

**Strömungstechnische Untersuchungen
zur Ermittlung aerodynamischer
Beiwerte für prismatische Baukörper**

T 971

T 971

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1999

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.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



Abschlußbericht

zum Forschungsvorhaben:

Strömungstechnische Untersuchungen zur Ermittlung
aerodynamischer Beiwerte für prismatische Baukörper

Auftraggeber: Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 72 - 76
1000 Berlin 30

Az.: IV/1-5-242/80/81

Umfang des Berichtes: Textseiten 1 - 30
Abbildungen 1 - 86

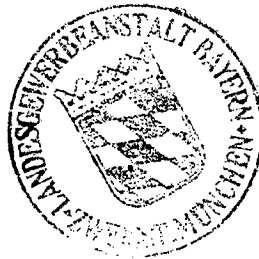
München, den 7. April 1982

A 1/80

Schn/Sc

Der Bearbeiter:

Dipl. Ing. Schnabel
(Bauberrat)



Landesgewerbeanstalt Bayern
Aerodynamische Untersuchungsstelle
für bauliche Anlagen

(Bach)

Ltd. Baudirektor



Inhalt:

1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Literatur
4. Versuchsbeschreibung
 - 4.1 Modelle
 - 4.2 Meßgeräte
 - 4.2.1 Dehnungsmeßanlage für Kraftmessungen
 - 4.2.2 Vielfachmanometer für Druckverteilungsmessungen
 - 4.2.3 Geräte zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal
 - 4.3 Windkanal
 - 4.4 Meßprogramm
 - 4.5 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte
 - 4.5.1 Kraft- und Momentenbeiwerte
 - 4.5.2 Druckbeiwerte
5. Versuchsergebnisse
 - 5.1 Übersicht
 - 5.2 Einfluß verschiedener Parameter
 - 5.2.1 Versperrung
 - 5.2.2 Anströmrichtung
 - 5.2.3 Grundrißabmessungen l/b
 - 5.2.4 Höhenverhältnis h/b



- 5.2.5 Dachneigungswinkel α
- 5.3 Aerodynamischer Kraftbeiwert
 - 5.3.1 Gebäude mit Flachdach
 - 5.3.2 Gebäude mit Satteldach
- 5.4 Druckbeiwerte
 - 5.4.1 Luvseitige Wand
 - 5.4.2 Leeseitige Wand
 - 5.4.3 Windparallele Wand
 - 5.4.4 Flachdach
 - 5.4.5 Satteldach, luvseitige Dachfläche
 - 5.4.6 Satteldach, leeseitige Dachfläche
 - 5.4.7 Dachstaffelungen (Sheddächer)
- 6. Zusammenfassende Bewertung der Versuchsergebnisse
- 7. Vorschlag für die Darstellung der Ergebnisse in der Beiwertsammlung zu DIN 1055 Blatt 4
- 8. Literaturverzeichnis

Abbildungen:

- Abb. 1 - 30 Meßstellenpläne
- Abb. 31 Versuchsaufbau für die Kraftmessung
- Abb. 32 Versuchsaufbau für die Druckverteilungsmessung
- Abb. 33 Bezeichnungen, Koordinatensystem
- Abb. 34 Grenzschichtprofil über der Bodenplatte
- Abb. 35 Druckbeiwerte in Abhängigkeit von der Anströmrichtung
- Abb. 36 - 43 Gemittelte Druckbeiwerte in Abhängigkeit von der Anströmrichtung
- Abb. 44 Druckverteilung an der windparallelen Wand
- Abb. 45 - 50 Kraft- und Momentenbeiwerte in Abhängigkeit von der Anströmrichtung
- Abb. 51 - 56 Maximale Windkraftbeiwerte in Abhängigkeit von dem Verhältnis l/b
- Abb. 57 - 58 Kraftbeiwerte in Abhängigkeit vom Verhältnis h/b
- Abb. 59 - 60 Gemittelte Druckbeiwerte an der windparallelen Wand in Abhängigkeit vom Verhältnis h/b
- Abb. 61 - 62 Maximale Windkraftbeiwerte in Abhängigkeit von der Dachneigung α
- Abb. 63 Kraftbeiwerte für Gebäude mit rechteckigem Grundriß
- Abb. 64 Kraftbeiwerte für Gebäude mit quadratischem Grundriß
- Abb. 65 - 66 Kraftbeiwerte für Gebäude mit Satteldach



- Abb. 67 - 74 Gemittelte Druckbeiwerte an den Wandflächen
- Abb. 75 Gemittelte Druckbeiwerte am Flachdach
- Abb. 76 Gemittelte Druckbeiwerte an der luvseitigen
Dachfläche
- Abb. 77 Gemittelte Druckbeiwerte an der leeseitigen
Dachfläche
- Abb. 78 - 79 Windbelastung von Sheddächern
- Abb. 80 Kraftbeiwerte
- Abb. 81 Druckbeiwerte für Wandflächen
- Abb. 82 Druckbeiwerte für Dachflächen
- Abb. 83 Kraft- und Druckbeiwerte für Sheddächer
- Abb. 84 Gebäudemodelle für Kraftmessungen
- Abb. 85 Gebäudemodelle für Druckverteilungsmessungen
- Abb. 86 Modell Shedhalle im Windkanal



1. Einleitung

Im Rahmen der Neubearbeitung von DIN 1055 Blatt 4 "Lastannahmen für Bauten - Verkehrslasten - Windlasten" [1] sollten auch in den Abschnitt über aerodynamische Beiwerte zwischenzeitlich gewonnene neue Erkenntnisse mit einfließen. Zu diesem Zweck waren Forschungsarbeiten zur Auswertung von Versuchsberichten, ausländischen Normen und anderen Literaturstellen vergeben worden. Für den Bereich prismatischer Baukörper hatte diese Aufgabe die Aerodynamische Untersuchungsstelle für bauliche Anlagen der Landesgewerbeanstalt Bayern übernommen.

Ursprünglich war man davon ausgegangen, daß das vorhandene Material ausreichen würde, um die Beiwerte in detaillierter Form in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, wie z.B. Größenverhältnis, Dachneigung, Grundrißform darstellen zu können. Es zeigte sich jedoch, daß dies aus mehreren Gründen nicht möglich war. Einmal lagen systematische Untersuchungen nur für niedrige Gebäude vor, zum anderen ergaben sich zwischen den Ergebnissen aus verschiedenen Laboratorien erhebliche Abweichungen, deren Ursachen nicht befriedigend geklärt werden konnten.

Aufgrund dieser Sachlage wurden für die Beiwertsammlung zur sog. "Zwischenlösung" von DIN 1055 Blatt 4 zunächst pauschale, auf der sicheren Seite liegende und für alle Gebäudeabmessungen innerhalb des definierten Abmessungsbereiches gültige Beiwerte angegeben. Da diese jedoch die bisherigen Werte z.T. erheblich überstiegen, kam es zu Einsprüchen der betroffenen Anwender. Schließlich wurden die Beiwerte für Teilbereiche aufgrund der Ergebnisse eigens zu diesem Zweck durchgeführter Versuche in para-



meterabhängiger Form angegeben. Dadurch ergibt sich jedoch die unbefriedigende Situation, daß das Windlastproblem in Teilbereichen weitgehend differenziert, im übrigen nur pauschal behandelt wird.

2. Zielsetzung

Für die vorliegende Forschungsarbeit ergab sich hieraus folgende Zielsetzung: Die bereits vorhandenen Daten waren durch die Ergebnisse experimenteller Modellversuche so zu ergänzen, daß eine geschlossene Darstellung der aerodynamischen Kraft- und Druckbeiwerte für prismatische Baukörper in Abhängigkeit von den Parametern Grundrißabmessungen (l/b), Höhenverhältnis (h/b) und Dachneigungswinkel (α) möglich wurde. Darüber hinaus sollten Hinweise auf die Behandlung von Dachstaffelungen (Sheddächer) gewonnen werden.

Insgesamt konnte von dieser Vorgehensweise neben der Vereinheitlichung der Darstellung innerhalb der Norm auch eine Reduzierung der Beiwerte für Gebäude mit bestimmten Abmessungsverhältnissen erwartet werden. Damit diente diese Arbeit letztlich auch dem Ziel, für eine gegebene Aufgabenstellung die unter Einhaltung ausreichender Sicherheit wirtschaftlichste Lösung zu finden.

3. Literatur

Da die vorliegende Arbeit unmittelbar an das im Rahmen der Forschungsarbeit: "Zusammenstellung von Berechnungsangaben aerodynamischer Beiwerte für prismatische Bau-



körper" [2] durchgeführte Literaturstudium anschließt, kann hier auf die Besprechung einzelner Literaturstellen verzichtet werden.

Es erscheint jedoch sinnvoll, auf die inzwischen vorliegende Beiwertsammlung zu DIN 1055 Blatt 4 näher einzugehen.

Dort wird für prismatische Baukörper der Kraftbeiwert unabhängig von den Baukörperproportionen zu $c_f = 1,3$ angegeben. Dieser setzt sich, bei Vernachlässigung von Reibung, zusammen aus dem über der Gebäudeluvseite gemittelten Druckbeiwert von $c_{pm} = +0,8$ und dem gemittelten Sogbeiwert an der Gebäudeleeseite von $c_{pm} = -0,5$. Für die Beurteilung der maximalen Windsogbelastung von einzelnen Wandflächen ist der Wert an der windparallelen Wand maßgebend. Er wird in Abhängigkeit vom Höhenverhältnis h/b wie folgt angegeben: $h/b \geq 0,5$: $c_{pm} = -0,7$; $h/b \leq 0,25$: $c_{pm} = -0,5$. Für den Randbereich der Breite $1 \text{ m} \leq b/8 \leq 2 \text{ m}$ wird die Berücksichtigung eines erhöhten Windsogbeiwertes von $c_{pm} = -2,0$ gefordert.

Die Winddruckverhältnisse an Satteldächern sind in DIN 1055 Blatt 4 in Diagrammform in Abhängigkeit vom Dachneigungswinkel α angegeben. Auch hier werden erhöhte Windsogbeiwerte für den Rand- und Eckbereich genannt, wobei bei vereinfachter Betrachtungsweise die Parameter h/b und l/b nicht berücksichtigt werden. Für genauere Berechnungen sind die erhöhten Sogbeiwerte am Dach zusätzlich in Abhängigkeit von den genannten Parametern angegeben (Tabelle 1).



4. Versuchsbeschreibung

4.1 Modelle

Die für die Windkanalexperimente benötigten Gebäudemodelle wurden aus Plexiglas in der Werkstatt der Aerodynamischen Untersuchungsstelle angefertigt. Dabei waren die Versuchskörper in quaderförmige Grundkörper und dazu passende Satteldachmodelle mit Neigungen von 15° , 30° und 45° aufgeteilt. Durch Kombination dieser Teilmodelle ließ sich eine Vielzahl von Gebäudetypen darstellen (Abb. 84, 85).

Die für die Druckmessungen vorgesehenen Modellteile erhielten in einem gleichmäßig geteiltem Raster angeordnete Druckmeßbohrungen von 0,6 mm Innendurchmesser. Die Verteilung der Druckmeßstellen auf den Modelloberflächen ist aus den Meßstellenplänen zu ersehen (Abb. 1 - 30).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die hier vermessenen Modellvarianten. Insgesamt wurden an 64 Modellen Kraftmessungen und an 30 Modellen Druckverteilungsmessungen durchgeführt.

4.2 Meßgeräte

4.2.1 Dehnungsmeßanlage für Kraftmessungen

Zur Ermittlung der auf die Modellkörper einwirkenden Windkräfte wurden Dehnungsmeßstreifenwaagen eingesetzt. Bei diesem Meßverfahren



wird die an der Modelloberfläche angreifende Windkraft auf einen im Modellinneren angeordneten Biegebalken übertragen. Dieser ist an geeigneten Stellen durch Ausfräsung geschwächt und mit Dehnungsmeßstreifen bestückt. Die Dehnungsmeßstreifen stellen elektrische Widerstände mit genau bekannter Leitfähigkeit dar. Dehnung oder Stauchung der Streifen bewirkt eine Widerstandsänderung. Auf diese Weise kann eine auf den Biegebalken einwirkende Kraft in ein der Kraft proportionales elektrisches Signal umgesetzt werden.

Speisung, Abgleich und Umschaltung der zu Halbbrücken verdrahteten Dehnungsmeßstreifen erfolgte durch eine Gleichspannungsmeßbrücke mit Umschalteinheit. Das der Windkraft proportionale analoge Spannungssignal wurde in einem Digitalvoltmeter digitalisiert und einem Tischrechner zur weiteren Verarbeitung zugeleitet. Von hier aus erfolgte auch die Steuerung des gesamten Meßablaufs. Die Meßergebnisse wurden auf Magnetband gespeichert und über einen im Rechner eingebauten Drucker ausgegeben. Wahlweise konnte die Ausgabe auch in graphischer Form mit Hilfe eines an den Rechner angeschlossenen Plotters erfolgen (Abb. 31).

4.2.2 Vielfachmanometer für Druckverteilungsmessungen

Für die Erfassung der Winddrücke wurde ein flüssigkeitsgefülltes Vielfachmanometer einge-



setzt. Mit diesem Instrument konnten die an allen Meßstellen eines Modells anstehenden Drücke gleichzeitig dargestellt werden. Die Meßwertregistrierung erfolgte durch Fotografieren der Manometeranzeige. Auch hier wurde für die Auswertung der Filmstreifen ein Tischrechner eingesetzt.

Das geschilderte Druckmeßverfahren wurde elektrischen Meßmethoden wegen der größeren Zuverlässigkeit, der höheren Genauigkeit sowie wegen der dadurch möglichen erheblich kürzeren Windkanalbelegungszeiten vorgezogen (Abb. 32).

4.2.3 Geräte zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal

Die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgte über den Geschwindigkeitsdruck q . Dieser wurde mittels eines in der Meßstrecke des Windkanals angeordneten Prandtl-Rohres aufgenommen und an einem Betz-Manometer angezeigt.

4.3 Windkanal

Für die Durchführung der Versuche stand ein Windkanal des Lehrstuhls für Strömungsmechanik der TU München zur Verfügung. Dieser Windkanal besitzt eine geschlossene Luftrückführung und eine offene Meßstrecke. Der Düsendurchmesser beträgt 1,5 m.



Zwischen Düse und Auffangtrichter ist eine 3,1 m lange und 1,7 m breite Grundplatte horizontal eingebaut. Das zu untersuchende Modell kann auf einer in der Grundplatte drehbar gelagerten Scheibe befestigt werden (Abb. 86).

Der Luftstrom in der Meßstrecke des Windkanals war turbulenzarm; die Luftgeschwindigkeit in allen Höhen über der Platte, mit Ausnahme einer ca. 3 cm dicken Grenzschicht, gleich groß. Sie betrug rund 40 m/s (Abb. 34).

4.4 Meßprogramm

Eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zeigt Tabelle 2. Es wurden für insgesamt 66 Modellkonfigurationen Messungen durchgeführt, davon für 28 sowohl Kraft- als auch Druckmessungen, für 36 nur Kraftmessungen und für 2 nur Druckmessungen.

Die Anzahl der Druckmeßstellen je Modell lag zwischen 40 und 192.

An den Kraftmeßmodellen wurden jeweils die Kraftkomponenten in x- und in y-Richtung sowie in den meisten Fällen auch das Moment um die z-Achse ermittelt.

Da für die hier verwendeten scharfkantigen Gebäudemodelle keine Reynoldszahleneinflüsse zu erwarten waren, erfolgten alle Untersuchungen bei konstanter Anströmgeschwindigkeit. Die Anblasrichtung wurde schrittweise um je 15° verändert, wobei der insgesamt berücksichtigte Winkelbereich in der Regel so



gewählt wurde, daß alle Werte doppelt anfielen. Auf diese Weise konnten die Meßergebnisse leicht überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

4.5 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte

4.5.1 Kraft- und Momentenbeiwerte

Das für die Darstellung der Meßergebnisse gewählte kartesische Koordinatensystem ist auf Abb. 33 dargestellt. Die Koordinatenachsen x und y liegen im Gebäudegrundriß, z verläuft parallel zur Bauwerkshochachse.

Die auf das Bauwerksmodell einwirkende Windkraft wird durch die Meßanordnung in die Kraftkomponenten F_x und F_y zerlegt. M ist das um die z -Achse auftretende Windmoment.

Die aerodynamischen Kraft- und Momentenbeiwerte ergeben sich dann zu

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

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

$$c_m = \frac{M}{q \cdot A_x \cdot l/2}$$



Hierin bedeuten:

q = Geschwindigkeitsdruck

A_x = Ansichtsfläche des Gebäudes in x-Richtung

A_y = Ansichtsfläche des Gebäudes in y-Richtung

$l/2$ = halbe Gebäudelänge.

Der Geschwindigkeitsdruck q ergibt sich aus der Strömungsgeschwindigkeit v zu

$$q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

mit ρ = Dichte der Luft.

4.5.2 Druckbeiwerte

Am Vielfachmanometer wurde für jede Meßstelle die Differenz Δp zwischen dem Gesamtdruck p und dem statischen Druck der Umgebung p_∞ abgelesen. Hieraus ergibt sich der aerodynamische Druckbeiwert durch Division mit q

$$\Delta p = p - p_\infty$$

$$c_p = \frac{\Delta p}{q}$$

Aus den Einzeldruckbeiwerten wurden für ganze Wand- oder Dachflächen Mittelwerte c_{pm} gebildet. Diese konnten, da die Anordnung der Meß-



punkte so gewählt worden war, daß sie jeweils in der Mitte gleichgroßer Teilflächen lagen, vereinfacht als arithmetisches Mittel der Einzelwerte c_{pi} errechnet werden

$$c_{pm} = \frac{1}{i} \sum_1^i c_{pi}.$$

5. Versuchsergebnisse

5.1 Übersicht

Bei der Abwicklung der Versuche wurde so vorgegangen, daß zunächst für eine Vielzahl von Modellkonfigurationen Kraftmessungen ausgeführt wurden. Anhand der Ergebnisse dieser Versuchsläufe konnte dann entschieden werden, welche Parameterkombinationen von wesentlicher Bedeutung sind. Für diese wurden dann zusätzlich Druckverteilungsmessungen durchgeführt.

Nachfolgend wird zunächst in allgemeiner Form der Einfluß der einzelnen Parameter auf Windkraft und Winddruck erläutert. Danach werden die Versuchsergebnisse näher besprochen und abschließend ein Vorschlag für die Angabe von Rechenregeln im Rahmen der Beiwertsammlung zu DIN 1055 zur Diskussion gestellt.



5.2 Einfluß verschiedener Parameter

5.2.1 Versperrung

Unter Versperrungsgrad $\phi = A_m/A_k$ wird das Verhältnis von Modellansichtsfläche A_m zu Windkanalquerschnittsfläche A_k verstanden. Bei den vorliegenden Versuchen wurde durch die Wahl der Modellgröße ein Versperrungsgrad von $\phi = 0,06$ nicht überschritten. Da zu erwarten ist, daß diese geringe Versperrung keinen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Versuchsergebnisse hat, wurde hier auf eine entsprechende Korrektur verzichtet.

5.2.2 Anströmrichtung

In Abbildung 35 sind die Druckbeiwerte für typische Meßstellen an den Wand- und Dachflächen eines Baukörpers mit Flachdach in Abhängigkeit vom Anströmwinkel β aufgetragen. Analog zeigen die Abbildungen 36 - 43 den Verlauf der gemittelten Druckbeiwerte und die Abbildungen 44 - 50 den der Kraftbeiwerte.

Einzeldruckbeiwerte (Abb. 35)

Für einen Meßpunkt in Wandmitte (45) tritt das positive Maximum bei senkrechter Anströmung ($\beta = 90^\circ$) auf. Das Druckmaximum für Meßbohrungen an der Gebäudekante (26) ist demgegenüber geringer, die zugehörige Anströmrichtung um 30° gegenüber der senkrechten Anströmung



versetzt. Meßpunkte im Gebäudelee ($\beta = 270^\circ$) zeigen keine nennenswerten Unterschiede zwischen Wandmitte und Randbereich. Die größten Sogbeiwerte treten bei Anströmrichtungen, die etwa parallel zur Wand verlaufen ($\beta = 165^\circ$), im Randbereich auf.

Für die in der Dachfläche liegenden Bohrungen ergeben sich im Randbereich ausgeprägte Sogmaxima bei Schräganströmung (z.B. $c_p = -1,8$ an Punkt 114 bei $\beta = 135^\circ$). Bei anderen Windrichtungen und für Bohrungen in der Mitte schwanken die Werte um $c_p = -0,6$.

Gemittelte Druckbeiwerte (Abb. 36 - 43)

Die Kurven für den gemittelten Druck an den Wandflächen sind, wie zu erwarten, jenen für Meßpunkte in der Wandmitte ähnlich. Druckkräfte treten in einem Anströmwinkelbereich von rund 120° auf, wobei das Maximum immer bei senkrechter Anströmung liegt. Die gleichzeitig an der gegenüberliegenden Wand auftretende Sogkraft erreicht ihr Maximum jedoch nicht immer bei senkrechter Anströmung. Hier sind Abweichungen bis zu 30° möglich. Oft ist auch das Maximum der Ergebnisse aus der vektoriellen Addition der Druck- und Sogkräfte um diesen Winkelwert verschoben. Für später folgende Auftragungen wird jeweils der Maximalwert berücksichtigt, unabhängig davon, ob er bei exakt senkrechter Anströmung oder bei geringer Schräganströmung auftritt.



Die zahlenmäßig höchsten Sogbeiwerte treten an Wandflächen dann auf, wenn sie der Wind unter einem Winkel von etwa 15° trifft. Nachfolgend werden diese Anströmrichtungen als "wandparallele Anströmung" bzw. die betroffene Wandfläche als "windparallele Wand" bezeichnet.

Die wandparallele Anströmung ist auch, wie Abb. 44 zeigt, bezüglich der Verteilung der Sogkräfte entlang der Wand besonders interessant. An der luvseitigen Bauwerkskante tritt ein ausgeprägter "Sogberg" auf, während in der Nähe der leeseitigen Kante nurmehr geringe Sogkräfte vorhanden sind.

Besondere Beachtung verdient außerdem der Übergangsbereich zwischen wandparalleler und senkrechter Anströmung. Hier findet bei einer Windrichtungsänderung um nur 30° ein Drucksprung von hohen Sogkräften auf beachtliche Druckwerte statt (im Beispiel der Abb. 40: $c_{pm} = -0,55$ bei $\beta = 105^\circ$; $c_{pm} = +0,55$ bei $\beta = 135^\circ$). Windrichtungsschwankungen in dieser Größenordnung sind in der Natur durchaus üblich und führen zu einer entsprechenden Wechselbeanspruchung der betroffenen Bauteile.

Kraftbeiwerte (Abb. 45 - 50)

Wie aus den Abbildungen zu erkennen ist, ergibt sich für die hier untersuchten relativ einfachen Baukörperformen ein sehr gleichmäßiger Verlauf der Kraftbeiwerte. Hier sei



nochmals darauf hingewiesen, daß das Windkraftmaximum nicht zwangsläufig mit senkrechter Anströmung zusammentreffen muß.

5.2.3 Grundrißabmessungen l/b

Der Einfluß des Verhältnisses von Gebäudelänge zu Gebäudebreite wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit in erster Linie anhand von Kraftmessungen überprüft (Abb. 51 - 56).

Für die Druckverhältnisse an windparallelen Gebäudewänden konnten entsprechende Informationen aus [3] entnommen werden.

Die Kraftbeiwerte sinken mit zunehmendem Längenverhältnis. Besonders stark macht sich dieser Abfall zwischen $l/b = 1$ und $l/b = 2$ bemerkbar, d.h. der quadratische Grundriß führt zu den höchsten Windkräften.

Bei den Sogkräften an der windparallelen Gebäudewand ist die Tendenz uneinheitlich. Für die jeweils kürzere Gebäudewand und bei niedrigen Gebäuden ($h/b \leq 1$) steigen die Sogbeiwerte mit zunehmender Gebäudelänge. Bei höheren Baukörpern ($h/b > 1$) und an der längeren Wand tritt auch eine Abnahme der Beiwerte mit zunehmendem Längenverhältnis l/b ein.

5.2.4 Höhenverhältnis h/b

Der Einfluß des Parameters h/b wird an je zwei Beispielen in den Abbildungen 57 und 58 für



die Kraftbeiwerte und in den Abbildungen 59 und 60 für die Druckbeiwerte an der windparallelen Wand dargestellt.

Wie zu erwarten, steigen die Kraftbeiwerte mit zunehmender Gebäudehöhe. Besonders ausgeprägt ist der Anstieg im Bereich niedriger Gebäude. Bei den Sogbeiwerten an windparallelen Wänden ist in der Tendenz ebenfalls eine Zunahme mit wachsender Gebäudehöhe festzustellen.

Vom Parameter "Höhenverhältnis" werden die Druck- und Kraftbeiwerte insgesamt in stärkerem Maße beeinflusst als vom Parameter "Längenverhältnis". Bei den Grundrißformen sind vor allem das Quadrat und Rechtecke mit einem Seitenverhältnis bis zu $l/b = 2$ einer näheren Betrachtung wert.

5.2.5 Dachneigungswinkel α

Für die Beurteilung des Dachneigungseinflusses sind vor allem die Windkräfte in x-Richtung (senkrecht zur Firstlinie) von Bedeutung. Aus den Diagrammen der Abb. 61 - 62 lassen sich zwei Tendenzen ablesen:

Bei niedrigen Gebäuden ($h/b = 0,5$) steigt die Windkraft mit zunehmender Dachneigung nahezu linear an. Für höhere Baukörper ($h/b \geq 1$) zeigt sich bei $\alpha = 30^\circ$ ein Windkraftminimum. Hier-



für ist in erster Linie das Druckgeschehen an der luvseitigen Dachfläche verantwortlich. Bei senkrechter Anströmung sind die über der luvseitigen Dachfläche gemittelten Beiwerte für Dachneigungen von 15° und 30° nahezu gleich groß. Dies ergibt jedoch bei $\alpha = 30^\circ$ eine größere, gegen die Windrichtung gerichtete Horizontalkomponente, die insgesamt zu einer stärkeren Verringerung der Kraft in x-Richtung führt. Diese Reduzierung der Windkräfte wurde auch bereits anlässlich anderer Untersuchungen [4] beobachtet.

Der Dachneigungswinkel α stellt, neben dem Höhenverhältnis h/b , einen für die Größe der Windbelastung wesentlichen Parameter dar. Da in der Praxis Satteldächer nur bis zu bestimmten Bauwerkshöhen ausgeführt werden, wurden bei den Versuchen Satteldächer nur in Verbindung mit Höhenverhältnissen von $h/b \leq 1,5$ untersucht.

5.3 Aerodynamischer Kraftbeiwert

5.3.1 Gebäude mit Flachdach

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Versuchsergebnisse im Hinblick auf den Einfluß unterschiedlicher Parameter in allgemeiner qualitativer Form besprochen wurden, soll nunmehr näher auf die zahlenmäßige Größe der Bei-



werte eingegangen werden. Hierbei wird zwischen Baukörpern mit Flachdach und solchen mit Satteldach unterschieden.

Die für Baukörper mit rechteckigem Grundriß ermittelten c_{fx} - und c_{fy} -Werte weichen voneinander nur geringfügig ab. Es ist deshalb sinnvoll, diese zusammenzufassen und durch eine gemittelte Kurve zu ersetzen (Abb. 63). Die entsprechenden Werte für den Quadratgrundriß sind in Abb. 64 aufgetragen.

Für $h/b = 0,5$ sind die Kraftbeiwerte für Gebäude mit rechteckigem und quadratischem Grundriß etwa gleich groß und betragen $c_f \approx 0,88$. Mit zunehmender Gebäudehöhe steigen die Werte für den quadratischen Grundriß dann stärker an als für den rechteckigen Grundriß. Bei $h/b = 2$ und $h/b = 5$ werden für c_f folgende Zahlenwerte erreicht

	Rechteck	Quadrat
$h/b = 2$	1,20	1,41
$h/b = 5$	1,28	1,57.

Für Gebäude mit Rechteckgrundriß wurden die Werte aus der gemittelten Kurve entnommen.

5.3.2 Gebäude mit Satteldach

Gebäude mit Satteldach wurden, wie oben erwähnt, nur bis zu einem Höhenverhältnis von



$h/b = 1,5$ untersucht (Abb. 65, 66). Auch hier bestätigt sich die bereits bei Flachdachgebäuden beobachtete Tendenz, daß die Kraftbeiwerte mit zunehmendem Höhenverhältnis beträchtlich steigen. Der Dacheinfluß drückt sich in einem deutlichen Unterschied zwischen den c_{fx} - und c_{fy} -Werten aus, der jedoch mit zunehmender Gebäudehöhe geringer wird.

Die c_{fy} -Werte sind größenordnungsmäßig denen der Gebäude mit Flachdach gleich. Die c_{fx} -Werte liegen für Dachneigungen bis zu $\alpha = 30^\circ$ deutlich unter denen für Baukörper mit Flachdach.

Im einzelnen ergeben sich für c_{fx} je nach Dachneigung Werte zwischen

$$\begin{aligned}c_{fx} &= 0,60 \text{ bis } 0,80 \text{ bei } h/b = 0,5 \text{ und} \\c_{fx} &= 0,94 \text{ bis } 1,17 \text{ bei } h/b = 1,5.\end{aligned}$$

Für die Kraft in y-Richtung betragen die entsprechenden Beiwerte

$$\begin{aligned}c_{fy} &= 0,81 \text{ bis } 1,11 \text{ bei } h/b = 0,5 \text{ und} \\c_{fy} &= 1,13 \text{ bis } 1,27 \text{ bei } h/b = 1,5.\end{aligned}$$

5.4 Druckbeiwerte

Die Druckbeiwerte für die Wandflächen sind in den Abb. 67 - 74 zusammengestellt.



5.4.1 Luvseitige Wand

Die gemittelten Druckbeiwerte an der luvseitigen Bauwerkwand ließen sich für alle untersuchten Konfigurationen durch eine einzige Kurve darstellen (Abb. 67 und 68). Diese beginnt bei $h/b = 0,5$ mit $c_{pm} = 0,6$, steigt bis $h/b = 2$ parabelförmig auf $c_{pm} = 0,8$ an und bleibt bei noch größeren Höhenverhältnissen konstant auf diesem Wert.

5.4.2 Leeseitige Wand

Die Sogbeiwerte für die leeseitige Wand sind nicht annähernd so gleichförmig wie die Druckbeiwerte an der Luvseite. Der Tendenz nach steigt die Sogkraft mit zunehmender Bauwerkshöhe, wobei der Anstieg bei kleineren Höhenverhältnissen steiler ist als bei größeren. Am Ausgangspunkt der Kurven ($h/b = 0,5$) liegen die Mittelwerte bei $c_{pm} \approx -0,2$. Für Gebäude mit quadratischem Grundriß ergibt sich bis $h/b = 1,5$ ein Anstieg auf $c_{pm} \approx -0,5$; bei $h/b = 5$ wird schließlich $c_{pm} \approx 0,7$ erreicht.

Für Gebäude mit rechteckigem Grundriß betragen die entsprechenden Zahlenwerte bei $h/b = 0,5$: $c_{pm} \approx -0,2$; bei $h/b = 1,5$: $c_{pm} \approx -0,4$ und bei $h/b = 5$: $c_{pm} \approx -0,5$.

5.4.3 Windparallele Wand

Wie bereits oben erwähnt, sind die Sogkräfte an windparallelen Wandflächen größer als an



leeseitigen. In den Diagrammen der Abbildungen 67, 68 drückt sich dies durch einen entsprechend großen, weitgehend konstanten Abstand der Kurven für die beiden Wandflächen aus. Die Differenz beträgt im Mittel rund 0,2, d.h. für Konfigurationen, bei denen für die leeseitige Wand z.B. ein Sogbeiwert von $c_{pm} = -0,5$ gilt, beträgt der Wert für die windparallele Wand $c_{pm} = -0,7$.

5.4.4 Flachdach (Abb. 75)

Für die Sogbeiwerte am Dach ergibt sich, ebenso wie für alle übrigen Sogwerte, eine Zunahme mit wachsender Gebäudehöhe. Zwischen den Werten für unterschiedliche Grundrißabmessungen sind die Abweichungen gering. Bei den Höhenverhältnissen $h/b = 0,5, 1,5$ und 5 betragen die gemittelten Sogbeiwerte

$$c_{pm} = -0,60, -0,65 \text{ und } -0,85.$$

5.4.5 Satteldach, luvseitige Dachfläche

Wie aus Abb. 76 ersichtlich ist, hängt die Größe des Winddruckes auf die luvseitige Dachfläche in starkem Maße sowohl von der Bauwerkshöhe, als auch von der Dachneigung ab. Das Seitenverhältnis im Grundriß ist demgegenüber von untergeordneter Bedeutung. Positive Drücke



treten nur bei 45° geneigten Dächern auf ($c_{pm} = +0,30$ bei $h/b = 0,5$). Mit zunehmender Gebäudehöhe verringert sich der Druck ($c_{pm} = 0,10$ bei $h/b = 1,5$).

Für den Dachneigungswinkel $\alpha = 30^\circ$ und das Höhenverhältnis $h/b = 0,5$ ist der gemittelte Druckbeiwert nahezu Null. Das Höhenverhältnis $h/b = 1,5$ führt zu Sogbeiwerten von $c_{pm} = -0,4$ bis $-0,5$.

Sehr hohe Sogkräfte treten an der luvseitigen Dachhälfte eines 15° geneigten Satteldaches auf. Die Mittelwerte betragen hier $c_{pm} = -0,7$ für $h/b = 0,5$ und $c_{pm} = -1,0$ für $h/b = 1,5$. Die letztgenannten Sogbeiwerte liegen wesentlich höher als diejenigen, die bisher verwendet werden.

5.4.6 Satteldach, leeseitige Dachfläche

Die Sogbeiwerte für leeseitige Dachflächen liegen für alle untersuchten Parameterkombinationen im Bereich zwischen $c_{pm} = -0,4$ und $c_{pm} = -0,6$ sehr dicht beieinander (Abb. 77).

5.4.7 Dachstaffelungen (Sheddächer)

Um die Frage nach der Windbelastung hintereinander angeordneter Dachflächen zu klären, wurden zwei praxisnahe Modellkonfigurationen vermessen. Bei den untersuchten Gebäuden waren je-



weils vier Dächer mit den Neigungen 45° bzw. 30° und 60° hintereinander angeordnet.

Die wichtigsten Versuchsergebnisse sind in den Abb. 78 und 79 jeweils für senkrechte Anströmung und für Schräganströmung zusammengestellt.

Druckkräfte treten nur an den 45° und 60° geneigten ersten Dachflächen auf. Die gemittelten Beiwerte betragen $c_{pm} = 0,21$ für $\alpha = 45^\circ$ und $c_{pm} = 0,41$ für $\alpha = 60^\circ$.

Alle hinter der ersten Dachfläche liegenden Bereiche werden mit Sog belastet. Die höchsten Beiwerte treten dabei mit $c_{pm} = -0,78$ an der zweiten Dachfläche auf. Zur Leeseite des Bauwerkes hin fällt der Sog ab.

Horizontalkräfte für das Dach ergeben sich damit aus dem Druck an der ersten Dachfläche und den Differenzen des Sogs an den nachfolgenden Flächen. Dabei führt nicht senkrechte Anströmung, sondern Schräganströmung unter einem Winkel von $\beta = 30^\circ$ zu den größten Horizontalkräften.

Die in den Abbildungen angegebenen Beiwerte für die Horizontalkraft (ohne Reibung) sind auf die Ansichtsfläche des Daches entsprechend der Definition in Abb. 33 bezogen. Es ist:

$$c_{fx} = 0,86 \text{ für } \alpha = 45^\circ$$

$$c_{fx} = 1,05 \text{ für } \alpha = 30^\circ/60^\circ.$$



6. Zusammenfassende Bewertung der Versuchsergebnisse

Bei einer zusammenfassenden Beurteilung der Meßergebnisse läßt sich feststellen:

- Die hier ermittelten aerodynamischen Beiwerte lassen sich grob in zwei Gruppen einordnen. Die erste Gruppe umfaßt Werte, die nur im geringen Maße von einer Veränderung der einzelnen Parameter betroffen werden. Zu dieser Gruppe gehören vor allem die Druckbeiwerte für die luvseitige Wand und die Kraftbeiwerte. Die Sogbeiwerte am Flachdach und an den windparallelen Wandflächen sind Beispiele für Werte aus der zweiten Gruppe, die insgesamt wesentlich stärker auf Parameterveränderungen reagieren.
- Alle Beiwerte sind jedoch vom Höhenverhältnis h/b abhängig. Der Höheneinfluß ist besonders deutlich im Bereich niedriger Baukörper. Durch die bisher vorgesehene Regelung in DIN 1055 Blatt 4 werden, mit wenigen Ausnahmen, die Windlasten auf Gebäude mit $2 < h/b < 5$ zutreffend erfaßt. Niedrigere Gebäude werden jedoch benachteiligt. Höher, als in dem Entwurf der Beiwertsammlung vorgesehen, sind der Kraftbeiwert für Baukörper mit quadratischem Querschnitt und die Sogbeiwerte an der Luvseite unter 15° -geneigter Satteldächer.

7. Vorschlag für die Darstellung der Ergebnisse in der Beiwertsammlung zu DIN 1055 Blatt 4

Die im Rahmen dieser Forschungsarbeit ermittelten Ergebnisse bieten die Möglichkeit, die aerodynamischen Beiwerte geschlossener prismatischer Baukörper so wie



dies ursprünglich einmal vorgesehen war, in Diagrammform darzustellen. Ein entsprechender Vorschlag wird in den Abbildungen zur Diskussion gestellt.

Die dargestellten Kurven sind jeweils als "Einhüllende" der Versuchsergebnisse zu verstehen. Der Kraftbeiwert sowie die Druckbeiwerte an der windparallelen Wand und der Bauwerksluv- und -leeseite werden in Abhängigkeit von Höhenverhältnis h/b angegeben. Dabei ist bei Gebäuden mit Satteldächern für h die Firsthöhe einzusetzen.

Die Kurven steigen von einem Minimalwert bei $h/b = 0$ bis $h/b = 2$ parabelförmig an. Der weitere Verlauf bis $h/b = 5$ wird dann durch eine Gerade dargestellt (Abb. 80, 81)

Bei den Druckbeiwerten für die Dachflächen wird die bisher im Entwurf enthaltene Darstellungsform beibehalten. Bezüglich der Zahlenwerte erscheint jedoch eine Korrektur der Werte bei $\alpha = 15^\circ$ sowie eine Berücksichtigung des Parameters h/b erforderlich (Abb. 82).

Die für die Erfassung des Einflusses von Dachstaffelungen vorgeschlagenen Beiwerte sind in Abbildung 83 dargestellt.

Für die übrigen, hier nicht diskutierten Bereiche, die z.B. auch die Frage der erhöhten Windsoglasten in den Dach- und Wandrandbereichen betreffen, könnten die bisher vorgeschlagenen Regelungen übernommen und gegebenenfalls in der Darstellungsform dem vorliegenden Vorschlag angepaßt werden.



8. Literaturverzeichnis

- |1| H. Hirtz Bericht über den Stand der Arbeiten
an Regeln zur Erfassung der Windwir-
kung auf Bauwerke
VDI Seminar Düsseldorf Nov. 1980
- |2| Abschlußbericht zum Forschungsvorha-
ben: "Zusammenstellung von Berech-
nungsangaben aerodynamischer Beiwerte
für prismatische Baukörper"
Aerodynamische Untersuchungsstelle
für bauliche Anlagen, Landesgewerbe-
anstalt Bayern Nov. 1978
- |3| Forschungsbericht: "Windkanalversuche
zur Ermittlung von aerodynamischen
Formbeiwerten für windparallele Ge-
bäudewände prismatischer Baukörper"
Institut für Strömungsmechanik
Technische Universität München
Oktober 1979
- |4| Forschungsbericht: "Windkanalunter-
suchungen zur Ermittlung aerodynami-
scher Kraftbeiwerte für ein- und zwei-
geschossige Gebäude mit unterschied-
lichen Dachformen"
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Technische Universität München
Mai 1980



Bild 9. Beiwert c_p für Sattel-, Pult- und Flachdächer

Dachneigungswinkel	c_p	
	im Eckbereich	im Randbereich
$\alpha \leq 25^\circ$	- 3,2	- 1,8
$25^\circ < \alpha \leq 35^\circ$	- 1,8	- 1,1
$\alpha > 35^\circ$	keine "Sogspitzen"	

Tabelle 3. Beiwert c_p für "Sogspitzen" für angegebene Teilbereiche von Dächern

Verhältnis von großer zu kleiner Grundrißseite	Höhe zu kleiner Grundrißseite	c_p	
		im Eckbereich	im Randbereich
$\leq 1,5$	$\leq 0,35$	- 2,0	- 1,0
	$> 0,35$	- 2,8	- 1,5
$> 1,5$	$\leq 0,35$	- 2,5	- 1,0
	$> 0,35$	- 3,0	- 1,7

Tabelle 4. Beiwert c_p für "Sogspitzen" für angegebene Teilbereiche von Flachdächern



Gebäude mit Flachdach

FILE NR.	MODELL NR.	$\frac{a}{b}$	DACH-NEIGUNG	a (cm)	b (cm)	l (cm)		KRAFT-MESSUNG	DRUCK-MESSUNG
	05 00 06 12 12	0.5	0°	6	12	12		x	x
	05 00 06 12 24	0.5	0	6	12	24		x	x
	05 00 06 12 36	0.5	0	6	12	36		x	
	05 00 06 12 48	0.5	0	6	12	48		x	
	10 00 12 12 12	1.0	0	12	12	12		x	x
	10 00 12 12 24	1.0	0	12	12	24		x	x
	10 00 12 12 36	1.0	0	12	12	36		x	
	10 00 12 12 48	1.0	0	12	12	48		x	
	15 00 18 12 12	1.5	0	18	12	12		x	
	15 00 18 12 24	1.5	0	18	12	24		x	
	15 00 18 12 36	1.5	0	18	12	36		x	
	15 00 18 12 48	1.5	0	18	12	48		x	
	20 00 24 12 12	2.0	0	24	12	12		x	x
	20 00 24 12 24	2.0	0	24	12	24			x
	20 00 24 12 36	2.0	0	24	12	36		x	
	20 00 24 12 48	2.0	0	24	12	48		x	
	30 00 24 08 08	3.0	0	24	8	8		x	x
	30 00 24 08 16	3.0	0	24	8	16		x	x
	30 00 24 08 24	3.0	0	24	8	24		x	
	30 00 24 08 36	3.0	0	24	8	32		x	
	40 00 36 09 09	4.0	0	36	9	9		x	
	40 00 36 09 18	4.0	0	36	9	18		x	
	40 00 36 09 27	4.0	0	36	9	27		x	
	40 00 36 09 36	4.0	0	36	9	36		x	
	50 00 36 07 07	5.0	0	36	7.2	7.2		x	x
	50 00 36 07 14	5.0	0	36	7.2	14.4		x	x
	50 00 36 07 21	5.0	0	36	7.2	21.6		x	
	50 00 36 07 28	5.0	0	36	7.2	28.8		x	
	60 00 36 06 06	6.0	0	36	6	6		x	
	60 00 36 06 12	6.0	0	36	6	12		x	
	60 00 36 06 18	6.0	0	36	6	18		x	
	60 00 36 06 24	6.0	0	36	6	24		x	

TABELLE 2 A



Gebäude mit Satteldach

FILE NR.	MODELL NR.	$\frac{h}{b}$	DACH-NEIGUNG	h [cm]	b [cm]	l [cm]		KRAFT-MESSUNG	DRUCK-MESSUNG
	05 15 06 12 12	0,5	15°	6	12	12		x	x
	05 15 06 12 24	0,5	15	6	12	24		x	x
	05 15 06 12 36	0,5	15	6	12	36		x	
	05 15 06 12 48	0,5	15	6	12	48		x	
	05 30 06 12 12	0,5	30	6	12	12		x	x
	05 30 06 12 24	0,5	30	6	12	24		x	x
	05 30 06 12 36	0,5	30	6	12	36		x	
	05 30 06 12 48	0,5	30	6	12	48		x	
	05 45 06 12 12	0,5	45	6	12	12		x	x
	05 45 06 12 24	0,5	45	6	12	24		x	x
	05 45 06 12 36	0,5	45	6	12	36		x	
	05 45 06 12 48	0,5	45	6	12	48		x	
	10 15 12 12 12	1,0	15	12	12	12		x	x
	10 15 12 12 24	1,0	15	12	12	24		x	x
	10 15 12 12 36	1,0	15	12	12	36		x	
	10 15 12 12 48	1,0	15	12	12	48		x	
	10 30 12 12 12	1,0	30	12	12	12		x	x
	10 30 12 12 24	1,0	30	12	12	24		x	x
	10 30 12 12 36	1,0	30	12	12	36		x	
	10 30 12 12 48	1,0	30	12	12	48		x	
	10 45 12 12 12	1,0	45	12	12	12		x	x
	10 45 12 12 24	1,0	45	12	12	24		x	x
	10 45 12 12 36	1,0	45	12	12	36		x	
	10 45 12 12 48	1,0	45	12	12	48		x	
	15 15 18 12 12	1,5	15	18	12	12		x	x
	15 15 18 12 24	1,5	15	18	12	24		x	x
	15 15 18 12 36	1,5	15	18	12	36		x	
	15 15 18 12 48	1,5	15	18	12	48			
	15 30 18 12 12	1,5	30	18	12	12		x	x
	15 30 18 12 24	1,5	30	18	12	24		x	x
	15 30 18 12 36	1,5	30	18	12	36		x	
	15 30 18 12 48	1,5	30	18	12	48			
	15 45 18 12 12	1,5	45	18	12	12		x	x
	15 45 18 12 24	1,5	45	18	12	24		x	x
	15 45 18 12 36	1,5	45	18	12	36		x	
	15 45 18 12 48	1,5	45	18	12	48			

