

# Modellversuche über den Winddruck auf ein Haus ohne und mit Windschutz

Von H. Blenk und H. Trienes

Mit 11 Abbildungen

*Summary: The wind pressures on a building can be decreased by a shelter hedge. Wind-tunnel experiments show how this shelter effect depends from the distance between hedge and house and from the wind direction.*

## Allgemeines

Im Zusammenhang mit einer umfangreichen strömungstechnischen Untersuchung des Windschutzproblems [2] wurden auch Windkanalversuche über die Winddruckverteilung auf ein Haus durchgeführt, das in verschiedener Entfernung von einer Windschutzhecke stand und in verschiedenen Richtungen vom Wind angeblasen wurde. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Messungen sollen hier mitgeteilt werden.

*Gustave Eiffel*, der Erbauer des Eiffelturms in Paris, hat schon 1914 Winddrücke auf Bauwerke durch Modellversuche im Windkanal [3] bestimmt und dabei erkannt, daß die Druckverteilungen, wenn man sie durch Bezugnahme auf den Staudruck dimensionslos darstellt, weitgehend unabhängig von der *Reynolds-Zahl* sind. Das gilt sicherlich immer dann recht gut, wenn es sich um Körperformen mit scharfen Kanten handelt, die quer angeströmt werden [4, 5]. Bei kreisförmigen oder sonst irgendwie abgerundeten Querschnitten wird man die Abhängigkeit der Druckverteilungen von der *Reynolds-Zahl* i. a. nicht unbeachtet lassen dürfen.

Weitere Winddruckmessungen auf Bauwerkmodelle sind seit Eiffel in vielen Windkanälen durchgeführt worden; nur die wenigsten davon sind aber veröffentlicht worden.

Den Einfluß der Bodenrauigkeit und des Grenzschichtprofils auf die Winddruckkurven haben *O. Flachsbart* [4] und *Gran R. Olsson* [7] untersucht und gefunden, daß dieser Einfluß beachtlich sein kann. In der freien Natur liegen wohl die meisten Bauwerke in der Regel ganz innerhalb der Grenzschicht, während die entsprechenden Modelle im Windkanal bei den üblichen Anordnungen aus der Grenzschicht herausragen. Man müßte für solche Modellversuche nicht nur die Bodenrauigkeit den Verhältnissen in der freien Natur anpassen, sondern auch das Geschwindigkeitsprofil in der Grenzschicht.

Windkanalversuche über die Möglichkeit der Herabsetzung der Winddrücke auf ein Bauwerk — diese Frage interessiert bei Windschutzuntersuchungen — sind wohl nur selten ausgeführt und noch seltener veröffentlicht worden. Uns ist nur eine einzige solche Untersuchung aus der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen bekannt geworden [8]. Dabei handelte es sich um die Beseitigung oder Herabsetzung des Windeinflusses auf die vom Ablaufberg

herabrollenden Eisenbahnwagen auf einem Verschiebebahnhof. Die Aufgabe wurde durch Anbringung senkrecht stehender Gitter erfolgreich gelöst.

Um Häuser gegen übermäßige Winddrücke zu schützen, pflanzt man in manchen Gegenden, z. B. in der Eifel, auf der Seite, von der der Wind am häufigsten weht, Hecken. In welcher Entfernung diese Hecken ihre stärkste Schutzwirkung haben und wie sie sich bei schräger Anblasung auswirken, war bisher nicht bekannt und sollte deshalb durch Windkanalmessungen untersucht werden.

### Versuchstechnik

Einige Übersichtsversuche wurden im Windkanal des Instituts für Strömungsmechanik (Direktor: Prof. Dr. H. Schlichting) der TH Braunschweig bei einer Windgeschwindigkeit von 40 m/s ausgeführt. Für die systematischen Versuchsreihen wurde ein kleines Gebläse benutzt, das im Institut für Landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Kloth) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode für Sortieraufgaben gebaut worden war [1]; die Windgeschwindigkeit betrug bei diesen Versuchen nur 9,4 m/s. Nachdem sich bei einigen Parallelversuchen in beiden Versuchsanlagen keine nennenswerten Abweichungen der Ergebnisse voneinander gezeigt hatten, konnten die umfangreichen systematischen Versuchsreihen ohne Bedenken mit der wesentlich billigeren Versuchsanlage durchgeführt werden, zumal da der Windkanal der TH Braunschweig wegen starker anderweitiger Belegung nicht für längere Zeiten zur Verfügung stand.

