

Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden

Von B. Schwarz



Dr. Bernhard Schwarz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft

An der 18geschossigen Wohnanlage „Ramses“ an der Peripherie Münchens wurden Messungen über die Wind- und Niederschlagsbelastung durchgeführt. Der Verfasser legt die innerhalb eines einjährigen Meßzeitraumes erhaltenen Meßergebnisse dar und stellt sie jeweils den vorliegenden theoretischen Überlegungen bzw. den aus Modellversuchen hergeleiteten Erkenntnissen gegenüber.

Die unter praktischen Bedingungen durchgeführten Messungen am Wohngebäude erbringen zum Teil erhebliche Abweichungen zu der auf dem vereinfachten Konzept einer statischen Windeinwirkung beruhenden Betrachtungsweise. So zeigen die Untersuchungen, daß die Druckdifferenzen zwischen verschiedenen Stellen auf einer angeströmten Fassade wesentlich kleiner sind, als es die Berechnungen erwarten lassen. Auch die sich unter Windeinwirkung an einem Fenster — zwischen Raumseite und Außenseite — ausbildenden Druckdifferenzen liegen weit unter den theoretischen Werten.

Hochhausfassaden unterliegen einer stärkeren Belastung durch Wind und Regen als die Fassaden kleinerer Gebäude. Bereits bei der Planung eines Gebäudes muß diesem Umstand Rechnung getragen werden. Zur Vermeidung von Schäden sind Konstruktionen zu wählen, die den auftretenden Belastungen entsprechen. Vielfach fehlen hier jedoch gesicherte Angaben über den Grad der Witterungsbeanspruchung. Die wenigen bisher greifbaren Anhaltswerte basieren z. T. auf theoretischen Überlegungen oder auf Laboruntersuchungen unter idealisierten Bedingungen. Messungen an Gebäuden unter der Wirkung des natürlichen Windes liegen nur vereinzelt vor. Sie wurden in erster Linie im Hinblick auf die bei Hochhäusern auftretenden statischen Probleme durchgeführt. Aus diesen Messungen lassen sich nur in beschränktem Umfang Angaben über die konstruktive Gestaltung einzelner Bauteile ableiten. Im Zusammenhang mit der zunehmenden Anwendung hinterlüfteter Fassadenbekleidungen mit zum Teil offenen Fugen ergibt sich eine Reihe von Fragen, die einer Klärung durch experimentelle Untersuchungen bedürfen. Von besonderem Interesse sind Angaben über:

- die Windverhältnisse am Gebäude im Vergleich zu den Windverhältnissen im freien Gelände;
- die Druckverteilung an der Fassade unter Windbelastung;
- die auftretenden Druckdifferenzen an den offenen Fugen der Außenbekleidung sowie an Fensterfugen, abhängig von der Windströmung;
- die Luftbewegung im Luftspalt einer hinterlüfteten Wandkonstruktion;
- die Schlagregenverteilung sowie den Flüssigkeitsablauf an der Fassade.

Besonders günstige Bedingungen für eine experimentelle Untersuchung dieser Probleme ergaben sich bei der Wohnanlage Ramses in München-Neuaußing. Das Gebäude ist mit 18 Geschossen und zusätzlichen Dachaufbauten an der Peripherie Münchens gelegen und hier extremen Wind- und Regenbelastungen ausgesetzt. Von dem Gebäude liegen zudem Modelluntersuchungen im Windkanal vor, welche eine Vergleichsmöglichkeit mit den Untersuchungen in der Praxis bieten.

Die im folgenden näher beschriebenen Messungen an der Wohnanlage Ramses in München sollen einen Beitrag zur

Klärung der mit der Witterungsbeanspruchung von Gebäuden im Zusammenhang stehenden Fragen leisten.

Bisherige Erkenntnisse über die Windeinwirkung auf Gebäude

Nach einem bisher üblichen, einfachen Konzept werden die Druck- und Strömungsverhältnisse an einem Gebäude in der Regel durch Modelluntersuchungen im Windkanal bei stationären Luftströmungen und einem gleichförmigen Geschwindigkeitsfeld ermittelt [1]. Ein Vergleich mit den Verhältnissen am Bauwerk zeigt jedoch z. T. erhebliche Abweichungen gegenüber den unter idealisierten Meßbedingungen im Windkanal ermittelten Ergebnissen [2; 3]. Als Ursache für diese Diskrepanzen sind in Betracht zu ziehen:

- Die natürliche Windströmung hat ein von den Bodenrauigkeiten abhängiges Strömungsprofil über der Höhe.
- Im Gegensatz zu den stationären Strömungsverhältnissen im Windkanal ist der natürliche Wind eine Luftströmung mit zeitlich regellos schwankender Geschwindigkeit.
- Die Druck- und Strömungsverhältnisse am Bauwerk werden in starkem Maße durch die Rauigkeit der Umgebung (z. B. vorgelagerter Gebäude, Bepflanzung, Geländeform) beeinflusst.

Über das Höhenprofil der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Bodenrauigkeiten liegen bereits umfangreiche Untersuchungen vor [4; 5]. Bei einem Mittelungsintervall in der Größenordnung von Stunden läßt sich für den Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit w_h in der erdnahen Grenzschicht und der Höhe h über dem Erdboden folgendes Potenzgesetz angeben.

$$\bar{w}_h = \bar{w}_{10}(h/h_{10})^n \quad (1)$$

w_{10} bedeutet dabei die in Standardhöhe $h_{10} = 10$ m auftretende mittlere Windgeschwindigkeit. Der Exponent n nimmt, abhängig von der Geländestruktur und den sich über dem Erdboden erhebenden Rauigkeiten, Werte zwischen

- $n = 0,16$ für offenes Gelände
- und
- $n = 0,50$ für Stadtbereiche mit Hochhausbebauung

an. Die Zusammenhänge sind auf Bild 1 näher verdeutlicht. Wie aus der Darstellung hervorgeht, tritt — abgesehen von den ersten Metern unmittelbar über dem Erdboden — im Stadtbereich ein größerer Geschwindigkeitsgradient auf als im offenen Gelände. Als Folge hier-

Forschungsarbeit des Instituts für Bauphysik Stuttgart, Außenstelle Holzkirchen, durchgeführt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr mit Unterstützung der Südbaucommerz, München, und der Eternit AG, Berlin.

von sind unter Windeinwirkung an einem im Stadtbereich liegenden Gebäude höhere Druckdifferenzen über der Fassade zu erwarten als an einem gleichen Gebäude in freier Lage.

Neben der genannten Höhenabhängigkeit weist die natürliche Windströmung eine ausgeprägte Zeitabhängigkeit auf. Die als Windböigkeit bezeichneten kurzzeitigen Geschwindigkeitsschwankungen der Luftströmung sind regellos und zufällig. Auf Bild 2 ist in einem Ausschnitt aus einem Original-Registrierstreifen der Zeitverlauf der mit einem Schalenkreuzanemometer in Standard-

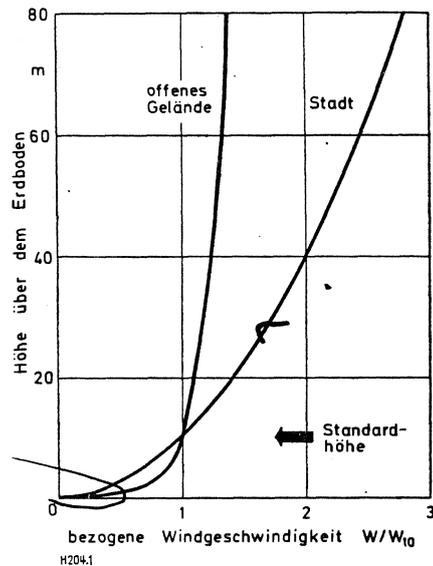


Bild 1: Strömungsprofile über dem Erdboden für verschiedene Bodenrauigkeit nach [5] Die Windgeschwindigkeit ist als Verhältniswert zur Geschwindigkeit in Standardhöhe (10 m) dargestellt

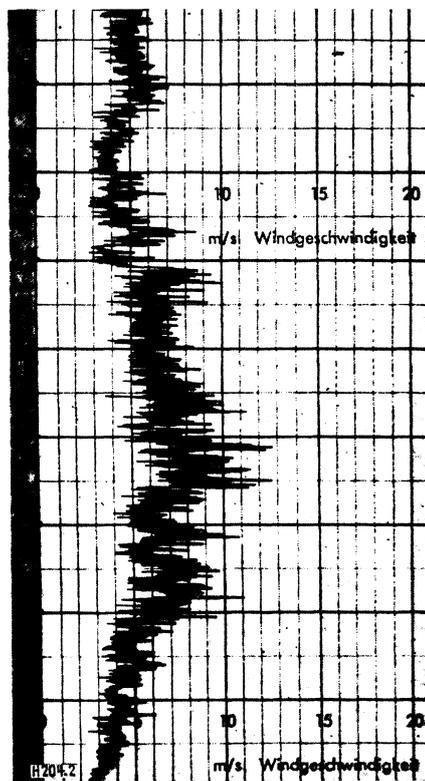


Bild 2: Ausschnitt aus einem Original-Registrierstreifen mit Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit

höhe gemessenen Windströmung dargestellt. Aus den Aufzeichnungen wird deutlich, daß mit zunehmender mittlerer Windgeschwindigkeit auch die Größe der Geschwindigkeitsschwankungen zunimmt. Nach Angaben von Birkeland [7] betragen die Windgeschwindigkeitsschwankungen $\pm 50\%$ der mittleren Windgeschwindigkeit¹⁾.

