

Strömungstechnische Modellversuche
zur Ermittlung der Windlasten auf beklei-
dete Fassadengerüste

T 2598

T 2598

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
Strömungstechnische Modellversuche
zur Ermittlung der Windlasten auf
bekleidete Fassadengerüste**

Teil 1: Text

Auftraggeber: Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 74 - 76
10785 Berlin

Az.: IV 1 - 5 - 659/91
Bericht A 18/91

Der Bericht besteht aus zwei Teilen.
Umfang dieses 1. Berichtsteils: Textseiten 1 - 24
Tabellen 1 - 3

Inhalt

- 1 Literaturlauswertung
- 1.1 Windlast
- 1.2 Luftdurchlässigkeit
- 1.3 Ähnlichkeitsprobleme
- 1.4 Freilandmessungen

- 2 Versuchsbeschreibung
- 2.1 Vorüberlegungen zur Versuchsdurchführung
- 2.2 Modelle
- 2.3 Meßgeräte
- 2.4 Windkanal
- 2.5 Versuchsprogramm

- 3 Versuchsergebnisse
- 3.1 Übersicht
- 3.2 Einfluß der Anströmrichtung
- 3.3 Einfluß der Gebäudedurchlässigkeit
- 3.4 Einfluß einer Bekleidung an der Gerüststirnseite
- 3.5 Gebäude mit allseitigem Gerüst
- 3.6 Zusammenfassende Bewertung

- 4 Vorschlag für die Anwendung der Ergebnisse

- 5 Literaturverzeichnis

Anmerkung: Im Text verwendete Formelzeichen werden an der Stelle ihres ersten Auftretens erläutert.

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1	Zusammenstellung der untersuchten Netzwerkstoffe
Tabelle 2 - 3	Zusammenstellung der untersuchten Koffigurationen
Bild 1	Zusammenhang zwischen Windlastkennziffer und Luftdurchlässigkeitskennziffer
Bild 2	Lage der Gerüstfelder
Bild 3 - 4	Einfluß der Reynoldszahl
Bild 5 - 18	Aerodynamische Kraftbeiwerte
Bild 19 - 37	Aerodynamische Kraftbeiwerte in Abhängigkeit von Gebäudeöffnung und Netzart
Bild 38 - 41	Untersuchte Netzwerkstoffe
Bild 42	Modell im Windkanal
Bild 43	Gerüst ohne Bekleidung
Bild 44	Gerüst mit Bekleidung
Bild 45	Gebäude mit allseitigem Gerüst
Bild 46	Schmales Gerüst
Bild 47	Dehnungsmeßstreifenwaage

Gerüste werden aus verschiedenen Gründen, wie z. B. Schutz der Arbeiter vor Witterungseinflüssen, Schutz der Umgebung vor Staub oder herabfallenden Gegenständen, mit textilen Materialien bekleidet. Dabei kommen sowohl netzartige Gewebe unterschiedlicher Luftdurchlässigkeit, wie auch windundurchlässige Planen zur Anwendung. DIN 4420 Teil 1 [1] gibt für diese Werkstoffe aerodynamische Kraftbeiwerte an, ohne jedoch bezüglich der Luftdurchlässigkeit zu differenzieren. Abminderungen gegenüber den Werten der Norm müssen durch Einzelmessungen nachgewiesen werden. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde der Einfluß der Luftdurchlässigkeit auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte unter Berücksichtigung weiterer Parameter, wie Durchlässigkeit des Gebäudes oder Lage des Gerüsts am Gebäude, untersucht.

1 Literaturlauswertung

1.1 Windkräfte

Von der LGA Bayern wurden in den Jahren 1979 und 1980 im Rahmen einer umfangreichen Forschungsarbeit aerodynamische Modellversuche an unbekleideten Gerüsten durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in [2] veröffentlicht. Dieser Bericht enthält auch eine Literaturzusammenstellung zum Thema Windlast auf Gerüste. Auf die dort ausgewerteten Unterlagen wird hier nicht mehr eingegangen. Die nachfolgenden Ausführungen sprechen gezielt das Problem der, durch die Bekleidungwerkstoffe zusätzlich auf die Gerüste ausgeübten Windlasten an.

Nach DIN 4420 Teil 1 [1] ist die auf das Gerüst einwirkende Windlast zu berechnen nach:

$$F = q_j \cdot \chi \cdot c_1 \cdot \sum_i c_{f,i} \cdot A_i$$

mit F = resultierende Windlast

q = Staudruck

χ = Standortfaktor

c_i = Lagebeiwert in Abhängigkeit von der Lage des Gerüsts in Verbindung mit einer baulichen Anlage

$c_{f,i}$ = aerodynamischer Kraftbeiwert für das Gerüstbauteil i

A_i = Bezugsfläche

Der Anteil der Bekleidung des Gerüsts an der Gesamtwindlast wird bestimmt durch das Produkt $c_{f,b} \cdot A_b$ (mit Index b für Bekleidung).

In [1] wird für Geflechte und Netze ohne besonderen Nachweis für die Anströmung rechtwinklig zur betrachteten Fläche

$$c_{f,\perp} = 1,3$$

und

$$c_{f,\parallel} = 0,2$$

bei Anströmung parallel zur betrachteten Fläche angegeben. Für winddichte Planen betragen die entsprechenden Werte:

$$c_{f,\perp} = 1,3$$

und

$$c_{f,\parallel} = 0,1$$

(Anmerkung: Im nachfolgenden Text und insbesondere auch auf den Abbildungen wird anstelle von $c_{f,\perp}$ auch $c_{f,x}$ und anstelle von $c_{f,\parallel}$ auch $c_{f,y}$ angegeben).

Von der in der Norm vorgesehenen Möglichkeit, von diesen Werten abweichende aerodynamische Kraftbeiwerte durch Versuche ermitteln zu lassen, haben in der Vergangenheit mehrere Netzhersteller Gebrauch gemacht. Allein bei der LGA Bayern wurden bisher ca. 25 unterschiedliche Bekleidungsmaterialien aerodynamisch untersucht [3].

Bei diesen Untersuchungen wird für eine Netzprobe der Kraftbeiwert senkrecht zur Netzfläche und der Kraftbeiwert parallel zur Netzfläche bei unterschiedlichen Anströmwinkeln bestimmt. Das jeweilige Maximum

dieser Werte wird als $c_{f,\perp}$ bzw. $c_{f,\parallel}$ angegeben.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen an einzelnen Netzproben gilt für freistehende Gerüste. Ein Lagebeiwert für bekleidete Gerüste vor teilweise geschlossenen Fassaden, so wie er bei unbekleideten Gerüsten nach [2] in Ansatz gebracht werden kann, ist bei bekleideten Gerüsten bisher nicht vorgesehen. Die Erarbeitung entsprechender Rechenregeln sollte auch Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen sein.

1.2 Luftdurchlässigkeit

Neben den aerodynamischen Kraftbeiwerten kann auch die Luftdurchlässigkeit zur Charakterisierung eines Netzgewebes herangezogen werden. Für eine Reihe der bei der LGA Bayern untersuchten Netzproben wurde neben den aerodynamischen Kraftbeiwerten auch die Luftdurchlässigkeit nach einem an DIN 53887 [5] angelehnten Verfahren ermittelt. Aus den Werten für die aerodynamischen Kraftbeiwerte und der Luftdurchlässigkeit wurden jeweils Kennziffern gebildet, die den untersuchten Werkstoff im Verhältnis zu einem bekannten "Normal" definieren.

Es ist:

$$f = \frac{\text{Kraftbeiwert Netzgewebe}}{\text{Kraftbeiwert winddichte Plane}}$$

und

$$l = \frac{\text{Luftdurchlässigkeit durch Normöffnung mit Netz}}{\text{Luftdurchlässigkeit durch Normöffnung ohne Netz}}$$

Bild 1 zeigt für eine Reihe untersuchter Gewebe den ermittelten Zusammenhang. Neben den Einzelergebnissen für verschiedene Netzwerkstoffe ist eine gemittelte Kurve eingetragen. Obwohl die Ergebnisse für bestimmte Bekleidungswerkstoffe merklich vom gemittelten Verlauf abweichen, läßt sich, bei Inkaufnahme dieser Unsicherheit, aus der Gewebedurchlässigkeit auf die Windkraft senkrecht zur Gewebefläche schließen.

1.3 Ähnlichkeitsproblem

Aus Versuchen an Sieben ist bekannt, daß der Durchströmungswiderstand abhängig ist von der Reynoldszahl, hier gebildet als

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

mit v = Durchströmungsgeschwindigkeit

d = Durchmesser der einzelnen Drähte des Siebes

ν = kinematische Zähigkeit der Luft.

Geht man von einem häufig eingesetzten Gerüstschutznetz aus (Fadendurchmesser 0,3 mm Maschenweite 2,5 mm) und bildet die Reynoldszahl mit dem in DIN 4420 Teil 1 für 24 m Höhe angegebenen Staudruck so ergibt sich Re zu rund 900.

Aufgrund der Ergebnisse von Versuchen an Sieben war für diesen Bereich mit einem Einfluß der Reynoldszahl auf die Größe der Kraftbeiwerte zu rechnen. Die daraus möglicherweise für die Übertragung der Ergebnisse aus den Modellversuchen auf die Hauptausführung zu erwartenden Probleme wurden dadurch umgangen, daß im Versuch mit Bekleidungswerkstoffen gearbeitet wurde, die ähnliche "Fadendurchmesser" aufwiesen wie die in der Praxis verwendeten Netze. Da auch die Anströmgeschwindigkeit gleich groß wie die Windgeschwindigkeit für die Hauptausführung gewählt wurde, können die Versuchsergebnisse unmittelbar auf die Hauptausführung übertragen werden.

1.4 Freilandmessungen

Zeitlich etwa parallel zu den hier beschriebenen Versuchen liefen in England Freilandmessungen an bekleideten Gerüsten [6]. Bei diesen Versuchen wurde über eine Reihe von Kraftmeßelementen der Winddruck auf bekleidete Gerüste aufgenommen. Gleichzeitig wurden Windgeschwindigkeit und Windrichtung registriert. Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgte nur für den Fall senkrechter Anströmung. Es wurden aerodynami-

sche Kraftbeiwerte gebildet. Für einen ersten Vergleich werden die Ergebnisse für einen Bekleidungswerkstoff mit der Handelsbezeichnung "green Foyma netting" mit 2,5 x 2,5 mm Maschenweite herangezogen. Die Fadenstärke wird in dem Bericht nicht angegeben. Es dürfte sich jedoch um ein, auch in Deutschland übliches Material handeln, das z.B. unter dem Handelsnamen "Euronet" vertrieben wird. Aus den Ergebnissen dieses Freilandversuches ergibt sich für das frei durchströmte Netzgewebe ein mittlerer Beiwert von:

$$c_{f,\perp} = 0,4$$

Dieser Wert entspricht sehr genau dem Wert, der von der LGA Bayern für Proben des Netzgewebes "Euronet grün" im Windkanal ermittelt wurde [3].

Vergleichswerte für winddichte Bekleidungen sind einer Veröffentlichung von Gylltoft [7] zu entnehmen, die über Freilandmessungen an planenbekleideten Gerüsten in Schweden berichtet.

2. Versuchsbeschreibung

2.1 Vorüberlegungen zu Versuchsdurchführung

Von den die Windlast nach:

$$F = q_j \cdot x \cdot c_l \cdot \sum_i c_{f,i} \cdot A_i$$

bestimmenden Faktoren sollten im Rahmen der vorliegenden Arbeit die aerodynamischen Kraftbeiwerte c_f für die Bekleidungswerkstoffe und der Lagefaktor c_l näher untersucht werden.

Betrachtet man die Windlasten in Richtung der Hauptachsen des Gerüstes, so läßt sich c_f in Form der Komponenten $c_{f,x}$ für die Windkraft senkrecht zur Gewebefläche und $c_{f,y}$ für die Windkraft parallel zur Gewebefläche

angeben. Eine Überlagerung von Lastfällen etwa bei Schräganströmung findet nicht statt.

Die Luftdurchlässigkeit der Netzgewebe wird im Rahmen dieser Arbeit als geometrische (optische) Durchlässigkeit definiert und wie folgt berechnet:

$$\delta_N = \frac{A_{N,o}}{A_{N,g}}$$

mit $A_{N,g}$ = Gesamtansichtsfläche des Netzes

$A_{N,o}$ = Gesamtansichtsfläche der Öffnungen im Netz

Für das Gebäude wird ein Versperrungsfaktor berechnet nach:

$$\phi_G = \frac{A_{G,t}}{A_{G,g}}$$

mit $A_{G,g}$ = Ansichtsfläche der Fassade

$A_{G,t}$ = Ansichtsfläche der Fassade minus Fläche der Öffnungen.

Aufgrund des Ergebnisses früherer Untersuchungen an unbekleideten Gerüsten war zu erwarten, daß die Windkräfte auf die Gerüstbekleidung außerdem auch von der Lage des Gerüstes am Gebäude (Eckbereich, Mittenbereich) abhängen. Weitere Parameter, von denen ein Einfluß zu ausgehen konnte, waren die Länge des Gerüstes im Vergleich zur Gebäudelänge, sowie die Position eines Teilgerüstes am Gebäude. In der Praxis können die Stirnseiten eines Gerüstes offen oder ebenfalls bekleidet sein. Schließlich kann ein Gebäude nur an einer Fassade eingerüstet sein, das Gerüst kann aber auch um eine Gebäudeecke reichen oder die bauliche Anlage kann allseitig umschließen (z.B. Türme, Schornsteine).

Eine systematische Variation aller aufgeführten Parameter hätte zu einem immens hohen Versuchsaufwand geführt. Deshalb wurden im Rahmen dieser Untersuchungen nur jene Parameter systematisch variiert, von denen wesentliche Einflüsse auf das Ergebnis zu erwarten waren. Für andere Parameter wurden nur Stichproben überprüft. Im übrigen wurden optional

Versuche weggelassen, wenn aufgrund der Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen absehbar war, daß durch sie keine neuen Erkenntnisse zu erwarten waren.

2.2 Modelle

Zur Durchführung des beabsichtigten Versuchsprogramms wurden folgende Modellkörper angefertigt:

- ein Gebäudemodell mit den Abmessungen 0,6m x 0,3m x 0,6m aus Aluminium, das an den längeren Fassaden zu 1/3, 2/3 und vollständig geöffnet werden konnte (*Bilder 42 und 44*).
- ein gleich großes Ergänzungsmodell zu diesem Gebäudemodell. Aus diesen beiden Teilen konnte ein Modellkörper mit den Abmessungen 0,6m x 0,6m x 0,6m gebildet werden (*Bild 45*).
- ein Modell eines Gerüsts mit 0,6m Länge und 0,6m Höhe aus Messing. Dieses Modell war in sechs gleich große, quadratische Teilmodelle trennbar. Jedes dieser Teilmodelle konnte gesondert vermessen werden (*Bilder 2, 43 und 46*).
- drei weitere, ungeteilte Gerüste mit den Abmessungen 0,6m x 0,6m.
- mit den Gerüstmodellen verschraubbare Netzproben unterschiedlicher Durchlässigkeit zur Simulation der Bekleidungswerkstoffe (*Bild 38 - 41, Tabelle 1*).
- windundurchlässige Folienabschnitte zur Simulierung winddichter Planen.
- eine Dehnungsmeßstreifenwaage, mit der die Windkräfte in zwei zueinander senkrechten Richtungen (F_x und F_y) an einem Gerüstteilfeld gemessen werden konnten (*Bild 47*).

Bezeichnung	Werkstoff	Drahtdurchm. μ	offene Fläche %
Netz 1	grobes Messinggitter	560	67
Netz 2	mittleres Messinggitter	330	57
Netz 3	feines Messingsieb	130	45
Netz 4	Polyestergewebe	140	27
Netz 5	Polyestergewebe	150	22
Netz 6	Polyestergewebe	34	10

Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten Netzwerkstoffe

2.3 Meßgeräte

Die auf das Gerüstteilmodell einwirkende Windkräfte wurden über eine, in das Gebäudemodell eingebaute Dehnungsmeßstreifenwaage gemessen. Die Speisung der Waage und die Aufbereitung der Meßsignale erfolgte in einer Gleichspannungs-Meßbrücke. Das digitalisierte Spannungssignal wurde in einem PC weiterverarbeitet und gespeichert.

Die Dehnungsmeßstreifenwaage wurde vor und nach den Versuchen mit Hilfe geeichter Gewichte kalibriert.

Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit in der Meßstrecke des Windkanals stand ein Betz-Manometer zur Verfügung. An ihm wurde der Vorkammerdruck des Windkanals angezeigt. Die Strömungsgeschwindigkeit läßt sich aus der Differenz zwischen Vorkammerdruck und Druck in der offenen Meßstrecke berechnen.

2.3 Windkanal

Die Versuche wurden von der LGA Bayern im Unterschallwindkanal des Bereichs Strömungsmechanik an der TU Dresden durchgeführt. Dieser Windkanal ist vom Göttinger Typ. Er besitzt eine offene Meßstrecke bei einem Düsendurchmesser von 3 m und eine geschlossene Luftrückführung. Zwischen Düse und Auffangtrichter war eine Bodenplatte eingebaut. Das Modell konnte auf einer in die Bodenplatte eingelassenen Drehscheibe mit 2,2 m Durchmesser befestigt werden (*Bild 42*).

Die Luftströmung in der Meßstrecke ist turbulenzarm. Vorkehrungen zur Simulierung des bodennahen Windprofils wurden nicht getroffen. Dies wäre bei den hier durchgeführten systematischen Untersuchungen, die sich auf keine konkreten Naturabmessungen von Gebäuden bezogen, auch wenig sinnvoll gewesen.

Der Windkanal in Dresden entspricht in Größe und Aufbau der Versuchsanlage, in der in den Jahren 1979 und 1980 von der LGA Bayern die in [2] beschriebenen Versuche an unbedeckten Gerüsten durchgeführt wurden.

2.4 Versuchsprogramm

In den *Tabellen 2 und 3* sind alle untersuchten Parameterkombinationen zusammengestellt. Für jede dieser Konfigurationen wurde eine Meßreihe bei konstanter Anströmgeschwindigkeit für Anströmwinkel von $\beta = 0^\circ$ bis $\beta = 180^\circ$ in Winkelschritten von $\Delta\beta = 15^\circ$ gefahren.

Zusätzlich erfolgte für einige ausgewählte Konfigurationen eine Überprüfung des Einflusses der Reynoldszahl. Zu diesem Zweck wurde bei konstantem Anströmwinkel $\beta = 0^\circ$ die Anströmgeschwindigkeit zwischen $v = 0$ m/s und $v = 40$ m/s variiert.

Schließlich wurden die als Bekleidungswerkstoffe eingesetzten Netze analog zu den üblichen Untersuchungen an Netzproben vermessen.

Bei diesen Versuchen wurde die Windrichtung zwischen $\beta = 0^\circ$ und $\beta = 90^\circ$ in Winkelschritten von $\Delta\beta = 15^\circ$ variiert. Erfasst wurden die Windkräfte senkrecht und parallel zur Netzebene. Auch hier erfolgte über eine Geschwindigkeitsreihe die Überprüfung des Reynoldszahleneinflusses.

Gebäude 600 x 300

Netzart	Gerüstlänge		Gebäudeversperrung				Bemerkung
	600	200	0	1/3	2/3	1	
ohne N.	X		X			X	Feld 1 - 6
ohne N.		X			X	X	Feld 5
Netz 1	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 1	X				X	X	Feld 2
Netz 1		X			X	X	Feld 5
Netz 1		X	X				Re-Zahl
Netz 2	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 2	X				X	X	Feld 2
Netz 2		X			X	X	Feld 5
Netz 3	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 3	X				X	X	Feld 2
Netz 3		X			X	X	Feld 5
Netz 3		X	X				Re-Zahl
Netz 4	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 5	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 6	X		X	X	X	X	Feld 5

Tabelle 2: Zusammenstellung der untersuchten Konfigurationen

Fortsetzung

Gebäude 600 x 300

Netzart	Gerüstlänge		Gebäudeversperrung				Bemerkung
	600	200	0	1/3	2/3	1	
Folie	X		X	X	X	X	Feld 5
Folie	X				X	X	Feld 2
Folie		X			X	X	Feld 5

Gebäude 600 x 600 Gerüst allseitig

Netzart	Gerüstlänge		Gebäudeversperrung				Bemerkung
	600	200	0	1/3	2/3	1	
Netz 4	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 5	X		X	X	X	X	Feld 2
Netz 5	X		X	X	X	X	Feld 5
Netz 6	X		X	X	X	X	Feld 5

Tabelle 3: Zusammenstellung der untersuchten Konfigurationen

3 Versuchsergebnisse

3.1 Übersicht

Die nachfolgend angegebenen Kraftbeiwerte sind wie folgt definiert:

$$c_{f,x} = \frac{F_x}{A}$$

$$c_{f,y} = \frac{F_y}{A}$$

In den *Bildern 3 und 4* ist der Einfluß der Reynoldszahl auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte dargestellt. Für einige ausgewählte Parameterkombinationen zeigen die *Bilder 5 bis 18* den Verlauf der Kraftbeiwerte $c_{f,x}$ und $c_{f,y}$ in Abhängigkeit von der Anströmrichtung.

Für die weiteren Auftragungen wurden jeweils die bei $\beta = 0^\circ$ gemessenen Werte von $c_{f,x}$ und der Maximalwert von $c_{f,y}$ (der in der Regel Schräganströmung zwischen $\beta = 45^\circ$ und $\beta = 75^\circ$ auftritt) ausgewählt. Diese Werte wurden über der Gebäudeversperrung aufgetragen. Geb.Versperrung = 1 stellt das geschlossene, Geb.Versperrung = 0 das vollkommen offene Gebäude dar.

Die als Bekleidungsstoffe verwendeten Werkstoffe wurden mit Netz 1 bis 6 bezeichnet. Die wesentlichen Daten sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

In den *Bildern 19 bis 24* sind die $c_{f,x}$ -Werte für Luv- und Leeseite, sowie der $c_{f,y}$ -Wert für ein in Gerüstmitte liegendes Feld (Feld 5) aufgetragen. Das Gerüst bedeckt dabei die ganze Fassade. Die Stirnseite des Gerüsts war entweder offen oder geschlossen. Für ein am Rand gelegenes Gerüstfeld (Feld 2) sind die Ergebnisse analog in den *Bildern 25 bis 30* dargestellt. Die *Bilder 31 bis 33* enthalten schließlich die Ergebnisse für

ein schmales Gerüst, welches nur 1/3 der Fassadenlänge bedeckt. Es war bei den Versuchen in Fassadenmitte angeordnet. Die in den *Bildern 34 bis 37* angegebenen Ergebnisse gelten für ein allseitig eingerüstetes Gebäude.

Nachfolgend wird der Einfluß der einzelnen Parameter auf die Größe der aerodynamischen Kraftbeiwerte diskutiert.

3.2 Anströmrichtung

Der Kraftbeiwert für die Kraft senkrecht zur Netzfläche $c_{f,x}$ erreicht sein Maximum in der Regel bei senkrechter Anströmung. In einigen Fällen tritt das Maximum auch bei einer Anströmung unter $\beta = 15^\circ$ auf. Die Unterschiede zwischen dem Wert bei $\beta = 0^\circ$ oder $\beta = 15^\circ$ sind jedoch gering. Für die weiteren Auftragungen wurde deshalb immer der bei $\beta = 0^\circ$ gemessene Wert verwendet. Zwischen $\beta = 0^\circ$ und $\beta = 90^\circ$ fällt der $c_{f,x}$ -Wert etwa nach einer \cos -Funktion ab. Der Verlauf bei $\beta > 90^\circ$ hängt stark von der Durchlässigkeit des Gebäudes ab. Bei winddurchlässigen Gebäuden erreicht der $c_{f,x}$ -Wert bei $\beta = 180^\circ$ ein Minimum.

Für die weiteren Auftragungen wird das Vorzeichen der Beiwerte vernachlässigt und nur der Absolutwert angegeben.

Es gilt folgende Vereinbarung:

$c_{f,x}$ -Werte an der Luvseite gehören zu Windkräften, die in Richtung der Gebäudefassade wirken, das Gerüst also an die Wand andrücken. $c_{f,x}$ -Werte an der Leeseite stehen für Windkräfte die von der Fassade weg wirken, das Gerüst also von der Fassade wegzuziehen versuchen.

Für die Windkraft in Richtung der Netzebene liegt das Maximum nicht etwa bei $\beta = 90^\circ$ sondern bereits bei $\beta = 45^\circ$ bis $\beta = 75^\circ$. Wegen der Verwendung der selben Bezugsfläche A wie bei der Bildung der $c_{f,x}$ -Werte liegt das zahlenmäßige Maximum dieser Werte niedriger als bei den $c_{f,x}$ -Werten.

Für die Gebäudeleeseite sind die Windkräfte parallel zur Fassade erwartungsgemäß sehr gering. Für die Bemessung der Gerüstverankerung

hinsichtlich der Scherkräfte sind die für die Gebäudeluvseite ermittelten $c_{f,y}$ -Werte maßgebend.

3.3 Gebäudedurchlässigkeit

Für Netze mit einer Durchlässigkeit von mehr als 20 % läßt sich der Verlauf der $c_{f,x}$ -Werte sowohl für die Luvseite als auch für die Leeseite gut durch eine Gerade annähern. Dabei entspricht die zahlenmäßige Größe der Beiwerte an der Leeseite etwa der an der Luvseite (nur das Vorzeichen kehrt sich um). Darüberhinaus ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Werte für das vollständig durchlässige Gebäude mit den an Einzelproben ermittelten Werten.

Für das winddichte Gebäude treffen die Werte annähernd in einem Punkt zusammen. Der $c_{f,x}$ -Wert für die Leeseite liegt beim winddichten Gebäude ($\phi_G = 1$) sehr nahe bei 0. An dem entsprechenden Wert für die Gebäudeluvseite läßt sich ein geringer Einfluß der Position des vermessenen Gerüstteilfeldes ablesen. Die $c_{f,x}$ -Werte liegen aber alle im Bereich von $0 < c_{f,x} < 0,1$.

Die Ergebnisse für Netze geringer Durchlässigkeit und für winddichte Folie weichen davon deutlich ab. Diese Abweichungen betreffen im wesentlichen die Beiwerte für die Luvseite. Wie aus den *Bildern 19 und 25* für das Gerüst ohne Stirnseitenbekleidung ersichtlich ist, bleibt der $c_{f,x}$ -Wert an der Luvseite unabhängig vom Grad der Öffnung des dahinterliegenden Gebäudes nahezu konstant. Bei Gerüsten mit Stirnseitenbekleidung (*Bilder 22 und 28*) ergibt sich zwar ein Absinken des Wertes für geschlossene Gebäude, jedoch nicht auf die niedrigen Werte für stark durchlässige Netze.

Dies ist folgendermaßen zu erklären. Während bei den stark durchlässigen Netzgeweben großflächig ein Druckausgleich stattfinden kann, ist dies bei den winddichten Planen nur an den Stoßstellen der Bahnen möglich. Bei durchlässigen Netzen wird die Größe der Windkraft im wesentlichen vom Durchströmungswiderstand bestimmt. Bei größeren Gebäudeöffnungen hinter dem Bekleidungsmaterial werden größere Luftmengen transportiert; entsprechend wächst die auf das Netzgewebe ausgeübte Kraft. Bei den winddichten Planen sind die vorhandenen Öffnungen für einen wesentlichen Luftmassentransport zu klein. Ein Druckausgleich kann nur in geringem

Maße stattfinden. Die auf die winddichte Folie ausgeübte Windkraft wird im wesentlichen von den Druckverhältnissen bestimmt. An der Vorderseite verhalten sich die Drücke ähnlich wie bei einem geschlossenen Gebäude. Der Druck im Raum hinter der Bekleidung bis zur Gebäudefassade kann analog dem Innendruck in teilweise geöffneten Gebäuden behandelt werden.

Nach [9] ist für diesen Druck das Verhältnis der Summe der Öffnungen an der Druckseite zu der Summe der Öffnungen an den Sogseiten maßgebend. Die Druckseite ist hier die angeströmte Vorderseite der Gerüstbekleidung. An dieser Seite sind Öffnungen nur an den Planenstößen vorhanden. Der Raum hinter der Bekleidung ist je nach Gebäudedurchlässigkeit zur Gebäudeleeseite hin, aber auch an der Gerüstoberseite und (wahlweise) an den Gerüstseitenteilen offen. Gerade an der Gebäudekante sind jedoch besonders hohe Sogkräfte zu erwarten [8]. Dies erklärt die wesentlichen Unterschiede, die beim geschlossenen Gebäude für Gerüste mit oder ohne Seitenbekleidung gemessen wurden.

Der $c_{f,x}$ -Wert für die Leeseite entspricht in seinem Verlauf den Erwartungen. Der Winddruck auf die Innenseite des Bekleidungsmaterials sinkt mit zunehmender Gebäudedichtigkeit. Bei geschlossener Gebäudefassade befindet sich das Gerüst in einem Bereich mit gleichmäßig hohen Sogkräften. Am Bekleidungsmaterial werden nunmehr geringe Differenzen in diesen Sogkräften wirksam.

Der Verlauf des Beiwertes $c_{f,x}$ über der Gebäudeversperrung kann jedoch nicht mehr durch eine Gerade angenähert werden.

