

Farbiger Beton – Einflüsse auf die Farbe bei Herstellung, Verarbeitung und Alterung



nbohlen.com

Denn die Welt ist farbig.

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

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



Farbiger Beton

Einflüsse auf die Farbe bei Herstellung, Verarbeitung und Alterung

An eingefärbte Betone werden fast immer sehr hohe Anforderungen gestellt, was das Erscheinungsbild betrifft. Als Ausnahmen sind lediglich die so genannte Identifikationseinfärbung von bestimmten Betonbauteilen und die Kernbetoneinfärbung bei der Herstellung von Betonpflastersteinen und Betonsteinplatten zu erwähnen, also Beton, der keinen Sichtbeton darstellt. In allen anderen Fällen stellt das Aussehen der farbigen Betonoberfläche eines der wichtigsten Bewertungskriterien für den Nutzer dar. Dies ist deshalb so, weil das Aussehen der Betonoberfläche auch das einzige ist, was ein Nutzer ohne den Einsatz technischer Hilfsmittel direkt nach dem Einbau/Verlegen des Betons bewerten kann.

Die Bewertung wichtiger betontechnologischer Eigenschaften, wie Druck-, Spaltzug- oder Biegezugfestigkeit, Abriebfestigkeit, Frost-Tausalz-Widerstand, Wasserdurchlässigkeit, Dichtigkeit oder weitere, bleibt dem Nutzer vorenthalten. Er ist hier vollständig darauf angewiesen, dass die geforderten Eigenschaften vom Betonhersteller zugesichert und durch entsprechende Prüfungen belegt wurden. Die Bewertung der optischen Eigenschaften der Betonoberfläche wird vom Nutzer selbst vorgenommen – durch Anschauen. Leider ist diese Bewertung des Nutzers, da sie nach individuellen Vorstellungen und zudem oft nicht fachmännisch erfolgt, nicht immer deckungsgleich mit der Bewertung des Herstellers. Die Bewertung der Sichtbetonoberfläche hat aus einem normalen Betrachtungsabstand zu erfolgen. Das Suchen nach Fissuren oder Farbeffekten mit der Lupe ist nicht angesagt. Betonoberflächen werden manchmal, was die farbliche Gestaltung angeht, mit anderen Oberflächen verglichen beziehungsweise an diesen gemessen, wie etwa Lackoberflächen, Kunststoffoberflächen oder auch Oberflächen von Metallen oder Fliesen. Der Nutzer vergisst dabei meistens, dass es sich bei Beton um einen Stein handelt, der aus natürlichen Rohstoffen (Sand, Kies, Splitt, Zement aus Ton und Kalk, Pigmente, die als solche auch in der Natur vorkommen) hergestellt wird und daher, anders als ein Automobillack etwa, natürlichen Eigenschaftsschwankungen, und somit auch Oberflächen- oder Farbschwankungen, unterliegt. Noch ein entscheidender Unterschied zum oft als Vergleich herangezogenen Automobillack sei erwähnt: während der Lack unter stets konstanten Bedingungen

(Temperaturen, Feuchten, etc.) aufgetragen wird, erhärtet Beton oft unter den jeweils gegebenen Umweltbedingungen. Auch hierdurch sind Schwankungen vorprogrammiert. Jeder Betonkörper stellt somit, streng genommen, ein Unikat dar, anders als ein frisch lackiertes Automobil.

Bisweilen fehlen nicht nur dem Endverbraucher sondern auch dem Betonhersteller Informationen darüber, welche Faktoren, neben den Farbpigmenten, alle an der Farbgebung des Betons beteiligt sind. Immer häufiger werden Transportbeton und Betonfertigteile eingefärbt – für viele Hersteller ist dies Neuland. Ein Mangel an Erfahrung liegt oft in zweierlei Hinsicht vor: zum einen bei der Herstellung des Farbbetons, zum anderen beim Einbau des Betons. Im Falle der Fertigteilherstellung obliegen beide Prozesse meist ein und demselben Hersteller. Beim Transportbeton ist mit dem Einbau meistens ein Bauunternehmen betraut, das den Umgang mit dem farbigen Beton beherrschen sollte. Hier sind Informationen zur Frage, welche Faktoren für die Farbgebung des Betons mit verantwortlich sind, besonders wichtig, denn auch in diesen Bereichen wird der Verbraucher im Falle des Farbbetons immer höhere Ansprüche an die Oberflächengestaltung und die Oberflächenfarbe stellen.