Die in den Windstrom eingebaute Versuchsanlage war in beiden Fällen die gleiche. Ein Unterschied bestand nur insofern, als der rechteckige Luftstrahl im TH-Windkanal eine Breite von 0,6 m und eine Höhe von 1,0 m, im Sortierkanal aber eine Breite von 0,5 m und eine Höhe von 0,6 m hatte. Der Luftstrahl des TH-Windkanals wurde durch eine Vorsatzdüse von dem sonst runden auf einen rechteckigen Querschnitt gebracht. Der Luftstrahl des Sortierkanals war von vornherein rechteckig.

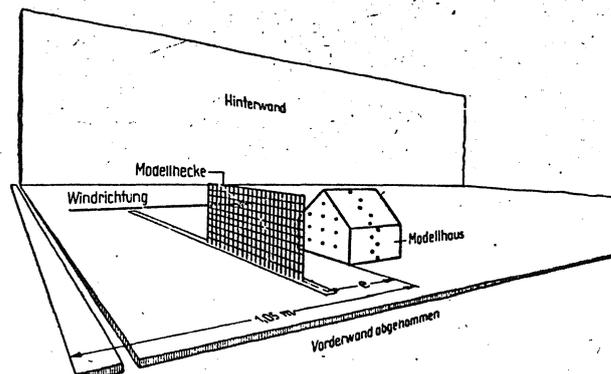


Abb. 1. Schematische Skizze des Einbaues von Modellhaus und Modellhecke in den Windkanal. Die vordere Seitenwand ist abgenommen

In den Luftstrahl wurde ein oben offener Kasten von 2,50 m Länge eingebaut, dessen Seitenwände sich an die seitliche Begrenzung der Düse genau anschlossen. Der Boden war vorn zugeshärft, wie es aus Abb. 1 ersichtlich ist. Die scharfe Vorderkante des Bodens lag einige cm oberhalb des unteren Düsenrandes. Auf dem Boden stand das in Messing ausgeführte Hausmodell (Abb. 1 bis 3), das mittels einer kleinen Drehscheibe in beliebige Richtung gegenüber



Abb. 2. Modellhaus (50 mm hoch) mit 20 Druckanbohrungen. Das Haus steht auf einer Scheibe, die um eine lotrechte Achse drehbar ist



Abb. 3. Die Windschutzhecke wird im Windkanal durch ein halbdurchlässiges Drahtgewebe ersetzt.

dem Wind gebracht werden konnte. Das Hausmodell trug an zwei Seiten je 10 Druckanbohrungen, die mit einem Prandtl-Manometer verbunden waren. Durch Drehung um  $180^\circ$  konnten die Druckmeßstellen auf die Gegenseiten gebracht werden und so die Drücke auf das Haus bei jedem Versuch an 40 Stellen bestimmt werden. Das Modellhaus hatte einen Grundriß von  $5 \cdot 5 \text{ cm}^2$  und eine Höhe von 5 cm; das Dach hatte einen Neigungswinkel von  $45^\circ$ .

Als Modellhecke wurde ein Drahtgewebe von 5 cm Höhe benutzt, wie es Abb. 4 zeigt. Die Länge der Hecke betrug entweder 10 cm (Abb. 3), oder die Hecke lief von der einen Seitenwand zur anderen durch. Das Drahtgewebe hat eine geometrische Durchlässigkeit von 48%. Bei der Untersuchung von

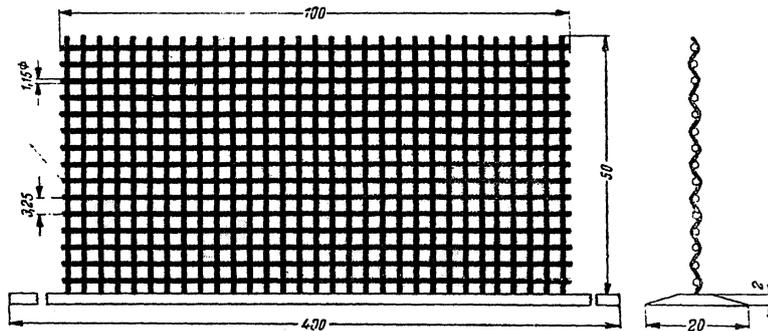


Abb. 4. Abmessungen des als Modell einer Windschutzhecke dienenden Drahtgewebes

Heckenmodellen verschiedener geometrischer Durchlässigkeit hatte sich diese Hecke für die Herabsetzung der Windgeschwindigkeit in Lee der Hecke am günstigsten erwiesen [2]. Wie Vergleiche mit Untersuchungen an lebenden Hecken [6] gezeigt haben, dürfte eine mitteldichte Weißdornhecke im Sommer etwa die gleiche Durchlässigkeit haben.

