

Reprint from/Sonderdruck
aus BFT INTERNATIONAL
07/2009

Coloring pigments in concrete Farbpigmente im Beton

Denn die Welt ist farbig.

Bayferrox®-Pulverpigmente • Bayferrox®-Mikrogranulate • Bayferrox® C-Compact Pigmente
Flüssigfarben & Zementschwärzen, unabhängig geprüft für bewehrten und unbewehrten Beton
Chromoxidgrün • Heucodur®-Mischphasenpigmente • Titandioxid • Scholz Granulate
Qualifizierte Anwendungsberatung • Dosierttechnik

Harold Scholz & Co GmbH • Tel: 0 23 61 - 98 88-0 • info@harold-scholz.de • www.harold-scholz.de



scholz
farbpigmente colourpigments
seit 1902 since 1902

Coloring pigments in concrete

Remedies for fluctuations in raw materials and concrete recipes?

Farbpigmente im Beton

Hilfe gegen Rohstoff- und Rezepturschwankungen?

Autor • The customer places high demands on the product concrete. One of these is without doubt the look of the concrete surface. The expectations placed on colored concrete or fair-faced concrete surfaces are especially high. Solutions for all technically possible parameters and for prevention of avoidable mistakes have long since been implemented by most concrete manufacturers. But market requirements, customer wishes, and tender texts nevertheless continue not to correlate with actual product qualities. Why is that so?



Dr. Peter Weber (1959), Chemiestudium an den Universitäten Kaiserslautern und Gießen, promoviert am Institut für organische Chemie, Justus-Liebig-Universität Gießen. 1995–1997 Leiter der Anwendungstechnik der Brockhues AG in Walluf, seit 1997 Mitarbeiter der Harold Scholz GmbH Recklinghausen in den Bereichen Verkauf/anwendungstechnische Beratung peter.weber@harold-scholz.de.

The consumer clearly distinguishes between the requirements on synthetic surfaces, on the one hand, and natural surfaces on the other hand: Strongly influenced by the modern design of elegant automobiles, ceramics, furniture, synthetic, and metal surfaces, many consumers expect absolute homogeneity and precision. Of natural surfaces – such as, for example, natural stone – the opposite is expected: every stone must be one of a kind! The consumer, unfortunately associates concrete surfaces with synthetic materials, not taking into account the fact that concrete is made of natural raw materials.

Many concrete manufacturers accommodate these requirements that cannot be completely met for reason of the very nature of the product and try to adjust their concrete in that direction. They therefore demand of their suppliers to deliver raw materials of constant quality, also with regard to the color, as well as standardization of their own recipes and production and processing processes. The standardization of processes for industrially manufactured precast concrete products has already taken place a long time ago. Within the framework of the necessary quality assurance, this is absolutely reasonable and necessary. But concrete manufacturers will nevertheless admit that changes in color and lightness can occur, no matter how much care and planning is taken, due to slight fluctuations in the natural colors and the quantities added (water, cement, aggregate, pigment). This will be discussed in more detail later on, together with other parameters.



Erich Imhof Anwendungstechnisches Labor der Harold Scholz & Co. GmbH.



Bernd Olhaut Anwendungstechnisches Labor der Harold Scholz & Co. GmbH.

Raw materials fluctuations

The manufacturers of color are the only ones that can guarantee the supply of raw materials of constant color. To achieve this, the color hue and the tinting strength of the pigments must be monitored and specified during their manufacture or in processing the pigment preparations.

Neither the supplier of the cement nor the manufacturer of the aggregate are able to do this. Although the cement batches are usually checked for their degree of

Der Kunde stellt hohe Anforderungen an das Produkt Beton. Hierzu zählt zweifellos das Aussehen der Betonoberfläche. Besonders hoch ist die Erwartungshaltung bei farbigem Beton oder Sichtbetonflächen. Bei den meisten Betonherstellern sind technisch machbare Parameter schon lange umgesetzt oder vermeidbare Fehler im Arbeitsablauf eliminiert. Trotzdem korrelieren auch heute noch Marktanforderungen, Kundenwünsche und Ausschreibungstexte mit den erzielten Produktqualitäten nicht. Woran liegt das?

Der Verbraucher unterscheidet deutlich zwischen Anforderungen an synthetische Oberflächen einerseits und natürlichen Oberflächen andererseits: Geprägt von modernen Designs eleganter Automobile, von Keramik, Möbeln, Kunststoff- und Metalloberflächen erwarten viele Verbraucher von künstlich hergestellten Materialien absolute Homogenität und Exaktheit. Bei natürlichen Oberflächen wie etwa Naturstein wird das Gegenteil erwartet: jeder Stein muss ein Unikat sein! Leider ordnet der Verbraucher die Betonsteinoberfläche den synthetischen Materialien zu, nicht berücksichtigend, dass der Betonstein aus natürlichen Rohstoffen erzeugt wird.

Viele Betonhersteller lassen sich auf diese Anforderungen, die systembedingt nicht vollständig erfüllbar sind, ein und versuchen, ihren Beton in diese Richtung zu trimmen. Daher wird gefordert, dass der Lieferant konstante Rohstoffe, auch aus farblicher Sicht, anliefert und dass die eigenen Rezepte sowie Herstell- und Verarbeitungsprozesse standardisiert werden. Die Standardisierung der Vorgänge ist bei der industriellen Herstellung von Betonfertigteilen und Betonwaren bereits seit langem vollzogen. Sie ist im Rahmen der notwendigen Qualitätssicherung auch absolut vernünftig und notwendig. Dennoch müssen die Betonhersteller, auch wenn man größtmögliche Sorgfalt walten lässt, bekennen, dass es etwa infolge geringer Schwankungen bei Eigenfarben und Zugabemengen (Wasser, Zement, Gesteinskörnung, Pigment) zu Verschiebungen des Farb- und Helligkeitseindrucks kommen kann. Im weiteren Beitrag wird noch näher hierauf eingegangen. Auch weitere zu nennende Parameter nehmen Einfluss.

Rohstoffschwankungen

Eine dauerhafte farblich konstante Belieferung mit Rohstoffen können lediglich die Farbhersteller zusichern. Die Pigmente werden bei Ihrer Herstellung oder bei der Verarbeitung zu Pigmentpräparationen auf Farbton und Farbkraft überprüft und spezifiziert.

grayness and/or lightness (often by means of comparative tests of the cement powder under glass). But a guarantee that these cement batches will still have the same color after the hydration process cannot be given. The reason for this is that the cement undergoes chemical reactions during setting and that the hardened cement can no longer be compared, in chemical terms, with the initial constituent. And the course of the setting process, again, does not depend solely on the cement, but on many other factors as well, e.g. the temperature or the water content of the concrete mix.

A color check of the aggregate is even more impossible to carry out. The fine-particled aggregate contributes to the coloring of the mortar content in the concrete. The coarse aggregate fraction reveals its natural color in processed concrete surfaces only when exposed to the surface. Although care can be taken that the sand used is always obtained from the same quarry, but some fluctuations in color and lightness can always occur. Differences in the grading curve also have an effect, since a changed grading curve will result in a larger or smaller surface. The color impression we actually get from a non-colored concrete surface will always be the color of a mix of cement and the natural color of the sand, depending on the surfaces that result from these raw materials and not depending on their mass fractions.