EINFLÜSSE AUF DIE BETONFARBE

Insgesamt lassen sich die Einflussfaktoren, welche die Farbe der sichtbaren Betonoberfläche beeinflussen, in 4 große Gruppen einteilen:



Das neue Hauptgebäude der Harold Scholz & Co. GmbH in Recklinghausen. Rot eingefärbter Sichtbeton mit gestrahlter Oberfläche, hergestellt von der Firma Hering-Bau.

- Die im Beton eingesetzten Rohstoffe mit ihren Eigenfarben
- Die Zusammensetzung des Betons aus diesen Rohstoffen, also die Rezeptur
- Die Herstellungs- beziehungsweise die Einbaubedingungen des Betons
- Nachträgliche Farbveränderungen an der Betonoberfläche

› Rohstoffe

Einleuchtend ist die Erkenntnis, dass die Eigenfarben der im Beton verarbeiteten Rohstoffe auch für die Farbgebung des Endproduktes, des Betons, verantwortlich sind. Die Rangfolge der Beeinflussung des Betonfarbtones durch die Rohstofffarbe sieht wie folgt aus:

1. Pigment
2. Bindemittel (Zement, evtl. Zusatzstoff)
3. feinteilige Gesteinskörnung
4. grobteilige Gesteinskörnung.

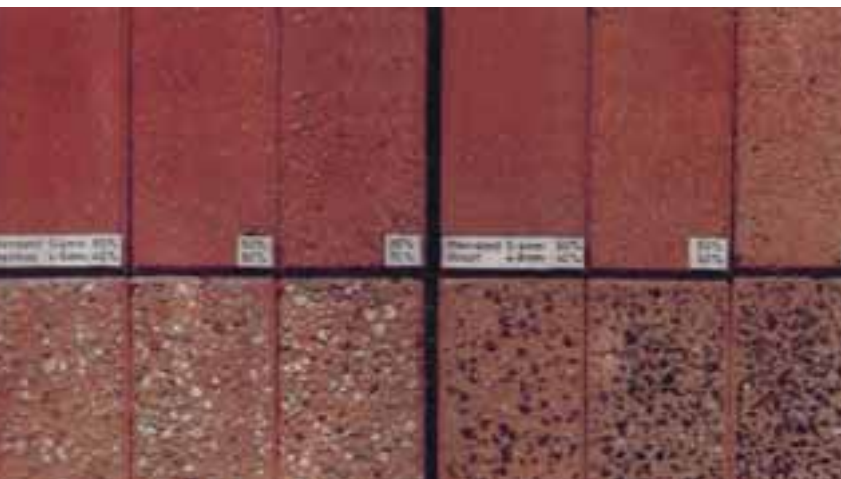
Farbpigmente stellen bezüglich der durchschnittlichen Teilchengröße die kleinsten Bestandteile der Betonrezeptur dar. Betrachten wir etwa die Vielzahl der Eisenoxidpigmente, so liegen die Primärpartikelgrößen zwischen $0,09 \mu\text{m}$ und $0,8 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$). Zement liegt in Teilchengrößen zwischen $10 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$ vor, ist also deutlich größer als das Pigment. Die feine Gesteinskörnung ist wiederum größer und die grobe Gesteinskörnung stellt die größten Bestandteile des Betons dar. Kleine Bestandteile umgeben in der Betonmatrix die größeren Bestandteile. Somit ist klar, dass das Pigment den Zement belegt und der wiederum die Gesteinskörnung ummantelt und diese durch das Abbinden miteinander vernetzt. Betrachtet man also eine eingefärbte Betonoberfläche, dann sieht man in erster Linie die Farbpigmente, ebenso aber auch die Zementfarbe, denn eine vollständige Belegung des Zementes durch das Pigment ist nicht möglich. Da das Auge die einzelnen Farben des Zementes und des Pigmentes nicht aufschließen kann, nimmt es eine Mischfarbe wahr. Zu dieser Mischfarbe trägt

ebenfalls noch die feine Gesteinskörnung bei, hiervon insbesondere der Mehlkornanteil. Alle Feinanteile des Betons beeinflussen den farblichen Gesamteindruck des Betons. Es ist also zu beobachten, dass unterschiedlich helle Grauzemente zu unterschiedlich hellen Betonsteinoberflächen führen, ungeachtet einer Einfärbung mit Pigmenten.



