

VERGLEICHENDE ANALYSE DER EIGENFEUCHTEMESSVERFAHREN DER ZUSCHLAGSTOFFE

P. LÁNCZOS

Lehrstuhl für Bauausführung und Organisation, TU Budapest
Eingegangen am 20. Januar 1979

I. Einleitung

Die quantitative und qualitative Entwicklung der Bauproduktion läßt sich — im Spiegel der Bedürfnisse — mit Hilfe von mannigfaltigen statistischen Kennziffern, technisch-ökonomischen Erfolgen beweisen.

Die Entwicklung der ungarischen Bauindustrie ist am Verlauf der Betonfertigung und damit der Zementherstellung abzulesen. Der Beton ist der wichtigste Baustoff unserer Zeit.

Heute wissen es nur wenige, daß in Ungarn im Jahre 1938 3,2 GN Zement erzeugt wurden.

Zementproduktion in Ungarn

Jahre	1956	1966	1976	1978	1980	1985
Zement in GN	10,0	24,0	43,0	47,0	50,0	52,0

Der Produktion von etwa 500 000 m³ Beton im Jahre 1956 gegenüber werden heute in Ungarn jährlich 11 bis 12 Millionen m³ Beton erzeugt.

Die Einführung von modernen Stahlbetontechnologien, der Montage-, Großblock- und Großtafelbauweisen sowie die Modernisierung der monolithischen Bauweisen war notwendigerweise von einer Weiterentwicklung der Zementindustrie begleitet.

Es waren größtenteils die zementsparsamen Tendenzen, die zur Anwendung von Betonkonstruktionen höherer Festigkeit, zum Teil von Spannbetonkonstruktionen, zur Weiterentwicklung der Bauweisen mit Fertigteilen und nicht zuletzt zur Verbreitung der Fertigungstechnologien von in zentralen Anlagen erzeugtem sog. Transportbeton führten. Das trägt auch zur Beseitigung der qualitativen Mängel des Baustellenbetons bei.

Die wichtigsten Aufgaben auf dem Gebiet der Betonherstellung sind in Ungarn:

- die Erzeugung von Beton gleichmäßig guter Qualität
- die Anwendung zementsparender Technologien.

Eine Lösung läßt sich nur durch gleichzeitige geeignete qualitative Aufbereitung der Grundstoffe, durch Fertigungstechnik und Gütekontrolle erzielen.

Eine der wichtigsten Aufgaben ist die genaue und rasche Ermittlung der Eigenfeuchte des zur Verfügung stehenden Zuschlags und deren Berücksichtigung über eine Korrektur der Wasserdosierung.

Der Verfasser möchte sich also in diesem Beitrag mit den neueren Feuchtigkeitsmeßverfahren für die in zentralen Betonmischwerken gebräuchlichen Normalbetonzuschläge beschäftigen.

Vor der Beschreibung der Meßverfahren muß man zuerst die Erscheinungsformen des Feuchtigkeitsgehalts im Zuschlagstoff kennenlernen.

Die Arbeit wurde von dem Verfasser zum Teil auf das Fachschrifttum gestützt, zum Teil auf der Basis eigener Labormessungen zusammengestellt.

Für ihre Ratschläge, ihre wertvolle fachliche Hilfeleistung spricht der Verfasser auch hiermit seinen Dank den Professoren Dr. LÁSZLÓ PALOTÁS, Dr. LÁSZLÓ SCHNELL und Dr. KÁROLY SIMONYI sowie den Kollegen Dr.-ING. GYÖRCY WEISS und ING. JÓZSEF DUDÁS aus.

2. Erscheinungsformen des Feuchtigkeitsgehalts im Zuschlag

Der Kiessandzuschlag hat eine aus getrennten Körnern bestehende Struktur. Die einzelnen Körner kleben nicht aneinander, sie berühren sich nur in mehreren Punkten. Die auf das Aggregat wirkende Kraft wird von Korn zu Korn übertragen, daher ist die Zusammendrückbarkeit gering. Solange die auf der kleinen Berührungsfläche der Körner auftretende resultierende Kraft mit der Flächennormalen einen größeren Winkel als der Reibungswinkel bildet, gleitet das Korn und nimmt im Aggregat eine unregelmäßige Lage ein. Die Wirkung der Reibung ist wesentlich, ihre Größe hängt von der Normalspannung ab und bleibt solange unverändert, bis auf das Körneraggregat statische Kräfte wirken. Durch Vibration oder dynamische Wirkung werden die Körner in Schwingung gebracht, sie entfernen sich abwechselnd voneinander, die Summe der sich momentan berührenden Flächen nimmt stark ab, daher wird die Reibungswirkung stark vermindert. Deshalb läßt sich das Körneraggregat durch Rütteln verdichten.

Diese Feststellungen beziehen sich auf trockenen oder wasserumflossenen Sand und Kies (Kiessand). Ist die Sättigung des Aggregates zwischen Null und 1, macht sich auch die Wirkung der Oberflächenspannung des Wassers geltend.

Aus betontechnologischer Sicht ist der Zuschlag Kiessand ein dreiphasiges Aggregat, in dem sich das Wasser in den Körnern und in den Zwischenräumen mit Luft vermischt befindet.

Die Feuchtigkeit im Kiessandzuschlag wird von verschiedenen Forschern in unterschiedlicher Weise systematisiert. Aus betontechnologischer und meßtechnischer Sicht empfiehlt sich die Klasseneinteilung:

a) *Strukturwasser*, das im wesentlichen ein aus Hydroxylgruppen bestehender, organischer Teil des Kristallgitters ist. Dieses »Wasser« läßt sich nur bei einer so hohen Temperatur entfernen, durch welche die Kristallstruktur zerstört wird. Dieses »Wasser« kann am Hydratationsprozeß nicht teilnehmen, wirkt jedoch günstig auf die innere physikalische Formänderung des Zementsteines (als Kühlwasser, als Verminderer des Schwindens und der Rißanfälligkeit). Aus meßtechnischer Sicht spiegelt sich der Feuchtigkeitsgehalt in der mineralischen Zusammensetzung, den Eigenschaften des Materials. Daher ist er bei der Bestimmung der Anmachwassermenge zu berücksichtigen.

b) *Das Adsorptionswasser* umgibt in Mineralen mit Gitterstruktur in einer außerordentlich dünnen Schicht von 0,1 bis 1,0 mm die innere Fläche. Die Adsorptionskräfte sind sehr hoch, dieses Wasser läßt sich durch normale hydrodynamische Kräfte nicht bewegen. Im Hydratationsprozeß spielt es die gleiche Rolle, wie das Strukturwasser; von vielen Forschern werden Struktur- und Adsorptionswasser zusammen behandelt.

c) *Das Adhäsionswasser*, von mehreren Forschern auch als Oberflächen- oder Haftwasser bezeichnet, umgibt in dünnen Schichten die einzelnen Körner und steht unter der Wirkung von polaren, elektrostatischen und ionischen Bindekräften. Seine Dichte und Viskosität sind höher als die des normalen Wassers, dabei ist aber das Adhäsionswasser noch beweglich. Es stellt den größten Teil der meßbaren Eigenfeuchte des Zuschlagstoffes dar.

Wenn sich im Laufe des Prozesses die Gelgitterstruktur ausgestaltet hat, nimmt die Viskosität des Zementgels zu, während sich die Viskosität (innere Reibung) des Oberflächen-(Haft-)wassers vermindert. Das Ausmaß dieser Abnahme wird durch die exothermische Wärme beeinflußt.

