

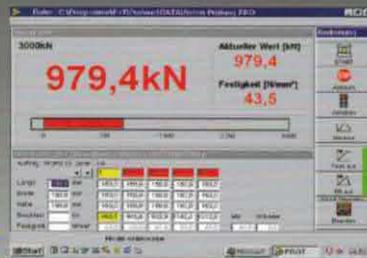
**SONDERDRUCK | BETONTECHNIK**

Voraussetzung für zuverlässige Messwerte des Luftgehaltes von Frischbeton mit Luftgehaltprüfer nach dem Druckausgleichsverfahren nach DIN EN 12350 (Pressure air meter, ASTM C231 Type B)

**SONDERDRUCK  
BWI 05/16**

## Baustoff- prüfmaschinen und -geräte

**FORM+TEST**<sup>®</sup>  
PRÜFSYSTEME



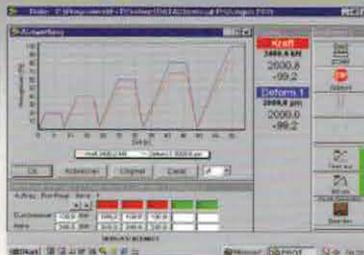
Druckprüfung



Biegeprüfung



Zugprüfung



Choose the Original  
Choose Success!



FORM+TEST Seidner & Co. GmbH  
Telefon +49 (0) 7371 9302-0  
sales@formtest.de  
www.formtest.de



70 Jahre Bestimmung des Luftgehaltes nach Boyle-Mariott

# Voraussetzung für zuverlässige Messwerte des Luftgehaltes von Frischbeton mit Luftgehaltsprüfer nach dem Druckausgleichsverfahren nach DIN EN 12350 (Pressure air meter, ASTM C231 Type B)

Schon in den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts war bekannt, dass gezielt eingeführte Luftporen den erhärteten Beton widerstandsfähiger gegen Frost- und Frosttausalzangriff machen. Deshalb müssen vor dem Einbau des Frischbetons dessen Luftgehalt und dessen Zusammenhang mit dem Luftgehalt des Festbetons bekannt sein. Nachdem in den Anfangsjahren nur die volumetrische Messung (Rolling Method) angewendet wurde, publizierte Klein [1] die Möglichkeit, den Luftgehalt durch Anwendung des Boyle-Mariottschen Gesetzes zu bestimmen und stellt den ersten „Pressure airmeter“ vor. Daraus wurden Type A mit konstantem Druck und Type B mit abnehmendem Druck entwickelt. Type B hat sich durchgesetzt und trotz ungeklärter Zuverlässigkeit und Genauigkeit (s. DIN EN 12350-7, Pkt. 8.2: Genauigkeit Druckausgleichsverfahren) den Weg in die europäische Norm gefunden. Die Ursachen für fehlerhafte Messwerte und die Voraussetzungen für zuverlässige Messwerte sowie deren Umsetzung in einer Weiterentwicklung werden im folgenden Fachbericht aufgezeigt.

■ Rainer Bottke, Gaggenau, Deutschland ■

## Begriffe Wassersäulenmessgerät/ Druckausgleichsmessgerät (ASTM C231 Type A, Type B)

DIN EN 12350-7 unterscheidet in Wassersäulenmessgerät und Druckausgleichsmessgerät. Dadurch entsteht der Eindruck, dass bei einem Gerät eine Wassersäule auf die Poren wirkt und beim anderen ein Druckausgleich direkt mit den Poren erfolgt. Dieser Eindruck ist aber nicht richtig.

Die ASTM Bezeichnung „Pressure air meter Type A und Type B“ klärt, dass es sich um dasselbe Funktionsprinzip in zwei verschiedenen Ausführungen handelt.

Bei beiden Geräten wirkt eine Wassersäule auf die Poren und bei beiden Geräten findet ein Druckausgleich statt, der physikalisch berechenbar ist.

