

ÜBER DIE NOTWENDIGKEIT DER FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG VON NORMALBETONZUSCHLÄGEN

P. LÁNCZOS

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

I. Einleitung

Sowohl die moderne Architektur im Hochbau als auch der Ingenieurbau im Tiefbau wenden immer öfter Sichtbetonflächen an. Beton ist nicht mehr bloß Werkstoff, sondern auch ein Ausdrucksmittel der Baukunst unserer Zeit. Daher sind die an Sichtbetonflächen gestellten Ansprüche gestiegen.

Neben den ästhetischen Ansprüchen sind auch die Forderungen hinsichtlich Festigkeit, Dauerhaftigkeit, Formänderungseigenschaften usw. gewachsen. Die Bauindustrie ist einer häufigen und berechtigten Kritik ausgesetzt, sowohl auf dem Gebiet der Betontechnologie, wegen der Frischbetonbereitung, des Transports, des Einbringens auf technischem, als auch auf ökonomischem Gebiet.

In der vorliegenden Arbeit möchte sich der Verfasser mit der Wirkung der Genauigkeit des Wasserzusatzes auf die gleichmäßige Güte des Produktes beschäftigen.

2. Analyse der ungarischen Betonproduktion

Die qualitative Verteilung der von der staatlichen Bauindustrie 1976 erzeugten Frischbetonmischungen (nach der ungarischen Norm MSZ 4719—58) war wie folgt:

	Menge			
	insgesamt		davon Transportbeton	
	Mm ²	%	Mm ³	%
B.100	1.48	21.2	0.71	22.8
B.140—B.200	3.40	48.6	1.91	61.2
B.280	1.70	24.4	0.49	15.7
darüber	0.40	5.8	0.01	0.3
Insgesamt:	6.98	100,0	3.12	100,0

Aus der Tabelle ist zu erkennen, daß die Qualitäten B 140 und B 200 den entscheidenden Anteil der Betonerzeugung ausmachen. Für die Betriebe war die Bereitung von erdfuchten (FN-1) Betonen und von Betonen etwas plastischer Konsistenz (KK-3) kennzeichnend.

Die quantitative und qualitative Verteilung der von der staatlichen Bauindustrie im Jahre 1977 hergestellten 7,45 Mm³ Frischbetonmenge war der obigen ähnlich. Von dieser zentral erzeugten Betonmenge wurden

für Fertigteile	2,40 Mm ³	32,2%
als Transportbeton	3,58 Mm ³	48,0%
insgesamt	5,98 Mm ³	80,2%

verwendet.

Nur 19,8% (etwa 1,48 Mm³) der von der staatlichen Bauindustrie eingebauten gesamten Betonmenge werden auf der Baustelle bereitet.

Von den im Privatbausektor verbrauchten 1,1 Mm³ Beton wurden über 54% in zentralen Betonmischanlagen hergestellt.

Der Prozentanteil des Transportbetons läßt sich in der staatlichen Bauindustrie kaum weiter erhöhen, weil die 19,8% Ortbeton größtenteils an Baustellen bereitet werden, die entweder so geringe Mengen verbrauchen, die keine ganze Fracht ausmachen, wobei der fachgerechte Empfang zu kostspielig wäre und die laufende Verarbeitung nicht sichergestellt werden könnte, oder an Baustellen, die von zentralen Mischanlagen soweit entfernt liegen, daß der Beton mit guter Wirtschaftlichkeit nicht transportiert werden kann, oder aber die technologischen Gegebenheiten den Verbrauch von Transportbeton nicht gestatten.

Die Entwicklung muß also nicht in quantitativem, sondern in qualitativem Sinne erfolgen.

3. Technologische Bedingungen

Von den Verbrauchern wird in erster Reihe eine gleichmäßige vorgeschriebene Frischbetongüte gefordert. Diese Gleichmäßigkeit läßt sich nur durch eine genaue Dosierung von Rohstoffen ständig gleicher Qualität, durch genaue Zumessung und gründliches Mischen gewährleisten.

