstbauteile (Rohre, Bretter, Gitter) durch Addition gewonnen werden soll, oder, daß die für Fachwerke angegebenen Beiwerte anzuwenden sind.

Die bisher nur als Gelbdruck veröffentlichte Beiwertsammlung zur Neufassung von DIN 1055 Blatt 4 |3| enthält eine Reihe von Beiwerten für aus Rohren zusammengesetzte Fachwerkstrukturen. Hieraus könnten auch Anhaltswerte für freistehende Gerüste abgeleitet werden.

3.2 Bauelemente von Gerüsten

3.2.1 Rohre

In Abbildung 3 ist der Verlauf des aerodynamischen Kraftbeiwertes eines unendlich langen, glatten Rohres mit Kreisquerschnitt über der Reynolds'schen Zahl aufgetragen |4|.

Für Re-Zahlen unterhalb $2 \cdot 10^5$ bleibt der Beiwert weitgehend konstant $c_f = 1,2$ ("unterkritischer Bereich"). In dem daran anschließenden Übergangsbereich fällt der Wert rasch auf $c_f \approx 0,6$ ab. Eine weitere Steigerung der Reynolds'schen Zahl ist wieder mit einem leichten Anstieg des Beiwertes verbunden ("überkritischer Bereich").

Die für Fassadengerüste verwendeten Stahlrohre besitzen ein-



heitlich einen Außendurchmesser von $d_a = 48,3$ mm. Mit diesem Wert und einer Windgeschwindigkeit von 35 m/s ($q = 0,8$ kN/m²) ergibt sich die Reynoldszahl zu

$$Re = \frac{35 \cdot 0,0483}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,13 \cdot 10^5.$$

Dieser Wert liegt unterhalb der kritischen Reynoldszahl. Der Beiwert für das Rohr beträgt also $c_f = 1,2$. Zu demselben Ergebnis gelangt man, wenn man den Wert DIN 1055 Blatt 4 entnimmt.

Der in Abbildung 3 dargestellte Kurvenverlauf gibt auch einen Hinweis darauf, daß bei der für die Modellversuche notwendigen Verkleinerung der Gerüste im Maßstab $1 : 15$ bis $1 : 30$ auf das Original übertragbare Werte gemessen werden.

3.2.2 Bretter

Bei prismatischen Baukörpern mit scharfen Kanten besteht keine Abhängigkeit zwischen Kraftbeiwert und Reynolds'scher Zahl. Aus DIN 1055 Blatt 4 (alt) würde man für einen langgestreckten prismatischen Baukörper (Brett) den Kraftbeiwert, zu $c_f = 1,6$ ablesen.

Tatsächlich ergeben sich jedoch unterschiedliche Beiwerte je nachdem, ob das Prisma auf seine Breitseite oder seine Schmalseite angeströmt wird. Franke [5] gibt für diese beiden Situationen folgende Beiwerte an:

$$\begin{aligned} c_f &= 1,0 \text{ (Anströmung auf Schmalseite)} \\ c_f &= 2,1 \text{ (Anströmung auf Breitseite)}. \end{aligned}$$

3.3 Fachwerke

Es existiert eine ganze Reihe von Veröffentlichungen, die sich zwar nicht unmittelbar mit dem Problem der Windbelastung



auf Gerüste befassen, deren Ergebnisse jedoch auch im Zusammenhang mit der hier aufgeworfenen Fragestellung interessant sind. Hierunter fallen die zahlreichen Arbeiten über Windkräfte auf Fachwerke aus kantigen oder runden Profilen. Ausführliche Besprechungen dieser Literaturstellen sind in den Arbeiten von Franke [5] und Schröter [6] enthalten. Hier sollen diese Literaturstellen nur kurz gestreift werden.

3.3.1 Fachwerke aus kantigen Profilen

Bereits in den Jahren 1934 und 1935 wurden von Flachsbart [7] Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen an ebenen und räumlichen Gitterfachwerken aus kantigen Profilen veröffentlicht. Dabei wurden auch Abschirmzahlen zur Berücksichtigung der Abminderung der Windkräfte für die im Windschatten liegenden Bauteile angegeben. Flachsbart's Untersuchungen fanden Eingang in DIN 1055 Blatt 4. Dort wird, unabhängig von der Querschnittsform der einzelnen Profile, für die vordere Tragwand eines Fachwerkes ein Beiwert von $c_f = 1,6$ und für die im Windschatten liegenden Tragwände $c_f = 1,2$ angegeben. Überträgt man diese Angaben auf Gerüste, so ergeben sich vorallem für die Längsrichtung wegen der vielen hintereinanderliegenden Ebenen relativ hohe Gesamtwindlasten.

3.3.2 Fachwerke aus Rohren

In neuerer Zeit wurden von Schulz [8] Untersuchungen an Fachwerken aus Rohrstäben durchgeführt. Die Ergebnisse daraus fanden bei der Neufassung von DIN 1055 Blatt 4 Berücksichtigung. Abbildung 4 zeigt als Beispiel den Verlauf des aerodynamischen Kraftbeiwertes für ein ebenes Fachwerk und einen vierstieligen Gittermast mit ähnlichen Völligkeitsgraden, wie sie bei Rohrgerüsten vorkommen. Die Bezugsfläche ist hier



als Schattenfläche A_S definiert. Der Völligkeitsgrad ϕ ergibt sich als das Verhältnis von Schattenfläche A_S zu Umrißfläche A_U

$$\phi = \frac{A_S}{A_U}$$

Auf Rohrgerüste sind die Untersuchungsergebnisse nur bedingt übertragbar. Dies weniger wegen der anderen Gestaltung der Verbindungsstellen zwischen den Rohrknotenpunkten als vielmehr wegen der Beschränkung auf nur zwei hintereinanderliegende Fachwerksebenen.

3.4 Frei durchströmte Rohrgerüste

Spezielle, auf die Situationen bei Stahlrohrgerüsten abgestimmte Modellversuche wurden von Bruniak und Sockel [9] an der Technischen Hochschule in Wien durchgeführt. Bruniak und Sockel griffen zunächst das Problem der Abschattung hintereinanderliegender Rohre auf. Dabei wurden die Parameter "Anzahl der hintereinanderliegenden Rohre" und "relativer Rohrabstand a/d ", mit d = Rohrdurchmesser und a = Abstand der Rohre, variiert. Es ergab sich, daß der Beiwert für das jeweils erste Rohr $c_f = 1,2$ beträgt. Die Beiwerte für die im Windschatten liegenden Rohre sind vom Parameter a/d abhängig und betragen zwischen $c_f = 0,25$ für $a/d = 4$ und $c_f = 0,5$ für $a/d = 12$. Versuche an würfelförmigen Gittern zeigten, daß man bei der Errechnung der Gesamtwindkraft aus den Einzelkräften für die Stäbe unter Berücksichtigung der Abschattung auf der sicheren Seite liegt. Darüber hinaus wurde festgestellt, daß die Windbelastung üblicher Gerüstkupplungen durch einen Beiwert von $c_f = 1,1$ sicher erfaßt ist.

Widmann [10] faßte die Wiener Versuchsergebnisse in eine einfache, für die Belange der Baupraxis geeignete Formel zusammen



men. Danach errechnet sich der Beiwert für frei durchströmte Rohrgerüste

$$\text{zu } c_f = c_{f0} + (n - 1)c_{fi}$$

mit $c_{f0} = 1,2$ und n Anzahl der hintereinanderliegenden Rohre. c_{fi} wird abhängig vom relativen Rohrabstand a/d der Tabelle I entnommen.

Tabelle I Beiwerte c_{fi}

a/d	c_{fi}
≤ 4	0,25
$> 4 \leq 12$	0,50
$> 12 \leq 30$	1,0
> 30	1,20

Bei Anwendung dieser Rechenregel, deren Ergebnis, verglichen mit den durch Versuche ermittelten Beiwerten, auf der sicheren Seite liegt, lassen sich gegenüber einer Berechnung nach DIN 1055 Blatt 4 erhebliche Einsparungen erzielen.

Bei Versuchen, die Hensel [11] in Dresden durchführte, wurde zusätzlich noch der Einfluß des Gerüstbelages berücksichtigt. Es zeigte sich, daß bei horizontaler Anströmung die Umströmung der Gerüstrohre eher vorteilhaft verändert wird, so daß sich die Beiwerte geringfügig ermäßigen.

Die bisher umfangreichsten Windkanalversuchsergebnisse für Rohrgerüste liegen von Schröter [6] vor. Diese Versuche beschränken sich nicht nur auf frei durchströmte Gerüste, sondern berücksichtigen auch die Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Gerüst. Hierauf wird im nachfolgenden Abschnitt 3.5 noch näher eingegangen.



Zunächst sollen die Ergebnisse an frei durchströmten Gerüsten dargestellt werden. Während bei den oben besprochenen Versuchen von Bruniak und Sockel sowie von Hensel nur jeweils Ausschnitte aus Gerüsten einer Untersuchung unterworfen wurden, verwendete Schröter modellmäßige Nachbildungen von Originalgerüsten. Diese wurden in vier Längen angefertigt und mit Viertel-, Halb-, Dreiviertel- und Vollscheibe bezeichnet. Neben horizontaler Anströmung aus unterschiedlichen Richtungen wurden auch Variationen der Anströmrichtung in einer vertikalen Ebene zur Simulation der Verhältnisse auf Bergkuppen o.ä. berücksichtigt. Da hierbei zusätzlich nennenswerte Vertikalkomponenten der Windkraft zu erwarten waren, wurde neben den aerodynamischen Kraftbeiwerten c_{fx} und c_{fy} ein Beiwert c_{fz} eingeführt.

Die von Schröter für frei durchströmte Gerüste ermittelten Ergebnisse sind in den Abbildungen 5 bis 8 aufgetragen.

Beim c_{fx} -Wert bestehen keine nennenswerten Unterschiede zwischen unterschiedlich langen Gerüsten. Bei $\beta = 10^\circ$ tritt ein Maximum der Kraft in x-Richtung auf. Der Beiwert beträgt rund $c_{fx} = 0,95$.

Der Einfluß der Gerüstlänge ist deutlich am c_{fy} -Wert abzulesen. Vor allem bei Parallelanströmung ($\beta = 90^\circ$) treten hier erhebliche Unterschiede auf, wobei der Beiwert umso größer wird je kürzer das Gerüst ist. Dies ist auf die stärkere Abschirmung im Windschatten liegender Rohre bei längeren Gerüsten zurückzuführen. Das Windkraftmaximum tritt jedoch auch hier bei Schräganströmung unter einem Winkel von $\beta = 90^\circ \pm 20^\circ$ auf.

Nennenswerte abhebende Kräfte treten bei horizontaler Anströmung nicht auf. Bei geneigter Anströmrichtung unter einem Winkel von $\alpha = 15^\circ$ steigt der c_{fz} -Wert dagegen auf 0,3.



Das Anbringen einer Abbretterung mit Bordbrett führt zu einer Erhöhung der c_{fx} -Werte. Die c_{fy} -Werte werden kaum beeinflusst; hier ist eher eine geringfügige Ermäßigung, wie sie auch schon von Hensel ermittelt wurde, festzustellen. Den deutlichsten Einfluß übt die Abbretterung erwartungsgemäß auf den c_{fz} -Wert bei geneigter Anströmung aus. Bei $\alpha = 15^\circ$ wird der Beiwert gegenüber der Situation ohne Belag und Bordbrett mehr als verdoppelt. Auffallend ist auch, daß beim Fehlen der Bordbretter der c_{fz} -Wert nochmals erheblich ansteigt.

3.5 Gerüste am Gebäude

3.5.1 Untersuchungen am Gesamtgerüst

Modelluntersuchungen für Gerüste an Gebäuden liegen bisher nur von Schröter [6] vor. Die von ihm für die Situation "Gerüst am Gebäude" ermittelten aerodynamischen Beiwerte sind in den Abbildungen 9 - 12 zusammengestellt.

Für den c_{fx} -Wert läßt sich eine deutliche Abschattungswirkung des Gebäudes ablesen. Der Beiwert wird zahlenmäßig nicht größer als $c_{fx} = 0,3$. Geneigte Anströmung führt zu keiner wesentlichen Vergrößerung des Beiwertes. Eine Abbretterung wirkt sich eher günstig aus.

Anders verhält sich der c_{fy} -Wert. Hier ist vor allem für kurze Gerüste ("Viertelscheibe") sogar eine Zunahme des Beiwertes gegenüber dem frei durchströmten Gerüst festzustellen. Erst für lange Gerüste ("Vollscheibe") liegen die Beiwerte etwas niedriger als am freistehenden Gerüst. Der Einfluß von Abbretterung und geneigter Anströmung ist insgesamt unbedeutend.



Am deutlichsten wirken sich geneigte Anströmung und Abbreterung auch hier auf den c_{fz} -Wert aus. Während bei Horizontalströmung dieser 0,18 nicht übersteigt, werden für nichthorizontale Anströmung und Abbreterung Werte bis zu $c_{fz} = 0,43$ angegeben.

3.5.2 Teilfeldmessungen

Neben den Windkraftkomponenten für das Gesamtgerüst ermittelte Schröter auch die Windkräfte auf einzelne Gerüstfelder. Die Versuchsergebnisse wurden in sog. Isobarenschaubildern dargestellt. Als Beispiel ist hier in Abbildung 13 die Dreiviertelscheibe herausgegriffen. Anhand dieser Schaubilder lassen sich rasch die besonders gefährdeten Gerüstbereiche erkennen. In Abbildung 13 sind die Werte für die Kraftkomponenten in x-, y- und z-Richtung jeweils getrennt dargestellt. Aus diesen Bildern läßt sich ablesen:

Hohe Windkräfte in x-Richtung treten besonders an den vertikalen Gerüstkanten und für die oberen Gerüstebenen auf. Im Randbereich ist außerdem auch die Kraft in y-Richtung besonders hoch. Für die Kraft in z-Richtung ist dagegen eine Zunahme mit der Höhe festzustellen.

Überlagert man diese Einzelergebnisse, so läßt sich sagen, daß insgesamt die Gerüstinnenfelder weniger durch Windkräfte belastet werden als die Außenfelder.

3.6 Zusammenfassende Beurteilung des vorliegenden Materials

Aus den relativ zahlreich vorliegenden Versuchsergebnissen zur Windbelastung von Fachwerken aus scharfkantigen oder runden Profilen lassen sich für Fassadengerüste nur schwer zutreffende aerodynamische Beiwerte ableiten. Da bei diesen Versuchen in der Regel nur zwei hintereinanderliegende Fachwerksebenen



betrachtet werden, wird der Fall des parallel angeströmten Gerüstes nicht erfaßt. Für Vergleiche mit Ergebnissen an frei durchströmten Gerüsten können die Werte jedoch herangezogen werden.

Ähnliche Vorbehalte gelten für Versuche an einzelnen Gerüstbauteilen und Ausschnittmodellen.

Wie aus den Versuchsergebnissen von Schröter hervorgeht, ist für die wirklichkeitsnahe Erfassung der Windlasten die modellmäßige Nachbildung des Gesamtgerüstes erforderlich. Darüber hinaus kann für Fassadengerüste der Einfluß des Gebäudes nicht vernachlässigt werden. Vor allem die Windkraftkomponente senkrecht zur Gerüstebene erfährt durch den Gebäudeeinfluß eine wesentliche Abminderung.

Schröter gibt in seiner Arbeit auch Anregungen für weiterführende Messungen. Sie betreffen z.B. die Frage der Windbelastung von Gerüsten an teilweise winddurchlässigen Gebäuden oder für Gerüste, die wesentlich über die Gebäudekontur herausragen.

Diese Anregungen, ergänzt durch Fragestellungen, die sich aus der Baupraxis ergeben, wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit aufgegriffen.

4. Beschreibung der Modellversuche

4.1 Vorüberlegungen

4.1.1 Modellmaßstab

Im Abschnitt 3.2.1 wurde bereits dargestellt, daß für die Originalgerüste die Reynolds'sche Zahl im unterkritischen Bereich liegt. Es wurde gezeigt, daß der Kraftbeiwert über



einen weiten Reynoldszahlenbereich konstant bleibt. Deshalb sind hinsichtlich der Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf die Großausführung Modellmaßstäbe bis zu 1 : 100 zulässig. Die Grenze wird hier eher von der Schwierigkeit, diese Modelle geometrisch ähnlich herzustellen, bestimmt.

Da im vorliegenden Fall darauf Wert gelegt wurde, einige der von Schröter vorgenommenen Messungen nachzuvollziehen, wurde ein ähnlicher Verkleinerungsmaßstab angestrebt.

Der schließlich für die Versuche an den Gesamtmodellen gewählte Maßstab von 1 : 15 ergab sich nicht zuletzt auch durch die Größe des für die Messungen zur Verfügung stehenden Windkanales an der TH Darmstadt. Die Teilfeldmessungen mußten dann aber, da der Windkanal in Darmstadt für einen längeren Zeitraum ausfiel, in einem kleineren Windkanal an der TU München durchgeführt werden. Hierfür war eine weitere Modellverkleinerung auf 1 : 30 erforderlich. Kontrollmessungen ergaben, daß auch diese Verkleinerung zulässig war.

4.1.2 Anströmrichtungen, Kraftkomponenten

Aus den Versuchen von Schröter geht hervor, daß die Maximalwerte für c_{fx} und c_{fy} nicht etwa bei senkrechter und paralleler Anströmung, sondern bei Schräganströmung auftreten. Die Versuche können deshalb nicht auf zwei Windrichtungen beschränkt werden.

Bei horizontaler Anströmung ist die z-Komponente der Windkraft klein. Nennenswerte Kräfte in z-Richtung treten erst bei geneigter Anströmung, wie sie z.B. auf Bergkuppen vorkommen kann, auf. Da diese Sonderfälle im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgeklammert werden sollten, konnten sich die Versuche auf die Erfassung der Kraftkomponenten in x- und in y-Richtung beschränken.



4.2 Versuchsprogramm

Das gesamte Versuchsprogramm ist in den Abbildungen 14 bis 17 tabellarisch zusammengestellt und durch die Fotos der Abbildungen 54 a - m illustriert.

4.2.1 Messungen am Gesamtgerüst

Die Messungen an Gesamtgerüsten wurden überwiegend im Windkanal des Institutes für Flugtechnik an der TH Darmstadt durchgeführt. Im einzelnen erfolgten diese Messungen an folgenden Modellkonfigurationen:

- frei durchströmte Gerüste in zwei Längen mit und ohne Abbreterung (Diese Messungen waren als Anschlußmessungen zu den Untersuchungen von Schröter gedacht.)
- Gerüste vor geschlossenen Gebäuden bei Variation der Gebäudebreite
- Gerüste in unterschiedlichen Positionen am geschlossenen Baukörper
- Gerüste von winddurchlässigen Baukörpern bei Variation der Durchlässigkeit.

Zusätzlich hierzu wurden im Münchner Windkanal untersucht:

- ein Gerüst im verkleinerten Maßstab am geschlossenen Baukörper (Anschlußmessungen zu den Darmstädter Untersuchungen)
- Fanggerüst am geschlossenen Gebäude.

4.2.2 Teilfeldmessungen

Für die Teilfeldmessungen wurde das Gesamtgerüst in neun Felder eingeteilt, wobei Messungen wegen der Symmetrie der Anordnung nur für sechs Teilfelder notwendig waren. Für die-



se wurden die Beiwerte c_{fx} und c_{fy} bei Variation der Durchlässigkeit des Gebäudes bestimmt. Diese Messungen erfolgten im Windkanal des Lehrstuhles für Strömungsmechanik der TU München.

4.2.3 Messungen an Gerüstelementen

Wiederum im Darmstädter Windkanal wurden einzelne Gerüstbauteile vermessen. Dabei war zu klären, welchen Einfluß die Verwendung gelochter Stahlprofile anstelle geschlossener Be-
lagbretter und von Gittern anstelle der Geländer- und Zwischenholme bzw. der Bordbretter auf die Windbelastung des Gerüsts ausüben.

4.3 Modelle

4.3.1 Verkleinerte Gerüstmodelle

Die für die Versuche verwendeten Gerüstmodelle sind in den Abbildungen 18 bis 21 dargestellt. Im einzelnen wurden folgende Modellkörper angefertigt:

- ein Gerüstmodell "Vollscheibe" im Maßstab 1 : 15 mit abnehmbarer Abbretterung
- ein Gerüstmodell "Drittelscheibe" im Maßstab 1 : 15 mit abnehmbarer Abbretterung
- ein Gerüstmodell "Vollscheibe" im Maßstab 1 : 30
- ein Gerüstmodell mit Fanggerüst im Maßstab 1 : 30
- ein in neun Teilfelder aufgelöstes Gerüstmodell im Maßstab 1 : 30 mit demontierbarer Abbretterung
- geschlossene Baukörpermodelle im Maßstab 1 : 15 mit den Grundrißabmessungen $b/l = 0,25; 0,50; 0,75$

- ein winddurchlässiges Baukörpermodell im Maßstab 1 : 15, bei dem die Zustände "1/3, 2/3, 3/3 durchlässig" eingestellt werden konnten
- ein geschlossener Baukörper im Maßstab 1 : 30
- ein winddurchlässiger Baukörper im Maßstab 1 : 30 mit einstellbarer Durchlässigkeit von 0, 1/3, 2/3, 3/3.

Wie aus den Zeichnungen und Fotos zu ersehen ist, wurden die Gerüstmodelle symmetrisch gefertigt, d.h. mit Geländer- und Zwischenholmen sowie Verstrebrungen auf beiden Gerüstseiten. Dies war notwendig, um eine höhere mechanische Festigkeit und Verzugsfreiheit zu erreichen. Die zusätzlichen Flächenanteile der Rohre wurden selbstverständlich bei der Berechnung der Bezugsflächen berücksichtigt.

4.3.2 Gerüstbauteile

Neben diesen verkleinerten Gerüstmodellen kamen Gerüstbauteile in Originalgröße zur Vermessung. Es handelte sich dabei um zwei verschiedene, von den Herstellern angelieferte gelochte Stahlprofile, die anstelle von Belagbrettern verwendet werden sollen. Außerdem wurden in der Werkstatt der aerodynamischen Untersuchungsstelle zwei Gitter unterschiedlicher Maschenweite, die am Gerüst Holme und Bordbrett ersetzen sollen, angefertigt. Von diesen Elementen wurde jeweils ein 1 m langer Abschnitt zwischen Endscheiben montiert (Abbildung 22).

4.4 Windkanäle

Die für die Versuche benutzten Windkanäle in Darmstadt und München sind in den Abbildungen 23 und 24 dargestellt. Der Aufbau beider Kanäle ist weitgehend identisch. Es handelt



sich um Windkanäle der "Göttinger Bauart" mit geschlossener Luftrückführung und offener Meßstrecke. Beide Kanäle besitzen kreisförmige Düsen. Der Düsendurchmesser beträgt in Darmstadt 3 m und in München 1,5 m. Die Hauptunterschiede liegen in der Ausstattung mit Meß- und Verstelleinrichtungen und dem zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit verwendeten Verfahren (siehe hierzu auch die nachfolgenden Abschnitte 4.5.1 und 4.5.2).

4.5 Meßeinrichtung

4.5.1 Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit in der Meßstrecke des Windkanals wird in Darmstadt aus dem Druck in der Vorkammer vor der Düse errechnet.

Im Münchner Windkanal erfolgt die Geschwindigkeitsermittlung über den Geschwindigkeitsdruck, der mittels eines Prandtl-Rohres und eines Betz-Manometers in der Meßstrecke gemessen wird.

4.5.2 Kraftmessung

4.5.2.1 Sechskomponentenwaage im Darmstädter Windkanal

Für die Windkraftmessungen an Gesamtgerüsten im Darmstädter Windkanal konnte die dort vorhandene Sechskomponentenwaage eingesetzt werden. Diese Waage ist oberhalb der Meßstrecke fest installiert. Die Gerüstmodelle mußten deshalb "auf dem Kopf stehend" mittels Drähten an dieser Waage befestigt werden. Die Baukörper wurden von unten den Gerüstmodellen beigelegt. Bodeneffekte wurden durch eine kreisförmige Scheibe von 2 m Durchmesser simuliert (Abbildungen 23 und 51).



Zur Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte für Gerüstbauteile wurden diese zwischen Endscheiben montiert und ebenfalls mit Drähten an der Windkanalwaage befestigt. Den Versuchsaufbau hierzu zeigt Abbildung 24.

Die im Darmstädter Windkanal eingebaute Waage ist eine selbstabgleichende Laufgewichtswaage. Die von der Waage abgegebenen, der Windkraft proportionalen Spannungssignale werden einem Rechner zugeführt. Hier erfolgt unter Berücksichtigung von Geschwindigkeitsdruck, Bezugsfläche und von Eich- und Korrekturfaktoren die Berechnung der aerodynamischen Beiwerte. Das Versuchsergebnis wird schließlich über einem Schnelldrucker in Tabellenform ausgegeben.

Wegen der auf einen Bereich von 45° beschränkten Verstellmöglichkeit der Windkanalwaage konnte die Anströmrichtung nicht kontinuierlich um 360° verändert werden. Vielmehr mußte nach jeweils 45° ein Umbau vorgenommen werden. Wegen dieser zeitaufwendigen Umbauarbeiten wurden für einige Versuchsanordnungen jene Winkelbereiche, in denen keine nennenswerten Windkräfte zu erwarten waren, weggelassen.

4.5.2.2 Dehnungsmeßstreifenwaagen für die Versuche im Münchner Windkanal

Der Münchner Windkanal besitzt keine eingebauten Kraftmeßvorrichtungen. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurden Dehnungsmeßstreifenwaagen eingesetzt. Diese Meßwertnehmer können vollständig in die Modellkörper eingebaut werden, so daß sie keine störenden Einflüsse auf die Umströmung ausüben. Darüber hinaus wird die Drehbarkeit der Modelle nicht behindert. Die Montage der Gerüste und Gebäude kann aufrechtstehend auf einer, in die Bodenplatte eingelassenen drehbaren Scheibe erfolgen (Abbildungen 25 und 52).



Für die Untersuchungen am Gesamtmodell wurde eine, bei der Aerodynamischen Untersuchungsstelle bereits vorhandene Dehnungsmeßstreifenwaage eingesetzt. Für die Teilfeldmessungen mußte eine spezielle Zweikomponentenwaage konstruiert und angefertigt werden (Abbildungen 55 und 56).

Bei der Kraftmessung mittels Dehnungsmeßstreifenwaagen wird die Eigenschaft eines elektrischen Leiters, seinen Widerstand bei Dehnung oder Stauchung zu verändern, zur Messung von Kräften ausgenutzt. Auch hier werden die von der Dehnungsmeßbrücke abgegebenen elektrischen Signale in einem Rechner bis zu aerodynamischen Beiwerten ^verarbeitet.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Allgemeine Anmerkungen

5.1.1 Wahl der Bezugsfläche

Bei den Versuchen wurden die Windkraftkomponenten F_x und F_y ermittelt. Hieraus ergeben sich die aerodynamischen Beiwerte zu

$$c_{fx} = \frac{F_x}{q \cdot A} \quad \text{und} \quad c_{fy} = \frac{F_y}{q \cdot A} .$$

Die Bezugsfläche blieb für einen bestimmten Gerüsttyp konstant und war für beide Kraftkomponenten gleich groß. Sie ergab sich aus der Gesamtlänge der Gerüstrohre multipliziert mit dem Rohrdurchmesser

$$A = l \cdot d .$$

Die Wahl einer einheitlichen Bezugsfläche war deshalb sinnvoll, weil ein Teil der Versuchsergebnisse auch über dem



Anströmwinkel β aufgetragen werden sollte. Hätte man hier die jeweilige Ansichtsfläche in Windrichtung als Bezugsfläche eingesetzt, so hätten sich erhebliche Sprünge im Kurvenverlauf ergeben. Die hier gewählte Definition der Bezugsfläche ist im übrigen identisch mit der von Schröter verwendeten.

Die Größe der Bezugsfläche A wurde auch dann nicht geändert, wenn das Gerüst mit Belag- und Bordbrettern versehen wurde.

5.1.2 Übereinstimmung der in verschiedenen Windkanälen ermittelten Versuchsergebnisse

Wie bereits erwähnt, wurden für einige Modellkonfigurationen jeweils Parallelmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Abbildungen 26 und 27 dargestellt.

Die Diagramme zeigen den Verlauf der Kraftbeiwerte c_{fx} und c_{fy} in Abhängigkeit vom Anströmwinkel β .

Die Übereinstimmung der im Münchner Windkanal gemessenen Werte mit denen von Schröter ist sehr gut. Die jeweiligen Kurvenverläufe entsprechen einander weitestgehend. Maxima, Minima und Nulldurchgänge liegen bei gleichen Anströmwinkeln. Die Abweichungen in den Zahlenwerten sind gering und liegen im Rahmen der Meßunsicherheit.

Bei den im Darmstädter Windkanal gemessenen Werten treten dagegen wesentlich stärkere Abweichungen sowohl im Kurvenverlauf als auch in der zahlenmäßigen Größe auf. Hier macht sich offenbar die in diesem Kanal notwendige Drahtaufhängung der Modelle nachteilig bemerkbar. Ihr Einfluß war zwar durch Vorversuche ermittelt und in der Berechnung berücksichtigt worden, da die auf die Aufhängung einwirkenden Windkräfte mindestens gleichgroß wie die Kräfte auf das Gerüst waren,



fielen hier Meßungengenauigkeiten jedoch stärker ins Gewicht. Darüber hinaus können auch Interferenzerscheinungen zwischen Modell und Aufhängung, die auch durch Eichversuche zahlenmäßig nicht erfaßbar sind, für die Abweichungen mitverantwortlich sein.

Für die Beurteilung der Gesamtergebnisse ist der Parameter "Anströmrichtung" insgesamt von untergeordneter Bedeutung. Hierfür sind vielmehr andere Größen wie "Winddurchlässigkeit des Gebäudes", "Lage des Gerüsts", "Gerüst- und Gebäudeabmessungen" wichtig. Der Einfluß dieser Parameter auf die Größe der aerodynamischen Beiwerte kann an den Darmstädter Versuchen sehr gut abgelesen werden. Für die Hauptversuche zur Frage der Winddurchlässigkeit des Gebäudes liegen außerdem durch die Teilfeldmessungen im Münchner Windkanal Kontrollwerte vor.

5.2 Frei durchströmtes Gerüst

5.2.1 Abhängigkeit der Beiwerte von der Reynolds'schen Zahl

Wie bei der Besprechung des Windkraftverlaufs für ein Einzelrohr bereits festgestellt wurde, liegt die mit dem Rohrdurchmesser gebildete Reynoldszahl im unterkritischen Bereich. Bei einer Verminderung der Re-Zahl verändert sich der Kraftbeiwert nicht wesentlich.

Um festzustellen, ob dieser Sachverhalt auch für das Gesamtgerüst zutrifft, wurde die Anblasgeschwindigkeit zwischen 10 und 36 m/s variiert. Dies entspricht einer Änderung der Reynolds'schen Zahl zwischen $0,3 \cdot 10^4$ und $1,0 \cdot 10^4$.

Das Ergebnis ist in Abbildung 28 aufgetragen. Wie aus dieser Darstellung zu ersehen ist, gilt die für das Einzelrohr



getroffene Feststellung auch für das Rohrgerüst. Die durch Modellversuche ermittelten aerodynamischen Beiwerte sind also ohne Korrektur auf die Originalausführung übertragbar.

5.2.2 Einfluß des Anström winkels

In Abbildung 29 ist der Verlauf der aerodynamischen Kraftbeiwerte c_{fx} und c_{fy} für ein in allen Ebenen abgetrettes Gerüst in Abhängigkeit vom Anström winkel β aufgetragen. Der Kraftbeiwert in x-Richtung hat sein Maximum von 1,27 bei senkrechter Anströmung ($\beta = 0^\circ$). Der höchste c_{fy} -Wert tritt bei Schräganströmung unter einem Winkel von 30° auf und beträgt $c_{fy} = 0,81$. Bei $\beta = 90^\circ$ (Anströmung parallel zum Gerüst) ist der Kraftbeiwert mit $c_{fy} = 0,22$ vergleichsweise niedrig. Hier macht sich die Abschattung der im Windschatten liegenden Gerüstteile deutlich bemerkbar.

5.2.3 Einfluß der Abbreterung

Für zwei Anströmrichtungen ($\beta = 0^\circ$ und $\beta = 90^\circ$) wurde das Gerüst auch ohne Belag und Bordbrett untersucht. Eine wesentliche Abweichung ergab sich für den c_{fx} -Wert bei $\beta = 0^\circ$. Er beträgt für diese Konfiguration und Anströmrichtung nurmehr $c_{fx} = 0,75$. Die übrigen Beiwerte entsprechen etwa den obengenannten.

Belag und Bordbrett führen also bei senkrechter Anströmung zu einer Vergrößerung der Windkraft in x-Richtung.

5.3 Gerüste vor geschlossener Bauwerksfassade

5.3.1 Einfluß des Anström winkels

Die Windkräfte auf Gerüste an Gebäuden unterscheiden sich



erwartungsgemäß wesentlich von denen für frei durchströmte Gerüste. Als Beispiel hierfür sind in Abbildung 30 die Beiwerte für ein Gerüst ohne Abbretterung in Abhängigkeit von der Windrichtung dargestellt.

Es wurde der gesamte Winkelbereich zwischen $\beta = 0^\circ$ und $\beta = 360^\circ$ vermessen und aufgetragen. Der Kurvenverlauf müßte zum Punkt $\beta = 180^\circ$ für c_{fx} symmetrisch und für c_{fy} antisymmetrisch sein. Wie man aus dem Diagramm ersieht, wird diese Bedingung sehr gut erfüllt.

Infolge des Windstaus an der Gebäudeluvseite vermindert sich der c_{fx} -Wert im Vergleich zum frei durchströmten Gerüst ganz wesentlich. Der c_{fx} -Wert fällt auf $1/8$ bis $1/10$ des ursprünglichen Wertes. Für Windrichtungen um $\beta = 120^\circ$ treten negative Beiwerte auf, d.h. die Windkraft ist hier von der Gebäudefassade weggerichtet. Der Beiwert beträgt $c_{fx} = -0,13$. Im Windschatten des Gebäudes ($\beta = 180^\circ$) wirken keine nennenswerten Windkräfte auf das Gerüst ein.

Die Windkraft in y-Richtung erreicht auch unter dem Gebäudeeinfluß ihr Maximum bei Schräganströmung ($\beta = 60^\circ$). Der Gebäudeeinfluß führt auch hier zu einer Abminderung des Beiwertes, jedoch ist diese wesentlich geringer als beim c_{fx} -Wert.

Die hier dargestellten Ergebnisse bestätigen im übrigen sehr gut die von Schröter bereits erkannten Zusammenhänge.

5.3.2 Einfluß der Gebäudeabmessungen

Um zu klären, ob die Windkraft auf ein Fassadengerüst durch die Gebäudegrundrißabmessungen beeinflußt wird, wurde die Breite des Baukörpermodells in Stufen von $b = 0,25$ l, $0,5$ l



und 0,75 l variiert. Das Ergebnis ist in nachfolgender Tabelle zusammengestellt und in Abbildung 31 aufgetragen:

b/l	$c_{fx \text{ max}}$	$c_{fy \text{ max}}$
0,25	0,26	0,21
0,50	0,23	0,21
0,75	0,22	0,19

Die eingetragenen Zahlenwerte entsprechen jeweils den aus den Kurvenverläufen $c_f = f(\beta)$ abgelesenen Maxima.

Wie man erkennt, führt eine Veränderung der Bauwerksgeometrie nur zu geringen Abweichungen der maximalen Kraftbeiwerte. Eine Weiterverfolgung des Einflusses dieses Parameters ist deshalb nicht erforderlich.

5.3.3 Einfluß der Lage des Gerüstes am Gebäude

Es war zu vermuten, daß die Lage des Gerüstes am Gebäude für die Größe der Windkräfte von Bedeutung ist. In den Modellversuchen wurde deshalb ein schmales Gerüst (Drittelscheibe) in unterschiedlichen Positionen am Gebäude untersucht.

Das Versuchsergebnis ist auch hier wieder tabellarisch und grafisch (Abbildung 32) dargestellt:

y/l	$c_{fx \text{ max}}$	$c_{fy \text{ max}}$	Bemerkung
-0,16	0,57	0,34	Gerüst ragt zur Hälfte über die Gebäudekante hinaus
0	0,38	0,35	Gerüst bündig mit der Gebäudekante
0,33	0,49	0,40	Gerüst in Fassadenmitte



Auf die Größe der maximalen Windkräfte in y-Richtung hat die Position des Gerüstes keinen wesentlichen Einfluß. Es ist nur ein leichter Anstieg des c_{fy} -Wertes bei Verschiebung des Gerüstes zur Bauwerksmitte hin festzustellen. Bedeutender sind die Schwankungen beim c_{fx} -Wert. Da ein Teil des Gerüstes frei durchströmt wird, wenn dieses über die Gebäudekontur hinausragt, steigt der Beiwert entsprechend an. Die geringste Windkraft in x-Richtung erfährt ein Gerüst, das bündig mit der Gebäudekante abschließt. Bei Verlegung des Gerüstes in Fassadenmitte ist wieder ein leichtes Ansteigen des Beiwertes festzustellen.

5.4 Gerüste vor teilweise winddurchlässigen Fassaden

5.4.1 Allgemeine Anmerkungen

Hauptaufgabe der hier vorgenommenen Windkanalversuche war es, die Frage der Windbelastung von Gerüsten an winddurchlässigen Fassaden zu klären. In der Praxis liegen solche Situationen dann vor, wenn z.B. ein Bauwerk in Skelettbauweise mit vorgefertigten Fenster- und Fassadenelementen versehen werden soll. Je nach Bauzustand können die Gebäudeöffnungen dabei unterschiedlich groß sein. Außerdem ist denkbar, daß mehrere Geschosse bereits vollständig geschlossen sind, während die übrigen noch offen sind. All diese Situationen wurden durch die Modellversuche überprüft. Dabei wurden die Kraftbeiwerte jeweils in Abhängigkeit vom Anströmwinkel ermittelt. Für die Gerüstverankerung sind jedoch, unabhängig von der Windrichtung, jeweils die Maximalkräfte maßgebend. Deshalb wird der Einfluß der Anströmrichtung nachfolgend nur an einigen Beispielen dargestellt.



Im übrigen wird darauf hingewiesen, daß die kompletten Rohdaten der Messungen in der Anlage zu finden sind.

