



The Chemical Company

# Ausblühungen



*Adding Value to Concrete*

# Inhalt

<b>1. Allgemein</b>	<b>4</b>
<b>2. Für die Bildung von Ausblühungen relevante Mechanismen</b>	<b>6</b>
2.1. Chemische Reaktionen	6
2.2. Physikalische Prozesse	6
<b>3. Faktoren, die das Ausblühen beeinflussen</b>	<b>10</b>
3.1. Betonmaterialien	10
3.2. Betonierpraxis	12
3.3. Umwelteinflüsse	13
<b>4. Ausblühungen entfernen (nach der Bildung)</b>	<b>15</b>
4.1. Chemische Entfernung	15
4.2. Mechanische Werkzeuge	15
<b>5. Ausblühungen vermeiden (vor der Entstehung)</b>	<b>17</b>
<b>6. Die Beurteilung von Ausblühungen</b>	<b>20</b>
<b>7. Die Kontrolle von Ausblühungen durch Zusätze</b>	<b>22</b>
<b>8. BASF – Adding Value to Concrete</b>	<b>24</b>
<b>Literatur</b>	<b>26</b>

# Zusammenfassung

Das Ausblühen von zementhaltigen Materialien wie «Beton» oder «Mörtel» ist ein unbequemes Problem. Diese technische Schrift beschreibt, wie verschiedene Mechanismen und Faktoren die Entstehung von Ausblühungen beeinflussen und gibt allgemeine Hinweise, wie das Ausblühen, insbesondere durch den Gebrauch von Zusätzen, minimiert werden kann. Generell entstehen Ausblühungen durch die Interaktion von Wasser, das durch den Beton wandert und anschliessend auf seiner Oberfläche verdunstet, mit im Wasser enthaltenen Salzen, mit Kohlendioxid und anderen atmosphärischen Gasen. Das mag ein unerwünschtes Erscheinungsbild hervorrufen, beeinträchtigt aber selten die mechanischen Eigenschaften oder die Dauerhaftigkeit des Betons. Man unterscheidet viele verschiedene Arten des Ausblühens. Die häufigste Art ist jedoch das Ausblühen von Calciumcarbonat. Alle Ausblühungen entstehen auf vergleichbare Art und Weise.

Die Entstehung von Ausblühungen wird von vielen, miteinander agierenden Faktoren beeinflusst, von denen einige miteinander in Konflikt stehen können. Es steht fest, dass Ausblühungen durch die Kontrolle des Wassereintritts, der Wanderung des Wassers durch den Beton und das Verdunsten während des Betonierens bzw. im fertigen Beton sowie durch die Minimierung der Einwirkung löslicher Salze reduziert oder sogar verhindert werden können. Es gibt zahlreiche und komplexe Schlüsselfaktoren für Ausblühungen, so dass abschliessende Lösungen für bestimmte Betonarten oder -anwendungen von Fall zu Fall mit Spezialisten für Betontechnik geklärt werden müssen. Die Betonspezialisten von BASF sind bereit, den Markt mit dem neuesten technischen Know-how und einem systematischen Ansatz zu bedienen, z.B. für Kundenthemen wie das Ausblühen von Zement.

# 1. Allgemein

«Ausblühungen» sind Oberflächenfehler des Betons, die von eher ästhetischer Natur sind als dass sie strukturelle Konsequenzen haben. Grundsätzlich handelt es sich um kristalline Salzablagerungen (Karbonate, Sulfate, Chloride) von normalerweise weisser Färbung, die auf oder in der Nähe von Betonoberflächen entstehen (Abbildung 1). Ausblühungen bestehen gewöhnlich aus Calcium-, Natrium- und Kaliumcarbonaten, die aus dem Zement stammen. Sie können jedoch auch aus Salzen der Umgebung bestehen. Eisenoxide aus dem Beton können der Ausblühung eine gelb-braune Färbung verleihen. An den verschiedenen Arten von Ausblühungen hat Calciumcarbonat den Hauptanteil, auch bekannt als «Kalkblüte». Ausblühungen bilden sich, wenn lösliche Salze durch Wasser, das durch das Material wandert, aufgelöst werden und dann an seiner Oberfläche durch chemische Reaktion oder das Verdunsten der Salzlösung zurückbleiben.

Die «primäre Ausblühung» wird zuerst sichtbar. Sie entwickelt sich als eine weissliche Blüte oder ein Verblasen der Farbe während des Setzens und der Aushärtung des Betons. An diesem Vorgang beteiligt ist das Wasser, das zum Mischen des frischen Betons benutzt wurde.

Die «sekundäre Ausblühung» entsteht später, manchmal sogar erst nach Monaten, im wesentlichen durch Wasser von aussen, z.B. Regen oder Grundwasser, das durch den Beton wandert. Sie kann als einheitliche Verfärbung oder auch als örtlich begrenzte Verkrustungen an Stellen, wo Wasser im Beton zu finden ist, in Erscheinung treten.

«Kryptofloreszenz» oder «Subfloreszenz» sind Salzkristallisierungen innerhalb der Porenstruktur des Betons. Sie bilden sich unter der Oberfläche und werden erst dann sichtbar, wenn das kristalline Wachstum ein Ausmass erreicht hat, das Abplatzungen der Oberfläche verursacht.

Betonhersteller begegnen diesem unbequemen Thema häufig mit einer allgemeinen Aussage wie «Alle Betonprodukte können im Frühstadium den Eindruck erwecken, dass sie etwas an Farbintensität verlieren und milchig-weiße Flecken auf der Oberfläche bekommen. Das sind Flecken von Ausblühungen. Es handelt sich dabei um ein vorübergehendes Phänomen, das in keiner Weise die Leistung des Materials beeinträchtigt. Eine Haftung kann für diese Erscheinung nicht übernommen werden». Da das Ausblühen besonders deutlich auf dunklem oder farbigem Beton sichtbar ist, sind Hersteller von Betonprodukten mit auffallenden, dekorativen oder architektonischen Oberflächen ständig mit dem Problem konfrontiert und sind sehr bemüht, eine Lösung dafür zu finden, um das ästhetische Erscheinungsbild ihrer Produkte zu verbessern und den Anforderungen ihrer Kunden gerecht zu werden.

Auf dunklem oder farbigem Beton werden die Ausblüheffekte als farbliche Veränderungen z.B. in variierender Intensität und Schattierung sichtbar, die sich mit der Zeit verändern. Ausserdem können Staub und Schmutz aus der Umgebung in den Salzlösungen eingelagert und in den Ausblühungen eingeschlossen werden, die sich dann daraus entwickeln. Dadurch entstehen Schmutzstriemen, die Ablaufwege betonen und mit normalen Reinigungsmethoden schwer zu entfernen sind. Die Ausblühungen können auch durch Eisen und andere Metallionen in der Salzlösung fleckig werden.

Nur eine sehr geringe Menge der Salze muss von der befeuchteten Zementmasse aufgelöst werden, um eine sichtbare Ausblühung zu produzieren. Tatsächlich stellt die Entfernung dieser Menge keine Beeinträchtigung der Integrität des Zements dar. Folglich beeinträchtigt das Ausblühen normalerweise eher nur das Erscheinungsbild des Betons als seine mechanische Leistung oder die Dauerhaftigkeit. In der EN 1338:2003 «Pflastersteine aus Beton» steht hierzu: «Ausblühungen beeinträchtigen nicht die Gebrauchstauglichkeit der Pflastersteine und werden nicht als bedeutend betrachtet». Jedoch können einige Arten der Ausblühungen Farben auf Ölbasis verseifen und grosse Mengen Kryptofloreszenz können das Abplatzen von Oberflächen verursachen.



**Abbildung 1**

Flecken am Beton entstehen nach der Lagerung im Freien

Gelegentlich können Ausblühungen ein Symptom für chemische Reaktionen wie Sulfatangriffe sein, die die Dauerhaftigkeit des Betons beeinträchtigen. Ausblühungen können auch auf Undichtigkeiten in der Wasser-Rückhaltestruktur oder unerwünschte Wasserdurchgänge durch andere Strukturen hinweisen. Diese wiederum können zu Feuchtigkeitsproblemen, zur Korrosion von Metallkomponenten in der Struktur und zum Zerfall von Bauholzkomponenten führen. Diese Schrift berücksichtigt nicht die durch chemische Angriffe oder die Folgen von Feuchtigkeitswanderung durch die Struktur entstandenen Ausblühungen, sondern nur die Entstehung der Ausblühung.

## 2. Für die Bildung von Ausblühungen relevante Mechanismen

Voraussetzung für das Ausblühen ist das Vorhandensein von:

- löslichen Salzen,
- Wasser, das mit den Salzen in Kontakt kommt und so eine Salzlösung bildet, und
- einer Passage, die es den gelösten Salzen ermöglicht, auf die Betonoberfläche zu wandern.

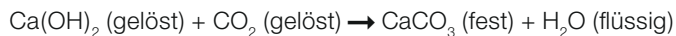
Wenn auch nur eine dieser Voraussetzungen unerfüllt bleibt, wird es nicht zu Ausblühungen kommen. Da das kaum möglich ist, besteht der beste Ansatz darin, alle drei Faktoren zu minimieren.

Die für die Entwicklung von Ausblühungen relevanten Mechanismen lassen sich am Besten durch Erörterung der unter günstigen Bedingungen beteiligten [chemischen Reaktionen](#) und [physikalischen Prozesse](#) beschreiben.

### 2.1. Chemische Reaktionen

Ausblühungen weisen hauptsächlich auf Calciumcarbonat hin. Diese Calciumcarbonate sind das Produkt chemischer Reaktionen zwischen atmosphärischem Kohlendioxid und Calciumhydroxiden aus dem Zement-Hydratationsprozess, die in dem Porenwasser gelöst sind.

Die Reaktion, die unlösliches Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) produziert, ist die gleiche, die auch als Carbonatisierung bekannt ist, bei der Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Atmosphäre mit Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) reagiert, beide in Wasser gelöst:



Die Reaktion findet in der Salzlösung der Betonporen statt. Wenn jedoch die Verdunstung schnell genug erfolgt, bleibt Calciumhydroxid auf der Betonoberfläche zurück und reagiert dann mit in Wasser gelöstem Kohlendioxid, vorausgesetzt ausreichend Feuchtigkeit steht zur Verfügung. Calciumhydroxid reagiert nur, wenn es in Wasser gelöst ist.