Despite all of these natural conditions described above, the requirements made on concrete surfaces are much more like those made on the surfaces of automobiles than on natural stone. The cause of these developments is not easy to pinpoint. But clear is that the consumer is not the only one to blame for this. Color manufacturers increasingly tend to attribute properties to concrete colors that cannot really be guaranteed in practice. An example of this is the development of recent years: to create colors based on standardized color charts (e.g. RAL or NCS). In response to inquiries of architects and planners, small colored concrete samples are made up. These samples, measuring approx. 10 x 20 cm, manufactured under laboratory conditions and by applying the appropriate application technology, show the desired color hue on a homogeneous surface, or an approximation to the desired color hue in the concrete. This is done with the best intentions and is meant to demonstrate how this color hue can be created with which raw materials (cement, sand, pigment). But the manufacturer will always draw attention to the fact that color fluctuations in the precast component may very well occur. Despite these words of caution, however, when the precast component then shows clouding, efflorescence or inhomogeneity, the disappointment will be great.

Even when the manufacturers of color know that the notion to attribute properties to concrete that it simply does not have is wrong, an effort is nevertheless made to satisfy the customer. As inquiries like these are increasingly made – not only for colored concrete – the following is a compilation of factors explaining to what extent color is able to influence or improve the homogeneous appearance of the concrete surface.

As parameters of the test series presented in the following, the factors that most strongly influence the coloring of the concrete surface, apart from the pigment, were selected: cement, sand and w/c ratio.

Weder der Zement- noch der Hersteller von Gesteinskörnung kann das leisten. Der Zement wird zwar chargebezogen üblicherweise auf seinen Grau- bzw. Helligkeitsgrad überprüft (oft sind es Vergleichstests des Zementpulvers unter der Glasplatte), eine Zusicherung, dass diese Zementchargen nach dem Hydrationsprozess noch immer die gleiche Farbe zeigen, kann nicht gegeben werden. Schließlich durchläuft der Zement während des Abbindeprozesses chemische Umsetzungen und der abgebundene Zement ist chemisch nicht mehr mit dem Ausgangsstoff vergleichbar. Und wie der Abbindeprozess verläuft, hängt wiederum nicht alleine vom Zement sondern auch von vielen anderen Faktoren ab, etwa von der Temperatur oder vom Wassergehalt der Betonmischung.

Noch weniger Farbkontrolle ist bei der Gesteinskörnung möglich. Besonders die feinteilige Gesteinskörnung trägt zur Farbgebung des Mörtelanteils im Beton bei. Die grobe Gesteinsfraktion zeigt ihre Eigenfarbe lediglich in oberflächenbearbeiteten Betonen, wenn sie selbst an der Oberfläche zum Vorschein kommt. Zwar kann man darauf achten, dass der eingesetzte Sand immer aus dem gleichen Abbaugelände kommt, aber natürlich kann es auch da zu gewissen Farb- oder Helligkeitsschwankungen kommen. Auch Unterschiede in der Sieblinie wirken sich aus, denn eine veränderte Sieblinie bedeutet eine größere oder kleinere Oberfläche. Tatsächlich erkennen wir den Farbeindruck einer nicht eingefärbten Betonoberfläche immer als Mischfarbe der Zement- und der Sandeigenfarbe in Abhängigkeit der durch diese Rohstoffe eingebrachten Oberflächen, nicht in Abhängigkeit von deren Masseanteilen.

Trotz dieser beschriebenen natürlichen Gegebenheiten werden die Anforderungen an Betonoberflächen oft eher denen für Automobiloberflächen als denen für Naturstein angenähert. Eine Verantwortung für diese Entwicklungen ist nicht einfach zuzuordnen, klar ist jedoch, dass es nicht alleine am Verbraucher liegt. Auch Farbenhersteller lassen sich mehr und mehr darauf ein, der Betonfarbe Eigenschaften zuzugestehen, die eigentlich nicht garantiert werden können. Als Beispiel soll eine Entwicklung der letzten Jahre genannt sein: Betonfarben nach standardisierten Farbkarten (etwa RAL oder NCS) auszuarbeiten. Auf Anfrage von Architekten oder Planern werden kleine Farbbetonmuster hergestellt. Diese ca. 10 x 20 cm großen Musterplatten, die in der Anwendungstechnik unter Laborbedingungen gefertigt werden, zeigen in homogener Oberfläche den gewünschten Farbton oder eben eine Annäherung an den Wunschfarbton in Beton. Das erfolgt in bester Absicht und soll demonstrieren, unter Verwendung welcher Rohstoffe (Zement, Sand, Pigment) dieser Farbton erstellt werden kann. Dennoch wird darauf hingewiesen, dass im Betonfertigteil durchaus Schwankungen auftreten können. Trotz aller Erläuterungen ist die Enttäuschung dann groß, wenn das Betonfertigteil Wolkenbildung, Ausblühung oder Inhomogenität aufweist.

Auch wenn die Farbenhersteller wissen, dass der gedankliche Ansatz, dem Beton objektfremde Eigenschaften zuweisen zu wollen, falsch ist, wird dennoch immer versucht, den Kunden zufrieden zu stellen. Da solche Anfragen immer häufiger gestellt werden – nicht nur bei farbigem Beton – ist im Folgenden zusammengetragen, inwiefern Farbe in der Lage ist, die Homogenität des Erscheinungsbildes der Betonoberfläche zu beeinflussen oder zu verbessern.

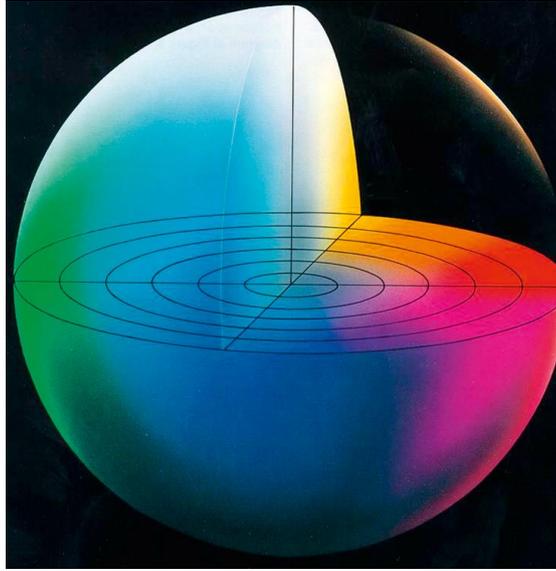


Fig. 1 LAB color space [Datacolor]

Abb. 1 LAB-Farbraum [Datacolor]

The color space

In order to discuss results, it must first be explained how color and lightness values on the surface are determined. To do this, the authors of this article make use of the spectrophotometer, the same as many color and paint manufacturers do. For this, a flash of light is sent to the medium to be measured. Some frequencies of the light are absorbed on the surface, the portion that is not absorbed is reflected and produces in this way the color of the object. The light that is reflected following the partial light absorption is measured and split into three color values: a lightness value (L value), a red-green value (a value) and a blue-yellow value (b value). Every color hue can be clearly defined by these three values: L, a and b. At the same time, every color hue can be unambiguously input into a color space formed by the three axes L, a and b. (Fig. 1). Every point in this color space thus corresponds to a color hue. Differences in color can therefore be recognized by the distances between the various points in the color space. These distances are known as Delta E values (ΔE). A low ΔE value indicates that the distance between colors is small. A large ΔE value indicates that the differences in color hues are greater. ΔE is a dimensionless quantity. The company of Harold Scholz defines the ΔE as follows: a color that is delivered in accordance with a production standard must have a guaranteed ΔE of maximally 1.5 to the color standard. This limit that is established in a highly sensitive in-house test system based on a dispersion color and check on a batch basis, guarantees that the eye cannot detect any differences in color hue caused by the pigment. ΔE values larger than 2 are referred to as visible differences in color hue. ΔE values larger than 5 represent different colors. This test system has proven reliable for many years and has in the meantime been adopted by many color manufacturers.