5.4.2 Einfluß der Anströmrichtung

In der Abbildung 33 ist der Verlauf der Kraftbeiwerte für das Gesamtgerüst, in den Abbildungen 34 und 35 für Teilfelder in Gerüstmitte bzw. am Gerüstrand in Abhängigkeit vom Anströmwinkel β aufgetragen. Für diese Diagramme beträgt der Anteil der offenen Fassadenfläche an der Gesamtfläche $1/3$.

Analog zeigen die Abbildungen 36, 37 und 38 den Beiwertverlauf für ein Öffnungsverhältnis von $2/3$.

Den Diagrammen ist zu entnehmen, daß die größte Windkraft in x-Richtung auch hier, wie schon beim geschlossenen Baukörper, bei senkrechter Anströmung ($\beta = 0^\circ$ bzw. 180°) auftritt. Die zahlenmäßige Größe hängt, wie zu erwarten, vom Grad der Luftdurchlässigkeit des Gebäudes ab. Dabei ist der Beiwert für ein Gerüst an der Gebäudeleeseite zahlenmäßig kleiner als für ein Gerüst an der Luvseite.

Auch die Kurvenverläufe für die Kraft in y-Richtung sind den oben (5.3.1) bereits besprochenen ähnlich. Maxima treten hier bei Schräganströmung unter einem Winkel von $\beta = 60^\circ$ auf.

Darüber hinaus läßt sich deutlich der Unterschied zwischen Gerüstfeldern in Fassadenmitte und solchen an der Bauwerkskante ablesen. Während für die erstgenannten sich um $\beta = 180^\circ$ ein symmetrischer Verlauf ergibt, zeigen letztere stärkere Unsymmetrien.

5.4.3 Einfluß der Winddurchlässigkeit des Gebäudes

Der Einfluß der Winddurchlässigkeit der Bauwerksfassade auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte tritt deutlicher hervor, wenn man die aus den Diagrammen $c_f = f(\beta)$ ablesbaren Maximalwerte über dem Parameter D (D = Durchlässigkeit der Fassade) aufträgt. In Abbildung 39 ist dies für das Gesamtgerüst, in den Abbildungen 40 bis 45 für die einzelnen Gerüstfelder geschehen.

Der c_{fy} -Wert wird durch unterschiedlich starke Winddurchlässigkeit der Gebäudewand nur unwesentlich verändert. Für das Gesamtgerüst liegen die Zahlenwerte bei $c_{fy} = 0,22$ für geschlossene Fassade und $c_{fy} = 0,36$ für vollständig offene Fassade. Da bei der Situation "vollständig offene Fassade" dem Gebäude lediglich zwei einander gegenüberliegende Wände fehlen, kann diese nicht unbedingt der Situation "frei durchströmtes Gerüst" gleichgesetzt werden.

Der c_{fx} -Wert wird in starkem Maße von der Größe der Bauwerksöffnungen beeinflusst. Wie der Vergleich der Werte für geschlossene Fassade ($c_{fx} = 0,12$) und vollständige Winddurchlässigkeit ($c_{fx} = 1,25$) zeigt, tritt hier eine Verzehnfachung des Beiwertes auf. Der letztgenannte Wert ist praktisch identisch mit dem eines frei durchströmten Gerüsts.

Für die einzelnen Gerüstteilfelder verlaufen die Beiwertkurven analog zu den für das Gesamtgerüst besprochenen.

Es läßt sich feststellen, daß der Zusammenhang zwischen Beiwertgröße und Durchlässigkeit der Fassade nahezu linear ist. Das Ergebnis kann deshalb in der Form

$$c_{fx} = c_{fx0} + k \cdot D$$

dargestellt werden.

Dabei ist

c_{fx0} = aerodynamischer Kraftbeiwert bei windundurchlässiger Fassade

k = Proportionalitätsfaktor

D = Durchlässigkeit der Fassade.

D ist zu bilden aus

$$D = \frac{A_{\text{offen}}}{A_{\text{ges.}}}$$

A_{offen} ist der offene Anteil der gesamten Fassadenfläche $A_{\text{ges.}}$.

Ein Vorschlag für die zahlenmäßige Größe der Koeffizienten k und c_{fx0} wird im nachfolgenden Abschnitt 6. unterbreitet.

Für den c_{fy} -Beiwert wäre grundsätzlich eine ähnliche Darstellungsweise möglich, wegen des hier relativ geringen Einflusses der Winddurchlässigkeit jedoch weniger sinnvoll.

In diesem Zusammenhang ist noch erwähnenswert, daß die Verteilung der Durchlässigkeit über der Gebäudefassade praktisch ohne Bedeutung für die Beiwerte des Gesamtgerüsts ist.

Die in den Modellversuchen simulierten Bauzustände:

- a) Durchlässigkeit von 2/3 gleichmäßig über die gesamte Fassade verteilt und
- b) unteres Drittel des Gebäudes vollständig geschlossen, obere 2/3 der Fassadenfläche offen

führen mit Beiwerten von:

$$\text{a) } c_{fx \text{ max}} = 0,39 \quad c_{fy \text{ max}} = 0,27$$

$$\text{b) } c_{fx \text{ max}} = 0,43 \quad c_{fy \text{ max}} = 0,29$$

zu nahezu identischen Ergebnissen. Die noch bestehenden Unterschiede lassen sich, wie nachfolgend gezeigt wird, durch die Lage der vom Wind stärker getroffenen Gerüstfelder erklären.

5.4.4 Einfluß der Lage der einzelnen Gerüstfelder

In Abbildung 46 sind die maximalen Beiwerte, die sich bei unterschiedlicher Durchlässigkeit der Bauwerksfassade für die einzelnen Teilfelder ergeben, nochmals zusammengestellt. Die von Schröter für Gerüste an der geschlossenen Bauwerksfassade festgestellte Tendenz, daß die Windbelastung des Gerüsts in der Nähe der Bauwerkskanten zunimmt, bestätigt sich auch bei teilweise winddurchlässigen Gebäuden. Mit Zunahme der Durchlässigkeit ist sie jedoch weniger stark ausgeprägt.

5.5 Aerodynamische Kraftbeiwerte für Einzelelemente des Gerüsts

5.5.1 Bord- und Belagbretter

In der nachfolgenden Tabelle sind jeweils für senkrechte Anströmung die c_{fx} -Werte für zwei verschiedene Modellkonfigurationen und die Zustände mit und ohne Belag- und Bordbrettern einander gegenübergestellt.

Tabelle

c_{fx} -Werte ($\beta = 0^\circ$)

Konfiguration	ohne	mit Abbretterung
frei durchströmt	0,75	1,27
Fassade zu 2/3 offen	0,55	0,92

Wie man dieser Zusammenstellung entnehmen kann, hat die Abbretterung einen wesentlichen Einfluß. Aus dem Unterschied der Beiwerte ist zu schließen, daß der Beiwert für die Bretter höher als der für die Rohre ist.

Die durch Messungen an Einzelelementen ermittelten exakten Werte für diese Gerüstbauteile wurden bereits im Abschnitt 3.2 mitgeteilt. Sie betragen $c_f = 2,1$ für das auf seine Breitseite und $c_f = 1,0$ für das auf die Schmalseite angeblasene Brett.

5.5.2 Beläge aus gelochten Stahlprofilen

In neuerer Zeit werden anstelle von Belagbrettern auch gelochte Stahlprofile verwendet (Abbildung 22).

Da eine Nachbildung dieser Profile an den für die Versuche eingesetzten Modellen nicht möglich war, wurden diese Bauteile in Originalgröße untersucht. Dabei wurden die auf ein zwischen Endscheiben eingespanntes Teilstück wirkenden Windkräfte gemessen. Ausgehend von der Überlegung, daß am Gebäude in Teilbereichen die Luftströmung auch von der Horizontalen abweichende Richtungen annehmen kann, wurde die Anströmrichtung so variiert, daß auch geneigte Anströmung berücksichtigt wurde.

Für die beiden, von den jeweiligen Herstellern angelieferten Stahlprofile sind die Versuchsergebnisse in den Abbildungen 47 und 48 aufgetragen.

Profil 2 wurde zusätzlich noch in einer Anordnung von zwei hintereinanderliegenden Stücken untersucht. Das Ergebnis hierzu zeigt Abbildung 49.

Für die Beurteilung der Versuchsergebnisse ist wichtig zu wissen, daß als Bezugsfläche zunächst die Grundrißfläche der Planken gewählt wurde.



Der Kurvenverlauf für alle untersuchten Anordnungen ist etwa identisch. Die Kraft in x-Richtung steigt zunächst mit zunehmender Neigung der Anströmrichtung an. Bei $\alpha = 30^\circ$ wird in allen Fällen das Maximum erreicht. Für Anströmwinkel $\alpha > 30^\circ$ sinkt die Windkraft in x-Richtung wieder ab. Die Kraft in vertikaler Richtung liegt erwartungsgemäß bei horizontaler Anströmung etwa bei Null und steigt mit zunehmender Neigung der Anströmung auf ein Maximum bei $\alpha = 90^\circ$. Der Beiwert c_{fz} für gelochte Profile liegt dabei jedoch unter demjenigen der für geschlossene Bretter zu erwarten wäre.

Vertikale Anströmung ($\alpha = 90^\circ$) ist am Bauwerk jedoch nur für kleine Teilbereiche in der Nähe der Dachkante denkbar. Im übrigen spielt die Vertikalkomponente der Windkraft insgesamt, wie dies bereits dargestellt wurde, eine untergeordnete Rolle.

Bezüglich der Horizontalkomponente gibt die oben getroffene Wahl der Bezugsfläche ein etwas verzerrtes Bild. Deshalb wurden die Werte bei $\alpha = 0^\circ$ (horizontale Anströmung) und $\alpha = 30^\circ$ (Maximalwerte) nochmals für eine Bezugsfläche, die mit der Profilhöhe gebildet wurde, berechnet. Es ist dann

$$A = n \cdot l \cdot h$$

mit n = Anzahl der vom Wind getroffenen Profilstege

l = Länge des Profilstückes

h = Höhe des Profilsteges

Tabelle

Profil Nr.	c_{fx} bei $\alpha = 0^\circ$	c_{fx} bei $\alpha = 30^\circ$
1	0,78	1,07
2	1,06	1,16
2 x 2	1,62	1,29



Die Werte der Einzelprofile entsprechen größenordnungsmäßig denen für Bretter ähnlicher Dicke. Bei der Anordnung zweier Profile hintereinander sind die zurückliegenden Stege auch bei horizontaler Anströmung nicht vollkommen im Windschatten, so daß sich hier ein höherer Beiwert als für das Einzelprofil ergibt.

Schräganströmung unter $\alpha = 30^\circ$ verursacht für die Einzelprofile nur eine geringfügige Erhöhung der Beiwerte, wobei zu beachten ist, daß in der Bezugsfläche beide vom Wind getroffenen Stege berücksichtigt sind. Auch hier liegen die Werte für hintereinanderliegende Profile etwas höher als für das Einzelprofil.

5.5.3 Geflechte

Das von der Bauberufsgenossenschaft herausgegebene Merkblatt "Netze und Geflechte für Seitenschutz oder als Schutzwände in Arbeits- und Schutzgerüsten" sieht die Möglichkeit vor, Bordbrett und Seitenschutz durch Geflechte unterschiedlicher Maschenweite zu ersetzen.

Diese Geflechte wurden im Rahmen der Kraftmessungen an Bauteilen im Maßstab 1 : 1 mituntersucht. Als aerodynamische Kraftbeiwerte ergaben sich:

$$\begin{aligned} c_{fx} &= 1,12 \text{ für eine Maschenweite von } 20 \text{ mm und} \\ c_{fx} &= 0,81 \text{ für eine Maschenweite von } 75 \text{ mm.} \end{aligned}$$

5.5.4 Fanggerüste

Die Untersuchungen zur Frage der Windkräfte auf Fanggerüste wurden wieder am verkleinerten Modell durchgeführt (Abbildung 55). Die dabei ermittelten Kraftbeiwerte sind in Abbildung 50 in Abhängigkeit von der Anströmrichtung aufgetragen.



Zum Vergleich sind auch die Werte für das Gerüst allein mitangegeben.

Da die für diese Darstellung gewählte Bezugsfläche in beiden Fällen gleich groß war, d.h. die zusätzlichen Flächenanteile des Fanggerüstes zunächst nicht berücksichtigt wurden, kann aus dem Diagramm unmittelbar die durch das Anbringen des Fanggerüstes hervorgerufene Vergrößerung der Windkraft abgelesen werden.

Die Kraft in y-Richtung wird durch das Fanggerüst nur unwesentlich verändert. Die Kraft in x-Richtung wächst dagegen bei senkrechter Anströmung auf etwa den vierfachen Wert. Dies ist einmal auf die erhebliche Vergrößerung der Windangriffsfläche für diese Windrichtung durch die Abbreterung des Fanggerüstes, zum anderen aber auch auf die Lage in der oberen Gerüstebene in der Nähe der Dachkante zurückzuführen.

Bildet man aus der Differenz der Windkräfte und mit der Angriffsfläche des Fanggerüstes als Bezugsfläche den aerodynamischen Kraftbeiwert für das Fanggerüst allein, so ergibt sich dieser zu $c_{fx} = 1,8$.

6. Vorschlag für die Darstellung der aerodynamischen Kraftbeiwerte für Fassadengerüste im Rahmen der Norm

Aus den oben im einzelnen besprochenen Ergebnissen lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

Der Beiwert für die Windkraft parallel zur Bauwerksfassade (c_{fy}) erreicht sein Maximum bei Schräganströmung unter Winkeln von 30° bis 60° . Dabei werden dann alle Gerüstrohre vom Wind getroffen. Die übrigen Parameter, wie z.B. Abbreterung, Winddurchlässigkeit der Fassade, haben nur geringen Einfluß auf die Größe dieses Beiwertes.



Diese Angaben beziehen sich auf Gerüste aus Stahlrohren mit kreisförmigem Querschnitt, wie sie den Modellversuchen zugrunde lagen. Bei Verwendung von Rohren mit nichtkreisförmigem Querschnitt müßten die Zahlenwerte sinngemäß geändert werden. Bezüglich der zahlenmäßigen Größe der aerodynamischen Beiwerte für diese Profile wird auf die Arbeit von Franke [5] verwiesen.

Aus den angegebenen aerodynamischen Beiwerten, den zugehörigen Bezugsflächen und dem Geschwindigkeitsdruck q ergeben sich die auf ein Fassadengerüst einwirkenden Windkräfte zu

$$F_x = c_{fx} \cdot A_{\perp} \cdot q$$

$$F_y = c_{fy} \cdot A_{\parallel} \cdot q.$$

Die Tatsache, daß die in der Nähe der Bauwerkskanten liegenden Gerüstfelder stärker belastet werden als die Innenfelder, könnte, wie bisher auch, durch eine entsprechende Auslegung der Verankerung in diesen Bereichen berücksichtigt werden.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die in der Literatur angegebenen aerodynamischen Beiwerte für Gerüste und Gerüstbauteile zusammengetragen. Dabei aufgedeckte Lücken, die vor allem die Beiwerte für Fassadengerüste an teilweise winddurchlässigen Gebäuden betrafen, wurden durch Modelluntersuchungen geschlossen. Darüber hinaus erfolgte die experimentelle Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte für bestimmte Gerüstbauteile. Anhand der erarbeiteten Erkenntnisse wurde ein Vorschlag für die Erfassung der Windkräfte im Rahmen der Norm abgeleitet und zur Diskussion gestellt.

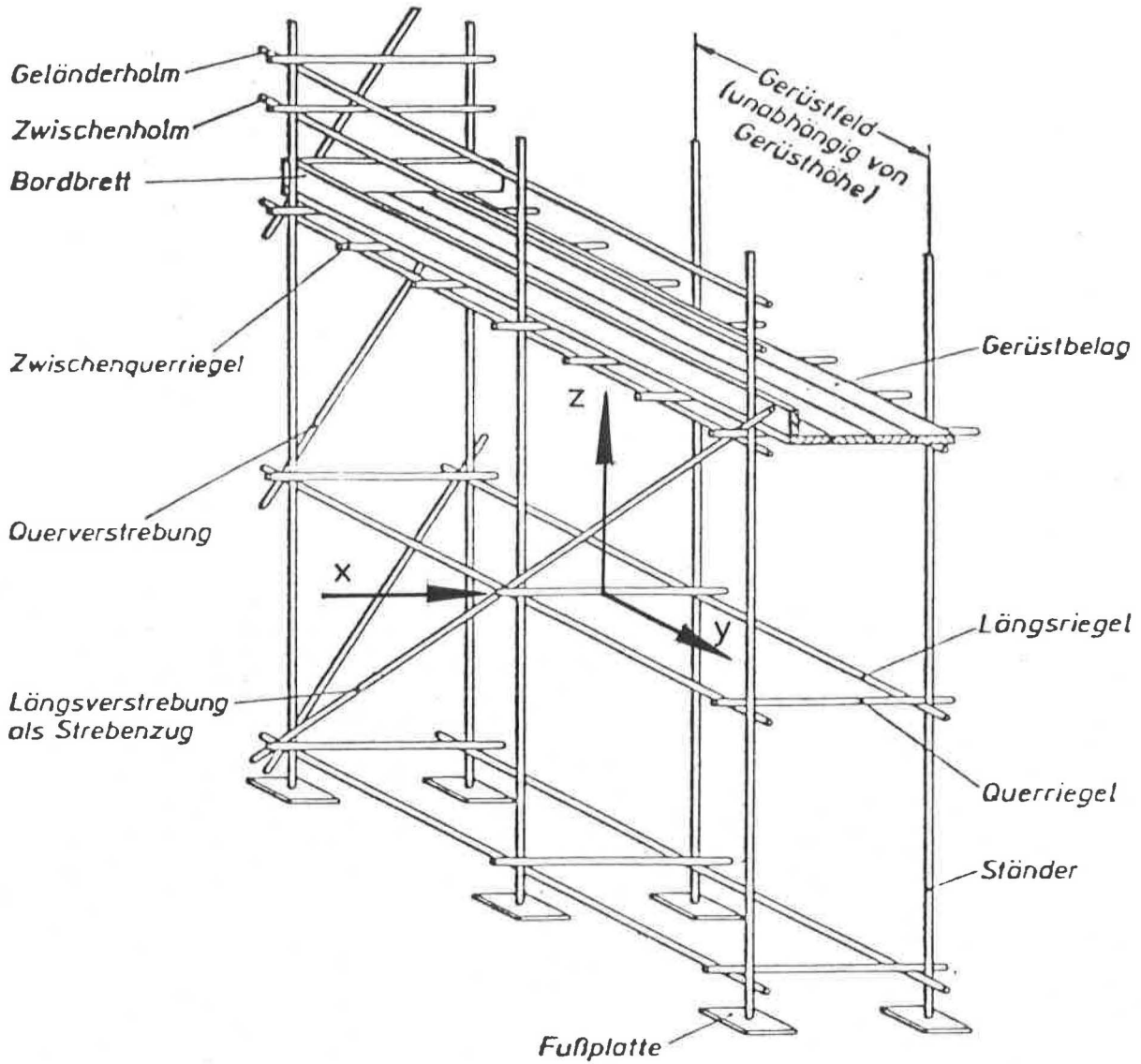


Literatur:

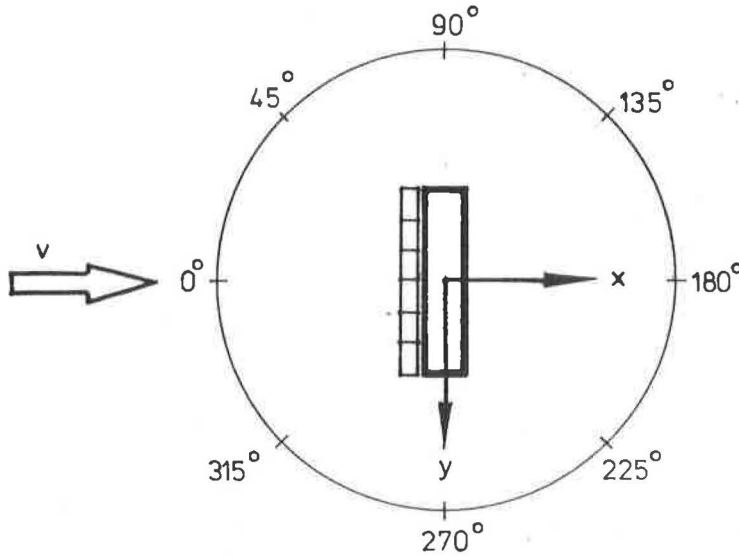
- | | |
|----|--|
| 1 | DIN 4420 Teil 1 Arbeits- und Schutzgerüste, Juli 1975 |
| 2 | DIN 1055 Blatt 4 Lastannahmen im Hochbau, Verkehrslasten - Windlasten, 1938 |
| 3 | DIN 1055 Teil 45 Lastannahmen für Bauten, Verkehrslasten, Aerodynamische Formbeiwerte für Baukörper
Entwurf 1977 |
| 4 | Pieckert, W. Aufstellen von Regeln für aerodynamische Beiwerte insbesondere für Baukörper mit gekrümmten Oberflächen, 1979 |
| 5 | Franke, R. Widerstandsbeiwerte für Vollwandträger und Fachwerke, 1977 |
| 6 | Schröter, D. Beitrag zur Ermittlung der statischen Beanspruchung von Stahlrohrgerüsten
Dissertation Dresden 1976 |
| 7 | Flachsbart, O. Modellversuche über die Belastung von Gitterfachwerken durch Windkräfte
Der Stahlbau Heft 9, 10 1934
Heft 8, 9, 10 1935 |
| 8 | Schulz, G. Windlasten an Fachwerken aus Rohrstäben
Merkblatt 469, Beratungsstelle für Stahlverwendung |
| 9 | Bruniak, R.
Sockel, H. Widerstandsmessungen an Rohren und Gerüstteilen
Österreichische Ingenieur Zeitschrift
4. Jahrgang, Heft 9 |
| 10 | Widmann, H. Windbelastung von Stahlrohrgerüsten
Beton- und Stahlbetonbau 10/1961 |
| 11 | Hensel, H. Windlastannahmen für Rohrgerüste und Lastumlagerungen bei Traggerüsten
Dissertation Dresden 1964 |



DIN 4420 Teil 1



BEZEICHNUNG DER GERÜSTELEMENTE
NACH DIN 4420



$$c_{fx} = \frac{F_x}{q \cdot A}$$

$$c_{fy} = \frac{F_y}{q \cdot A}$$

c_{fx} = WINDKRAFTBEIWERTE IN DER x-RICHTUNG

c_{fy} = " " " " y-RICHTUNG

F_x = WINDKRAFT IN DER x-RICHTUNG

F_y = WINDKRAFT IN DER y-RICHTUNG

A = BEZUGSFLÄCHE (= LÄNGE ALLER GERÜSTSTÄBE x STABDURCHMESSER)
 BZW.: WIE VOR + FLÄCHE DES BELAGES + FLÄCHE DES BORDBRETTE

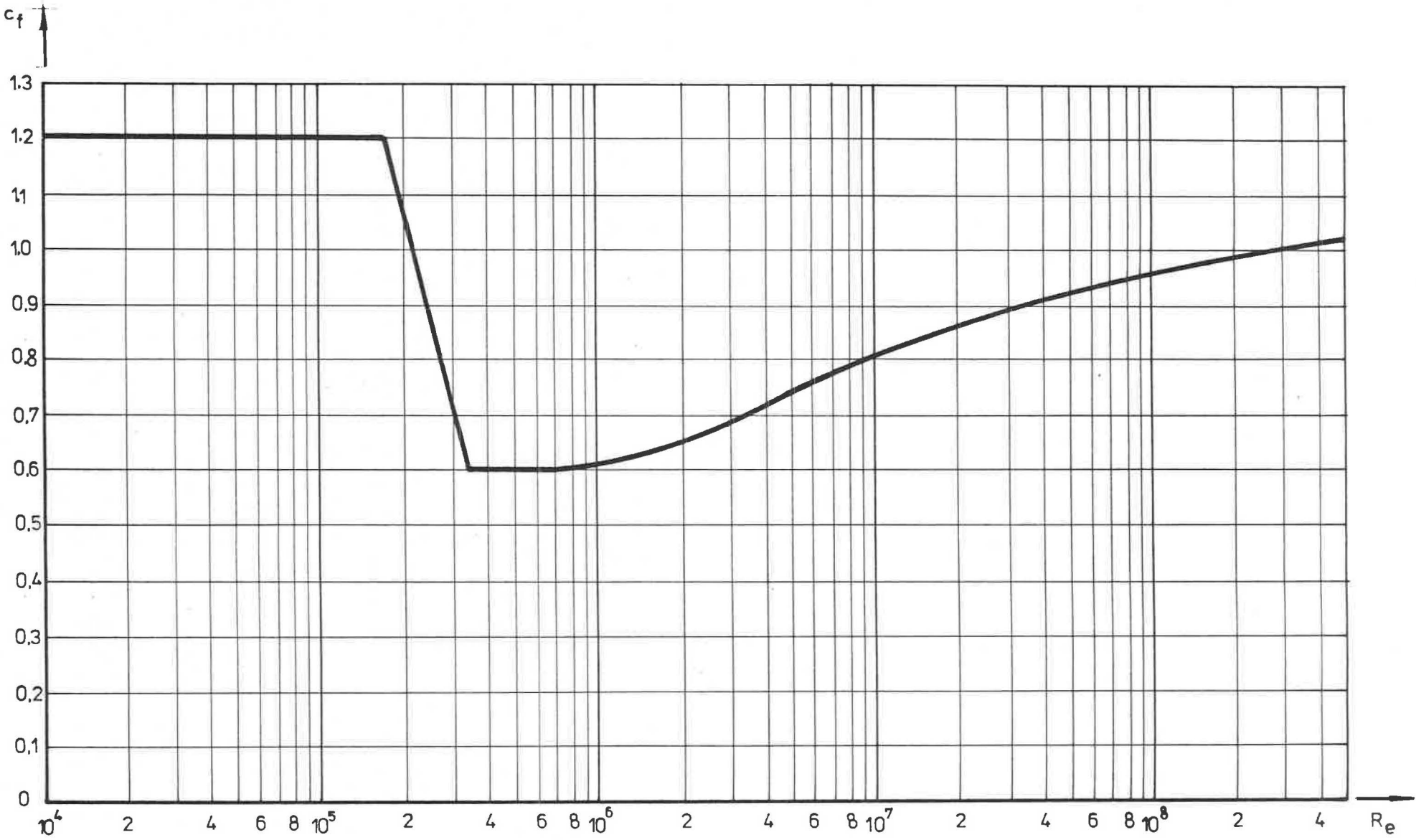
$$q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \text{ (STAUDRUCK)}$$

ρ = DICHTER DER LUFT

v = WINDGESCHWINDIGKEIT

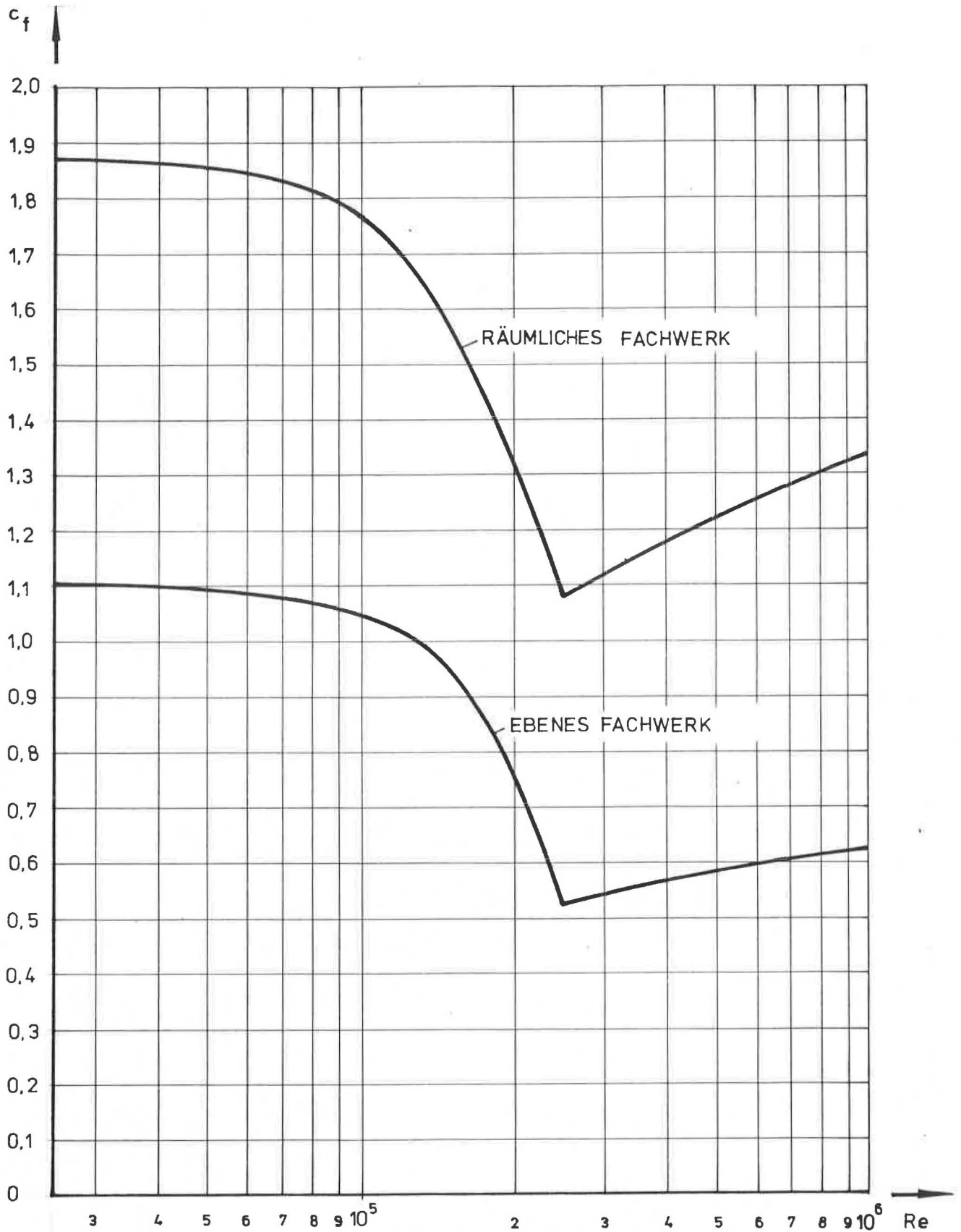
KOORDINATENSYSTEM, DEFINITIONEN
 BEZEICHNUNGEN

ABB. 2

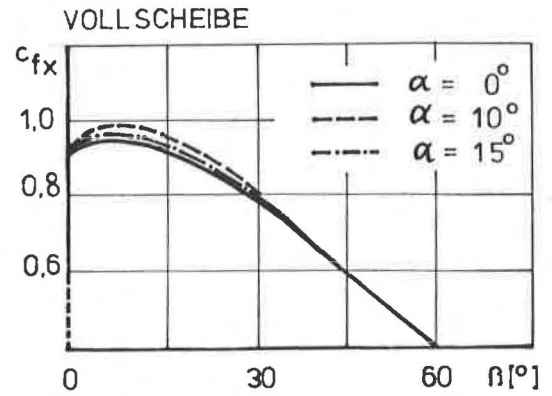
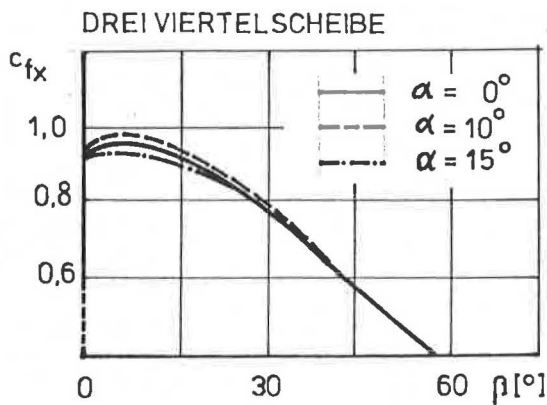
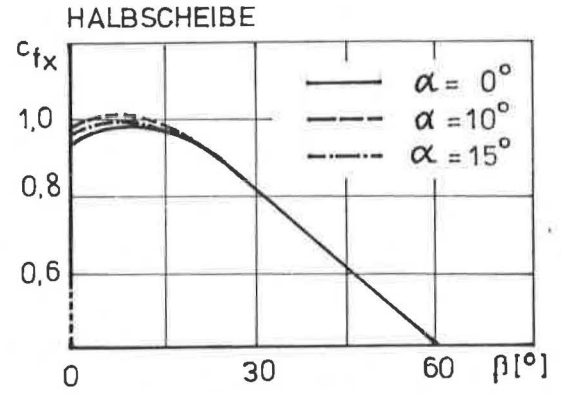
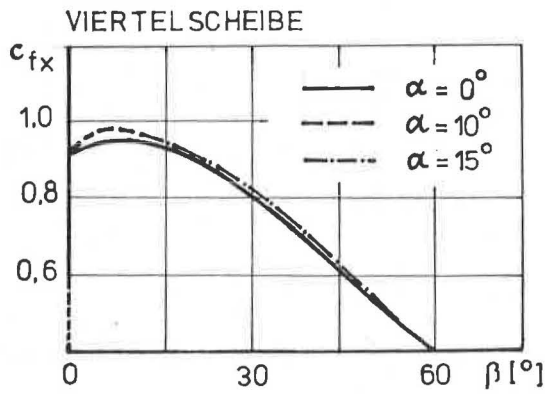
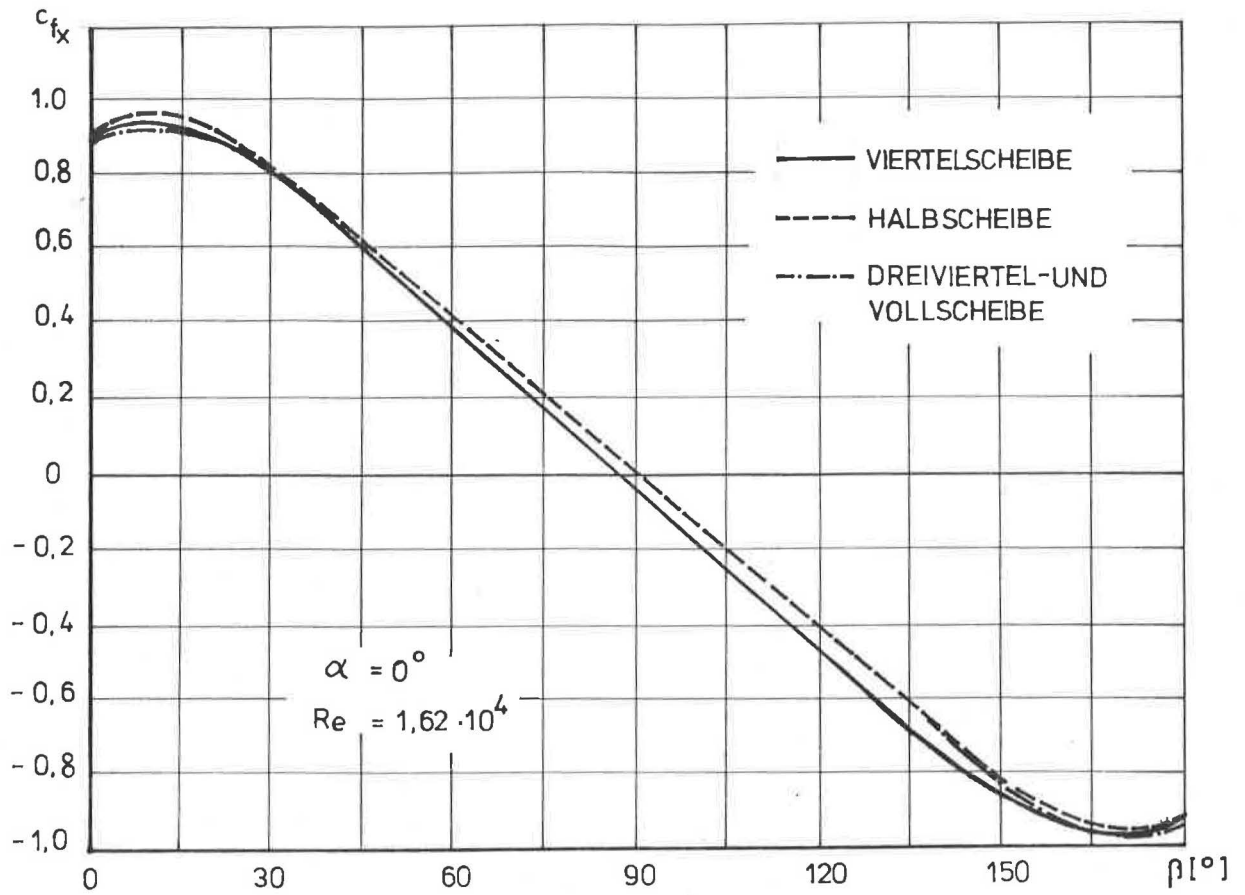