Der Wasserbedarf des Hydratationsprozesses wird durch das Adhäsionswasser und das Anmachwasser gewährleistet, sowohl im ersten (Vorabbindung) als auch im zweiten (kräftige Abbindung) und im dritten Erhärtungsabschnitt (Vorerhärtung), als der Beton schon als Festkörper betrachtet werden kann.

d) *Das Winkelwasser* befindet sich um die Berührungspunkte zwischen den einzelnen Körnern und wird durch konkave Menisken begrenzt. Seine Eigenschaften stimmen mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften des normalen flüssigen Wassers überein. Dieses Wasser kann — vorausgesetzt, daß es sich nicht in geschlossenen Poren befindet und die Kapillarkräfte die hydrodynamischen Kräfte unterschreiten — durch letztere in Bewegung gesetzt werden. Das Winkelwasser stellt den beträchtlichsten Teil des Feuchtigkeitsgehalts im Zuschlag dar.

Seine Menge wird beeinflußt durch

- die Körnung (Anteil und Oberfläche des Feinkorns)
- die Art der Lagerung (Deponie im Freien oder Silo)
- die äußeren atmosphärischen Verhältnisse (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit).

Die Rolle des Winkelwassers übergreift über den Hydratationsprozeß. Die für die Abbindung des Zements erforderliche Wassermenge macht höchstens 15 bis 18% des Zementgewichts aus. Durch die zusätzliche Feuchtigkeit wird einerseits die zweckdienliche Konsistenz des Betons und dadurch die Verarbeitbarkeit sichergestellt, andererseits das durch die Zuschlagkörner abgesaugte Wasser ersetzt und die exothermische Wärme vermindert (Verdunstung). Der weitere Wasserbedarf für die Nacherhärtung, die Kühlung des Betons werden durch geeignete Nachbehandlung (Spritzen, Berieseln usw.) gewährleistet.

e) *Das Porenwasser* füllt die Zwischenräume zwischen den Körnern aus. Seine Eigenschaften sind die gleichen, wie die des Winkelwassers.

Seine Menge wird beeinflußt durch

- die Korngröße
- die Kornform
- den Porenraum und die Porenziffer
- die relative Feuchtigkeit
- das Raumgewicht
- die relative Dichte.

Aus betontechnologischer Sicht spielt das Porenwasser dieselbe Rolle wie das Winkelwasser, mit der Ergänzung, daß das Porenwasser im allgemeinen in einem Teil der Zuschlagstoffmenge in Abhängigkeit von den Lagerungs- und Witterungsbedingungen vorhanden ist.

Die Meßverfahren für die Ermittlung der Eigenfeuchtigkeit der Normalbetonzuschläge bestimmen vor allem die Menge

- des Adhäsionswassers (Oberflächenhaftwassers)
- des Winkelwassers
- des Porenwassers.

Der Beschreibung und Beurteilung der Meßverfahren vorangehend soll untersucht werden, welche Genauigkeit (Empfindlichkeit) der Feuchtigkeitsmeßverfahren betontechnologisch notwendig ist, um eine gleichmäßige Güte des Enderzeugnisses (Frischbetons) sicherzustellen.

Als Ausgangspunkt dient die Bauausführungsvorschrift (Bd II, 6. Arbeitsart, Abschnitt E. 221), nach der

- Zement durch Massenmessung auf einer besonderen Waage mit $\pm 2\%$ Genauigkeit
- Zuschlag nach Masse (Gewicht) mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$

— Wasser mit Hilfe einer besonderen Dosieranlage nach Masse (Gewicht) oder Volumen mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ zugesetzt werden sollen.

In demselben Abschnitt wird vorgeschrieben, daß der Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlagstoffes je Schicht bzw. bei einer Änderung des Feuchtigkeitsgehalts zu kontrollieren sei.

Betrachten wir, welche Dosierungsfehler sich bei der Einhaltung der obigen Mischanweisung mit der vorgeschriebenen Genauigkeit ergeben:

Komponente	Vorgeschriebene Dosierung in N	2%-iger Fehler in N	Durch	
			- 2%-igen	+ 2%-igen
			Fehler veränderter Wert in N	
C. 350	38 00	76	37 24	38 76
Wasser	14 40	29	14 11	14 69
Zuschlagstoff:				
0,125—1 mm	38 50	77	37 73	39 27
1—4 mm	38 50	77	37 73	39 27
4—8 mm	38 50	77	37 73	39 27
8—31.5 mm	77 00	54	75 46	78 54
Insgesamt	244 90			

Es ist zu erkennen, daß im vorliegenden Falle der höchstzulässige Fehler des Wasserzusatzes

$$2 \times 29 = 58 \text{ N}$$

sein darf.

Wenn der Feuchtigkeitsgehalt der gesamten Zuschlagmenge mit dieser Genauigkeit bestimmt werden müßte, so wäre die vorgeschriebene Meßgenauigkeit

$$\frac{58}{192 \ 50} 100 = 0,301\%.$$

In Wirklichkeit ist aber die Lage günstiger. In zentralen Betonwerken wird der Zuschlag gewünschter Körnung (Körnungsziffer) aus wenigstens vier Fraktionen durch Zumessung zusammengestellt, wobei die Feuchtigkeit der einzelnen Fraktionen verschieden ist.

Die Genauigkeit der Feuchtigkeitsmessung muß jedoch nicht für die ganze Zuschlagmenge, sondern nur in Abhängigkeit der von der gegen Feuchtigkeitsgehalt empfindlichsten Fraktion zugesetzten Masse bestimmt werden.

Im untersuchten Falle ist die erforderliche Meßgenauigkeit der Zumeß-Dosieranlage:

$$\frac{58}{38 \cdot 50} 100 = 1.50\%$$

Dabei empfiehlt es sich, die von einer Fraktion mit einmaliger Messung zugesetzte Stoffmasse in Abhängigkeit von der Genauigkeit des Wasserzusatzes zu bestimmen. Für die gleichmäßige Qualität und um weiteren schädlichen Einflüsse infolge der Häufung von Meßfehlern zu vermeiden, ist es zweckmäßig, eine Meßgenauigkeit von 1,00% zu beobachten. Diese entspricht der in der Bodenmechanik angenommenen Feuchtigkeitsmeßgenauigkeit.

3. Bekannte Methoden zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts im Zuschlag

3.1 Direkte Meßverfahren

3.1.1 Das Trocknen stellt eines der ältesten und am meisten verbreiteten Verfahren zur Bestimmung des vollen (inneren und äußeren) Feuchtigkeitsgehalts der Zuschlagstoffe dar. Man versteht unter vollem Feuchtigkeitsgehalt die Wassermenge, die aus dem Zuschlag während der Austrocknung bei einer Temperatur von 105°C entweicht. Von dem Prüfstoff wird eine Probe von 100 N abgemessen und bei 105°C bis zum Erreichen der konstanten Masse getrocknet. Der in Massenprozenten des Trockenmaterials ausgedrückte Massenverlust ist der volle Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlagstoffes:

$$N_t \% = \frac{m_n - m_0}{m_0} 100 .$$

Dabei bedeuten

m_n = die Prüfstoffmasse (in g)

m_0 = die Masse des ausgetrockneten Stoffes (in g).

Die Messungen sind mit 1 g Genauigkeit durchzuführen. Nach diesem Verfahren läßt sich bei geeigneter, die Materialmenge gut repräsentierender Probeentnahme der Wassergehalt mit einer Genauigkeit von 0,1 Gew.-% ermitteln.