Genauere Einsichten in den dynamischen Charakter des natürlichen Windes liefern die mit Hilfsmitteln der Statistik geführten Untersuchungen der letzten Jahre [5; 8; 9]. Wie die Untersuchungen zeigen, folgen die Geschwindigkeitsschwankungen einer Gaußschen Normalverteilung (Bild 3). Damit läßt sich der regellos verlaufende Vorgang einer natürlichen Windströmung durch zwei Angaben vollständig beschreiben:

— durch den zeitlichen Mittelwert der Windgeschwindigkeit \bar{w} (in der Regel Stundenmittel);

— durch die Standardabweichung σ .

Das Verhältnis beider Werte dient zur Beschreibung der Böentätigkeit und wird als Turbulenzintensität T_v bezeichnet:

$$T_v = \sigma / \bar{w} \quad (2)$$

Aus dem auf Bild 4 veranschaulichten Diagramm, welches die nach Davenport [5] gemessene Turbulenzintensität als Funktion der Höhe über dem Gelände für verschiedene Bodenrauigkeiten darstellt, wird ersichtlich, daß die höchsten Turbulenzintensitäten im Stadtbereich auftreten und hier Werte von 1 überschreiten können. Das bedeutet, daß die Schwankungsbreite (Standardabweichung) der Geschwindigkeit dem Wert der mittleren Windgeschwindigkeit entspricht.

Für die Beschreibung der Wind- und Regenbeanspruchung von Gebäuden sind neben den Angaben über die Amplitudenschwankungen auch Angaben über die Böendauer von Interesse. In [3] wird als mittlere Böendauer ein Wert von 3 bis 5 Sekunden angegeben. Betrachtet man die kinetische Energie von Windböen, für welche das Quadrat der auftretenden Geschwindigkeitsänderungen $(w - \bar{w})^2$ mit der Dimension m^2/s^2 ein Maß ist, so zeigt sich, daß bei einer Böendauer zwischen 1 und 2 Minuten ein ausgeprägtes Energiemaximum vorliegt. Eine umfassendere Darstellung der genannten Zusammenhänge wird in einer Arbeit von Frank [10] gegeben.

Eine besondere Bedeutung im Zusammenhang mit den Druck- und Strömungsverhältnissen kommt der gegenseitigen Beeinflussung verschiedener Gebäude zu. Aus einem Bericht von Page anlässlich der Internationalen Konferenz über Windwirkungen auf

¹⁾ Diese Angabe bezieht sich auf Messungen mit relativ trägen Schalenkreuzanemometern. Strömungsgeräte, die mit einer geringen Trägheit behaftet sind, können kurzzeitig wesentlich größere Geschwindigkeitsspitzen erbringen.

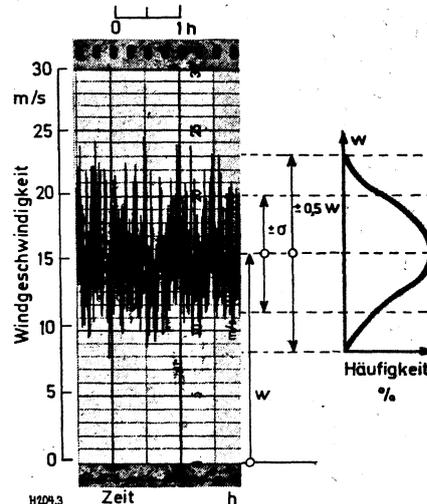


Bild 3: Darstellung des zeitlichen Mittelwertes der Windgeschwindigkeit sowie der Geschwindigkeitsschwankungen

Diagramm rechts: Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeitsschwankungen

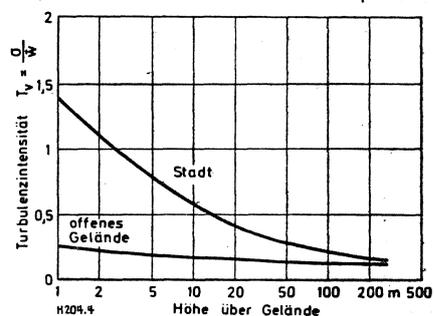


Bild 4: Turbulenzintensität als Funktion der Höhe über dem Gelände für zwei verschiedene Rauigkeitskategorien nach [9]

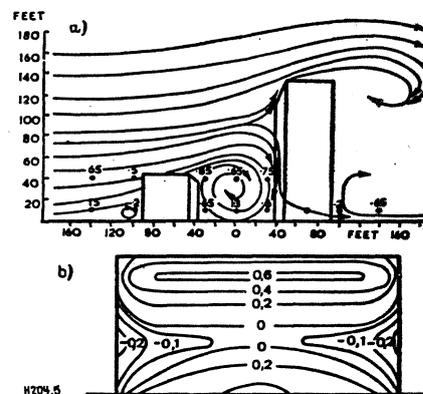


Bild 5: Anströmung von zwei hintereinander angeordneten Gebäuden nach Modelluntersuchungen von Sexton [2]

a) Stromlinienverlauf und Strömungsgeschwindigkeit der Luft (Die Zahlen geben die örtliche Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur ungestörten Windströmung an)

b) Druckverteilung an der Fassade des höheren Gebäudes bei senkrechter Anströmung (Die Zahlen stellen Verhältniswerte des örtlichen Druckes zum Staudruck der ungestörten Windströmung dar)

Bauwerke in London 1963 [3] ist bekannt, daß durch die Düsen- bzw. Richtwirkung benachbarter Gebäude außergewöhnlich große Sogwirkungen auftraten, die zu starken Schäden an Gebäuden führten. Ein überzeugendes Beispiel für den großen Einfluß eines vorgelagerten kleineren Gebäudes auf die Druck- und Strömungsverhältnisse an der Fassade eines Hochhauses liefern

die von Sexton [2] durchgeführten Windkanaluntersuchungen, deren wesentliches Ergebnis auf *Bild 5* wiedergegeben ist. Die Darstellungen zeigen in schematisierter Form den Stromlinienverlauf (*Bild 5a*) und die Druckverteilung (*Bild 5b*) an der Fassade des senkrecht angeströmten Hochhausmodells. Die Untersuchungen machen deutlich, daß sich durch ein kleineres vorgelagertes Gebäude wesentliche Änderungen sowohl in den Strömungsverhältnissen als auch in den Druckverhältnissen an der Hochhausfassade ergeben. Während bei der Anströmung eines isoliert stehenden Hochhausmodells in der Mitte der Fassade die höchsten Staudrücke zu erwarten sind, bilden sich im Fall eines vorgelagerten kleineren Gebäudes hier gemäß *Bild 5b* nur kleine Drücke aus.

Zusammenfassend kann nach Sichtung der zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorliegenden Forschungs- und Untersuchungsergebnisse gesagt werden, daß sich die Bedingungen in der Praxis z. T. erheblich von den unter idealisierenden Annahmen durchgeführten Modelluntersuchungen unterscheiden. Aus den folgenden Gründen gilt dies in besonderem Maße für ein im Stadtbereich liegendes Gebäude:

- Im Stadtbereich tritt gemäß *Bild 1* mit $n = 0,5$ der größte Geschwindigkeitsgradient über der Höhe auf.
- Im Stadtbereich liegt die höchste Turbulenzintensität vor (*Bild 4*).
- Die Druck- und Strömungsverhältnisse werden in starkem Maße durch benachbarte Gebäude beeinflusst.

Praktische Untersuchungen an derartigen Gebäuden sind daher zur Erforschung der Wind- und Regeneinwirkung von besonderem Interesse.

Messungen am Wohnhochhaus Ramses

Meßobjekt und Meßort

Das Wohngebäude Ramses ist ein am westlichen Stadtrand von München gelegenes 18geschossiges Hochhaus. Für eine Messung boten sich hier besonders günstige Bedingungen, da das Gebäude in einem Gebiet mit relativ niedriger Bebauung steht und die Längsfassade in Hauptwindrichtung weist. Ein in westlicher Richtung vorgelagertes, sich über mehrere Kilometer erstreckendes freies Gelände ermöglichte es zudem, parallel zu den Messungen im „gestörten“ Stadtbereich auch Vergleichswerte unter ungestörten Windverhältnissen zu erhalten.

