

Einsatz von Betonmischern: Verbesserung der Dimensionierung und praktische Hinweise

Autor(en): **Beizel, Harald**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 41

PDF erstellt am: **12.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75207>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Einsatz von Betonmischern

Verbesserung der Dimensionierung und praktische Hinweise

Von Harald Beitzel, Karlsruhe

Einleitung

Von einem modernen Betonmischer wird in der Praxis erwartet, dass er bei sorgfältigem Betrieb *ständig einen gleichbleibenden und qualitativ hochwertigen Beton* herstellt.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Mischsysteme und Mischgrössen fehlen bei den entsprechenden DIN- und SIA-Vorschriften entsprechende Angaben zur Optimierung der Betonmischgüte.

Die Güterichtlinien für Betonmischer aus dem Jahre 1968 und die darin festgelegte Prüfmethodik, die bisher zur Beurteilung der Betonmischgüte angewandt wurde, ist nicht so aussagekräftig, um genau über die Güte des Betonmischers urteilen zu können.

Die in der Vergangenheit *gestiegenen Anforderungen an die Mischgüte* haben sowohl für die Hersteller als auch für die Betreiber von Betonmischmaschinen neue Massstäbe gesetzt. Die in Zukunft zu erwartende *Verknappung natürlicher Zuschläge* für die Betonherstellung wird zur Verwendung von Ersatzmaterialien führen müssen. Um trotzdem gleichwertigen Beton herstellen zu können, ist unter anderem eine genaue Kenntnis der Vorgänge beim Mischen erforderlich. Auch die in letzter Zeit häufig geforderte *Reduzierung des Energiebedarfes* stellt zusätzliche Anforderungen an den Mischerantrieb.

Die Vielzahl verfahrenstechnischer Stufen der Betonherstellung bedingt *klare Herstellungsrichtlinien* zur Sicherung der jeweils geforderten Betongüte. Ein wichtiger Teilbereich des Arbeitsprozesses «Betonherstellung» ist die eigentliche Betonbereitung in der Mischmaschine.

Überblick und Problemstellung

Nach ihrer Arbeitsweise werden Betonmischmaschinen in *kontinuierlich arbeitende Durchlaufmischer* und in *dis-*

kontinuierlich arbeitende Chargenmischer unterteilt.

Man verwendet den *Durchlaufmischer* vorwiegend für die Herstellung grösserer Betonmengen mit geringen Qualitätsanforderungen. Ausserdem wird er für die Bereitung hydraulisch gebundener Bindemittel für Tragschichten im Strassenbau eingesetzt. Seine kontinuierliche Arbeitsweise ermöglicht hohe Durchsatzleistungen. Dagegen ist diese Mischerbauart auf Grund geringer Flexibilität bei Mischgutwechsel sowie der Tatsache, keine kleineren Mischungen durchführen zu können, für weitergehende Betrachtungen uninteressant.

Die *Chargenmischer* unterscheidet man nach ihrer Bauform in Teller-, Trog- und Trommelmischer. Verfahrenstechnisch betrachtet gehören die Teller- und Trogmischer zu der Gruppe der Zwangsmischer und die Trommelmischer zu der der Freifallmischer. Die verschiedenen Einsatzbereiche des Chargenmischers sind aus Tabelle 1 zu entnehmen. Daraus ist ersichtlich, dass Teller- und Trogmischer bei Berücksichtigung der Mischzeit und der Mischgüte besonders leistungsfähig sind.

Der wirtschaftliche Baubetrieb fordert die optimale Ausnutzung aller eingesetzten Baumaschinen, im vorliegenden Fall also einen guten Leistungswert durch eine hohe Mischerspielzahl.

Trotz der grossen Bedeutung und des scheinbar hohen Entwicklungsstandes ist der Einsatz von Betonmischmaschinen mit vielen Unsicherheiten behaftet. Es werden daher von der Herstellerseite und den Betreibern sowie den zuständigen Forschungsausschüssen grosse Anstrengungen unternommen, *konkrete Aussagen über die zu erwartende Mischgüte bei differierender Mischzeit* zu erhalten.

Die Fragen nach der zweckmässigen Form des *Mischraumes*, nach der Geometrie und der Anzahl der *Mischwerkzeuge*, nach den kritischen *Drehzahlen* – sie sind bei der Wahl von Motorengrösse und Motorenart wichtig – und besonders nach der *Mischzeit* gewinnen

bei der Konzeption einer Betonmischmaschine zunehmend an Bedeutung.

Stand der Forschung

Da die *Mischzeit* einen überragenden Einfluss auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften ausübt, befassten sich eine Reihe von Arbeiten mit diesem Problemkreis. Dabei zeigen die experimentellen Untersuchungen von [1-6], dass mit zunehmender Mischzeit nur eine geringe Verbesserung der Betondruckfestigkeit zu erzielen ist. *Walz* [7] warnt vor kurzen Mischzeiten, weil sie sich negativ auf die Frühfestigkeiten auswirken.

Neubarth [8] weist darauf hin, dass es einen *messbaren Festigkeitseinfluss* unterhalb einer optimalen Mischdauer von etwa 120 Sekunden gibt. Ausserdem legt er kritische Punkte der Mischdauer fest, die aus Festigkeitsgründen nicht unterschritten werden sollen. Nach Erreichen einer optimalen Mischzeit kann er keinen weiteren Einfluss auf eine Verbesserung der Betondruckfestigkeit feststellen. Dagegen beweisen die Untersuchungen von *Harrison* [9] und *White* [10], dass nach Erreichen einer optimalen Mischzeit sogar eine deutliche *Verschlechterung der Festbetoneigenschaften* eintritt.

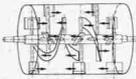
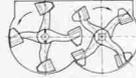
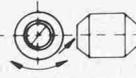
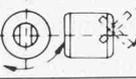
Mit umfangreichen Betriebsversuchen zeigt *Johansson* [11], dass für unterschiedliche Mischsysteme und Betonkomponenten verschiedene *minimale Mischzeiten* gelten.

Einen Zusammenhang zwischen der *Grösse des Mischerdurchmessers* und der *optimalen Mischzeit* suchte *Joisel* [12] mit Hilfe von mehreren Betriebsversuchen. Die dabei gefundene Beziehung konnte für die allgemeine Mischerkonstruktion keine Verwendung finden.

Wislicki [13] zeigt unter Berücksichtigung der erzielten Betondruckfestigkeit einen Einfluss der Mischerkonstruktion auf die Mischzeit für einen Beton vorgegebener Konsistenz. Dabei kommt er zu der Feststellung, dass die *Konsistenz des Betons* auf die Mischzeit einen grösseren Einfluss ausübt als die Zusammensetzung des Betongemisches.

Bei allen obengenannten Untersuchungen bezüglich der Mischzeit konnte jedoch eine vollständige Klärung als Grundlage einer gesetzmässigen Verknüpfung *bis heute nicht erreicht* werden. Vielfach ist auf die Bedeutung der

