

WACKER & RAU

Büro für angewandte Strömungsmechanik

Wind · Wasser · Umwelt

WACKER & RAU

Grundstraße 17

75217 Birkenfeld

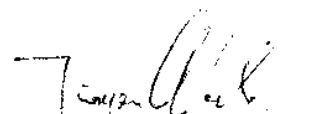
Telefon 070 82/9 3131

Telefax 070 82/9 3133

**WINDKANALVERSUCHE
ZUR ERMITTLUNG DER GLOBALEN
QUASISTATISCHEN WINDKRAFTBEIWERTE
FÜR DAS TEILWEISE WINDDURCHLÄSSIGE
GEFLECHT B31261
BZW. FÜR HIERAUS BESTEHENDE
WERBETAFELN**

Auftraggeber: Verseidag-Indutex GmbH
Industriestr. 56
47803 Krefeld

6. Juni 1998


Dipl.-Ing. J. Wacker
Dipl.-Ing. M. Rau

1. PROBLEMSTELLUNG UND VORBEMERKUNGEN

Für Reklamezwecke werden öfters Werbetafeln (typische Größen 10 m · 10 m, 10 m · 15 m) verwendet, die an Gerüsten bzw. einer Unterkonstruktion befestigt entweder frei stehen oder vor einer Fassade plziert werden. Für derartige Werbetafeln werden teilweise luftdurchlässige Kunststoffgeflechte (siehe Abb. 1.1) verwendet, die entsprechend dem vorgesehenen Werbezweck bedruckt bzw. angemalt werden können. Das Kunststoffgeflecht ist den zur Verkleidung von Baugerüsten verwendeten Netzen ähnlich.

Das Büro für angewandte Strömungsmechanik Wacker & Rau wurde mit Schreiben vom 15.5.1998 beauftragt, für das Geflechtmuster B31261 der Fa. Verseidag-Indutex GmbH (siehe Abb. 1.1) den aerodynamischen Kraftbeiwert experimentell zu ermitteln. Hierbei sollte von einer frei angeströmten Werbetafel ausgegangen werden. Eventuell hinter der Werbetafel vorhandene Fassaden bzw. deren im allgemeinen lastmindernde Wirkung sollten nicht berücksichtigt werden. Ziel der Untersuchungen war die Klärung der Frage, ob aufgrund der teilweisen Luftdurchlässigkeit des Geflechts die Reduzierung des Kraftbeiwertes gegenüber den Angaben in der DIN 4420 (1990) gerechtfertigt ist.

Im vorliegenden Kurzbericht werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