Die Differenzierung in

- konstante Druckbelastung (Wassersäulenmessgerät, ASTM C231 Type A)
- abfallende Druckbelastung (Druckausgleichsmessgerät, ASTM C231 Type B)

gibt die Unterschiede wieder. In den weiteren Ausführungen wird daher die Bezeichnung

- „Luftgehaltsprüfer mit konstantem Druck“ für das Wassersäulenmessgerät bzw. ASTM C231 Type A

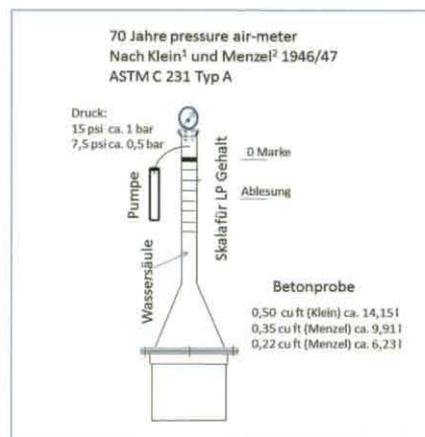


Bild 1: Luftgehaltsprüfer mit konstantem Druck

- „Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck“ für das Druckausgleichsmessgerät bzw. ASTM C231 Type B verwendet.

## Luftgehaltsprüfer mit konstantem Druck (Wassersäulenmessgerät, ASTM C231 Type A)

Nachdem Klein den ersten „pressure air meter“ (s. Bild 1) vorgestellt und mit der gravimetrischen Messmethode verglichen hatte, stellte Menzel [2] dem Rollometer den „Pressure air meter“ mit einem konstanten Druck von 7,6 psi oder ca. 0,52 bar gegenüber und empfiehlt die Überprüfung der „pressure method“ durch die „rolling method“.

Menzel beschreibt beide Verfahren detailliert. Der nach 70 Jahren in unseren Augen

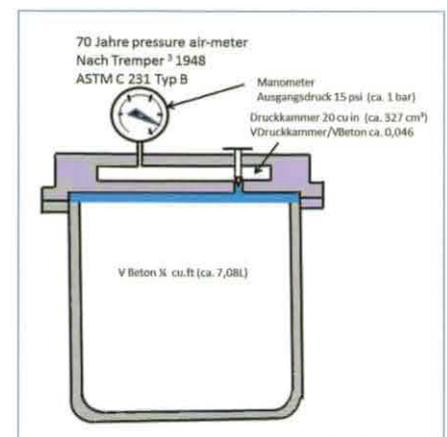


Bild 2: Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck

niedrige Druck könnte den damals vorhandenen Materialien für die Glasskala geschuldet sein.

## Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck (Druckausgleichsmessgerät, ASTM C231 Type B)

Kurz nach der Erfindung Kleins präsentieren Tremper [3], Bailey and Gooding (s. Bild 2) eine andere Anwendung des Boyle-Mariottschen Gesetzes zur Bestimmung des Luftgehalts. Es wird eine Druckkammer bis zu einem definierten Druck aufgepumpt. Dann wird über ein Ventil eine Verbindung zur Betonprobe hergestellt. Über die Wassersäule zwischen Druckkammer und Pore erhöht sich der Druck in der Pore und gleichzeitig fällt der Druck in der Druckkammer.



■ Dipl.-Ing. Rainer Bottke, Betoningenieur VDB, Berater Betonqualität, Techn. Leiter TB Hamburg, F+E Readymix, Gebietsleiter Steag Entsorgung, Entwickler der HYDRO\_5 Festigkeitsprognose bei der Würfelherstellung, U.a. Erfinder der Kalibrierbälle für den Luftporentopf [bottke.r@t-online.de](mailto:bottke.r@t-online.de)

Das Manometer, mit dem der Ausgangsdruck eingestellt wurde, zeigt gegenüber dem Ausgangsdruck einen niedrigeren Druck an. Nachdem sich die Anzeige stabilisiert hat, d. h. der Druck zwischen Druckkammer und Pore ausgeglichen ist, kann dem abgefallenen Druck ein Luftvolumen in der Betonprobe zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt über eine Skala als Ablesewert für % LP.

