

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 65 (1947)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Neue Methoden für die Bestimmung der Zementfeinheit  
**Autor:** Guye, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-55834>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Tabelle 1: Minimale kritische Ausbeulspannungen

Fall	Elastischer Bereich min $\sigma_K$	Plastischer Bereich min $\sigma_K$
III	$1,154 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$	$0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [0,992 + 0,285 \sqrt{\tau}]$
IV	$3,615 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$	$0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [3,000 + \sqrt{\tau}]$
V	$6,301 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$	$0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [5,722 + 1,25 \sqrt{\tau}]$
VI	$4,881 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$	$0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [4,265 + 1,135 \sqrt{\tau}]$

Fall II:  $K_2 = 1,5$  (für den elastischen und plastischen Bereich)

Fall III bis VI:  $K_2 = 1,0$  (für den elastischen Bereich)  
 $K_2 = 1,2$  (für den plastischen Bereich)

Während für den Fall II, in welchem nur immer eine Halbwellen ausgebildet wird,  $\sigma_K$  nach Gleichung (2) bestimmt werden muss, genügt für die Fälle III bis VI die Bestimmung der minimalen kritischen Ausbeulspannung

$$(3) \quad \min \sigma_K = \frac{\pi^2 E \sqrt{\tau}}{12(1 - \bar{m}^2)} \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \left[ p \frac{1 + \sqrt{\tau}}{2} + 2\sqrt{q} \right]$$

Dabei sind  $\alpha_0$  und  $\alpha'$  nach Bild 3

$$(4) \quad \alpha_0 = n \sqrt{K_2} \sqrt[4]{\frac{\tau}{q}}$$

$$(5) \quad \alpha' = \sqrt{K_2} \sqrt[4]{\frac{\tau}{q}} \sqrt{n(n+1)}$$

Mit  $\bar{m} = 0,3$  und durch Einführung der Koeffizienten  $p$  und  $q$  erhält man aus Gleichung (3) die in Tabelle 1 angegebenen Werte. Für den Fall II ergibt sich dabei folgende Gleichung mit  $K_2 = 1,5$ :

$$(6) \quad \sigma_K = \left\{ 1,3557 \left(\frac{b}{a}\right)^2 \tau + 0,384 \frac{\tau + \sqrt{\tau}}{2} \right\} E \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$$

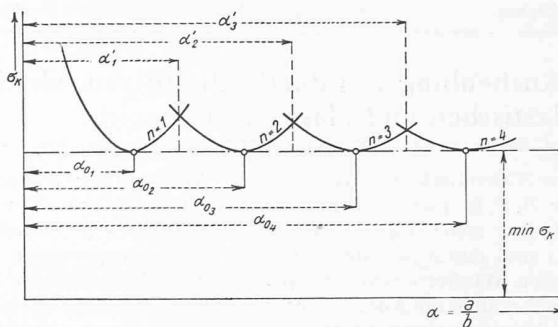


Bild 3

Damit sind dem Konstrukteur für durch einseitigen gleichmässig verteilten Druck beanspruchte Platten einfache Formeln gegeben, mit denen er leicht die kritische Ausbeulspannung bestimmen kann.

Im Gegensatz zum elastischen Bereich mit  $\tau = 1$ , für den die Gleichung (1) mit den Formeln von Bleich<sup>6)</sup> (orthogonale anisotrope Platte) und Chwalla<sup>7)</sup> (orthogonale isotrope Platte) übereinstimmt, wo ohne weiteres die minimale kritische Ausbeulspannung der Fälle III bis VI oder für den Fall II die kritische Ausbeulspannung bestimmt werden kann, ist die Berechnung dieser Spannungen im plastischen Bereich insofern komplizierter, als die Knickzahl  $\tau$  eine durch die  $\tau$ -Linie bestimmte Funktion von  $\sigma_K$  ist. Hier genügt bei guter Schätzung von  $\tau$  eine dreimalige Wiederholung der Rechnung<sup>5)</sup>. Wie aus Bild 4 hervorgeht, haben die Versuche eindeutig bewiesen, dass sich die Platten orthogonal anisotrop verhalten. Bild 5 zeigt einen Versuch, bei dem die Kanten a beiderseits fest eingespannt waren (Fall V). Die Platte beulte in sechs Wellen aus.

<sup>6)</sup> F. Bleich: Theorie und Berechnung der eisernen Brücken, Berlin 1924, S. 216. Verlag von Julius Springer.