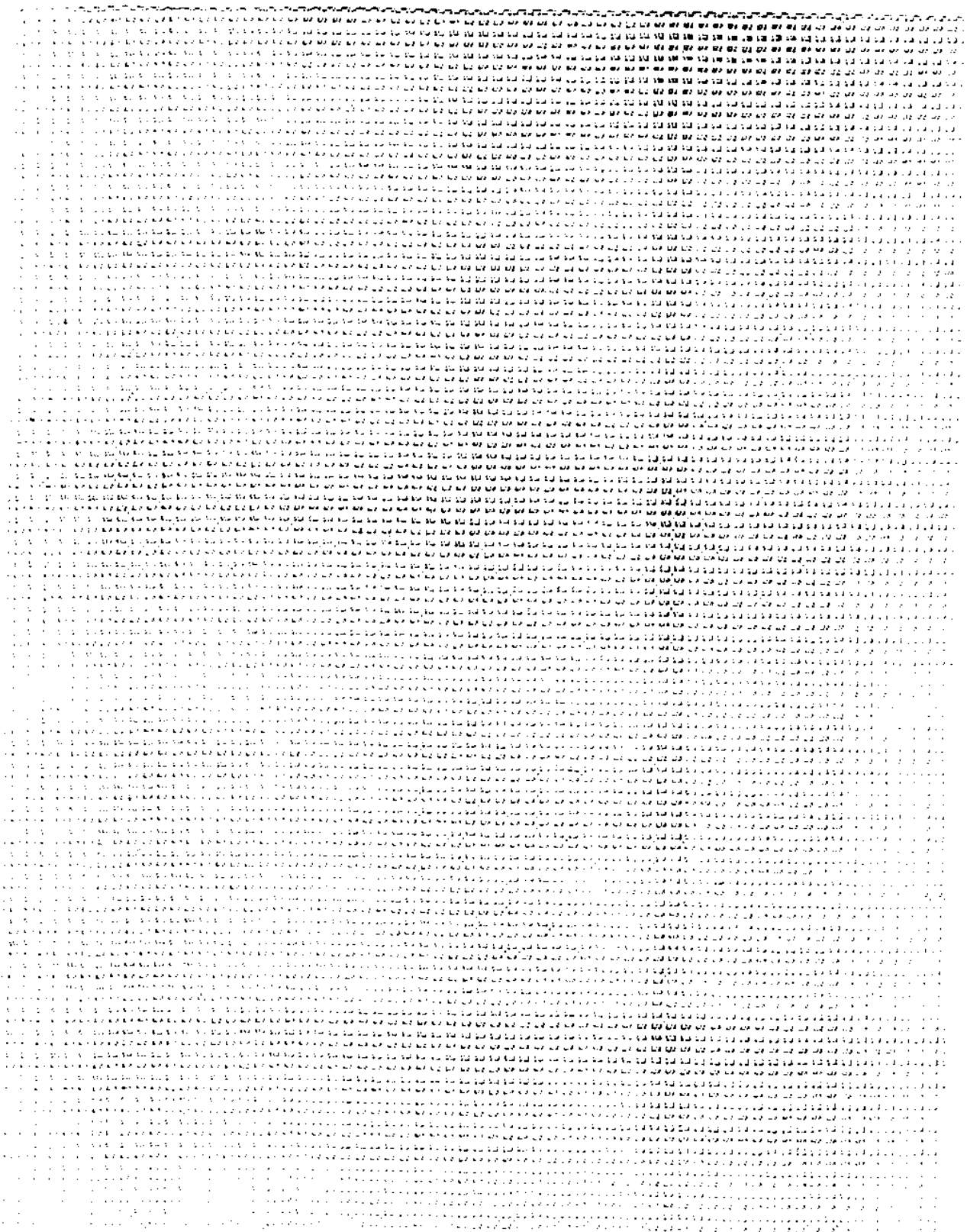


Abb. 1.1: Muster des Kunststoffgeflechts B31261 der Fa. Versidag-Indutex GmbH

2. VORGEHENSWEISE

In einem ersten Schritt wurde entsprechend dem (ursprünglichen) Wunsch des Auftraggebers das Geflecht in ein Rohr (Durchmesser ca. 10 cm) senkrecht zur Rohrlängsrichtung eingespannt (siehe Abb. 2.1). Das Geflecht wurde dann mittels eines Gebläses mit einem bestimmten Staudruck bzw. Luftdurchsatz beaufschlagt. Durch Messung des geflechtbedingten Druckabfalls – dies geschah durch Messung des statischen Druckes an der Rohrwand vor und hinter dem Geflecht – und des Luftvolumenstromes konnte der zugehörige dimensionslose Verlustbeiwert

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} u^2}$$

experimentell bestimmt werden. Der Verlustbeiwert entspricht im wesentlichen einem Druck- bzw. Kraftbeiwert.

Bei der obigen Methode wird allerdings nicht berücksichtigt, daß in der Realität bei der Großausführung ein Teil der anströmenden Luft das Geflecht bzw. die Werbetafel umströmt und nicht durchströmt. Vielmehr kann das Geflecht bei einer Rohrströmung nur durchströmt werden. Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Schritt das Geflechtmuster in einem Windkanal (Freistrahkanal) einer freien Strömung (in etwa gleichförmig, turbulenzarm) ausgesetzt (siehe Abb. 2.1).