Verschiedene Sande und Zemente verleihen dem Betonstein verschiedene Farben: oben sind drei unterschiedliche Sande zu sehen, jede der beiden Plattenreihen wurde mit einem anderen Grauzement hergestellt.

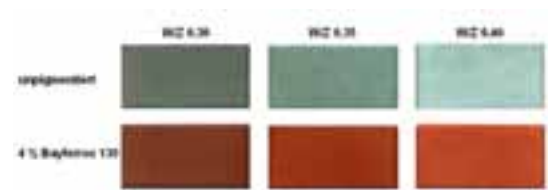
Als Beispiel für den Einfluss des Sandes an der Farbgebung sei erwähnt, dass man unter Verwendung von blauem Pigment und gelbem Sand mit hohem Feinanteil einen grünen Beton herstellen kann. Die grobe Gesteinskörnung spielt für die Farbgebung des Bindemittels keine Rolle, lediglich dann, wenn die Betonoberfläche nachbehandelt wird, etwa durch Waschen, Stocken, Schleifen, Säuern oder Strahlen. Dann kommt das Grobkorn selbst zur Geltung und stellt meist einen Kontrast zu dem umgebenden Zementstein dar.



Noch etwas gibt es zum Thema Rohstoffe zu sagen: Grundvoraussetzung für konstante Farbtöne der Betonprodukte sind möglichst konstante Farbtöne der eingesetzten Rohstoffe. Von allen eingesetzten Rohstoffen sind die Pigmente und Pigmentpräparationen die einzigen, deren Farbton und Farbkraft standardisiert eingestellt und geprüft werden. Beim Naturprodukt Gestein ist dies nicht möglich, bei Zement nur bedingt: Im Gegensatz zu Pigment und Sand unterliegt der Zement während der Entstehung des Betons einer chemischen Reaktion, wodurch er seine Struktur und seine physikalischen Eigenschaften verändert. Der Farbton des Zementes vor der Reaktion mit Wasser kann vom Farbton des hydratisierten Zementsteins durchaus verschieden sein.

› Rezeptur

Ähnlich wie bei den Rohstoffen gilt hier grundsätzlich: nur eine möglichst konstante Rezeptur ermöglicht konstante Farben der Betonprodukte. Zu Rezepturschwankungen kann es allerdings vor allem in folgenden Fällen kommen: Schwankungen beim Verwiegen der Rohstoffe, Schwankungen in der Zusammensetzung der Rohstoffe (Sieblinie der Gesteinskörnung)



Unterschiedliche W/Z-Werte bewirken unterschiedliche Helligkeiten der Betonoberflächen

oder Schwankung im Wasserhaushalt. Diese Rezepturschwankungen sind für Farbtönschwankungen, genauer genommen für Helligkeitsschwankungen in der Betonoberfläche verantwortlich. Ein höherer Wassergehalt führt bei gleicher Zementmenge zu einer helleren Betonoberfläche als ein niedriger Wassergehalt. Dieses Problem ist wegen Schwankungen von Feuchte im zur Betonherstellung verwendeten Sand nur bedingt greifbar. Auch wenn moderne Betonwerke über entsprechende Messtechnik verfügen, um einerseits Feuchtegehalte in Sanden zu bestimmen oder andererseits den Wasserbedarf im Betonmischer zu ermitteln, besteht diese Problematik weiter, denn bereits geringe Unterschiede im Wasser/Zementwert bewirken erkennbare Helligkeitsunterschiede an der Betonsteinoberfläche, besonders bei der Verarbeitung von erdfeuchtem Beton.

Farbveränderung in Abhängigkeit von der Zuschlagsfarbe
Grobe Gesteinskörnung wird nur bei oberflächenbehandelten Betonoberflächen sichtbar: bei den 3 linken Steinen wurde Rheinkies in unterschiedlichen Anteilen eingesetzt, rechts Basalt. In der oberen Reihe sind die Steine unbehandelt, in der unteren Reihe sind sie gewaschen.

