



AALBORG WHITE®



# BETON OBERFLÄCHEN

– DEKORATIVE LÖSUNGEN MIT AALBORG WHITE®

# BETONOBERFLÄCHEN – DIE NATÜRLICHE LÖSUNG

## INHALT

**Oberflächenstruktur** 3  
Unbehandelte Oberflächen  
Behandelte Oberflächen  
Leicht behandelte Oberflächen

**Farbiger Beton** 6

**Schalungstechniken** 8  
Schalöle  
Schalungsmaterialien

**Betonherstellung** 10  
Fassadenelemente aus Beton  
Beispiele

**Rütteln von Beton** 12

**Behandlung von Beton** 14  
Schalung  
Kunststoff  
Abdichtmittel  
Theorie

**Fleckenbildung...** 16  
Ausblühung

**- und Verfärbung** 17  
Verfärbung von Betonfassaden

**Porenbildung** 18

**Umwelteinflüsse** 19  
Verschmutzung  
Säuberung von Fassaden

*Das Thema Betonoberflächen deckt einen großen Bereich ab – von porenfreien Oberflächen auf Trennwandelementen bis hin zu farbigen und behandelten Fassaden. Deshalb hängen die Anforderungen an Oberflächen in verschiedenen Farben und mit verschiedenen Profilen zu einem großen Teil von der Anwendung ab.*

*„Betonoberflächen“ zeigt eine Anzahl von Möglichkeiten der Oberflächengestaltung auf, die mit weißem und farbigem Beton möglich sind. Es werden Bearbeitungsmethoden für frischen und ausgehärteten Beton untersucht. Es werden Beispiele für die Auswahl von Betonrezepten und Herstellungsmethoden sowie für Schalungstechniken, Verdichtungsmethoden und Oberflächenbearbeitung gegeben. Außerdem werden Schönheitsfehler und Verfärbungen, Porenbildung und abschließend die Umwelteinflüsse behandelt, denen die fertige Betonkonstruktion ausgesetzt ist.*

*„Betonoberflächen“ richtet sich in erster Linie an Architekten, die Betonelementbranche und Bauunternehmer.*

Die geschichtliche Entwicklung zeigt, dass seit dem Ende des 19. Jahrhunderts die Verwendung von Beton angestiegen ist, weil er in erster Linie ein billiger und flexibler Werkstoff ist, mit dem Konstruktionsprobleme beim Bau von großen Gebäuden gelöst werden konnten. Dieser neue Werkstoff ermöglichte auf wirtschaftlichere Weise den Bau von Konstruktionen wie z.B. großen Fundamenten, soliden Befestigungen oder Türmen.

Beton wurde ursprünglich vor allem als Werkstoff zum Tragen von Lasten angesehen. Die Anforderungen an Festigkeit, Haltbarkeit und nicht zuletzt Aussehen waren recht bescheiden. Wenn Aussehen oder Haltbarkeit von Bedeutung waren, wurde der Beton mit Naturstein verkleidet, verputzt oder auf andere Weise behandelt. Mit der Einführung von Stahlbeton (und nicht zu letzt Spannbeton), der Kenntnis darüber, welche Bedeutung das „W/Z-Verhältnis“ hat, und mit der Verwendung von Luftporenbeton erreichte der Fortschritt einen Punkt, an dem Ingenieure und Architekten es wagten, Beton hinsichtlich Aussehen und Festigkeit als einen vollwertigen Werkstoff anzusehen.

Das Interesse an dem Material wurde gestärkt durch die Industrialisierung der

mit vor Ort gegossenem Beton begründet liegt. Solche Gebäude werden heute mit einer Anzahl von vorgefertigten Elementen einschließlich Fassaden errichtet. So ist es möglich geworden, Gebäude zu errichten, die aus eleganten Formen und unterschiedlichen Oberflächenstrukturen und Farben bestehen.

Wenn grauer Zement verwendet wird, ist die „natürliche“ Farbe des Betons üblicherweise ein leicht kühles Grau. Bei genauerer Betrachtung kann man jedoch unterschiedliche Schattierungen durch örtliche Abweichungen des allgemeinen Grautons erkennen.

Wenn man nach dem Grund von Farbunterschieden sucht, erkennt man, dass die Farbe des Betons vom Zementtyp und zu einem großen Teil auch von der Farbe des verwendeten Mehlkorn (Partikel von weniger als 0,25 mm) abhängt.

Der Wechsel von Zementtyp und Zementdosierung bringen das Risiko von Farbveränderungen mit sich. Ein großer Schritt zum Erreichen von gleichmäßigen Farbtönen ist es, einen Teil des grauen Zements durch AALBORG WHITE® zu ersetzen. Was das Mehlkorn angeht, kann natürlicher Sand ebenfalls variieren. Das Mehlkorn trägt zur Farbe des Betons bei,



Betonherstellung. Neue Baumethoden ermöglichten es, Beton hinter Putz oder anderen Materialien zu verbergen.

Erst nachdem Betonhersteller und Bauunternehmer einige Probleme beseitigt hatten, erlebte vor Ort gegossener Beton, der nach Entfernen der Schalung unbehandelt bleibt, seinen Durchbruch – eine Form der Architektur, die stark in den gigantischen Strukturen von Gebäuden

sodass auch geringe Veränderungen des Mehlkorns recht große Farbunterschiede hervorrufen können. Zum Beispiel ergibt die Verwendung von Mehlkorn aus weißem Marmor, Feldspat usw. deutlich bessere Farbgleichheit und erleichtert es, die Farbe des Betons einzustellen.

## OBERFLÄCHENSTRUKTUR



Da Beton ein flexibler, formbarer Werkstoff ist, kann man ihm fast jede beliebige Oberflächenstruktur geben. Die Oberflächenstruktur kann in der frischen Phase durch Profilgebung oder ähnliche Methoden oder aber in der Aushärtungsphase durch mechanische Bearbeitung oder Abtragen des groben Zuschlagstoffs hergestellt werden. Eine Untersuchung der gegenwärtigen Architektur zeigt deutlich, dass viele der elegantesten Beispiele Gebäude sind, bei denen die Oberflächenstruktur des Betons eine große Rolle beim Design gespielt hat.

### UNBEHANDELTE OBERFLÄCHEN

Es ist charakteristisch für unbehandelte Betonoberflächen, dass die äußere Zementhaut nicht entfernt ist und den sichtbaren Abdruck der Schalungsoberfläche unterstützt.

Der einfachste Weg, einer solchen Oberfläche ein Profil zu geben, ist die Verwendung von ungehobelten Brettern. Es ist empfehlenswert, die Schalbretter sorgfältig auszuwählen, um sicherzugehen, dass sie alle unter denselben Bedingungen gelagert wurden und, was am wichtigsten ist, dass alle einen neutralen Zuckergehalt aufweisen. Die Bretter sollten nur wenige Male wieder verwendet werden, um sicherzustellen, dass die ungehobelte Oberflächenstruktur erhalten bleibt.



Ein besonderes Phänomen beim Betonieren von unbehandelten Oberflächen ist die Bildung von Poren. Diese entstehen dadurch, dass sich beim Rütteln Luft an der Oberfläche festsetzt. Die Anzahl und Größe der Poren steht in enger Verbindung mit der Zusammensetzung des Betons. Besonders Wassergehalt, Schalungsoberflächen, Schalöl und Rüttelmethode haben Einfluss darauf. Das beste Ergebnis lässt sich durch die Verwendung von leicht zu verarbeitendem Beton erzielen, z. B. durch Luftporenbildner und verschiedene Fließmittel, die den Wassergehalt auf einem angemessen niedrigen Wert halten. Zusätzlich ist es wichtig, gutes Schalöl oder Wachs zu verwenden.



Die Erfahrung zeigt, dass eine saugfähige und nicht allzu dicht versiegelte Schalung die kleinste Anzahl von Luftporen erzeugt. Schmale, ungehobelte Bretter geben das ideale Schalungsmaterial ab, wenn ein Minimum an Poren an der Oberfläche erreicht werden soll.

Ein besonderer Effekt kann außerdem erzielt werden, indem man sandgestrahlte oder flammgestrahlte Schalung aus Holz verwendet. Diese Prozesse bringen die Maserung des Holzes in Form von sanften Kurven auf der Oberfläche des Betons zum Vorschein. Falls die charakteristische grobe Oberfläche von Holzschalung auf allen Fassaden gewünscht wird, kann es von Vorteil sein, die Schalung aus künstlichem Gummi, das auf ein Holzbett gegossen ist, nachzubilden. Eine gröbere Oberflächenstruktur kann auch erreicht werden, indem man Matrizen aus verschiedenen Materialien wie Gummi, PVC oder Polystyrol in die Schalung legt.



# OBERFLÄCHENSTRUKTUREN – ERFÜLLEN DEN BETON MIT LEBEN

## BEHANDELTE OBERFLÄCHEN

Das Entfernen der äußeren Zementhaut von Betonoberflächen ermöglicht eine bessere Lösung der vielen ästhetischen Probleme, die bei unbehandelten Oberflächen auftreten. Es ermöglicht außerdem das Variieren von Farbe und Struktur der Betonoberflächen.

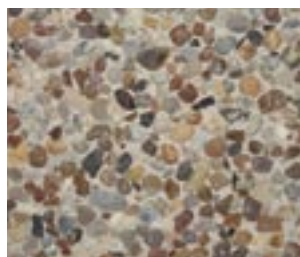
**Abtragen durch Verzögerung.** Das Waschen von nicht abgebindenem Beton legt den groben Zuschlagstoff an der Oberfläche frei. Dieser Prozess wird bei Elementen angewandt, die mit der sichtbaren Seite nach oben gegossen werden. Wenn an der Schalungsseite ein Verzögerer verwendet wird, was die üblichste Methode ist, betoniert man den Fassadenteil gegen die Schalung. So wird das Abbinden der Oberfläche verzögert, bis die Schalung entfernt wird. Anschließend ist es möglich, den Beton zu waschen, um die obere Schicht abzutragen. In beiden Fällen beinhaltet der Prozess das Bürsten und Spülen mit Wasser.

Abtragen wird üblicherweise nur bei Betonelementen angewandt. Prinzipiell ähnelt eine abgetragene Betonoberfläche einer sandgestrahlten, jedoch geht das Abtragen tiefer, und der Zuschlagstoff behält seine natürliche Brillanz. Für die Zusammensetzung des abzutragenden Betons gelten größtenteils die gleichen Regeln wie für Beton, der sandgestrahlt werden soll.

Der typische Gehalt an Zuschlagstoff im Beton beträgt 70%, häufig mit recht großer Staffellung der Korngröße. Abhängig von der Kornform (kubisch/flach) ergibt sich sowohl bei vertikal als auch bei horizontal betonierten Oberflächen ein Unterschied in der Schichtung des Zuschlagstoffs.



Abgetragene Oberfläche mit Hardeberga-Granit



Abgetragene Oberfläche mit Kies aus feinen Kieseln 16/32



Abgetragene und geätzte Oberfläche mit Lahn-Quarz 5/8 (deutscher Zuschlagstoff)



Polierte, geätzte und abgetragene Oberfläche mit Glen Sanda 4/8 (schottischer Zuschlagstoff)

Man muss bedenken, dass wie bei den meisten chemischen Prozessen die Verzögerung sehr temperaturabhängig ist. Außerdem sollte ein Verzögerer nicht bei niedrigen Temperaturen auf die Schalung aufgetragen werden. Es ist auch wichtig, den Verzögerer zu testen, um sicherzugehen, dass er für die Bedingungen geeignet ist, unter denen er beim tatsächlichen Betonieren eingesetzt wird.

Der Verzögerer sollte auch mit dem zu verwendenden Schalungsmaterial getestet werden. Die Absorptionseigenschaften dieser Materialien können sich bedeutend auf die Verzögerungstiefe auswirken. Wenn man Holzschalung zum ersten Mal verwendet, kann es nötig sein, den Verzögerer zweimal aufzutragen.

Beim abschließenden Bürsten und Spülen muss beachtet werden, dass die Eindringtiefe auch in gewissem Maße davon abhängt, wie viel Kraft angewendet wird.

Die Behandlung muss in einem Durchgang ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Falls der Zementleim den Glanz und die Farbe des Zuschlagstoffs getrübt hat, kann einige Tage nach dem Abtragen abschließend ein leichtes Ätzen durchgeführt werden.