**Gesetz von Boyle-Mariotte**

Tab. 1: Berechnung Druckausgleich zweier Behälter

Beispiel	alt	neu	Manometer [bar]
VDK [ml]	400	800	
pDK [bar]	2	3	1 bzw. 2
VLP [ml]	480	480	
pLP [bar]	1	1	0
P <sub>nachher</sub> [bar]	1,455	2,26	0,455 bzw. 1,25

für T = constant

$$P_{nachher} = \frac{(p_1 * V_1 + p_2 * V_2)}{(V_1 + V_2)}$$

DK = Druckkammer

VDK<sub>alt</sub> = 400ml pdk<sub>alt</sub> = 2 bar (Manometeranzeige 1 bar)

VDK<sub>neu</sub> = 800ml pdk<sub>neu</sub> = 3 bar (Manometeranzeige 2 bar)

LP = Luftgehalt Betonprobe

$$P_{nachher} = \frac{(pDK * VDK + pLP * VLP)}{(VDK + VLP)}$$

Tab. 2.: Zuordnung Ablesedruck zu % Luftgehalt (Auszug für 5 bis 6 %)

Ausgangsdruck 1 bar Druckkammer 400 ml		
Ablesedruck	Luftgehalt	LP
[bar]	[ml]	[%]
0,500	400	5,00
0,497	405	5,06
0,494	410	5,13
0,491	415	5,19
0,488	420	5,25
0,485	425	5,31
0,482	430	5,38
0,479	435	5,44
0,476	440	5,50
0,473	445	5,56
0,471	450	5,63
0,468	455	5,69
0,465	460	5,75
0,462	465	5,81
0,460	470	5,88
0,457	475	5,94
0,455	480	6,00

**Luftgehalt aus Ablesedruck Manometeranzeige**

Ob der sehr niedrige Prüfdruck von < 0,5 bar im relevanten Luftgehaltsbereich von 6 % ausreicht für einen schnellen und zuverlässigen Druckausgleich mit allen Poren besonders mit denen am Topfboden, war bisher nicht Gegenstand von Untersuchungen.

Da Typ B einfach zu handhaben, optisch ansprechend und die Funktion über eine sogenannte „Kalibrierung“ nachzuweisen ist, hat sich das Druckausgleichsgerät bzw. Type B durchgesetzt. Wenn man jetzt nach 70 Jahren die grafischen Darstellungen (Bild 1 und Bild 2) gegenüberstellt, könnte eine Ursache für den Erfolg des Typ B die klare Darstellung und die vereinfachte Annahme T= constant sein.

Nachweise über die Zuverlässigkeit und Genauigkeit fehlen auch nach fast 70 Jahren Einsatz sowohl in den USA als auch in Europa. (s. ASTM C231 und DIN EN 12350-7)

**Praxiserfahrungen mit dem Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck**

Die Erfindung Trempers wurde von verschiedenen Herstellern unterschiedlich umgesetzt. Man kann deshalb nicht mehr von dem Druckausgleichsmessgerät (z. B.: Luftgehaltsprüfer Testing 5 l und 2 Versionen 8 l, Luftgehaltsprüfer Form+Test 8 l und verschiedene Hersteller in den USA) sprechen, sondern erst ein Vergleich der verschiedenen Produkte in Labor und in Praxis würde aufzeigen, ob Geräte und wenn ja welche, zuverlässig genaue Messwerte liefern.

Aus der Praxis gibt es Hinweise, dass Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck unzuverlässig und ungenau sein können.

Hover [4] findet gravierende Abweichungen zwischen den LP Messwerten und den Überprüfungen am Festbeton.

