

INSTITUT FÜR BAUPHYSIK STUTT GART

Amtlich anerkannte Prüf stelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten

Früher Institut für Technische Physik

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. K. Gösele

B HO 3/73

Die Fenstersonde

- Ein neues Meßgerät zur Güteprüfung im Fensterbau -

B. Schwarz, D. Holz
Außenstelle Holzkirchen des INSTITUTS FÜR BAUPHYSIK
der Fraunhofer-Gesellschaft

1. Übersicht

Ein wesentliches Qualitätsmerkmal eines Fensters ist die Luftdurchlässigkeit der Fensterfugen. Nach DIN 18055 wird die Luftdurchlässigkeit durch einen Kennwert - den Wert des Fugendurchlaßkoeffizienten a - beschrieben. Der Kennwert sagt aus, welche Luftmenge in Kubikmetern je Stunde durch eine Fuge von einem Meter Länge strömt, wenn am Fenster eine Druckdifferenz von 1 kp/m^2 wirkt. Eine Umrechnung auf andere treibende Druckdifferenzen kann gemäß folgender Beziehung erfolgen:

$$V = a \cdot L \cdot \Delta p^n \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- V: der Luftvolumenstrom in m^3/h ;
- L: die Fugenlänge in m;
- Δp : die treibende Druckdifferenz in kp/m^2 ;
- n: ein Exponent, der bei Fenstern im allgemeinen $n = 0,66$ beträgt.

Die Größe des Fugendurchlaßkoeffizienten wird auf einem Prüfstand ermittelt. Dazu wird - wie aus Bild 1 hervorgeht - das Fenster dicht auf einen Kasten aufgespannt, in dessen Innenraum mittels eines Gebläses ein bestimmter Überdruck gegenüber der äußeren Atmosphäre einstellbar ist. Aus den ermittelten Wertepaarungen des Luftvolumenstromes und der treibenden Druckdifferenz kann gemäß

Gleichung (1) der a -Wert des Fensters bestimmt werden. Wenn man bei der üblichen Meßpraxis den gemessenen Luftvolumenstrom V auf die Fugenlänge L bezieht, geht man von der Voraussetzung aus, daß die Undichtigkeiten entlang der Fensterfuge gleichmäßig verteilt sind. Der auf diese Weise erhaltene, über die gesamte Fugenlänge gemittelte a -Wert reicht im allgemeinen aus, um die Luftdichtigkeit eines Fensters im Zusammenhang mit Fragen des Lüftungswärmebedarfes und des Raumklimas zu charakterisieren. In vielen Fällen sind jedoch darüber hinaus weitere Angaben über die Lage und Größe möglicher Leckstellen im Dichtungssystem des Fensters nötig. Diese Frage hat insbesondere dann eine Bedeutung, wenn auf Grund einer größeren örtlichen Undichtigkeit im Dichtungssystem (Punkt-Leckage) die Schlagregensicherheit oder die Schalldämmung des Fensters beeinträchtigt wird. Zur Lokalisierung und Beurteilung dieser Undichtigkeiten fehlten bislang geeignete Geräte. Die häufig angewandte 'Rauchprobe' liefert nur ein sehr oberflächliches Bild über die Verteilung der Leckstellen entlang der Fuge.

Neben qualitativen Aussagen sollten mit einem derartigen Gerät auch quantitative Angaben über den Grad der Undichtigkeit möglich sein. So besteht ein Interesse daran, Messungen an eingebauten Fenstern durchführen zu können, um z.B. die Wirkung nachträglich durchgeführter Abdichtungsmaßnahmen zu überprüfen oder das Alterungsverhalten von Fenstern unter praktischen Bedingungen zu untersuchen. Auch in der Fertigungsprüfung des Fensterbaus bieten sich für ein solches Gerät interessante Anwendungsmöglichkeiten.

2. Die Fenstersonde

2.1 Meßprinzip

Das Meßprinzip basiert darauf, das Strömungsprofil entlang einer durchströmten Fuge punktweise abzutasten. Aus den örtlichen Luftströmungen wird - unter Berücksichtigung der treibenden Druckdifferenz am Fenster - auf die Größe der örtlichen Fugendurchlaßkoeffizienten (örtliche a -Werte) geschlossen. Der schematische Meßaufbau geht aus Bild 2 hervor. Das Gerät besteht aus dem Meßfühler und einem Elektronik-Teil. Der Meßwert kann auf einem eingebauten Zeigerinstrument abgelesen oder auf Registriergeräten aufgezeichnet werden. Eine Ansicht des Gerätes vermittelt Bild 3.