#### Versuchsergebnisse

In Abb. 5 bis 7 sind die Ergebnisse einiger Versuchsreihen unmittelbar wiedergegeben. Die kleinen Skizzen auf der linken Seite geben für jeden Versuch den jeweiligen Lageplan von Haus und Hecke im Grundriß, Aufriß und Seitenriß an. Die zugehörige Windrichtung ist im Grundriß eingetragen.

Die vier Seiten des Hauses sind mit den Buchstaben a, b, c und d gekennzeichnet. Die zugehörigen Druckverteilungskurven, die über den Hauswänden sinngemäß aufgetragen sind, tragen die gleichen Kennzeichen. Für die Giebelwände sind entsprechend den Meßstellen jeweils drei Druckkurven gezeichnet, während für die Seitenwände meist nur eine Kurve angegeben ist, obwohl die Meßstellen zur Verringerung der gegenseitigen Beeinflussung von der Mittellinie aus abwechselnd nach links und rechts ein wenig versetzt sind.

Die gemessenen Drücke  $p$  sind jeweils mit dem Staudruck  $q = \frac{1}{2} \rho v^2$  ( $\rho =$  Luftdichte,  $v =$  Windgeschwindigkeit) dimensionslos gemacht, d. h. es sind die Werte  $p/q$  aufgetragen. Die Druckkräfte sind immer durch ein +, die Saugkräfte durch ein - gekennzeichnet. Beide sind in der Regel nach der gleichen Seite und zwar nach außen aufgetragen, um Überschneidungen zu vermeiden.

Abb. 5 bringt die Ergebnisse aus dem TH-Windkanal. Abb. 6 und 7 sind nur Beispiele der systematischen Versuchsreihen mit dem Sortierkanal. Eine vollständige Angabe dieser Ergebnisse findet sich in [2].

Die Versuche 1a bis 3a in Abb. 6 sind Wiederholungen der Versuche 50 bis 52 in Abb. 5. Die entsprechenden Druckkurven stimmen, wie man sieht, recht gut überein. Aus dieser und einigen weiteren, ebenso guten Übereinstimmungen wurde die Berechtigung hergeleitet, die systematischen Versuchsreihen in dem Sortierkanal bei einer Windgeschwindigkeit von nur 9,4 m/s durchzuführen.

Die Versuche 50 und 1a zeigen die Winddruckverteilung für den Fall, daß die Seitenwand dem Wind zugekehrt ist. Auf dieser Wand herrscht, wie zu erwarten, ein starker Überdruck, der die Größenordnung des Staudrucks hat. Der Überdruck fällt dann längs des Daches bis zum First hin fast auf Null ab. Auf der Leeseite des Hauses und der zugehörigen Dachseite findet man einen recht gleichmäßigen Unterdruck. Auch auf den beiden (dem Wind parallelen) Giebelwänden herrscht durchweg Unterdruck, der aber kurz hinter der zuerst vom Wind umströmten Hausecke am stärksten ist und dann merklich abfällt. Ähnliche Druckverteilungen haben sich auch schon bei früheren Messungen an Hausmodellen in Windkanälen ergeben.

Die übrigen in Abb. 5 dargestellten Meßergebnisse lassen sich aus der geometrischen Anordnung ohne Mühe deuten.