Calciumcarbonat erscheint als eine weisse Ausblüfung, die über bestimmte Bereiche verteilt ist, oder als eine harte weisse Kruste. Sie bildet sich als primäre Ausblüfung, wenn vorzeitiges Trocknen die Zementhydratation unterbricht und der Beton dann genässt wird. Sie bildet sich als sekundäre Ausblüfung, wenn Wasser aus einer externen Quelle durch den Beton wandert und von seiner Oberfläche verdunstet. Sie ist fast wasserunlöslich und kann schwierig zu entfernen sein. Hier liegt die Ursache für die meisten Ausblühungsprobleme.

Andere Salze, die Ausblühungen produzieren können, enthalten Natriumsulfate, Kalium, Magnesium, Calcium und Eisen; Natriumbicarbonat, Natriumsilikat und tatsächlich fast jedes andere lösliche Salz wie Chlorid und Nitrat, das man in Beton oder Mauerwerk oder in deren Umgebung findet. Natrium- und Kaliumcarbonate und -bicarbonate sind weich, weiss und pelzig. Diese Salze und Chloridsalze sind hochlöslich und können vom Regen abgewaschen werden. Sehr geringe Mengen unlöslichen Eisenoxids und Eisenhydroxids verursachen sichtbare gelb-braune Verfärbungen auf der Betonoberfläche, die nicht abgewaschen werden können.

### 2.2. Physikalische Prozesse

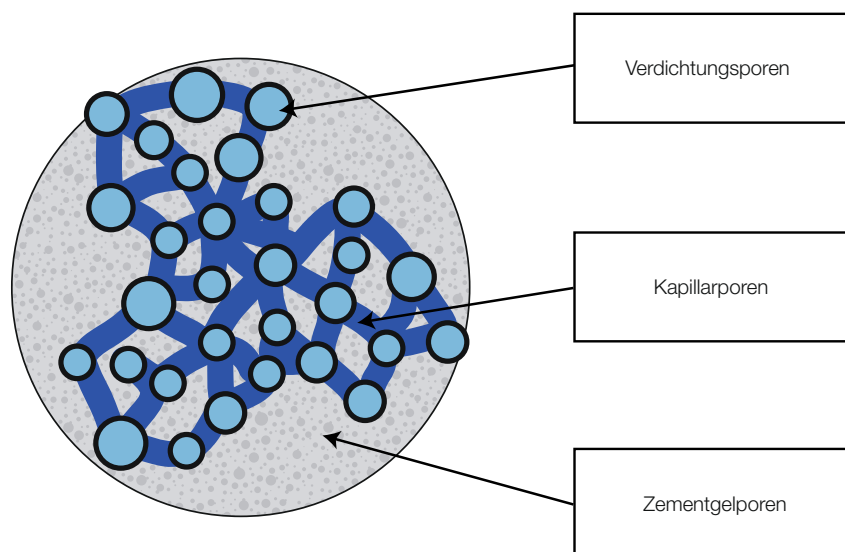
Ausblühen beinhaltet den Transport von Wasser und der darin gelösten Salze durch die Poren des Betons zur Oberfläche und dem darauf folgenden Zurückbleiben des durch die Reaktion zwischen Salzen und Kohlendioxid in der Porenlösung entstandenen festen Produkts. Diese Prozesse werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

[Transport von Wasser und Salzen](#): Die Bewegung von flüssigem Wasser durch die Porenstruktur des Betons (Abbildung 2) oder der Ionentransport durch die Porenlösung kann durch Kapillarsog, hydrostatischen Druck,

Konzentrationsgradienten oder Schwerkraft angetrieben werden.

Die Grösse von Gelporen liegt im nm-Bereich. Sie umfassen annähernd 28 % des Gelvolumens als Teil des Zementsteins. Gelporen haben eine offene Porosität und sind unter normalen Feuchtigkeitsbedingungen mit Wasser gefüllt, das nicht gefriert und einen niedrigen Diffusionskoeffizienten aufweist. Im Gegensatz dazu bewegt sich die Grösse von Kapillarporen im  $\mu\text{m}$ -Bereich. Ihr Volumen hängt vom Hydratationsgrad ab. Sie weisen eine offene oder geschlossene Porosität auf und sind unter normalen Feuchtigkeitsbedingungen leer. Sie können sich durch Kapillaraufstieg füllen. Wasser kann sich in ihnen leicht ausbreiten oder gefrieren.

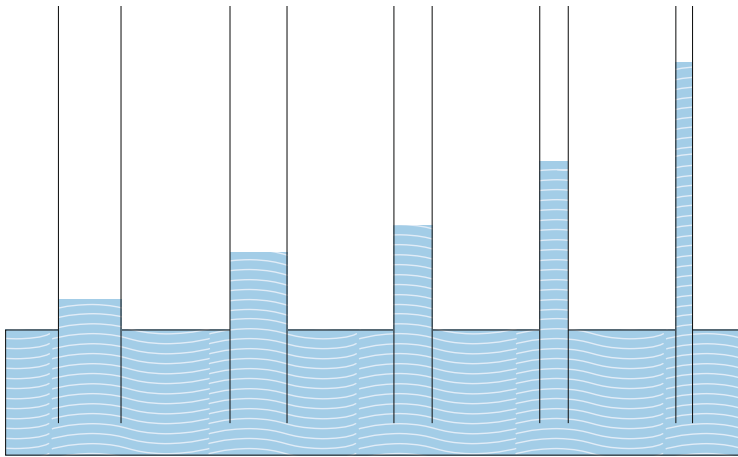
Normalerweise beeinflusst mehr als ein einziger Faktor den Migrationsprozess durch den Beton. In wenigen Situationen dominieren Kapillarkräfte die Trocknung einer horizontalen Oberfläche, falls keine externe Feuchtigkeitsquelle vorhanden ist. Hier, in dem teilweise trockenen Beton, wird Wasser (und die darin gelösten Salze) durch offene Kapillarporen mit einem Durchmesser von weniger als  $10\ \mu\text{m}$  in Richtung der exponierten Oberfläche gezogen. Je feiner diese Kapillaren sind, desto grösser ist der Sog auf das in ihnen enthaltene Wasser und folglich wird die Geschwindigkeit des Feuchtigkeitstransfers durch Kapillarsog grösser sein (Abbildung 3). Im Gegensatz dazu reduzieren feinere Kapillaren die Geschwindigkeit des Wassertransfers durch Beton, d.h. die «Durchlässigkeit» des Betons, durch hydrostatischen Druck, Konzentrationsgradienten oder Schwerkraft. Je feiner die Kapillaren sind, desto leichter können sie durch Zementhydratations- und Ausblühungsprodukte geschlossen werden.



**Abbildung 2**  
Porenstruktur in Beton

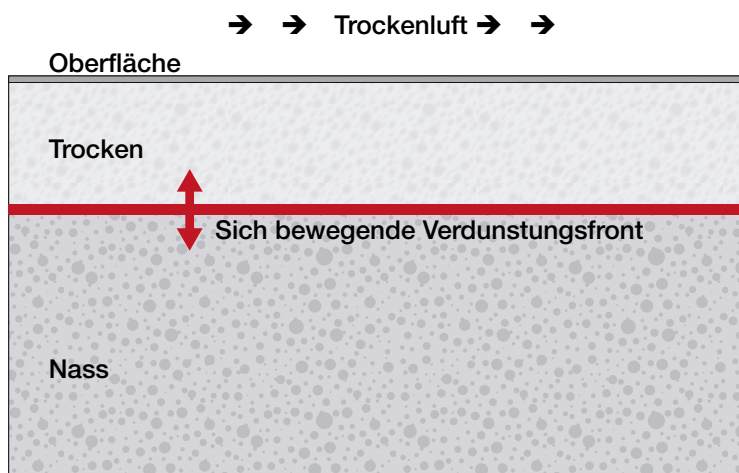
Beton mit sehr feinen Poren kann jedoch in den ersten Jahren eher zur Bildung von Ausblühungen neigen, wenn er die Möglichkeit hat zu trocknen, bevor diese Poren verstopft werden. Die Wanderung von Wasser durch den Beton erfolgt durch eine kombinierte Verteilung von Dampf und Flüssigkeit. Die relative Bedeutung dieser zwei Mechanismen variiert mit der Porengrösse und dem Feuchtigkeitsgehalt. Bis der Beton fast gesättigt ist (innere relative Feuchtigkeit grösser als 95 %), findet der Wassertransport durch grosse Poren vorwiegend durch Dampfdiffusion statt. In Kapillaren ist die Flüssigkeitsdiffusion bei einer inneren relativen Feuchtigkeit von nur 45 % bedeutsam. Salze werden nicht durch Dampfdiffusion transportiert, daher erhöhen grosse Poren nicht notwendigerweise das Risiko von Ausblühungen, ausser wenn der Beton fast gesättigt ist.

**Verdunstung:** Die Position der Wasser/Luft-Grenzfläche, an der Wasser verdunstet und sich Ausblühungen bilden, nennt man die «Verdunstungsfront» (Abbildung 4). Wasserbewegung durch die Kapillaren kann die Verdunstungsfront dicht an die Betonoberfläche bringen, wo die Ausblühungen sehr gut sichtbar sind. Die freie Wasseroberfläche in grösseren Poren ist tendenziell unter der Betonoberfläche zu finden, wo Ausblühungen weniger sichtbar sind, bei ausreichender Menge aber zu einem Abblättern der Oberfläche führen können. Bei einer hohen Verdunstungsgeschwindigkeit kann die Verdunstungsfront unter der Oberfläche des Betons liegen. Wenn die Verdunstung langsam stattfindet, liegt die Verdunstungsfront näher an der Betonoberfläche, was zu besser sichtbaren Ausblühungen führt.



