

Betontechnologie – Sichtbetonkriterien für Ausgangsstoffe

Franz Podhraski

Schotter- und Betonwerk Karl Schwarzl Betriebsg.m.b.H., Unterpemstätten

DI Gernot Tritthart

Lafarge Perlmooser GmbH, Wien

Einleitung

Aus Sicht des Betontechnologen muss der Beton so zusammengesetzt werden, dass dieser möglichst einfach und kompakt in die formgebende Schalung eingebracht und verdichtet werden kann.

Im ausgeschalteten und erhärteten Zustand wirkt nur die Oberfläche des Betons, wobei der Gesamteindruck hauptsächlich durch Schalhaut, Trennmittel und Zementstein, mit den darin eingebetteten feinsten Gesteinskörnungspartikeln, entsteht. Dieser Gesamteindruck wird jedoch auf unterschiedlichste Weise von den jeweiligen Betrachtern aufgenommen.

Dies führt in der Praxis oft zu interessanten Missverständnissen.

In nachfolgenden Ausführungen werden die Ausgangsstoffe von Beton hinsichtlich Zusammensetzung, Herkunft und Herstellung und deren Auswirkungen auf Sichtbeton näher betrachtet.

Zement

Einleitend zum Zement sei erwähnt, dass speziell die Farbe und deren Gleichmäßigkeit eine der wesentlichen Eigenschaften für das Gelingen von Sichtbeton darstellen. Natürlich müssen Verarbeitbarkeit und Festigkeitsverhalten innerhalb der prozesstechnischen und normativen Toleranzen liegen, aber es gibt keine Empfehlung, dass nur ein sehr reaktiver oder schneller Zement, wie ein CEM I 52,5 R oder CEM II/A-S 42,5 R, oder andererseits ein langsamer Zement, wie ein CEM III/B 32,5 N, für Sichtbeton zu einem optimalen Ergebnis führt. Trotzdem sei bei langsamen Bindemittelkombinationen die Gefahr des Blutens erwähnt. Da-

durch könnten gesonderte betontechnologische Maßnahmen, wie Steuerung des Wasserrückhaltevermögens über den Mehlkorngelalt, eine Reduktion des Gesamtwassergehaltes über Fließmittelbeigabe oder eine verlängerte Nachbehandlungsdauer, erforderlich werden.

Was sind nun die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Farbe eines Zementes?

Die europäische Zementnorm EN 197-1 regelt neben den mörteltechnischen Eigenschaften, wie Festigkeiten oder Erstarrungszeiten, auch die Zusammensetzung mit entsprechenden Haupt- und Nebenbestandteilen. Diese wiederum üben über ihre Herstellung und Herkunft und den jeweiligen Gehalt im Zement einen wesentlichen Einfluss auf die Farbe des Sichtbetons aus. Für Österreich relevant sind hier neben dem eigentlichen Hauptbestandteil Klinker, die so genannten Zumahlstoffe Hüttensand (Schlacke), Flugasche und Kalkstein. Gips oder Anhydrit als Nebenbestandteile spielen hier eine eher unwesentliche Rolle.

Die Hauptbestandteile des Klinkers sind die Klinkermineralphasen C_3S (Tricalciumsilikat), C_2S (Dicalciumsilikat), C_3A (Tricalciumaluminat) und C_4AF (Tetracalciumaluminatferrit). Wesentlich für die Farbe innerhalb dieses Mineralphasensystems sind der Gehalt und die Art (Wertigkeit) des Eisenoxids, das Verhältnis zwischen C_3A und C_4AF und der Nebenbestandteil Magnesiumoxid (MgO), der zusammen mit Eisenoxid die charakteristische Farbe des graugrünen oder grauen Portlandzementes bestimmt.

Oberstes Gebot sind ein gleichmäßiges Rohmehl und anschließende gleichmäßige Brennbedingungen im Drehrohrofen, die im Regelfall leicht oxidierend, d. h. mit einem gewissen Sauerstoffüberschuss, erfolgen. Die Auswahl der Brennstoffe richtet sich dabei nach dem Heizwert, damit die wesentlichen Bedingungen,

wie 2.000° C Flammentemperatur und 1.450° C Brennguttemperatur eingehalten werden. Erst dann laufen die erforderlichen Fest- und Flüssigphasenreaktionen ab, die die Eigenschaften des Zementes bestimmen. Der leichte Sauerstoffüberschuss gewährleistet auch die dreiwertige Oxidationsstufe des Eisens. Bei reduzierenden Bedingungen würde das dabei gebildete zweiwertige Eisen die Farbe des Zementes Richtung Braun oder Bräunlich verändern. Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen, wie Kunststoffe, Altreifen oder Altöle, sollte daher auf diese Voraussetzungen abgestimmt werden, damit keine Veränderung bei der Substitution von Primärbrennstoffen wie z.B. Kohle auftreten.

