

Für die Beeinflussung / Erreichung betontechnologischer Werte zeichnet in erster Linie der Gesamtwassergehalt verantwortlich.

Rissfreiheit, Dichtigkeit und die Ausbildung der Kapillarporosität des Betons sind ferner ausschlaggebend für seine Dauerhaftigkeit.

Um Konstruktionen möglichst gering zu belasten, müssen oft Betone eingesetzt werden, die ein reduziertes Schwindmaß aufweisen. Zwangsspannungen, die infolge Schwinden auftreten, können auf diese Weise reduziert und die Tragkapazität kann für einwirkende äußere Lasten gesteigert werden.

Erreicht wird dies in erster Linie durch den Einsatz von optimierten Bindemittelzusammensetzungen. [1]. Die grundlegende Wirkungsweise optimierter Bindemittel besteht darin, die Kapillarporosität des Betons durch eine Wassereinsparung aufgrund einer dichtesten Packung der Feinteile zu beeinflussen [2]. Eine dadurch Erreichbare Reduktion des Wasseranspruches kann eine Schwindminimierung und eine Verdichtung der Betonmatrix ermöglichen. Zusätzlich können mechanische Parameter verbessert werden.

Eine Entwicklung von optimierten Bindemitteln kann auf einer Modifikation des Kornbandes des Zementes und der Feinteile des Zuschlages basieren. In diesem Bereich wird der Zementklinker z.B. durch eingebrachte reaktive und/oder inerte Feinteile ersetzt.

Eine Kenngröße hinsichtlich des beschriebenen Optimierungsprozesses stellt unter anderem der massebezogene Wasser – Feinstoffwert (W/F) dar, welcher die für die erforderliche Konsistenz benötigte Wassermenge durch die spezifische Feststoffmasse im Leim dividiert. (Gl. 1). Er kann als quantitative Kenngröße gesehen werden, wie sich ein erhöhter Feinstoffanteil auf die Rheologie, den Wasseranspruch und die Ausbildung mechanischer Festbetonparameter auswirkt. Eine alleinige Betrachtung des Verhältnisses Wasser - Zementgehalt (W/Z) bzw. Wasser - Bindemittelgehalt (W/B) ist unter Umständen für eine Optimierung nicht aussagekräftig genug.

$$\left(\frac{W}{F}\right) = \left(\frac{\text{Wasser}}{\sum(\text{Zement} + \text{Feinstoffe})\text{Masse}}\right) \quad (1)$$

Eine Optimierung des Feinteilbereiches muss aber zusätzlich unter Einbeziehung mehrerer Parameter bzw.

Überlegungen durchgeführt werden. Das Hauptaugenmerk muss dabei aber die Minimierung des Zwickelvolumens zwischen den Körnern gelegt werden, um die Haufwerksporosität zu minimieren. Diese Minimierung darf nicht mit einer „scheinbar“ optimalen Möglichkeit der Auffüllung des Zwischenraums durch extrem feines Korn erfolgen, da die innere Oberfläche des Korngemischs dadurch deutlich zunimmt und in Folge dessen ein Grenznutzungseffekt bezüglich einer Senkung des Wasseranspruches auftritt. Die Zunahme der Kontaktpunkte und der Anstieg der inneren Reibung bei Verwendung feinsten Komponenten wirken sich ebenfalls negativ aus [3], da der Wasseranspruch bei gleicher Konsistenz ansteigt. Hier haben einige, zum Stand der Technik zu zählende Optimierungsmethoden ihre Schwachstellen.

Ferner ist bei Kornbandoptimierungen die gesamte Kornzusammensetzung der einzelnen Feinstoffe des Bindemittels inklusive der Feinstoffe der Sieblinie zugrunde zu legen. In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Bereich in diese Überlegungen miteinbezogen, somit also auch der Mehlkornanteil der Korngruppe 0/4.

Die vorliegende Optimierung basiert auf einer zu minimierenden Abweichung der Verteilungsfunktion des entwickelten Mischzementes bezogen auf eine optimale Verteilungsfunktion in Anlehnung an die Fullerkurve. Zur Ermittlung einer optimalen Korngrößenverteilung für möglichst geringe Wasseransprüche kann die Fullerkurve approximiert werden, wobei die Modifikation des Fullerexponenten eine einfache, empirische Möglichkeit darstellt, der tatsächlichen Kornform für das vorliegende Optimierungsproblem Rechnung zu tragen [2].

Mathematische Modellierung des Problems

Der Wert der Einzelkorngrößenverteilungen der Mischfraktionen kann mittels Lasergranulometrie (Cilas – Analyse) ermittelt werden. Durch lineare Interpolation zwischen diesen Stützstellen erhält man stückweise lineare, monoton wachsende Verteilungsfunktionen.

Den quadrierten Abstand zweier beliebiger Funktionen mit gemeinsamen Definitionsintervall $[0, D]$ berechnet man üblicherweise mit Hilfe des Integrals

$$\text{dist}^2(g, h) = \int_0^D (g(x) - h(x))^2 dx. \quad (\text{Gleichung 2})$$

Es ist also ein Optimierungsproblem

$$\text{dist}^2(d, f_n) \rightarrow \min \quad (\text{Gleichung 3})$$

zu lösen, also der Abstand zwischen der neu entwickelten Verteilungsfunktion d (Mischzemente + Feinteile aus Gesteinskörnung) und einer approximierten Fullerkurve f zu minimieren.

Gegeben sind also Einzelkornfraktionen (Zement, Hochofenschlacke, Steinmehl, Feinteile der Sieblinie, etc.) die durch ihre Korngrößenverteilungen charakterisiert sind. Gesucht ist also eine Gesamt Mischung welche der approximierten Fullerkurve im Sinn von (3) möglichst nahe kommt.