**Abbildung 3**

Der Effekt des Kapillarsogs; je feiner die Röhre ist, desto höher ist der Sog und umso schneller findet der Feuchtigkeitstransfer statt. Wie auch immer, der Widerstand gegenüber Feuchtigkeitstransfer (Durchlässigkeit) durch Druck, Diffusion oder Schwerkraft wird erhöht.



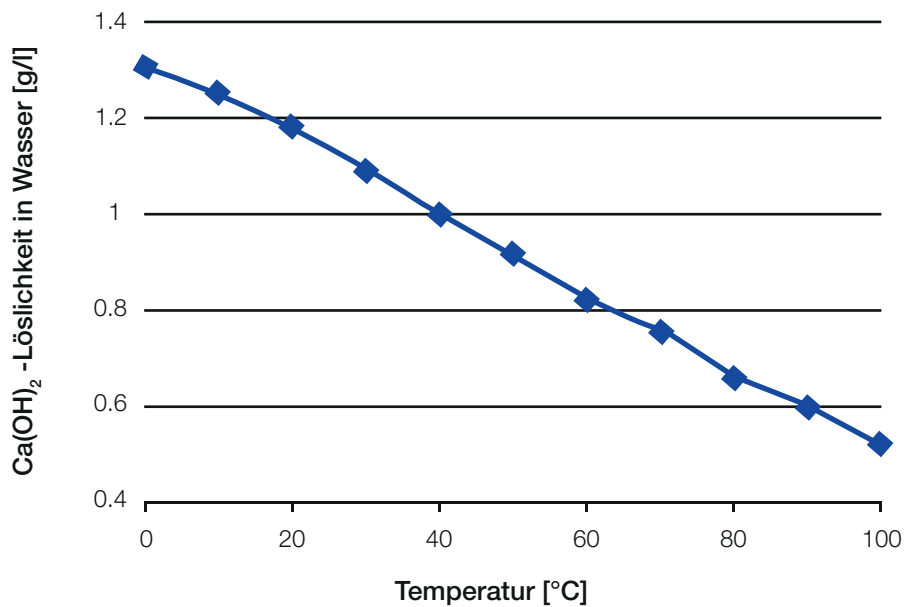
**Abbildung 4**

An der Verdunstungsfront bilden sich Ausblühungen.

**Reaktion mit Kohlendioxid:** Wenn der Beton mit Wasser gesättigt oder fast gesättigt ist, reagieren die gelösten Salze an der exponierten Oberfläche mit gelöstem Kohlendioxid und produzieren sichtbare Ausblühungen. Wenn der Beton teilweise getrocknet ist, können sich die Ausblühungen knapp unter der Betonoberfläche entwickeln. Auf diese Art und Weise kann die Bildung von unlöslichem Calciumcarbonat unter der Oberfläche

Poren verstopfen und darauf nachfolgende Ausblühungen verhindern. Wenn Beton schnell trocknet, kann Calciumhydroxid in den Poren zurückbleiben, die Bildung von Calciumcarbonat wird jedoch durch den Mangel an Wasser verhindert. Wenn der Beton danach genässt wird, ist das Risiko einer Ausblühung beträchtlich, da sich das Calciumhydroxid wieder auflöst, mit dem Kohlendioxid reagiert und als Calciumcarbonat auf der Oberfläche verbleibt. Mit sinkenden Temperaturen steigt die Wasserlöslichkeit von  $\text{CO}_2$  beträchtlich, so dass die Wahrscheinlichkeit von stärkeren Ausblühungen bei kalter Witterung grösser ist.

**Salzkristallisation:** Ein Salz wird nur aus einer Lösung ausgefällt, wenn das Porenwasser übersättigt ist. Die Konzentration eines bestimmten Salzes hängt von Temperatur und Verdunstungsgeschwindigkeit und auch von der Wasser- und Salzzufuhr ab. Betonporenwasser ist normalerweise mit Calciumhydroxid gesättigt, da reichliche Zufuhr durch den Zement stattfindet und es nur wenig löslich ist (typischerweise 1,2 g CaO pro Liter; abnehmend mit ansteigender Temperatur – von 1,30 g/l bei 0°C bis 1,13 g/l bei 25°C; siehe auch Abbildung 5).



**Abbildung 5**

$\text{Ca(OH)}_2$  in Abhängigkeit von der Temperatur. Je niedriger die Temperatur ist, desto mehr Material kann sich in den Poren befinden.

## 3. Faktoren, die das Ausblühen beeinflussen

Ausblühungen entstehen normalerweise eher aus einer Kombination von Faktoren als aus einer einzigen Ursache heraus. Im folgenden ist beschrieben, wie Eigenschaften von [Betonmaterialien](#), [Betonierpraxis](#) und [Umwelteinflüsse](#) die chemischen Reaktionen und die physikalischen Prozesse, die Ausblühungen verursachen, beeinflussen.

### 3.1. Betonmaterialien

[Zement](#) ist die Hauptquelle löslicher Salze. Hochalkalische Zemente können das Risiko von Ausblühungen erhöhen, da die Betonporenlösung mehr Natrium- und Kaliumhydroxide enthält, welche nicht nur die Menge des verfügbaren Salzes erhöhen, sondern auch die Löslichkeit von Kohlendioxid in der Porenlösung. Schnell härtender Zement kann also anfälliger für Ausblühungen sein. Weisser Zement neigt eher zu Calciumcarbonatausblühungen, doch macht ihn sein niedrigerer Alkaligehalt weniger empfänglich für lösliche Ausblühungen. Ausserdem enthält er eine geringe Menge Eisen, die Eisenverfärbungen auslösen kann. Hochgradig aluminiumhaltiger Zement (Abbildung 6) produziert kein Calciumhydroxid, wenn er hydratisiert, daher löst er keine Ausblühungen aus. Die Zusammensetzung des Zements kann zur Eisenverfärbung der Ausblühungen beitragen. Trotz dieser Effekte hat die Marke oder die Sorte des Portlandzements insgesamt einen geringeren Effekt auf Ausblühungen als der Zementgehalt des Betons.

[Kalkstein](#) ist eine zusätzliche Quelle für Calciumhydroxid und kann bis zu 0,7 % lösliches Salz enthalten. Unhydratisierte und teilweise hydratisierte Kalke sind stärker löslich und stellen daher ein grösseres Risiko für Ausblühungen dar.

Grosse Mengen an [Puzzolanen](#) verbrauchen Calciumhydroxid und reduzieren so die Ausblühungen, vorausgesetzt, dass sie keine bedeutenden Mengen an wasserlöslichem Alkali oder Sulfat enthalten. Sie produzieren ausserdem eine feinere Porenstruktur, die die Wasserdurchlässigkeit reduziert, jedoch insbesondere im Frühstadium den Kapillarsog erhöhen kann. Langsamer reagierende Puzzolane wie Flugasche wirken abschwächend gegen sekundäre Ausblühungen. Hochofenschlacke, die streng genommen kein Puzzolan ist, hat den gleichen Effekt, da ihre Hydratation kein Calciumhydroxid produziert. Hochreagierende Puzzolane wie Metakaolin oder Mikrosilica sorgen, wenn sie zu ca. 15 % als Zementersatz verwendet werden, nicht nur für mehr Festigkeit, sondern verhindern auch primäre Ausblühungen.

[Pigmente](#) können zusätzliche Salze mit sich bringen, was das Risiko von Ausblühungen erhöht. Feinpigmente wirken wie feine Füllstoffe, sie reduzieren die Wasserdurchlässigkeit, erhöhen aber möglicherweise den Kapillarsog. Pigmente erzeugen im Allgemeinen einen Farbkontrast, welcher den visuellen Effekt der Ausblühungen erhöht.

[Zuschlagsstoffe](#) können das Risiko von Ausblühungen erhöhen, z.B. wenn sie mit Meersalzen verschmutzt sind oder wenn sie lösliche Sulfate wie Blähton/Schiefer oder Sulfide enthalten, die dann wie Schlacke oxidieren.

[Wasser](#), das den Standardanforderungen entspricht, sollte keine bedeutenden Mengen löslicher Salze oder andere Materialien, die Ausblühungen fördern können, enthalten. Der Gehalt an löslichem Salz in recyceltem Brauchwasser ist höher als der von Trinkwasser und ist nicht leicht in den Griff zu bekommen. Daher wird recyceltes Brauchwasser nicht für den Gebrauch an Stellen, wo das Auftreten von Ausblühungen kritisch ist, empfohlen.

Der [Wassergehalt](#) des frischen Betons beeinflusst die Bildung von primären Ausblühungen, denn je geringer der Wassergehalt für einen gegebenen Wasser/Zement-Wert ist, desto weniger Wasser steht für die Wanderung an die Betonoberfläche zur Verfügung.

Der [Wasser/Zement-Wert \(w/z-Wert\)](#) bestimmt die Form, Grössenverteilung, das Volumen und die Kontinuität der Poren im Zementstein (Abbildung 7), welche im Umkehrschluss das Volumen und den Grad des Wasser- und Salztransfers beeinflussen. Je geringer der w/z-Wert ist, desto feiner und weniger durchlässig

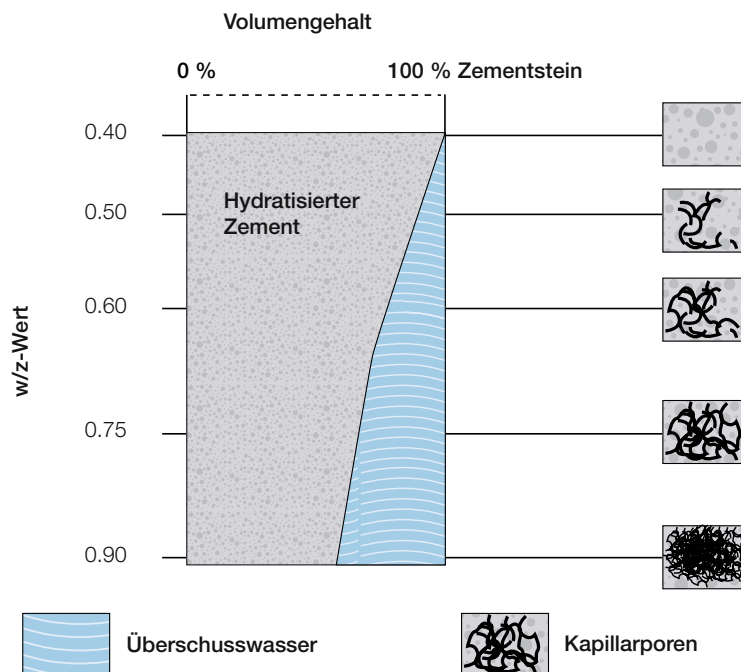
sind die Poren. Wenn sie durchlässig sind, erhöht ihr reduzierter Durchmesser den Kapillarsog. Ein niedriger w/z-Wert kann daher primäre Ausblühungen fördern, wenn der Beton nicht richtig ausgehärtet ist.