Experimental set-up

Until now, only the fluctuation parameters under investigation were changed when manufacturing the concrete and the sample specimens. All other parameters relating to the mix design and the manufacture were kept as con-

Als Parameter der nachfolgend dargestellten Versuchsserie wurden die Faktoren ausgesucht, welche die Farbgebung der Betonoberfläche neben dem Pigment am stärksten beeinflussen: Zement, Sand und W/Z-Wert.

Der Farbraum

Um Ergebnisse diskutieren zu können, muss erst einmal erklärt werden, wie man Farb- oder Helligkeitswerte an Oberflächen bestimmt. Wie viele Farb- und Lackhersteller das tun, wird auch in diesem Beitrag auf die Messung der Oberfläche mittels eines Spektralphotometers zurückgegriffen. Auf die Oberfläche des zu messenden Mediums wird ein Lichtblitz gesandt. Einige Frequenzen des Lichtes werden an der Oberfläche absorbiert, der nicht absorbierte Anteil wird reflektiert und ergibt so die Farbe des Gegenstandes. Das nach der teilweisen Lichtabsorption reflektierte Licht wird gemessen und in drei Farbwerte gesplittet: einen Helligkeitswert (L-Wert), einen Rot-Grün-Wert (a-Wert) und einen Blau-Gelb-Wert (b-Wert). Jeder Farbton lässt sich durch diese drei Werte L, a und b eindeutig definieren. Gleichzeitig lässt sich jeder Farbton in einem Farbraum, der durch die drei Achsen L, a und b gebildet wird, eindeutig eintragen (Abb 1). Jeder Punkt in diesem Farbraum entspricht also einem Farbton. Farbunterschiede werden demnach durch Abstände verschiedener Punkte im Farbraum erkennbar. Solche Abstände bezeichnet man als Delta E-Werte (ΔE). Ist der ΔE -Wert klein, ist der Farbabstand gering. Ist er groß, unterscheiden sich die Farbtöne stärker. ΔE ist eine dimensionslose Zahl. Die Firma Harold Scholz definiert wie folgt: eine Farbe, die zum Produktionsstandard passend ausgeliefert wird, muss im firmeninternen Prüfsystem ein ΔE von maximal 1,5 zum Farbenstandard besitzen. Dieser Grenzwert, der in einem sehr empfindlichen Prüfsystem auf Basis einer standardisierten Dispersionsfarbe definiert und chargenbezogen überprüft wird, garantiert, dass man im Beton optisch keine Farbtonunterschiede auf Grund des Pigments erkennen kann. Bei ΔE -Werten größer 2 von spricht man von erkennbaren Farbtonunterschieden. Bei ΔE -Werten größer 5 handelt es sich um unterschiedliche Farben. Dieses Prüfsystem hat sich seit vielen Jahren bewährt und wurde mittlerweile von vielen Farbherstellern übernommen.

Versuchaufbau

Bei der Herstellung des Betons und der Mustersteine wurden immer nur die zu untersuchenden Schwankungsparameter geändert. Alle übrigen Rezeptur- und Herstellungsparameter wurden im Rahmen der Labormöglichkeiten konstant gehalten. Der jeweilige W/Z-Wert orientiert sich jedoch am Wasserbedarf der verwendeten Rohstoffe. Als Steinmaschine kam die pneumatisch arbeitende Steinpresse (Hersteller Schauer & Häberle, Regensburg) zum Einsatz. Diese Steinpresse ist in der Lage, praxisgerechte Betonpflastersteine und Betonsteinplatten herzustellen.

Bei allen vorgestellten Ergebnissen handelt es sich um Fallbeispiele, die reproduzierbar sind. Eine statistische Absicherung ist nicht erfolgt. Bei den coloristischen Messungen werden stets Steine im gleichen Einfärbezustand miteinander verglichen. Ein Stein wird als Standard gewählt, der andere, bei dem der Schwankungsparameter (Zementtyp, Sandtyp oder W/Z-Wert) gegenüber dem Standardstein geändert wurde, wird gegen diesen Standardstein gemessen. Dieser Messwert ist im

stant as possible under laboratory conditions. However, the given w/c ratio orients itself on the water demand of the raw materials used. The blocks were manufactured on a pneumatic press (supplier: Schauer & Häberle, Regensburg, Germany). This pneumatic block press is designed to manufacture concrete blocks and concrete tiles for application in practice.

All of the results presented here are reproducible case examples. A statistical validation was not conducted. For the color measurements, two blocks of the same coloring condition were compared with each other. One block was chosen as standard, the other, for which the fluctuation parameter (cement type, sand type or w/c ratio) was changed from the standard block, was measured against this standard block. This measured value is shown in the diagram as column. The higher the color, the greater the differences in color between the two blocks. This is illustrated once again on the example of the previously described test that were performed on different cements.

Liquid yellow HS 420 F and liquid black HS 330 F were used in various amounts as coloring pigments. Later on, a gray liquid color will also be described. Liquid color was chosen to eliminate fusion problems.

All of the tests were carried out with all three color mixes. Due to the large scope of the tests, only the results of selected colors will be discussed in this report.

Fluctuations in cement

For this investigation, two different gray cements and an additional white cement were selected. All cements were of the same strength class: 42,5. **Graphic 1** shows in each case the ΔE values in relation to the given standard block. The standard block is in every case the block made with gray cement 1. Standard block and comparison block always have the same pigmentation. Therefore, not the same block is used in every case as comparison, but a given block in the same pigmentation situation: The first column on the left shows, e.g., the difference in color hue of the unpigmented block made with gray cement 2 (GZ 2) compared with the standard block made with our standard laboratory cement – gray cement 1 (GZ 1). The ΔE value is approx. 1.2. The adjacent column on the right shows the comparison in color hue of the block made with GZ 2 and colored with 2% liquid yellow 420 F, compared to the block made with GZ 1 and 2% liquid yellow. One can immediately recognize that the difference in color hue (ΔE value) is now almost double as large as with the unpigmented block ($\Delta E = 2.1$).

Diagramm als Säule zu sehen. Je höher die Säule, desto stärker unterscheiden sich die beiden Steine farblich voneinander. Noch einmal am Beispiel verdeutlicht wird dies bei der nachfolgend zuerst beschriebenen Untersuchung an verschiedenen Zementen.

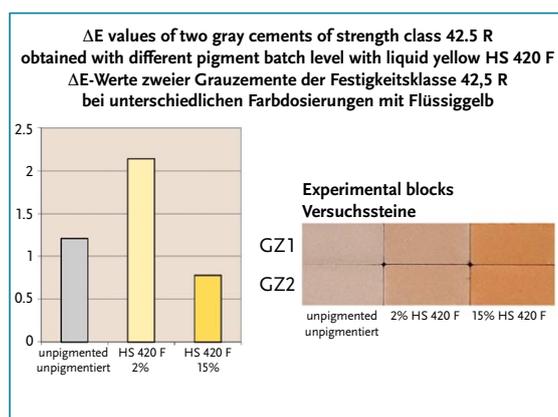
Als Pigmente wurden Flüssiggelb HS 420 F und Flüssigschwarz HS 330 F in verschiedenen Dosierungen eingesetzt. Später wird zusätzlich eine graue Flüssigfarbe beschrieben. Die Wahl fiel auf den Einsatz von Flüssigfarbe, um Aufschlussprobleme auszuschließen.