3.4 Bekleidung der Gerüstseiten

Auf den Kraftbeiwert senkrecht zur Gerüstansichtsfläche hat eine Bekleidung der Gerüststirnseiten nur bei Verwendung wenig durchlässiger oder winddichter Materialien einen wesentlichen Einfluß. Bei stärker durchlässigen Netzen sind die Wirkungen gering.

Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluß der Stirnseitenbekleidung bei den $c_{f,y}$ -Werten. Die parallel zur Gerüstfläche wirkende Windkraft kann man

sich aus drei Komponenten zusammengesetzt vorstellen. Komponente 1 ist die an der Stirnseitenbekleidung wirksam werdende Kraft senkrecht zum Netzgewebe, Komponente 2 der in der Netzebene wirksam werdende Durchströmungswiderstand und Komponente 3 kann als "Reibungswiderstand" beim Überstreichen der Netzebene verstanden werden. Durch den Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Konfigurationen läßt sich feststellen, daß die Windkraft senkrecht zur Netzebene der Stirnseitenbekleidung die maßgebende Komponente darstellt.

3.5 Gerüst an allen Gebäudeseiten

Bei teilweise offenen Gebäuden, die allseitig eingerüstet sind, beeinflussen sich die Gerüste an Gebäudeluv- und -leeseite gegenseitig.

Bei den $c_{f,x}$ -Werten des mit durchlässigen Netzen bekleideten, luvseitigen Gerüsts ist eine Abnahme der Beiwerte um etwa 20 % feststellbar. Für weniger durchlässiges Material ist der Einfluß dagegen gering (*Bilder 23 und 34*).

Am stärksten werden die $c_{f,x}$ -Werte für das leeseitige Gerüst reduziert. Infolge der abschirmenden Wirkung der luvseitig angebrachten Netze sinken die Beiwerte auf 1/3 der Werte für ein entsprechend bekleidetes, einseitig angebrachtes Gerüst (*Bilder 24 und 35*).

Für die Windkraft parallel zur Gerüstebene ist ebenfalls eine Verminderung feststellbar (*Bild 36*). Die Aussagen gelten auch für den Gerüstrandbereich (*Bild 37*).

3.5 Zusammenfassende Bewertung der Versuchsergebnisse

Die auf das Bekleidungsmaterial von Gerüsten ausgeübte Windkraft ist im wesentlichen von den Parametern Luftdurchlässigkeit des Netzgewebes und Durchlässigkeit des Gebäudes abhängig. Für Gebäude mit geschlossener Fassade sind die Windkräfte senkrecht zur Fassade auf das mit luftdurchlässigen Netzen bekleidete Gerüst gering. Mit wachsender

Durchlässigkeit des Gebäudes wachsen die aerodynamischen Kraftbeiwerte etwa linear an. Dabei entsprechen die bei einer Durchlässigkeit von 100 % ermittelten Kraftbeiwerte für die Kraft senkrecht zur Netzebene etwa jenen, die an einzelnen Netzproben ermittelt werden.

Bekleidungen aus weitgehend winddichtem Material verhalten sich grundsätzlich anders als winddurchlässige Bekleidungen. Für diese Werkstoffe treten auch bei geschlossener Gebäudefassade erhebliche Windkräfte auf.

Bei der Bewertung der Windkräfte parallel zur Gebäudefassade spielt es eine wesentlichen Rolle, ob das Gerüst an der Stirnseite bekleidet ist. Die Windkraft auf die Stirnseitenbekleidung entspricht der Windkraft senkrecht zur Netzebene. Neben dieser Windkraft werden in der Netzebene parallel zur Fassade Kräfte wirksam, die sich aus dem bei der Durchströmung ergebenden Kraftanteil parallel zur Netzebene und aus reinen Reibungskräften zusammensetzen.

Im Rahmen dieser Arbeit noch nicht systematisch untersuchte Einflußgrößen, wie z.B. die mechanische Vorspannung des Bekleidungsmaterials scheinen aufgrund des Ergebnisses von Vorversuchen demgegenüber von geringerer Bedeutung zu sein. Auch ein Losreißen einzelner Bekleidungsbahnen bzw. ein Flattern solcher losgerissenen Bahnen im Wind dürfte insgesamt geringere Windkräfte verursachen.

4 Vorschlag zur Anwendung des Ergebnisses

Aus den Versuchsergebnis läßt sich für netzartige Bekleidungswerkstoffe mit einer Luftdurchlässigkeit ab etwa 20 % für den aerodynamischen Kraftbeiwert senkrecht zur Ebene des Bekleidungsmaterials ein Lagebeiwert c_l wie folgt definieren:

$$c_l = 1,1 - 1,05 \cdot \phi_G$$

Dieser Zusammenhang gilt sowohl für die Windkräfte an der Luvseite (zum Gebäude hin wirkend) wie auch für die Windkräfte an der Leeseite (vom

Gebäude weg wirkend). Der aerodynamisch Kraftbeiwert $c_{f,\perp}$ für das Bekleidungsmaterial ließe sich, wie bisher, aus einem Einzelversuch an einer Netzprobe oder, unter Inkaufnahme größerer Unsicherheiten, aus den Zusammenhängen nach *Bild 1* ermitteln. Bezugsfläche für die Kraft senkrecht zum Netzgewebe ist die Umrißfläche des bekleideten Gerüsts (bei Projektion in Windrichtung).

Bei Gerüstbekleidungen mit geringerer Durchlässigkeit oder mit winddichten Planen sollte der Lagebeiwert zu $c_l = 1,0$ und der aerodynamische Kraftbeiwert zu $c_{f,x} = 1,3$ angesetzt werden.

Für Gerüste, bei denen auch die Gerüststirnseiten bekleidet sind, ist die Windkraft parallel zur Gebädefassade aus zwei Komponenten zusammenzusetzen. Komponente 1 ist analog zur Windkraft senkrecht zur Fassade aus dem aerodynamischen Kraftbeiwert $c_{f,x}$ und der Ansichtsfläche der Stirnseite zu berechnen. Der Lagefaktor c_l ist dabei immer 1. Die 2. Komponente ergibt sich aus dem aerodynamischen Kraftbeiwert für die Windkräfte parallel zur Netzfläche multipliziert mit der überströmten Gerüstfläche. Der Einfluß der Gebäudeöffnung kann auch hier durch einen Lagefaktor

$$c_l = 1,0 - 0,7 \cdot \phi_G$$

berücksichtigt werden.

Als Beiwert kann vereinfachend ein Wert von $c_{f,\parallel} = 0,3$ für alle netzartigen Bekleidungswerkstoffe bzw. $c_{f,\parallel} = 0,1$ für Planen angesetzt werden.

Alternativ besteht die Möglichkeit den Beiwert $c_{f,\parallel}$ bei Netzen und Geflechtes durch Versuche an einer Netzprobe ermitteln zu lassen.

Diese Aussagen gelten für Gerüste, die nur an einer Gebäudeseite angebracht sind. Eine allseitige Einrüstung des Gebäudes verbessert die Verhältnisse besonders für das leeseitige Gerüst wesentlich. Eine entsprechende Reduzierung der Beiwerte sollte jedoch u. E. nur dann vorgenommen werden, wenn sichergestellt ist, daß die abschirmende Wirkung während der gesamten Nutzungsdauer erhalten bleibt.

5 Literaturverzeichnis

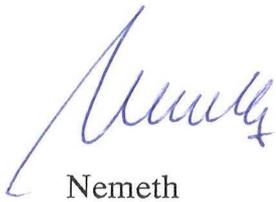
- [1] DIN 4420 T 1 *Arbeits und Schutzgerüste; Allgemeine Regelungen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen*
Beuth Verlag, Berlin (1990)
- [2] Schnabel, P. *Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben
Ermittlung von aerodynamischen Formbeiwerten
für Fassadengerüste*
Bericht A 1/79; LGA Bayern, München (1981)
- [3] Schnabel, P. *Strömungstechnische Untersuchungen zur Ermittlung der aerodynamischen Kraftbeiwerte und der Luftdurchlässigkeit für Netzgewebe*
[4]
(verschiedene Untersuchungen) LGA Bayern
- [5] DIN 53887 *Prüfung von Textilien; Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von textilen Flächengebilden*
Beuth Verlag, Berlin (1986)
- [6] Hollis, E. J. *Debris Netting Projekt
A Progress Report to September 1991*
Health and Safety Executive, Research and Laboratory Services Division, Harpur Hill (1991)
- [7] Gylltoft, K. *Wind Loads on Sheeted Scaffolds
A Field Study*
Swedish National Testing Institute, Technical Report 1986:27, Borås (1986)
- [8] DIN 1055 T 4 *Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten; Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken*
Beuth Verlag, Berlin (1986)
- [9] DIN 1055 T 40 *Lastannahmen für Bauten;
Windwirkungen auf Bauwerke*
Manuskript einer geplanten Vornorm (Juli 1990)

München, den 03. Januar 1994

A 18/91

Schn/Ad

Landesgewerbeamt Bayern
Zweigstelle München



Nemeth
Baudirektor



Der Bearbeiter:



Dipl.-Ing. Schnabel
Bauberrat

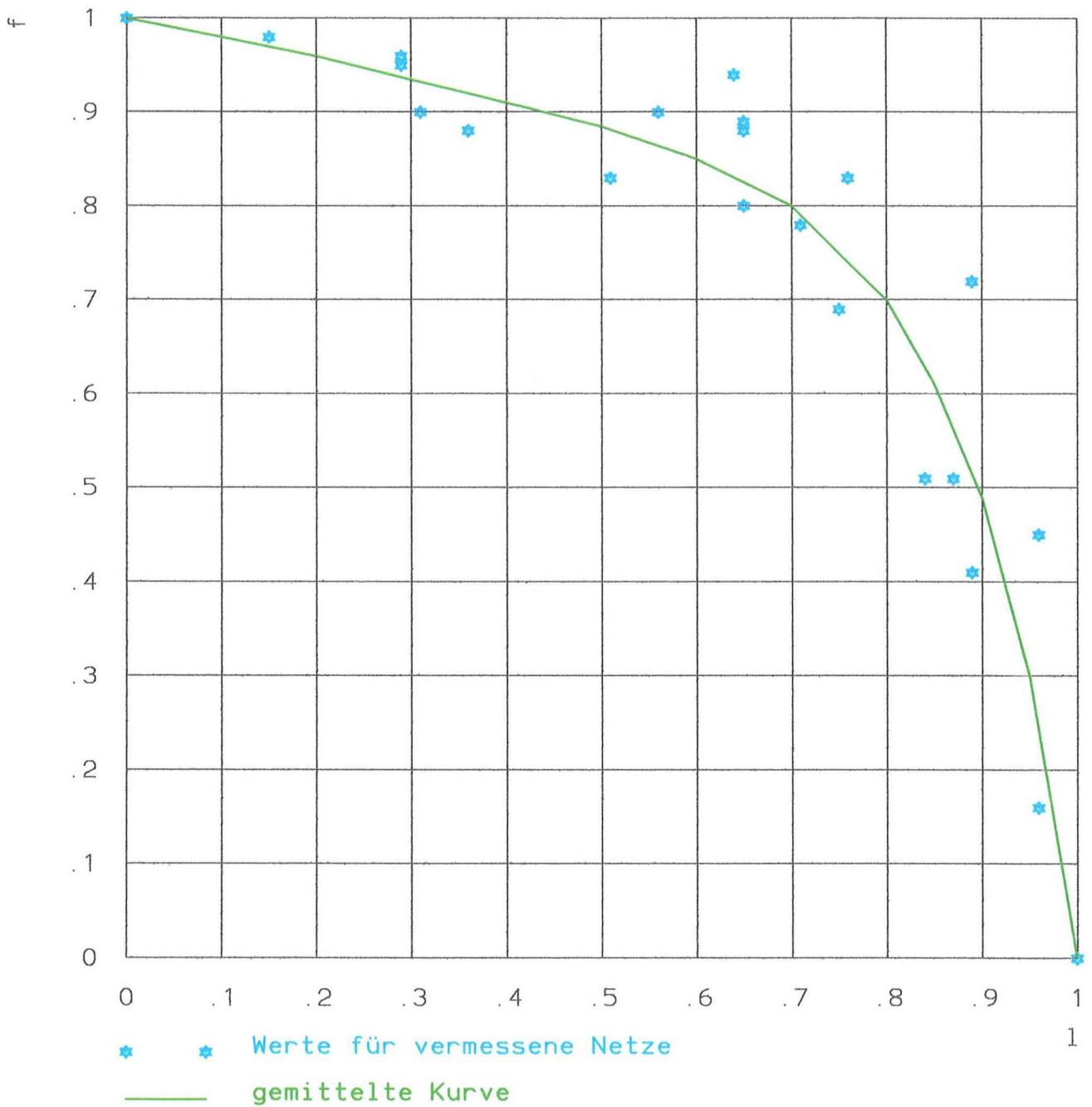
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben
Strömungstechnische Modellversuche
zur Ermittlung der Windlasten auf
bekleidete Fassadengerüste

Teil 2: Abbildungen

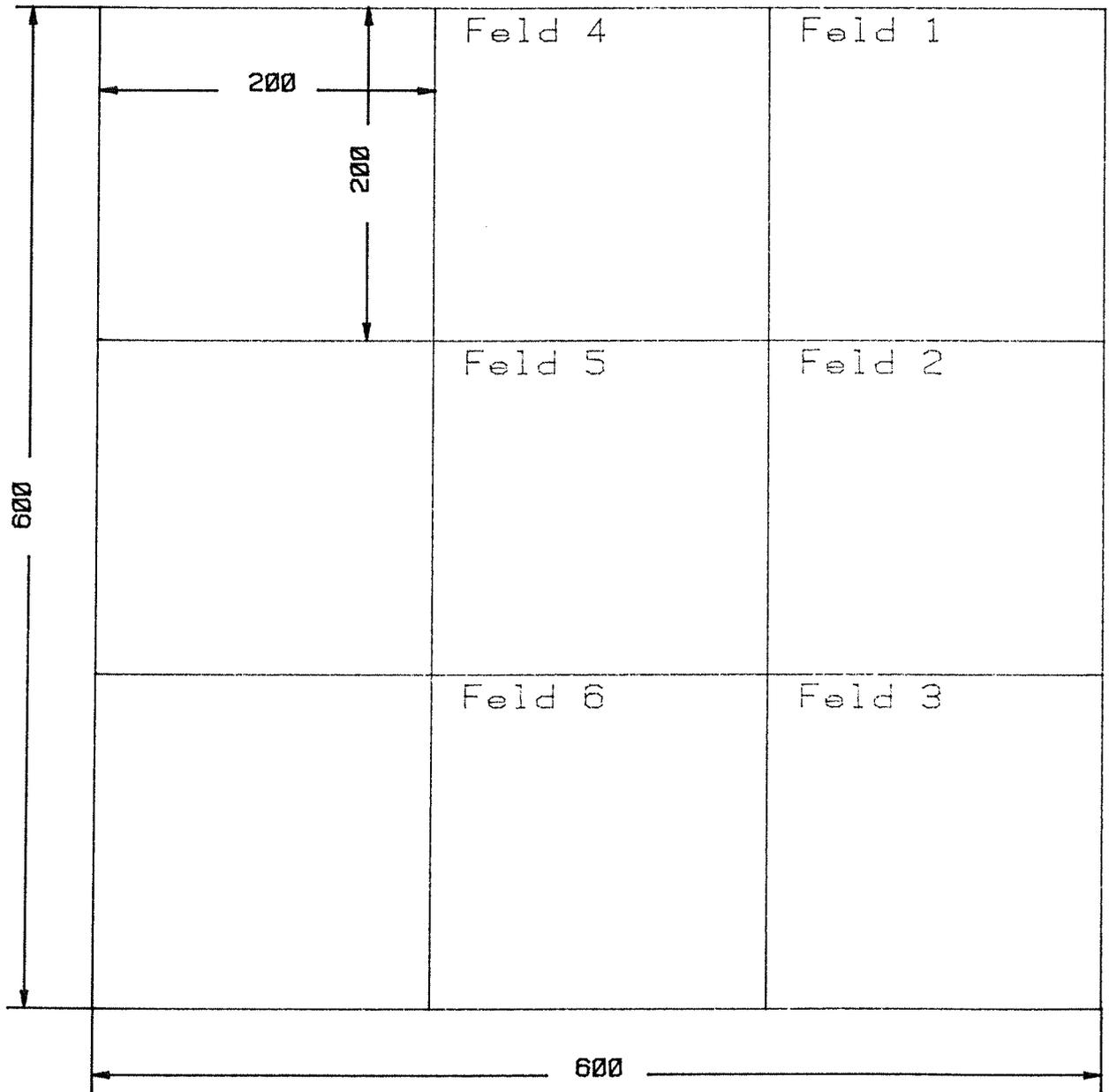
Auftraggeber: Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 74 - 76
10785 Berlin

Az.: IV 1 - 5 - 659/91
Bericht A 18/91

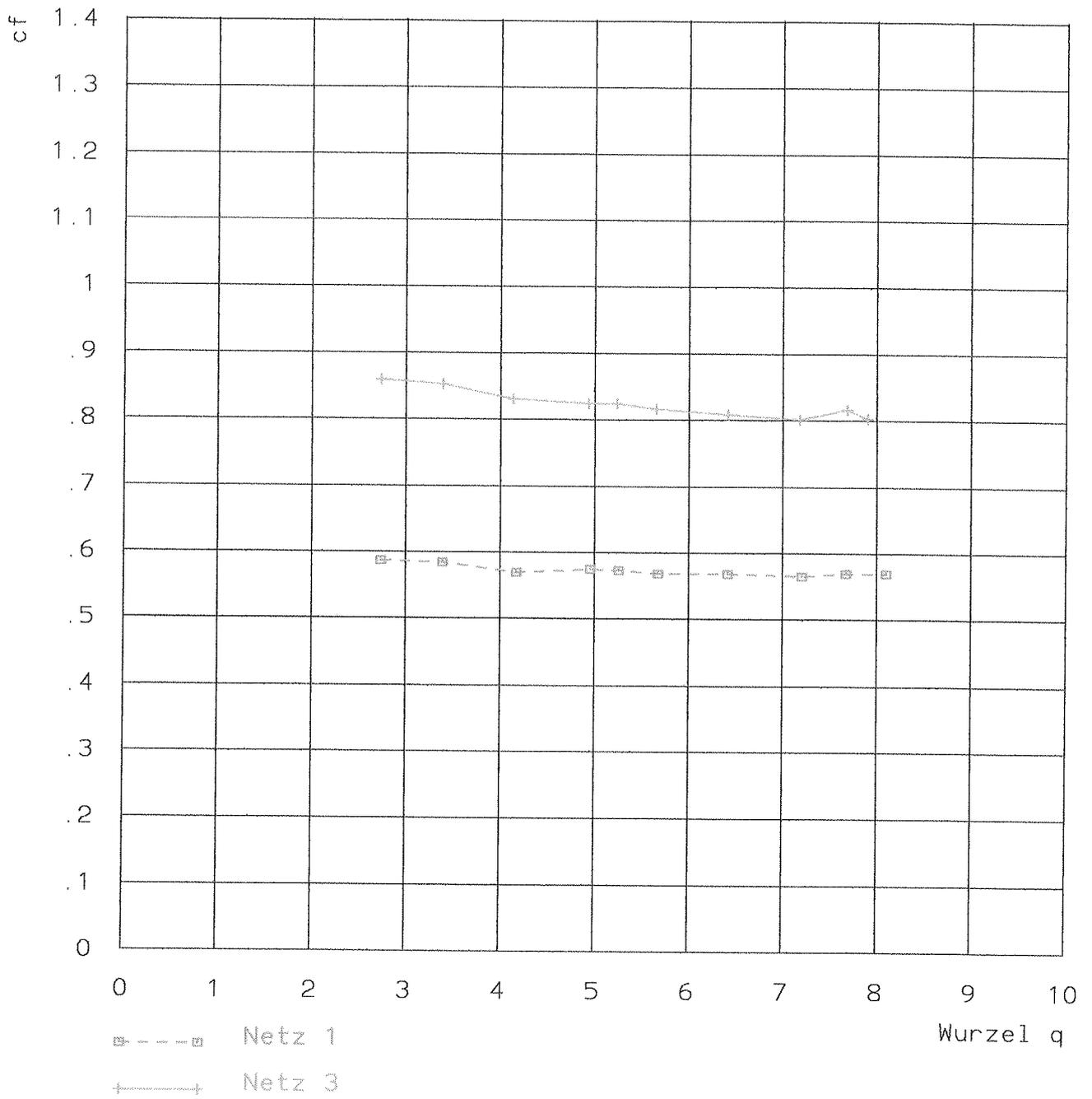
Der Bericht besteht aus zwei Teilen.
Umfang dieses 2. Berichtsteils: Bilder 1 - 47

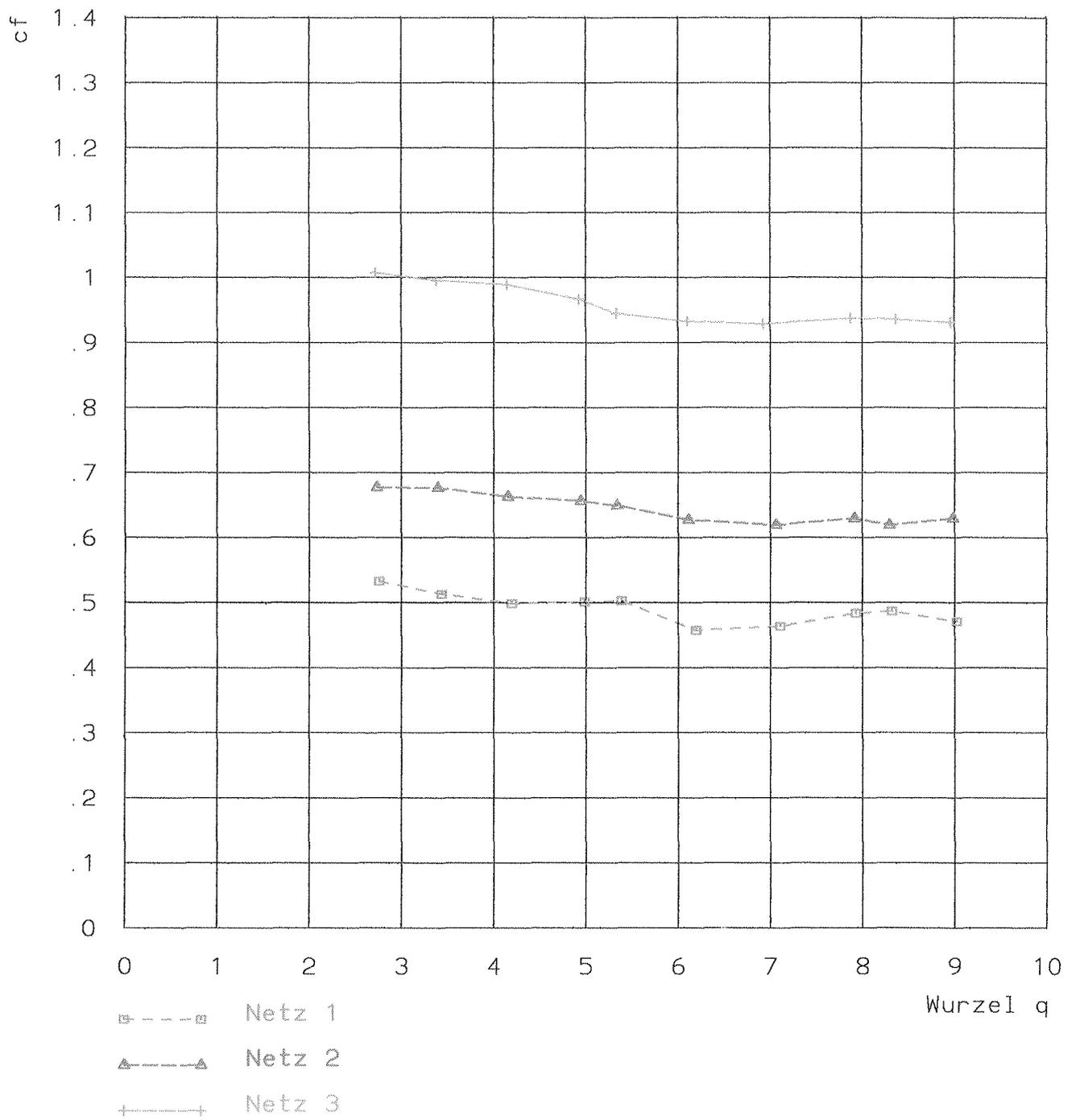


ZUSAMMENHANG ZWISCHEN WINDLASTKENNZIFFER UND LUFTDURCHLÄSSIGKEITSKENNZIFFER BILD 1



Abmessungen in mm

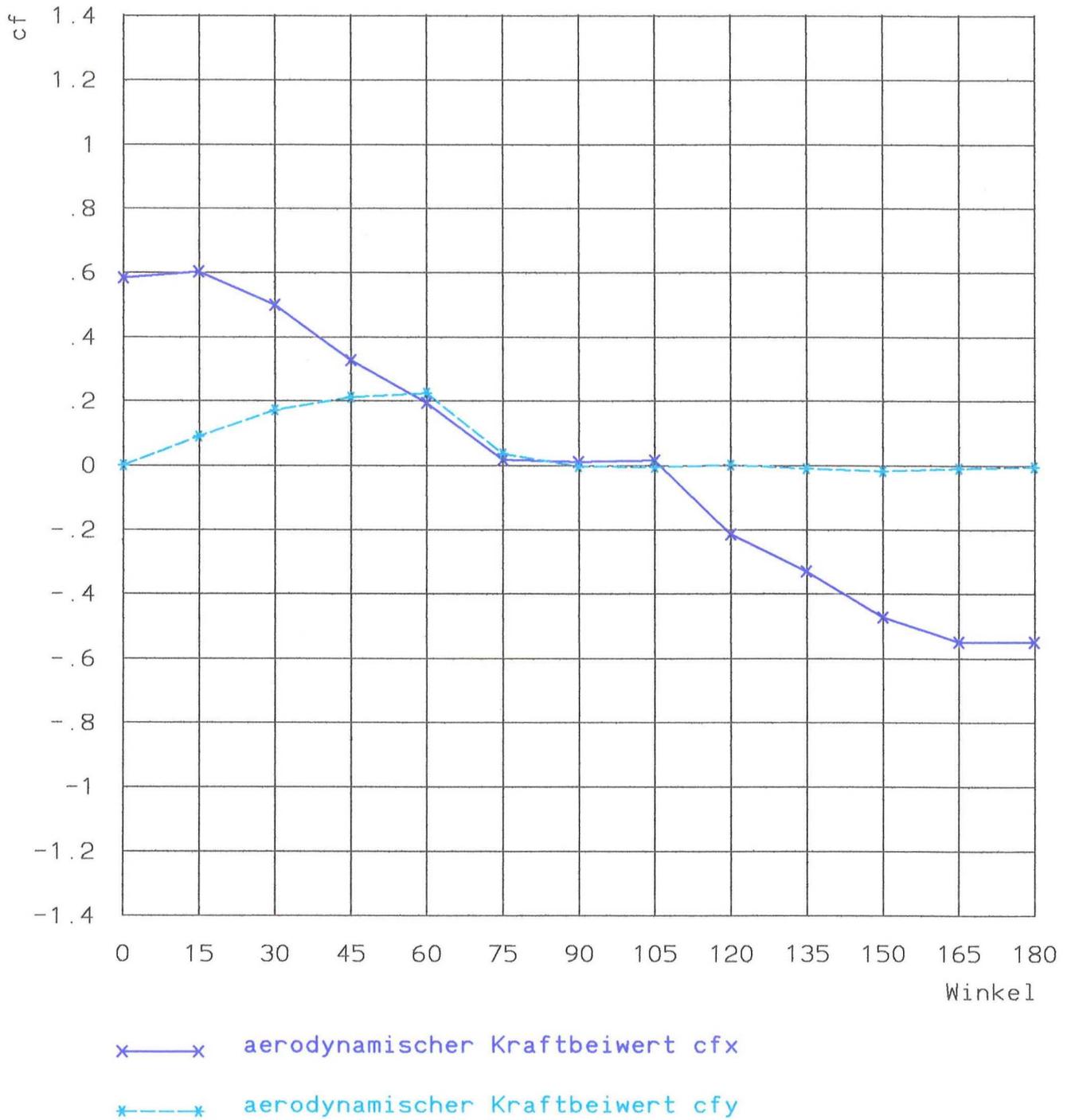




Gebäude 600 x 200, offen

Netz 1 Stirnseite geschlossen

Feld 5



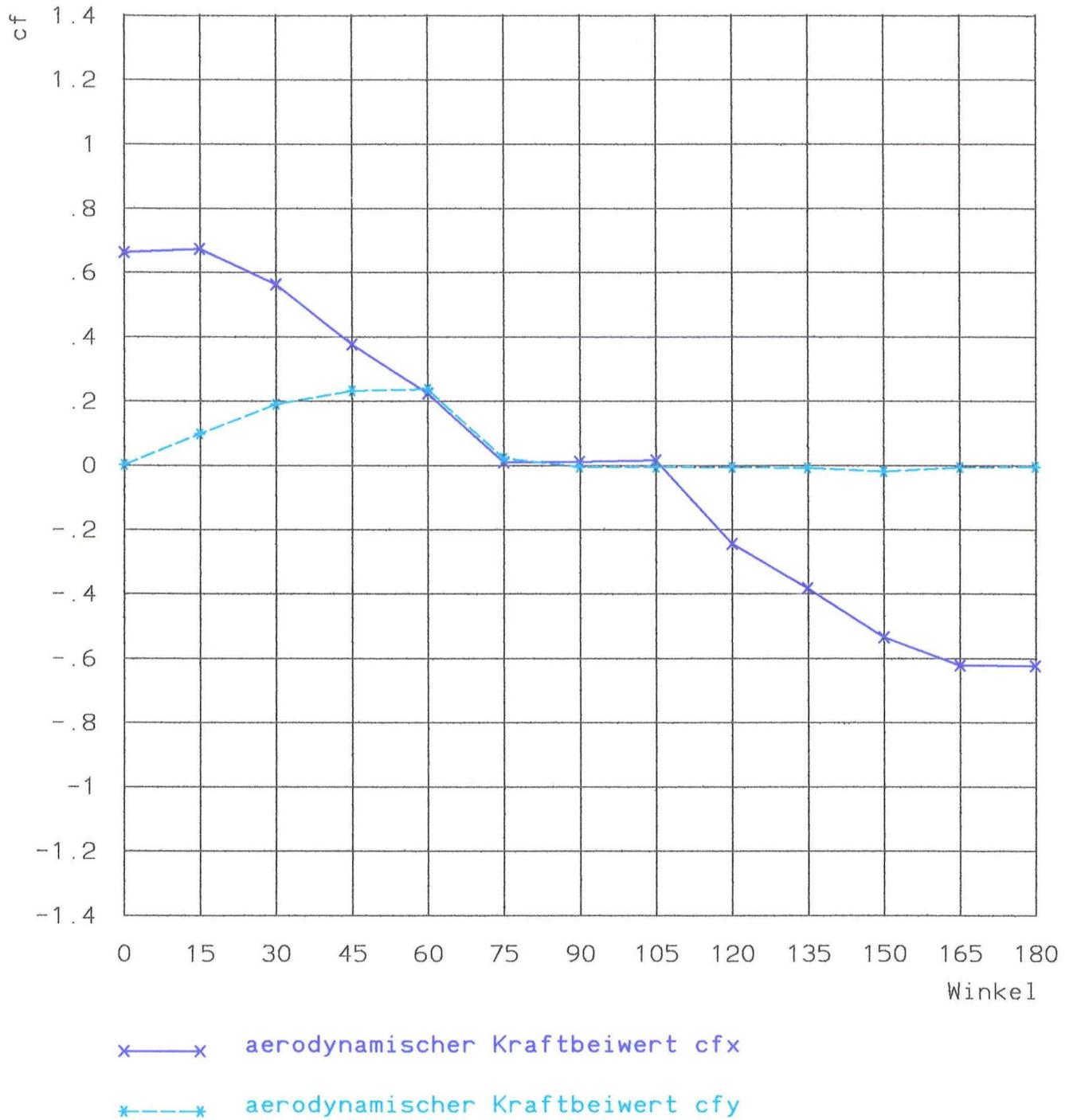
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE

BILD 5

Gebäude 600 x 200, offen

Netz 2 Stirnseite geschlossen

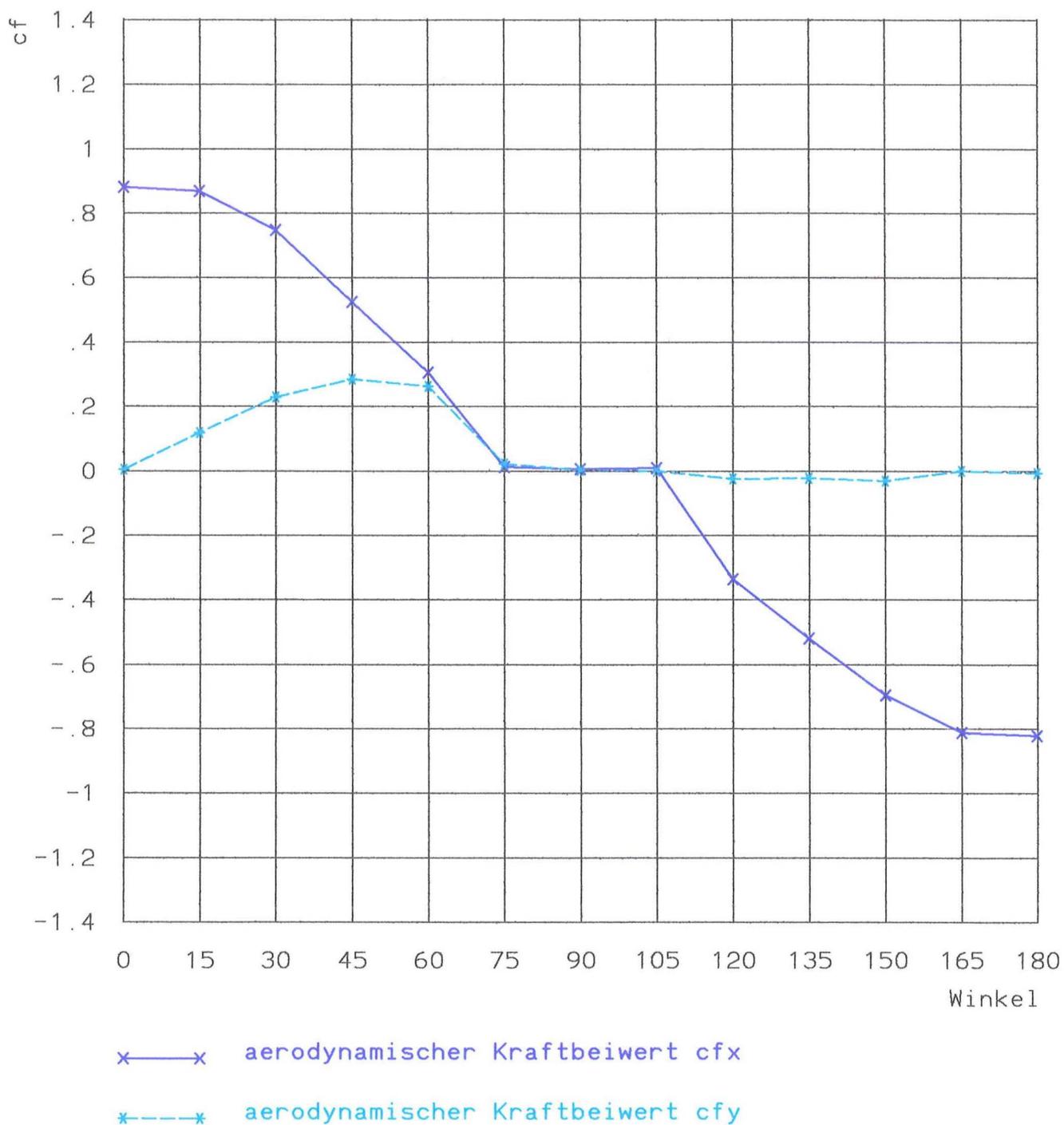
Feld 5



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE

BILD 6

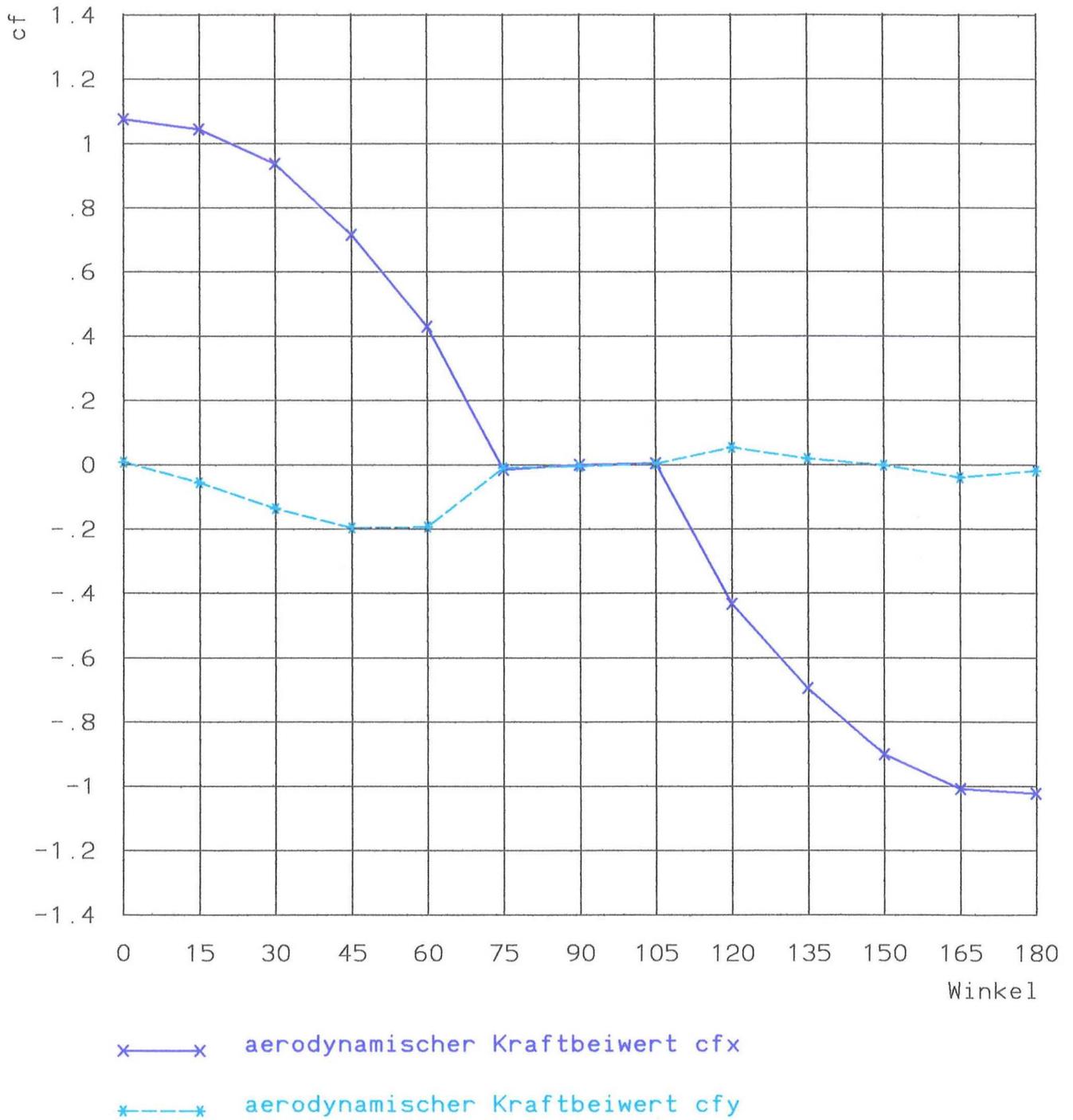
Gebäude 600 x 200, offen
Netz 3 Stirnseite geschlossen
Feld 5