Hier sei auch der Unterschied zwischen „normalem“ und „sulfatbeständigem oder C₃A-freiem“ Klinker erwähnt. Um einen C₃A-freien Klinker produzieren zu können, muss über die Rohmehlkomponenten das Verhältnis von Al₂O₃ zu Fe₂O₃ unter 0,64 liegen. Dies wird über die Erhöhung des Eisengehaltes bewirkt. Dadurch lässt sich auch die dunkle Färbung C₃A-freier Zemente erklären (siehe Abbildung 1).

Im anschließenden, eigentlichen Zementherstellungsprozess werden nun Klinker und gegebenenfalls Zumahlstoffe, wie Hüttensand, Flugasche, Kalkstein oder Kombinationen daraus, gemeinsam vermahlen oder getrennt gemahlen und anschließend innig miteinander vermischt.

Betrachtet man nun Abbildung 1, so sieht man, dass speziell höhere Gehälter von Hüttensand oder Kalkstein den Zement in seiner Farbe eher heller werden lassen.

Flugaschen wirken hier über ihre dunklere Eigenfarbe eher gegenläufig. Höhere Flugaschegehalte haben aufgrund des Gehaltes an Unverbranntem auch den unangenehmen Nebeneffekt, dass sie zu dunklen Wolken- oder Schlierenbildungen bei Sichtbetonen führen können.

Grundsätzlich sei aber auch im Zusammenhang mit Zumahlstoffen nochmals die Wichtigkeit der Gleichmäßigkeit erwähnt, wobei hier die Schwierigkeit besteht, dass diese Stoffe eher „Abfallstoffe“ der Eisen- und Stahlindustrie bzw. von kalorischen Kraftwerken darstellen und immer wieder

farbbeeinflussende Verunreinigungen beinhalten können. Trotzdem sind ihre latenthyadraulischen Eigenschaften sehr nützlich für die Betontechnologie, insbesondere für die Verarbeitbarkeit und Hydratationswärmeentwicklung.

Fallweise kann auch Kalksteinmehl oder Steinmehl (auch verwendet als Betonzusatzstoff) immer wieder aufgrund geologischer Umstände Spuren von Grafit enthalten, die fallweise zu Komplikationen führen können. Dies führt speziell durch die geringe Dichte bei feinteil- und fließmittelreichen Betonen, wie SCC, zu einer Art „Aufschwimmen“ an die Betonoberfläche, wie Abbildung 2 zeigt.



Abbildung 1: Von links oben nach rechts unten: CEM I C₃A-frei, CEM I, CEM III/B (68 % Hüttensand), Hüttensand gemahlen, Flugasche ungemahlen, Kalkstein gemahlen



Abbildung 2: „Aufgeschwommene“ Leichtpartikel auf der Oberfläche eines Frischbetons und einer Sichtbetonwand

Der Feinheit des Zements, oder landläufig auch Blaine-Wert genannt (cm^2/g), sollte man bei der Farbe bzw. den möglichen Schwankungen keine zu große Bedeutung beimessen. Österreich hat hier normativ über die ON B 3327-1 den Variationskoeffizienten des Blaine-Wertes beschränkt und damit qualitativ eine klare Abgrenzung und Aufwertung gegenüber reinen EN197-1 Zementen gesetzt.

Betonzusatzstoffe

Typ I (Farbpigmente, Steinmehle)

Farbpigmente sind zumeist synthetisch hergestellte unlösliche Eisenoxide oder unlösliche metallische Oxide auf Titan-, Nickel-, Antimon- oder Chrombasis.