Der Meßfühler besteht im Prinzip aus einem Rohr, welches am oberen Ende einen Meßwandler für eine Luftströmung enthält. Ein entsprechend geformter Fuß am unteren Ende des Rohres dient dazu, die aus einer Fuge auf einer begrenzten Länge (Meßlänge: 10 mm) ausströmende Luftmenge zu erfassen und dem Meßwandler zuzuführen. Der Wandler stellt ein nach dem Konstanttemperaturprinzip betriebenes Thermistor - Anemometer¹⁾ dar. Über eine elektronische Schaltung wird das Strömungssignal im Rohr in ein proportionales elektrisches Signal umgeformt. Auf dem Anzeigeinstrument des Gerätes kann unmittelbar die pro Zentimeter Fugenlänge ausströmende Luftmenge abgelesen werden.

2.2 Meßgenauigkeit

Bei der Entwicklung dieses Gerätes mußte zunächst in Laboruntersuchungen ermittelt werden, inwieweit Störeinflüsse eine Messung verfälschen können. Eine der wesentlichen Fragen dabei ist, ob durch das Ansetzen der Strömungssonde das Strömungsbild an der Fuge wesentlich verändert wird. Da die Strömungssonde für die Luftströmung auf dem Weg von außen durch die Fensterfuge nach innen einen zusätzlichen Widerstand darstellt, kann der Luftstrom an der jeweiligen Meßstelle gebremst und damit eine höhere Dichtigkeit der Fuge vorgetäuscht werden. Weiterhin war zu untersuchen, ob die Strömungsrichtung der Luft beim Austritt aus der Fensterfuge einen Einfluß auf das Meßsignal haben kann. Es ist denkbar, daß sich - abhängig von der Ausblasrichtung - im Meßrohr der angesetzten Fenstersonde unterschiedliche Strömungsverteilungen ausbilden können. Da der elektronische Meßwandler nur die jeweilige Luftgeschwindigkeit im Zentrum des Rohres erfaßt und diese als Maß für den Luftdurchsatz wertet, können bei unterschiedlichen Strömungsfeldern im Meßrohr erhebliche Fehler entstehen. Neben den genannten, durch die Strömungsvorgänge bedingten Störeinflüssen können noch weitere, durch das anemometrische Meßprinzip verursachte Einflüsse zu Meßfehlern

1) Bei diesem Meßprinzip wird als Wandler ein kleiner Halbleiter (Thermistor) verwandt, welcher durch einen elektronisch geregelten Heizstrom ständig auf einer konstanten Temperatur von etwa 120 °C gehalten wird. Da bei einer Anströmung des Wandlers der verstärkte Abkühleffekt durch eine höhere Heizleistung kompensiert wird, kann der Heizstrom als Maß für die Luftströmung gewertet werden. Durch eine Kompensationsschaltung wird der Einfluß wechselnder Lufttemperaturen ausgeschaltet.

führen, so zum Beispiel wechselnde Lufttemperaturen und Luftfeuchtigkeiten sowie Strahlungseinflüsse zwischen dem beheizten Meßwandler und seiner kälteren Umgebung. Die genannten Störeinflüsse sind jedoch durch geeignete Maßnahmen in Grenzen zu halten. So können die strömungsbedingten Störeinflüsse weitgehend dadurch ausgeschaltet werden, daß

durch die Wahl großer Öffnungsquerschnitte der Strömungswiderstand des Meßfühlers klein gehalten wird;

durch entsprechende Einbauten im Meßrohr des Fühlers - unabhängig von der Eintrittsrichtung der Luft - ein einheitliches Strömungsbild in der Nähe des elektronischen Meßwandlers entsteht.

Die durch das anemometrische Meßprinzip verursachten Fehler sind entweder so klein, daß sie unter den üblichen Meßbedingungen vernachlässigt werden können, (Einfluß wechselnder relativer Feuchtigkeit der Luft, Einfluß der Wärmestrahlung) oder diesen Störeinflüssen konnte durch elektrische Schaltungsmaßnahmen (Temperaturkompensation) begegnet werden.