Das Wohnhochhaus hat eine Höhe von 53 m und eine Länge von 137 m. Die Fassade ist als hinterlüftete Wandkonstruktion ausgeführt. Als Außenbekleidung werden großformatige Asbestzementplatten (Abmessungen im Mittel 1350 mm × 1250 mm) mit einer Dicke von 8 mm verwandt. Die Platten sind jeweils an den vertikalen Plattenstößen und in Plattenmitte auf eine Unterkon-

struktion von vertikalen Asbestzementstreifen montiert. Mit Ausnahme der oberen vier Stockwerke sind alle horizontalen Fugen zwischen den einzelnen Wandplatten offen ausgeführt. Zwischen der Außenwandbekleidung und der dahinterliegenden Wandkonstruktion befindet sich ein über die gesamte Gebäudehöhe reichender Luftspalt mit einer Spaltweite von etwa 40 mm. Die konstruktiven Details sind aus *Bild 6* ersichtlich. Eine Ansicht der in die Hauptwindrichtung Westen weisenden Fassade vermittelt *Bild 7*.

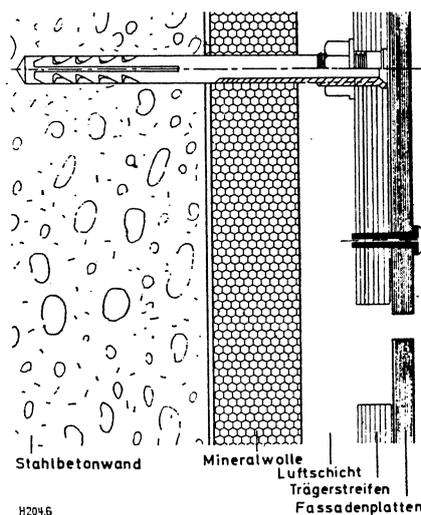


Bild 6: Aufbau der Fassade am Wohngebäude Ramses

Anhaltswerte über die am Meßort zu erwartenden klimatischen Bedingungen geben die Untersuchungen der meteorologischen Station bei dem unweit gelegenen Forschungsreaktor München-Garching [11]. Aus den Meßergebnissen einer fünfjährigen Beobachtungsperiode (1962 bis 1966) ergeben sich die auf *Bild 8* dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe, abhängig von den einzelnen Windrichtungen. Die eingezeichneten Linien verbinden die Wertepaarungen gleicher Häufigkeit. Jenseits der mit „O“ bezeichneten Linie sind während der Meßperiode keine Werte ermittelt worden. Wie die Darstellung zeigt, treten bei westlichen und östlichen Winden mit mehr als 500 Stunden zwei ausgeprägte Häufigkeits-Maxima auf. Die häufigste Windgeschwindigkeit liegt bei Westwinden im Bereich zwischen 5 und 6 m/s, bei Ostwinden zwischen 3 und 4 m/s. Auch die maximalen Geschwindigkeiten treten mit 27 m/s bei Westwind auf (z. Z. der Hamburger Sturmflutkatastrophe am 12. 2. 1962). Mittelt man die im fünfjährigen Zeitraum in verschiedenen Höhen über dem Erdboden gemessenen Geschwindigkeiten, so ergeben sich folgende Werte:

Die mittlere Geschwindigkeit in einer Meßhöhe von 50 m über dem Gelände

liegt um etwa 50% über dem in Standardbezugshöhe 10 m ermittelten Wert und entspricht — gemäß Gl. (1) — mit einem Exponenten $n = 0,24$ einem Strömungsprofil, das den Verhältnissen über einem bewaldeten Gebiet nahekommt. Damit tritt über dem relativ glatten Gelände im Norden Münchens ein etwas höherer Geschwindigkeitsgradient auf, als es die Untersuchungen von Davenport [5] erwarten lassen.

Durchführung der Messungen

Folgende Meßverfahren kamen zur Anwendung:

Windgeschwindigkeit: Die Windgeschwindigkeit wurde mit digital arbeitenden Schalenkreuzanemometern gemessen. Ein Meßaufnehmer war auf dem Wohngebäude, 5 m über dem höchsten Punkt der Dachfläche angebracht. Zum Vergleich wurde ein zweites Anemometer im freien Gelände, etwa 2 km in westlicher Richtung vom Wohngebäude entfernt in 10 m Höhe über dem Erdboden plaziert. Windrichtung: Gemessen wurde mit einer potentiometrisch wirkenden Windfahne. Die Aufzeichnung geschah als Analogwert auf einem Schreiber.

Staudruck: Als Meßaufnehmer wurden Kapselfeder-Druckmeßdosen mit induktivem Abgriff (Meßbereich ± 50 mm Wassersäule) verwendet. Die örtlichen Drücke an der Außenbekleidung der Fassade wurden dabei jeweils mit einem in Flächenebene liegenden Rohrstutzen erfaßt und über eine Schlauchleitung zu der in einem zentralen Meßraum befindlichen Druckmeßdose geführt. Spezielle Schaltungen erlaubten es, den an der Fassade auftretenden Druck sowohl gegen den im Meßraum gegebenen Referenzdruck als auch gegen einen anderen örtlichen Staudruck (Differenzdruckmessung an der Fassade) aufzunehmen. Der Meßwert konnte in analoger Form auf einem Mehrkanal-Linienschreiber aufgezeichnet oder nach einer Digitalisierung und Integration über wählbare Zeiten zwischen 1 Minute und 60 Minuten als Druckwert ausgegeben werden.

Niederschlag: Der auf die Fassade auftreffende Schlagregen wurde mit Schlagregenschneidern, welche eine vertikale Auffangfläche von 200 cm² besaßen, erfaßt und in einen Sammelbehälter geleitet. Eine Ansicht eines an der Attika befestigten Schlagregenschneiders mit dem unterhalb angeordneten Sammelgefäß vermittelt *Bild 9*. Zur Erfassung der im freien Gelände (Vergleichsmeßstelle) anfallenden Niederschläge sowie der an der Fassade ablaufenden Niederschlagsmengen wurde ein auf *Bild 10* schematisch dargestelltes volumetrisches Meßverfahren [12] angewandt.

Höhe über Gebäude [m]	2	5	10	20	50
mittlere Geschwindigkeit [m/s]	2,4	2,8	3,2	3,7	4,7

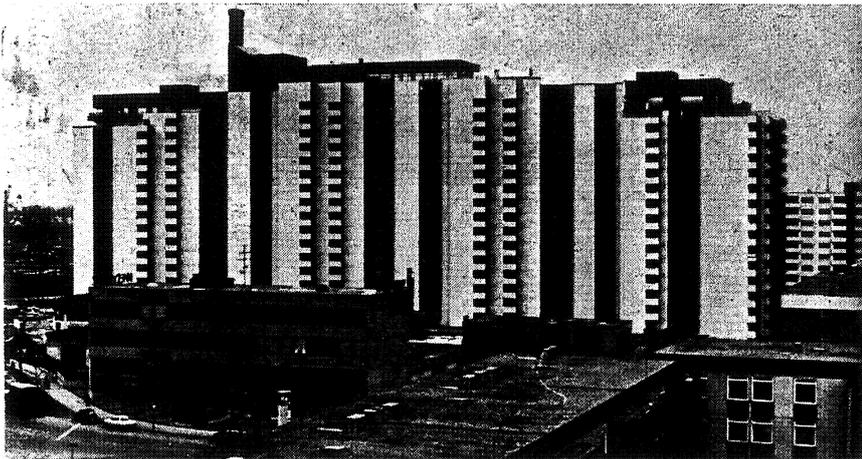


Bild 7: Ansicht des Wohngebäudes Ramses mit den vorgelagerten niederen Gebäuden von Westen aus
Etwa in der Mitte des Gebäudes oberhalb des verglasten Dachaufbaus ist der Meßaufnehmer für die Windgeschwindigkeit und Windrichtung zu erkennen

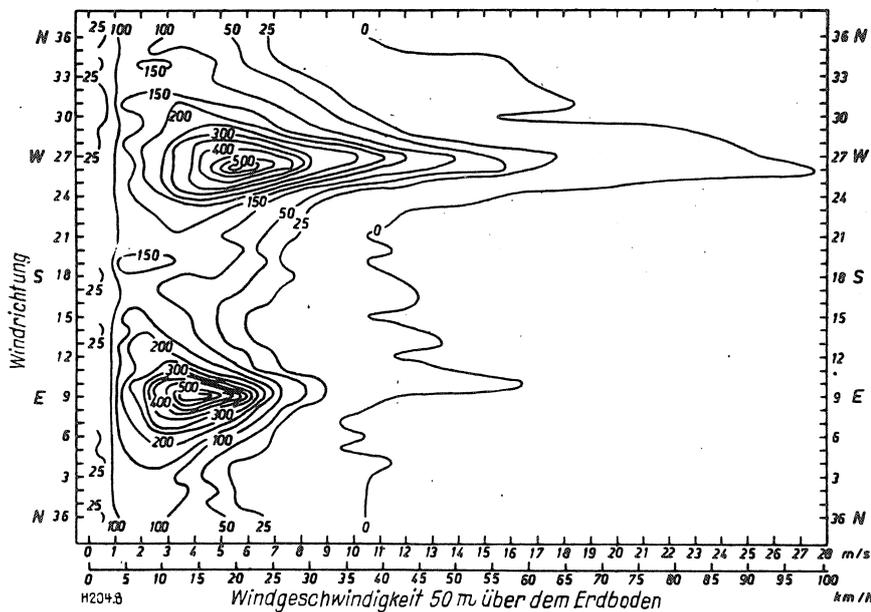


Bild 8: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für München bei den einzelnen Windrichtungen (36-teilige Windrose).
Meßergebnisse nach [11] während einer fünfjährigen Meßperiode von 1962 bis 1966
Die eingetragenen Ziffern geben die Andauer der einzelnen Wertepaarungen Windgeschwindigkeit-Windrichtung im gesamten Beobachtungszeitraum von 43 824 Stunden an