Tabelle 1. Einsatzbereiche Betonmischer

Mischsysteme	Prinzip-skizze	Einsatzbereiche	Baugrösse [m³]	Korngrösse max. zul. [mm]	W/Z-Werte	Betone	Mischzeit für brauchbare Mischgüte [s]	Bezogene Mischleistung $\left[\frac{\text{kW}}{100\text{l}} \right]$	Bemerkungen
Teller-mischer		Transportbetonwerke Baustellenanlage Baustoff- und Keramikindustrie	0,5-4,5	70	0,42-0,8	Normalbeton Leichtbeton Sonderbeton	60	2,5-5,0	Baukastensystem niedrige Bauweise mittlerer/hocher Verschleiss starke Entmischung geringe Wartung
Teller-mischer mit Wirbler		Transportbetonwerke Keramik-, Chemische- und Baustoffindustrie	0,5-0,8	60	0,42-0,8	Normalbeton Leichtbeton Sonderbeton	keine Angaben	3,0-6,0	Baukastensystem hoher Verschleiss Kornzerkleinerung geringe Wartung starke Entmischung
Einwellen-trogmischer		Transportbetonwerke Baustellenanlagen Baustoffindustrie Fertigteilindustrie Talsperrenbau	0,5-3,0	150	0,32-0,9	Normalbeton Leichtbeton Sonderbeton Massenbeton	30-60	2,8-3,6	Baukastensystem kompakte Bauweise geringerer Verschleiss geringe Wartung schnelle Entleerung
Zweiwellen-trogmischer		Transportbetonwerke Baustellenanlagen Baustoffindustrie	0,5-3,5	180	0,32-0,9	Normalbeton Leichtbeton Sonderbeton Massenbeton	30-60	3,0-3,6	Baukastensystem kompakte Bauweise geringerer Verschleiss geringe Wartung schnelle Entleerung
Umkehr-mischer		Kleinere Baustellenanlagen	0,1-1,0	60	0,5 -0,8	Normalbeton Mörtel	180	1,1-1,4	einfache und robuste Bauweise, geringere Verschleissempfind- lichkeit, flexible Ein- satzbereitschaft, ge- ringe Anschaffungs- kosten, lange Misch- zeiten
Kipp-trommel-mischer		Baustellenanlagen Talsperrenbau Kraftwerksbau	0,1-5,0	180	0,5 -0,8	Normalbeton Massenbeton Mörtel	180	1,0-1,6	einfache Bauweise lange Mischzeiten schnelle Entleerung
Gleichlauf-mischer		Kleinere Baustellenanlagen	0,1-1,0	60	0,5 -0,8	Normalbeton Mörtel	180	1,0-1,2	einfache Bauweise lange Mischzeiten schnelle Entleerung

Anfangsmischgüte nicht eingegangen worden. Es ist völlig klar, dass die vorhin genannten experimentellen Untersuchungen nur unter erheblichen Vorbehalten verglichen werden können, da die Versuche nach unterschiedlichen Prüfmethode beurteilt wurden. Die Zusammensetzungen der Sieblinien waren nicht vergleichbar. Besondere Bedeutung muss der unterschiedlichen Methode der Beurteilung der Betonfestigkeit beigemessen werden. Die geometrischen und kinematischen Bedingungen der Versuchsmischer waren nicht aufeinander abgestimmt.

Aus diesen Gründen wurden in der Vergangenheit nach neuen Prüfmethode am Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb der Universität Karlsruhe umfangreiche Grossversuche durchgeführt, um den Einfluss der Mischzeit auf die Betonmischgüte herauszufinden. Den Auftrag dazu erteilte der Bundesminister für Verkehrswesen, Städtebau und Bauwesen in Bonn.

Theoretische Grundlagen

Die häufig praktizierte Methode der Beurteilung der Betonmischer nach den erzielten Betondruckfestigkeiten brachte vielfach widersprechende Ergebnisse. Die unzureichende Kenntnis der Methode der Probennahme sowie die möglichen hohen Fehlerquoten in der Nachbehandlung der Prüfkörper ergaben, neben den widersprechenden Aussagen zur notwendigen Mischzeit, Ergebnisstreuungen bis zu 30%.

Die bisher angewandten Güterichtlinien [14] für die Beurteilung von Betonmischern konnten die daran geknüpften Erwartungen nicht erfüllen. Nach zahlreichen Untersuchungen, die auf der Grundlage dieser Beurteilungskriterien durchgeführt wurden, kann gesagt werden, dass die vorgegebenen Grenzwerte der zulässigen Abweichungen nicht hinreichend genau festgelegt sind. Bedingt durch die relativ unempfindliche

Probennahme wird eine Korrelation zwischen der Verteilung der Komponenten und der Festigkeit nicht deutlich. Auch reagiert das Verfahren in wesentlichen Bereichen nicht auf Veränderungen an den Konstruktionselementen des Mischers und dessen Betrieb.

Deshalb ist es notwendig, neue Prüfverfahren zu finden. Wegen der unterschiedlichen kinetischen Eigenschaften der Mischgutkollektive müssen letztere mit Hilfe der Stichprobentheorie [15] analysiert werden. Trotz hoher Arbeitsintensität ist dies die einzige Möglichkeit, eine relativ sichere Aussage über Mischgut und Betonmischer zu machen. Für die Zukunft wäre es erstrebenswert, mit Hilfe von wenigen Kriterien die Beurteilung des Mischgutes und der Betonmischer zu ermöglichen.

Im Verlaufe dieser Untersuchung werden die Komponenten Wasser, Mehlkorn und die Korngruppen von 0,25 mm bis 22 mm für die Beurteilung der

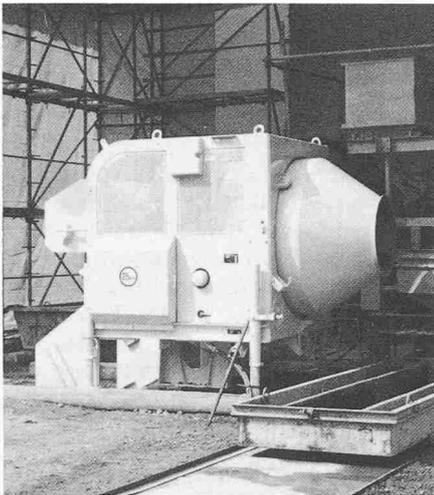


Bild 2 (oben). Trommelmischer

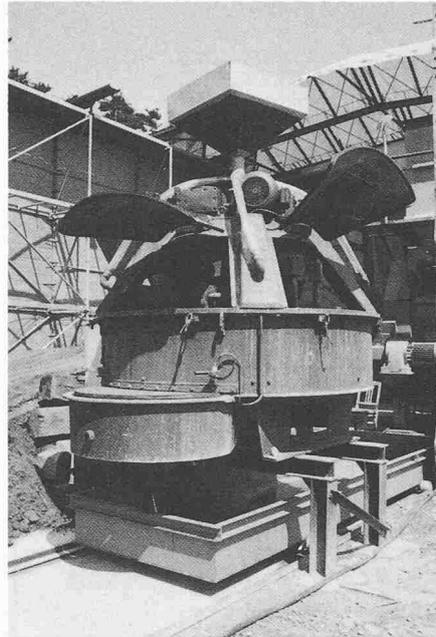


Bild 3 (Mitte). Tellermischer

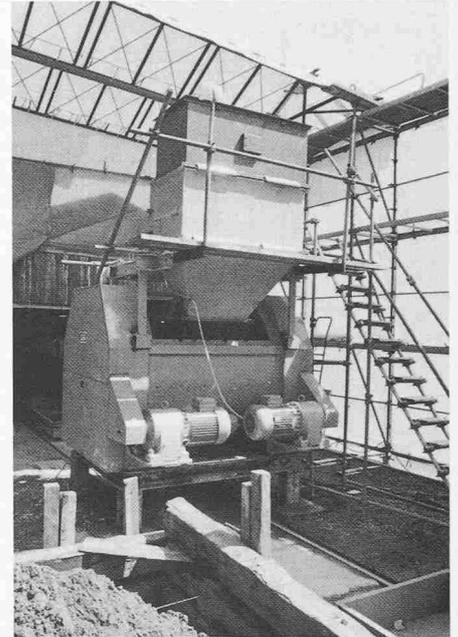


Bild 4 (rechts). Trogmischer

Meßmethode

Standardabweichung :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Variationskoeffizient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100[\%]$$

Bild 1. Messmethode

Mischgüte ausgewählt. Dabei wird der Grad der Gleichmässigkeit der Verteilung festgestellt. Die Bedeutung dieser Merkmale für die Verarbeitbarkeit und die Festbetoneigenschaften ist aus der Literatur hinreichend bekannt [16, 17].

Nach dem Entwurf der neuen Güterichtlinien für Betonmischer werden *Standardabweichung* bzw. *Variationskoeffizient* (Bild 1) dazu verwendet, die Gleichmässigkeit der Bestandteile in den Proben und ihre Verhältnisse zueinander darzustellen.

Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Untersuchung erfolgte auf dem institutseigenen Prüfstand. In den Bildern 2-4 sind die *untersuchten Mischerbauarten* dargestellt.