Der Einsatz von Farbpigmenten muss im Vorfeld sowohl betontechnologisch als auch vom Farbeindruck beurteilt werden. Hohe Gehälter an Farbpigmenten können aufgrund des Wasserabsorptionsverhaltens einen höheren Wasserbedarf und auch eine Verringerung der Frost- bzw. Taumittelbeständigkeit bewirken. Dies muss bei der Zusammensetzung und Erstprüfung des Betons entsprechend berücksichtigt und kontrolliert werden. Für den Farbeindruck wird die Herstellung von Musterflächen dringend empfohlen. In diesem Zusammenhang sind auch nachbearbeitete Farbbetonoberflächen (durch Sandstrahlen, Stocken, Schleifen

usw.) zu erwähnen, die besonders harmonische Oberflächen ergeben (siehe Abbildung 3).

Steinmehle sind zwar normativ so genannte Betonzusatzstoffe des Typs I, sind aber technologisch den Gesteinskörnungen zu zuordnen.

Typ II (Flugasche EN 450-1, AHWZ ON B 3309, Mikrosilica EN 13263)

Flugasche nach EN 450-1 oder „Aufbereitete Hydraulisch Wirksame Zusatzstoffe“ (AHWZ) nach ON B 3309 sind von ihren Bestandteilen mit den Zumahlstoffen Hüttensand, Flugasche und Kalkstein von Zement ident und damit auch mit den Auswirkungen auf den Farbeindruck vergleichbar.

Mikrosilica hat für Sichtbeton eine untergeordnete Bedeutung, da die teilweise erschwerte Verarbeitbarkeit des Betons den Einsatz für diese Anwendung nicht begünstigt.

Gesteinskörnung

Abgesehen von den in der ON B 4710-1 Tabelle NAD 6 und NAD 9 sowie Pkt. 5.4 vorgegebenen Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind darüber hinaus vor allem die Menge und die Art des Feinsandes (Kornanteil $<0,25 \text{ mm}$) zu betrachten. Dessen mineralogische Zusammensetzung beeinflusst nicht nur die Farbe des Betons, sondern ist auch für das Wasserrückhaltevermögen und die Wirkung der Zusatzmittel im Sichtbeton mitverantwortlich. Der Kornaufbau im Feinstbereich beeinflusst wiederum die rheologischen Eigenschaften des einzubauenden Betons. Dieser Effekt kann durch Verwendung von nicht geeigneten Zusatzmitteln zu einem zähen, klebrigen Beton verstärkt werden. Betrachtet man Feinsande genauer, so wird man feststellen, dass auch Sedimentgesteine eigentlich als „Kantkorn“ zu bezeichnen wären. Dies erklärt auch, warum gut aufbereitete, aber künstlich zerkleinerte Sande aus Steinbrüchen praktisch gleich gut verarbeitbar wie Sande aus natürlichen Vorkommen sind. Ob Sedimente oder Kantkorn für Sichtbeton verwendet wer-



Abbildung 3: Sandgestrahlter Farbbeton mit besonders harmonischer Oberfläche

den, beeinflusst die Betonoberflächen nicht. Wesentlich größer ist die Auswirkung der Kornform (Längen-Dickenverhältnis der einzelnen Körner) im gesamten Körnungsbereich bis hin zum Größtkorn auf die Verarbeitbarkeit. Möglichst gedrungene, kugelförmige Körner wirken sich naturgemäß positiv auf die Beweglichkeit bzw. Verdichtbarkeit von Beton aus und reduzieren damit auch die meistens unerwünschten Poren und Lunker an der Sichtbetonoberfläche.

Moderne Sandaufbereitungsanlagen (siehe Abbildung 4) und eine verantwortungsvolle, gleichmäßige Beschickung der Anlagen reduzieren den Streubereich im Sand auf ein Minimum. Da es sich dabei üblicherweise um ein Naturmaterial handelt, sind geringe Schwankungen immer möglich. Der zum Einsatz vorgesehene Kiesanteil soll natürlich für eine gleichmäßige Gesamtsieblinie möglichst getrennt über einzelne Korngruppen dosiert werden.