Die Bedingungen für die Befriedigung der gewachsenen Forderungen müssen in der zentralen Mischanlage

— bei der Aufbereitung, dem Empfang, der Lagerung der Grundstoffe (Eingangselemente)

— im Produktionsgang durch die Leitungstätigkeit (Zielsetzung, Information, Entscheidung, operative Planung-Organisation, Arbeitsvergabe, Kontrolle) aufrechterhalten (Wertbildungsprozeß)

— ferner durch die laufende Überwachung des Fertigproduktes (des Frischbetons) und in diesem Zusammenhang durch die Produktionsleitungs- und Kontrolltätigkeit (Ausgangselemente) gewährleistet werden.

Das technologische Funktionsschema einer Betonmischzentrale ist in Abb. 1 dargestellt.

Von der zentralen Betonmischanlage werden Bindemittel (Zement), chemische Zusatzmittel (Erstarrungsverzögerer, Betonverflüssiger usw.) durch den Herstellerbetrieb garantierter Güte sowie sortierte, auf 4 bis 6 Fraktionen getrennte Zuschläge bekannter mineralischer Zusammensetzung verwendet.

Die wichtigsten Grundsätze in Verbindung mit den Zuschlagstoffen und der Betontechnologie zusammengefaßt, darf festgestellt werden, daß

— Betone mit Zuschlägen verschiedener Körnung — unter sonst gleichen Bedingungen — um die gleiche Konsistenz und Verarbeitbarkeit zu erreichen, *eines unterschiedlichen Wasserzusatzes* bedürfen,

— Zuschläge mit der gleichen Körnungsziffer — bei annähernd gleicher fiktiver Oberfläche — solange der Beton verarbeitbar plastisch ist — den gleichen *Wasserbedarf* und die gleiche betontechnische Kennwerte haben,

— auch bei einer gestuften Körnung gut verarbeitbare Betone erforderlicher Festigkeit hergestellt werden können,

— die Körnung des Zuschlags — über die Körnungsziffer und das Porenvolumen sowie wegen der veränderten Oberfläche — den zum Erreichen

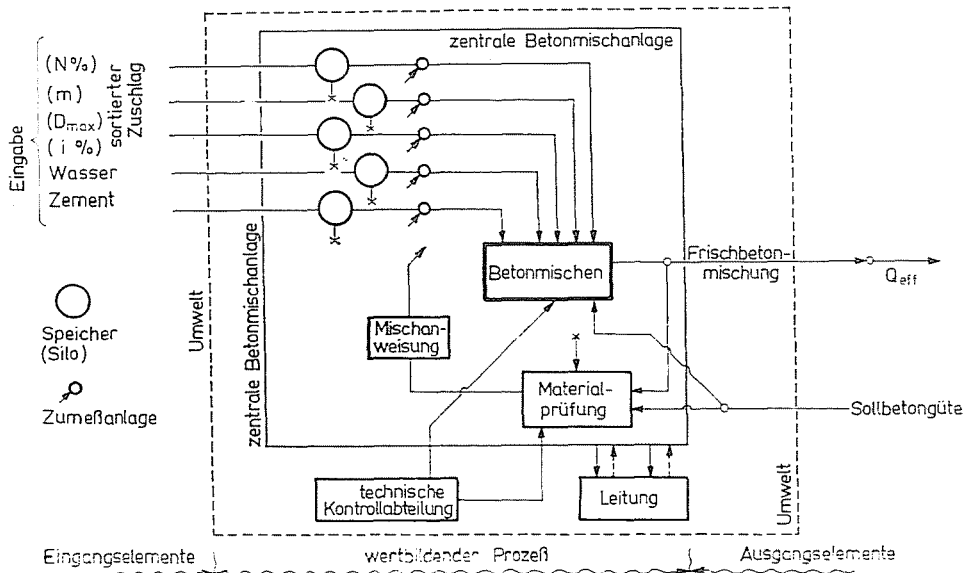


Abb. 1. Technologisches Funktionsschema einer zentralen Betonmischanlage

vorgeschriebener Kennwerte notwendigen Zementbedarf, den *Wasserbedarf* und dadurch die Kennwerte selbst beeinflusst,

— der *Wasserbedarf* mit zunehmender Körnungsziffer abnimmt, hingegen mit zunehmender Oberfläche wächst.