Zahlreiche Vergleichsmessungen an Fenstern und an Modellfugen, welche nach der üblichen Kastenmethode (Bild 1) und der Sondenmethode (Bild 2) durchgeführt wurden, lieferten Aussagen über die unter praktischen Bedingungen möglichen Fehler. Die Messungen erbrachten keine Abweichungen zwischen den beiden Meßmethoden, welche auf systematische Fehler schließen lassen. Die mit der Fenstersonde zu erzielende Meßgenauigkeit hängt wesentlich davon ab, mit welcher Sorgfalt und mit welcher Schrittweite die örtlichen Luftströmungen entlang der Fuge abgetastet werden. Die Fehlergrenzen liegen bei einer sorgfältig ausgeführten Messung bei etwa $\pm 5\%$, was im Rahmen der hier üblichen Genauigkeitsanforderungen ausreichend ist.

2.3 Anwendung des Meßprinzips

2.3 1 Ermittlung des Strömungsprofils an Fugen

Beispiele für die Anwendung des beschriebenen Meßprinzips zur Aufnahme des Strömungsprofils entlang von Fensterfugen zeigen die Bilder 4 und 5. Die Messungen wurden unter konstanten Bedingungen auf einem Fensterprüfstand durchgeführt. Bild 4 verdeutlicht am Beispiel eines Drehkippfensters, in welchem Maße die Luftdurchlässigkeit entlang einer Fuge schwanken kann. Bei einem über die gesamte Fugenlänge des Fensters gemittelten a -Wert von 2,6 treten an der undichtesten Stelle Werte über $a = 10$ auf.

Aus einem in Bild 5 dargestellten Beispiel wird das Verhalten eines Schwingflügelfensters bei unterschiedlicher Wind-Druckbelastung ersichtlich. Mit steigendem Druck wird das Fenster unterhalb des Drehpunktes dichter, oberhalb dagegen wesentlich undichter. Eine Erklärung für dieses Verhalten ergibt sich aus der Konstruktion des Schwingflügelfensters: Mit steigendem Winddruck wird der Flügel unterhalb der Drehachse gegen die Dichtung gedrückt während der Flügel oberhalb von ihr abgedrückt wird.

Ähnlich wie bei dem dargestellten Beispiel kann z.B. die Wirkung elastischer Dichtungsprofile bei unterschiedlicher Druckbelastung untersucht werden.

2.3 2 Ermittlung des örtlichen Fugendurchlaßkoeffizienten

Führt man die Messungen mit der Sonde bei einem bestimmten, festgelegten Prüfdruck aus, so nehmen in Gleichung (1) folgende Ausdrücke konstante Werte an:

- Δp : konstantes Druckgefälle am Fenster
- L: konstante Meßlänge der Sonde von jeweils einem Zentimeter

Damit vereinfacht sich Gleichung (1) zu:

$$V = a \cdot C \quad (2)$$

mit C als einer Konstanten, die nur vom jeweiligen Prüfdruck abhängig ist. Die pro Zentimeter Fugenlänge ausströmende Luftmenge V kann damit unmittelbar als Maß für die örtliche Fugendurchlässigkeit

gewertet werden. Für einen vorgegebenen Prüfdruck kann demzufolge die Skala des Anzeigegerätes direkt in Werten des Fugendurchlaßkoeffizienten a geeicht werden. Eine entsprechend ausgeführte Skalenteilung wird in Bild 6 ersichtlich. Auf der Doppelskala können neben der pro Zentimeter Fugenlänge ausströmenden Luftmenge (untere Skala) auch die örtlichen a -Werte (obere Skala) für den festgelegten Prüfdruck unmittelbar abgelesen werden.

Neben der direkten Ablesemöglichkeit des a -Wertes bietet das Gerät den weiteren Vorteil einer Klassiermöglichkeit. An beliebigen Stellen der Skala können Grenzwertkontakte vorgesehen werden, die bei Überschreitung des entsprechenden Meßwertes ein Signal abgeben. Auf diese Weise können Undichtigkeiten an einem Fenster, die einen vorgegebenen Wert übersteigen, signalisiert und das Signal für Zwecke der Qualitätskontrolle ausgewertet werden.

Bemerkenswert an dem beschriebenen Prüfverfahren ist, daß das Meßergebnis nicht durch die Güte der Abdichtung zwischen Prüfkörper und Prüfvorrichtung beeinflußt wird. Da mit der Sonde an der Fuge die ausströmende Luftmenge erfaßt wird, gehen in das Meßergebnis nicht die Leckverluste der Prüfvorrichtung ein. Da die oft zeitraubenden Abdichtungsarbeiten beim Prüfvorgang entfallen können, eignet sich das Meßprinzip für eine Fertigungsprüfung im Fensterbau.