**Abtragen durch leichtes Ätzen.** Durch leichtes Ätzen von glatten oder mit Profil versehenen Oberflächen am Tag nach dem Betonieren wird die Zementhaut entfernt. Es ist wichtig, die Oberfläche vor dem Ätzen gründlich mit Wasser anzufeuchten, um zu verhindern, dass sie Salzsäure absorbiert. Das Ätzen wird üblicherweise mit einer Säurelösung von 1:10 (handelsübliche Salzsäure mit 30% Konzentration) durchgeführt. Nach dem Ätzen muss die Oberfläche gründlich mit Wasser abgespült werden. Diese Art der Behandlung bringt normalerweise nur die Sandkörner zum Vorschein.

**Schleifen** ist eine Methode der Oberflächenbearbeitung, die üblicherweise bei Terrazzoböden in Badezimmern, auf Treppen oder bei Terrazzofliesen durchgeführt wird. Diese Methode wurde auch für den Einsatz an Fassadenelementen übernommen. Wenn eine Terrazzooberfläche gewünscht wird, ist es am besten, die mechanische Bearbeitung in einem Werk durchführen zu lassen, in dem horizontales Schleifen angeboten wird. Es gibt jedoch eine andere Methode, bei der nur die obere Schicht der Zementhaut weggeschliffen wird. Sie ergibt das gleiche Ergebnis wie das Ätzen. Das Schleifen sollte üblicherweise

nach 3-4 Tagen Aushärtungszeit durchgeführt werden, da ansonsten das Risiko besteht, den Zuschlagstoff aus dem Beton zu reißen. Bei der Planung dieser Arbeit ist zu beachten, dass beim Schleifen ein Abfluss für die großen Wassermengen, die im Prozess anfallen, vorhanden ist. Außerdem ist es wichtig, Zuschlagstoff zu verwenden, der zum Schleifen geeignet ist (Marmor, Granit usw.).

**Sandstrahlen** trägt die Betonoberfläche ab und wird speziell bei der Behandlung von vor Ort gegossenem Beton angewandt. Das Ziel ist es, die Zementhaut auf der Oberfläche abzutragen, damit der Zuschlagstoff und grobe Sandkörner in einer relativ gleichmäßigen Struktur erhalten bleiben. Durch Sandstrahlen wird die natürliche Farbe der Oberfläche leicht grünlich oder matt.

## – GEB DEM BETON LEBEN

Wie das Schleifen setzt Sandstrahlen eine angemessenen gleichmäßige Festigkeit der Betonoberfläche voraus, da ansonsten Sandkörner und Zuschlagstoff herausgerissen werden. Wenn Sandstrahlen zu spät angewandt wird, erhält man entweder ein unbefriedigendes Ergebnis, oder die Kosten werden aufgrund der Zeit, die benötigt wird, um gründlich ausgehärteten Beton zu bearbeiten, zu hoch. Trockenes Sandstrahlen entwickelt große Mengen an Staub, und das ausführende Personal muss Masken oder Spezialausrüstung tragen.

Wenn durch Sandstrahlen eine relativ grobe Struktur erzielt werden soll, ist es von Vorteil, nach GAB sortierte Körnung zu verwenden, die auf groben Zuschlagstoff-Fractionen von 8-20 mm basiert. Wenn Ortbeton bearbeitet wird, darf der Innenrüttler nicht zu nah an die sichtbare Oberfläche kommen, da sonst die Bewegung des Betons um den Innenrüttler herum leicht zu Bereichen mit geringerer Menge an Zuschlagstoff führen kann.

Wie bereits erwähnt, muss Sandstrahlen zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, wenn die Festigkeit des Betons noch nicht allzu hoch ist. Deshalb sollte die Schalung relativ früh entfernt werden. Es sind also sorgfältige Planung und Überwachung der Aushärtungsbedingungen notwendig.

**Hämmern und Stemmarbeiten.** Dies ist eine relativ teure Bearbeitungsmethode.

Beim Hämmern ist es am üblichsten, einen pneumatischen Stockhammer zu verwenden. Die Eindringtiefe bei dieser Methode ist relativ gering, weshalb z.B. durch das Betonieren entstandene Schönheitsfehler durch die Oberflächenbearbeitung nicht vollständig entfernt werden können. Um diese Art der



*Polierte und geätzte Oberfläche mit Lysit*



*Weißer Beton mit abgetragenem, gebranntem Feuerstein*



*Abgetragene, polierte und geätzte Oberfläche mit Blauschwarz 7115 (deutscher Zuschlagstoff)*



*Geätzte Oberfläche mit Bayergrün 10/20 (deutscher Zuschlagstoff)*

Bearbeitung zu erleichtern, sollte die Schalung so wenige Stoßstellen wie möglich haben. Hier eignet sich Sperrholz.

Ein stärkerer Effekt kann mit einem Stemmeißel erzielt werden. Die Oberflächen werden gröber und erscheinen gleichmäßiger; bei Verwendung an Ortbeton entsteht so ein monolithischer Gesamteffekt. Üblicherweise versucht man, ein Aussehen zu erreichen, das dem von gespaltenem Granit ähnelt. Deshalb ist es von Vorteil, bei der Herstellung dieser Art von Beton im Zuschlagstoff auch Granit zu verwenden.

Es muss beachtet werden, dass beim Hämmern und besonders beim Meißeln erhebliche Mengen von Material entfernt werden (beim Meißeln bis zu 2-3 cm). Dazu kommen andere

Überlegungen: abschließende Bearbeitung in Verbindung mit der Lage der Bewehrungsstäbe, Bestimmung der Dicke der Deckschicht. Meißeln ist eine Arbeit für Steinmetze; deshalb sollten ausgebildete Fachleute mit dieser Aufgabe betraut werden. Aufgrund der relativ großen Tiefe des entfernten Materials kann ein ausgebildeter Steinmetz nur ca. 3 m<sup>2</sup> Oberfläche pro Tag bearbeiten.

Ein weiterer Faktor besteht in der Schwierigkeit, scharfe Kanten herzustellen. Deshalb erscheinen Balken und Säulenecken etwas uneben. Diese Art der Bearbeitung wird daher meistens auf Oberflächen angewandt, die mit schalungsglattem Beton eingerahmt werden sollen, so dass alle Ecken und Kanten unbearbeitet bleiben. Hämmern und besonders Meißeln erfordern festen Beton und sollten nicht vor Ablauf einer Aushärtungszeit von ca. 14 Tagen begonnen werden.

Hämmern und Meißeln wird üblicherweise nur bei Ortbeton angewandt.

### LEICHT BEHANDELTE OBERFLÄCHEN

Eine besondere Art der Oberflächenbehandlung ist die Bearbeitung des frischen Betons, z.B. wo das Betonelement mit der Fassade nach oben gefertigt wird. Durch Besenstrich, Abreiben mit Filz, Walzen, Ablaugen mit Holz oder Sackleinen usw. können gute Ergebnisse erzielt werden. Alle diese Arten der Behandlung bedeuten, dass der größte Teil der Oberflächenschlämme erhalten bleibt und die Oberfläche eine besondere Struktur bekommt. Die erzielten Effekte können verbessert werden, indem beim Herstellen des Betons unterschiedliche Korngrößen verwendet werden.

Im Allgemeinen müssen diese Oberflächenbehandlungen wie zufällig aussehen und gleichzeitig eine gleichmäßige Erscheinung haben, d. h. der Prozess erfordert eine fachgerechte Ausführung. Die Behandlung muss sofort nach dem Betonieren begonnen werden, weshalb es notwendig ist, dass keine Wasserabscheidung (Bluten) auftritt. Die Behandlung darf nicht mit dem Waschen von Zement oder dem Auftragen einer Extraschicht Zementleim verwechselt werden. Im Gegenteil: Sie entfernt überflüssiges Wasser und hinterlässt eine relativ gleichmäßige, ausreichend dünne Zementleimschicht.

Eine weitere wichtige Regel ist es, dass die Behandlung bei jedem Durchgang zur selben Zeit innerhalb des Abbindeprozesses des Betons durchgeführt wird. Wenn diese Regel nicht beachtet wird, weichen die Ergebnisse schnell voneinander ab.

# FARBIGER BETON

In den letzten Jahren waren Architekten sehr interessiert an farbigem Beton - sei es für Fassaden, gepflasterte Bereiche oder Dachziegel. Die gewünschten architektonischen Effekte wurden durch Pigmente oder Zuschlagstoffe oder aber Kombinationen dieser Materialien erzielt.

Nicht alle Pigmente sind gleich gut für die Produktion von farbigem Beton geeignet. Hier gelten besondere Anforderungen, wobei die Pigmente kalk- und lichtresistent sowie alkali- und wetterbeständig sein müssen. Früher wurden hauptsächlich natürliche Mineralpigmente mit all ihren Verunreinigungen und Farbunterschieden verwendet. Die heute verwendeten Pigmente sind synthetische, anorganische Substanzen mit gut kontrollierbarer Gleichmäßigkeit von Farbe und Reflexionsvermögen. Eine Reihe von Pigmenten können nicht verwendet werden – Beton ist stark basisch und kann deshalb einige von ihnen zersetzen. Wenn Beton mit einer Pigmentart gemischt wird, die nicht kalk- und lichtbeständig ist, besteht das Risiko, dass die Oberfläche nicht die gewünschte Farbe erhält.

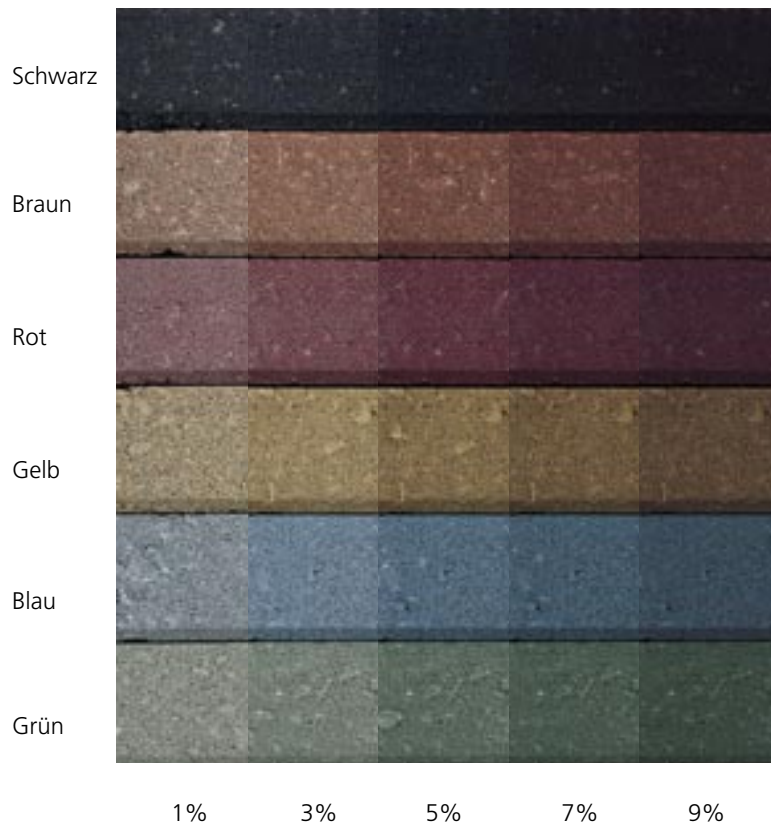
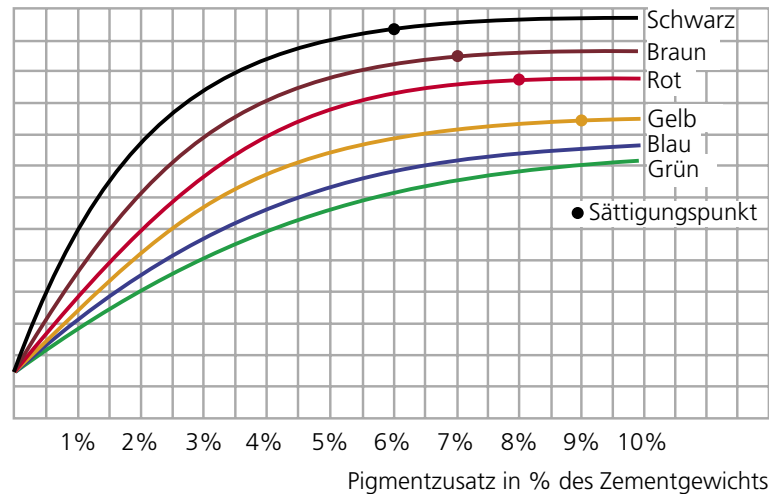
Außerdem dürfen keine Pigmente mit Substanzen verwendet werden, die sich negativ auf die Festigkeit und die Aushärtungseigenschaften des Betons auswirken.