Alle Versuche wurden mit allen drei Farbmischungen durchgeführt. Wegen des zu großen Umfangs werden in diesem Bericht nur Ergebnisse mit ausgewählten Farben besprochen.

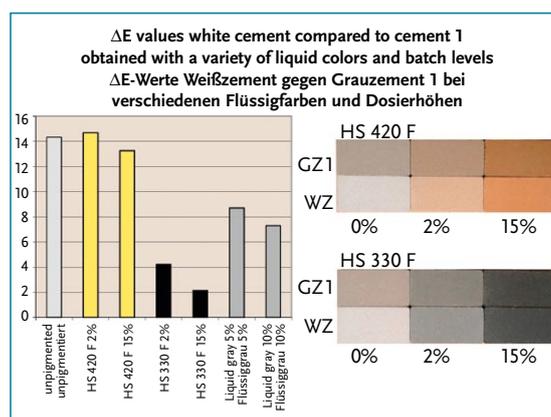
Schwankungen bei Zement

Zu dieser Untersuchung wurden zwei verschiedene Grauzemente und zusätzlich ein Weißzement gewählt. Alle Zemente entsprechen der gleichen Festigkeitsklasse 42,5. In **Grafik 1** sind jeweils die ΔE -Werte im Verhältnis zu dem jeweiligen Standardstein angegeben. Als Standardstein dient der jeweils mit Grauzement 1 hergestellte Stein. Standardstein und Vergleichsstein besitzen immer die gleiche Pigmentierung. Es wird also nicht immer gegen den gleichen Stein sondern gegen den jeweiligen Stein in der gleichen Pigmentierungssituation verglichen: Die erste Säule links zeigt etwa den Farbtonunterschied des unpigmentierten Steines hergestellt mit Grauzement 2 (GZ 2) verglichen mit dem Standardstein hergestellt mit unserem Standard-Laborzement – Grauzement 1 (GZ 1). Der ΔE -Wert beträgt ca. 1,2. Die Säule rechts daneben zeigt den Farbtonvergleich des mit GZ 2 hergestellten und mit 2% Flüssiggelb 420 F eingefärbten Steins verglichen mit dem Stein, der mit GZ 1 und 2% Flüssiggelb hergestellt wurde. Es ist sofort erkennbar, dass jetzt der Farbtonunterschied (ΔE -Wert) fast doppelt so groß ist wie beim unpigmentierten Stein ($\Delta E = 2,1$).

Wie nachfolgend zu sehen ist, erhöht der Einsatz einer geringen Menge Gelbpigment in allen Versuchen die Farbdifferenz, auch wenn Sande oder W/Z-Werte variiert werden. Dies bestätigt sich auch beim schwarzen Eisenoxidpigment, jedoch in geringerem Umfang. Erst größere Mengen Flüssiggelb führen zum erwarteten Ergebnis: Durch die Farbe wird der Farbunterschied zwischen den Steinen geringer, was durch ein Überdecken von Rohstoffunterschieden durch das Farbpigment zu erklären ist.



Graphic 1/Grafik 1

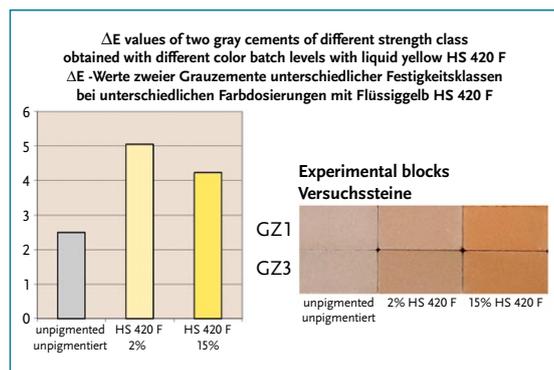


Graphic 2/Grafik 2

As will be seen later on, the use of a small amount of yellow pigment leads in every test to an increase in the difference in color hue, even where the sands or the w/c ratios are varied. The same is the case with the black iron-oxide pigment, if less pronounced. Only larger amounts of liquid yellow lead to the expected result: The difference in color between the blocks is less distinct, owing to the particular color used. The explanation for this is that the color differences in the raw material are obscured by the coloring pigment.

How can it be that the addition of a small amount of pigment can increase the color difference of the two blocks under investigation to that extent? The fact is that even cements of the same strength class do not necessarily have the same specific surfaces (Blaine values). Accordingly, different cement surfaces may result, even when the cement masses are kept constant in all experiments. Pigments are much more fine-particled than the cements used and therefore cover the cement surface. When the same amount of pigment is distributed on surfaces of different size, one will obtain different relative tinting strengths, i.e. the finer cement will be colored less than the coarser cement. In this way, the addition of pigment can possibly increase an already existing color difference or produce one. This will lead to an increase in the distance between colors. It should be mentioned that the use of black pigment tends to have similar results. When darker pigments are used, however, the color adjustment is generally more effective.

White cement, due to its lightness, naturally results in the by far greatest color deviation from gray 1. As can be seen (Graphic 2), the high ΔE value of the unpigmented blocks ($\Delta E = 14.3$) can only be insignificantly changed through the addition of color. Through the addition of 20% liquid yellow, corresponding to a solid pigment preparation of 10% batch level, the color difference can be reduced to only 12.6. That different colors begin with a value of $\Delta E = 5$, we are aware that a saturation with yellow pigment can also not lead to a sufficient approximation of the two concrete surfaces. With black iron oxide the prospects are better: an increase from 2 to 15% liquid black will result in a noticeable approximation of the two concrete surfaces. This is understandable since in that way the white cement paste gets more and more of what is missing in the gray cement paste: darkness. In general it appears that uncolored pigments, i.e. black and white, that only effect a change in lightness and bring no color components into play, are able to mask fluctuations better than colored pigments. Here, the changes will only happen alongside the L axis (light-dark axis) and not in the entire color space.



Graphic 3/Grafik 3

Wie kommt es dazu, dass durch die Zugabe einer kleinen Pigmentmenge der Farbtonunterschied der beiden betrachteten Steine größer wird? Auch Zemente gleicher Festigkeitsklasse besitzen nicht zwingend die gleichen spezifischen Oberflächen (Blaine-Werte). Hält man in allen Versuchen die Zementmasse konstant, kann dies dazu führen, dass es dennoch zu unterschiedlichen Zementoberflächen kommt. Pigmente sind wesentlich feinteiliger als die eingesetzten Zemente und belegen daher die Zementoberfläche. Wenn sich die gleiche Pigmentmenge auf unterschiedlich großen Oberflächen verteilt, erhält man unterschiedliche relative Farbkraften, was bedeutet, dass der feinere Zement schwächer eingefärbt wird als der gröbere. Somit vergrößert die Pigmentzugabe einen womöglich vorher schon vorhandenen Farbunterschied oder erzeugt erst einen solchen. Dies führt zu einer Vergrößerung des Farbabstandes. Es ist zu erwähnen, dass die Verwendung von schwarzem Pigment tendenziell immer ein ähnliches Ergebnis erbringt, allerdings ist der Farbtonangleich beim Verwenden dieses dunklen Pigments generell effektiver.