Prüfbeton

Für die genannte Untersuchung ist man von der *Prüfbetonsorte PB 2* ausgegangen, die nach Bild 5 und Tabelle 2 zusammengesetzt ist. Bei dem ausgewählten Prüfbeton handelt es sich um einen steifplastischen Beton, dessen Güte und Relevanz für die Praxis unbestritten ist.

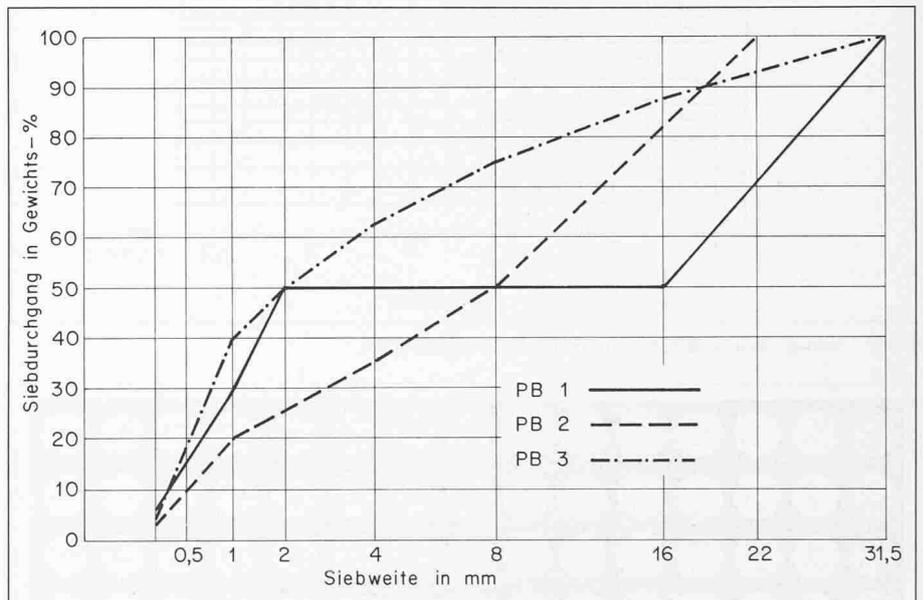


Bild 5. Sieblinie

Tabelle 2. Prüfbetonzusammensetzung

Beton-sorte	Zement-gehalt [kg/m³]	Mehlkorn-gehalt [kg/m³]	Zuschläge (s. Bild 5) [m%]	W/Z	Ausbreit-mass [cm]	Konsistenz
PB 1	300	412	Sand und Kies, gem. Sieblinie	0,6	etwa 45	K 3
PB 2	350	420	Sand und Kies bis 8 mm, Splitt 8-22 mm gem. Sieblinie	0,42	etwa 36	Grenze K1/K2
PB 3	240	326	Sand und Kies gem. Sieblinie	0,75	etwa 38	K 2

Für die Durchführung der Versuche war es wichtig, einen Beton zu wählen, der durch seine Zusammensetzung jede Veränderung der Mischzeit bezüglich der Mischgüte deutlich macht.

Der Zuschlag entsprach den Anforderungen der DIN 4226. Der Zement PZ 35 F mit einem Blainewert von 3200 cm²/g wurde in einem Siloturm herkömmlicher Bauart gelagert.

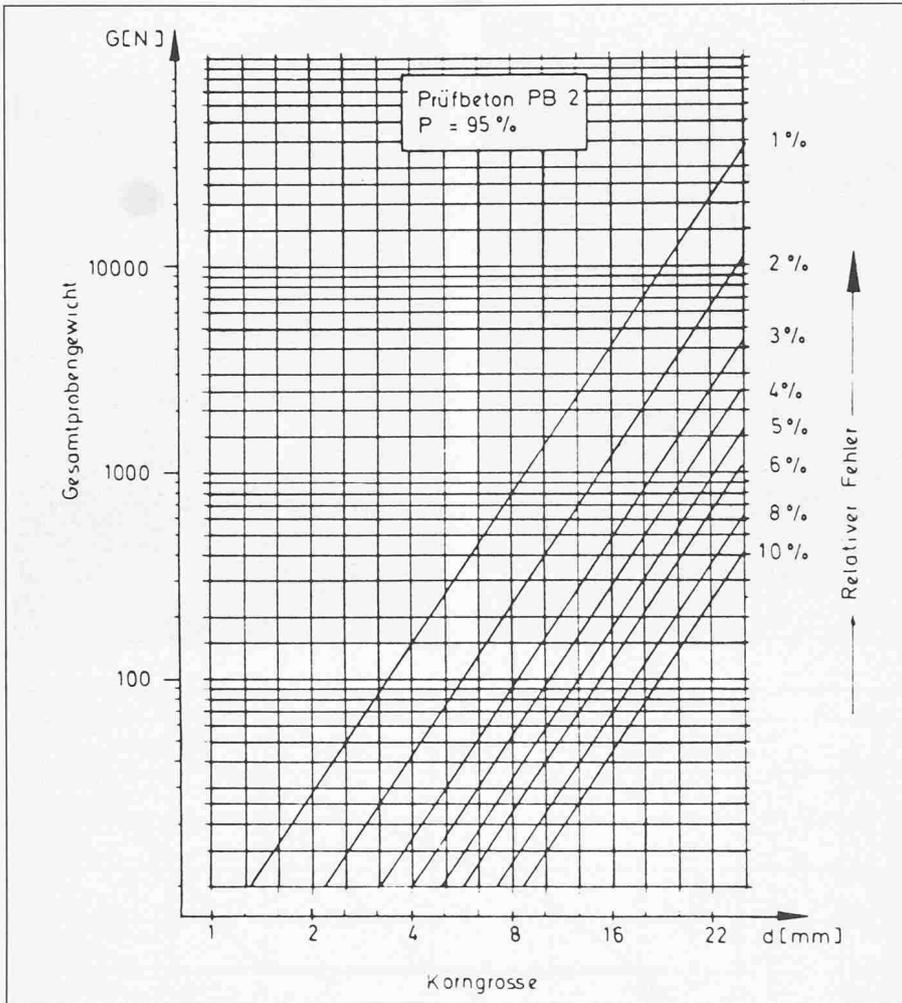


Bild 6. Nomogramm zur Bestimmung des Gesamtprobengewichts

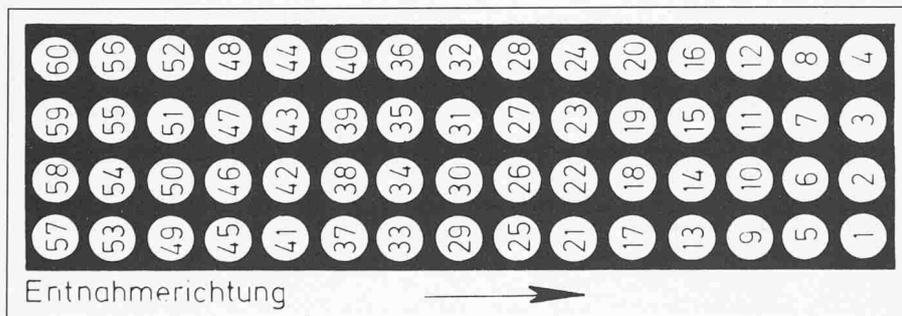


Bild 7. Probenentnahme

Tabelle 3. Reihenfolge der Dosierung

Reihenfolge der Dosierung	Kornklassen [mm]
1.	4/8
2.	1/2
3.	2/4
4.	0/0,25
5.	8/11
6.	11/16
7.	16/22

Dosierung

Die Reihenfolge der Dosierung wurde bei allen Mischsystemen konstant gehalten und entsprach Tabelle 3. Die Zementzugabe erfolgte dabei im oberen Drittel des Silos. Bei der Wasserzugabe wurde darauf geachtet, dass bei grös-

sengleichen Betonmischern mit annähernd gleichen Einlauf- und Zugabezeiten gearbeitet werden konnte.