2.3 3 Messungen an eingebauten Fenstern

Das beschriebene Meßgerät kann auch zur Messung der Luftdurchlässigkeit eingebauter Fenster eingesetzt werden. Voraussetzung für die Messung ist jedoch ein konstantes Druckgefälle am Fenster. Dieses Druckgefälle kann z.B. dadurch künstlich erzeugt werden, daß der Raum selbst als 'Prüfkasten' benutzt und in ihm ein Unterdruck gegenüber der äußeren Atmosphäre aufrechterhalten wird. Das ist z.B. in der Weise zu erzielen, daß über eine Öffnung (Türöffnung) mittels eines Gebläses kontinuierlich Luft aus dem Raum abgesaugt wird. Gleichzeitig mit dem Abtasten des Strömungsprofils entlang der Fensterfuge muß bei dieser Messung auch das Druckgefälle am Fenster erfaßt werden. Das setzt einen relativ hohen meßtechnischen Aufwand voraus. Da eine Reihe von Störfaktoren das Meßergebnis verfälschen können, sollten derartige Messungen Prüfinstituten vorbehalten sein, die über ausreichende meßtechnische Erfahrungen verfügen.

3. Zusammenfassung

Mittels einer entwickelten Strömungssonde kann das Strömungsprofil entlang einer Fensterfuge erfaßt werden. Neben der Lokalisierung örtlicher Undichtheiten lassen sich mit dem beschriebenen Meßverfahren auch quantitative Aussagen über die Fugendurchlässigkeit (α -Werte) gewinnen. Interessante Anwendungsmöglichkeiten bieten sich in der Fertigungsprüfung des Fensterbaues und bei der Überprüfung eingebauter Fenster. Das Meßverfahren liefert - ergänzend zu den bisher üblichen Messungen an einem Fensterprüfstand - aufschlußreiche Aussagen über das Verhalten von Fenster und Dichtungssystem unter den praktischen Druckbelastungen.

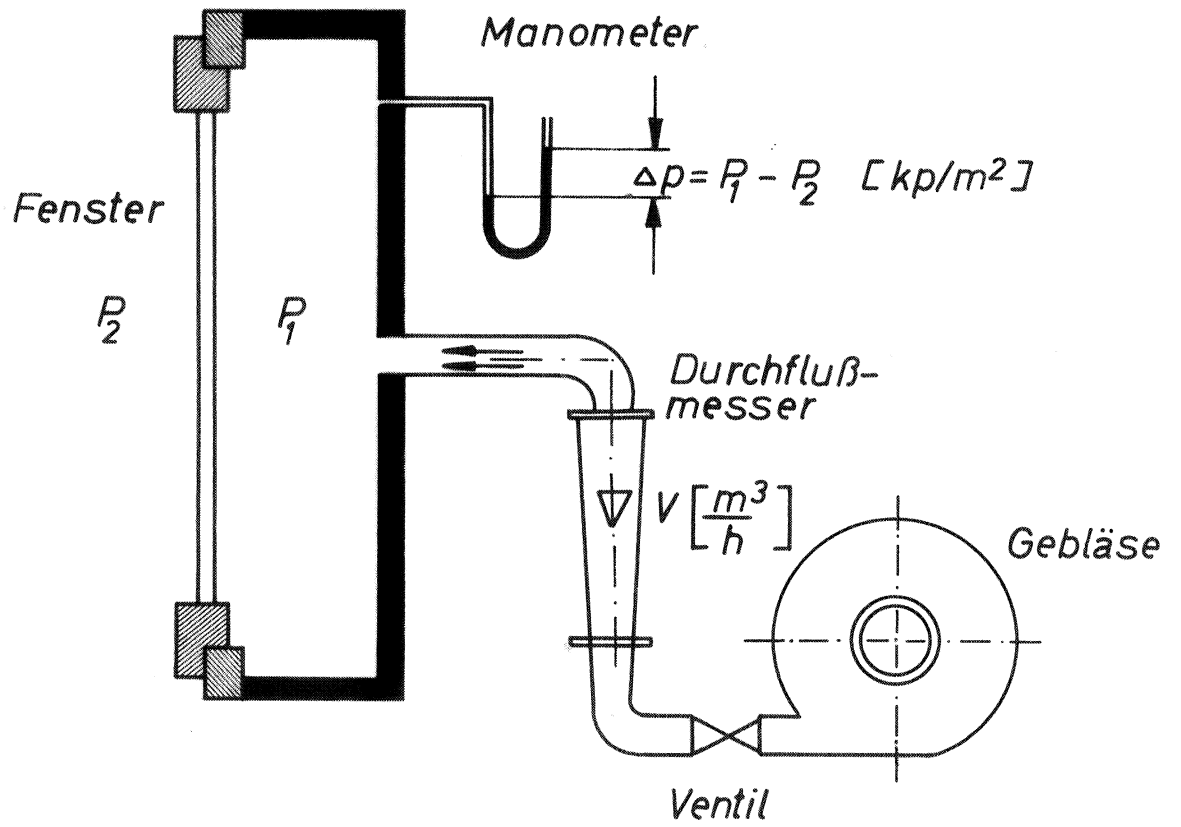


Bild 1 Schematische Darstellung eines Fensterprüfstandes.