Der Einsatz von Weißzement ergibt durch seine Helligkeit natürlich die mit Abstand größte Farbabweichung vom Grauzement 1. Man kann erkennen (Grafik 2), dass der hohe ΔE -Wert der unpigmentierten Steine ($\Delta E = 14,3$) durch Farbzugabe nur unwesentlich verringert werden kann. Auch bei Zugabe von 20 % Flüssiggelb, was einer Festpigment-Dosierhöhe von 10 % entspricht, kann der Farbunterschied lediglich auf 12,6 reduziert werden. Da wir es ab einem $\Delta E = 5$ mit unterschiedlichen Farben zu tun haben, erkennen wir, dass auch die Sättigung mit Gelbpigment nicht zu einer hinreichenden Annäherung der beiden Betonoberflächen führen kann. Besser sieht es hier beim Einsatz von schwarzem Eisenoxid aus: Die Steigerung der Zugabe von 2 auf 15 % Flüssigschwarz führt zu einer deutlichen farblichen Annäherung der Betonoberflächen. Dies ist verständlich, da man dem Weißzementstein mehr und mehr das gibt, was ihm im Vergleich zum Grauzementstein fehlt: Dunkelheit. Generell scheinen unbunte Pigmente, also Schwarz und Weiß, die nur Veränderungen der Helligkeit bewirken und keine Farbkomponente ins Spiel bringen, Schwankungen besser zu überdecken als Buntpigmente. Die Veränderungen spielen sich dann nur entlang der L-Achse (Hell-Dunkel-Achse) ab und nicht im gesamten Farbraum.

Im Falle zweier Grauzemente unterschiedlicher Festigkeitsklassen bewirkt eine Farbzugabe auch bei hoher Dosierung keine deutliche Annäherung der Farbtöne. Hier ist der Oberflächenunterschied der verschiedenen Zemente zu groß (Grafik 3). Bestätigt wird dieser Effekt auch beim Einsatz von Eisenoxidschwarz und der grauen Pigmentmischung. Verglichen werden zwei Zemente der Festigkeitsklassen 42,5 (GZ 1) und 52,5 (GZ 3). GZ 3 besitzt eine wesentlich größere Oberfläche als GZ 1. Somit haben wir es bei allen Pigmentdosierhöhen, die bezogen auf die Zementmasse jeweils gleich sind, mit deutlich unterschiedlichen Dosierhöhen bezogen auf die Zementoberfläche zu tun. Der überdeckende Effekt des Pigments tritt somit wegen der extremen Farbkraftunterschiede in den Hintergrund und kommt nicht zum Tragen.

Dieses Phänomen weist deutlich darauf hin, dass alle, die von Pigment-Dosierhöhen in Beton sprechen, seit vielen Jahrzehnten eine falsche Bezugsgröße wählen. Die eingesetzte Pigmentmenge wird auf die Zementmasse bezogen. Eigentlich müsste sie auf die Zementoberfläche

In the case of two gray cements of different strength classes, the addition of color will not result in a noticeable approximation of the color hues, even when added in large amounts. Here, the difference in the surfaces of the various cements is too great (**Graphic 3**). This effect is also confirmed when using iron-oxide black and the gray pigment mixes. Compared are two cements of strength classes 42,5 (GZ 1) and 52,5 (GZ 3). The surface of GZ 3 is considerably larger than the surface of GZ 1. Accordingly, all pigment batch amounts that are always the same relative to the cement mass are associated with markedly different batch amounts related to the cement surface. The masking effect of the pigment is therefore, due to the extreme differences in tinting strength, of less importance and has therefore no effect.

This phenomenon clearly indicates that all those who talk about pigment batch amounts in concrete have worked for decades with a wrong reference unit. The amount of pigment is correlated to the cement mass. Whereas it should rightly be applied against the cement surface. This mistake has no consequences for as long as the cement system, i.e. the cement type including the strength class, remains unchanged. A change in cement, however, even in the same strength class, is still no guarantee that the concrete will retain its color. There exist many composite cements with different constituents, e.g. limestone flour, fly ash or granulated slag, whose composition and other properties differ from the conventional Portland cements. Their natural colors may be different. That could lead to a recognizable difference in lightness or color hue. In addition it is possible that the constituents behave differently in respect of the coloring, due to other surfaces and different interactions with the coloring pigment.

A change in cement should therefore always be examined under the coloring aspect. Concrete recipes have sometimes to be changed due to the availability of raw materials or for economic considerations. If, for example, additions (e.g. fly ash or granulated slag) are substituted with alternative products, the possibility that changes in color may result must be taken into account.

Is it possible then, in light of the insights gained from the above findings, to adjust the differences in lightness and color hues between the various cements through the addition of color? Can differences in color hues caused by changed recipes be compensated through the addition of color? This is, of course, possible in most cases.

At this point, we have only come to the conclusion that the addition of the same color to concretes made with different cements can lead to different coloring results. However, despite the above it will in almost all cases be possible

angerechnet werden. Dieser Fehler bleibt nur so lange ungeahndet, wie das Zementssystem, also die Zementsorte inkl. Festigkeitsklasse nicht geändert wird. Dennoch ist, bei einem etwaigen Zementwechsel, der Verbleib in der gleichen Festigkeitsklasse keine Garantie dafür, dass die Farbe des Betons erhalten bleibt. Es gibt viele Kompositzemente mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen wie Kalksteinmehl, Flugasche oder Hüttensand, die sich von herkömmlichen Portlandzementen in ihrer Zusammensetzung und weiteren Eigenschaften unterscheiden. Ihre Eigenfarben können abweichen, was zu einem erkennbaren Helligkeits- oder Farbtonunterschied führen kann. Zudem besteht die Möglichkeit, dass sich die Inhaltsstoffe bezüglich einer Einfärbung unterschiedlich verhalten infolge anderer Oberflächen und unterschiedlicher Wechselwirkungen mit dem Farbpigment.

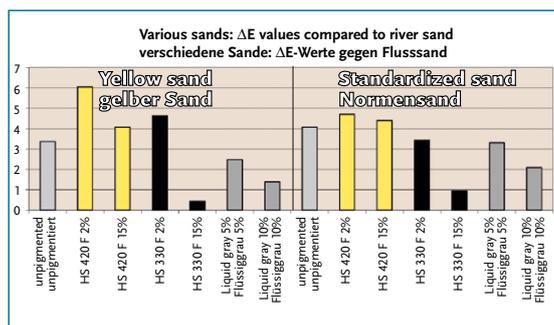
Somit sind Zementwechsel immer unter dem Aspekt der Coloristik zu hinterfragen! Bisweilen müssen aus Fragen der Rohstoffverfügbarkeit oder aus ökonomischen Gründen Betonrezepturen geändert werden. Sollen etwa Zusatzstoffe (beispielsweise Flugasche oder Hüttensand) durch alternative Produkte ersetzt werden, muss man in Betracht ziehen, dass es zu coloristischen Veränderungen kommen kann.

Ist es, nach den o. g. gewonnen Erkenntnissen möglich, Helligkeits- oder Farbtonunterschiede zwischen verschiedenen Zementen durch Farbzugabe anzupassen? Können Farbtonunterschiede, die durch Rezepturumstellungen zustande kommen, durch Farbzugabe kompensiert werden? Selbstverständlich ist dies in den meisten Fällen möglich.