Um das Material zu erhitzen, werden Trockenschrank, Gasbrenner oder Elektrowärmegeräte, neuerdings auch Infrarotstrahler eingesetzt. Es handelt sich um ein genaues, vor allem für Laboratorien geeignetes Meßverfahren. Der Trocknungsprozeß ist verhältnismäßig langwierig (2 × 24 h), so würde dieses Verfahren die Arbeitsplatzbedürfnisse nur mit Verzögerung befriedigen, Rückkopplung und Regelung sind umständlich. Das Verfahren eignet sich jedoch sehr gut für Kontroll- und Eichmessungen.

3.12 Beim Einsatz des Rotationstrockenapparates wird nach dem im Otto-Graf-Institut (Technische Universität Stuttgart) 1965 entwickelten Verfahren der Prüfstoff 24 Stunden lang unter Wasser gelagert, dann werden von der Sandfraktion (0/3 mm) 500 g oder von der Fraktion über 3 mm 1000 g in das Meßgefäß eingebracht. Das ist eine auf eine Waage montierte, kegeltumpfförmige Schale mit schiefer Achse, die sich mit einer Geschwindigkeit von 25 Umdr./Min dreht. Aus 60 cm Entfernung wird durch einen Wärmestrahler heiße Luft auf das Gefäß geblasen. Die mit Quecksilberthermometer fortlaufend gemessene Lufttemperatur über der Schale darf 48 °C erreichen. Das kontinuierliche und gleichmäßige Durchmischen des Materials wird durch am Schalenrand angeordnete Dorne gewährleistet. Alle 3 bis 5 Min werden Drehbewegung und Lufteinblasung unterbrochen und die Masse des Materials abgewogen. Das Verfahren wird solange wiederholt, bis innerhalb von 5 Min. keine Gewichts- (Massen-)abnahme mehr beobachtet wird. Dazu sind etwa 2 Stunden erforderlich. Nachfolgend wird der im Material noch zurückgebliebene Feuchtigkeitsgehalt durch Trocknen bei 105°C entfernt. Der nach 3.11 bewertete Feuchtigkeitsgehalt wird nach dem Massenverlust in Massenprozenten des Trockenmaterials angegeben.

3.13 Der durch die Tonindustrie entwickelte *Luft-Pyknometer* ist eine hermetisch verschlossene Stahlflasche, in deren Behälter der Prüfstoff eingebracht wird. An den Behälter ist über einen Hahn eine Luftkammer mit dem Rauminhalt V angeschlossen. Nach Einbringen des Prüfstoffes bekannter Masse wird der Gefäßdeckel hermetisch geschlossen, der Raum über dem Prüfstoff mit den Hähnen verschlossen, und in die Luftkammer des Apparates von $V = 80 \text{ cm}^3$ Raumgehalt mit Hilfe des auf dem Deckel angeordneten Luftverdichters der Luftdruck auf $p_0 = 2,5$ bis $3,5$ at Absolutdruck erhöht. Der Druck der im Prüfstoff enthaltenen Luftporen (Luft und Feuchtigkeit) von unbekanntem Raumgehalt v entspricht dann dem atmosphärischen Druck ($1,1 \text{ at} = 98066,5 \text{ N/m}^2$). Wird der Hahn zwischen dem den Prüfstoff enthaltenden Gefäß und der Luftkammer geöffnet, gleicht sich der Druck aus, und am Manometer kann der Druck im Gesamtvolumen ($V + v$) abgelesen werden. Nach dem Boyle-Mariotte-Gesetz ($p \cdot v = \text{konst.}$) gilt

$$(p_0 V + 1 \cdot v) = p(V + v).$$

In Abhängigkeit von dem abgelesenen Druck p beträgt der Luftporengehalt v :

$$v = V \frac{p_0 - p}{(p - 1)} \text{ cm}^3.$$

Von der Skala des Manometers des Gerätes kann statt p direkt der Luftporengehalt v oder dessen Prozentanteil $v\%$ abgelesen werden.

Es handelt sich um ein verhältnismäßig schnelles und genaues Verfahren, das aber Übung und Sorgfalt erfordert. Für Kontrollprüfungen am Arbeitsplatz ist es gut geeignet.

3.14 Beim Thaulowschen Verfahren wird der Feuchtigkeitsgehalt nach einer pyknometrischen Methode aufgrund des unterschiedlichen Porenvolumens einer nassen und einer trockenen Zuschlagprobe bestimmter Masse (6 N) bestimmt. Im wesentlichen handelt es sich um eine Rohdichtemessung. Die Masse des eingemessenen trockenen Zuschlags durch die Masse des verdrängten Wassers dividiert, erhält man die Rohdichte des Trockenmaterials. In ähnlicher Weise die Masse des eingemessenen Materials (Korn + Wasser) durch die Masse des verdrängten Wassers dividiert, erhält man die Rohdichte des nassen Materials.

Ohne auf das Meßverfahren näher einzugehen, lautet die mathematische Formel der Auswertung:

$$f\% = \left(1 - \frac{G_n - W}{G_{tr} - W}\right) 100.$$

Dabei bedeuten:

G_n = Masse des Meßgefäßes + Masse des nassen Zuschlags + Masse des Wassers und des Deckels

G_{tr} = Masse des Meßgefäßes + Masse des trockenen Zuschlags + Masse des Wassers und des Deckels

W = Masse des mit Wasser angefüllten Meßgefäßes und des Deckels.

Die Durchführung einer Meßreihe erfordert etwa 25 bis 30 Min, die Genauigkeit beträgt 1%.

Ist die Rohdichte ρ_0 des trockenen Zuschlags bekannt, die ebenfalls mit Hilfe des Gerätes bestimmt werden kann und für eine lange Zeit als konstant gelten darf, so kann aus der Masse und dem Volumen des nassen Stoffes dessen Feuchtigkeitsgehalt errechnet werden:

$$n_v\% = 100 \frac{\rho - \rho_c}{\rho(\rho_v - 1)}.$$

Dabei bedeuten:

ρ_0 = die Rohdichte des trockenen Zuschlags

ρ_v = die Rohdichte des Materials mit natürlichem Feuchtigkeitsgehalt.

Aus dem obigen Zusammenhang läßt sich der Wassergehalt des Zuschlagstoffes auch auf graphischem Wege in Abhängigkeit von der Dichteverminderung bestimmen. Mit dem Gerät wird auch ein Nomogramm geliefert, von dem über Wassergehalt direkt abgelesen werden kann.

Die Genauigkeit des Verfahrens wird durch die Materialdichte stark beeinflusst, daher muß die Rohdichte sehr genau ermittelt werden. Durch einen Fehler von 0,01 g/m³ in der Rohdichte wird bei der Berechnung des Feuchtigkeitsgehaltes ein Fehler über 0,2% verursacht. Daher müssen die

Masse der Probe von 0,15 N mit einer Genauigkeit von 1 g, ihr Volumen mit einer Genauigkeit von 1 cm³ bestimmt, und der Druck mit einer Genauigkeit von 0,01 m W. S. (98,066 Pa) abgelesen werden. Das Ergebnis einer Meßreihe ist wenigstens als Mittelwert aus den Teilergebnissen von drei Messungen zu bilden. Eine Meßreihe dauert etwa 15 bis 20 Min.

Die Durchführung erfordert Übung, Sorgfalt und Laborverhältnisse. Das Verfahren eignet sich für Kontrollprüfungen am Arbeitsplatz.