<sup>7)</sup> E. Chwalla: Das allgemeine Stabilitätsproblem der gedrückten, durch Randwinkel verstärkten Platte. «Ingenieur-Archiv», V. Band, 1934, S. 54.

## Neue Methoden für die Bestimmung der Zementfeinheit

DK : 660.955.3

Von F. GUYE, Ingenieur-Chemiker, S. I. A., Leiter der Prüfungs- und Forschungsanstalt der Zementfabrik Holderbank-Wildegg A.-G.

### I. Allgemeines

Die Mahlfeinheit der hydraulischen Bindemittel beeinflusst nicht nur die Festigkeiten des daraus angefertigten Mörtels und Betons, sondern auch sein Schwinden, seine Hydratationswärme, Wasserdurchlässigkeit, Wasserlöslichkeit, Frostbeständigkeit und weitere seiner Eigenschaften. Sie bildet also für den Zement einen grundlegenden Qualitätsbegriff. Eine sorgfältige und genaue Feinheitbestimmung ist deshalb von grosser Wichtigkeit [1]<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Bei der fortschreitenden technischen Entwicklung der Zementherstellung genügt heute die bis jetzt gebräuchliche Siebmethode nicht mehr. Tatsächlich gleiten beim normalen Sieb von 4900 Maschen pro cm<sup>2</sup> (Maschenweite 88  $\mu$ ) mehr als 90 % des Materials durch die Maschen und gerade darunter befinden sich die aktiven Teilchen des Zementes.

Andererseits können bei der Siebung die Prüfergebnisse merkliche Unterschiede aufweisen, je nachdem ob das Sieben von Hand oder mit der Maschine erfolgt und je nach der Art der verwendeten Siebweben.

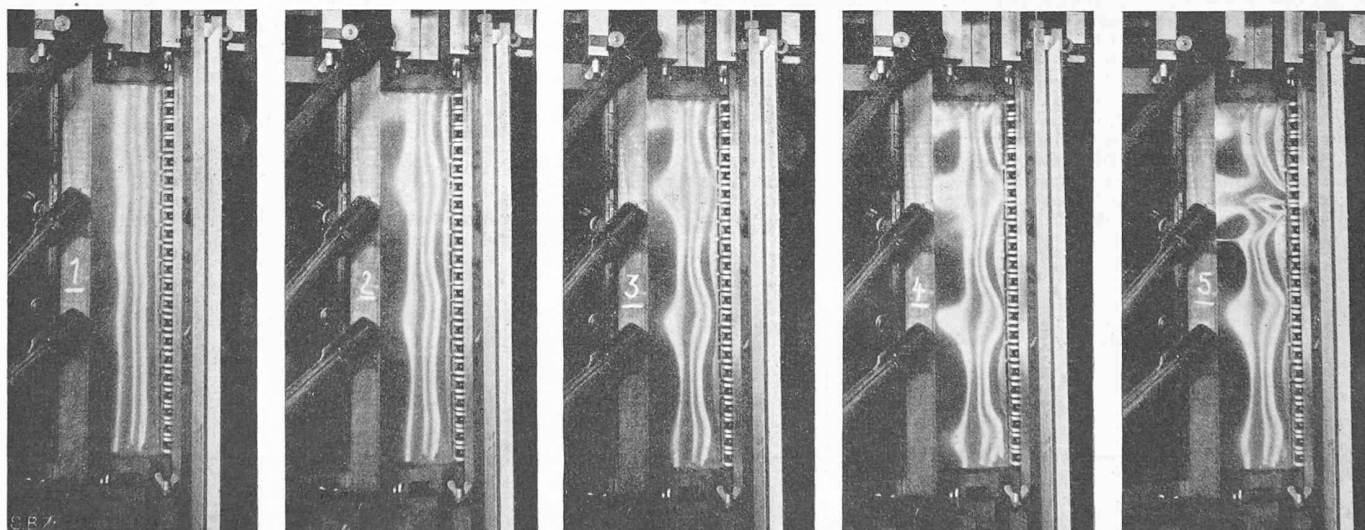


Bild 5. Kanten a beidseits fest eingespannt. Fall V:  $b = 9,4$  cm,  $a = 40,0$  cm,  $d = 0,1$  cm. Ausbeulung in sechs Wellen