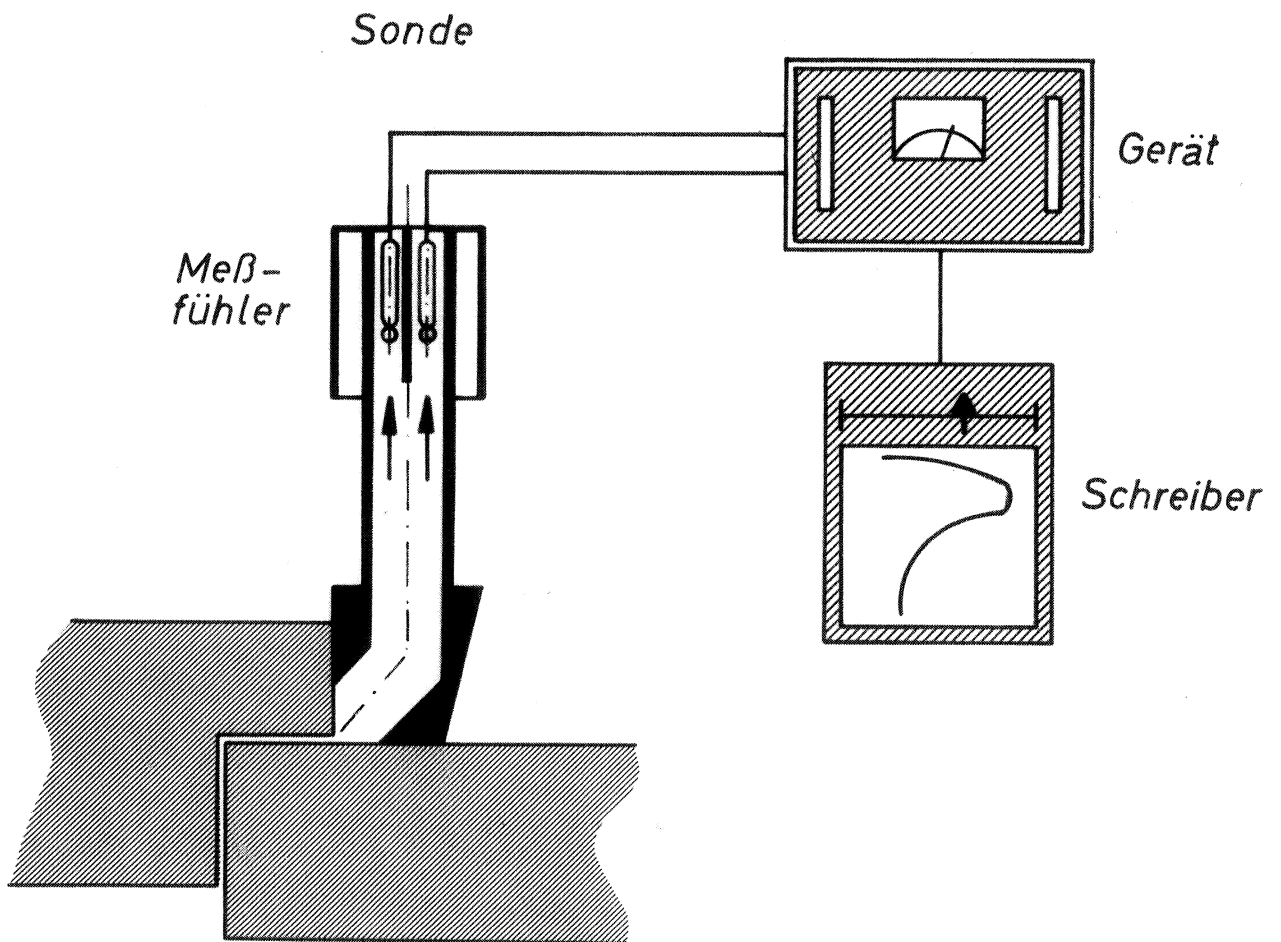


Bild 2 Fenstersonde.