AERODYNAMISCHER KRAFTBEIWERT FÜR EIN ROHR
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER Re -ZAHLE

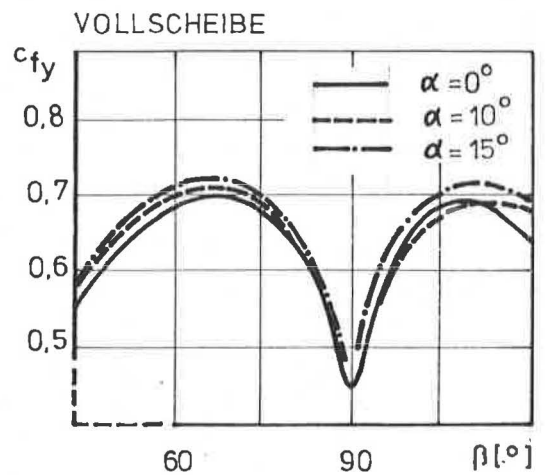
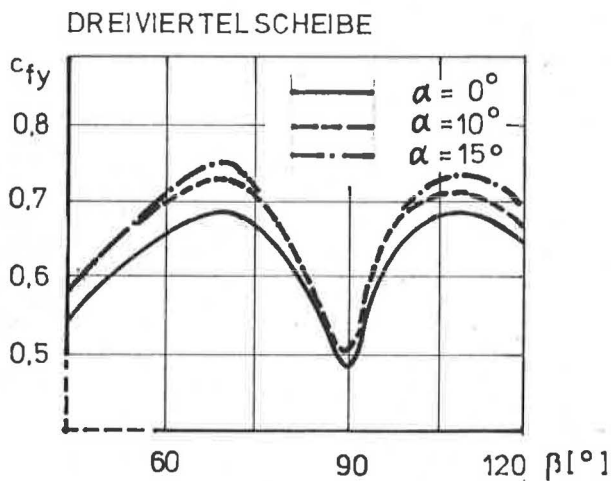
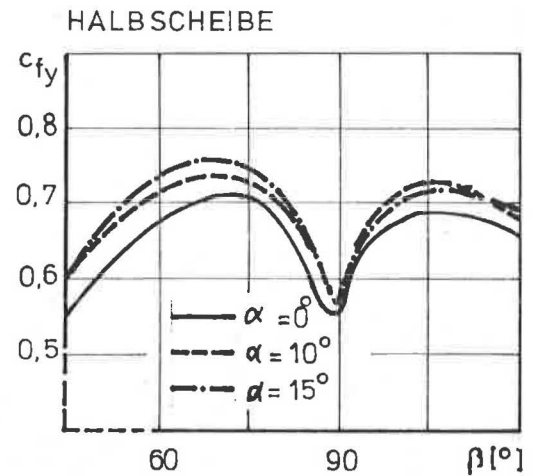
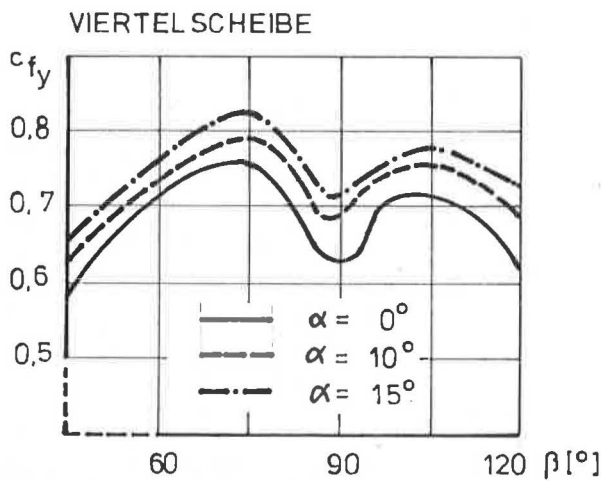
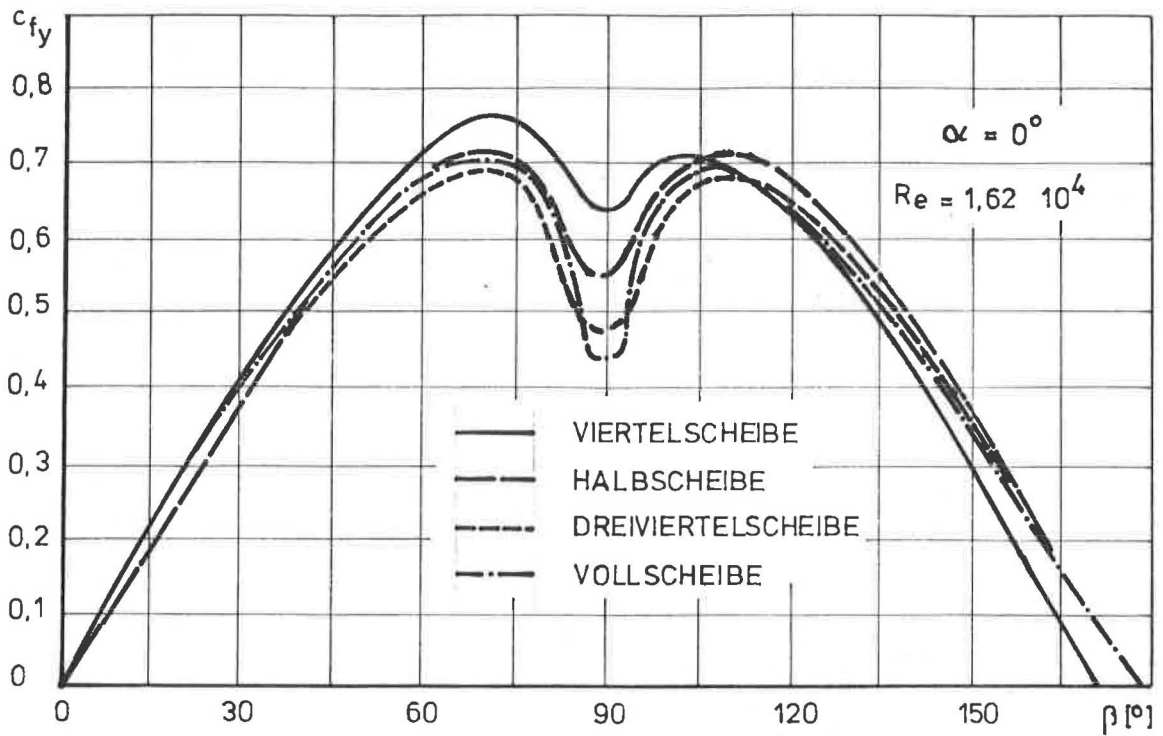
ABB. 3



AERODYNAMISCHER KRAFTBEIWERT FÜR EIN EBENES UND FÜR EIN RÄUMLICHES FACHWERK AUS ROHREN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER RE-ZAHL

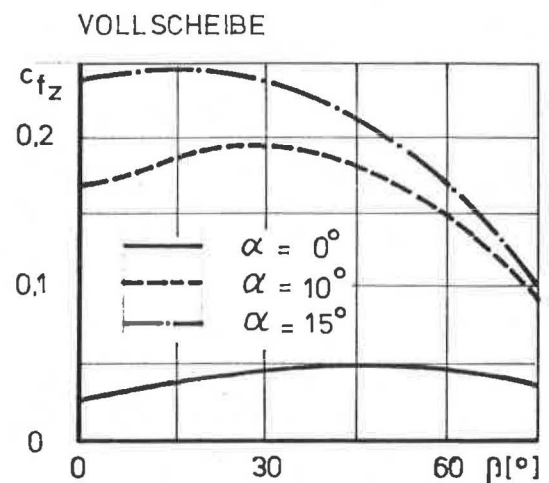
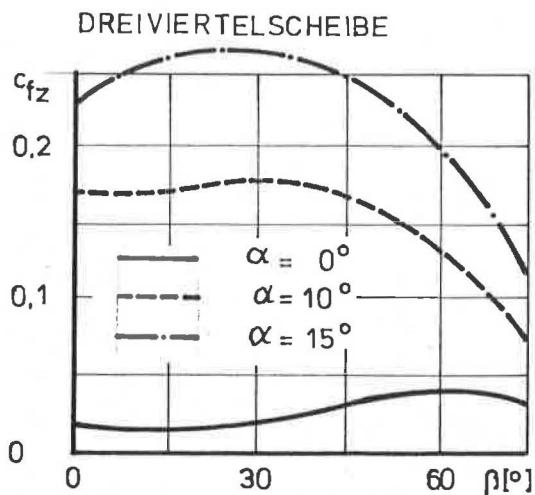
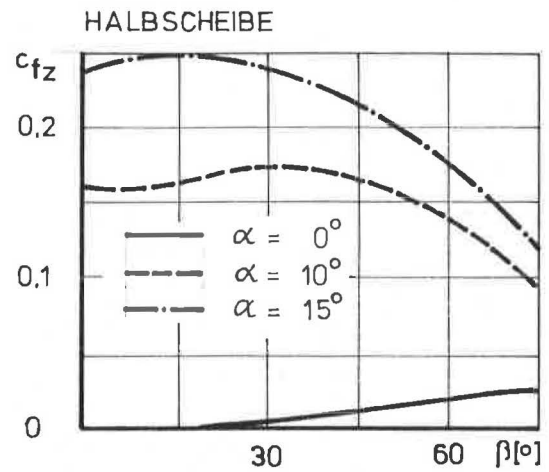
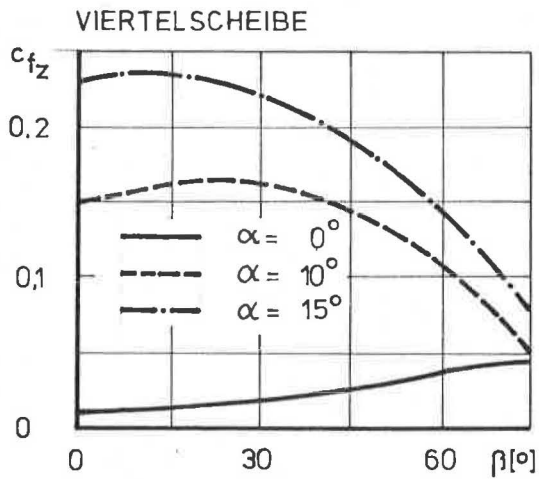
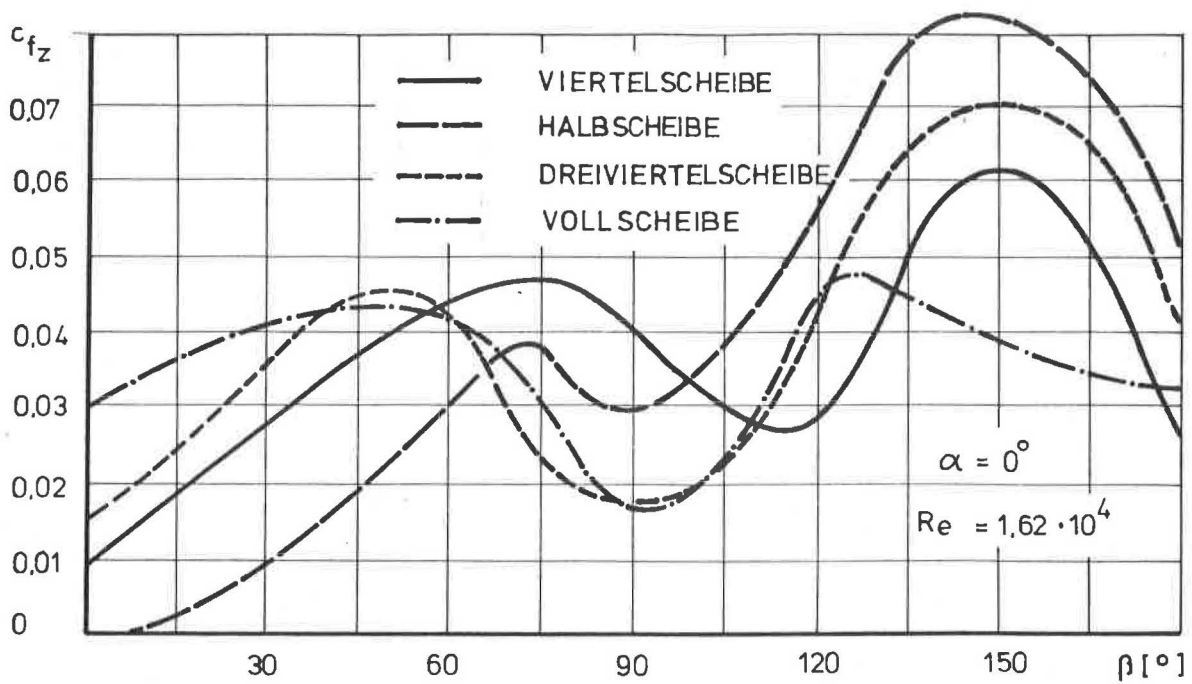


c_{fx} -WERTE FÜR GESAMTGERÜSTE OHNE GEBÄUDE UND OHNE ABBRETTUNG



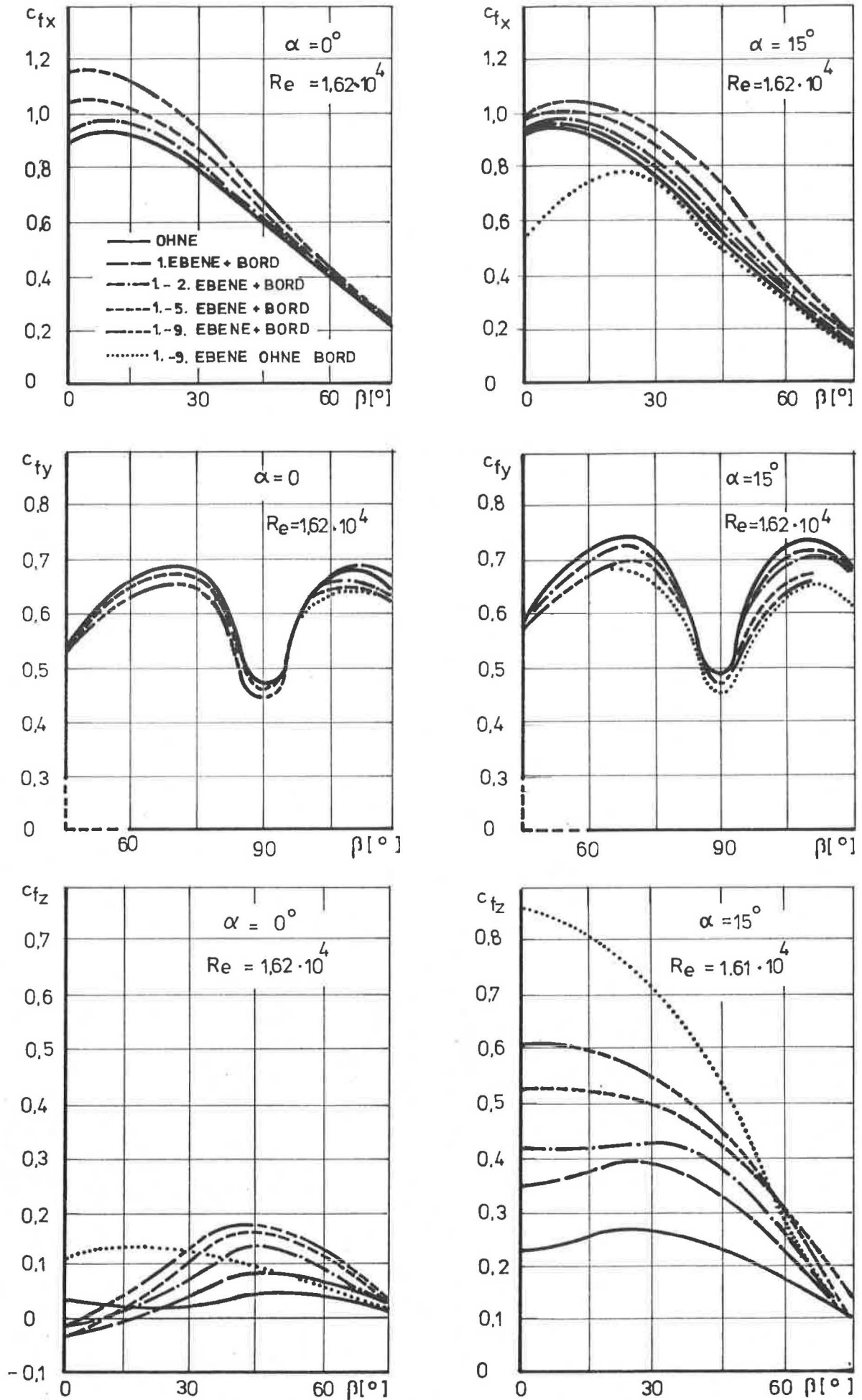
c_{fy} -WERTE FÜR GESAMTGERÜSTE OHNE GEBÄUDE
UND OHNE ABBRETTUNG

ABB. 6



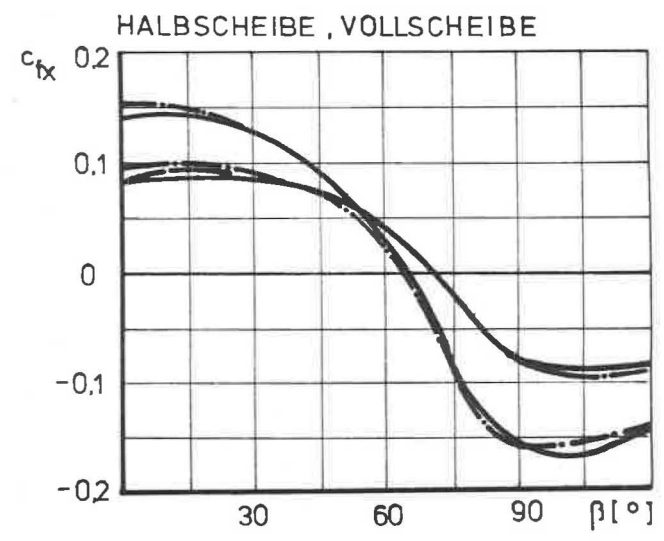
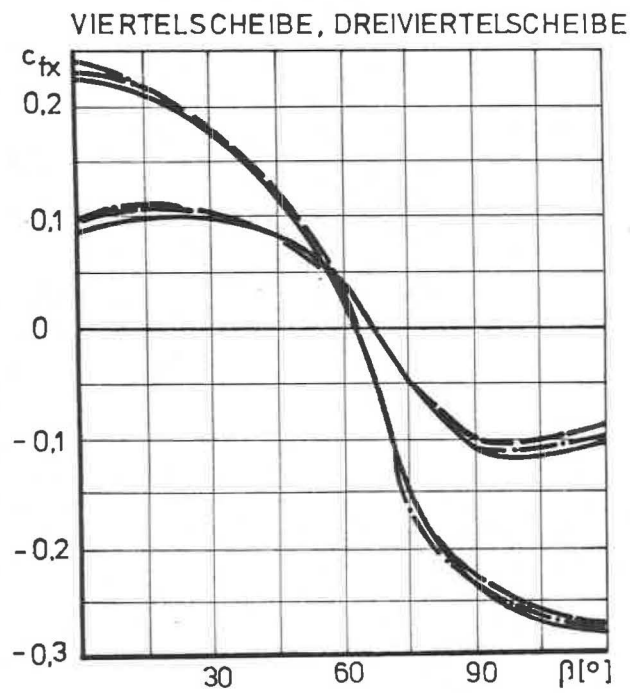
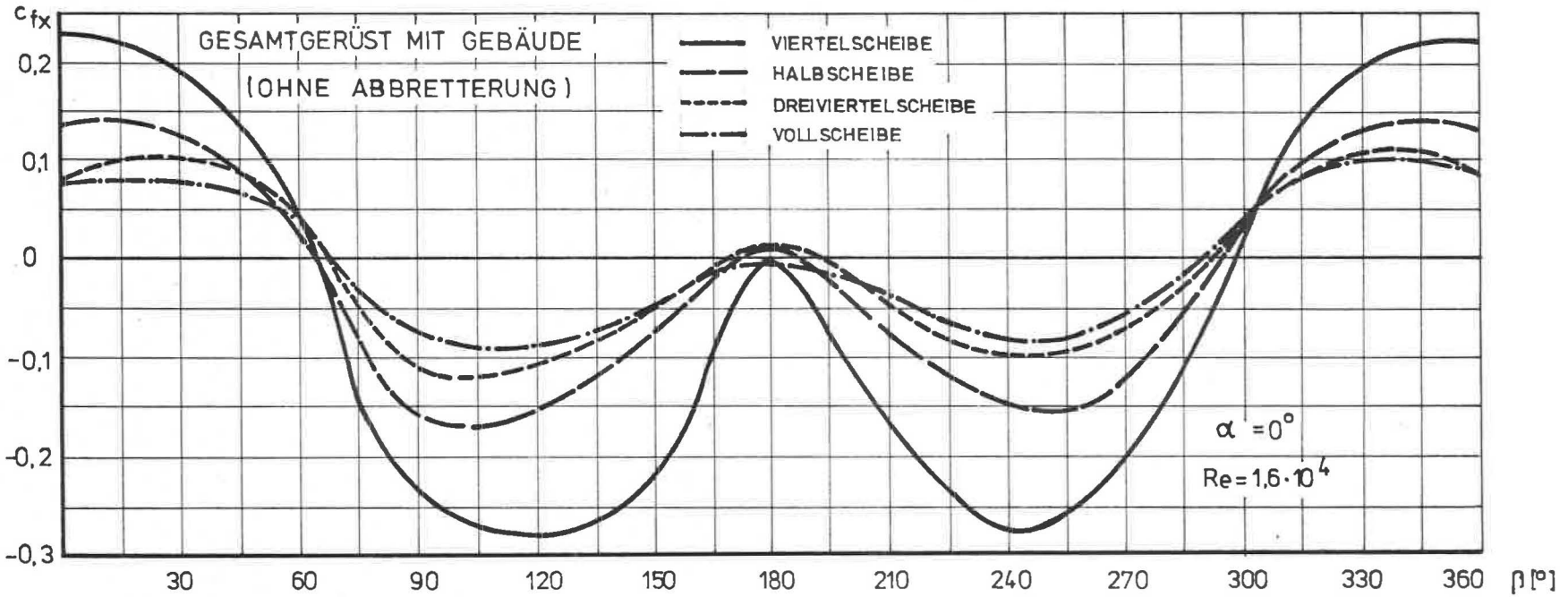
c_{fz} -WERTE FÜR GESAMTGERÜSTE OHNE GEBÄUDE
UND OHNE ABBRETTERUNG

ABB. 7

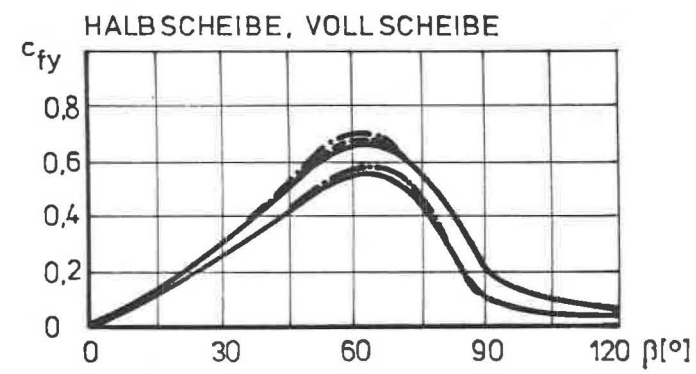
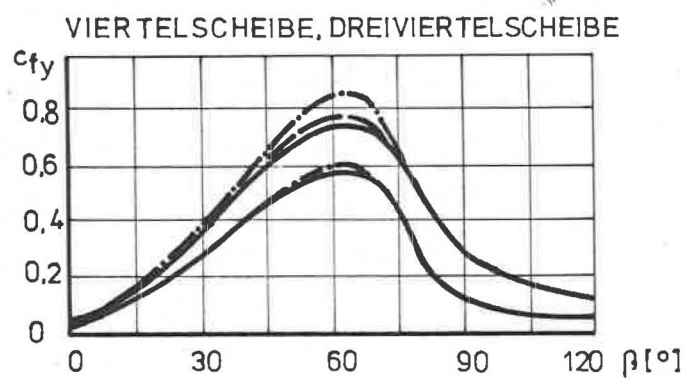
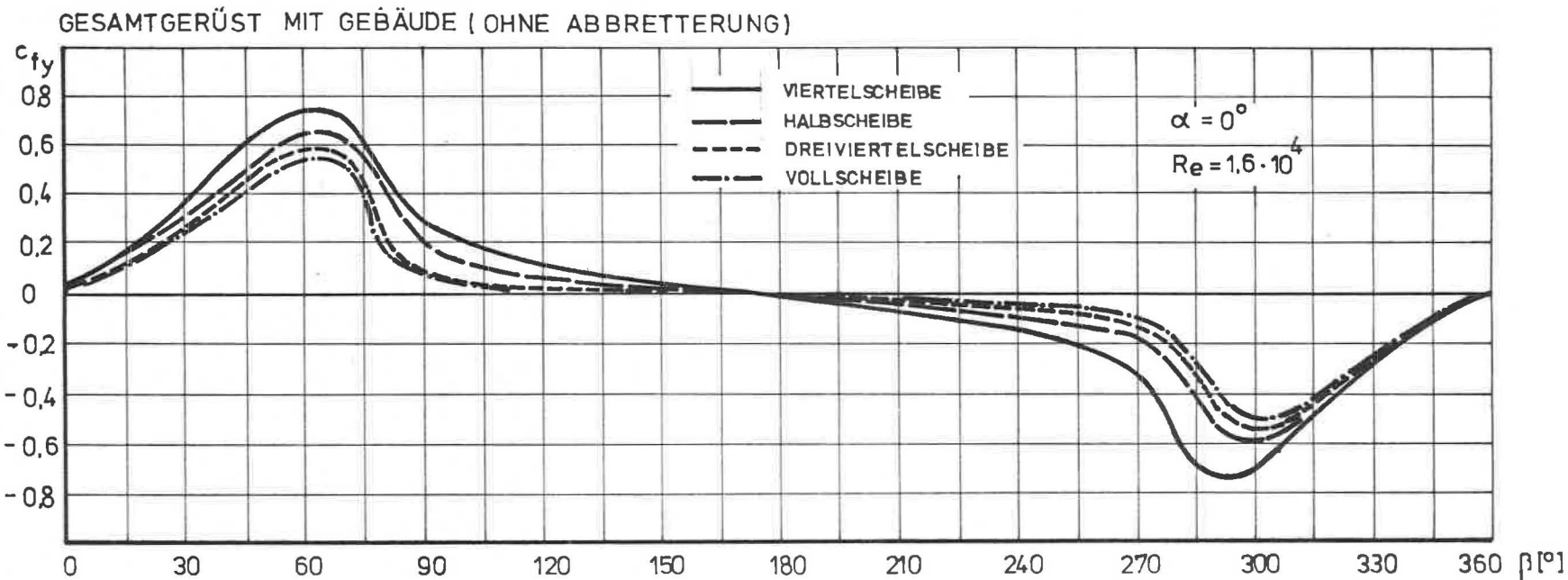


EINFLUSS DER ABBRETTERUNG AUF DIE AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

ABB. 8



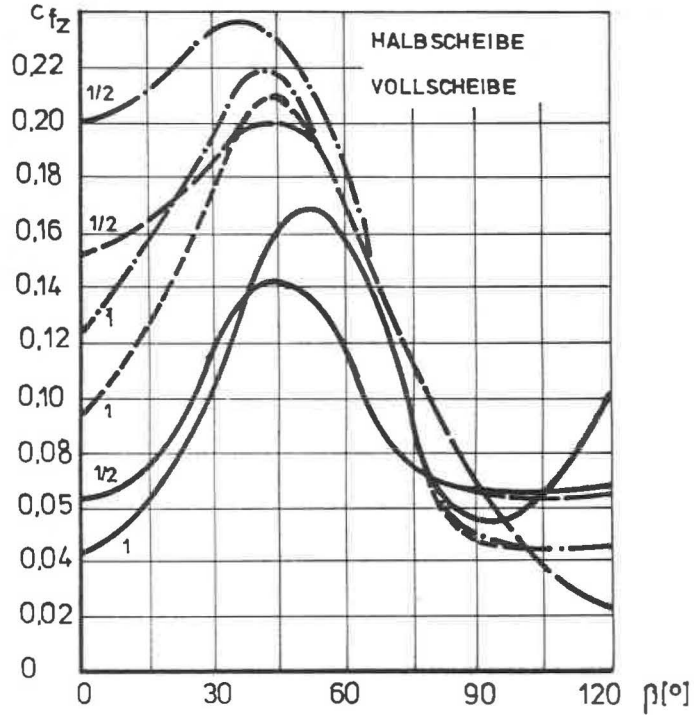
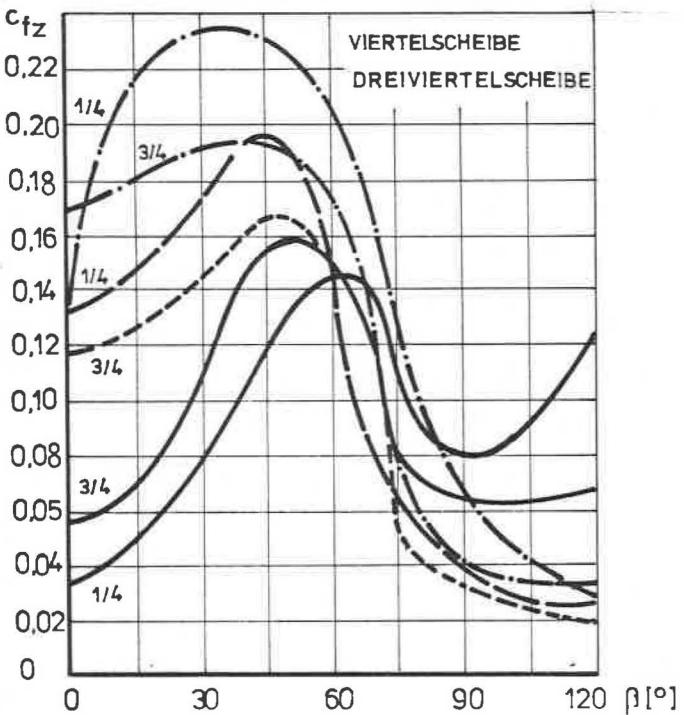
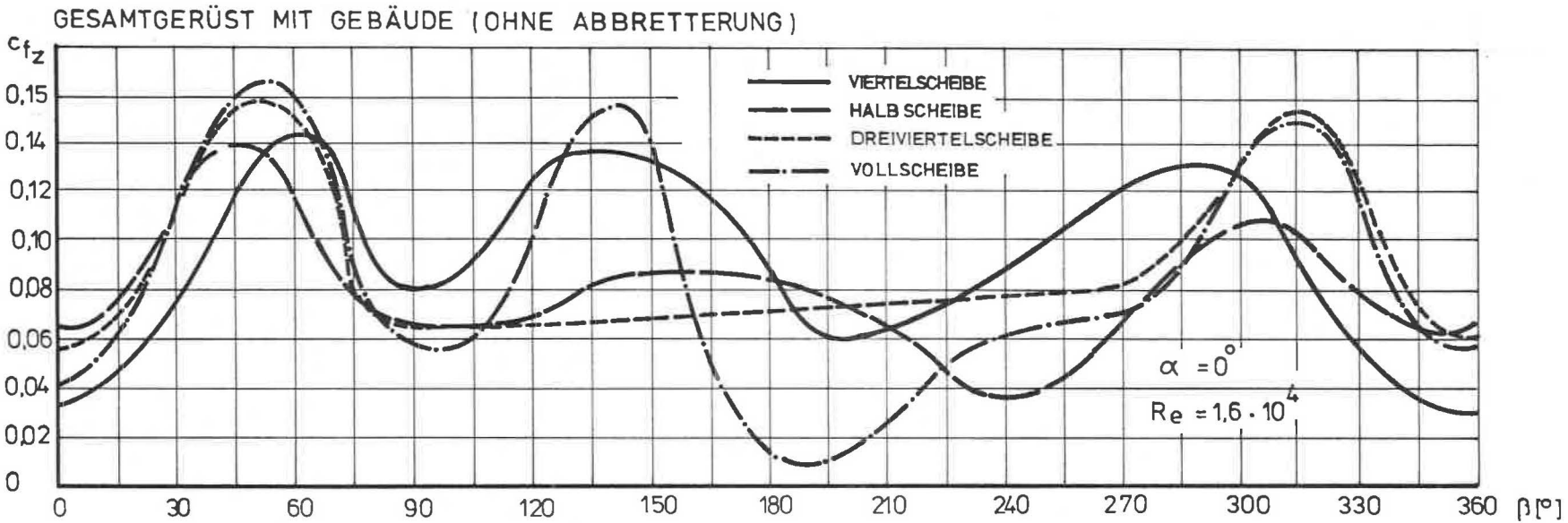
c_{fx} - WERTE FÜR GERÜSTE OHNE ABBRETTUNG AM GEBÄUDE



c_{fy} -WERTE FÜR GERÜSTE OHNE ABBRETTERUNG AM GEBÄUDE

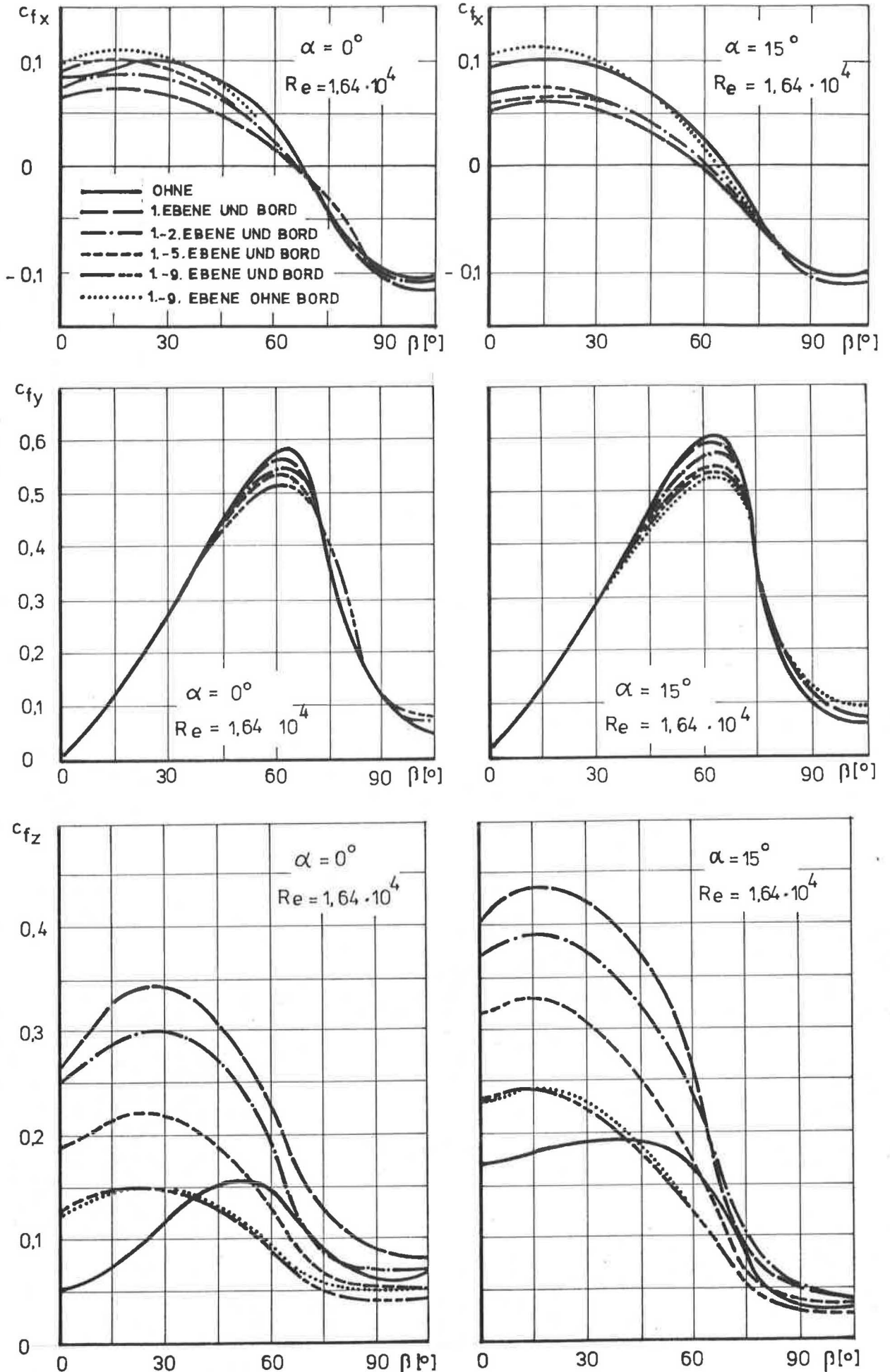
ABB.10

52



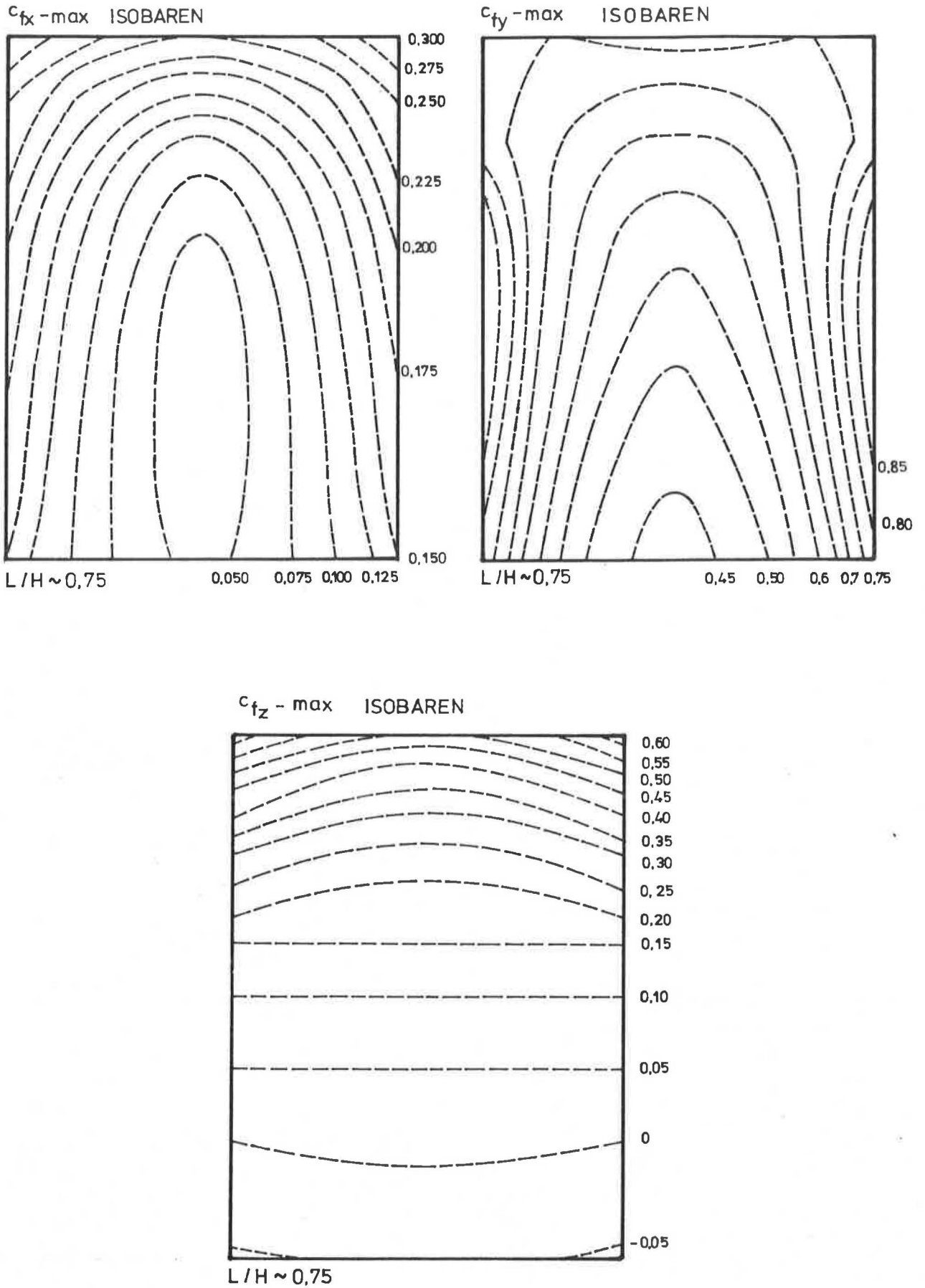
c_{fz} -WERTE FÜR GERÜSTE OHNE ABBREITERUNG AM GEBÄUDE

