

LEHRSTUHL FÜR STRÖMUNGSMECHANIK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
o. PROFESSOR DR.-ING. E. TRUCKENBRODT

E-86/12

8000 MÜNCHEN 2 · ARCISSTRASSE 21 · TELEFON: 2105-2506

BRIEFANSCHRIFT: POSTFACH 2024 20, 8000 MÜNCHEN 2

F o r s c h u n g s b e r i c h t

Windkanaluntersuchungen zur Ermittlung der aerodynamischen Kraftbeiwerte für ein- und zweigeschossige Gebäude mit unterschiedlichen Dachformen

Auftraggeber: Entwicklungsgemeinschaft Holzbau

Umfang des Berichts: Textseiten 1 - 13
Abbildungen 1 - 33

München, den 22. Mai 1980

Leiter der Forschungsarbeit:

R. Frimberger
(Prof.Dr.-Ing. R. Frimberger)

Landesgewerbeanstalt Bayern
Aerodynamische Untersuchungsstelle
für bauliche Anlagen

Bearbeiter:

P. Schnabel
(Dipl.-Ing. P. Schnabel)
Bauberrat

Inhalt

1. Aufgabenstellung
2. Versuchsbeschreibung
 - 2.1 Modelle
 - 2.2 Versuchsgeräte
 - 2.2.1 Windkanal
 - 2.2.2 Geräte zur Geschwindigkeitsmessung
 - 2.2.3 Geräte zur Windkraftmessung
 - 2.3 Versuchsprogramm
3. Versuchsergebnisse
 - 3.1 Gebäude mit Rechteckgrundriß
 - 3.1.1 Abhängigkeit der Kraftbeiwerte von der Anströmrichtung
 - 3.1.2 Einfluß der Grundrißabmessungen
 - 3.1.3 Einfluß der Gebäudehöhe
 - 3.1.4 Einfluß der Dachform
 - 3.1.5 Einfluß der Dachneigung
 - 3.1.6 Einfluß der Dachrandausbildung
 - 3.2 Gebäude mit winkelförmigem Grundriß
 - 3.3 Ergebnis der Kontrollmessungen
4. Zusammenfassende Beurteilung des Versuchsergebnisses und praktische Anwendung

Abbildungen

- Abb. 1 Modelle mit Rechteckgrundriß und Satteldach
- Abb. 2 Modelle mit Rechteckgrundriß, Satteldach und Aufschieblingen
- Abb. 3 Modelle mit Rechteckgrundriß und Walmdach
- Abb. 4 Modelle mit Rechteckgrundriß, Walmdach und Aufschieblingen
- Abb. 5 Modell mit Rechteckgrundriß und geändertem Satteldach
- Abb. 6 Modelle mit Rechteckgrundriß und Flachdach
- Abb. 7 Modell mit Winkelgrundriß und Satteldach
- Abb. 8 Modell mit Winkelgrundriß und Walmdach
- Abb. 9 Modell mit Winkelgrundriß und Flachdach
- Abb. 10 Versuchsaufbau im Windkanal, Kraftmessung
- Abb. 11 Grenzschichtprofil über der Bodenplatte
- Abb. 12 und Bezugsflächen
Abb. 13
- Abb. 14 Abhängigkeit der Kraftbeiwerte von der Anströmrichtung
- Abb. 15 Gebäude mit Rechteckgrundriß; Kraftbeiwerte für das Gesamtgebäude
- Abb. 16 Gebäude mit Rechteckgrundriß; Kraftbeiwerte für das Dach
- Abb. 17 Abhängigkeit der Kraftbeiwerte von den Grundrißabmessungen; Gesamtgebäude
- Abb. 18 Abhängigkeit der Kraftbeiwerte von den Grundrißabmessungen; Dach
- Abb. 19 Windkraftbeiwerte in Abhängigkeit von der
bis
Abb. 26 Dachneigung

- Abb. 27 Kraft.erwerte für Gebäude mit winkelförmigem Grundriss
- Abb. 28 Vergleich der Versuchsergebnisse aus zwei verschiedenen Windkanälen
- Abb. 29 Zusammenfassung der für die Berechnung der Windlast benötigten Angaben
- Abb. 30
" bis Gebäudemodelle
Abb. 32
- Abb. 33 Zusammenstellung der Meßgeräte

Im Rahmen der Neubearbeitung von DIN 1055, Blatt 4 - Lastannahmen für Bauten, Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken - wurde der aerodynamische Kraftbeiwert für geschlossene prismatische Baukörper von bisher $c_f = 1,2$ auf $c_f = 1,3$ angehoben. Dieser Wert muß als einhüllender Grenzwert für alle innerhalb des Gültigkeitsbereiches ($h/b \leq 5$) liegenden Gebäude verstanden werden.