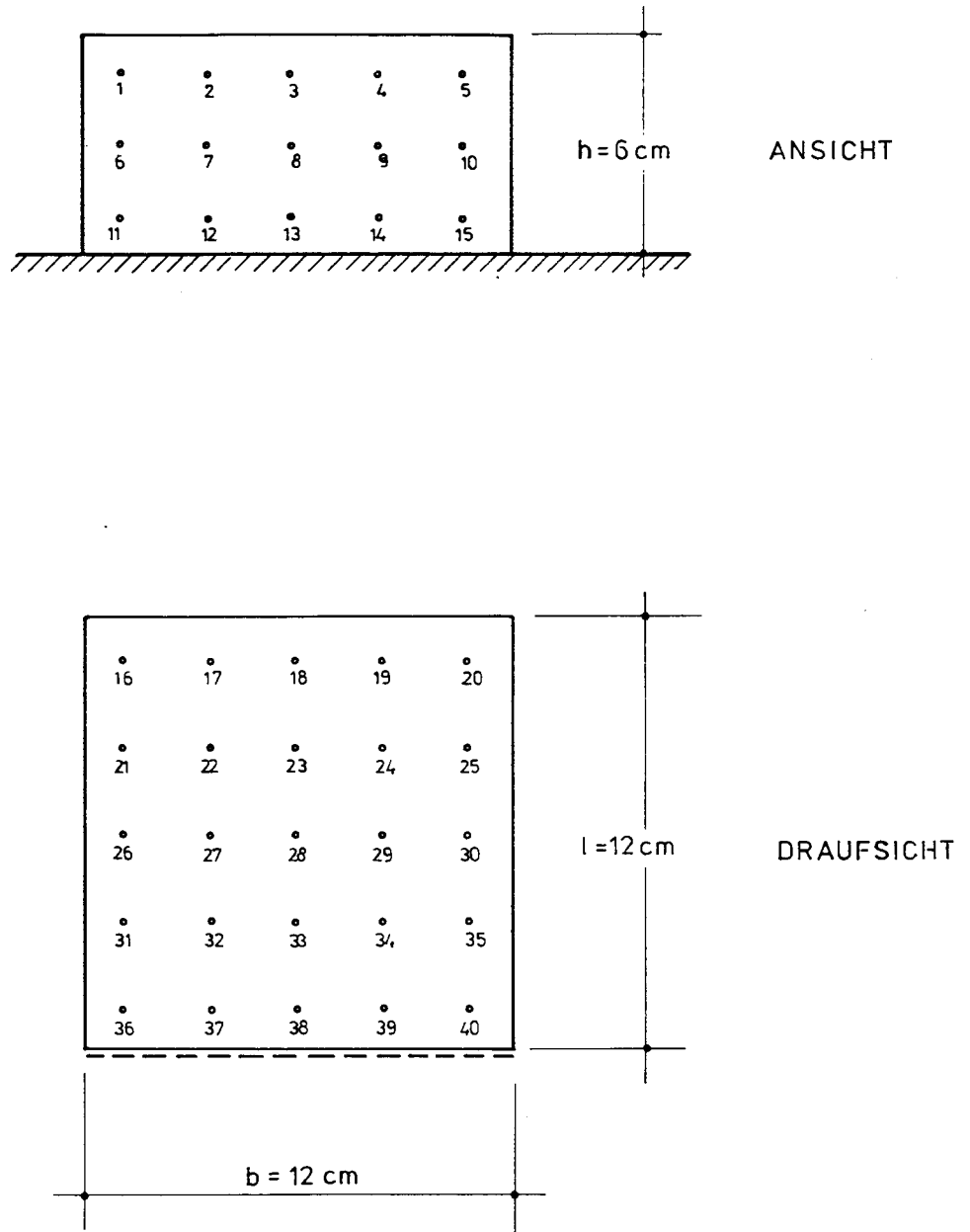
TABELLE 2 B



DRUCKVERTEILUNGSMODELL

Nr. 05 00 06 12 12

M = 1 : 2



MEßSTELLENPLAN

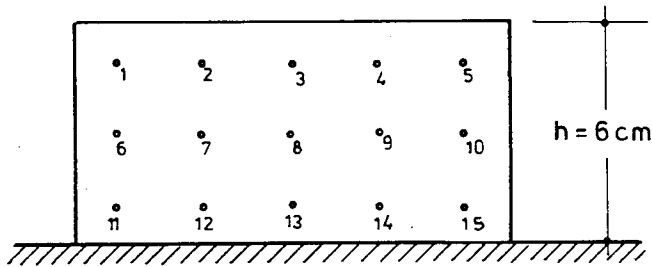
ABB. 1



DRUCKVERTEILUNGSMODELL

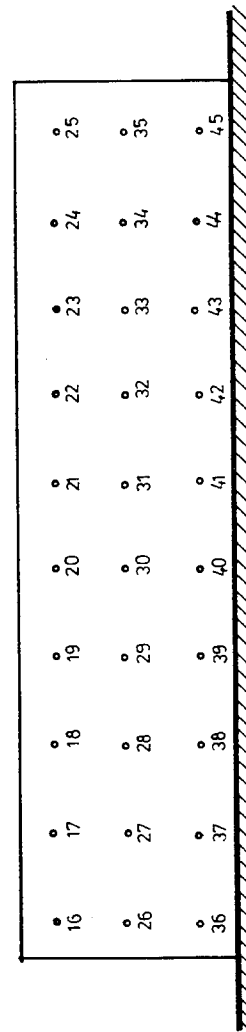
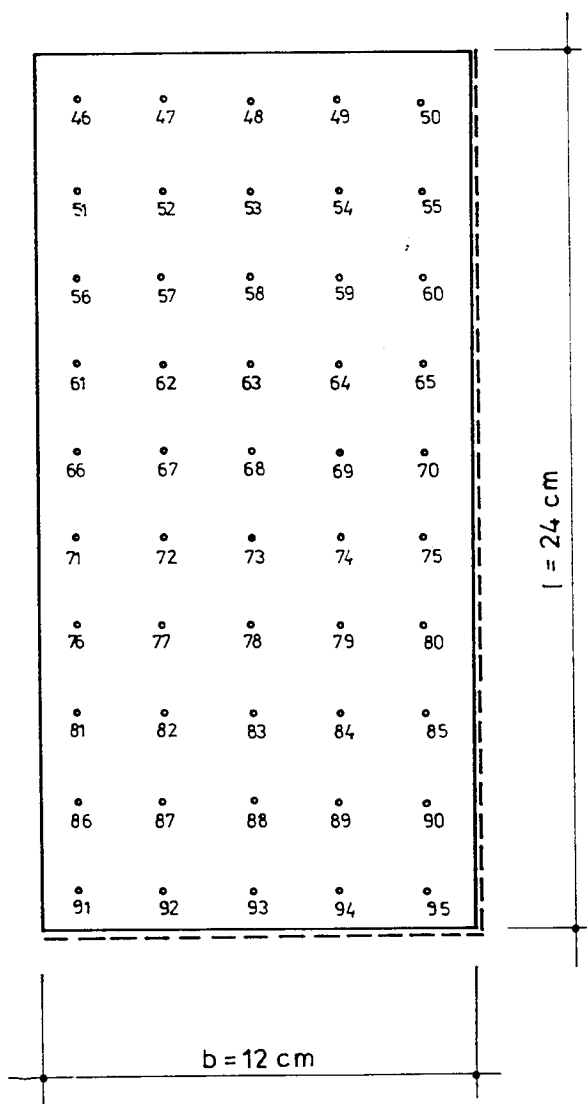
Nr. 05 00 06 12 24

M = 1 : 2



ANSICHT 1

DRAUFSICHT



ANSICHT 2

MEßSTELLENPLAN

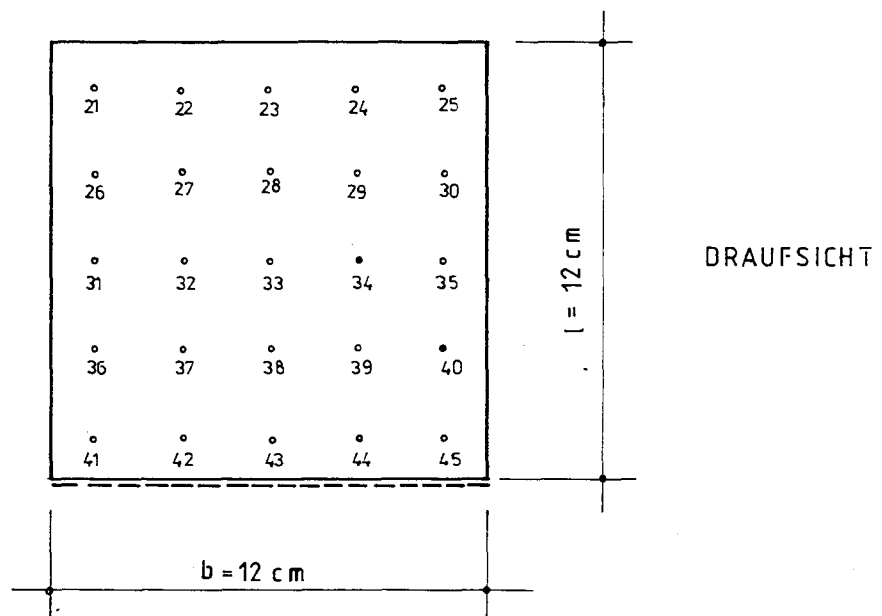
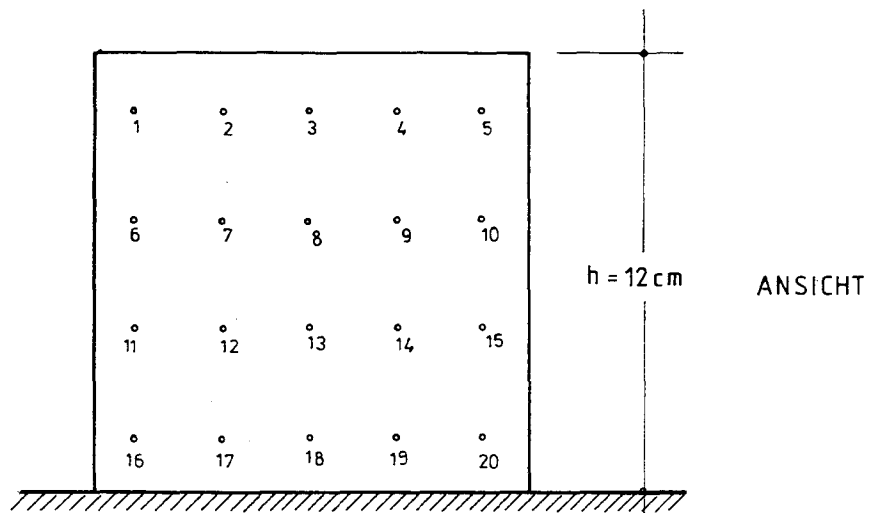
ABB. 2



DRUCKVERTEILUNGSMODELL

Nr. 10 00 12 12 12

M = 1 : 2



MEßSTELLENPLAN

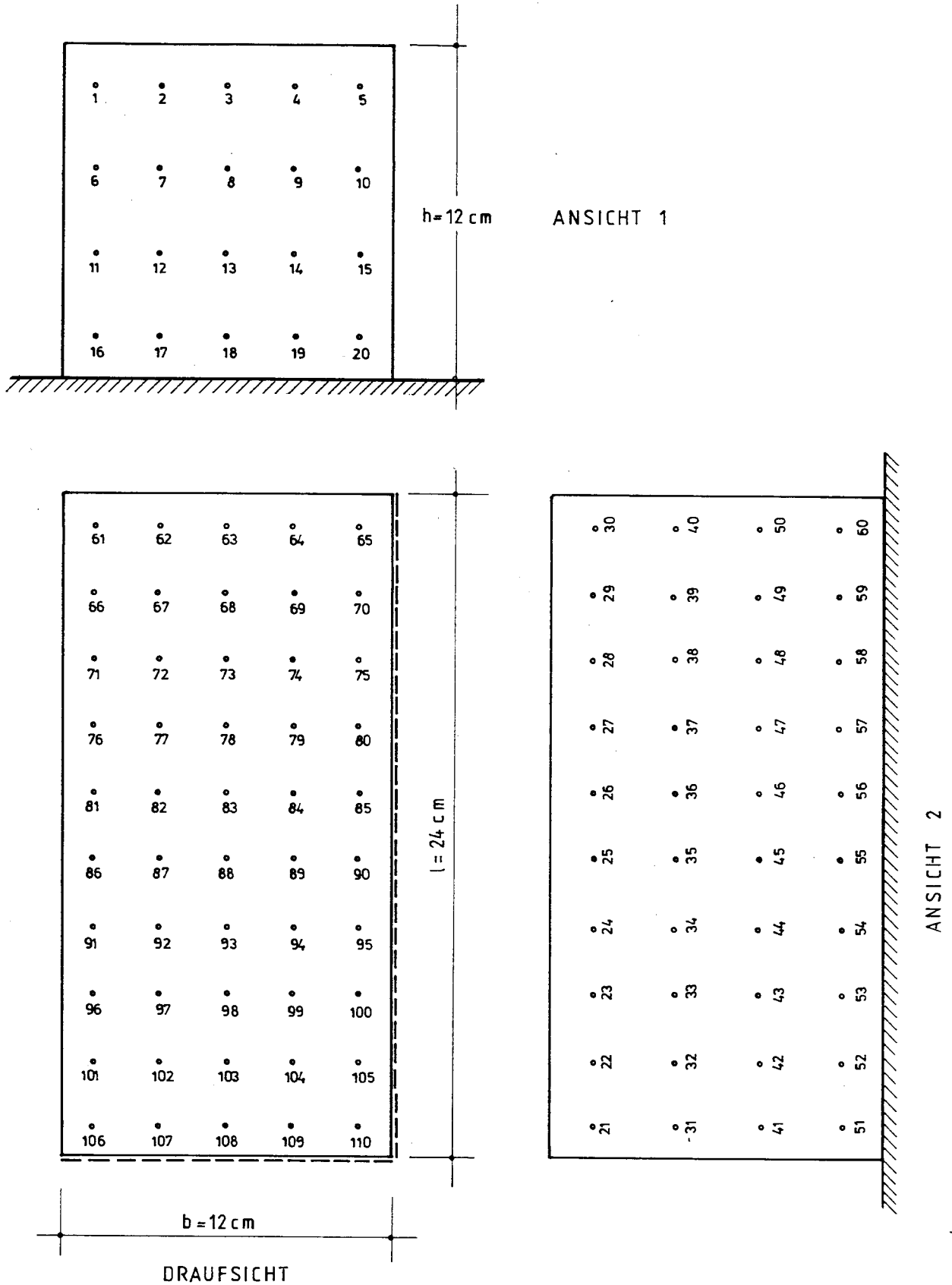
ABB. 3



DRUCKVERTEILUNGSMODELL

Nr. 10 00 12 12 24

M = 1 : 2



MEßSTELLENPLAN

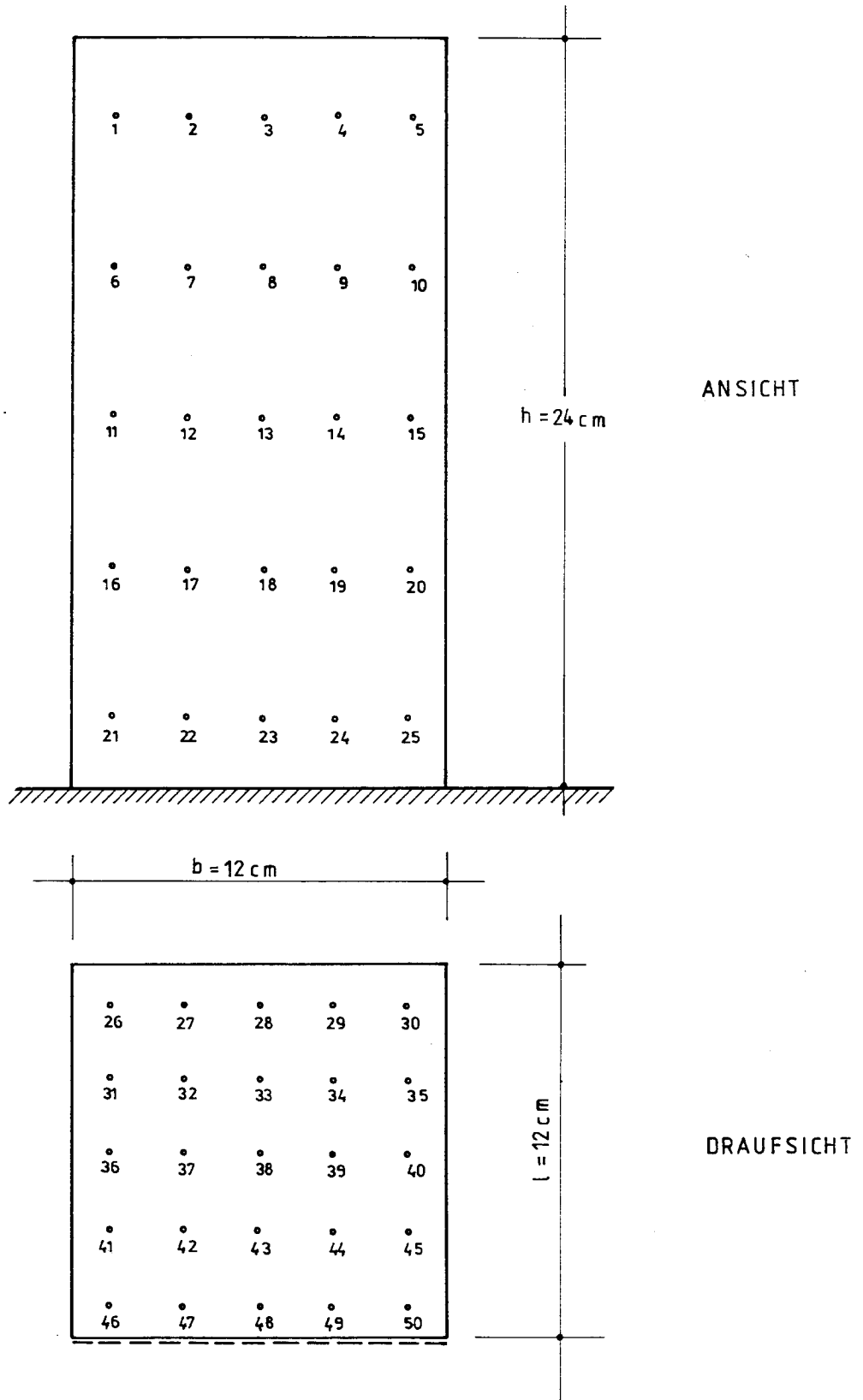
ABB. 4



DRUCK VERTEILUNGSMODELL

Nr. 20 00 24 12 12

M = 1 : 2



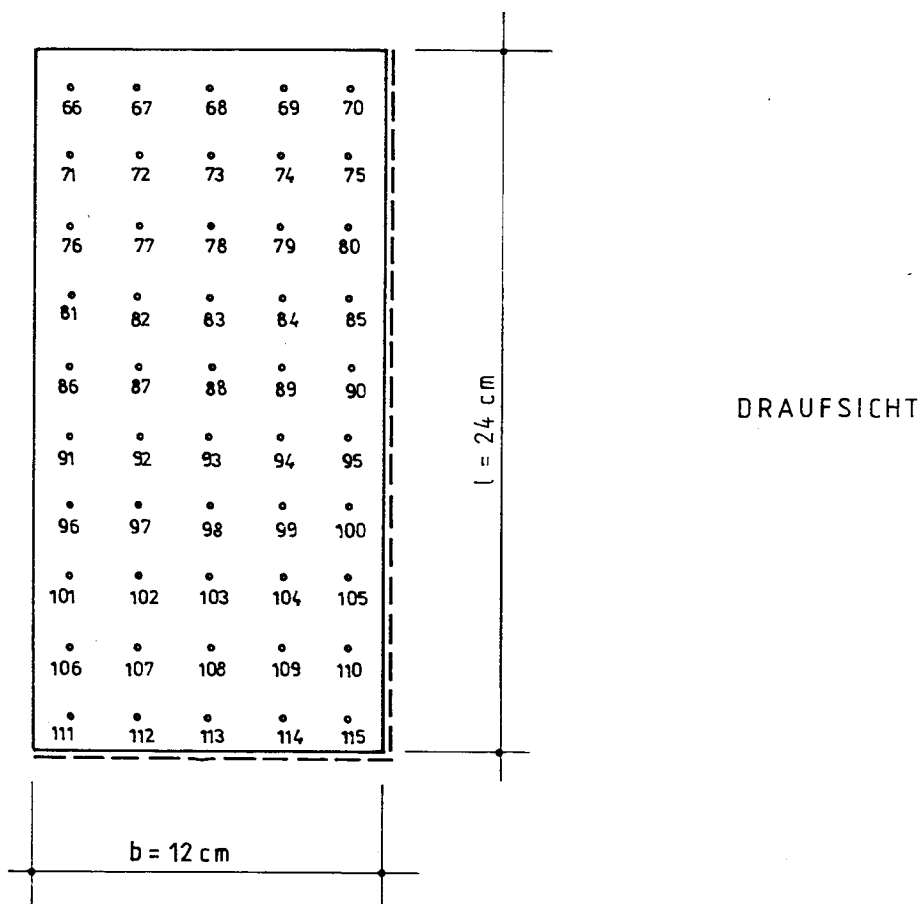
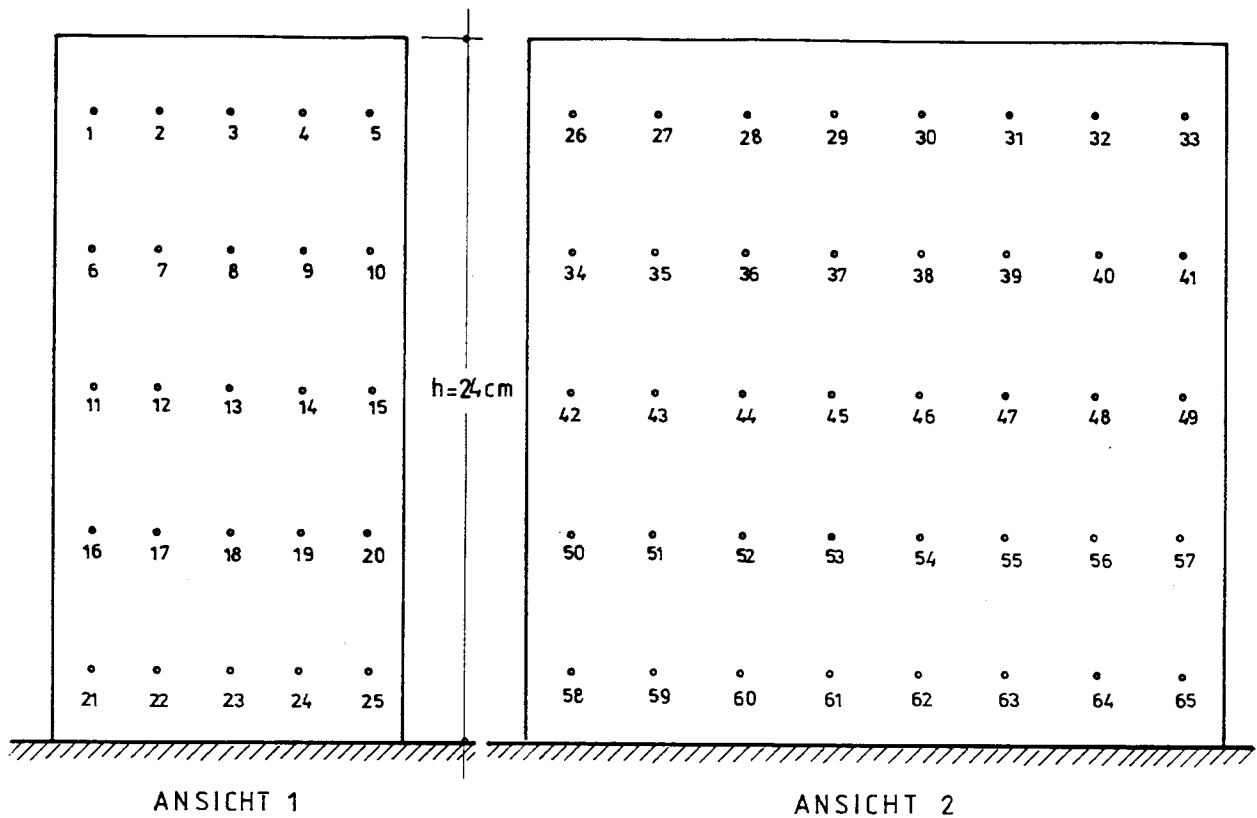
MEßSTELLENPLAN

ABB. 5



DRUCKVERTEILUNGSMODELL Nr. 20 00 24 12 24

M = 1 : 2.5



MEßSTELLENPLAN

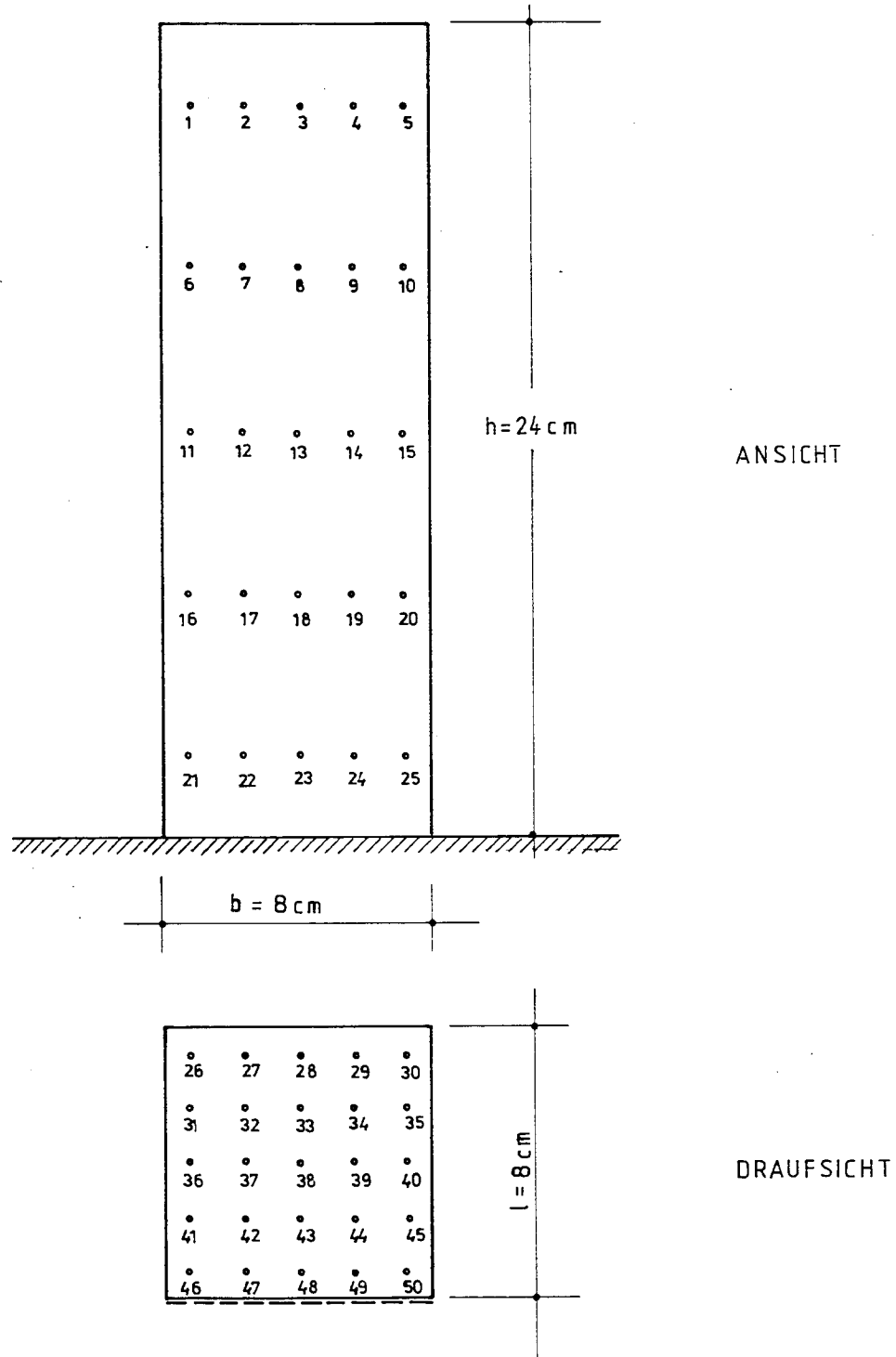
ABB. 6



DRUCK VERTEILUNGSMODELL

Nr. 30 00 24 08 08

M = 1 : 2



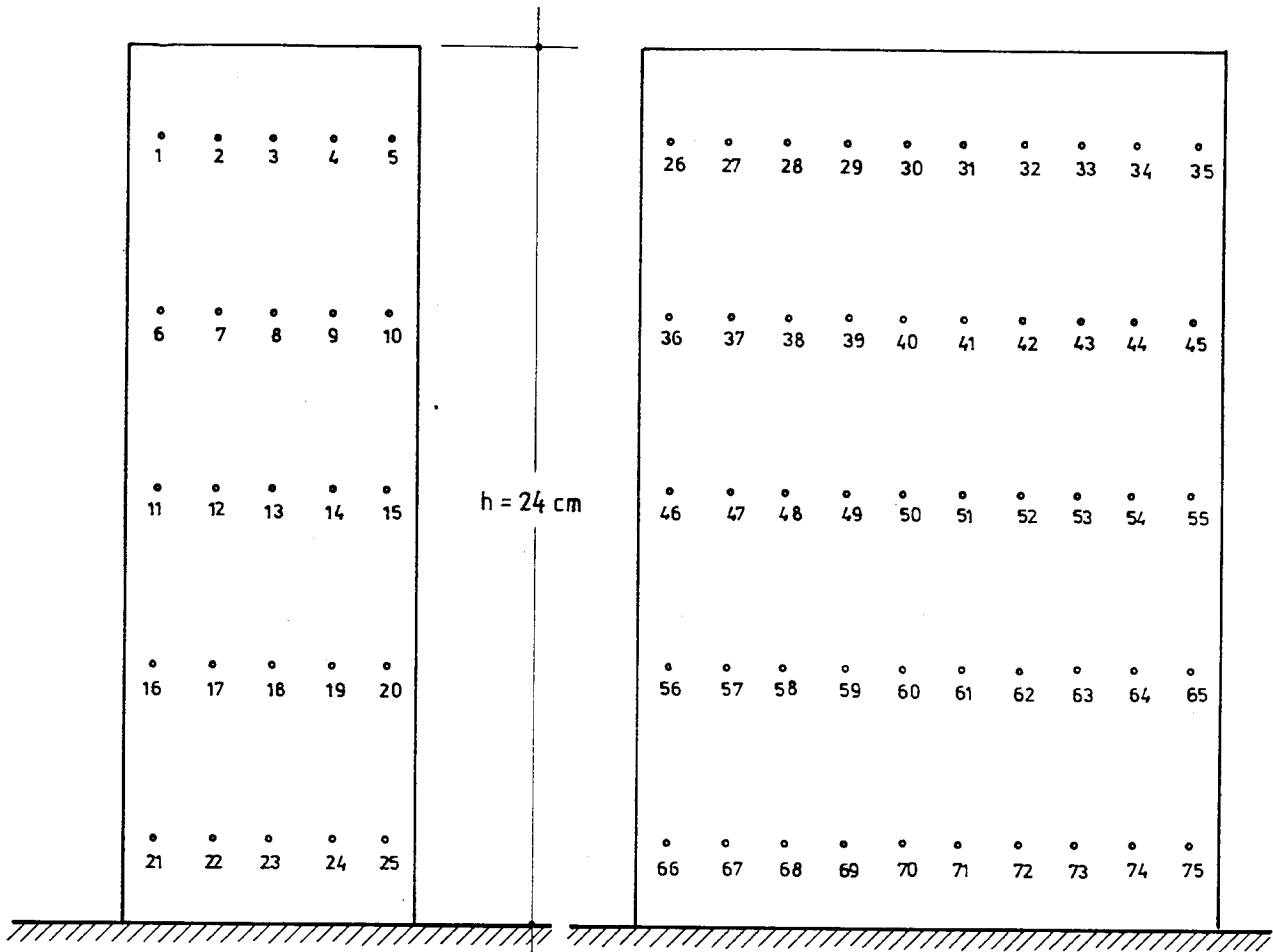
MEßSTELLENPLAN

ABB. 7



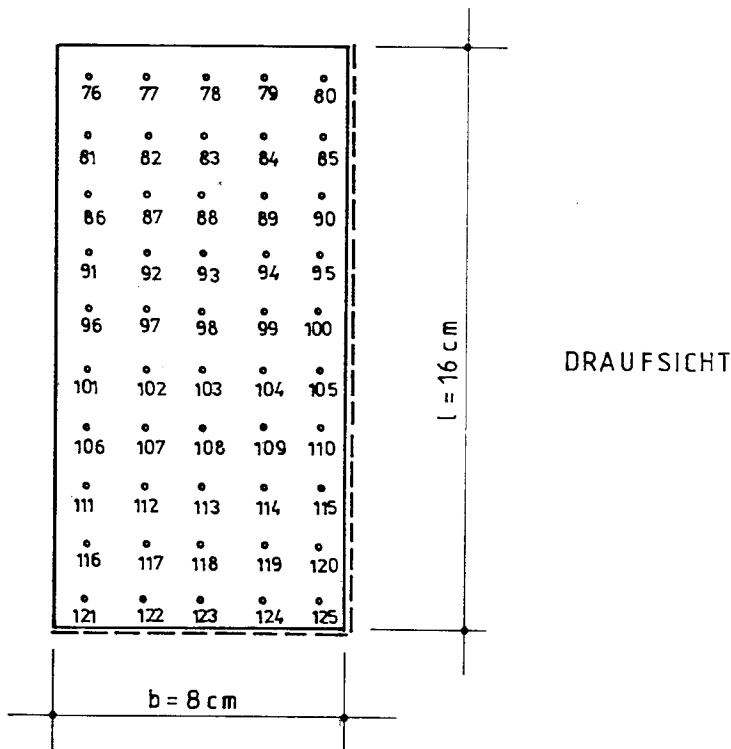
DRUCKVERTEILUNGSMODELL

Nr. 30 00 24 08 16 M = 1:2



ANSICHT 1

ANSICHT 2



DRAUFSICHT

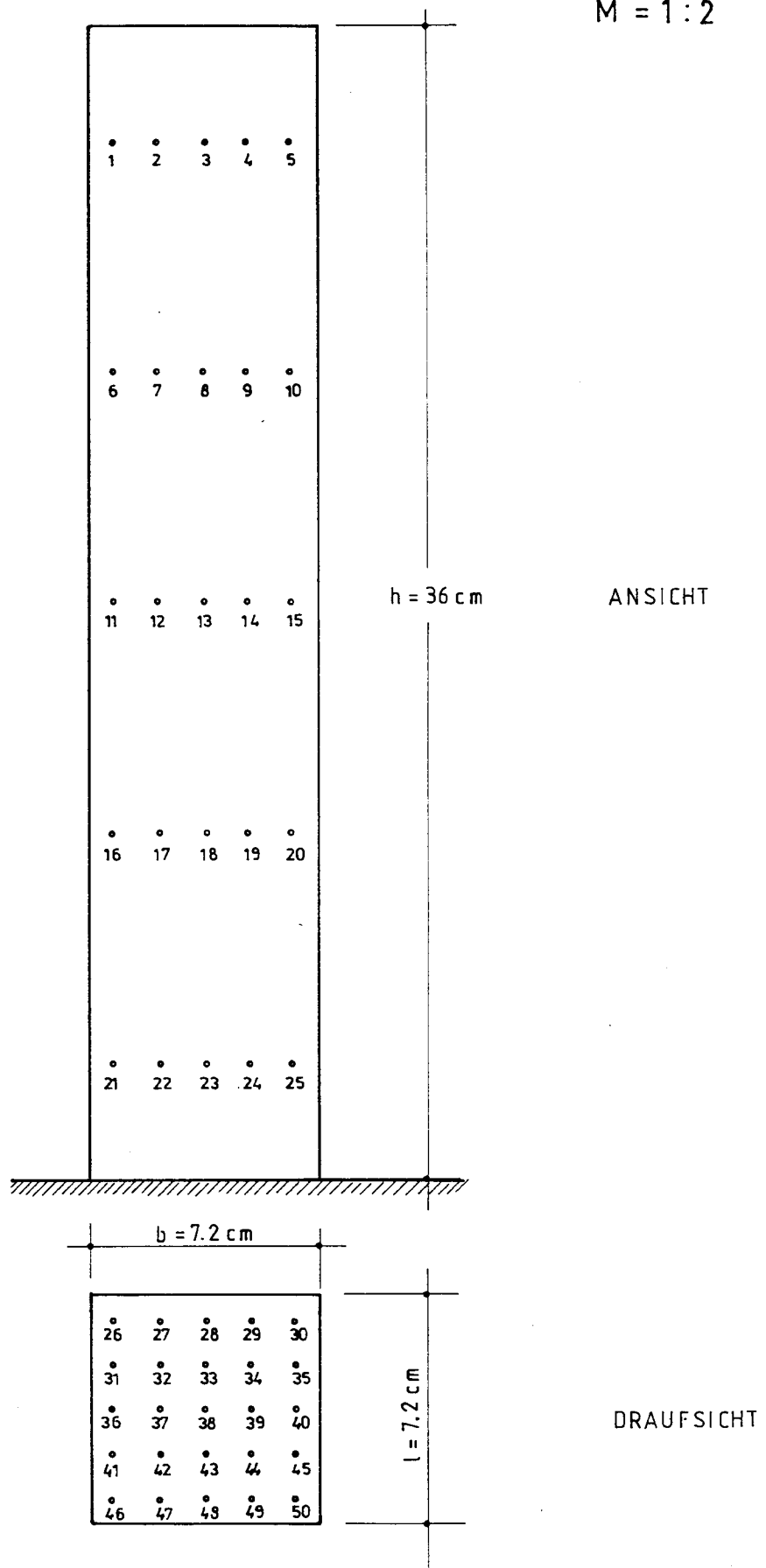
MEßSTELLENPLAN

ABB. 8



DRUCKVERTEILUNGSMODELL 50 00.36 07 07

M = 1 : 2

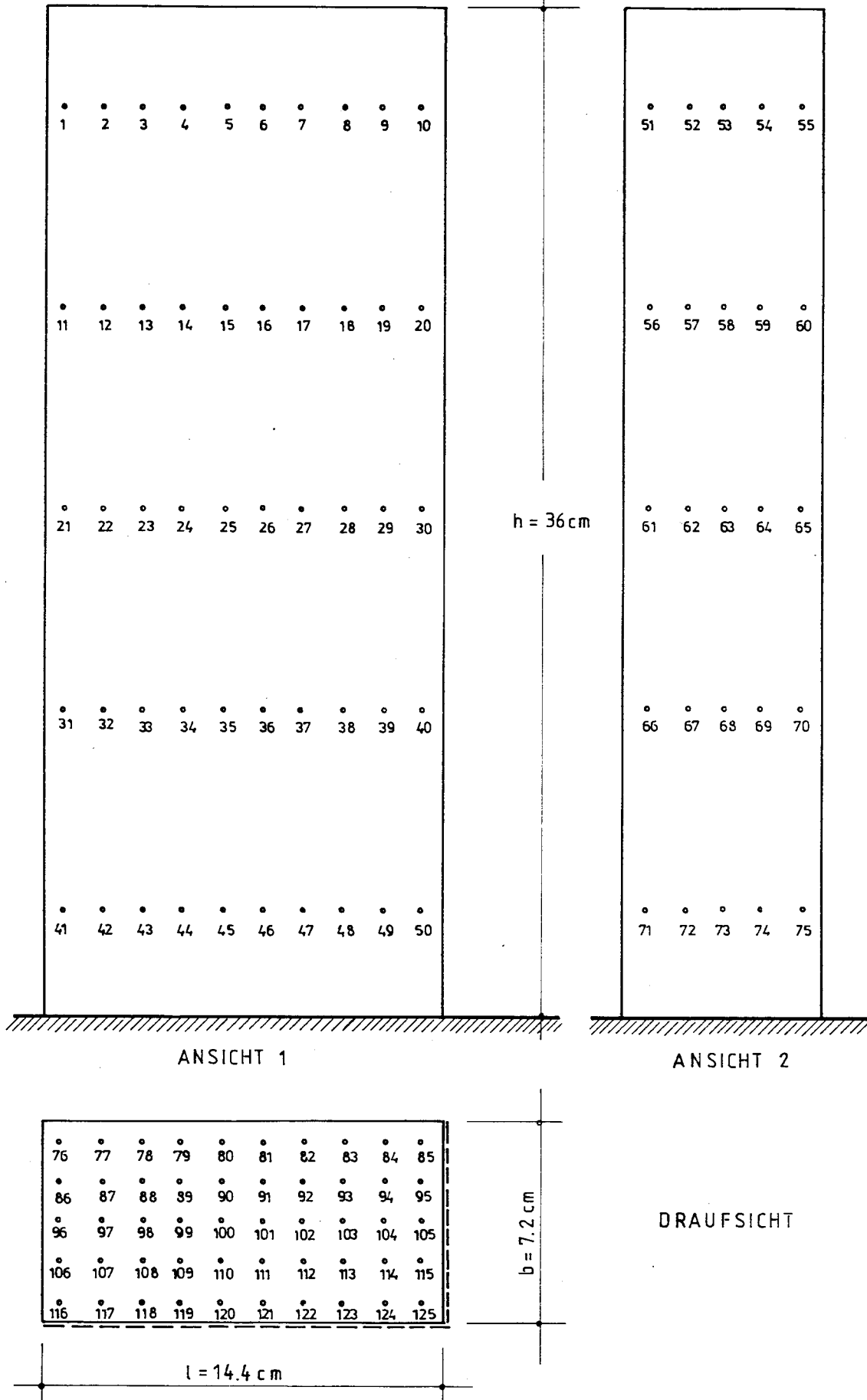


MEßSTELLENPLANN

ABB. 9



DRUCKVERTEILUNGSMODELL 50 00 36 07 14 M=1:2



MEßSTELLENPLAN

ABB. 10

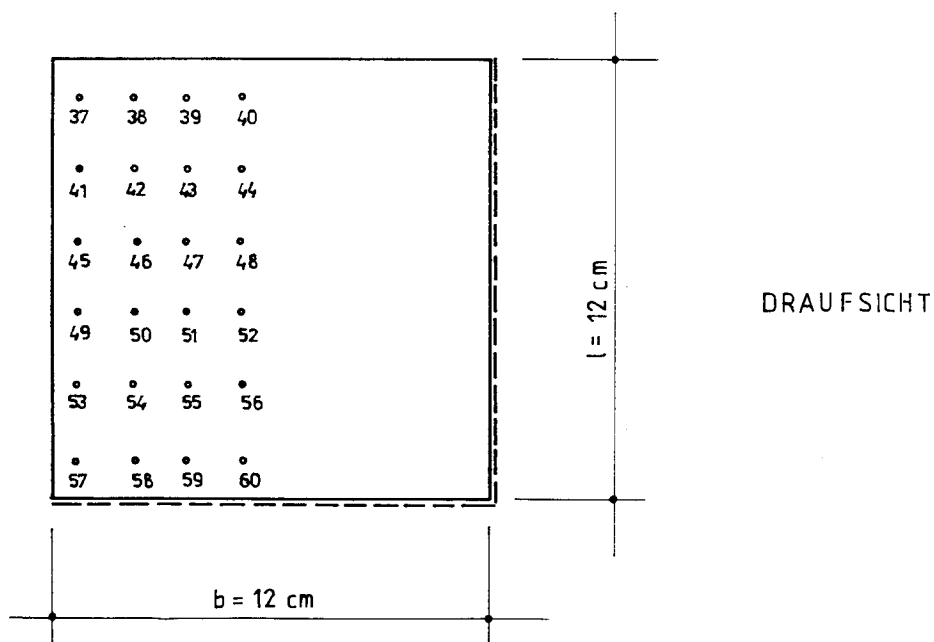
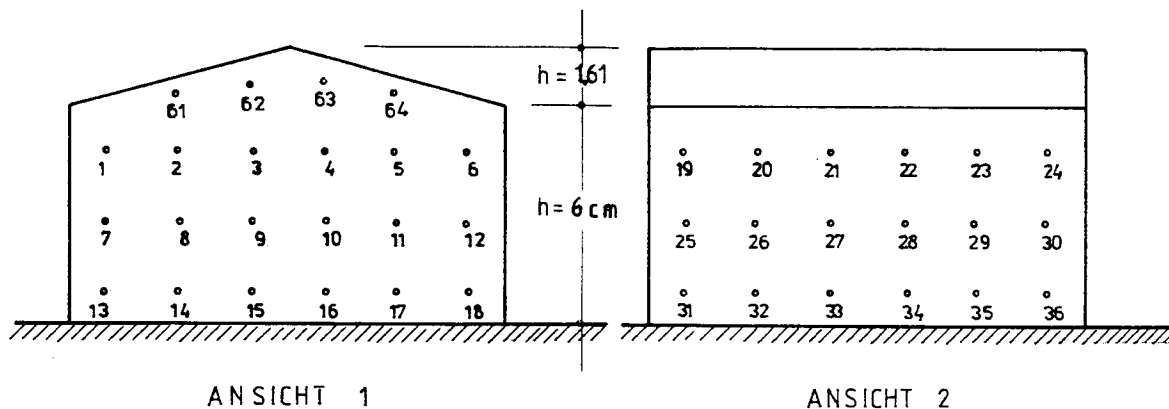


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

Nr. 05 15 06 12 12

(DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$)

M = 1 : 2

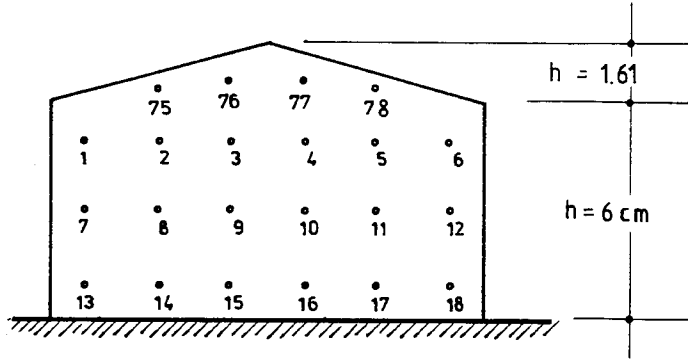




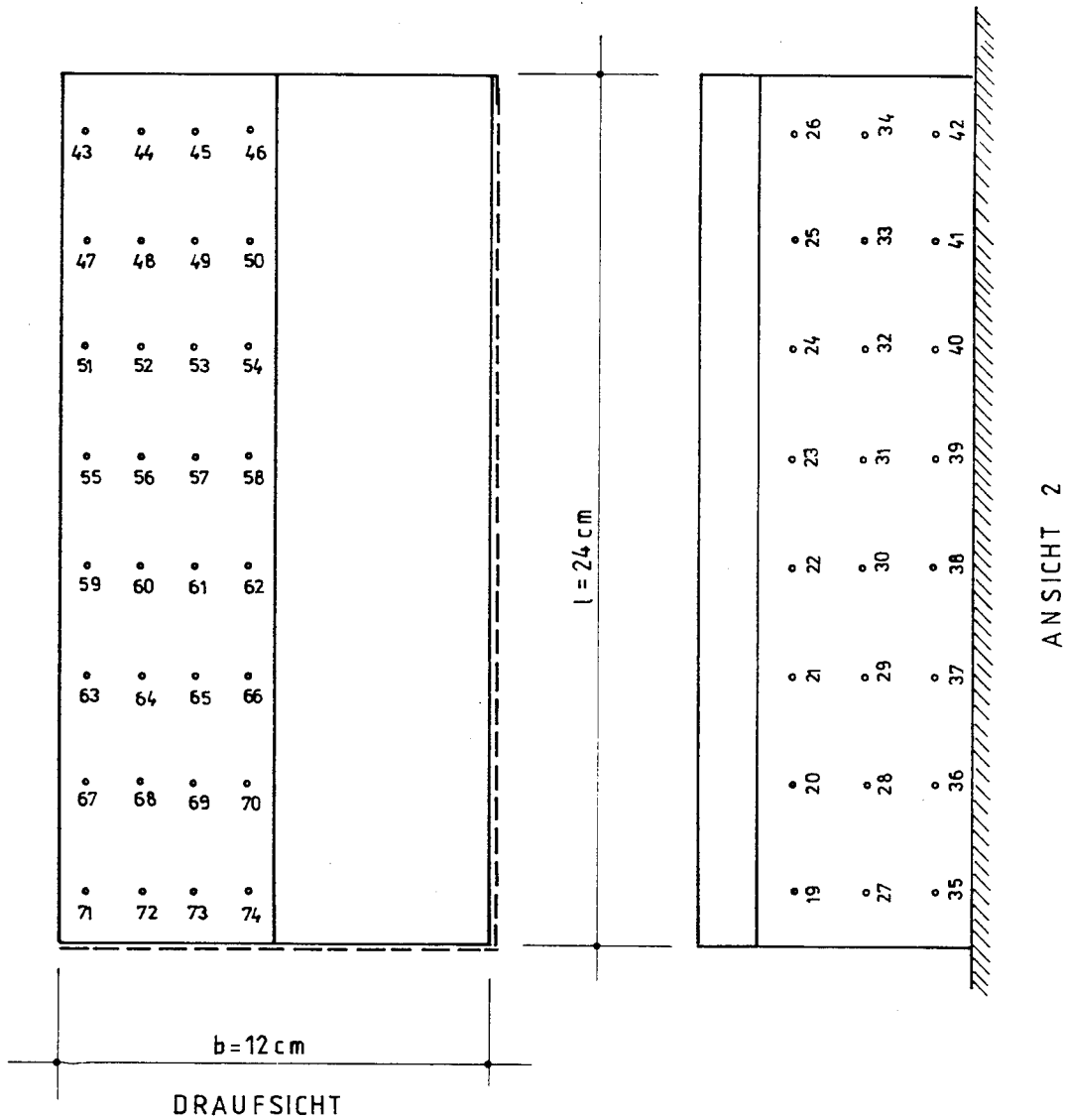
DRUCK VERTEILUNGSMODELL

Nr. 05 15 06 12 24

(DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$) M = 1 : 2



ANSICHT 1



DRAUFSICHT

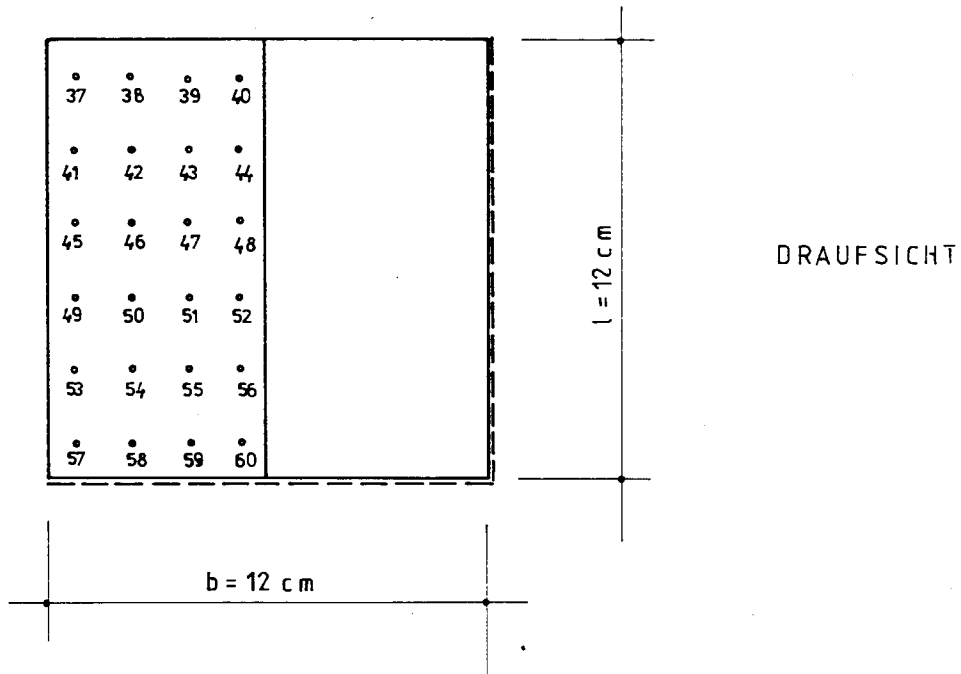
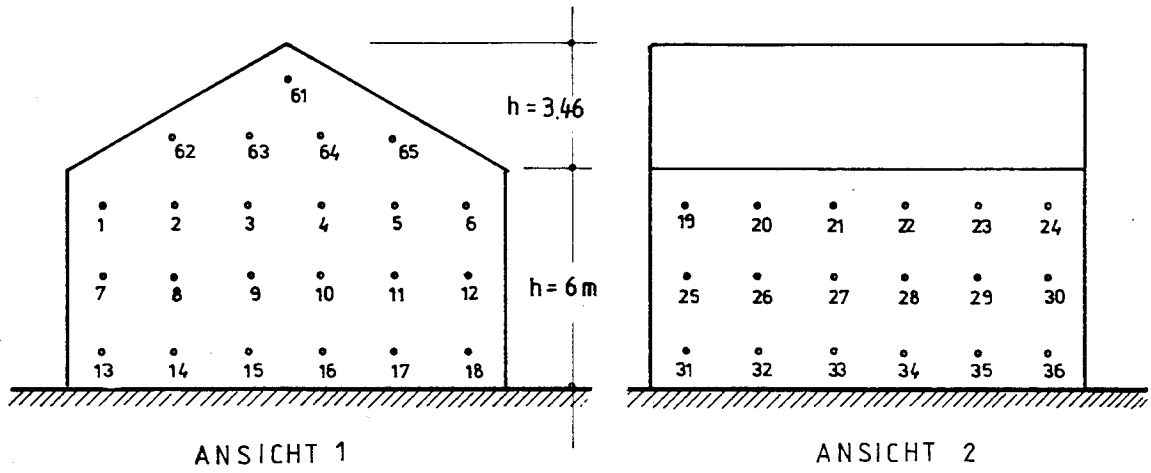
ANSICHT 2