52



EINFLUß DER ABBRETTERUNG AUF DIE AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE FÜR EIN GERÜST AM GEBÄUDE

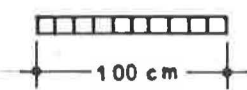
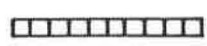
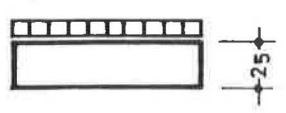
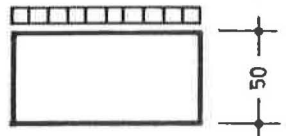
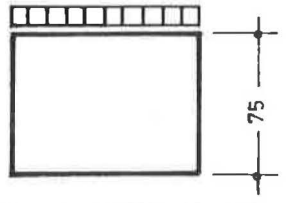

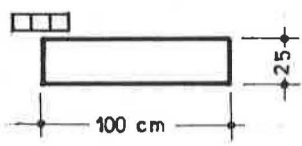

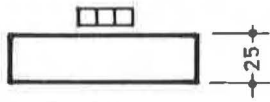
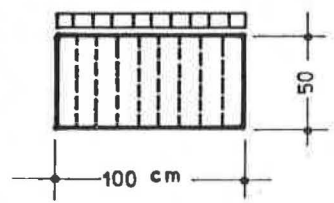
57



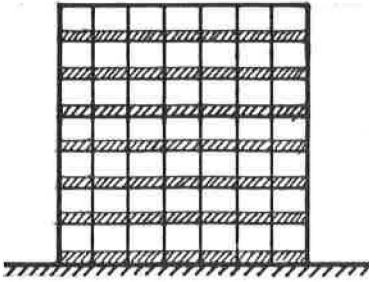
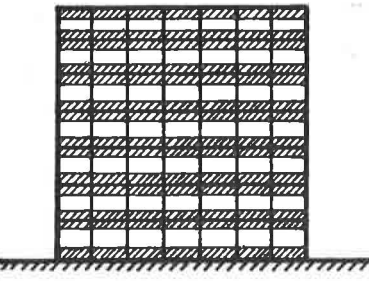
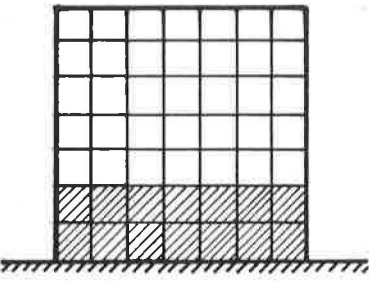
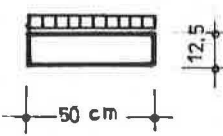
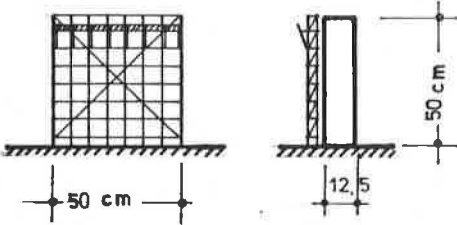
VERTEILUNG DER WINDKRÄFTE AUF EIN GERÜST AM GEBÄUDE

ABB. 13



LFD. NR.	VERSUCHSANORDNUNG	WINDKANAL		ANSTRÖM- WINKEL β	FOTO- NR.
		MÜNCHEN	DARMSTADT		
1	 <p>MIT BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$	
2	 <p>OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ \text{ u } 90^\circ$	
3	 <p>OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)	
4	 <p>OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)	
5	 <p>OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)	
6	 <p>KURZES GERÜST OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$	
7	 <p>OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 45^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)	
8	 <p>OHNE BELAG</p>		X		
9	 <p>OHNE BELAG</p>		X		
10	 <p>OFFENES BEISTELL- MODELL GERÜST MIT BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$ $225^\circ - 270^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)	



LFD. NR.	VERSUCHSANORDNUNG	WINDKANAL		ANSTRÖM-WINKEL β	FOTO-NR.
		MÜNCHEN	DARMSTADT		
11	 <p>UNTERES DRITTEL DER WABEN VERSPERRT GERÜST OHNE BELAG</p>		X	$0^\circ - 90^\circ$ $225^\circ - 270^\circ$ $(\Delta\beta = 5^\circ)$	
12	 <p>OBERES UND UNTERES DRITTEL DER WABEN VERSPERRT GERÜST OHNE BELAG</p>		X	$45^\circ - 90^\circ$ $225^\circ - 270^\circ$ $(\Delta\beta = 5^\circ)$	
13	 <p>UNTERE FASSADE VERSPERRT GERÜST OHNE BELAG</p>		X	$45^\circ - 90^\circ$ $225^\circ - 270^\circ$ $(\Delta\beta = 5^\circ)$	
14	 <p>KLEINES MODELL FÜR MÜNCHNER WINDKANAL GERÜST OHNE BELAG</p>	X			
	 <p>KLEINES MODELL FÜR MÜNCHNER WINDKANAL MIT FANGGERÜST GERÜST OHNE BELAG</p>	X			



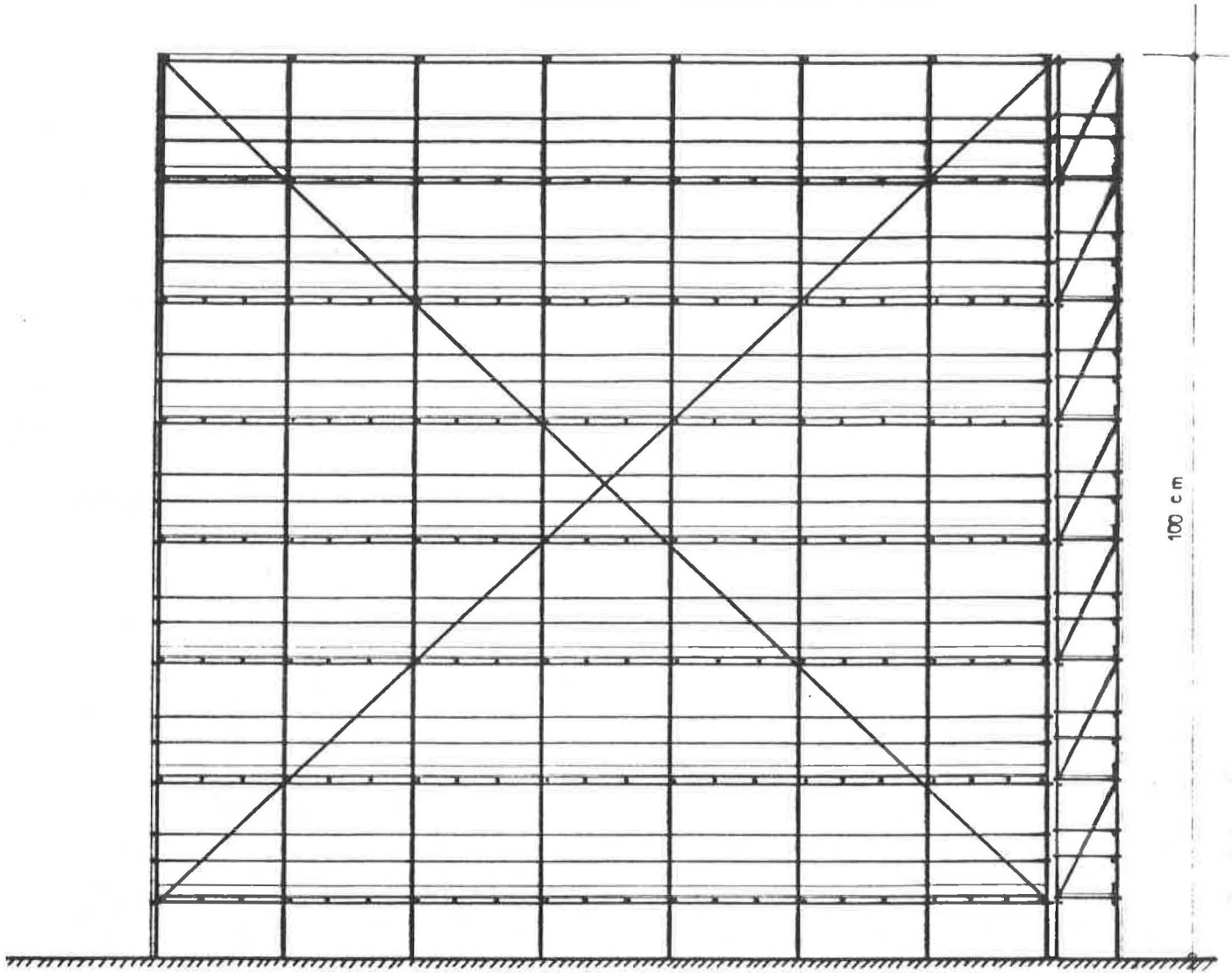
LFD. NR.	VERSUCHSANORDNUNG		WINDKANAL		ANSTRÖM- WINKEL β	FOTO- NR.
			MÜNCHEN	DARMSTADT		
1	VERSERRUNG 0		X		0°-360°	
2	" 1/3					
3	" 2/3					
4	" 1					
5	VERSERRUNG 0		X		"	
6	" 1/3					
7	" 2/3					
8	" 1					
9	VERSERRUNG 0		X		"	
10	" 1/3					
11	" 2/3					
12	" 1					
13	VERSERRUNG 0		X		"	
14	" 1/3					
15	" 2/3					
16	" 1					
17	VERSERRUNG 0		X		"	
18	" 1/3					
19	" 2/3					
20	" 1					
21	VERSERRUNG 0		X		"	
22	" 1/3					
23	" 2/3					
24	" 1					



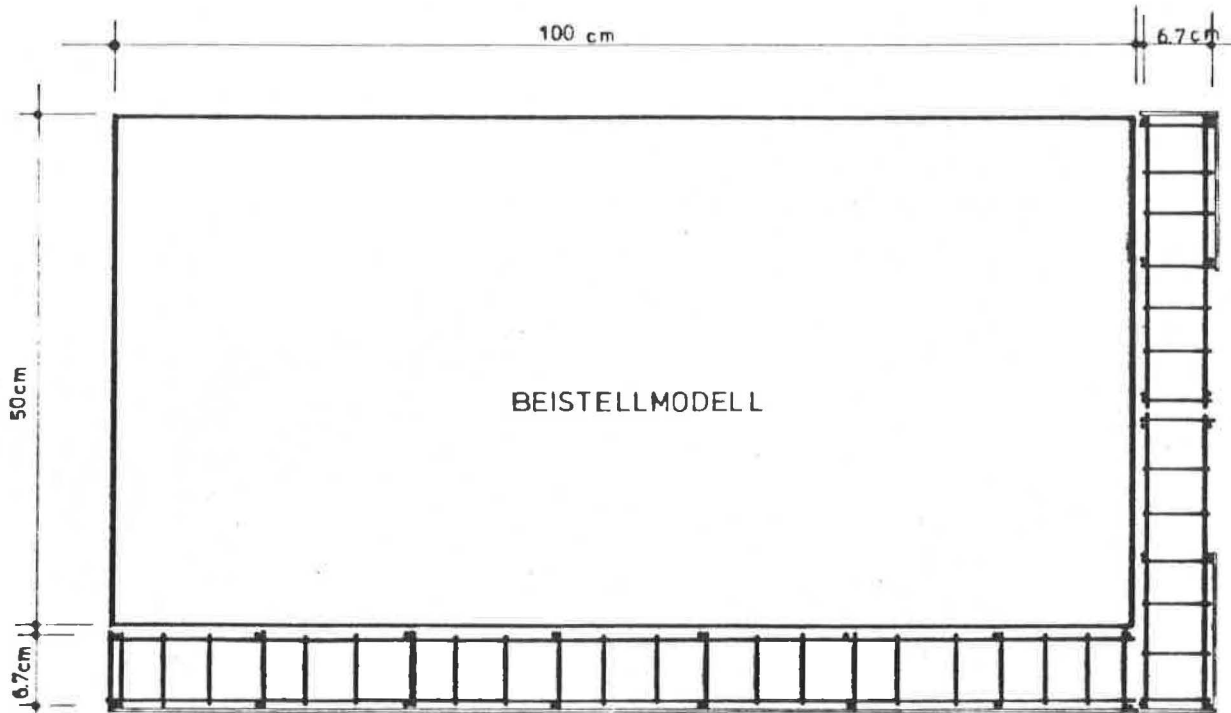
LFD. NR.	VERSUCHSANORDNUNG	WINDKANAL		ANSTRÖM-WINKEL	FOTO-NR.
		MÜNCHEN	DARMSTADT		
1	<p>ANSTRÖM WINKEL α</p> <p>BELAGBOHLE</p>		X	$\alpha = 0^\circ - 45^\circ$ $(\Delta\alpha = 5^\circ)$ $\alpha = 90^\circ$	
2			X		
3	<p> </p>		X		
4			X	$\alpha = 0^\circ$	
5			X	$\alpha = 0^\circ$	



STAHLROHR GERÜST (M = 1 : 7,5)



ANSICHT

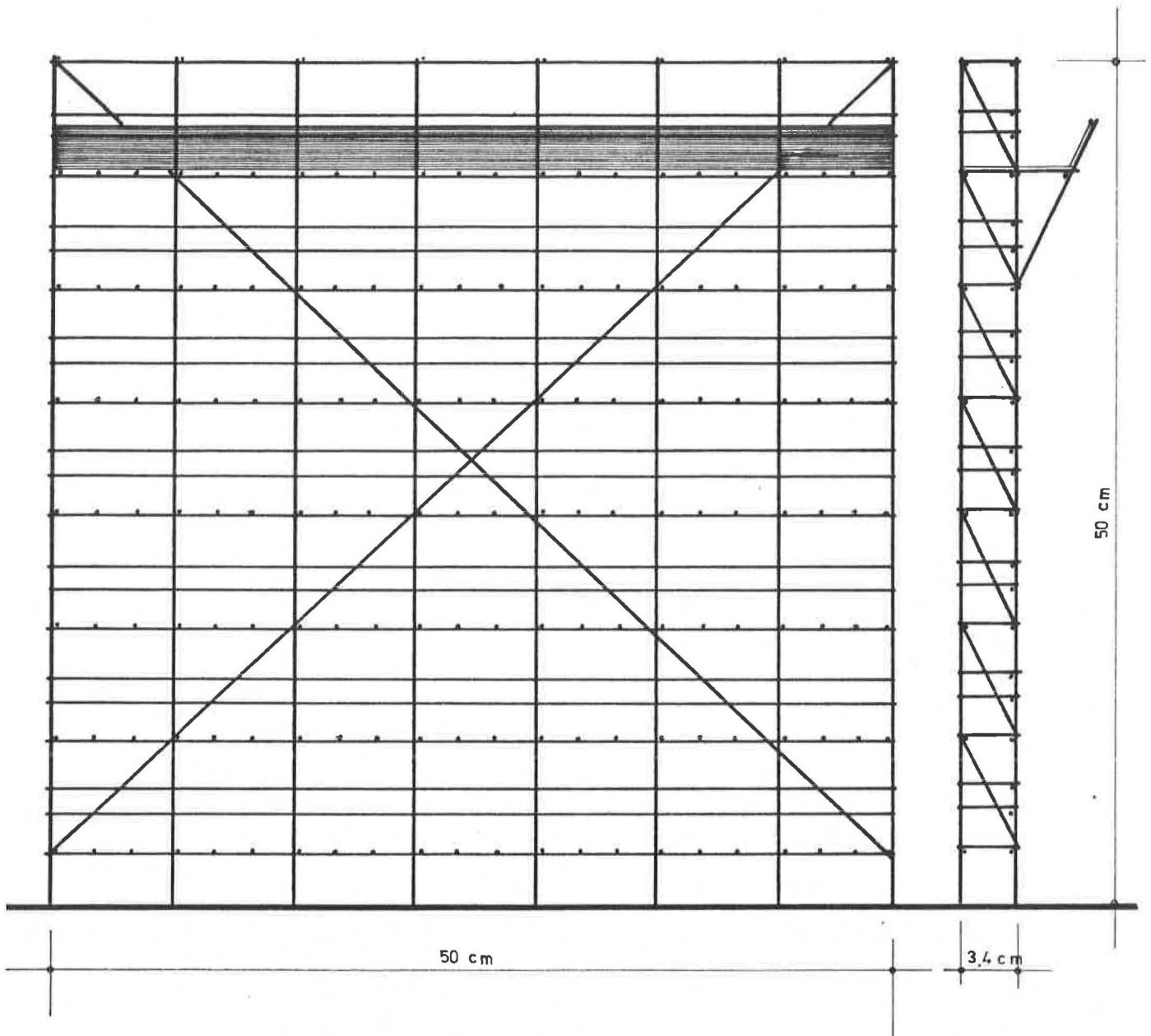


GRUNDRISS



VORDERANSICHT

SEITENANSICHT

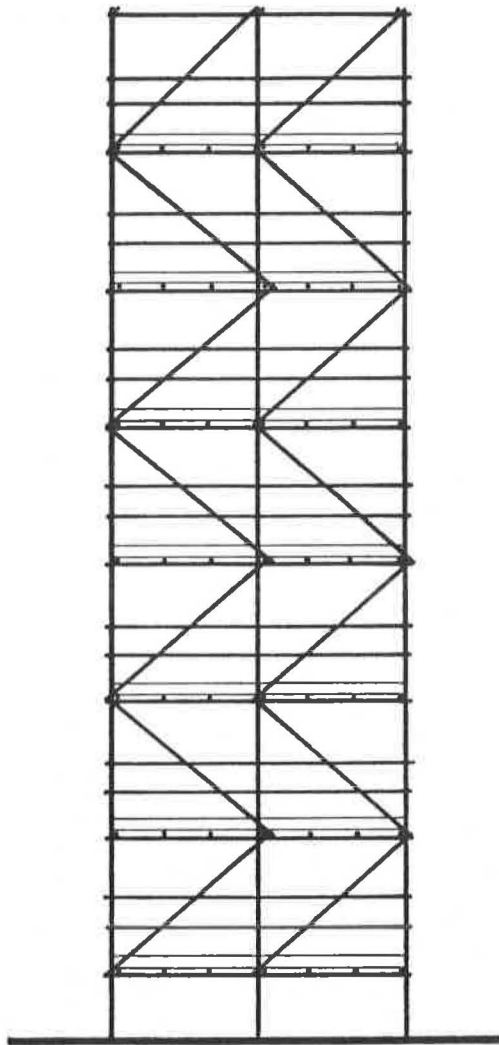


DRAUFSICHT

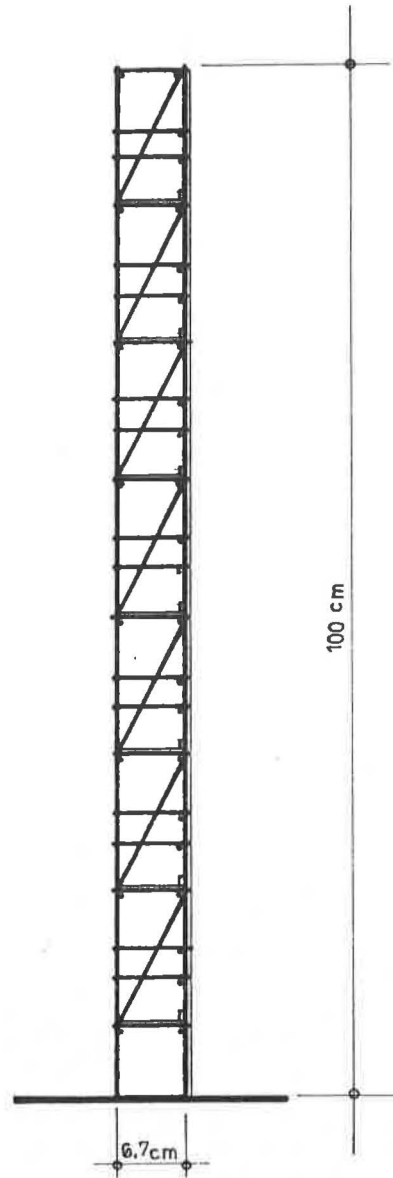




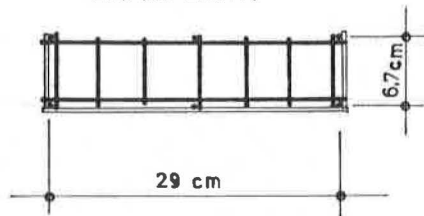
VORDERANSICHT



SEITENANSICHT



DRAUFSICHT

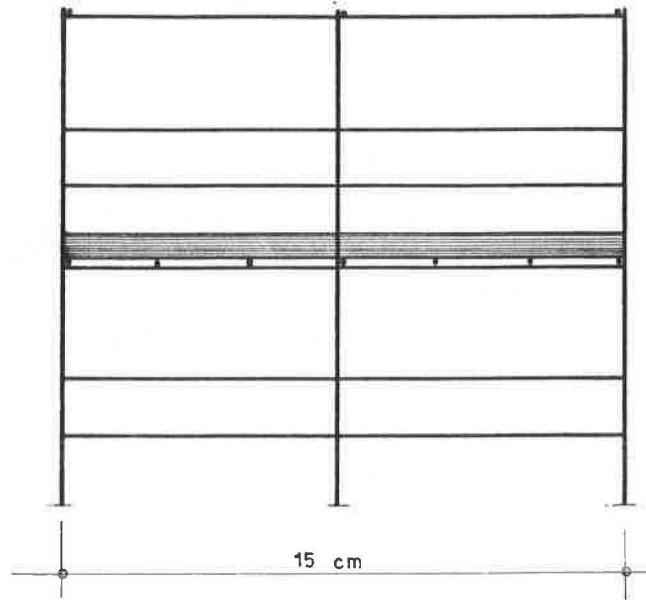


GERÜSTMODELL : DRITTELSCHEIBE

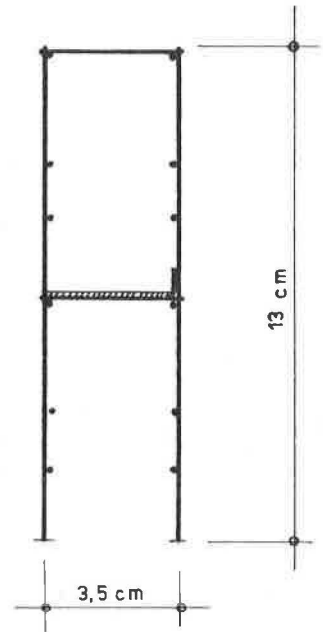
ABB. 20



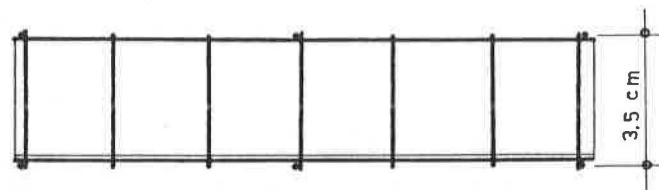
VORDERANSICHT



SCHNITT

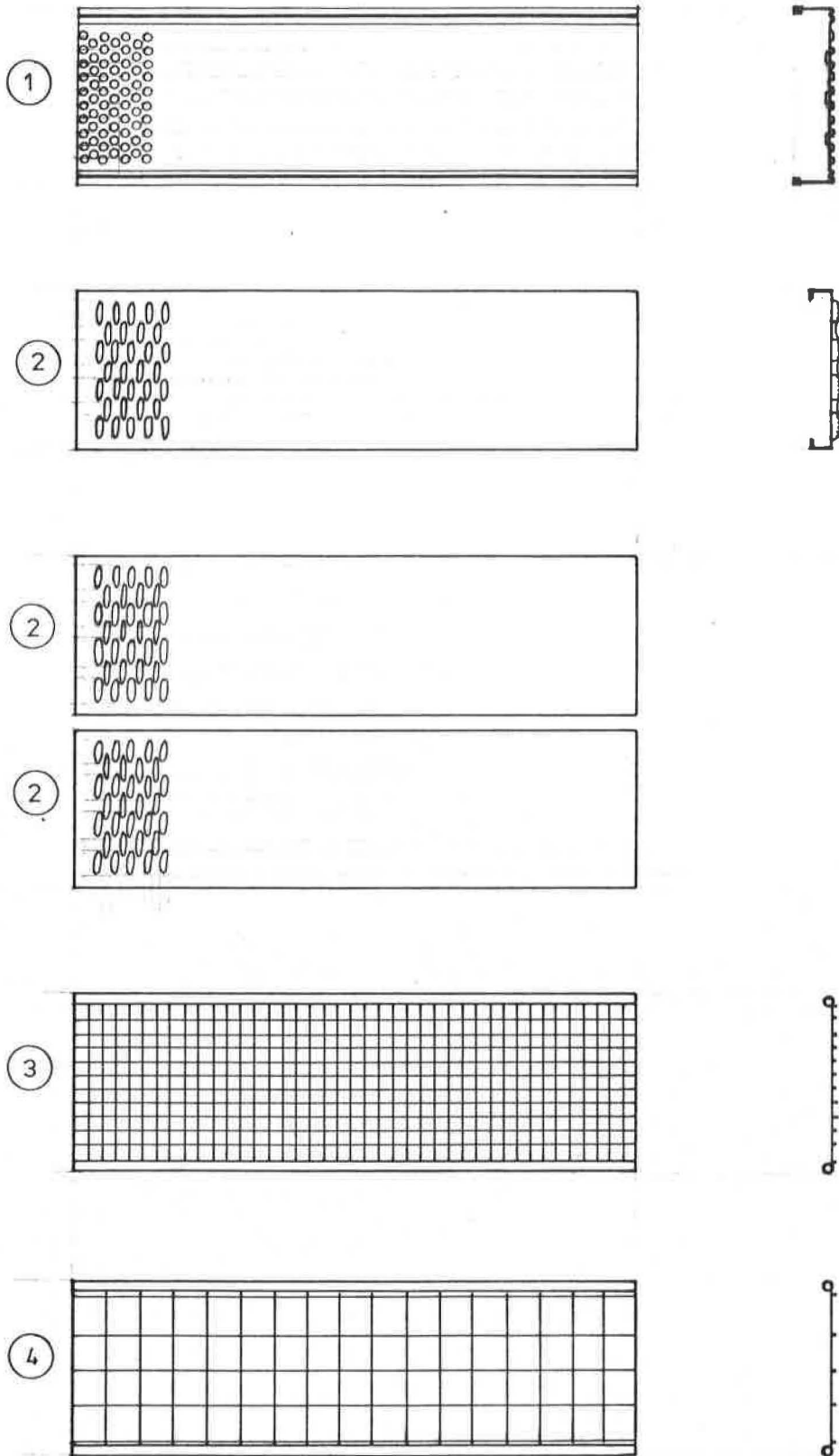


DRAUFSICHT



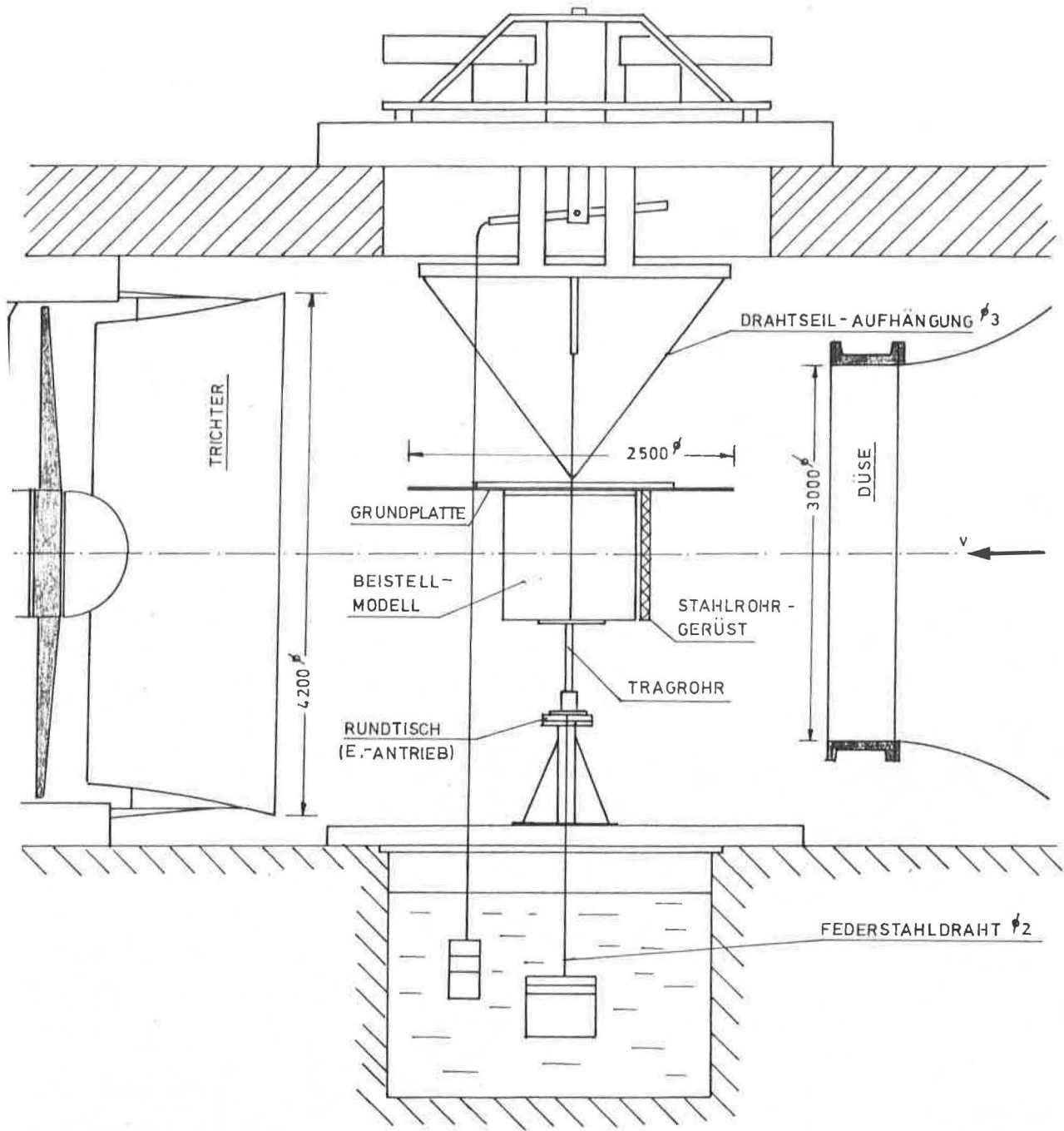
GERÜSTMODELL FÜR TEILFELDMESSUNGEN

ABB.21



ZUSAMMENSTELLUNG
DER UNTERSUCHTEN GERÜSTBAUTEILE

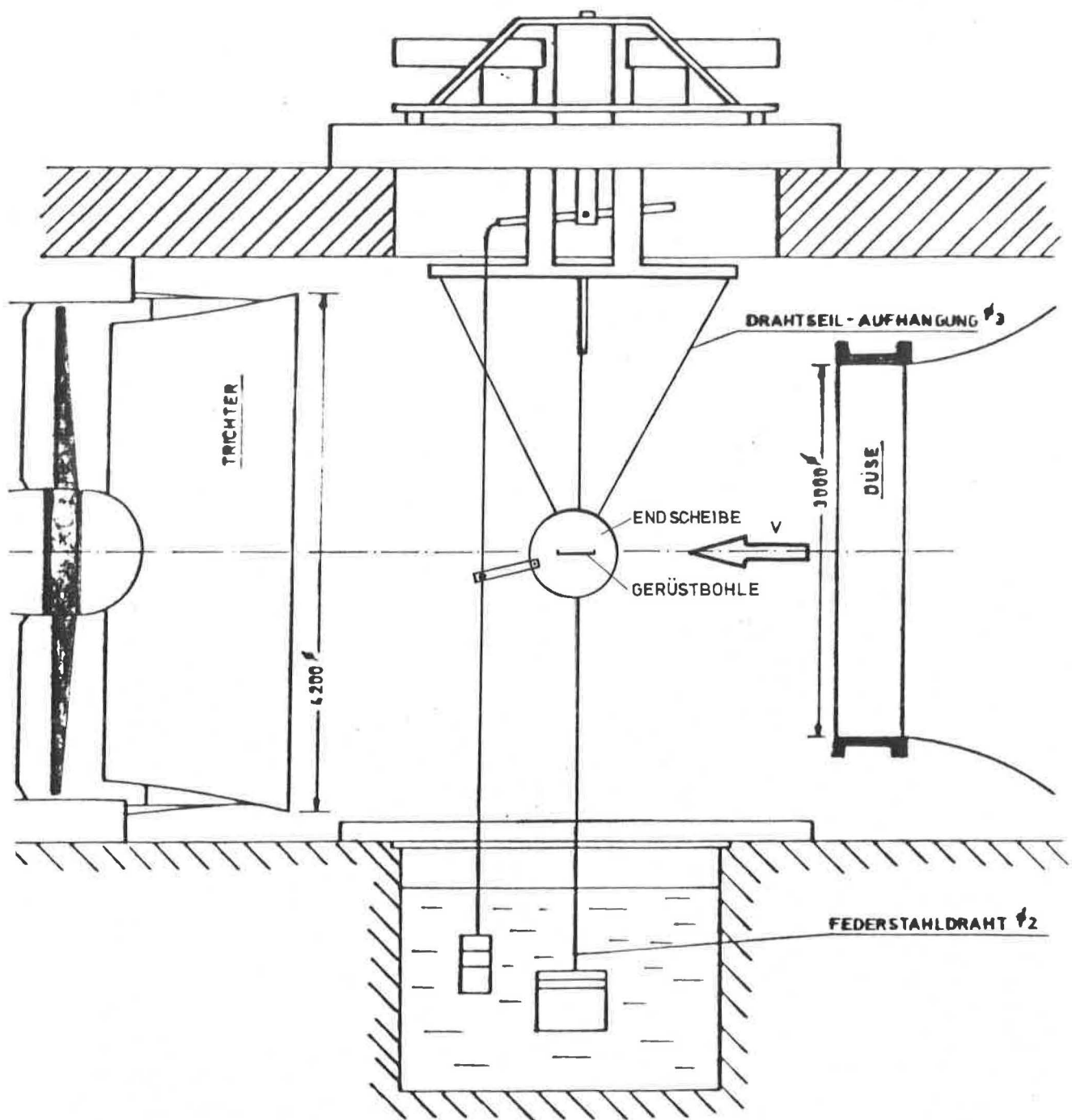
ABB. 22



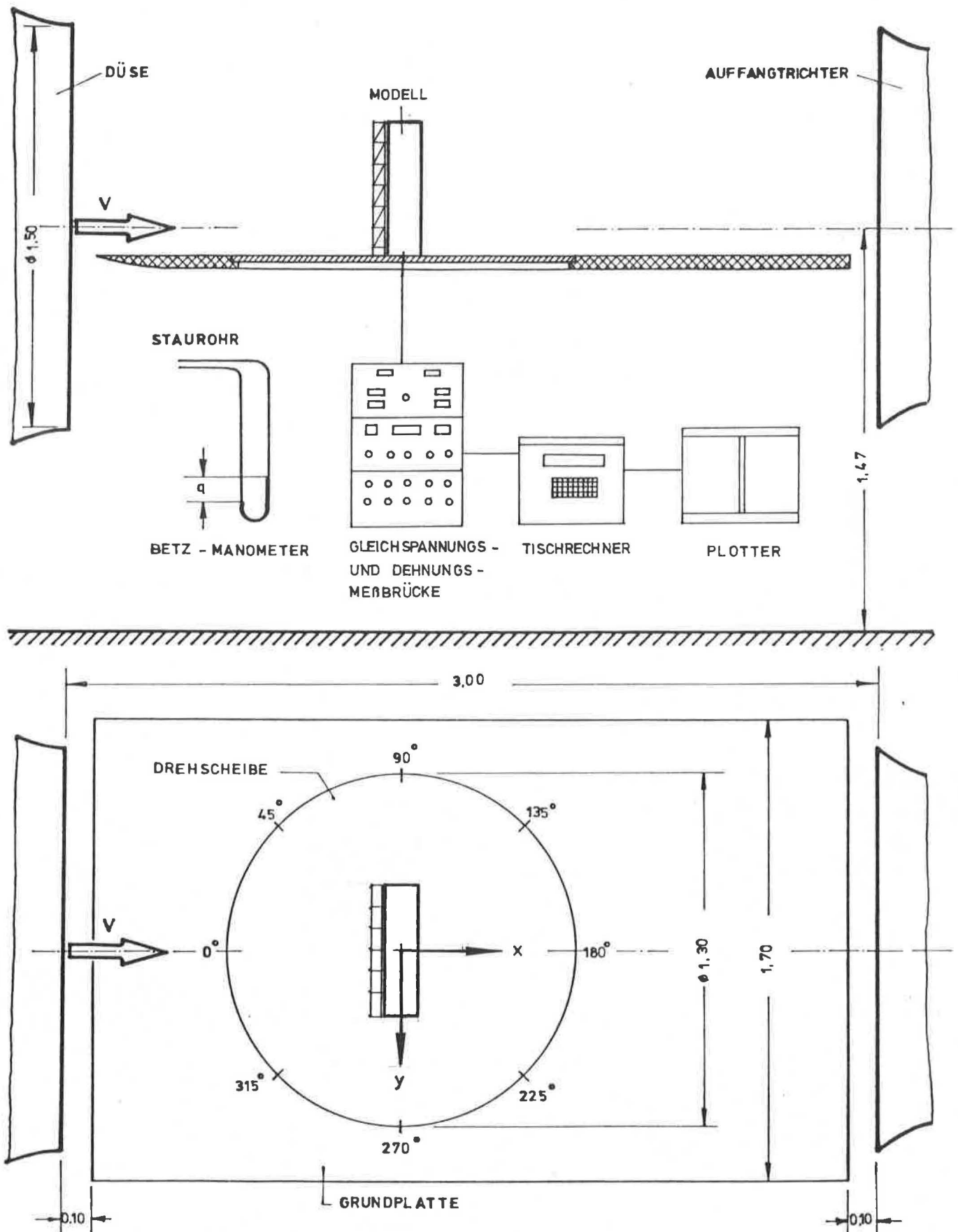
VERSUCHSAUFBAU IM WINDKANAL (DARMSTADT)