Schematischer Meßaufbau.

Mit dem Meßfühler wird das Strömungsprofil entlang der Fensterfuge punktweise abgetastet. Der örtliche a -Wert kann auf dem Zeigerinstrument des Gerätes abgelesen oder auf einem Schreiber aufgezeichnet werden.

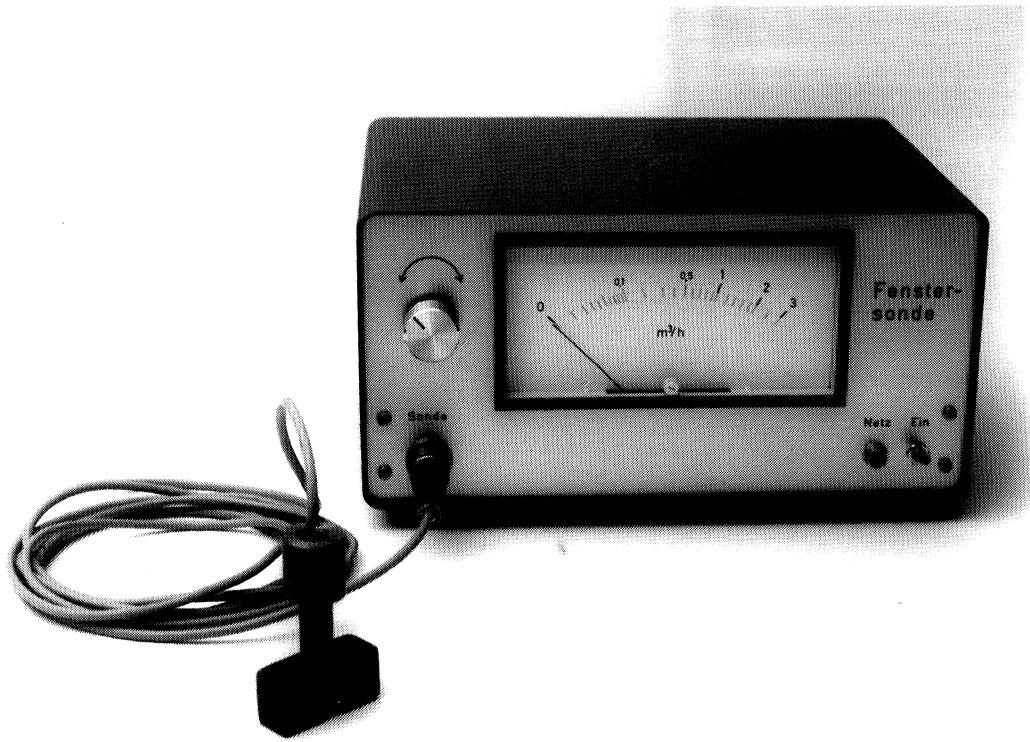


Bild 3 Fenster-sonde zur Erfassung der örtlichen Luft-durchlässigkeit von Fensterfugen.