MEßSTELLENPLAN

ABB. 12



DRUCKVERTEILUNGSMODELL
 Nr. 05 30 06 12 12
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$) M = 1:2

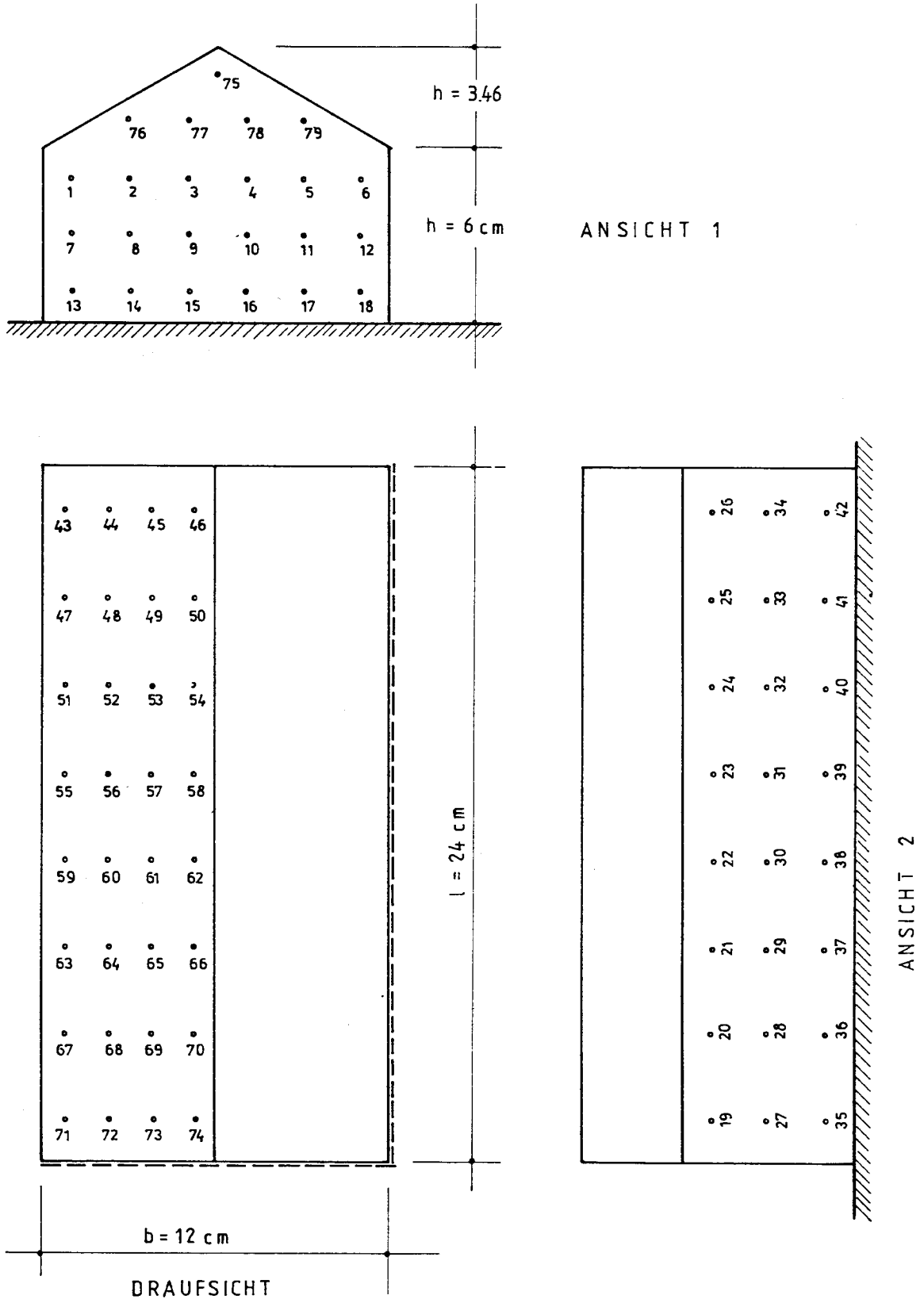


MEßSTELLENPLAN

ABB. 13



DRUCKVERTEILUNGSMODELL
 Nr. 05 30 06 12 24
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$) M = 1 : 2



MEßSTELLENPLAN

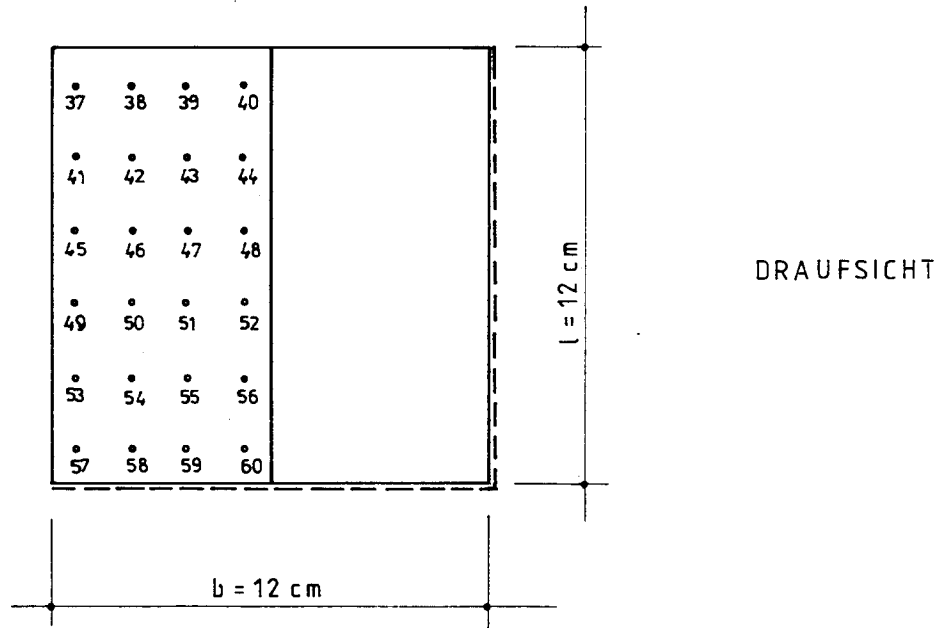
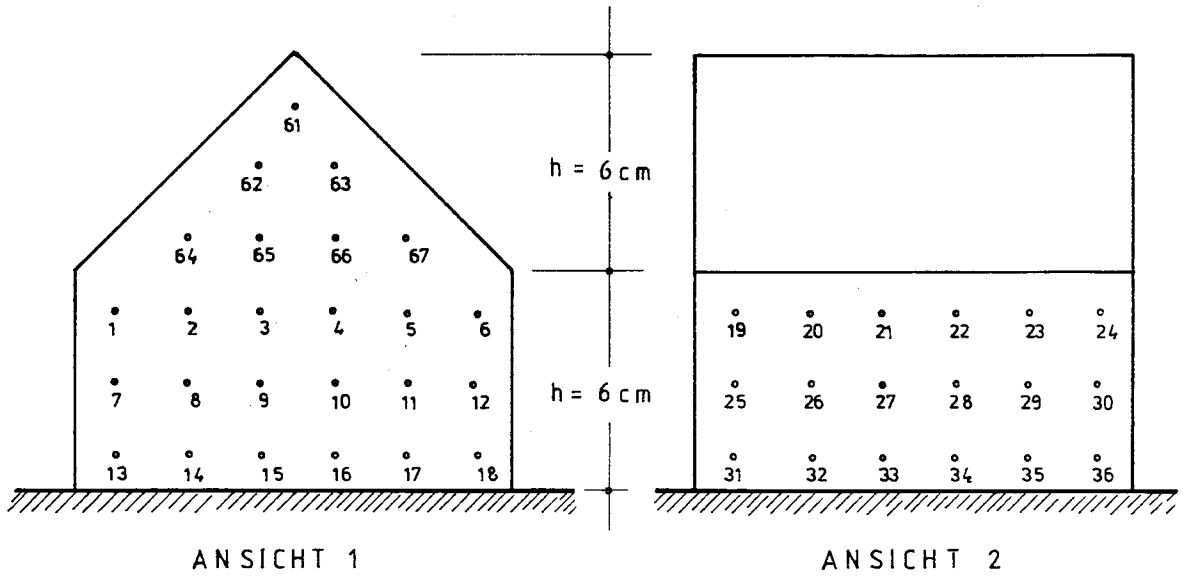
ABB. 14



DRUCK VERTEILUNGSMODELL

Nr. 05 45 06 12 12

(DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$) M = 1:2

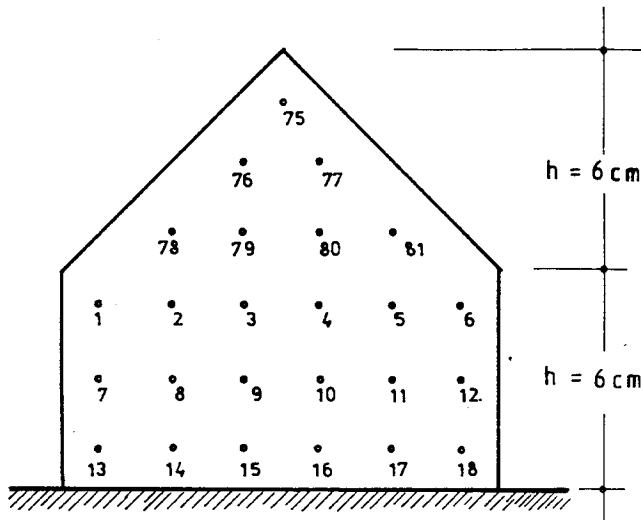




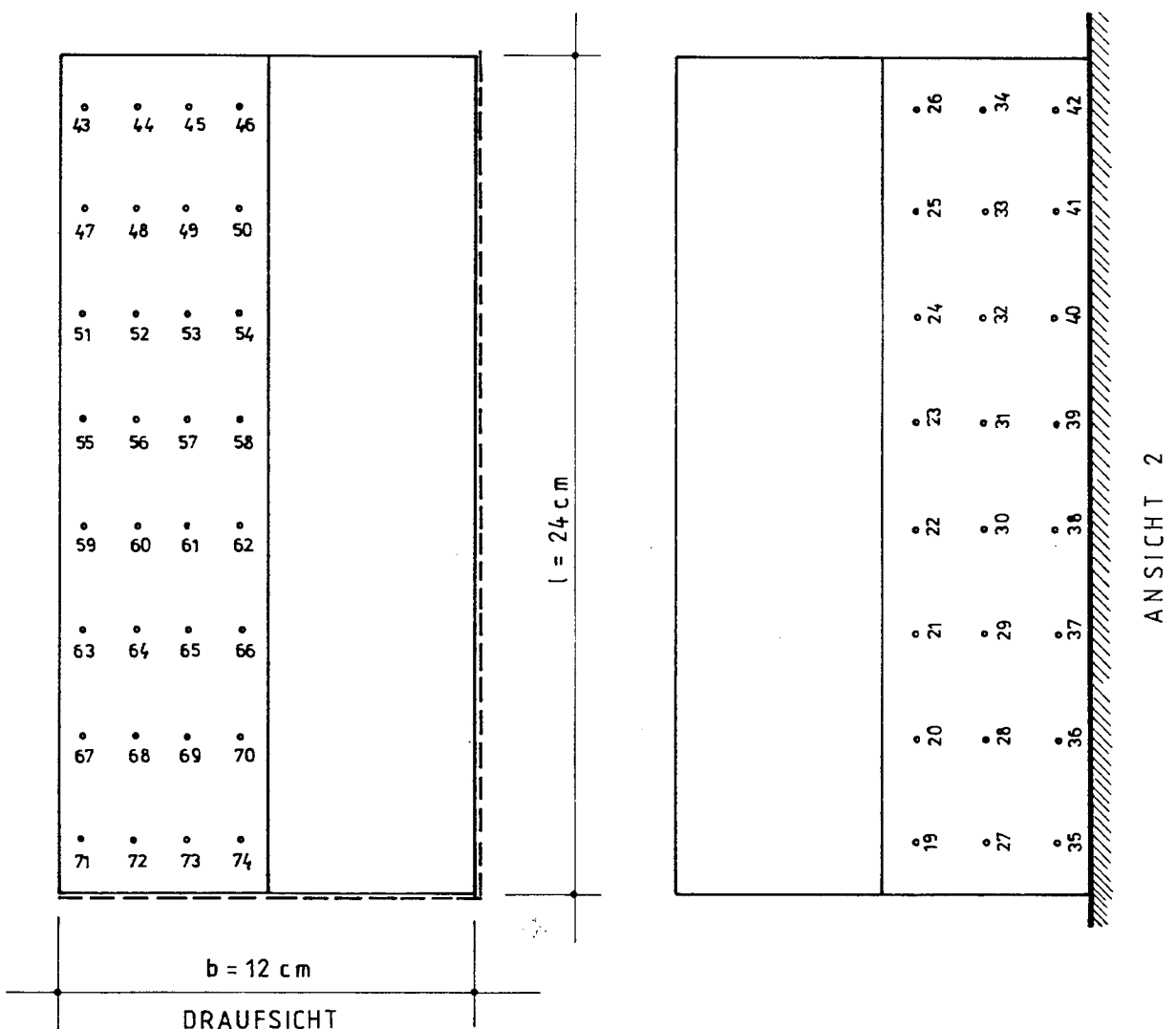
DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 05 45 06 12 24

(DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$) M = 1:2



ANSICHT 1



DRAUFSICHT

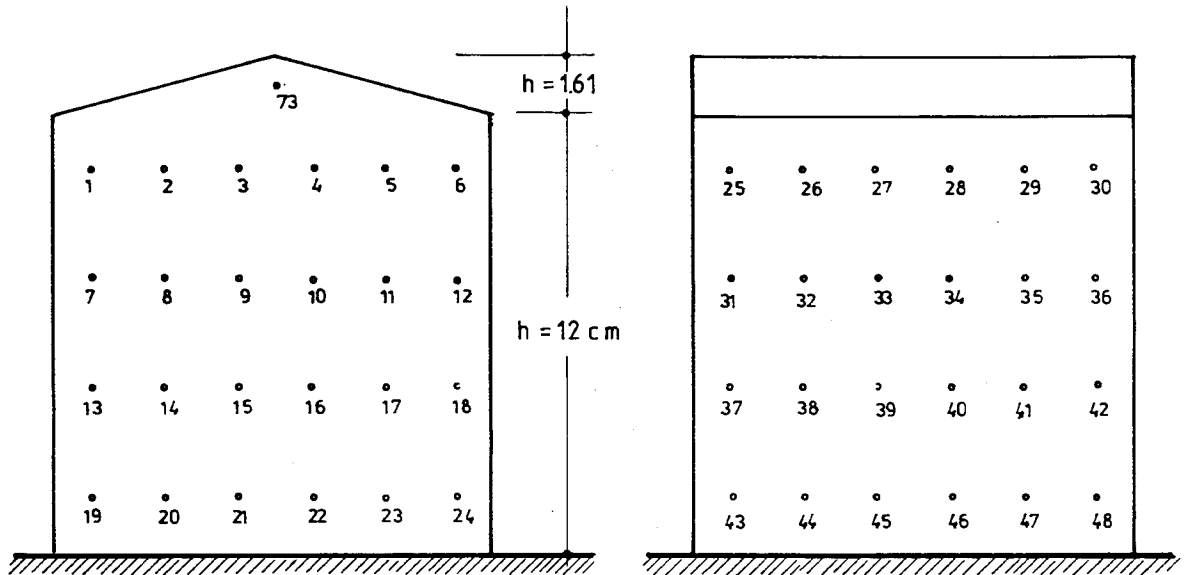
ANSICHT 2



DRUCK VERTEILUNGSMODELL

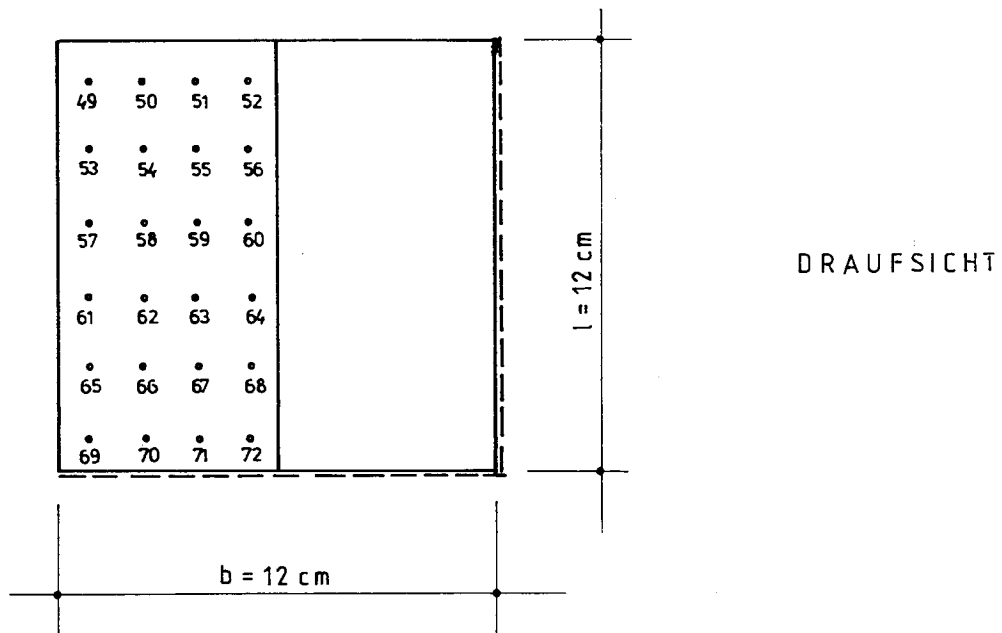
Nr. 10 15 12 12 12

(DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$) M=1:2



ANSICHT 1

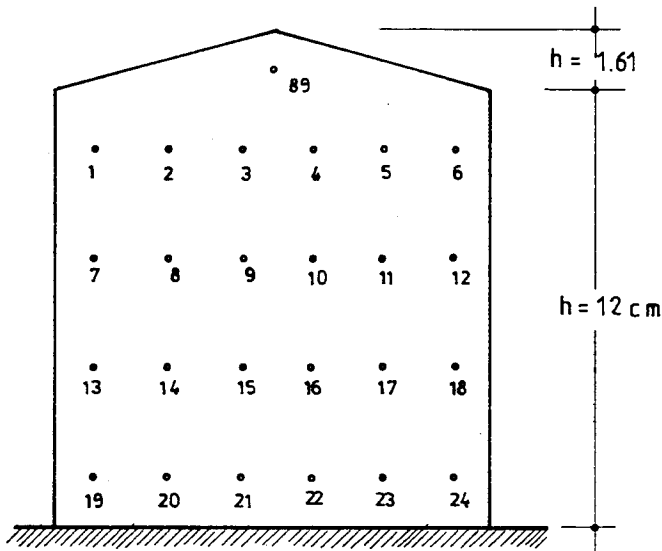
ANSICHT 2



DRAUFSICHT

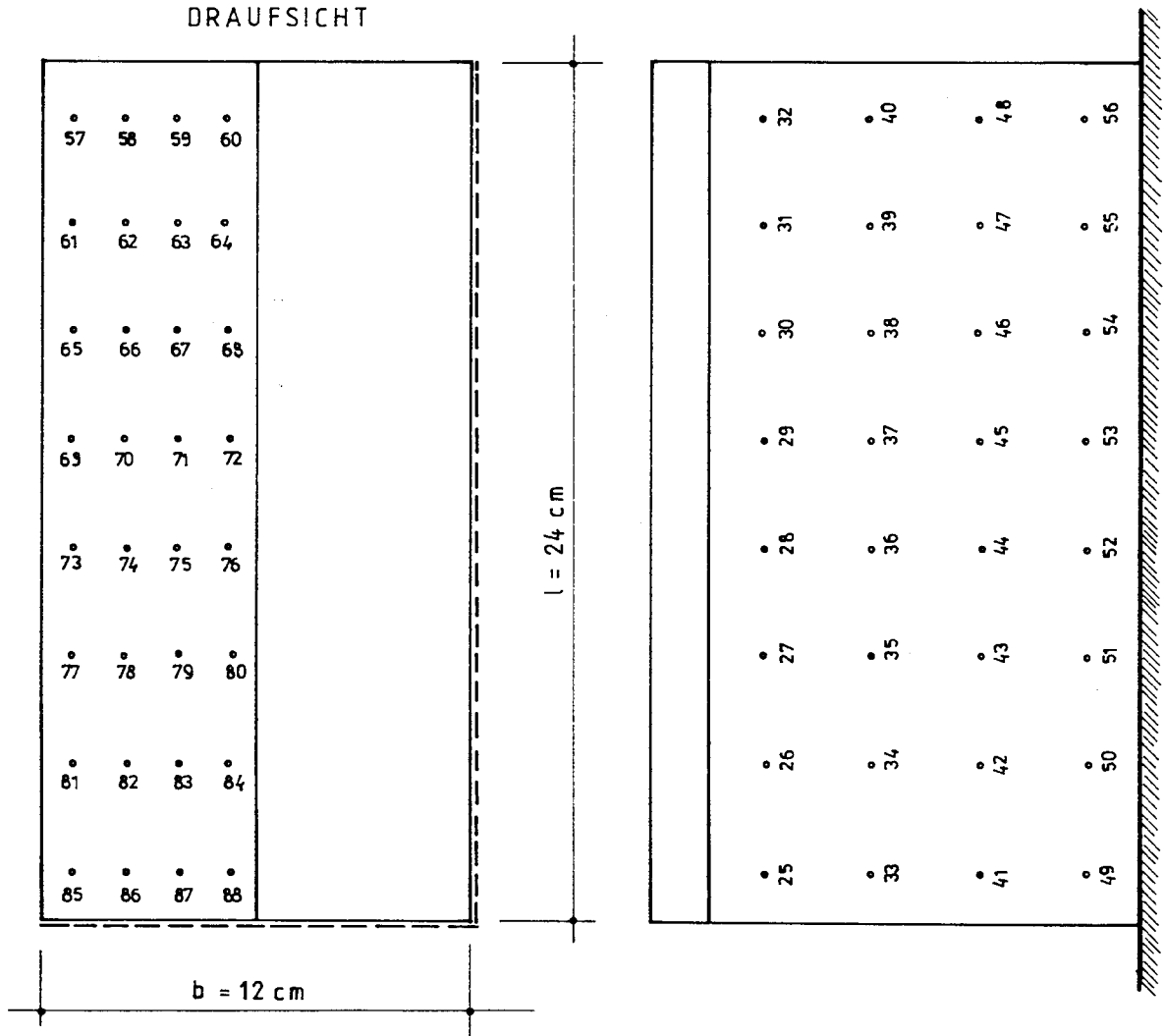


DRUCKVERTEILUNGSMODELL
 NR. 10 15 12 12 24
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$) M = 1 : 2



ANSICHT 1

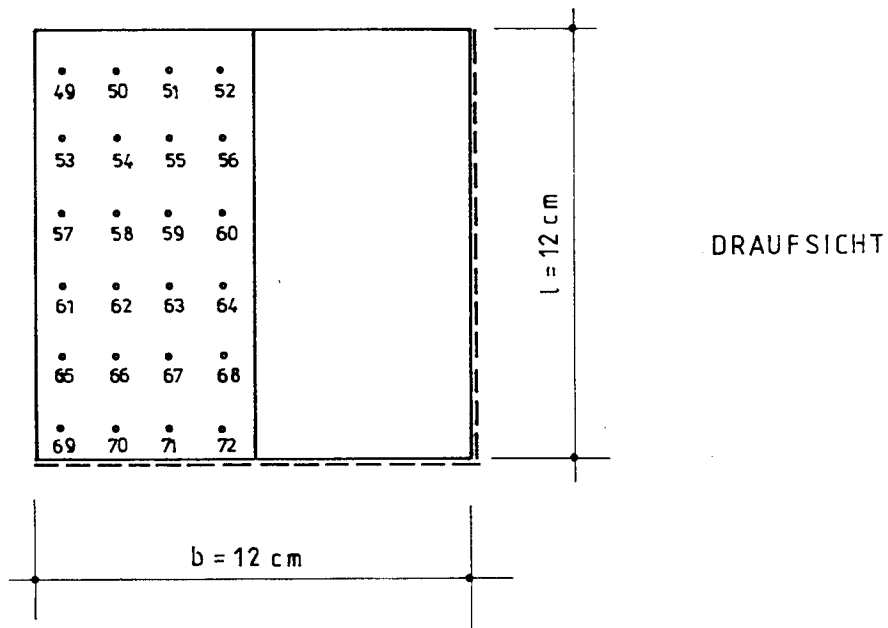
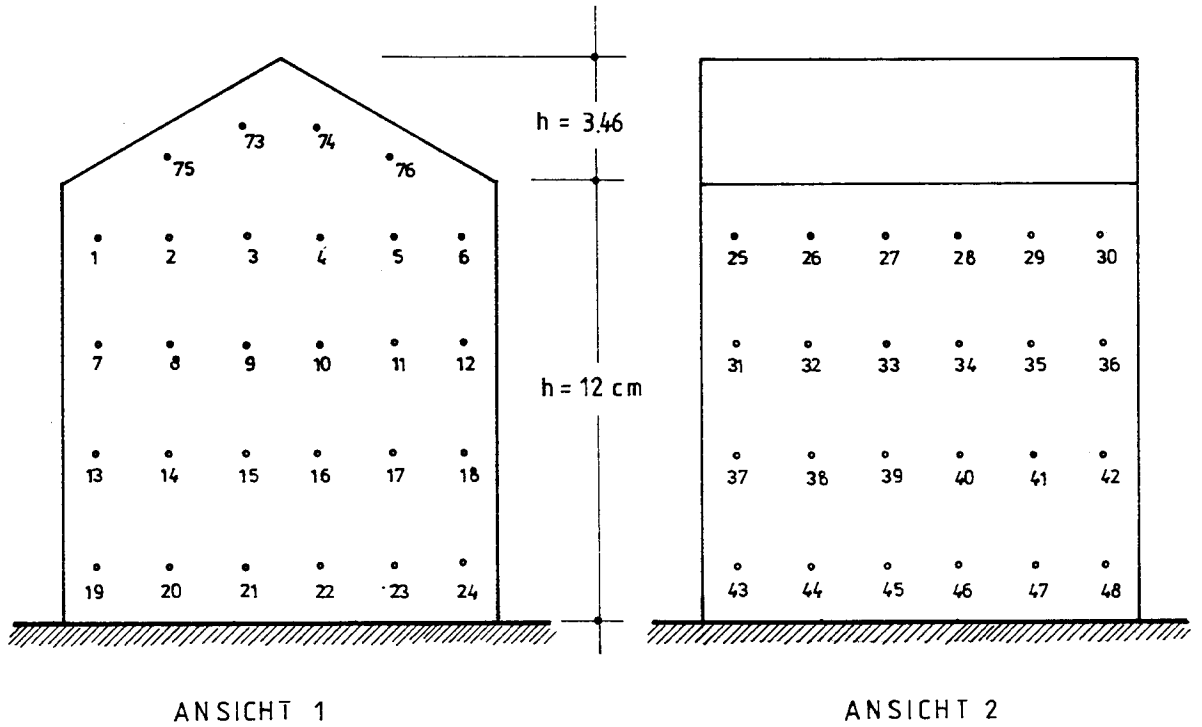
DRAUFSICHT



ANSICHT 2



DRUCKVERTEILUNGSMODELL
 NR. 10 30 12 12 12
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$) M = 1 : 2



MEßSTELLENPLAN

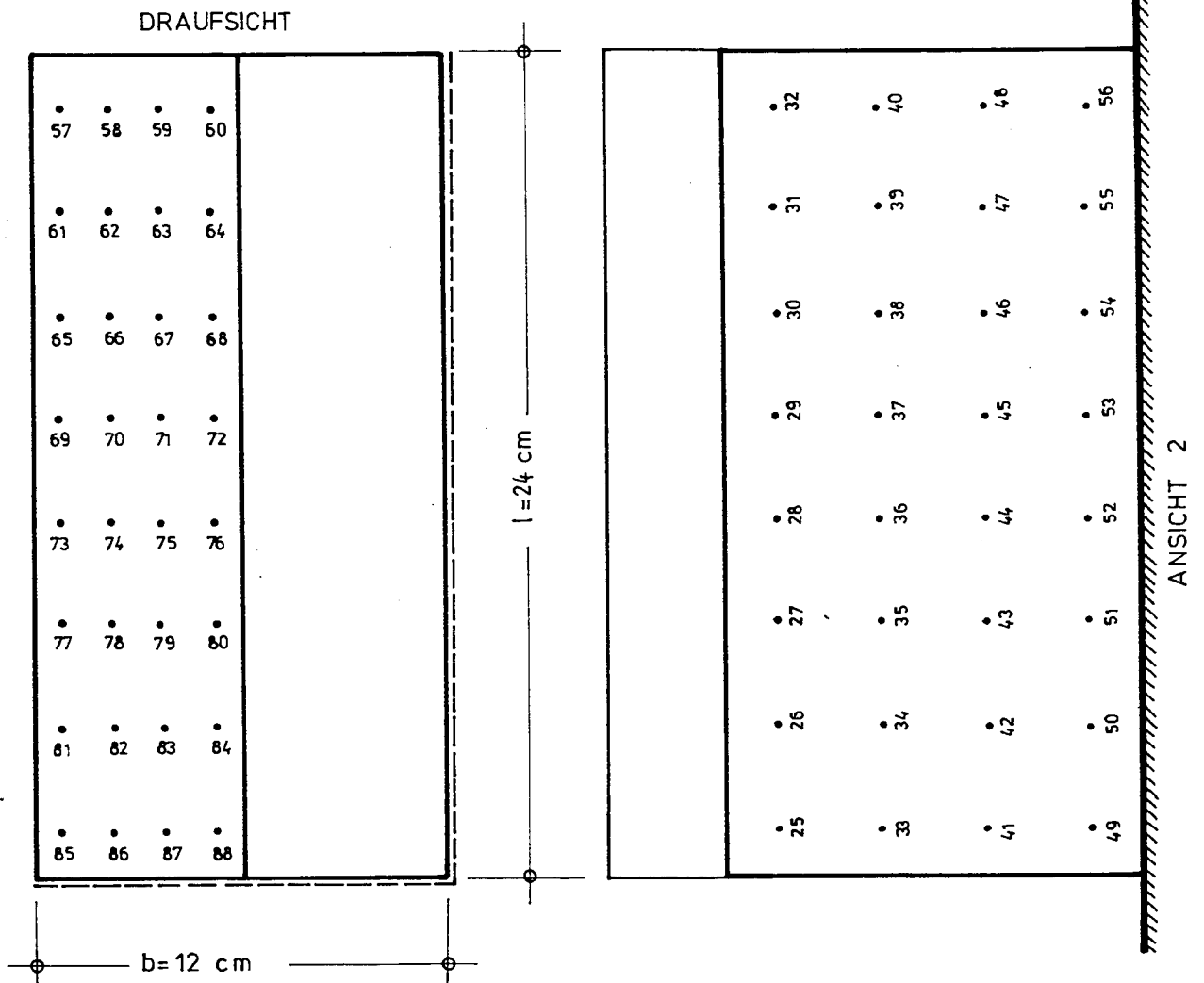
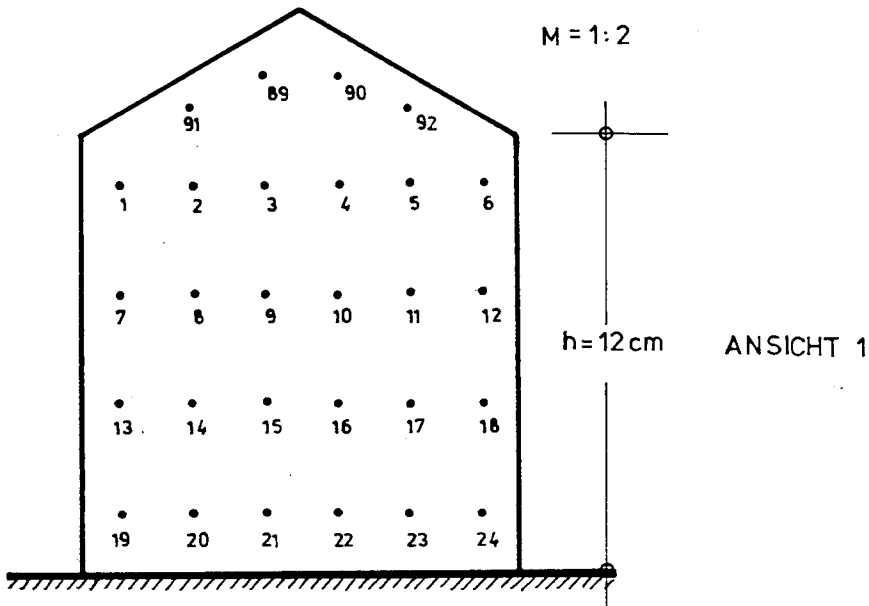
ABB. 19



DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 10 30 12 12 24

DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$



MEßSTELLENPLAN

ABB. 20

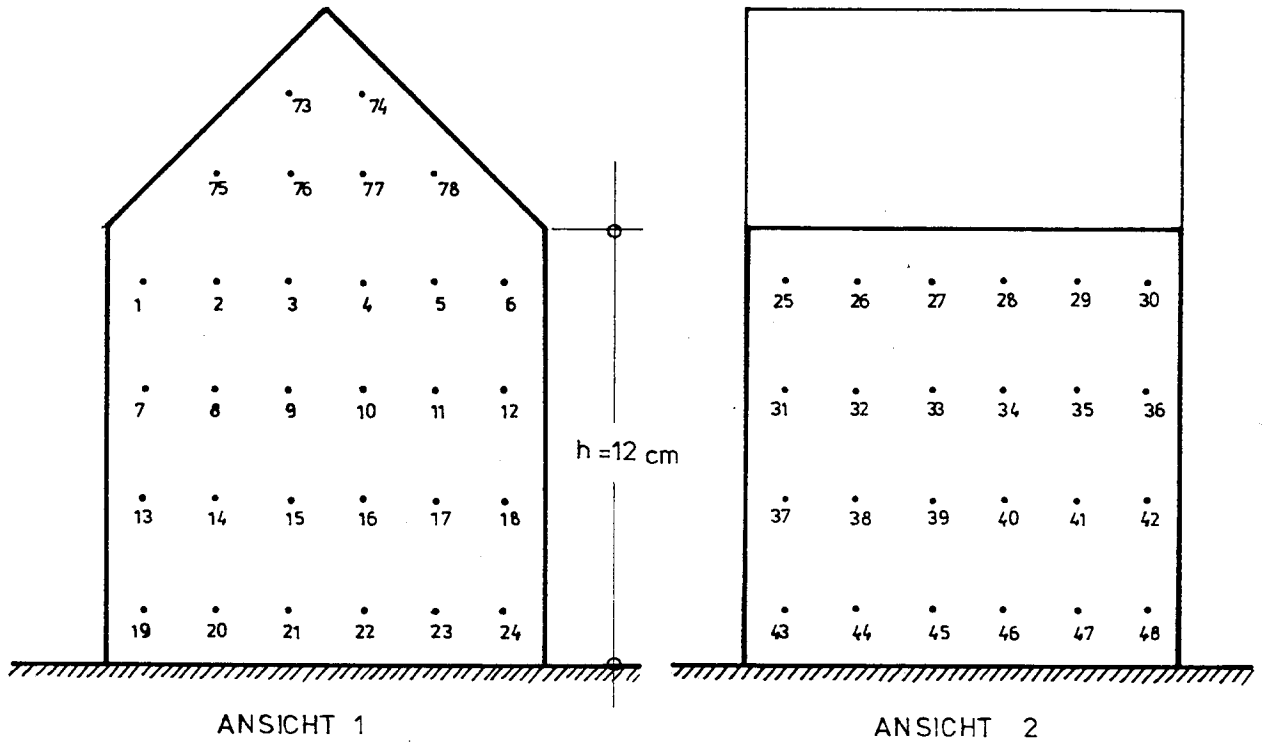


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 1045 12 12 12

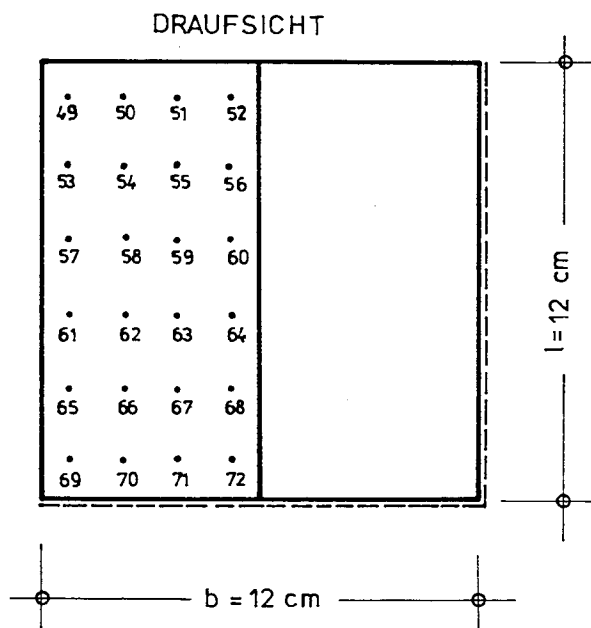
DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$

M = 1 : 2



ANSICHT 1

ANSICHT 2



DRAUFSICHT

MEßSTELLENPLAN

ABB. 21

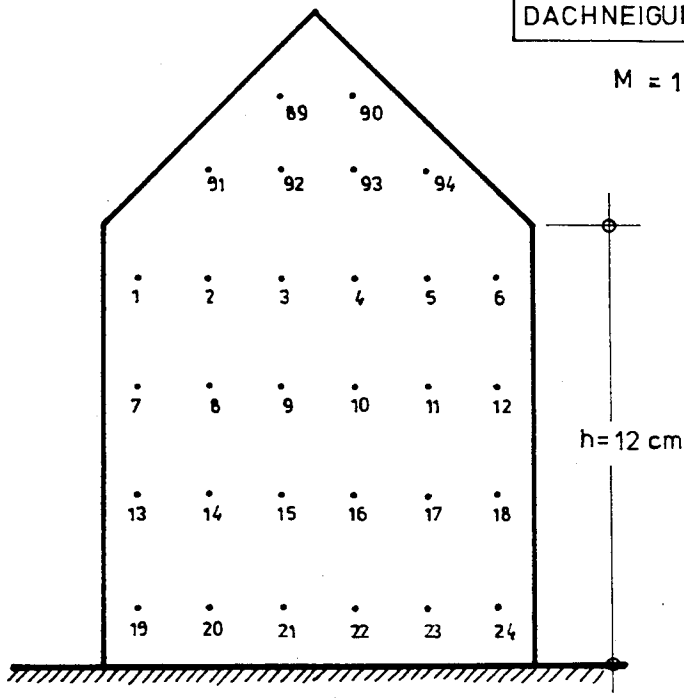


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 10 45 12 12 24

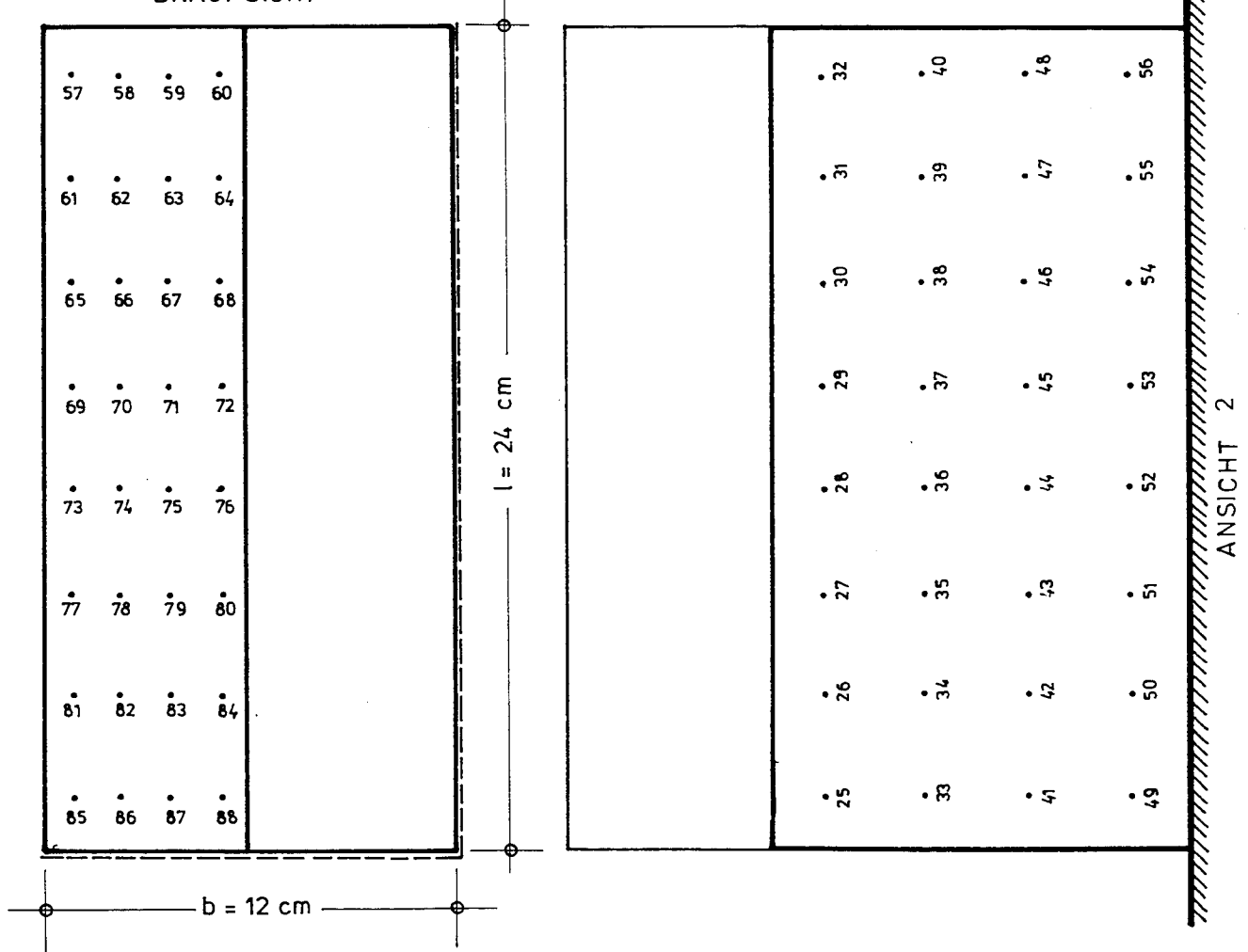
DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$

M = 1: 2



ANSICHT 1

DRAUFSICHT



ANSICHT 2

MEßSTELLENPLAN

ABB. 22

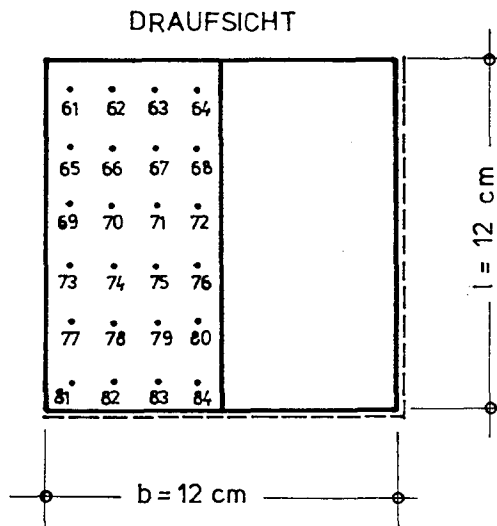
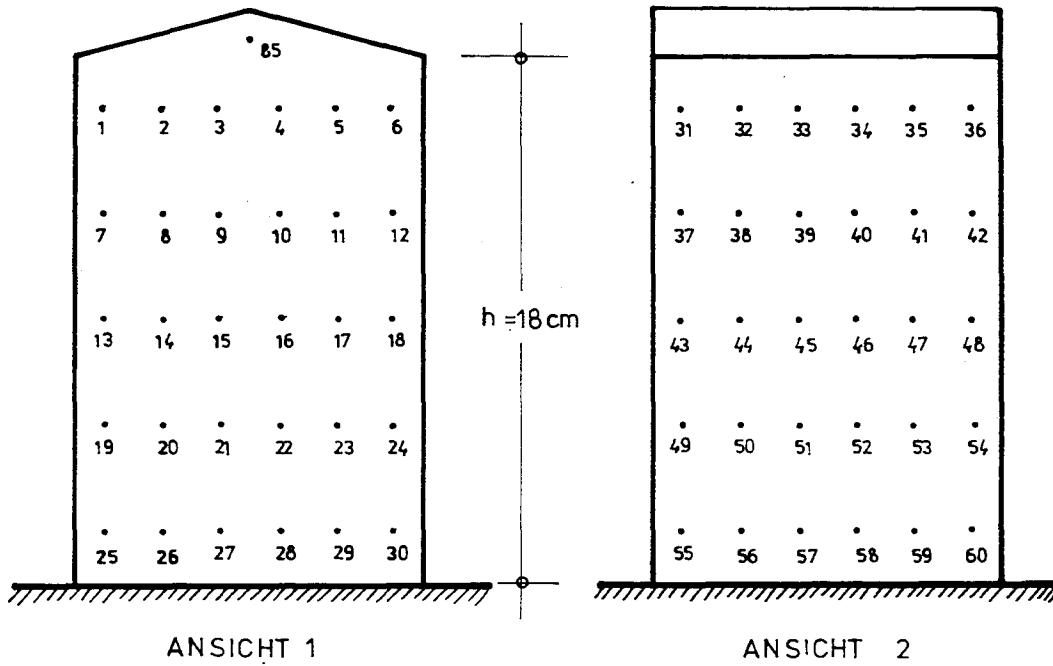