**Abbildung 6**

Zement mit niedrigem Alkaligehalt reduziert das Risiko von Ausblühungen

Geringe w/z-Werte reduzieren sekundäre Ausblühungen, da die Poren feiner sind und durch Hydratationsprodukte oder Mittel gegen primäre Ausblühungen verstopft werden können. Jedoch werden die Ausblühungen, die sich bilden, eher in der Nähe der exponierten Oberfläche zu finden sein.



**Abbildung 7**

Die Kapillarstruktur hängt stark vom w/z-Wert ab.

[Zusätze](#) können, je nach ihrer Zusammensetzung, der Art der Anwendung und natürlich dem vorherrschenden Wassertransportmechanismus, Ausblühungen beeinflussen. Spezielle Zusätze für die Bekämpfung von Ausblühungen werden später besprochen.

## 3.2. Betonierpraxis

Eine **Betonrezeptur**, die die Zuschlagstoffverteilung so optimiert, dass sie den Mindestbindemittelgehalt für die geforderte Verarbeitbarkeit und die Dauerhaftigkeit des ausgehärteten Betons einhält, und die den Wassergehalt und den w/z-Wert minimiert, wird Ausblühungen reduzieren, indem sie den Kapillarsog und die Durchlässigkeit des Betons verringert.

Ungleichmässige **Betonqualitäten**, die aus unvollständigem Mischen oder inkonsistenter Verdichtung oder Aushärtung resultieren, können zu Ausblühungen in lokal begrenzten Bereichen führen.

Nur die richtige **Reihenfolge beim Mischen** von Zusätzen, Puzzolanen und Pigmenten, die beim Ansetzen des Betons hinzugefügt werden, stellt sicher, dass diese vollständig im Zementleim aufgelöst werden. Die Abfolge hängt von der Art und Form des Zusatzes, Puzzolan oder Pigment, der Art des Betons und dem Mischvorgang ab. Wenn der Beton nicht richtig gemischt wird, ist die Porenstruktur nicht gleichmässig. Farbe und Ausblühungen können dann über die fertig gestellte Oberfläche hinweg unterschiedlich sein.

Angemessene **Verdichtung** und **Nachbehandlung** des Betons müssen ermöglicht werden, um grosse Hohlräume, welche die Festigkeit reduzieren, zu vermeiden. Jedoch kann zu grosser Verdichtungsaufwand den Wassergehalt und auch den w/z-Wert an geschalteten und ungeschalteten Oberflächen erhöhen und sie damit empfänglicher für primäre und sekundäre Ausblühungen machen. Durchlässige Schalungsbahnen können helfen, diesen Effekt auf geschalteten Oberflächen zu reduzieren, indem sie das überschüssige Wasser absorbieren. Daher ist es wichtig, dass die Betonverarbeitbarkeits-, Verdichtungs- und Endbearbeitungsmethoden optimiert werden. Denn vorgefertigte Betonprodukte, unterschiedliche Materialien, Aufbereitung des Gemischs und Produktionsgeräte erfordern unterschiedliche Vorgehensweisen.

Das **Aushärten** dient dazu, das Mischwasser im Beton zu halten (Abbildung 8). Das geschieht, um sicherzustellen, dass der Zement optimal hydratisiert, um ausreichende Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeitstransfer zu gewährleisten. Junger Beton ist relativ porös und durchlässig, und wenn Wasser von seiner Oberfläche verdunstet, wird es schnell durch Mischwasser aus dem Inneren des Betons ersetzt, was eine Schicht von Calciumcarbonatausblühungen an der Oberfläche hervorruft, die dem Beton eine sehr helle Färbung verleihen können. Diese Ausblüfung verstopft Oberflächenporen und verhindert so anschliessendes Eindringen von Aushärtungswasser, das gebraucht wird, um das verdunstete Mischwasser für die Hydratation des Zements zu ersetzen. Beton, der einer solchen vorzeitigen Trocknung ausgesetzt ist, wird nicht seine volle Härte erreichen und wird unterhalb der Ausblüfungsschicht relativ durchlässig bleiben. In jungem Beton, der richtig ausgehärtet ist, kann das Wasser, das durch Verdunstung verloren gegangen ist, nicht durch Wasser aus dem Inneren des Betons ersetzt werden, da die Poren weniger durchgängig sind. Verdunstung und die Bildung von Ausblühungen finden dann unter der Betonoberfläche statt und der Beton behält seine graue Farbe bei.

Die Bedingungen vor dem Aushärten, insbesondere bei erdfeuchten Betonen, sind kritisch. In diesem Stadium ist der Beton porös und durchlässig, daher trocknet er schnell und saugt auch schnell Wasser auf, was ihn sehr anfällig für Ausblühungen macht, wenn er die Möglichkeit hat zu trocknen. Das Trocknen wird durch Sonnen- und Windeinflüsse noch verstärkt.

Die Aushärtungstemperatur ist nicht so bedeutend wie Feuchtigkeit, obwohl kühle Temperaturen das Setzen, Ausbluten und Aushärten verlängern und daher primäre Ausblühungen verstärken. Dies gilt insbesondere bei hoher Luftfeuchtigkeit, wenn das Wasser auf der Betonoberfläche kondensieren kann. Aushärten bei einer Luftfeuchtigkeit von weniger als 65 % relativer Luftfeuchtigkeit [rF] erhöht das Risiko von Ausblühungen. Ist der Beton während des Aushärtens der Kondenswasserbildung und dem Wasserablauf ausgesetzt, erhöht sich das Risiko von lokal begrenzten Ausblühungsflecken und -läufern. Es wird angenommen, dass die Aushärtung bei einer Luftfeuchtigkeit von 80–95 % ideal zum Schutz gegen Ausblühungen ist, obwohl das möglicherweise nicht so effektiv für die Entwicklung von Härte und Wasserwiderstand ist wie das Aushärten bei höherer Luftfeuchtigkeit oder in Wasser.

Das Aushärten in einer kohlendioxidreichen Atmosphäre (mehr als 5 %) reduziert Ausblühungen, indem Calciumhydroxid in Calciumkarbonat umgewandelt wird. Die Betonporen an oder nahe der Oberfläche werden verstopft, und gleichzeitig werden die Verdunstung von Porenwasser und das Eindringen von Kohlendioxid reduziert. So entsteht ein einheitliches Oberflächenbild.

Dampfaushärtung kann Ausblühungen reduzieren, insbesondere wenn der Beton Puzzolan enthält, da die Menge des freien Calciumhydroxids im Zementstein reduziert wird. Höhere Temperaturen sind effektiver. Die Luft in Dampfaushärtungskammern sollte gesättigt gehalten werden, während die Betonelemente geladen werden.



**Abbildung 8**

Aushärtungskammer für Pflastersteine. Eine umsichtige Gestaltung der Aushärtungsbedingungen hat vorrangigen Einfluss auf die Bildung von Ausblühungen.

### 3.3. Umwelteinflüsse

**Feuchtigkeit:** Regen und Oberflächenabfluss sind die Hauptquelle für Feuchtigkeit in Beton über dem Boden. Grundwasser ist eine übliche Quelle in Untergeschossen, Stützmauern und Fundamenten. Auch Kondensation kann genug Feuchtigkeit für die Bildung von Ausblühungen liefern. Die frühe Aussetzung an eine externe Wasserquelle verstärkt die Ausblühungen (Abbildung 9), während das Aushärten bei konstant hoher Luftfeuchtigkeit ohne Kondensation die innere Feuchtigkeit auf konstantem Level hält und die Durchlässigkeit des hydratisierten Zementleims minimiert, was Ausblühungen reduziert. Defekte, die Wasser und Abläufe auf die Betonoberfläche leiten und eine Möglichkeit für das Eindringen von Wasser in den Beton darstellen, verstärken das Ausblühen während des Baus. Diese beinhalten unangepasste Anweisungen für die Feuchtigkeitskontrolle, undichte Ablaufrinnen und Fallrohre, schlecht gefüllte Mörtelfugen, Risse und durchlässigen Beton. Ausblühungen, die durch solche Defekte verursacht werden, sind meistens örtlich begrenzt an Stellen, wo das Wasser mit der Betonoberfläche in Berührung kommt oder von ihr verdunstet.

**Wetterbedingungen:** Bei niedrigeren Temperaturen ist die Verdunstungsrate niedrig, was der Porenlösung ermöglicht, die Oberfläche des Betons zu erreichen, bevor sie verdunstet. Calciumhydroxid ist zudem stärker löslich, so dass die Porenlösung mehr davon enthält. Diese Eigenschaften steigern sichtbare Ausblühungen während oder unmittelbar nach kühleren Temperaturen. Bei wärmeren Temperaturen ist der Verdunstungsgrad höher. Abhängig vom Grad des Wassertransfers kann die Porenlösung nahe der Betonoberfläche verdunsten, wo die sich bildenden Ausblühungen weniger sichtbar sind. Höhere Windgeschwindigkeiten erhöhen den Verdunstungsgrad für gegebene Temperatur und Luftfeuchtigkeit möglicherweise in einem solchen Ausmass, dass die Verdunstung unterhalb der Betonoberfläche stattfindet. Daher stellen kalte Tage nach wie vor das grösste Risiko für die Entstehung von sichtbaren Ausblühungen dar, insbesondere dann, wenn Feuchtigkeit auf der Betonoberfläche kondensiert. Im Ergebnis können Ausblühungen dann als saisonale oder zyklische Erscheinungen auftreten.