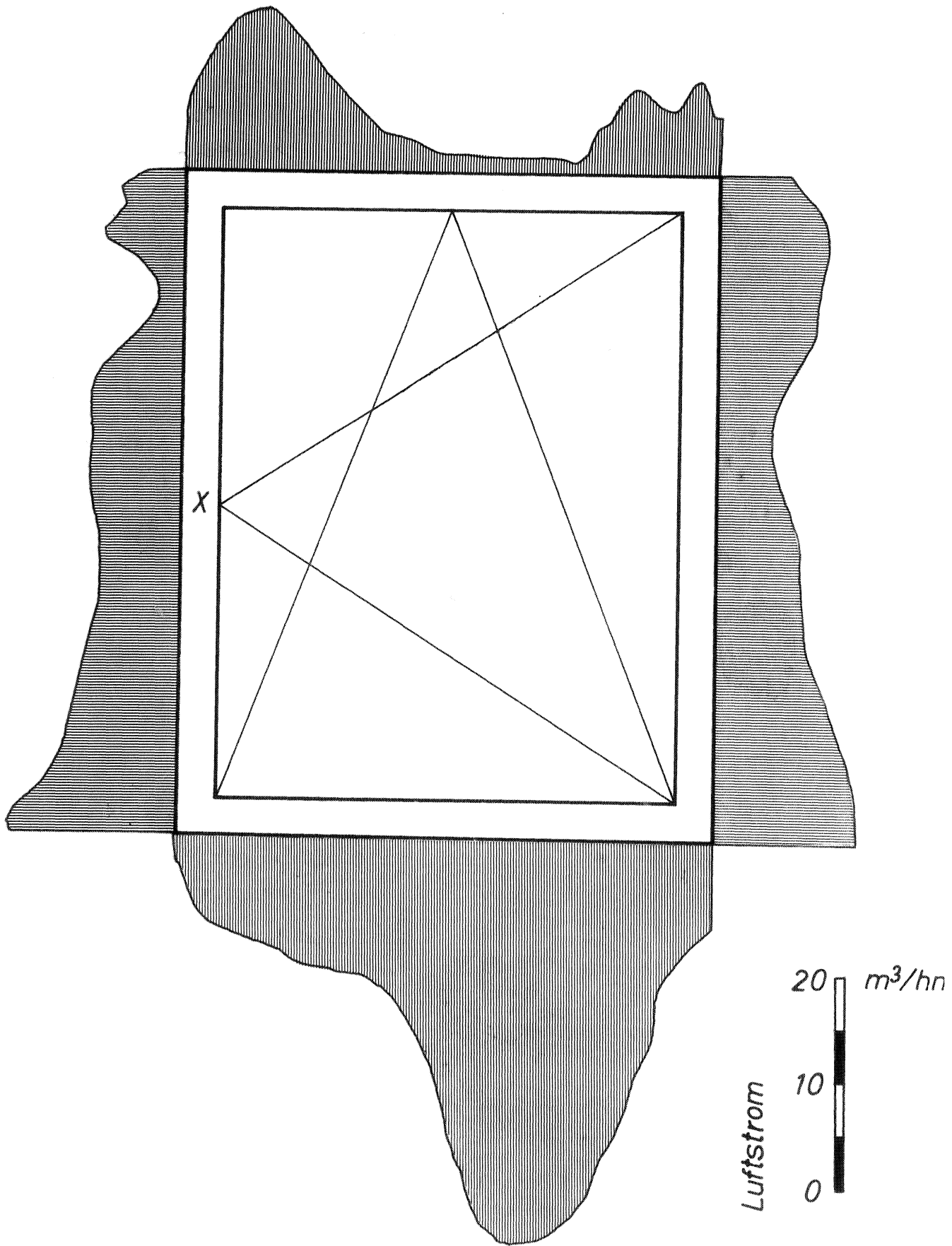


Bild 4 Strömungsprofil entlang der Fuge eines Drehkipp-Fensters bei einer Druckdifferenz von $\Delta p = 17 \text{ kp/m}^2$