Aus dem Gesagten ist zu erkennen, daß die qualitativen Kennwerte des Frischbetons durch die individuellen, objektiven Eigenschaften der verbrauchten Bestandteile:

- Bindemittel
- Zuschläge
- Wasser

determiniert werden.

Das Mischungsverhältnis, die quantitativen und qualitativen Kenngrößen der Bestandteile weisen in ihren Wechselwirkungen Zufalls- und stochastische Zusammenhänge auf.

Es läßt sich feststellen, daß die Herstellung von Frischbeton gleichmäßig guter Qualität neben der innerbetrieblichen technologischen Disziplin auch durch die objektive Kenntnis der Eigenschaften der Grundstoffe, unter diesen des Zuschlags grundlegend bestimmt wird.

Unter den Kenngrößen des Zuschlags sind zu nennen:

- die Kornverteilung
- die Körnungsziffer
- das Größtkorn
- der Schlamm- und Tongehalt und
- der Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlags.

Durch die Prüfung des in der zentralen Mischanlage eintreffenden sortierten oder rohen Kiessandes erhält man genaue Information über die Schärfe der Sortierung, für die Verfertigung der Mischanweisung, die Regelung der Dosierung und Messung sowie für die laufende Kontrolle.

4. Die Wirkung der Wasserdosierung

Gegenwärtig ist die Lage weniger günstig, was die Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts der Zuschlagstoffe und die damit zusammenhängende Wasserzuteilung anbelangt.

Das zeigen auch die Qualitätsprüfungen (im Institut für Qualitätsprüfung) der letzten Jahre. Seit dem Jahre 1971 wurden die Erzeugnisse mehrerer hochleistungsfähiger, weitgehend automatisierter, zentraler Betonmischanlagen vertikaler Anordnung kontrolliert, u. zw. mittels Stichprobenerhebung durch Prüfung aus der Produktion, von dem Mischer und auf der Einbaustelle entnommener Prüfkörper und durch statistische Auswertung der Ergebnisse.

Der Zusammenhang zwischen dem Zementgehalt und der Festigkeit des Betons ist nach den Prüfungen 1971 in Abb. 2 dargestellt.

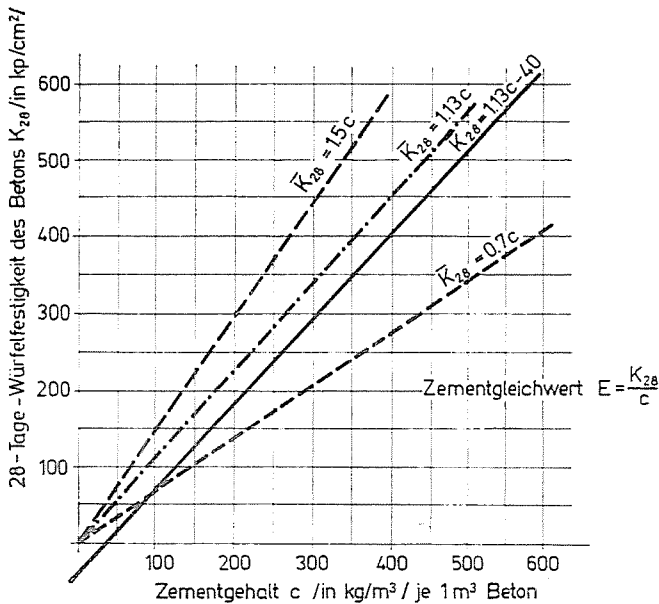


Abb. 2. Zementgehalte bei fünf modernen Betonwerken (1971)

Aus dieser ist zu erkennen, daß die untersuchten Betriebe mit Zement 10 N C 500 Festigkeiten von 7,0 bis 15,0 N/cm² erreichen konnten. Die Gleichung der nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmten Regressionsgeraden lautet:

$$K_{28} = 1,13 \cdot C$$

was bei einem Beton B 200 einer Zementdosierung von $C = 1800 \text{ N/m}^3$ entspricht. (Für den Korrosionsschutz von Stahlbetonkonstruktionen ist das jedoch nicht ausreichend.)