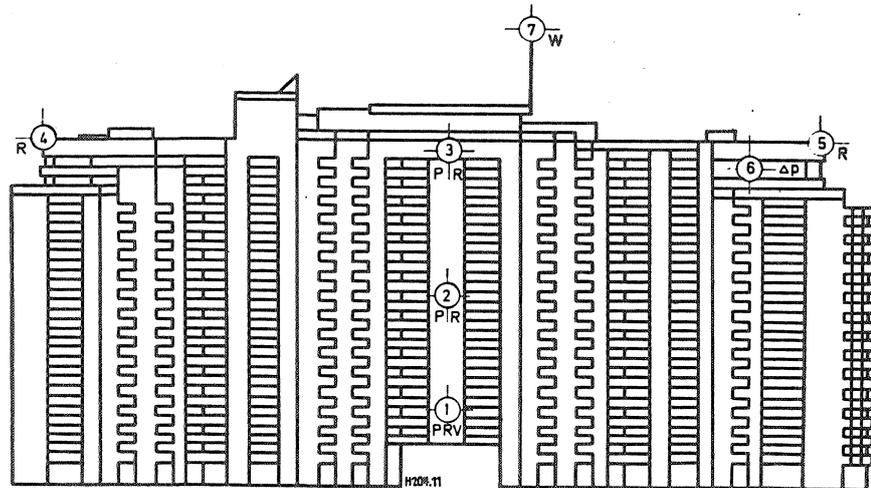


Bild 11: Westfassade des Wohnhochhauses Ramses mit Angabe der Meßstellen und Meßaufnehmer
p Meßaufnehmer Staudruck
R Meßaufnehmer Schlagregen
W Meßaufnehmer Windgeschwindigkeit
V Meßaufnehmer Luftbewegung in Luftspalt
 Δp Druckdifferenzmessung am Fenster

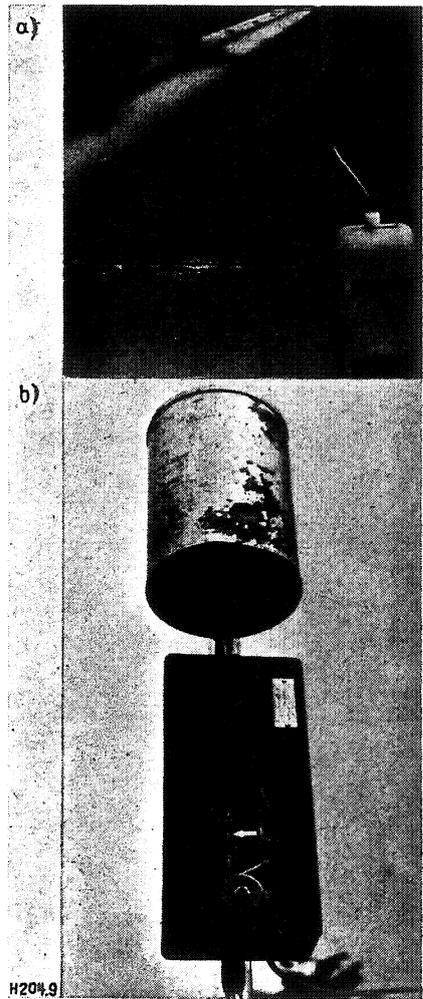


Bild 9: Niederschlagsmeßgeräte
a) Schlagregenmesser mit einer vertikalen Auffangfläche an der Attika des Gebäudes
b) Freistehender Regenmesser mit einem volumetrischen Meßaufnehmer (die Abdeckhaube ist geöffnet)

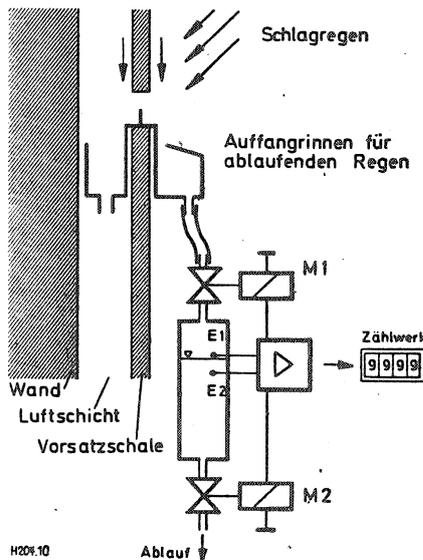


Bild 10: Angewandtes Meßprinzip zur Erfassung der an der vorgehängten Fassadenbekleidung ablaufenden Niederschlagsmenge
Die beiden Auffangrinnen sammeln den auf der Vorder- und Rückseite der Bekleidungsplatten ablaufenden Niederschlag und führen ihn jeweils einer volumetrischen Meßeinrichtung zu

Tafel 1: Installierte Meßaufnehmer und deren Lage am Wohngebäude Ramses

Meßgröße	Nummer der Meßstelle (Bild 11)	Lage der Meßstelle	Höhe über dem Gelände m
Windgeschwindigkeit und -richtung	7	5 m über Dachfläche	60
Staudruck	1	Westfassade 3. Stock	10
	2	Westfassade 9. Stock	26
	3	Westfassade 16. Stock	46
Schlagregen	1	Westfassade 3. Stock	10
	2	Westfassade 9. Stock	26
	3	Westfassade 16. Stock	46
	5	Westfassade Attika-Südecke	53
	4	Westfassade Attika-Nordecke	53
ablaufender Niederschlag	1	Westfassade 3. Stock	10
Luftbewegung im Spalt	1	Westfassade 3. Stock	10
Druckdifferenz am Fenster	6	16. Stock	46

Installierte Meßaufnehmer und deren Lage im freien Gelände

Meßgröße	Nummer der Meßstelle	Lage der Meßstelle	Höhe über dem Gelände m
Windgeschwindigkeit	8	im freien Gelände	10
Niederschlag	8	im freien Gelände	10

Der im Meßbehälter (Bild 9b) bzw. in den Auffangrinnen (Bild 10) gesammelte Niederschlag wird hierbei in Niveaugefäße geleitet, die an der Auslauföffnung durch Magnetventile verschlossen sind. Erreicht das eingeleitete Niederschlagswasser die Höhe der Elektrode *E1*, so wird für eine bestimmte Zeit das Magnetventil geöffnet, so daß die gesammelte Niederschlagsmenge auslaufen kann. Ein weiteres Magnetventil, welches sich am Einlauf des Niveaugefäßes befindet, verschließt das Niveaugefäß für die Dauer des Auslaufens und verhindert somit, daß die ablaufende Einheitsmenge durch nachfließendes Niederschlagswasser in unkontrollierbarer Weise erhöht wird. Mit dem Schaltvorgang der Magnetventile wird gleichzeitig ein Zählimpuls an das Zählwerk eines Digitaldruckers geliefert.

Luftbewegung im Spalt: Zur Messung der Luftbewegung im Spalt hinter der Außenbekleidung wurde eine im Institut für Bauphysik, Holzkirchen, entwickelte Strömungssonde eingesetzt [13]. Das Thermistoranemometer arbeitet nach dem bekannten Konstant-Temperaturprinzip und ist in weitem Bereich temperaturkompensiert. Das Meßsignal wurde auf einem Linienschreiber aufgezeichnet.

Druckdifferenz am Fenster: Der bei Windanströmung an einem Fenster entstehende Differenzdruck zwischen der Außenseite und der Raumseite wurde ebenfalls mittels einer Druckmeßdose erfaßt und in ein proportiona-

les elektrisches Signal umgewandelt. Die Abnahme des Außendruckes geschah dabei vom Raum her über eine kleine Bohrung im Rahmenholz und eine darin eingeführte Kanüle von 2 mm Durchmesser. Die Lage der Meßaufnehmer an der Fassade des Wohngebäudes geht aus Bild 11 hervor. Tafel 1 enthält eine Zusammenstellung aller eingesetzten Meßaufnehmer sowie Angaben über deren Lage.