Gebäude 600 x 200, offen

Netz 4 Stirnseite geschlossen

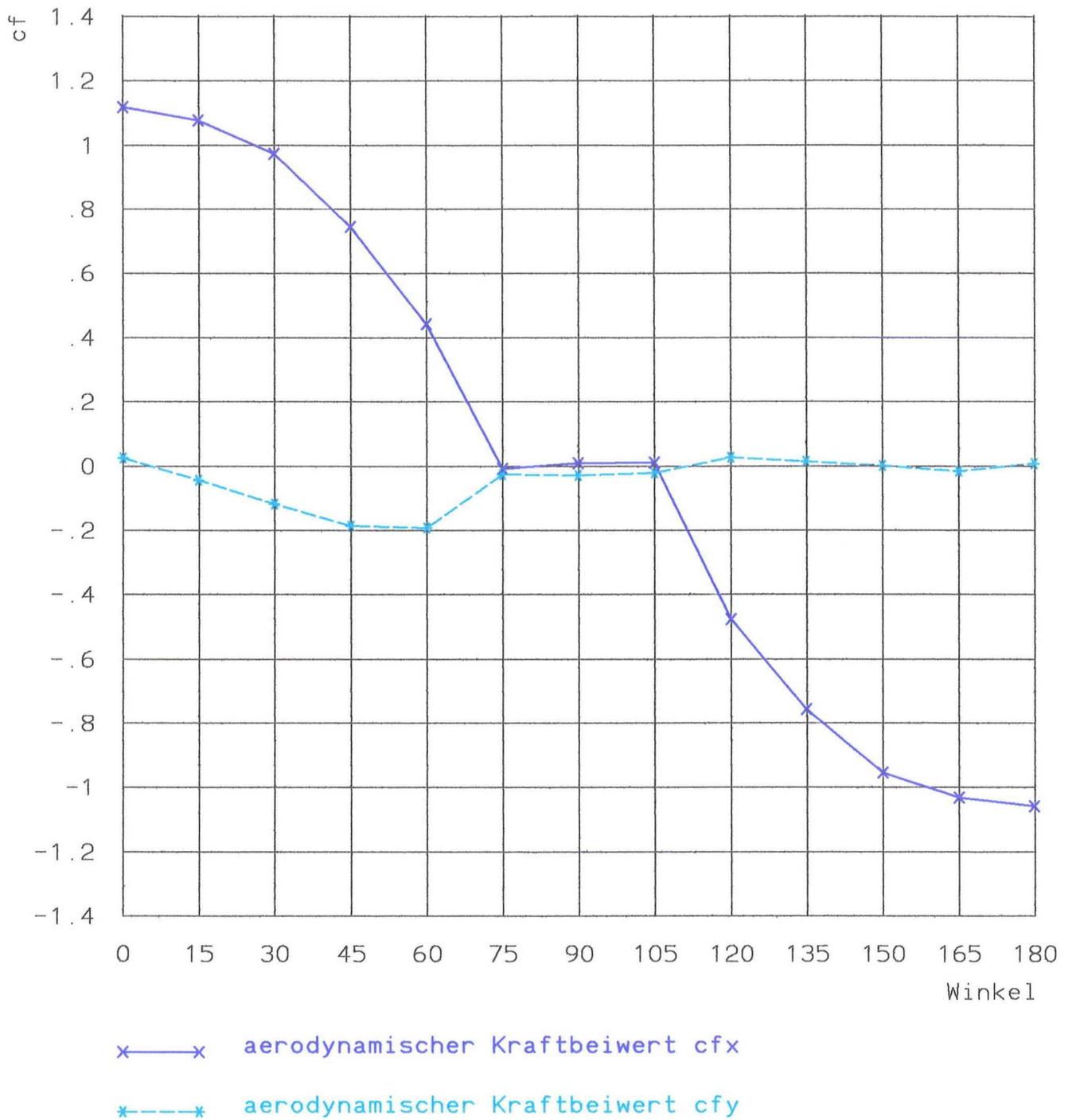
Feld 5



Gebäude 600 x 200, offen

Netz 5 Stirnseite geschlossen

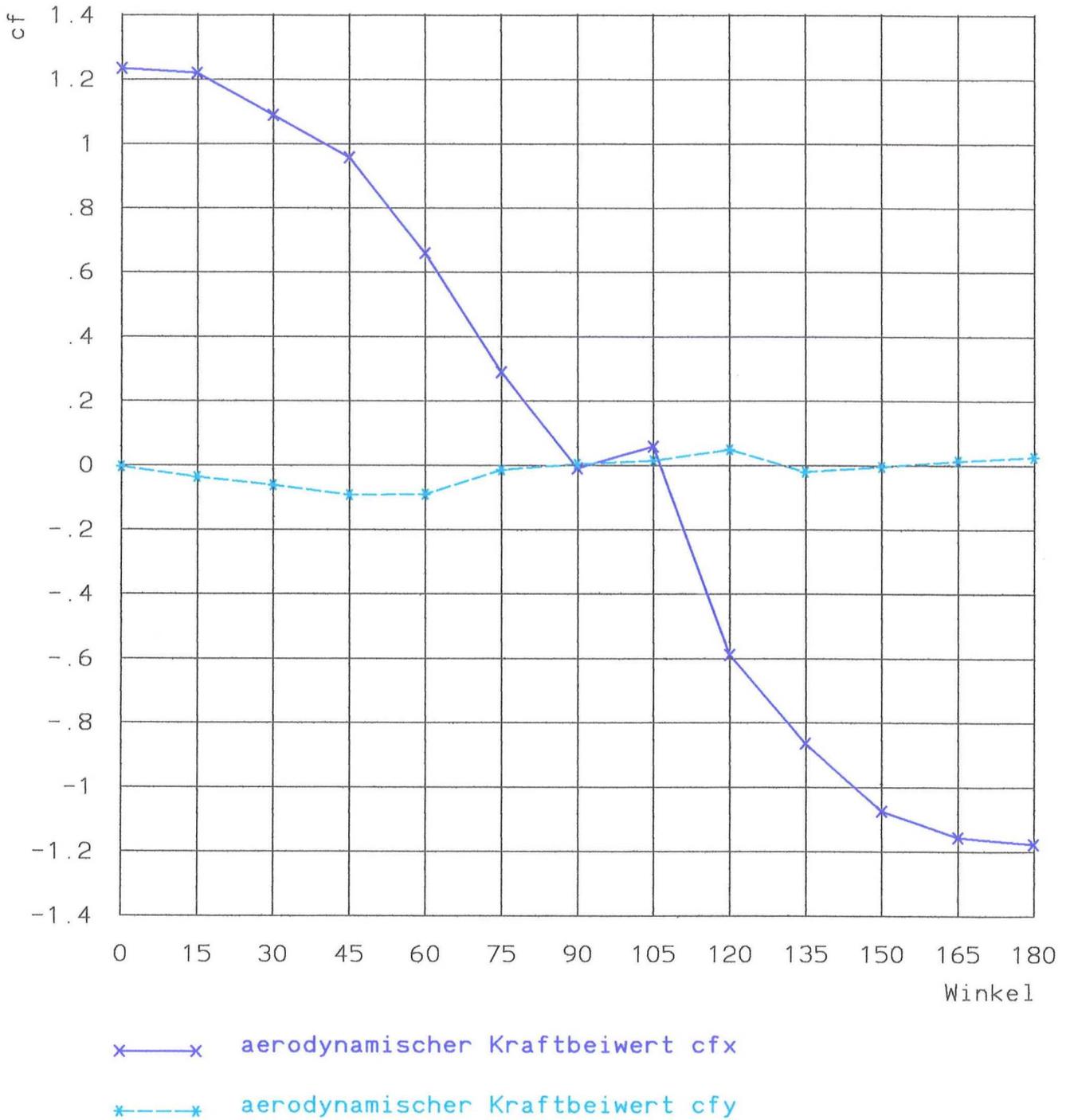
Feld 5



Gebäude 600 x 200, offen

Netz 6 Stirnseite geschlossen

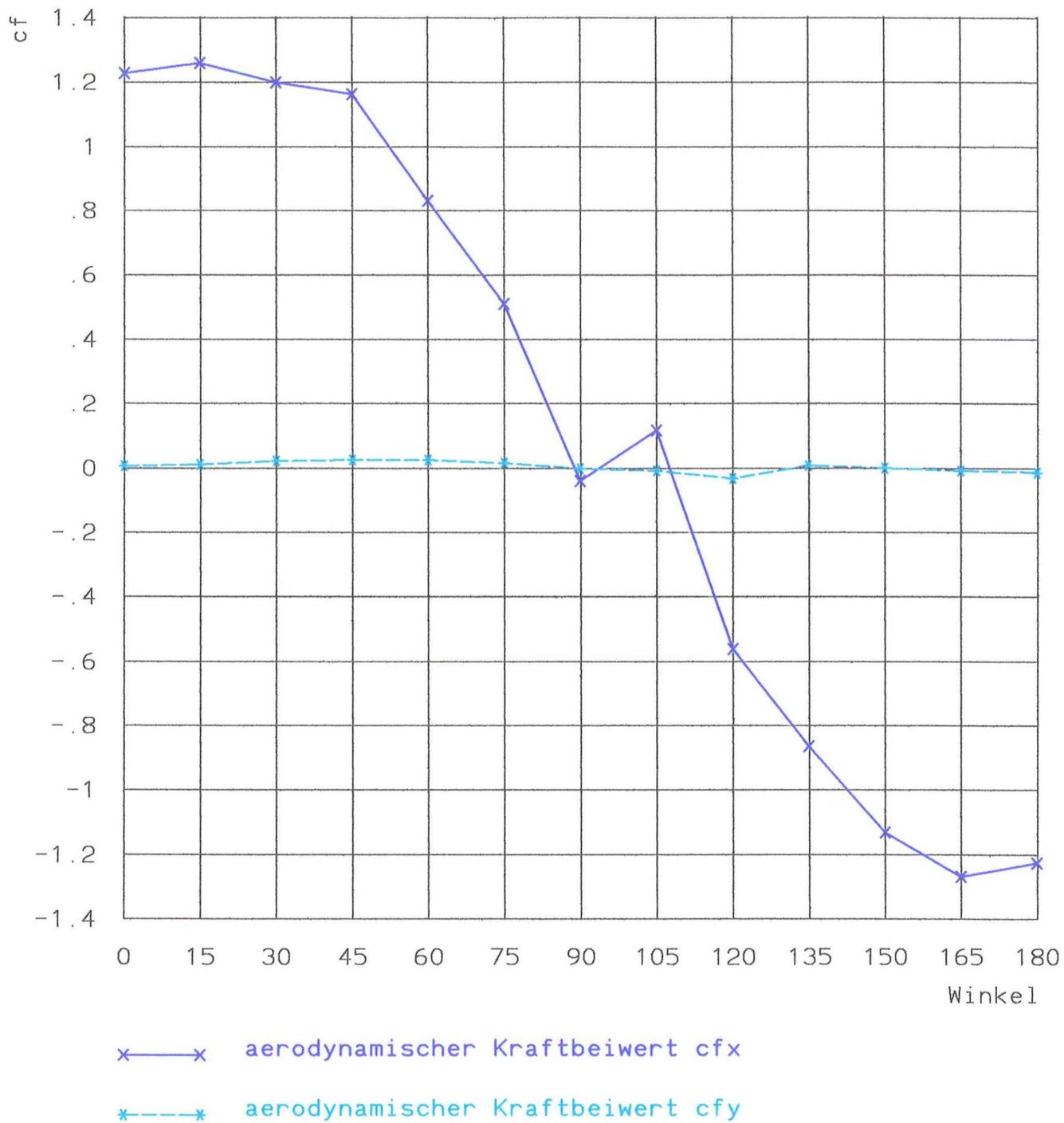
Feld 5



Gebäude 600 x 200, offen

Netz Folie Stirnseite geschlossen

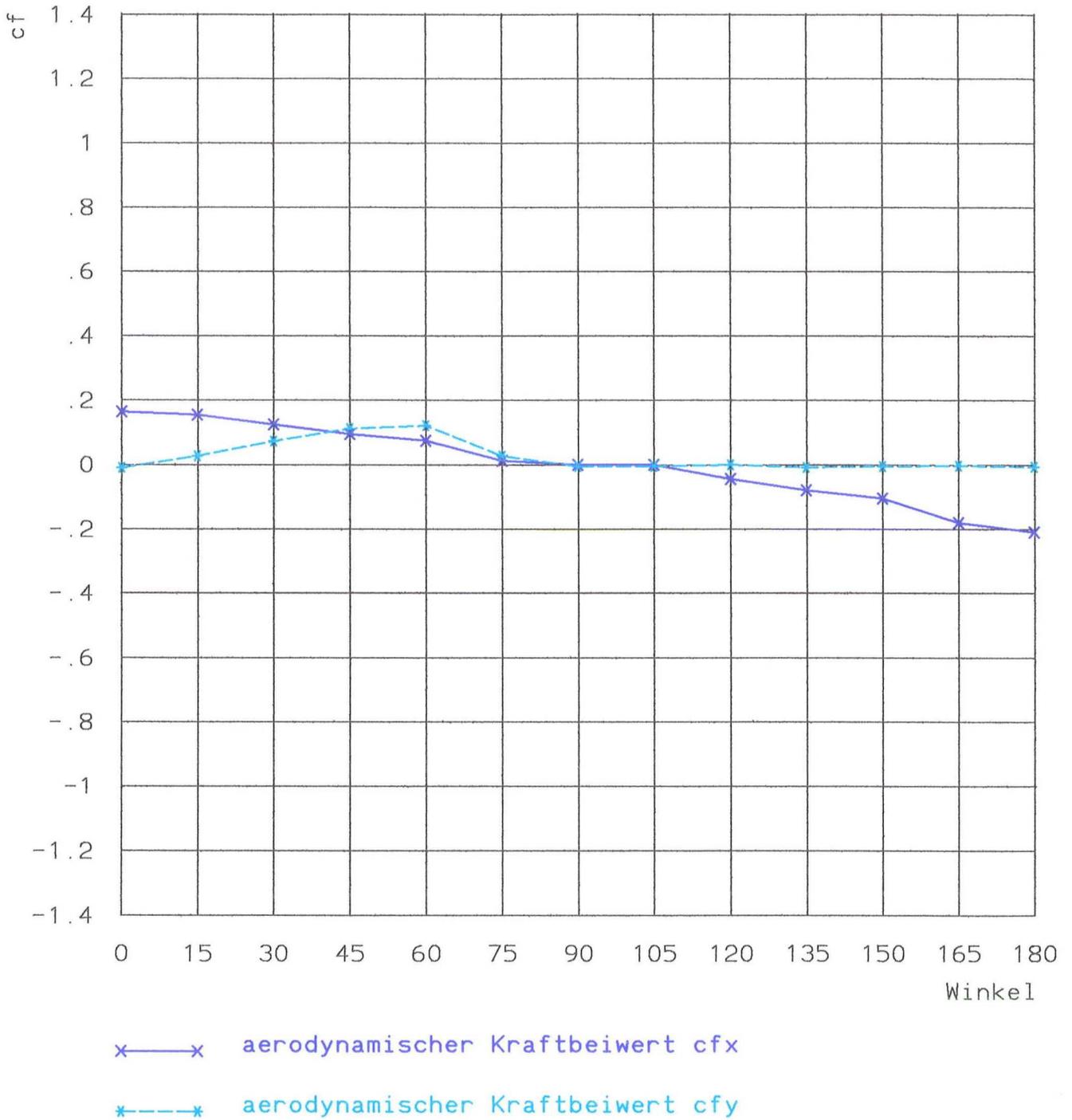
Feld 5



Gebäude 600 x 200, zu 2/3 versperrt

Netz 1 Stirnseite geschlossen

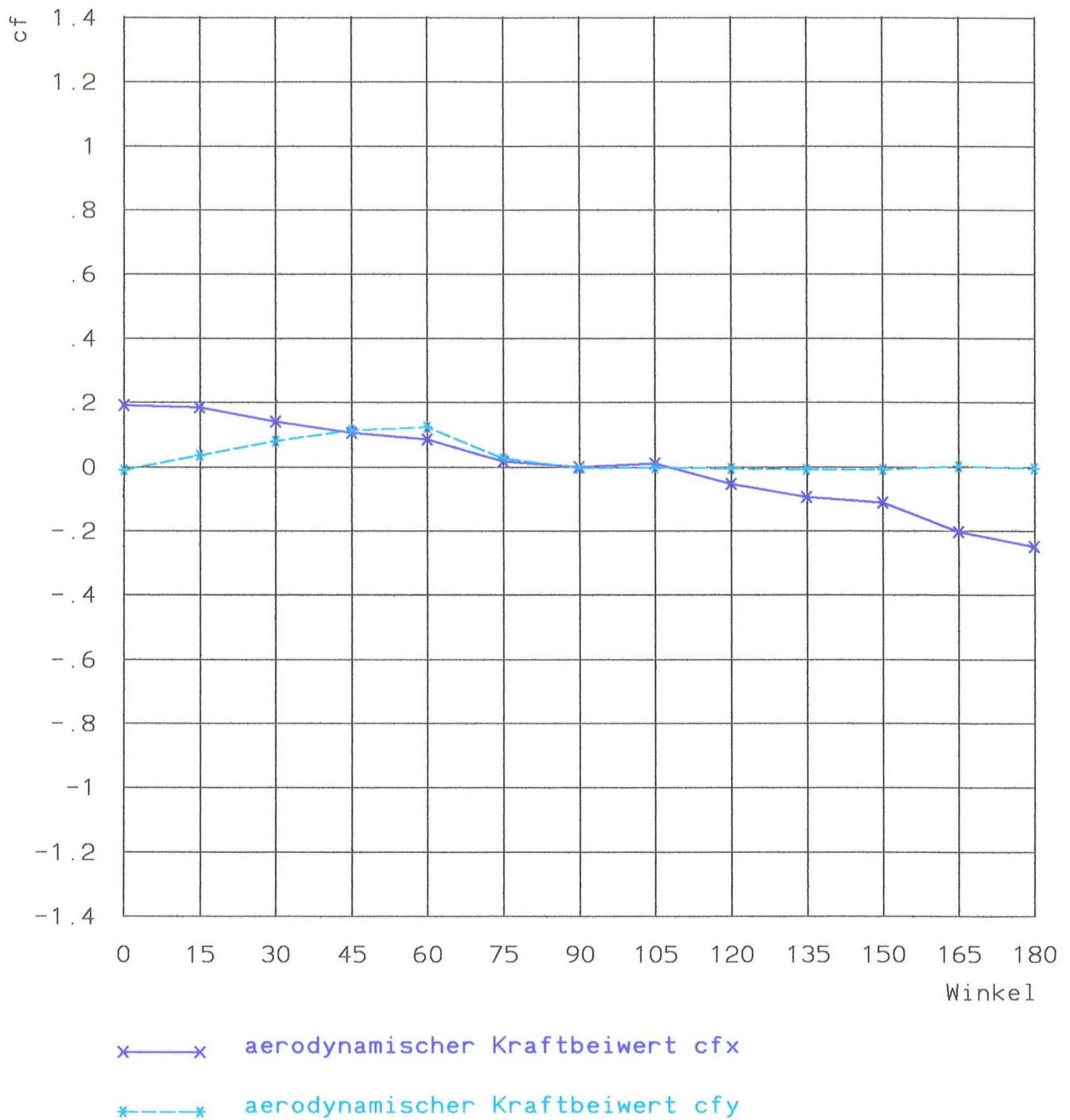
Feld 5



Gebäude 600 x 200, zu 2/3 verspernt

Netz 2 Stirnseite geschlossen

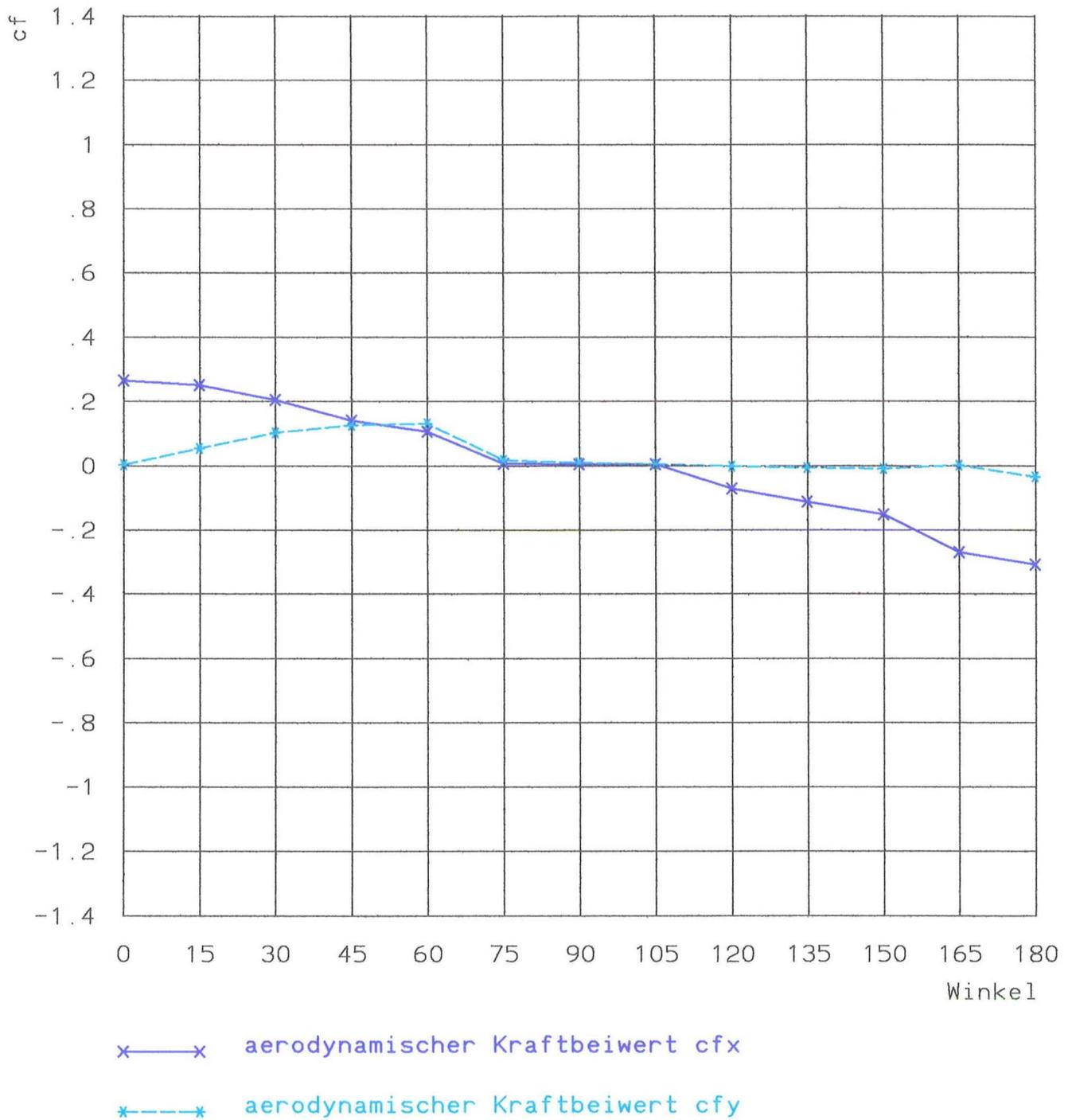
Feld 5



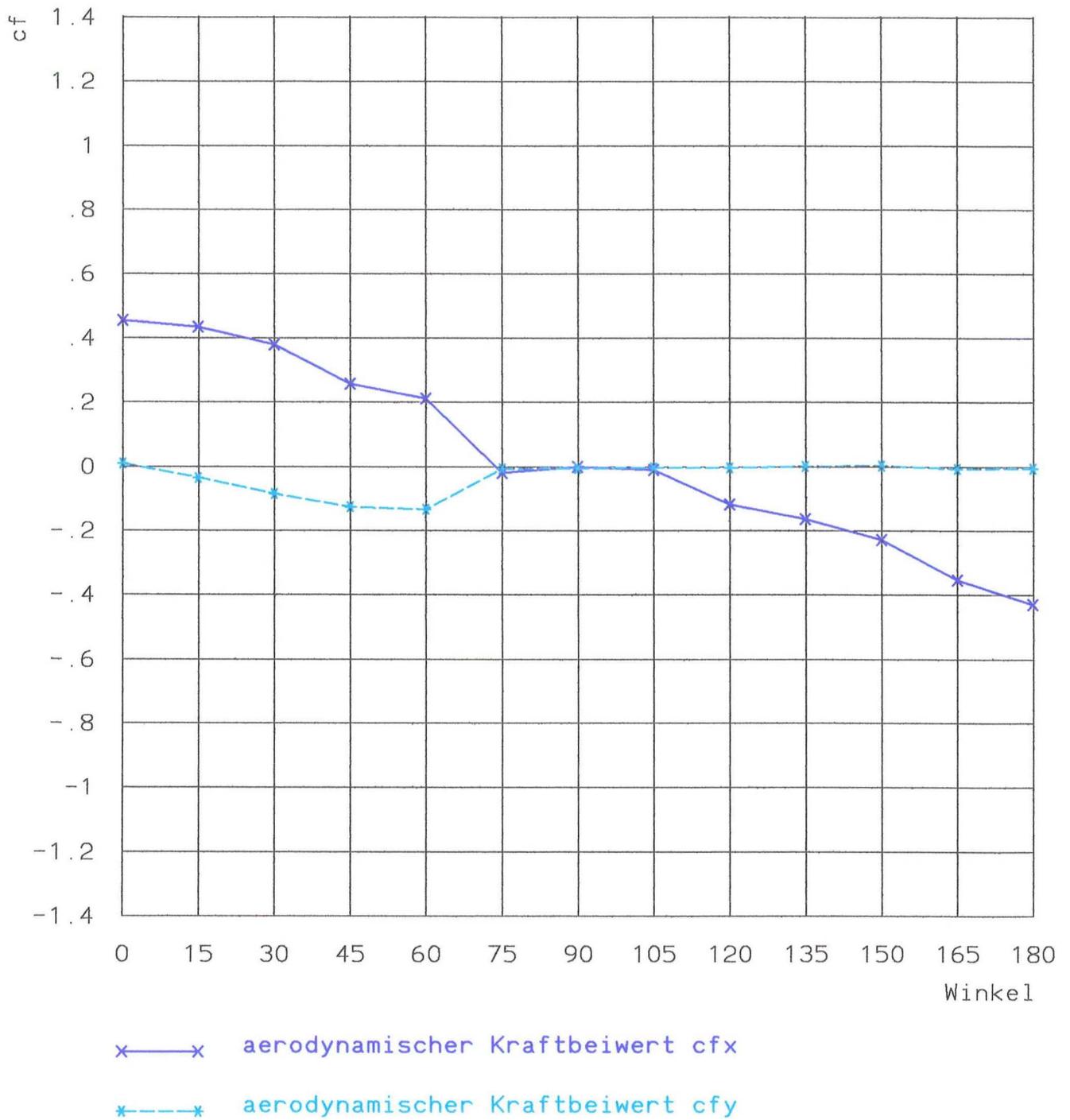
Gebäude 600 x 200, zu 2/3 versperrt

Netz 3 Stirnseite geschlossen

Feld 5



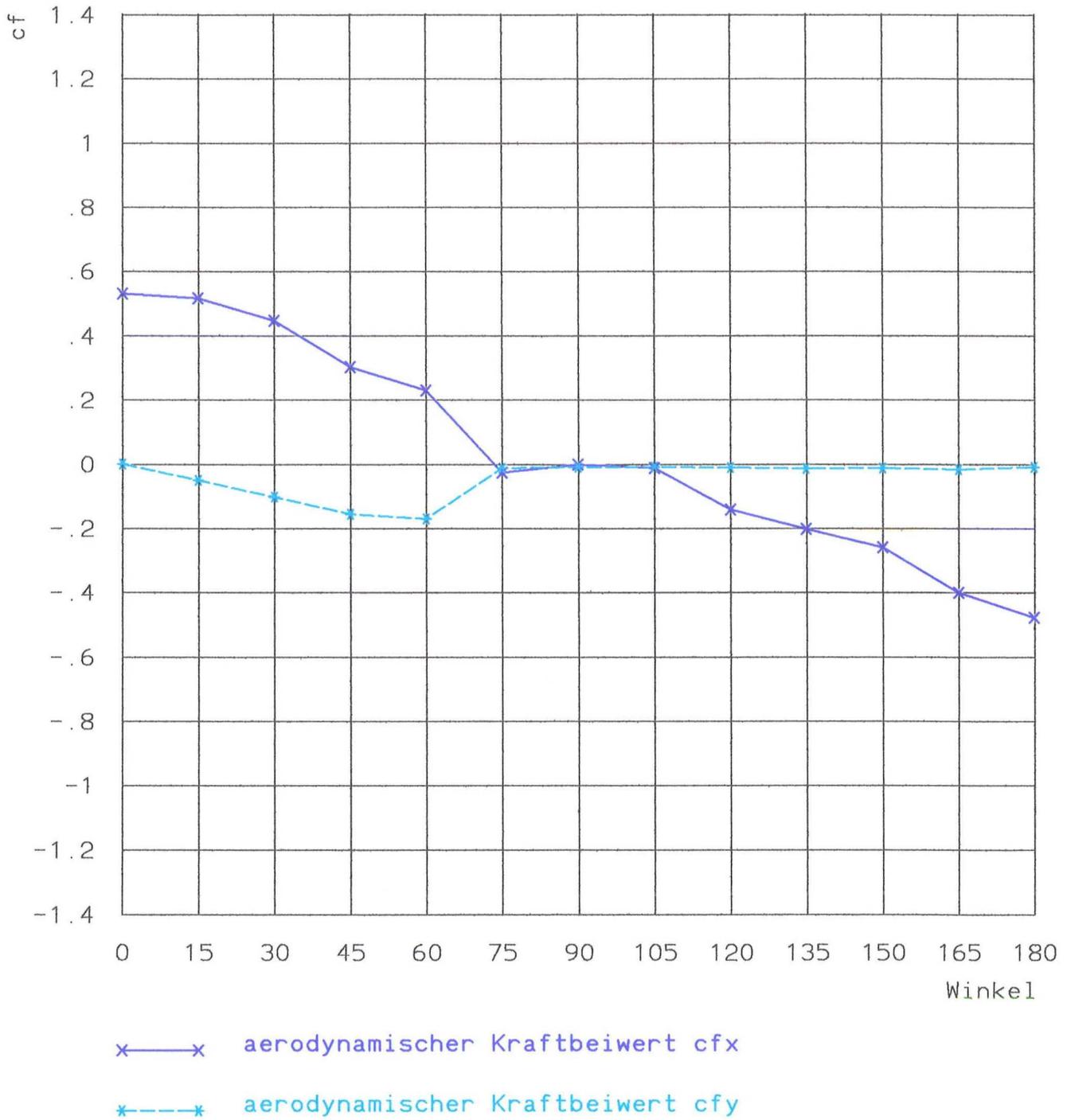
Gebäude 600 x 200, zu 2/3 verspernt
Netz 4 Stirnseite geschlossen
Feld 5



Gebäude 600 x 200, zu 2/3 versperrt

Netz 5 Stirnseite geschlossen

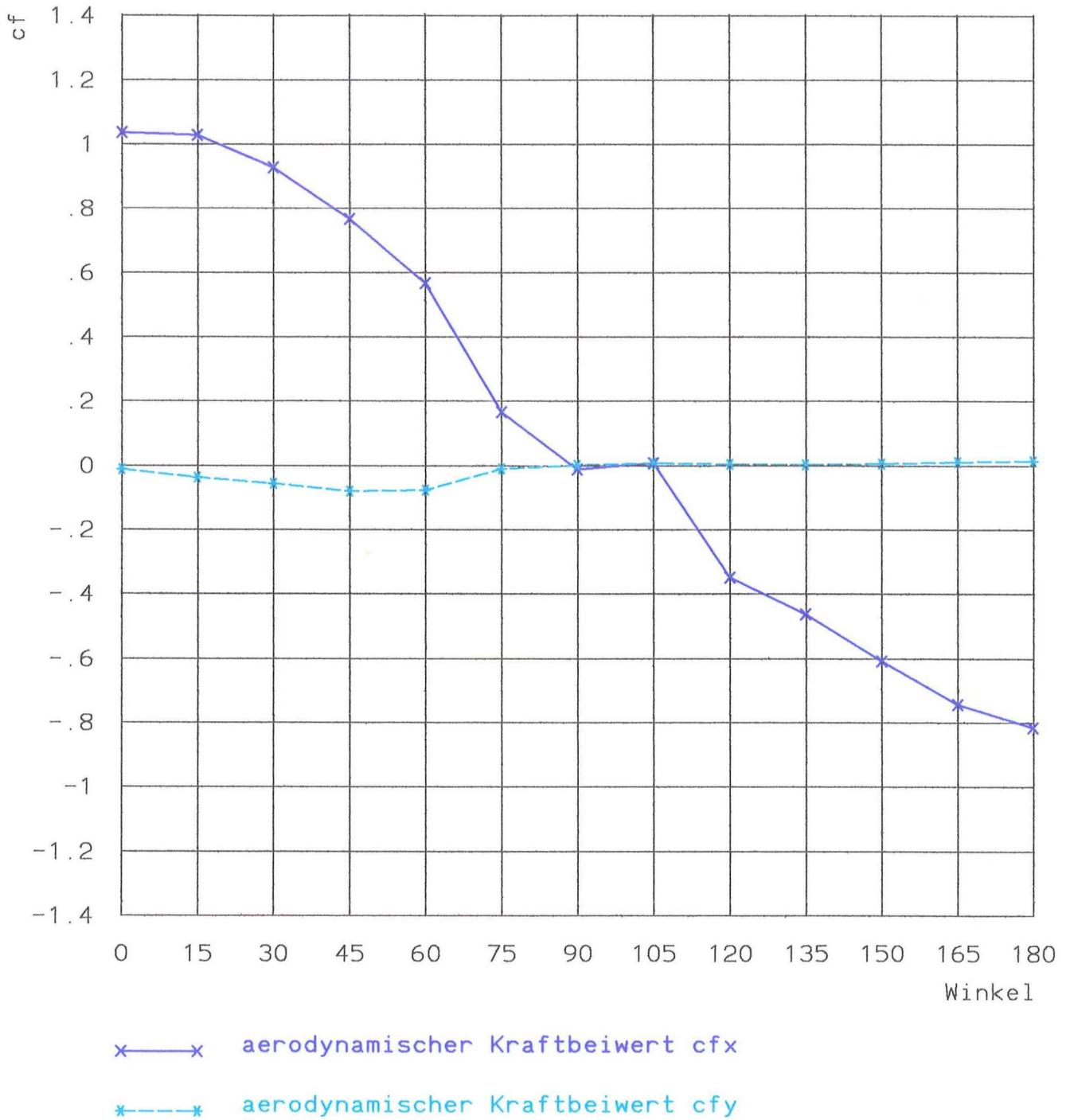
Feld 5



Gebäude 600 x 200, zu 2/3 verspernt

Netz 6 Stirnseite geschlossen

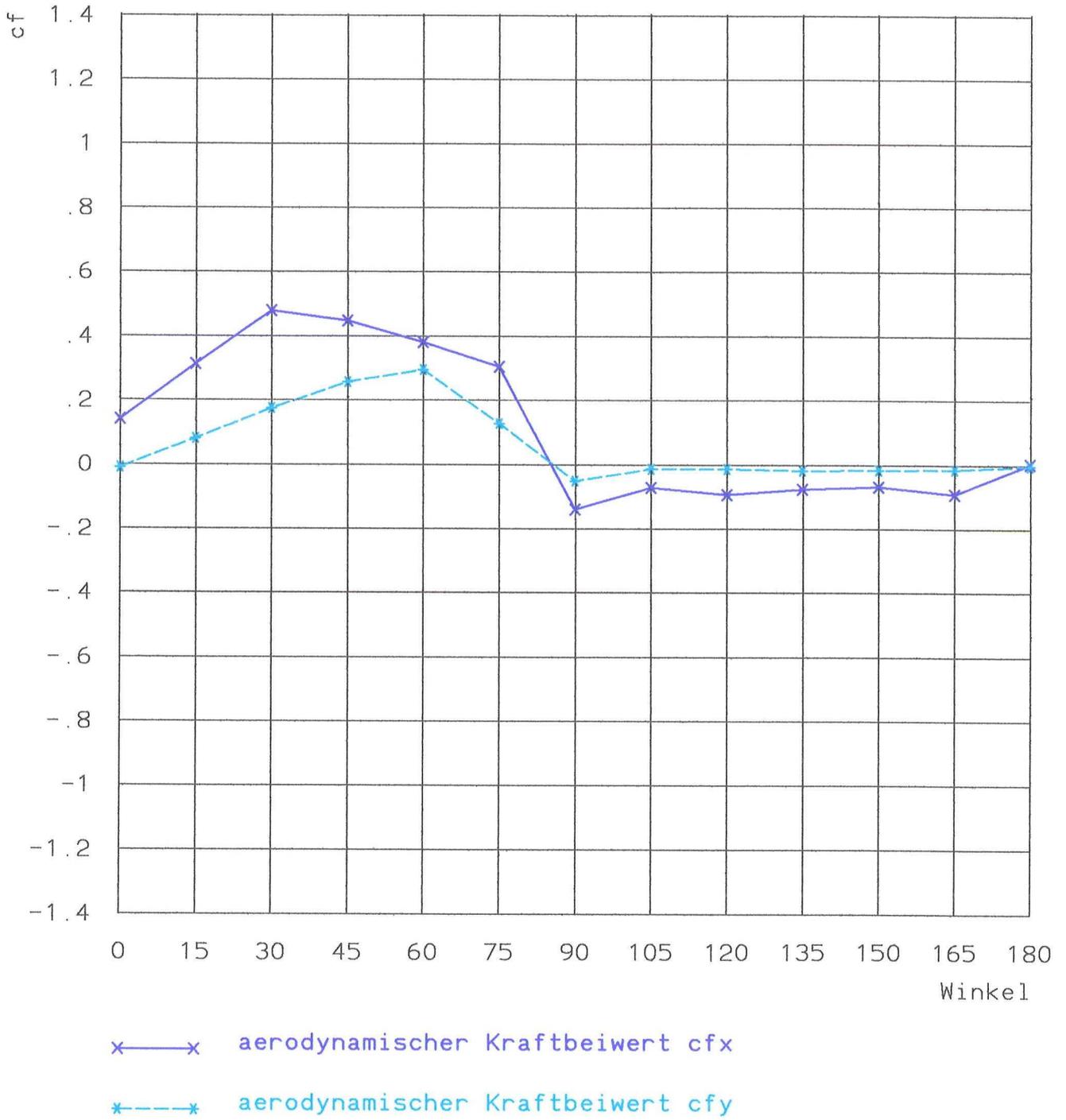
Feld 5



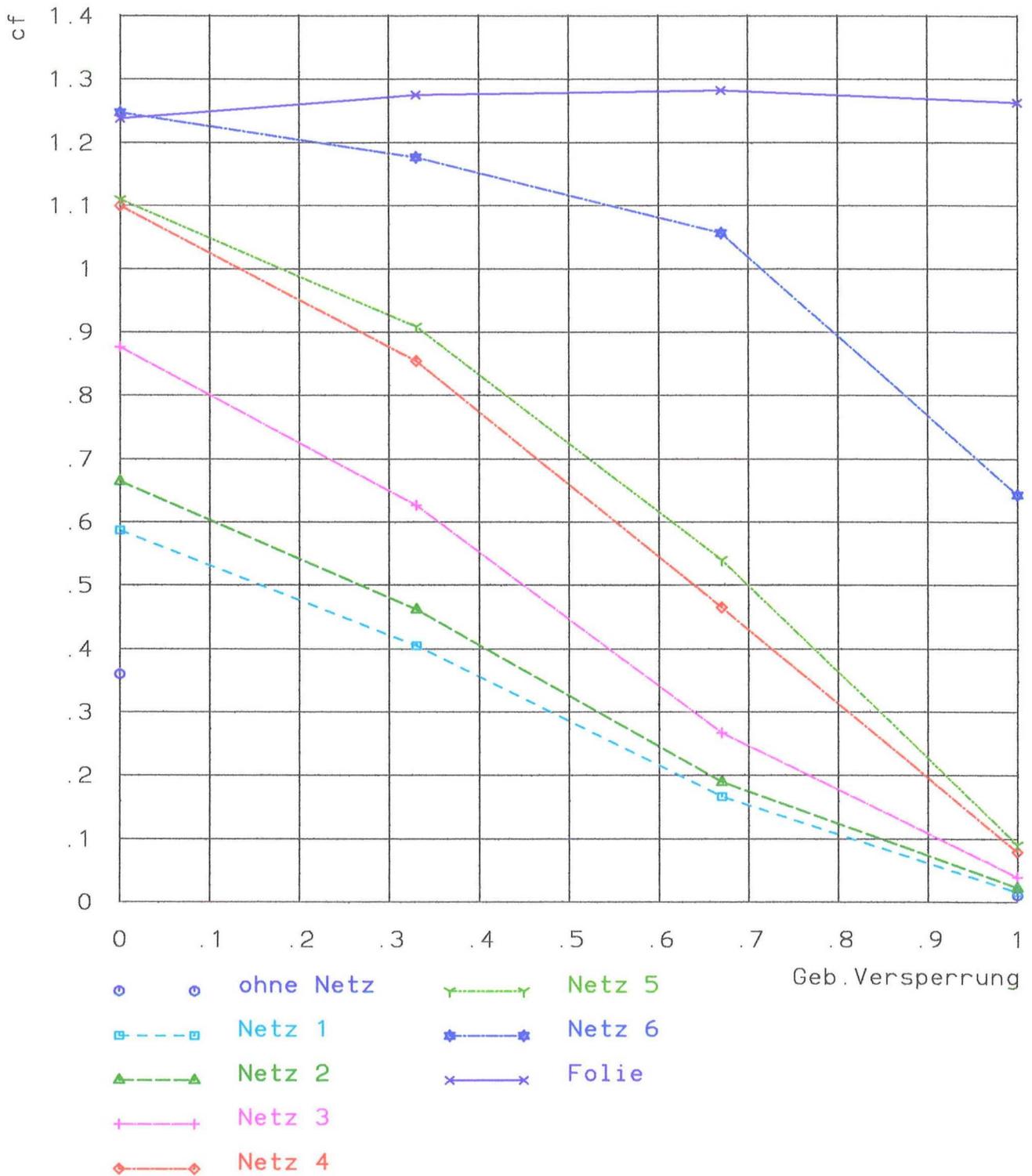
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE

BILD 17

Gebäude 600 x 200, zu 2/3 versperrt
Netz Folie Stirnseite geschlossen
Feld 5

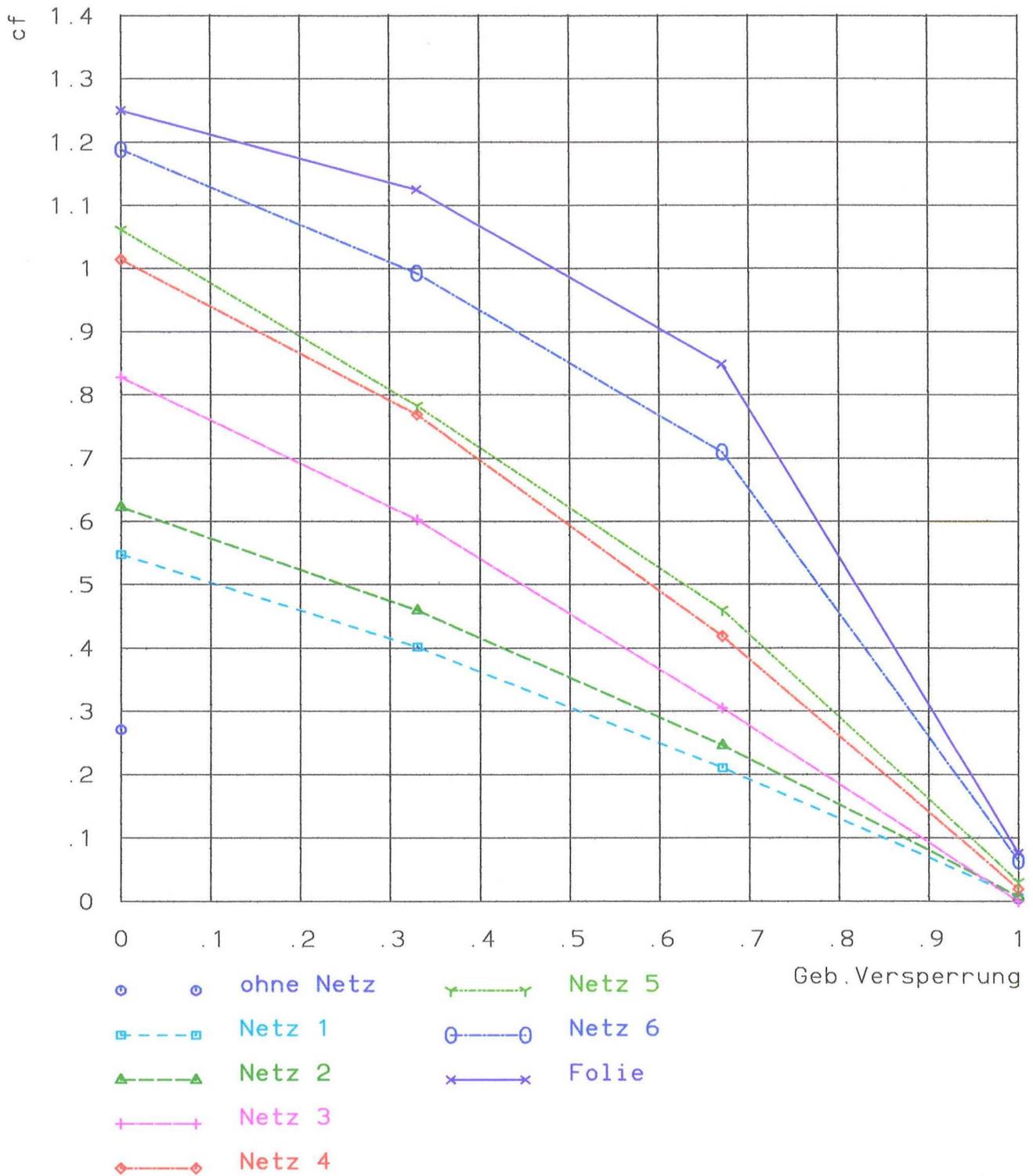


cfx-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite offen



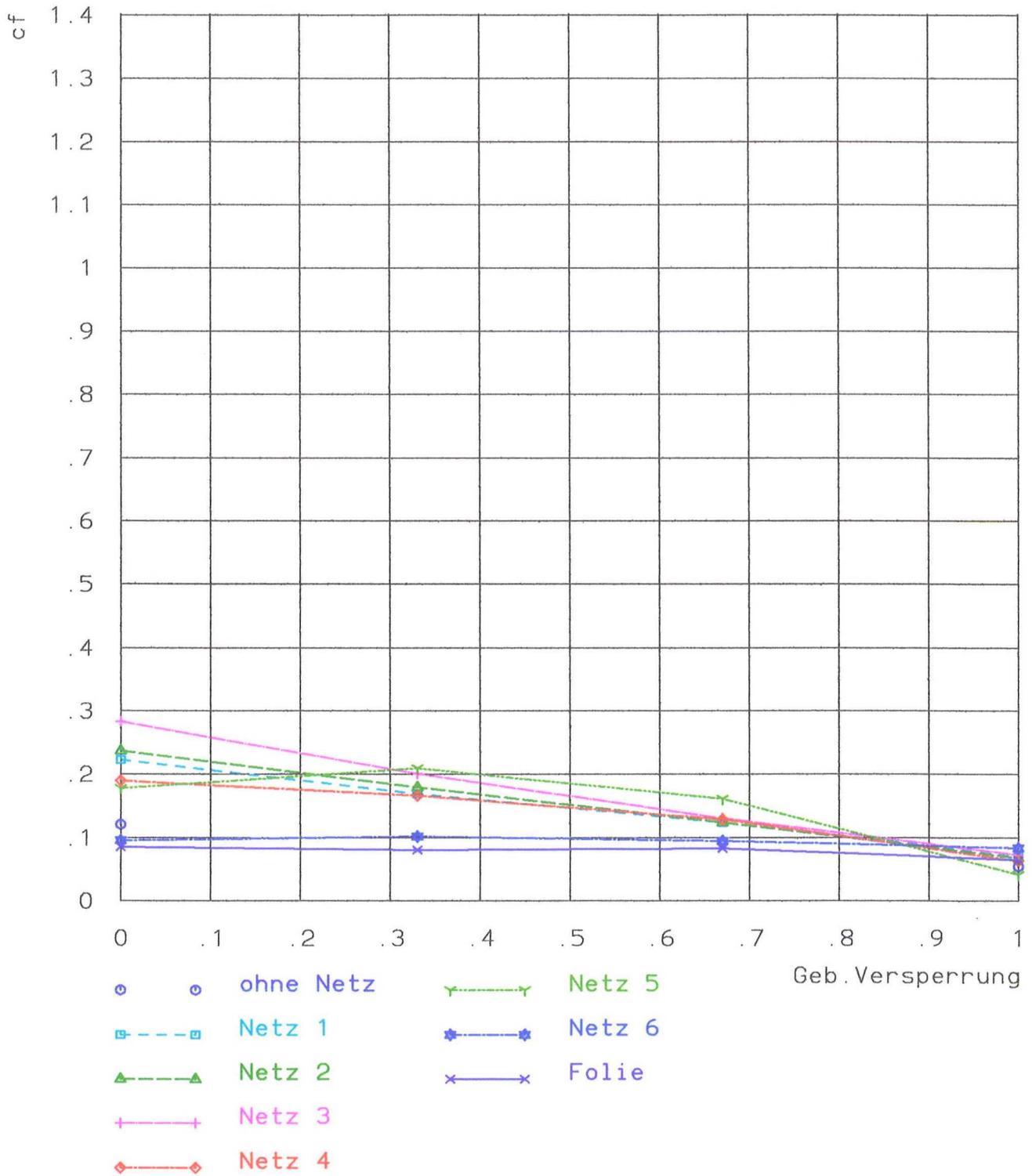
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 19