Beim Färbungsprozess werden üblicherweise Pigmente verwendet, die den Beton vollständig durchfärben. Saubere, reine Farbtöne können häufig durch die Verwendung von AALBORG WHITE® als Basis und eventuell einem farbigen Zuschlagstoff erreicht werden. Außerdem ist es wichtig, für einen gleichmäßigen Füllstoff zu sorgen. Am besten ist es, dafür zu sorgen, dass die Bestandteile bei der Herstellung von farbigem Beton eine Farbe haben, die so nah wie möglich an der gewünschten Farbe liegt. Schwierigkeiten kann es geben, wenn der Zuschlagstoff stark in der Farbe variiert, besonders, wenn die Konstruktion normalem Verschleiß ausgesetzt wird. Zu Anfang bedeckt die äußere Schicht des farbigen Zementleims alle Partikel des Zuschlagstoffs, jedoch verwittert sie mit der Zeit – und so kann die Farbe des Zuschlagstoffs durchkommen. Dieser Umstand ist besonders bei Pflasterarbeiten zu beachten.

Es ist selten möglich, Zuschlagstoff in exakt der gewünschten Farbe zu erhalten. Das ist auch nicht unbedingt erforderlich, jedoch darf es keine scharfen Kontraste geben, wobei die Stärke des reflektierten Lichts der wichtigste Faktor ist. Hier kann beim Ausschuchen von geeigneten Materialien die „Grauwertskala“ hilfreich sein, da mit ihr ein Vergleich möglich ist, wie viel Licht die einzelnen Farben tatsächlich reflektieren.

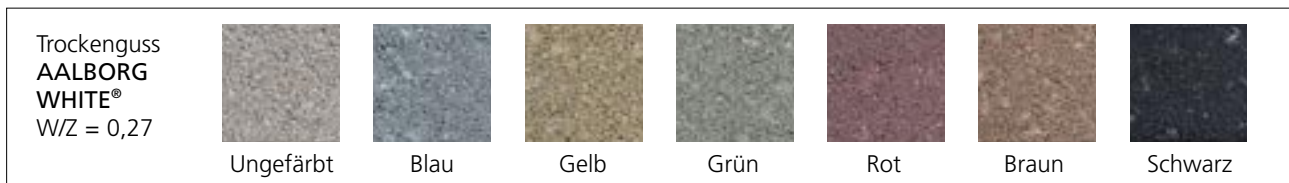
Aus finanziellen Gründen ist die Verwendung von farbigem Beton (besonders bei Sandwichfassaden) auf die Sichtfläche begrenzt. Dies ist beim Fliesen und

Farbintensität



Farbintensität abhängig von der Dosierung mit zugehöriger Farbschattierungsskala.

Pflastern normalerweise nicht der Fall. Beim Pflastern sind die Herstellungsbedingungen die gleichen wie für homogen gefärbten Beton. Mit modernen Steinformmaschinen ist es jedoch möglich, Pflastersteine mit farbiger Sichtfläche auf gewöhnlicher grauer Unterlage herzustellen.



Abhängigkeit der Farbschattierungsskala für W/Z-Verhältnis mit AALBORG WHITE®.

Am häufigsten werden schwarze, rote, gelbe und braune Pigmente verwendet, die auf synthetischen Eisenoxiden basieren. Es können Wasser abweisende Stoffe zu farbigem Beton für Fassaden hinzugefügt werden. Beispiele dafür sind pulverförmige oder flüssige Zinkstearate. Die Dosierung beträgt ca. 0,3-0,4% des Zementgewichts. Ein Vorteil solcher Stoffe besteht darin, dass sie die Tendenz zur Ausblüfung verringern. Die Stearate sorgen außerdem für bessere Verarbeitbarkeit und geringere Wasserabsorption. Außerdem wird das Risiko von Algenwuchs vermieden, da Algensporen empfindlich gegenüber Zinkverbindungen sind.

Die Verwendung von gelben Eisenoxiden bedeutet größeren Wasserbedarf, da die Farbpartikel nadelförmig sind. Das Wasser wird nicht durch die Oxide gebunden, weshalb der erhöhte Wasserbedarf auch einen höheren Zementgehalt voraussetzt, um das benötigte W/Z-Verhältnis einzuhalten.

Abbildung 1 zeigt die Dosierung der Pigmente, die für eine gewünschte Farbschattierung nötig ist. Abbildung 2 ist ein Überblick über mögliche Pigmentkombinationen in Verbindung mit weißem Zement.

Der Grad der Pigmentierung hängt von der benötigten Farbschattierung ab.

Man kann die folgenden praktischen Richtlinien anwenden:

- Für leichte Färbung, beispielsweise Pastellfarbe mit AALBORG WHITE® als Basis: 1-2 kg Pigmente auf 100 kg Zement.
- Für mittlere Färbung: 3-5 kg Pigmente auf 100 kg Zement.
- Für starke Färbung beträgt die Dosierung 6-8 kg Pigmente auf 100 kg Zement.

Bei der Verwendung von schwarzen oder braunen Pigmenten ist die Dosierung die gleiche wie für leichte Färbung; bei gelben und besonders bei blauen Pigmenten gelten die Zahlen für starke Färbung, bei rot pigmentiertem Beton die Zahlen für mittlere Färbung. Bei 8-10 kg Pigmenten auf 100 kg Zement kann kein zusätzlicher Farbeffekt erwartet werden.

Im Allgemeinen liegen die Toleranzen für die Dosierung der Bestandteile für farbigem Beton bei  $\pm 5\%$ . Bei den Dosierungsverhältnissen können abhängig davon, ob pulverförmige oder flüssige Pigmente zugegeben werden, Unterschiede auftreten.

Die Dosierungsreihenfolge der Bestandteile einschließlich Pigmente hat großen Einfluss auf die Gleichmäßigkeit der fertigen, farbigen Betonoberfläche. Auf diese Weise können Schlieren oder „Kometenschweife“, wie sie manchmal genannt werden, sowie das Verklumpen des Zementleims und der Pigmente verhindert werden. Die Kombinationen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Mischsequenz				Zement	Pigmente
1	2	3	4	$\Sigma$	$\Sigma$
Sand + Pigmente	+ Zement	+ Wasser	+ Wasser	0	12
Sand + Schlamm	+ Zement	+ Wasser	+ Wasser	10	0
Sand + Zement	+ Pigmente	+ Wasser	+ Wasser	3	36
Sand + Zement	+ Schlamm	+ Wasser	+ Wasser	4	124
Sand + Wasser	+ Pigmente	+ Zement	+ Zement	4	11
Sand + Wasser	+ Schlamm	+ Zement	+ Zement	8	0
Sand + Zement	+ Wasser	+ Pigmente	+ Pigmente	3	8
Sand + Zement	+ Wasser	+ Schlamm	+ Schlamm	21	27
Sand + Wasser	+ Zement	+ Pigmente	+ Pigmente	12	8
Sand + Wasser	+ Zement	+ Schlamm	+ Schlamm	5	145
Sand + Pigmente	+ Wasser	+ Zement	+ Zement	10	0
Sand + Schlamm	+ Wasser	+ Zement	+ Zement	0	0
Sand/Pigmente/Zement/Wasser*				200	200
Sand/Schlamm/Zement/Wasser*				64	136

\*Alle Bestandteile gleichzeitig zugegeben.  
Mischertyp: Panmixer, Zyklus  
Mischzeit: 1+2 = 15 s, 1+2+3 = 30 s, 1+2+3+4 = 60 s  
Feuchtigkeitsgehalt: 8%

Pigment- und Zementverteilung hängen von der Reihenfolge (Sequenz) ab, in der sie in den Mischer gegeben werden.



# SCHALUNGSTECHNIKEN

## SCHALÖLE

Es ist schwierig, im Voraus das am besten geeignete Schalöl zu bestimmen. Deshalb ist es immer wichtig, das Schalöl in ein oder zwei Betonversuchen auszuprobieren, um auf diese Weise das beste Öl zu ermitteln. Man kann sich große Schwierigkeiten ersparen, indem man das richtige Schalöl für die jeweilige Arbeit auswählt. Verschiedene Arbeiten sind ganz unterschiedlich, und häufig muss unterschiedliche Schalung verwendet werden. Ein Öl, das sich als geeignet für eine Arbeit erwiesen hat, muss sich nicht notwendigerweise auch für andere Arbeiten eignen. Das ausgewählte Schalöl muss mit dem verwendeten Grundgefüge zusammenarbeiten. Einige haben ein Auflösen oder Verfaulen des Grundgefüges zur Folge.

Das Schalöl muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Frostfreie Lagerung vor der Verwendung.
- Leichtes Ausschalen, d. h. gute Ablösefähigkeit.
- Keine Porenbildung oder Verfärbung des Betons.
- Leichte Reinigung der Schalung, d. h. minimale Schlammrückstände auf der Schalungsoberfläche.
- Keine Verzögerung der Betonoberfläche (staubige Oberfläche).
- Rostschutz für Schalung (Stahl), d. h. die Seite, die mit dem Beton in Berührung war, muss beim Ausschalen rostfrei sein.
- Das Schalöl darf nicht für Menschen gefährlich sein und muss deshalb den Arbeitsschutzbestimmungen entsprechen.



Holzschalung

In der Praxis können Schalöle in die folgenden Hauptgruppen eingeteilt werden:

### REINE MINERALÖLE

Dies sind Öle, die keinerlei Additive enthalten, weder zum Erleichtern des Auftragens noch zum Emulgieren des Öls in Wasser. Sofern das Öl eine helle Farbe besitzt, verfärbt es die Betonoberfläche nicht und wirkt sich nur gering auf die Aushärtungsmerkmale des Betons aus. Diese Öle können jedoch die Anzahl der Poren erhöhen, und es kann, obwohl das Öl für die Oberfläche geeignet ist, zu Fleckenbildung kommen.

### REINE MINERALÖLE MIT ADDITIVEN

Additive mit chemischer Wirkung. Hierbei handelt es sich um dem Mineralöl zugeführte Stoffe (Säuren), die mit den alkalischen Bestandteilen des Betons reagieren und normalerweise Kalkseife produzieren. Da dies eine chemische Verbindung ist, entsteht häufig ein sehr starker, tragender Ölfilm, weshalb eine nur sehr kleine Menge Öl nötig ist. Es ist wichtig, die richtige Dosierung zu verwenden: üblicherweise ca. 1/3 der traditionell verwendeten Menge an Schalöl. Wenn zu viel Öl verwendet wird, führt die chemische Reaktion zu einer Enthärtung der Betonoberfläche. Diese Öle können durch weitere Additive, z. B.

Rosthemmer, verbessert werden. Die Öle werden normalerweise durch Frost nicht beeinträchtigt, und wenn die Schalung in einer feuchten Umgebung aufgestellt wird, können die chemischen Effekte dieser Öle durch Wasser abweisende Additive unterstützt werden, d. h. das Öl kann ohne vorheriges Trocknen auf eine nasse Schalung aufgetragen werden. Das Öl weist das Wasser ab, indem es darunter dringt und an der Schalung haftet. Die oben genannten Additive machen aus diesen Schalölen besonders gute Reinigungsmittel.