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 15 18 12 12

DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$

M = 1 : 2,5



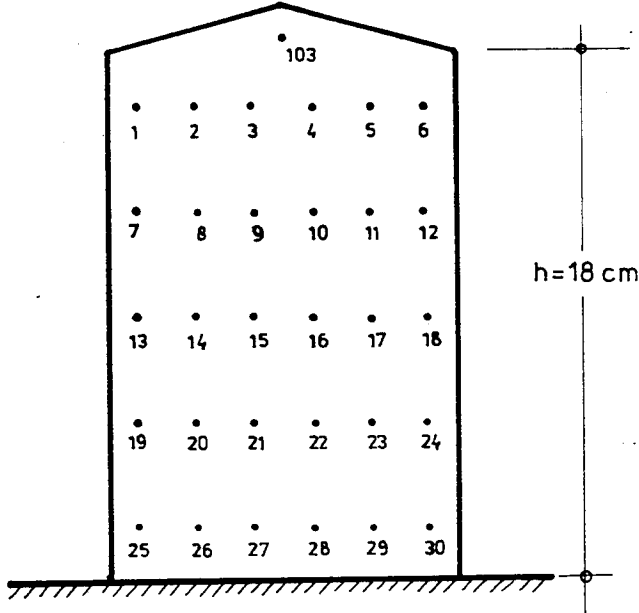


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 15 18 12 24

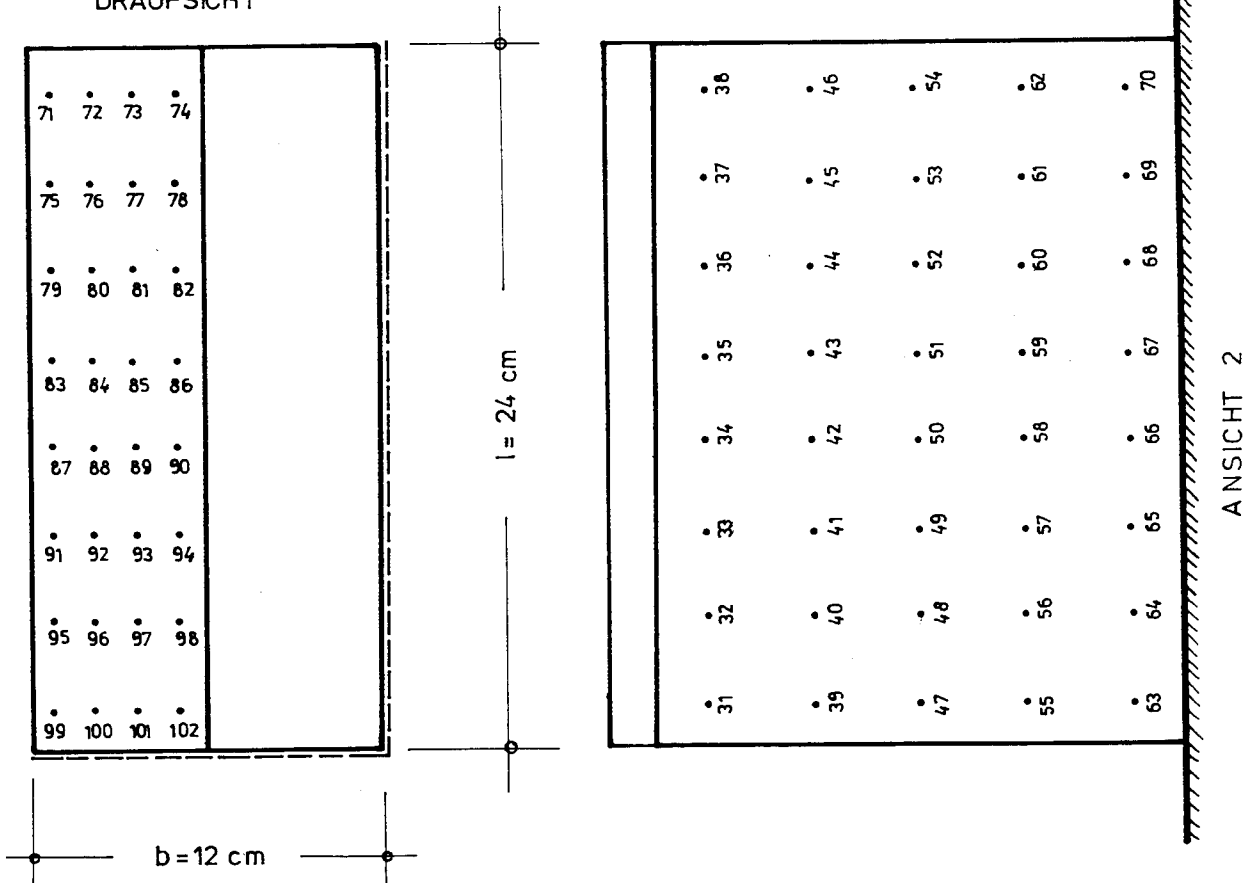
DACHNEIGUNG $\alpha = 15^\circ$

M = 1:2,5



ANSICHT 1

DRAUFSICHT



ANSICHT 2

MEßSTELLENPLAN

ABB. 24

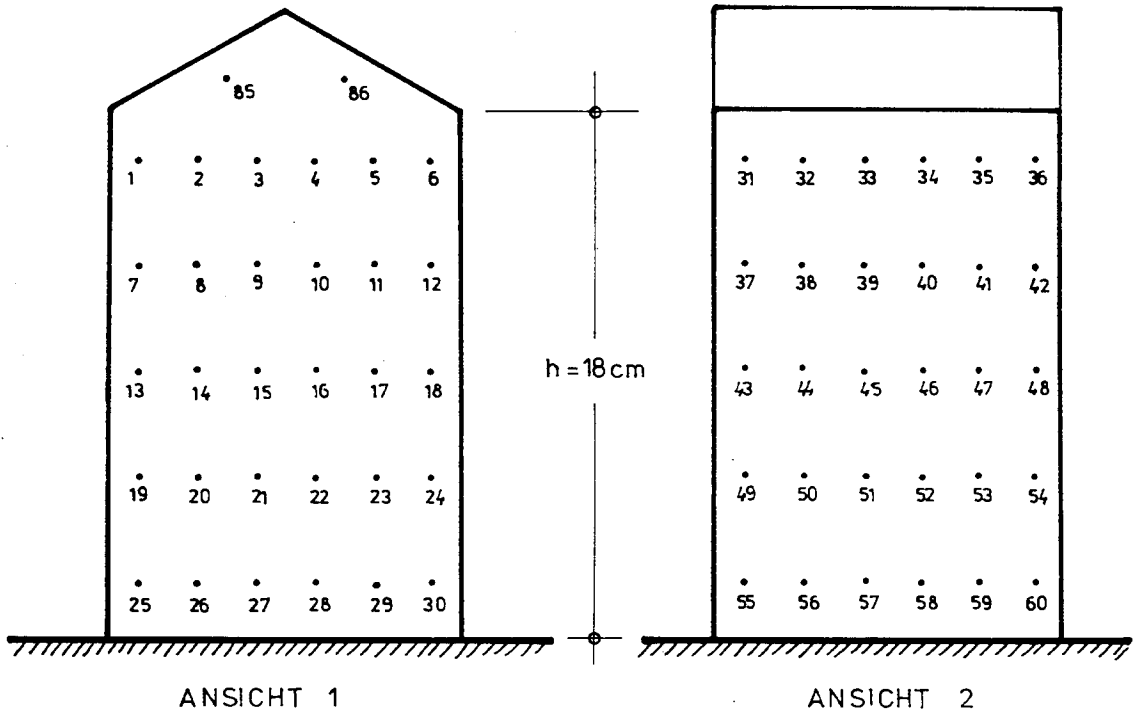


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 30 18 12 12

DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$

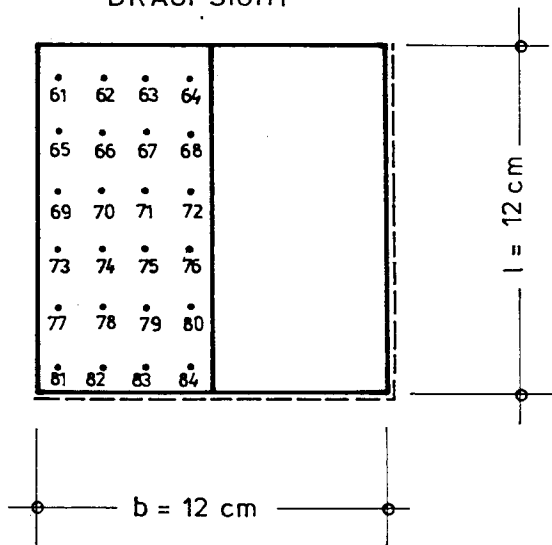
M = 1 : 2,5



ANSICHT 1

ANSICHT 2

DRAUFSICHT



MEßSTELLENPLAN

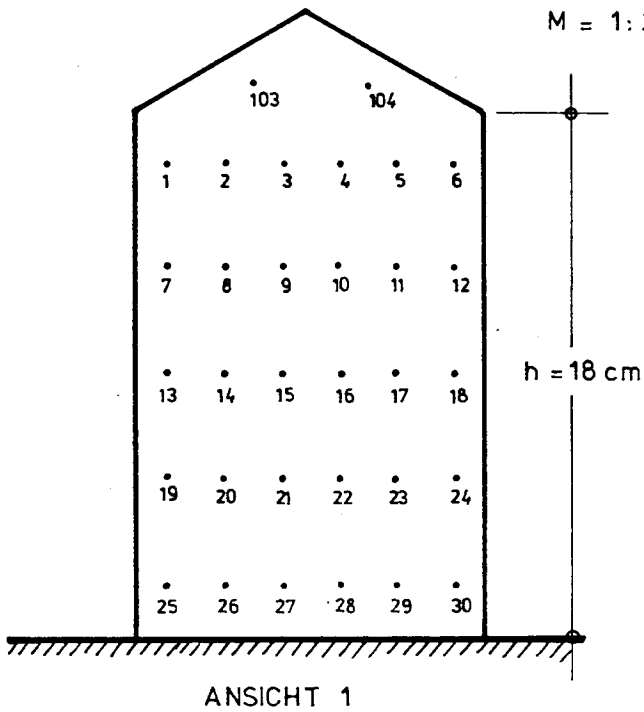
ABB. 25



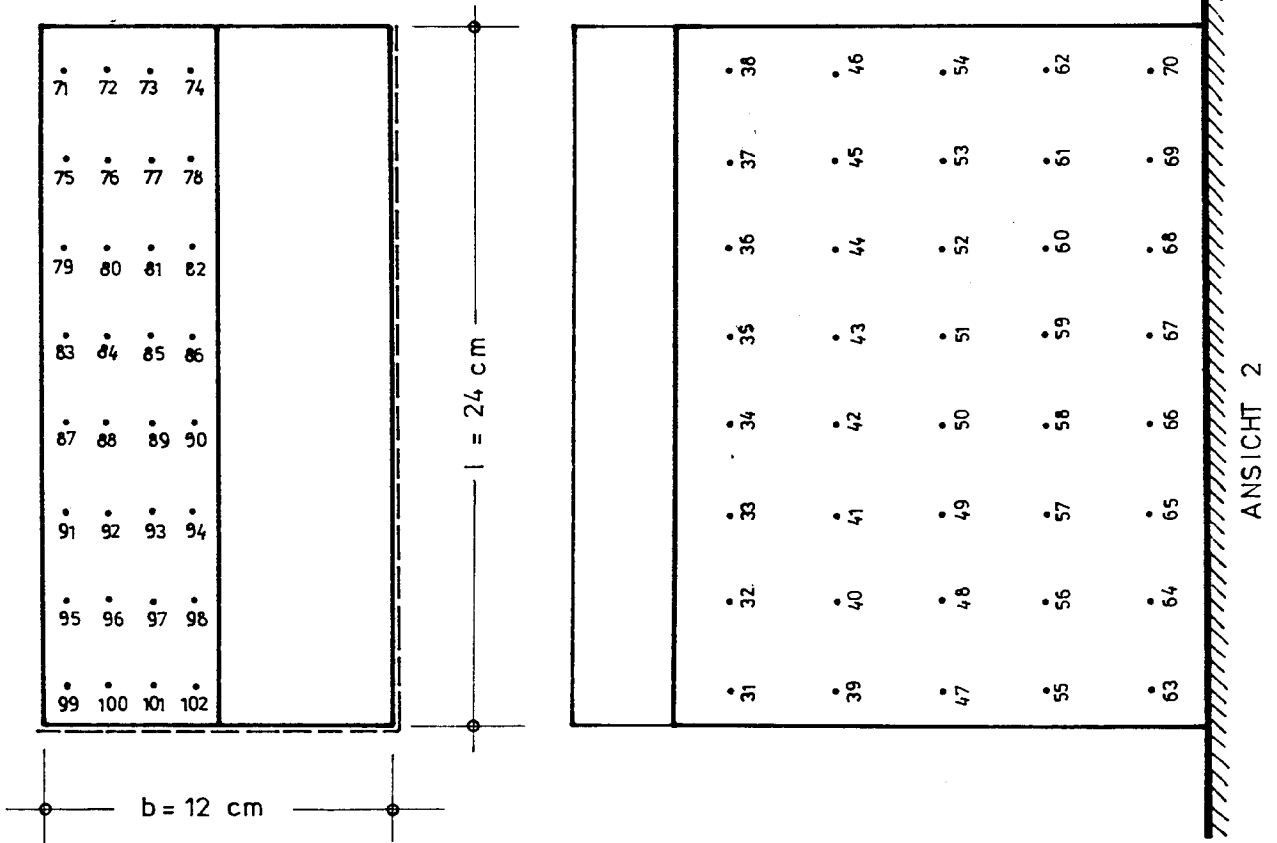
DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 30 18 12 24

DACHNEIGUNG $\alpha = 30^\circ$



DRAUFSICHT



MEßSTELLELENPLAN

ABB. 26

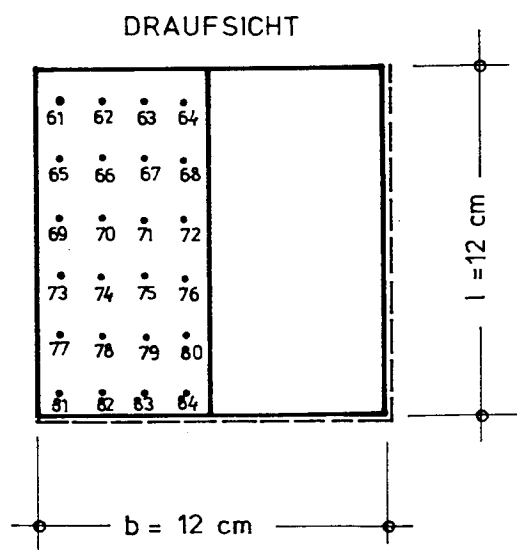
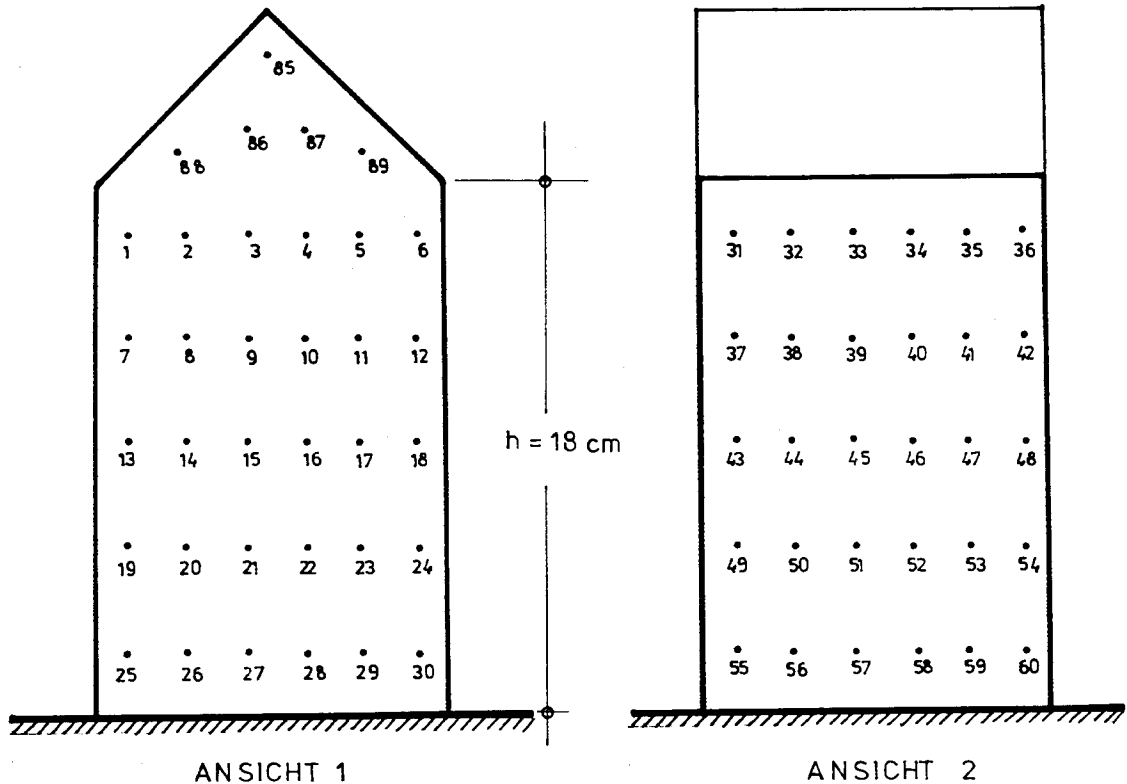


DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 45 18 12 12

DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$

M = 1:25

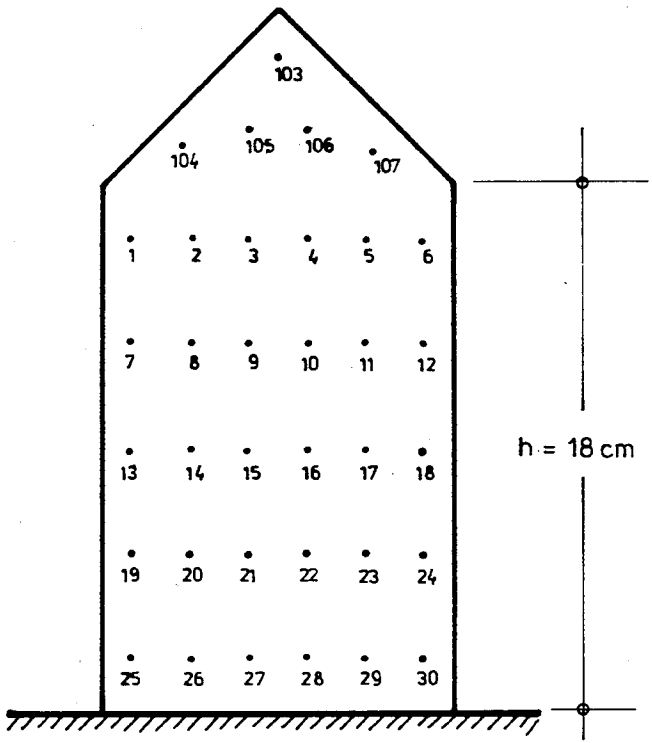




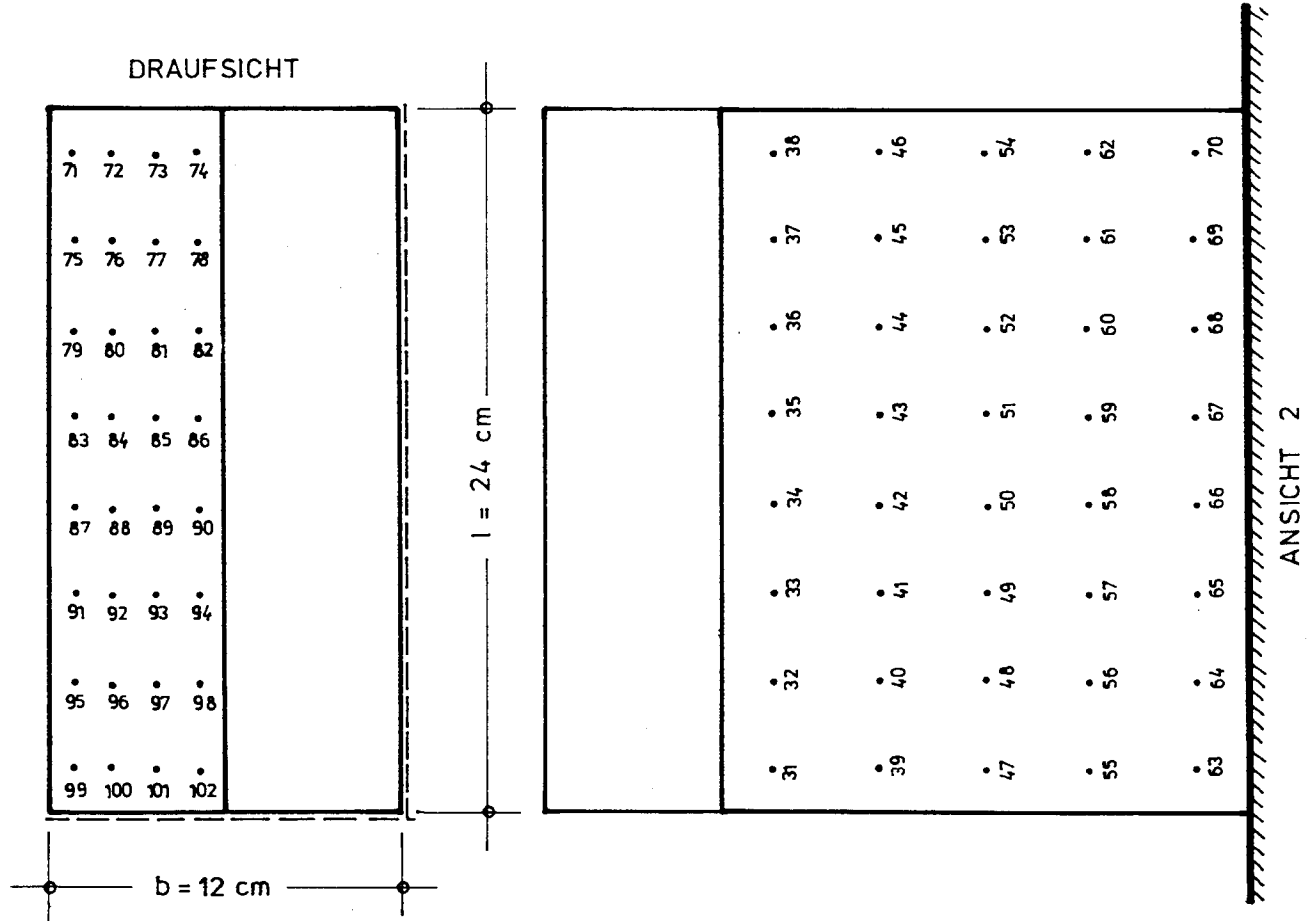
DRUCKVERTEILUNGSMODELL

NR. 15 45 18 12 24

DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$



ANSICHT 1



DRAUFSICHT

ANSICHT 2

MEßSTELLENPLAN

ABB. 28



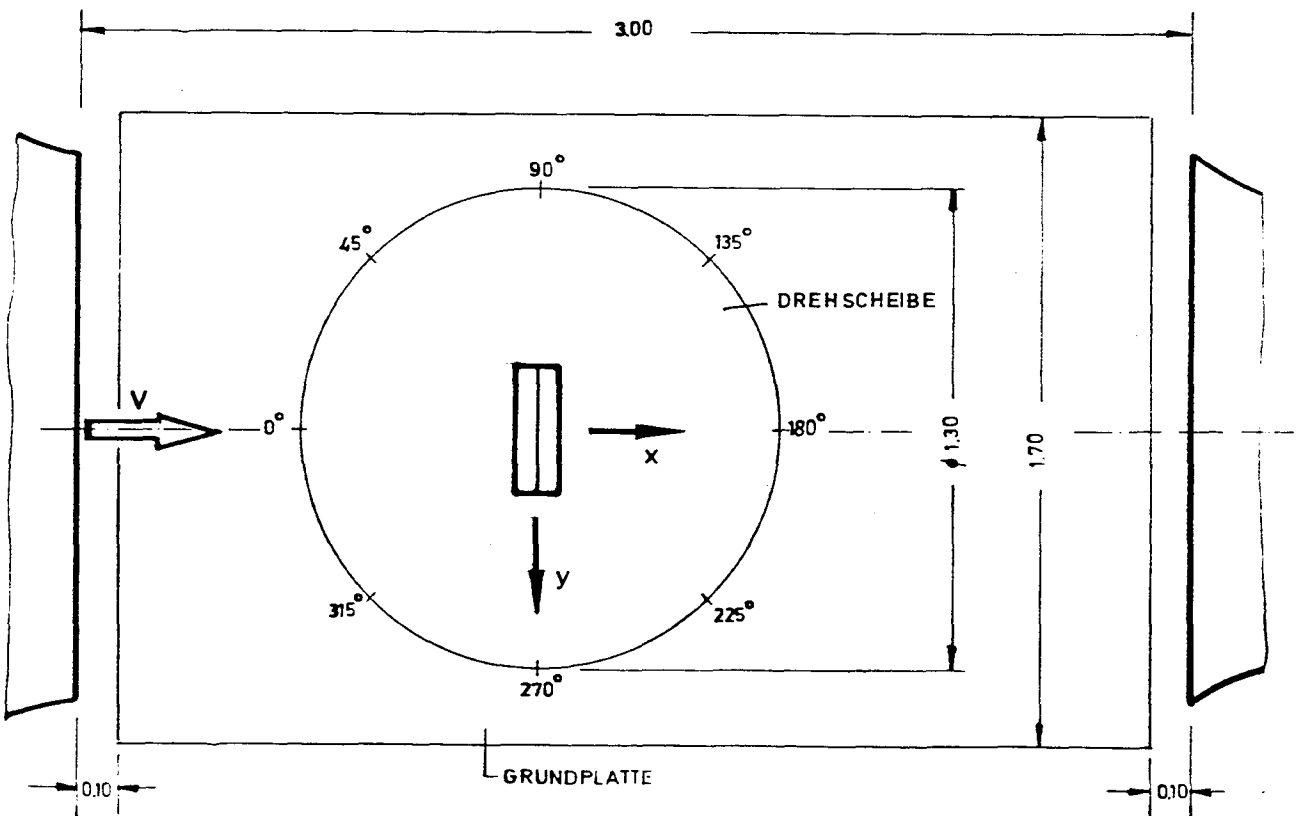
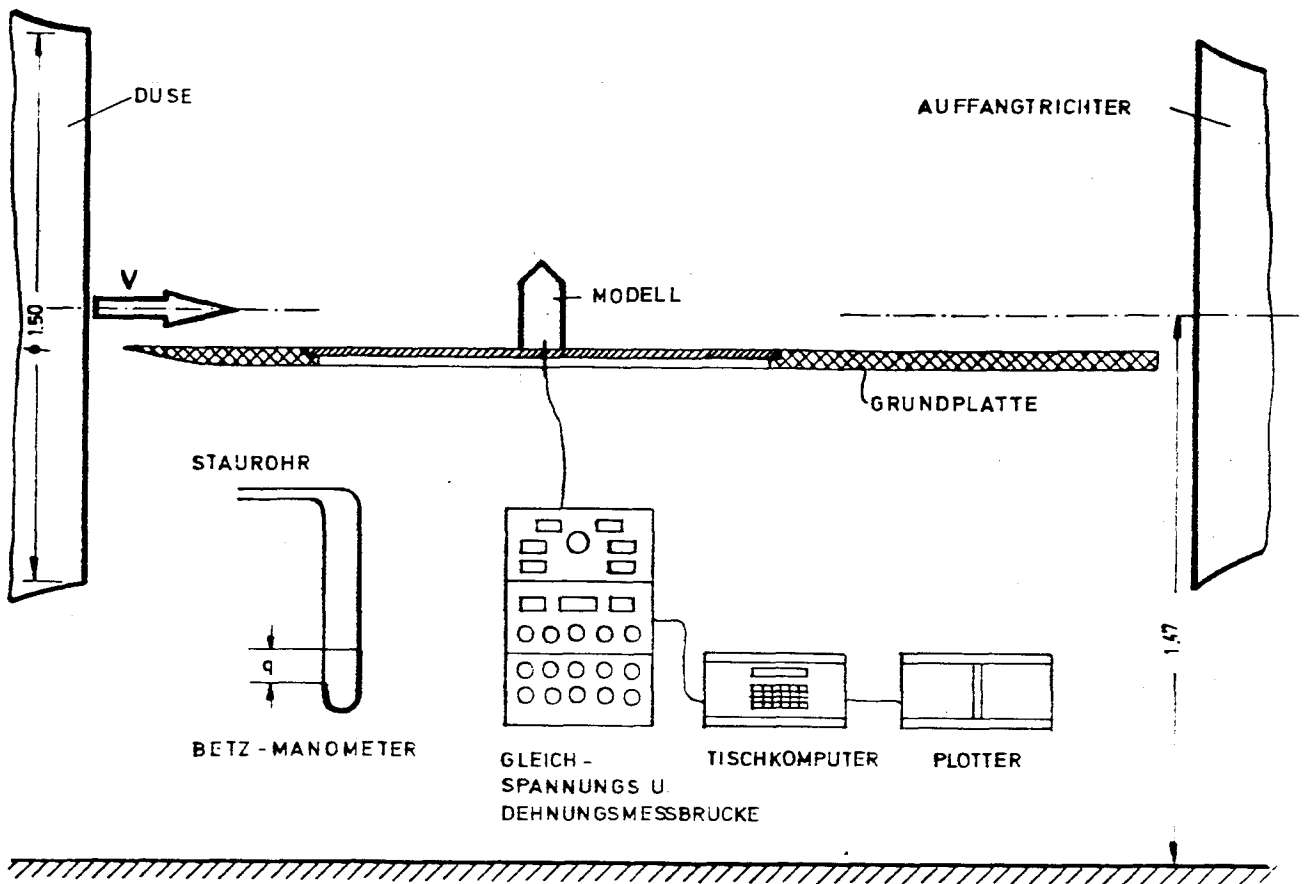
SHEDDACH 1 (DRAUFSICHT)

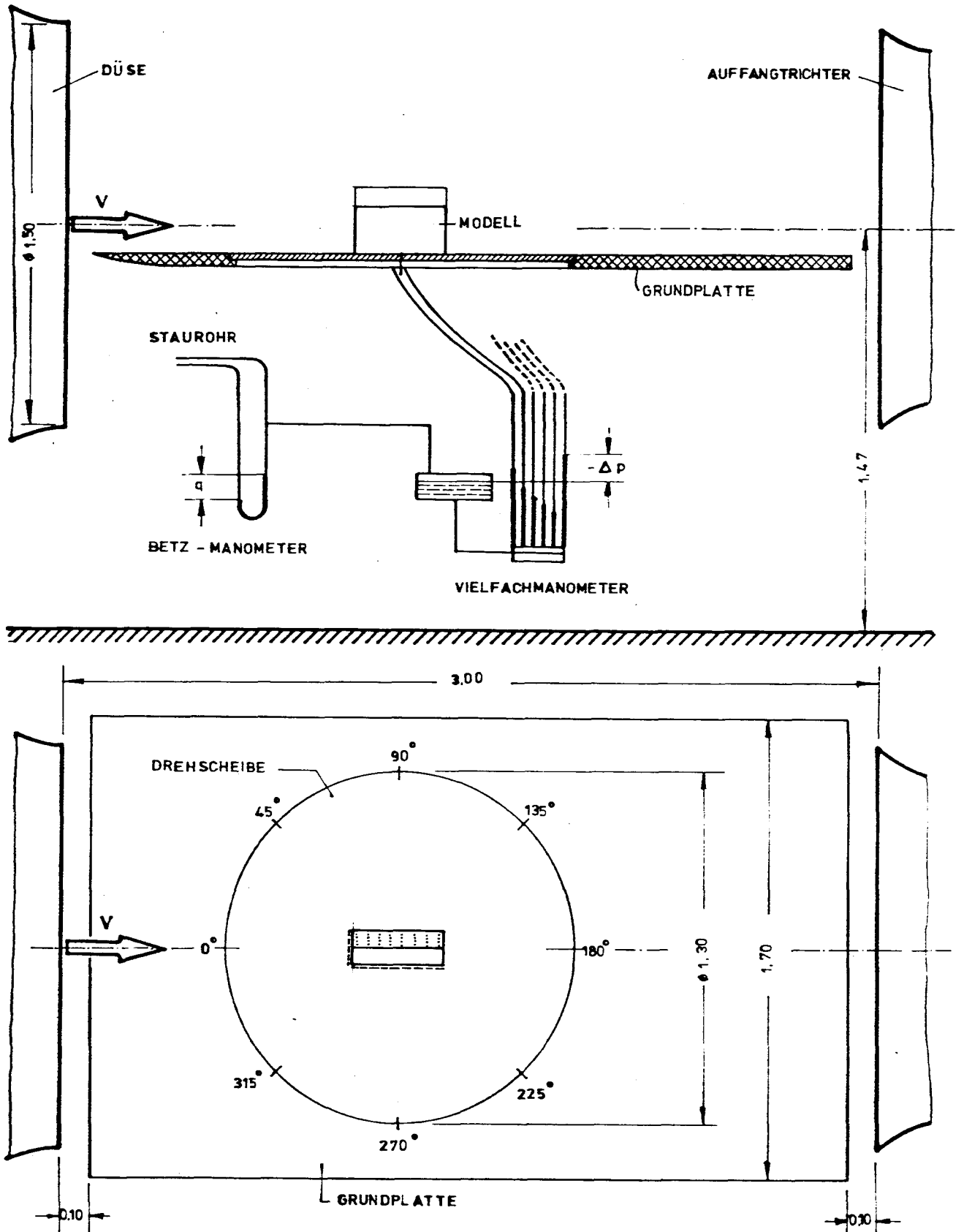
• 1	• 5	• 9	• 13	• 17	• 21
• 2	• 6	• 10	• 14	• 18	• 22
• 3	• 7	• 11	• 15	• 19	• 23
• 4	• 8	• 12	• 17	• 20	• 24
FIRST					
• 25	• 29	• 33	• 37	• 41	• 45
• 26	• 30	• 34	• 38	• 42	• 46
• 27	• 31	• 35	• 39	• 43	• 47
• 28	• 32	• 36	• 40	• 44	• 48
KEHLE					
• 49	• 53	• 57	• 61	• 65	• 69
• 50	• 54	• 58	• 62	• 66	• 70
• 51	• 55	• 59	• 63	• 67	• 71
• 52	• 56	• 60	• 64	• 68	• 72
• 73	• 77	• 81	• 85	• 89	• 93
• 74	• 78	• 82	• 86	• 90	• 94
• 75	• 79	• 83	• 87	• 91	• 95
• 76	• 80	• 84	• 88	• 92	• 96
• 97	• 101	• 105	• 109	• 113	• 117
• 98	• 102	• 106	• 110	• 114	• 118
• 99	• 103	• 107	• 111	• 115	• 119
• 100	• 104	• 108	• 112	• 116	• 120
• 121	• 125	• 129	• 133	• 137	• 141
• 122	• 126	• 130	• 134	• 138	• 142
• 123	• 127	• 131	• 135	• 139	• 143
• 124	• 128	• 132	• 136	• 140	• 144
• 145	• 149	• 153	• 157	• 161	• 165
• 146	• 150	• 154	• 158	• 162	• 166
• 147	• 151	• 155	• 159	• 163	• 167
• 148	• 152	• 156	• 160	• 164	• 168
• 169	• 173	• 177	• 181	• 185	• 189
• 170	• 174	• 178	• 182	• 186	• 190
• 171	• 175	• 179	• 183	• 187	• 191
• 172	• 176	• 180	• 184	• 188	• 192



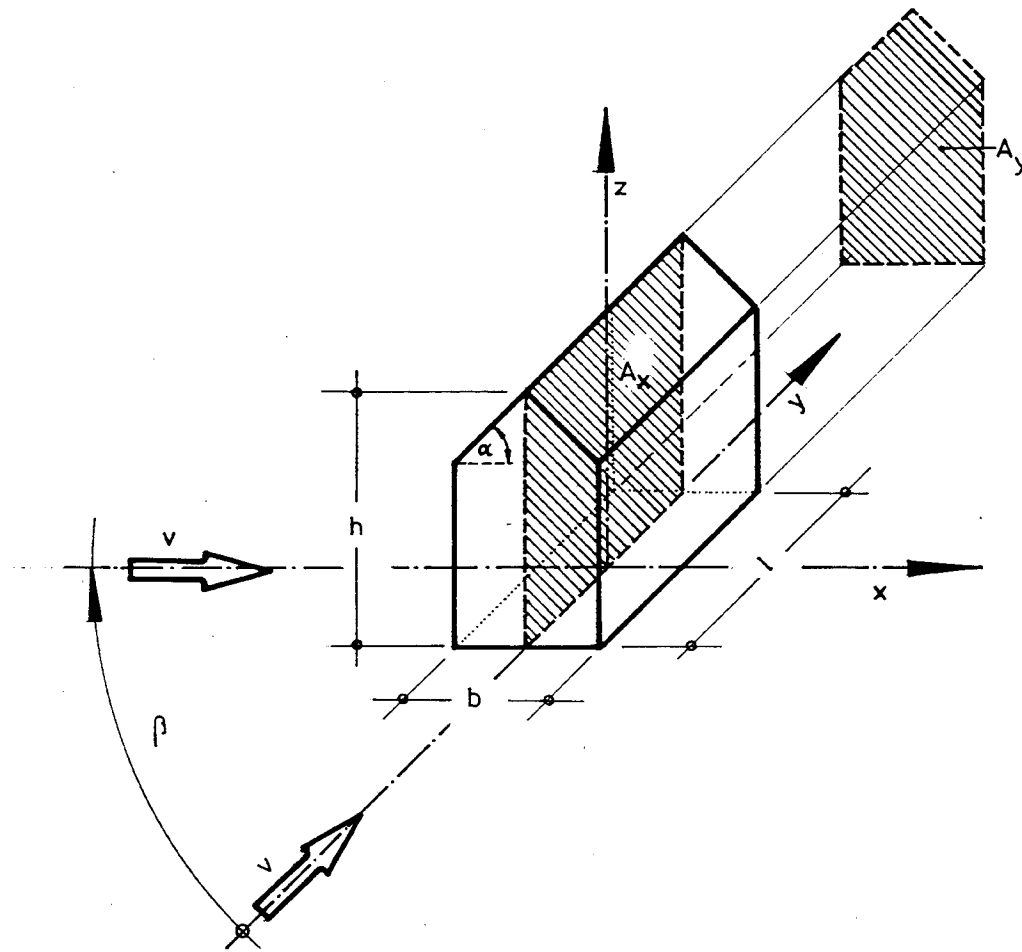
SHEDDACH 2 (DRAUFSICHT)

• 1	• 5	• 9	• 13	• 17	• 21
• 2	• 6	• 10	• 14	• 18	• 22
• 3	• 7	• 11	• 15	• 19	• 23
• 4	• 8	• 12	FIRST	• 20	• 24
• 25	• 29	• 33	• 37	• 41	• 45
• 26	• 30	• 34	• 38	• 42	• 46
• 27	• 31	• 35	• 39	• 43	• 47
• 28	• 32	• 36	• 40	• 44	• 48
• 49	• 53	• 57	KEHLE	• 61	• 69
• 50	• 54	• 58	• 62	• 66	• 70
• 51	• 55	• 59	• 63	• 67	• 71
• 52	• 56	• 60	• 64	• 68	• 72
• 73	• 77	• 81	• 85	• 89	• 93
• 74	• 78	• 82	• 86	• 90	• 94
• 75	• 79	• 83	• 87	• 91	• 95
• 76	• 80	• 84	• 88	• 92	• 96
• 97	• 101	• 105	• 109	• 113	• 117
• 98	• 102	• 106	• 110	• 114	• 118
• 99	• 103	• 107	• 111	• 115	• 119
• 100	• 104	• 108	• 112	• 116	• 120
• 121	• 125	• 129	• 133	• 137	• 141
• 122	• 126	• 130	• 134	• 138	• 142
• 123	• 127	• 131	• 135	• 139	• 143
• 124	• 128	• 132	• 136	• 140	• 144
• 145	• 149	• 153	• 157	• 161	• 165
• 146	• 150	• 154	• 158	• 162	• 166
• 147	• 151	• 155	• 159	• 163	• 167
• 148	• 152	• 156	• 160	• 164	• 168
• 169	• 173	• 177	• 181	• 185	• 189
• 170	• 174	• 178	• 182	• 186	• 190
• 171	• 175	• 179	• 183	• 187	• 191
• 172	• 176	• 180	• 184	• 188	• 192





VERSUCHSAUFBAU FÜR DIE DRUCKVERTEILUNGSMESSUNG ABB.32



$v = \text{ANSTRÖMGESCHWINDIGKEIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot q}{\rho}}$; ($\rho = \text{DICHTER DER LUFT}$)

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

$c_p = \text{ÖRTLICHER DRUCKBEIWERT} = \frac{\Delta p}{q}$

$\Delta p = p - p_\infty$

$p = \text{GESAMTDRUCK AN DER JEWEILIGEN MESSSTELLE}$

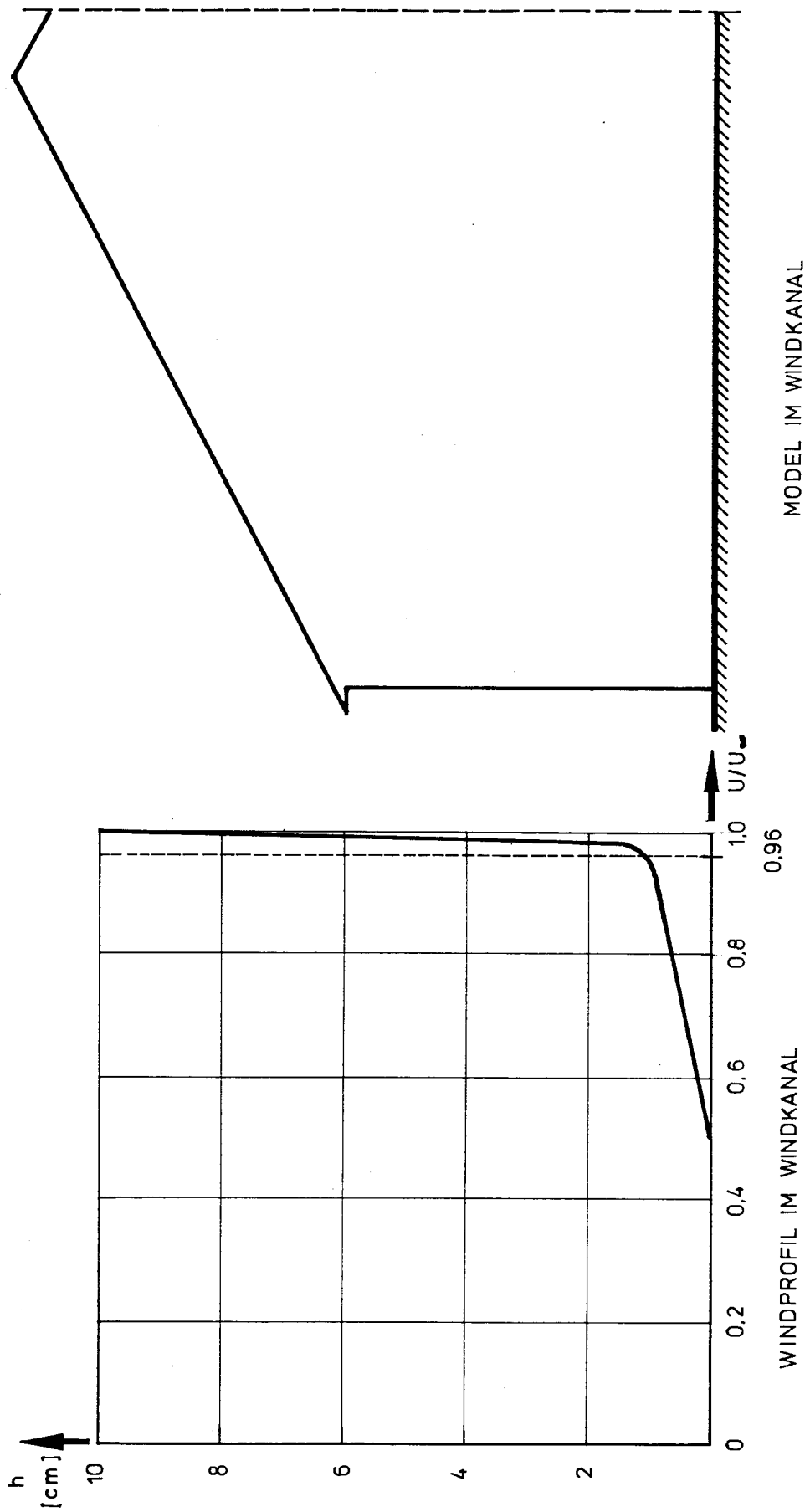
$p_\infty = \text{UMGEBUNGSDRUCK}$

$c_{fx} = \text{KRAFTBEIWERT IN RICHTUNG DER } x\text{-ACHSE} = \frac{F_x}{q \cdot A_x}$

$c_{fy} = \text{--- || ---} \quad y\text{-ACHSE} = \frac{F_y}{q \cdot A_y}$

F_x BZW. $F_y = \text{WINDKRAFT IN RICHTUNG DER } x\text{- BZW. } y\text{-RICHTUNG}$