Ergebnisse der Messungen

Windverhältnisse

Ein Vergleich der langfristig in den verschiedenen Höhen, nämlich 10 m

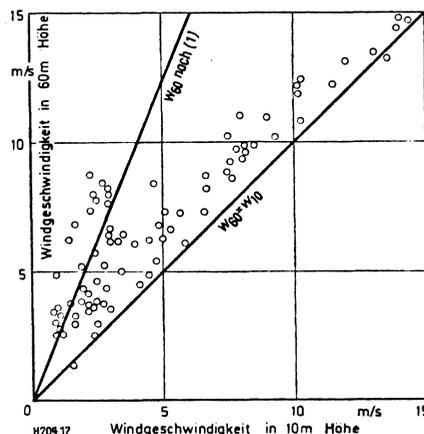


Bild 12: Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit in Standardbezugsgröße (10 m über dem Gelände) und der in 60 m Höhe auf dem Dach des Wohngebäudes gemessenen Windgeschwindigkeit

Die Meßpunkte stellen stündliche Mittelwerte dar

über dem freien Gelände und 5 m über der Dachfläche des Wohngebäudes gemessenen Windgeschwindigkeiten liefern die aus Bild 12 hervorgehenden Zusammenhänge. Jeder Meßpunkt repräsentiert darin einen stündlichen Mittelwert der Windgeschwindigkeit. Die weiterhin eingezeichneten Geraden beschreiben die Verhältnisse bei Gleichheit beider Windströmungen $w_{60} = w_{10}$ sowie die Verhältnisse gemäß dem Potenzgesetz (1) unter Annahme eines für den Stadtbereich zutreffenden Rauigkeitsexponenten von $n = 0,5$. Wie aus der Darstellung hervorgeht, ergibt sich zwischen beiden Windgeschwindigkeiten kein eindeutiger Zusammenhang. Bei kleinen Windgeschwindigkeiten sind die in 60 m Höhe gemessenen Werte der Windgeschwindigkeit z. T. erheblich größer als die in 10 m Höhe gemessenen, und zwar etwa im erwarteten Sinne (gemäß Bild 1). Bei höheren Windgeschwindigkeiten treten hingegen nur relativ geringe Unterschiede zwischen der in 10 m und der in 60 m Höhe gemessenen Windgeschwindigkeit auf.

Dieses Meßergebnis läßt vermuten, daß sich der Meßwertaufnehmer auch bei dem gewählten Abstand von 5 m über der Dachfläche (Meßstelle 7) noch im Störbereich des Gebäudes befindet und daher insbesondere bei höheren Windgeschwindigkeiten durch die Umströmung des Gebäudes beeinflusst wird. Für die im folgenden beschriebenen Auswertungen wurde aus diesem Grunde nicht die in 60 m Höhe über der Dachfläche gemessene Windgeschwindigkeit herangezogen; allen Auswertungen liegt die im freien Gelände in Standardbezugsgröße von 10 m gemessene Windgeschwindigkeit zugrunde.

Druckverhältnisse an der Fassade

Bei vorgegebenen Randbedingungen kann gemäß Gl. (1) das Strömungsprofil über dem Erdboden und unter idealisierenden Annahmen auch der Staudruck an der Fassade gemäß der bekannten Bernoulli'schen Beziehung

$$p = \rho/2 \cdot w^2 \quad (3)$$

berechnet werden. Liegen von dem Gebäude zudem Modelluntersuchungen im Windkanal vor, mit Angaben über die örtlichen Druckbeiwerte c^2 , so läßt sich auch eine der Wirklichkeit angenäherte Druckverteilung an der Fassade angeben. Für das Wohngebäude Ramses sind diese Zusammenhänge auf Bild 13 grafisch dargestellt. Das linke Diagramm veranschaulicht die Windgeschwindigkeit als Funktion der Höhe über dem Gelände für eine Windgeschwindigkeit in Standardhöhe (10 m über Gelände) von $w = 15$ m/s und unter der Annahme eines Rauigkeitsexponenten von $n = 0,5$ (Stadt mit Hochhausbebauung). Im rechten Diagramm wird die aus der Anströmung resultierende Staudruckverteilung ge-

2) Der dimensionslose Druckbeiwert c bezeichnet das Verhältnis des gemessenen örtlichen Druckes gegen den statischen Druck der ungestörten Strömung.

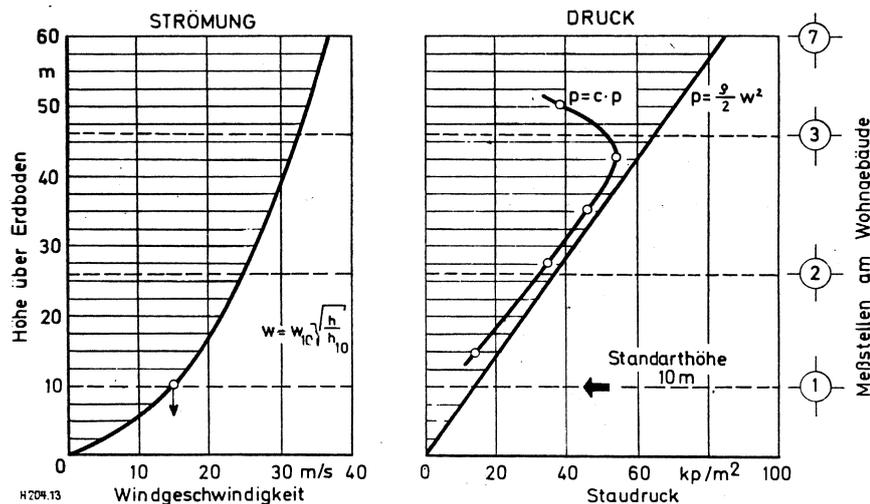


Bild 13: Berechnetes Strömungsprofil über dem Erdboden und daraus resultierende Staudruckverteilung an einer Fassade bei den folgenden Randbedingungen:

Windgeschwindigkeit in Standardbezugsgröße von $h = 10 \text{ m}$: $w = 15 \text{ m/s}$

Rauhigkeitsexponent für Stadtgebiet

$n = 0,5$

In das rechte Diagramm ist weiterhin die Staudruckverteilung an der Fassade unter Berücksichtigung der aus Modellversuchen hervorgehenden Druckbeiwerte eingetragen

mäß der Bernoulligleichung (3) dargestellt. In das Diagramm ist weiterhin der Druckverlauf an der Fassade unter Berücksichtigung der aus den Modellversuchen [14] hervorgehenden Druckbeiwerte

$$p^* = c \cdot p \quad (4)$$

eingetragen. Hierzu muß jedoch erwähnt werden, daß die Modelluntersuchungen bei einem gleichförmigen Strömungsfeld durchgeführt wurden, während in der Darstellung von Bild 13 das vorgegebene Strömungsprofil in Rechnung gestellt ist. Auch wenn davon ausgegangen werden muß, daß die Druckbeiwerte bei Simulation eines Geschwindigkeitsgradienten im Windkanal andere Werte annehmen können, liefert die Darstellung auf Bild 13 gewisse Anhaltswerte über die Tendenz des Druckverlaufes. Aufgrund der Modellversuche wird ersichtlich, daß die Druckmeßstellen am Wohngebäude (Meßstellen 1, 2, 3) noch in einem Bereich liegen, in dem die Randeinflüsse keine wesentlichen Auswirkungen haben.

Über die bei natürlicher Windanströmung auftretenden Druckverhältnisse an der Fassade geben die auf Bild 14 dargestellten Ergebnisse Aufschluß. In der gewählten Darstellungsart wird der Staudruck in der Mitte der Fassade (Meßstelle 2 im 9. Stockwerk) als Bezugswert angesehen. Ein Überdruck gegen den Bezugswert ist positiv, ein Unterdruck negativ aufgetragen. Die Diagramme veranschaulichen jeweils die gemessenen Druckdifferenzen an der Fassadenoberfläche zwischen zwei verschiedenen Stockwerken, abhängig von der mittleren Windgeschwindigkeit. Weiterhin sind in die Diagramme die gemäß Gl. (3) theoretisch zu erwartenden Druckdifferenzen eingetragen. Der Zeitverlauf der Differenzdrücke an der Fassade wird aus den auf Bild 14 rechts dargestellten Dia-

grammen ersichtlich. Aus der Darstellung geht hervor, daß sich bei natürlicher Windanströmung des Gebäudes wesentlich kleinere Druckdifferenzen ausbilden, als es die theoretischen Über-

legungen bzw. die Modelluntersuchungen erwarten lassen. Während der gesamten Meßperiode wurde bei Windgeschwindigkeiten bis zu 15 m/s ein kurzzeitiger Maximalwert der Druckdifferenz von 5 mm WS — entsprechend 5 kp/m^2 — gemessen. Die Mittelwerte der Druckdifferenzen (Mittelungsintervalle: 1 Minute) liegen in der Regel um eine Zehnerpotenz niedriger als die theoretischen Werte. Bemerkenswert ist weiterhin, daß der Staudruck an der direkt angeströmten Fassade nicht — wie es Bild 13 erwarten läßt — nach oben hin zunimmt, sondern (zwischen dem 9. und 16. Stockwerk) geringfügig abnimmt. Im unteren Bereich der Fassade (zwischen dem 9. und 3. Stockwerk) treten im wesentlichen nur Druckschwankungen mit wechselnden Vorzeichen auf. Aus den gemessenen 1-Minuten-Mittelwerten ergibt sich hier kein Hinweis auf einen ausgeprägten Druckgradienten.