Aus Abb. 6 ist nun zu erkennen, wie durch eine vor dem Hause stehende Hecke die Druckverteilung auf das Haus verändert wird. Dabei ist der Abstand  $e$  zwischen Haus und Hecke von  $\frac{1}{4} H$  bis  $18 H$  variiert ( $H =$  Höhe des Hauses). Die durchlässige Hecke von der Länge  $2 H$  setzt die Druck- und Saugkräfte sehr stark herab. Diese Verminderung der Winddrücke ist vom Abstand der Hecke vom Haus abhängig. Die größte Schutzwirkung tritt aber nicht dann auf, wenn die Hecke am dichtesten vor dem Haus steht, sondern bei einem wesentlich größeren Abstand. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit Messungen des Geschwindigkeitsfeldes in Lee von durchlässigen Hecken, und zwar sowohl in der freien Natur wie auch im Windkanal. Die Windstärke nimmt hinter einem durchlässigen Hindernis zunächst noch ab und erreicht ihr Minimum bei einer Entfernung von der Hecke, die bei Freilandversuchen das Ein- bis Fünffache, bei Windkanalversuchen das Zwei- bis Zehnfache der Hindernishöhe beträgt. Dieser Unterschied zwischen Freiland- und Windkanalversuchen ist sicherlich auf die i. a. unzureichende Übereinstimmung hinsichtlich Turbulenz und Grenzschichtprofil zurückzuführen. Bis zu einer erfolgreichen Klärung dieser Frage haben die Verfasser vorgeschlagen, die Ergebnisse von Windkanalversuchen so anzuwenden, daß die bei einer Entfernung von  $x/H$  im Windkanal ermittelten Werte in der freien Natur bei  $\frac{1}{2} x/H$  angesetzt werden [2]. Das Minimum der Winddrücke, das nach Abb. 6 bei Entfernungen zwischen  $4 H$  und  $6 H$  auftritt, wird demnach in der freien Natur bei Entfernungen zwischen  $2 H$  und  $3 H$  zu erwarten sein.