**Externe Salze:** Die Entwicklung von Ausblühungen wird irgendwann aufhören, es sei denn, es gibt eine externe Quelle löslicher Salze. Diese können aus einer natürlichen Quelle stammen, z.B. Salze aus Meerwasser, Gischt oder Grundwasser oder von einer industriellen Quelle, z.B. Chemikalien, die in Kontakt mit dem Beton kommen, Sulfate aus Industrieabgasen oder Kohlendioxid aus Treibstoffverbrennung. Salzquellen können auch Undichtigkeiten in Rohrzuläufen sein oder Fugenfüller oder Isolationspaneelen, die Kontakt mit dem Beton haben.

**Reinigungsmaterialien:** Ätzsoda, Waschsoda, Sodaasche, Scheuermittel und einige Reinigungsmittel, die bei Routinereinigung und -wartung benutzt werden, können zur Bildung von Ausblühungen beitragen.



**Abbildung 9**

Wetterbedingungen beeinflussen die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Ausblühungen. Der richtige Schutz bei der Aussenlagerung kann Wettereinflüsse reduzieren.

## 4. Ausblühungen entfernen (nach der Bildung)

Um ein entsprechendes Mittel für die Entfernung von Ausblühungen und gegen das Wiederauftreten zu finden, muss die Ursache bekannt sein. So kann es zum Beispiel nötig sein, Beton von Boden oder Grundwasser zu isolieren, um die Kristallisation von Sulfatsalzen zu verhindern oder es muss eine Undichtigkeit repariert werden. Die Zusammensetzung der Ausblühung sollte identifiziert werden, wenn der Beton Kontakt mit einer externen Salzquelle hat, denn es könnten sich Hinweise auf chemische Reaktionen ergeben, die die Dauerhaftigkeit des Betons beeinträchtigen. Das Hauptbeispiel dafür ist Natriumsulfat, das den hydratisierten Zement angreift und das Abblättern der Oberfläche verursachen kann, da seine kristalline Form sich mit Temperatur und Feuchtigkeit verändert.

Ausblühungen wandeln sich immer nach und nach um, insbesondere Calciumcarbonat reagiert weiter mit Kohlendioxid und Wasser und bildet Calciumhydrogencarbonat, welches löslich und einfach durch Wasser zu entfernen ist (Regen, Abspülen). Primäre Ausblühungen können irgendwann durch leicht saures Regenwasser sowie durch normalen Abrieb auf exponierten Oberflächen aufgelöst werden.

Wenn gewünscht, können Ausblühungen auch mit chemischen oder mechanischen Mitteln entfernt werden (Abbildung 10).

### 4.1. Chemische Entfernung

Verdünnte Säure ist besonders auf Calciumcarbonat wirksam, könnte jedoch die Oberflächenfarbe oder -textur verändern.

Salzsäure, die in einem Verhältnis von 1 Teil Säure zu mindestens 10 Teilen Wasser verdünnt wurde, ist für die allgemeine Reinigung des Betons geeignet, wenn sie nicht mit Metallkomponenten in Berührung kommt. Für farbigen Beton sollte eine 1:50 Lösung verwendet werden, um übermäßiges Ätzen zu vermeiden, was den Zuschlagsstoff exponieren und die Oberflächenfarbe und -textur verändern könnte.

Der Beton wird mit Wasser genässt, dann wird die Säure eingebürstet und erhält eine Reaktionszeit von bis zu fünf Minuten. Dann wird sie mit reichlich sauberem Wasser abgewaschen (prüfen Sie das Waschwasser mit einem pH-Teststreifen, um sicherzustellen, dass die Säure komplett entfernt wurde). Oberflächen, die mit einem Anstrich versehen werden sollen, sollten durch das Waschen mit 10%er Ammoniak- oder Kaliumhydroxidlösung neutralisiert werden oder für mindestens einen Monat dem Wetter ausgesetzt werden, bevor sie angestrichen werden. Es wird empfohlen, zunächst eine Testfläche zu bearbeiten, bevor die gesamte Oberfläche behandelt wird. Es sollten immer nur kleine Flächen bearbeitet werden. Mehrere Waschungen mit einer niedrigen Säurekonzentration werden die Oberfläche wahrscheinlich weniger verätzen als eine einzige Reinigung mit einer höheren Säurekonzentration. Essigsäure, Zitronensäure, Phosphorsäure und säurebasierte Markenreiniger sind ebenfalls geeignet.

### 4.2. Mechanische Werkzeuge

Frische Ablagerungen von wasserlöslichen Ausblühungen können mit einer harten Bürste abgewaschen werden. Das gelöste Material wird mit einem Staubsauger vom Beton und von den umgebenden Flächen entfernt. Wiederholtes Bürsten, sobald Ablagerungen erscheinen, ist wahrscheinlich die effektivste Art der Behandlung. Nassbürsten kann helfen, wenn Trockenbürsten nichts nützt. Das Abwaschen mit Wasser kann jedoch zu Salzablagerungen führen, wenn das Wasser verdunstet.

Nicht wasserlösliche Ausblühungen wie Calciumcarbonat können mit einem Hochdruckreiniger entfernt werden, eventuell unter Zugabe von feinem Sand in den Wasserstrahl. Leichtes Sandstrahlen kann ebenfalls wirkungsvoll sein, könnte jedoch die Oberflächenstruktur verändern, so dass die gesamte Oberfläche behandelt werden muss.

Wenn die Zusammensetzung der Ausblühungen unbekannt ist, ist das Waschen mit Säure wie bei den unlöslichen Ausblühungen normalerweise wirksam, obwohl es ratsam sein könnte, es zunächst mit Trocken- oder Nassbürsten zu versuchen.



**Abbildung 10**

Um Beschädigungen der Oberfläche zu vermeiden, sollte beim chemischen oder mechanischen Entfernen von Ausblühungen vorsichtig vorgegangen werden.

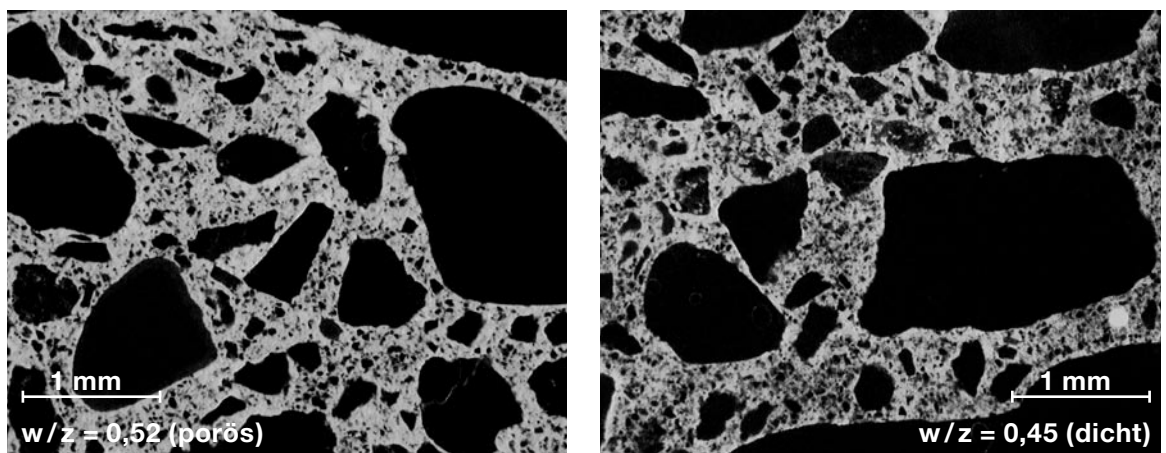
## 5. Ausblühungen vermeiden (vor der Entstehung)

Ausblühungen setzen das Vorhandensein von löslichen Salzen, Wasser und einer Wasserpassage durch den Beton voraus. Die Kombination der Mechanismen und Faktoren, die Ausblühungen beeinflussen, variiert für jede Kombination aus Alter des Betons, Materialien, Rezeptur der Mischung, Anwendung und Exposition.

Es ist nicht möglich, einfache Regeln für die Verhütung von Ausblühungen unter den verschiedenen Bedingungen aufzustellen. Die folgenden Richtlinien werden jedoch helfen, das Risiko der Bildung von Ausblühungen zu reduzieren. Das allgemeine Prinzip ist, frei lösliche Salze in Betonmaterialien zu minimieren und die Durchlässigkeit des Betons sowie seine Aussetzung gegenüber Nass/Trocken-Zyklen zu minimieren. Wie am Ende dieser Schrift beschrieben, kann die Verwendung von speziellen Zusätzen bei allen drei Aspekten unterstützend wirken.

**Rohmaterialien** sollten so wenig lösliche Salze wie möglich enthalten. Aus dem Meer stammende Zuschlagsstoffe sollten vermieden oder gewaschen werden. Zement mit niedrigem Alkaligehalt sollte bevorzugt werden, vor allem ein niedriger Sulfatgehalt. Mischzemente mit Puzzolanen werden empfohlen. Reduzieren Sie den Klinker (Hauptquelle von  $\text{Ca(OH)}_2$ ) soweit eben möglich. Das Mischwasser sollte frei von bedeutenden Mengen an Salzen sein, die Ausblühungen verursachen könnten. Meerwasser sollte nicht benutzt werden. Halten Sie Werkzeuge und Geräte sauber und frei von Rost und Salz.