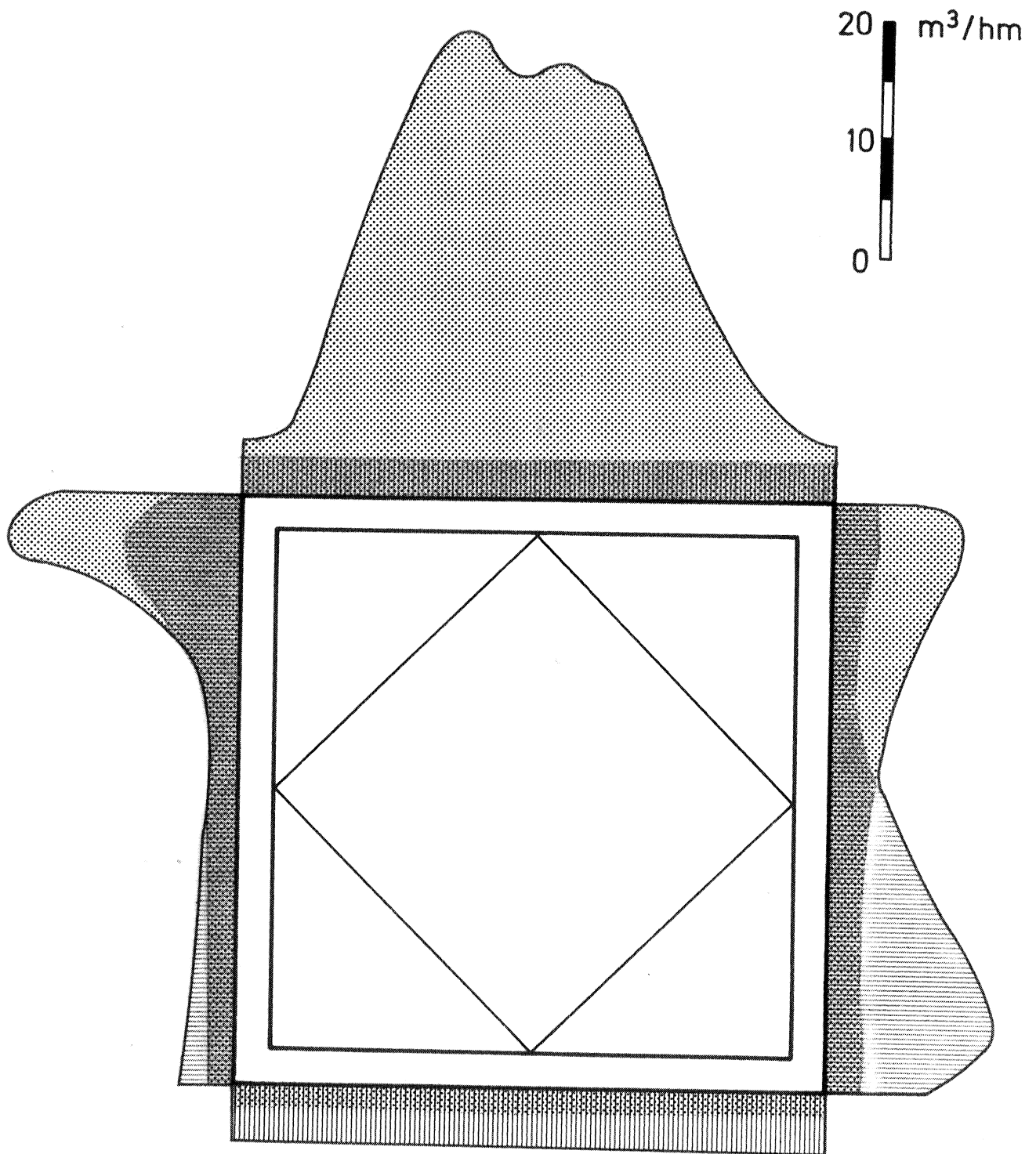




Bild 5 Strömungsprofile an der Fuge eines Schwingflügel-Fensters bei unterschiedlichen Druckbelastungen.

 Strömungsprofil bei $\Delta p = 60 \text{ kp/m}^2$

 Strömungsprofil bei $\Delta p = 15 \text{ kp/m}^2$

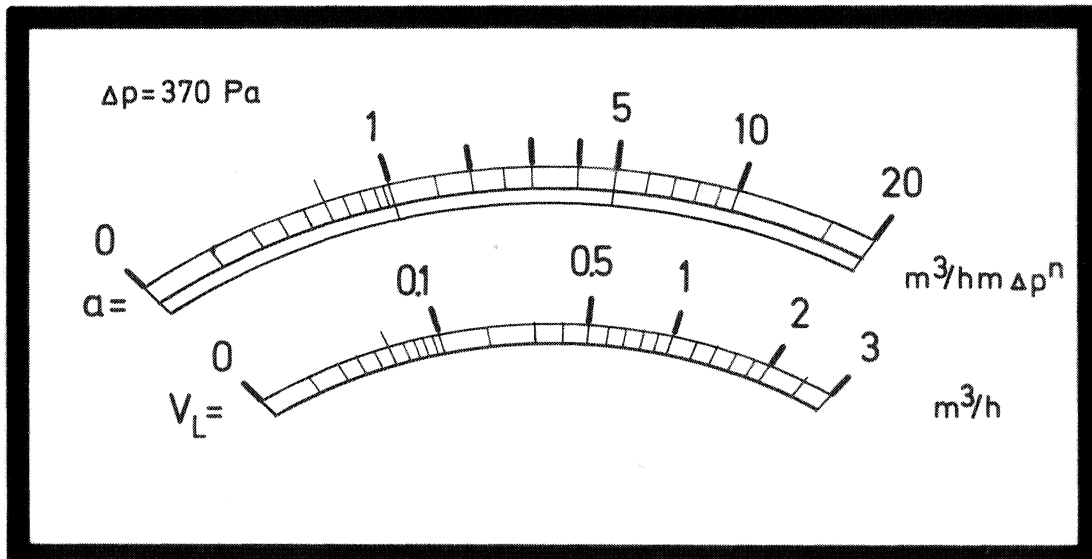


Bild 6 Skala der Fenstersonde zur direkten Ablesung
 des örtlichen Luftstromes (untere Skalenteilung)
 und des örtlichen a-Wertes (obere Skalenteilung)