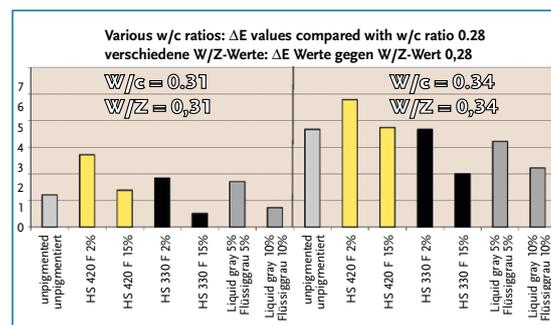
Bislang wurde lediglich festgestellt, dass die gleiche Farbzugabe zu Betonen, die mit verschiedenen Zementen hergestellt werden, zu unterschiedlichen Einfärberegebnissen führen kann. Gleichwohl kann man es in fast allen Fällen erreichen, einen Betonstein durch den Einsatz von Farbpigmenten an einen anderen anzugleichen. Seit vielen Jahren ist es Praxis, Helligkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Grauzementen durch Zugabe von geringen Mengen schwarzen Eisenoxids oder durch Zugabe von Titandioxid (weiß) auszugleichen. Nicht möglich ist es, einen Grauzement unter Verwendung von Titandioxid soweit aufzuhellen, dass ein weißer Beton entsteht [1].

Schwankungen beim Sand

Sande tragen neben dem Pigment ebenso wie Zement zur Farbgebung des Betons bei. Die feinteilige Gesteinskörnung mischt sich mit Zement und Wasser zu Mörtel. Dieser Mörtel erzeugt die Farbe der Betonoberfläche. Somit sind unterschiedliche Sandfarben für unterschiedliche



Graphic 4/Grafik 4



Graphic 5/Grafik 5

ble to adjust the color of one concrete surface to another through the use of coloring pigments. For many years it has been common practice to adjust differences in lightness between the various gray cements by adding small amounts of black iron oxides or through the addition of titan dioxide (white). Making a white concrete with using gray cement and titan dioxide, however, is not possible [1].

Fluctuations in sand

Sands contribute to the coloring of the concrete, in the same way as cement. The fine-particled aggregate blend with cement and water to form mortar. This mortar determines the color of the concrete surface. Accordingly, sands of different color also cause different concrete colors. **Graphic 4** shows that here, too, the differences in color hues cannot be reduced through the addition of small amounts of color, but, in fact, are increased. When determining the sand surfaces via a model calculation [2], based on the grading curves of the sand, one will recognize the following specific surfaces:

River sand: approx. 17 m²/l

Standardized sand: 14 m²/l

Yellow sand: approx. 11 m²/l

Accordingly, the relationship between cement paste surface / sand surface will always be different for every sand. This will also influence the appearance of the concrete surface. The effect, in particular in the colored conditions with light-colored pigments this will again express itself in different tinting strengths. When using a darker pigments, the differences between the various color specimens will be less pronounced. Here, too, the use of a small amount of color will become more apparent. Greater differences in the surfaces of the sand will result in greater differences in the ΔE after the addition of smaller amounts of yellow and black pigments (**Graphic 4**).

In nearly all cases, only the addition of larger amounts of color will result in the expected improvement of the situation: The coloring pigments increasingly mask the color differences of the sands. Compared to the river sand and the standardized sand, the use of yellow iron-oxide pigment, the changes between a low and higher color dosing is only slight. This however confirms the generally applicable tendency that larger amounts of color help to somewhat adjust the differences between color hues and lightness that arise from the use of different sands. The equalizing effect of a darker pigment is here again considerably more effective.

Differences in the w/c ratio

Differences in the w/c ratio are in our experience the most frequent cause of differences in color hues and lightness on concrete surface. Higher w/c ratios lead to concrete surfaces of lighter color. The phenomenon can be explained as follows: the higher water content leads to a somewhat more liquid consistency of the hardened cement paste. This has the effect that during the compaction of the concrete more cement paste penetrates to the surface. The surface becomes smoother and fewer "light-absorbing" pores are created. In addition, the higher relative water content results in the formation of a finer ramification of the cement needles on the concrete surface; what again leads to a diffuse light scattering. This phenomenon also find expression in a lighter appearance.

As is the case with the previously described parameters of cement and sand, the addition of smaller amounts

Betonfarben mitverantwortlich. **Grafik 4** zeigt, dass auch hier die Farbtonunterschiede durch geringe Farbzugaben nicht verringert sondern vergrößert werden. Ermittelt man aus den Sieblinien der Sande über eine Modellrechnung [2] die Sandoberflächen, erkennt man folgende spezifische Oberflächen:

Flusssand: ca. 17 m²/l

Normensand: ca. 14 m²/l

Gelber Sand: ca. 11 m²/l

Es liegt also bei Verwendung jedes Sandes ein anderes Verhältnis Zementleimoberfläche/Sandoberfläche vor. Auch dies wirkt sich auf die optische Erscheinung der Betonoberfläche aus. Insbesondere im eingefärbten Zustand mit hellen Farbpigmenten äußert sich dies wieder als unterschiedliche Farbkraft. Bei Verwendung eines dunklen Pigments fallen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Mustersteinen etwas geringer aus. Auch hier ist es so, dass der Einsatz einer geringen Farbmenge einen vorhandenen Unterschied optisch verstärkt. Größere Oberflächenunterschiede der Sande bewirken bei einer geringen Zugabe gelben und schwarzen Pigments größere ΔE -Unterschiede (**Grafik 4**).

Erst die Zugabe von großen Farbmengen führt in fast allen Fällen zu der erwarteten Verbesserung der Situation: Die Farbpigmente überdecken mehr und mehr die Farbunterschiede der Sande. Im Vergleich von Fluss- und Normensand ist beim Einsatz von gelbem Eisenoxidpigment die Veränderungen von geringer zu hoher Farbdosierung nur gering. Allerdings bestätigt das doch die allgemein gültige Tendenz, größere Farbmengen helfen, Farbton- und Helligkeitsunterschiede aufgrund der Verwendung verschiedener Sande etwas auszugleichen. Dabei ist die angleichende Wirkung beim Einsatz eines dunklen Pigments auch hier wieder wesentlich effektiver.

W/Z-Wert-Unterschiede

W/Z-Wert-Unterschiede sind neben Kalkausblühungen nach unserer Erfahrung die häufigste Ursache für Farb- oder Helligkeitsunterschiede an Betonsteinoberflächen. Höhere W/Z-Werte führen zu helleren Betonoberflächen. Folgende Erklärung gibt es für dieses Phänomen: der höhere Wassergehalt führt zu einer etwas flüssigeren Konsistenz des Zementleims, was dazu führt, dass beim Verdichten des Betons mehr Zementleim an die Oberfläche dringt. Die Oberfläche wird glatter und es entstehen weniger „Licht schluckende“ Poren, was eine Aufhellung zur Folge hat. Zudem bedingt der höhere relative Wassergehalt eine größere Feinverastelung der entstehenden Zementnadeln an der Betonoberfläche, was wiederum zu einer diffusen Lichtstreuung führt. Auch dieses Phänomen äußert sich optisch als Aufhellung.

Wie bei den zuvor beschriebenen Parametern Zement und Sand bewirkt auch bei variablen W/Z-Werten die Zugabe geringer Farbmengen eine Erhöhung der Farbdifferenzen. Erst große Farbmengen bewirken gegenüber dem unpigmentierten Stein eine Annäherung der Oberflächenfarben. Wiederum ist das schwarze Pigment effektiver. Und wieder ist es also so, dass geringe Farbmengen, insbesondere das gelbe Eisenoxidpigment, optische Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Rohstoffverhältnisse (hier Wasser und Zement) optisch verstärken.