Die **Durchlässigkeit des Betons** sollte so gering wie möglich sein (Abbildung 11). Das heisst, dass Zuschlagsstoffe so abgestuft werden sollten, dass der Hohlraumgehalt möglichst gering ist. Zudem soll ausreichend Zement (möglicherweise mit Puzzolan), ein niedriger Wassergehalt und ein tiefer w/z-Wert angestrebt werden. Weiter ist auf eine effektive aber nicht übermässige Verdichtung, eine dichte, undurchlässige Oberflächenbehandlung und Aushärten bei angemessener Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu achten, um die nötige Hydratation des Zements sicherzustellen. Die Betonoberfläche ist vor ungleichmässigen Feuchtigkeitsbedingungen, Tröpfeln oder Kondensation zu schützen. Ein hoher Gehalt an Bindemittel kann jedoch in einem höheren Wassergehalt resultieren, der das Risiko des Schrumpfens erhöhen kann. Bei Betonwaren kann ein sehr niedriger w/z-Wert primäre Ausblühungen reduzieren. Das Risiko für sekundäre Ausblühungen kann sich jedoch erhöhen, wenn Wassergehalt und Verdichtung nicht optimiert werden, um Hohlräume zu minimieren.



**Abbildung 11**

Erhöhte Verdichtung durch Zusätze zur Kontrolle von Ausblühungen. Geringere Porosität bedeutet geringe Wanderung von Wasser (Transportmittel für Salze).

Der Beton sollte **vor dem Aushärten** keine Möglichkeit haben zu trocknen, z.B. durch die Aussetzung an Wind oder hohen Temperaturen. Der Beton sollte solange wie möglich aushärten, wobei Methoden benutzt werden sollten, die der Anwendung und der gewünschten Qualität der abschliessenden Oberflächenbehandlung entsprechen. Wo ästhetische Aspekte wichtig sind, wird das Aushärten mit Plastikabdeckungen nicht empfohlen, denn es kann zu ungleichmässigen Feuchtigkeitsbedingungen an der Oberfläche oder Kondensation

führen, was unregelmässige Färbung oder Ausblühungen zur Folge haben kann. Das Aushärten bei 20°C und einem Minimum von 80% relativer Luftfeuchtigkeit [rF] reduziert Ausblühungen. Kammern, die für das Aushärten benutzt werden, inklusive Dampf-Aushärtungskammern, sollten so gestaltet und bedient werden, dass Kondensation und Ablauf vermieden werden. Sie sollten über eine Möglichkeit verfügen, die Einheiten feucht zu halten, bevor das Aushärten beginnt, z.B. durch Dampfbesprühung. Das Aushärten mit Kohlendioxid reduziert Ausblühungen, obwohl es die teuerste Variante ist.

Bei der [Lagerung nach dem Aushärten](#) müssen eine gleichmässige Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Beton beibehalten werden, um Ausblühungen zu minimieren. Betonwaren sollten nach dem Aushärten, während des Transports und bei der Lagerung vor Ort auf einer Oberfläche mit guter Drainage z.B. auf Paletten gestapelt werden (Abbildung 12). Die gestapelten Einheiten sollten vor Regen und schneller Austrocknung geschützt werden. Die Luft unter diesen wasserfesten Abdeckungen sollte so gleichmässig wie möglich zwischen den Einheiten zirkulieren können, um stellenweises Trocknen oder Kondensation und Ablauf zu vermeiden.

Die [Oberflächenbehandlung](#) mit einem wasserabstossenden Mittel, bevor die Oberfläche an Feuchtigkeit ausgesetzt wird, reduziert Ausblühungen und wird für farbige Beton- und andere bauliche Oberflächenausführungen empfohlen, wo Farbveränderungen oder Ausblühungen nicht akzeptabel wären. Die Oberfläche sollte, wenn nötig, nach Beendigung der Aushärtung gereinigt und dann die Oberflächenbehandlung gemäss den Anweisungen des Herstellers aufgetragen werden. Die Effektivität der Oberflächenbehandlung hängt von der Durchlässigkeit des Betons und der Qualität des Aushärtens ab. Oberflächenbehandlungen für Oberflächen, die Feuchtigkeit ausgesetzt sind, sollten wasserdampfdurchlässig sein, um dem Wasserdampf im Beton das Verdunsten zu ermöglichen.

Auf Substraten, die grosse Mengen an löslichen Salzen enthalten oder starkem Eindringen von Feuchtigkeit von der gegenüberliegenden Oberfläche ausgesetzt sind, können dampfdurchlässige Oberflächenbehandlungen lokale Salzkonzentrationen und -kristallisationen neben der behandelten Oberfläche auslösen, was zu Abblättern und Abplatzen, besonders bei porösen oder weichen Betonprodukten führen kann. Wasserfestes und dampfdurchlässiges Polyurethan oder Epoxid sollte auf solchen Oberflächen benutzt werden.

Die [Feuchtigkeitskontrolle im Bau](#) ist der Schlüssel zur Reduzierung von Ausblühungen. Der Feuchtigkeits-transfer innerhalb und ausserhalb des Betons ist entscheidend für die Bildung von Ausblühungen. Daher sollte Beton während des Baus vor Nässe und Trocknen geschützt werden. Zum Schutz vor Regen und Tau sollte jeder Abschnitt des Mauerwerks am Ende des Tages abgedeckt werden. Die Gestaltung sollte ausreichende Anweisungen für das Versiegeln von Verbindungen, Übergängen, Wasserstopperrn, Dampfabdichtungen, Entwässerungslöchern, Tropfenformern, Mauerabdeckungen und Schwellen enthalten und diese sollten richtig eingebaut und gewartet werden. Traufen schützen Wände und Öffnungen vor Feuchtigkeit.

Der Ablauf von Wasser von horizontalen Oberflächen wie Böden, Dächern und Brüstungen muss möglich sein. Unterkonstruktionen von Gehwegen und Bettungsschichten sollten über eine gute Drainage verfügen, wobei die Drainage nicht durch Randstreifen oder in Mörtel gelegte Einrichtungen blockiert werden darf. Aussenwände sollten so gestaltet werden, dass sie inneren und äusseren Dampfdruck ausgleichen, mit Dampfbarrrieren verkleidet werden oder aber die inneren Oberflächen werden mit wasserdampfdurchlässiger Farbe gestrichen. Hohlwände sollten so gestaltet werden, dass sie Kondensation minimieren. Gerissener oder durchlässiger Beton sowie beschädigte Dampfkontrolleinbauten und Zubehör müssen repariert werden.



**Abbildung 12**

Nach der Aushärtung draussen gelagerte doppellagige Gehwegplatten: die Oberseite hat keinen Kontakt mit dem Kernbeton. Luftzirkulation zwischen den Platten ist möglich, wobei der Stapel mit einer Plastikabdeckung vor Regen und einer schnellen Austrocknung geschützt ist.

## 6. Die Beurteilung von Ausblühungen

Eine Grundvoraussetzung für jede Art von quantitativer, vergleichender Beurteilung von Ausblühungen ist die Möglichkeit, auf der Basis von verlässlichen Mustern zu testen, d.h. ihre Qualität muss von akzeptabler Reproduzierbarkeit sein und sich in der Nähe von realen Betriebsergebnissen befinden. Die Behandlung von Mustern erfordert ebenso definierte Bedingungen. Nicht zuletzt muss das Beurteilungsinstrument wiederholbar und mit einer geeigneten Detailgenauigkeit arbeiten, um relevante Änderungen zu unterscheiden.

BASF hat die einzigartige Production Efficiency Method (PEM) entwickelt, die die Fertigung von sehr reproduzierbaren Mustern aus erdfeuchtem Beton mit exzellenter Korrelation zu Betonwaren wie zu Pflastersteinen, Baublöcken, Dachsteinen, sofort entschlachten Rohren und Schwellen sowie zu Hohlkörperplatten ermöglicht. Basierend auf diesen Mustern können verschiedene Behandlungen, z.B. beschleunigte Bildung von Ausblühungen, angewendet werden. Die Methoden zur Beschleunigung der Bildung von Ausblühungen sind;

- Tropfentest
- Dochttest
- Sprühtest
- Nass/Trocken-Kreislauf
- Bewitterungstest
- Versiegelungstest

Veränderungen der Eigenschaften der Muster unter diesen definierten Bedingungen, insbesondere die Veränderungen bei der Bildung von Ausblühungen, sind vergleichbar. Die visuelle Untersuchung der Muster vor und nach der Behandlung gibt erste Anhaltspunkte, wie gross ihr Potential zur Ausbildung von Ausblühungen ist. Die Annahme, dass die relative Leistung der entsprechenden Materialien im Labortest auch im Bau beibehalten werden kann, macht die folgenden quantitativen Tests nützlich für die Bewertung:

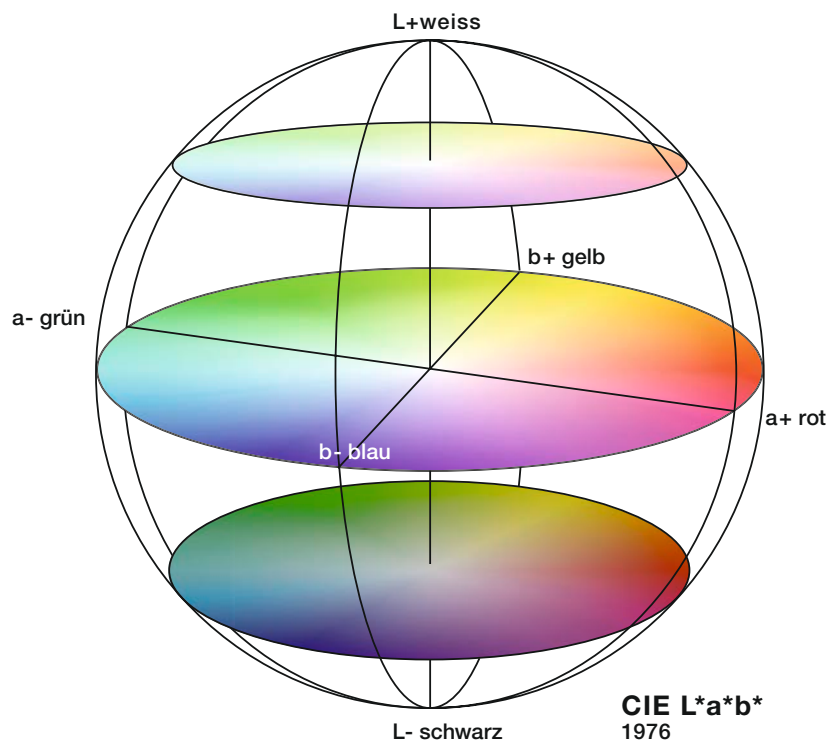
- Messung des Salzgehaltes, z.B. durch spezielle Behandlung der Muster, durch Röntgenuntersuchungen und andere analytische Methoden
- Messung der Betondichte
- Messung der Wasserabsorption des Betons
- Messung der Durchlässigkeit des Betons
- Messung des Saugvermögens des Betons
- Messung der Helligkeit des Betons

Die letztgenannte Methode reflektiert den subjektiven Eindruck der Ausblühungen am ehesten. Sie misst die Veränderungen der Helligkeit auf einer Betonoberfläche, z.B. ausgelöst durch die Bildung von Ausblühungen. Für diesen Zweck wird ein geeignetes Spektrophotometer eingesetzt, das die Bestimmung der relevanten Parameter gemäss dem internationalen CIE L\*a\*b\*-System (Abbildung 13) erlaubt.