Diese Methode erlaubt zwar die Durchströmung und Umströmung des Geflechts bzw. der Werbetafel, berücksichtigt aber nicht, daß die Anströmung üblicherweise eine höhenabhängige Windgeschwindigkeitsverteilung, d.h. ein Windgeschwindigkeitsprofil aufweist (in Bodennähe kleinere Geschwindigkeit als in größeren Höhen). Aus diesem Grund wurde das Geflecht in einem dritten Schritt in einem Grenzschichtwindkanal untersucht (siehe Abb. 2.1). Bei diesen Versuchen wurde die atmosphärische Grenzschichtströmung (Windgeschwindigkeitsprofil, Turbulenzintensität) im Windkanal modelliert; desweiteren war die Durchströmung und Umströmung des Modells möglich. Die Versuche wurden im geometrischen Maßstab 1:50 durchgeführt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das Geflechtmuster zwar nicht im Maßstab 1:50 nachgebildet wurde, daß aber bei Verwendung des Originalmaterials die Porositäten des Materials als sehr wichtige dimensionslose Kennzahl im Modell und in der Großausführung identisch sind. Die die Durchströmung charakterisierende Reynoldszahl (charakteristische Länge = Spaltbreite oder Dicke der einzelnen Fäden des Geflechts) für die Großausführung der Werbetafel in Sturmsituationen wird in den Modellversuchen bei den hier untersuchten Windgeschwindigkeiten im Windkanal fast erreicht. Die die Umströmung der Werbetafel charakterisierende Reynoldszahl (charakteristische Länge = Höhe oder Breite der Werbetafel) spielt aufgrund der scharfkantigen Ausbildung der Kanten der Werbetafel bei Überschreitung einer Min-

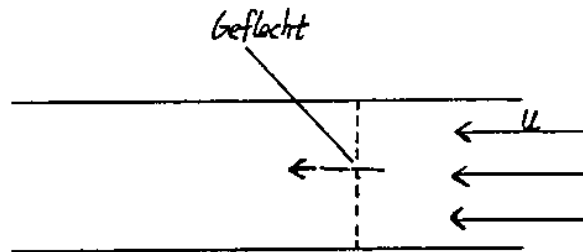
dest-Reynoldszahl (was hier der Fall war) keine entscheidende Rolle. In Vorversuchen wurde festgestellt, daß für Windgeschwindigkeiten im Windkanal größer als 8 m/s kein Einfluß der Reynoldszahl auf den c_D -Wert festzustellen ist. Die Standardversuche wurden mit einer Windgeschwindigkeit von ca. 15 m/s außerhalb der modellierten Teilgrenzschicht durchgeführt. Die im Windkanal simulierte atmosphärische Grenzschichtströmung entsprach derjenigen, wie sie sich über einem typischen Vorstadt- oder Gewerbegebiet einstellt. Die untersuchten Werbetafel-Konstellationen sind in Abb. 2.2 dargestellt.

Die resultierenden zeitlich gemittelten Windkraftbeiwerte

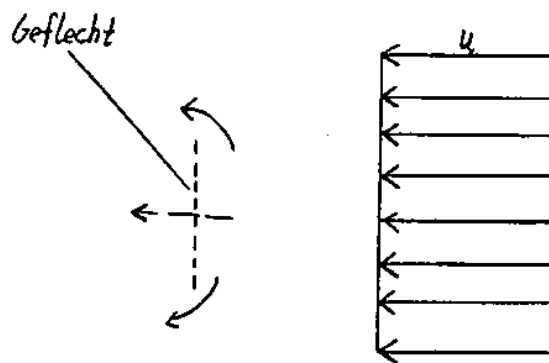
$$c_{D.} = \frac{W}{\frac{\rho}{2} u(H^*)^2 \cdot A}$$

wurden durch flächengewichtete Integration der an verschiedenen Meßstellen auf der Vorder- und Rückseite der jeweils untersuchten Werbetafel mittels eines Prandtl-Rohres (statische Anbohrung) gemessenen statischen Drücke berechnet. W stellt die Gesamtwindkraft auf die Werbetafel dar, $u(H^*)$ ist die Windgeschwindigkeit in der Höhe $H^* = H_0 + H$, wobei H_0 der Abstand zwischen Boden (GOK) und der Unterkante der Werbetafel und H die vertikale Ausdehnung der Werbetafel darstellen, und A ist die lastwirksame Fläche ($A = B \cdot H$).