cfx-Werte Leeseite Feld 5 Stirnseite offen



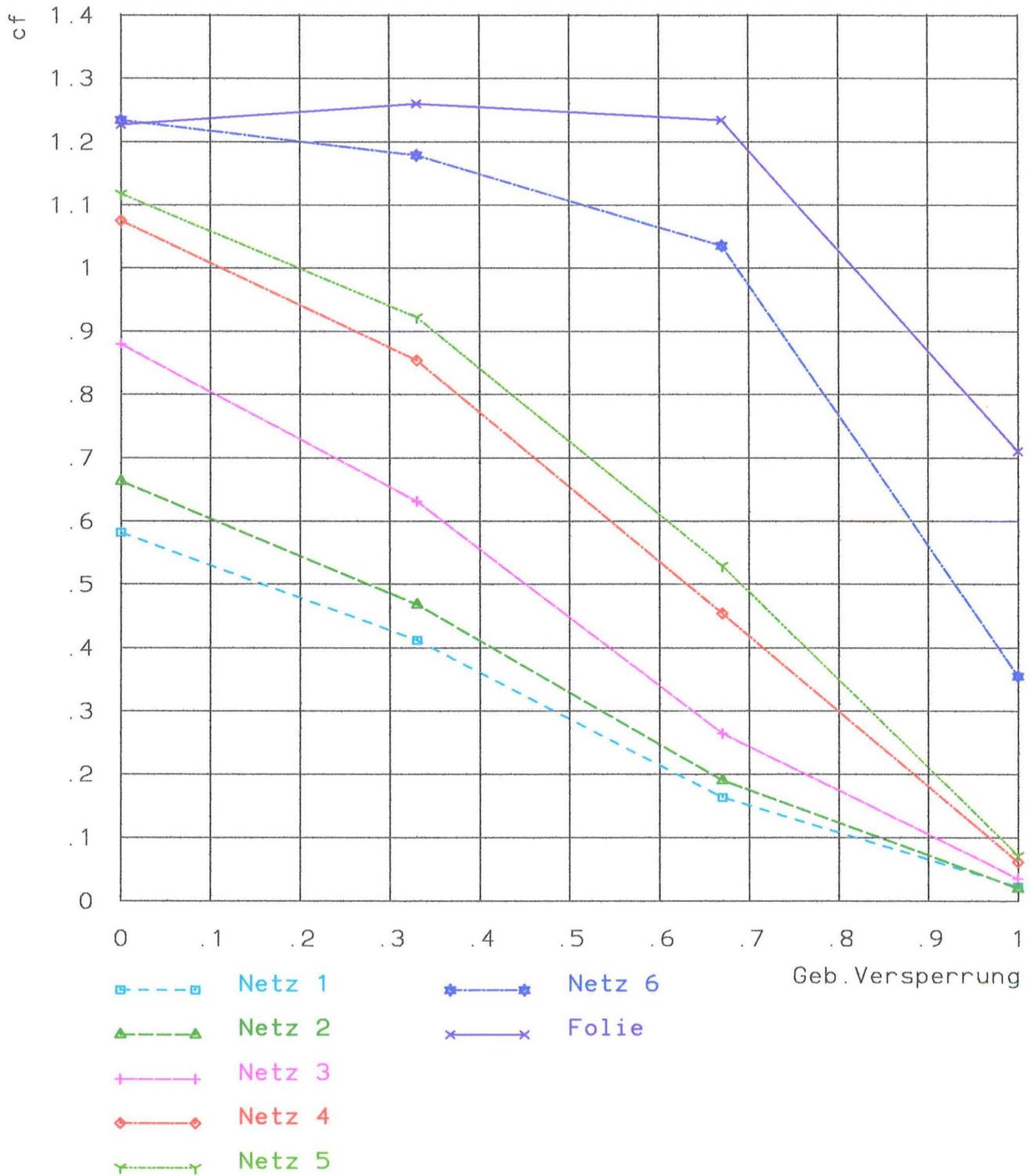
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 20

cfy-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite offen



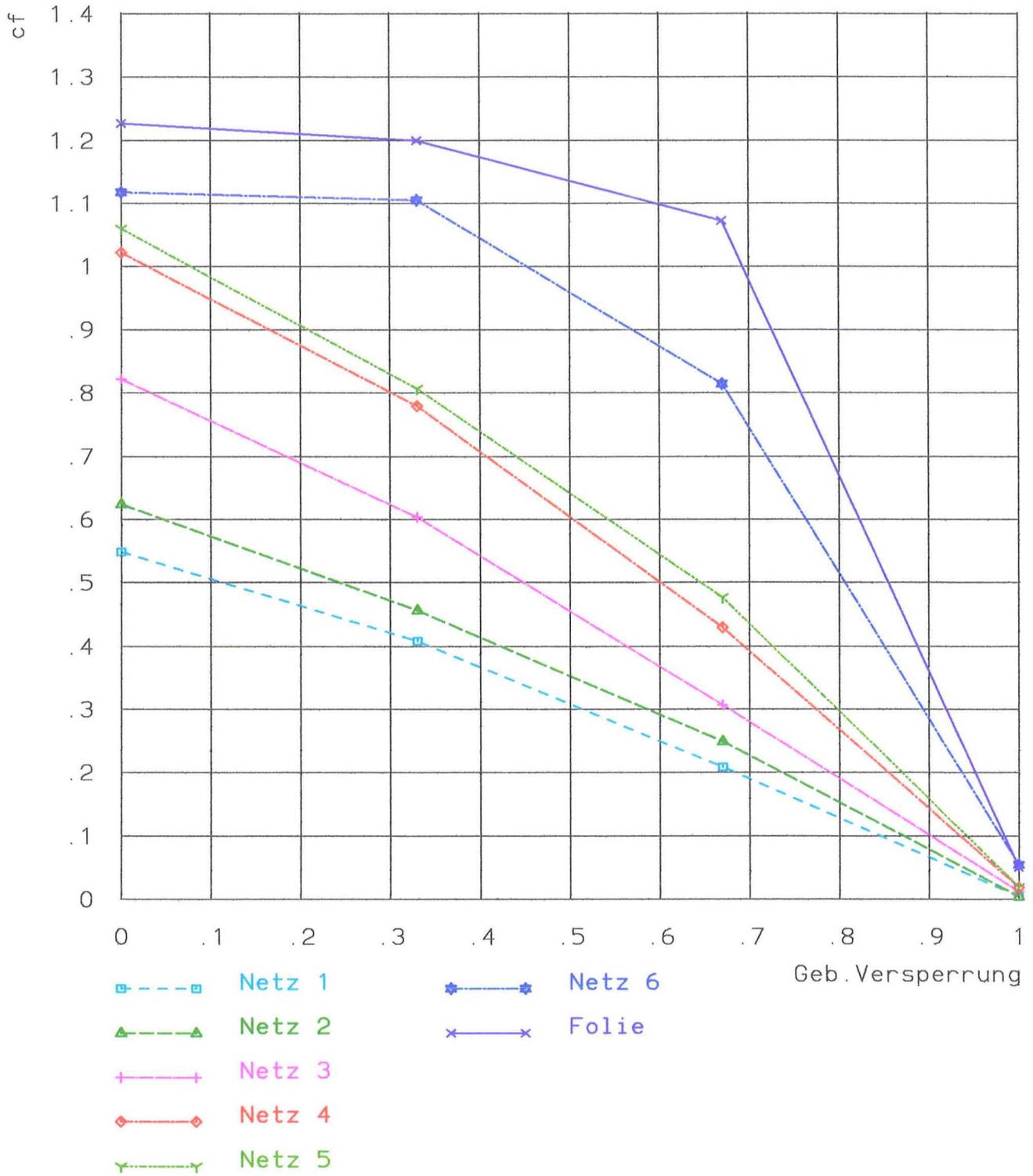
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 21

cfx-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite geschlossen



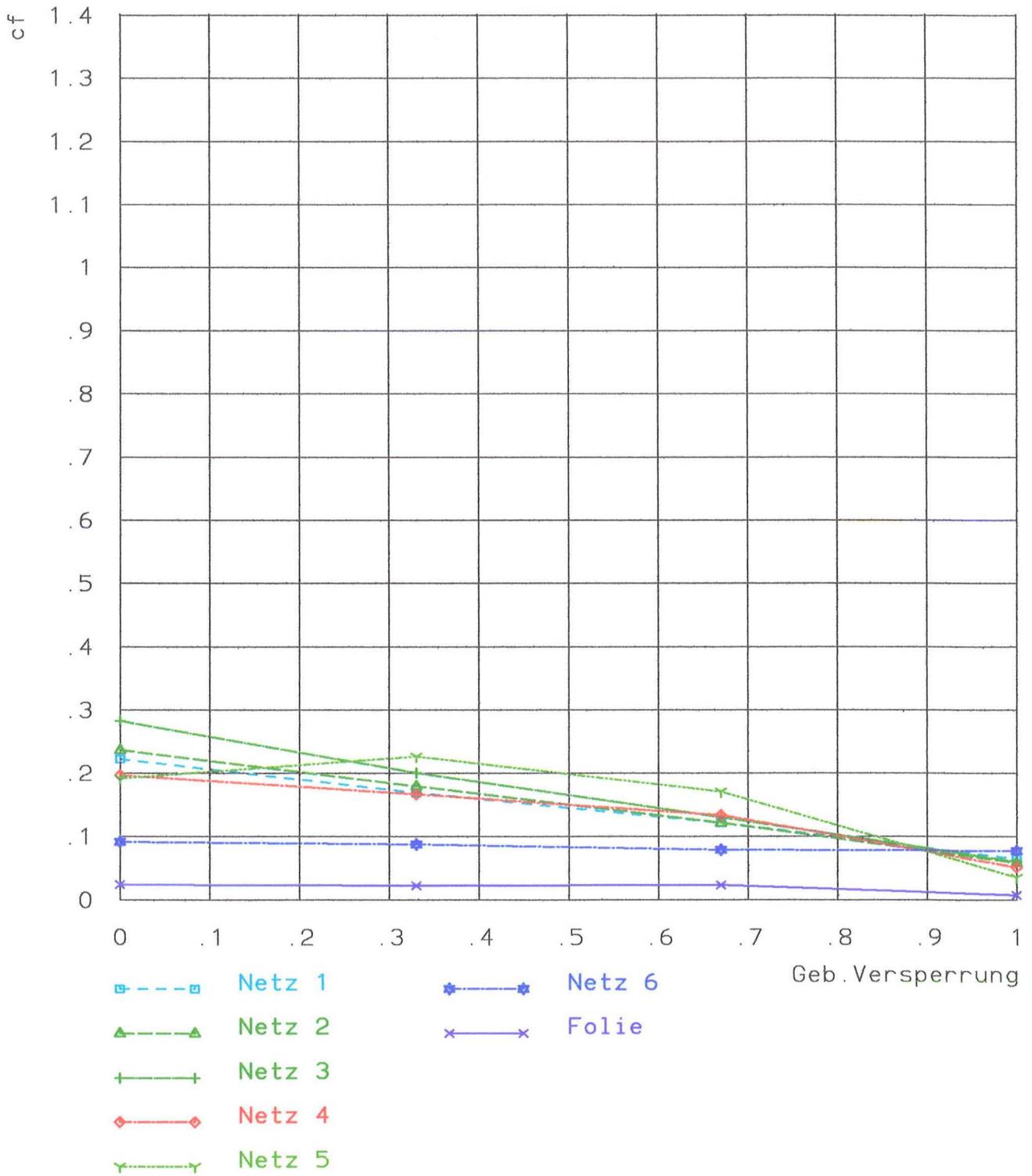
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 22

cfx-Werte Leeseite Feld 5 Stirnseite geschlossen



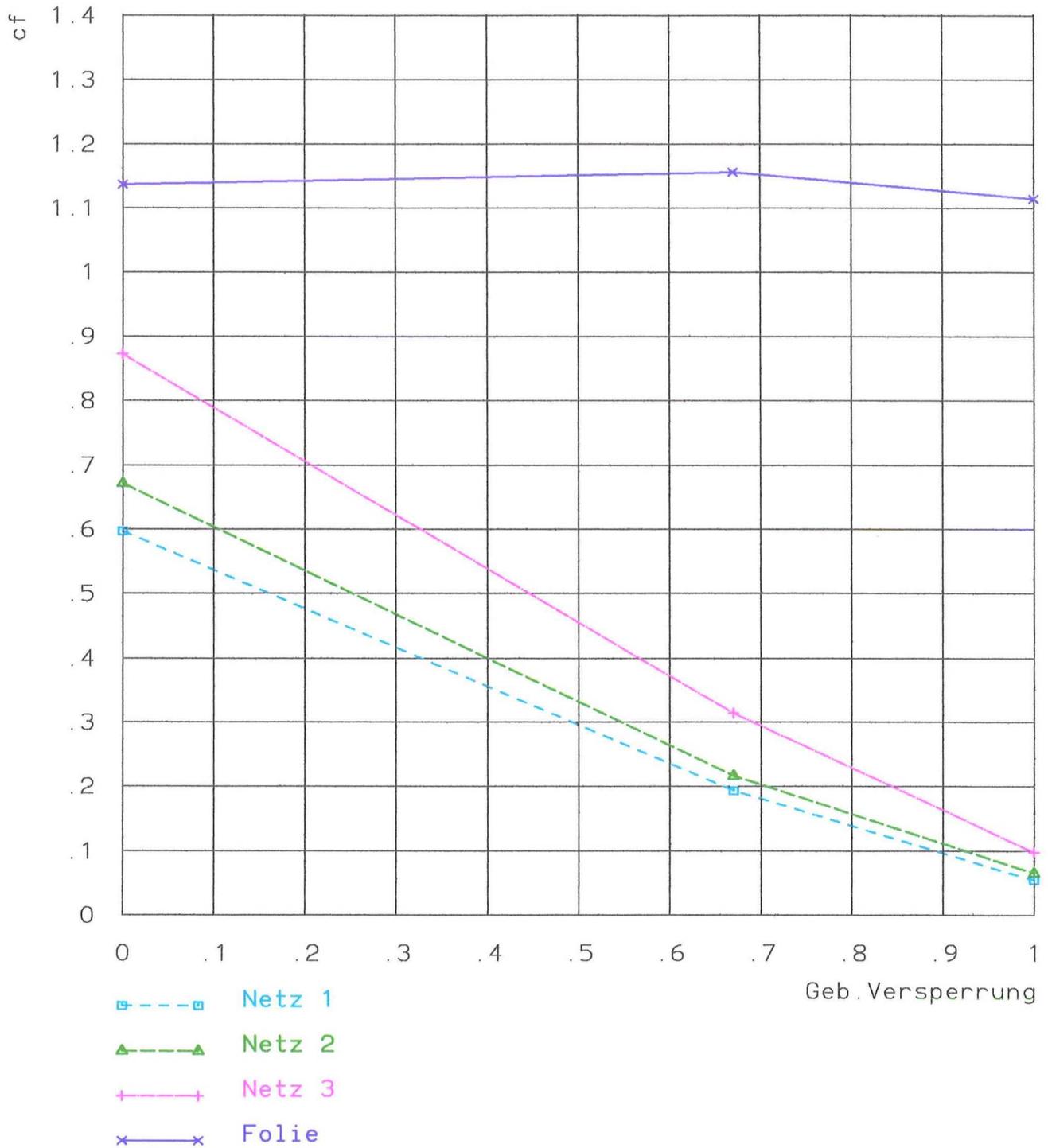
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 23

cfy-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite geschlossen



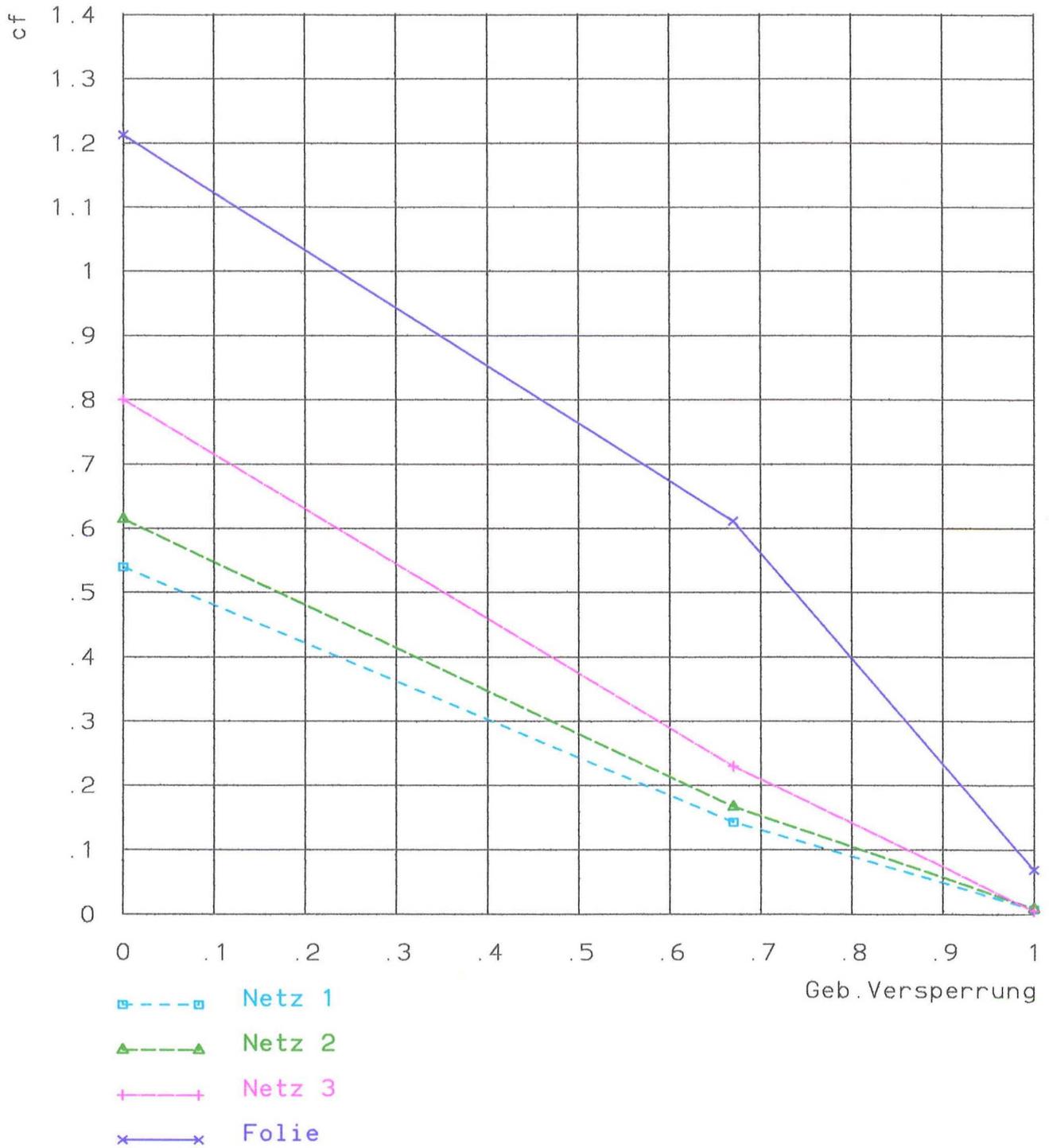
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 24

cfx-Werte Luvseite Feld 2 Stirnseite offen



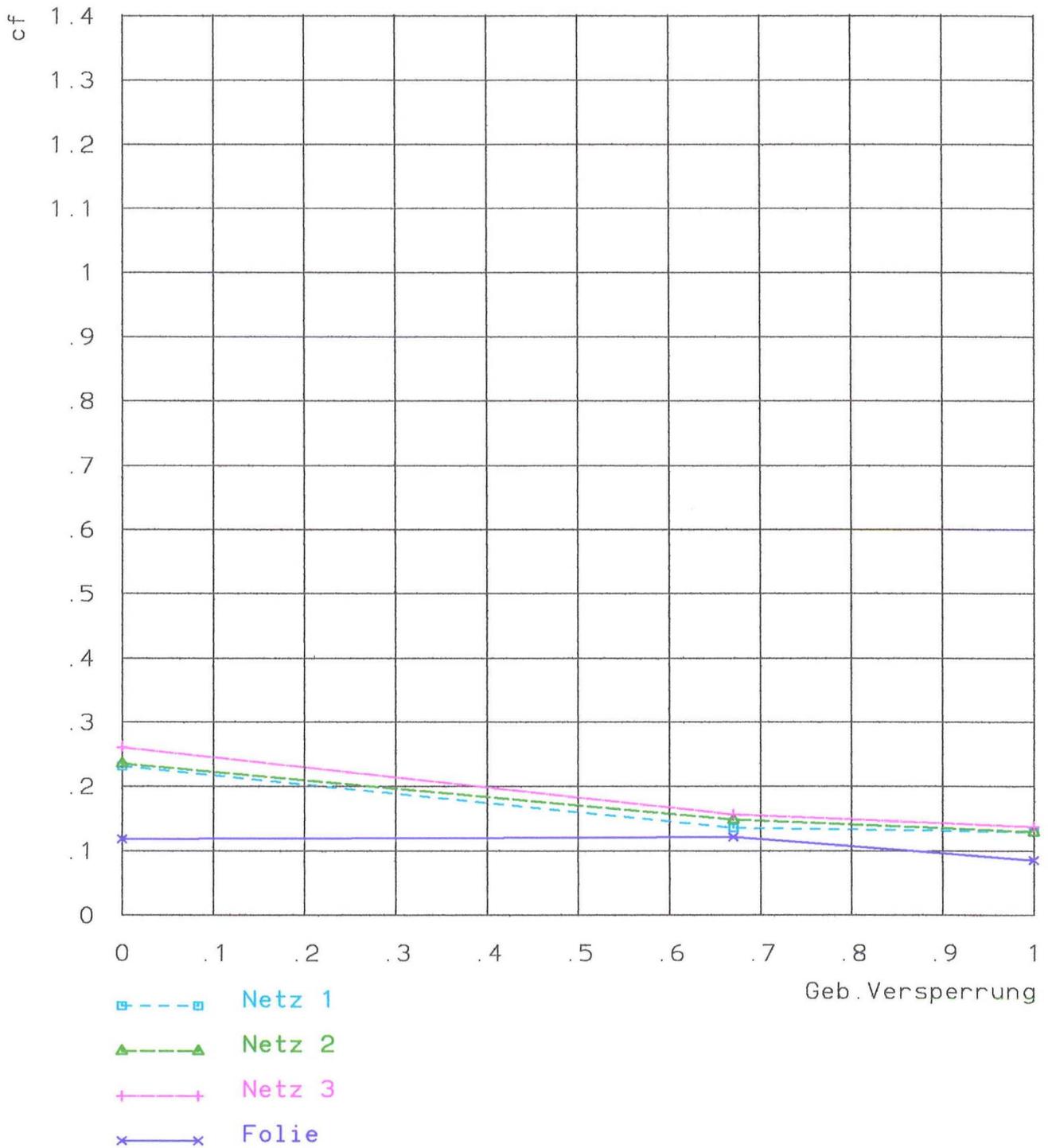
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 25

cfx-Werte Leeseite Feld 2 Stirnseite offen



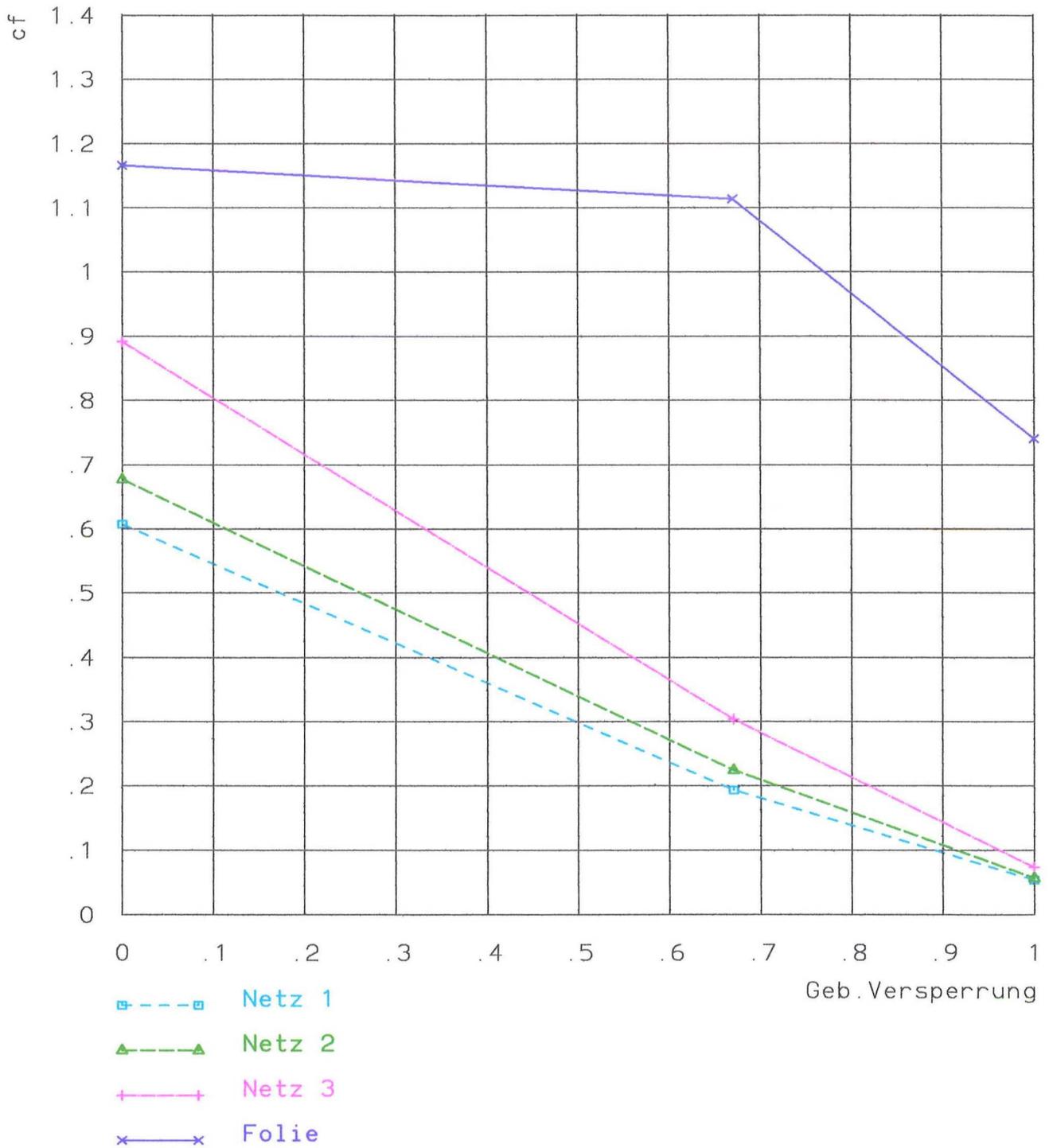
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 26