Aber auch alle anderen Schwankungen in der Rezeptur wirken sich auf die Betonfarbe aus. Etwa das Verhältnis von Sand zu Zement oder auch die Menge an zugegebenem Zusatzmittel, welches die Konsistenz, also die Zähigkeit des Betons, beeinflusst, sind hier zu nennen. Diese Faktoren sind deshalb, verglichen mit der Schwankung im Wasserhaushalt, weniger wichtig, weil sie vom Betonhersteller im Rahmen der Verwiegenauigkeit der im Einsatz befindlichen Dosiereinrichtungen einfacher beherrscht werden können und daher, sofern ungewollte Schwankungen betroffen sind, nur selten auftreten. Zu erwähnen ist jedoch, dass gewollte Rezepturveränderungen etwa aus wirtschaftlichen Gründen, bisweilen zu ungewollten Farbtonveränderungen führen. Als Stichworte sind hier vor allem die Zement- oder Pigmenteinsparung zu nennen.

› Herstellung

Einflussfaktoren aus dem Bereich der Herstellung sind insbesondere der Betonmischvorgang und Abbindebedingungen wie Temperatur, Feuchte, oder das Material der Schalung oder Form.

Mischvorgang

Beim Herstellen von pigmentiertem Beton muss eine bestimmte Mischreihenfolge eingehalten werden. Zuerst ist das Pigmentpulver mit der Gesteinskörnung zu mischen. Eine halbe Minute reicht im Allgemeinen aus, um eine homogene Mischung, bestehend aus Gesteinskörnung und Pigment, zu erhalten, in der das Pigment optimal aufgeschlossen vorliegt. Dieses Aufschließen des Pigments ist notwendig, um die vollständige Farbkraft des Pigments zu erzielen. Durch die Scherkräfte, die durch das Mischen mit Gesteinskörnung entstehen, werden Pigmentagglomerate gespalten. Es ist zu bemerken, dass ein Aufschließen der Pigmentteilchen beim Einsatz von Flüssigfarbe nicht notwendig ist. Flüssigfarbe liegt bereits vollständig aufgeschlossen vor und muss lediglich mit der Gesteinskörnung homogenisiert werden. Erst wenn die homogene Gesteinskörnung-Pigment-Mischung erreicht ist, darf der Zement zur Mischung hinzukommen. Anschließend ist wie bei der Herstellung von grauem Beton weiter zu verfahren. Kommt der Zement zu früh in die Mischung, unterbindet er wegen seiner weichen Konsistenz die Entstehung der Scherkräfte, die zum Aufschließen des Pigments notwendig sind. Das Pigment bleibt dann als Aggregat oder als grobteiligere Klümpchen erhalten und kann seine volle Farbkraft nicht entfalten. Zudem führen die Pigmentklümpchen dazu, dass sich die Betonoberfläche stellenweise sehr intensiv eingefärbt darstellt, durch Flecken, Schlieren oder richtige Pigmentnester, die später zu Löchern in der Oberfläche führen, da sie sich, mangels Einbindung in den Zementstein, aus der Betonoberfläche herauslösen können. Die richtige Mischreihenfolge sowie ausreichend lange Mischzeiten sind daher notwendig, um homogen eingefärbte Betonoberflächen zu erhalten. Die bereits erwähnte Flüssigfarbe erlaubt eine andere Mischabfolge: Da ein Aufschließen der Pigmentteilchen hier nicht notwendig ist, reicht eine Homogenisierung dieser Flüssigfarbe im Beton aus. Diese Ho-

mogenisierung kann auch dann erfolgen, wenn der Beton bereits fertig gemischt ist. Die nachträgliche Flüssigfarbzugabe, unter Berücksichtigung des zusätzlich eingetragenen Wassers aus der Flüssigfarbe, ermöglicht die Herstellung von Farbbeton im Fahrmischer. Ein entscheidender Vorteil für Transportbetonwerke, da die Mischanlage im Betonwerk nicht von Farbpigment gereinigt werden muss.

Umweltbedingungen

Nicht beeinflussbar durch den Betonhersteller, insbesondere bei der Betonherstellung außerhalb des Betonwerkes im Freien (Ortbeton), sind die Umwelteinflüsse wie Feuchte und Temperatur. Zu große Hitze in Verbindung mit trockener Luft führen an der Betonoberfläche zu einer Verringerung des Wassergehaltes im frischen Beton. Dadurch wird die Betonoberfläche dunkler und zeigt meist zusätzlich andere Mängel infolge des Hydratationsprozesses unter Wassermangel. Meist ist eine geringere Festigkeit des Betons und/oder eine stärkere Neigung zum Abrieb die Folge. Ansonsten führt eine höhere Temperatur (ohne dass dadurch der Wassergehalt im Beton beeinflusst wird) stets zu einer helleren Betonoberfläche als eine vergleichsweise niedrigere Temperatur. Grund hierfür ist die Tatsache, dass eine höhere Temperatur die Hydratation beschleunigt. Das Auftreten von mehr Nadeln an der Oberfläche führt zu einer stärkeren diffusen Lichtstreuung, welche immer eine Aufhellung der Oberfläche bewirkt.