Aus den Frischbetonanalysen an Betonen B 200 wurde auf die Genauigkeit der Wasserdosierung geschlossen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1
Genauigkeit der Wasserdosierung

Nr.	Zeichen	Wasser-Zement-Wert W Z			Zement-Wasser-Faktor Z W			
		Mittel	von	bis	Mittel	von	bis	Variation
1.		0,530	0,500	0,550	1,88	1,80	2,00	4,8%
2.		0,507	0,470	0,530	1,97	1,89	2,13	5,8%
3.		0,614	0,517	0,658	1,63	1,52	1,78	6,9%
4.	X	0,588	0,470	0,800	1,70	1,25	2,13	27,4%
5.	+	0,455	0,389	0,510	2,20	1,96	2,57	10,5%

Zeichenerklärung: + kommt oft vor
X kommt selten vor.

Abb. 3 zeigt die bei den untersuchten Betrieben beobachtete Streuung der Festigkeiten und den Variationskoeffizienten der Zement-Wasser-Faktoren. Nach den Prüfungsergebnissen ist die Zunahme des Variationskoeffizienten des Wasser-Zement-Wertes (Zement-Wasser-Faktors) in der Regel von einer beträchtlichen Zunahme der Festigkeitsstreuung begleitet.

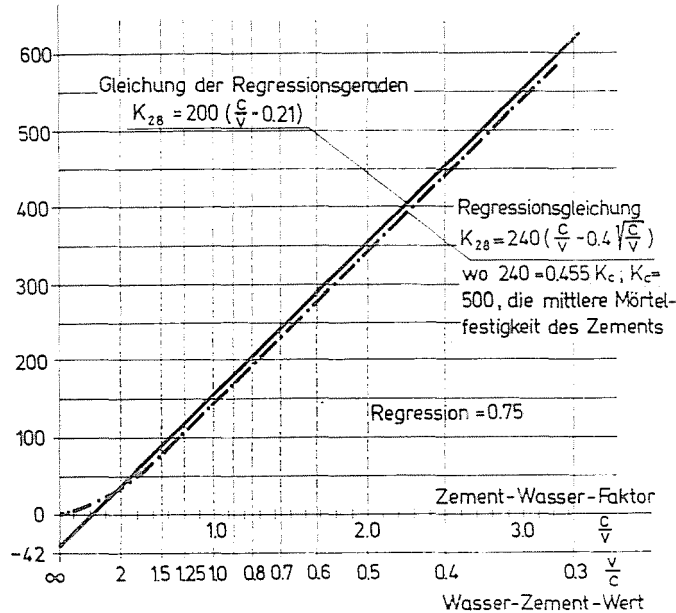


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Betonfestigkeit und Zement-Wasser-Faktor in Betonwerken beim Verbrauch von Beton 500

Nach empirischen Angaben läßt sich feststellen, daß in einem modernen Betrieb der Variationskoeffizient des Zement-Wasser-Faktors höchstens 6% betragen darf. Nach den Prüfungsergebnissen entspricht unter den gegebenen Bedingungen bei Beton B 200 einer einprozentigen Schwankung des Z/W eine Festigkeitsänderung von $1,0 \text{ N/mm}^2$.

Das bedeutet, daß für eine Betonmischung der Güte B 200 bei einer Zementdosierung von 2060 N/M^3 C 350 pc mit einem Wasser-Zement-Wert $W/Z = 0,6$ ($Z/W = 1,67$) $1236,0 \text{ N}$ Anmachwasser notwendig sind.