3.15 Bei dem *Brennverfahren* werden die Zuschlagproben m_n mit einer brennbaren Flüssigkeit übergossen, die angezündet wird. Beim Brennen erwärmt sich der Zuschlagstoff, die darin enthaltene Feuchtigkeit verdampft, das Material trocknet aus (m_0). Das ist ein spezielles Trocknungsverfahren.

Der in Massenprozenten des trockenen Materials ausgedrückte Massenverlust ist der volle Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlagstoffes:

$$N_{f,0}^{\circ} = \frac{m_n - m_0}{m_0} 100.$$

Dabei bedeuten

m_n = die Prüfstoffmasse (in g)

m_0 = die Masse des ausgebrannten (ausgetrockneten) Materials (in g).

Das Verfahren eignet sich bei einem Meßfehler von etwa 1,0 bis 1,5% für rasche informative und Kontrollprüfungen. Es erfordert keine Laborbedingungen.

Die angeführten direkten Prüfverfahren werden an durch repräsentative Probenahmen erhaltenen Materialproben, aufgrund von periodischen Messungen durchgeführt.

Gelegentlich entnommene Proben geringer Masse können die verbrauchte größere Materialmenge nicht repräsentieren. Ihre Anwendung ist also nur für kleinere Betonmischanlagen (20 m³/h) zu empfehlen.

3.2 Chemische Meßverfahren

3.21 Das *C—M-Gerät* eignet sich für die Bestimmung des vollen Wassergehalts der Kornfraktion unter 4 mm. Eine bekannte Menge (20 g) Zuschlag wird in eine geeichte, druckbeständige Stahlflasche gefüllt und mit Kalziumkarbid vermischt. Der Wassergehalt (H₂O) des Zuschlagstoffes reagiert mit dem Kalziumkarbid (CaC₂), wobei Azetylgas (C₂H₂) entsteht:



Der auftretende Gasdruck ist mit der Wassermenge in Zusammenhang. Der Druck wird mit einem Manometer gemessen, nach dem abgelesenen Wert kann der Feuchtigkeitsgehalt einer Tabelle entnommen werden.

Der Druckwert ändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur, was durch Temperaturkorrektur berücksichtigt wird.

Das C—M-Gerät ist für den Nachweis der Oberflächenfeuchtigkeit von Sand (0,3 mm) und eines Teils des Adsorptionswassers besonders gut geeignet.

Das Prüfverfahren läßt sich rasch durchführen, wegen der geringen Menge der Probe repräsentiert es aber nur schwer eine größere Zuschlagstoffmenge. Es empfiehlt sich, das Mittel von wenigstens 5 unabhängigen Prüfungsergebnissen zu nehmen, so läßt sich eine Genauigkeit von 0,5% erreichen.

Es handelt sich um eine charakteristische Schnellprüfung am Arbeitsplatz, die Übung, Sorgfalt, jedoch keine Laborbedingungen erfordert. Infolge ihrer relativen Schnelligkeit entspricht sie besser den Ansprüchen des Arbeitsplatzes, weil der Zeitbedarf für Rückkopplung und Regelung vermindert wird. Die Anwendung dieses Verfahrens ist bei an Sand reichen Mischungen (z. B. wasserdichter Beton) besonders gerechtfertigt.

3.3 Elektrische Meßverfahren

Die indirekte Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts der Stoffe nach elektrischen Meßverfahren wurde durch den Fortschritt in der Elektro-, Geräte- und Meßtechnik ermöglicht. Diese Methoden beruhen auf der Messung der elektrischen Eigenschaften — praktisch des Widerstandes und der Dielektrizitätskonstante — der Stoffe.

Als Ergebnis neuerer Forschungen wurden die IR- und Mikrowellenabsorptions-Meßverfahren vor allem für die Befriedigung der Ansprüche der — landwirtschaftlichen Industrien (Korngetreide, Futtermittel) — Lebensmittelindustrie (Tiefkühlung, Konservierung) — Energieerzeugung (Feuchtigkeitsgehalt der Kohle) — pharmazeutischen Industrie (Staub und Flüssigkeiten) entwickelt, die auf anderen Gebieten der Baustoffindustrie (z. B. für die Messung des Feuchtigkeitsgehalts des Holzes) bereits nutzbar gemacht wurden.

Auch auf betontechnologischem Gebiet sind erfolgreiche Initiativen, Anwendungen zu verzeichnen (solche Messungen wurden 1955 beim Bau der Mauvoisin-Talsperre unternommen), die wachsenden qualitativen Forderungen machen jedoch eine Weiterentwicklung notwendig.

3.31 Auf der *Widerstandsmessung* beruht das im Otto-Graf-Institut (Technische Universität Stuttgart) entwickelte Meßgerät. Das Prinzipschema ist in Abb. 1 zu sehen. Auf der Bodenplatte des aus Isolierstoff hergestellten Gehäuses sind zwei Messingelektroden mit je 1,5 cm Durchmesser eingebaut. Die Speisespannung wird durch einen doppeltisolierten Sicherheits-Netztransformator geliefert. Bei der Messung (Abb. 2) werden die elektrische Spannung zwischen den Elektroden (U Volt) (der Potentialunterschied) und die im Stromkreis entstehende Stromstärke (I mA— 10^{-3} A) gemessen. Der

Widerstandswert (Ohm) ist der Quotient aus der Spannung und der Stromstärke. Der aufgrund der Wechselstrom-Speisespannung berechnete Wert ist der Absolutwert des Scheinwiderstandes, der Impedanz Z .

Die Mengengleichung lautet:

$$Z = \frac{U}{I} \quad \text{bzw.} \quad Z = R^2 + x^2.$$

Dabei bedeuten:

R = das ohmische Glied und

x = das imaginäre Glied.

Der elektrische Widerstand des Zuschlagstoffes kann sich auch bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt in Abhängigkeit von der Dichte des Materials, der Schichtdicke und nicht zu allerletzt der mineralischen Zusammensetzung ändern.

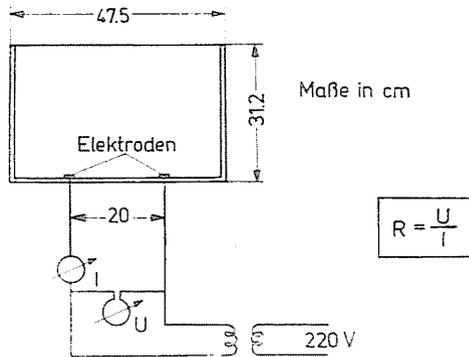


Abb. 1. Feuchtemeßgerät für Zuschlagstoffe auf elektrischer Widerstandsmessungsbasis (O.-Graf-Institut. Stuttgart) [8]

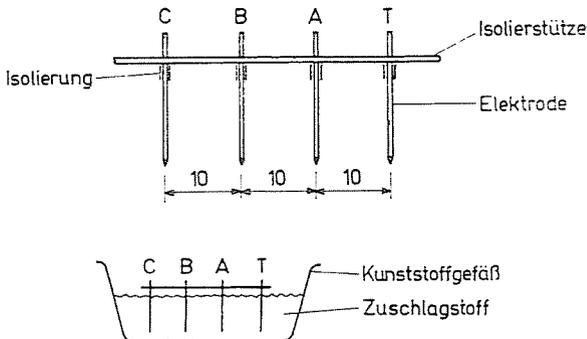


Abb. 2. Anordnung der Meßelectroden

Nach den Messungen im Otto-Graf-Institut wurden — in nichtverdichtetem Zustand — auch bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt kleinere Widerstände erhalten, wenn das Meßgefäß bis $2/3$ Höhe gefüllt war, als bei vollständiger ($3/3$) Füllung desselben.