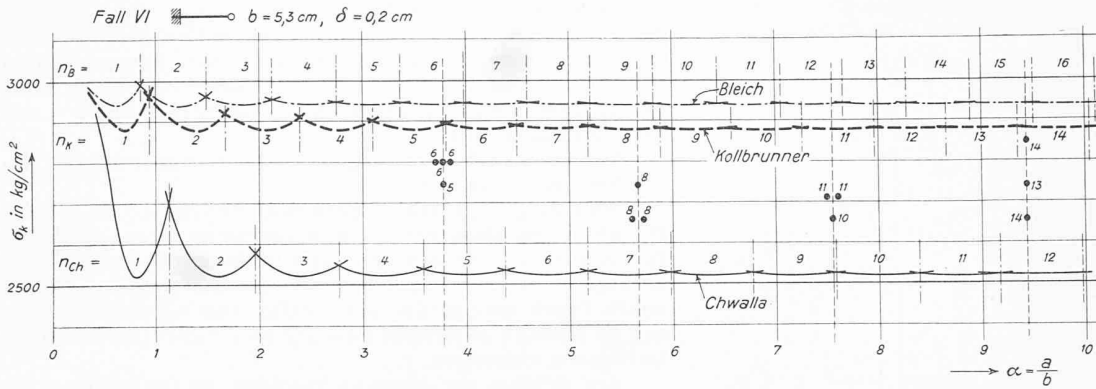


Bild 4

II. Neue Forschungsmethoden

Aus diesen Gründen hat man schon lange versucht, bei der Zementuntersuchung Methoden der mechanischen Zerlegung einzuführen, die über die granulometrische Zusammensetzung des untersuchten Materials Aufschluss geben. So sind in verschiedenen Forschungsanstalten mit Erfolg folgende Methoden angewendet worden:

1. die Schlämm-Analyse [2],
2. die Methode mittels Trübungsmesser und
3. die Windsichtung oder Flurometrie.

Diese drei Verfahren stützen sich auf das Gesetz vom freien Fall fester Körper in einem bestimmten Medium. Hierbei gibt das Gesetz von Stokes Aufschluss über die Grösse der Fallgeschwindigkeit als Funktion des Durchmessers des Körpers, seines spezifischen Gewichtes, sowie der Zähigkeit des Mediums. In der Form, in der das Gesetz für die Gröszenordnung der in unserem Fall wichtigen Teilchen noch gültig ist, lautet es [3]:

$$v = \frac{1}{18} d^2 \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\eta} g$$

Dabei sind:

- $v$  die Fallgeschwindigkeit der Teilchen in cm/s,
- $d$  der Durchmesser der Teilchen in cm,
- $\gamma_1$  das spezifische Gewicht der Teilchen in gr/cm<sup>3</sup>,
- $\gamma_2$  das spezifische Gewicht der umgebenden Flüssigkeit in gr/cm<sup>3</sup>,
- $\eta$  die Zähigkeit der Flüssigkeit in gr/s cm,
- $g$  die Erdbeschleunigung in cm/s<sup>2</sup>.

Die Schlämm-Analyse kann aus praktischen Gründen nur im Forschungslaboratorium durchgeführt werden, dagegen findet die granulometrische Untersuchung mit Hilfe des Trübungsmessers von Wagner und des Windsichters (Flurometers) in der Bindemittelindustrie immer weitere Verbreitung.

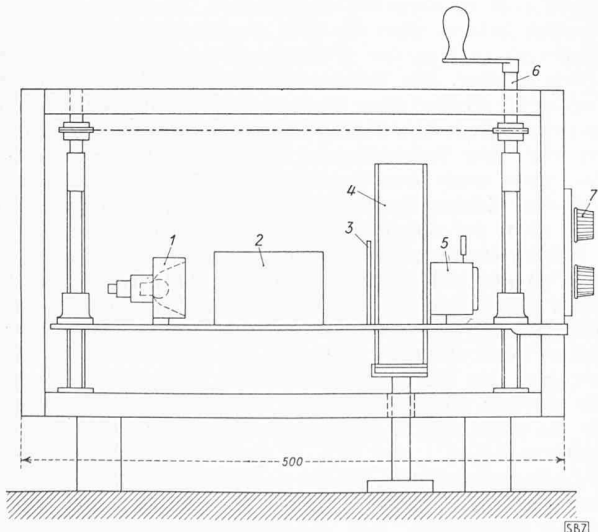


Bild 1. Trübungsmesser von Wagner. 1 Lichtquelle, 2 Wasserschirm, 3 Diaphragma, 4 Sedimentations-Gefäss, 5 Photozelle, 6 Höheneinstellung, 7 Verstellknöpfe der el. Regulierwiderstände