Die Fraktionen des verwendeten Zuschlags:

0—1	3850,0 N
1—4	3850,0 N
4—8	3850,0 N
8—31,5	7700,0 N
Insgesamt:	19250,0 N

Ein einprozentiger Feuchtigkeitsgehalt der Feinsandfraktion 3850 stellt einen Wassergehalt von $38,50 \text{ N}$ (3,85 Liter) dar.

Der fünfprozentige Feuchtigkeitsgehalt in der 7700 N Fein- und Grob- sandmenge stellt eine Wassermenge von 385,0 N (38,5 Liter) dar. Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts der Fraktion 0—4 mit einer Genauigkeit von 1% ergibt eine überschüssige Wassermenge von 77,0 N (7,7 Liter). Das sind: 1236,0 N (123,6 Liter $\sim 100\%$) 6,2% des Anmachwasserbedarfs.

Bei unveränderter Zementdosierung (2060,0 N/m³) wird infolge der einprozentigen zusätzlichen Wasserdosierung der Wasser-Zement-Wert erhöht:

$$W/Z = \frac{1313}{2060} = 0,637$$

und der Zement-Wasser-Faktor erhält den veränderten Wert von

$$Z/W = \frac{2060}{1317} = 1,564.$$

Die Änderung des Zement-Wasser-Faktors beträgt: $1,666 - 1,564 = 0,102$, das bedeutet eine Wertabnahme von 6,1%, die nach Auflösung der Regressionsgleichung

$$K_{25} = 200 (Z/W - 21)$$

eine Festigkeitsverminderung von

$$2,05 \text{ N/mm}^2$$

ergibt. Nach der linearen (Bolomeyschen) Beziehung der Form $K_{25} = A(Z/W - B)$ mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, erhält man:

$$A = 200 \text{ und } B = 0,21 .$$

Einen ähnlichen Wert erhält man aus dem Weißschen Wurzelzusammenhang:

$$K_{25} = a K_c \frac{Z}{W} - b \frac{Z}{W}$$

wo $a = 0,435$ und $b = 0,4$, gesetzt, daß die durchschnittliche erdfeuchte Festigkeit des verwendeten Zements

$$K_c = 55,0 \text{ N/mm}^2$$

beträgt.

Bei einer derartigen Änderung der Soll-Betongüte kann die vorgeschriebene und gewünschte gleichmäßige Qualität keinesfalls sichergestellt werden.

Diese Ergebnisse werden leider durch den Zusammenhang zwischen dem gemessenen Wasser-Zement-Wert und der gemessenen Würfel­festigkeit der mit Zement 350 bereiteten, im Institut für Qualitätsprüfung (ÉMI) 1978 geprüften Betone bestätigt (Abb. 4).