Druckverhältnisse am Fenster

Die für einen Luftaustausch über die Fensterfugen maßgebende Druckdifferenz wird in der Literatur [15] durch die Beziehung

$$\Delta p = q/2 \cdot w^2 \approx w^2/16 \quad (5)$$

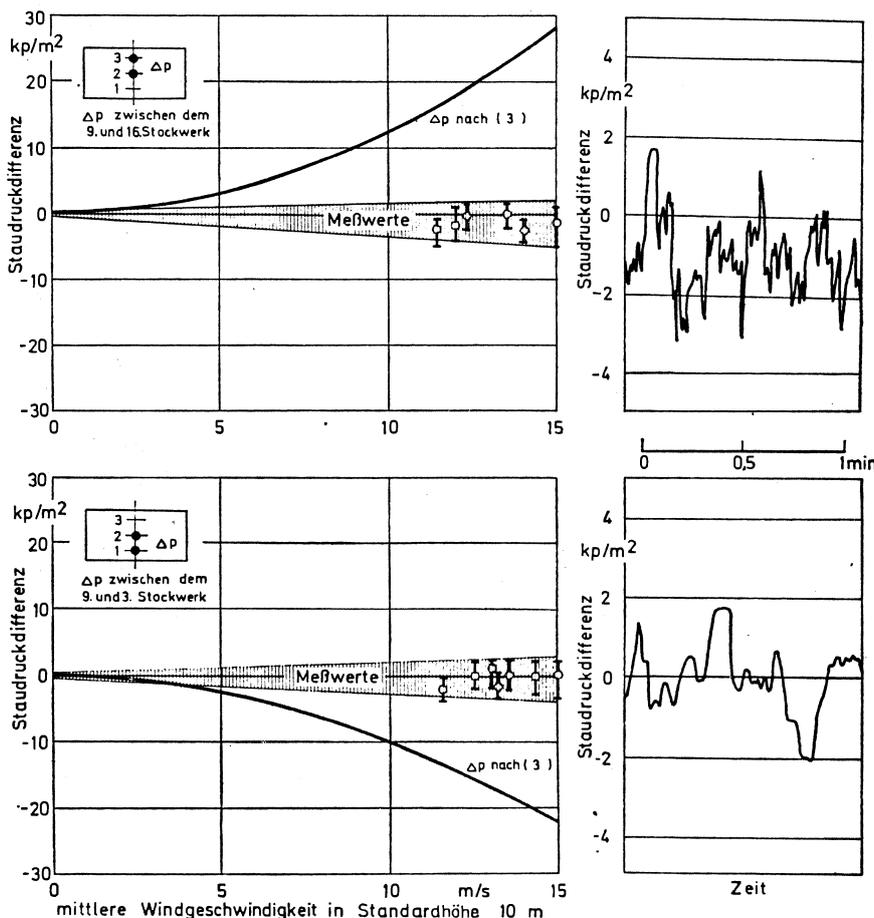


Bild 14: Gemessene Staudruckdifferenzen zwischen verschiedenen Stellen an der Fassade des Wohnblocks, abhängig von der mittleren Windgeschwindigkeit bei senkrechter Anströmung der Fassade

Die eingezeichneten Meßpunkte stellen jeweils Mittelwerte in 1-Minuten-Meßintervallen sowie die Schwankungsbreite dar

In den Diagrammen rechts sind Zeitverläufe der Staudruckdifferenzen bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 15 m/s dargestellt

beschrieben. Hierauf basierend werden in der DIN 18 055, Blatt 2 „Fenster-Fugendurchlässigkeit und Schlagregensicherheit“ die folgenden Beanspruchungsgruppen für Fenster, abhängig von der Windbelastung bzw. der Gebäudehöhe, festgelegt:

Beanspruchungsgruppe	A	B	C	D
Windgeschwindigkeit [m/s] bis	17	24	32	Sonderregelung
Gebäudehöhe (m) bis	8	20	100	
Staudruck [kp/m ²] bis	18,3	37,3	66,5	

Im vorliegenden Anwendungsfall sind die Fenster des Wohngebäudes Ramses — bedingt durch die Gebäudehöhe von 53 m — der Beanspruchungsgruppe C (entsprechend einer Staudruckdifferenz von 66,5 kp/m²) zuzuordnen.

Anhaltswerte über die unter praktischen Bedingungen auftretenden Druckdifferenzen liefern die an einer exponierten Penthouse-Wohnung im 16. Stockwerk des Gebäudes durchgeführten Messungen. Die Ergebnisse gehen aus Bild 15 hervor. Das linke Diagramm stellt die Druckdifferenz am Fenster als Funktion der mittleren Windgeschwindigkeit³⁾ in Meßhöhe dar. In das Diagramm sind neben den theoretischen Zusammenhängen gemäß Gl. (3) einige Meßwerte eingezeichnet. Jeder Meßpunkt repräsentiert den Mittelwert der Druckdifferenz im 1-Minuten-Intervall sowie den Schwankungsbereich. Ein Vergleich der Meßwerte mit den theoretischen Werten erbringt große Abweichungen. Die gemessenen Druckdifferenzen sind etwa um den Faktor 5 kleiner als die gemäß Gl. (3) berechneten Werte.

³⁾ Die Windgeschwindigkeit wurde in Standardhöhe gemessen und mittels Gleichung (1) unter Annahme eines Rauigkeitskoeffizienten von $n = 0,5$ auf die Meßhöhe von 46 m bezogen.

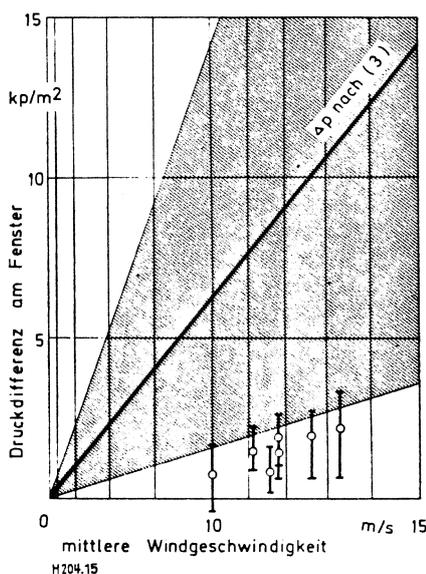


Bild 15: Druckdifferenz am Fenster

Diagramm links: Zusammenhang zwischen dem Staudruck und der Windgeschwindigkeit. Der schraffierte Bereich berücksichtigt die durch Windböigkeit verursachten Druckschwankungen (nach (7)). In das Diagramm sind die gemessenen Druckdifferenzen an einem Fenster im 16. Stock des Wohngebäudes (Meßstelle 6) eingezeichnet

Diagramm rechts: Zeitverlauf der Druckdifferenz am Fenster bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 10 m/s und senkrechter Anströmung des Fensters

Einen Einblick in den Zeitverlauf der Druckdifferenz am Fenster bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 10 m/s vermittelt das rechte Diagramm auf Bild 15. Der Ausschnitt aus einem Registrierstreifen zeigt am Fenster einen nach Betrag und Richtung stark wech-

selnden Druck. Bemerkenswert an der Aufzeichnung ist, daß sich auch bei derart hohen Geschwindigkeiten die Druckrichtung am Fenster kurzzeitig ändern kann und die Luftströmung über die Fensterfuge damit eine Richtungs-umkehr erfährt. Als Ursache kommt die Windböigkeit in Betracht, welche sowohl die Druckänderungen an der Außenseite des Fensters als auch — bedingt durch den Luftaustausch über offene Stellen im Bauwerk — eine Druckschwankung im Innenraum bewirkt. Der resultierende Druck am Fenster ergibt sich aus der Differenz dieser beiden zeitlich schwankenden Drücke.

Luftbewegung im Spalt

Nach eingehenden theoretischen Untersuchungen von Gertis [16] wird die Luftbewegung im Spalt einer hinterlüfteten Wandkonstruktion durch zwei gegenläufig wirkende Antriebskräfte bestimmt:

- durch den thermischen Auftrieb (Kaminzugeffekt);
- durch Windeinwirkung (Wind-Druckdifferenz).

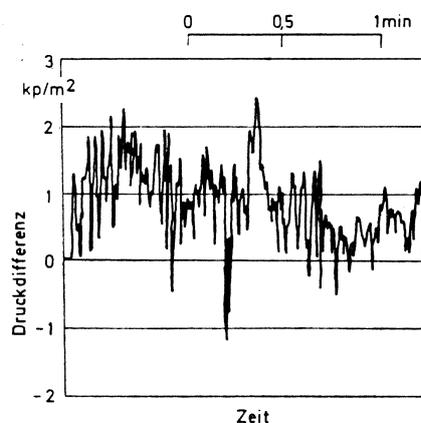
Die Luftbewegung im Spalt kommt zum Stillstand, wenn die Wind-Druck-

differenz der Auftriebs-Druckdifferenz das Gleichgewicht hält. Dies trifft etwa bei einer Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s zu (Bild 16). Bei Windstille ist mit einer aufwärtsgerichteten Luftströmung im Spalt in der Größenordnung von etwa 0,5 m/s zu rechnen. Bei Windgeschwindigkeiten über 2,5 m/s treten — der theoretischen Untersuchung zufolge — abwärtsgerichtete Luftströmungen bis zu 2 m/s und darüber auf.