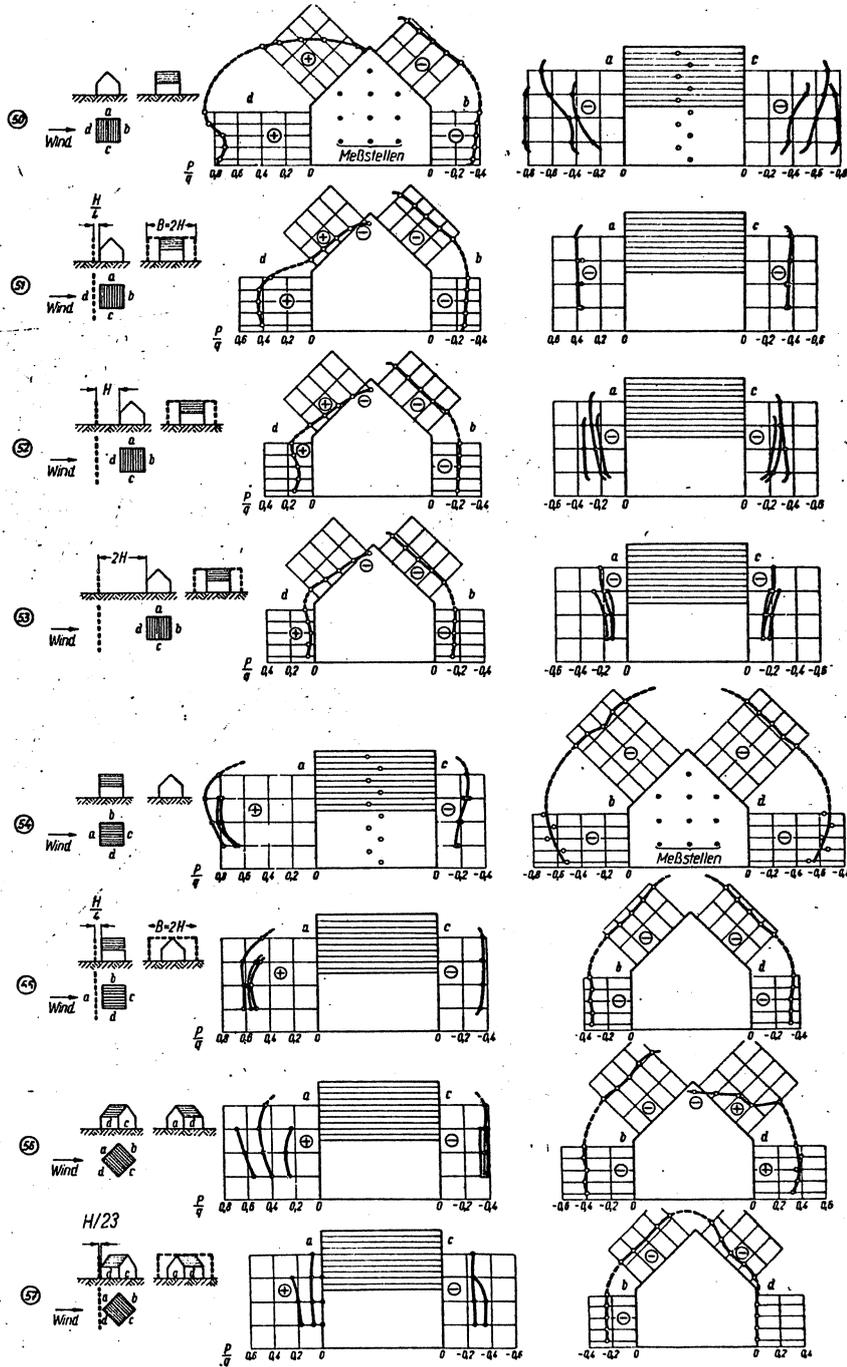


Abb. 5. Ergebnisse von Druckverteilungsmessungen im Windkanal der TH Braunschweig: Haus und Hecke in verschiedener Lage zum Wind