Diese Tests stellen ein Mittel für das Vergleichen des Ausblühungspotentials bei unterschiedlichen Betonarten dar. Sie können nicht als Akzeptanztest genutzt oder spezifiziert werden, denn die Bildung von Ausblühungen auf Beton im Bau wird von den jeweils vorhandenen Bedingungen, denen er ausgesetzt ist bestimmt und nicht von Ergebnissen unter künstlichen Laborverhältnissen. Die Vorgeschichte der Muster vor dem jeweiligen Test kann nicht kontrolliert werden, beeinflusst aber dennoch die Testergebnisse massgeblich.

Diese Labortests sind sensitiv gegenüber dem Alter des Betons und der Verdunstungsrate (Temperatur, Feuchtigkeit und Luftzirkulation) und daher am Besten dazu geeignet, Materialien gleichen Alters zur gleichen Zeit oder aber unter streng kontrollierten Laborbedingungen zu vergleichen.

Die Messungen von Dichte und Absorption sind die am wenigsten bevorzugten Methoden, da sie die Widerstandsfähigkeit gegen Wasserwanderung nicht in Betracht ziehen, welche jedoch ein Hauptfaktor für die Bildung von Ausblühungen ist.



**Abbildung 13**

Tragbares Farbphotometer von BYK-Gardner zur quantitativen Erfassung von Ausblühungen mittels Helligkeitsveränderung nach dem CIE L\*a\*b\* System.

## 7. Die Kontrolle von Ausblühungen durch Zusätze

Zusätze für Beton sind Materialien, die kein Wasser, keine Zuschlagstoffe und keine zementartigen Materialien sind. Sie werden als Bestandteil von Beton benutzt und in kontrollierten Mengen sofort oder während des Mischens der Mischung zugegeben, um gewünschte Modifikationen der Eigenschaften des frischen oder ausgehärteten Betons zu bewirken. Zusätze für die Kontrolle von Ausblühungen sind dafür geeignet, Ausblühungen vor ihrer Entstehung zu bekämpfen (Abbildung 14).

Zusätze können dazu benutzt werden, die Verdichtung des Betons zu verbessern, z.B. seine Porosität (Kapillarporen) und die Wasserdurchlässigkeit im Allgemeinen zu reduzieren. Sie ermöglichen aber auch, den w/z-Wert zu optimieren und dabei die erforderliche Verarbeitbarkeit des Betons beizubehalten. Wasserreduzierer, aber auch Zusätze, die in der Lage sind, Wasser zurückzuhalten oder freizugeben, können in dieser Art und Weise wirken. Sie sollten jedoch keine grossen Mengen an hochlöslichen Ionen wie Natrium, Kalium, Chloride oder Sulfate enthalten. Bei steif-plastischem Beton tragen oberflächenaktive Stoffe zu einer verbesserten Rheologie und Verdichtung bei, indem sie die Tribologie zwischen den Mischstoffen positiv beeinflussen. Dennoch muss während des Mischvorganges das Zumischen von Luft kontrolliert werden.

Zusätze wie interne Nachbehandlungsmittel oder Dichtungsmittel können Dank der Hydrophobierung aller Oberflächen (innen und aussen) oder der Stabilisierung der Kapillaren effektiv gegen Ausblühungen wirken, vorausgesetzt, dass ihr Gehalt an löslichem Salz gering ist und dass beim Mischen keine zusätzliche Luft eingebracht wird. Indem sie die Verdunstung des Mischwassers verhindern und das Eindringen von externem Wasser stoppen, beeinflussen sie den relevanten Materialtransportmechanismus des Betons in starkem Masse.

Integrale wasserabweisende Stoffe wie z.B. Stearate und Silikone reduzieren den Kapillarsog, haben aber nur geringen Effekt auf die Wasserdurchlässigkeit. Auf diese Weise können sie primäre Ausblühungen, verursacht durch vorzeitiges Trocknen, reduzieren, jedoch nicht Ausblühungen, die durch Wassertransfer durch Schwerkraft oder Druck ausgelöst wurden. Auf der anderen Seite können wasserreduzierende Zusätze und integrale Wasserdichtmittel (basierend auf Zement oder anderen Feinpartikeln), die zur Herstellung einer feineren Porenstruktur benutzt werden, die Wasserdurchlässigkeit reduzieren, jedoch nicht den Kapillarsog.

Zusätze, die Natrium und Kalium enthalten, können das Risiko von löslichen Ausblühungen erhöhen. Abhängig von der Porenstruktur des gehärteten Zements können Zusätze die Porenstruktur beeinflussen und sie mehr oder weniger widerstandsfähig gegen Wasserbewegungen machen.

Die am weitesten fortgeschrittene Technologie für Zusatzmittel entwickelte spezielle Polymere, die dazu geeignet sind, das Porennetzwerk zu stabilisieren, z.B. durch die Isolation von Ionen. Die Optimierung von Parametern wie Hauptkettenlänge, Seitenkettenlänge, Seitenkettendichte und Ladungsdichte bietet neue Möglichkeiten, die Porenoberfläche von Beton auf Nano-Niveau aktiv zu beeinflussen. Wenn der Beton einmal aus der Perspektive der Mischgestaltung für seinen Zweck optimiert wurde, ist die Möglichkeit, das Produkt nach dem Betonieren vor externen Einflüssen zu schützen, immer noch gegeben, z.B. durch Oberflächenbehandlung mit Imprägniermitteln, Beschichtungen oder Versiegelungen.

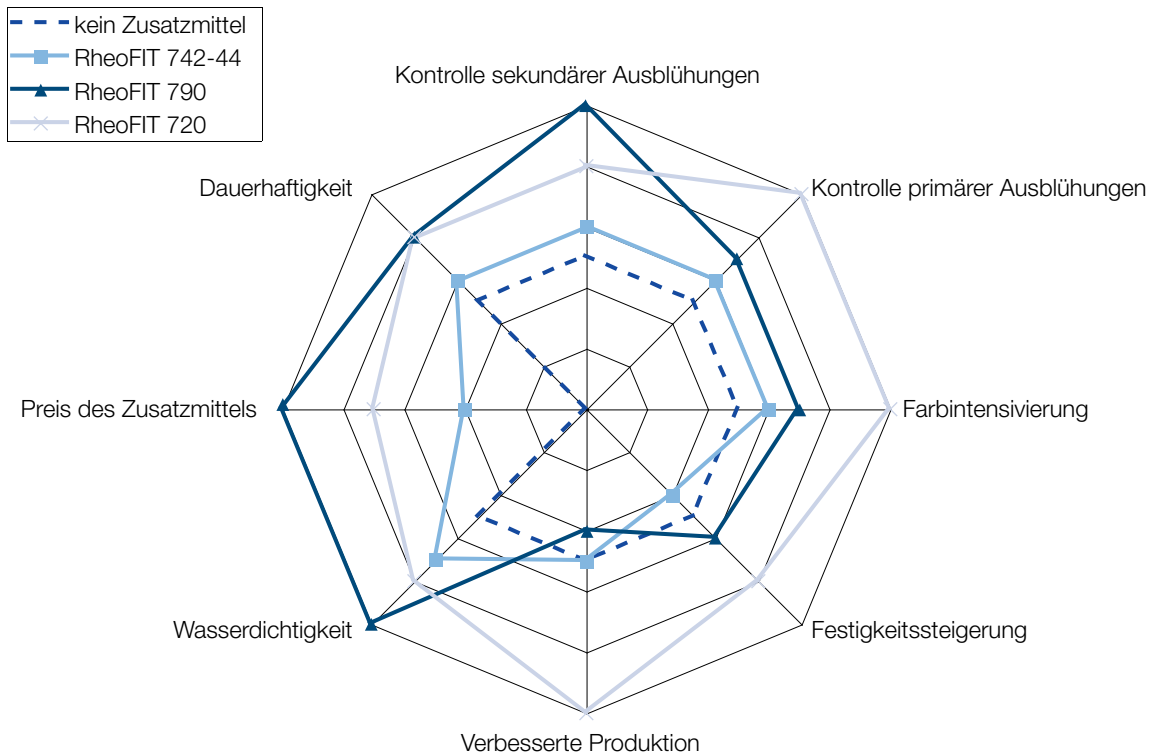
Silane, Siloxane und Silikone sind geeignete Wasserabweiser für Oberflächen, die Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Siloxane und Silikone sind grössere Moleküle und sind besser geeignet für poröse Materialien wie Pflastersteine und Baublöcke, insbesondere, da sie, obwohl sie über einen niedrigeren Verdunstungsdruck verfügen, immer noch leicht und in ausreichendem Masse in die Oberfläche eindringen können und so einen lang anhaltenden Schutz bieten. Filmbildende Behandlungen müssen kohlendioxidundurchlässig sein. Acrylat-Emulsionen und lösungsmittelbasierte Stoffe sind auch geeignet.