Rohr:



Freistrahlskanal:



Grenzschichtwindkanal:

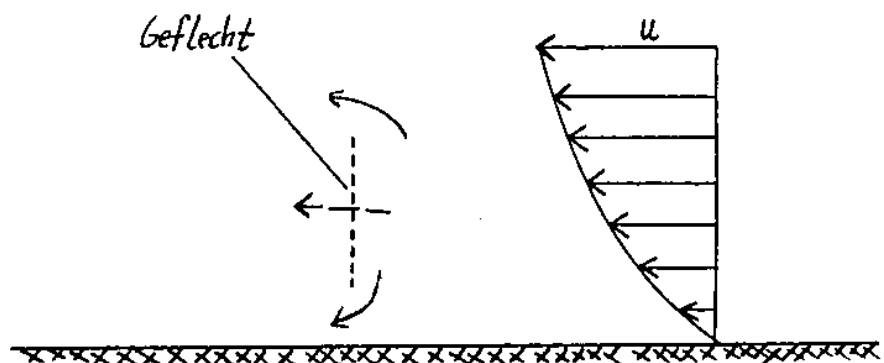
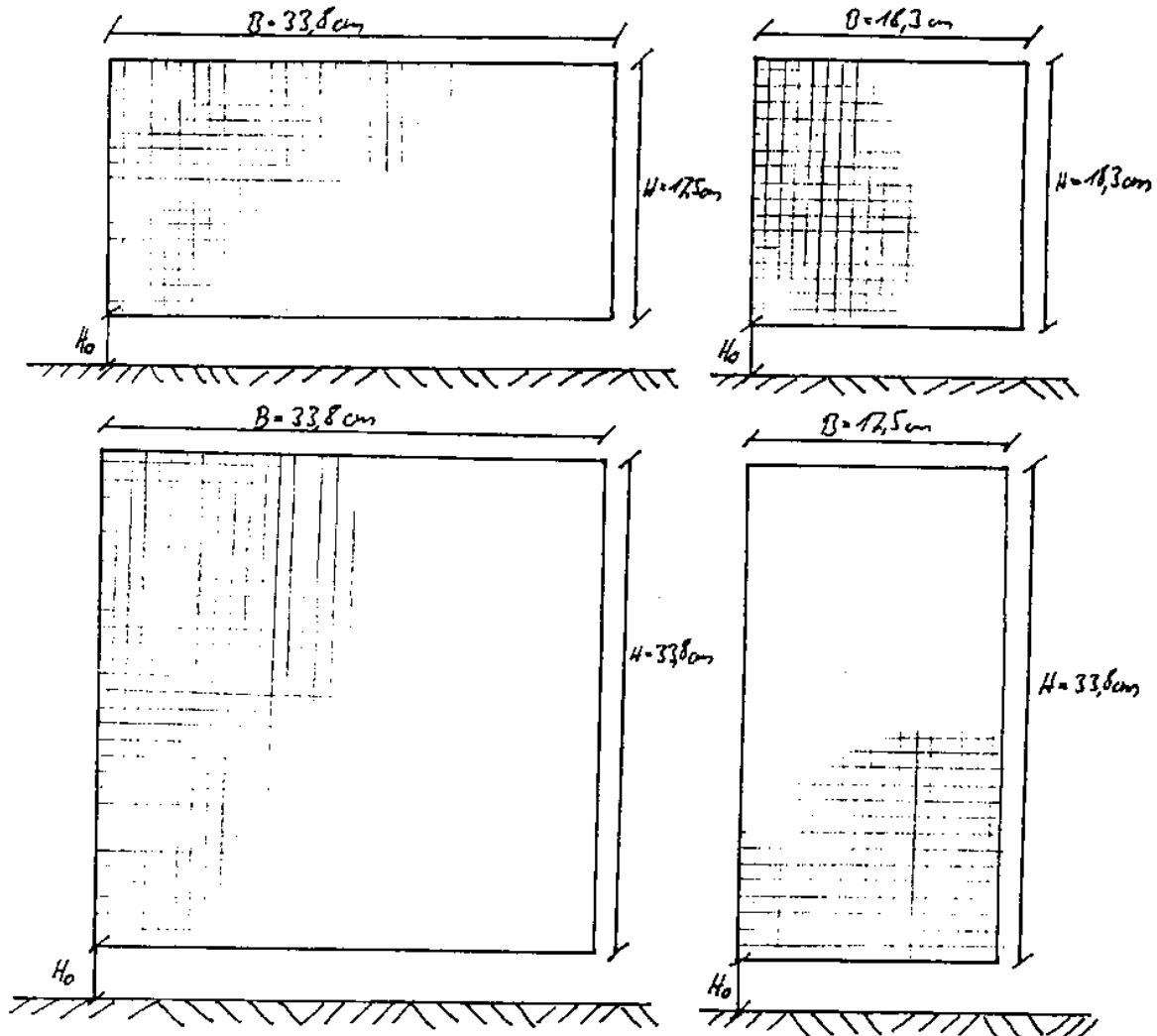