Abbildung 4: Mikroprozessorgesteuerter Sandklassierer für die gleichzeitige Produktion von bis zu zwei unterschiedlichen Kornzusammensetzungen

In der Praxis der täglichen Herstellung von Sichtbeton sind die Einflüsse auf das Erscheinungsbild aber von eher untergeordneter Bedeutung. Dies deshalb, weil der Anteil <math><0,25\text{ mm}</math> im Beton nur zu ca. 1/3 aus der Gesteinskörnung stammt. Der deutlich überwiegender Bindemittelgehalt muss für Sichtbeton gemäß ON B 4710-1 bei mindestens

größeren Einfluss auf die Beschaffenheit des Sichtbetons. Für die Auswahl des Größtkorns des Sichtbetons sind in fast allen Fällen der Bewehrungsgrad und die Betonüberdeckung der Bewehrung das ausschlaggebende Kriterium. Normativ ist das Größtkorn mit dem 0,8-fachen Abstand zwischen Bewehrung und Betonoberfläche begrenzt. Für Betonoberflächen mit sehr hohen architektonischen Anforderungen ist eine Reduktion auf GK16 vom Standardgrößtkorn GK22 durchaus sinnvoll.

Betonzusatzmittel

Für den Einsatz im Sichtbeton haben sich mittlerweile Kombinationen von Fließmittel auf Polycarboxylatether-Basis (PCE) mit Ligninsulfonaten oder bei hohen Anforderungen reine PCEs durchgesetzt. Die Gründe dafür sind in einer sehr guten verflüssigenden Wirkung und in einer längeren Wirkungsdauer zu suchen. Damit können der Wassergehalt im Beton reduziert und die vom Verwender bevorzugten Verarbeitungseigenschaften über einen längeren Zeitraum sichergestellt werden. Gerade diese längere Wirkungsdauer erlaubt es heute gegenüber dem früher üblichen Nachdosieren des Fließmittels in den Fahrmischer auf der Baustelle das Fließmittel bereits im Werk zu einzumischen. Damit werden frühere Problemfelder, wie zu kurze Einmischzeiten in den Fahrmischer, ungleichmäßige Dosiermengen bis hin zu Verwechslungen mit Verzögerern, vermieden.

Die Einführung von Feinluftporen mit LP-Mitteln kann bei gegebenenfalls feinteilarmen Zuschlagsieblinien eine bessere Verarbeitbarkeit (Kugellagereffekt) bei reduzierter Entmischungsneigung und eine geringere Blutneigung des Betons bewirken.

Allerdings ist einem umfassenden Einsatz von Luftporenmitteln der hierfür notwendige höhere Prüfaufwand entgegenzustellen.

Der Einfluss der Zusatzmittel auf die Oberflächenfarbe des Sichtbetons ist als vernachlässigbar zu bezeichnen. Erfahrungsgemäß bewirkt

nur eine unterschiedliche Dosierung von Verzögerern einen erkennbaren Farbunterschied (unterschiedlicher Erhärtungszustand beim Entfernen der seitlichen Schalung).

Betonzusammensetzung

Die Anforderungen an die Zusammensetzung des Sichtbetons sind in der ON B 4710-1 und in der ÖVBB-Richtlinie „Geschalte Betonflächen (Sichtbeton)“ hinreichend beschrieben. Die Praxis zeigt, dass bei Verwendung von geeigneten Betonausgangsstoffen besonders Schwankungen des Wassergehaltes und damit verbunden unterschiedliche W/B-Werte Farbunterschiede bewirken. Eine daraus resultierende größere Blutneigung verschlechtert nicht nur das Erscheinungsbild des Sichtbetons, sondern beeinflusst auch andere wesentliche Betoneigenschaften negativ. Gleichmäßige Ausgangsstoffe, geringe Dosiertoleranzen, ausreichende Mischzeiten bei der Betonherstellung, kurze Transportwege und qualitätsbewusstes Personal sind der Schlüssel für einen homogenen Beton.

Zusammenfassung und Ausblick

Ein entsprechender Frischbeton ist natürlich eine wesentliche Komponente zum Gelingen von Sichtbeton. Entscheidend jedoch ist das Zusammenspiel aller Beteiligten, beginnend bei der Planung, Schalungsvorbereitung inklusive Trennmittelauftrag, Baustellenlogistik, Einbringung, Verdichtung, Nachbehandlung und Schutz des Betons während der Bauphase und Übergabe an den eigentlichen Nutzer. Eine Koordination dieser Tätigkeiten und das Verständnis des Zusammenspiels aller Faktoren sind neben einer umfassenden Qualitätssicherung der wesentliche Erfolgsgarant.