ABB. 23

1.5

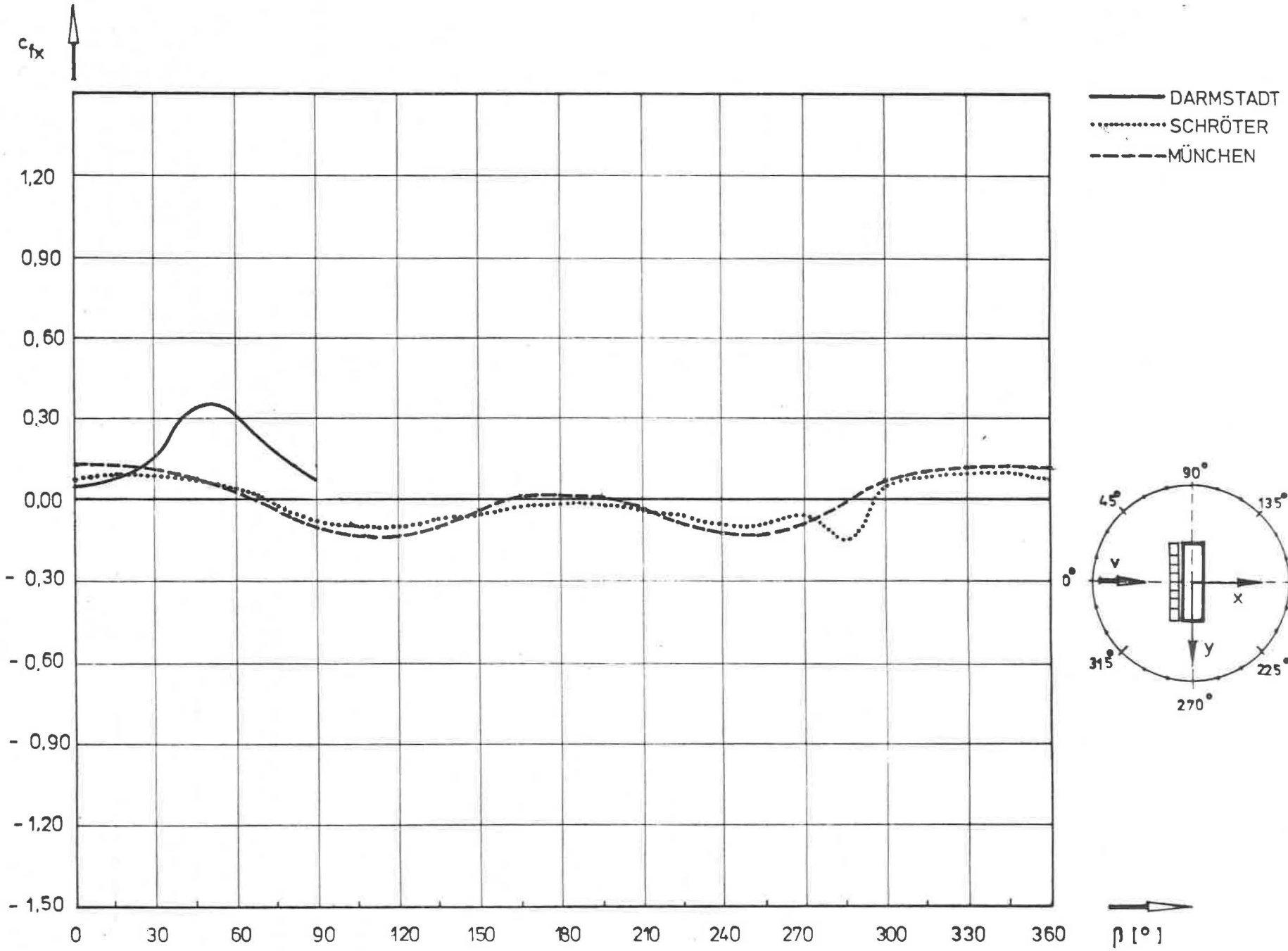


VERSUCHSAUFBAU FÜR DIE KRAFTMESSUNG
AN GERÜSTBAUTEILEN (WINDKANAL DARMSTADT) ABB.24



VERSUCHSAUFBAU IM WINDKANAL (MÜNCHEN)

ABB. 25

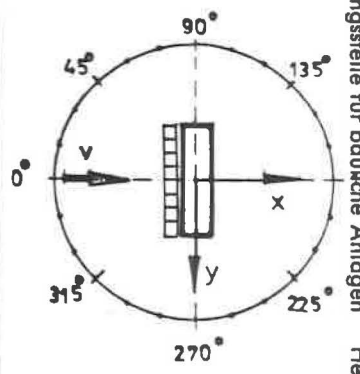
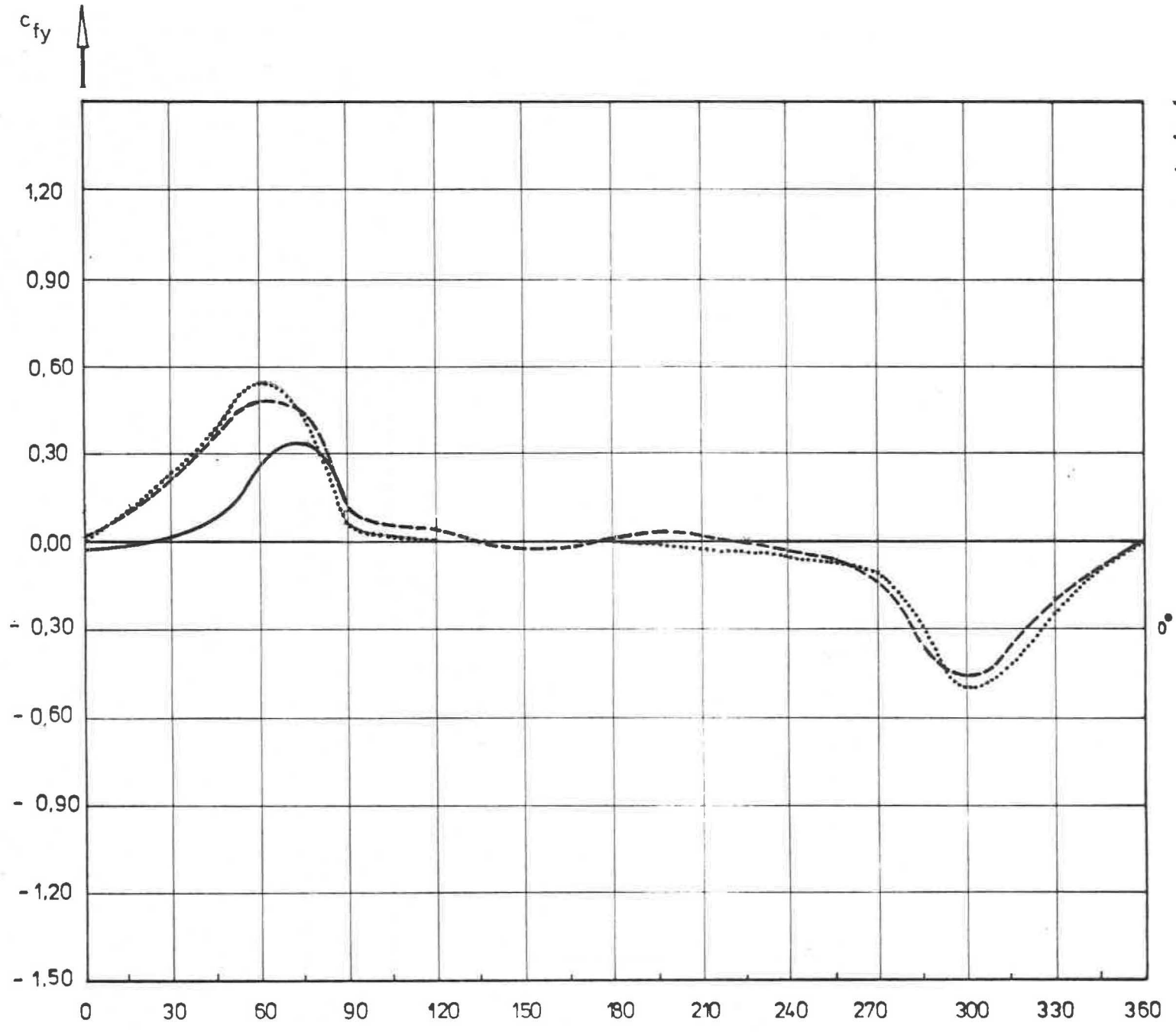


ERGEBNIS DER KONTROLLMESSUNGEN

ABB. 26

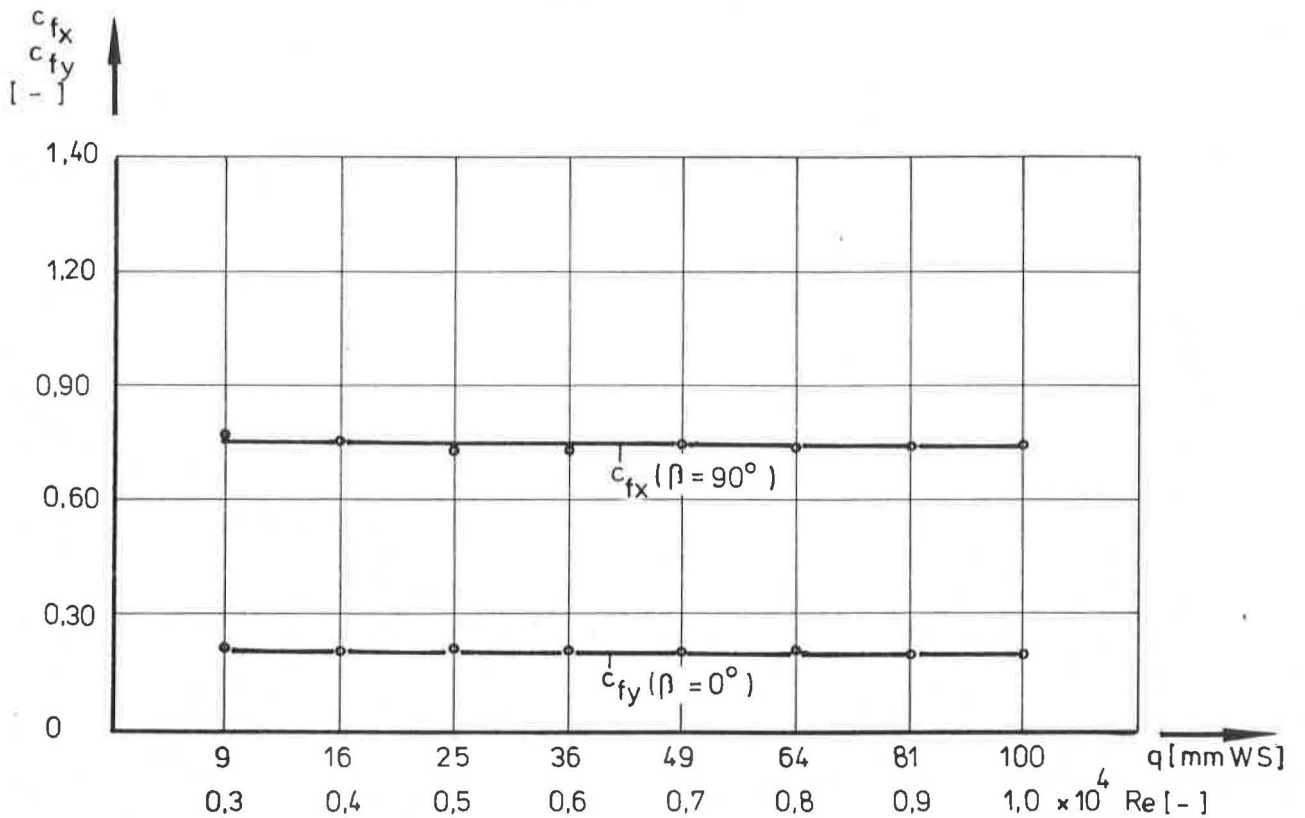
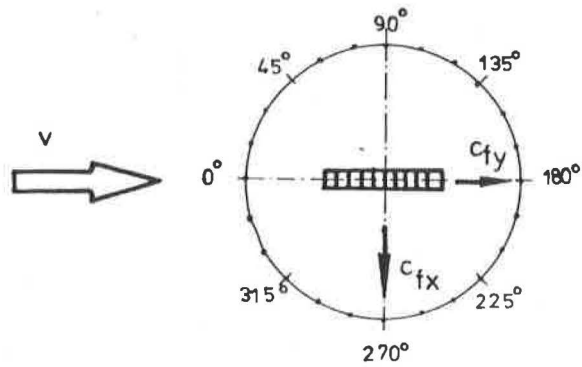