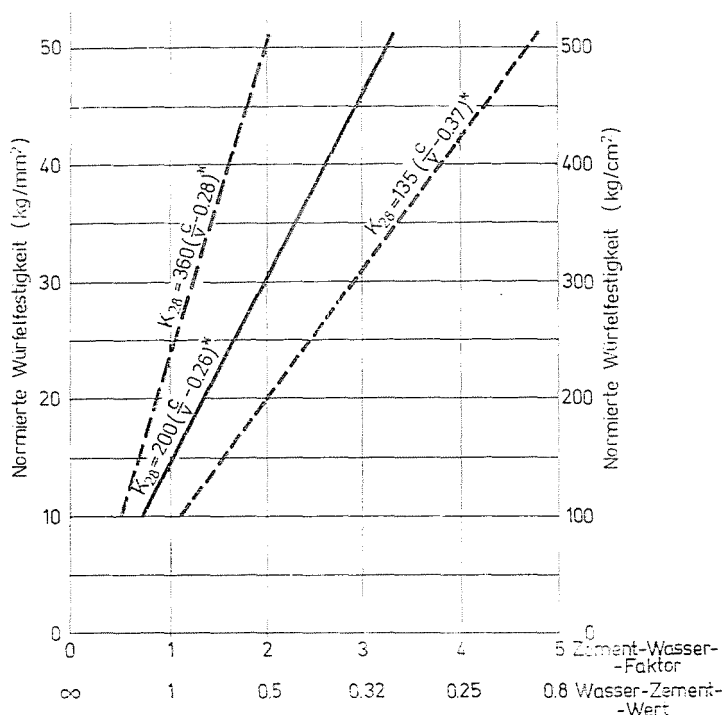


Abb. 4. Zusammenhang zwischen dem gemessenen Wasser-Zement-Wert und der gemessenen Würfel­festigkeit der im Institut für Qualitätsprüfung geprüften, mit Zement C 350 bereiteten Betone. Bemerkung: In den im Jahre 1976 bestimmten Gleichungen bedeutet K_{28} die Würfel­festigkeit in kg/cm²

Die Ergebnisse der im Institut ÉMI in großen Serien während fast zweier Jahrzehnte durchgeführten Untersuchungen sind in den Abbildungen 5 und 6 zu sehen.

In unserer Zeit stellt neben der regelmäßigen mengenmäßigen Steigerung der Produktion die Verbesserung der Qualität eine notwendige wirtschaftliche Bedingung dar. Daher ist es bei der Prüfung jedes Produktionsprozesses von vorrangiger Bedeutung, zu bestimmen, in welchem Teil des Prozesses, wo, welche Maßnahmen (technische Bestimmungen) für die Gewährleistung der erforderlichen Güte getroffen werden, wo und warum die »Lücke« entsteht, durch welche die Güte beeinträchtigt wird. In den ungarischen Betonmischanlagen macht sich diese »Lücke« in der Ungenauigkeit der Feuch-

tigkeitsmessung und im Mangel einer automatischen Wasserdosierung bemerkbar, die eine gleichmäßige Güte des Erzeugnisses und die zementsparende Produktion unmöglich machen.

Wenn es dem Verfasser gelang, in dieser Arbeit die Bedeutung des Problems herauszustellen und die Aufmerksamkeit auf die Lösungsmöglichkeiten bzw. die Notwendigkeit weiterer Forschungen zu lenken, so war seine Mühe nicht verloren.