Bild 17 enthält eine Gegenüberstellung von Meßdaten. In den Diagrammen ist die Luftgeschwindigkeit im Spalt (Stundennittel der Luftgeschwindigkeit mit Angabe der Schwankungsbreite) in Abhängigkeit von der in gleicher Höhe über dem Gelände gemessenen mittleren Windgeschwindigkeit aufgetragen. Die Meßergebnisse zeigen bei geringen Windgeschwindigkeiten eine gute Übereinstimmung mit den Überlegungen von Gertis. Auch die abnehmende Tendenz der Luftbewegung im Spalt mit zunehmender Windgeschwindigkeit kommt deutlich zum Ausdruck. Im Gegensatz zu den theoretischen Überlegungen steht jedoch

- daß die Luftbewegung im Spalt nicht bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit (etwa 2,5 m/s) zum Stillstand kommt,
- daß die Luftbewegung im Spalt nicht nach der erwarteten Richtungsänderung bei etwa 2,5 m/s mit zunehmender Windgeschwindigkeit wieder größer wird.

Die Ursache für diese Unterschiede dürfte in den instationären Bedingungen bei der natürlichen Windströmung liegen. Bei den stark wechselnden Druck- und Strömungsverhältnissen an der Fassade unter Einwirkung des böigen Windes kann sich kein stabiler Strömungszustand im Spalt ausbilden. Die zeitlich und örtlich wechselnden Druckverhältnisse an der Fassade, die mit der Turbulenzintensität in unmittelbarem Zusammenhang stehen, führen zu einem pulsierenden Luftaustausch über die offenen Fugen der Vorsatzschale. Im Luftspalt hinter der Vorsatzschale bilden sich — abhängig von den zufällig gegebenen Druckverhältnissen an den offenen Fugen — regellos verlaufende Luftströmungen wechselnder Richtung und Intensität aus, welche sich den stationären Luftströmungen im Spalt überlagern. Da sich gemäß Bild 14 die treibende Winddruckdifferenz an der Fassade mit zunehmender Windgeschwindigkeit nur in geringem Maße verändert, führt eine größere Windströmung nur zu einer unwesentlichen Erhöhung der „gerichteten“ Luftströmung im Spalt. In weitaus stärkerem Maße erhöht sich — hervorgerufen durch die gleichzeitig zunehmende Windböigkeit — der pulsierende Luftaustausch über die offenen Fugen der Vorsatzschale. Diese unter der Pumpwirkung des böigen Windes auftretende Pulsation äußert sich in den Geschwin-



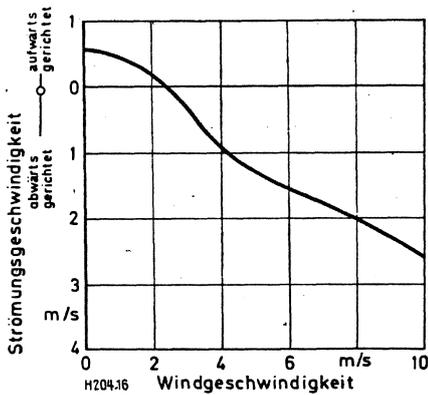


Bild 16: Strömungsgeschwindigkeit der Luft in einem kreisförmigen Kanal mit einem Durchmesser von 4 cm und einer Kanallänge von 2,75 m, abhängig von der Windgeschwindigkeit nach theoretischen Untersuchungen von Gertis [16]

Die Zusammenhänge gelten sinngemäß auch für den Luftspalt

digkeitsschwankungen der Luftströmung im Spalt. Wie aus *Bild 17* hervorgeht, vergrößern sich die Geschwindigkeitsschwankungen mit zunehmender Windgeschwindigkeit. In welchem Ausmaß diese Geschwindigkeitsschwankungen auftreten, geht auch in anschaulicher Weise aus einem auf *Bild 18* gezeigten Ausschnitt eines Original-Registrierstreifens hervor. Auf dem Registrierstreifen ist der zeitabhängige Verlauf der Luftbewegung im Spalt bei wechselnden Windgeschwindigkeiten im Bereich zwischen 0 und 3 m/s dargestellt. Bei Windstille (Diagramm unten) tritt eine durch den thermischen Auftrieb hervorgerufene Luftströmung von etwa 0,6 m/s mit relativ kleinen Geschwindigkeitsschwankungen auf. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit (Diagramm Mitte) verringert sich der Mittelwert der Luftströmung im Spalt, gleichzeitig nehmen die Geschwindigkeitsschwankungen zu.

Schlagregenbelastung der Fassade

Die Ergebnisse der Schlagregennmessungen an der Fassade des Wohngebäudes Ramses sind auf *Tafel 2* zusammengestellt. Im Verlauf der relativ niederschlagsarmen Meßperiode von Mai bis November 1972 wurde an der Attika des Wohnhochhauses eine Schlagregenmenge von insgesamt 130 l/m² erfaßt. Im Vergleich hierzu ergaben sich in der Mitte des Gebäudes (9. Stockwerk) nur 40%, im 3. Stockwerk

Tafel 2: Schlagregenbelastung des Wohngebäudes (Westfassade)

Lage der Meßstellen siehe *Bild 11*

Meßstelle	Lage	Schlagregenmenge	
		l/m ²	%
1	3. Stockwerk	29	15
2	9. Stockwerk	55	40
3	16. Stockwerk	65	50
4	Attika-Nordecke	115	90
5	Attika-Südecke	130	100

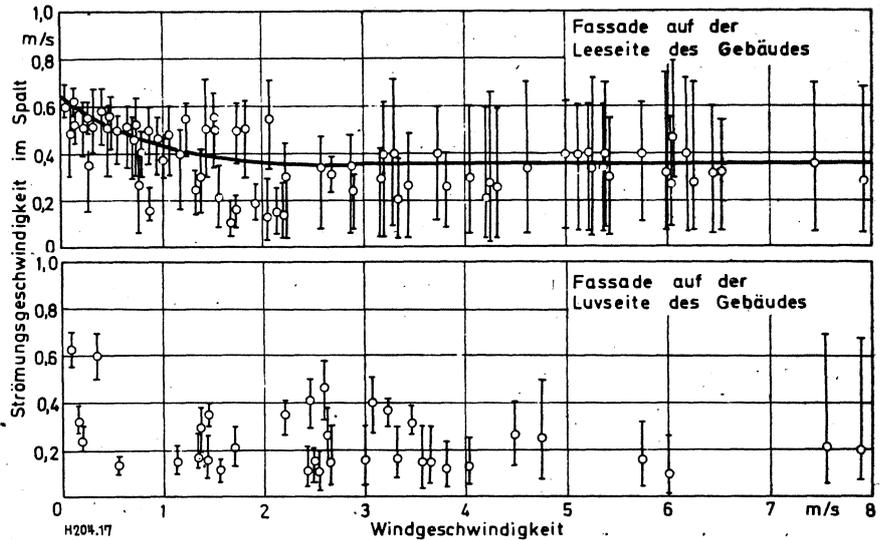


Bild 17: Zusammenhang zwischen der Strömungsgeschwindigkeit im Luftspalt der hinterlüfteten Wandkonstruktion und der mittleren Windgeschwindigkeit für die Lee- und Luvseite des Gebäudes bei senkrechter Anströmung der Fassade

Jeder Meßpunkt stellt das Stundenmittel der Luftströmung und die Schwankungsbreite dar

nur 15% dieser Schlagregenmenge. Die Ergebnisse decken sich mit früheren Beobachtungen an kleineren Gebäuden [10; 17], daß vorwiegend die oberen Randzonen des Gebäudes einer erhöhten Schlagregenbelastung ausgesetzt sind. Diese Tatsache wird anschaulich durch *Bild 19* belegt. Das Bild veranschaulicht mehrere in der Nähe des Wohngebäudes Ramses gelegene Gebäude nach einer kurzen und intensiven Schlagregeneinwirkung. An der Farbänderung der Sichtbetonflächen ist zu erkennen, daß die Randzonen stark beansprucht werden, wäh-

rend in der Mitte der Fassade kaum Schlagregen aufgetreten ist.

Die im unteren Bereich der Fassade (Meßstelle 1 im 3. Stockwerk) angeordneten Messungen über den Regenablauf an der Außenschale erbrachten, daß im Mittel jeweils 50% der Niederschlagsmenge auf der Vorder- und Rückseite der Plattenbekleidung ablaufen. In einzelnen verändern sich die Anteile relativ stark abhängig von der Regenintensität, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung. Wegen des relativ geringen Niederschlagsanfalls im Beobachtungszeitraum können über die Zusammenhänge jedoch noch keine gesicherten Aussagen hergeleitet werden.