III. Der Trübungsmesser von Wagner [4]

Diese Prüfungsmethode ist in den Vereinigten Staaten entwickelt worden und zwar mit solchem Erfolg, dass sie Ende September 1940 in die Normen dieses Landes aufgenommen wurde. Der Apparat ist nach folgendem Prinzip aufgebaut (Bild 1):

Von einer konstanten Lichtquelle 1 aus fällt ein Lichtstrahl

durch ein langes, rechteckiges Glasgefäss 4 (Sedimentationsgefäss), das eine Suspension von Zement in gereinigtem Petroleum enthält. Der Lichtteil, der durch die Suspension absorbiert wird, entspricht deren Trübung, die ihrerseits von der spezifischen Oberfläche (cm<sup>2</sup>/gr) des Zementes abhängt. Mit einer photo-elektrischen Zelle 5 wird die Stärke des Lichtstrahls, der noch durch das optische System des Apparates hindurchdringt, gemessen.

Die Trübung entspricht der Gleichung:

$$T = \log. \frac{I_0}{I}$$

worin:

- $T$  die durch den Zement verursachte Trübung bedeutet,
- $I_0$  die Stärke des Lichtstrahls, der die klare Flüssigkeit durchdringt und
- $I$  die Stärke des Lichtstrahls, der die Suspension durchdringt.

Die spezifische Oberfläche eines Zementmusters, das Teilchen vom Durchmesser  $d$  enthält, lässt sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$S_d = c (\log. I_0 - \log. I_d)$$

wobei  $c$  einen Faktor darstellt, der von dem zu untersuchen Material abhängt. Die gesamte spezifische Oberfläche eines Zementmusters wird ermittelt durch Integrieren der elementaren spezifischen Oberflächen der einzelnen Teilchengrössen.

Es muss anerkannt werden, dass der Begriff der spezifischen Oberfläche einleuchtet, denn er bildet den Ausdruck der Synthese des granulometrischen Aufbaues der Zemente und die Methode an und für sich ermangelt nicht einer gewissen Eleganz. Dagegen ist die Apparatur für ein Werk-Laboratorium reichlich kompliziert; Unterhalt, Handhabung und Betrieb der verschiedenen Teile beanspruchen viel Zeit und grosse Sorgfalt.

IV. Der Windsichter Pearson & Sligh [5], Bauart Holderbank

In Europa wird der Windsichter (auch Flurometer genannt) dem Trübungsmesser vorgezogen, weil seine Bauart und Handhabung einfacher sind und mit ihm doch mindestens so genaue Ergebnisse erzielt werden können.

Bei der Fabrikationskontrolle wird mit Hilfe des Windsichters ein einziger Punkt der granulometrischen Kurve eines Zementes ermittelt. Dies genügt zur Bestimmung der Zementfeinheit, denn diese Bestimmung erfolgt auf Grund des allgemeinen Gesetzes von Rammler und Rosin [6] über die Kornverteilung fester, homogener, pulverisierter Körper, die wiederum ganz unabhängig von der Art der Vermahlung ist. Das genannte Gesetz lautet:

$$R = 100 e^{-bx^n}$$

Dabei bedeutet:

- $R$  den Rückstand in % der Teilchen, die grösser als  $x$  sind,
- $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen,
- $x$  den Durchmesser der Teilchen in  $\mu$ ,
- $b, n$  sind Materialkonstanten.

Dieses Gesetz, dessen Anwendung auf Zement mehrfach überprüft worden ist, macht eine vollständige, granulometrische Untersuchung des Zementmusters, oder die Berechnung seiner spezifischen Oberfläche überflüssig. Es genügt, den