In verdichtetem Zustand verursacht — bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt — die Füllungshöhe eine viel geringere Abweichung im Wert des elektrischen Widerstandes.

Bei der Fraktion 0—3 mm ist die Wirkung der Verdichtung stärker als bei den Kornfraktionen über 3 mm. Durch Lagerstätte (Grube—Fluß), mineralische Zusammensetzung, Korngröße sowie Körnung und Dichte wird die elektrische Leitfähigkeit des Aggregats in verschiedenem Grade, jedoch stets beeinflusst. In diesen Faktoren äußern sich die Porosität und Leitfähigkeit des Korns, die chemische Zusammensetzung der Feuchtigkeit (des Wassers), die Verunreinigung, all das, was von dem Gesichtspunkt des Betriebes der Betonmischanlage in Abhängigkeit von einer Schicht oder einer anderen Zeiteinheit als konstant betrachtet werden darf, also durch eine Korrektur der Meßwerte — als Fehler — beseitigt werden kann.

Die Streuung der Prüfungsergebnisse beträgt bei Gletschersand (Moränensand) 0,4 Gew.-%, bei Mainsand 0,8 Gew.-%, in einzelnen Fällen 1,7 Gew.-%.

Das entwickelte Meßverfahren ermöglicht ein rasches und kontinuierliches Messen und ist für Laborbedürfnisse geeignet. Eine wichtige Quelle der Meßungenauigkeiten besteht im Übergangswiderstand $R_{\bar{u}}$ zwischen der Elektrode (Meßfühler) und den Körnern, in Reihenschaltung zwischen den Eigenwiderständen der Zuschlagkörner R_{Zu} .

$$R = R_{\bar{u}} + R_{Zu} + R_{\bar{u}}.$$

Die Indexe (1,2) weisen auf die beiden Meßelektroden hin. Die Größe des Übergangswiderstandsfehlers läßt sich dadurch vermindern, wenn die Flächengröße der Elektroden dem Durchmesser der zu messenden Körner ähnlich gewählt wird. Die obere Grenze dieses Vorgehens wird durch die technischen Daten der Meßstelle, des Silos, des Speichers, der Dosieranlage bestimmt. Elektrisch ist die Flächenvergrößerung günstig, bis zu 8% Feuchtigkeitsgehalt beträgt die Meßgenauigkeit $\pm 1\%$.

3.32. Nach dem *Verfahren auf der Grundlage der Messung des spezifischen Widerstandes* wurden 1977 im Laboratorium des Lehrstuhls für Bauausführung und Organisation an der TU Budapest Messungen unternommen. Es wurde in Fraktionen von 0—5, 5—20 und 0—20 mm sortierter Donau-(Csepel) Kiessand benutzt.

Der Speisestrom ($U = 25,25$ V) wurde durch zwei Kraftwagenakkumulatoren geliefert, Spannung bzw. Stromstärke wurden mit je einem Digitalmultimeter TR 1660 gemessen. Die Meßelektroden waren aus Kupfer. Auf

einer Isolierplatte aus Kunststoff wurden vier 18 cm lange, $\varnothing 8$ mm dicke nadelförmige Elektroden in je 10 cm Abstand voneinander in einer Reihe angeordnet (Abb. 2). Die Länge des sich mit dem Zuschlagstoff berührenden Abschnitts betrug 13 cm. Der obere Abschnitt (von 5 cm Länge) wurde isoliert, damit sich jede Elektrode von der Eindringungstiefe unabhängig mit dem Meßmedium auf gleich großer Fläche B berühre. Das Schaltbild ist in Abb. 3 dargestellt.

Der zu prüfende Zuschlagstoff (etwa 210,0 N) wurde in ein Kunststoffgefäß eingebracht. In jeder Meßreihe wurde die Stärke des zwischen den Elektroden fließenden Stromes (I_2 , I_1 , I_0) durch Abstechen der Elektroden in die Zuschlagmenge an 10 verschiedenen Stellen gemessen. Durch Bilden des Quotienten U/I erhielt man den Widerstand R , der mit dem dazugehörigen

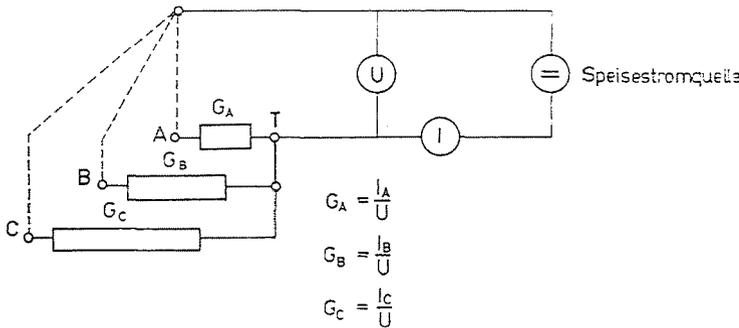


Abb. 3. Schaltbild

Elektrodenabstand (l_2 , l_1 , l_0) geteilt die Größe des (spezifischen) Widerstandes je Längeneinheit ergab. Bei Weglassen des kleinsten oder des größten Wertes von den in einer Meßreihe berechneten $3 \times 6 = 18$ Werten wurden die Mittelwerte der einzelnen Meßreihen gebildet. Die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert überschritten nicht 5%.

Die Abbildungen 4, 5, 6 zeigen die für die einzelnen Fraktionen erhaltenen Meßergebnisse. Der Kurvenverlauf gibt die Wasseraufnahmefähigkeit des Kornagglomerats in Abhängigkeit von der Körnung und dem Größtkorndurchmesser an. Um die Wirkung der mineralischen und physikalischen Kennwerte des Zuschlags herauszusieben, sind weitere Untersuchungen notwendig. Eine Analyse des Kurvenverlaufes, die Bestimmung der Meßgrenzen könnten eine bessere Ausnutzung der Empfindlichkeit des Meßgerätes und damit eine genauere Messung ermöglichen.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß im Falle einer günstigen Anordnung der Elektroden für eine große Stoffmenge kennzeichnende Angaben in Form von elektrischen Signalen erhalten werden; diese in das Regelungs-

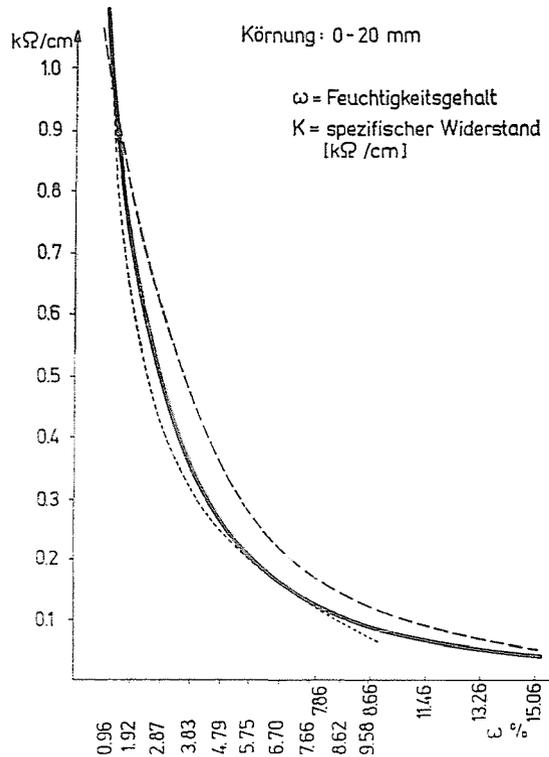


Abb. 4

system der Dosieranlage eingegeben, läßt sich eine fortlaufende, automatische Feuchtigkeitsgehaltkorrektur ermöglichen. Die Investitionskosten kommen aus dem einem Jahre im Betrieb ersparten Zement wieder ein.