- DARMSTADT
- SCHRÖTER
- - - MÜNCHEN

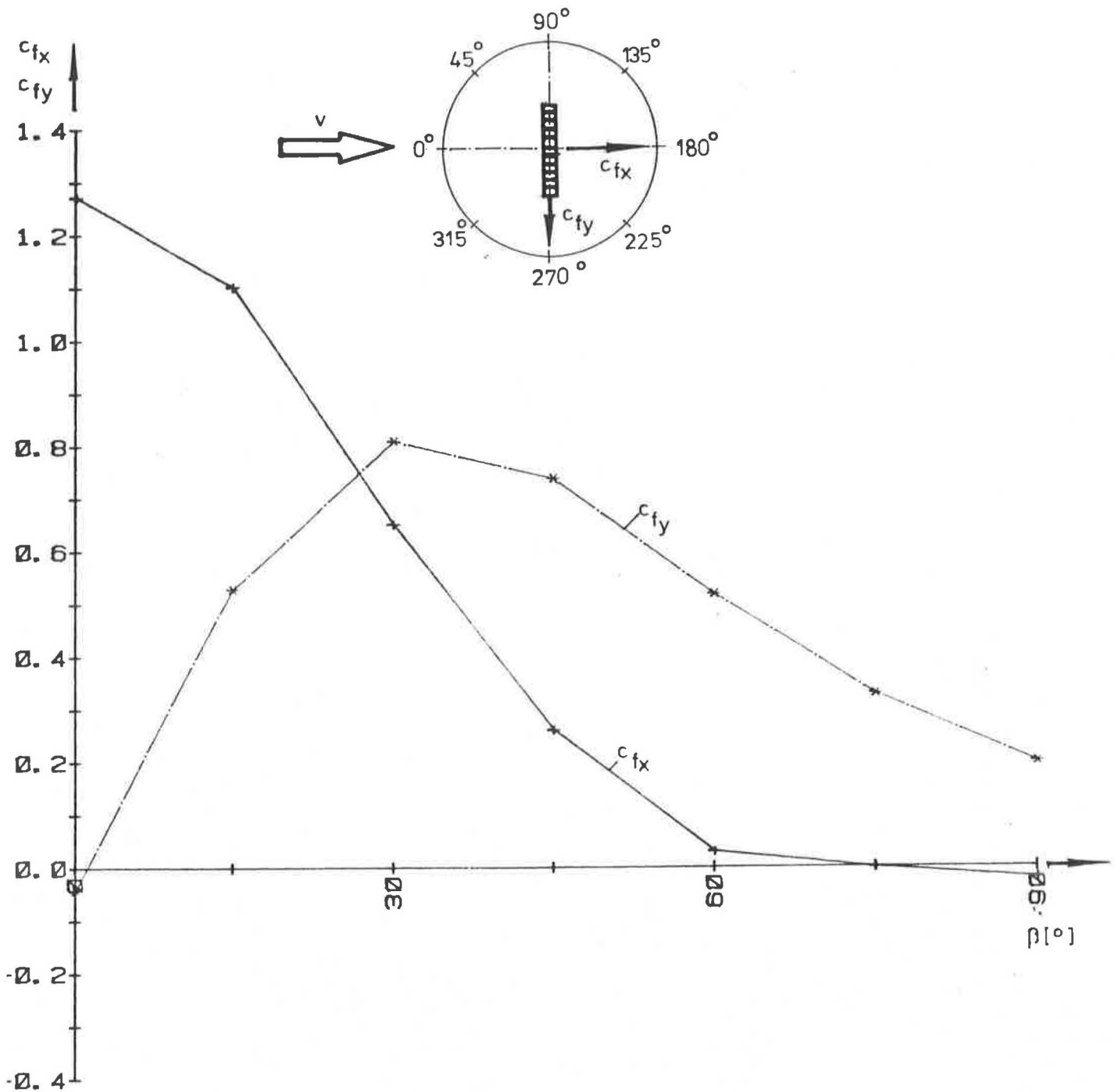


ERGEBNIS DER KONTROLLMESSUNGEN

ABB. 27

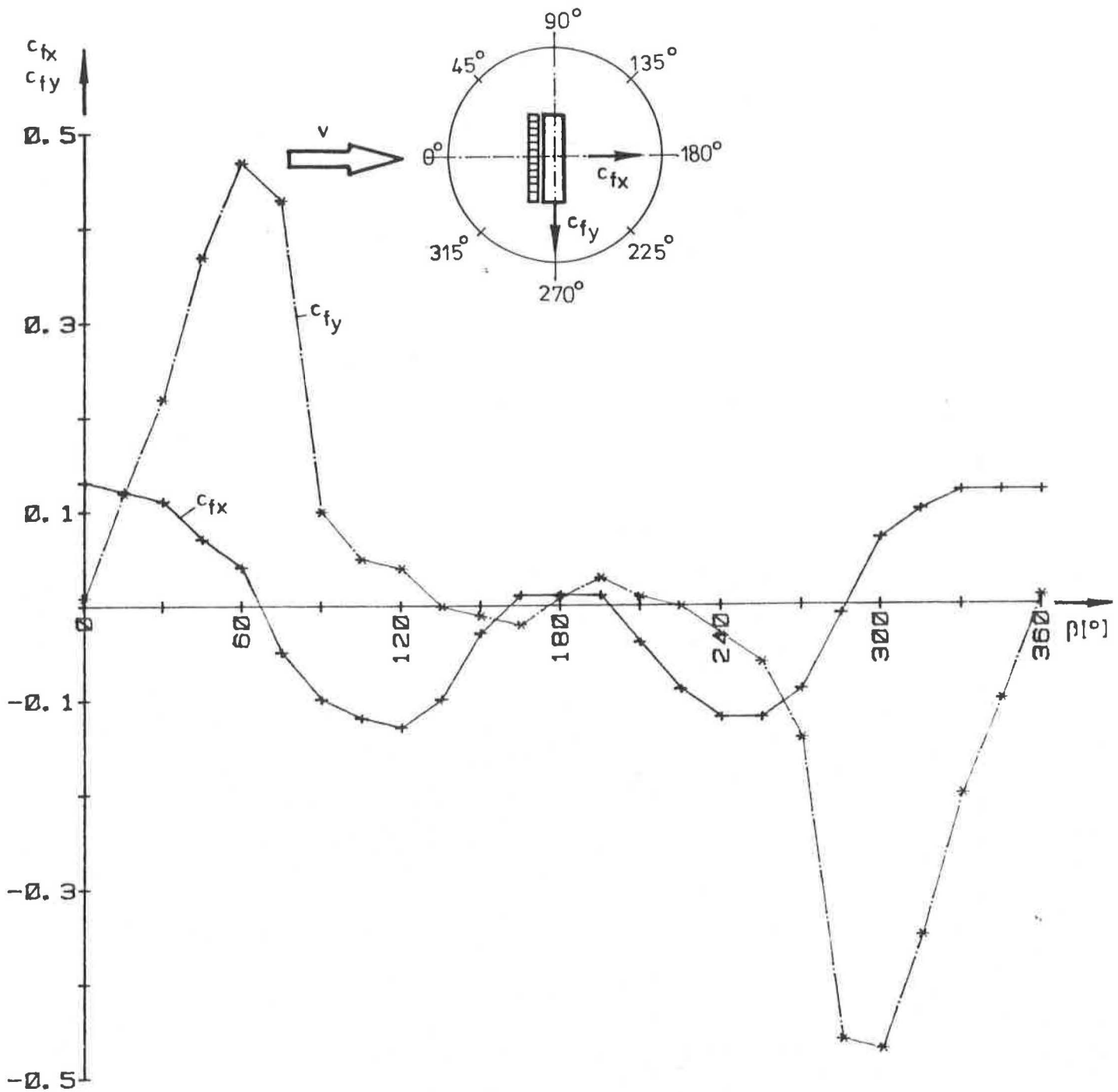


ABHÄNGIGKEIT DER AERODYNAMISCHEN BEIWERTE FÜR EIN FREIDURCHSTRÖMTES GERÜST VON DER Re-ZAHL



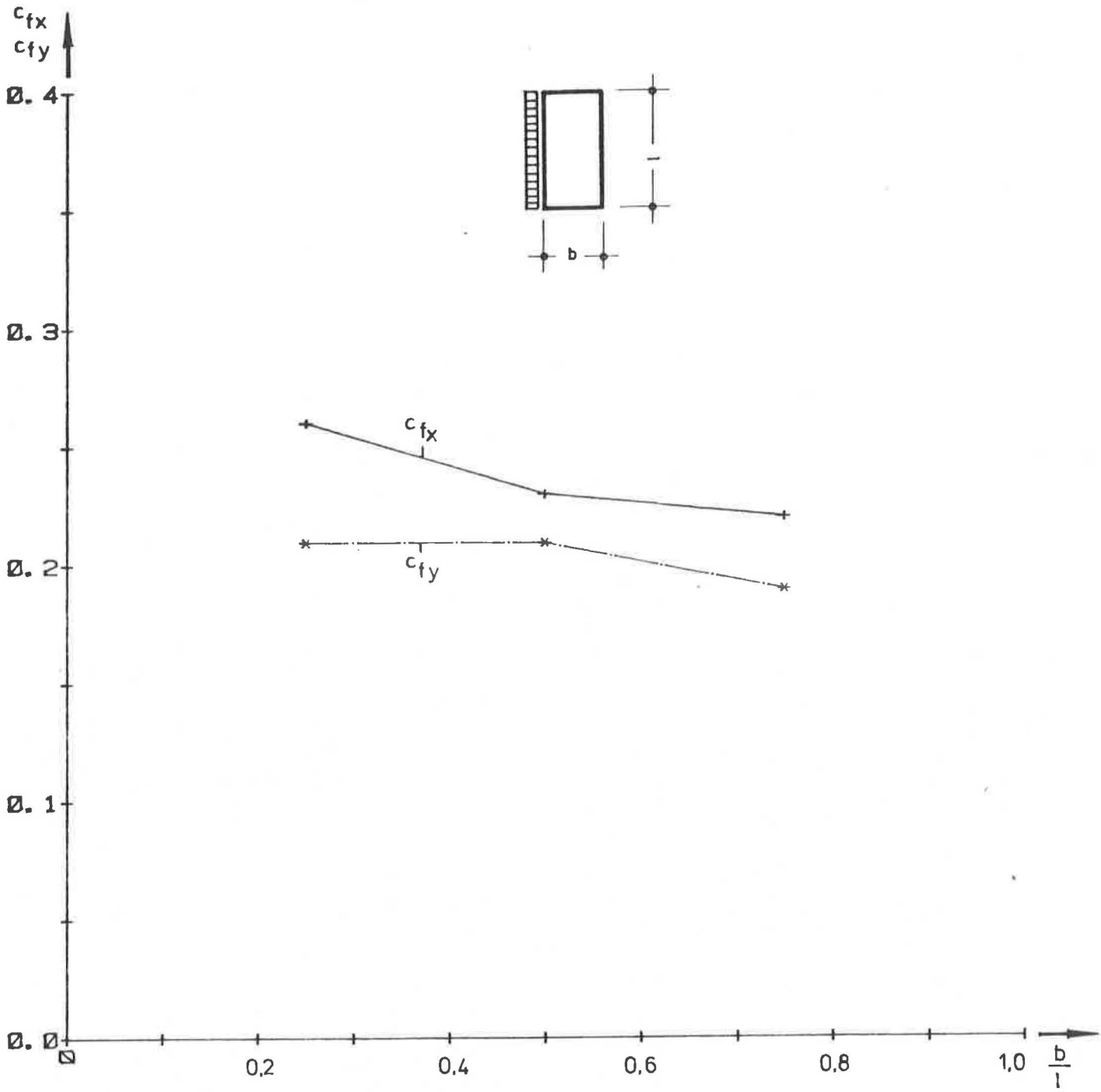
ABHÄNGIGKEIT DER BEIWERTE FÜR EIN FREIDURCHSTRÖMTES GERÜST VOM ANSTRÖMWINKEL

ABB.29



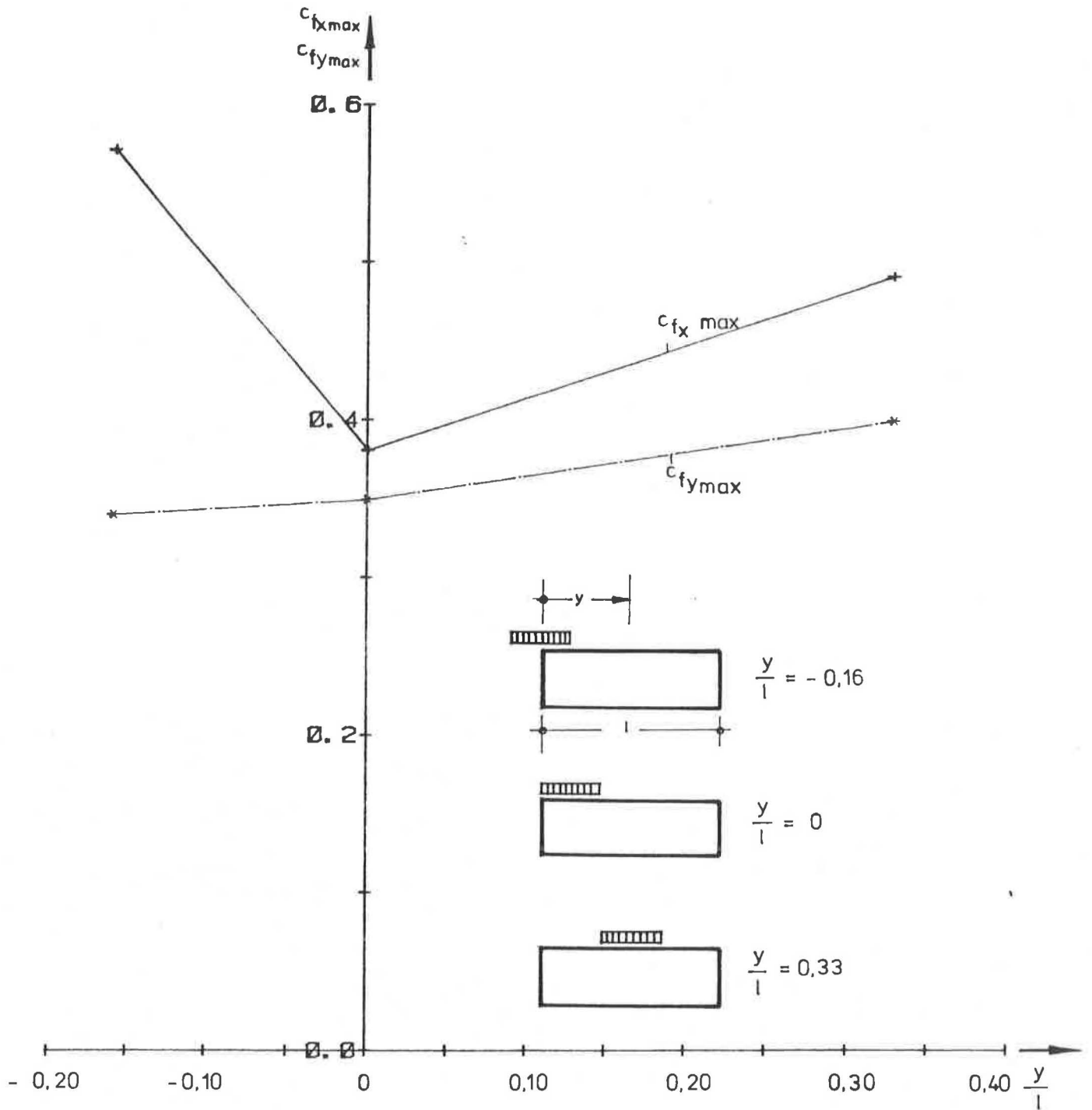
ABHÄNGIGKEIT DER BEIWERTE VON DER ANSTRÖMRICHTUNG
FÜR EIN GERÜST AM GEBÄUDE

ABB. 30



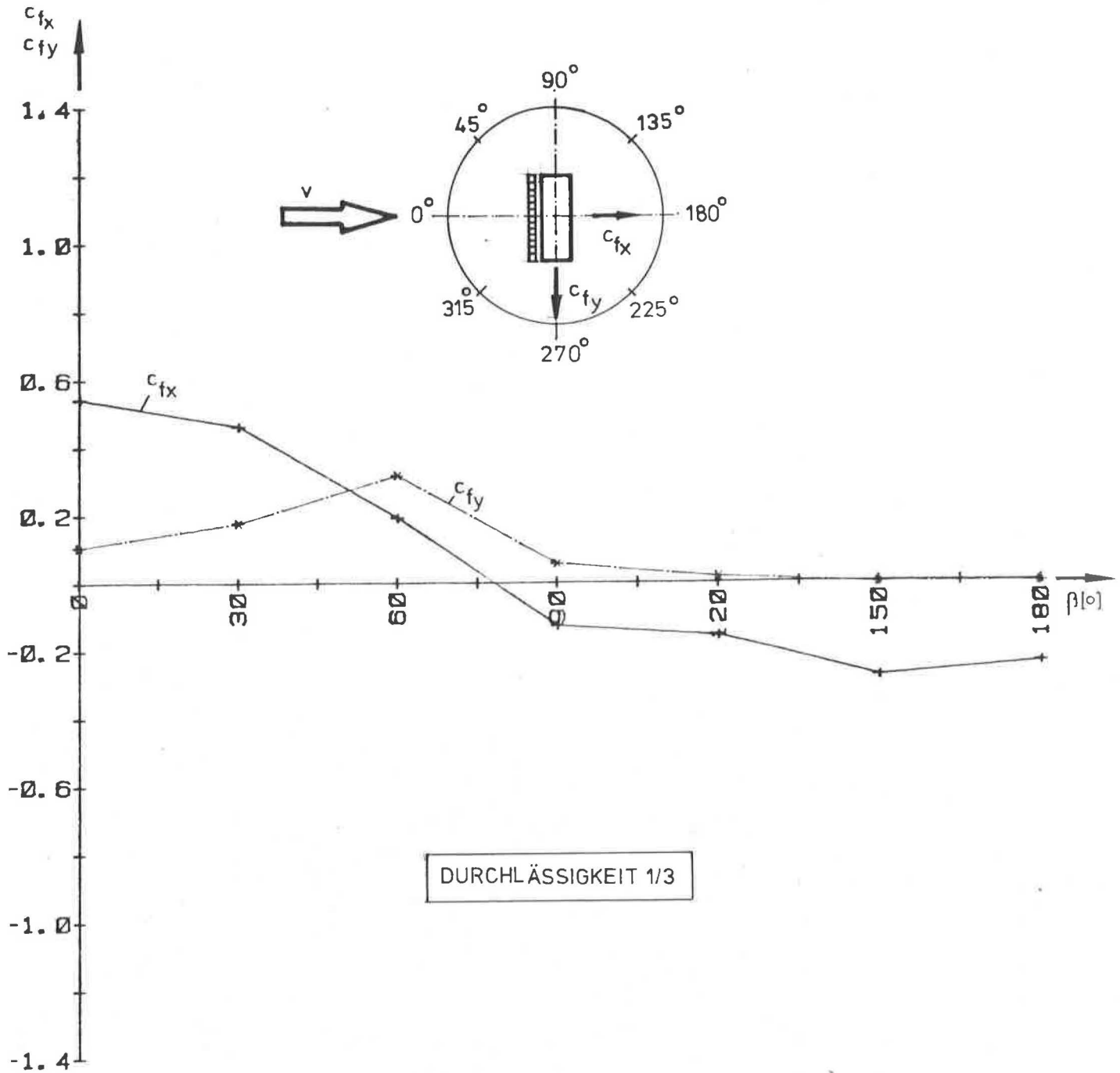
EINFLUß DER BAUWERKSABMESSUNGEN AUF DIE AERODYNAMISCHEN BEIWERTE AM GERÜST

ABB. 31

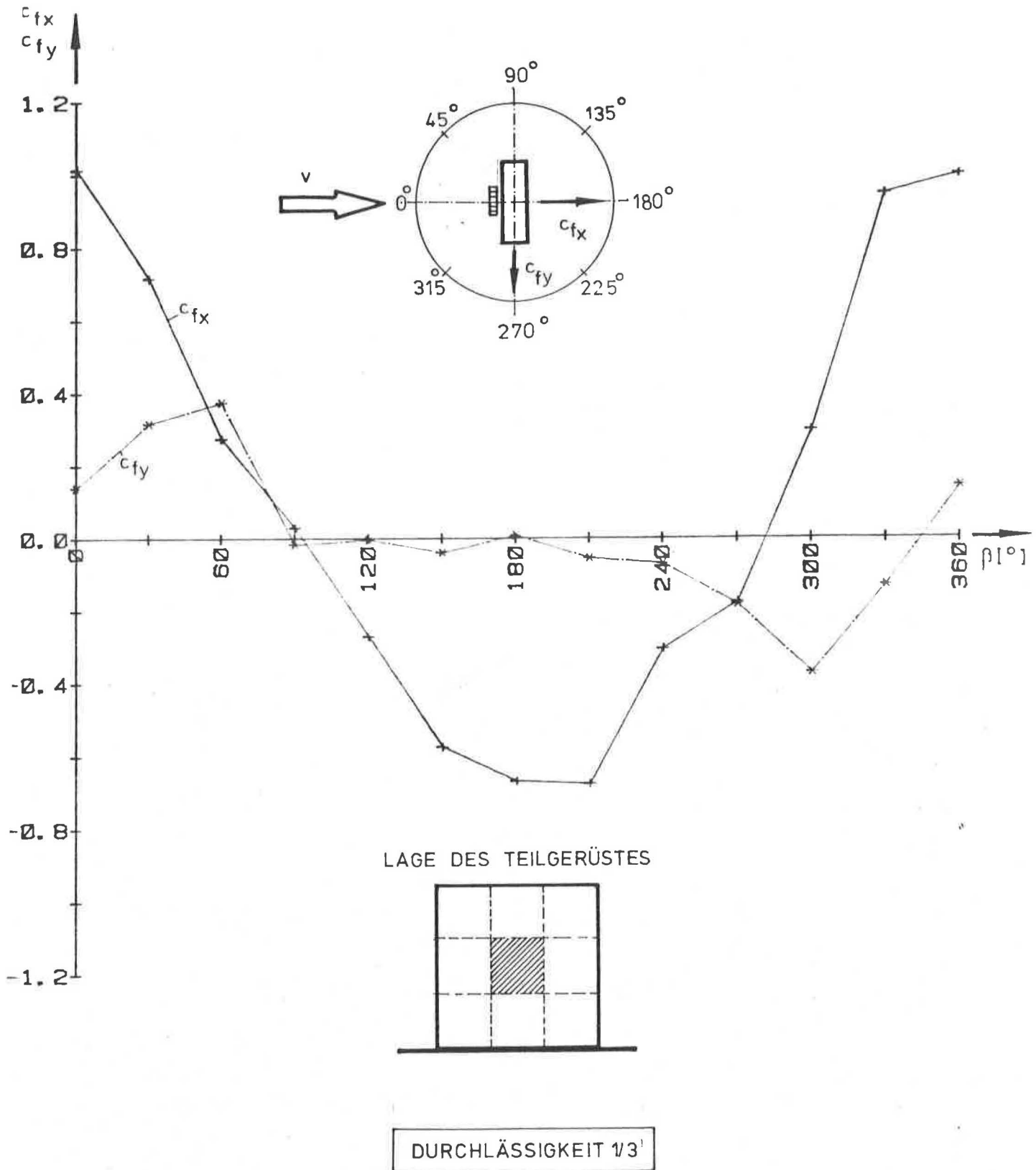


EINFLUß DER POSITION DES GERÜSTES AM GEBÄUDE
AUF DIE GRÖÖE DER ÄERODYNAMISCHEN BEIWERTE

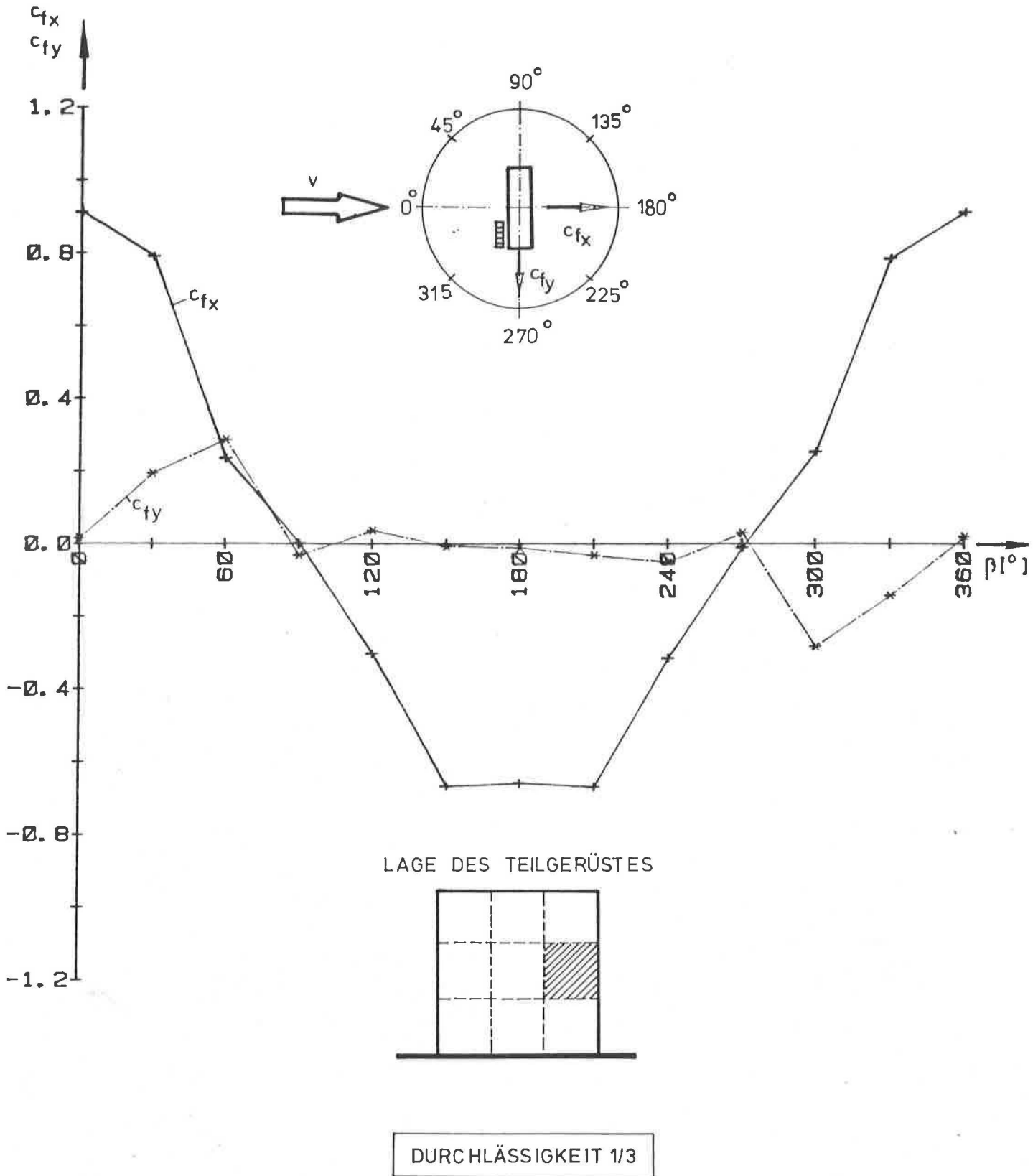
ABB. 32



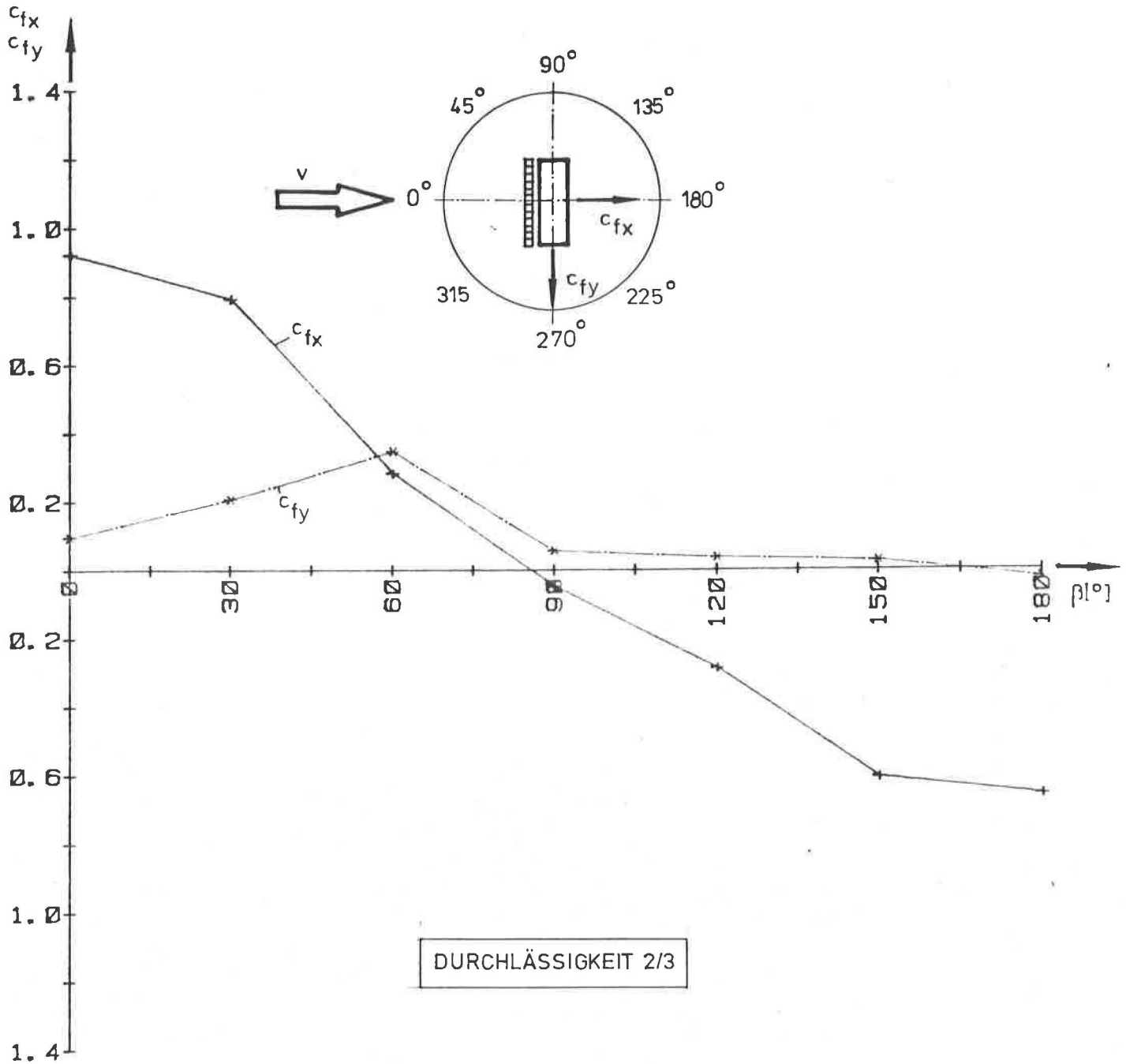
VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN GERÜST
 VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG



VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN GERÜST VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

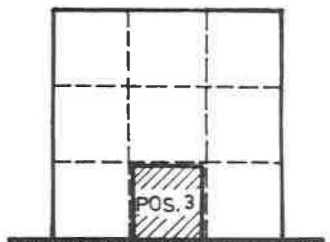


VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN GERÜST VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

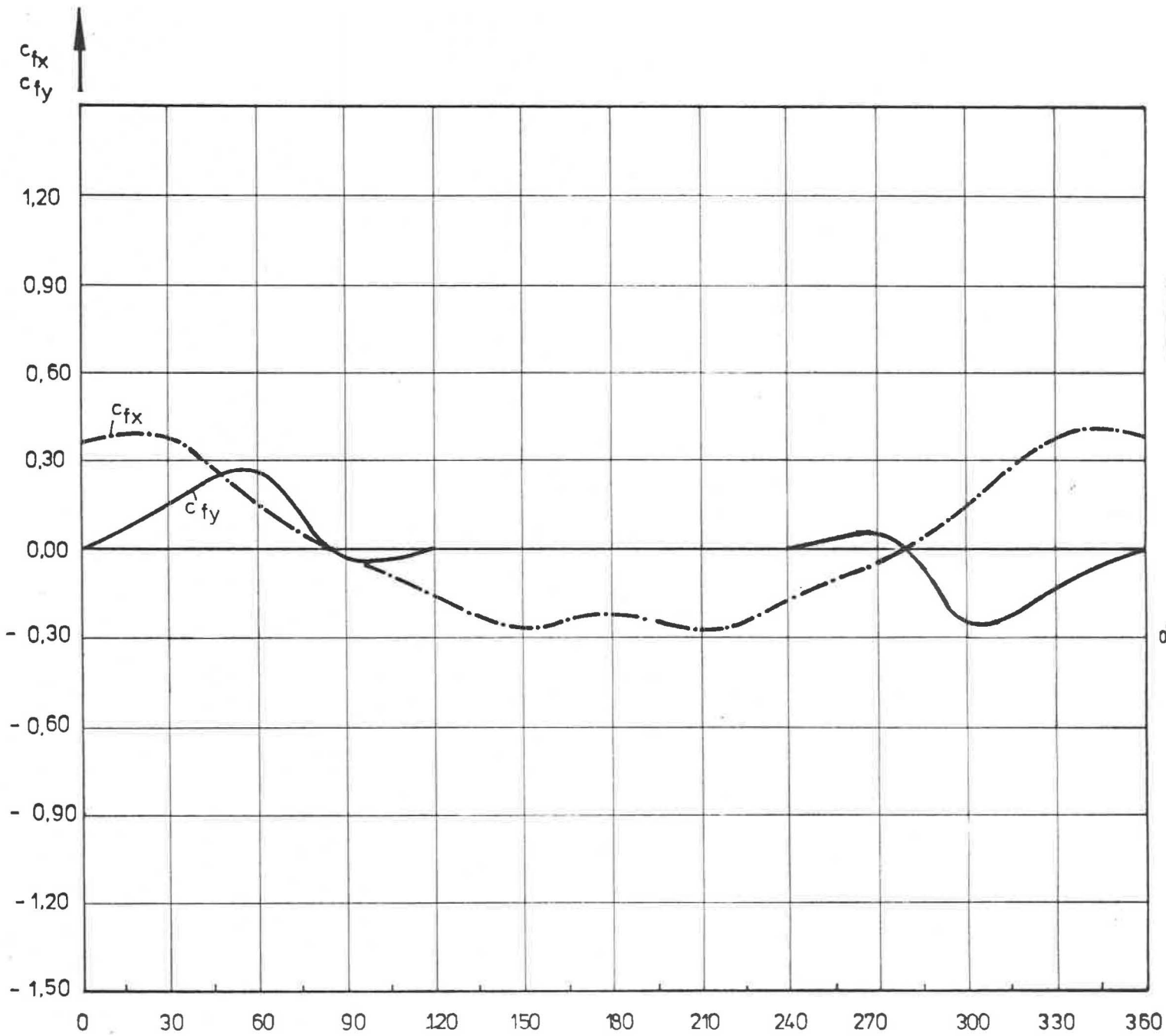
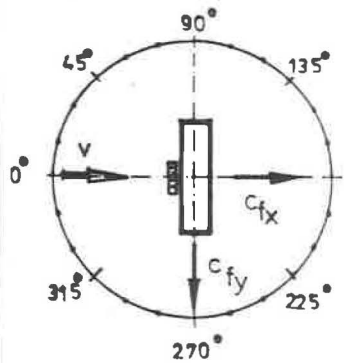


DURCHLÄSSIGKEIT 2/3

VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN GERÜST VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

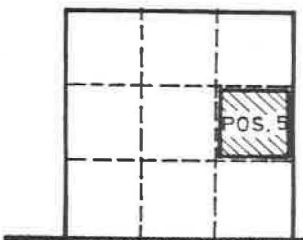


DURCHLÄSSIGKEIT 2/3

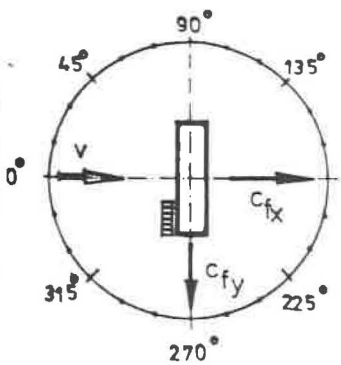


VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN TEIL GERÜST
 VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

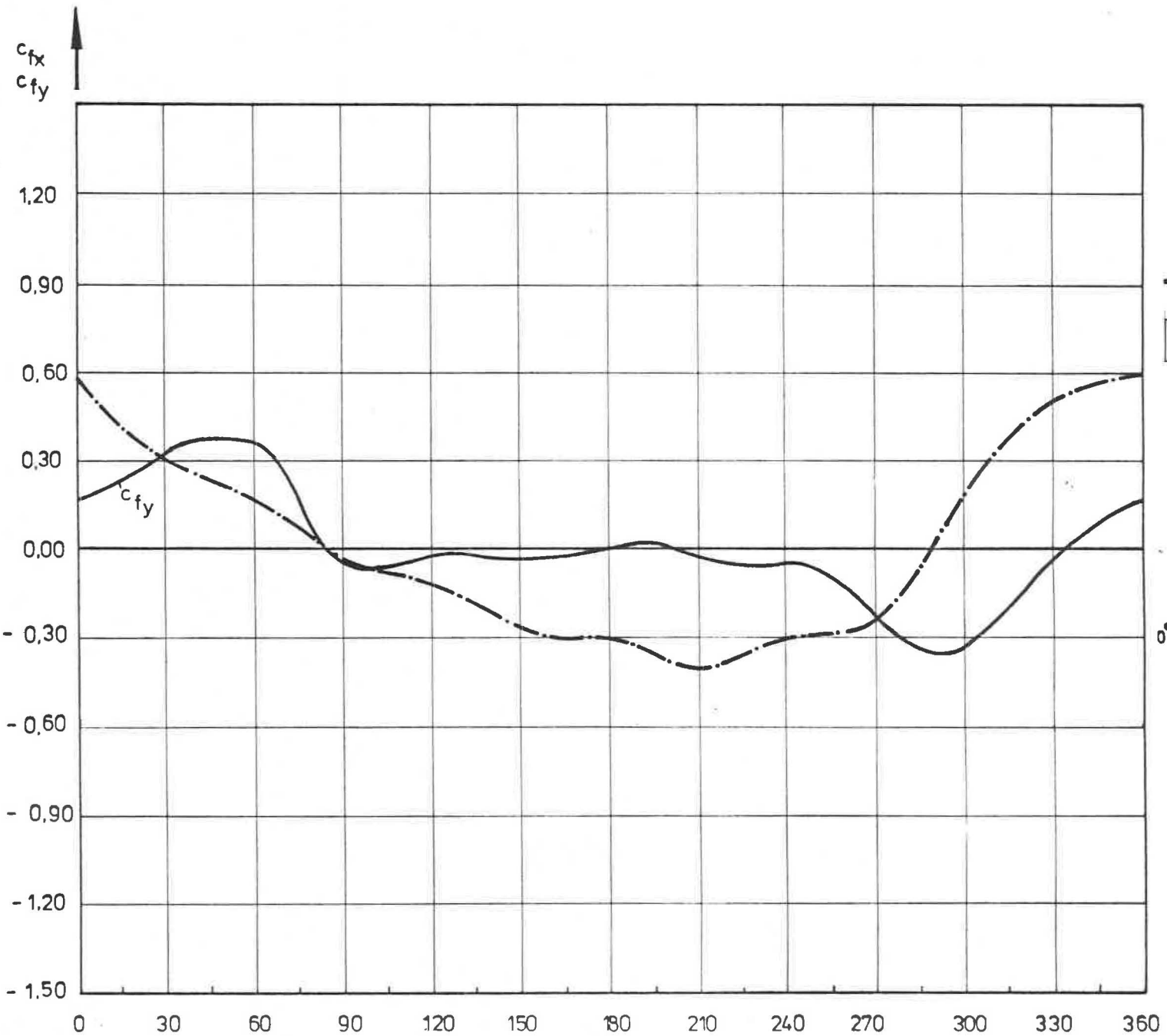
ABB. 37



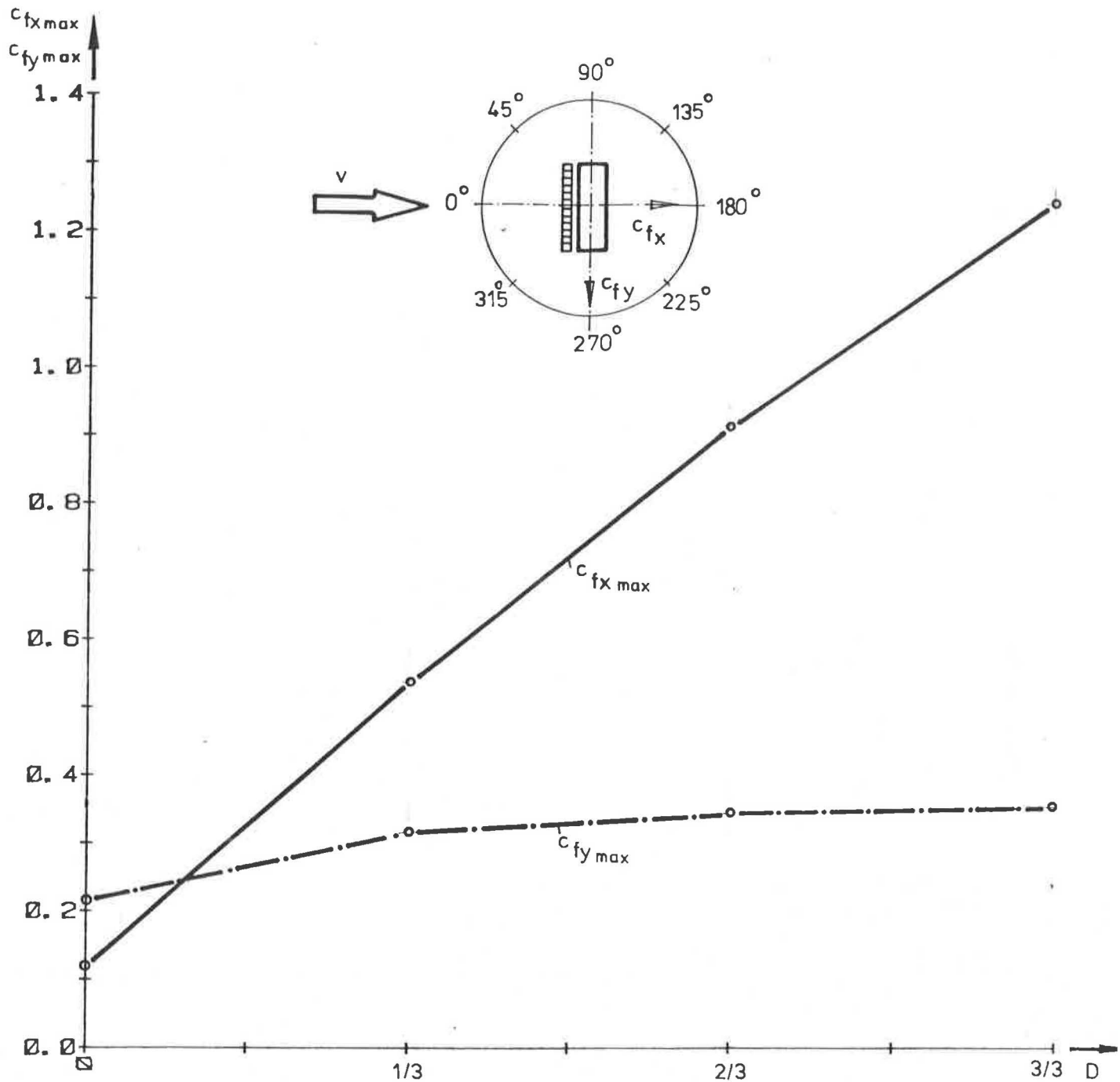
DURCHLÄSSIGKEIT 2/3



β [°]

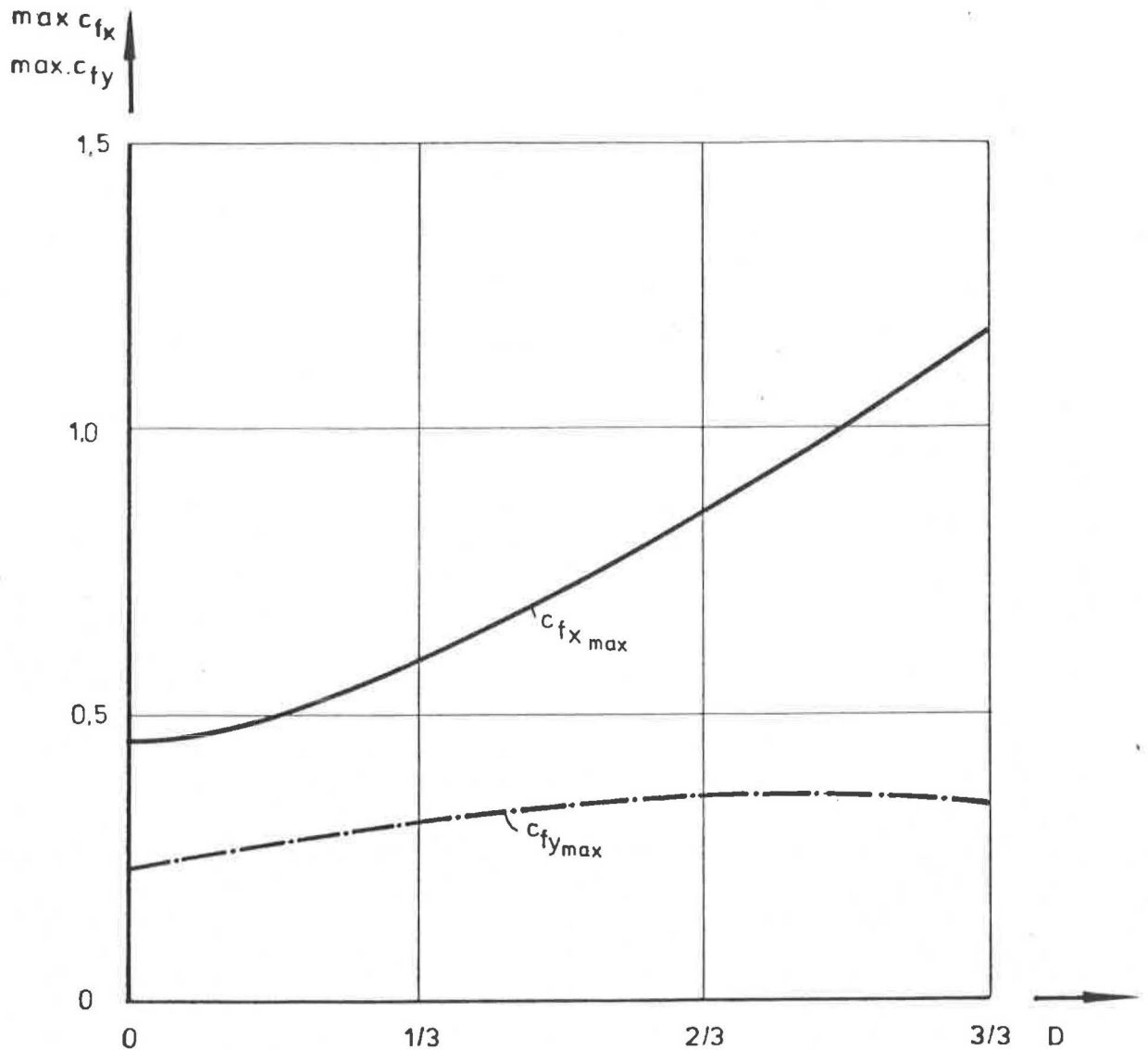
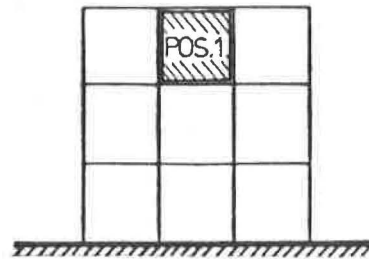


VERLAUF DER KRAFTBEIWERTE FÜR EIN TEILGERÜST
 VOR EINER WINDDURCHLÄSSIGEN FASSADE
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG



D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUß DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKS -
 FASSADE AUF DIE GRÖßE DER AERODYNAMISCHEN
 KRAFTBEIWERTE (GESAMTGERÜST)

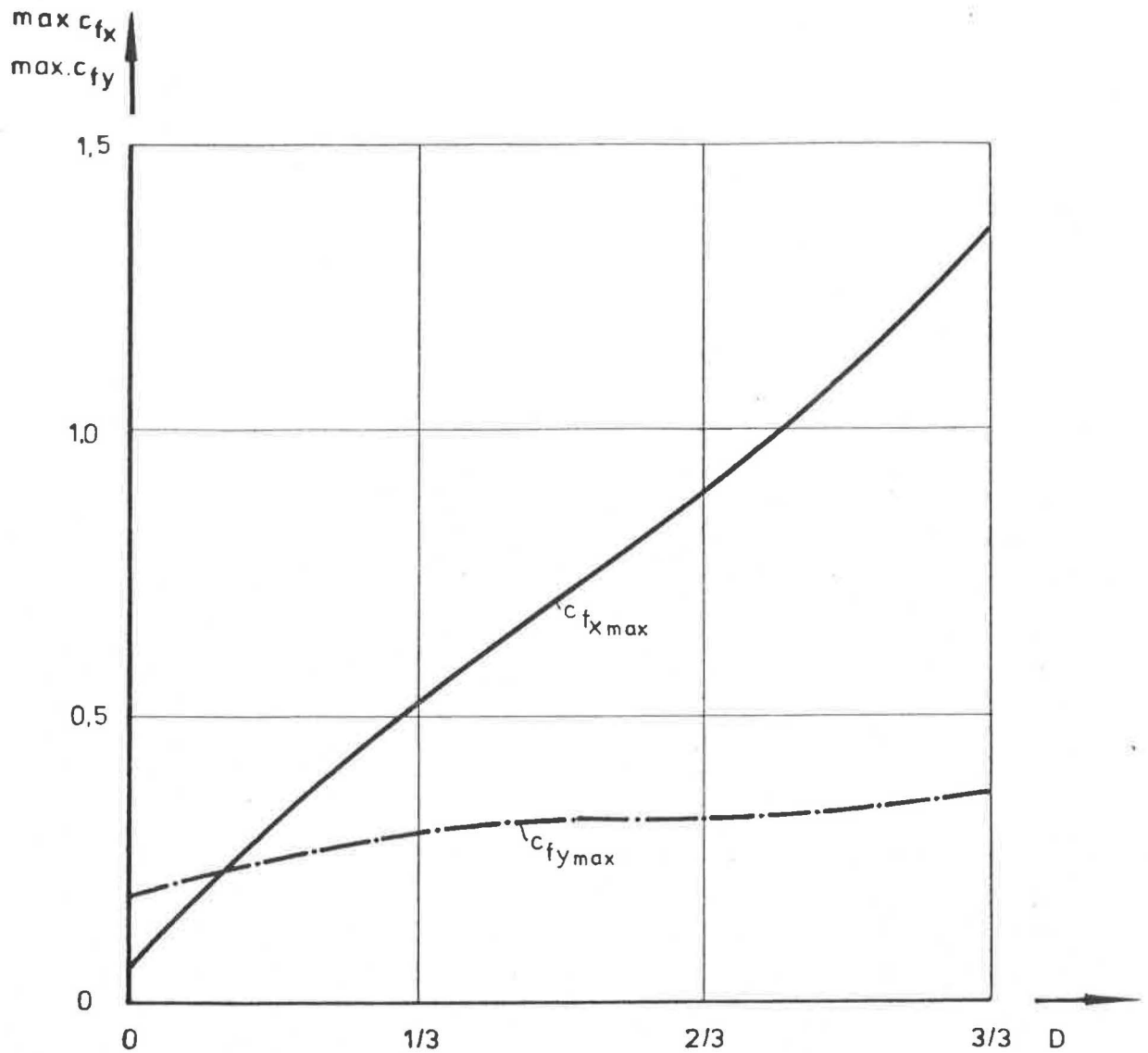
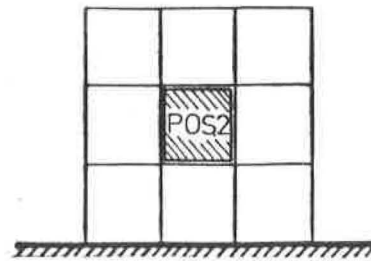


D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUSS DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE
AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

(GERÜSTTEILFELDER)

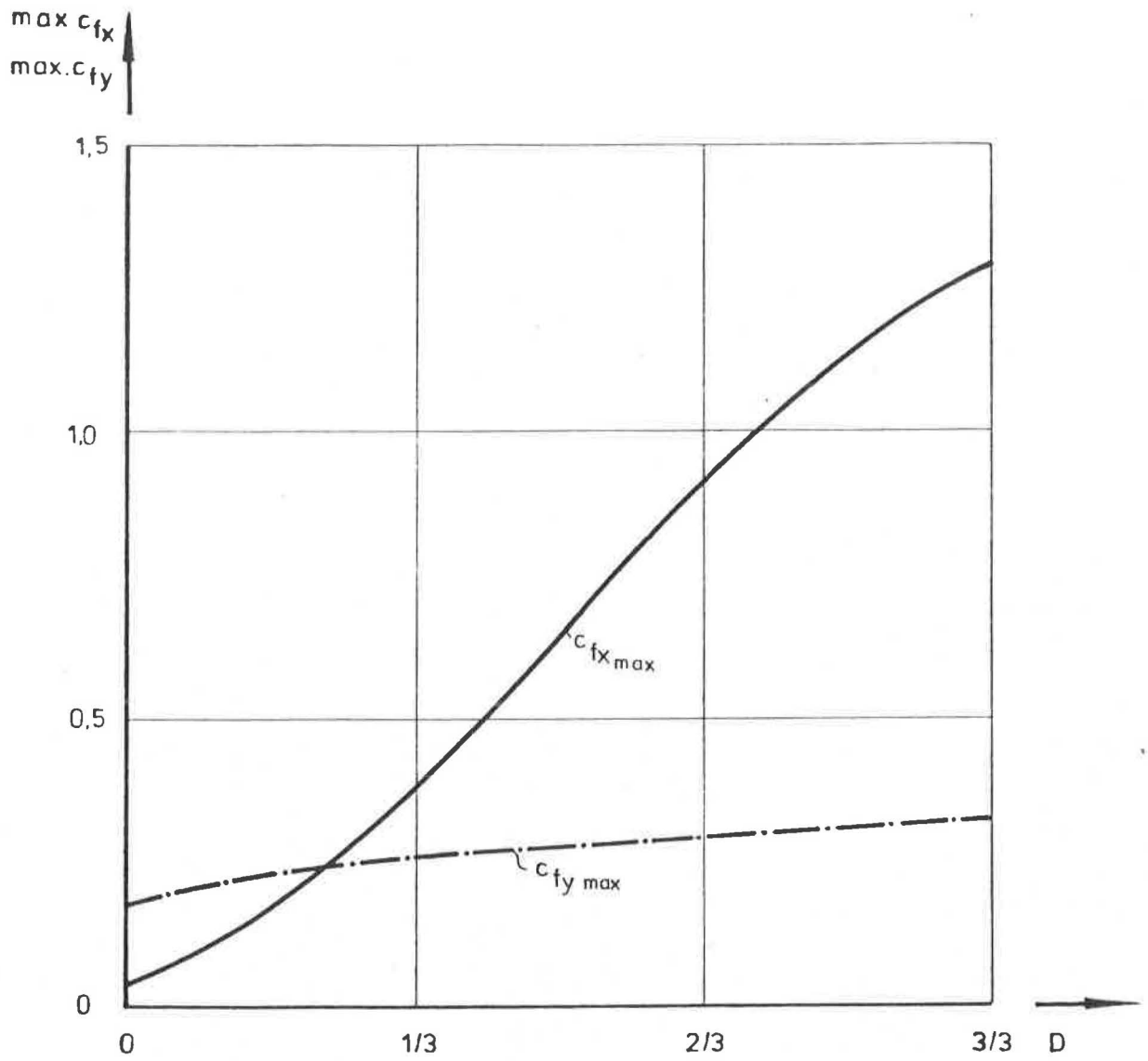
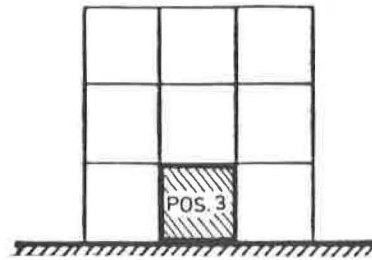
ABB. 40



D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUSS DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE
AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

(GERÜSTTEILFELDER)

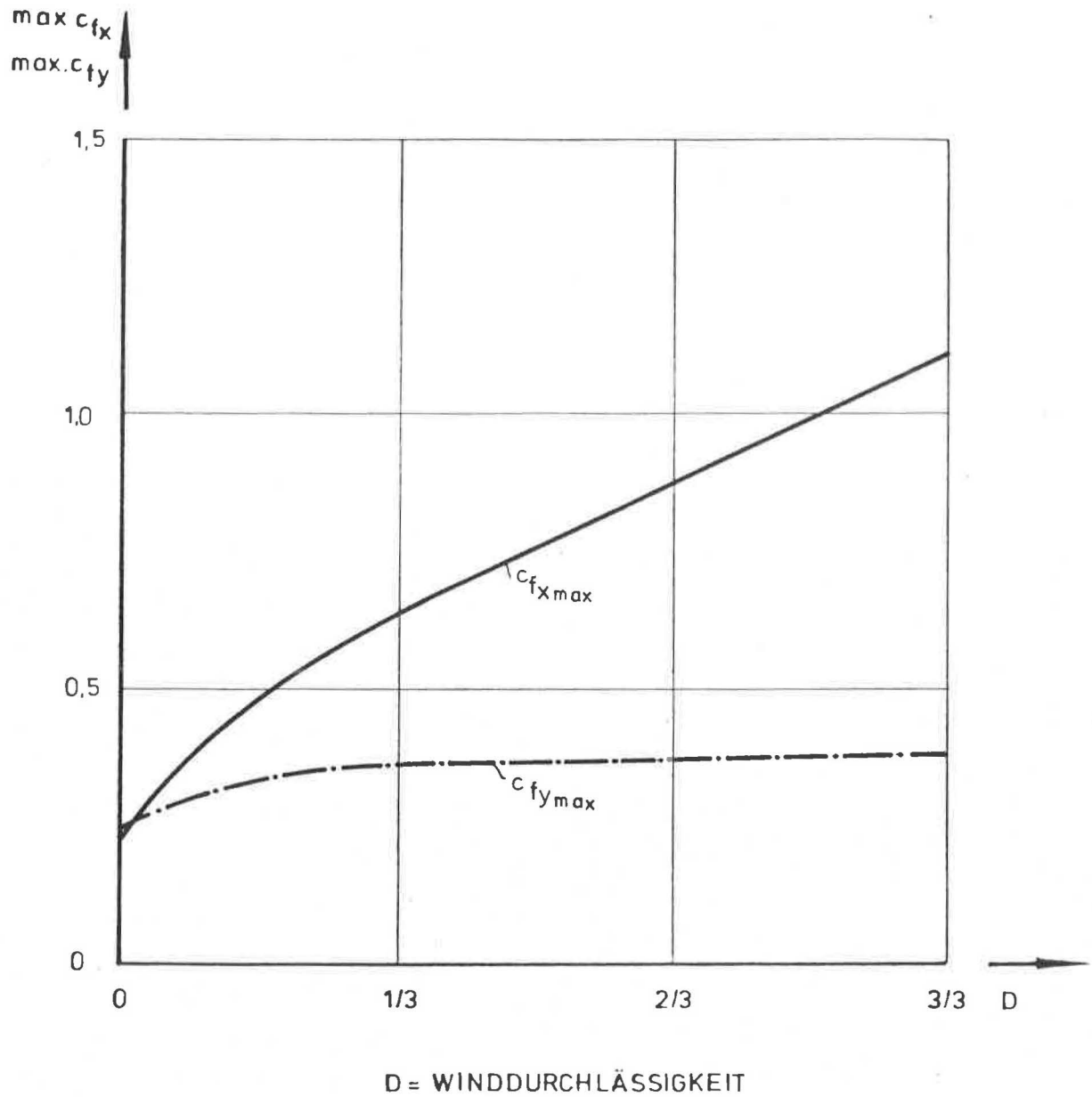
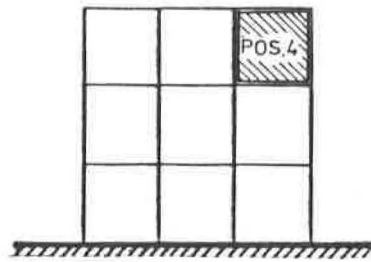


D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUSS DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE
AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

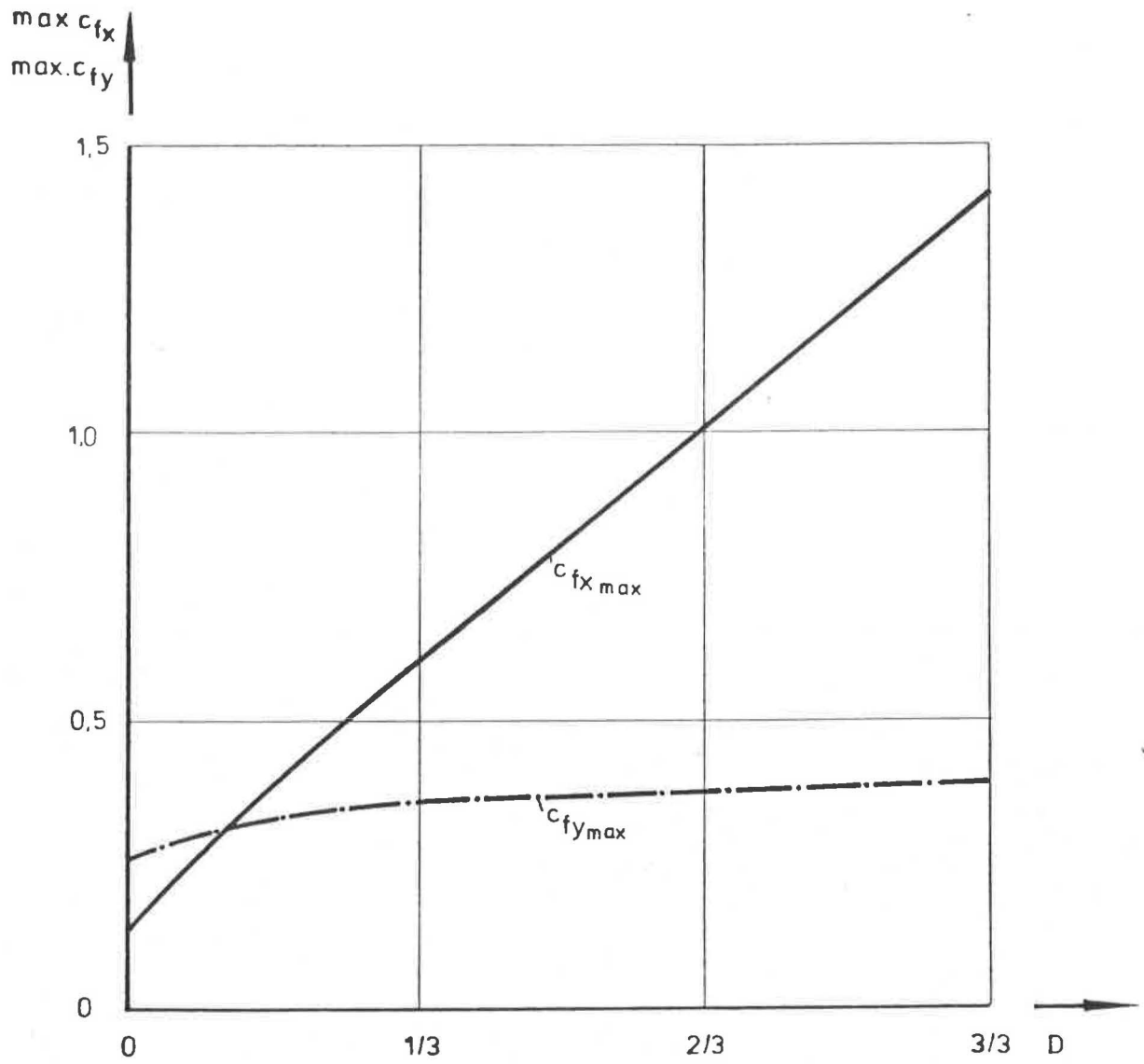
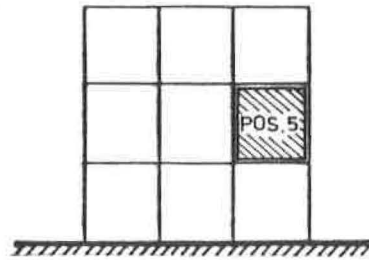
(GERÜSTTEILFELDER)