Nach dem Start des jeweiligen Mixers wurde der Zuschlag mit Zement und Wasser in den Mischraum eingegeben. Nach Zugabe der letzten Komponente wurde die Mischzeit bis zum Beginn der Entleerung festgehalten.

Probenanzahl - Probengrösse

Die Probenanzahl und Probengrösse haben einen wesentlichen Einfluss auf das Prüfergebnis (Bild 6). Eine zu grosse Probe macht das Verfahren unempfindlich, weil die vorkommenden Unterschiede, in jeder Probe einbezogen, sich ausgleichen. Wird die Probe zu

klein gewählt, tritt zuletzt die Möglichkeit ein, dass Bestandteile des Haufwerkes, die nur in geringem Mass vorhanden sind, in einigen Proben überhaupt nicht vorkommen [18].

Die Entleerung des Mischgutes erfolgte in nummerierte Behälter, die in einer fahrbaren Wanne (Bild 7) an der Entleeröffnung des Mixers vorbeigezogen wurde. Wegen der kontinuierlichen Entnahme durch 60 bis 180 Behälter - je nach Mischergösse - wurde eine annähernd gleichmässige Entnahme des Mischgutes gewährleistet.

Dabei dienten 20 Probebehälter zur Bestimmung des Wassergehaltes und 20 Probebehälter zur Bestimmung des Mehlkorngehaltes sowie der Kornverteilung.

Die Probengrösse wurde unter Berücksichtigung der Mischergössen ausgerichtet. Bei der Probennahme wurden die Angaben aus dem Entwurf der neuen Güterrichtlinien berücksichtigt.

Bestimmung der Prüfmerkmale

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte durch das Darren der Proben.

Bei den übrigen Prüfmerkmalen wurden durch Nassklassierung die auswaschbaren Bestandteile über Prüfsieben herausgespült. Nach weiteren verfahrenstechnischen Schritten konnte der jeweilige Gewichtsanteil festgestellt und auf die Ausgangsprobe bezogen werden.

Das Prüfverfahren (Bild 8) erfordert gegenüber den jetzigen Güterrichtlinien und anderen Vorschriften einen deutlichen Mehraufwand, doch dementsprechend ist auch die Information wesentlich weitgehender. Es kann dabei nicht nur der zeitliche Verlauf der Mischgüte ermittelt werden, sondern es wird die Mischwirkung gegenüber den sehr unterschiedlichen Bestandteilen der Mischung deutlich.

Darstellung der Untersuchungsergebnisse

3 Phasen des Mischvorgangs

Für die Untersuchung standen verschiedene Betonmaschinen mit einem Nenninhalt zwischen 500 l und 2000 l zur Verfügung. Es wurde grundsätzlich mit dem Nennfüllungsgrad gearbeitet.

Um etwaige Grenzzeiten für den Mischvorgang herauszufinden, wurden die Mischzeiten mit 30 Sekunden, 60 Sekunden und 180 Sekunden festgesetzt.

Zwischen den hier untersuchten Mischsystemen lassen sich unter den genannten Randbedingungen *signifikante Unterschiede* hinsichtlich des Einflusses der Mischdauer auf die Gleichmässigkeit des Mischgutes nach den genannten Mischgütemerkmalen erkennen (Wasserverteilung, Mehlkornverteilung, Verteilung Körnung 2/16 und Körnung 16/22).

Die einzelnen Ergebnisse sind in den Kennfeldern dargestellt (Bild 9–11, vgl. folgende Seite).

Allgemein betrachtet lässt sich der Mischvorgang in *drei Phasen* einteilen. In der 1. Phase befindet sich das Mischgut in einem *Übergang vom Trocken- in den Nassmischzustand*. Dabei sind die einzelnen Betonkomponenten noch stark unterschiedlich verteilt. In diesem Zustand haben sie teilweise auf Grund der noch unterschiedlichen Konsistenz auch einen differierenden Zusammenhalt. Durch das thixotrope Verhalten des Zementleimes baut sich kurzzeitig zwischen den Einzelkörnern Kohäsion auf. Dadurch werden die Bewegungsmöglichkeiten der Kornkollektive eingeschränkt. Der Zementleim dringt in die bestehenden Hohlräume ein, erhöht die innere Reibung und lässt das Mischgut homogen erscheinen. Jetzt beginnen sich durch die Bearbeitung der Mischwerkzeuge Gleit- und Scherebenen aufzubauen, die den gewünschten Austausch der Kollektive ermöglichen.

Ein bedeutend anderes Verhalten des Mischgutes ist in der 2. Phase zu beobachten. Hier kommt es zu einer *Konsolidierung des Mischgutes*, und die Kohäsion hat nur noch einen geringfügigen Einfluss innerhalb des Mischgutes. Die konstant bleibenden Messwerte sind ein Beweis für die dynamische Gleichgewichtsverteilung. Ein Austausch der Kollektive findet lediglich in den Scher- und Gleitebenen statt.

In der 3. Phase beginnt bei den einzelnen Kollektiven ein mehr oder weniger starkes *Herauslösen aus dem Mischgut*. Je deutlicher sich betontechnologische Stoffgrössen der Kollektive unterscheiden, um so stärker werden hier die Effekte des systematischen Platzwechsels. Die Separierungserscheinungen nehmen zu. Durch die mit der Zeit zunehmenden Abrieberscheinungen vergrössert sich die Gesamtpartikeloberfläche und das Mischgut wird zunehmend trockener. Das heisst auch, dass die Verarbeitbarkeit verschlechtert wird. In dieser Phase kommt es vielfach zu Agglomerationserscheinungen.

Die gezeigte Abhängigkeit der Betonmischgüte von der Mischzeit ist überraschend, zumal bis heute die Meinung

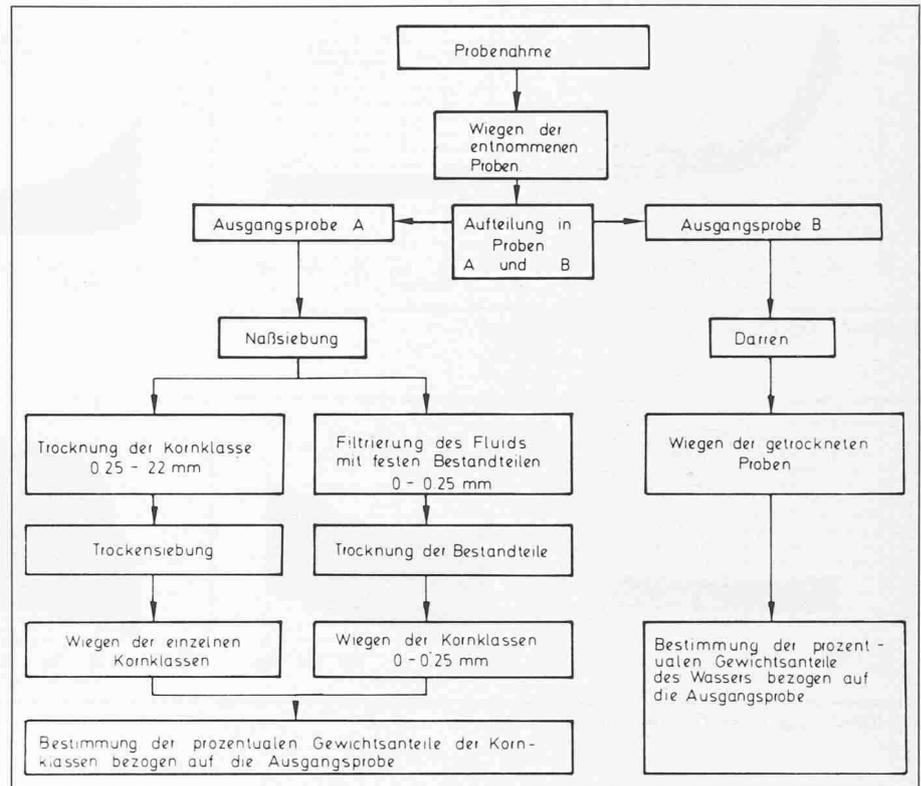


Bild 8. Bestimmung der Prüfmerkmale

vorherrschte, dass man durch verlängerte Mischzeit die Frischbetonqualität verbessern könne. Mit diesen Ergebnissen wird jedoch der Beweis erbracht, dass die frühere Annahme und Vorschrift, die sich ausschliesslich auf eine Minimalmischzeit bezieht, *durch eine obere Grenze der Mischzeit ergänzt* werden sollte.