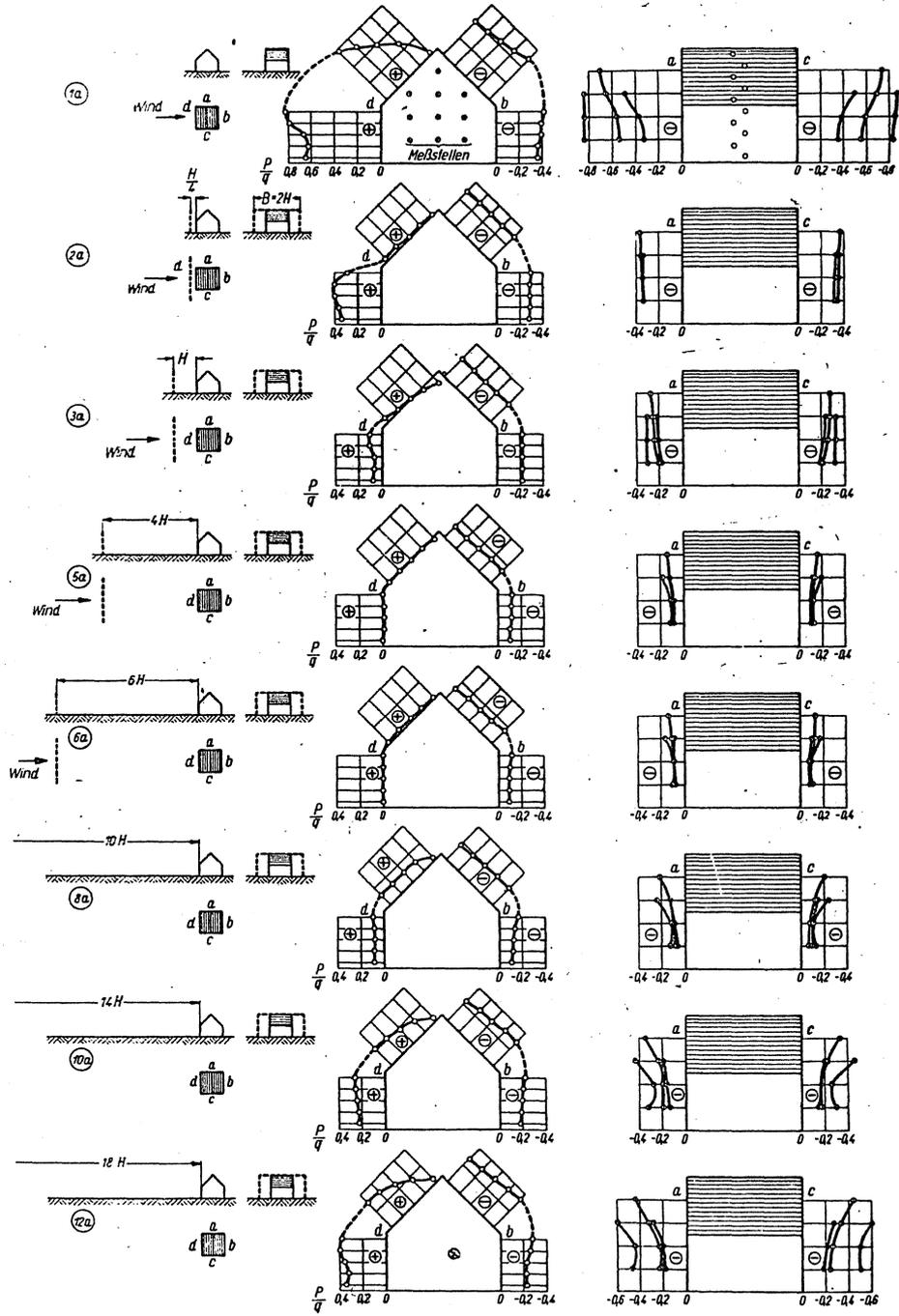


Abb. 6. Ergebnisse von Druckverteilungsmessungen im Sortierkanal: Einfluß des Abstandes zwischen Haus und Hecke auf den Winddruck

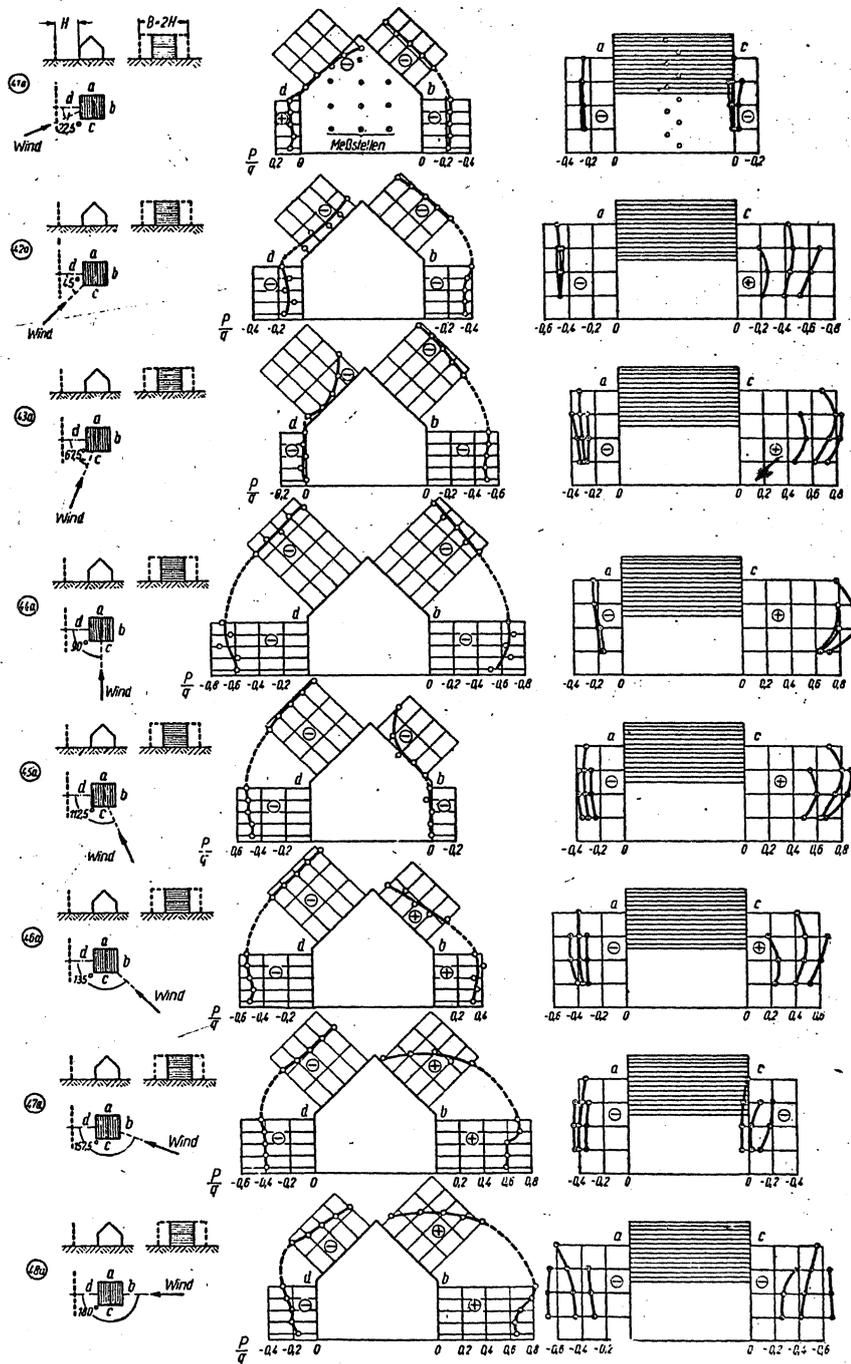


Abb. 7. Ergebnisse von Druckverteilungsmessungen im Sortierkanal: Einfluß des Winkels, unter dem der Wind das Hindernis trifft  
 6 Wissenschaftl. Abhandl., VIII, 1956