Abb. 2.1: Skizze des Versuchsaufbaus: Untersuchung des Widerstandskoeffizienten des Geflechts in einer Rohrströmung, in einem Freistrahlskanal und in einem Grenzschichtwindkanal



H/B [cm]	33,8/33,8	17,5/33,8	33,8/17,5	18,3/18,3
Ho	0	0	0	0
Ho	5	-	-	5
Ho	15	15	15	15
Ho	25	25	25	25

Abb. 2.2: Die im Grenzschichtwindkanal untersuchten Werbetafeln (Geflechtmuster B31261)

3. EXPERIMENTELL ERMITTELTE WINDKRAFTBEIWERTE FÜR DAS GEFLECHTMUSTER B31261 BZW. FÜR HIERAUS ERSTELLTE WERBETAFELN

Die Messung des Verlustbeiwertes in einer (an der Rohrwandung weitgehend grenzschichtfreien) Rohrströmung ergab erwartungsgemäß einen vergleichsweise hohen Verlustbeiwert von

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} u^2} \approx 30$$

Die Untersuchung des Geflechtmusters in einem Freistrahlskanal führte zu einem zeitlich gemittelten Windkraftbeiwert von

$$c_D = \frac{W}{\frac{\rho}{2} u (H^*)^2 \cdot A} \approx 1,4$$

Es wird deutlich, daß sich die Möglichkeit der Umströmung des Geflechts bzw. der Werbetafel sehr stark lastreduzierend auswirkt, daß der gemessene Beiwert aber immer noch leicht höher ist als der in der DIN 4420 (1990) angegebene Beiwert von $c_D = 1,3$.

In Abb. 3.1 sind die experimentell in einer atmosphärischen Grenzschichtströmung ermittelten Windkraftbeiwerte für die untersuchten Versuchskonstellationen aufgetragen. Die angegebenen resultierenden zeitlich gemittelten Windkraftbeiwerte (quasistatische Windkräfte) basieren auf dem dynamischen Druck der ungestörten mittleren Anströmwindgeschwindigkeit in der Gesamthöhe H^* ($H + H_0$). Man erkennt, daß sich die experimentell in einem Grenzschichtwindkanal ermittelten Windkraftbeiwerte c_D für die untersuchten geometrischen Verhältnisse zwischen 1,13 und 1,33 bewegen. Mit zunehmendem Abstand der Werbetafel vom Boden (GOK) nimmt der c_D -Wert zu. Die Zunahme des c_D -Wertes ist bei den quadratisch geformten Werbetafeln größer als bei den Werbetafeln mit einer dominanten Länge (Breite oder Höhe). Für den Fall, daß die Werbetafeln auf dem Boden stehen, werden die kleinsten c_D -Werte beobachtet. Dies hängt damit zusammen, daß im bodennahen Bereich der von der Höhe abhängige Geschwindigkeitsgradient am größten bzw. der Verdrängungseffekt der Werbetafel am geringsten ist.