Aus der Frischbetonrohddichte hingegen ließen sich die am Festbeton festgestellten Werte mit guter Übereinstimmung errechnen. Deshalb empfiehlt Hover, auf diese Methode zurückzugreifen. Dem Aufsatz ist nicht zu entnehmen, um welches Fabrikat „pressure Air meter Typ B“ es sich gehandelt hat und welche Voraussetzungen bei der Eignungsprüfung in Bezug auf Einhaltung der Sollrohddichte und der Ermittlung der Frischbetonrohddichte erfüllt sein müssen.

Hover zitiert Veröffentlichungen [5], [6], [7] die seine Erfahrungen bestätigen.

In einer weiteren Veröffentlichung [8] berichtet Hover von den Problemen mit Geräten aus der Praxis, die von ihm geplanten Untersuchungen durchzuführen. Es werden Totalausfall und fehlerhafte oder fehlende Kalibrierung genannt.

Auch die Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen [9] kommt zu dem Schluss, dass die Frischbetonrohddichte zuverlässigere Werte liefert:

*„Gleichzeitig mit der Bestimmung des Luftgehaltes sollte die Frischbetonrohddichte im LP Topf bestimmt werden, da auch sie einen Anhaltswert für den vorhandenen Luftgehalt gibt, oftmals mit geringerer Streuung der Einzelmessdaten. Von der Erstprüfung abweichende Frischbetonrohddichten können auf einen möglicherweise fehlerhaften Luftgehalt hinweisen.“*

Weil aber keine Berechnungshilfsmittel zur Verfügung stehen, um aus Soll- und Ist-Rohddichte die Luftporen zu berechnen, wird in der Praxis weiterhin auf die Ablesewerte zurückgegriffen.

In einer Stichprobe auf einer LP Betonbaustelle stellte der Autor [10] das Versagen der „Luftgehaltsprüfer mit abnehmendem Druck“ fest, wobei fünf Geräte der beiden marktgängigen deutschen Fabrikate im Einsatz waren. Auf diese Erfahrung wurde der Normausschuss für Prüfmittel aufmerksam gemacht. Der Ausschuss sah jedoch keine Notwendigkeit, aktiv zu werden und die fehlenden Prüfungen zur Zuverlässigkeit zu veranlassen mit dem Hinweis, dass es keine Erkenntnisse bezüglich der Unzuverlässigkeit geben würde.

Die Auseinandersetzung mit den amerikanischen Erfahrungen ist durchaus angezeigt, denn in DIN EN 12350-7 finden sich fast 1:1 die Regelungen der ASTM C231.

Auch an „Kalibrierbällen“ [11] zeigten Stichproben in der Praxis eingesetzter Geräte der beiden Deutschen Fabrikate große Streuungen der Messwerte (s. Bild 3).

### Ursachen für fehlerhafte Messwerte

Als Ursachen für die fehlerhaften Messwerte wurden u. a. festgestellt; mangelhafte Wartung, fehlende Kalibrierung, Bedienungsfehler, konstruktive Mängel, Temperaturdifferenz [12].

### Mangelhafte Wartung Ventile

Die Ventile sind sehr empfindlich und müssen regelmäßig überprüft, gewartet und ggf. ausgetauscht werden. Dies gilt für die Einfüllventile im Deckel, das Rückschlagventil der Pumpe, das Einstellventil und besonders das Ventil zwischen Topf und Deckel. Bereits geringe Verunreinigungen können zum Totalausfall oder was manchmal noch schlimmer ist, zu nicht deutlich erkennbaren Undichtigkeiten führen.

### Mangelhafte Wartung Druckkammer

Das Volumen der Druckkammer wird für die Funktion des Prinzips als feste Größe vorausgesetzt. Wenn durch Bedienungsfehler Wasser oder Zement mit Wasser in die Druckkammer gelangt, verfälscht dies die nachfolgenden Messwerte. Deshalb ist der Zustand der Druckkammer regelmäßig zu prüfen.