cfy-Werte Luvseite Feld 2 Stirnseite offen



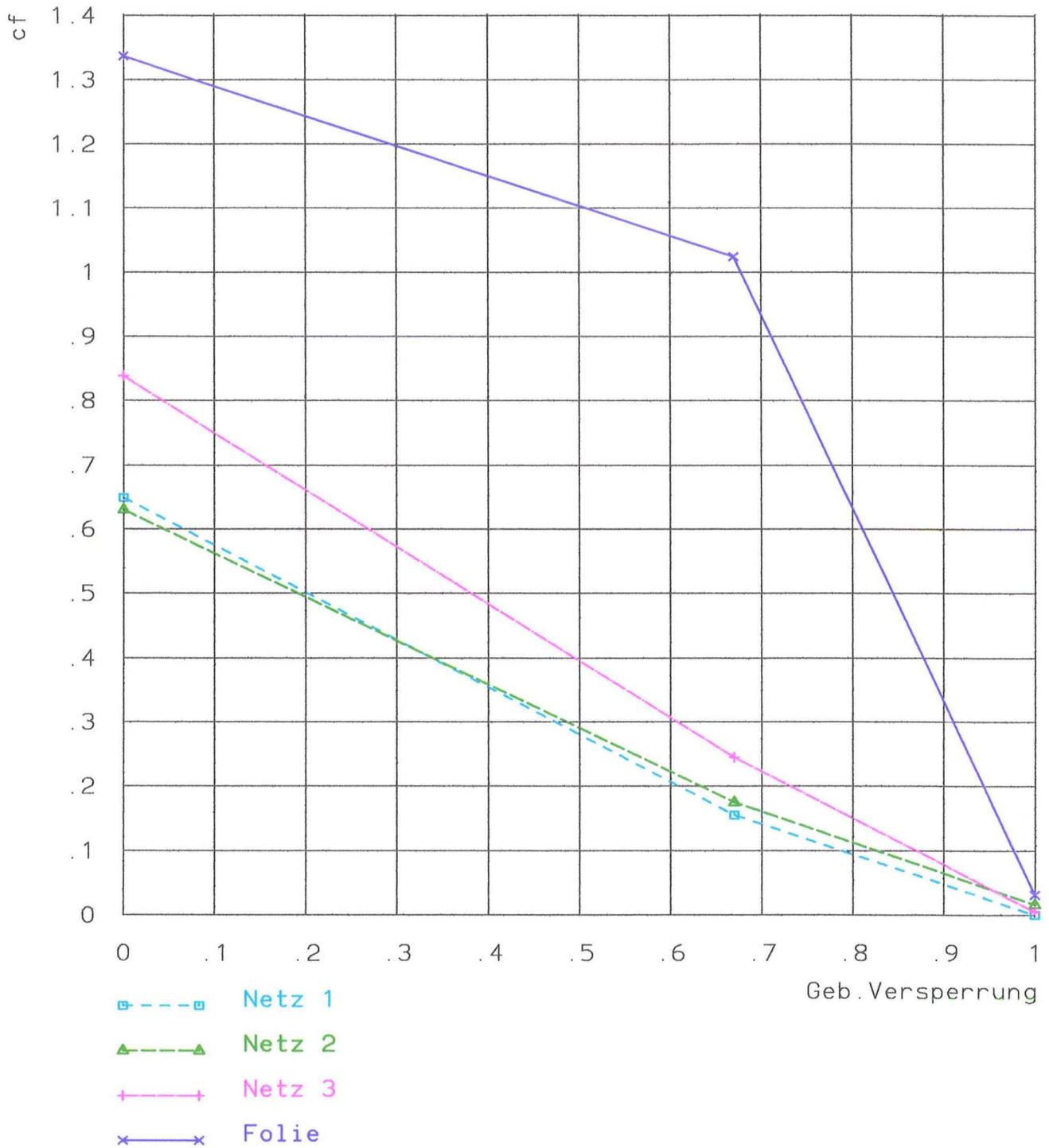
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 27

cfx-Werte Luvseite Feld 2 Stirnseite geschlossen



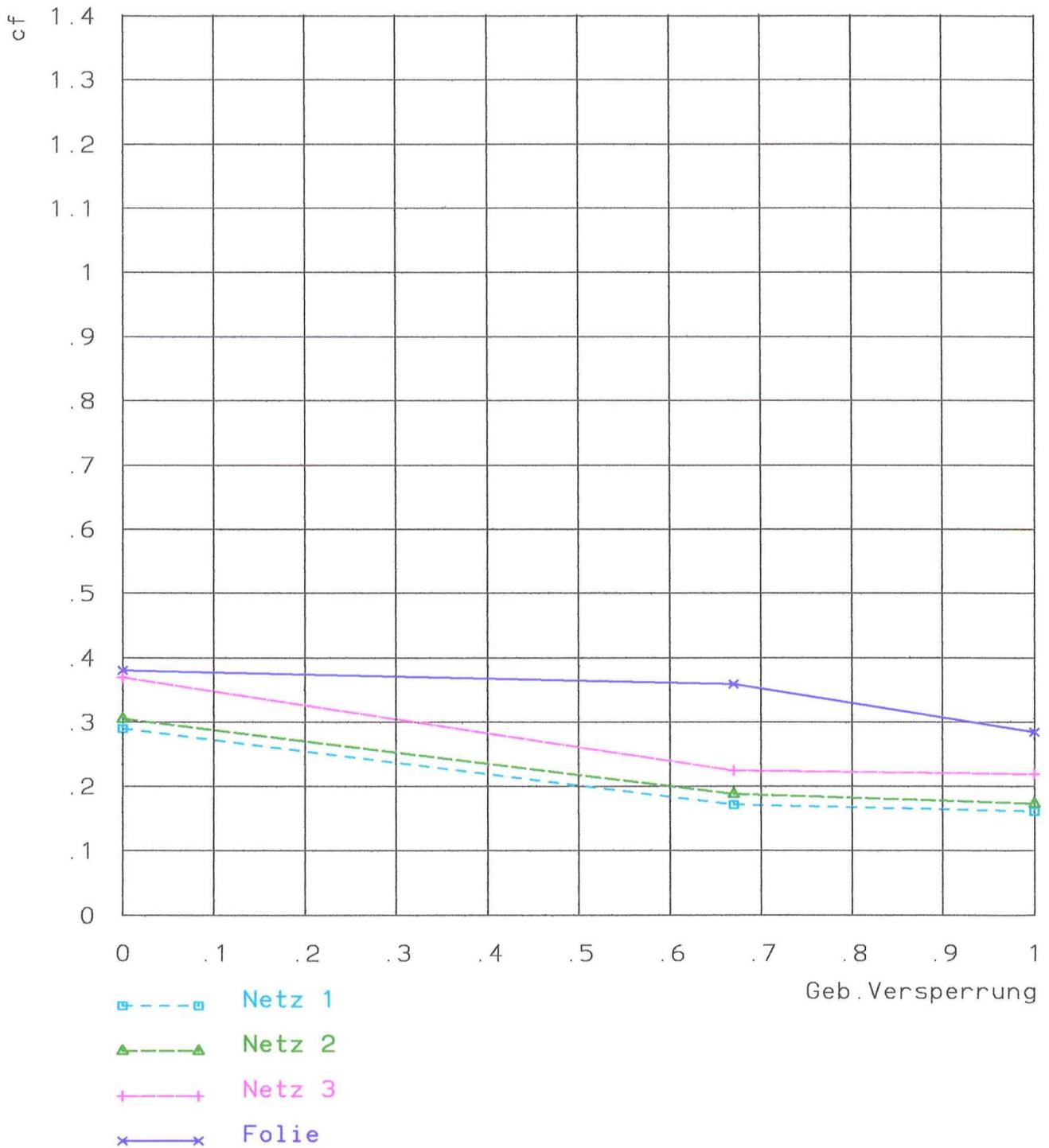
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 28

cfx-Werte Leeseite Feld 2 Stirnseite geschlossen



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 29

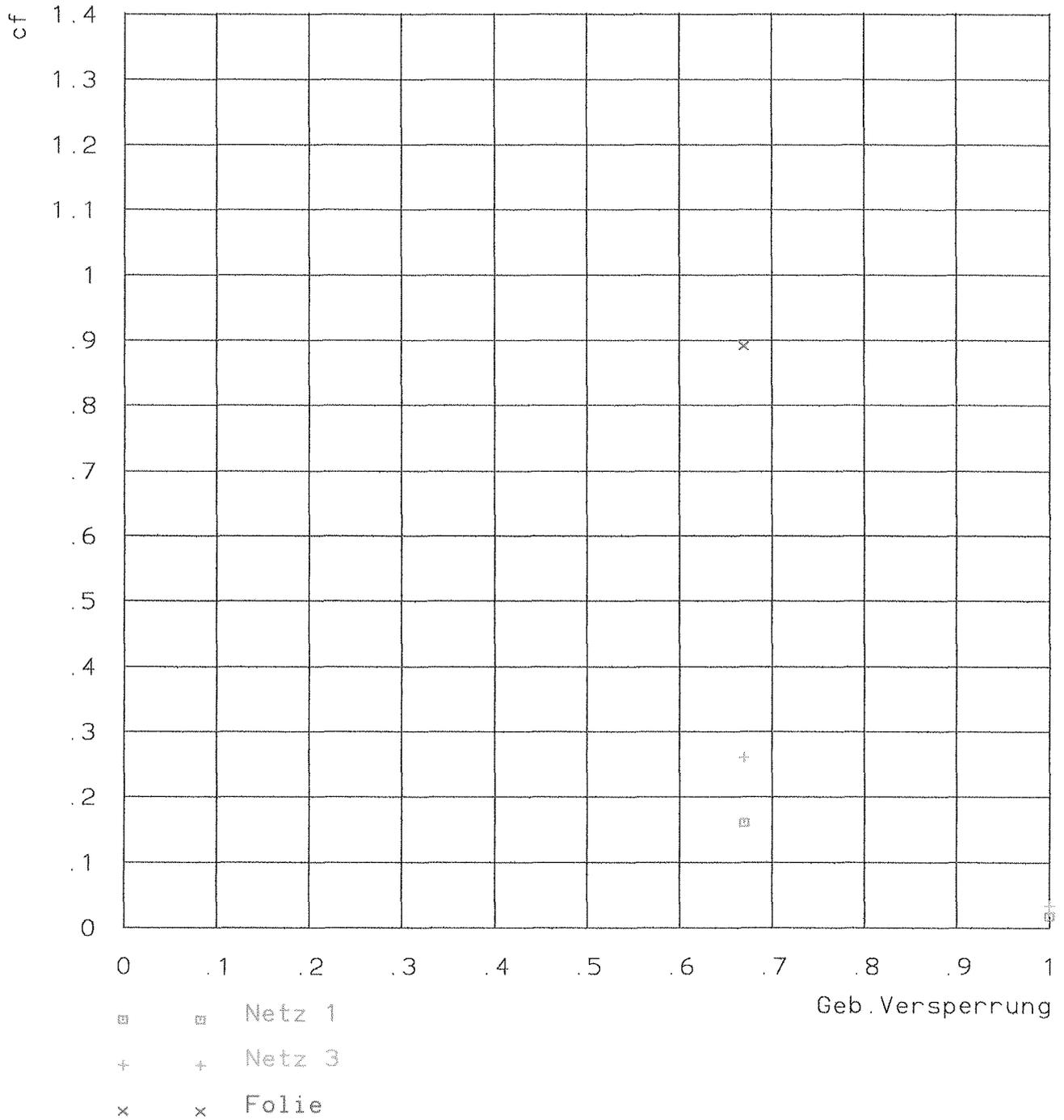
cfy-Werte Luvseite Feld 2 Stirnseite geschlossen



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 30

schmales Gerüst

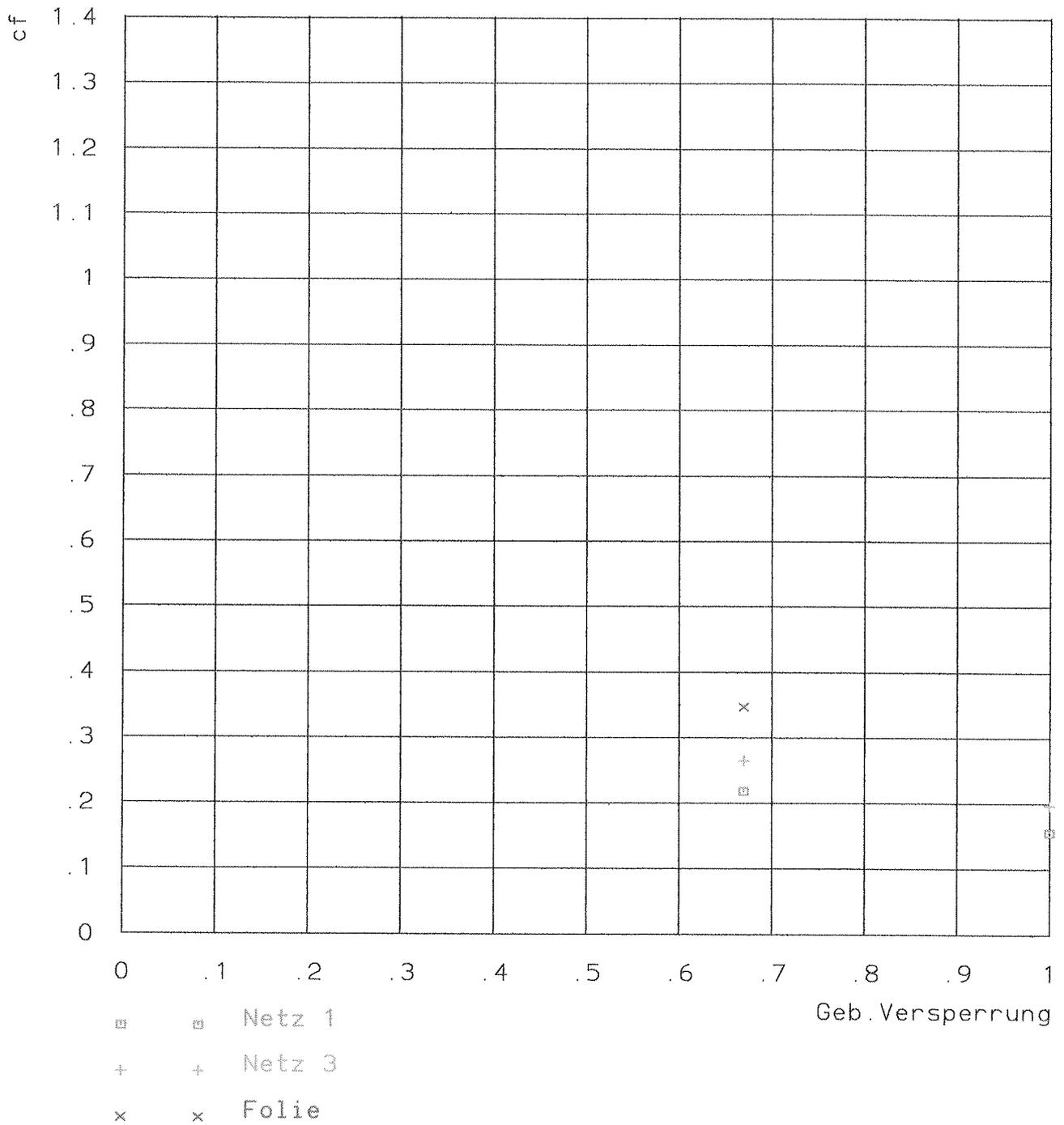
cfx-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite geschlossen



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 31

schmales Gerüst

cfy-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite geschlossen

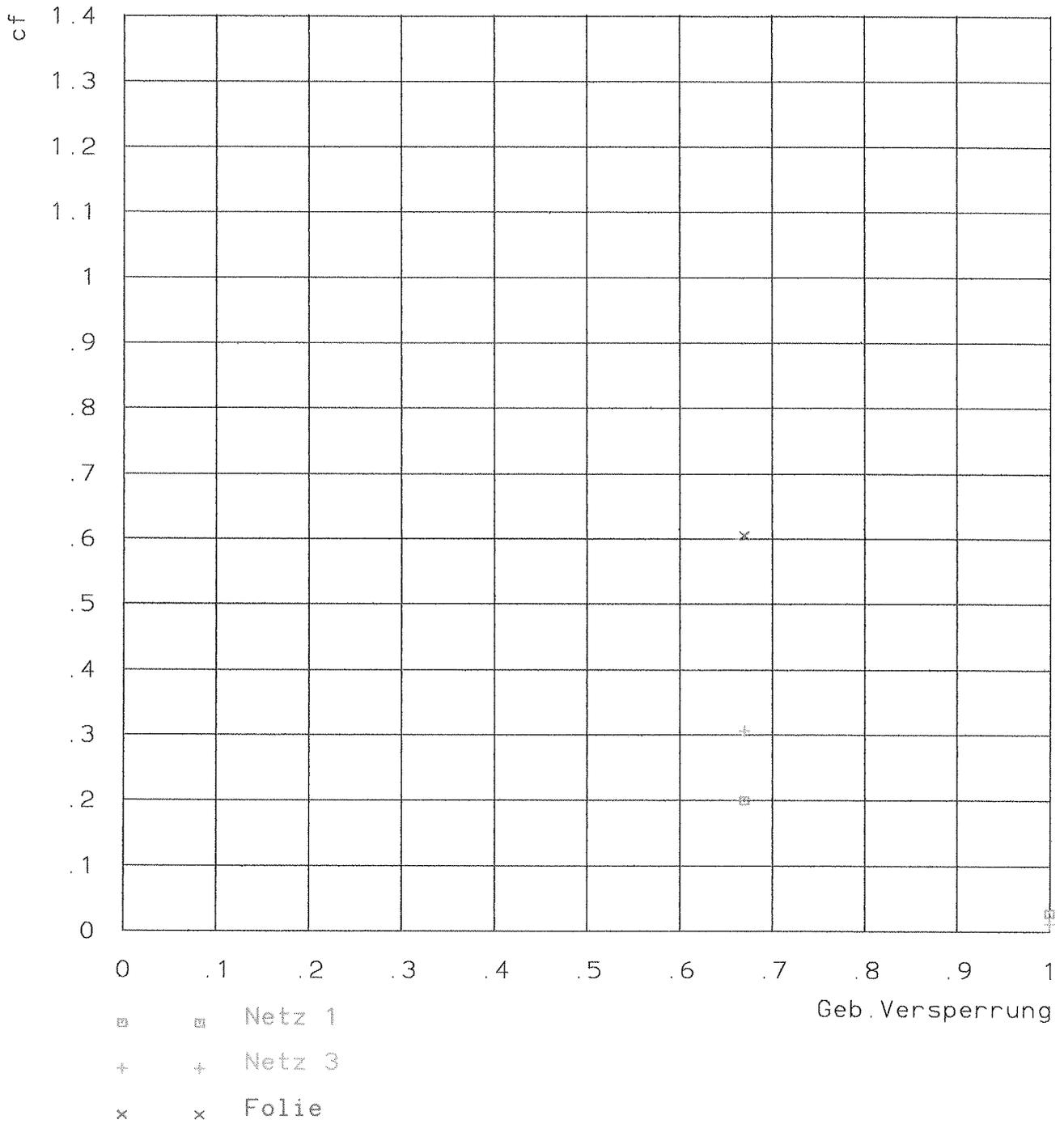


AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT
VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART

BILD 32

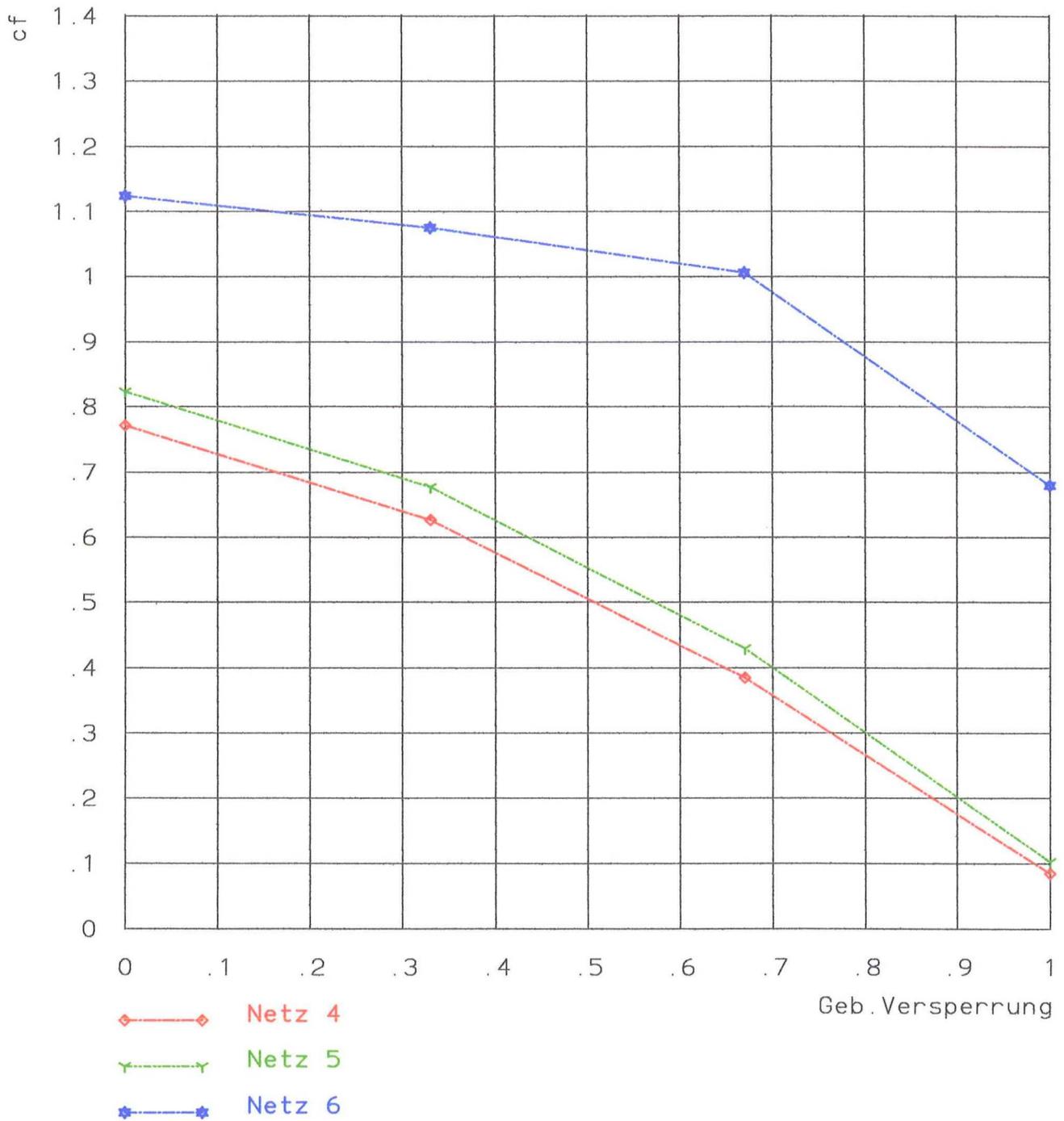
schmales Gerüst

cfx-Werte Leeseite Feld 5 Stirnseite geschlossen



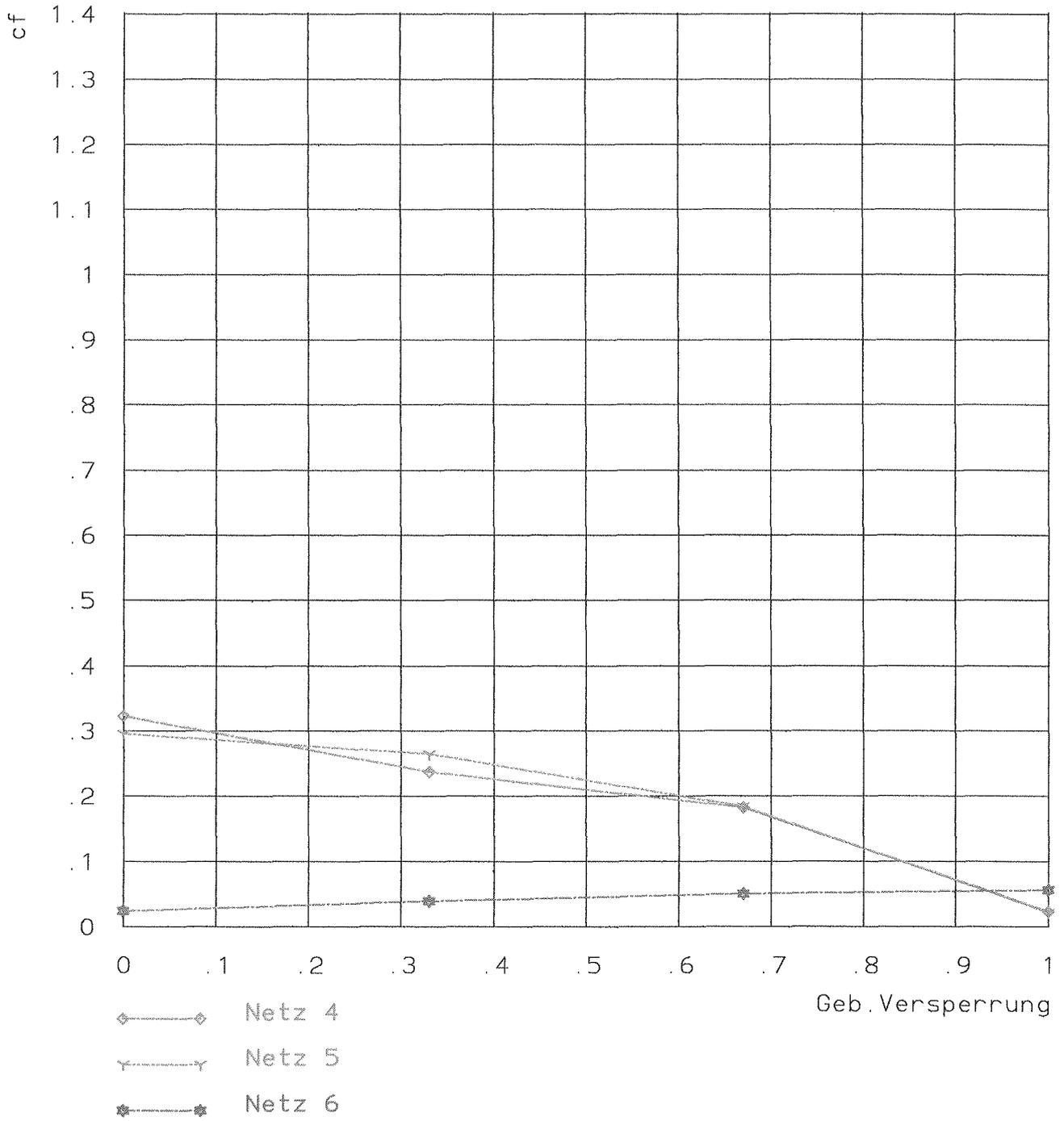
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 33

cfx-Werte Luvseite Feld 5 Gerüst an allen Seiten



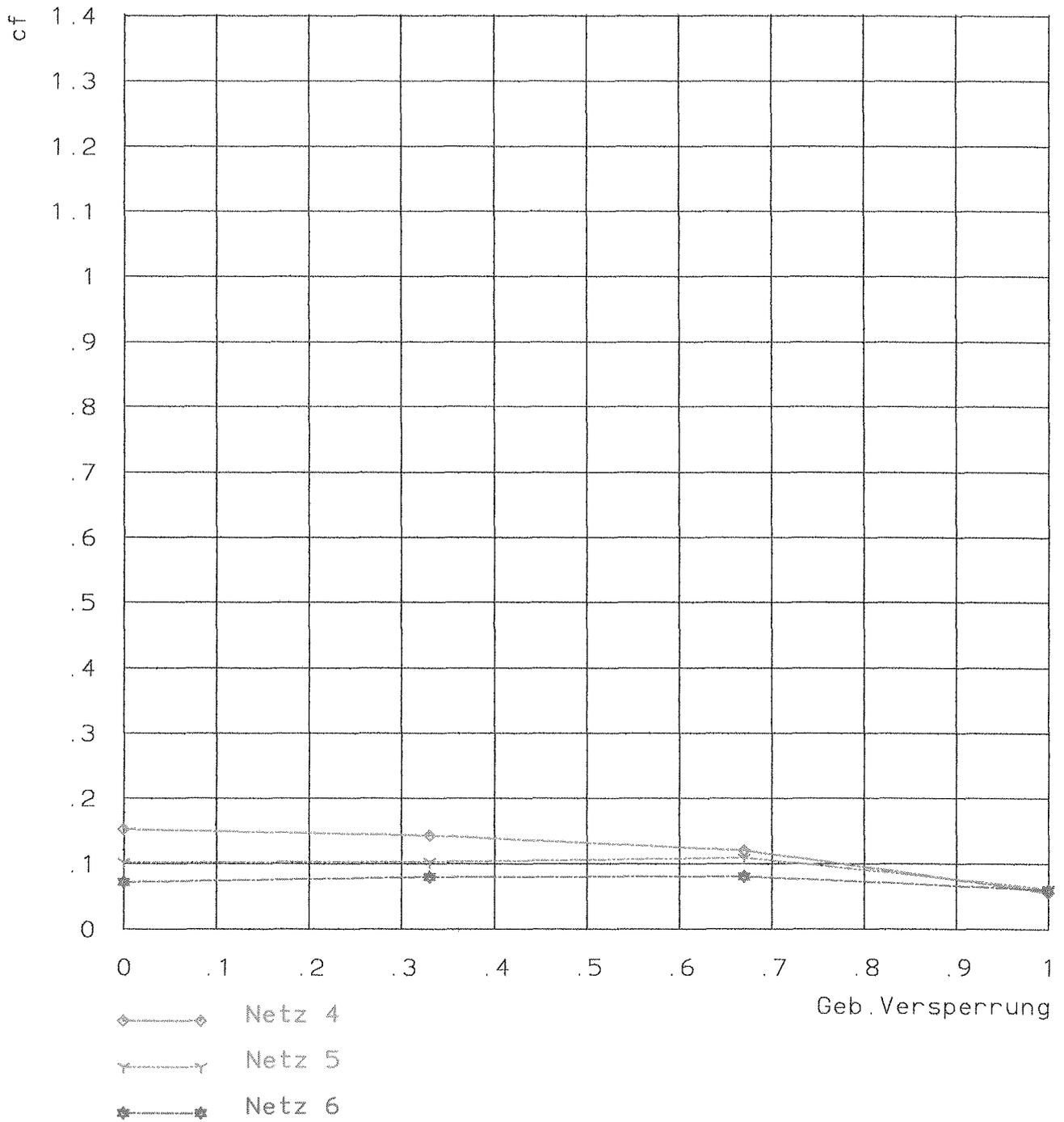
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 34