Fazit: Die Versuche im Windkanal zeigten, daß die Reduzierung des in der DIN 4420 (1990) angegebenen Kraftbeiwertes (im Zusammenhang mit an Gerüsten befestigten Netzen) von $c_D = 1,3$ auf einen kleineren Wert aufgrund der (beschränkten) Luftdurchlässigkeit des hier untersuchten Geflechts (geometrische Porosität ca. 30%) vergleichsweise gering ist und im einzelnen von den geometrischen Verhältnissen der Werbetafel abhängt. Die auf der Basis der Versuchsergebnisse festgestellte maximal erlaubte Reduzierung des DIN- c_D -Wertes von 1,3 beträgt 13 % (auf dem Boden stehende Werbetafel mit der Höhe als dominante Ausdehnung),

resultierend in einem c_D -Wert von 1,13. Es wird vorgeschlagen, für Bemessungszwecke den jeweils anzuwendenden c_D -Wert unter Berücksichtigung der Werbetafelgeometrie und des Abstandes vom Boden anhand Abb. 3.1 abzuschätzen (Interpolation). Die Umrechnung der im Diagramm angegebenen Dimensionen (im Modellversuch) auf die Abmessungen der Großausführung kann durch Berücksichtigung des Modellmaßstabes von 1:50 erfolgen. Es ist zu beachten, daß die Reduzierung des Windkraftbeiwertes anhand Abb. 3.1 gegenüber dem DIN-Wert nur für Werbetafeln, die sich in einem Gewerbe-, Vorstadt- oder Stadtgebiet befinden, erfolgen darf. Für Werbetafeln, die sich in freiem, unbebautem Gelände befinden, wird keine Abminderung gegenüber den DIN-Werten empfohlen.

Begleitende Strömungssichtbarmachungsversuche bestätigten, daß der überwiegende Teil der ankommenden Luft die Werbetafel umströmt und wegen des relativ großen Durchströmungswiderstandes des Geflechts nur ein vergleichsweise bescheidener Anteil der Luft die Werbetafel durchströmt. Insofern ist klar, daß die gemessenen Windkraftbeiwerte lediglich geringfügig geringer sein können als die entsprechenden Beiwerte für eine windundurchlässige Werbetafel. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß im Entwurf des Eurocode „Windlasten“ (EC Wind loads, 1994) für windundurchlässige Werbetafeln günstigstenfalls ein Beiwert von $c_D = 1,5$ angegeben wird. Der in der DIN 4420 (1990) angegebene Wert von $c_D = 1,3$ erscheint insofern nicht gerade konservativ zu sein.

Die für die Dimensionierung anzusetzenden quasistatischen Bemessungswindlasten in kN/m^2 berechnen sich aus den angegebenen Beiwerten durch Multiplikation mit dem standortspezifischen Böenstaudruck $q_{B\ddot{o}e}$ in der Gesamthöhe H^* der Werbetafel. Der Lastangriffspunkt der Werbetafel kann in erster Näherung als in der Höhe des Schwerpunktes der Werbetafel liegend angenommen werden. Allerdings sollte zur Berechnung der Bemessungswindlasten in Anlehnung an die einschlägigen Windlastvorschriften eine gewisse Exzentrizität der Windlast angenommen werden.