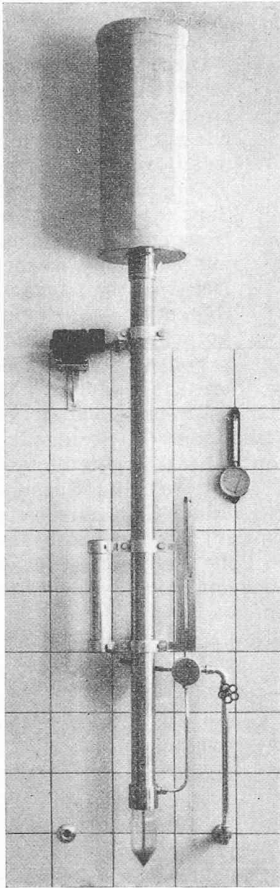


Bild 2. Windsichter Pearson & Sligh, Bauart Holderbank

dass theoretisch alle Teilchen, deren Durchmesser unter einem bestimmten Grenzwert  $x$  liegen, in der Schwebe gehalten werden. Hierzu wird das Zementmuster am untern Ende des Rohres eingeführt und die Luft durch eine Düse dicht darüber eingeblasen, wodurch alle Zementteilchen aufgewirbelt werden. Diejenigen Teilchen, deren Durchmesser kleiner ist als  $x$  und deren Fallgeschwindigkeit infolgedessen geringer ist als die Geschwindigkeit des bestehenden Luftstromes, bewegen sich im Sichterrohr nach oben. Die Teilchen hingegen, deren Durchmesser grösser ist, als der Grenzwert  $x$ , bleiben im Glasbehälter am Boden des Rohres zurück

Die für die Windsichtung gewählte Grenzkorngrösse beträgt  $30 \mu$ ; sie entspricht ungefähr der mittleren Korngrösse eines Portlandzementes von normaler Mahlfeinheit.

In der Schweiz verwendet man den Windsichter von Pearson & Sligh, der in der Zementfabrik Holderbank-Wildegg A.-G. auf vollständig automatischen Betrieb ausgebaut worden ist. Wie aus Bild 3 ersichtlich, besteht dieser Apparat aus einem 1,5 m langen Messingrohr T von 55 mm Durchmesser, dessen Innenwände glatt poliert sind. An seinem untern Ende wird mit einem Bronzering B ein zylindrischer Glasbehälter G mit konischem Abschluss befestigt.

Die Luft strömt unter leichtem Ueberdruck durch ein Messingröhrchen N, das vom untern Ende des grossen Rohres T in den Glasbehälter hineinreicht; sie tritt dort durch eine sorgfältig bearbeitete Düse D von 2 mm Durchmesser dicht über dem Boden von G aus, verteilt sich gleichmässig über den ganzen Querschnitt und strömt langsam durch das Rohr T nach oben.

Zur Regelung der Luftströmung dient ein Drosselschieber H und ein besonderer Druckregler R. Dieser besteht lediglich aus einem mit Wasser gefüllten Gefäss, in das ein mit der Luftleitung verbundenes Glasrohr auf eine bestimmte, dem gewünschten Druck entsprechende Tiefe eintaucht. Der eingestellte Druck wird an einem Manometer M gemessen (U-Rohr mit Wasser) und für die Dauer der Messung konstant gehalten. Ein kleiner Ventilator, wie er für die gewöhnlichen Staubsauger verwendet wird, liefert die Druckluft.

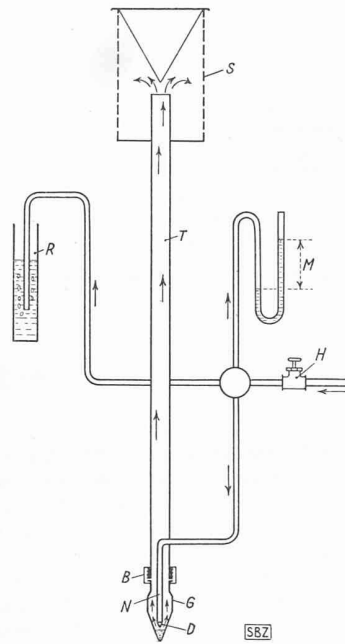


Bild 3. Schema zu Bild 2. Bezeichnungen im Text

Anteil an Körnchen einer bestimmten Grösse zu ermitteln, um nachher die Feinheit des gesamten Musters genau festlegen zu können.

Der Aufbau des Windsichters (Flurometer) ist einfach (Bild 2). In einem senkrechten Rohr wird ein aufsteigender, gleichmässiger Luftstrom erzeugt, dessen Geschwindigkeit so gehalten wird,

Zwei automatische Hämmer, die durch einen kleinen Motor angetrieben werden und fortwährend an das Sichterrohr klopfen, verhindern das Anhaften von feinsten Staubteilchen an den Innenwänden des Rohres. Am obren Ende des Apparates hält ein mit Flanell überzogener Filter S den Zementstaub zurück.