cfx-Werte Leeseite Feld 5 Gerüst an allen Seiten



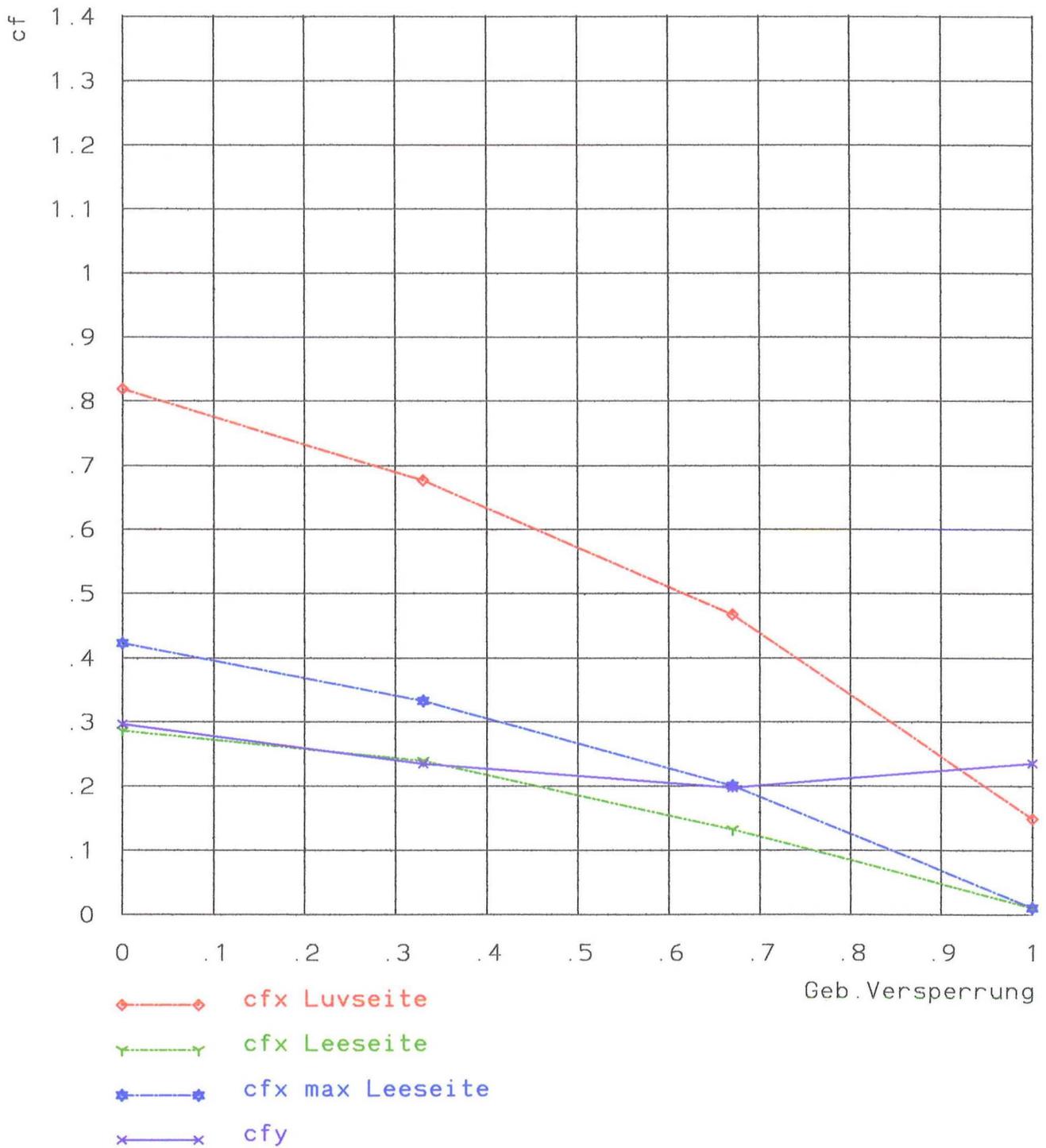
AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 35

cfy-Werte Luvseite Feld 5 Gerüst an allen Seiten



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 36

Netz 5 Feld 2 Gerüst an allen Seiten



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEÖFFNUNG UND NETZART BILD 37

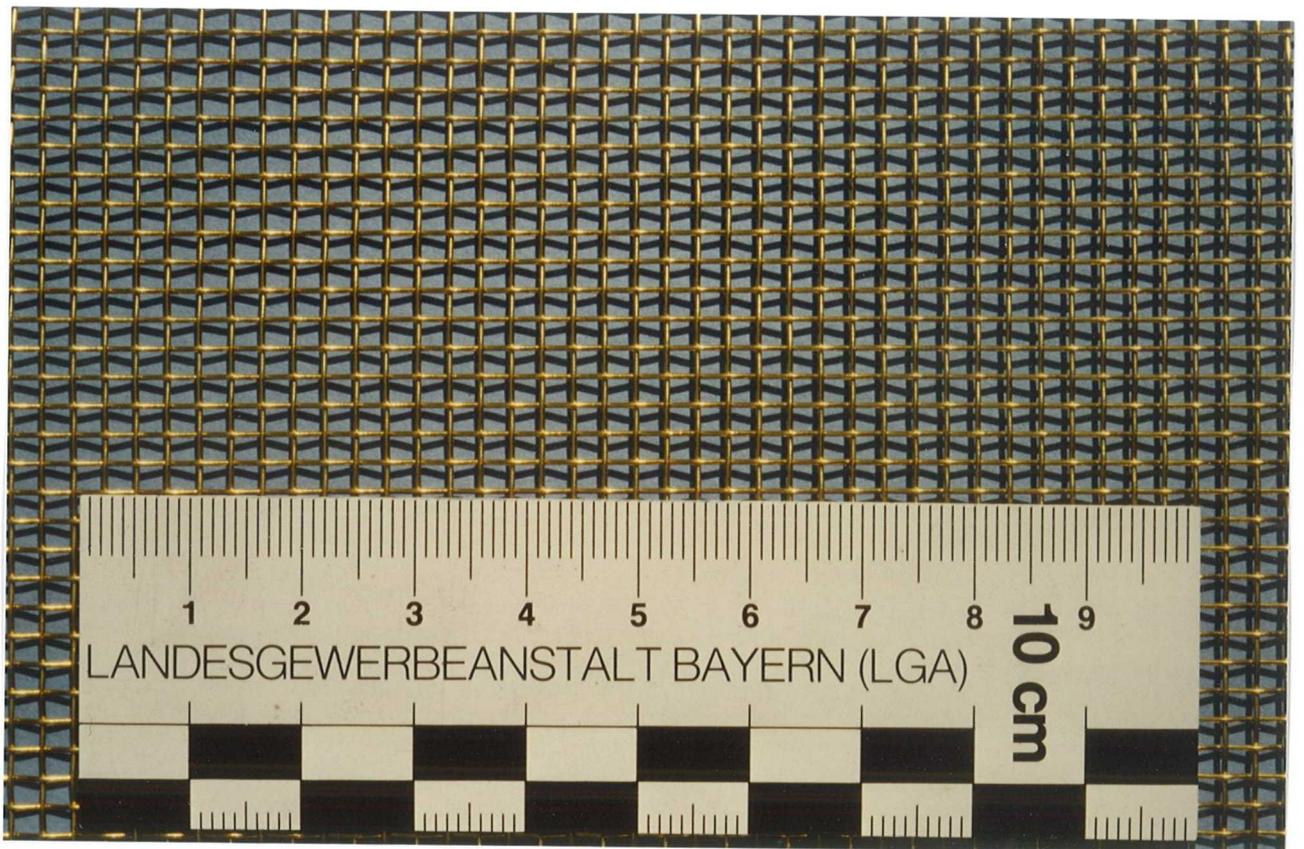


Bild 38: Untersuchte Netzwerkstoffe Netz 1

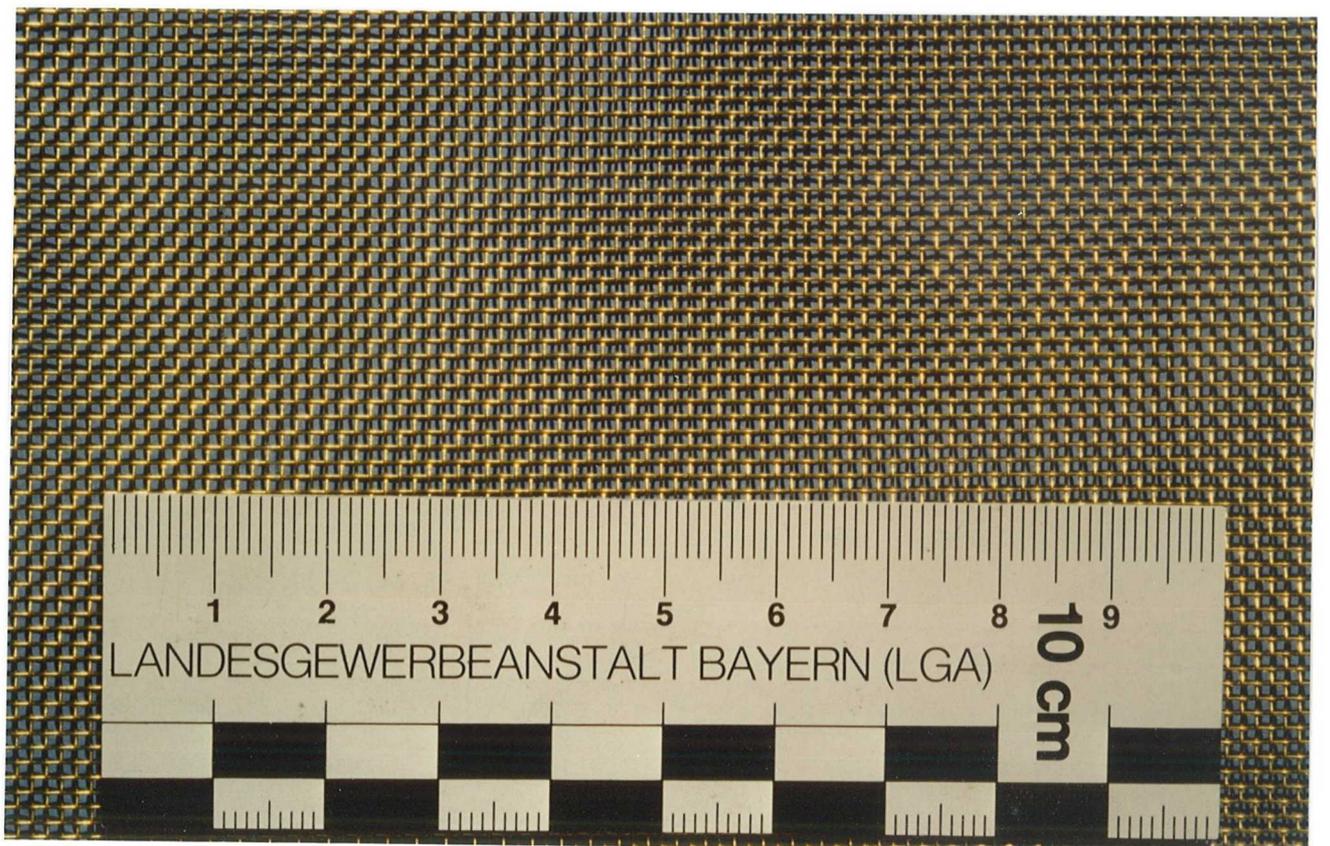


Bild 39: Untersuchte Netzwerkstoffe Netz 2



Bild 40: Untersuchte Netzwerkstoffe Netz 3

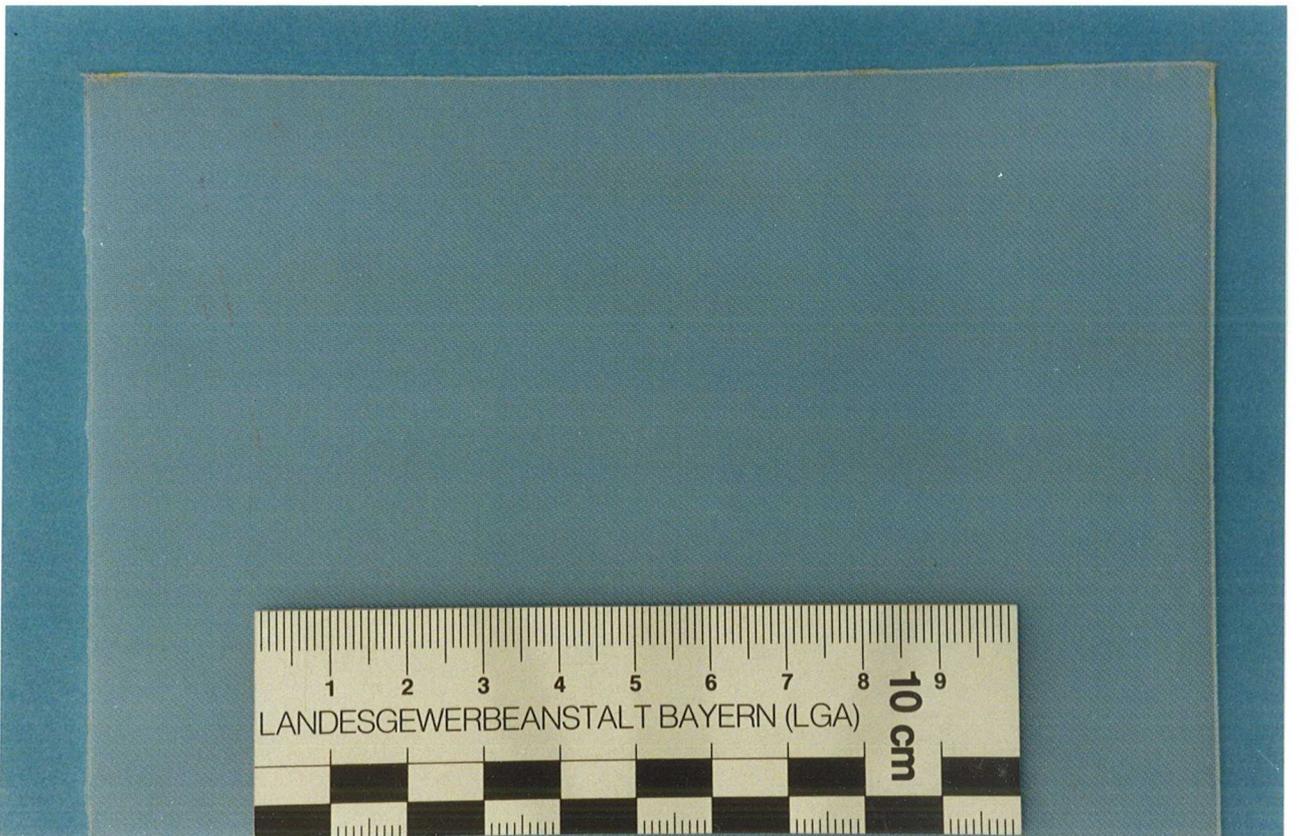


Bild 41: Untersuchte Netzwerkstoffe Netz 5

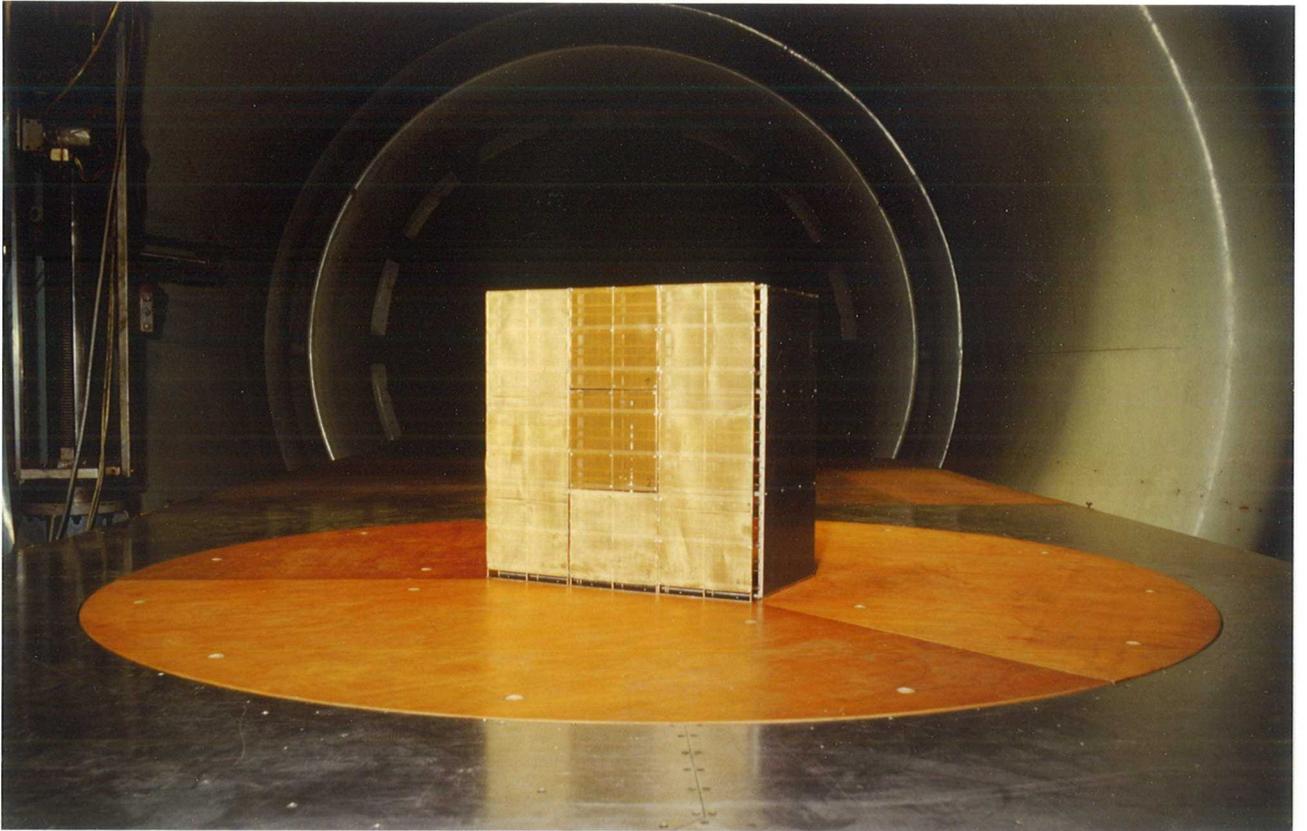


Bild 42: Modell im Windkanal

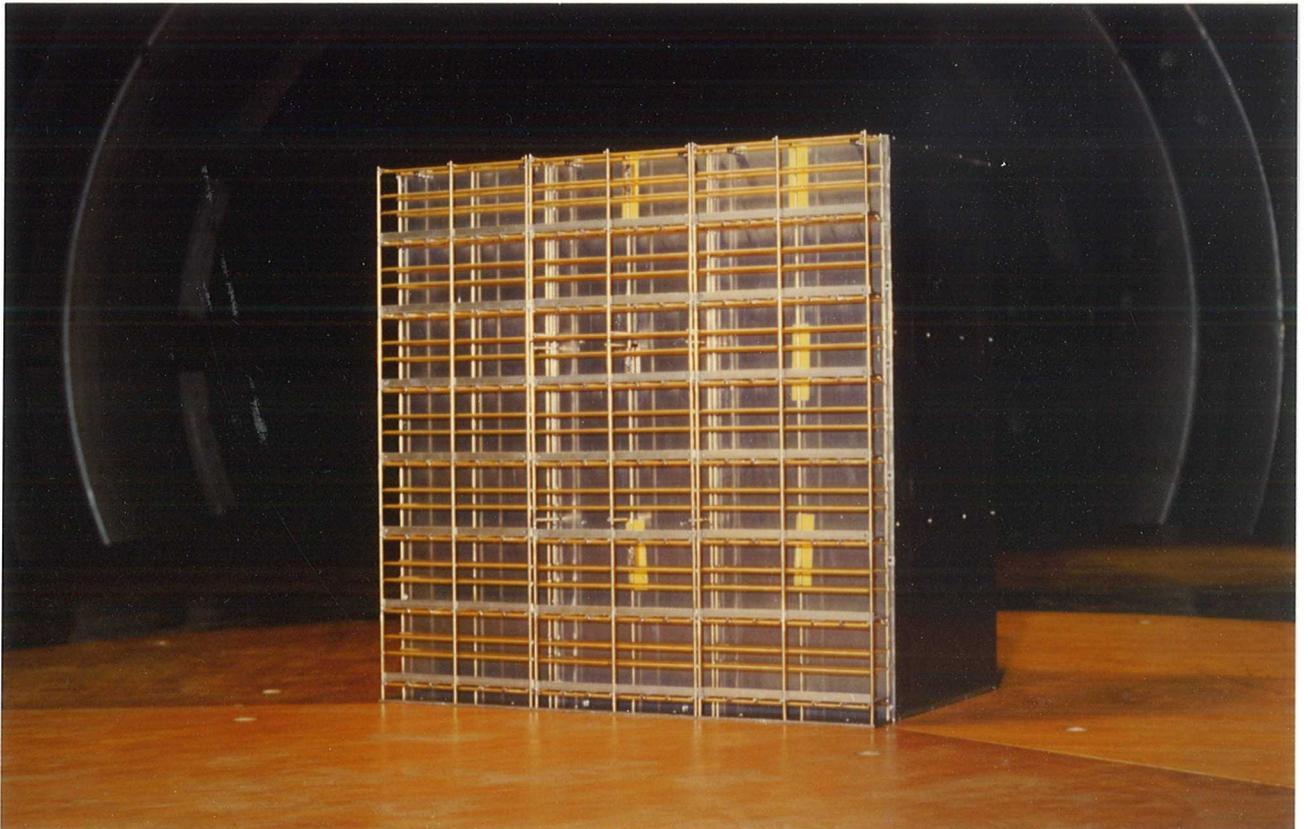


Bild 43: Gerüst ohne Bekleidung



Bild 44: Gerüst bekleidet mit Netz 1



Bild 45: Gebäude mit allseitigem Gerüst

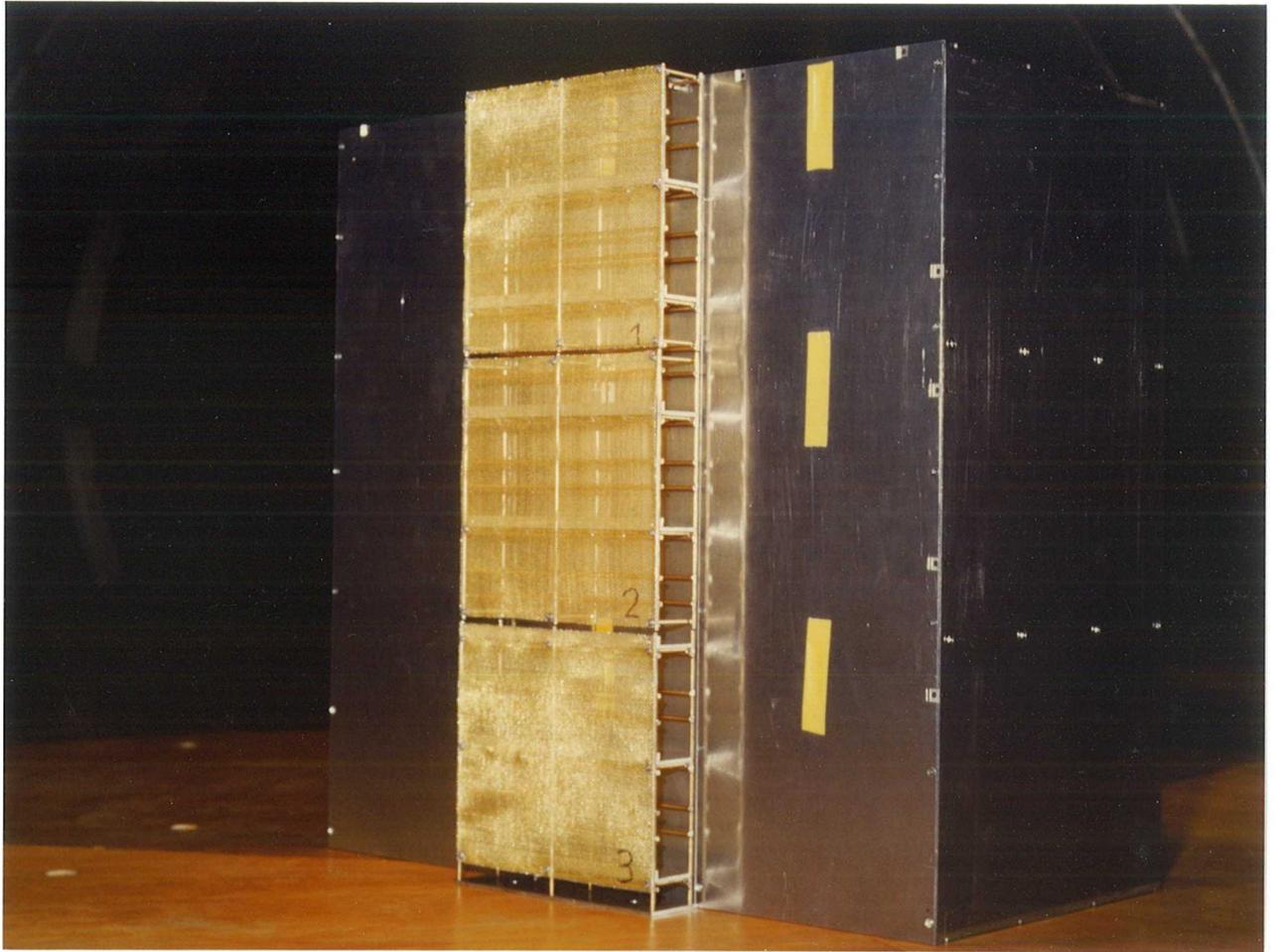


Bild 46: Schmales Gerüst

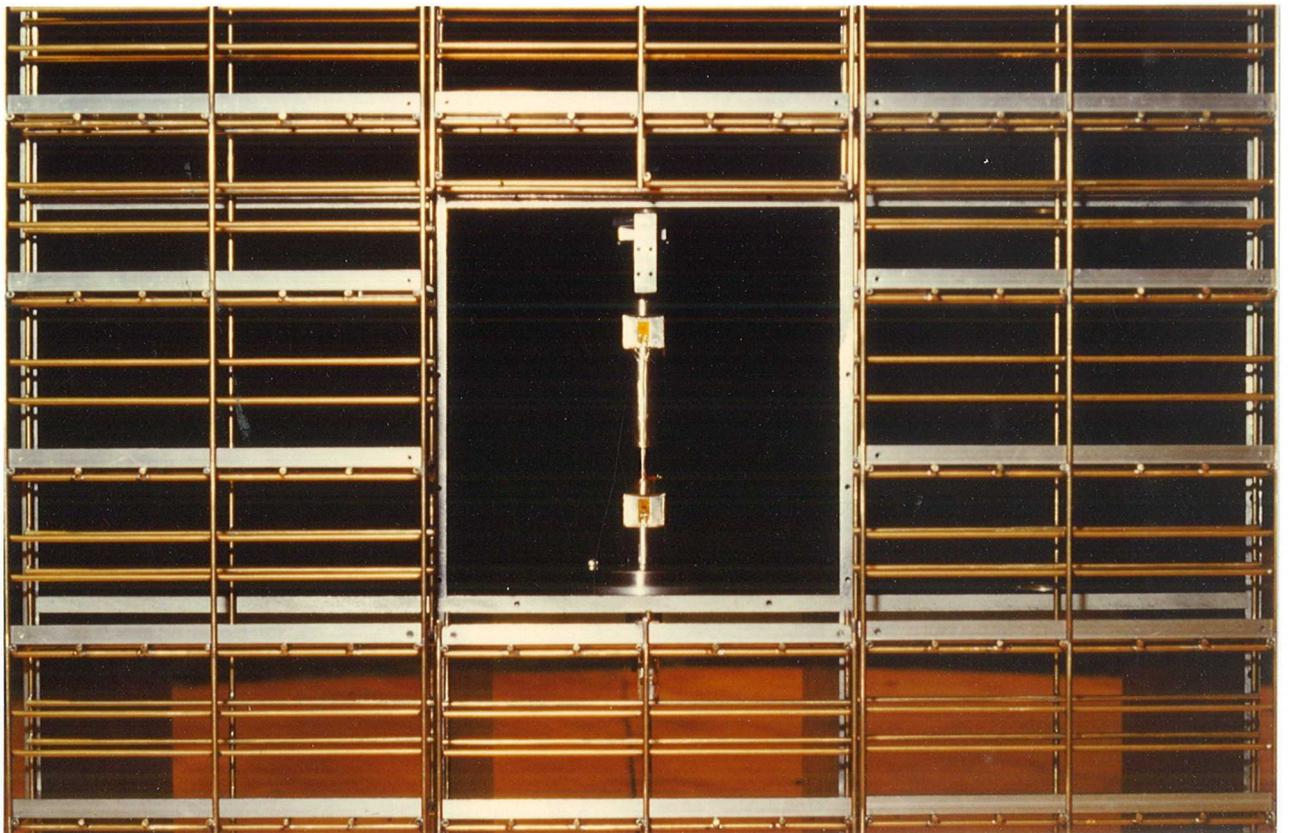


Bild 47: Dehnungsmeßstreifenwaage

Nemeth, -; Schnabel, -

Strömungsmechanische Modellversuche zur Ermittlung der Windlasten auf bekleidete Fassadengerüste

Inhalt

Zielsetzung

Versuchsdurchführung

Versuchsergebnis

Anwendung

Abbildungen

- Bild 1, 2 Aerodynamischer Kraftbeiwert in Abhängigkeit von Gebäudeversperrung und Netzart
- Bild 3 Aerodynamischer Kraftbeiwert in Abhängigkeit von der Netzdurchlässigkeit
- Bild 4 Lagebeiwert in Abhängigkeit von der Gebäudeversperrung

Zielsetzung

Nach DIN 4420 Teil 1 wird die auf ein Gerüst einwirkende Windlast berechnet nach:

$$F = q_j \cdot \chi \cdot c_1 \cdot \sum_i c_{f,i} \cdot A_i$$

mit F = resultierende Windlast

q = Staudruck

χ = Standortfaktor

- c_l = Lagebeiwert in Abhängigkeit von der Lage des Gerüsts in Verbindung mit einer baulichen Anlage
 $c_{f,i}$ = aerodynamischer Kraftbeiwert für das Gerüstbauteil i
 A_i = Bezugsfläche

Der Lagebeiwert c_l beträgt 1. Dieser Wert darf nur bei nicht bekleideten Gerüsten für Wind rechtwinklig zur Fassade in Abhängigkeit von den Gebäudeöffnungen abgemindert werden.