Form/Schalung

Bei den folgenden Betrachtungen geht es sich in erster Linie um fließfähigen Beton: tatsächlich verleiht die zur Herstellung des Betons benötigte Form oder Schalung dem Beton nicht nur seine Form und Gestalt sondern sie beeinflusst auch die Oberflächenfarbe. Es ist bekannt, dass eine saugende Schalung die Betonoberfläche etwas dunkler erscheinen lässt als nicht-saugende Schalung. Durch die Fähigkeit zur Wasseraufnahme wird dem Beton an der Oberfläche etwas Wasser entzogen, was praktisch zu einem etwas geringeren W/Z-Wert führt. Dieser bewirkt, wie schon zuvor beschrieben, eine trocknere und deshalb dunklere Oberfläche. Durch das Saugen der Schalung werden Feuchteschwankungen im Beton etwas nivelliert. Diesem Phänomen wird im in Deutschland im Merkblatt Sichtbeton Rechnung getragen. Das Merkblatt Sichtbeton vom Deutschen Beton- und Bautechnikverein e.V und vom Bundesverband der Deutschen Zementindustrie unterscheidet bezüglich der Anforderungen an Farbgleichheit zwischen der Verwendung saugender und nicht saugender Schalung. Wird nicht saugende Schalung eingesetzt, sind die Qualitätsanforderungen an die Farbgleichmäßigkeit geringer als beim Einsatz saugender Schalung. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist folgender: werden Schalungsmaterialien/Schalungstafeln öfter eingesetzt, dann muss man berücksichtigen, dass sich ihre Eigenschaften, insbesondere bei saugender Schalung, verändern. Logischerweise lässt die Saugfähigkeit von Mal zu Mal nach, was zu stets geringerer Beeinflussung des Wassergehalts an der Betonoberfläche führt.

Die Beschichtungen mancher Schaltafeln oder manche Schalungen selbst sind auf Dauer nicht zementecht, reagieren also aufgrund der Alkalität des Zementes und bilden Abbauprodukte, welche die Betonoberfläche farblich verändern können.

Will man verhindern, dass aufgrund von Veränderungen an der Schalungsoberfläche Farbton- oder Helligkeitsunterschiede an Betonoberflächen entstehen, sollte für ein Bauwerk jedes Mal neues Schalungsmaterial verwendet werden. Um dem Beton nach dem Ausschalen die Möglichkeit zu geben, unter günstigen Bedingungen weiter zu hydratisieren und um ihn an der Baustelle vor Verschmutzungen zu schützen, ist es empfehlenswert, die Oberfläche mit einer Folie abzuhängen.

› Farbveränderung der Betonoberfläche im Laufe der Zeit

Jede Betonoberfläche ist im Laufe der Jahre unterschiedlich starken Beanspruchungen ausgesetzt, die zu Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit und damit auch zu Veränderungen der Farbe führen können. Ursachen für diese Farbänderungen können Verschmutzungen sein, Abwitterung oder Abrieb von Zementleim, wodurch vermehrt die Eigenfarbe der Gesteinskörnung, insbesondere der groben Körnung, zum Vorschein kommt und den Gesamteindruck der Betonoberfläche drastisch ändern kann.