3.33 Mit Hilfe von nach dem Prinzip der Kapazitätsmessung arbeitenden Geräten wird der Feuchtigkeitsgehalt des Prüfstoffes über die Messung der Dielektrizitätskonstante bestimmt.

Der Proportionalitätsfaktor der Kondensatorladung und der auf Wirkung der Ladung auftretenden Spannung ist die Kapazität:

$$Q = U \cdot C.$$

Dabei bedeuten:

Q = die elektrische Ladung (SI — Maßeinheit: Coulomb)

U = die elektrische Spannung (SI — Maßeinheit: Volt)

C = die elektrische Kapazität (SI — Maßeinheit: Farad)

Das Farad ist die elektrische Kapazität eines Kondensators, der durch 1 Coulomb auf 1 V Spannung aufgeladen wird.

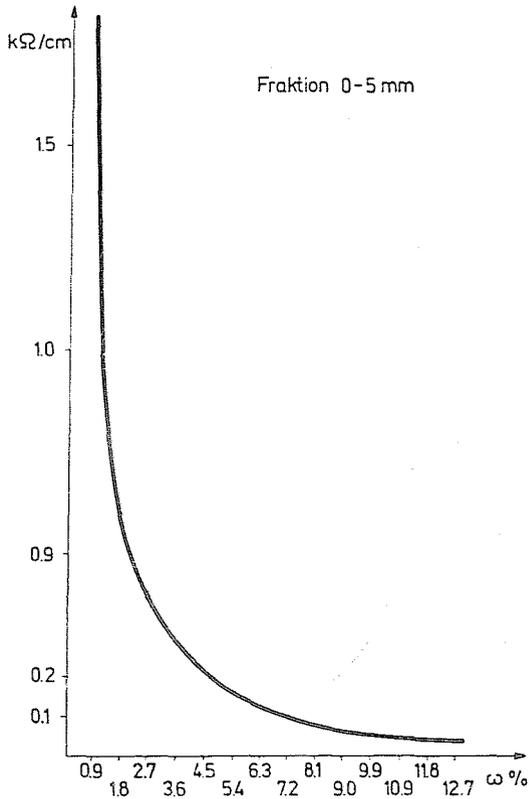


Abb. 5

Die Kapazität des aus parallelen Platten bestehenden sog. Plattenkondensators ist:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

wobei A die Fläche einer der einander gegenüberstehenden Platten
 d ihren Abstand voneinander
 bedeutet.

Es ist üblich, den Proportionalitätsfaktor ε in der Form

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

auszudrücken, wo

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A} \cdot \text{s} / \text{V} \cdot \text{m}$ infolge des gewählten Maßsystems konstant,
 und

ε_r eine von dem zwischen den Platten befindlichen Isolierstoff, dem sog.
 Dielektrikum, abhängige, dimensionslose Zahl ist.

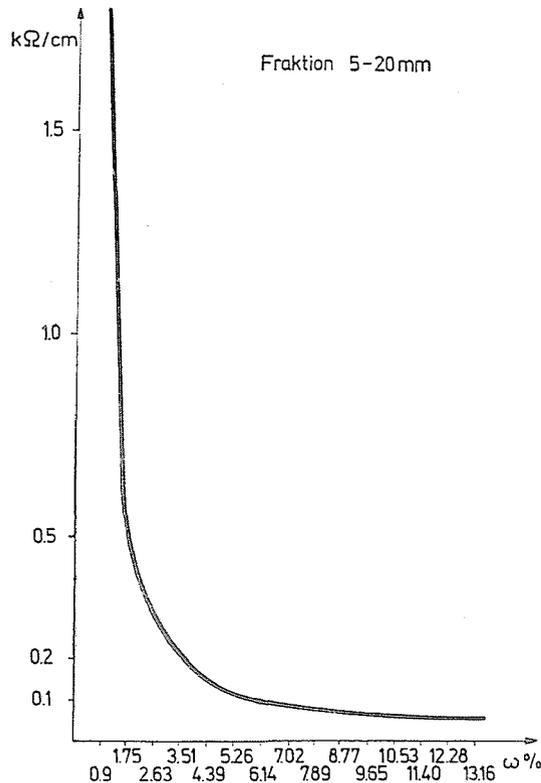


Abb. 6

Früher wurde sie Dielektrizitätskonstante genannt, im SI — System ist die Bezeichnung Permittivität gebräuchlich.

$$1,0 \text{ F/m} = 1,0 \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}} = \varepsilon$$

(A = Amper; s = sec; V = Volt; m = Meter).

In Vakuum und mit guter Näherung auch in Luft ist

$$\varepsilon = 1,0;$$

in destilliertem Wasser: $\varepsilon = 90,0$; in Trinkwasser: $\varepsilon = 80,0$; in trockenem Kiessand: $\varepsilon = 20,0$.

Bei kapazitiven Messungen ist zu berücksichtigen, daß die Kapazität der Kondensatoren temperaturabhängig ist, und diese dabei — von dem Typ abhängig — nur zwischen gewissen Temperaturgrenzen eingesetzt werden dürfen, ohne ihre Lebensdauer zu gefährden.

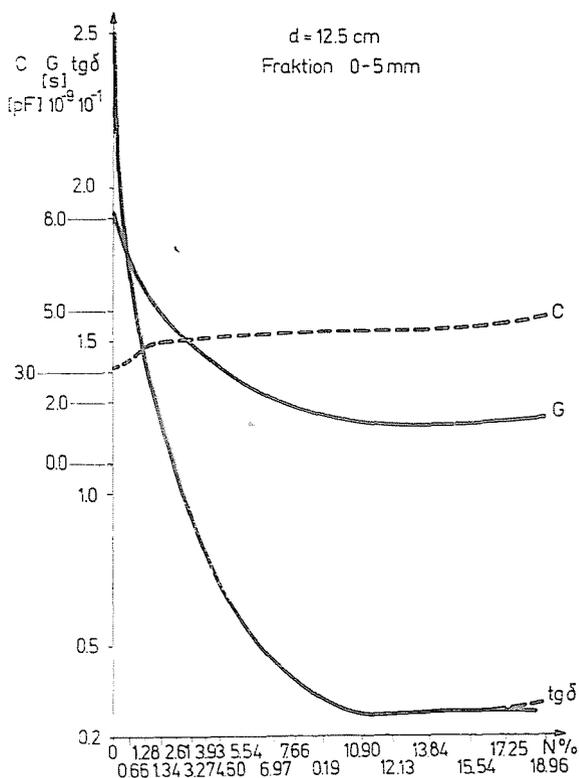


Abb. 7

Die Änderungen der Dielektrizitätskonstante werden mit Hilfe der im Institut VUTMS in Bratislava und im Mineralogischen Institut in Clausthal entwickelten Kapazitätsmeßbrücke gemessen. Über die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts von Gießereisand werden im Forschungsinstitut für Geräteindustrie (MIKI) ergebnisvolle Forschungen durchgeführt (Hygropress).