### Konstruktive Mängel

Ein Messgerät für Frischbeton sollte robust sein. Deshalb sollten Prüfventile und Leitungen sowie die Schnappverschlüsse diesen Anforderungen gerecht werden. Dies ist in

dem hier gezeigten Gerät sicher nicht der Fall und von den anderen Herstellern robuster gelöst.

### Fehlende Kalibrierung nach Herstellervorgabe

Die Kalibrierung nach Herstellervorgabe ist zeitlich aufwändig und muss sehr sorgfältig durchgeführt werden. Wie die Stichproben des Verfassers und die Veröffentlichungen Hovers zeigen, ersparen sich einige Prüfer diese Arbeit mit den unangenehmen Folgen für die Betonqualität. Mit den „Kalibrierbällen“ des Verfassers kann die Funktion des Gerätes vor jeder Messung schnell überprüft werden.

### Temperaturdifferenz zwischen Druckkammer und Betonprobe

Bei Temperaturdifferenz zwischen Druckkammer und Betonprobe kann während des Prüfvorganges parallel zum Druckausgleich ein Ausgleich der Temperaturen erfolgen. John [13] wies schon 2003 nach, dass dieser Temperaturengleich den Messwert deutlich beeinflussen kann.



Bild 4: Kalibrierbälle

### H<sub>2</sub>-Ausgasung bei Geräten aus Aluminium mit ungeschützten Oberflächen

Bei Geräten aus Aluminium für Druckkammer und Topf ist eine H<sub>2</sub>-Ausgasung, die den Messwert beeinflusst, nicht auszuschließen.

### Luftblasen unter dem Deckel

Eine Kontrolle, ob der Raum zwischen Deckel vollständig mit Wasser gefüllt ist, ist nicht möglich. Dort verbliebene Luftblasen beeinflussen das Messergebnis.

### Zu niedriger Prüfdruck

Die kleine, von den Herstellern im Volumen frei gewählte Druckkammer in Verbindung mit dem niedrigen Ausgangsdruck von 0,9 bis 1 bar führt zu einem Prüfdruck bei 6 % von nur 0,45 bis 0,5 Bar bei 6 % Luftgehalt in einer 8-l-Betonprobe.

Dieser niedrige Druck reicht nicht aus, um bei „steifem“ Beton die Poren am Boden des Topfes zu erreichen. Dies könnte auch eine Ursache der von Hover festgestellten gravierenden Abweichungen gewesen sein. Durch ein zusätzliches Manometer, das den Druck am Boden anzeigt, konnte die langsame Überwindung des Wider-



Tab. 3: Vergleich Frischbeton/Festbeton (s. Hover CCAGDP 1989 Seite 68)

	Frischbeton*	Festbeton
	[%]	[%]
Fall I	4,5	9,5
Fall II	6	12,9
Fall III	3,3	7,3
Fall IV	5,7	7,4

\* Luftgehaltsprüfer mit fallendem Druck

Bild 3: Druckausgleichsmessgerät verschiedene Hersteller



Bild 5: LP Topf von 1972



Bild 6: Druckkammer aus der Praxis



Bild 7: problematische Schnappverschlüsse



Bild 8: problematische Ventile

standes des Leimes, in den die Poren eingebettet sind, nachgewiesen werden. ASTM C231 lässt die Möglichkeit offen, einen Druck bis zu 2 Bar zu wählen.

Die Deutschen Hersteller haben einen Ausgangsdruck von 0,9 bis 1 bar gewählt. Auch die amerikanischen Geräte sind auf ca. 1 bar ausgelegt. Bei höherem Ausgangsdruck und größerer Druckkammer erreicht der Druck auch die unteren Poren gegen den Widerstand des Betonleims schneller und zuverlässiger.

Ein Vergleich der Qualität des Druckausgleichs bei unterschiedlichem Ausgangsdruck bzw. Prüfdruck kann über ein im Bodenbereich angebrachtes zusätzliches

Manometer erfolgen. Bei dem in Bild 8 dargestellten Versuch mit einem Ausgangsdruck von 0,9 bar war bei einem steifen Beton der Druckausgleich erst nach 13 min annähernd abgeschlossen.