Es lässt sich also eindrucksvoll belegen, dass geringe Farbzugabemengen bei Rezepturschwankungen quasi als Indikator für bestehende Farbunterschiede wirken können. Doch das Dosieren kleiner Pigmentmengen birgt

of color increases the differences in color also with variable w/c ratios. Only larger amounts of color result visa-vis the unpigmented concrete in an approximation of the surface colors. The black pigment is once again more effective. And, here again, the lower amounts of colors, in particular the yellow iron-oxide pigment, intensify the color difference due to different raw materials conditions (here, water and cement):

That the addition of small amounts of color in case of fluctuating recipes can quasi be an indicator for existing color differences can be impressively confirmed. But the addition of smaller amounts of pigment presents still other imponderabilities that can lead to color differences.

Batching smaller amounts of color – a problem?

Fully automated pigment batching in all its states – i.e. as powder, as liquid color or as solid preparation such as compact pigment or granules – of the required precision is today possible with the different technologies available. Most existing batching plants, however, are designed for weighing larger amounts. To ensure a rapid batching process, pipes with large cross-sections, large valves and large measuring vessels are required. Batching of smaller amounts in such plants is in most cases not possible in the required precision. A fluctuation width of $\pm 20\text{g}$ in a batching plant for granules is negligibly small when 10 kg of pigments are processed (0.2%). However, if one wants to batch 200 g, the error lies already at 10%. This is something that must be taken into account when batching smaller amounts. Precasters who have to batch such amounts more frequently should make use of a special plant designed for processing small quantities.

The saturation curve

The second problem that arises in batching smaller amounts has to do with the pigment saturation course (Fig. 2). When adding gradually increasing amounts of pigments to the concrete, the color intensity of the concrete will increase as well. But the color intensity does not increase linearly to the increase in the pigment amounts added. The increase in color intensity, instead, follows a saturation curve. Accordingly, although the color intensity increases as increasing amounts of pigment are added, but increasingly slower. In a range of between 7% and 10%, a saturation will take place so that the color intensity does not increase further.

The other way around it can be stated that the color intensity in the course of batching changes greatly from one percentage point to the next in the lower batching range. When batching takes place in the saturation range, virtually no batching mistakes can any longer be made. In batching smaller color quantities, the opposite is the case, since slight fluctuations in the quantities added appear as fluctuations in color intensity.

All of these findings speak for batching the coloring pigments used only in small amounts. It goes without saying that the amount of color used should be oriented on the desired color result. Where no facilities are available for batching small amounts of color in sufficient precision, the color manufacturer may be of help. In such a case – and only here – the batching of a “diluted” pigment preparation is recommended. A color “diluted” with a filler can contribute to precise batching of smaller amounts of color. This variation makes special sense when using liquid color, since different solids (pigments and fillers)

noch weitere Unwägbarkeiten, die zu Farbunterschieden führen können.

Dosierung kleiner Farbmengen – ein Problem?

Das vollautomatische Dosieren von Pigment in all seinen Formen – also als Pulver, als Flüssigfarbe oder als feste Präparation wie Kompaktpigment oder Granulat – ist heute durch den Einsatz unterschiedlicher Techniken hinreichend genau möglich. Die meisten bestehenden Anlagen sind jedoch auf das Verwiegen großer Mengen ausgelegt. Damit der Dosiervorgang schnell vonstatten geht, sind große Rohrquerschnitte, große Ventile und große Messgefäße erforderlich. Die genaue Dosierung kleiner Mengen erfolgt mit solchen Anlagen meist nur unzureichend genau. Eine Schwankungsbreite von $\pm 20\text{g}$ bei einer Granulatdosieranlage ist beim Verwiegen von 10 kg Pigment verschwindend gering (0,2%). Will man jedoch 200 g dosieren, dann liegt der Fehler bereits bei 10%. Dies gilt es beim Dosieren kleiner Mengen zu beachten. Wer oft solch kleine Mengen dosieren muss, sollte auf eine spezielle Dosieranlage für Kleinmengen zurückgreifen.

Die Sättigungskurve

Das zweite Problem beim Dosieren kleiner Mengen hängt mit dem Sättigungsverlauf der Pigmentdosierung zusammen (Abb. 2). Gibt man steigend Pigment zum Beton, dann ändert sich auch zunehmend die Farbintensität des Betons. Doch der Verlauf der Zunahme der Farbintensität verläuft nicht linear zur Erhöhung der Dosiermenge. Vielmehr folgt die Farbintensitätszunahme einer Sättigungskurve. Dies bedeutet, dass die Farbintensität mit steigender Farbdosierung zwar zunimmt, jedoch immer langsamer ansteigt. In einem Bereich zwischen 7% und 10% stellt sich dann (Pigment- und Rezepturabhängig) allmählich eine Sättigung ein. Das bedeutet, dass trotz weiterer Farbzugabe keine weitere Zunahme der Farbintensität mehr erfolgt.

Umgekehrt lässt sich aussagen, dass sich die Farbintensität beim Dosieren im unteren Dosierbereich von Prozentpunkt zu Prozentpunkt stark ändert. Beim Dosieren im Sättigungsbereich kann man praktisch keinen Dosierfehler mehr machen. Anders beim Verwiegen gerin-

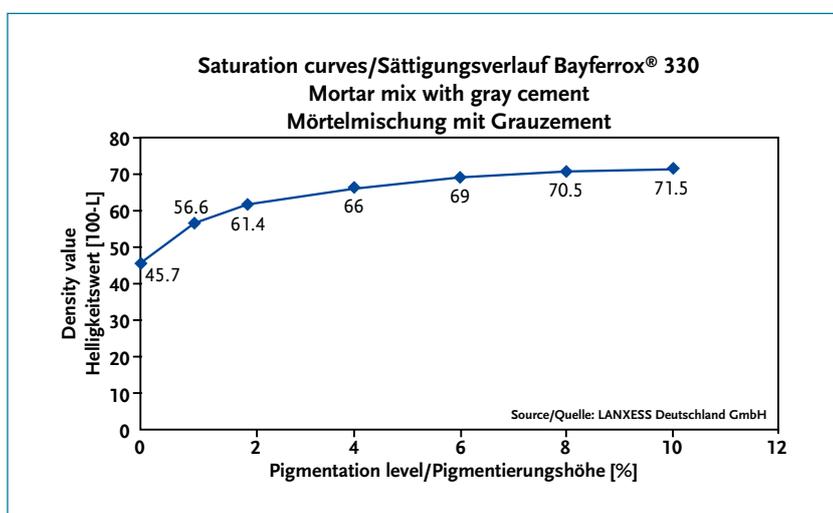


Fig. 2 Saturation curve of Bayferrox 330® [source: Lanxess Deutschland GmbH]

Abb. 2 Sättigungskurve von Bayferrox 330® [Quelle: Lanxess Deutschland GmbH]

can be easier homogenized and stabilized in a liquid phase. In other cases, fillers should on no account be used in color preparation – particularly not for economical reasons.

Color correction in gray concrete

In recent years, the question of whether color fluctuations in gray, uncolored concrete can be masked with color is more frequently asked. When using the tests with yellow and black pigment described above as a basis, one can deduce that concrete can be colored gray with a mixed color adjusted to gray, consisting of titan dioxide (white pigment) and black iron oxide. With an appropriately high amount of this pigment, the gray color of the previously discussed fluctuations (w/c ratio, cement color and sand color) can be masked.

To validate these findings, analog tests were carried out with 5% and 10% of a gray liquid color. The gray hue is created by mixing 80% titan-dioxide white and 20% iron-oxide black. The solids content of the liquid color is 50% so that the tests are conducted with a pigment batching in the amount of 2.5% and 5%. The diagrams (the dark-gray bars on the right next to the black bars in [Graphics 2, 4 and 5](#)) show that through the gray coloring the situation can in every case be improved.

