

17 (1990) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

ÜBERREICHT VON:

Karl Dertis

Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik  
Universität Stuttgart, Postfach 801140, D-7000 Stuttgart 80

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Postfach 800469 | Postfach 1180  
D-7000 Stuttgart 80 | D-8150 Holzkirchen 1

K. Kießl, H. Leonhardt

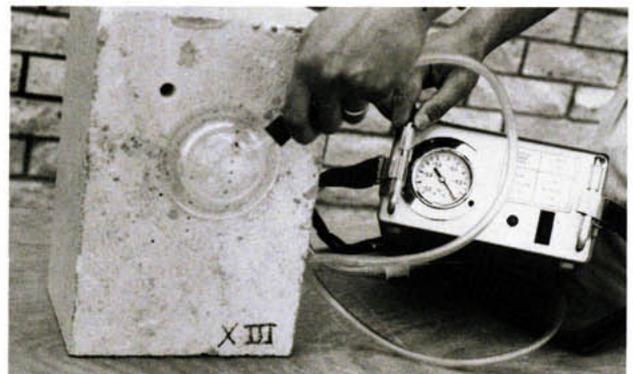
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## Einfache Messung der Diffusionsoffenheit von Gesteinsoberflächen vor Ort

Wesentliche Voraussetzung für einen ausgeglichenen Feuchtehaushalt von Außenwänden ist in den meisten praktischen Fällen eine relativ diffusionsoffene äußere Oberfläche. Durch Beregnung aufgesaugte, durch Eindiffundieren vom Innenraum her oder z.B. über Fugen, Risse usw. in das Bauteil gelangende Wassermengen können umso leichter und rascher wieder abgegeben werden, je geringer der Diffusionswiderstand der Oberflächenschicht ist. Dieses Thema ist bekanntlich bei üblichen Konstruktionen mit wasser-aufnahmefähigen Außenschichten, wie z.B. Putze, Steinverblendungen usw., aber auch bei der Sanierung von Natursteinverbänden in Denkmalobjekten von erheblicher Bedeutung. Besonders im letztgenannten Fall ergibt sich häufig die Frage, ob durch natürliche Verwitterung, durch Verkrustung und Verschmutzung oder infolge von Schutzmaßnahmen (z.B. Imprägnieren, Tränken) Verdichtungen der Steinoberfläche so weit eintreten, daß ein feuchtebedingtes Schädigungsrisiko nicht mehr auszuschließen ist. Eine einfache, zerstörungsfreie und vor Ort schnell durchzuführende Überprüfung der Diffusionsoffenheit bzw. der Verdichtung von Oberflächen poröser Baustoffe ist daher von praktischem Interesse, sei es zur vergleichenden Beurteilung der Oberflächenveränderung vor und nach speziellen Maßnahmen oder zur Abschätzung absoluter Porositäts- oder Durchlässigkeitswerte von Materialoberflächen. Aus diesem Grunde sind mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten einfachen Handgerätes systematische Untersuchungen an porösen Gesteinen durchgeführt worden, um die Tauglichkeit und die Aussagemöglichkeiten einer vereinfachten Messung einzugrenzen. Das Handgerät und erste Meßergebnisse für Natursteine werden im folgenden vorgestellt.

### Luftsauggerät

Die Durchströmbarkeit eines porösen Stoffes ist physikalisch verknüpft mit den Porositätseigenschaften und indirekt auch mit dem Diffusionswiderstand des Materials. Zur empirischen Bestimmung dieser Zusammenhänge ist ein einfaches und handliches Luftsauggerät gebaut und getestet worden, das einen schnellen, zerstörungsfreien Einsatz vor Ort erlaubt. Das Gerät besteht aus einer batteriebetriebenen Vakuumpumpe und einer daran angeschlossenen gläsernen Saugglocke. Die Vakuumpumpe und die Batterie sind in ein ca. 25x20x12 cm großes Gehäuse eingebaut. An der Frontseite des tragbaren Gerätes befindet sich eine Unterdruckanzeige als Meßskala. Bild 1 zeigt das Luftsauggerät und eine schematische Darstellung seiner Funktionsweise. Die Vakuumpumpe saugt Luft durch die Saugglocke an. Ist der Rand der Glocke mit Hilfe einer knetbaren Dichtungsmasse luftdicht an der Gesteinsoberfläche fixiert, so wird die Luft durch das Gestein im Randbereich der Glocke angesaugt. Der dabei abzulesende Unterdruckwert, der sich entsprechend der Förderleistung und dem Strömungswiderstand des Gesteins in einer Ringzone längs des Randes der Saugglocke einstellt, charakterisiert die Porositätsverhältnisse in diesem Bereich. Strenggenommen liegt hier ein mehrdimensionaler rotationssymmetrischer Strömungszustand vor, der zur Bestimmung des Strömungswiderstandes bzw. der Luftpermeabilität mit Hilfe numerischer Methoden analysiert werden müßte. Schichtungs- und Inhomogenitätseinflüsse des Gesteins würden diese aufwendigere Versuchsauswertung jedoch fragwürdig machen. Für praktisch ausreichende Beurteilungen des Durchlässigkeitsgrades der Oberfläche genügt eine Klassifizierung nach dem gemessenen Unterdruck. Dies könnte z.B. bei dem hier vorliegenden Gerät wie folgt geschehen:



Luftsauggerät

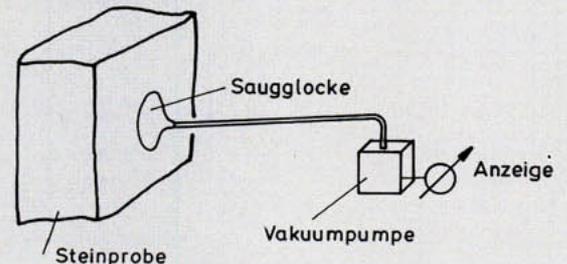


Bild 1: Das Luftsauggerät im Einsatz (oben) und schematische Darstellung des Funktionsprinzips (unten).

Die Durchströmbarkeit eines porösen Stoffes ist physikalisch verknüpft mit den Porositätseigenschaften und indirekt auch mit dem Diffusionswiderstand des Materials. Zur empirischen Bestimmung dieser Zusammenhänge ist ein einfaches und handliches Luftsauggerät gebaut und getestet worden, das einen schnellen, zerstörungsfreien Einsatz vor Ort erlaubt. Das Gerät besteht aus einer batteriebetriebenen Vakuumpumpe und einer daran angeschlossenen gläsernen Saugglocke. Die Vakuumpumpe und die Batterie sind in ein ca. 25x20x12 cm großes Gehäuse eingebaut. An der Frontseite des tragbaren Gerätes befindet sich eine Unterdruckanzeige als Meßskala. Bild 1 zeigt das Luftsauggerät und eine schematische Darstellung seiner Funktionsweise. Die Vakuumpumpe saugt Luft durch die Saugglocke an. Ist der Rand der Glocke mit Hilfe einer knetbaren Dichtungsmasse luftdicht an der Gesteinsoberfläche fixiert, so wird die Luft durch das Gestein im Randbereich der Glocke angesaugt. Der dabei abzulesende Unterdruckwert, der sich entsprechend der Förderleistung und dem Strömungswiderstand des Gesteins in einer Ringzone längs des Randes der Saugglocke einstellt, charakterisiert die Porositätsverhältnisse in diesem Bereich. Strenggenommen liegt hier ein mehrdimensionaler rotationssymmetrischer Strömungszustand vor, der zur Bestimmung des Strömungswiderstandes bzw. der Luftpermeabilität mit Hilfe numerischer Methoden analysiert werden müßte. Schichtungs- und Inhomogenitätseinflüsse des Gesteins würden diese aufwendigere Versuchsauswertung jedoch fragwürdig machen. Für praktisch ausreichende Beurteilungen des Durchlässigkeitsgrades der Oberfläche genügt eine Klassifizierung nach dem gemessenen Unterdruck. Dies könnte z.B. bei dem hier vorliegenden Gerät wie folgt geschehen:

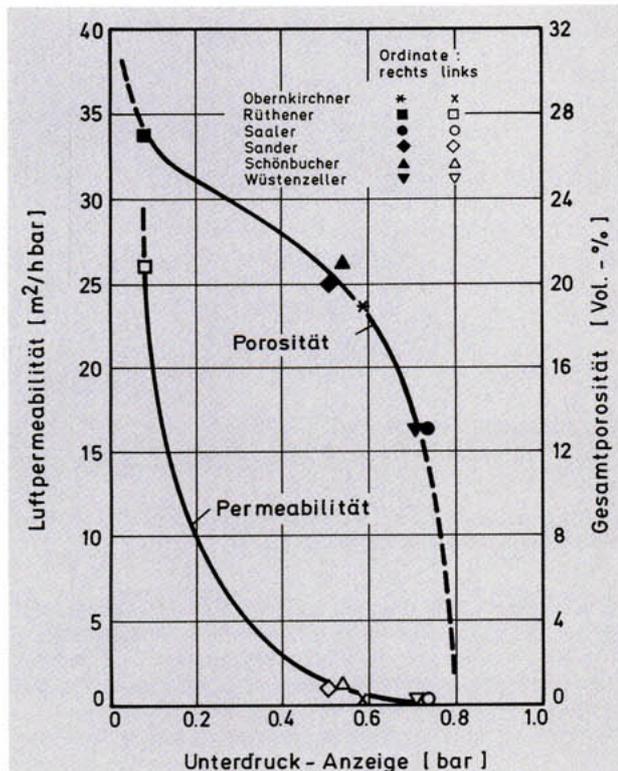
Unterdruck [bar]	bis 0,1	0,1 bis 0,5	0,5 bis 0,8	über 8
Durchlässigkeitsgrad	offen	stark durchlässig	schwach durchlässig	dicht

Bei vergleichenden Untersuchungen können gemessene Unterdruckwerte direkt gegenübergestellt werden. Darüber hinaus ist zu beachten, daß der Meßwert - wenn er als Gesteinskennwert interpretiert werden soll - von gerätespezifischen Größen wie Pumpenkennlinie und Saugglockengeometrie abhängt.

### Meßergebnisse und Korrelationen

Das Sauggerät ist zunächst an verschiedenen Natursteinarten (Obernkirchner, Rüthener, Saaler, Sander, Schönbucher, Wüstenzeller) getestet worden. Aus dem Spektrum der mit dem Handgerät gemessenen Unterdruckwerte für diese Sandsteinarten zeigt sich, daß die untersuchten Gesteine klar nach den Meßwerten bzw. nach Durchlässigkeitsgraden zu unterscheiden sind. Wie erwartet, besitzt der Rüthener Sandstein mit geringstem Unterdruckwert (0,075 bar) den geringsten Durchströmungswiderstand und somit die höchste Durchlässigkeit für gasförmige Medien. Er ist nach der vorgeschlagenen Klassifizierung als „offen“ einzustufen. Die dichtesten Gesteine der vorgegebenen Auswahl sind nach den gemessenen Unterdruckwerten der Saaler (0,73 bar) und der Wüstenzeller (0,71 bar). Sie können als „schwach durchlässig“ klassifiziert werden. Der Einfluß der Schichtung auf die Durchlässigkeit ist - methodisch bedingt - kaum feststellbar. Es ist von einem Mittelwert auszugehen, da sich bei der Durchströmung des Gesteins unter dem Saugglockenrand Strömungsanteile senkrecht und parallel zur Schichtung in jedem Fall überlagern. Die einfache Durchlässigkeitsmessung mit der Saugglocke ermöglicht eine qualitative Beurteilung der Oberflächendurchlässigkeit und zerstörungsfreie vergleichende Untersuchungen am Bauobjekt.

Die Versuche zur Korrelation der Unterdruckwerte mit Labormesswerten verwandter Stoffeigenschaften, wie Luftpermeabilität, Gesamtporosität oder Diffusionswiderstand, sind in den **Bildern 2 und 3** ausgewertet. Die mit Hilfe eines eindimensionalen Durchström-