Eine so beschriebene Optimierung von Zementen hat deutlich positiven Einfluss auf Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Der Wert der quadrierten Fehlerabstände der Verteilungsfunktionen $dist^2(d, f_n)$ vom ermittelten Gesamtfeinteilkornband zum Optimal Kornband klassifiziert einen „Optimierungsgrad“ der Zemente. Wird dieser Parameter klein stellt sich eine Reduktion des Wasseranspruches ein. Diese Optimierung kann mit gängiger Software sehr einfach durchgeführt werden. (z.B. Excel, Maple).

Dichte, schwindarme und dauerhafte Betone lassen sich durch diese Entwicklung herstellen.

Werden Feinteile ohne definierte Verteilung zugegeben kommt es in der Regel zu einer Verschlechterung der Verarbeitung. Dies bestätigt einen erheblichen Einfluss eines optimierten Gesamtfeinteilkornbandes nach dem Leitspruch „Qualität vor Quantität der Feinteile“.

Einsatzgebiet solcher Betone kann der gesamte Konstruktions-, Verstärkungs-, und Sanierungsbereich im Bauwesen sein.

Neue Separationstechniken

Eine Separation und Aufbereitung von Feinteilen kann in Kombination thermischer, mechanischer und elektrostatischer Maßnahmen erfolgen. Aufbereitete und korngrossenabgestufte Zusatzstoffe erleichtern eine Optimierung nach oben beschriebenen Prinzipien.

Elektrostatische Separation:

- Trennung der vereinzelt Partikel in einem elektrostatisches Feld, erzeugt durch eine Hochspannungselektrode: die leitfähige Partikel (z.B. Restkohle) werden von der Elektrode stärker angezogen als die nicht leitenden Partikel.

Neue Rütteltechnik:

- Eine Trennung der Körner und Separation nach Korngrößen kann durch eine spezielle Rütteltechnik erfolgen. Eine geneigte Rinne wird mit einem Exzentergetriebe gerüttelt, wobei die Rüttelrichtung nicht mit der Längsachse der Rinne übereinstimmt. Am Rinnenausgang können feine und grobe Partikel bzw. bestimmte Korngrößenverteilungen getrennt voneinander entnommen werden.

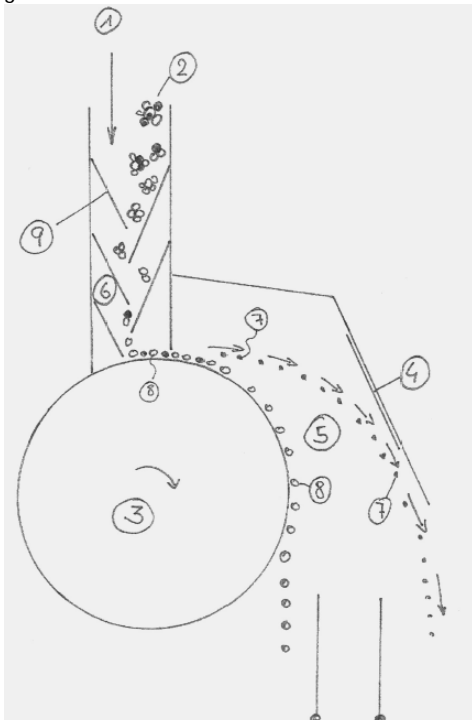


Bild 1: Schema zum Separieren des Restkohlenstoffs aus der Flugasche[4]

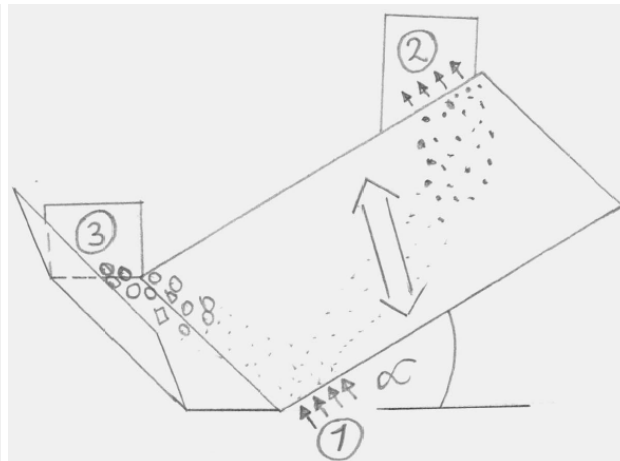


Bild 2: Rüttelrinne zur Trennung der Partikel nach Korngrößen [4]

Literatur

- [1] Andreatta, A., Niederegger Ch., Theiner Y. „Aufbetone als Verstärkungsmaßnahme im Brückenbau“, Fortbildungsveranstaltung 2007 der Sektion Spannbeton, Heft 65/September 2007, Schriftenreihe der Österreichischen Bereinigung für Beton- und Bautechnik, 9-2007, pp. 17-24
- [2] Niederegger, C., Bruscek, C., Koppi, M., Schröcker, H.P., Wagner, D. (2007). Verbesserung von Frisch-, - und Festbetoneigenschaften durch Minimierung der Haufwerkporosität von Bindemitteln mittels Approximation der Fuller-Kurve durch Mischen von Kornfraktionen, Beton/Ausgabe 5, 220-222.
- [3] Schmidt, M., Geisenhanslücke, C. (2005). Optimierung der Zusammensetzung des Feinstkorns von Ultra-Hochleistungs- und von selbstverdichtendem Beton. Grundlagen und Forschungsergebnisse
- [4] WESTCAM, Projektmanagement GmbH, Gewerbepark 38, 6068 Mils bei Hall, contact@westcam.at