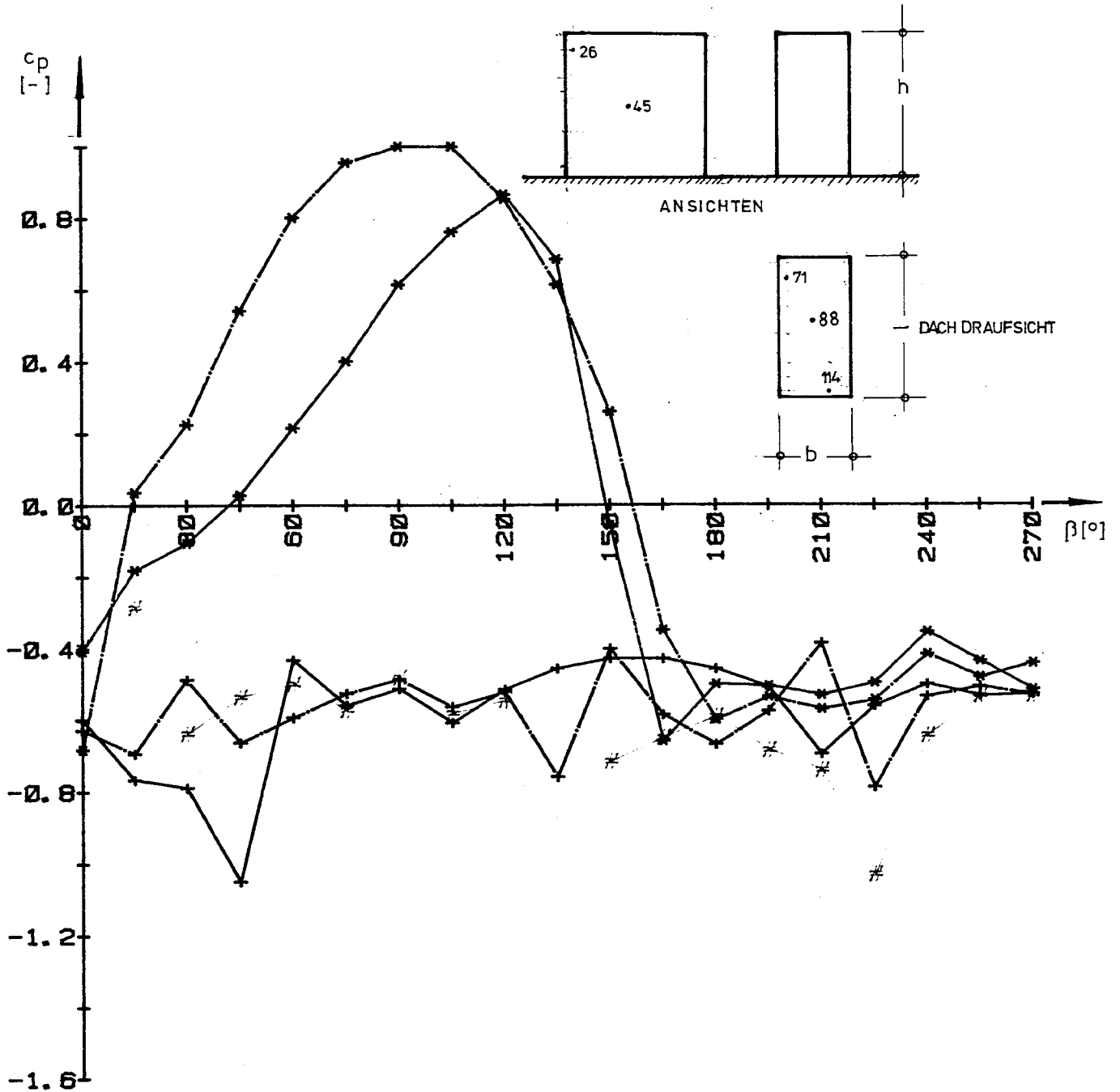
A_x BZW. $A_y = \text{BEZUGSFLÄCHEN}$



GRENZSCHICHTPROFIL ÜBER DER BODENPLATTE ABB.34



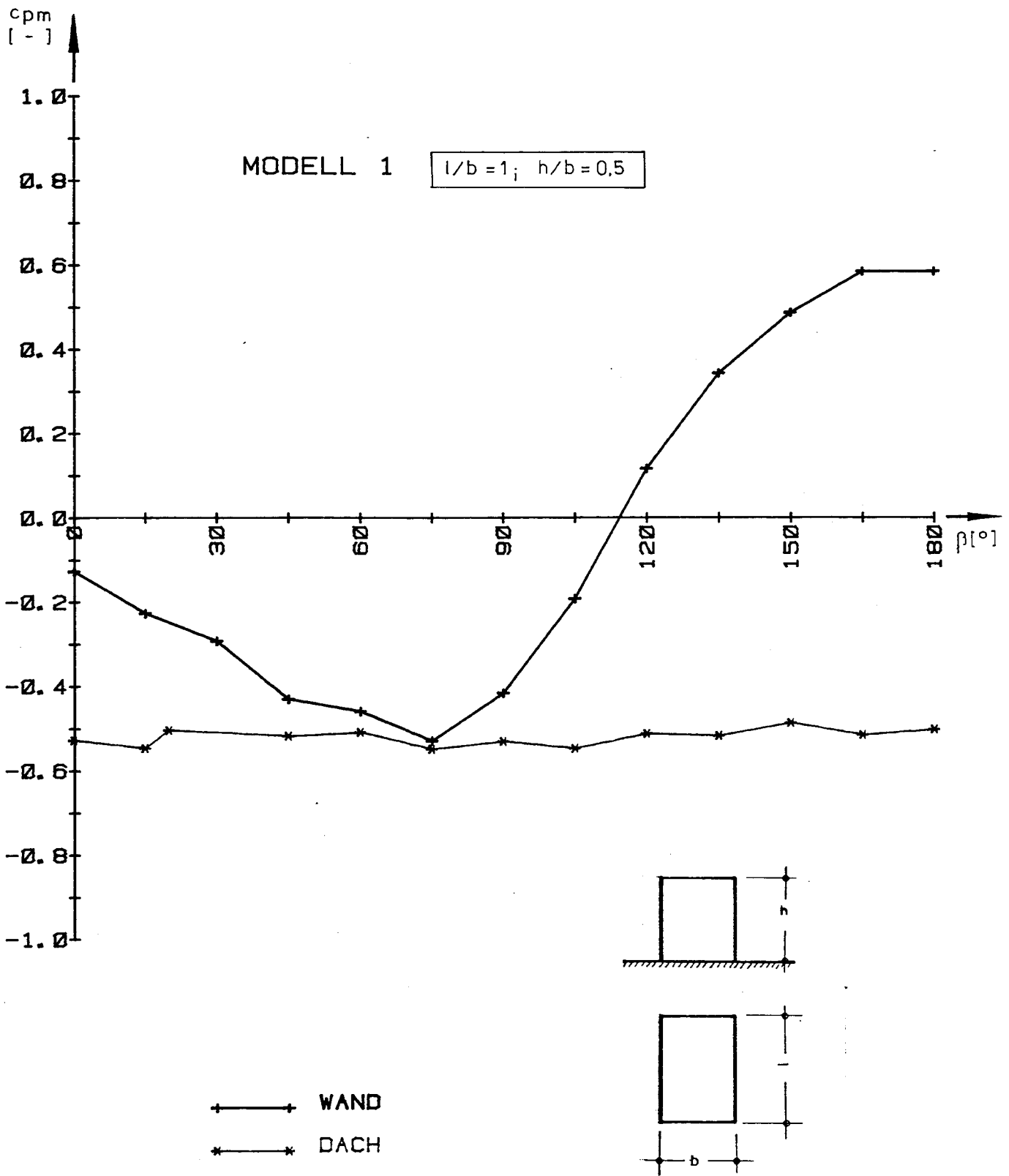
MODELL 6



- * — * MESSPUNKT 26
- * — * MESSPUNKT 45 #
- + — + MESSPUNKT 71
- + — + MESSPUNKT 88
- # — # MESSPUNKT 114

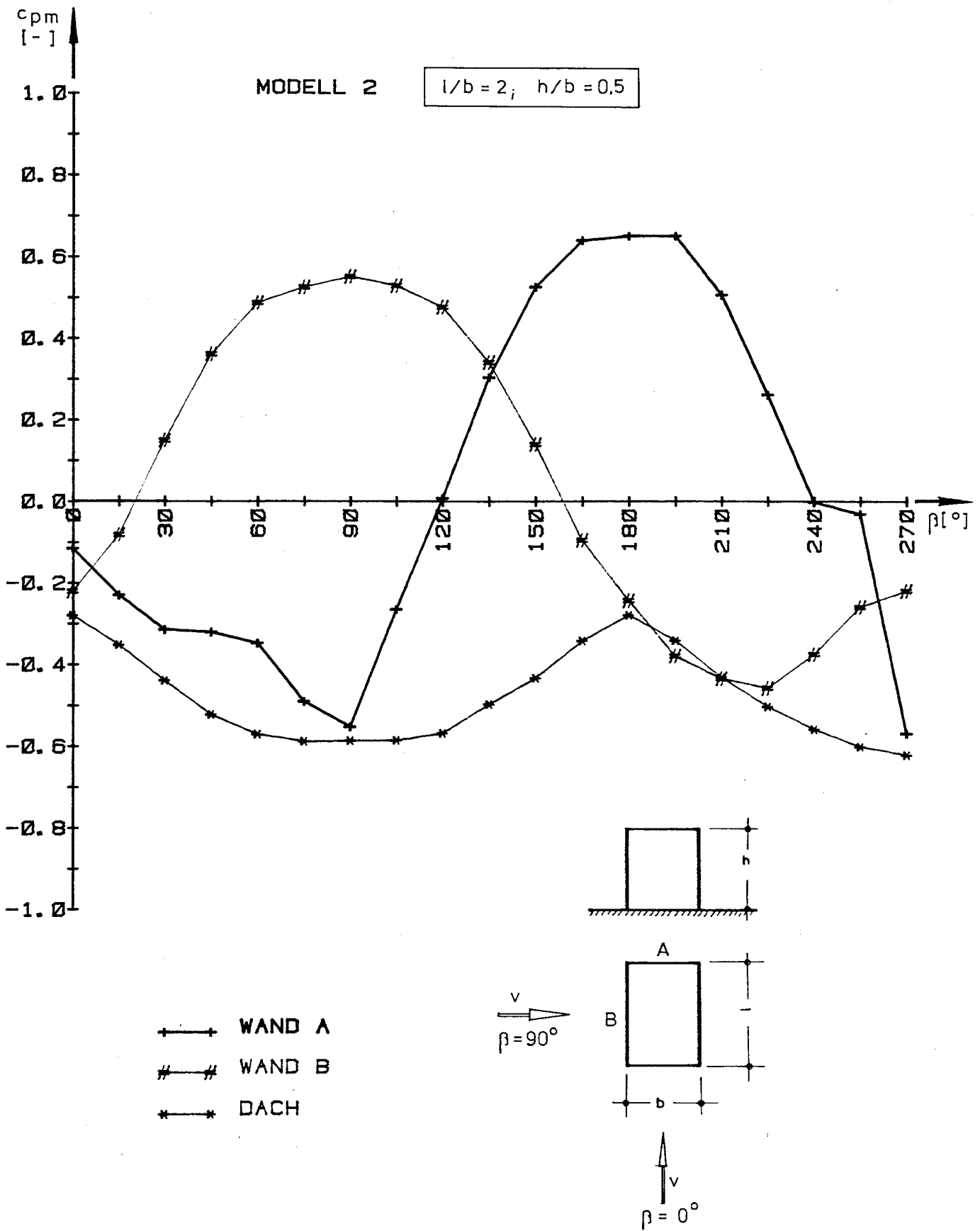
DRUCKBEIWERTE IN ABHAENIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 35



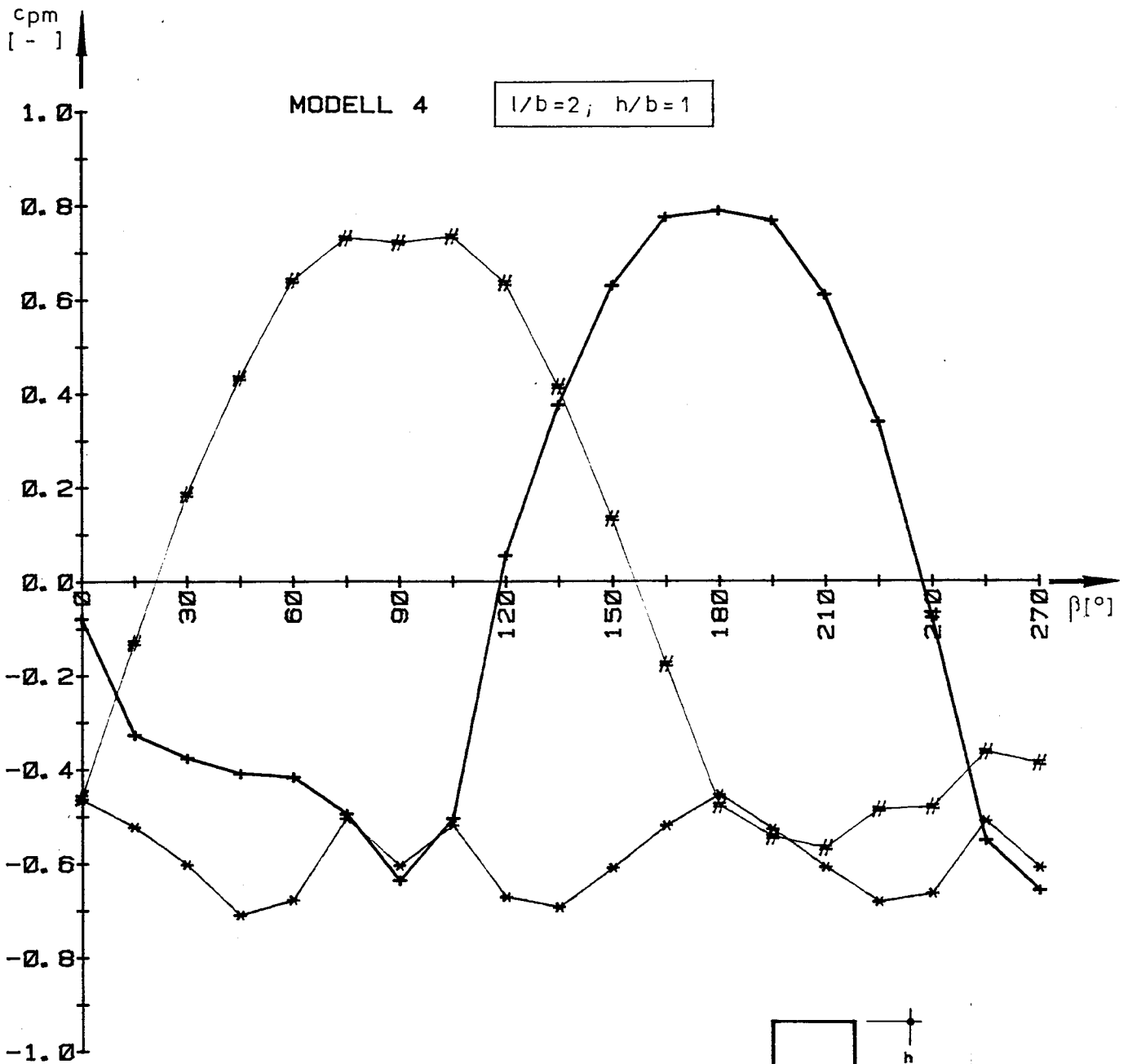
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 36

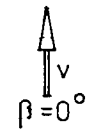
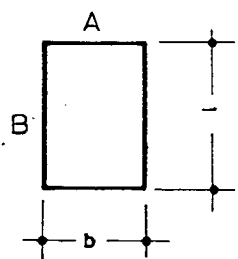
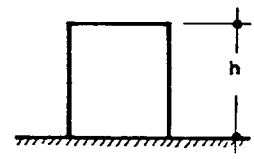
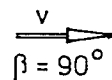


GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 37

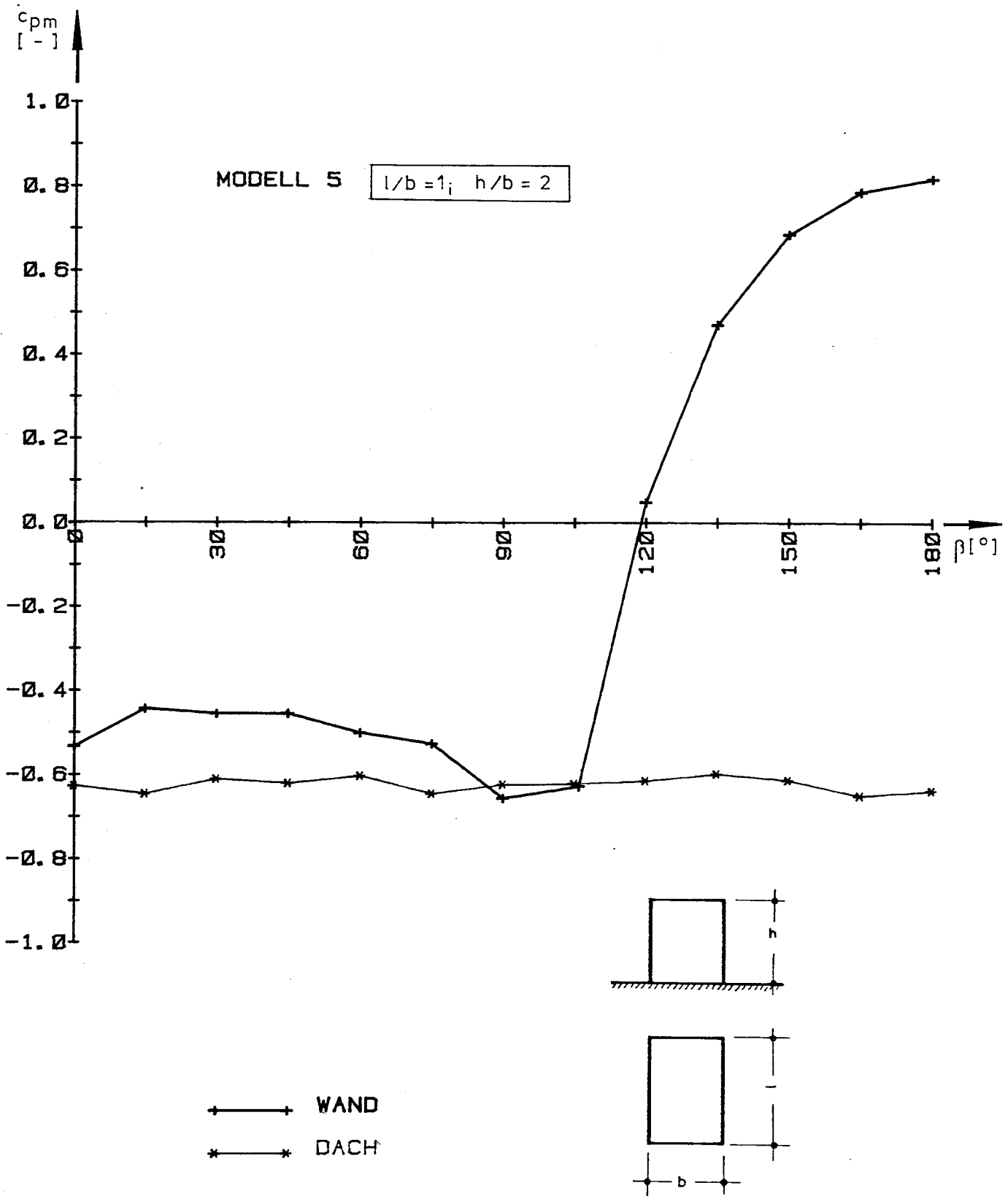


- WAND A
- #- WAND B
- *- DACH



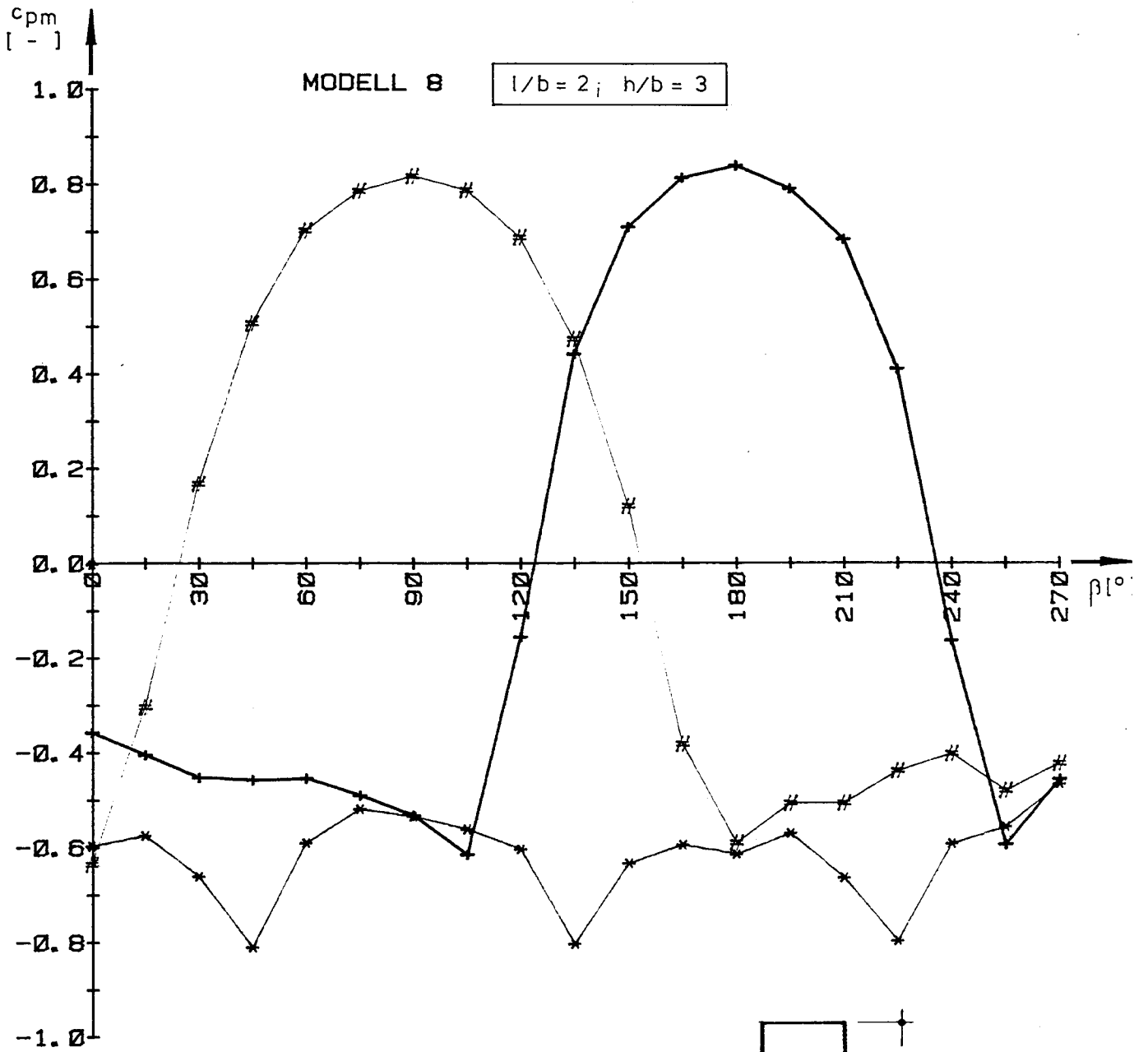
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 38

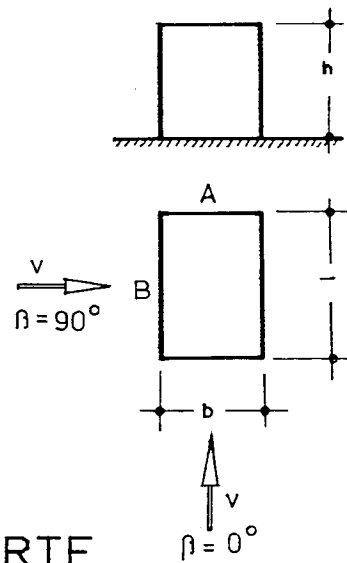


GEMITTLTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 39

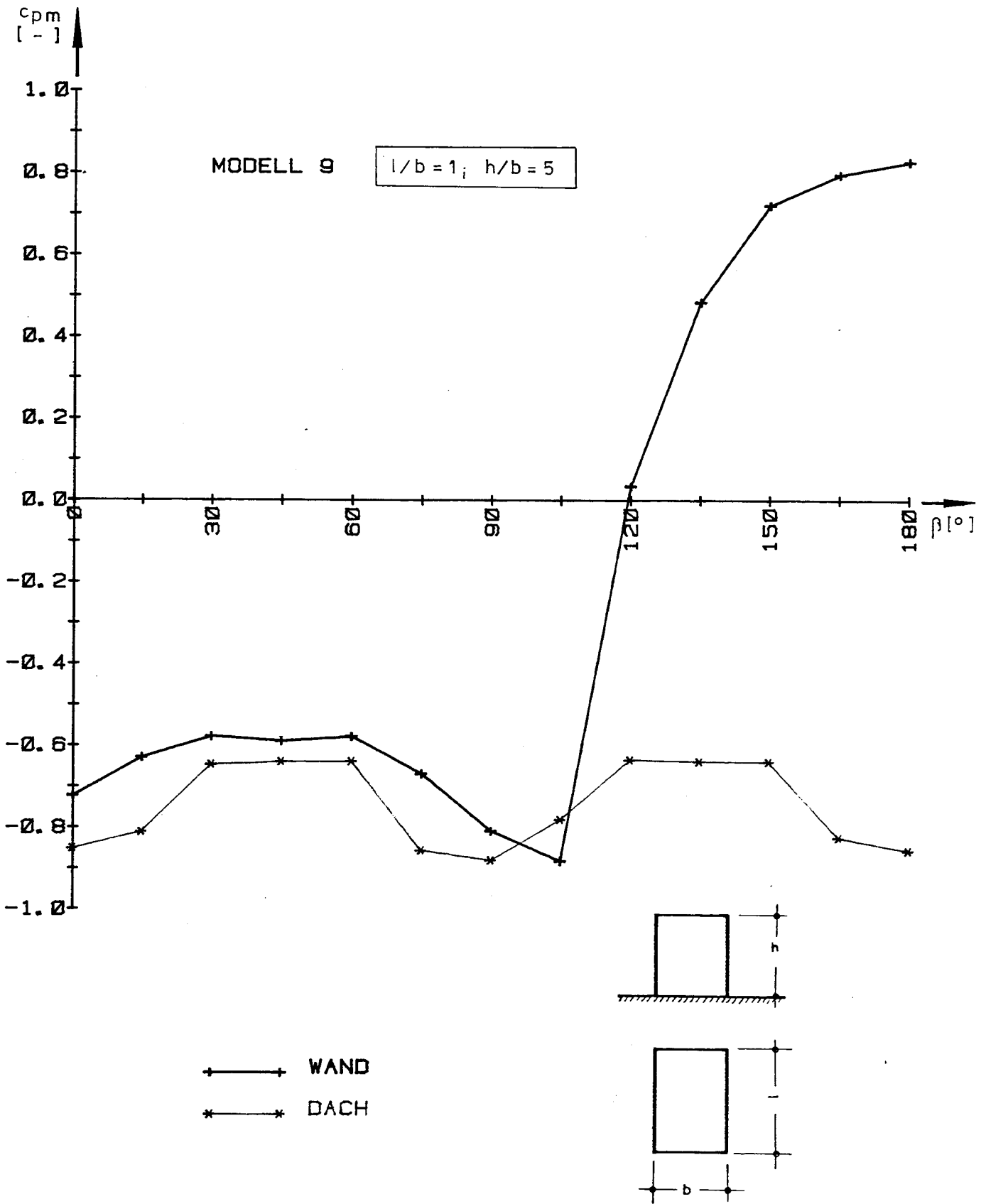


- +— WAND A
- #- WAND B
- *- DACH



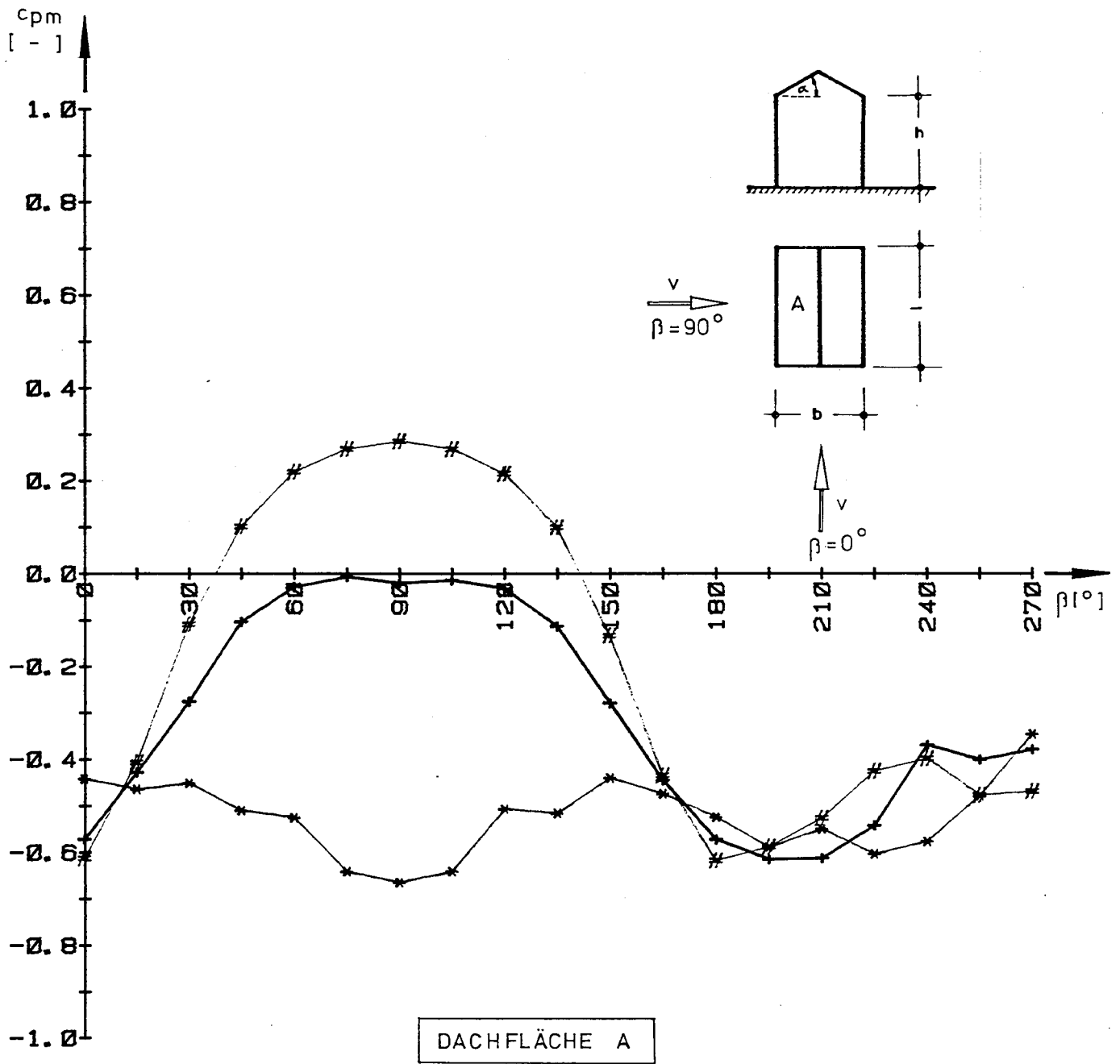
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 40



GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

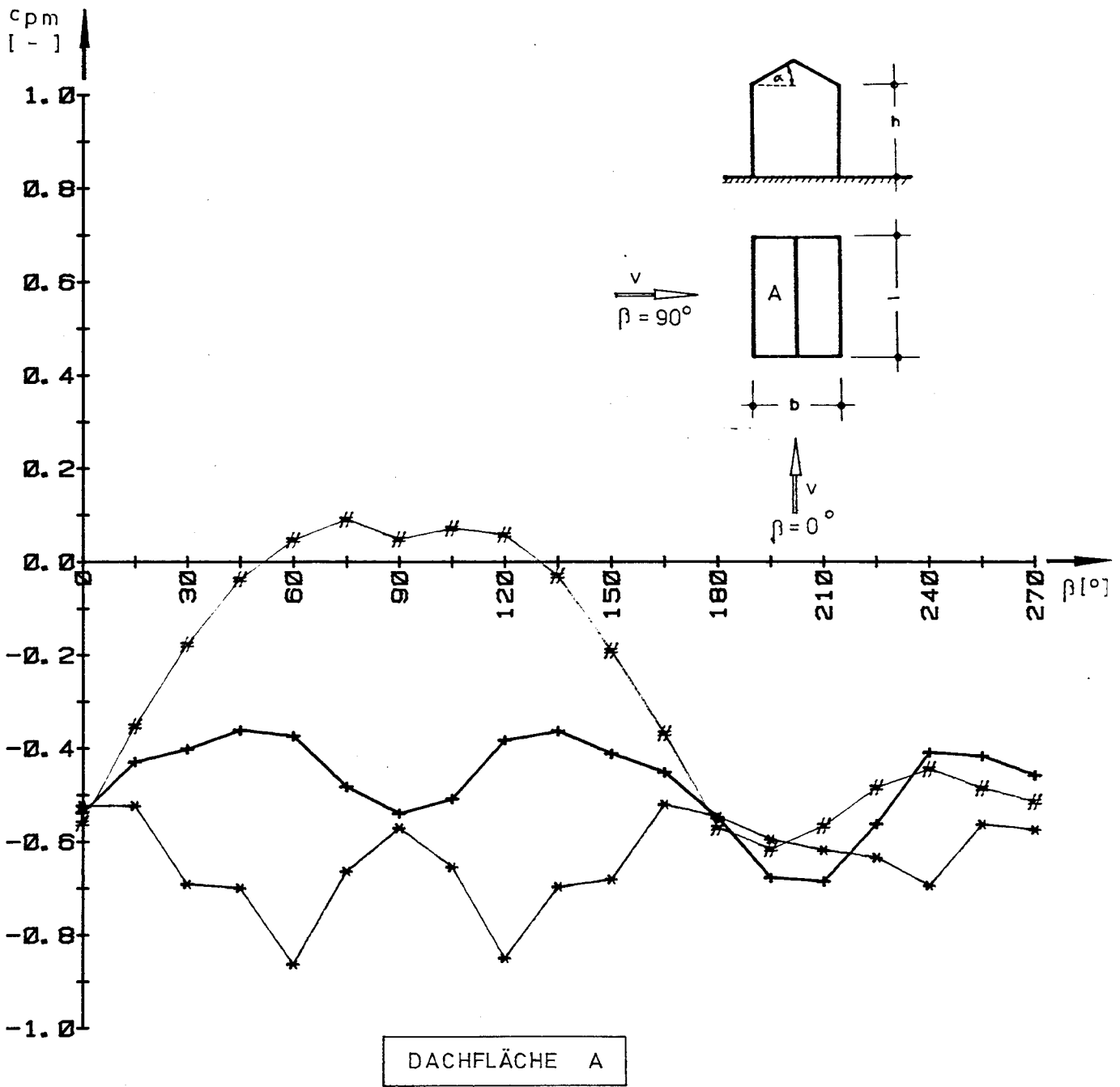
ABB. 41



- *—* MODELL 11, ALPHA = 15 GRD (l/b=1; h/b=0.5)
- +—+ MODELL 13, ALPHA = 30 GRD (l/b=1; h/b=0.5)
- #—# MODELL 15, ALPHA = 45 GRD (l/b=1; h/b=0.5)

GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 42



- *—* MODELL 24. ALPHA = 15 GRD ($l/b=2$; $h/b=1.5$)
- +—+ MODELL 26. ALPHA = 30 GRD ($l/b=2$; $h/b=1.5$)
- #—# MODELL 28. ALPHA = 45 GRD ($l/b=2$; $h/b=1.5$)

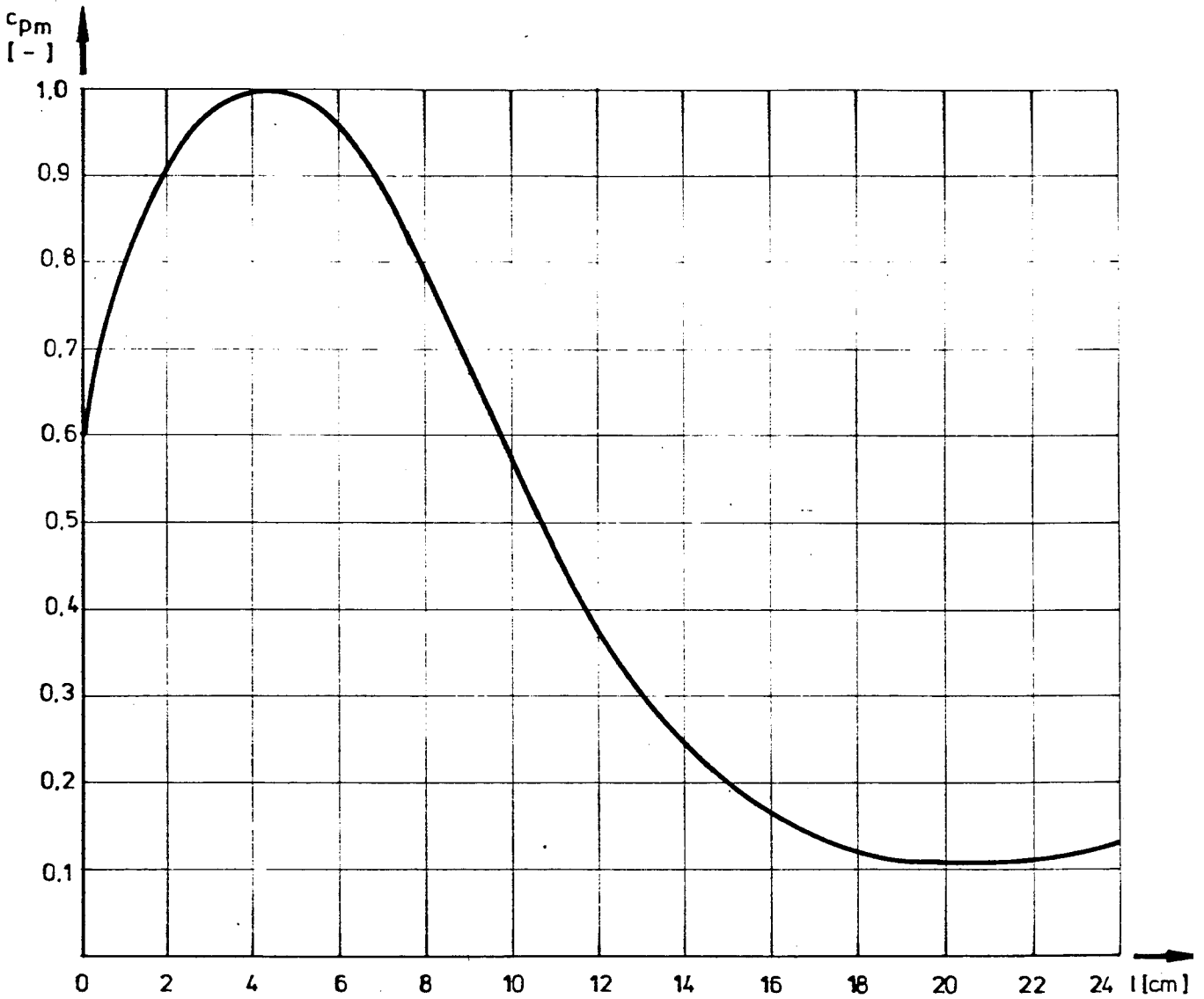
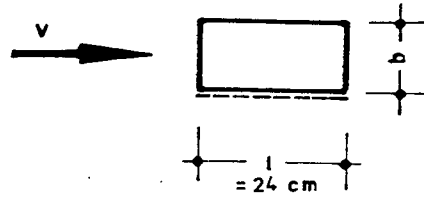
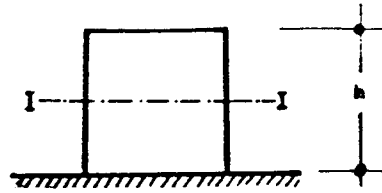
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 43



$$\frac{l}{b} = 1$$

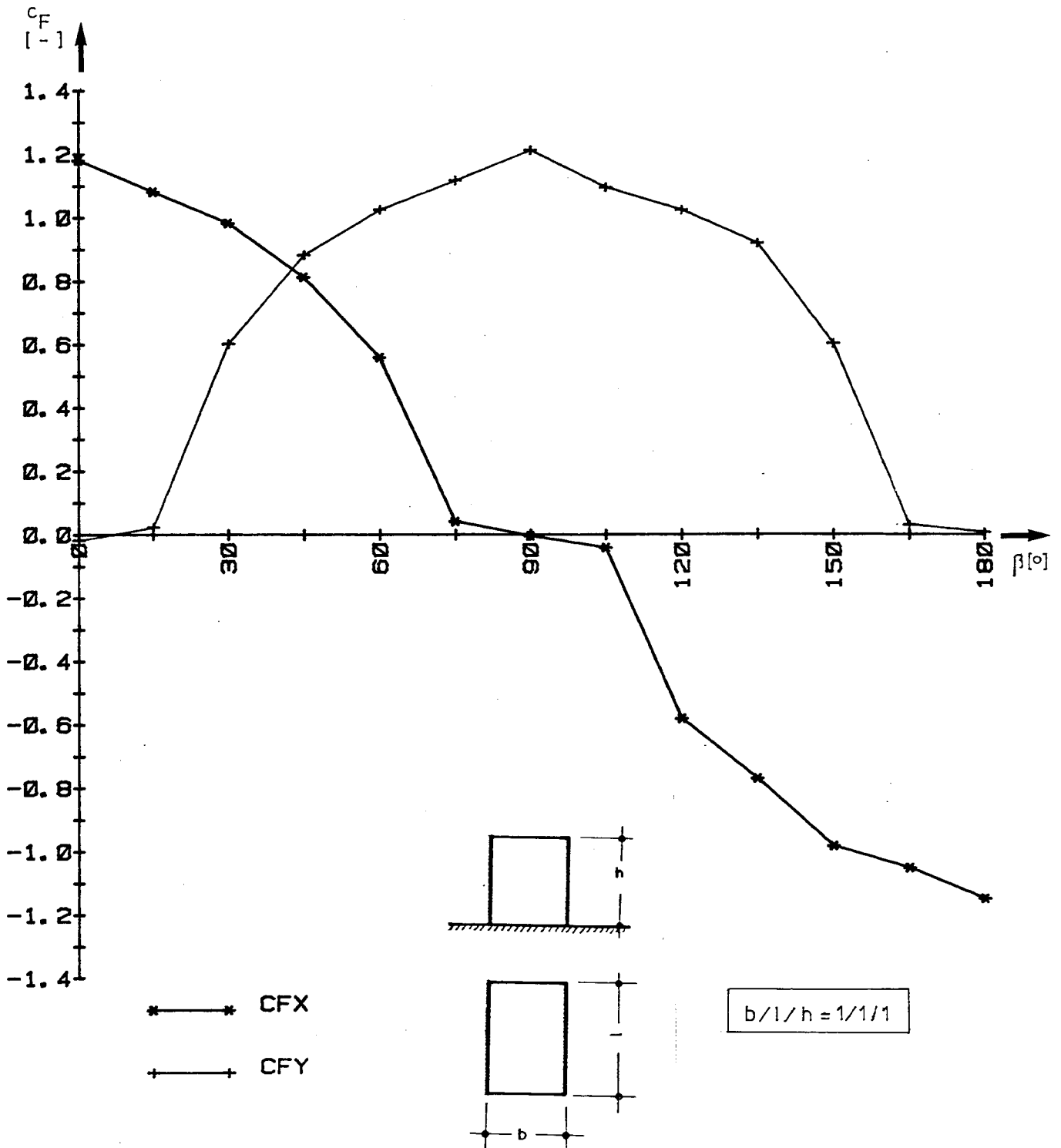
$$\frac{h}{b} = 0,5$$



DRUCKVERTEILUNG AN DER WINDPARALLELEN WAND

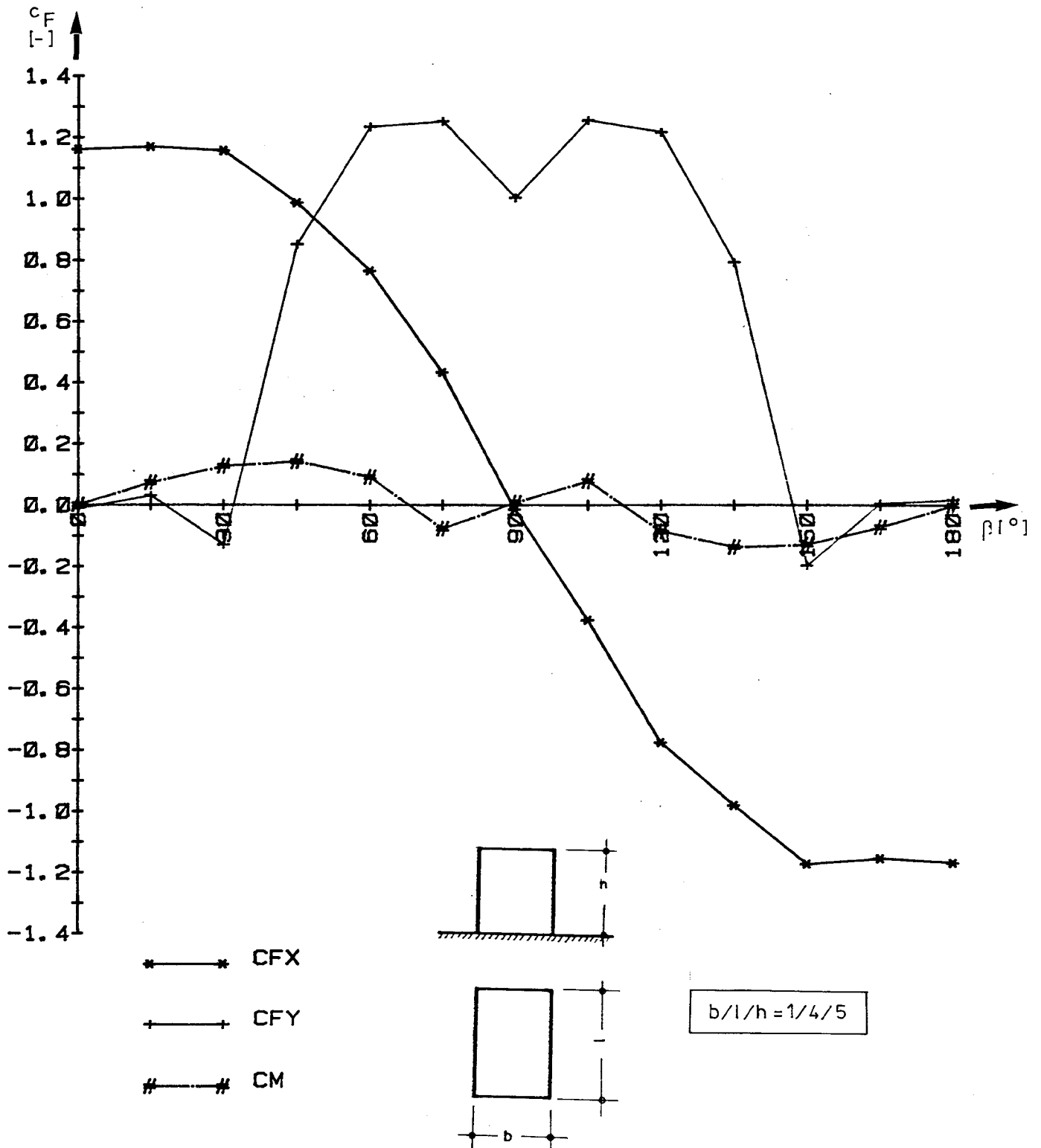
IM SCHNITT I-I

ABB. 44



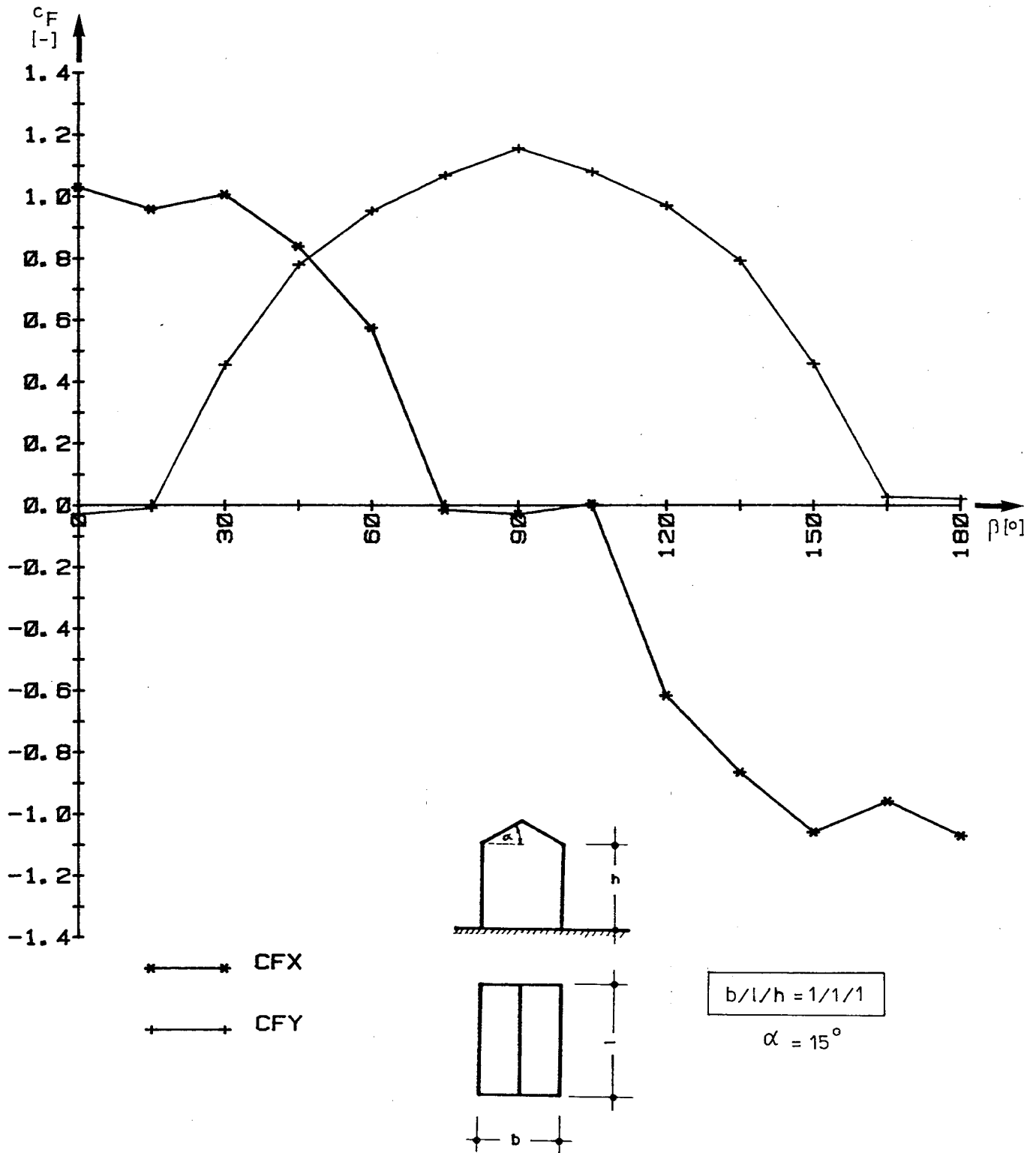
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 45