Die Feinheitsbestimmung mit diesem Apparat geht folgendermassen vor sich:

Man wiegt 5 gr gut getrockneten Zement ab, füllt diese Menge in den Glasbehälter ein und befestigt diesen am Apparat. Nun setzt man den Ventilator in Gang, öffnet den Regulierhahn H bis das Manometer den vor der Messung festgelegten Druck anzeigt und sorgt dafür, dass während der ganzen, 25 Minuten dauernden Messung im Druckregler R ständig Luftblasen aufsteigen.

Am Schluss der Messung verbleibt im Glasbehälter ein Rückstand, der sich aus Teilchen mit einem Durchmesser von mehr als  $30 \mu$  zusammensetzt. Das Gewicht dieses Rückstandes, in Prozenten ausgedrückt, gibt Aufschluss über die Feinheit des Zementmusters; man bezeichnet diese Zahl als «Flurometrie» des betreffenden Zementes.

Zur Bestimmung des für die Windsichtung notwendigen Luftdruckes, der sich nach dem Feuchtigkeitsgehalt und der Temperatur der Luft richtet, verwendet man ein Eichmehl, dessen «Flurometrie» zuvor mit dem Mikroskop ermittelt wurde. Dieses Kontrollmehl besteht aus Flusspat, einem Material, das weder durch die Feuchtigkeit noch durch die Kohlensäure der Luft beeinflusst wird und dessen spezifisches Gewicht demjenigen von Portlandzement gleicht.

Der Windsichter von Pearson & Sligh, Bauart Holderbank, wird in verschiedenen Zementfabriken und Laboratorien regelmässig verwendet und arbeitet in vollständig befriedigender Weise. Er ist daher durch den Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten zur Aufnahme in die Schweizer Normen zur Prüfung von Portlandzement angenommen, vorläufig aber noch nicht als obligatorisch erklärt worden.

#### Literatur-Verzeichnis

- [1] Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten, Jahresbericht 1943.
- [2] Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten, Jahresbericht 1937.
- [3] Gessner, H.: Die Schlamm-Analyse, S. 9 und 151.
- [4] Copyrighted Proceedings of the American Society for Testing Materials Philadelphia P. A. Band 33, erster Teil 1933.
- [5] Technologic Papers of the Bureau of Standard Nr. 48, 1915.
- [6] Zement, 3. August 1933, S. 127.

## Behaglichkeits-Masstäbe

Von Ing. M. HOTTINGER, Zürich

### 1. Grundsätzliches

DK:628.8.0014

In bewohnten Räumen verlangte man früher von den Heizanlagen das Aufrechterhalten einer bestimmten «behaglichen» Temperatur, meist von  $18^\circ \text{C}$ , während die Lüftungsanlagen z. B. in Versammlungsräumen, Theatern usw. dafür zu sorgen hatten, dass die Luft genügend rein sei und ihre Temperatur infolge der Wärmeabgabe der Menschen nicht zu hoch anstieg. Die Temperatur wurde dabei in der Regel 1,5 m (in Kopfhöhe) über Boden in Raummitte oder an einer Innenwand gemessen, sofern der Nachbarraum ebenfalls geheizt war. Der Reinheitsgrad der Luft wurde nach *Pettenkofer*, meist nach dem Verfahren von *Lunge-Zeckendorf*, an Hand des Kohlensäuremasstabes festgestellt. Das geschah jedoch nicht der ausgeatmeten Kohlensäure wegen, die erst bei hoher Konzentration (über etwa  $2,5\%$ ) schädlich oder (bei  $8\%$ ) gar tödlich wirkt, sondern weil der Mensch beim Atmen, sowie infolge der Hauttätigkeit gleichzeitig andere Stoffe (Riech-, Duft- und Ekelstoffe) produziert, die weder definier- noch messbar sind. Hat nun die Kohlensäureanreicherung in der Raumluft infolge der Atmung eine gewisse Höhe erreicht, so gilt sie wegen der übrigen Produkte qualitativ als ungenügend. In solchen Fällen zeigen Kohlensäuregehalte zwischen 1 und  $2\%$  in geschlossenen Räumen meist eine Luftbeschaffenheit an, die sich schon weit von derjenigen reiner Aussenluft entfernt. Diese Theorie ist jedoch als veraltet zu bezeichnen, weil die Erzeugung der «Riechstoffe» nicht proportional zu der von  $\text{CO}_2$  und zudem in hohem Masse durch die Reinlichkeit der in Frage kommenden Personen bedingt ist.