#### Kalibrierung des „Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck“ durch dafür zertifizierte Labors

Der Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck hat sich weltweit trotz der o. g. Probleme durchgesetzt und wird auch in zertifizierten Labors als Prüfmittel eingesetzt. Nun berichtet ein zertifiziertes Labor aus der Schweiz, der Prüfbeauftragte der für

das Labor zuständigen Zertifizierungsstelle hätte reklamiert, es würde für den Luftgehaltsprüfer kein Kalibrierungszeugnis des Herstellers vorliegen.

Dieses Zeugnis konnte der Hersteller des Luftgehaltsprüfers nicht beibringen, weil für diese Luftgehaltsprüfer die notwendige Zulassung fehlt.

Wegen der o. g. Probleme besteht nach Auskunft der PTB auch keine Aussicht eine solche Zulassung zu erlangen. Deshalb ist es erforderlich, einen „Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck“ zur Verfügung zu haben, der kalibrierfähig ist.

Tab. 4: Zuordnung Ablesedruck zu % Luftgehalt

Ausgangsdruck 2 bar  
Druckkammer 800 ml

Ablesedruck [bar]	Luftgehalt [ml]	LP [%]
1,333	400	5,00
1,328	405	5,06
1,322	410	5,13
1,317	415	5,19
1,311	420	5,25
1,306	425	5,31
1,301	430	5,38
1,296	435	5,44
1,290	440	5,50
1,285	445	5,56
1,280	450	5,63
1,275	455	5,69
1,270	460	5,75
1,265	465	5,81
1,260	470	5,88
1,255	475	5,94
1,250	480	6,00

### Doppelskala zur Verbesserung der Ablesewerte

Die Ergebnisse des Luftgehaltsprüfers mit abfallendem Druck lassen sich deutlich verbessern, wenn nach dem üblichen Aufpumpen und Öffnen des Ventils zum Druckausgleich das Ventil zwischen Druckkammer und Betonprobe wieder geschlossen und die Druckkammer erneut bis zum Ausgangsdruck aufgepumpt wird und ein erneuter Druckausgleich durchgeführt wird. Mittels einer Doppelskala oder einer Tabelle kann der Luftgehalt bestimmt und mit der ersten Ablesung verglichen werden. Bei „steifem“ Beton ist dieser Wert in der Regel höher und entspricht näher dem tatsächlichen Wert, weil der Prüfdruck deutlich höher ist und somit die Poren auch am Boden des Probebehälters besser erreicht werden.

Die Skala der Doppelskala können empirisch wie bei der sogenannten Kalibrierung oder rechnerisch bei bekanntem Druckbehältervolumen und Ausgangsdruck ermittelt werden.

### Forderungen an den „Super Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck“

Die Frischbetonprüfung mit dem Luftgehaltsprüfer mit abfallendem Druck ist weltweit beliebt wegen der einfachen Handhabung und schnellen Ergebnisse. Deshalb sind Verbesserungen, die zu zuverlässigen Ergebnissen führen, wünschenswert.

Nach dem jetzigen Kenntnisstand sind dafür folgende Forderungen zu erfüllen:



Bild 9: Manometer am Boden

- Robuste Ventile
- Kalibrierfähige Druckkammer aus Edelstahl
- Separate Druckzuführung für Ausgangsdruck der Druckkammer
- Robuste Verspannung des Deckels mit dem Probenstopf
- Kalibrierfähiges Manometer
- Kalibrierfähiger Probenstopf aus Edelstahl
- Zur Kontrolle der Entlüftung Deckel aus Acrylglas
- Erhöhung des Prüfdrucks durch Erhöhung des Ausgangsdrucks auf 2 bar und Vergrößerung der Druckkammer
- In Druckkammer integriertes Thermometer zur Kontrolle der Lufttemperatur
- Verwendung als Super Air Meter zur Bestimmung des Abstandsfaktors [14]