### ADDITIVE MIT PHYSIKALISCHEN EFFEKTEN

Schalöle mit diesen Additiven, auch bekannt als Emulsionen oder „Öl-in-Wasser-Emulsionen“, können prinzipiell als eine Verbesserung der reinen Mineralöle angesehen werden, da sie für bessere Haftung zwischen Schalungsoberfläche und Ölfilm sorgen, wodurch sich ein stabiler und durchgehender Ölfilm bildet. Diese Öle können normalerweise ohne Verdünnung angewandt werden. Es ist ihre vorrangige Aufgabe, das Wasser, das beim Einbringen des Betons zum Ölfilm herausgedrückt wird, zu emulgieren. Es müssen jedoch Unterschiede zwischen der Verwendung von

plastischem und erdfeuchtem Beton gemacht werden. Wenn das Schalöl beim Betonieren von erdfeuchtem Beton verwendet wird, ist es normalerweise nötig, es vor der Benutzung stärker mit Wasser zu emulgieren. Ein so trockener Beton scheidet nicht wie plastischer Beton Feuchtigkeit an der Oberfläche der Schalung aus.

### SCHALÖLPASTE – WACHS

Wachs ist aufgrund seiner Konsistenz häufig schwierig aufzutragen. Hierzu ist gründliches, zeitaufwendiges Einreiben erforderlich, jedoch wird dann ein sehr dünner und gleichmäßiger Wachsfilm aufgetragen, der in jeder Hinsicht günstig ist. Die Verwendung von Wachs ermöglicht die Herstellung von ganz besonders glatten, größtenteils porenfreien Oberflächen.

### SYNTHETISCHE ÖLE

In der Regel basieren synthetische Öle auf einer Kombination aus synthetischen Esterölen und Wasser. Synthetisches Pflanzenöl ist hier als künstlich hergestelltes Pflanzenöl zu verstehen. Bei der Herstellung wird das Pflanzenöl chemisch behandelt, um die Einschränkungen zu beseitigen, die normalerweise bei Anwendung auf Betonschalung

auftreten würden. Es ist ein stabiles Schalöl, das im Gegensatz zu üblichem Pflanzenöl nicht so leicht ranzig wird und mit dem Beton reagiert.

Synthetische Öle sind viel leichter aufzuspalten als auf Mineralöl basierende Produkte. Sie haben eine geringe Viskosität, sind leicht aufzutragen und geben keinen Geruch ab. Außerdem haben sie leichte Verzögerungseigenschaften. Im Allgemeinen sind diese Öle bis zu 6 Monate haltbar. Deshalb können Sie unter Winterbedingungen und beim Einbau von warmem Beton verwendet werden. Die Öle sollten bei normalen Temperaturen gelagert werden.

Synthetische Öle können wie üblich auf die Schalung aufgetragen werden, d. h. als ein dünner, aufgesprühter Film. Nach dem Auftragen darf die Oberfläche nicht berührt werden. Die Kombination aus Wasser und Öl verbessert die Oberfläche des Betons, sie ist zu einem großen Teil porenfrei. Die Verwendung von Hochleistungs-Fließmitteln im Beton bringt zusätzliche Vorteile. Diese Öle führen nicht zur Verfärbung, wenn beispielsweise weißer oder farbiger Beton verwendet wird.



## AUFTRAGEN VON SCHALÖL

Schalöl muss als dünner Film aufgetragen werden, um jedoch die besten Ablöseigenschaften zu erzielen, müssen der Film ununterbrochen und die Schalung sauber sein. Außerdem muss es mit der richtigen Methode aufgetragen werden, d. h. manuell oder maschinell gesprüht, mit einem weichen Besen eingestrichen, besprengt und durch Reiben verteilt oder durch einem ölgetränkten Lappen aufgetragen.

In den meisten Fällen muss überschüssiges Öl entfernt werden. Die Deckfähigkeit kann stark schwanken, aber 1 Liter Öl sollte normalerweise reichen, um ca. 30-80 m<sup>2</sup> abzudecken.

Das Auftragen ist im Wesentlichen unabhängig vom Schalungsmaterial, aber die Methode des Auftragens hängt von der Art des Öls ab. Reines Öl kann mit allen genannten Methoden aufgetragen werden, während Emulsionen am besten durch Besenstrich oder Einreiben aufgetragen werden; Wachs nur durch Einreiben.

Wenn ein Abtragen geplant ist, wird reines Mineralöl vor dem Verzögerer aufgetragen. Es ist wichtig, dass das Öl nach dem Auftragen abtrocknet. Dicke Ölfilme erschweren häufig das kontrollierte Auftragen des Verzögerers. Wenn sichtbare Fassaden mit glatt gegossenen Fassadenteilen kombiniert werden, verhindert man mit synthetischen Ölen die Porenbildung.



## SCHALUNGSMATERIALIEN

Die zwei häufigsten Fehler von Betonoberflächen, Verfärbungen und Poren, sind zu einem großen Teil auf die Saugfähigkeit des Schalungsmaterials zurückzuführen. Die Zahl der Poren nimmt mit dem Anstieg der Saugfähigkeit der Schalungsoberfläche ab, während der Beton gleichzeitig dunkler wird.

Wenn ein relativ hoher Oberflächendruck die freien Luft- und Wasserporen nach oben drückt, entstehen nur wenige Oberflächenporen.

Eine Schalung aus Holz oder Sperrholz unterscheidet sich stark in der Saugfähigkeit. Bei richtiger Anwendung gleichen Schalöle jedoch dieses Problem aus. Neues Holz kann zweimal mit 24 Stunden Pause zwischen den Anwendungen lackiert werden, oder man kann vor der Verwendung zwei oder dreimal in 48-Stunden-Intervallen Öl auftragen.

Das Ziel dabei ist es, die Poren des Holzes in den saugfähigeren Bereichen zu schließen und so für gleichmäßigere Porosität zu sorgen. Wenn Holz auf diese Weise behandelt wird, muss das Öl reichlich aufgetragen und überschüssiges Öl entfernt werden, damit die Schalung gesättigt ist, bevor sie verwendet wird. Bei der nachfolgenden Verwendung des Materials muss zwischen den Betonvorgängen nur ein dünner Ölfilm aufgetragen werden. Wenn das Holz wetterbedingt stark austrocknet, ist es häufig nötig, zusätzliche Ölschichten aufzutragen, um ein Schrumpfen der Schalung zu verhindern.

*Stahlschalung*

Zusätzlich zu den oben genannten gibt es einige Faktoren, die Einfluss auf die Qualität der Betonoberfläche haben können:

1. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Schalöls:
  - Schmiereigenschaften (Ablösefähigkeit).
  - Emulsionsmerkmale (Rostflecken).
2. Zementtyp:
  - Zement- und Feinstoffgehalt, die im Allgemeinen die Qualität der Betonoberfläche beeinflussen.
3. Konsistenz, Verarbeitbarkeit und Tendenz zum Bluten des Betons, die alle die Qualität der Betonoberfläche beeinflussen.
4. Rütteln und Ablagern des Betons.

Außerdem müssen weitere Faktoren beachtet werden, die Auswirkungen auf die Qualität der Betonoberfläche haben:

1. Dicke des Ölfilms und evtl. Alter, d. h. einige Öle oxidieren schnell.
2. Temperaturschwankungen während des Zeitraums, in dem das Öl wirken soll.
3. Schalungstyp. Hier spielen Geometrie und Material eine Rolle.
4. Einfüllrichtung: horizontale und vertikale Oberflächen. Bei vertikalen Oberflächen besteht das Risiko von Schlieren aus Luftporen.

Eine Stahlschalung neigt in der Regel dazu, eine hellere Betonoberfläche zu ergeben, da keine Absorption stattfindet und deshalb das W/Z-Verhältnis an der Oberfläche höher ist.

Wenn der Beton zum Bluten tendiert, muss ein dritter Faktor beachtet werden, der zu Oberflächenproblemen führt, nämlich Rost. Das Rostrisiko der Schalung und daraus folgende Verfärbungen der Betonoberfläche werden natürlich durch das Bluten erhöht. Mineralöle mit Additiven können diese Tendenz sowie die Anzahl der Poren verringern.

Kunststoffschalung. Es werden verschiedene Arten von Kunststoffschalung verwendet, wobei auf das Schalöl aber nicht verzichtet werden sollte. Wenn die Schalung wiederholt verwendet wird, ändern sich allmählich die hergestellten Oberflächen. Bei jedem Reinigen der Schalungsoberfläche tritt Verschleiß auf, und Zementleim haftet an der Schalung.

Es gibt weitere Schalungsmaterialien. Zwei Beispiele sind Gummi und geschäumtes Polystyrol. Hier können keine auf Mineralöl basierenden Öle verwendet werden, da sie mit dem Schalungsmaterial reagieren, es sind Spezialprodukte nötig.

# BETONHERSTELLUNG

Die Herstellung von hochwertigem, festem und haltbarem Beton, der gleichzeitig die gewünschte Oberflächenstruktur hat, hängt davon ab, ob die Eigenschaften der Bestandteile richtig ausgenutzt werden. Dies kann durch eine richtig zusammengesetzte sieblinie und die richtige Betonzusammensetzung erreicht werden.

Wie die folgenden Vorschläge zeigen, basieren die Betonrezepturen für verschiedene Oberflächen (einschließlich der Wahl der Struktur und des Profils) auf Erfahrung. Im Allgemeinen gelten die üblichen Richtlinien als Grundlage für die Erstellung der sieblinie und der Betonzusammensetzung.

Bei der Herstellung von Fassadenbeton für glatt oder abgetragene Oberflächen ist es bei der Bestimmung der Zuschlagstoffzusammensetzung wichtig, die engen Toleranzgrenzen der vorgegebenen

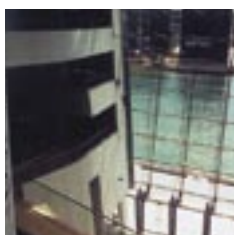
sieblinie einzuhalten. Die Erfahrung zeigt die Vorteile von Richtlinien, die eine gute Kontrolle der sieblinie gewährleisten. Zum Beispiel ist es empfehlenswert, eine Toleranz von  $\pm 5\%$  auf Siebgrößen von 1/4 mm und 4 mm sowie auf die Siebgröße anzuwenden, die der Hälfte der gewählten maximalen Korngröße entspricht. Wenn dies zum Beispiel 16 mm ist, gilt die Toleranz für 8 mm Siebgröße. Siehe hierzu auch die Beispiele für die Zuschlagstoffzusammensetzung.

Die Schlüsselwörter und Werte in den nachfolgend vorgeschlagenen Betonrezepten basieren auf Erfahrungen mit der Oberflächenbearbeitung. Die Abbildungen, die den Aufbau von Frontpanelen für Fassadenelemente und Matrizen zeigen, sind als Beispiele für die Ausführung dieser Arbeiten anzusehen.

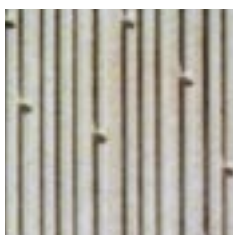
## Fassadenelemente aus Beton



Abgetragen



Glatt, geformt



Profiliert



Glatt, geformt Geätzt



Poliert

## Betonzusammensetzung

Oberfläche	Körnung	Zementtyp	Zement kg/m <sup>3</sup>	Feiner Zuschlagstoff kg/m <sup>3</sup>	Grober Zuschlagstoff	Fein/ grob	Beimischungen	W/Z <sub>max</sub>
<b>Abgetragen</b>	Ausfallkörnung	Schnell aushärtend	330-350	400-500	1350-1450	25-75%	WRM SWWRM Farbe (LPB)*	0.55
<b>Glatt, geformt</b>	Gleichm. Tendenz zu kleinen Sandklumpen	Schnell aushärtend	330-350	650-800	1000-1150	40-60%	WRM LPB SWWRM Farbe	0.55
<b>Profiliert</b>	Gleichm. Tendenz zu kleinen Sandklumpen	Schnell aushärtend	330-350	650-800	1000-1150	40-60%	WRM LPB SWWRM Farbe	0.55
<b>Glatt, profiliert, geätzt</b>	Gleichm. Tendenz zu kleinen Sandklumpen	Schnell aushärtend	330-350	650-800	1000-1150	40-60%	WRM LPB SWWRM Farbe	0.55

\* Es kann jedoch aufgrund der Zusammensetzung sehr schwierig sein, Luft in abzutragenden Beton zu mischen.