Trommelmischer

Bei den 3 Trommelmischern stellte sich für Wasser-Mehlkorn- und Mittelkornverteilung folgendes heraus: In einer Mischzeit von 180 s wiesen diese Merkmale eine Verbesserung des Mischgutes auf. Über diese Mischzeit hinaus konnte – insgesamt betrachtet – keine weitere Verbesserung der Werte erreicht werden, was auf die besondere Kinematik innerhalb der Mischtrommel zurückzuführen ist. Mit zunehmender Mischzeit und Korngrösse wurden wegen der schwachen Einbindefähigkeit die Entmischungerscheinungen recht deutlich (Bild 9).

Wenn man bei der Gesamtbewertung die übrigen Randbedingungen, wie z. B. Abschreibungskosten und Verschleisskosten, mit berücksichtigt, kann der Trommelmischer für besondere Anforderungen seinen Einsatz rechtfertigen.

Tellermischer

Bei den 6 Tellermischern erzielten die vier Prüfmerkmale – je nach Mischergrösse – bei 60 s bzw. 180 s ihr Mini-

imum. Diese Mischerart zeigte bei allen Baugrössen eine relativ hohe Mischfrequenz. Besonders im Grobkornbereich machte sich der grosse Geschwindigkeitsgradient zwischen Innen- und Aussenzonen sowie die grosse Zentrifugalkraft negativ bemerkbar.

Zusätzlich kam es bei den herkömmlichen Tellermischern durch die starke Zentrifugalwirkung zu weiteren Absonderungen von Fein- und Grobkorn (Bild 10).

Trogmischer

Die 4 Trogmischer zeigten gegenüber den Tellermischern geringere Mischgeschwindigkeiten und kürzere Transportwege. Bei einigen Systemen konnte ein Mangel der Gleichmässigkeit der Durchmischung in axialer Richtung der Mischwelle festgestellt werden. Insgesamt betrachtet erzielten diese Bauarten, je nach Mischergrösse, bei 30 s bzw. 60 s ihr bestes Ergebnis (Bild 11).

Auswirkungen auf weitere betontechnologische Eigenschaften

Obwohl Bedenken gegen derartige Untersuchungen vorliegen, wurde parallel zur Mischgüteuntersuchung der Einfluss der Mischzeit auf die Betondruckfestigkeit untersucht. Symptomatisch für alle untersuchten Betonmischer ist ein Ergebnis in Bild 12 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die geforderte Betondruckfestigkeit bei einer Mischzeit von 30 Sekunden von 40% der Druck-

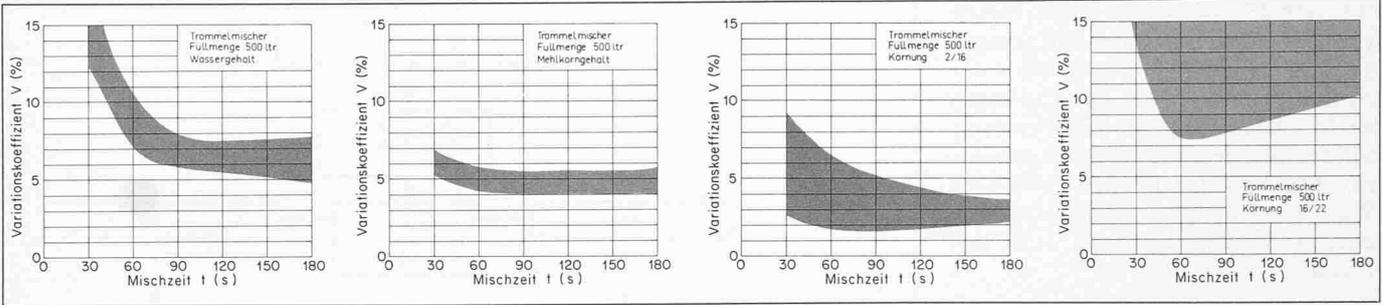


Bild 9a-d. Ergebnisse Trommelmischer (500 l)

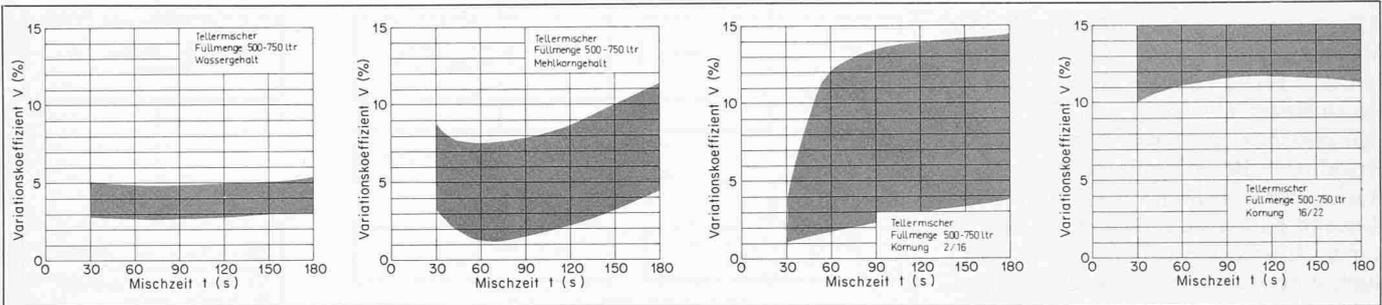


Bild 10a-d. Ergebnisse Tellermischer (500-750 l)

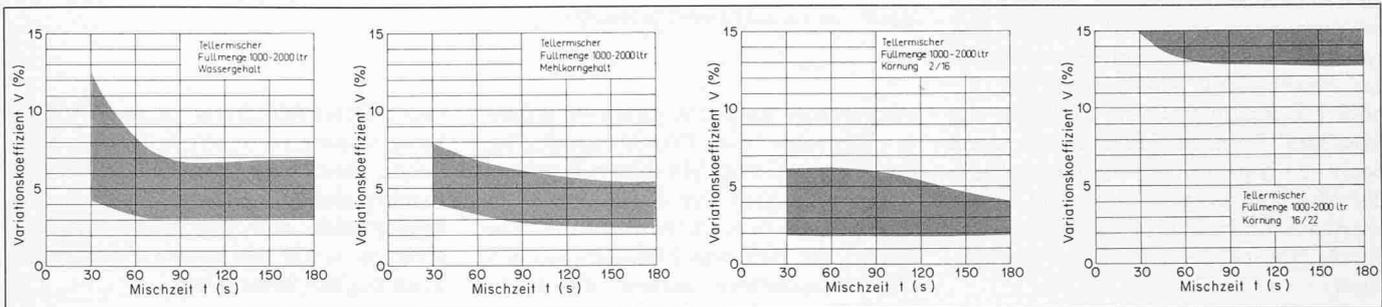


Bild 10e-h. Ergebnisse Tellermischer (1000-2000 l)

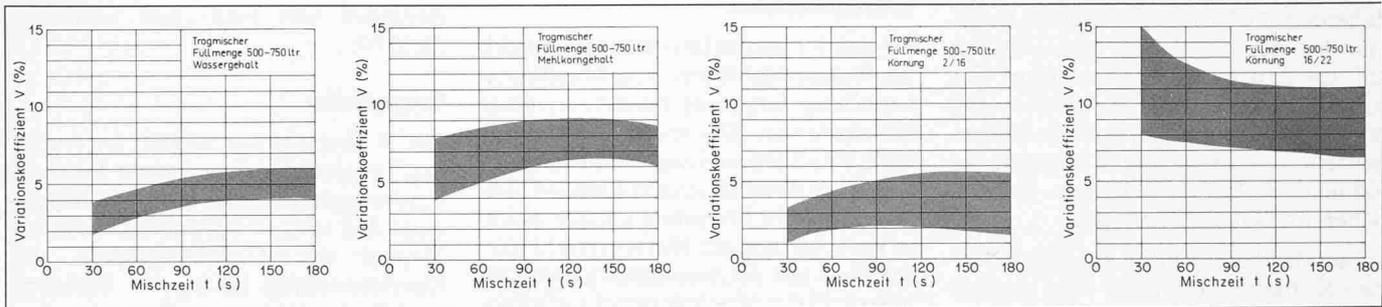


Bild 11a-d. Ergebnisse Trogmischer (500-750 l)