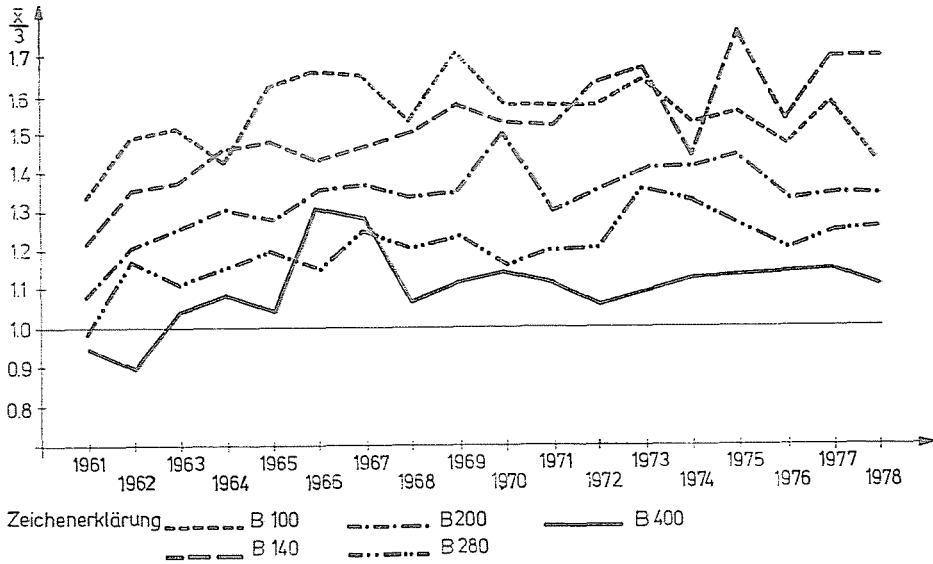


Abb. 5. Verlauf des Mittelwertes der Betonfestigkeit

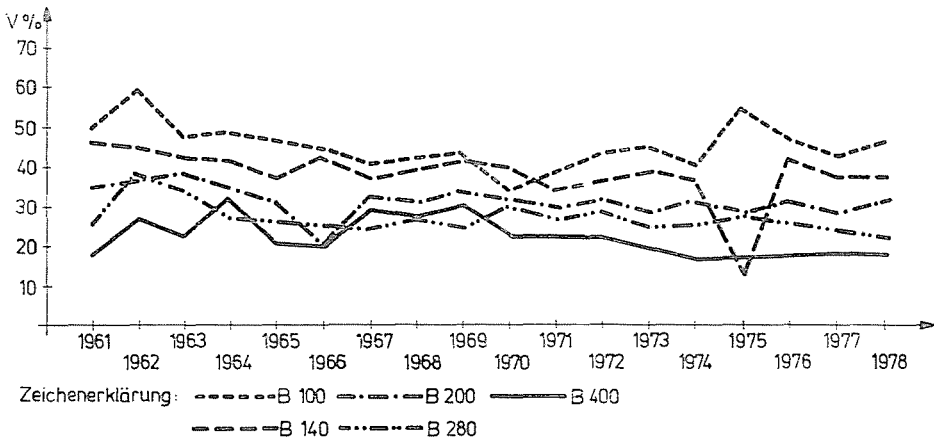


Abb. 6. Verlauf der Ungleichmäßigkeit des Betons

Zusammenfassung

Die neuen Baustile wenden immer häufiger Sichtbetonflächen an. An diese Rohbetonflächen werden höhere ästhetische Anforderungen und qualitative Ansprüche gestellt.

In unserer Zeit ist die Qualitätsverbesserung eine notwendige Wirtschaftlichkeitsbedingung. Daher ist es bei der Untersuchung eines jeden Produktionsprozesses von vorrangiger Bedeutung, zu ermitteln, in welchem Teil des Prozesses, wo, welche Maßnahmen für die Gewährleistung der erforderlichen Güte getroffen werden, wo und warum eine »Lücke« entsteht, die zur Güteverminderung führt.

Der Verfasser versuchte, in der Arbeit die Bedeutung des Problems zu verdeutlichen und die Aufmerksamkeit auf die Notwendigkeit weiterer Forschungen zu lenken.

Literatur

1. BALOGH, B.: Die Struktur der ungarischen Bau- und Baustoffindustrie.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.
2. Technische und wirtschaftliche Untersuchung über die Gründung zentraler Betonbetriebe.* Forschungsbericht, ÉGSZI Nr. 2, 1976, Budapest, 1962.
3. Über die Güte der 1978 geprüften Baustoffe, Baukonstruktionen und Bauarbeiten.* (3. Kap. Auswertung der Mechanischen Abteilung) Jahresbericht 1978 des Instituts für Qualitätsprüfung, Budapest, 1979.
4. Teilkonzeption des technischen Entwicklungsplanes des VI. Fünfjahrplanes des Zweiges Bauindustrie.* (erster Entwurf). Bauwissenschaftliches Institut, Budapest, 1978.
5. PALOTÁS, L.: Baustoffe, Bde I—II.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1961.
6. WEISS, GY.: Innerbetriebliche Gütekontrolle in Betonwerken.* ÉMI-Ausgabe, Nr. 16. ÉTK, Budapest, 1972.
7. WALZ, K.—WISCHERS G.: Über Aufgaben und Stand der Betontechnologie. Betontechnische Berichte 1976. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977.
8. Zement-Taschenbuch, 1976/77, 46. Auflage. Bauverlag GmbH, Wiesbaden—Berlin 1976.
9. LEWANDOWSKI, R.: Rationalisierung an der Baustelle durch den Einsatz von Transportbeton. Baumaschine und Bautechnik, H. 10, 1978, 25. Jahrg. S. 524—529.

Dozent Dr. PÁL LÁNCZOS, H-1521 Budapest.

* In ungarischer Sprache.