BV = Betonverflüssiger  
FM = Fließmittel  
LPB = Luftporenbildner

## BEISPIELE

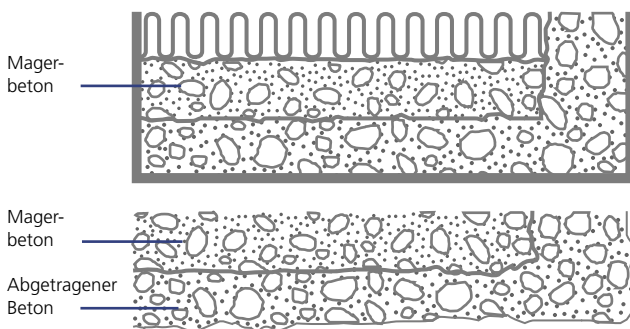
### Abgetragene Oberflächen

#### Abtragen

Chemische Verzögerung der Zementpaste in der Betonoberfläche.

#### Andere Methoden

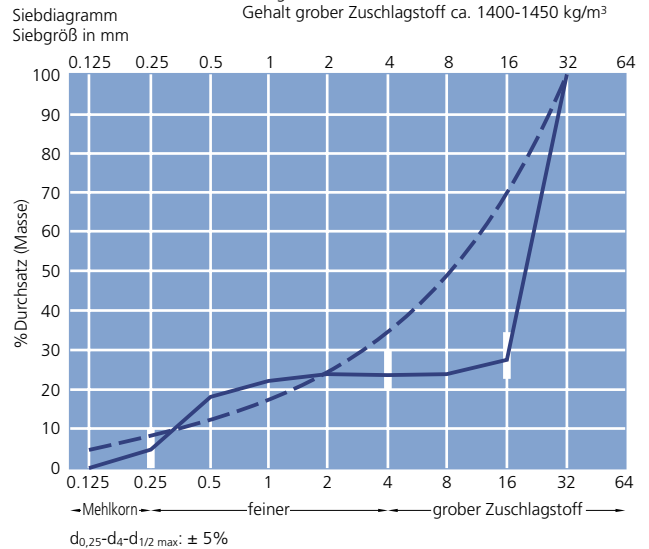
Sand in der Form, Waschen des frischen Betons, Positivguss.



#### Kombinierte Körnung für "abgetragenen Beton"

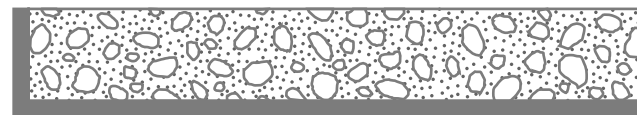
Fein/grob: 25/75%

Gehalt grober Zuschlagstoff ca. 1400-1450 kg/m<sup>3</sup>



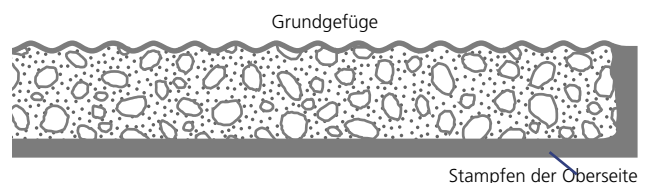
### Schalungsglatte Oberflächen

Das Betonieren schalungsglatte Flächen stellt hohe Anforderungen an Schalung und Rütteln und erschwert Reparaturarbeiten. Die Oberfläche ist empfindlich und tendiert aufgrund des erhöhten WZ-Werts in der Zementleimschicht, die in Kontakt mit der Schalung ist, zu Rissen.



### Profilierter Beton

Stampfen der Oberseite und/oder Betonieren gegen Grundgefüge.  
 Stampfen der Oberseite: Änderung der Form einfach, aber Schwankungen im gleichmäßigen Aussehen; Austrocknen erfordert besondere Methoden.  
 Betonieren gegen Grundgefüge; Änderung der Form schwieriger, aber Aussehen gleichmäßiger.  
 Reparatur kann sehr schwierig sein.



### Glatt, profiliert, geätzt

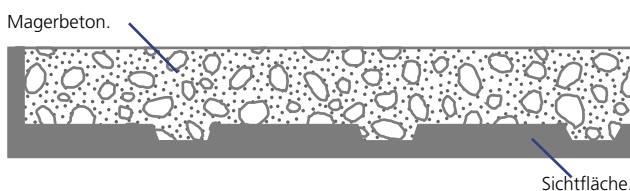
Sandfraktion häufig bestehend aus verschiedenen Arten, um den Farbeffekten im Beton gerecht zu werden. Ätzen 5-10% HCL (37%).

#### Warum Ätzen?

Verringert die oben beschriebenen Probleme, die in Verbindung mit glatten Oberflächen entstehen, die „Zementhaut“ verschwindet. Was die Farbe angeht, kommen die feinen Teile des Zuschlagstoffs durch. Auswirkungen der Farbpigmentierung durch Ätzen reduziert. Chloridrisiko (vorheriges und abschließendes Wässern unbedingt erforderlich).

#### Alternative zum Ätzen

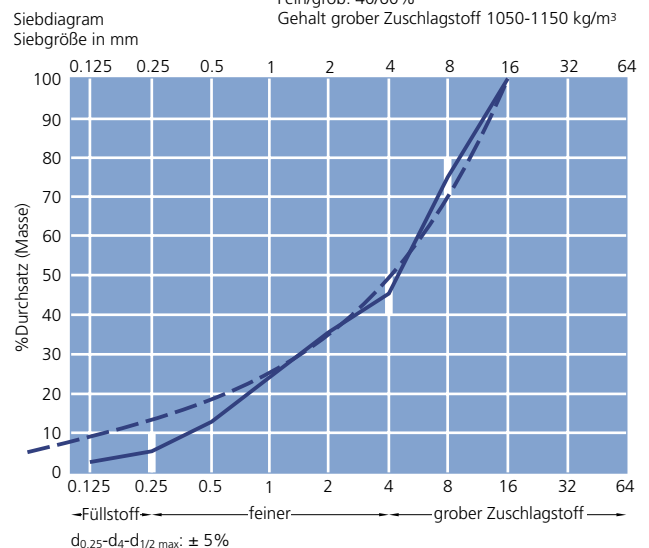
Schwacher chemischer Verzögerer, jedoch ist es damit nicht möglich, eine so geringe Oberflächenverzögerung zu erreichen wie durch Ätzen. Phosphorsäure und Essigsäure hinterlassen unregelmäßige weiße Flecken.



#### Kombinierte Körnungskurve "glatt, geätzt"

Fein/grob: 40/60%

Gehalt grober Zuschlagstoff 1050-1150 kg/m<sup>3</sup>





# RÜTTELN DES BETONS

Die Farbe der fertigen Betonoberfläche hängt von vielen Faktoren einschließlich des Rüttelns ab.

Gewöhnlicher Beton enthält häufig große Mengen Luft, die im Mischprozess oder beim Betonieren eingeschlossen wurde. Um viele und große Poren zu vermeiden, muss diese Luft entfernt werden. Zu diesem Zweck wird das Rütteln durchgeführt, das die größeren und ungleichmäßigen Luftblasen entfernt. Je länger der Weg ist, den die Luft bis zur Oberfläche zurücklegen muss, desto stärker muss der Beton bearbeitet werden, weshalb es häufig schwierig ist, die Zahl der Poren in Wänden und Säulen ebenso stark zu begrenzen wie bei Plattenkonstruktionen. In den oberen Bereichen von Wänden und Säulen kommen normalerweise die meisten Poren vor, und deshalb müssen diese Teile der Konstruktion besonderer Behandlung unterzogen werden.

Normalerweise muss der Beton in einem Durchgang in Schichten und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit eingebracht werden. Pausen zwischen den Schichten rufen häufig das Risiko von Verfärbungen und Porenbildung hervor. Im Allgemeinen darf die Betonierhöhe für Beton 1 m nicht überschreiten. Wenn dieses Maximum überschritten wird, entsteht das Risiko von Entmischungen.

Der Beton wird während des Einbringens gerüttelt, um für Dichte und Homogenität zu sorgen. Die Oberfläche des fertigen Betons hängt stark von der verwendeten Rüttelmethode ab. Falsches Rütteln kann zu Betonnestern, starken Farbschwankungen und, bei loser Schalung, dem Austritt von Zementleim führen. Es gibt verschiedene Rüttelmethoden. Beispiele sind das Innenrütteln, wobei ein Innenrüttler in den Frischbeton gedrückt wird, oder Außenrüttler, die auf die Schalung montiert sind, damit die produzierte Schwingung durch die Schalung auf den Beton übertragen wird.

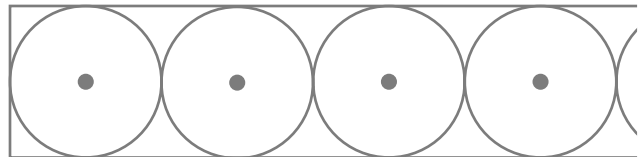
Beim Rütteln ist es wichtig, undurchlässige Schalung zu verwenden. Wenn Systemschalung eingesetzt wird, müssen die Bestandteile nach der Montage Spannungen aushalten können. Durch die Kräfte, die aus dem Druck des Frischbetons und der Vibration der Rüttler entstehen, können sich Verbindungsstücke öffnen.

Wenn ein Innenrüttler eingesetzt wird, muss er schnell in den Beton eingetaucht und dann, nachdem er dort für kurze Zeit gewirkt hat, langsam wieder herausgezogen werden, damit sich keine Hohlräume hinter ihm bilden. Der gesamte Vorgang sollte 15-30 Sekunden dauern. Dies unterstützt die Aufwärtsbewegung der eingeschlossenen Luftblasen. Erfahrene Betonierern können einschätzen, wann der Beton ausreichend gerüttelt wurde, indem sie sich die Oberfläche ansehen. Sie sollte vollständig mit Zementleim bedeckt sein und einzelne Luftblasen aufweisen. Beim Betonieren von Konstruktionen mit geringem Durchmesser, beispielsweise Säulen, ist das schnelle Eintauchen des Rüttlers wichtig. Wenn er zu lange in den oberen Schichten wirken kann, verdichten sich die feinen Bestandteile und blockieren größeren Luftblasen den Weg nach oben. Das wiederum führt zur Bildung von mehr Poren an der fertigen Betonoberfläche.

Der Beton sollte, soweit es die Bedingungen auf der Baustelle erlauben, in horizontalen Schichten von gleicher Dicke in die Schalung eingefüllt werden. Die Schichten sollten unter keinen Umständen dicker als ein halber Meter sein. Das Ziel besteht darin, die ganze Zeit über gleich dicke Schichten zu gießen. Der



Verwendung des Innenrüttlers



Ohne Überlappen bleiben unverdichtete Bereiche.



Überlappen sorgt für volle Verdichtung.

Innenrüttler darf nicht verwendet werden, um den Beton zu verteilen, da so Oberflächenfehler entstehen und der Beton Wasser abscheiden kann. Das Einbringen und Rütteln muss in harmonischer Folge ablaufen, damit der Frischbeton richtig verdichtet wird. Wenn sehr hohe Anforderungen an die Dichte und Porenfreiheit der Oberfläche gestellt werden, ist es empfehlenswert, die Dicke der eingebrachten Schichten auf 30 cm zu reduzieren. Bei Schichtdicken über 50 cm ist eine erhöhte Porenbildung zu erwarten. Außerdem besteht das Risiko, dass Grenzlinien zwischen den Schichten auftauchen. Eine geringere Schichtdicke kann, besonders wenn dünne Wände gegossen werden, schwierig einzuhalten sein.

Wenn das Rütteln nur in dünnen Schichten, z. B. beim Betonieren von Böden ausgeführt werden soll, ist es von Vorteil, den Innenrüttler schräg in den Beton zu tauchen. So wird der Beton besser verdichtet, d. h. die Vibration wird besser auf das Grundgefüge gerichtet als bei einem senkrecht eingetauchten Innenrüttler. Wenn dieses Verfahren eingesetzt wird, sollten Winkel und Richtung des Innenrüttlers über den gesamten Prozess gleich bleiben.



*Rütteltisch für sichtbare Betonelemente.*

Wenn Wandelemente in waagerechten Schalungen hergestellt werden, sind Innenrüttler, Balkenrüttler oder Formenrüttler geeignet. Abhängig von Form und Dicke der Elemente sowie der Platzierung der Bewehrung können Kombinationen dieser Arten eingesetzt werden. Beim Herstellen von Wandelementen ist das Formenrütteln am geläufigsten.