Zusammenfassung und Folgerungen

An einem 18geschossigen Wohngebäude an der Peripherie Münchens wurden Messungen über die Wind- und Niederschlagsbelastung durchgeführt. Die Untersuchungen umfaßten im einzelnen Messungen über

- die Windverhältnisse am Gebäude und an einer Vergleichsmeßstelle auf einem nahegelegenen freien Gelände,
- die Druckverhältnisse an der Fassade des Gebäudes unter Windeinwirkung,
- die Druckverhältnisse an einem exponierten Fenster,
- die Luftbewegung im Luftspalt der hinterlüfteten Wandkonstruktion,
- die Schlagregenbelastung der Fassade sowie den Regenablauf an der vorgehängten Plattenbekleidung.

In der vorliegenden Arbeit werden die innerhalb eines einjährigen Meßzeitraumes erhaltenen Meßergebnisse dargestellt und jeweils den vorhandenen theoretischen Überlegungen bzw. den aus Modellversuchen hergeleiteten Erkenntnissen gegenübergestellt.

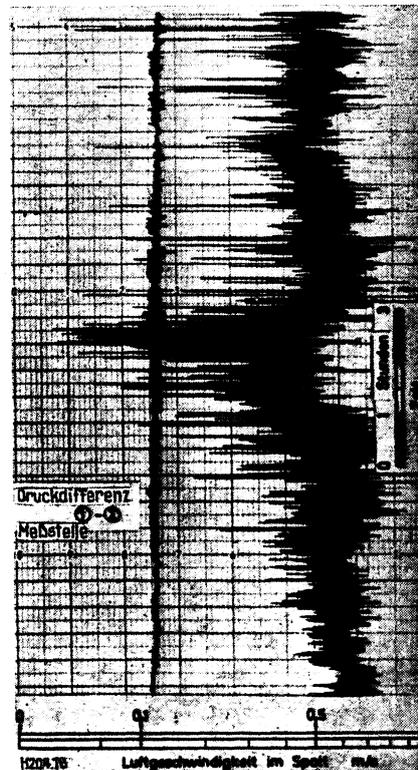


Bild 18: Zeitverlauf der Luftströmung im Spalt hinter der Außenschale bei wechselnden Windgeschwindigkeiten

Die unter praktischen Bedingungen durchgeführten Messungen am Wohngebäude erbringen zum Teil erhebliche Abweichungen zu der auf dem vereinfachten Konzept einer statischen Windwirkung beruhenden Betrachtungsweise. So zeigen die Untersuchungen, daß die Druckdifferenzen zwischen verschiedenen Stellen auf einer angeströmten Fassade wesentlich kleiner sind, als es die Berechnungen erwarten lassen. Auch die sich unter Windeinwirkung an einem Fenster — zwischen Raumseite und Außenseite — ausbildenden Druckdifferenzen liegen weit unter den theoretischen Werten.

Den Messungen zufolge erweist sich die Luftströmung im Spalt der hinterlüfteten Fassade entgegen den Erwartungen

von Gebäuden zu werten ist, deren Ergebnisse durch weitere Messungen an anderen Gebäuden auf eine Verallgemeinerungsfähigkeit zu überprüfen sind, lassen sich bereits einige Schlußfolgerungen ziehen:

Die Druck- und Strömungsverhältnisse an einem Bauwerk werden maßgeblich durch den instationären Charakter der natürlichen Windströmung geprägt. Unter Einwirkung der böigen und in der Richtung wechselnden Windströmung bilden sich an einem Gebäude zeitlich und örtlich stark wechselnde Druckverhältnisse aus, welche zu regellos verlaufenden Luftströmungen wechselnder Richtung und Intensität führen. Als Antriebskräfte für eine Luftströmung im Spalt einer hinterlüfteten

Anwendung verfeinerter Meßmethoden und unter Heranziehung statistischer Verfahren müssen die Grundlage für eine Betrachtungsweise liefern, die den Wirkungen des natürlichen Windes besser gerecht wird.

Schrifttum

- [1] *Lusch, G.*: Windkräfte an Bauwerken, Berichte aus der Bauforschung, Heft 41 (1964), Verlag: Ernst u. Sohn, Berlin.
- [2] *Sexton, D. E.*: Building Aerodynamics, Building Research Station Garston, CP 64/68.
- [3] *Leonhard, F.*: Bericht über die Internationale Konferenz über Windwirkungen auf Bauwerke, London 1963. Der Bauingenieur 38, Heft 9, (1963).
- [4] *Dalgliesh, W. A., u. D. W. Boyd*: Wind on Buildings. Canadian Building Digest 28 (1962).
- [5] *Davenport, A. G.*: Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings, Vol. I. University of Toronto Press (1968).
- [7] *Birkeland, O.*: Curtain Walls, Norwegian Building Research Institute, Oslo 1962.
- [8] *Schriever, W. R., u. W. A. Dalgliesh*: Recent Research on Wind Forces on Tall Buildings, National Research Council Canada, Ottawa 1969.
- [9] *König, G.*: Windwirkung auf Gebäude. Beton- und Stahlbetonbau 2/1972, S. 32/42.
- [10] *Frank, W.*: Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden, Forschungsbericht B. Ho 4/72 des Institutes für Bauphysik, Außenstelle Holzkirchen (noch nicht veröffentlicht).
- [11] *Fiedler, F.*: Klimawerte zur Temperatur- und Windschichtung in den untersten 50 m der Atmosphäre. Wiss. Mitteilung Nr. 18 des meteorologischen Institutes der Universität München (1970).
- [12] *Schwarz, B.*: Neuartige Meßverfahren zur Erfassung von Niederschlägen. Erscheint demnächst in: Archiv für Meteorologie, Geophysik u. Bioklimatologie, Serie B, Springer-Verlag, Wien.
- [13] *Gertis, K., B. Schwarz u. G. Künzel*: Zur Messung kleiner Luftgeschwindigkeiten mit beheizten Sonden. Archiv f. Techn. Messen (April 1970) Oldenburg-Verlag, München.
- [14] Bericht der Bayerischen Landesgewerbeanstalt — Prüfamts für Baustatik — München, über Strömungstechnische Untersuchungen am Hochhaus „Ramses“, Januar 1969.
- [15] *Seifert, E., u. J. Schmidt*: „Holzfenster“ Arbeitskreis Holzfenster e. V. Gießen (1972).
- [16] *Gertis, K.*: Belüftete Wandkonstruktionen, Berichte aus der Bauforschung, Heft 72, Verlag: Ernst u. Sohn, Berlin, München (1972).
- [17] *Künzel, H., u. B. Schwarz*: Die Feuchtigkeitsaufnahme von Baustoffen bei Beregnung. Berichte aus der Bauforschung, Heft 51. Verlag: Ernst u. Sohn, Berlin (1968).



Bild 19: Wohngebäude in der näheren Umgebung des Wohnhochhauses Ramses nach einer kurzen und intensiven Schlagregeneinwirkung

An der Farbänderung der Sichtbetonflächen ist zu erkennen, daß insbesondere die Randzonen der Gebäude einer erhöhten Schlagregenbelastung ausgesetzt sind

als nahezu unbeeinflusst von der Windgeschwindigkeit und von der Anströmrichtung des Gebäudes. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 m/s.

Die Messungen erbrachten weiterhin, daß die Schlagregenbelastung innerhalb der Fassadenfläche sehr uneinheitlich ist; hauptsächlich werden die Randzonen beaufschlagt. Die langzeitlichen Beobachtungen über den Regenablauf an der mit offenen Horizontalfugen ausgeführten hinterlüfteten Fassadenbekleidung zeigen, daß etwa 50% der Regenmenge auf der Rückseite der Fassadenbekleidung abfließt. Diesem Umstand ist — zur Vermeidung eines Flüssigkeitsstaus — durch eine entsprechende Ausbildung des unteren Abschlusses der Fassadenbekleidung Rechnung zu tragen.

Wenn auch die vorliegende Arbeit nur als ein erster Beitrag zur Klärung der praktischen Wind- und Regenbelastung

Wandkonstruktion kommen daher — zumindest bei offenen Fugen in der Fassadenbekleidung — weniger stationäre Winddruckverhältnisse in Betracht als vielmehr die zeitlich und örtlich auftretenden Druckschwankungen, welche zu einem pulsierenden Luftaustausch (Pumpeffekt) über die Öffnungen führen.

Auch der Luftaustausch über die Öffnungen im Bauwerk, wie Fenster- und Türfugen, wird maßgeblich durch die stark wechselnden Druckverhältnisse zwischen dem Gebäude-Innern und der Gebäude-Außenseite bestimmt. Als deren Folge entsteht auch hier ein pulsierender Luftaustausch über die Fugen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die auf der idealisierenden Annahme einer stationären Windströmung beruhende Betrachtungsweise keine wirklichkeitsnahe Beschreibung der Windwirkung auf Gebäude liefert. Weitere Messungen an Gebäuden unter

DK 624.042.41:697.134/.135:69.83:728
.28