### Zusammenfassung

Die Erfindung Kleins, den Luftgehalt des Frischbetons durch Anwendung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes zu prüfen, zählt sich zum 70. Mal. In ASTM C231 sind mit Typ A und Typ B zwei Lösungswege geregelt. Typ B als Lösung aus dem abfallenden Druck den Luftgehalt zu bestimmen, hat sich weltweit durchgesetzt. Sowohl in den USA als auch in Deutschland sind Probleme mit der Zuverlässigkeit der Geräte unterschiedlicher Hersteller festgestellt worden. Die möglichen Ursachen werden aufgezeigt und Forderungen an ein verbessertes Gerät definiert, wobei es Ziel ist, das Gerät so zu gestalten, dass es kalibriert werden kann.

Sobald ein solches Gerät verfügbar ist, sollten die Nachweise für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit veranlasst und ungeeignete Geräte ersetzt werden. ■

### ■ Literatur

- [1] Journal of ACI Vol 17 N. 6 June 1946 Klein, Walker "A Method for Direct Measurement of Entrained Air in Concrete" Bild 1 S. 660 Fig. 2
- [2] Menzel "Procedures for determining the Air content of Freshly-Mixed Concrete by Rolling and Pressure Methods" Research Laboratories of Portland Cement Association June 1947 Bulletin 19
- [3] Tremper, Bailey, and Gooding, W. L., "Washington Method of Determining Air in Fresh Concrete," presented at 1948 meeting of the Highway Research Board. Bild 2 S. 212 Figure 1
- [4] Hover, K.C. „Some Recent Problems with Air-Entrained Concrete“, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, Vol. 11 No. 1 Summer 1989 pp. 67-72
- [5] Mielenz, R. C., Wolkodoff, V. E., Backstrom, J. E., and Flack, H. L., "Origin, Evolution, and Effects of the Air Void System in Concrete, Part 1--Entrained Air in Unhardened Concrete," Proceedings, American Concrete Institute, Vol. 30, No. 1, July 1958, pp. 95-22.
- [6] Gay, F. T., "A Factor Which May Affect Differences in the Determined Air Content of Plastic and Hardened Air-Entrained Concrete," Proceedings of the Fourth International Conference on Cement Microscopy, Las Vegas, March 28-April 1, 1982, pp. 296-292, International Cement Microscopy Association, Duncanville, TX.
- [7] Meininger, R. C., "Use of Fly Ash in Air Entrained Concrete-Report of Recent NSGA-NRMCA Research Laboratory Studies," report of the National Ready-Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD, February 1981.
- [8] Kenneth Hover, Roger Phares: "Impact of Concrete Placing Method on Air Content, Air-Void System Parameters, and Freeze-Thaw Durability" Transportation Research Record Volume 1532, 1996 pp. 1-8
- [9] Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von LP Beton Ausgabe 2004 Pkt. 4.4.1
- [10] Rainer Bottke „Unzuverlässige und ungenaue Messwerte des LP Topfs (Druckausgleichsverfahren) als Reklamationsverursacher“ VDB Regionalgruppe 12 Niedersachsen 08.03.2012
- [11] Rainer Bottke „Kalibrierbälle zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Luftporen Messgeräte für die Betonqualitätskontrolle“ Deutsches Patent und Markenamt DE 20 2015 005 554.0
- [12] Rainer Bottke „LP-Topf Kalibrierung“ Seminar für Prüfstellenleiter. Verband der Transportbeton- und Mörtelindustrie Hessen-Rheinland-Pfalz 28.01.2016
- [13] John, Carsten „Verwertung industrieller Reststoffe im Bereich erdfeuchter und Selbstverdichtender Betone in Verbindung mit neuen Mess- und Prüftechniken“ Technikerarbeit 2003
- [14] Tyler Lye „Super Air meter“ ACI Pittsburgh Area Chapter Chapter news writer 2015