Es ist anzunehmen, daß für niedrigere Gebäude wie Ein- und Zweifamilienhäuser üblicher Bauart der in der Norm angegebene Gesamtkraftbeiwert zu hoch ermittelt wird. Holzhäuser, die in Tafelbauweise erstellt werden (Fertighäuser), sind von dieser Regelung besonders betroffen, da bei ihnen die Windbelastung einen wesentlichen Bemessungsfaktor darstellt.

Die Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der G.G.f.H. machte deshalb von der Möglichkeit Gebrauch, von der Norm abweichende aerodynamische Beiwerte durch Windkanalversuche ermitteln zu lassen. Dies geschah im Rahmen eines Forschungsvorhabens, dessen Federführung bei Herrn Prof.Dr.-Ing. R. Frimberger vom Lehrstuhl für Strömungsmechanik der TU München lag und dessen Bearbeitung durch die Aerodynamische Untersuchungsstelle für bauliche Anlagen der Landesgewerbeanstalt Bayern erfolgte. Über das Ergebnis dieser Arbeit wird nachfolgend berichtet.

1. Aufgabenstellung

Aufgrund der einleitend dargestellten Überlegungen ergab sich für die Abwicklung des Forschungsvorhabens folgende Aufgabenstellung:

Für typische Formen von Ein- und Zweifamilienhäusern aus dem Fertigungsprogramm der in der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau vertretenen Hersteller sollten die Windkraftbeiwerte ermittelt werden. Dabei interessierten neben den Windkraftbeiwerten für

das Gesamtgebäude auch die anteiligen Werte für das Dach. Man war bestrebt, die Auswahl der Gebäudetypen so zu treffen, daß über die jeweils vermessene Form hinaus auch Rückschlüsse auf andere Gebäude gezogen werden konnten. Die Versuchsergebnisse waren so aufzubereiten, daß die ermittelten Beiwerte anstelle des in DIN 1055, Blatt 4 angegebenen Kraftbeiwertes der Bemessung zugrundegelegt werden können.

2. Versuchsbeschreibung

2.1 Modelle

Die für die Windkanalversuche verwendeten Modelle wurden der Großausführung im Maßstab 1:50 geometrisch ähnlich nachgebildet. Die Modellbreite betrug einheitlich 200 mm. Modelllänge und -höhe wurden entsprechend den geforderten Abmessungsverhältnissen ($h/b = 0,3; 0,6; 1/b = 1; 1,5; 2$) variiert. Die Dächer wurden als Flachdach und als Sattel- und Walmdächer mit Neigungen von 28° , 38° und 48° ausgeführt, wobei die Dachform im Bereich der Traufe zusätzlich durch unterschiedlich große Dachüberstände und durch Anbringen sog. "Aufschieblinge" verändert wurde.

In den Abb. 1 bis 9 sind alle untersuchten Gebäudekonfigurationen zusammengestellt (siehe auch Abb. 30, 31 und 32).

2.2 Versuchsgeräte

2.2.2 Windkanal

Für die Versuche stand ein Windkanal des Lehrstuhls für Strömungsmechanik der TU München zur Verfügung. Dieser Kanal vom "Göttinger Typ" mit offener Meßstrecke hat eine kreisförmige Düse mit 1,5 m Durchmesser. Zwischen Düse und Auffangtrichter ist in der Meßstrecke eine 1,7 m breite und 3,1 m lange Bodenplatte horizontal eingebaut. Das zu vermessende Modell wurde auf einer, in der Bodenplatte

drehbar gelagerten Scheibe befestigt (Abb. 10). Durch fernbedientes Drehen dieser Scheibe wurde Wind aus unterschiedlichen Richtungen simuliert.

Die Strömung in der Meßstrecke des verwendeten Windkanals war turbulenzarm. Mit Ausnahme eines Bereichs von ca. 3,5 cm über der Platte (Grenzschicht) hatte die Strömungsgeschwindigkeit in allen Höhen gleiche Größe (Abb. 11).