Um für minimale Porenbildung zu sorgen und "akustische Muster" zu vermeiden, ist es wichtig, wenige große Rüttler an einer korrekt versteiften Form anzubringen. Es ist also von Vorteil, vier große Formenrüttler vom Typ RZ 165 K zu verwenden, die eine Zentrifugalkraft von 16.500 N bei einer Drehzahl von 3000 U/min erzeugen. Solche Rüttler werden normalerweise an den Formenden angebracht.

Wenn viele kleine Formenrüttler verwendet werden, können sie sich „gegenseitig aufheben“, was zu schlechter Verdichtung und dem Risiko von zu vielen Luftporen an der Betonoberfläche führt.

Wenn hohe senkrechte Wände und Säulen hergestellt werden, sind Innenrüttler mit langer Antriebswelle oder Rüttler mit eingebautem Motor und langem Kabel ideal. Diese Rüttler können durch „Ports“ in den Seiten der Schalung eingeführt werden. Voraussetzung für ein gutes Ergebnis mit ebenermäßiger Betonoberfläche sind gleichmäßiges Rütteln über die gesamte Höhe und Beton mit gleich bleibender Zusammensetzung.

Wenn der Rüttler in der Nähe von der Schalung eingesetzt wird, darf er nicht zu nah an der Oberfläche der Schalbretter usw. eingetaucht werden. Das gilt besonders, wenn die Schalung so beweglich ist, dass sie synchron mit dem Rüttler zu schwingen beginnt. Der richtige Abstand von der Schalung hängt vom Aktionsradius des Rüttlers ab. Bei dünnen Betonwänden sollte der Innenrüttler in kleineren Abständen eingetaucht werden, um für gleichmäßige Verdichtung zu sorgen. Wenn das Verhältnis zwischen Rüttler und der Vibration der Schalung gestört wird, beispielsweise durch einen starken Innenrüttler, der zu nah an die Schalung gerät, kann durch die Verbindungsstellen der Schalung Luft eingesogen werden.

Dadurch entsteht eine Oberfläche mit zu vielen Löchern und sandigen Bereichen. Außerdem darf nicht vergessen werden, dass bei einem Kontakt zwischen Rüttler und Schalung die Oberflächen beschädigt werden können. Wenn sehr dünne Betonkonstruktionen hergestellt werden, kann der Rüttler mit einer Gummikappe versehen werden.

Bei bewehrtem Beton ist es wichtig, dass die Bewehrung so platziert ist, dass sie das Eintauchen des Rüttlers in den korrekten Abständen erlaubt. Wenn das Einbringen von gleich dicken Schichten durch eng beieinander liegende Bewehrung unmöglich ist, kann es nötig sein, den Beton mit dem Innenrüttler zu verteilen. Um zu verhindern, dass die relativ lange Rüttelzeit zu Entmischungen führt, darf wiederum keine Schicht dicker als 50 cm sein. Der Beton muss eine Zusammensetzung haben, die für einen „selbständigen“ Fluss sorgt, ohne dass Wasser hinzugefügt werden muss.

Wenn Pumpbeton oder flüssiger Beton in schmale Formen mit eng beieinander liegender Bewehrung eingebracht wird, muss der Rüttler einen Durchmesser von 40 mm haben, und die Rüttelzeit muss kürzer sein als bei steiferem Beton, d. h. 10-20 s pro Eintauchvorgang. Der genaue Ablauf sollte mittels Betonversuchen festgelegt werden.

Wenn hohe Anforderungen an die Oberfläche gestellt werden, darf die Höhe jeder Schicht 30 cm nicht überschreiten. Der Rüttler muss jedes Mal mit der gleichen Tiefe in die untergelagerte, bereits gerüttelte Schicht eingeführt werden. Die Eintauchpunkte sollten gleichmäßig verteilt sein. Es kann von Vorteil sein, einen Innenrüttler mit einem Durchmesser von 40 mm zu verwenden.

Kontakt zwischen dem Innenrüttler und der Bewehrung nahe bei der Schalung kann zu Fehlern auf der Betonoberfläche führen, d. h. das Aussehen der Betonoberfläche ist direkt auf den Zustand der Schalungsoberfläche zurückzuführen. Je nach Schalungsoberfläche kann es nötig sein, eine andere Rüttelmethode anzuwenden. Deshalb ist es empfehlenswert, ein oder zwei Betonversuche durchzuführen, um die am besten geeignete Methode sowie die richtige Betonzusammensetzung zu finden.

# BEHANDLUNG VON BETON



Um seine Haltbarkeit zu erzielen, verlangt der Beton nach guten Aushärtungsbedingungen.

Gute Aushärtungsbedingungen bedeuten in diesem Zusammenhang, dass ein Austrocknen des frisch gegossenen Betons verhindert wird und dass er keinen ungünstigen Temperaturbedingungen wie beispielsweise Frost, starken Temperaturschwankungen usw. ausgesetzt wird.

Der Schutz vor Austrocknung ist besonders in den ersten 24 Stunden der Aushärtungszeit wichtig. Siehe dazu auch die Europäische Norm ENV 13670-1, Herstellung von Betonstrukturen usw.

Austrocknen kann verhindert werden, indem:

- die Schalung an Ort und Stelle bleibt,
- der Beton mit einer dampfdichten Membran (Plastikfolie, Abdichtungsmasse) abgedeckt wird,
- die Betonoberfläche feucht gehalten wird.

## SCHALUNG

Die Schalung verhindert in gewissem Maß das Austrocknen.

Schalung aus lackiertem oder geöltem Sperrholz oder aus Stahl wirkt auf gleiche Weise wie Plastikfolie, da diese Materialien wasserdicht und nicht saugfähig sind.

Bei gewöhnlicher Holzschalung ist der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes von großer Bedeutung. Deshalb sollte es vor dem Betonieren mit Wasser gesättigt werden. Frisches Holz bewahrt Feuchtigkeit

wesentlich länger als Holz, das einmal ausgetrocknet ist und dann wiederholt gesättigt wurde.

## KUNSTSTOFF

Über den Beton gelegte Plastikfolie ist eine effektive Maßnahme, um Verdunstung zu verhindern. Das setzt allerdings voraus, dass die Form der Konstruktion regelmäßig ist und keine nach innen zeigenden Ecken besitzt und dass Bewehrungsstangen usw. nicht über die Betonoberfläche herausragen.

Für Elemente mit großer waagerechter Fläche wie z. B. Böden, Fassaden und Plattenelementen ist Plastikfolie ideal.

Es ist wichtig, dafür zu sorgen, dass die Folie festgehalten wird und nicht vom Wind weggeblasen oder in Falten gelegt werden kann, die einen Windkanaleffekt erzeugen. Beschädigte Plastikfolie sollte nicht wiederverwendet werden.

Aus Rücksicht auf die fertige Oberfläche kann es nötig sein, den Beton erst abzudecken, wenn diese einen gewissen Festigkeitsgrad erreicht hat, damit keine Abdrücke oder Deformationen durch die Plastikfolie mehr entstehen können. Dieses Problem kann durch den Einsatz von Abdichtmasse gelöst werden.

Für das Aussehen der Oberfläche kann es auch erforderlich sein, die Plastikfolie so zu legen, dass sie in direktem Kontakt mit dem Beton steht, um Flecken und Verfärbungen zu verhindern, die sich aus ungleichmäßigem Schutz oder Kondenswasser an der Unterseite der Folie ergeben.

Wenn Plastikfolie direkt auf eine feuchte/weiche Betonoberfläche gelegt wird, entstehen häufig blanke, glatte Stellen. Dieses Problem kann beispielsweise gelöst werden, indem der Beton vor dem Auflegen der Plastikfolie mit Filz oder Geotextilien abgedeckt wird.

Bei der Herstellung von Wänden, Säulen etc. kann ein effektiver Schutz mit Plastikfolie schwer herzustellen sein, da große Vorsicht angebracht ist, um die Folie nicht zu zerreißen und starke Verbindungen zu schaffen. Zum Zusammensetzen und Reparieren von Folie ist starkes Klebeband ideal.

## ABDICHTMITTEL

Abdichtmittel werden hauptsächlich verwendet, um frischen Beton zu schützen, jedoch können sie auch Schutz bieten, wenn die Schalung entfernt ist.

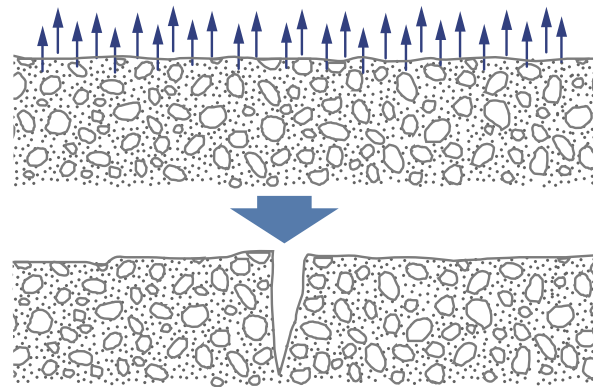
An senkrechten Oberflächen und Unterseiten kann es schwierig sein, die richtige Menge von Abdichtmittel aufzutragen. Es besteht das Risiko, dass es herunterläuft und zu ungleichmäßigem Schutz und permanenter Verfärbung führt. Diese Probleme können durch mehrmaliges Aufsprühen gelöst werden.

Das hauptsächliche Anwendungsgebiet von Abdichtungsmitteln ist der Schutz von frischen, waagerechten Betonoberflächen. Ihr offensichtlicher Vorteil besteht darin, dass sie aufgesprüht werden können, ohne Spuren auf dem weichen Beton zu hinterlassen. Sie tendieren jedoch dazu, verschiedene Verfärbungen zu hinterlassen, wenn sie nicht gleichmäßig aufgesprüht werden oder die



Betonoberfläche uneben ist o. Ä. Vor der Verwendung sollten vom Hersteller Informationen über die Effektivität dieser Mittel eingeholt werden.

Es ist wichtig, das Abdichtungsmittel in der vorgeschriebenen Menge aufzutragen. Einige Produkte enthalten Farbpigmente, damit der Benutzer anhand der Oberflächenfarbe erkennen kann, ob die richtige Menge aufgetragen wurde. In der Praxis ist es jedoch bei großen Flächen ohne geeignete Sprühausrüstung schwierig, gleichmäßige und vollständige Deckung zu erreichen.



Schrumpfen des plastischen Betons kann durch den Unterdruck, der beim Austrocknen in den mit Flüssigkeit gefüllten Poren entsteht, zu Rissen führen.

## THEORIE

Zement und Wasser (Zementleim) reagieren miteinander und ergeben ein Bindemittel (Zementgel), das die Zuschlagstoffe im Beton zementiert.

Vorausgesetzt, dass genügend Wasser vorhanden ist, läuft die Reaktion solange ab, bis der Zement reagiert hat. Für gewöhnlichen Portlandzement bedeutet „genügend Wasser“ 40-45% der Masse des Zements (W/Z-Verhältnis 0,40-0,45).

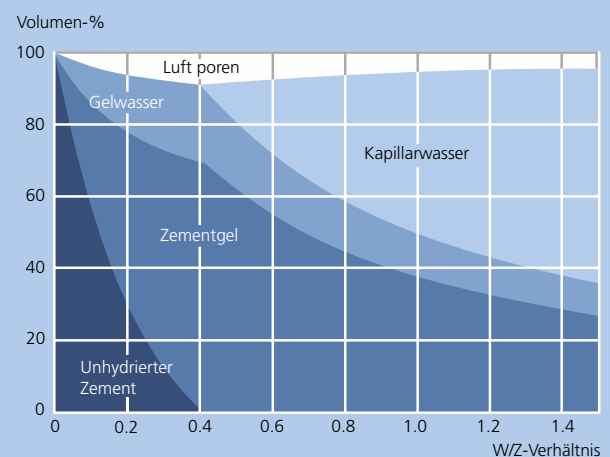
Während der Reaktionen wird ein Teil des Wassers (ca. 26% der Masse) chemisch in den Reaktionsprodukten (Zementgel) gebunden, und der Rest (19% der Masse) wird physisch an die Oberflächen der Reaktionsprodukte sowie in kleinen Poren gebunden. Dieses Wasser wird Gelwasser genannt. Bei normalen Temperaturen steht Gelwasser nicht für weitere Reaktionen zur Verfügung.