Nach einem Verfahren auf Kapazitätsmessungsbasis wurden 1978 im Laboratorium des Lehrstuhls für Bauausführung und Organisation der TU Budapest Messungen unternommen. Für die Versuche wurde sortierter Donau-Kiessand (Csepel) Fraktion 0—5 mm verwendet. Der Zuschlagstoff wurde in einer Kunststoffbüchse isoliert zwischen den Kondensatorbelägen (paralleler Plattenkondensator, $A = 20 \text{ cm}^2$) eingebracht. Der d -Wert war innerhalb je einer Meßreihe konstant.

Die Messungen wurden mit Hilfe einer Kapazitätsmeßbrücke durchgeführt. Von dem Instrument konnten die Kapazität (C , pF) und die Leitfähigkeit (G , Siemens) direkt abgelesen werden.

In Kenntnis der Eigenfrequenz der Gerätspeisespannung ($\omega = 1592$ Hz) wurde der Verlustfaktor berechnet:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{G}{\omega \cdot C}.$$

Die Meßergebnisse sind in Abb. 7 dargestellt. Im Feuchtigkeitsgehaltsbereich zwischen 0 und 10% wird der Wassergehalt des Aggregats durch den G- und den $\operatorname{tg} \delta$ -Wert gut repräsentiert.

Bei größerer Körnung konnte nur eine repräsentative Meßreihe erhalten werden, wenn durch die feinen Körner die Zwischenräume zwischen den größeren Körnern gut ausgefüllt waren. Die stufenweise Prüfung der Körnung ergab wegen der Kapillarbewegung der Wasserteilchen zwischen den Körnern keinen signifikanten Wert.

Von der Untersuchung der Temperaturänderungswirkung wurde wegen der Laborbedingungen (konstante Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit) Abstand genommen.

Weitere Untersuchungen sind vor allem für die günstige Ausgestaltung des Meßkondensators, für die bessere Ausnutzung der Empfindlichkeit des Geräts im Interesse einer genaueren Messung erforderlich.

Dieses Verfahren liefert — bei zweckdienlicher Temperaturkorrektur — genauere Ergebnisse, als die Messung des spezifischen Widerstandes, daher ermöglicht seine Anwendung in zentralen Betonmischanlagen eine laufende, automatische Korrektur des Feuchtigkeitsgehaltes. Die Konstruktion des Geräts ist verwickelter, daher auch kostspieliger.

3.34. Die *Isotopentechnik* bietet weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.

Die Feuchtigkeitsmessung und -regelung auf Radioaktivitätsbasis beruht auf dem Prinzip, daß die aus der Strahlungsquelle austretenden Schnellneutronen durch den Wassergehalt des Mediums stark abgebremst werden.

Die Neutronen sind elektrisch neutrale elementare Teilchen, die beim Durchdringen durch das Material weder mit den Elektronen der Atomschale noch mit dem Coulomb-Feld der Kerne in Wechselwirkung treten. Sie können jedoch durch die Kernkräfte mit den Atomkernen des Materials in Wechselwirkung treten, u. zw. auf verschiedenen Kernen einer Streuung unterliegen oder an diesen eine Kernreaktion auslösen. Die Neutronen können auf den Atomkernen einer elastischen oder nichtelastischen Streuung unterliegen. Für die Feuchtigkeitsmessungen an Zuschlagstoffen wird die elastische Streuung ausgenutzt.

Bei elastischer Streuung wird der Kern durch das Neutron nicht erregt, infolge des Rückstoßes des an der Kollision beteiligten Targetkerns gibt aber das gestreute Neutron einen Teil seiner Energie ab. Bei der elastischen Kollision kann der angestoßene Kern seine Elektronenschale verlieren und

wird als geladenes Teilchen hoher Geschwindigkeit detektiert. Bei der Kollision verlangsamt sich das Neutron.

Bei der Kollision mit schweren Atomen (Zuschlagstoffteilchen) haben die Neutronen kaum einen Energieverlust, während sie bei der Kollision mit einem Wasserstoffatom einen beträchtlichen Teil ihrer Energie abgeben. Die in der Neutronenquelle entstandenen schnellen Neutronen mit einigen MeV Energie werden nach einigen Kollisionen auf die Energie von etwa 0,025 eV abgebremst, was der Umgebungstemperatur entspricht.

Für die Messung der Neutronenstrahlung werden proportionale Zählröhre mit BF_3 -Füllung benutzt. Das Borisotop ^{10}B geht mit dem Neutron in Kernreaktion, deren Ergebnis u. a. ein elektrisch geladenes Teilchen ist, das fähig ist, das Gas zu ionisieren. Die bei der Ionisation auftretenden Stromstöße werden durch den an den Detektor angeschlossenen Verstärker verstärkt und gezählt. Bei richtig eingestellter Diskriminationsspannung in dem Meßgerät werden die schnellen Neutronen und die Gammastrahlen nicht gezählt. Die detektierten Zählstöße sind damit der Zahl der verlangsamteten Neutronen, d. h. der Protonen im Meßgut und so mittelbar dem Feuchtigkeitsgehalt des Materials proportional.

Für Neutronen- und Gammastrahlungsmessung hat sich der Szintillationsstrahlungsmesser mit $\text{Z}_n\text{SA}_g + \text{B}$ als Szintillator sehr verbreitet. Durch die Szintillationsdetektoren wird der Effekt ausgenutzt, daß gewisse Stoffe auf Wirkung nuklearer Strahlung Licht ausstrahlen. Die Lichtsignale werden dann in elektrische Signale umgewandelt. Der Szintillationsdetektor besteht aus zwei Teilen:

- dem die Energie des Teilchens in Lichtenergie umwandelnden Szintillator, und
- der auf Wirkung der Lichtphotonen elektrische Stromimpulse erzeugenden Elektronenröhre, dem Elektronenvervielfacher.

Im photoelektrischen Vervielfacher entstehen auf Wirkung des Lichtes Photoelektronen, deren Anzahl sich beim Durchgang durch das Rohr vervielfacht und sich die Lichtenergie so in ein elektrisches Signal mit viel höherer Energie umwandelt. Dieses wird in der bei den Zählröhren beschriebenen Weise verstärkt, gezählt und ausgewertet. In letzterer Zeit werden auch Halbleiter mit gutem Erfolg zu der Messung schneller Neutronen eingesetzt. Die Halbleiter, wie z. B. Germanium, ändern ihren Widerstand auf Wirkung von schnellen Neutronen, während sie gegen Gammastrahlung vollkommen unempfindlich sind.

In der Bauindustrie werden als Neutronenquellen Radiumberyllium (Ra-Be), Poloniumberyllium (Po-Be) und Plutoniumberyllium (Pu-Be) benutzt.

Beim Einsatz geschlossener Strahlenquellen stellt eine äußere Bestrahlung Strahlengefahr dar. Auch daraus kann Gefahr entstehen, daß eine geschlossene Strahlenquelle »offen« wird, wenn durch den zerstreuten radio-

aktiven Stoff die Mitarbeiter in der unmittelbaren Umgebung gefährdet werden. Der Strahlenschutz der betreffenden Arbeitsplätze muß sichergestellt werden; dafür sind die Bedingungen in ortsfesten Betonmischanlagen heute bereits gewährleistet.