2.2.2 Geräte zur Geschwindigkeitsmessung

Die Ermittlung des Geschwindigkeitsdrucks (Staudrucks) q als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit in der Meßstrecke, erfolgte mittels eines Prandtl-Rohres. Der Staudruck wurde an einem Betz-Manometer angezeigt. Die Windgeschwindigkeit beträgt

$$v = \sqrt{\frac{2q}{\rho}}$$

mit ρ = Dichte der Luft.

2.2.3 Geräte zur Windkraftmessung

Die auf das Gebäudemodell einwirkenden Windkräfte wurden mittels einer Dehnungsmeßstreifenwaage erfaßt. Das Kraftmeßsystem bestand im übrigen aus einer Gleichspannungsmeßbrücke und einer Abgleich- und Umschalteneinheit. Das von der Meßbrücke abgegebene, der Windkraft proportionale analoge Spannungssignal wurde in einem Digitalvoltmeter digitalisiert und zur Weiterverarbeitung einem Tischrechner zugeleitet. Hier erfolgte unter Einbeziehung von Staudruck, Bezugsfläche und Waageneichfaktor die Umwandlung der Spannungswerte in dimensionslose aerodynamische Beiwerte. Jeweils nach Abschluß einer Meßreihe wurde das Versuchsergebnis durch einen Plotter graphisch dargestellt (Abb. 10,33).

Die Definitionsgleichungen für die Beiwerte der Kraftkomponenten F_x und F_y lauten:

$$c_{fx} = \frac{F_x}{q \cdot A_x} \quad c_{fy} = \frac{F_y}{q \cdot A_y}$$

Die bei der Beiwertermittlung verwendeten Bezugsflächen A_x und A_y sind für die einzelnen Gebäudekonfigurationen in den Abb. 12 und 13 dargestellt.

2.3 Versuchsprogramm

Bei den Untersuchungen der Gebäude mit Rechteckgrundriß wurde die Windrichtung zwischen $\beta = 0^\circ$ und 180° in Winkelschritten von $\Delta\beta = 15^\circ$ variiert. Wegen der Symmetrie der Baukörper erhielt man so für jede Anströmsituation zwei Meßwerte.

Analog wurde bei den Winkeltypen verfahren. Hier betrug der Windrichtungsbereich $\beta = 0^\circ$ bis 360° bei Winkelschritten $\Delta\beta = 15^\circ$.

Zusätzlich zu diesen systematischen Untersuchungen wurden einige Kontrollmessungen durchgeführt:

- Eine Messung zur Ermittlung des Einflusses der Grenzschicht über der Windkanalplatte. Zu diesem Zweck wurde das zu vermessende Modell auf einer zweiten, in 5 cm Abstand über der Grundplatte angebrachten, kleineren, sehr glatten Plexiglasplatte befestigt.
- Eine Kontrollmessung in einem zweiten größeren Windkanal (Düsendurchmesser 3 m) an der TH Darmstadt. Durch diese Messungen sollte sichergestellt werden, daß das Versuchsergebnis nicht durch Einflüsse, die sich aus der Windkanalgeometrie ergeben (Versperrungseinfluß) verfälscht ist.

- Untersuchung einer Reihenanordnung gleicher Gebäudetypen. Hierdurch sollte überprüft werden, inwieweit die für Einzelgebäude ermittelten Beiwerte auch für Gebäude in einer Gruppenanordnung Gültigkeit besitzen.

3. Versuchsergebnisse

Das vollständige Versuchsergebnis ist in Anlage 1 zusammengestellt. In den dort enthaltenen Plotterdiagrammen sind die Beiwerte c_{fx} und c_{fy} in Abhängigkeit vom Anströmwinkel β aufgetragen.

Wie einleitend bereits erwähnt, wurden bei den Versuchen nicht alle Parameter systematisch variiert, sondern eine gewisse, praxisbezogene Auswahl getroffen. Dennoch soll der Versuch unternommen werden, ausgehend von den Ergebnissen der hier durchgeführten Untersuchungen zu allgemein gültigen Aussagen zu gelangen.