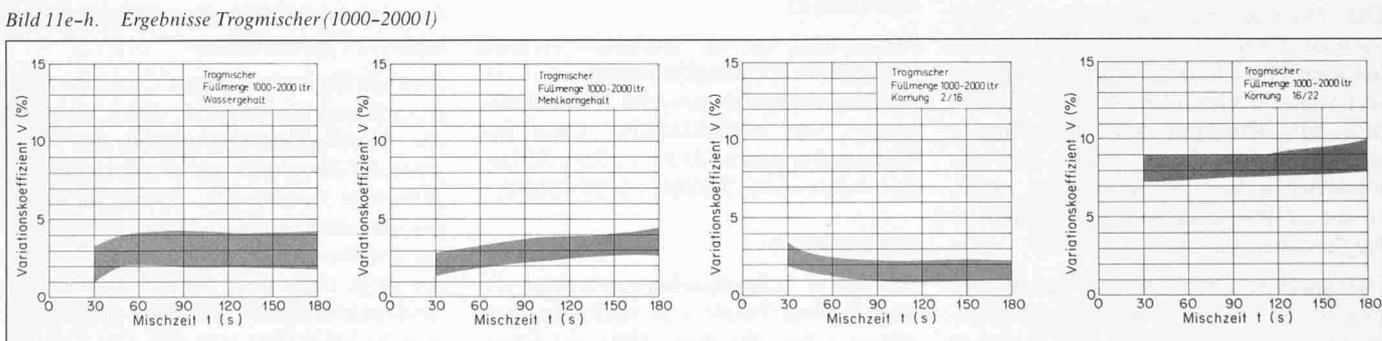


Bild 11e-h. Ergebnisse Trogmischer (1000-2000 l)

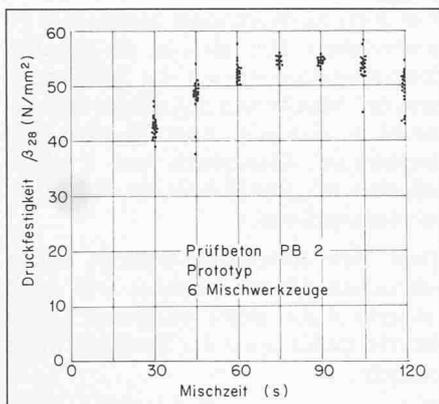


Bild 12. Einfluss der Mischzeit auf die Betondruckfestigkeit

würfel und bei 120 Sekunden von 20% nicht erreicht wird.

Ebenfalls wurde die Abhängigkeit der Korngrößenveränderung von der Mischzeit untersucht. Zur Darstellung dieses Vorganges werden die Mittelwerte der Betonkomponenten direkt über die Mischzeit aufgetragen (Bild 13).

Werden die Kollektive während der Mischzeit gegeneinander verschoben, so bringen sie dem Herauslösen oder dem Eindringen anderer Kornkollektive einen unterschiedlich grossen Widerstand entgegen. Mit andauernder Mischzeit kommt es dann zu Abrieberscheinungen, die sich besonders bei den Grob- und Feinstkornkomponenten bemerkbar machen. Durch diese Vorgänge wird nicht allein die Verarbeitbarkeit des Frischbetons negativ beeinflusst (Vergrösserung der spezifischen Oberfläche), sondern auch die Betonfestigkeit. Zusätzlich kommt es zu Agglomerationserscheinungen.

Bei der Ermittlung des Ausbreitmasses konnten teilweise in der Anfangsphase und der Endphase keine Messergebnisse erzielt werden (teilweise inhomogene lose Menge). In der Zwischenphase des Mischvorganges konnten Ausbreitmasse zwischen 36 bis 38 cm ermittelt werden.

Die Messergebnisse der Verdichtungs-masse zeigten je nach Entnahmebereich und je nach Mischzeit partiell unterschiedliche Werte. Aber auch hier zeigte sich mit zunehmender Mischzeit ein starkes Ansteifen des Betons.

Die Untersuchung der Mischgutdichte zeigte Unterschiede bis zu 25% (Tabelle 4). Auch diese Erscheinung deutet auf Separierungserscheinungen und Korngrößenveränderungen innerhalb des Mischaumes hin.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass bei der Ermittlung der übrigen Frisch- und Festbetoneigenschaften ein ähnlicher Einfluss der Mischzeit vorhanden ist wie bei der Betonmischgüte.

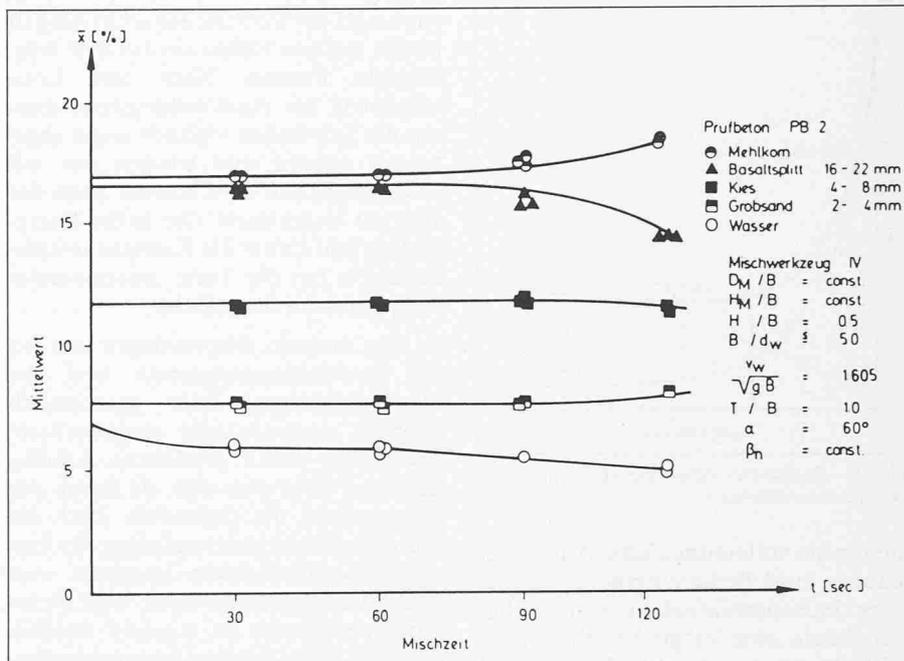


Bild 13. Mittelwert der Betonkomponenten in Abhängigkeit zur Mischzeit

Tabelle 4. Mischgutdichte in Abhängigkeit zur Mischzeit

	Probenanzahl	Versuchsmischung (Mischdauer zunehmend)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schüttdichte ρ_s [kg/dm ³]	1	1,576	1,600	1,613	1,646	1,639	1,687	1,764	1,902	2,006	1,930
	2	1,584	1,582	1,592	1,648	1,662	1,681	1,760	1,884	2,010	1,932
	3	1,600	1,592	1,620	1,643	1,612	1,662	1,802	1,882	1,984	1,951
	4	1,592	1,614	1,622	1,639	1,532	1,593	1,834	1,891	2,008	1,968
	5	1,482	1,533	1,663	1,639	1,662	1,622	1,846	1,862	2,102	1,972
	6	1,602	1,634	1,445	1,646	1,732	1,634	1,852	1,854	2,188	1,896
	7	1,463	1,664	1,667	1,593	1,742	1,692	1,902	1,812	2,023	1,977
	8	1,448	1,510	1,518	1,582	1,663	1,701	1,713	1,809	2,085	2,001
	9	1,829	1,663	1,642	1,672	1,682	1,732	1,695	1,796	2,067	2,100
	10	1,623	1,646	1,639	1,571	1,642	1,598	1,684	1,886	1,892	1,962