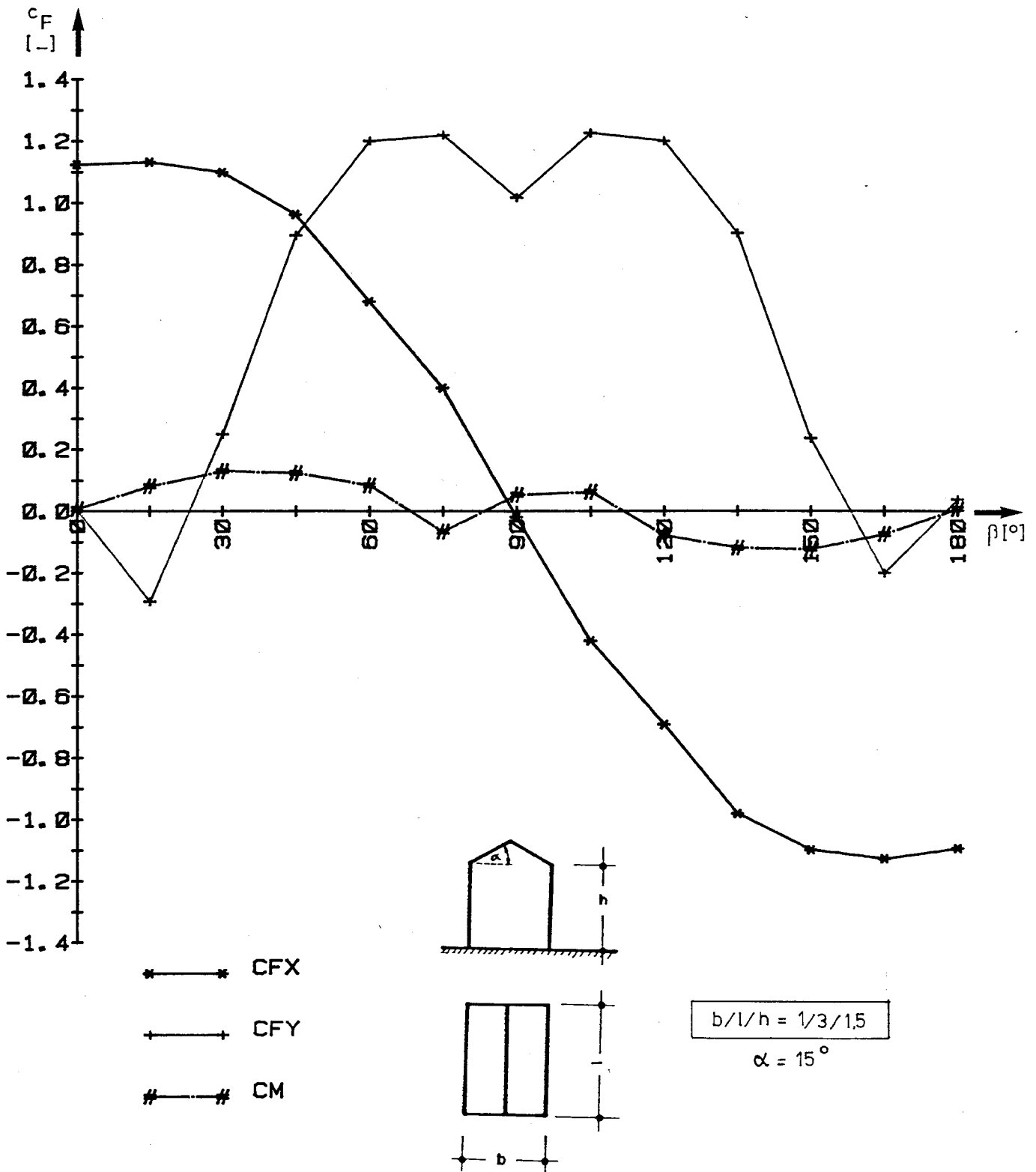
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 46



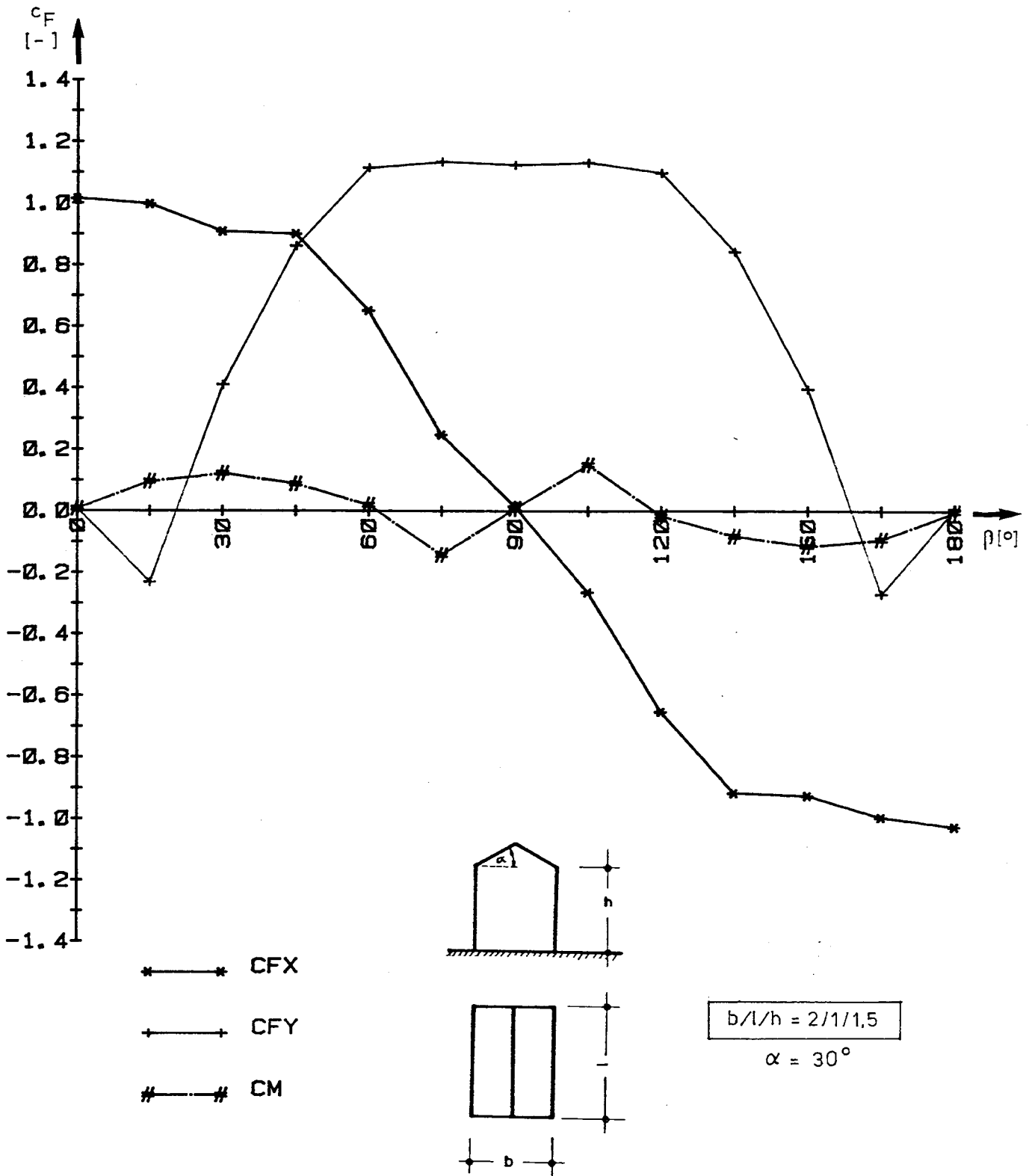
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 47



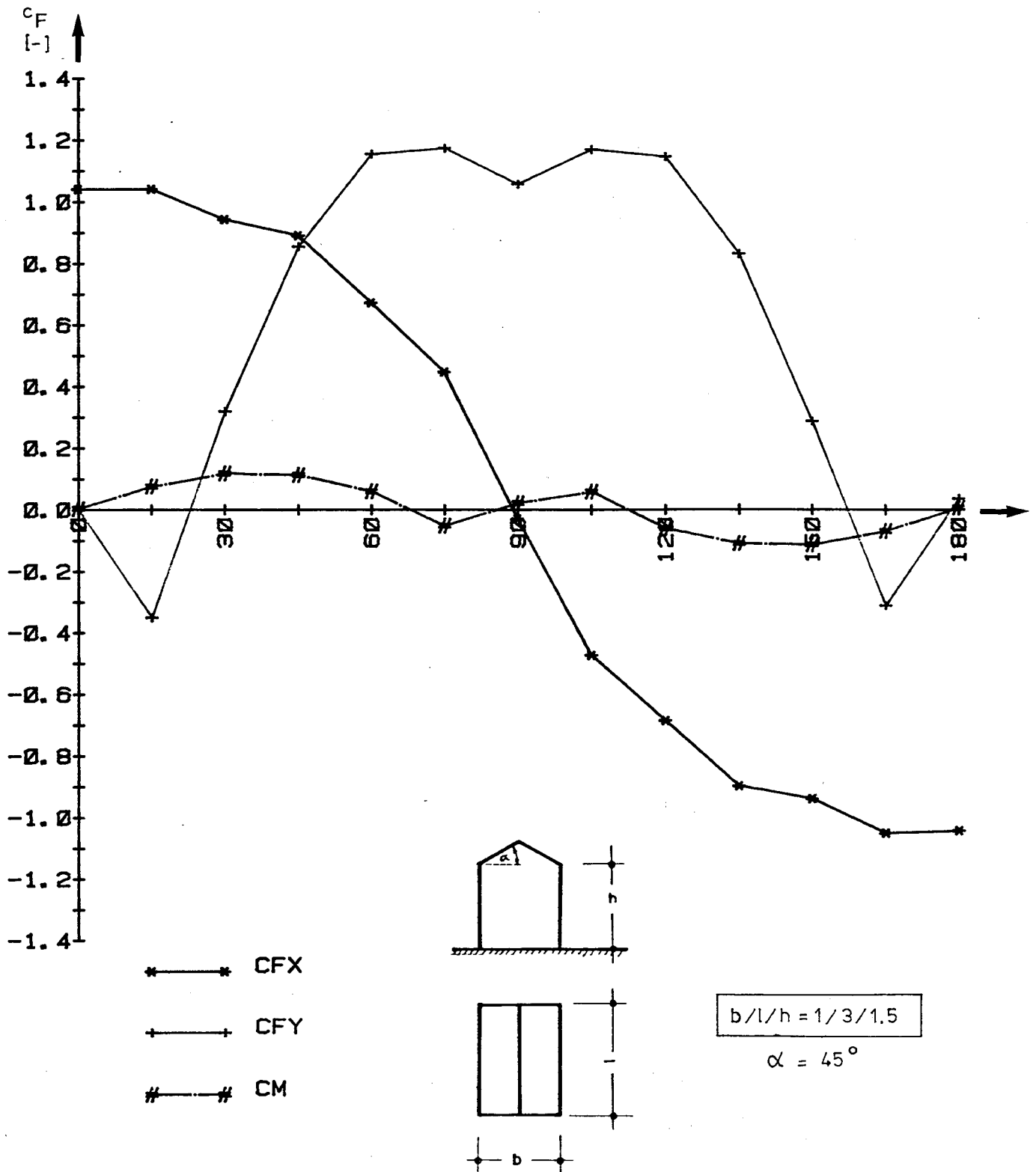
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 48



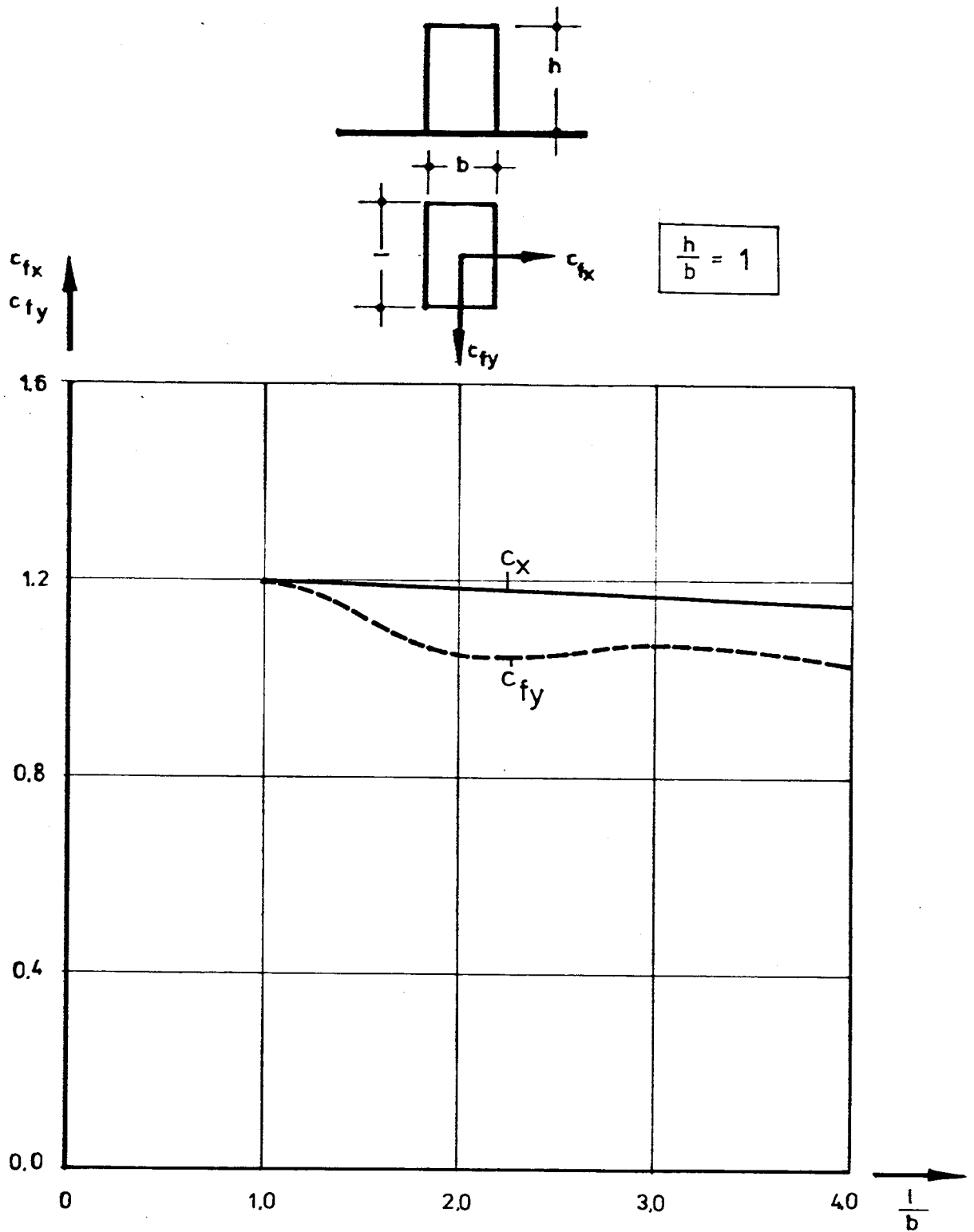
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 49



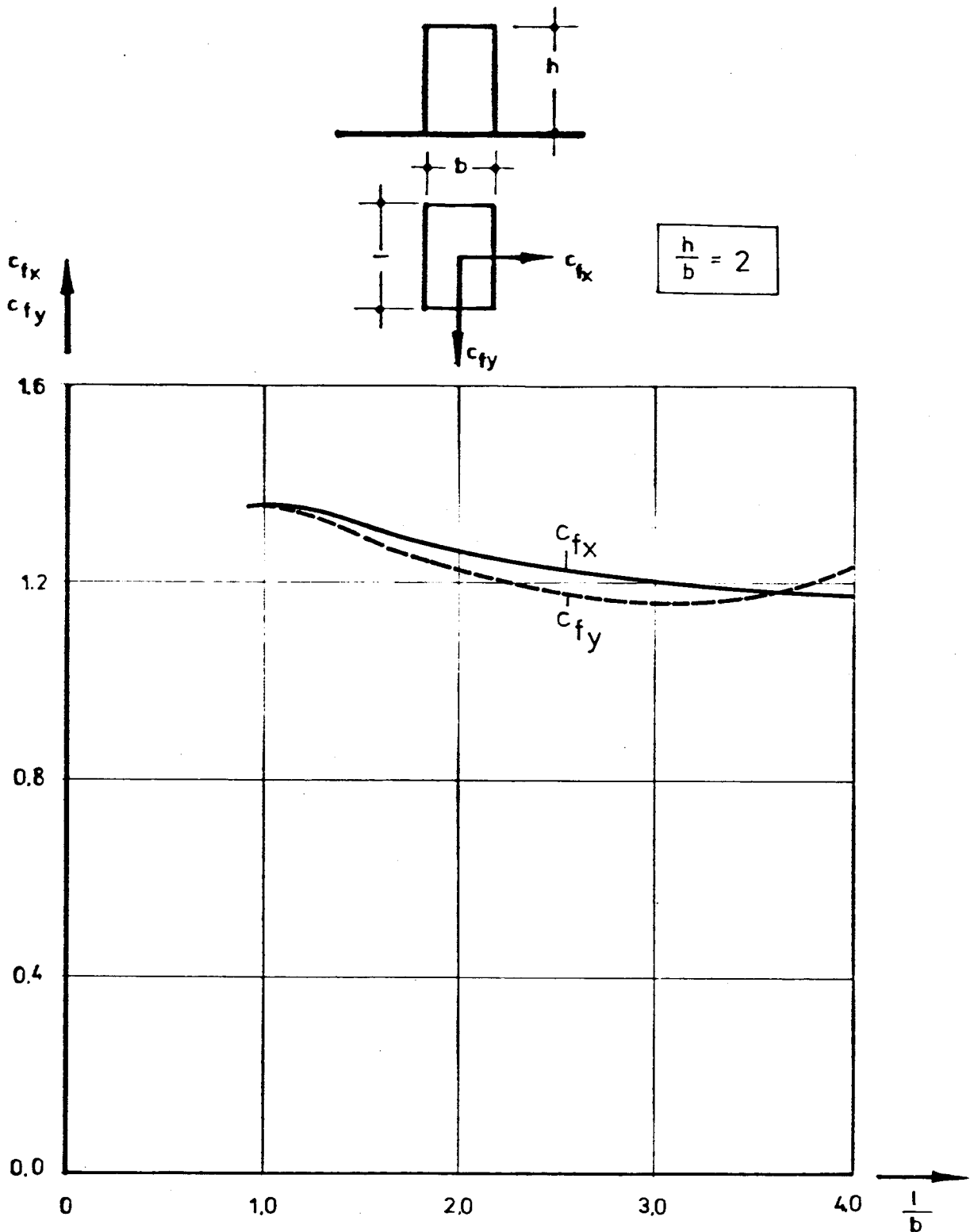
KRAFTBEIWERTE IN ABHAENGIGKEIT VON DER ANSTROEMRICHTUNG

ABB. 50



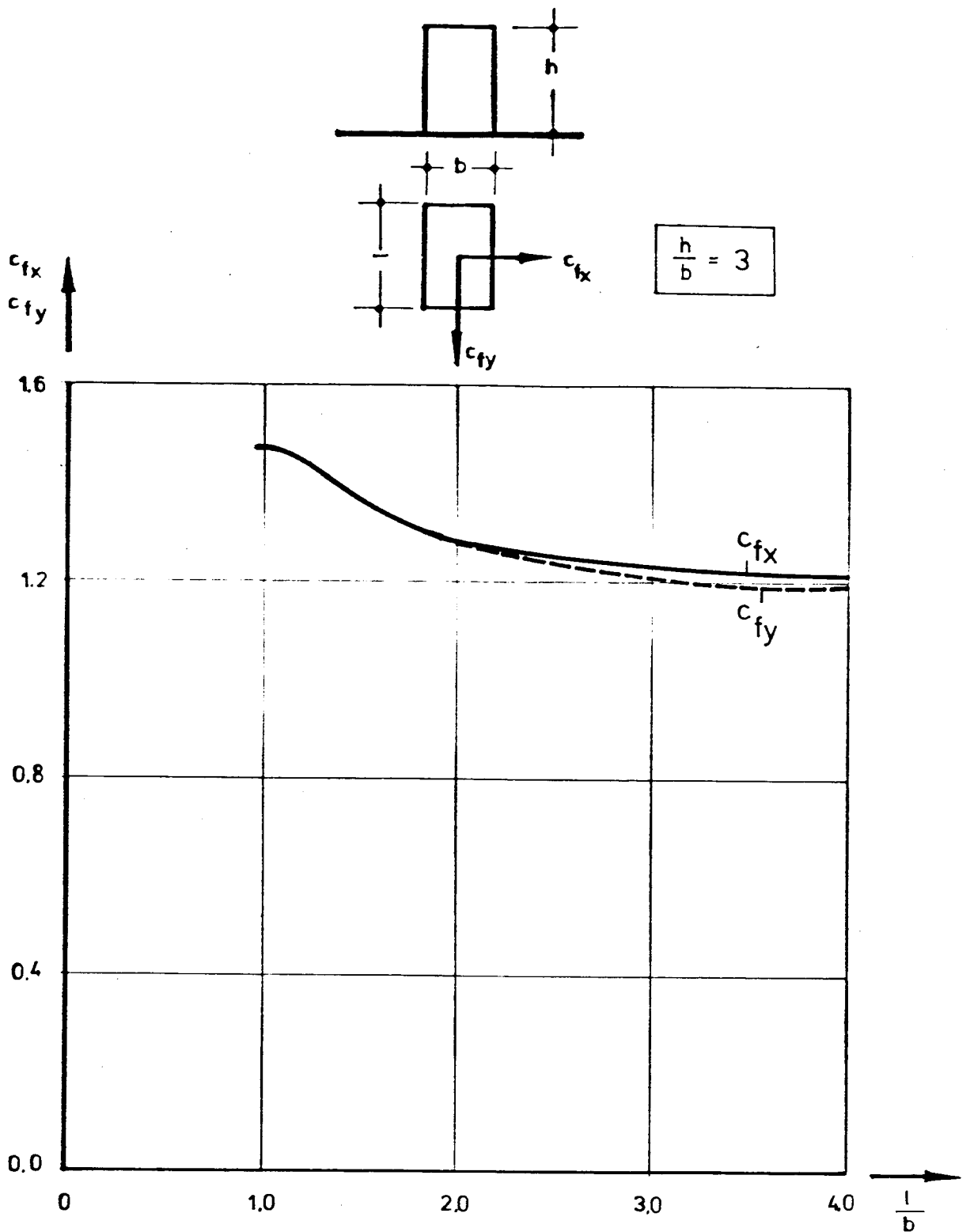
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

ABB. 51



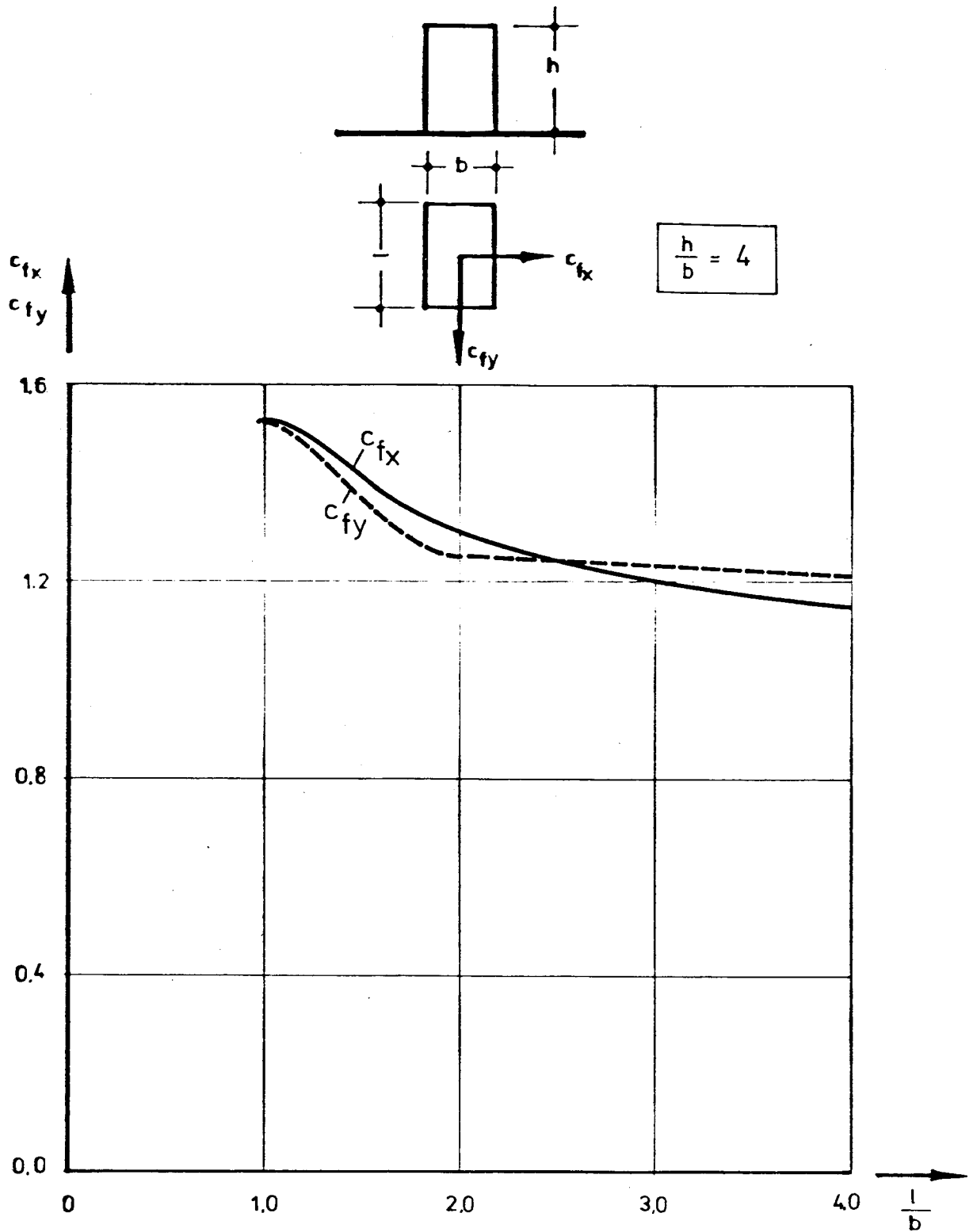
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

ABB. 52



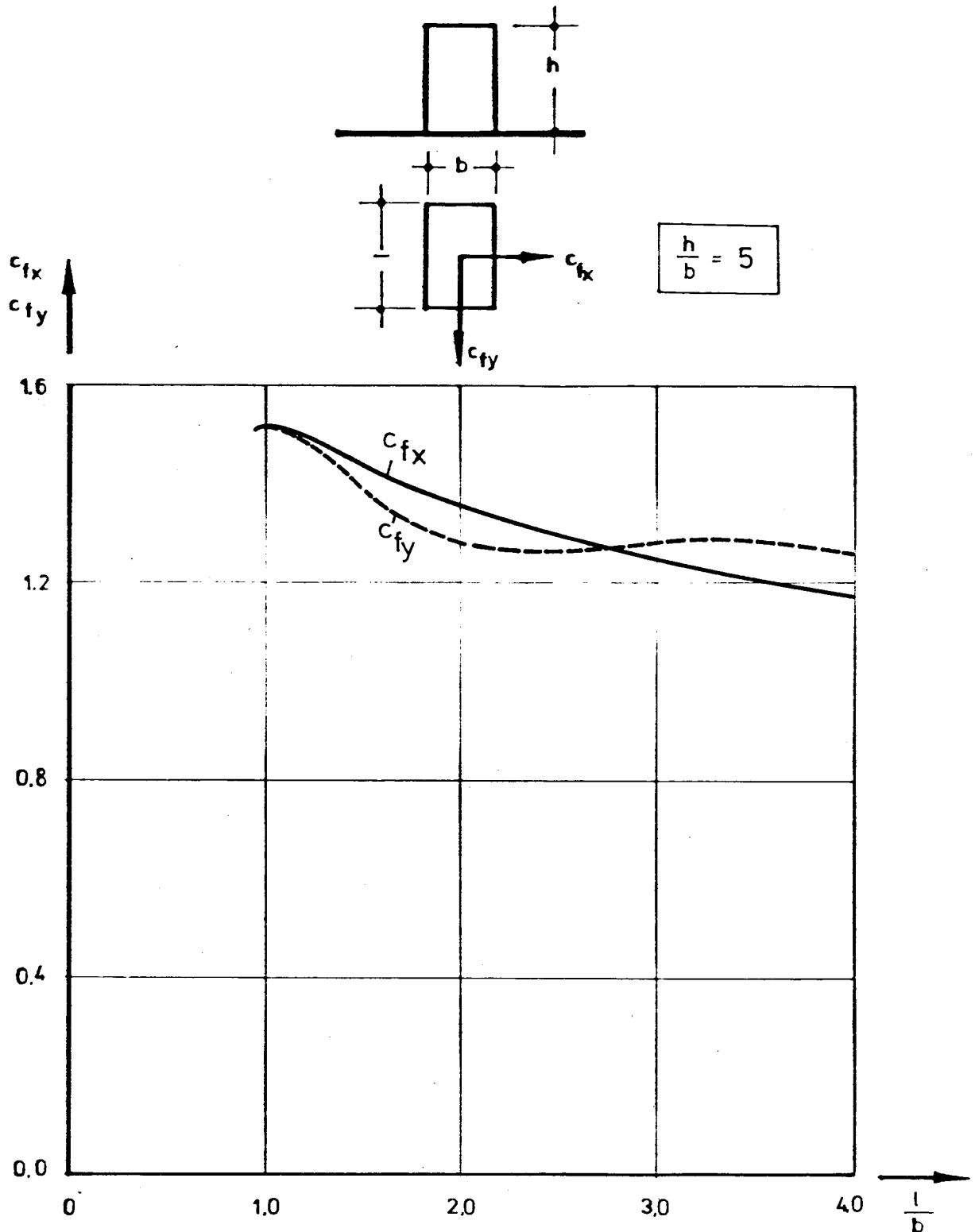
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

ABB. 53



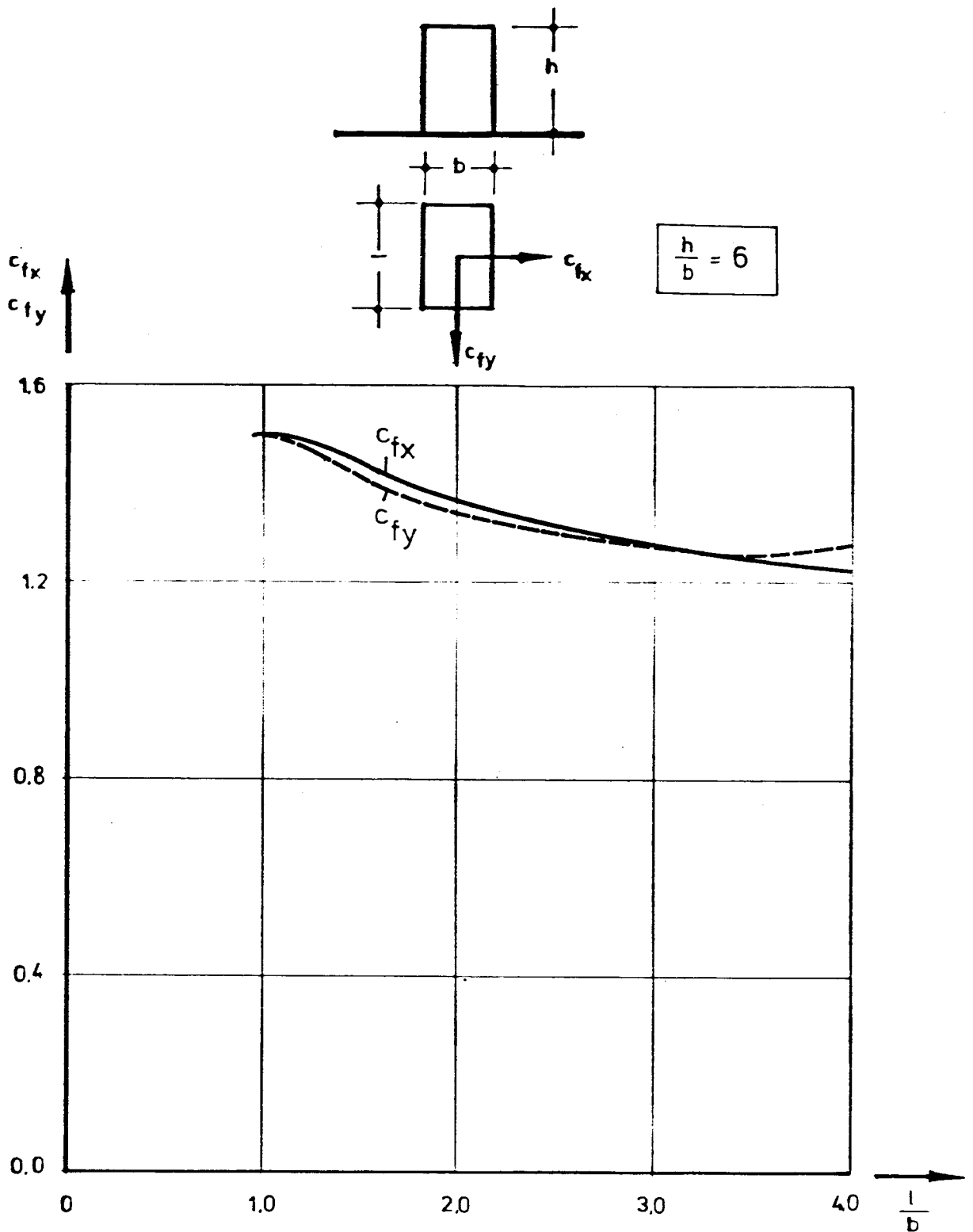
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

ABB.54



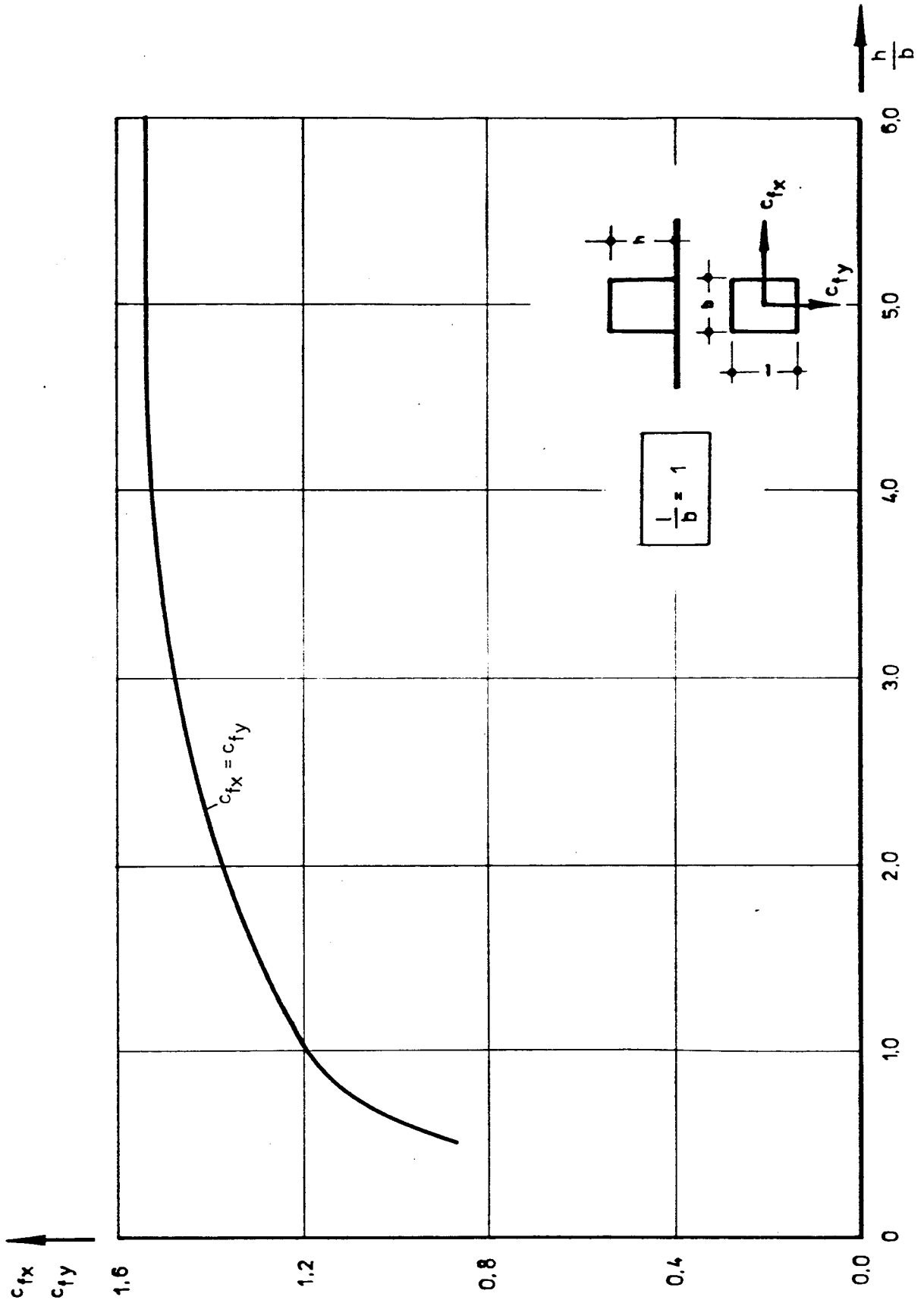
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

ABB. 55

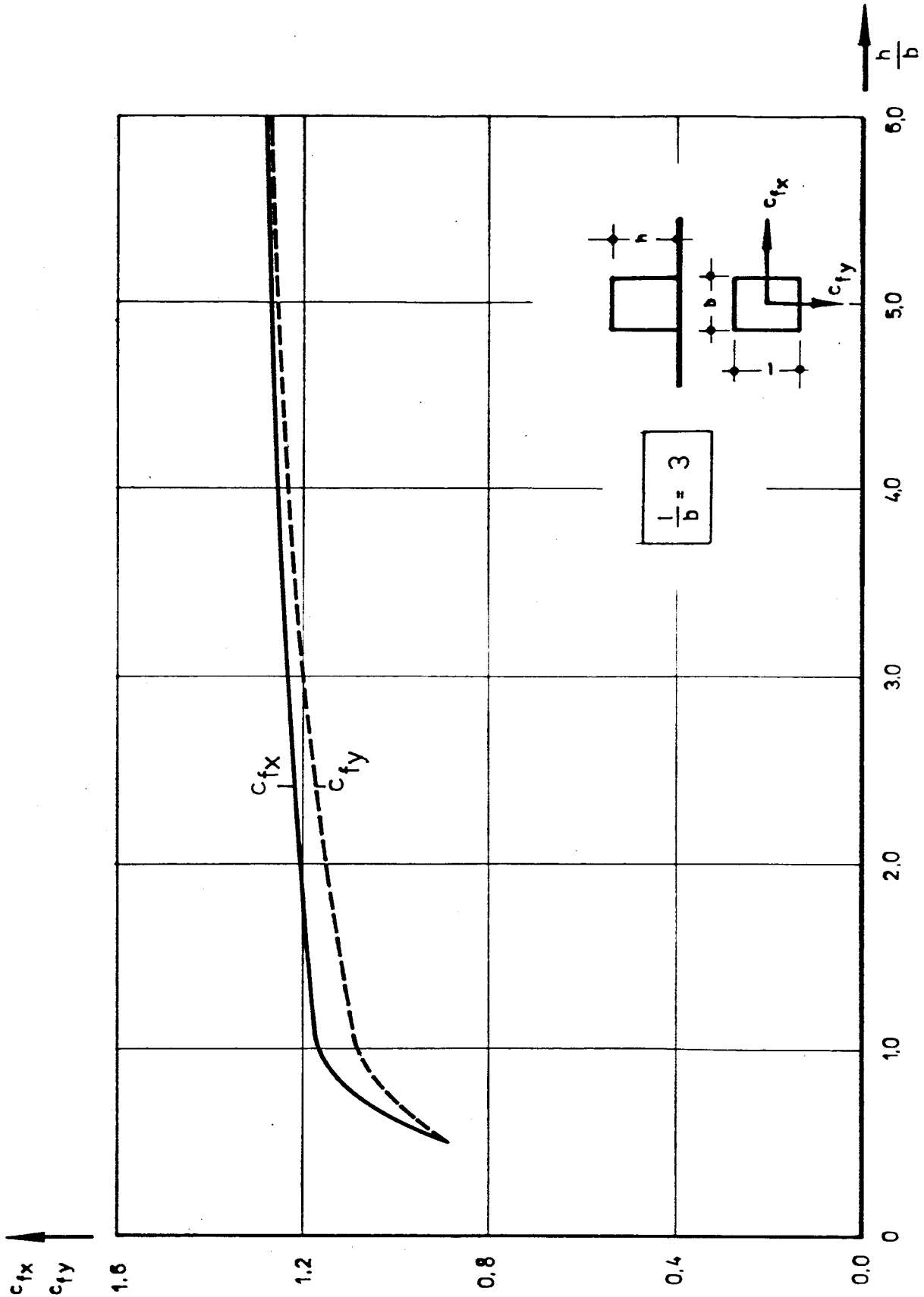


MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNIS l/b

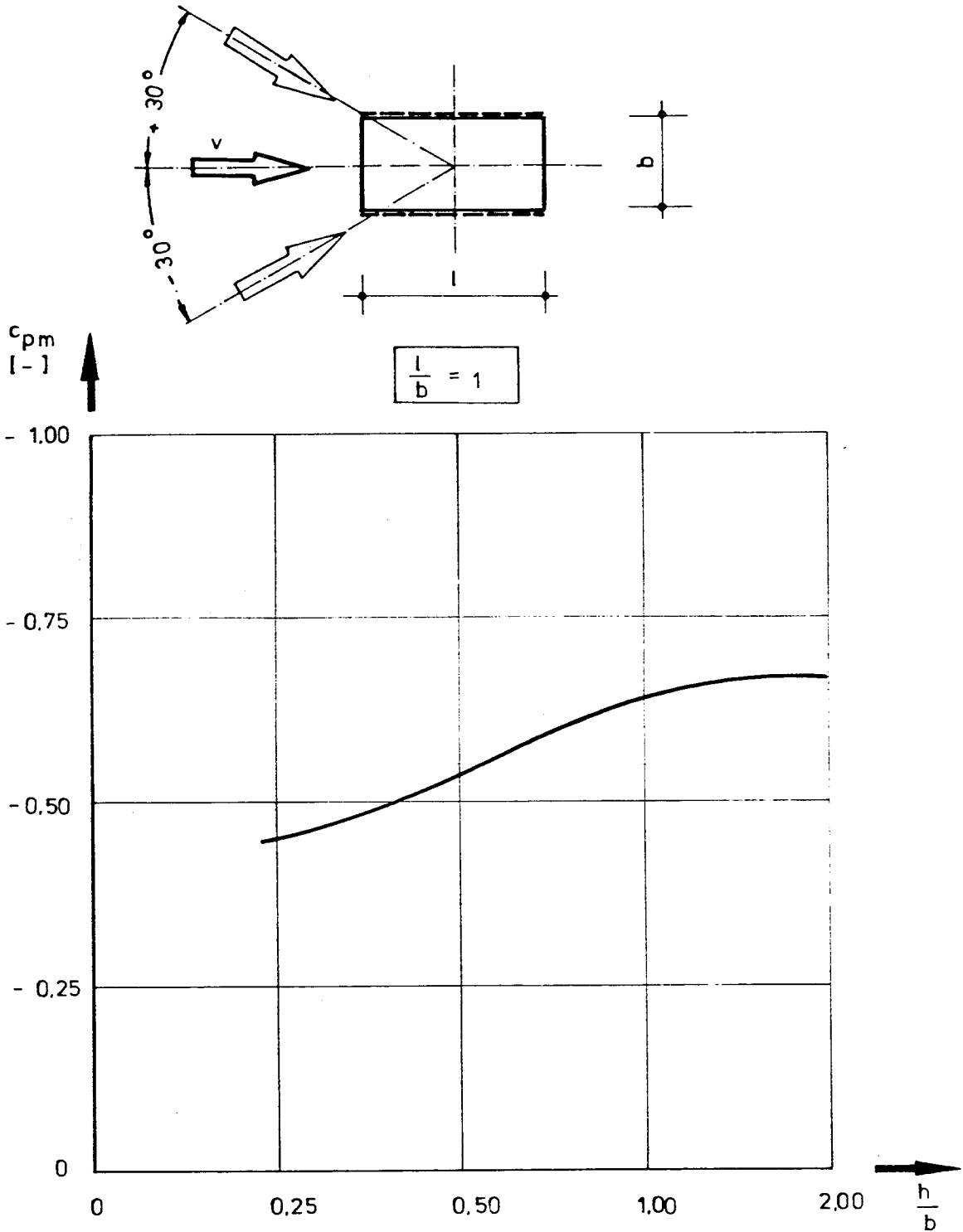
ABB. 56



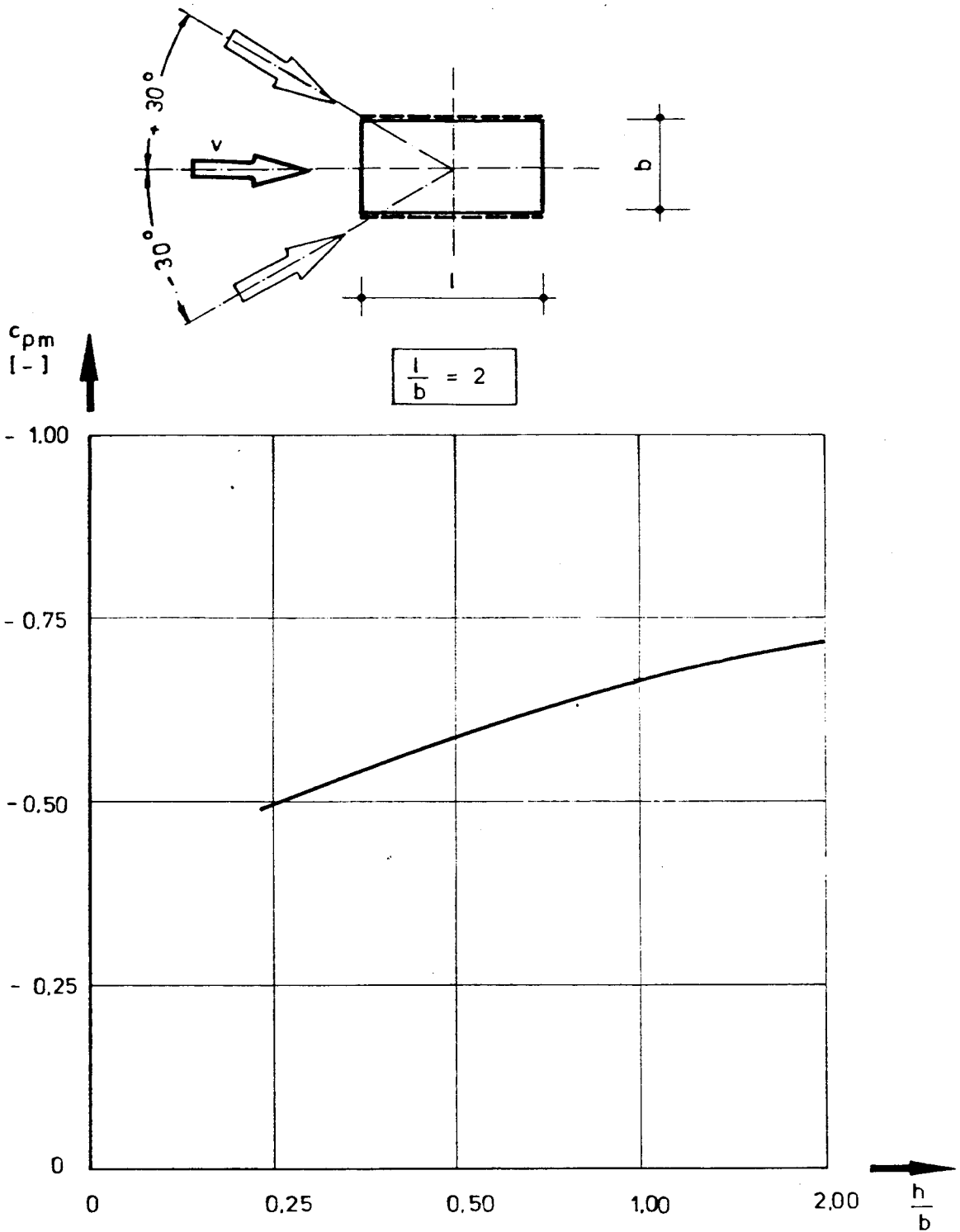
MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNISS h/b



MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE c_{fx} UND c_{fy}
 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEM VERHÄLTNISS h/b

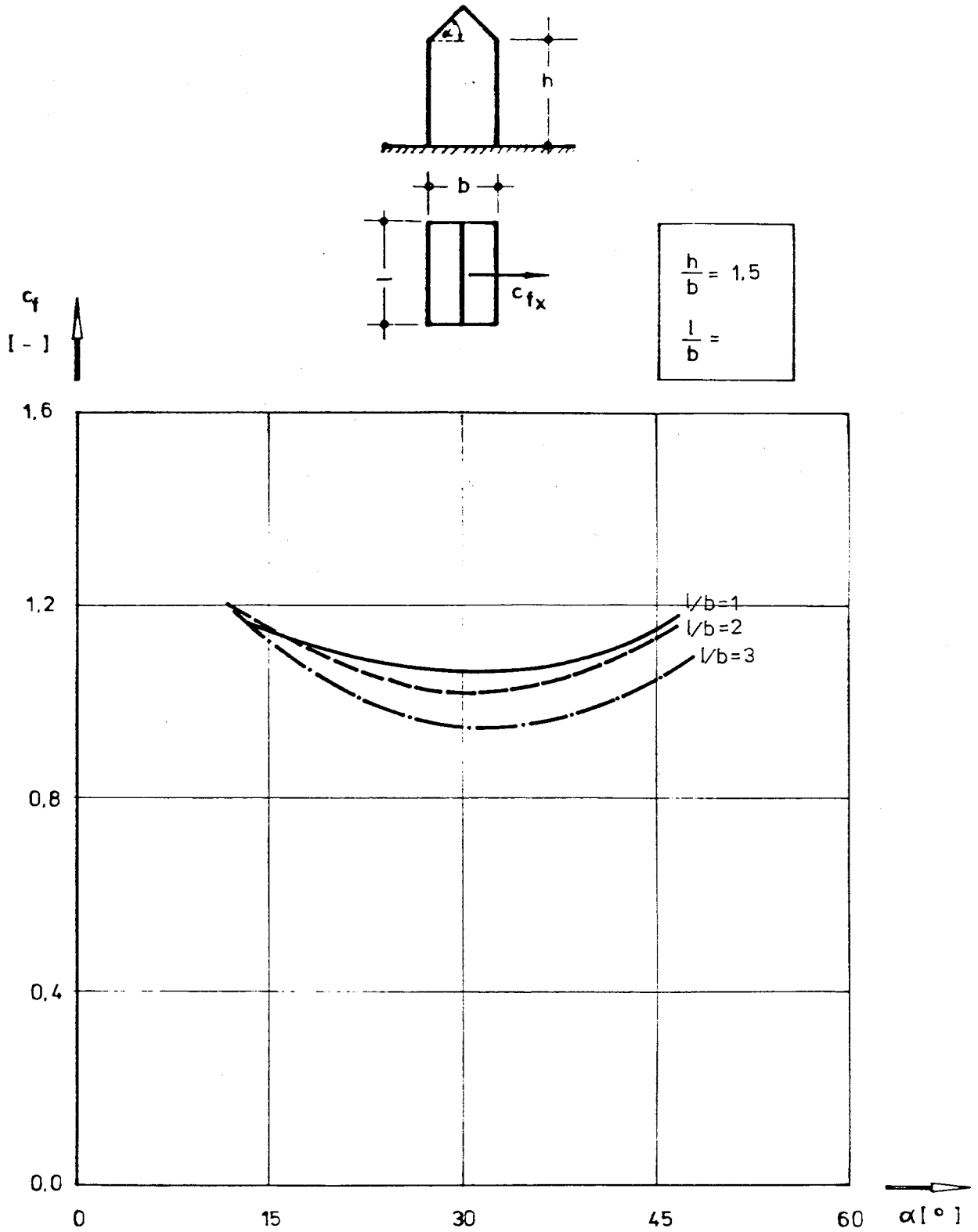


GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE AN DER WINDPARALLELEN WAND IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS h/b ABB.59

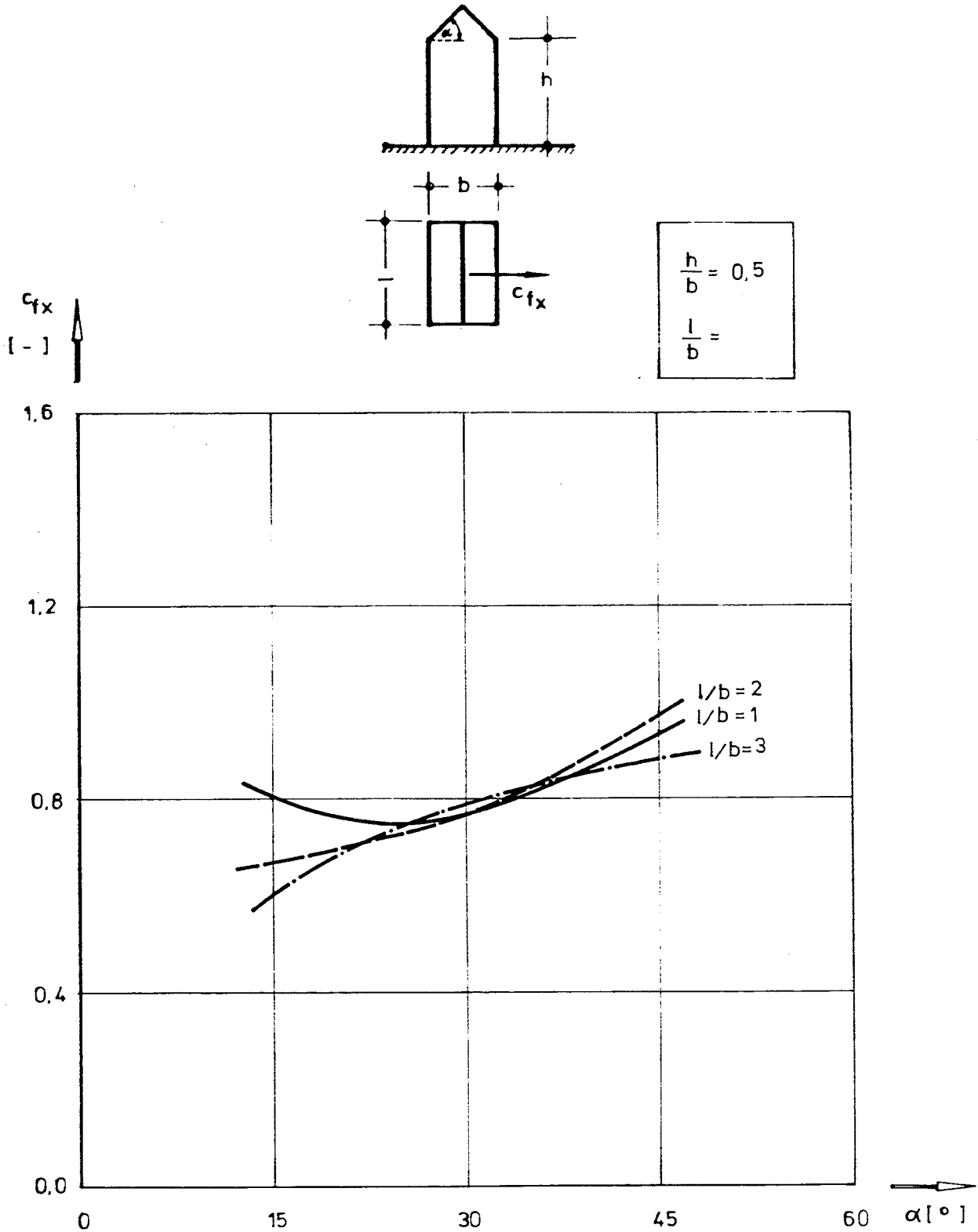


GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE AN DER WINDPARALLELEN WAND IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS h/b

ABB. 60

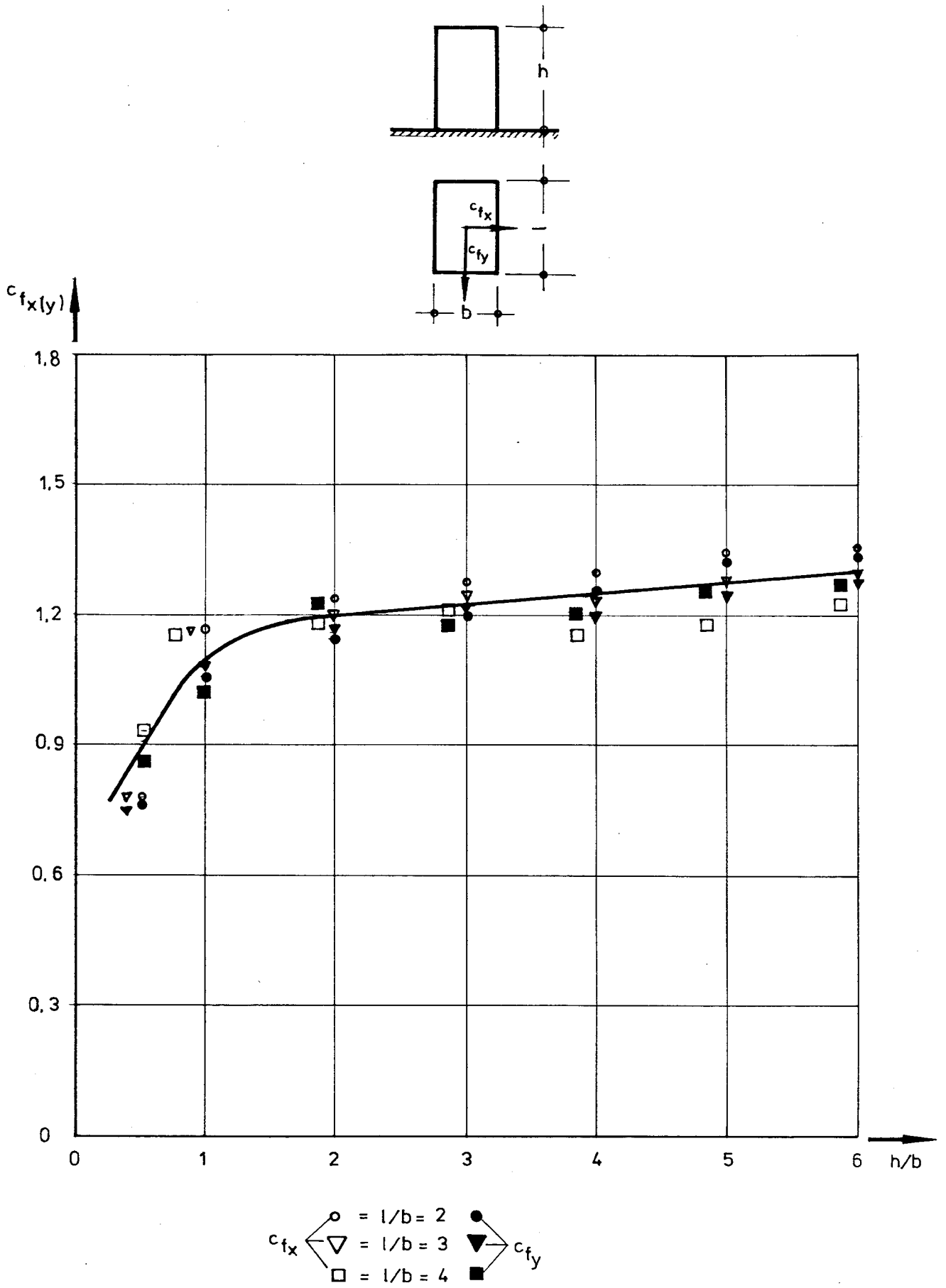


MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DACHNEIGUNG α

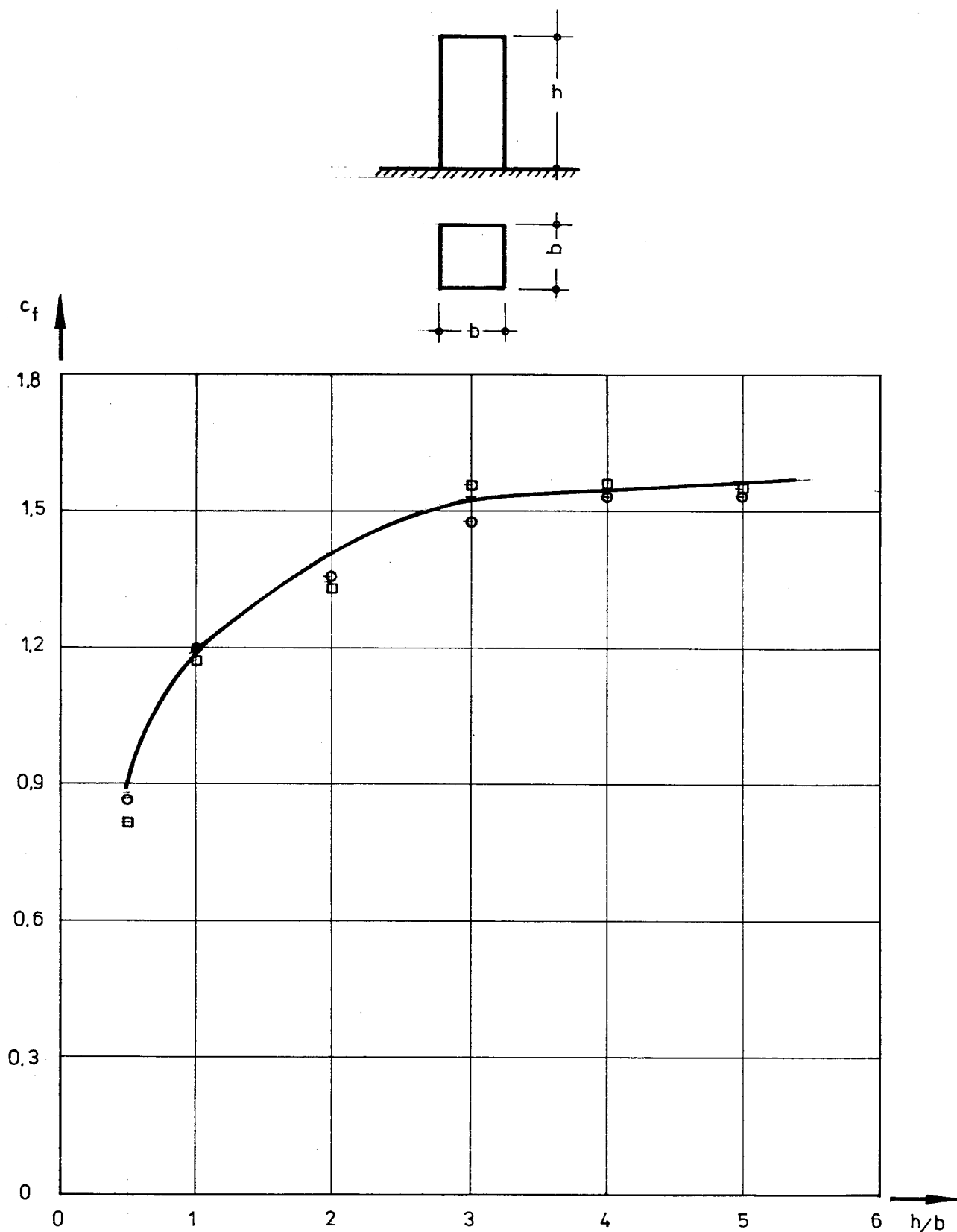


MAXIMALE WINDKRAFTBEIWERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DACHNEIGUNG α

ABB. 62



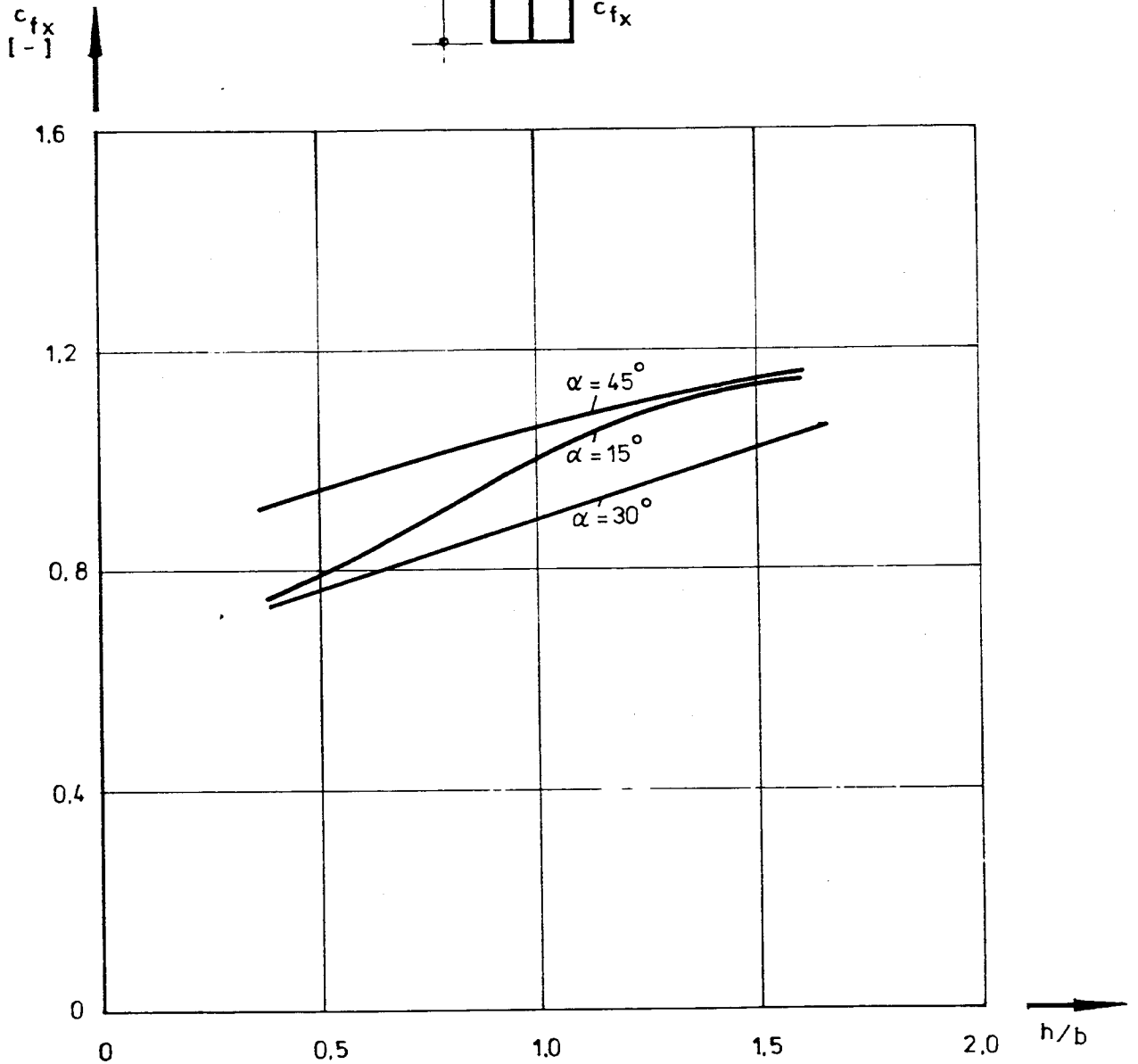
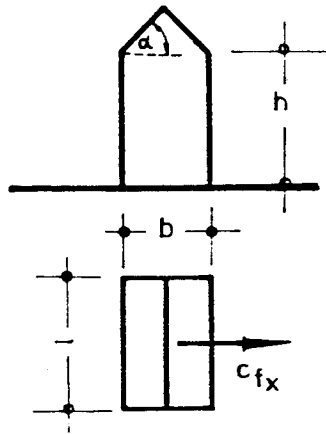
KRAFTBEIWERTE
FÜR GEBÄUDE MIT RECHTECKIGEM GRUNDRISS ABB. 63



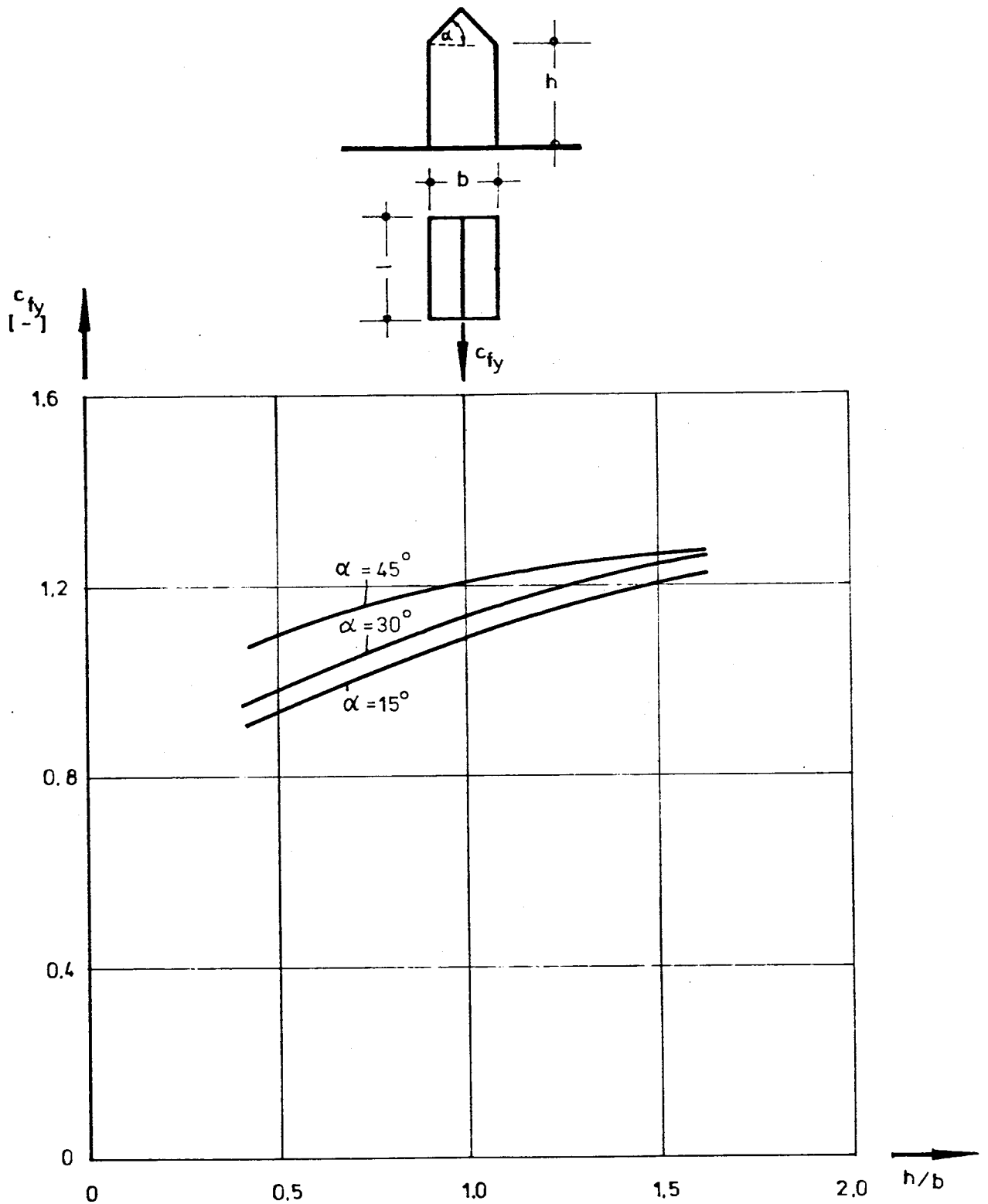
○ = AUS KRAFTMESSUNG

□ = AUS DRUCKVERTEILUNGSMESSUNG

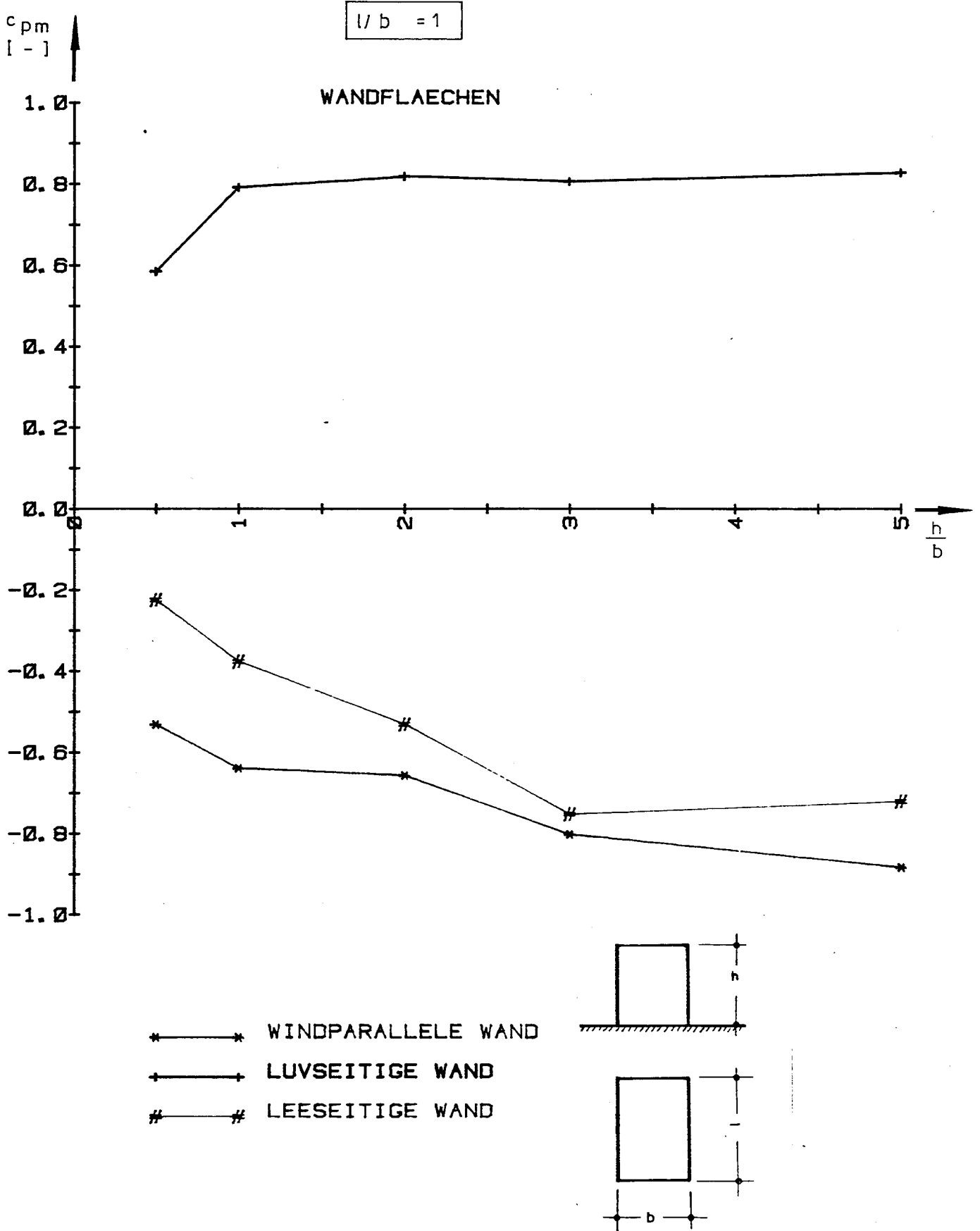
KRAFTBEIWERTE
FÜR GEBÄUDE MIT QUADRATISCHEM GRUNDRISS ABB. 64



KRAFTBEIWERTE FÜR GEBÄUDE MIT SATTELDACH ABB.65



KRAFTBEIWERTE FÜR GEBÄUDE MIT SATTELDACH ABB. 61



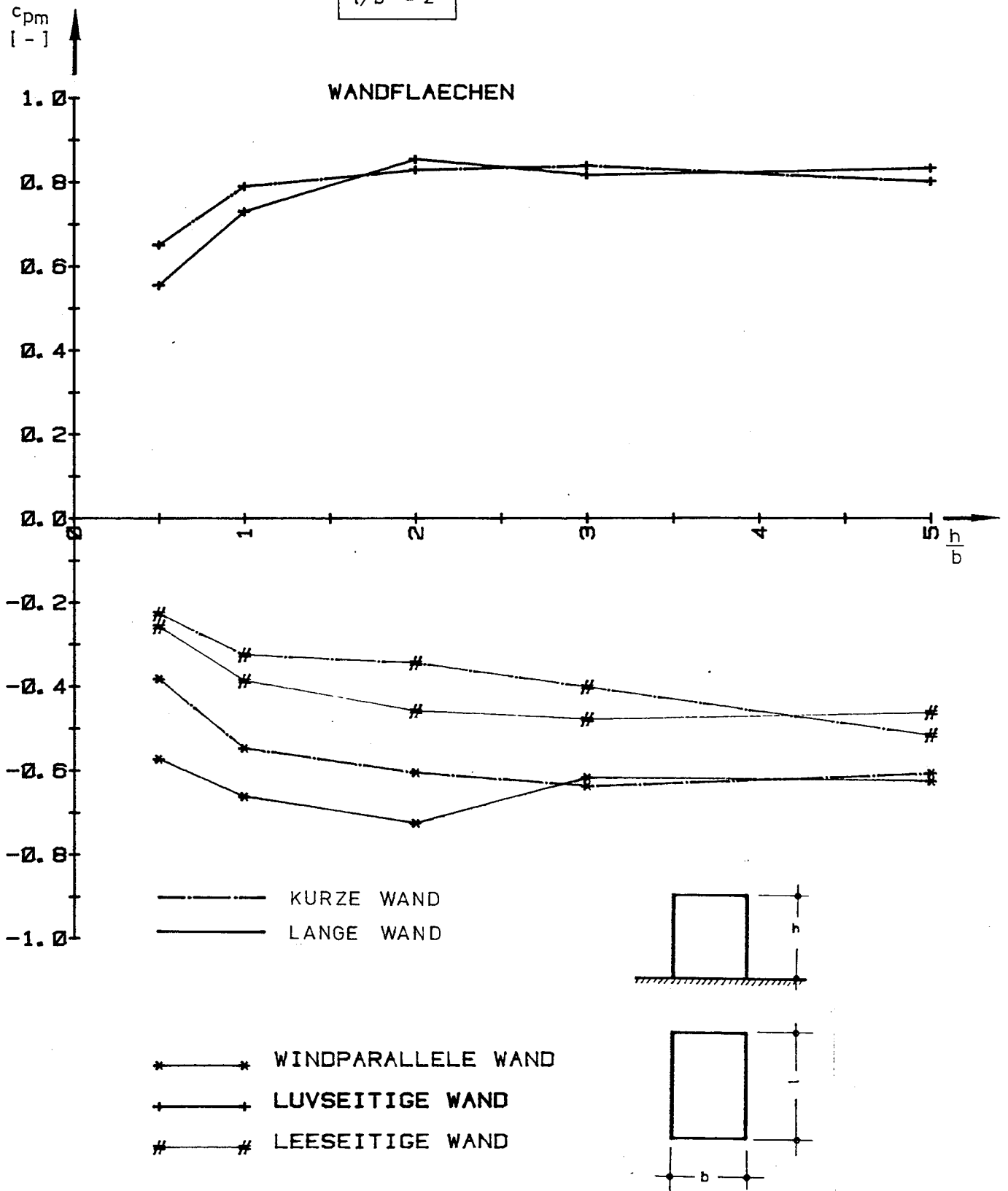
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 67



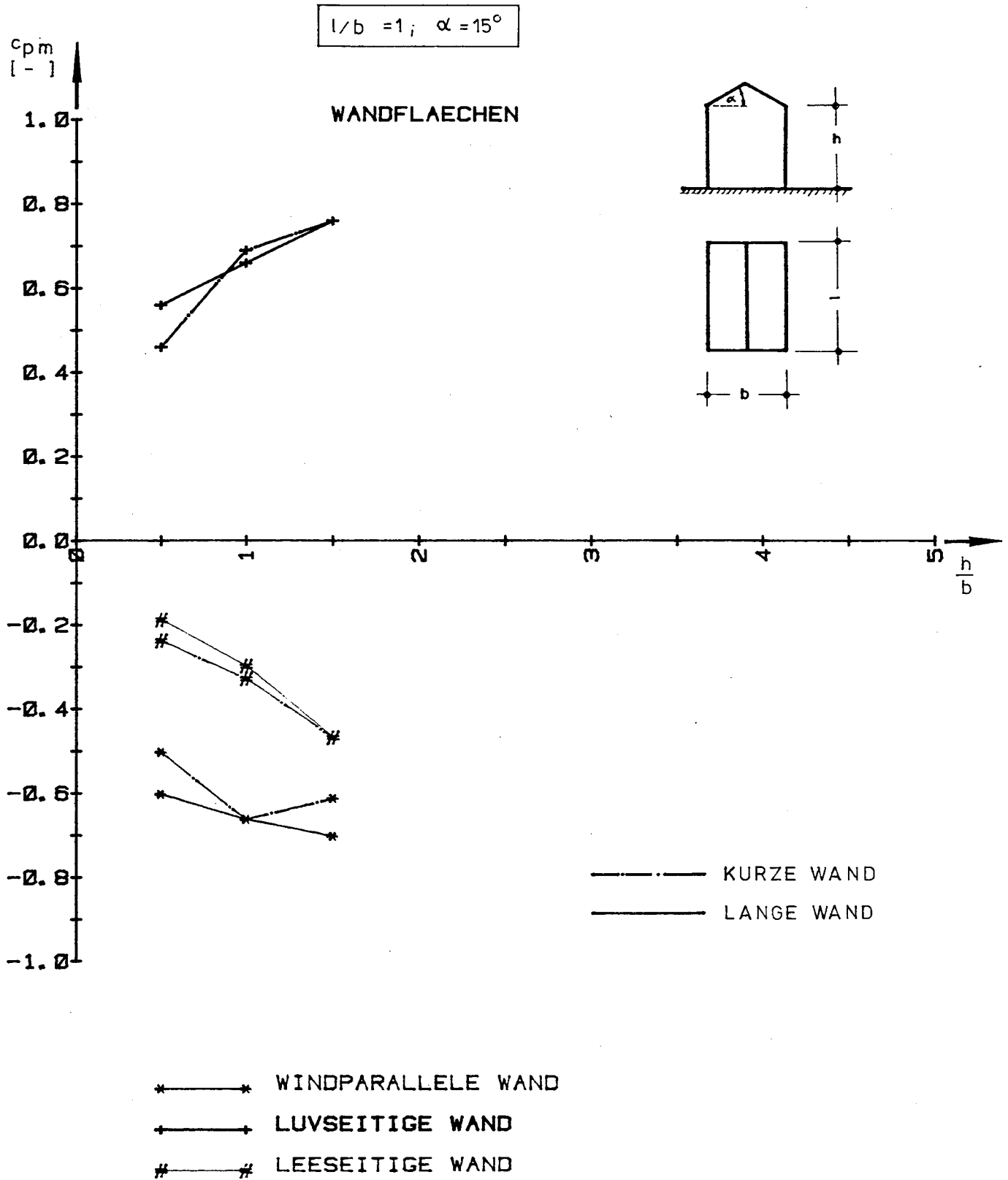
$l/b = 2$

WANDFLÄECHEN



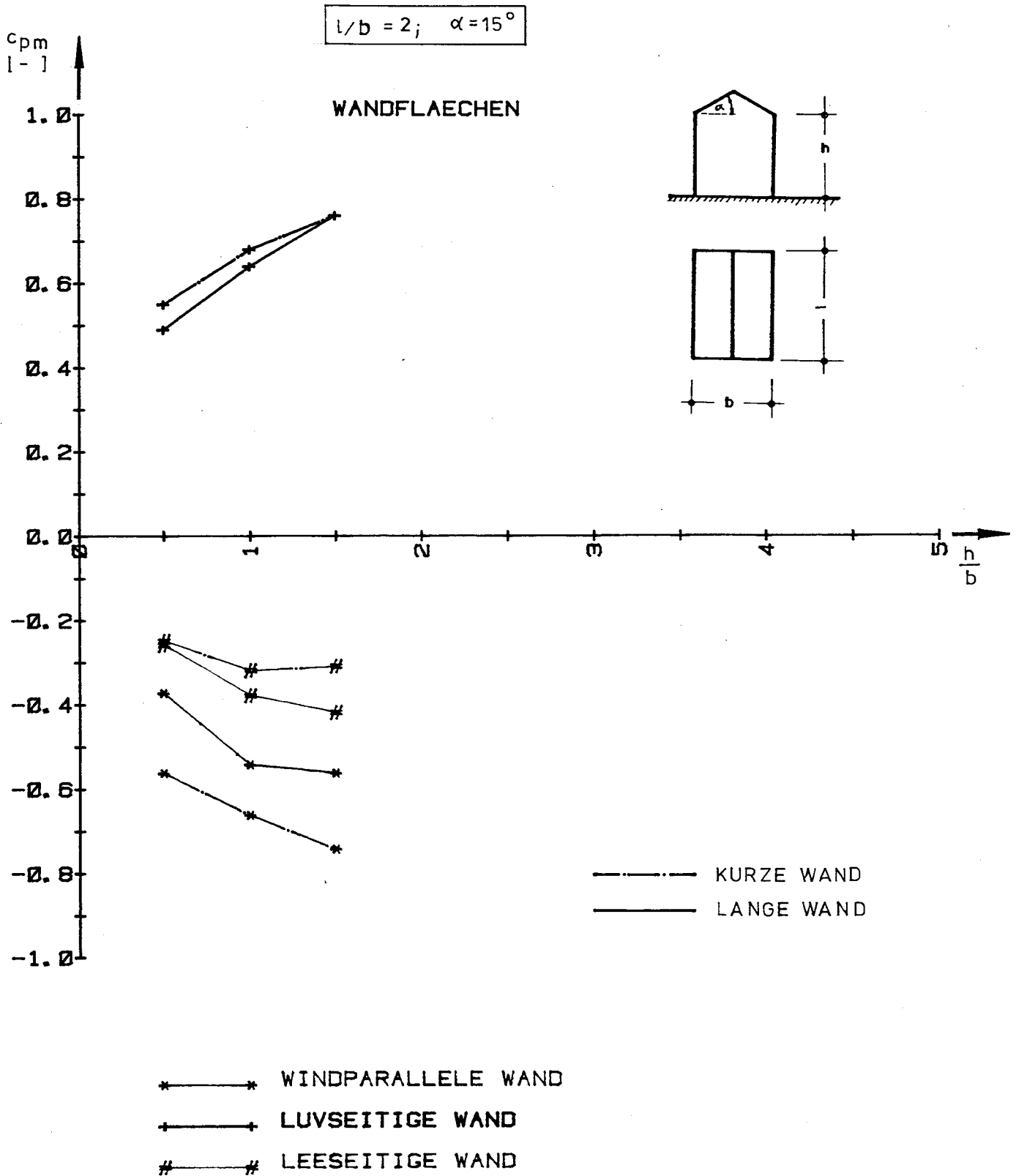
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 68



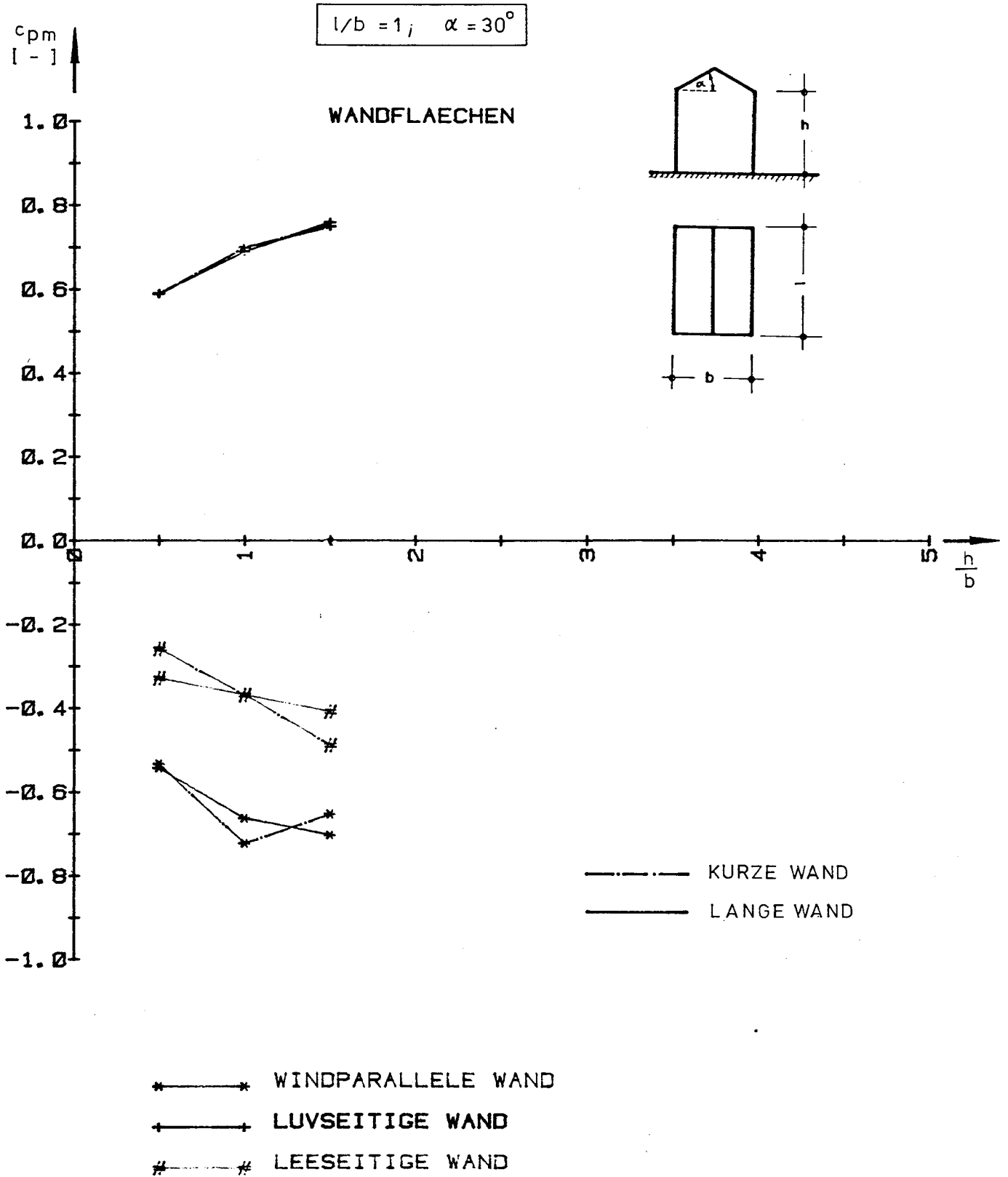
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 69



GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 70



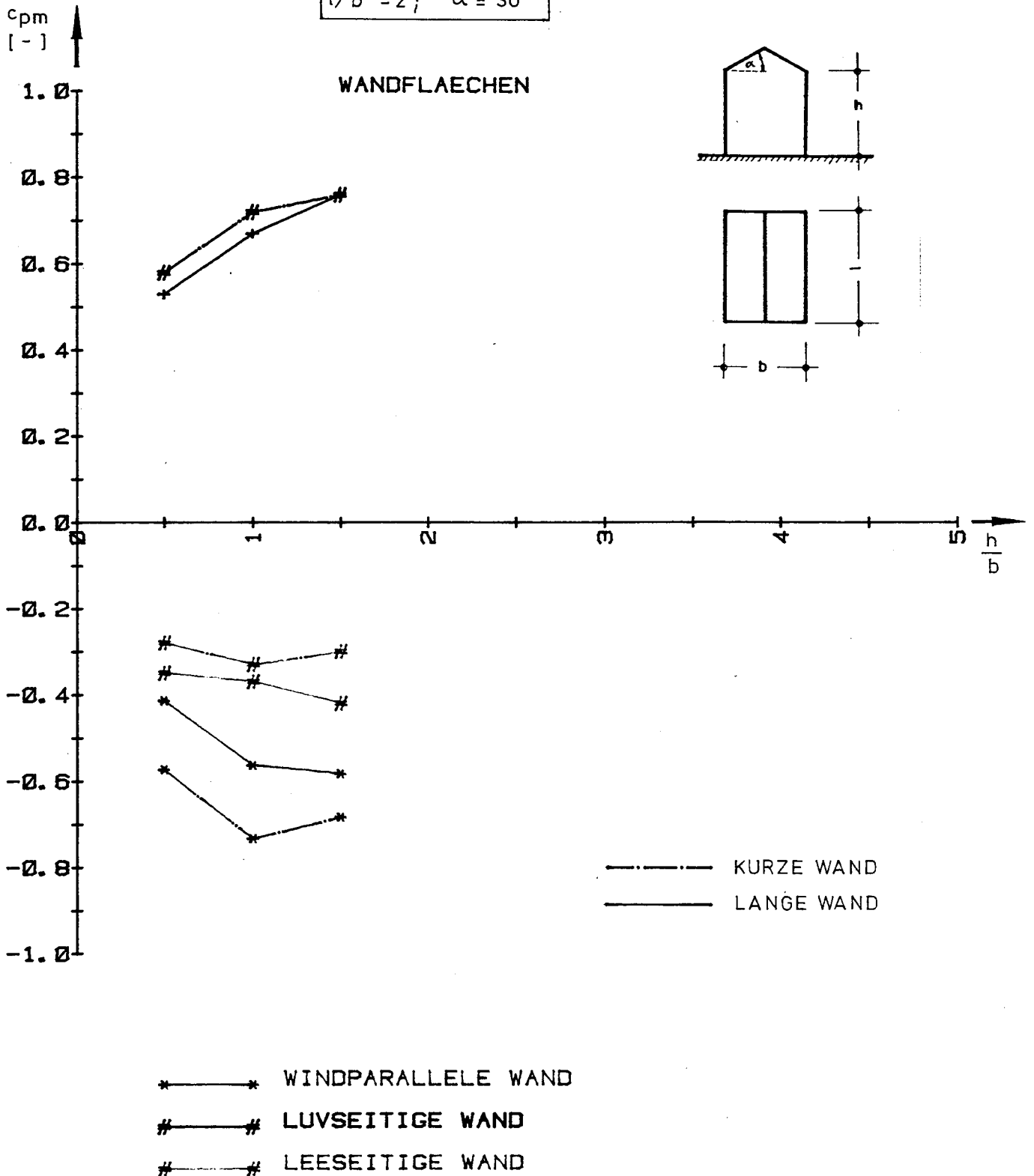
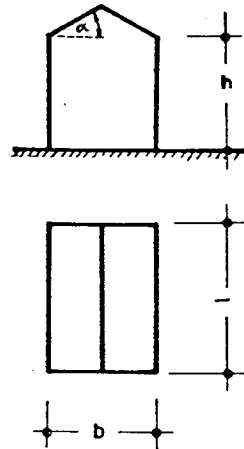
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 71