Um die Ergebnisse der Meßreihe von Abb. 6 und einiger weiterer Meßreihen übersichtlich zu vergleichen, wurde der auf das Hausmodell wirkende „mittlere Druck“  $p_m$  errechnet. Er ergibt sich aus dem Druck auf die Vorderseite und dem Sog auf die Rückseite, während die seitlichen Wände aus Symmetriegründen keinen Beitrag dazu geben. Hier wurde  $p_m$  der Einfachheit halber als arithmetisches Mittel der jeweils 10 einzelnen Werte  $p$  auf Vorder- und Rückseite berechnet, d. h. jedem Werte  $p$  wurde der gleiche Flächenanteil zugeordnet. In Abb. 8 und 9 sind die so ermittelten Verhältnisse  $p_m/q$  über dem Abstand  $e$  von Haus und Hecke (gemessen in Einheiten von  $H$ ) aufgetragen. Jede Ab-

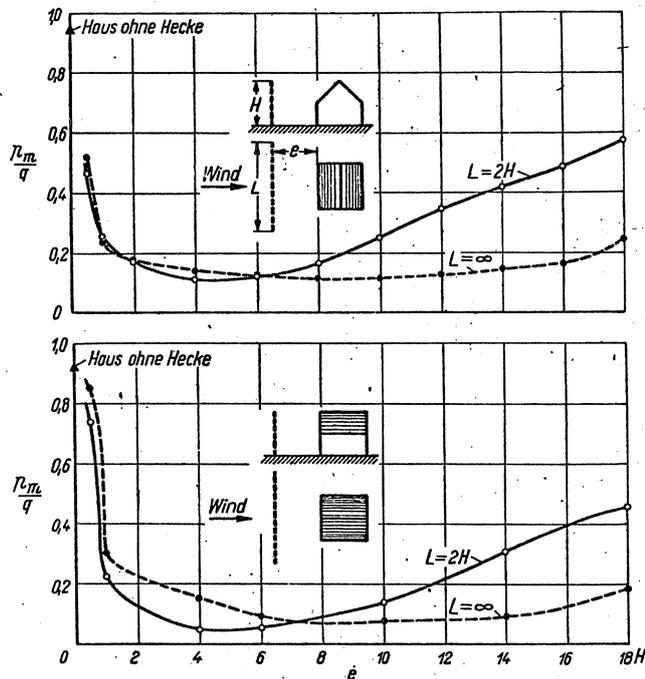


Abb. 8 und 9. Abhängigkeit der Schutzwirkung von der Entfernung zwischen Hecke und Haus

bildung zeigt zwei Kurven, von denen eine für die  $2H$  lange Hecke und die andere für die durchlaufende Hecke gilt. In Abb. 8 steht die Seitenwand des Hauses zum Wind, in Abb. 9 die Giebelwand. Abb. 8 und Abb. 9 unterscheiden sich nur wenig. Dagegen ergibt sich ein deutlicher Einfluß der Heckenlänge. Die durchlaufende ( $\infty$  lange) Hecke zeigt ein wesentlich flacheres Minimum und ein schwächeres Ansteigen nach dem Minimum als die  $2H$  lange Hecke. Die Erklärung dieses Unterschiedes dürfte darin zu suchen sein, daß die Luft bei der  $2H$  langen Hecke auch seitlich ausweichen kann und daß diese Verdrängungsströmung dann die hinter Haus und Hecke verzögerte Strömung schneller beschleunigt, als es bei der durchlaufenden Hecke möglich ist.

In Abb. 7 ist als Beispiel eine Versuchsreihe mit veränderlichem Anblaswinkel wiedergegeben. Der Versuch 3a von Abb. 6 ist dabei für den Anblaswinkel  $0^\circ$  zu ergänzen. Man sieht deutlich, wie das Überdruckgebiet mit dem Wind um das Haus herumwandert und wie die Schutzwirkung der Hecke praktisch aufhört, wenn das Haus aus dem Windschatten heraustritt.