Tabelle 5. Durchschnittliche Kostenverteilung der Betonproduktion durch Betonmischer, ohne Stoffkosten

	Halbautomatische Anlagen	Vollautomatische Anlagen					
		≤ 0,5	bis 1,0	bis 1,5	≥ 2,0		
Mischergrösse [m ³]	≤ 0,5	bis 1,0	bis 1,5	≥ 2,0			
Personalkosten [%]	50	31	27	34	18	15	12
Maschinenkosten [%]	17	22	21	21	26	26	28
Nebenanlage-Kosten [%]	21	30	31	30	37	38	38
Betriebskosten [%]	6	8	10	8	8	9	10
Verschleisskosten [%]	4	5	7	4	6	7	7
Montage-/Demontage-Kosten [%]	2	4	4	3	5	5	5

Betriebspraktische Beobachtungen

Nach eigenen Ermittlungen werden in Tabelle 5 die spezifischen Kostenanteile der Betonproduktion für Betonmischer in voll- und halbautomatischen Betonanlagen gegenübergestellt. Die dort ge-

machten Angaben beziehen sich auf normal ausgelastete Transportbetonwerke. Dabei ist eine tägliche Betriebsdauer von acht Stunden berücksichtigt. Recht deutlich zeigt sich der Unterschied der Personal- und Maschinenkosten zwischen einer halbautomatischen und einer vollautomatischen Anlage. Mit dem Einsatz einer Bedienungsper-

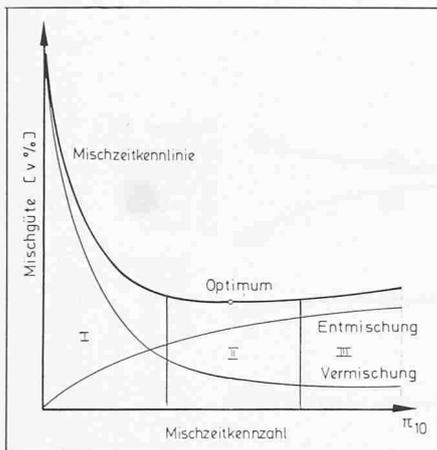


Bild 14. Qualitativer Verlauf der Mischgüte in Abhängigkeit zur Mischzeit

son für die vollautomatische Anlage gegenüber zwei Bedienungspersonen bei einer halbautomatischen Anlage hat man heute eine mögliche Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht. Wesentliche Einsparungen können bei den genannten Kostenanteilen nur durch bessere Ausnutzung der Mischzeit erzielt werden. Zusätzliche Verbesserungen der Maschinen- und Verschleisskosten durch Optimierung der massgebenden Einflussgrößen stellen weitere Einsparungsmöglichkeiten bei der Betonherstellung dar.

In den *Trogmischern* sind die Befestigungsschrauben der Schaufeln bzw. Wendelkacheln leichter erreichbar. Deshalb können die Nachstararbeiten oder das Auswechseln der Mischwerkzeuge im Trogmischer ohne grösseren Aufwand durchgeführt werden.

Bei den *Tellermischern* sind die Nachstellschrauben in der Regel verschleissicher und leicht erreichbar angeordnet, während die Befestigungsschrauben der Schaufeln unerreichbar angeordnet sind. Da diese etwa 10 cm über dem Boden und gleichzeitig durch einen Schutzwinkel verdeckt liegen, müssen diese Schrauben nur beim Austausch der Schaufeln geöffnet werden, in diesem Fall muss jedoch der vollständige Mischarm ausgebaut werden.

Häufig tritt beim Wiedereinbau der Arme und der Schaufeln das Problem der *richtigen Einstellung der Schneid- und Anstellwinkel* auf. Die Betriebsanleitungen der Hersteller geben hierzu keine Angaben. Deshalb werden mit zunehmender Häufigkeit der Nachstararbeiten die ursprünglichen Einstellwinkel im Tellermischer immer ungenauer. Ausserdem werden die erwähnten Nachstararbeiten in beiden Mischsystemen durch die zu hohe Anzahl der Schrauben und deren schlechten Verschleisschutz erschwert.

Der in den Unterlagen der Hersteller so einfach geschilderte Ablauf des *Aus-*

wechsels der Verschleissauskleidung ist in den meisten Fällen ein äusserst langwieriger Prozess. Nach dem Losschrauben der Auskleidungsteile müssen die Schrauben vielfach sogar abgebrannt werden und können nur mit Schwierigkeiten eine Kachel nach der anderen losschlagen. Der in die Trennspalten und hinter die Kacheln gelaufene Beton hat die Teile untereinander verspannt und festgeklebt.

In den meisten Betonanlagen werden die Auskleidungselemente und die Mischwerkzeuge, falls geometrisch möglich, *untereinander ausgewechselt*. Trotz dem schon erwähnten Arbeitsaufwand lohnt sich dies, da durch das Vertauschen die Schaufeln und die Wendelkacheln gleichmässiger der Verschleissbeanspruchung ausgesetzt werden. Ganz besonders kann man dieses Tauschverfahren im unteren Bereich des Ein- oder Zweiwellentrogmischers anwenden, da hier systembedingt der Verschleiss am grössten ist. Durch das Umdrehen der Aussen-Verschleissbleche in Tellermischern kann die Standzeit nicht, wie in den Prospekten angegeben, verdoppelt werden, da die Bleche vor und nach dem Wenden bis zu 65% ihrer Gesamthöhe dem Verschleiss ausgesetzt sind.

Vom gleichzeitigen Einsatz neuer und schon verschlissener Auskleidungsteile sollte dringend abgeraten werden, da die Mischwerkzeuge nach der Höhe der neuen Teile ausgerichtet werden müssen, und deshalb der übrige Schaufel-Boden-Abstand viel zu gross wird.

Beim *Reinigen mit einem Hochdruck-Wasserstrahl* (bis zu 200 atü) lag der Wasserverbrauch um 65% niedriger als bei der noch oft angewendeten Wasser-schlauchmethode. Zudem wurde der Mischer schneller und gründlicher gereinigt. Der Anschaffungspreis für dieses Gerät macht sich schon nach kürzester Zeit durch die Einsparung hoher Wasserkosten bezahlt, da oft bedingt durch längere Mischpausen auch mehrmals am Tag der Mischer ausgespritzt werden muss.

Ersetzt man aus Bequemlichkeit den defekten *Aussenabstreifer* nicht, fällt ein Teil der Mischerselbstreinigung aus. Häufig muss der Mischer mit Hilfe eines Presslufthammers gereinigt werden. Dabei werden weitere Auskleidungselemente zerstört. Ausserdem ist die Wasserzugabe nicht mehr gewährleistet.

In anderen Betonanlagen wurden die Mischer nach Herstellerangaben wie folgt gereinigt:

«Der Mischer ist nach jeder Schicht, am Abend, einer Reinigung mit je einer Kiesfüllung (Körnung 16–32 mm und

4–8 mm) bei laufendem Mischwerk zu unterziehen. Hiernach ist die Kiesfüllung zu entleeren und das Mischwerk und der Mischraum mit einem Wasserstrahl zu reinigen. Anschliessend sind Innenraum, Mischwerk und Entleerschieber mit Rohöl oder Betonlösemittel einzusprühen.»

Dass diese Reinigungsmethode einem jährlichen Mehrverschleiss von rund tausend Kubikmeter entsprach, hatte der Hersteller sowie der Betreiber nicht bedacht.

Eine weitere wesentliche Wartungsarbeit ist das *Abschmieren der Mischwellenlagerung* des Trogmischers bzw. die Kontrolle der automatischen Schmier-einrichtung. Aber auch die sorgfältigste Wartung wird das allmähliche Austreten der Zementschlämme nach einem Betondurchsatz von etwa 25 000 m³ nicht verhindern können. Ein sofortiges Auswechseln der Staubdeckel ist nötig. Dies bedingt aber, dass in den Seitenschaukeln der Trogmischer Ausparungen eingeschliffen werden müssen, da die neue Abdichtung eine dickere Materialstärke aufweist.