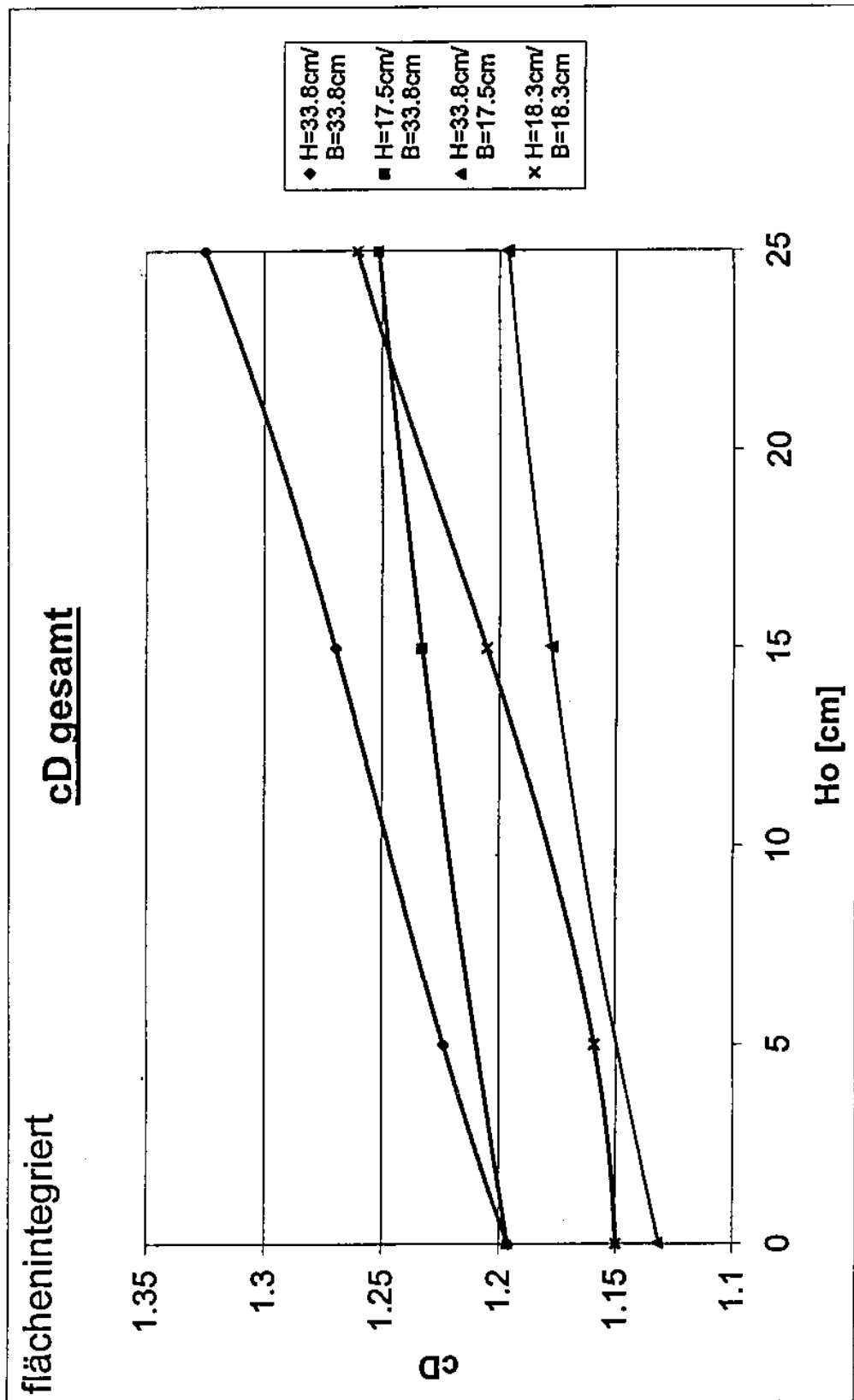


Abb. 3.1: Zeitlich gemittelte (quasistatische) Windkraftbeiwerte c_D für die untersuchten Versuchskonstellationen bei Simulation einer atmosphärischen Grenzschichtströmung

4. HINWEISE

Aufgrund lokaler Strömungsablöseeffekte an den Kanten der Werbetafel können lokal räumlich begrenzte Sogspitzen auftreten, die in den in Kap. 3 vorgeschlagenen Lastannahmen für die Bemessung der Tragkonstruktion - wie oben beschrieben - nicht berücksichtigt wurden, da sich derartige lokale Sogspitzen bei Mittelung der lokalen Druckverteilung über eine größere Fläche kompensieren.

Die Ergebnisse in Kap. 3 enthalten keine Sicherheitsbeiwerte und gelten für den Endausbauzustand der Werbetafeln.

Über Steifigkeit, Dämpfung, Eigenfrequenzen, Eigenformen etc. des bei Verwendung als Werbetafel vorgespannten Geflechts liegen keine Angaben vor. In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich die quasistatisch auf die Werbetafeln wirkenden Windlasten abgeschätzt; die Strukturmechanik bzw. die dynamische Bauwerksreaktion wurde nicht behandelt.

5. LITERATUR

DIN 4420, 1990: "Arbeits- und Schutzgerüste". Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V..

Eurocode "Windlasten", 1994: "Eurocode 1, Basis of Design and Actions on Structures, Volume 1, Actions on Structures, Part 2.7, Wind loads, static and dynamic actions". Draft of project team PT5, 1994.