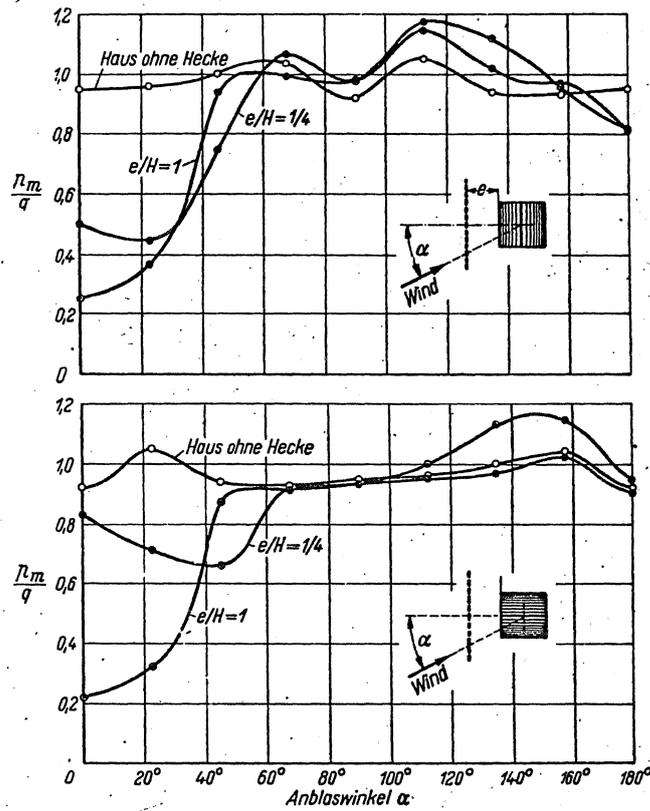


Abb. 10 und 11. Abhängigkeit der Schutzwirkung von dem Winkel zwischen Windrichtung und Symmetrieachse des Hindernisses

Auch für diese und einige entsprechende Versuchsreihen wurde der mittlere Druck  $p_m$  ermittelt und die Verhältniszahlen  $p_m/q$  über dem Anblaswinkel aufgetragen (Abb. 10 und 11). In beiden Abbildungen sind je drei Kurven gegenübergestellt, von denen eine für das „Haus ohne Hecke“ gilt, während die beiden anderen für zwei verschiedene Entfernungen der Hecke vom Haus bestimmt wurden. Bei der Entfernung  $e/H = \frac{1}{4}$  tritt das Haus erst bei größerem Winkel aus dem Windschatten der Hecke als bei der Entfernung  $e/H = 1$ . Bei

der Anblasung  $0^\circ$  ist die Schutzwirkung der Hecke für  $e/H = 1$  merklich größer als für  $e/H = \frac{1}{4}$ . Von Interesse dürfte auch die Erhöhung des mittleren Druckes auf das Haus sein, die bei rückwärtiger Anblasung ( $180^\circ$ ) durch das Vorhandensein der Hecke entsteht.

#### Literatur

- [1] *H. Blenk und H. Trienes*, Weitere Untersuchungen zur Saatgutsichtung in horizontalem und vertikalem Wind. Grundlagen der Landtechnik, Heft 2. VDI-Verlag 1951. S. 17.
- [2] *H. Blenk und H. Trienes*, Strömungstechnische Beiträge zum Windschutz. Grundlagen der Landtechnik, Heft 8 (2 Teile). VDI-Verlag 1956.
- [3] *G. Eiffel*, Nouvelles Recherches sur la Résistance de l'Air et l'Aviation. Paris 1914. S. 286.
- [4] *O. Flachsbart*, Winddruck auf geschlossene und offene Gebäude. — Winddruck auf Gasbehälter. — In: Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen. IV. Lieferung. München und Berlin 1932. S. 128 und 134.
- [5] *W. Kaufmann*, Technische Hydro- und Aeromechanik. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1954. S. 253.
- [6] *Chr. Nøkkentved*, Lævirkningsundersøgelser og Typebestemmelser af Læhegn. Hedeselskabets Tidsskrift 1938, Nr. 4.
- [7] *Gran R. Olsson*, Versuche über Winddruck auf Bauwerke. Bau-Ingenieur 15 (1934). S. 483.
- [8] *L. Prandtl und A. Betz*, Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen. III. Lieferung. München 1927. S. 157.