Die eigentlichen grösseren Reparaturen, wie z. B. komplettes Auswechseln der Auskleidung und das Überholen der Mischwellenlagerung, werden in der Praxis in den Wintermonaten durchgeführt.

Diese betriebstechnisch auf die Wintermonate verschobenen Reparaturarbeiten haben zur Folge, dass in den Herbstmonaten die Mischwerkzeuge kaum noch nachgestellt werden können, da sie schon stark verschlissen sind. Hierdurch kann der Mischer nicht mehr vollständig entleert werden, und die Betonqualität nimmt ab.

Abschliessend lässt sich zu diesem Problemkreis sagen, dass hier *noch viele Ansätze vorhanden* sind, die eine grössere Wirtschaftlichkeit erzielen lassen.

Nutzanwendung

Die praktischen Vorteile der gewonnenen Erkenntnis sind sowohl in *betontechnologischer* Hinsicht als auch in *betriebstechnischer* Hinsicht relevant.

Die an dem Forschungsvorhaben beteiligten Firmen und auch einige weitere Unternehmen haben bereits heute die gewonnenen Erkenntnisse in ihre Mischerkonstruktionen einfliessen lassen und Verbesserungen geschaffen.

Dagegen messen *einige Betreiber von Betonmischanlagen* dem Mischzeiteinfluss nur geringe Bedeutung bei. Dies ist zunächst überraschend, zumal in

diesem Unternehmensbereich immer wieder Zementoptimierungsmassnahmen diskutiert werden. Durch Ausnutzung des günstigen Mischzeitbereiches (Phase II) könnte bei den meisten Betonen eine Reduzierung des sonst üblichen überhöhten Zementanteils im Beton ermöglicht werden (Bild 14).

Die in Zukunft zu erwartende Verknappung natürlicher Zuschläge für die Betonbereitung wird zur *Verwendung von Ersatzmaterialien* führen müssen. Dazu ist ganz sicher eine genaue Kenntnis der Vorgänge beim Mischen schlechthin erforderlich.

Die Angaben der DIN 1045 und der SIA-Vorschriften bezüglich der Mischzeit *genügen heute nicht mehr* den gestellten Anforderungen für eine brauchbare Betonqualität. Man sollte zur Diskussion stellen, ob durch überhöhten Zementanteil Fehler der Betonbereitung überdeckt werden, oder ob durch eine gezielte Auswahl der Mischzeit die Betonbereitung optimiert wird.

In betriebstechnischer Hinsicht sollten durch eine *bessere Ausnutzung des günstigen Mischzeitbereiches* (Phase II) die vielfach zu kurzen bzw. zu langen Mischzeiten abgestellt werden. Dies würde sicherlich eine weitere Verbesserung der Betonqualität und eine Erhöhung der Ausstossleistung ergeben.

Auch in energietechnischer Hinsicht könnten durch eine bessere Ausnutzung der Mischzeit Betriebskosten gesenkt werden. Die günstige Auswirkung der optimalen Mischzeit auf die Standzeiten der Verschleisselemente sollten hier noch die genannten Vorteile abrunden.

Zusammenfassung

Die gezeigte Abhängigkeit der *Betonschichtgüte* von der *Mischzeit* ist überraschend, zumal bei einigen Betreibern die Meinung vorherrscht, dass man durch verlängerte Mischzeit die Frischbeton- und die Festbetonqualität ver-

Literatur

- [1] *Abrams, D.A.*: «Effect of time of mixing on the strength of concrete». Proc. American Concrete Institute 14, 1917/1918, S. 22 ff
- [2] *Bach und Graf*: Forschungsarbeit; Ingenieurwesen. Heft 72/74, Berlin 1909
- [3] *Shalon, R., Reinitz, R.C.*: «Mixing time of concrete-technological and economic aspects». Research Paper No. 7 (Building Research Station, Technion, Haifa, 1958)
- [4] *Neville, A.M.*: «Properties of Concrete». Pitman Paperbacks London 1973
- [5] *Van Volsom, E., et Dutron, R.*: «L'hétérogénéité des mélanges destinés à l'exécution des chaussées en béton de ciment». Centre de Recherches Routières. Research Report, Brüssel, 1955
- [6] *Kirkham, R.H.H.*: «Performance of plant for mixing and placing concrete; batching, mixing and handling». The Reinforced Concrete Association, Structural Concrete, 5. Year 1, pp 205-217 London 1962
- [7] *Walz, K.*: «Über die Herstellung von Beton höchster Festigkeit». Beton 16 (1966), Nr. 8, S. 339/340
- [8] *Neubarth*: «Einfluss einer Unterschreitung der Mindestmischdauer auf die Betonfestigkeit». Beton 12/70, S. 537-538
- [9] *Harrison, J.L.*: Public Roads, Bd. 8 (1928) Seite 93 bis 112
- [10] *White, C.J.*: «Auswirkung von lang andauerndem Mischen auf die Güte und die Steife von Beton». Division of Tests, Minnesota, Department of Highways, April 1936
- [11] *Johansson*: «The relationship between mixing time and type of concrete mixer». Swedish Cement and concrete Research Institut of the Royal Institute of Technology, Stockholm 1971
- [12] *Joisel, A.*: «L'homogénéité du béton et les bétonnières». L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics de L.I.T.B.T.P., no 69. March-April Paris 1949
- [13] *Wislicki, A.*: «Die Mischintensität als Kriterium der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Tellermischern». BMT, Heft 12, S. 537/541, Dezember 1966, Bauverlag Wiesbaden
- [14] Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen e.V.: «Güterichtlinien für Betonmischer». Köln-Deutz 1968
- [15] *Alex, W.*: «Prinzipien und Systematik der Zählverfahren in der Teilchengrößenanalyse». Aufbereitungstechnik 1972, S. 105-111
- [16] *Dartsch, B.*: «Einfluss des Zuschlaggrösstkorns auf die Zusammensetzung und die Druckfestigkeit des Betons». Betontechnische Berichte 1971, S. 139/149, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [17] *Härig, S.*: «Ausfallkörnungen mit unterschiedlichem Grösstkorn». Beton 10, 1977, S. 387-390
- [18] *Beitzel, H.*: «Gesetzmässigkeiten zur Optimierung von Betonmischern». Diss. TH Karlsruhe 1981

bessern könne. Durch das sensitive Verhalten der hier gewählten Prüfbetonsorte konnte der Einfluss der Mischzeit auf die Betongüte bei den verschiedenen Mischerbauarten deutlich gemacht werden. Ähnliche Ergebnisse aus der chemischen Verfahrenstechnik, wo auch die neuesten Erkenntnisse der Stichprobentheorie berücksichtigt wurden, bestätigen ebenfalls eine Entmischung bei dortigen Mischprozessen.

Ein Zusammenhang zwischen der *Mischgüte* und den *übrigen Betoneigenschaften* konnte symptomatisch für alle untersuchten Mischsysteme dargestellt werden.

Sicherlich könnte durch eine optimale Ausnutzung der Mischzeit der Zementbedarf und der Energieaufwand reduziert sowie die Standzeiten der Verschleisselemente erhöht werden. Er-

freulich ist, dass die beteiligten Hersteller am Forschungsvorhaben ihre Angebotspalette auf diese neuesten Erkenntnisse ausrichten. Bedauerlich ist, dass von einigen Betreibern der Betonanlagen nicht die Konsequenzen bezüglich der Einhaltung der Mischzeiten gezogen werden.

Das *Ausmass der Entmischung* bei den übrigen Betons (PB 1 und PB 3) werden Ergebnisse zeigen, die in Kürze veröffentlicht werden. Damit dürfte eine abgerundete Ergebnispalette vorliegen, die eine Änderung der Normen bezüglich der Mischzeit notwendig macht.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Ing. H. Beitzel, Bertha-von-Suttner-Str. 7, D-7500 Karlsruhe 1.