3.1 Gebäude mit Rechteckgrundriß

3.1.1 Abhängigkeit der Kraftbeiwerte von der Anströmrichtung

In Abb. 14 ist ein für viele der untersuchten Gebäude typischer Verlauf der Beiwerte c_{fx} und c_{fy} in Abhängigkeit von der Anströmrichtung β dargestellt.

Bei $\beta = 0^\circ$ (Anströmung senkrecht zur Firstlinie) hat der Beiwert c_{fx} sein Maximum, c_{fy} sein Minimum. Verändert man die Anströmrichtung schrittweise, so daß der Wind bei $\beta = 90^\circ$ senkrecht auf die Giebelwand trifft, fällt der Beiwert c_{fx} etwa einer Cosinusfunktion folgend ab. Gleichzeitig steigt der Beiwert c_{fy} für die dazu senkrecht stehende Kraftkomponente an. Hier tritt jedoch das Maximum nicht, wie etwa zu vermuten ist, bei $\beta = 90^\circ$, sondern bereits bei $\beta = 60^\circ$ auf. Der für $\beta = 90^\circ$ ermittelte Beiwert liegt demgegenüber erheblich niedriger.

Für diesen Kurvenverlauf sind zwei Faktoren verantwortlich. Einmal wird bei der Beiwertbildung immer die gleiche, baukörperfeste Bezugsfläche eingesetzt. Diese ist bei Schräganströmung kleiner als die tatsächlich vom Wind getroffene Projektionsfläche in Windrichtung. Zum anderen treten in vielen Fällen bei Schräganströmung höhere Windkräfte auf als bei Anströmung senkrecht zu den Bauwerkshauptachsen.

Für andere Baukörperformen sind für beide Kraftkomponenten auch beliebige Übergangsformen zwischen den hier für c_{fx} und c_{fy} dargestellten Kurvenverläufen möglich. So bleibt z.B. in einigen Fällen der Beiwert bei einer Veränderung der Windrichtung zwischen $\beta = 60^\circ$ und $\beta = 90^\circ$ nahezu konstant.

Für die weitere Auswertung wurden unabhängig von der zugehörigen Anströmrichtung jeweils die Maximalwerte berücksichtigt.

3.1.2 Einfluß der Grundrißabmessungen

Die für Gebäude mit Rechteckgrundriß ermittelten Beiwerte sind in den Abb. 15 (Gesamtgebäude) und Abb. 16 (Dach) tabellarisch zusammengestellt. Nachfolgend wird auf diese Tabellenwerte Bezug genommen. Sofern eine ausreichende Anzahl von Einzelwerten vorliegt, wird der jeweils besprochene Zusammenhang auch durch graphische Darstellungen illustriert.

Die Abhängigkeit der Kraftbeiwerte vom Verhältnis der Grundrißabmessungen l/b ist in den Abb. 17 für das ganze Gebäude und in Abb. 18 für das Dach aufgetragen. Die Dachneigung beträgt in diesen Beispielen 38° .

Wie man aus diesen Abbildungen ablesen kann, beeinflußt das Längenverhältnis die Größe der Beiwerte nicht wesentlich. Die sich abzeichnenden Tendenzen sind nicht typisch und treten bei anderen Dachneigungen in anderer Form auf. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, daß für die im Fertighausbau üblichen Grundrißabmessungen bei der Angabe der Beiwerte das Längenverhältnis vernachlässigt werden kann.

3.1.3 Einfluß der Gebäudehöhe

Die Mehrzahl der Versuche wurde für eingeschossige Gebäude mit einem Höhenverhältnis von $h/b = 0,3$ durchgeführt. Gebäude mit Satteldächern der Neigungen $\alpha = 28^\circ$ und $\alpha = 38^\circ$ und den Grundrißabmessungen $l/b = 1,5$, sowie für Gebäude mit Flachdach und den Grundrißabmessungen $l/b = 1$ wurden außerdem in zweigeschossiger Ausführung ($h/b = 0,6$) untersucht.

Die Kraftbeiwerte für die höheren Gebäude liegen jeweils um 5 bis 10 % über denen für das niedrigere.

3.1.4 Einfluß der Dachform

Bei einem Vergleich unterschiedlicher Dachformen muß man zwischen den Beiwerten für die x-Richtung und den Beiwerten für die y-Richtung unterscheiden. Wind senkrecht zur Firstlinie verursacht an Sattel- und Walmdächern gleicher Neigung etwa gleich große Windkräfte. Dies drückt sich in der Größe der c_{fx} -Werte aus, die für das Walmdach in der Regel nur geringfügig niedriger liegen als für das Satteldach.