Die Verhältnisse ergeben sich häufig so wie in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Bei einem W/Z-Verhältnis von über 0,40 ist überschüssiges Wasser zu sehen, was bedeutet, dass selbst bei vollen Hydrationsporen noch Poren mit Wasser zu finden sind, so genannte Kapillarporen. Das Wasser in diesen Poren kann verdunsten, ohne negativen Einfluss auf die Qualität zu haben.

Bei hohen W/Z-Verhältnissen mit Wasserüberschuss ist daher ein gewisser Wasserverlust möglich, ohne dass sich die spätere Porosität ändert. Dies sollte jedoch nicht ausgenutzt, sondern als zusätzliche Sicherheit angesehen werden.

Bei geringen W/Z-Verhältnissen (z. B. 0,35) ist nicht genügend Wasser vorhanden, um den Zement vollständig zu hydratisieren. Bei diesem W/Z-Verhältnis gibt es keine Kapillarporen, und die Porosität, die nur in Form von sehr dünnen Gelporen besteht, ist geringer als bei höheren W/Z-Verhältnissen. Die verringerte Porosität (und die dünnen Poren) erklären die Wichtigkeit des W/Z-Verhältnisses in Bezug auf Festigkeit und Dichte.

Es wird gelegentlich gesagt, dass es sinnvoll ist, Beton mit einem „Wasserdefizit“ herzustellen. Dies ist jedoch ein Missverständnis, da die endgültige Porosität des Zementleims am wichtigsten ist, während es nur zweitrangig ist, dass der Zement nicht vollständig hydratisiert ist. Wenn man mit sehr geringen W/Z-Verhältnissen arbeitet, sollte man sich jedoch bewusst sein, dass der Beton sehr sensibel gegenüber Wasserverlust wird, da er kein überschüssiges Wasser enthält. Selbst ein leichter Wasserverlust kann daher eine deutliche Einschränkung der Qualität verglichen mit der Qualität bedeuten, die unter günstigen Bedingungen erreicht worden wäre.



Die Volumenverhältnisse für hydratisierten Zementleim

# FLECKENBILDUNG...

## AUSBLÜHUNG

Die meisten weißen Verfärbungen auf Betonoberflächen sind gewöhnliche Ausblühungen – das Ergebnis einer chemischen Reaktion, die Kalziumkarbonat hinterlässt. Wenn die Bauarbeiten in warmer, trockener Luft durchgeführt werden, beginnt das Austrocknen, wobei die Verdunstungszone in den inneren Querschnitt wandert, d. h. die Oberfläche wird trocken, und es erreicht keine Kalk enthaltende Feuchte die Oberfläche des Betons. Bei feuchter Umgebungsluft ist es umgekehrt leicht möglich, dass die Kalklösung direkt an die Oberfläche diffundiert, wo die Verdunstung nur langsam stattfinden kann. Sowohl warme als auch kalte Luft können feucht sein, aber in der gemäßigten Zone sind Frühling und Herbst am problematischsten in Bezug auf Ausblühungen, da in diesen Jahreszeiten lange, ununterbrochene Perioden mit hoher Feuchtigkeit auftreten.

Andere Beobachtungen weisen darauf hin, dass Ausblühungen auf neuen Fassaden nach langen feuchten Perioden wieder verschwinden können, wenn die feuchte Periode mit Regen endet, der die Ausblühungen abspült, bevor das Austrocknen und die Karbonatisierung beginnen.

Manchmal sind Ausblühungen weich und lassen sich abreiben. Sie können mit einem harten Besen entfernt werden, wonach die Stellen mit einem trockenen Tuch abgerieben und schließlich mit Wasser abgespült werden. Diese Behandlung sollte bei mildem, trockenem Wetter durchgeführt werden.



Farbiger Beton mit farbiger Ausblühung.

Ausblühungen können aus einem dünnen, gleichmäßigen Film oder aus einer dickeren Schicht von Salzkruste bestehen. Sie erscheinen häufig als ein pulverige Schicht auf der Betonoberfläche. Sie müssen nicht weiß sein, nehmen aber häufig einen pastellartigen Farbton an. Dieses Phänomen ist besonders häufig bei weißen Betonoberflächen.

Kalziumkarbonate sind schwer in Wasser löslich und werden nicht so leicht von Regen, der an die Fassade spritzt, aufgelöst. Häufig haften sie relativ fest an der Oberfläche und können von starken Schauern, durch Spülen oder Abwaschen nicht vollständig abgelöst werden. Kalziumkarbonat tritt auf, wenn Feuchtigkeit vorhanden ist und stellt eine chemische Verbindung aus Kalziumhydroxid und atmosphärischem Kohlendioxid dar. Das Phänomen der Ausblühung hängt mit den Verdunstungs- oder Trocknungsbedingungen bei den Bauarbeiten zusammen.

Es sollte erwähnt werden, dass Ausblühungen auf Betonoberflächen das Ergebnis von ungünstigen Lagerbedingungen von Betonelementen und anderen Betonteilen sowie von ungünstigen Bedingungen auf der Baustelle sein können. Wenn Betonoberflächen bei niedrigen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit Zugluft ausgesetzt werden, entstehen häufig starke Ausblühungen. Bei farbigem Beton verändern oder schwächen solche Ausblühungen häufig die Farbe. Deshalb kann es von Vorteil sein, die Oberfläche des Betons mit einer schwachen Salzsäurelösung zu behandeln (der Beton muss mindestens 24 Stunden alt sein). Vor und nach der Säurebehandlung ist es wichtig, den Beton abzuspielen, damit keine Säure in den Beton einziehen kann.



Ausblühungen durch Betonguss in der kalten, regnerischen Jahreszeit.

## - UND VERFÄRBUNG

### VERFÄRBUNG VON BETONFASSADEN

Gelbfärbungen auf weißen und hellen Oberflächen sind ein häufiges Problem. Es ist schwierig, die Ursachen für diese Verfärbungen zu finden, da die Zusammenhänge häufig kompliziert sind. Außerdem ist das Entfernen dieser Verfärbungen schwierig, egal ob diese früh oder erst später auftauchen. Es gibt viele Bedingungen, die eine Gelbfärbung fördern, z. B. bei der Produktion (durch die Betonbestandteile), beim Gießen, beim Lagern oder beim Transport.

Gelbe Verunreinigungen können entstehen, wenn die Fassadenelemente montiert werden. Sie können das Ergebnis von Lösungen aus Regen und Feuchtigkeit auf Bewehrungs- und Metallteilen sein, die auf Fußböden gelagert werden. Solche gelb-braunen Lösungen dringen in die Elementverbindungen ein und führen zu Vergilbung in Form von Schlieren und Flecken.

In den letzten Jahren sind gleichmäßige Vergilbungen über das gesamte Fassadenelement in Verbindung mit löslichen Substanzen in Dämmmaterialien aufgetreten. Der Grund dafür war, dass das Material bei der Lagerung in feuchten Lagerräumen leicht angefeuchtet war. Bestimmte chemische Reaktionen können bereits in der Betonierphase angeregt werden, wenn Verunreinigungen in die frisch betonierete weiße Sichtfläche eindringen. Das gilt für alle Arten von Dämmungen aus Mineralwolle, und die Erfahrung zeigt, dass diese Verfärbungen verschwinden, was allerdings ein bis drei Jahre dauern kann.

Bei der Lagerung von Fassadenelementen mit Dämmmaterialien können in der Lagerhalle oder auf der Baustelle unschöne Verfärbungen entstehen. Wenn sie für längere Zeiträume in nassem Wetter gelagert werden, absorbieren die Dämmmaterialien in der Regel viel Feuchtigkeit. Mit der Zeit zieht das Wasser durch die gesamte Dicke und Höhe des der Elemente, sodass sie letztendlich wie ein Schwamm wirken. Wenn die Elemente verwendet werden und die Beheizung des Gebäudes beginnt, führt das Austrocknen der Außenwände zum Vergilben der Fassade. Wie eben beschrieben, verschwindet die Verfärbung wieder.

Vergilben kann auch später an bereits montierten Fassaden auftreten. Dies ist meistens auf schwefelige und saure Verbindungen zurückzuführen, die in verschmutzten Industriegebieten auftreten. In der Regel kann diese Art der Verfärbung mit Hochdruckreinigern entfernt werden.





# PORENBILDUNG

Ein besonderes Phänomen beim Betonieren von unbehandelten Oberflächen sind Luftporen. Sie entstehen durch Luft und Wasser, das bei der Verdichtung an der Oberfläche haften bleibt. Die Anzahl und Größe der Luftporen hängt von der Zusammensetzung des Betons, nicht zuletzt von seinem Wassergehalt, der Oberfläche der Schalung, dem Schalöl und von der Verdichtung ab. Wenn Tapete verwendet werden soll, sind Luftporen von bis zu 1 mm häufig annehmbar, aber wenn die Oberfläche gestrichen werden soll, dürfen die Poren nicht größer als 0,5 mm sein. Wenn Oberflächen unbehandelt bleiben sollen, können Poren unansehnlich sein, wenn sie in Flecken oder Schlieren konzentriert sind.

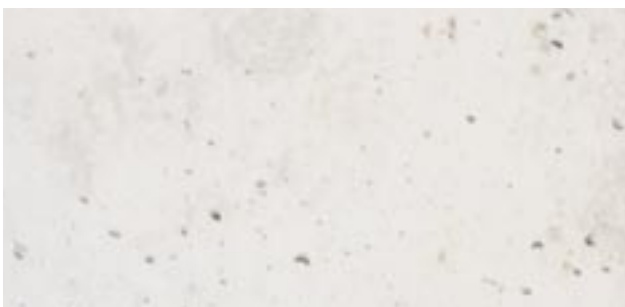
Die Erfahrung zeigt, dass Luftporen eher auf senkrechten als auf waagerechten Oberflächen auftreten und dass sie häufiger entstehen, wo der Druck der Schalung hoch ist, d. h. in den unteren Bereichen der Schalung. Die Konzentration von Oberflächenporen, die häufig in den oberen Bereichen einer Betonschicht auftritt, kann durch künstlichen Überdruck beim Abschluss des Betonierens vermindert werden. Besonders interessant hierbei ist, dass Luftporen beispielsweise durch Schalung mit einer groben Oberfläche vermieden werden können. Das zeigt also, dass die Verwendung von glatter Schalung zur Porenbildung beiträgt. Deshalb ist auch das Öl, das verwendet wird, um die Schalung zu „glätten“, ein zusätzlicher Faktor.

Bedingungen, die Porenbildung unterstützen, sind in erster Linie zu dichte Schalungsmaterialien und die Verwendung von Mineralöl ohne Additiven. Ein magerer, sehr weicher Beton ergibt deutlich mehr Poren als ein fetter, weicher Beton.

Wasserporen werden durch Wasseransammlungen gebildet, die zwischen Schalung und Beton eingeschlossen sind. Wenn das Wasser verschwindet, bleiben die Poren an der Oberfläche zurück.



Beispiel für Porenbildung durch die falsche Vorbehandlung des Schalungs-materials



Beispiel für Porenbildung durch Gießen und Verdichten

Wasseransammlungen kommen hauptsächlich vom Beton, allerdings kann auch Wasser aus der Schalung, der Bewehrung und der Transportausrüstung zur Porenbildung beitragen. Verglichen mit Luftporen sind Wasserporen groß. Es sind nicht selten Wasserporen von bis zu 5 mm zu finden. Sie haben unregelmäßige Formen, und der Boden der Pore ist häufig mit einer dünnen Schicht von Zementschlamm bedeckt. Unter den Poren sind meistens Schlieren zu sehen, die durch das Wasser entstehen.

Auch durch Schalöl können Poren gebildet werden. Während der Verdichtung kann überschüssiges Schalöl Tropfen bilden, die im ausgehärteten Beton Oberflächenporen bilden. Diese treten meistens in den unteren Teilen der Formen auf, da das überschüssige Öl entlang der Schalung nach unten sickert. Die Poren sind uneben und haben Verfärbungen im Inneren und im umgebenden Bereich. Sie sind meistens 1-3 mm groß.