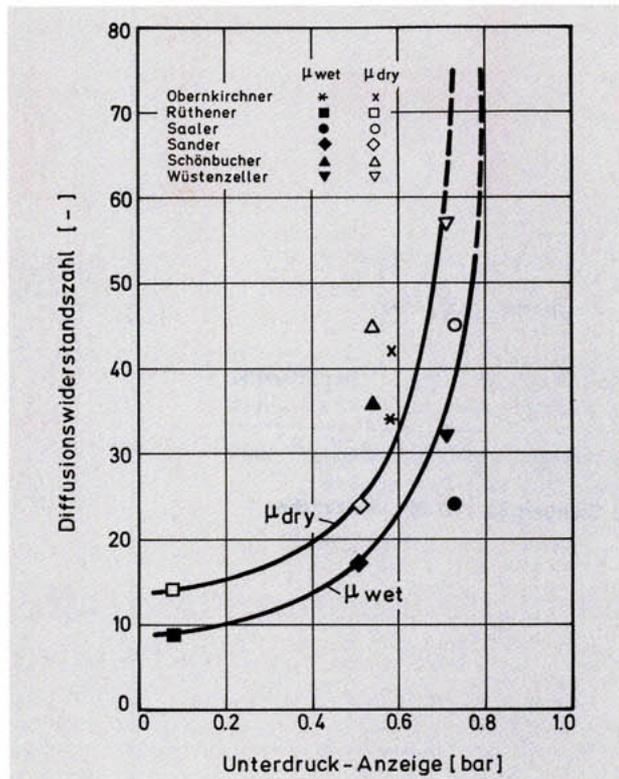


**Bild 2:** Korrelationen zwischen Unterdruckwert und Luftpermeabilität bzw. Gesamtporosität für verschiedene bruchfrische Natur-sandsteine. Schichtungseinflüsse sind als Mittelwerte erfaßt.

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert.



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK  
 Leiter: o.Prof. Dr. Dr. h.c. Karl Gertis  
 7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel.(0711)970-00  
 8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024)643-0



**Bild 3:** Korrelationen zwischen Unterdruckwert und Wasserdampf-diffusionswiderstandszahl im Trocken- und Feuchtbereich für verschiedene bruchfrische Natur-sandsteine. Schichtungseinflüsse sind als Mittelwerte erfaßt.

$\mu_{dry}$ : Diffusionswiderstandszahl, ermittelt zwischen 5 % und 50 % relativer Luftfeuchte

$\mu_{wet}$ : Diffusionswiderstandszahl, ermittelt zwischen 50 % und 100 % relativer Luftfeuchte

ungsversuches im Labor bestimmte Luftpermeabilität zeigt gemäß **Bild 2** einen ausgeprägten hyperbolischen Zusammenhang mit den Unterdruckwerten. Dabei sind Unterdrücke  $< 0,1$  und  $> 0,75$  bar nicht mehr aussagekräftig, dazwischen ist die Korrelation befriedigend. Ein empirischer Zusammenhang zwischen Unterdruck-Anzeige und Gesamtporosität deutet sich - entsprechend Meßwerten und theoretischen Überlegungen - nach der in **Bild 2** skizzierten Art an. Weiterführende Interpretationen, wozu die komplexen Vorgänge bei der Durchströmung poröser Stoffe eingehender betrachtet werden müßten, können aufgrund dieser ersten Messungen nicht erfolgen. Dies ist auch nicht Ziel der vereinfachten Durchlässigkeitsuntersuchung. Geht man in erster Näherung von der Gültigkeit des empirisch gewonnenen Zusammenhangs Unterdruck/Gesamtporosität für das Luftsauggerät aus, so lassen sich mit praktisch ausreichender Genauigkeit vergleichende Abschätzungen der Gesteinsporosität bzw. deren Änderungen im Bereich von etwa 0,1 bis 0,75 bar Unterdruck, das entspricht Porositäten von ca. 10 bis knapp 30 Vol.-%, durchführen.

Auch der Versuch, den Unterdruckwert mit dem Diffusionswiderstand zu korrelieren, liefert gemäß **Bild 3** noch akzeptable Ergebnisse, was die Tendenz und erste Aussagen über die Größenordnung des  $\mu$ -Wertes angeht. Die Unterscheidung nach dem Feuchtezustand der Gesteinsoberfläche - je nach Ausgleichszustand  $\mu_{dry}$  für relativ trockene,  $\mu_{wet}$  für etwas feuchtere, nicht aber für nasse Oberflächen - erscheint zumindest tendenziell möglich. Allerdings gelten auch hier, wie bei der Interpretation nach Luftpermeabilität und Gesamtporosität, dieselben praktischen Aussagegrenzen im Bereich zwischen 0,1 und 0,75 bar Unterdruck-Anzeige, entsprechend  $\mu$ -Werten von ca. 10 bis 70.

Herstellung und Druck:  
 SDSC, Informationszentrum RAUM und BAU  
 der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart  
 Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des  
 Fraunhofer-Instituts für Bauphysik