Dagegen zeigen die Beiwerte für die y-Richtung eine erhebliche Abhängigkeit von der Dachform. Hier ergeben sich für ein Walmdach deutlich niedrigere Werte als für ein Satteldach. Diese Aussagen gelten sowohl für das Gesamtgebäude als auch für das Dach allein.

Für Gebäude mit Flachdach sind die Beiwerte für beide Richtungen etwa gleich groß und liegen im Bereich der Werte für die y-Richtung beim Gebäude mit Satteldach.

3.1.5 Einfluß der Dachneigung

Am stärksten beeinflußt werden die Beiwerte von der Dachneigung. Im Abbildungsteil ist deshalb der Darstellung dieses Zusammenhanges breiterer Raum gewidmet (Abb. 19 bis 26).

Bei Gebäuden mit Satteldach steigt vor allem der c_{fx} -Wert mit zunehmendem Dachneigungswinkel stark an. Für Gebäude mit Walmdach gilt dies auch für den c_{fx} -Wert. Insgesamt ist die dargestellte Tendenz für das Dach allein stärker ausgeprägt als für das Gesamtgebäude.

3.1.6 Einfluß der Dachrandausbildung

Veränderungen der Dachform im Traufenbereich sind hinsichtlich der Größe der Kraftbeiwerte von untergeordneter Bedeutung. Die bei gleicher Baukörpergeometrie für unterschiedlich große Dachüberstände ermittelten Beiwerte unterscheiden sich nur unwesentlich voneinander.

3.2 Gebäude mit winkelförmigem Grundriß

Bei Gebäuden mit winkelförmigem Grundriß wurde nur die Dachform, nicht jedoch die Grundrißgeometrie und die Höhe verändert. Das Versuchsergebnis ist in Abb. 27 zusammengestellt. Es ergibt sich dieselbe Tendenz, die auch schon bei Gebäuden mit Rechteckgrundriß festgestellt wurde: Das Walmdach schneidet am günstigsten, das Flachdach am ungünstigsten ab.

3.3 Ergebnis der Kontrollmessungen

Die Abweichungen, die sich bei den Kontrollmessungen (siehe Abschnitt 2.3 Versuchsprogramm) ergaben, lagen in der Regel innerhalb der Fehlergrenzen des angewendeten Meßverfahrens und waren in keinem Fall größer als 5 % (Abb. 28). Aufgrund dieses positiven Ergebnisses kann festgestellt werden, daß die hier ermittelten Beiwerte mit keinen aus der Windkanalgeometrie oder der Versuchsanordnung resultierenden Fehlern behaftet sind.

Da auch die Untersuchung einer Reihenanordnung gleicher Gebäude keine wesentliche Abweichung gegenüber dem Einzelgebäude erbrachte, dürfte es zulässig sein, die angegebenen Beiwerte auch auf diese Situationen zu übertragen.

4. Zusammenfassende Beurteilung der Versuchsergebnisse und praktische Anwendung

Die hier durchgeführten Versuche zur Ermittlung von aerodynamischen Kraftbeiwerten ein- und zweigeschossiger Gebäude mit Flach-, Sattel- und Walmdächern zeigte, daß der in der Neufassung von DIN 1055, Blatt 4 für geschlossene prismatische Baukörper mit $c_f = 1,3$ angegebene Kraftbeiwert für die untersuchten Gebäudetypen zu hoch ist. Die tatsächlich auftretenden Kraftbeiwerte sind niedriger und hängen in starkem Maß von der Dachform ab.

Der Auftraggeber beabsichtigt, die Versuchsergebnisse zukünftig anstelle der in der Windlastnorm angegebenen Beiwerte der statischen Berechnung von Fertighäusern zugrundezulegen. Zu diesem Zweck wurden die Versuchsergebnisse gerundet und in Abb. 29 übersichtlich zusammengefaßt. Die Beiwerte sind jeweils getrennt für das Gesamtgebäude und für das Dach allein angegeben. Die Abb. 29 enthält außerdem einen Hinweis zum Rechengang und die Definition der Bezugsflächen. Bei der praktischen Anwendung sind die angegebenen Gültigkeitsgrenzen zu beachten.