ABB. 42



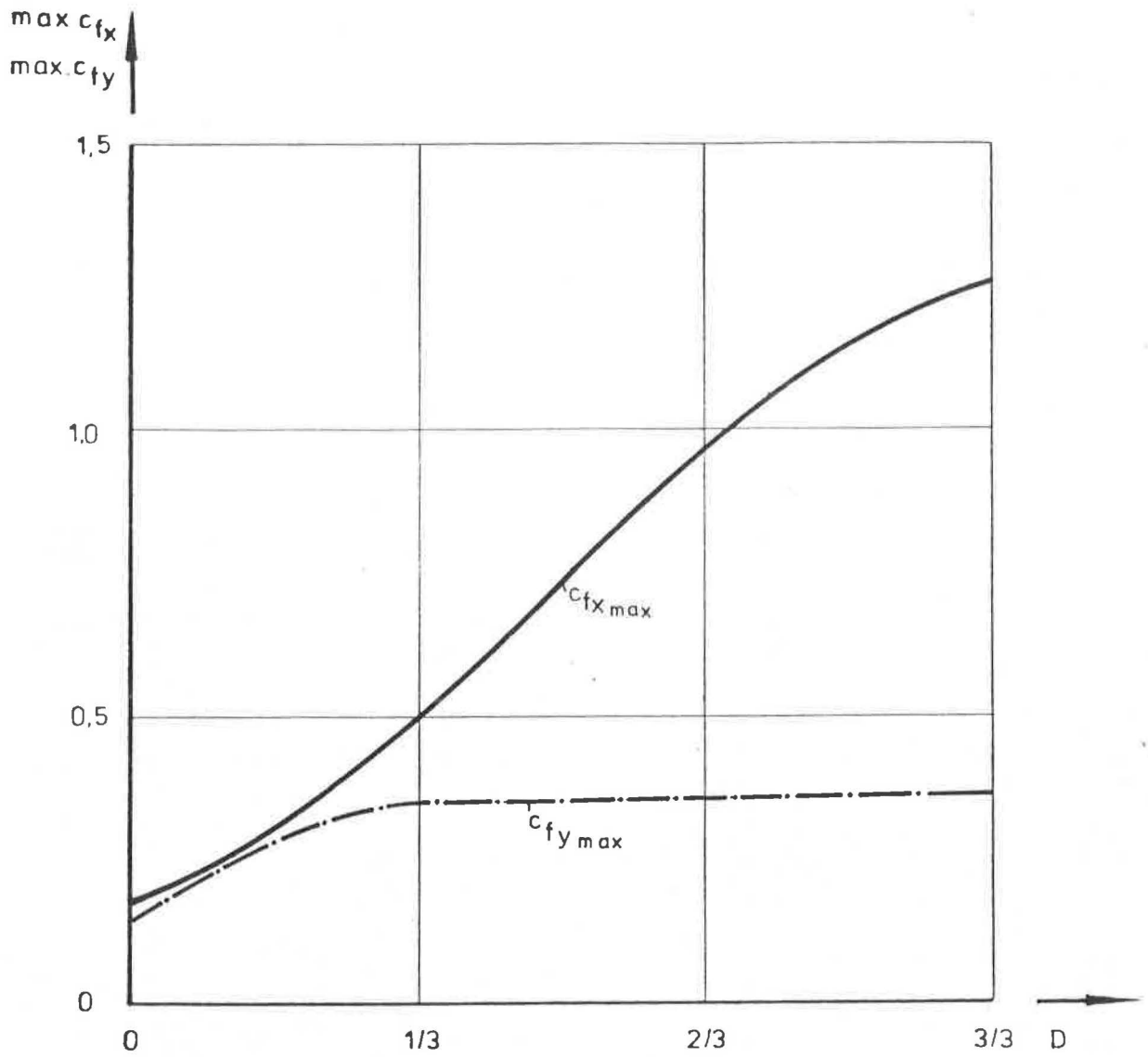
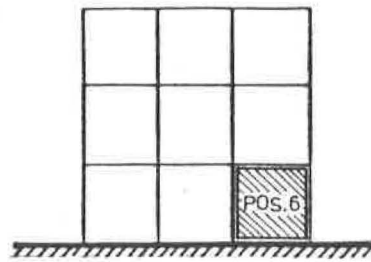
EINFLUß DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

(GERÜSTTEILFELDER)



D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUß DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE
 AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE
 (GERÜSTTEILFELDER)

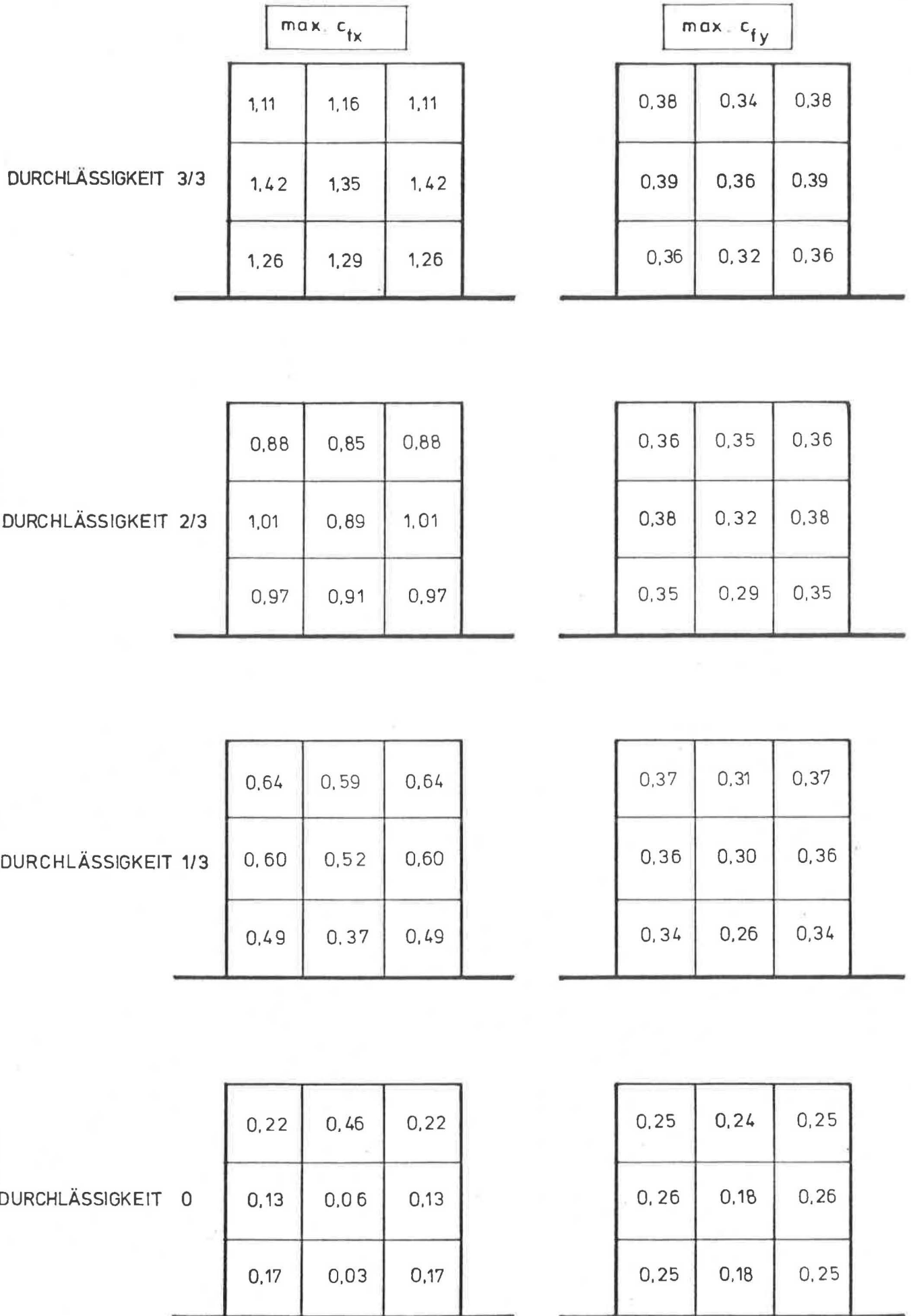


D = WINDDURCHLÄSSIGKEIT

EINFLUSS DER WINDDURCHLÄSSIGKEIT DER BAUWERKSFASSADE
AUF DIE GRÖÖE DER AERODYNAMISCHEN KRAFTBEIWERTE

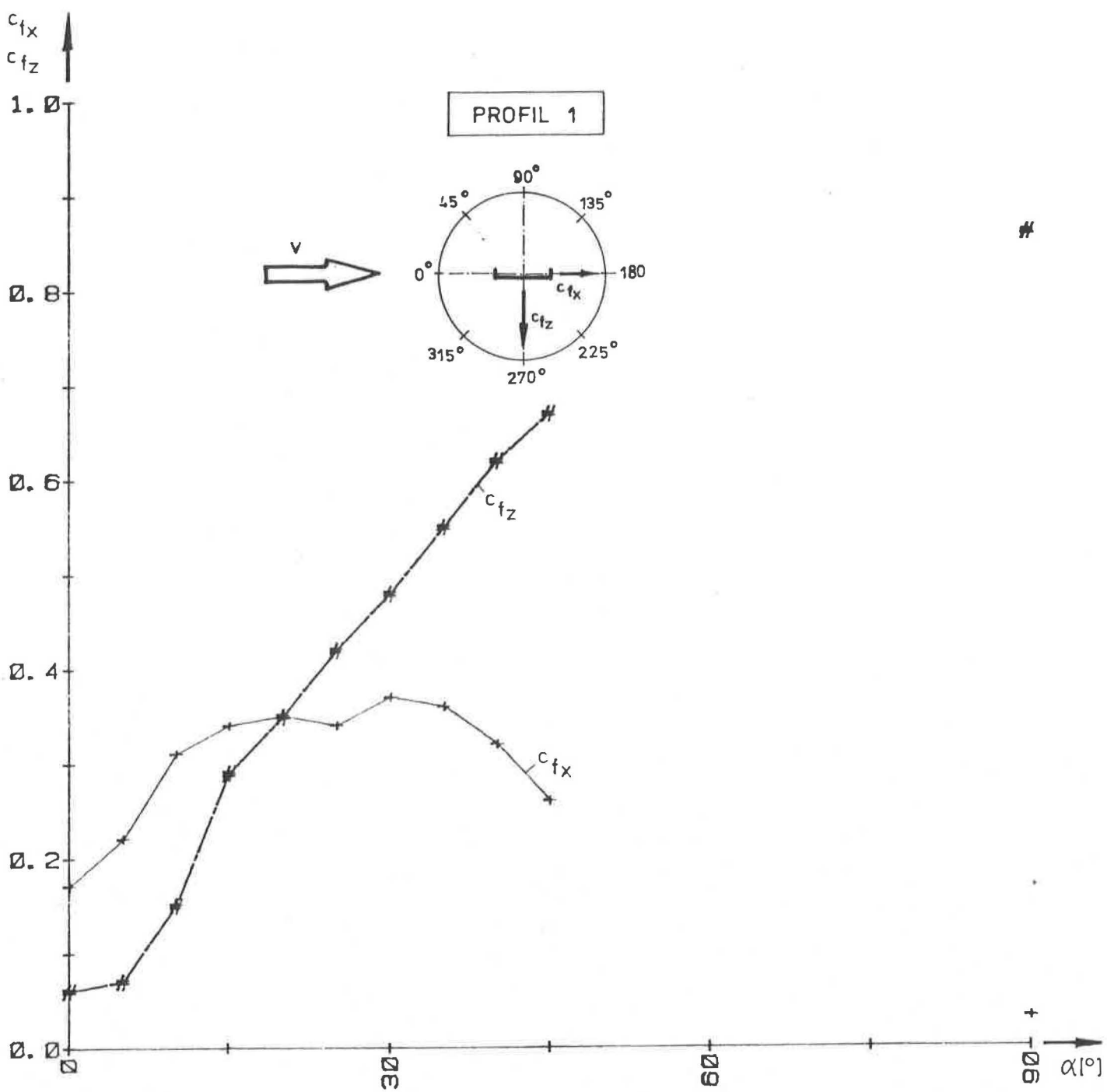
(GERÜSTTEILFELDER)

ABB. 45



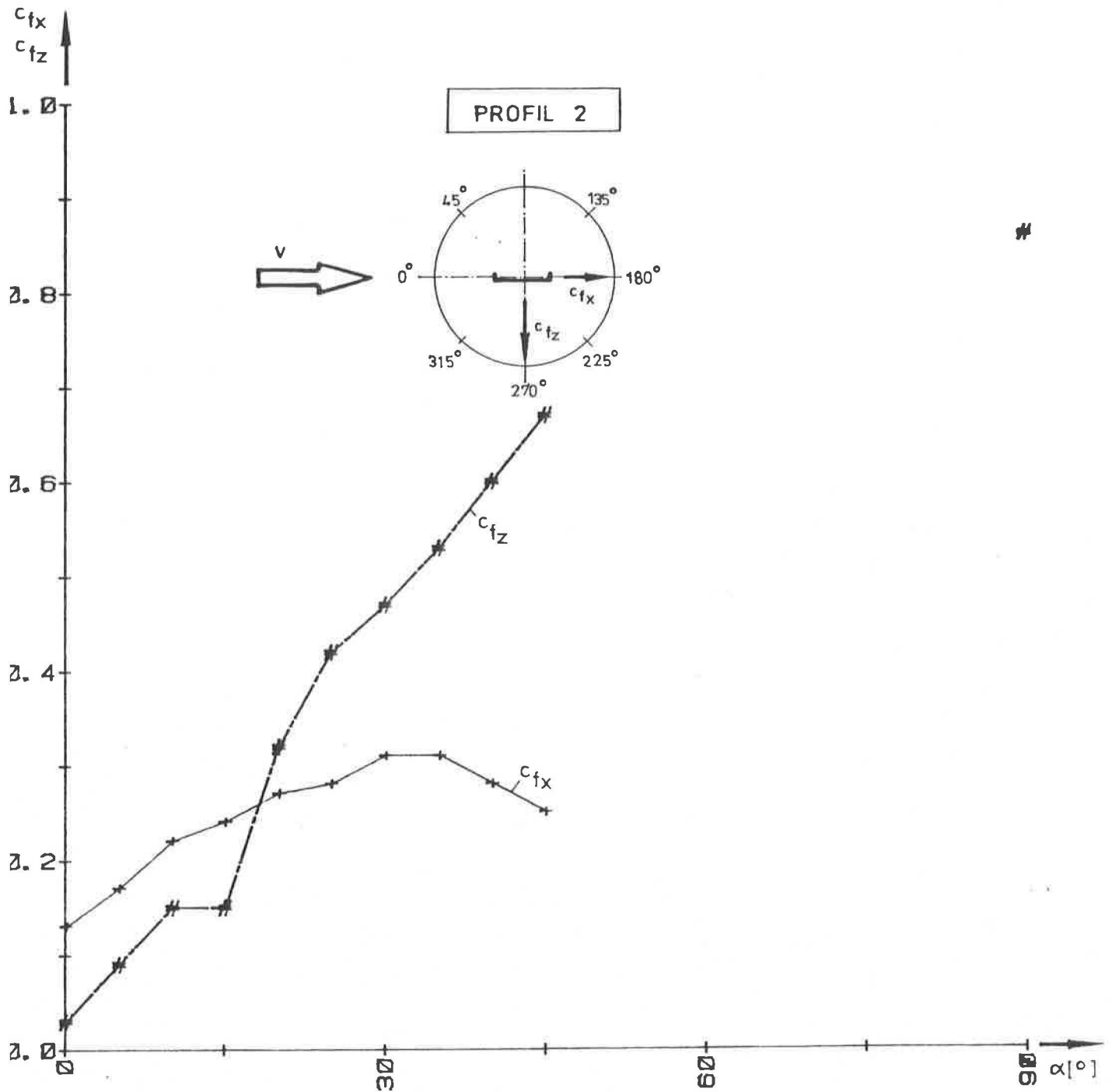
ZUSAMMENSTELLUNG DER MAXIMALEN BEIWERTE FÜR DIE EINZELNEN GERÜSTFELDER

ABB. 46



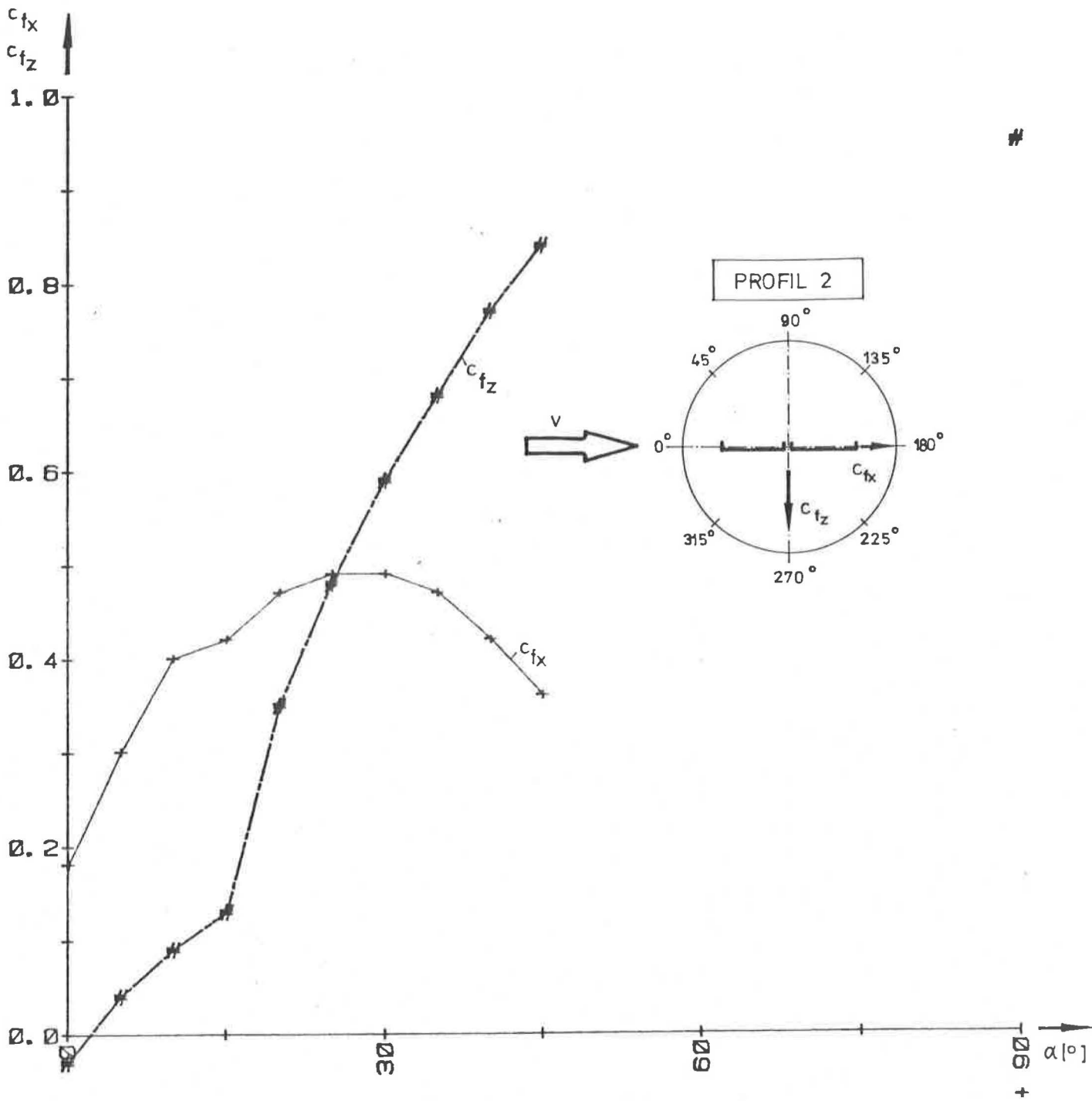
KRAFTBEIWERTE FÜR DIE STAHLPROFILE
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

ABB.47



KRAFTBEIWERTE FÜR DIE STAHLPROFILE
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