Die Meßgenauigkeit ist umso höher, je größer der Unterschied zwischen den Atomgewichten des zu messenden Stoffes und des Wassers ist. Diese

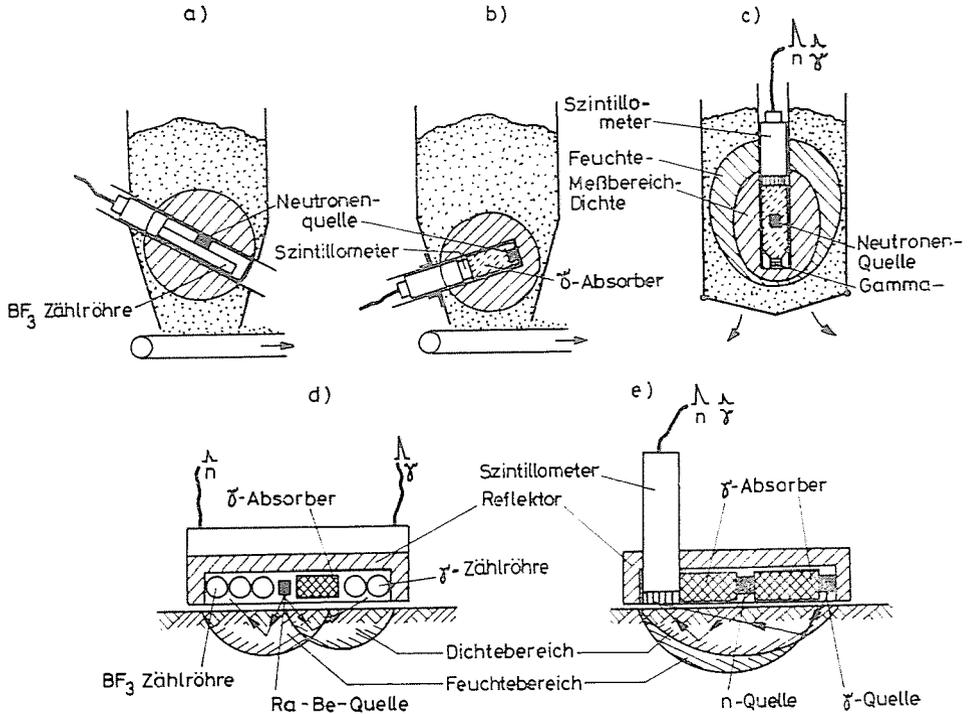


Abb. 8. Anordnung der Meßsonden [11]

Voraussetzung ist bei der Feuchtigkeitsmessung von Zuschlagstoffen gegeben. Ein schwierigeres Problem besteht darin, daß das Prinzip der Messung eine konstante Dichte des Meßgutes voraussetzt. Der daraus herrührende Fehler läßt sich durch eine geeignete Meßstellenwahl beseitigen oder wenigstens herabsetzen (Abb. 8).

Diese Methode hat den Vorteil, daß sie eine schnelle und kontinuierliche Messung ermöglicht, kennzeichnende Daten liefert, eine automatische Regelung des Feuchtigkeitsgehaltes, die Selbstkontrolle und Selbstregelung des Systems ermöglicht. Ihr Nachteil besteht in den hohen Investitionskosten und der erforderlichen sorgfältigen Pflege und Instandhaltung.

4. Schlußfolgerungen

Von den beschriebenen Feuchtigkeitsgehalts-Prüfverfahren darf festgestellt werden, daß es sich um grundsätzlich geklärte und die technologischen Bedürfnisse befriedigende Methoden handelt.

Die traditionelle Trocknung und das Pyknometerverfahren sind vor allem für Labormessungen geeignet.

Die elektrischen und radioaktiven Meßverfahren ermöglichen mit Hilfe der mit einer modernen Elektronik ausgestatteten Meßeinrichtungen eine genaue, zuverlässige und schnelle Messung. Unter Anwendung der die Messung repräsentierenden elektrischen Signale oder Impulse sind sie für den Betrieb von automatischen Steuer-(Zumeß-)Anlagen geeignet, die in Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlagstoffes, unter Berücksichtigung der Mischanweisung (des Programms) die Herstellung eines Fertigproduktes, nämlich Frischbetons gleichmäßig guter Qualität gewährleisten.

In ortsfesten Betonmischanlagen müssen die wirksamere Produktion und bessere Qualität durch den Einsatz moderner Meßverfahren, Regel- und Steuereinrichtungen — als zusammenhängende Prozeßregelungssysteme — sichergestellt werden. Die Realisierung dieses Vorhabens ist heute im Interesse der Gesellschaft und stellt eine Voraussetzung des weiteren Fortschritts dar.



Zusammenfassung

Die Entwicklung der Bauindustrie in Ungarn wird durch die Gestaltung der Zementherstellung und in Zusammenhang damit durch die Betonbereitung charakteristisch gespiegelt. Im gegenwärtigen Entwicklungsabschnitt sind im Interesse besserer wirtschaftlicher Ergebnisse mehrere grundlegende Anforderungen zu erfüllen, von denen — die Bereitung von Betonen gleichmäßig guter Qualität und — eine zementsparende Technologie die wichtigsten sind.

Eine der aus betontechnologischer Sicht schwierigsten Fragen ist die rasche und genaue Bestimmung der Eigenfeuchtigkeit des zur Verfügung stehenden Zuschlags und deren Berücksichtigung durch eine entsprechende Korrektur der Wasserdosierung.

Nach einer Übersicht der möglichen Erscheinungsformen des Wassers im Zuschlagstoff werden die Anwendungsmöglichkeit der einzelnen Meßverfahren, die erreichbaren Meßgenauigkeiten und die Anwendbarkeit dieser Verfahren in automatisierten Prozeßregelungssystemen untersucht.

Literatur

1. KÉZDI, Á.: Bodenmechanik.* Bde I—II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1960.
2. KÉZDI, Á.: Bodenmechanisches Praktikum.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1961.
3. WEISS, GY.: Meßtechnische und Instrumentenkenntnisse für bautechnische Laboratorien,* Bde I—II—III. ÉMI Nr. 22: 28. ÉTK. Budapest, 1974/75/76.
4. WEISS, GY.: Prüfung der Betonausgangsstoffe.* ÉMI Nr. 31. ÉTK. Budapest, 1977.
5. SIMONYI, K.: Theoretische Elektrizitätslehre.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1973.
6. KOVÁCS, I.: Die Isotopentechnik (Physikalische Grundlagen).* Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
7. IKEN—LACKNER—ZIMMER: Handbuch der Betonprüfung. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1972.
8. WISCHERS, G.—HALLANEV, O.: Einfluß und Bestimmung der Eigenfeuchte von Betonzuschlagstoffen. Betontechnische Berichte, 1966. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1977.
9. KÜHN, G.: Die Bauausführung. Beton-Kalender 1974. Verl. W. Ernst u. Sohn, Berlin—München—Düsseldorf, 1974.
10. BEVONSEN, K. E.: Feuchtemessung für die Betonherstellung. Betonstein-Zeitung H. 2. 1969, S. 74—80.
11. SCHEID, E.: Kompensierung der Eigenfeuchte bei Betonmischung. Das Baugewerbe, H. 23, 24, 1972, H. 1, 1973.
12. LEERS, K. J.—RÖGER, K.: Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeit eines neuen Feuchtemeßgerätes für mineralische, körnige Baustoffe. Tonindustrie Zeitung H. 4. 1972, S. 92—97.
13. NAGY, P.: Funktionsprüfung eines Mörtelwerkes unter besonderer Berücksichtigung des wirtschaftlichen Betriebs.* (Publikation des Lehrstuhls für Bauausführung und Organisation TU Budapest). Közdok. Budapest, 1976.

Dozent Dr. PÁL LÁNCZOS, H-1521, Budapest



* In ungarischer Sprache.