It should be noted that the naturally high fluctuations were here provoked through the use of the variety of cements and sands used. A distinction must, however, be made between the raw materials fluctuations and the changes caused by a change in raw materials. In practice, the fluctuations should be markedly lower when the raw materials used are obtained from the same source so that the use of gray pigment mixes will also be more effective.

Closing observations

Colored pigments, when batched in high amounts, are able to mask slight fluctuations in raw materials or w/c ratios. This will also be possible with gray concrete by using an appropriately adjusted color mix.

The use of small amounts of pigments (up to approx. 2%) intensifies fluctuations in the raw materials, instead of equalizing them. The main reason for this is that the visual effects correlate with the natural colors and the inner surfaces of the raw materials without being able to guarantee a constant natural color of the raw materials (natural products) or a constant surface of the materials. Maintaining constant raw materials masses, be it volumetrically or gravimetrically, does not accord with constant surface conditions.

It is therefore possible up to a certain point to correct color fluctuations in the concrete with coloring pigments. The various individual test series indicate that the phenomena are surely still more complex. And there are, of course, many other parameters that may be subject to fluctuation: ambient temperatures during mixing, processing, curing, air humidities, carbon-dioxide content; the influences of formwork or molds, the effects of additions and admixtures, weighing precision, storage conditions etc. In the foreseeable future it will not be possible to completely control all of these parameters and to keep them absolutely constant to eliminate product fluctuations.

In order not to run the danger, however, of assessing concrete surfaces in future like the surfaces of automobiles, it must be communicated to the end user that con-

ger Farbmengen, denn geringe Mengenschwankungen machen sich hier als erkennbare Farbintensitätsschwankungen bemerkbar!

All diese Erkenntnisse sprechen dafür, die einzusetzenden Farbpigmente in nicht zu geringer Menge zu dosieren. Natürlich muss sich die einzusetzende Farbmenge am gewünschten Einfärbeergebnis orientieren und Pastelltöne beispielsweise sind nur durch Zugabe geringer Farbmengen zu erzielen. Sollte eine hinreichend genaue Dosiermöglichkeit für kleine Farbmengen nicht zur Verfügung stehen, kann der Farbhersteller Hilfestellung bieten. Es empfiehlt sich in diesem – und nur in diesem – Fall der Einsatz einer „gestreckten“ Pigmentpräparation. Eine mit Füllstoff „verdünnte“ Farbe kann zur genauen Dosierung kleiner Farbmengen beitragen. Diese Variante macht insbesondere bei der Verwendung von Flüssigfarbe Sinn, denn in der Flüssigphase lassen sich unterschiedliche Feststoffe (Pigmente und Füllstoffe) leicht homogenisieren und stabilisieren. Ansonsten haben Füllstoffe in Farzubereitungen – insbesondere aus ökonomischen Gründen – nichts verloren.

Farbkorrektur bei grauem Beton

Häufig angefragt wird seit einigen Jahren, ob Farbschwankungen bei grauem, nicht eingefärbtem Beton mit Farbe kaschiert werden können. Wenn man die Erkenntnisse aus den zuvor beschriebenen Versuchen mit gelbem und schwarzem Pigment zu Grunde legt, lässt sich ableiten, dass man Beton mit einer grau eingestellten Mischfarbe, bestehend aus Titandioxid (Weißpigment) und schwarzem Eisenoxid, grau einfärben kann. Bei entsprechend hoher Dosierung ist es möglich, dass die graue Farbe die zuvor besprochenen Schwankungen (W/Z-Wert, Zementfarbe und Sandfarbe) überdecken kann.

Um dies zu belegen, wurden analoge Versuche unter Verwendung von 5 % und 10 % einer grauen Flüssigfarbe durchgeführt. Der Grauton kommt durch Mischen von 80 % Titandioxidweiß und 20 % Eisenoxidschwarz zustande. Der Feststoffgehalt der Flüssigfarbe beträgt 50 %, so dass wir bei den Versuchen also von einer Pigmentdosierung in Höhe von 2,5 % und 5 % sprechen. Tatsächlich lässt sich, wie die Diagramme zeigen (die dunkelgrauen Balken rechts neben den Schwarzen in [Grafik 2, 4 und 5](#)), durch die Graueinfärbung in jedem Fall eine Verbesserung der Situation erzielen.

Zu bemerken ist, dass hier durch Verwendung verschiedener Zemente und Sande natürlich große Schwankungen provoziert wurden. Es ist jedoch zwischen einer Rohstoffschwankung und Veränderungen, die durch einen Rohstoffwechsel zu Stande kommen zu unterscheiden. In der Praxis sollten bei Verwendung von Rohstoffen aus stets gleicher Quelle die auftretenden Schwankungen deutlich geringer sein, so dass auch der Einsatz der grauen Pigmentmischung effektiver sein wird.

Schlussbetrachtung

Farbpigmente, wenn sie in großen Dosierhöhen Anwendung finden, sind in der Lage, geringe Rohstoff- oder W/Z-Wert-Schwankungen zu kaschieren. Dies gelingt auch beim grauen Beton durch Verwendung einer entsprechend eingestellten grauen Mischfarbe.

Der Einsatz geringer Farbpigmentmengen (bis ca. 2%) verstärkt Rohstoffschwankungen eher als dass sie diese ausgleichen würden. Die Hauptursache liegt darin, dass die optischen Effekte mit den Eigenfarben und inne-

crete is primarily one thing: a natural product. Concrete is stone!

The authors thank Mr. Klaus Neu of Dyckerhoff AG for his support

References/Literatur

-
- [1] Dr. Peter Weber; Beton 05/2007; Verlag Bau + Technik, 196 ff
 [2] Klaus Neu, Dyckerhoff AG

ren Oberflächen der Rohstoffe korrelieren, aber weder eine konstante Rohstoffeigenfarbe (Naturprodukte) noch eine konstante Oberfläche der Materialien garantiert werden können. Ein Konstanthalten der Rohstoffmassen, sei es volumetrisch oder gravimetrisch, geht nicht mit konstanten Oberflächenverhältnissen einher.

Es ist somit bedingt möglich, Farbpigmente zur Korrektur von Farbschwankungen des Betons einzusetzen. Die einzelnen verschiedenen Versuchsreihen deuten an, dass die Phänomene bestimmt noch wesentlich komplexer sind. Und es gibt natürlich noch viele andere Parameter, die schwanken können: Umgebungstemperaturen bei Mischen, Verarbeiten, Härtung; Luftfeuchten; Kohlendioxidgehalt; Schalungs- oder Formeneinflüsse; Zusatzmitteleffekte, Zusatzstoffeffekte, Verwiegegenauigkeiten; Lagerungsbedingungen usw. Es wird auf absehbare Zeit unmöglich bleiben, all diese Parameter vollständig zu kontrollieren und zur Vermeidung von Produktschwankungen diese vollständig konstant zu halten.

Um jedoch nicht Gefahr zu laufen, dass Betonoberflächen künftig generell wie Automobiloberflächen begutachtet werden, muss dem Endverbraucher vermittelt werden, dass Beton in erster Linie eines ist: ein Naturprodukt. Beton ist Stein!

Peter Weber, Bernd Olhaut, Erich Imhof

Die Autoren danken Herrn Klaus Neu von der Dyckerhoff AG für die Unterstützung

Scholz-Service für Fertigteil- und Transportbetonhersteller