Dabei gibt es weitere Phänomene, die es zu erklären gilt: Warum ist die Farbe von eingefärbtem Frischbeton immer viel intensiver als die Farbe des erhärteten Betons wenige Tage später? Ursache hierfür ist, dass das mathematische Verhältnis der Pigmentoberfläche zur Zementoberfläche im noch feuchten Zustand größer ist als im ausgehärteten Zustand. Durch die Ausbildung der Zementnadeln wird die Zementsteinoberfläche größer, während die Pigmentoberfläche so bleibt, wie sie zuvor war. Das Pigment verändert sich beim Erhärtungsprozess des Betons nämlich nicht. Diese Vergrößerung der Zementsteinoberfläche bewirkt somit bei gleich bleibender Pigmentoberfläche eine relative Abschwächung des Farbeindrucks. Gleichzeitig entsteht durch die Ausbildung der Zementnadeln eine diffuse Lichtstreuung an der Betonoberfläche, was zu einer Aufhellung führt. Diese diffuse Lichtstreuung wurde bereits weiter oben beschrieben. Das Nadelwachstum hört nun aber nicht nach einigen Tagen auf. Es ist nachgewiesen, dass das Nadelwachstum an unbeschichteten Betonoberflächen noch Jahre andauert, allerdings in immer geringerem Maße. Diese so genannte Feinverästelung des Betonsteines führt weiterhin zu einer fortschreitenden Aufhellung der Betonoberfläche, die vom Laien zumeist durch ein Verblasen des eingearbeiteten Pigments erklärt wird. Dem ist nicht so. Das Pigment verliert auch nach Jahrzehnten seine färbende Eigenschaft nicht. Die Feinverästelung des Betonsteines ist für die Aufhellung der Betonoberfläche verantwortlich.

KALK AUSBLÜHUNGEN

Hierbei handelt es sich um meist hauchdünne schleierartige weiße oder auch bräunliche Beläge auf der Be-

tonoberfläche, die dadurch zustande kommen, dass im Beton befindliches freies Calciumhydroxid, das beim Abbinden des Zementes entsteht, durch Feuchtigkeit an die Betonoberfläche wandert und dort mit Kohlendioxid aus der Luft zu dem weißen Kalkschleier reagiert. Dieser weiße Kalkschleier bedeckt die Betonoberfläche und „verschleiert“ dann die darunter befindliche eigentliche Betonfarbe. Das Auftreten von Kalkausblühungen ist immanent mit der Anwesenheit von Zement im Beton verbunden. Generell hängt ihr Auftreten mit der Porosität des Betons zusammen, die wiederum durch den Hydratationsgrad und somit durch die Betonrezeptur, die Temperatur und insbesondere durch den Wasserhaushalt beeinflusst werden. Man erkennt leicht, dass dieses Problem für den Betonhersteller nur schwierig zu greifen ist, denn nicht alle relevanten Parameter sind durch ihn beeinflussbar. Es sei bemerkt dass neben den weißen Kalkausblühungen auch braune Eisenausblühungen bekannt sind. Die zuverlässige Vermeidung von Ausblühungen stellt seit vielen Jahrzehnten eine Herausforderung für Beton-technologen und Betonzusatzmittelhersteller dar.

Viele Faktoren beeinflussen die Farbgebung von Beton. Nicht alle sind vom Betonhersteller oder -verarbeiter beeinflussbar. Die Betrachtung erfolgte jeweils so, dass möglichst geringe Farbschwankungen der Betonoberfläche das angestrebte Ziel darstellen. Wie in der Einführung beschrieben, sind die Anforderungen des Endverbrauchers hierfür verantwortlich. Eine absolute Farbgleichheit bei nacheinander hergestellten Betonprodukten kann jedoch nicht zielsicher erreicht werden. Glücklicherweise existiert neben dem allgemeinen Verbrauchertrend, absolute Farbgleichheit zu fordern, ein gegenläufiger Trend. Immer mehr Bauherren und Architekten nutzen die dem Beton eigenen Schwankungen, um das Betonbauwerk natürlich und lebendig wirken zu lassen. Dies ist kein Freibrief für Betonhersteller und -verarbeiter, denn nur das Einhalten gültiger Regeln und Herstellung und Verarbeitung gemäß dem Stand der Technik sind Voraussetzung für optimale Betonqualität. Es ist ein Unterschied, ob man die Gestaltung der Betonoberfläche dem Zufall überlässt oder ob man die dem Material eigenen Eigenschaften auch bezüglich farblicher Schwankungen gezielt nutzt. Welchem Trend man auch folgen mag, die farbliche Beschaffenheit der Betonoberfläche nimmt einen immer wichtigeren Stellenwert innerhalb der Eigenschaftsskala des Baustoffs Beton ein.

Harold Scholz & Co. GmbH
 Ickerottweg 30
 45665 Recklinghausen
 T +49 2361 98880
 F +49 2361 9888833
 info@harold-scholz.de
 www.harold-scholz.de