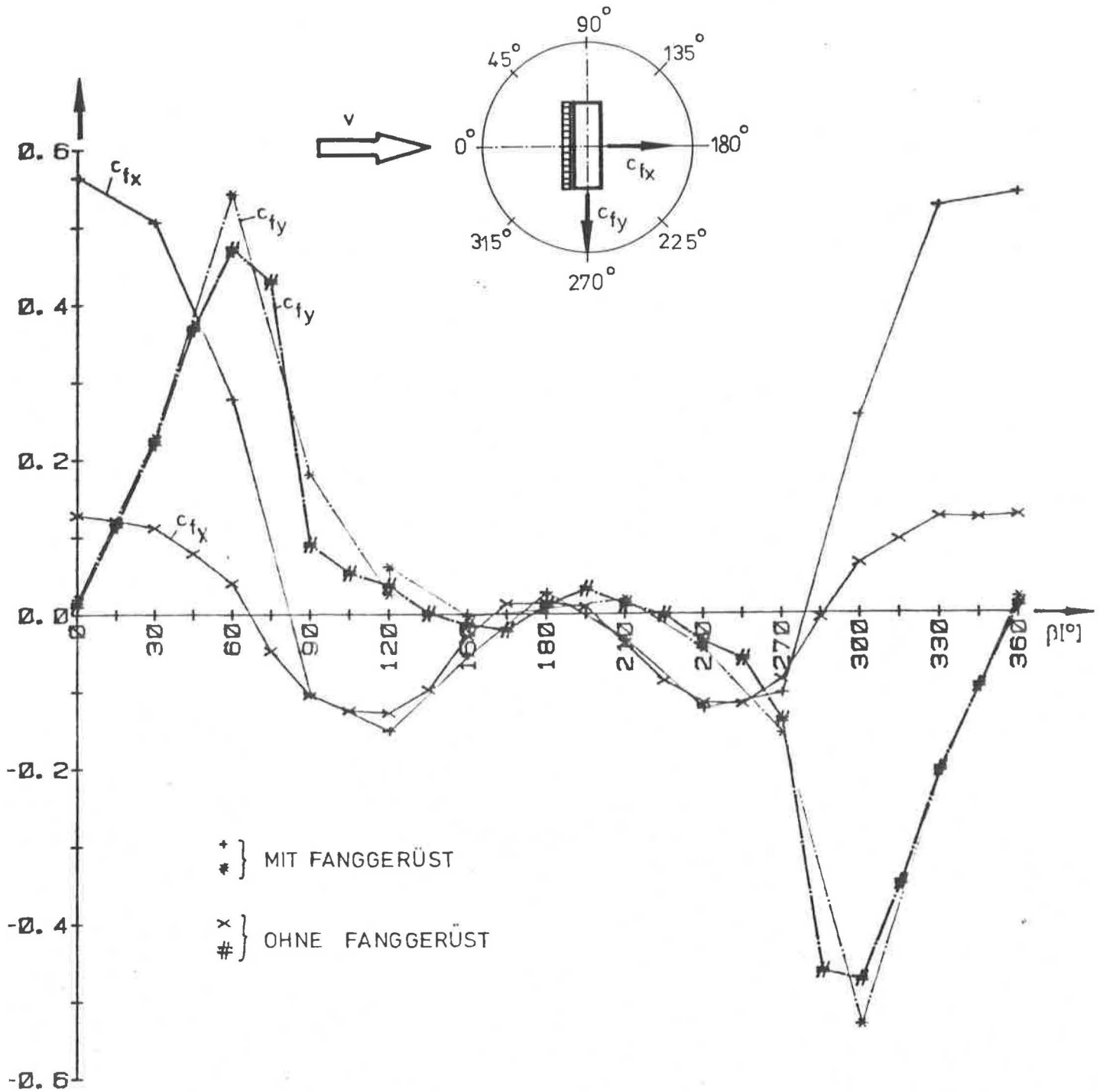
ABB. 48



KRAFTBEIWERTE FÜR DIE STAHLPROFILE
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANSTRÖMRICHTUNG

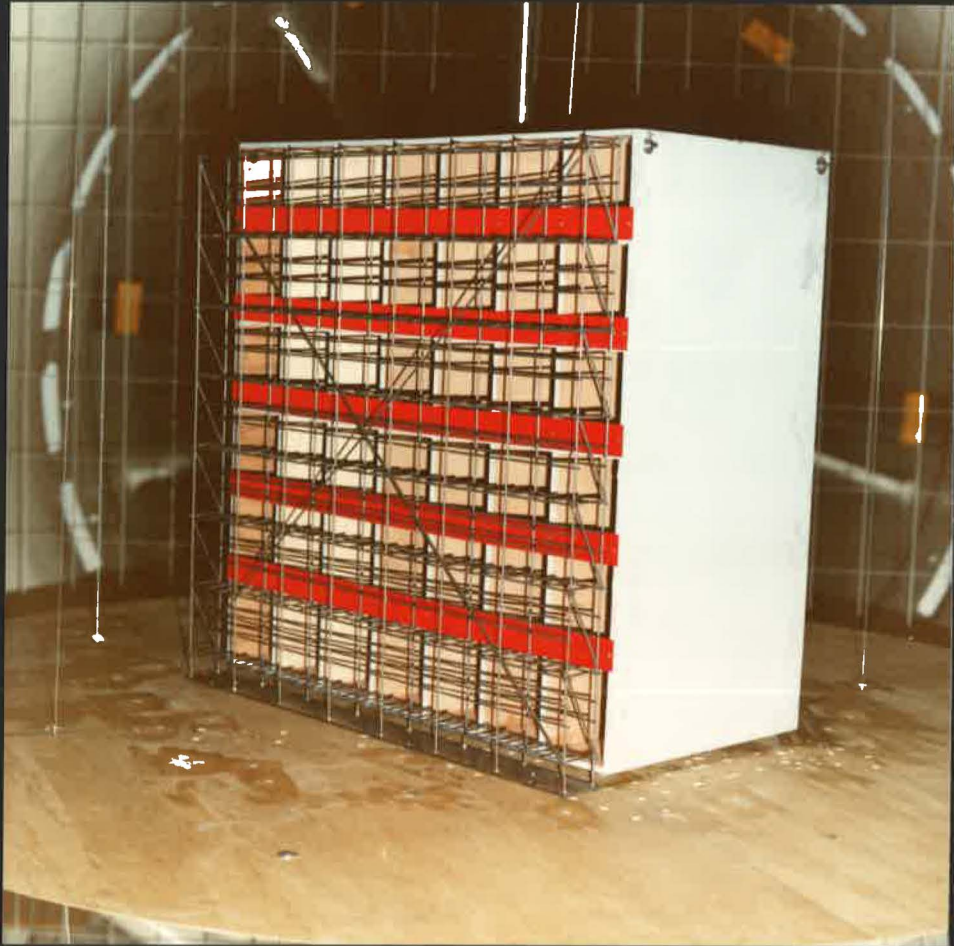
ABB. 49

01

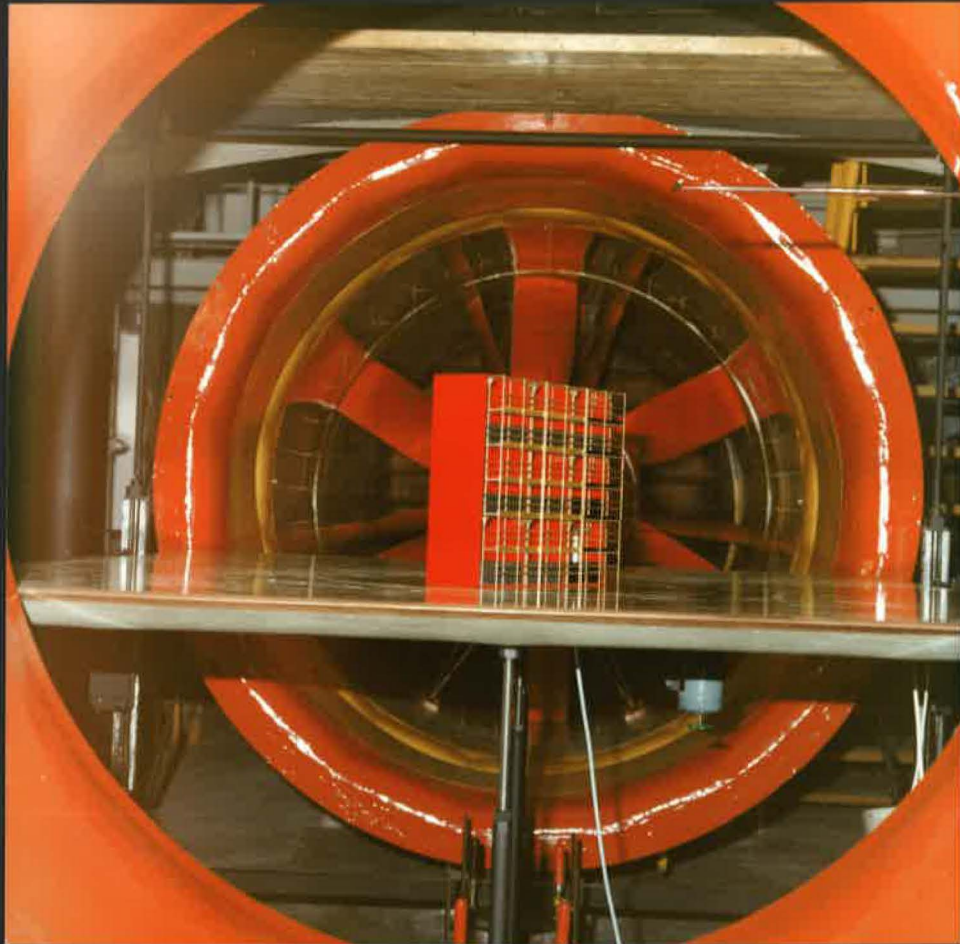


AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE FÜR EIN FANGGERÜST

92

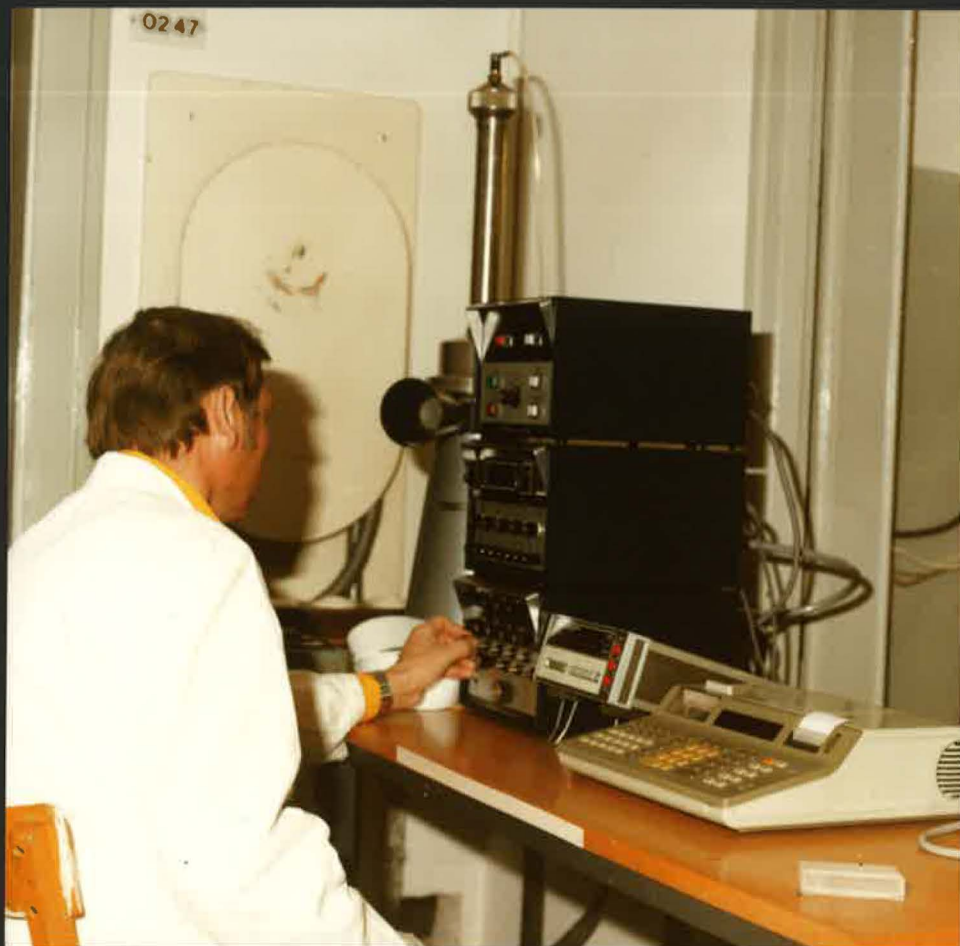


MODELL IM DARMSTÄDTER WINDKANAL



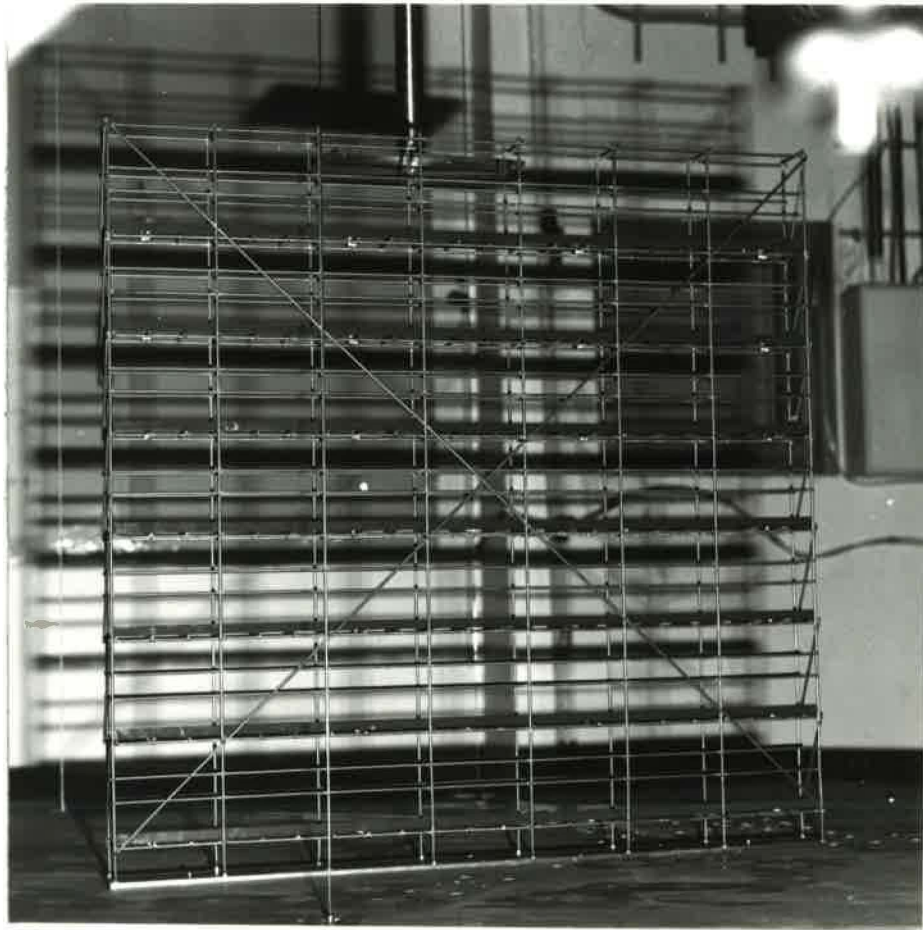
MODELL IM MÜNCHNER WINDKANAL

ABB. 52



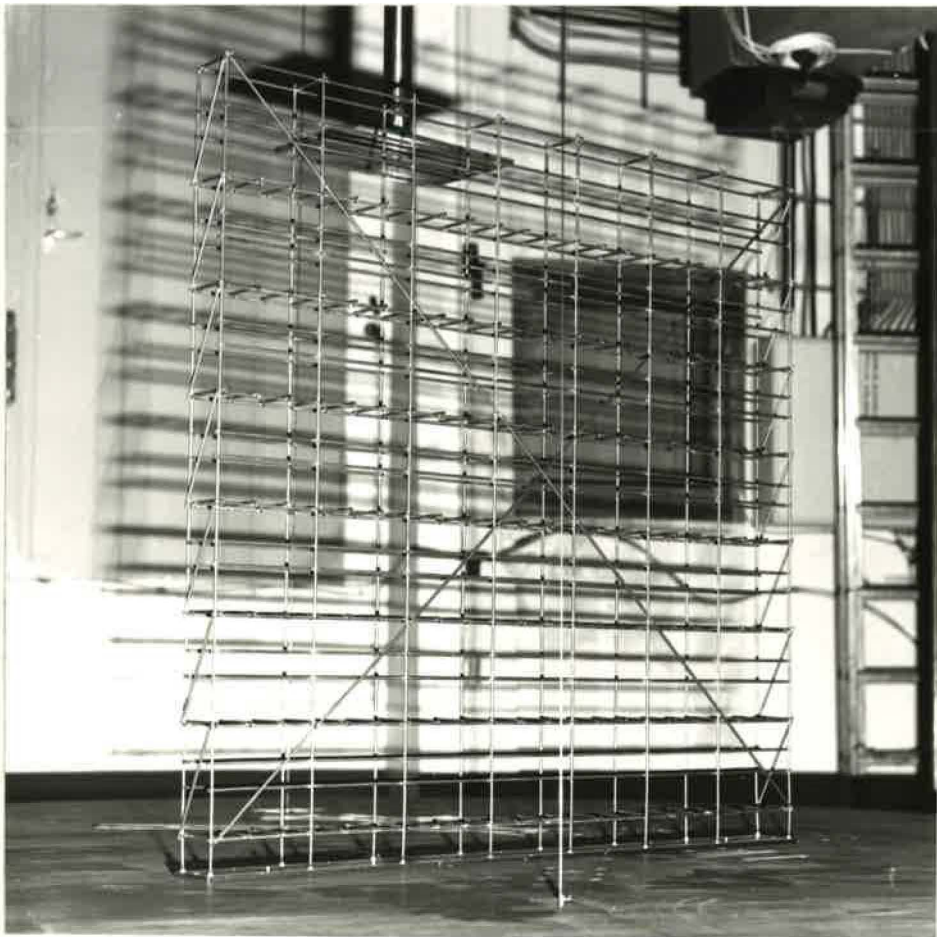
MESSRAUM MÜNCHEN

ABB. 53



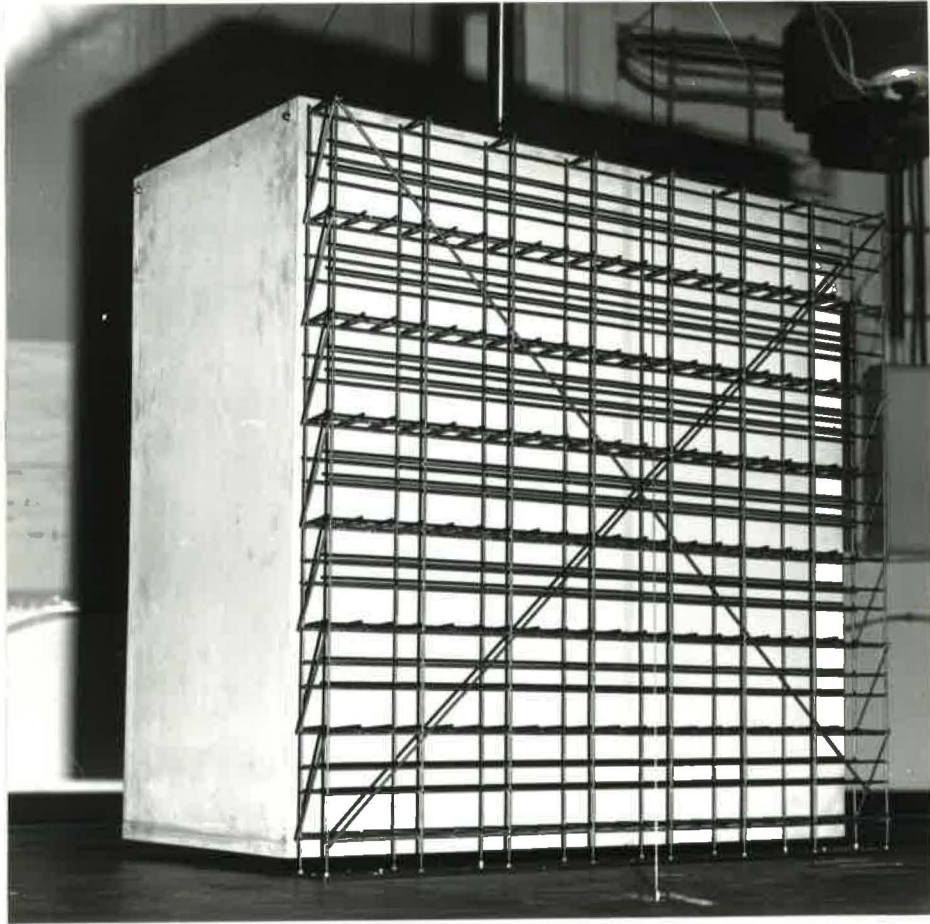
a

Versuchsanordnung 1



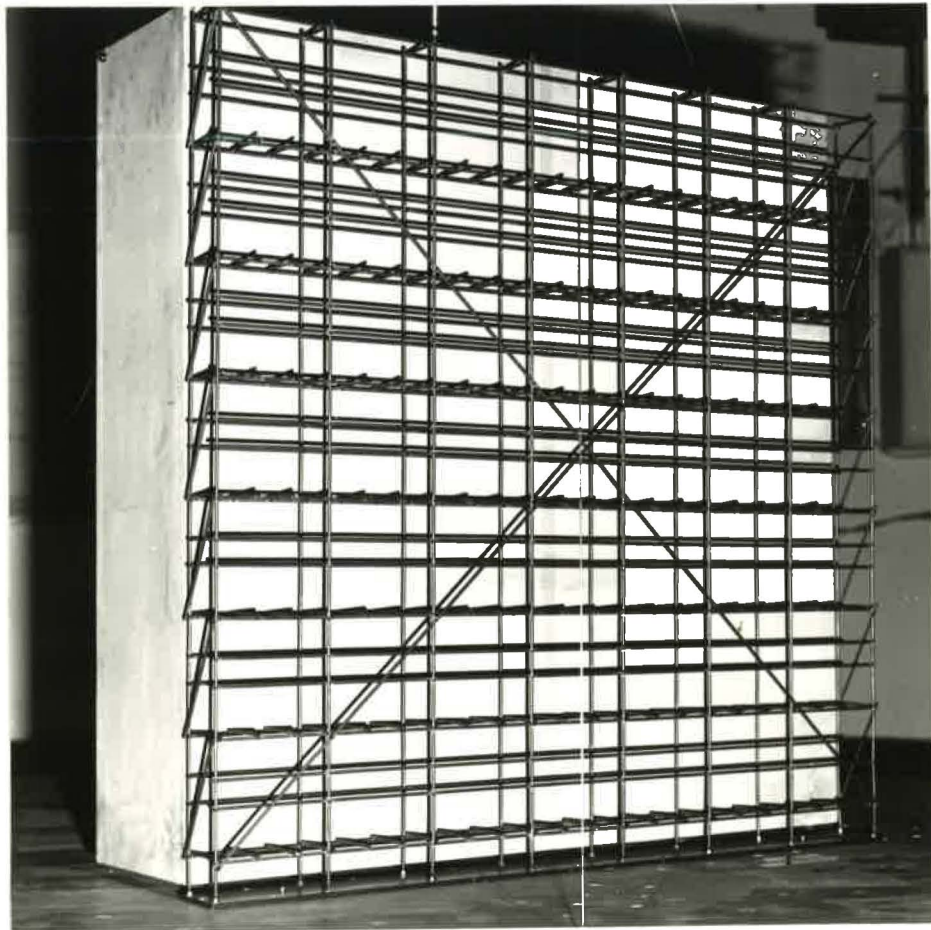
b

Versuchsanordnung 2



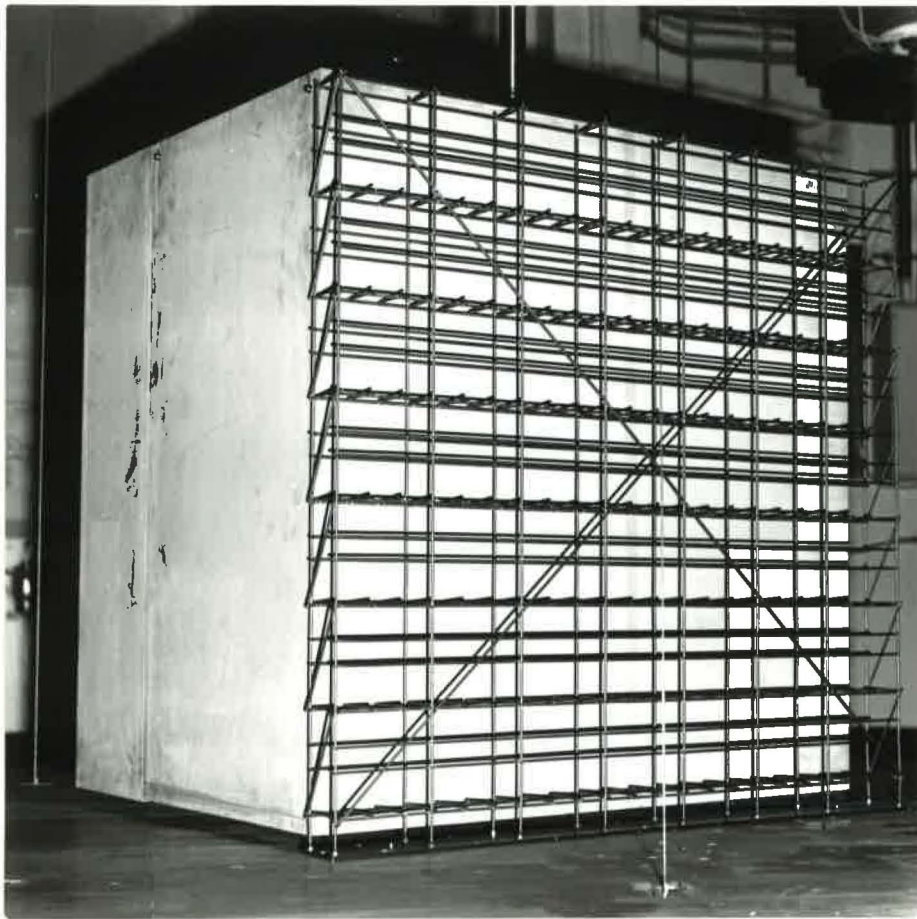
c

Versuchsanordnung 3



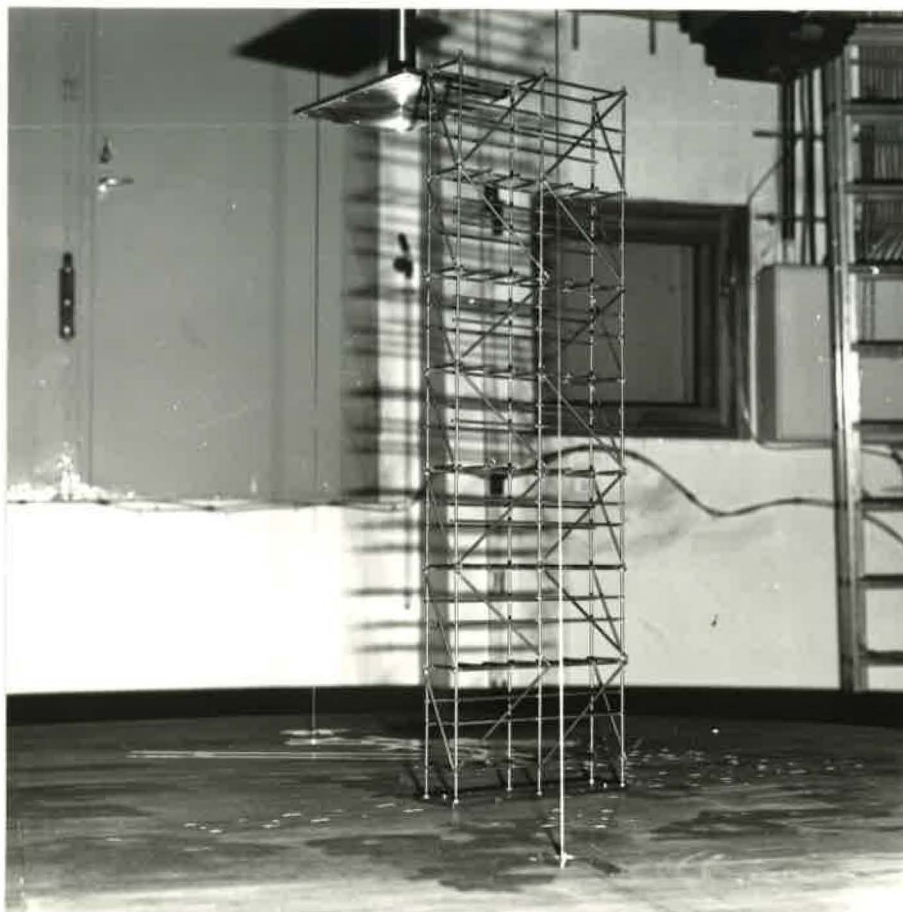
d

Versuchsanordnung 4



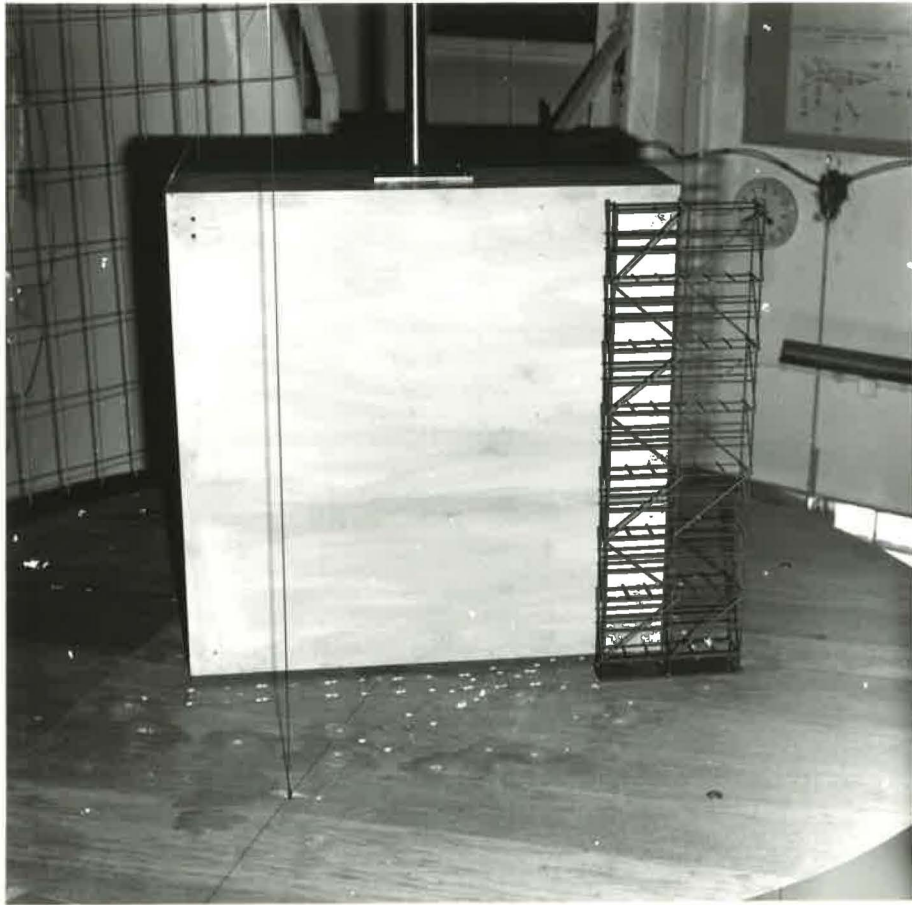
e

Versuchsanordnung 5



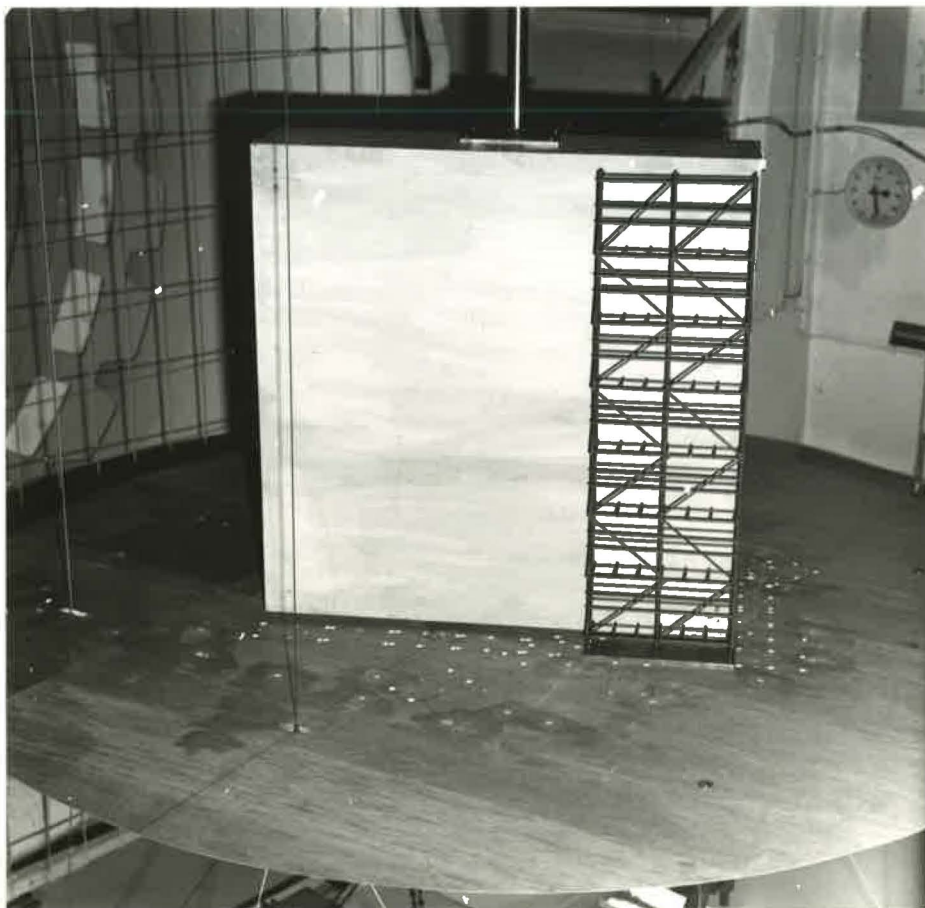
f

Versuchsanordnung 6



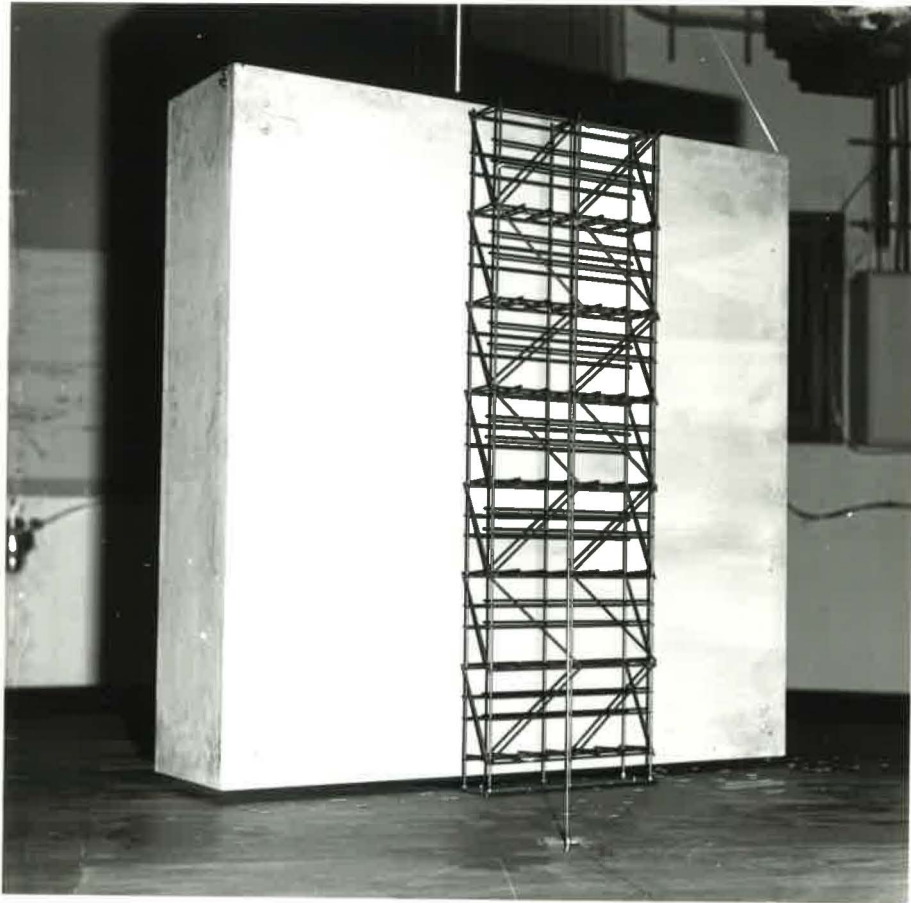
g

Versuchsanordnung 7



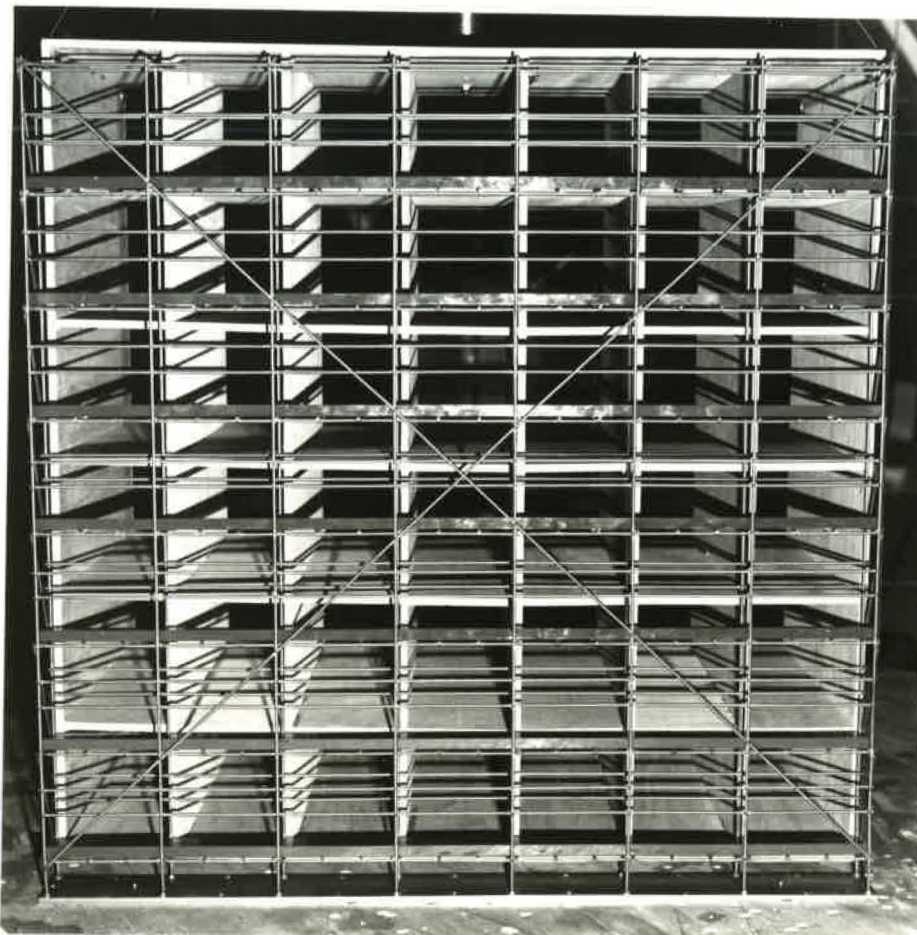
h

Versuchsanordnung 8



i

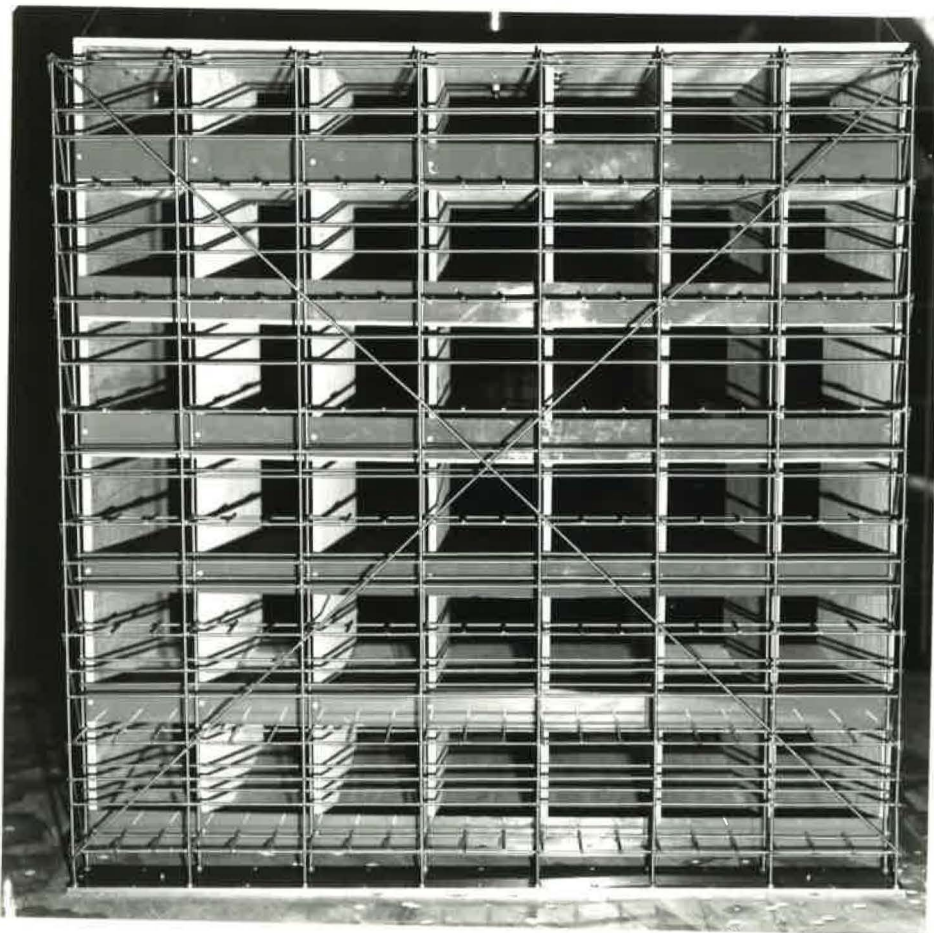
Versuchsanordnung 9



j

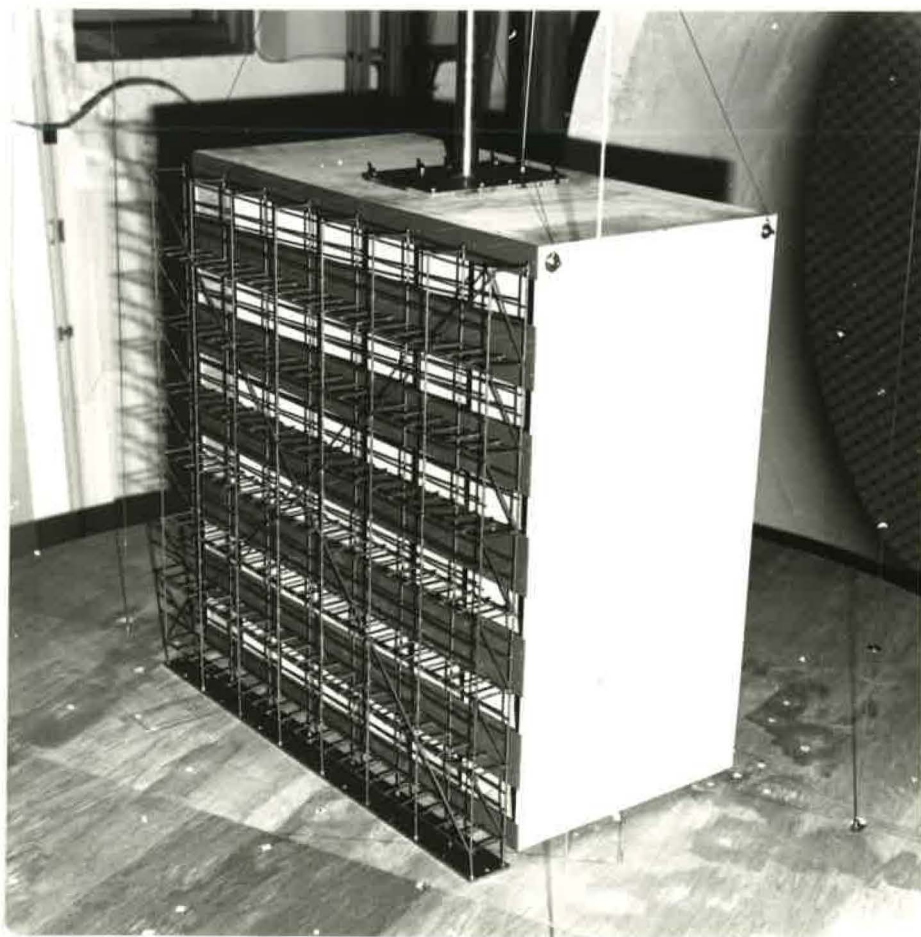
Versuchsanordnung 10

43



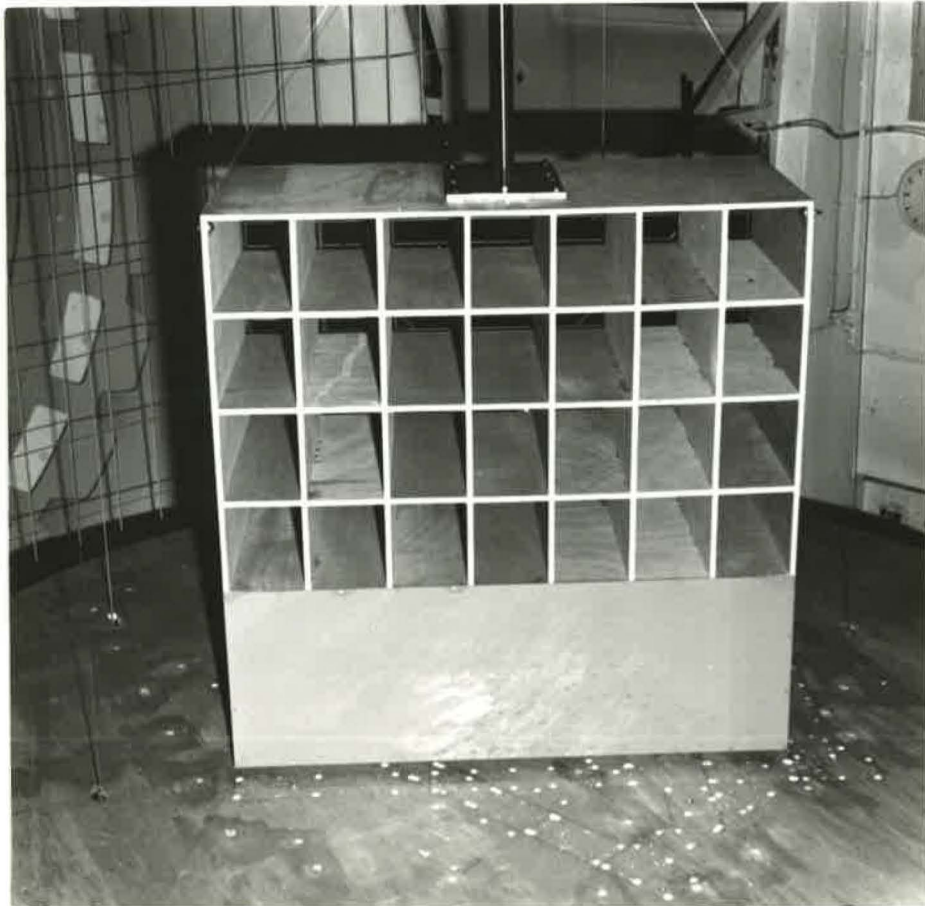
k

Versuchsanordnung 11



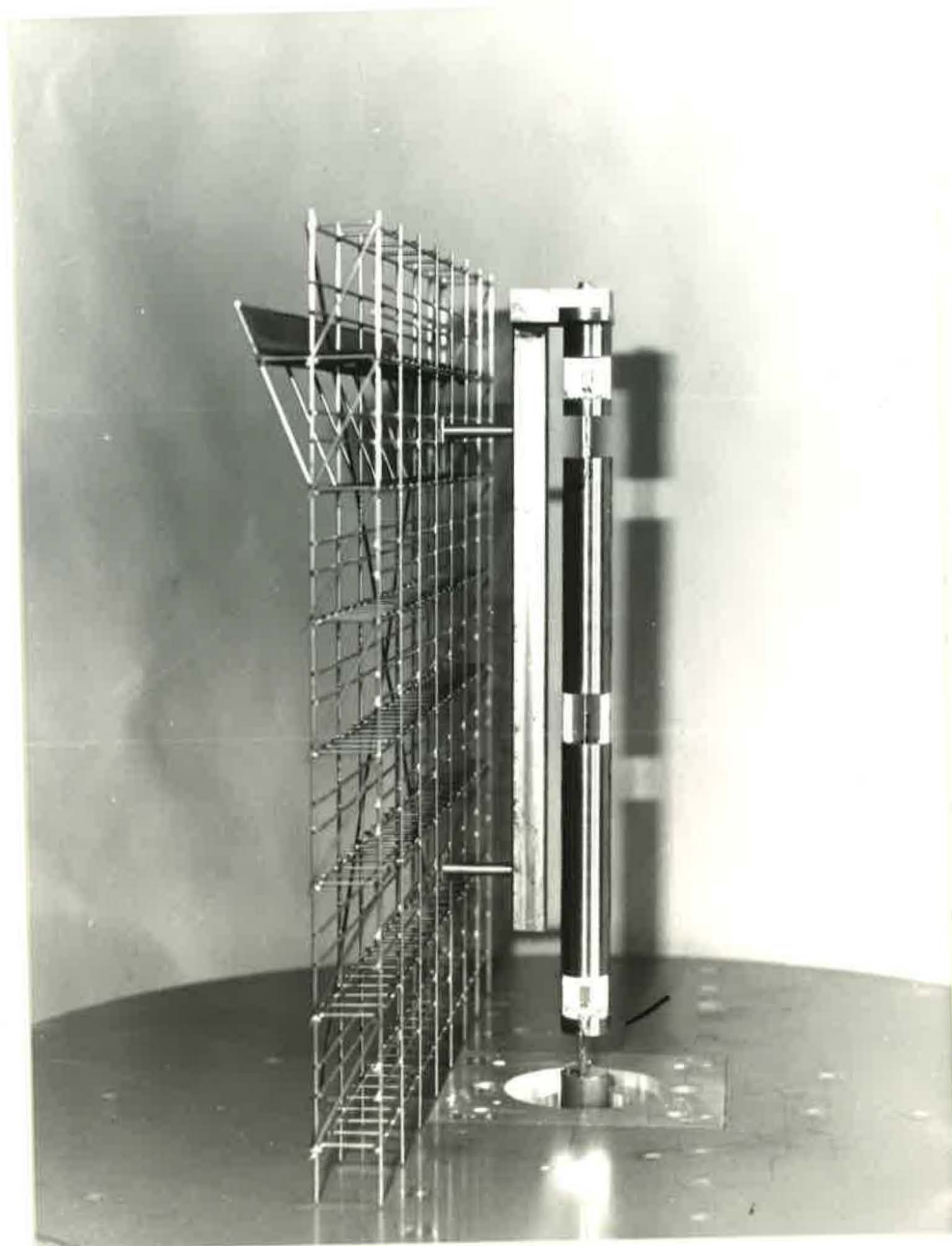
l

Versuchsanordnung 12



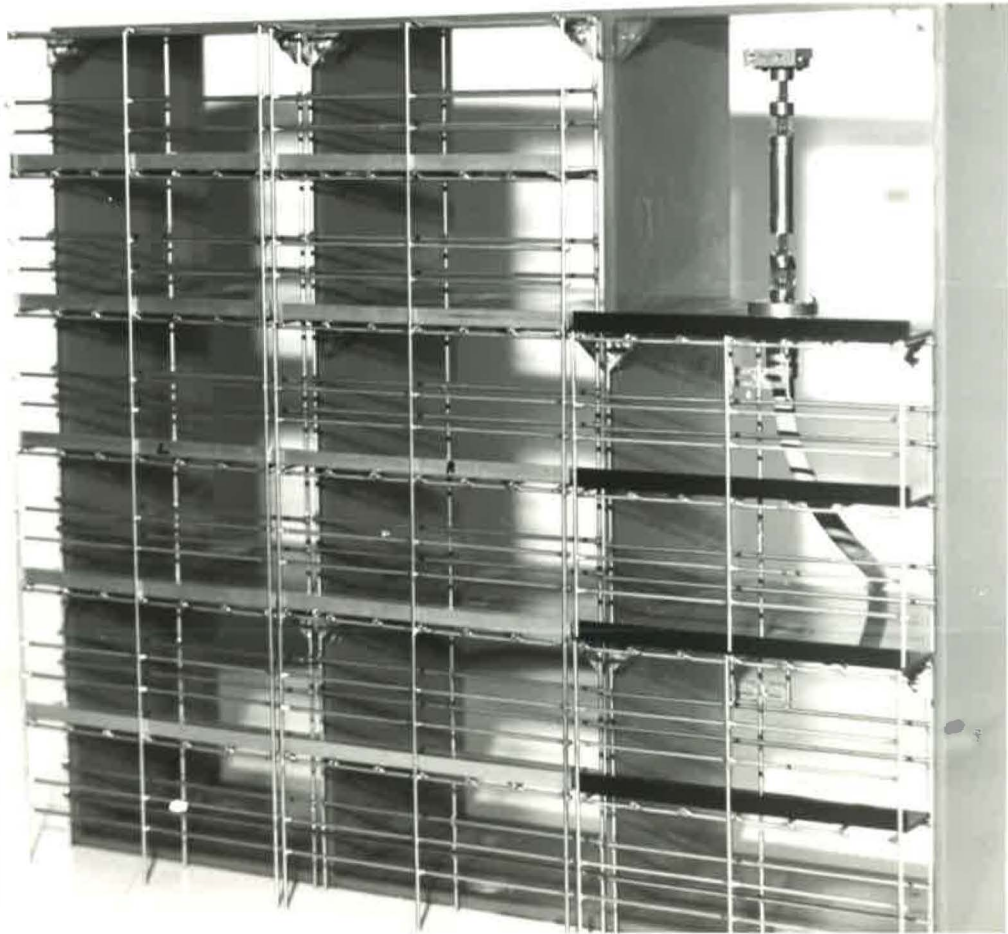
m

Versuchsanordnung 13



FANGGERÜSTMODELL MIT GROßER
DEHNUNGSMESTREIFENWAAGE

402



MODELL FÜR TEILFELDMESSUNGEN MIT KLEINER
DEHNUNGSMERSTREIFENWAAGE