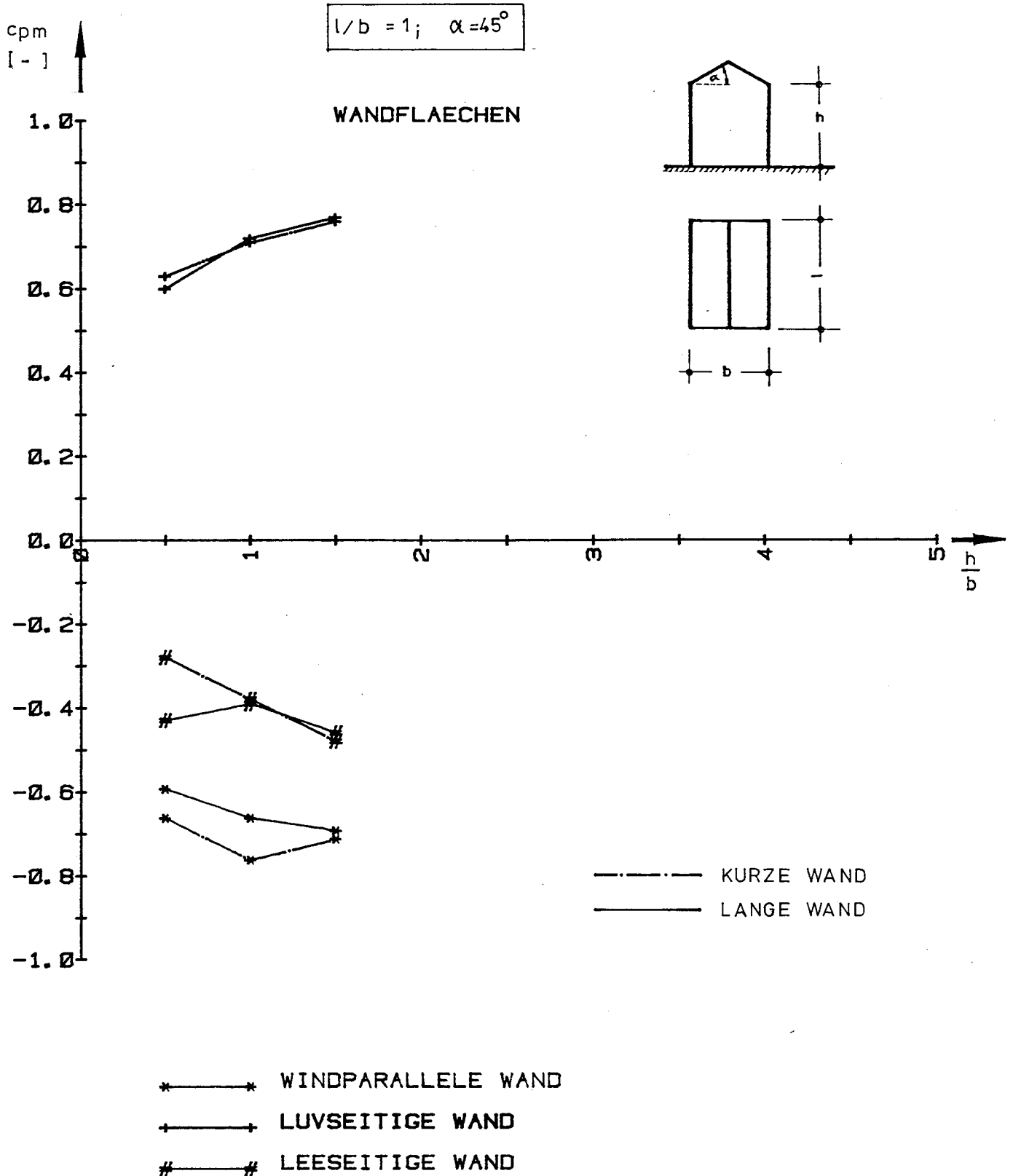
$l/b = 2; \alpha = 30^\circ$

WANDFLÄECHEN



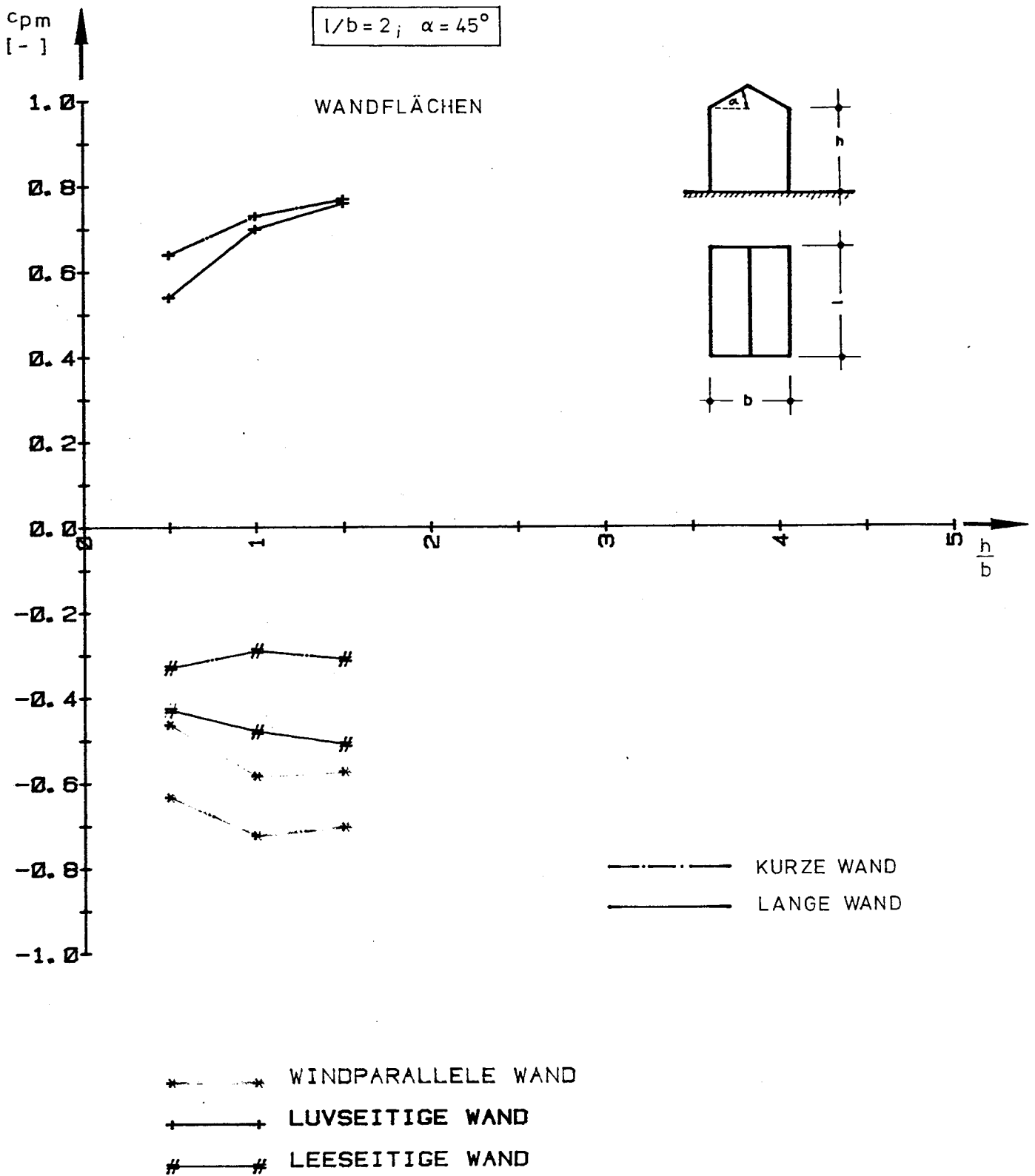
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 72



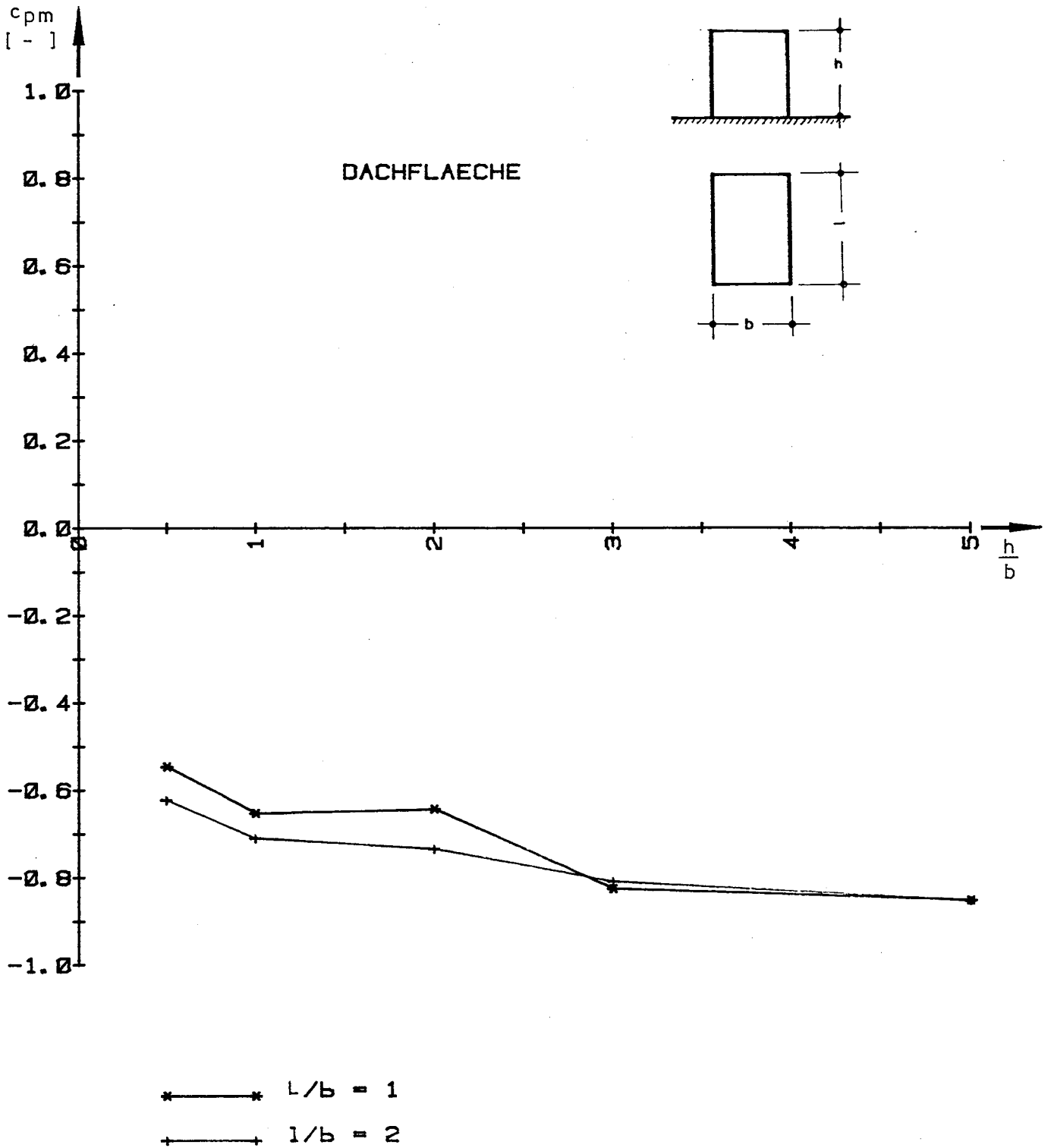
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 73



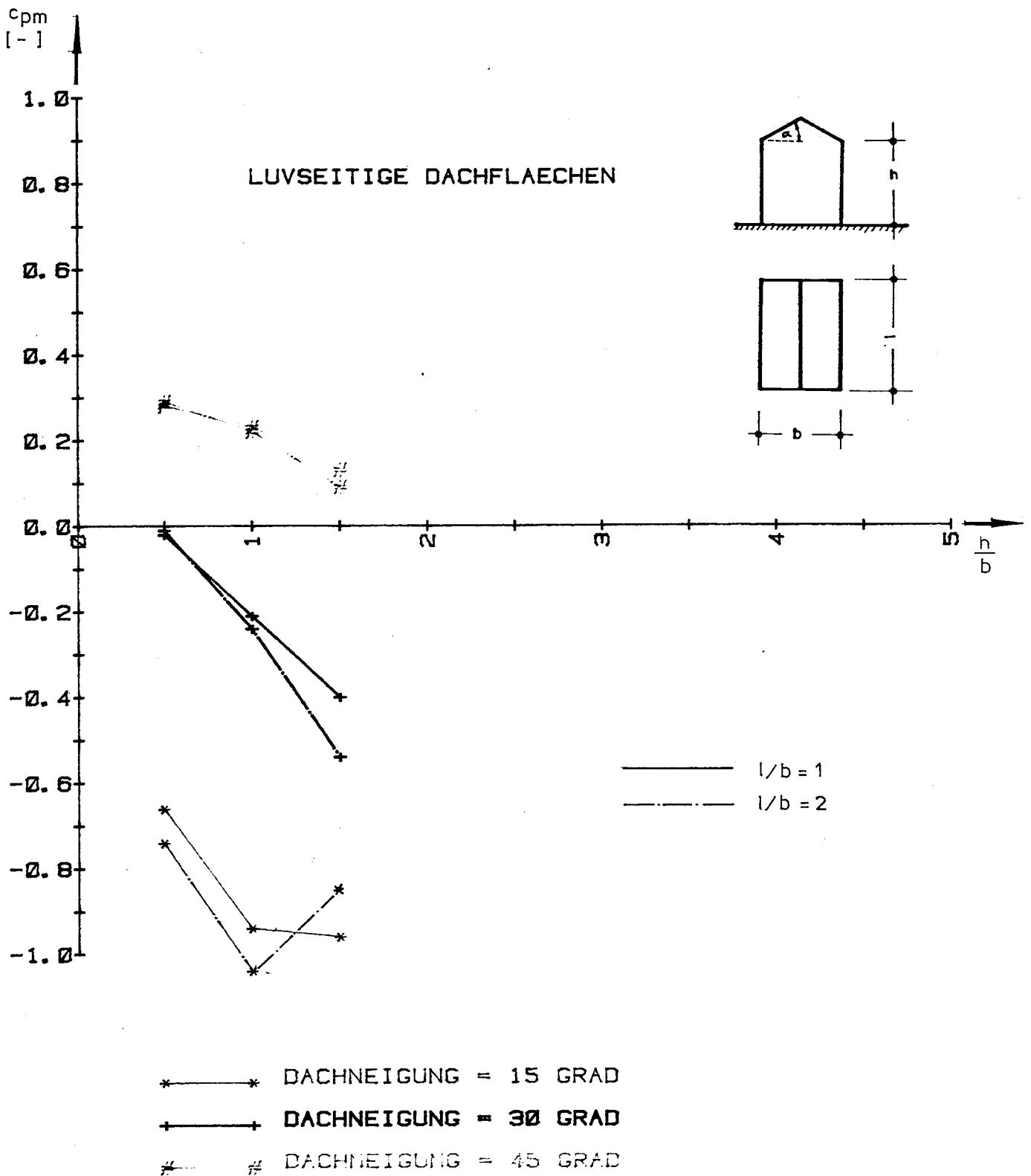
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 74



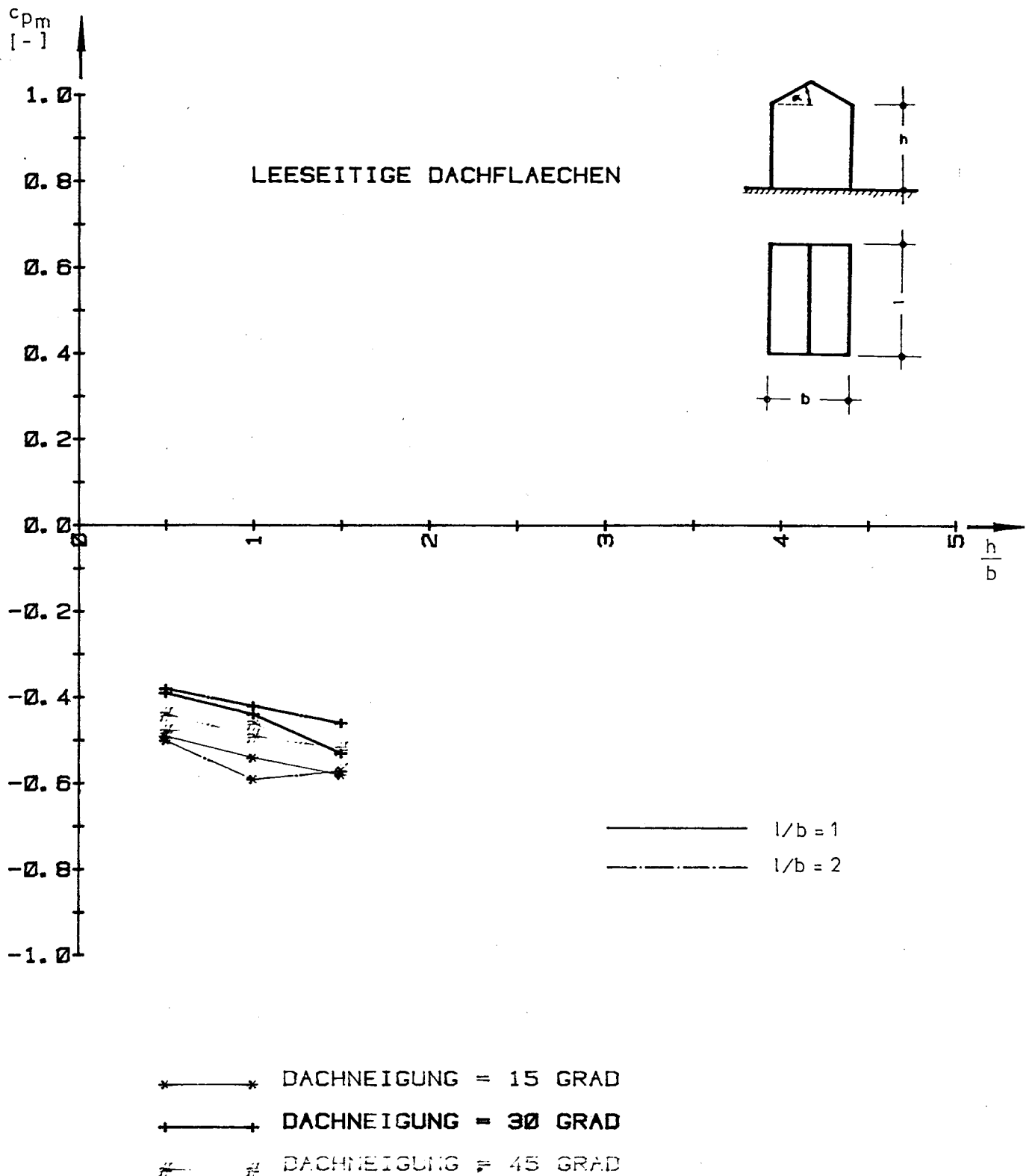
GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 75



GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

ABB. 76

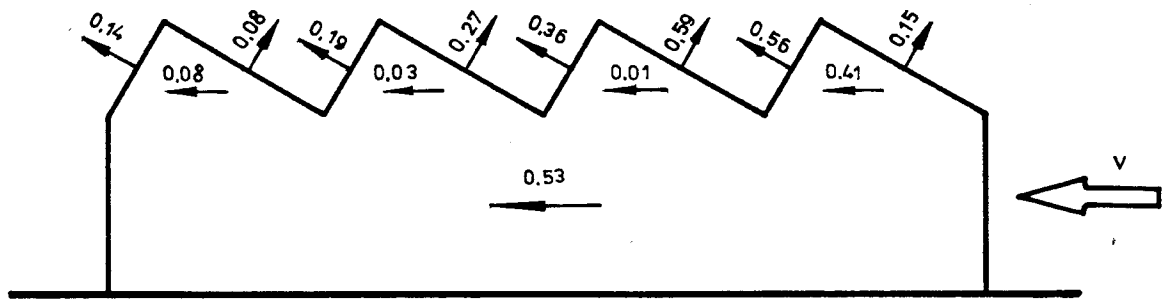


GEMITTELTE DRUCKBEIWERTE

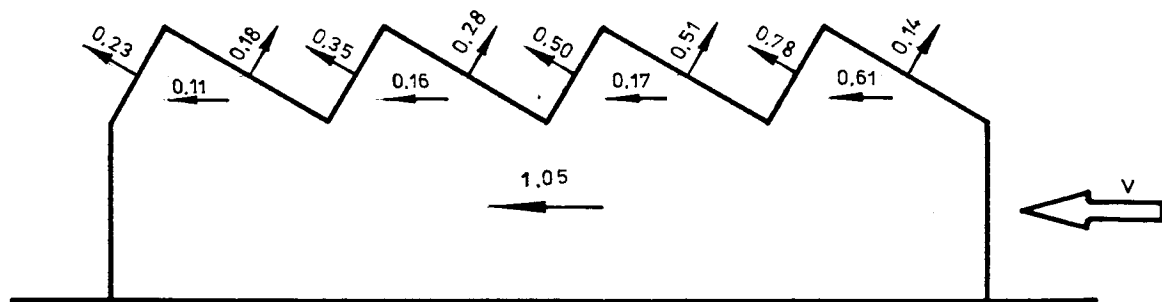
ABB. 77



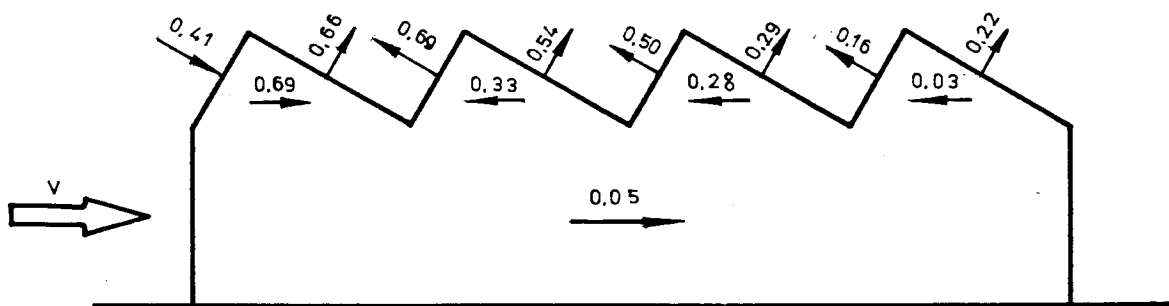
SHEDDACH 1
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 60^\circ$ BZW. 30°)



ANSTRÖMWINKEL $\beta = 0^\circ$



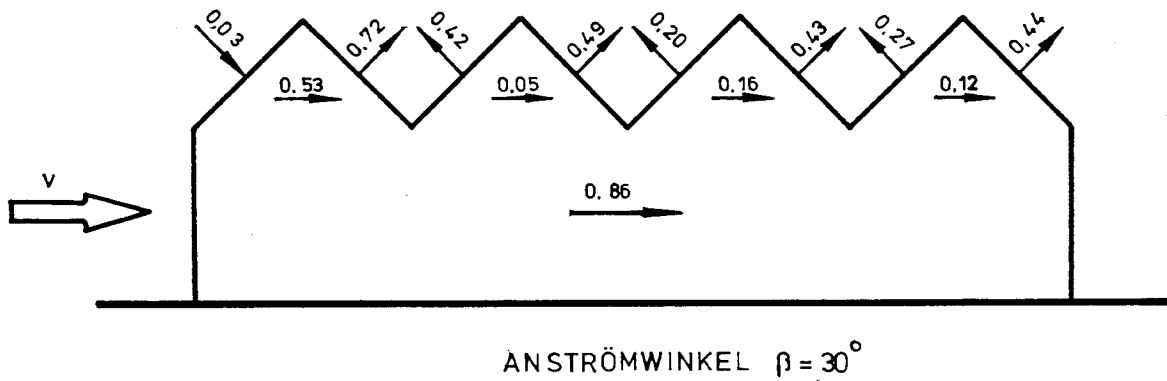
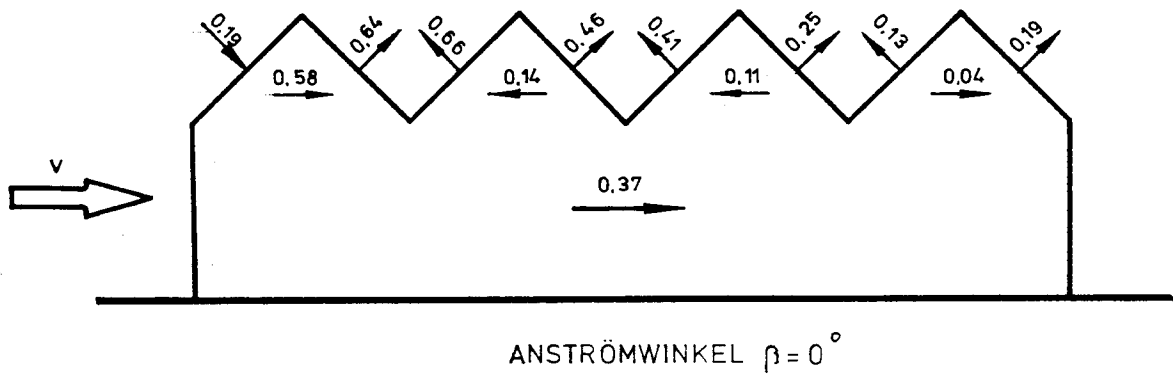
ANSTRÖMWINKEL $\beta = 30^\circ$

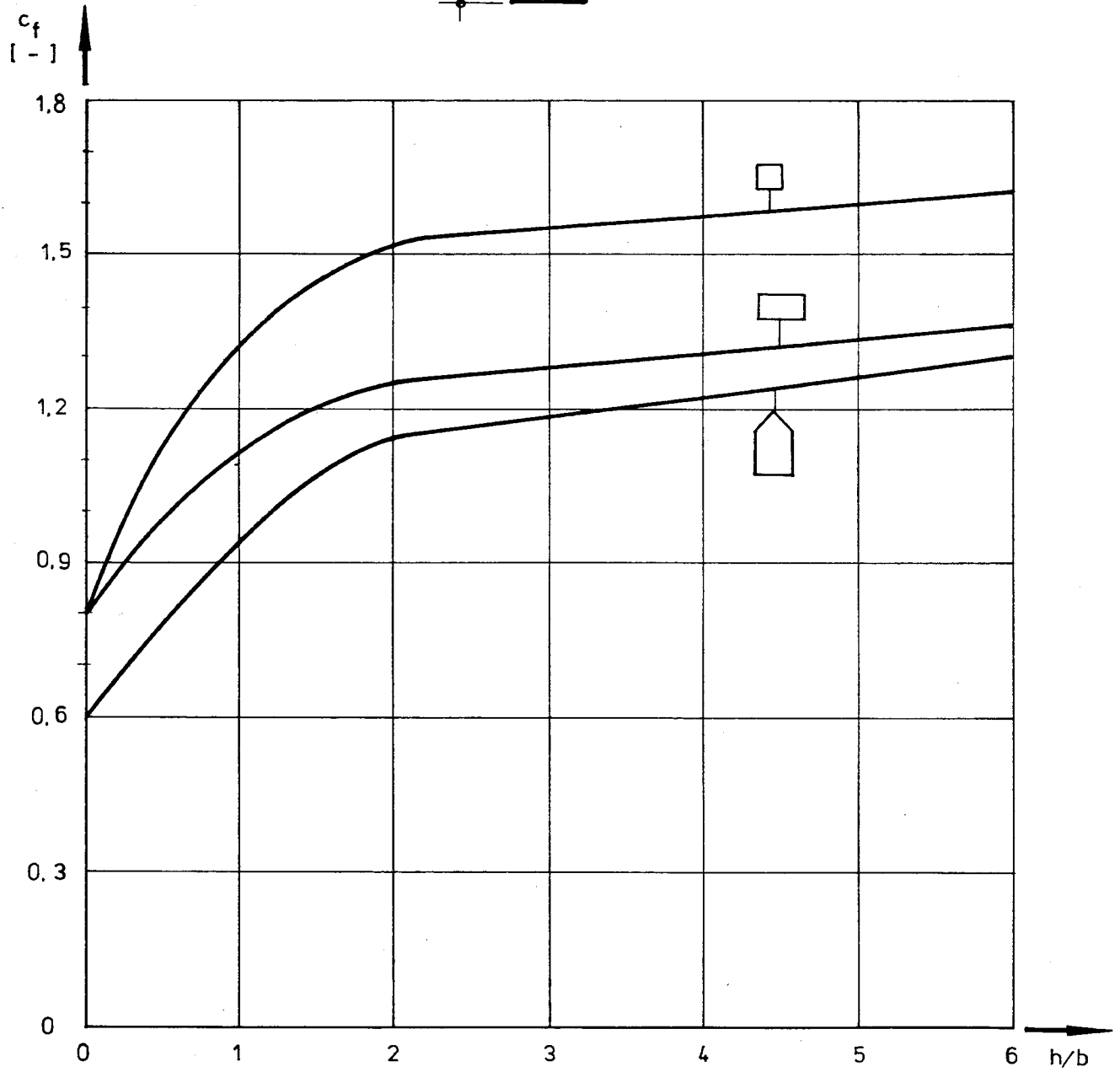
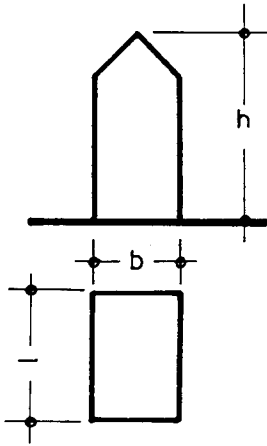


ANSTRÖMWINKEL $\beta = 180^\circ$



SHEDDACH 2
 (DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$)

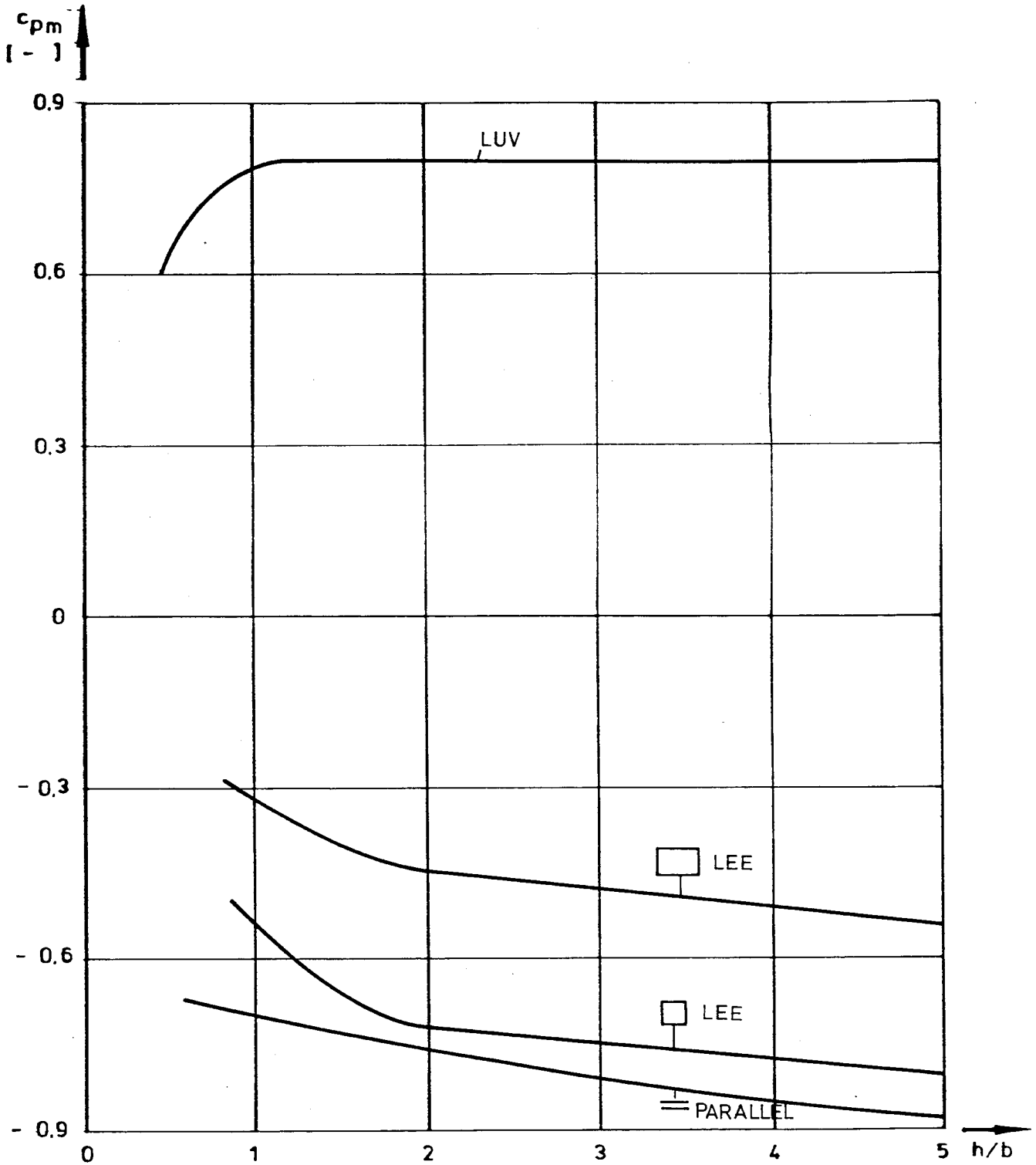




KRAFTBEIWERTE

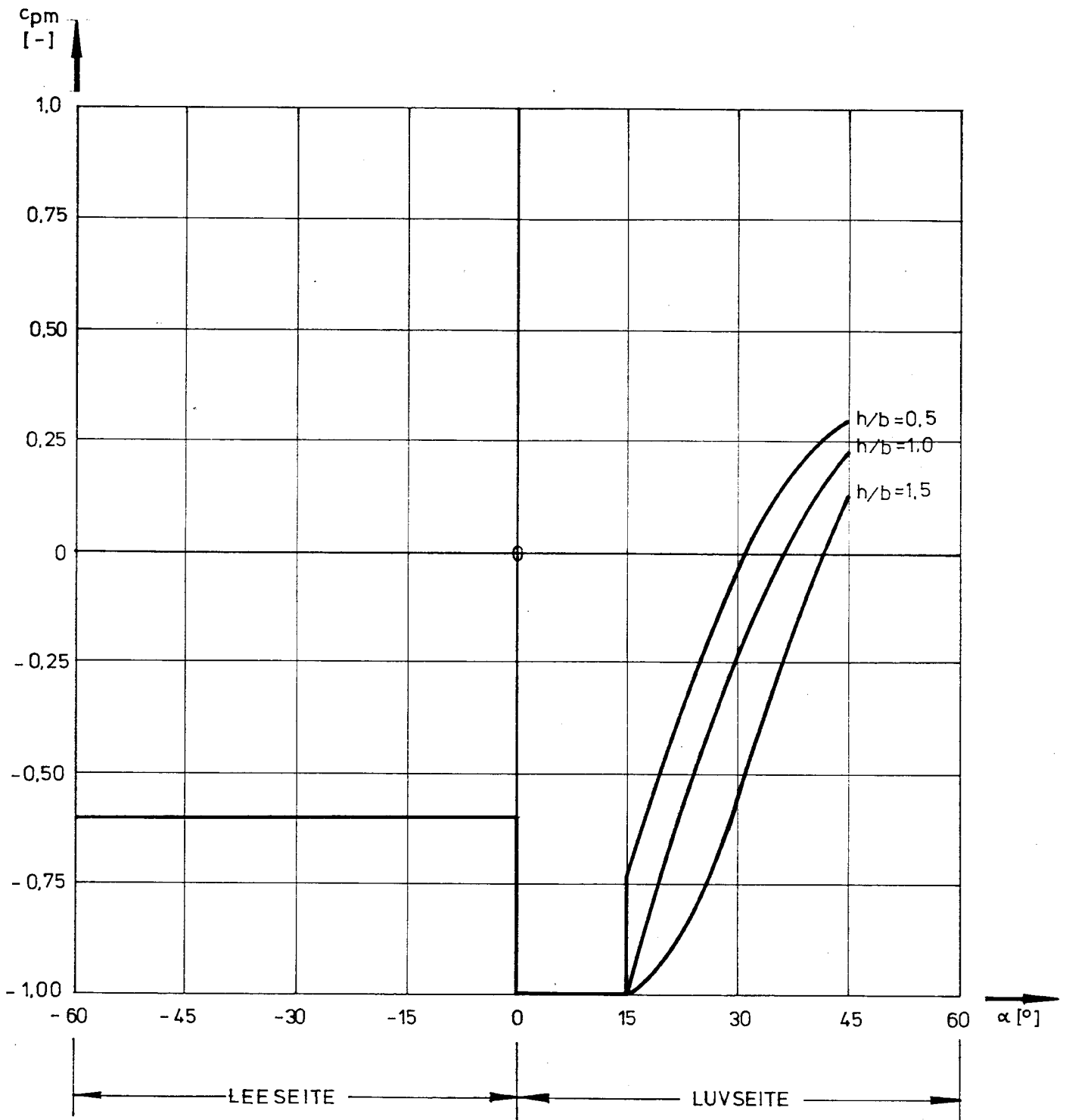
ABB. 80

113



DRUCKBEIWERTE FÜR WANDFLÄCHEN

ABB. 81

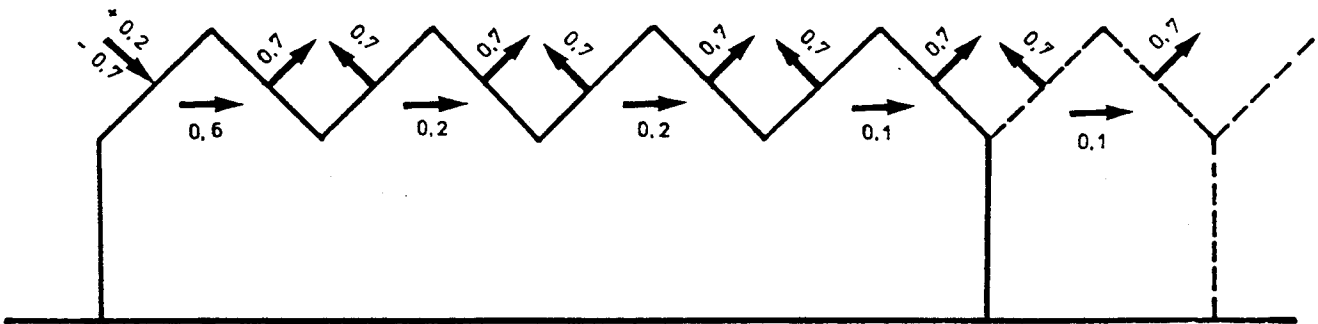


DRUCKBEIWERTE FÜR DACHFLÄCHEN

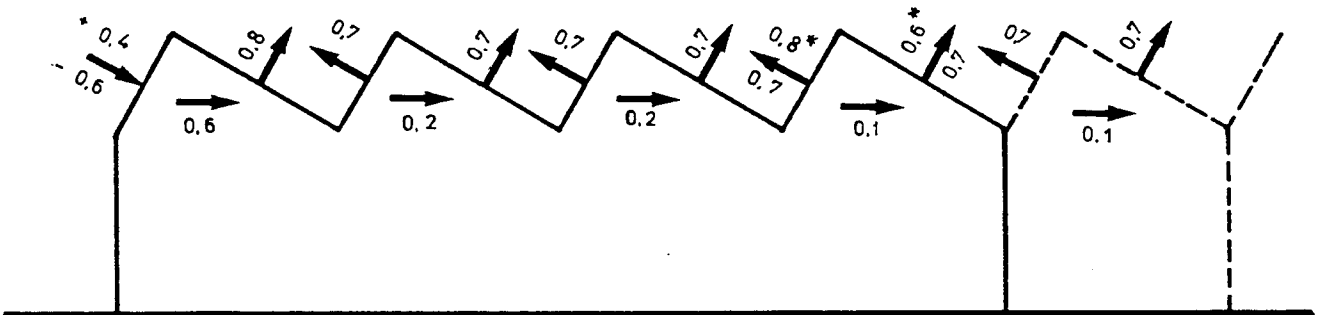
ABB. 82



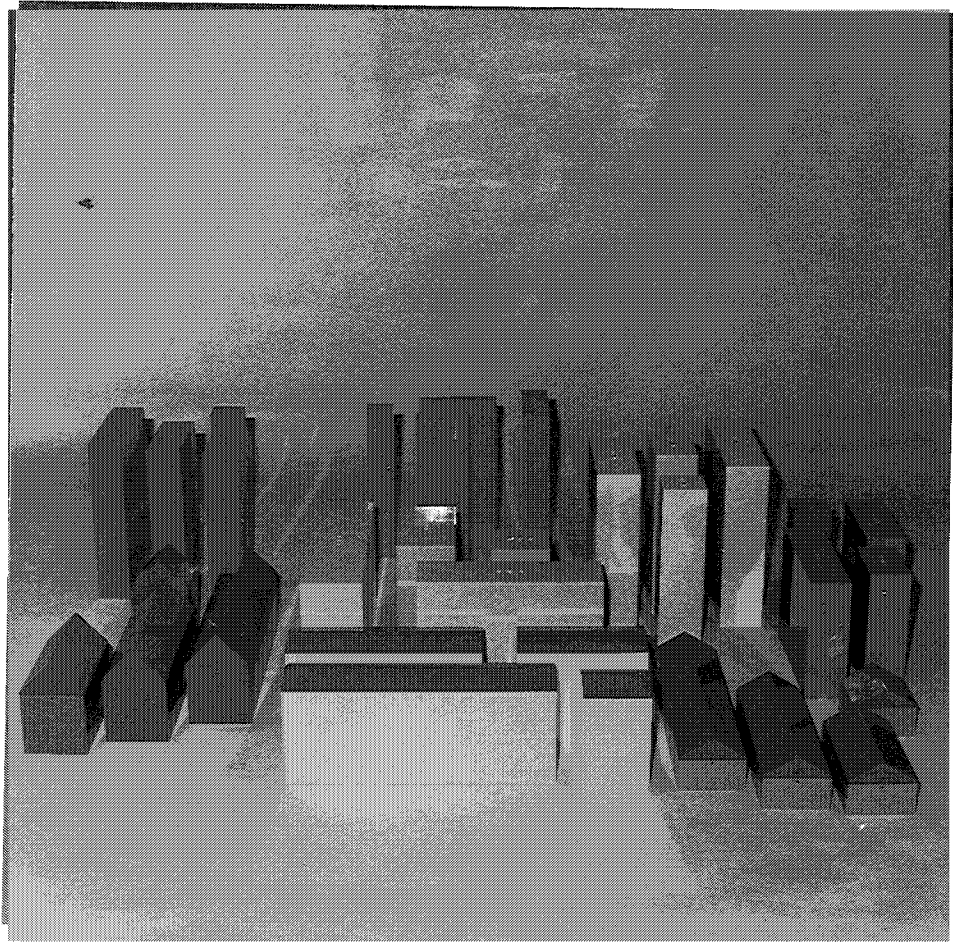
SHEDDACH (DACHNEIGUNG $\alpha = 45^\circ$)



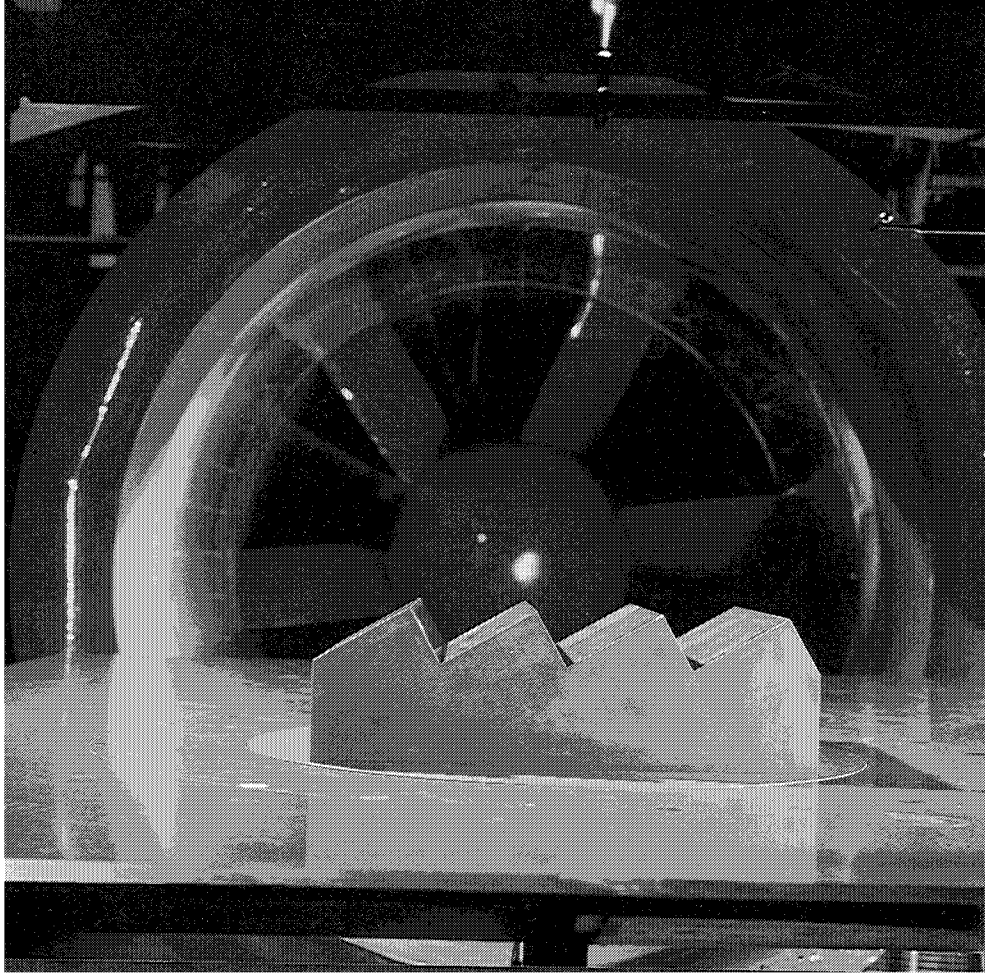
SHEDDACH (DACHNEIGUNG $\alpha = 60^\circ$ BZW. 30°)



* BETRIFFT DAS ERSTE BZW. LETZTE SHEDDACH







MODELL SHEDHALLE IM WINDKANAL