Porenbildung kann durch verschiedene Faktoren auftreten. Die Feinheit des Zements und das Ausbreiten des Zementleims haben einen Einfluss auf die Fließigenschaften des Betons. Bei der Verdichtung wirkt der Zementleim als ein Schmiermittel für die Zuschlagstoffe, damit diese verbunden werden und Zwischenräume ausgefüllt werden. Das Wasser-/Zementverhältnis spielt ebenfalls eine große Rolle. Beton mit einem hohen W/Z-Verhältnis scheidet Wasser ab, wenn er zu stark gerüttelt wird, was zu einem großen Risiko von Wasserporen an der Oberfläche gegen die Schalung führt. Die Verwendung von Betonverflüssigern und Fließmitteln verringert das W/Z-Verhältnis und ergibt Beton, der besser zu verarbeiten ist. Beton mit einem relativ geringen W/Z-Verhältnis setzt häufig starke Verdichtung voraus, um die benötigte Dichte zu erhalten. Intensive Verdichtung durch Rütteln usw. erhöht das Risiko der Porenbildung. Es ist deshalb vorteilhaft, Additive zu verwenden, die für bessere Fließigenschaften sorgen, was wiederum ein weniger intensives Rütteln erlaubt.

Die Zusammensetzung der Zuschlagstoffe hat großen Einfluss auf die Porenbildung. Eine gut ausgeprägte Sieblinie mit ausreichendem Gehalt an Mehlkorn ( $<1/4$  mm) ergibt einen Beton mit guten Verdichtungseigenschaften. Zusätzlich bleibt nicht sehr viel Platz für freies Wasser und freie Luft im Beton, d. h. verringertes Risiko von Porenbildung. Außerdem sind die maximale Korngröße und Kornform des Zuschlagstoffs von Bedeutung. Die allgemeine Regel ist, dass grober Zuschlagstoff, also große maximale Korngröße, die Porenbildung im Vergleich zu kleiner Korngröße erhöht. Größere Zuschlagstoffe mit unregelmäßigen Kornformen absorbieren mehr Luft an der Oberfläche als natürlicher runder, glatter Zuschlagstoff. Eine Ursache für Porenbildung an Betonoberflächen muss außerdem in der Weise gesehen werden, wie der Beton transportiert, eingebracht und verdichtet wird. Zum Beispiel kann beim Transport Luft eingeschlagen und beim Betonieren werden; die Dicken der betonierten Schichten können schwanken; der Grad der Verdichtung beim Rütteln kann schwanken. Diese Faktoren fördern alle zu einem gewissen Grad die Porenbildung.

Die Erfahrung zeigt, dass der Anteil von Mehlkorn bei glatten gegossenen Oberflächen zwischen 5 und 10% der sieblinie ausmachen sollte. Es ist wichtig, die Siebwerte in sehr engen Grenzen zu halten. Mehlkorn sollte aus kubischen und runden Körnern bestehen.

## UMWELTEINFLÜSSE

Das Aussehen einer Betonoberfläche verändert sich mit der Zeit, wobei die Hauptursachen Regen und Verschmutzung sind. Viele Gebäude verändern sich durch die Verschmutzungen im Regen schon nach wenigen Jahren.

### VERSCHMUTZUNG

In diesem Kontext muss Verschmutzung als der Auftrag von sichtbarem Schmutz auf Fassaden verstanden werden. Verschmutzungen in Partikelform lagern sich auf waagerechten oder schrägen Oberflächen ab und werden dann von starkem Regen verteilt. Flächen, die viel Regen ausgesetzt sind, werden jedoch relativ gründlich gereinigt. Wo der Niederschlag geringer ist, werden Verschmutzungen und die Verwitterung anregende Stoffe über die Fassade nach unten transportiert. Hier verdunstet das Wasser und lässt den Schmutz zurück. Die Richtung, in der starker Regen getrieben wird, führt zu Unterschieden in den Schmutzmustern. Wenn man sich die Richtung des Wasserflusses an einer Fassade ansieht, erkennt man dass das obere Drittel und die entsprechenden Ecken zuerst gereinigt werden. Das nächste Drittel wird meistens nur sehr unregelmäßig gereinigt.

Wenn die Fassade porös ist, wird der Regen gleich anfangs von der Konstruktion absorbiert. Bei sehr dichten, nicht absorbierenden Strukturen fließt das Regenwasser sehr schnell an der Oberfläche herab. Hier lagert sich der Schmutz wesentlich weiter unten ab.

Wie schnell Verschmutzungen auftreten, hängt von klimatischen Bedingungen und vom Grad der Luftverschmutzung ab. Durch die vom Straßenverkehr usw. erzeugte Verschmutzung ist das Problem gerade in Ballungsräumen häufiger. Typischerweise sind Fassaden, die nach Süden oder Westen zeigen, stärker betroffen als jene, die nach Norden oder Osten zeigen.

### SÄUBERUNG VON FASSADEN

Generell muss angenommen werden, dass jede Reinigung die Betonfassade beschädigt. Deshalb darf sie nicht durchgeführt werden, bevor der Schaden durch die Reinigung geringer als der Schaden durch die Ablagerung von Schmutz auf der Betonoberfläche ist.

Bei regelmäßiger Instandhaltung kann aber der Grad der Verschmutzung auf einem absoluten Minimum gehalten werden, sodass eine Reinigung mit sanften Methoden sinnvoll ist. Wenn sich Schmutz in größerer Konzentration ablagern kann, steigt sein Säuregehalt, da der Regen Säure mit sich führt. Wenn das Wasser verdunstet, erhöht sich die Säurekonzentration.

Fassaden, die solchen Bedingungen ausgesetzt sind, können so stark betroffen sein, dass starke Korrosion an ihrer Oberfläche auftritt.

Es gibt viele Möglichkeiten, Fassaden zu reinigen: von der Verwendung reinen Wassers, neutralen Alkalien, sauren Reinigungsmitteln, mechanischen Geräten, bei denen Schmutz vorsichtig mit kleinen Bürsten und Skalpellen entfernt wird, bis zu kräftigeren Methoden wie zum Beispiel Sandstrahlen.

Bei der Fassadenreinigung ist die Zusammenarbeit zwischen Architekt und Bauunternehmer wichtig. Häufig ist eine Reinigung, die das Gebäude optisch reinigt, nicht nötig, um es vor Schaden durch Verschmutzung zu schützen. Wo Schmutz für mehrere Jahre abgelagert war, kann eine vollständige Reinigung außerdem für einen dunkleren Farbton des Gebäudes sorgen. Der Bauunternehmer ist deshalb verpflichtet, den Architekt oder Bauingenieur auf die Folgeschäden hinzuweisen, die aus einer Reinigung zu optischen Zwecken entstehen können. Natürlich muss der Bauunternehmer die zu verwendenden Chemikalien sowie die Arten der Betonoberflächen kennen, die gereinigt werden müssen.

Die sanfteste Reinigung findet bei Verwendung von reinem Wasser statt. Die Effektivität kann durch hohen Druck und grobes Bürsten (z. B. durch große automatische Geräte) erhöht werden. Die Bürsten dürfen nicht so grob sein, dass sie die Betonoberfläche beschädigen.

Der nächste Schritt, um die Effektivität zu erhöhen, ist der Einsatz von neutralen Reinigungsmitteln, wie sie zum Beispiel im Haushalt eingesetzt werden. Die wichtigste Funktion dieser Mittel besteht darin, die Oberflächenspannung des Wassers zu verringern, damit es besser unter die Ablagerungen dringen und den Schmutz lösen kann.

Eine früher weit verbreitete Methode war das Dampfstrahlen, was aber jetzt in Europa immer unbeliebter wird, da die Additive im Wasser – Soda und Phosphate – die Betonoberflächen beschädigen können. Häufig werden Flußsäure oder Reinigungsmittel, die auf diesem Stoff basieren, verwendet. Solche Mittel sind besonders gut geeignet.

Eine weitere häufig verwendete Substanz ist Salzsäure. Es muss hier betont werden, dass Oberflächen, die mit dieser Substanz gewaschen werden, vorher gut benässt werden müssen, damit nur die Oberfläche mit der relativ starken Säure in Kontakt kommt. Die empfohlene Lösung ist 1:15 (1 Teil Salzsäure 37% auf 15 Teile Wasser).

Bei nur leicht verschmutzten Oberflächen ist Oxalsäure eine Möglichkeit. Diese Substanz ist sanfter zu Kalkverbindungen als viele andere Säuren.

Schließlich kann man gereinigte Fassaden einer Schutzbehandlung unterziehen, z. B. mit transparentem, mattem Silikon, das der Fassade ebenfalls erlaubt zu atmen, also Diffusion ermöglicht.



*Schmutz auf einem Giebel, der von einem Nachbargiebel beschattet wird.*



AALBORG WHITE®

## EIN KOMPETENTER PARTNER MIT UMFASSENDEM FACHWISSEN



Aalborg Portland entwickelt, produziert und verkauft Zement. Das Unternehmen gehört zu führenden Zementanbietern der Welt. Die Stärke des Unternehmens gründet sich auf mehr als 100 Jahre Erfahrung. Der erste Zement wurde 1889 geliefert, und heute, mehr als ein Jahrhundert später, steht Aalborg Portland als ein moderner Zementhersteller mit starkem Profil auf dem internationalen Markt. Unsere Stärke als Unternehmen liegt in der überragenden Produktqualität, einem geradlinigen Umweltprofil und einer umfassenden Auswahl von Servicevorteilen für unsere Kunden.

### UMWELT IM BLICKPUNKT

Aalborg Portland verfolgt eine klare Politik in den Bereichen allgemeine Umgebung, Arbeitsumgebung, Energieverbrauch sowie Sicherheit und Arbeitsschutz. Aalborg Portland veröffentlicht einen jährlichen Umweltbericht, der die Fortschritte in den verschiedenen Bereichen aufzeigt. Seit Mitte der achtziger Jahre hat das Unternehmen mehr als 1.000 Millionen Kronen für Umweltmaßnahmen ausgegeben. Intern wie auch extern wurden diese Maßnahmen optimal sowie in stetiger und enger Zusammenarbeit mit den Behörden umgesetzt. Das Umweltmanagementsystem bei Aalborg Portland ist nach ISO 14001 zertifiziert, wodurch der Energieverbrauch des Unternehmens auf ein absolutes Minimum gesenkt wurde.

### ZERTIFIZIERTE QUALITÄTSKONTROLLE

Aalborg Portland ist seit jeher für seine Produktqualität bekannt - eine Folge konsequenter Qualitätskontrolle. Seit mehr als 20 Jahren schon werden Rohstoffe, Prozesse und Produkte systematischen Qualitätskontrollen unterzogen. Heute sorgt Robotertechnologie für eine 24-stündige Regelung, und das Personal überwacht ständig mit Computern die Produktionsprozesse. Im Jahr 1989 erhielt das Qualitätsmanagement bei Aalborg Portland eine ISO 9002-Zertifizierung der BSI. AALBORG WHITE® Zement made in Denmark ist produktzertifiziert durch die dänische Zertifizierungsbehörde Dansk Beton Certificering unter einer EC-Konformitätserklärung für Zement entsprechend DS/EN 197-1:2000, Zertifikat Nr. 1073-CPD-06209.



### NUTZEN SIE UNSER FACHWISSEN

Auswahl von Zement und Beton, Betonmischverfahren, Gießtechniken, Aushärtung usw.



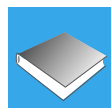
### AUSBILDUNG

Auffrischkurse für Architekten, Bauingenieure, Bauunternehmer, Maurer und Studenten.



### QUALITÄTSKONTROLLE

Prüfungen von Kies und anderen Zuschlagstoffen, Empfehlungen für Betonmischmethoden, Testmischungen, Prüfungen von Betoneigenschaften.



### FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Aalborg Portland arbeitet ständig an der Weiterentwicklung von Materialien und Techniken. Neue Zementarten, alternative Rohstoffe, neue Anwendungen, hochfester Beton, Prüfmethode usw.

Aalborg Portland A/S

Rørdalsvej 44  
Postbox 165  
9100 Aalborg  
Denmark

Telefon +45 98 16 77 77  
Fax +45 98 10 11 86  
E-mail: [white@AalborgWhite.dk](mailto:white@AalborgWhite.dk)  
Internet: [www.AalborgWhite.com](http://www.AalborgWhite.com)

AALBORG WHITE® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Aalborg Portland A/S.