Bei bekleideten Gerüsten ist eine Abminderung nicht vorgesehen.

Als aerodynamische Beiwerte werden angegeben:

- für Anströmung senkrecht zur betrachteten Fläche $c_{f,\perp} = 1,3$
- für Anströmung parallel zur betrachteten Fläche
 - bei Schutzwänden $c_{f,\parallel} = 0,03$
 - bei Planen $c_{f,\parallel} = 0,1$
 - bei Geflechtem und Netzen $c_{f,\parallel} = 0,2$

Der Grad der Luftdurchlässigkeit der verwendeten Bekleidungswerkstoffe wird nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Forschungsarbeit sollte auch für Fassadengerüste, die mit winddurchlässigen Geflechtem oder Netzen bekleidet werden, eine Abminderungsformel für den Lagebeiwert erarbeitet werden. Daneben waren die aerodynamischen Kraftbeiwerte für die Windkraft senkrecht und parallel zur Netzebene für verschiedene Bekleidungswerkstoffe in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit zu ermitteln. Als Durchlässigkeit wird hier die optische Durchlässigkeit, das ist der Anteil an offenen Netzflächen an der Gesamtfläche verstanden.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit verkleinerten Gebäude- und Gerüstmodellen im Windkanal ausgeführt. Der Maßstab betrug rund 1 : 10. Die Bekleidungs- werkstoffe entsprachen dagegen hinsichtlich Fadenstärke und Maschenweite weitgehend den Originalwerkstoffen. Neben Polyestergeweben wurden auch, der besseren Handhabbarkeit wegen, Messiggitter und Messigsiebe eingesetzt. Die verwendeten Netze sind in *Tabelle 1* zusammengestellt. Zu Vergleichszwecken wurde zusätzlich eine Gerüstbekleidung mit Planen mittels PVC-Folie simuliert.

Bezeichnung	Werkstoff	Drahtdurchm. μ	offene Fläche %
Netz 1	grobes Messinggitter	560	67
Netz 2	mittleres Messinggitter	330	57
Netz 3	feines Messingsieb	130	45
Netz 4	Polyestergewebe	140	27
Netz 5	Polyestergewebe	150	22
Netz 6	Polyestergewebe	34	10

Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten Netzwerkstoffe

Als Gebäudemodelle standen ein Baukörper mit den Abmessungsverhältnissen (a:b:h) 1:2:2 und ein würfelförmiger Körper zur Verfügung. Die Versperrung der Fassaden konnte zu 0 (offen), 1/3, 2/3 und 1 (geschlossen) eingestellt werden. Als weiterer Parameter ging die Bekleidung der Gerüststirnseite in die Betrachtung ein. Am bekleideten Fassadengerüst wurden getrennt für die Fassadenmitte und den Fassaden-

rand jeweils bei Anströmrichtungen zwischen $\beta = 0^\circ$ (Gerüst an der Luvseite) und $\beta = 180^\circ$ (Gerüst an der Leeseite) bei Winkelschritten von $\Delta\beta = 15^\circ$ die Windkräfte senkrecht und parallel zur Fassade mit Hilfe einer Dehnungsmeßstreifenwaage gemessen. Aus den gemessenen Windkräften wurden die entsprechenden aerodynamischen Kraftbeiwerte berechnet.

Versuchsergebnisse

Die wichtigsten Versuchsergebnisse sind in den *Bildern 1 bis 4* zusammengestellt. In *Bild 1* ist der aerodynamische Kraftbeiwert für Netze unterschiedlicher Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Gebäudeversperrung aufgetragen.

Für Netze mit Durchlässigkeiten $> 20\%$ fällt der Beiwert mit zunehmender Gebäudeversperrung in grober Annäherung linear ab. Der Ausgangswert bei Gebäudeversperrung 1 hängt von der Durchlässigkeit des Netzes ab. Bei geschlossener Bauwerksfassade liegen die Werte für alle Netze nahe bei Null. Die hier für ein Gerüst an der Gebäudeluvseite dargestellten Kurven gelten ähnlich auch für die Gebäudeleeseite.

Bei dichteren Geweben und an winddichten Planen kann ein linearer Zusammenhang mit der Gebäudeversperrung nicht mehr angenommen werden. Hier bleibt der Beiwert an der Gebäudeluvseite vielmehr (insbesondere bei den winddichten Planen) weitgehend konstant.

Wie *Bild 2* zeigt, besteht zwischen dem Windkraftbeiwert $c_{f,\parallel}$ und der Gebäudeversperrung bei allen untersuchten Netzen ein weitgehend linearer Zusammenhang. Die Neigung der Kurven sowie die Unterschiede zwischen Netzen unterschiedlicher Durchlässigkeit sind gering.

In *Bild 3* ist für die hier untersuchten sechs Netzwerkstoffe und die winddichte Plane der Beiwert $c_{f,\perp}$ in Abhängigkeit von der optischen Durchlässigkeit aufgetragen.

Anwendung

Anhand der Versuchsergebnisse wird es möglich, auch für winddurchlässige Gerüstbekleidungen, Lagefaktoren zu berechnen. Dabei sollten Netzgewebe mit nur geringer Durchlässigkeit (< 20 %) wie winddichte Planen behandelt und der Lagefaktor für die Windkraft senkrecht zur Netzebene, wie bisher üblich, zu $c_1 = 1,0$ angesetzt werden.

Für stärker durchlässige Netze kann der Lagefaktor nach *Bild 4* in Abhängigkeit von der Gebäudeversperrung abgemindert werden.

Eine Abschätzung der Beiwerte für die Windkraft ist nach folgenden Regeln möglich:

Der Beiwert für die Windkraft senkrecht zur Fassade für Gewebe mit Durchlässigkeit < 20 % ist

$$c_{f,\perp} = 1,3.$$

Für Netze, deren optische Durchlässigkeiten δ_N zwischen 20 % und 90 % liegen, ist

$$c_{f,\perp} = 1,3 - 0,01625 (\delta_N - 20)$$

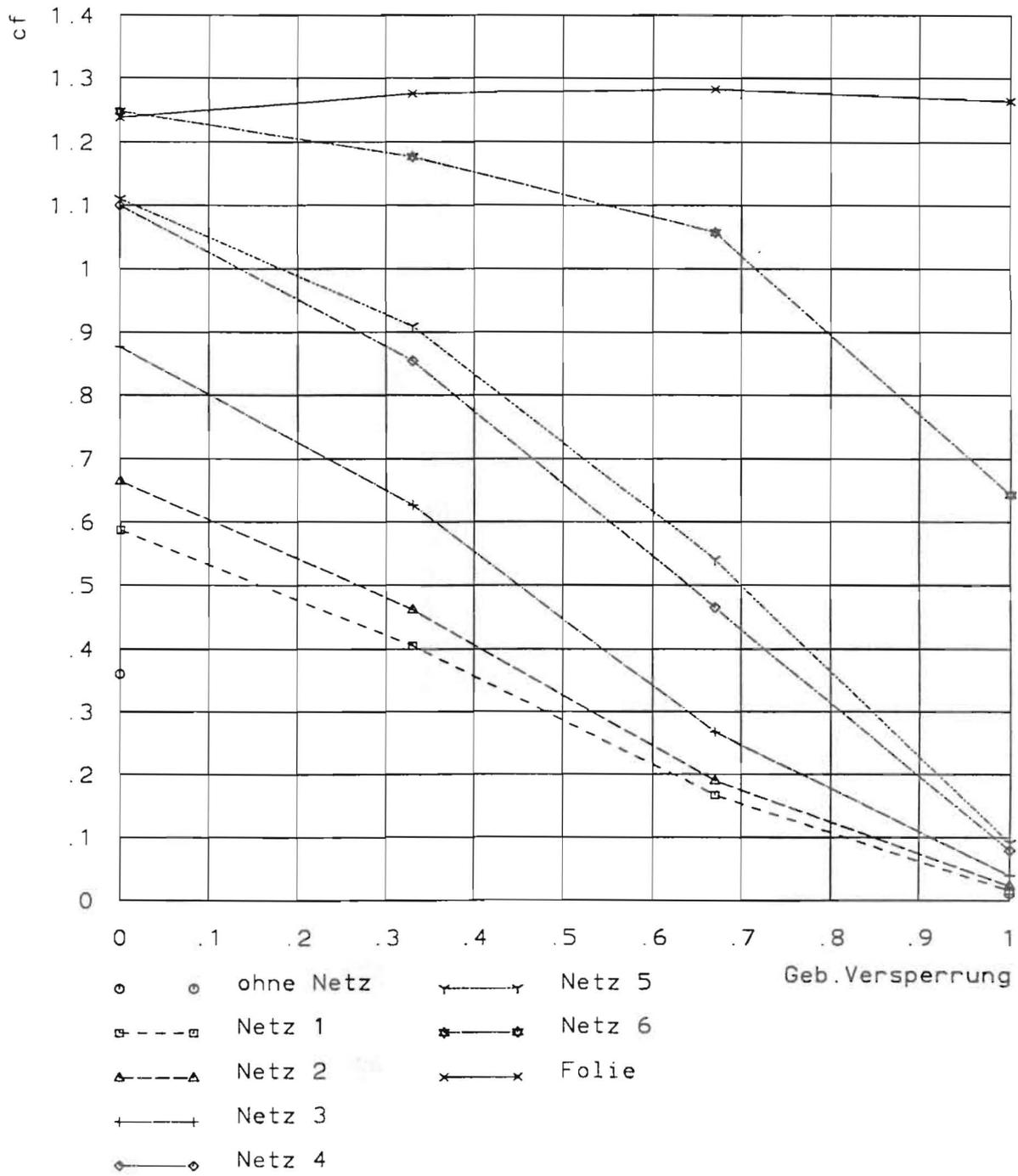
wobei die Netzdurchlässigkeit in % einzusetzen ist (siehe auch *Bild 3*).

Für Windkraft parallel zur Netzebene ist der Lagefaktor immer $c_1 = 1,0$.

Der aerodynamische Beiwert beträgt:

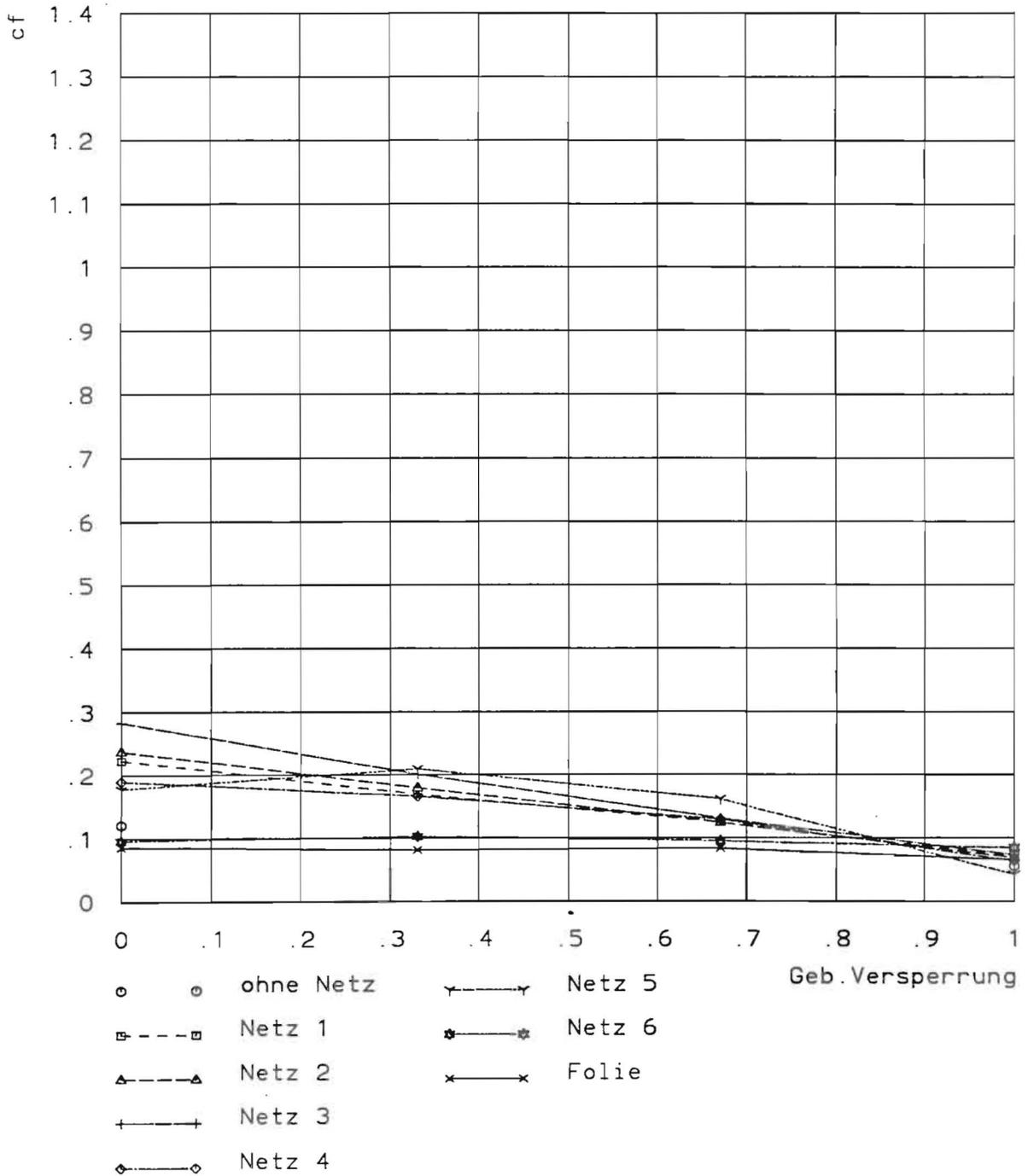
- für glatte, winddichte Folien: $c_{f,\parallel} = 0,1$
- für alle übrigen Geflechte und Netze $c_{f,\parallel} = 0,3.$

cfx-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite offen

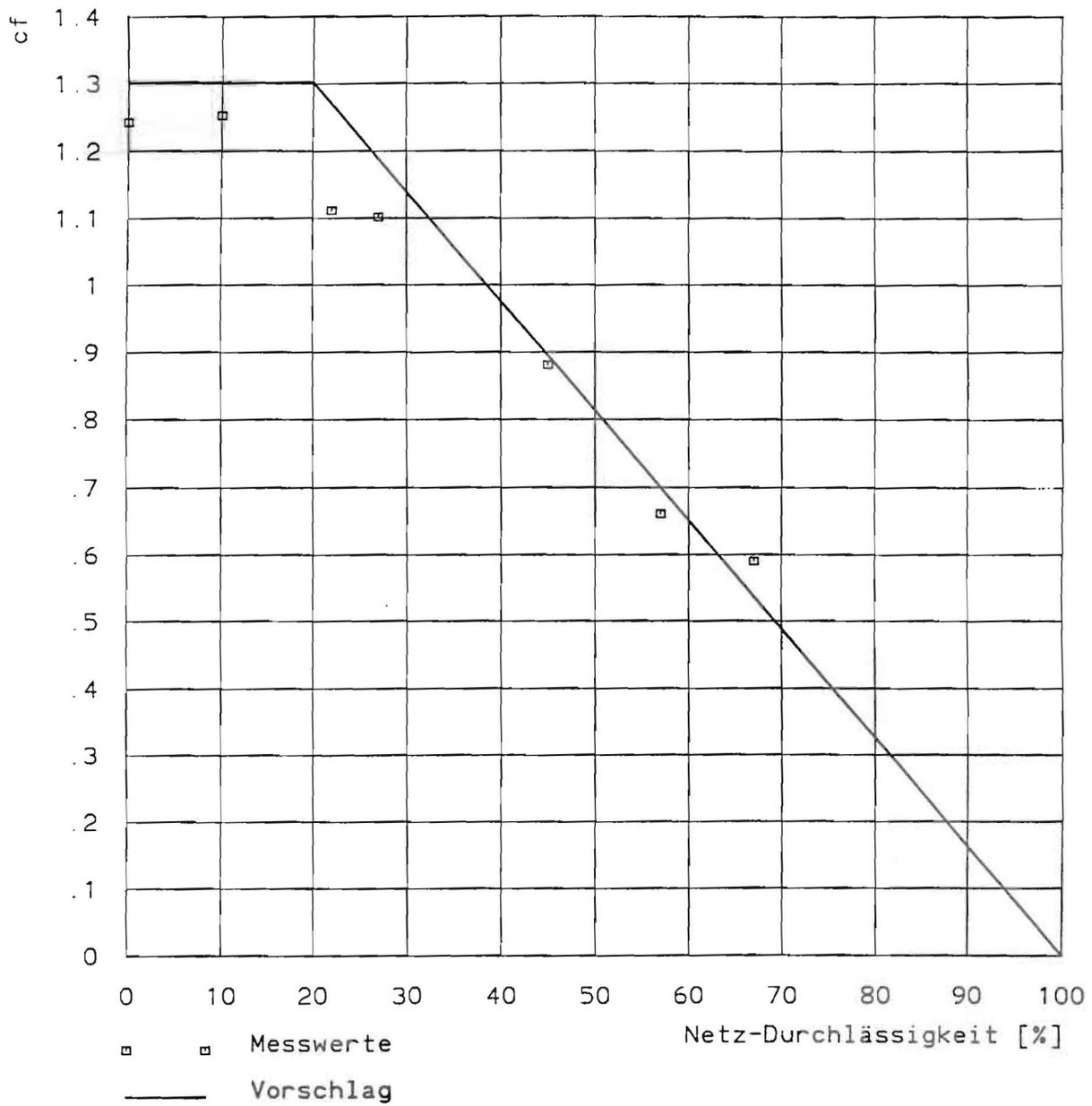


AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEVERSERRUNG UND NETZART BILD 1

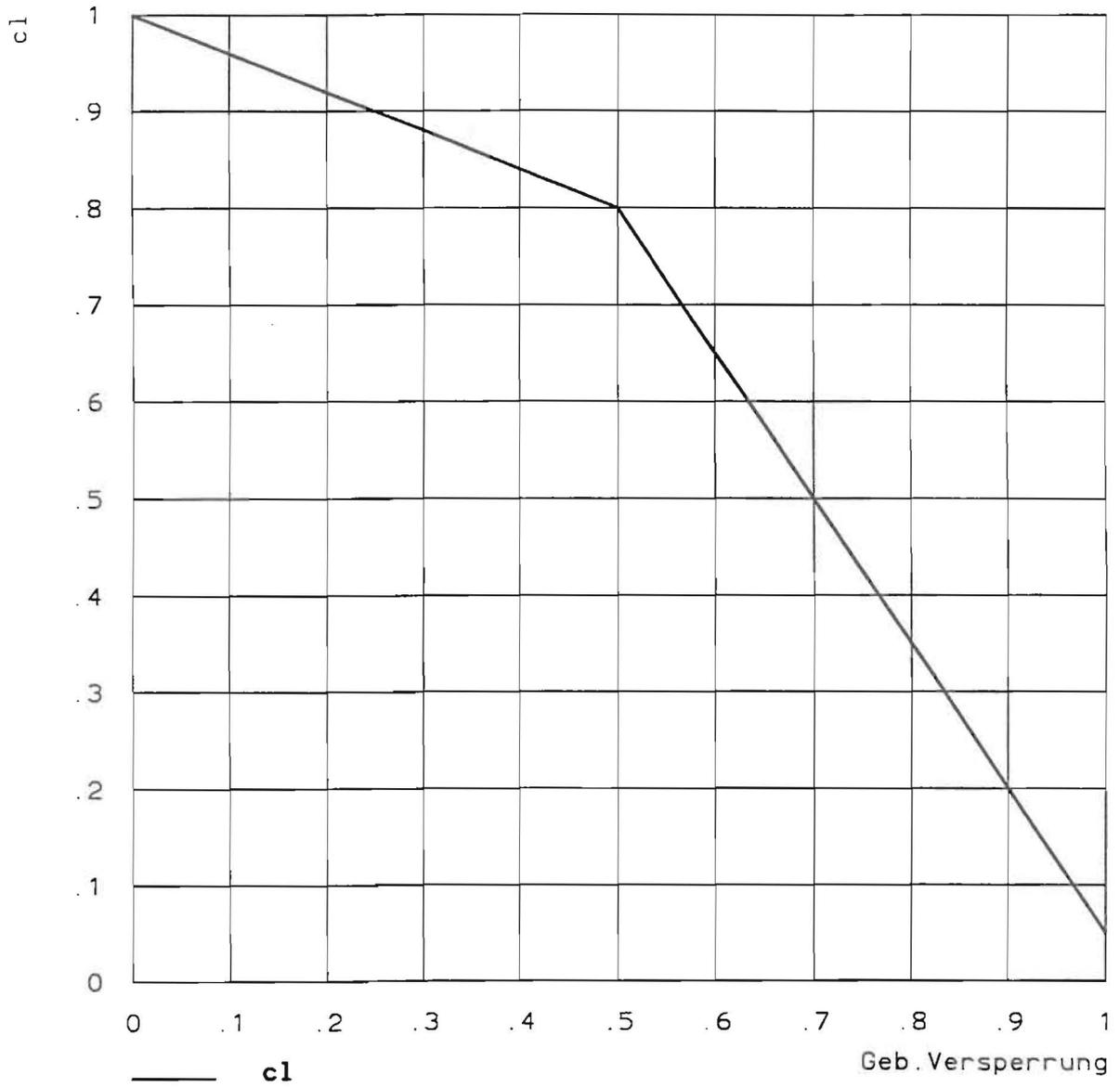
cfy-Werte Luvseite Feld 5 Stirnseite offen



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON GEBÄUDEVERSERRUNG UND NETZART BILD 2



AERODYNAMISCHE KRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NETZDURCHLÄSSIGKEIT BILD 3



LAGEBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON
DER GEBÄUDEVERSERRUNG

BILD 4

Forschungsbericht:	abgeschlossen Januar 1994, 66 Seiten, Kopie DM 41,70 inkl. MwSt. zuzüglich Versandkosten
	Engl. Kurzbericht im IRB vorhanden
Bezug bei:	IRB Verlag, Fraunhofer-Informationszentrum RAUM und BAU (IRB), Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart, Telefon (0711)970-2500, Telefax (0711)970-2508, Telex 7 255 168
Bestellnummer:	T 2598
Auftraggeber/Förderer:	Deutsches Institut für Bautechnik -DIBt-, Berlin
Ausführende Stelle:	Landesgewerbeanstalt Bayern -LGA-, Zweigstelle München

T 2598

Research Project

Flow Model Tests to Ascertain Wind Loads
on Covered Building Front Scaffolding
Resumé

Ref.No. IV 1-5-659/91

In order to calculate the wind load that impinges on covered building front scaffolding in accordance with DIN 4420 Section 1, a positional coefficient describing the building's permeability and the aerodynamic force coefficients for the scaffolding's covering material are required, among other things. In the current version of DIN 4420 Section 1, the ascertainment of the positional coefficient incorporates the building's permeability with respect to uncovered scaffolding only. Regarding the magnitude of the aerodynamic coefficients, wind-impermeable and wind-permeable materials are largely treated as if they were the same.

A

In the present research project, the aerodynamic force coefficients were ascertained for six covering materials with (optical) permeability rates of 10% to 67% and for wind-impermeable tarpaulins. The scaffolding was either attached to the building on one side or completely enclosed the building. Building permeability was varied in four stages. Other parameters included in the calculations were the length of the scaffolding and the frontage covering.

The test results showed a marked difference between covering materials with high permeability (> 20%) and

those with low permeability rates. In the case of highly permeable fabrics, the wind force declines in approximately linear fashion the greater the building permeability is. As opposed to this, building permeability exerts substantially less influence in the case of wind-impermeable or low-impermeable covering materials.

We therefore suggest the definition of two material groups for ascertaining the positional coefficient of covered scaffolding: In the case of wind-impermeable tarpaulins and scaffolding nets with permeability rates of $< 20\%$, the positional coefficient defined in DIN 4420 Section 1 should be retained. For nets with greater wind permeability, the positional coefficient can be reduced as a function of building permeability. Appropriate reduction formulas are indicated.

T 2508

Etude et essais technique sur les courants pour le calcul des charges dues à l'action du vent sur les échafaudages de façades avec revêtement

Résumé

AZ: IV 1-5-659/91

Pour le calcul de la charge due à l'action du vent sur un échafaudage de façade avec revêtement selon DIN 4420, partie 1, il faut notamment un coefficient de position qui décrit la perméabilité du bâtiment et les coefficients de forces aérodynamiques pour les matériaux de revêtement. Dans la version actuelle de DIN 4420, partie 1, la perméabilité du bâtiment n'est prise en considération dans le calcul du coefficient de position que dans le cas d'échafaudages sans revêtement. En ce qui concerne la grandeur des coefficients aérodynamiques, les matériaux de revêtement étanches au vent et perméables au vent sont traités dans une large mesure de la même manière.

Dans le cadre de l'étude présente, les coefficients de forces aérodynamiques ont été calculés pour six matériaux de revêtement avec perméabilités (optiques) de 10% à 67% et pour des bâches inétanches au vent. Les échafaudages étaient soit montés sur un côté du bâtiment ou bien entouraient entièrement le corps du bâtiment. La perméabilité du bâtiment a été variée selon quatre degrés. La longueur du bâtiment et le revêtement du côté

frontal furent également pris en considération comme paramètres.

Le résultat du test présente une différence frappante entre les matériaux de revêtement de plus grande perméabilité (plus de 20%) et ceux avec perméabilité plus faible. Dans le cas de tissus très perméables, la force du vent diminue de manière à peu près linéaire avec une perméabilité de bâtiment croissante. Par contre, dans le cas de matériaux de revêtement étanches au vent ou peu perméables, la perméabilité du bâtiment a une influence beaucoup moins grande.

Il est donc proposé dans le calcul du coefficient de position pour des échafaudages avec revêtement de prévoir deux groupes de matériaux: pour des bâches et filets d'échafaudage étanches au vent avec des perméabilités < 20% le coefficient de position de 1 indiqué actuellement dans DIN 4420 partie 1 devrait être maintenu. Pour les filets plus perméables au vent, le coefficient de position peut être diminué par rapport à la perméabilité du bâtiment. Des formules de réduction correspondantes sont indiquées.