**Abbildung 14**  
Die Kontrolle von Ausblühungen durch den Einsatz von Zusätzen

## 8. BASF – Adding Value to Concrete

Wenn die zuvor genannten, allgemeinen Grundsätze in Betracht gezogen und für jede Art der Anwendung optimiert werden, lässt sich das Risiko für Ausblühungen erheblich reduzieren. BASF Construction Chemicals nähert sich dem Thema von zwei Seiten: zunächst über die Optimierung der Aufbereitung der Mischung und dann über den Gebrauch eines geeigneten Zusatzes zur Kontrolle der Ausblühungen (Abbildung 15). Diese Kombination verhindert die Bildung von Ausblühungen vorab und minimiert ihr störendes Erscheinungsbild dauerhaft.



**Abbildung 15**

Mehrwert durch RheoFIT®-Zusatzmittel im Vergleich mit unbehandeltem Beton

BASF Construction Chemicals ist einer der führenden Lieferanten für innovative chemische Betonzusätze. Insbesondere die Hersteller von Betonwaren wie Pflastersteinen, Baublöcken und Landschaftsteinen sind von dem Problem der Ausblühungen betroffen. Die Antwort auf die Bedürfnisse der Industrie ist als FIT 4 VALUE Konzept bekannt, bei dem alle Schritte des Prozesses, die zu hochwertigen Produkten führen, darauf ausgerichtet sind, die vier für die Hersteller von Betonwaren grundlegenden Elemente zu berücksichtigen:

- FIT für Wirtschaftlichkeit
- FIT für Leistung
- FIT für Ästhetik
- FIT für Dauerhaftigkeit

FIT heisst, allen Anforderungen für Wirtschaftlichkeit, Leistung, Ästhetik und Dauerhaftigkeit zu genügen. Die RheoFIT® Produkte wurden speziell dazu entwickelt, um die Aufbereitung der Mischung zu optimieren, die Toleranz gegenüber dem Mischwasser zu verbessern, den Produktionsprozess zu beschleunigen, die Dauerhaftigkeit von Betonwaren zu verlängern und insbesondere, um ihr ästhetisches Erscheinungsbild zu maximieren, ganz besonders in Hinblick auf die Kontrolle von Ausblühungen.

Mit dem klaren Kundenansatz gemäss des FIT 4 VALUE Konzepts wird den Partnern aus der Industrie ein einzigartiger Vorteil geboten. Innerhalb einer systematischen Projektumsetzung spielt die speziell entwickelte Methode von BASF zur Produktionseffektivität eine zentrale Rolle, da die verlässliche Simulation des Produktionsprozesses von Betonwaren hier erreicht wird.

Die Kombination aus dieser Labormethode zusammen mit der fundierten Erfahrung mit Zusätzen versetzt die Experten der BASF in die Lage, die vorteilhaftesten Zusatzmittel für die Optimierung von Betonmischungen und die Kontrolle von Ausblühungen zur Verfügung zu stellen. Diese Innovation entspricht der BASF-typischen Zielrichtung hin zu technischer Entwicklung und dem Wunsch, mit den Herstellern von Betonwaren partnerschaftlich zusammenzuarbeiten.

Wenn Sie weitere Informationen oder Rat wünschen, können Sie sich hier gleich mit den Experten von BASF in Verbindung setzen; [www.basf.com](http://www.basf.com), [info-ase@basf.com](mailto:info-ase@basf.com).



# Literatur

«Efflorescence in concrete», Information bulletin IB44, Cement & Concrete Association of New Zealand (CCANZ), 2004.

«Ausblühungen – Entstehung, Vermeidung, Beseitigung», Zement-Merkblatt Betontechnik B27, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, 12.2003.

«Concrete Masonry Structures – Cleaning and Maintenance», Concrete Masonry Walling MA41, Concrete Masonry Association of Australia (CMAA), 2000.

«The Origins of Efflorescence in Concrete and Concrete Products», QCL Group Technical Notes, QCL Group of Companies, pp. 1 – 5, March 1999.

Werner Beer and Gerd Bolte, «Neue Betonwarenzemente mit ausblühvermindernder Wirkung», Beton+Fertigteil-Technik BFT 2/2005, Kongressunterlagen der 49. Ulmer Beton- und Fertigteil-Tage, pp. 34-35, 2005.

Horst-Michael Ludwig, «Betonwarenzement zur Reduzierung weisser und brauner Ausblühungen», Beton-Information 1, pp. 8-10, 2004.

F. MacGregor Miller and John M. Melander, «Efflorescence – A Synopsis of the Literature», Proceedings of the Ninth North American Masonry Conference, The Masonry Society, 2003.

Adam Neville, «Efflorescence – Surface Blemish or Internal Problem? Part 1: The Knowledge», Concrete International 24 (8), pp. 86-90, 2002.

Adam Neville, «Efflorescence – Surface Blemish or Internal Problem? Part 2: Situation in Practice», Concrete International 24 (9), pp. 85-88, 2002.

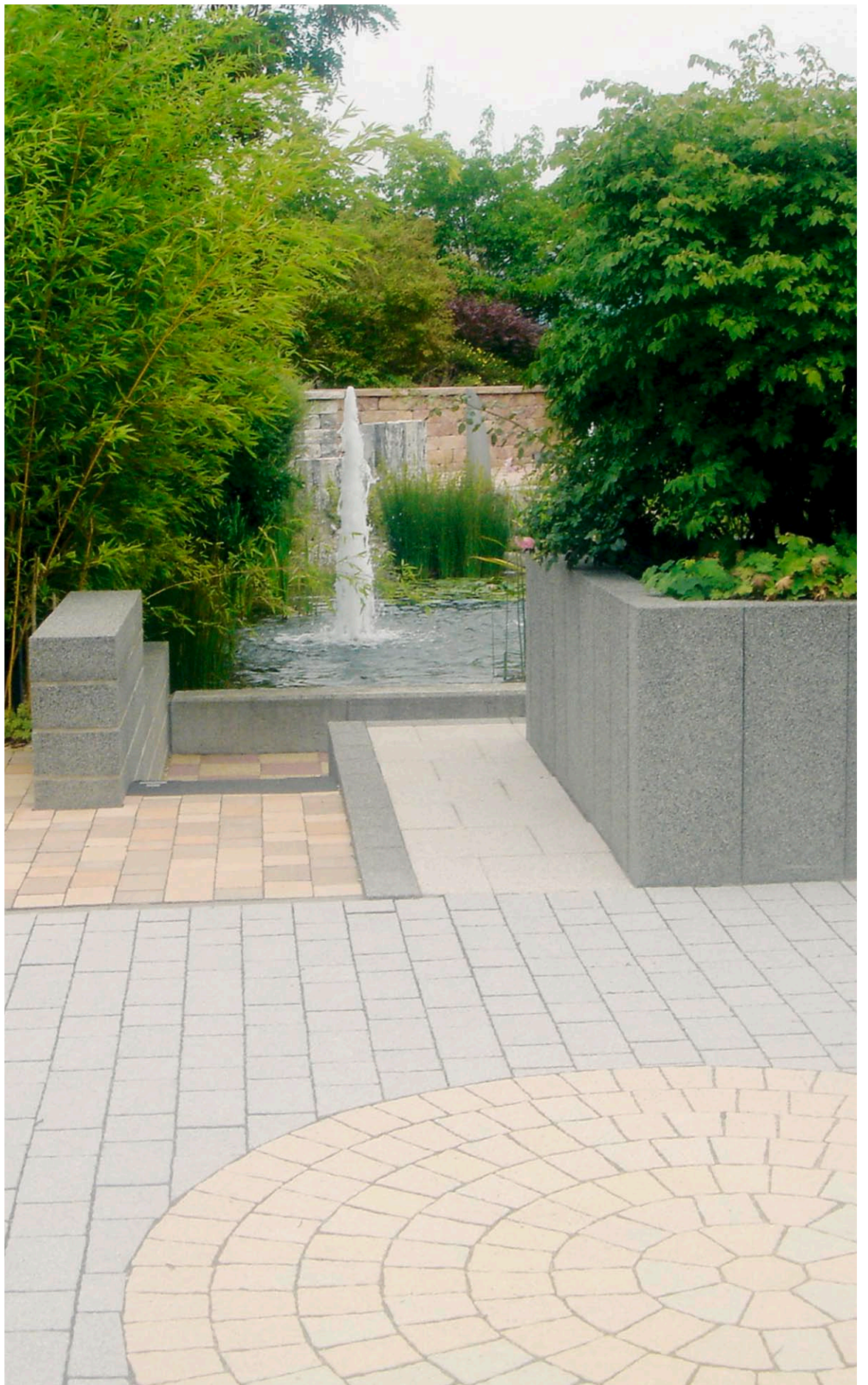
Thomas Vickers and Mosongo Moukwa, «Evaluation of Test Methods and Environmental Conditions to Promote Efflorescence Formation Under Laboratory Conditions», Journal of Testing and Evaluation JTEVA 24 (2), pp. 80-83, 1996.

Peter Kresse, «Ausblühungen – Entstehungsmechanismus und Möglichkeiten ihrer Verhinderung», Beton+Fertigteil-Technik BFT 53 (3), pp. 160-168, 1987.

Bemerkung: Die hier aufgeführten Informationen haben nur einen allgemeinen Charakter und ersetzen bei bestimmten Projekten nicht die Inanspruchnahme von professionellen Dienstleistern. Eine Haftung wird hiermit ausgeschlossen.

## Autoren

Michael Kompatscher, Stefan Ingrisch und Nicoletta Zeminian, 01. Juli 2007



BASF Construction Chemicals Europe AG

Vulkanstrasse 110

CH-8048 Zürich

Tel. +41 58 958 22 11

Fax +41 58 958 32 55

Büro Ecublens:

Tel. +41 58 958 20 91

Fax +41 58 958 30 91

[www.basf-admixtures.ch](http://www.basf-admixtures.ch)

BASF Construction Polymers GmbH

Geschäftsbereich Betonzusatzmittel

Ernst-Thälmann-Str. 9

D-39240 Glöthe

Tel. +49 39266 98-310

Fax +49 39266 98-351

[www.basf-cc.de](http://www.basf-cc.de)

BASF Construction Chemicals Austria GmbH

Roseggerstrasse 101

A-8670 Krieglach

Tel. +43 3855 2371-0

Fax +43 3855 2371-23

[www.basf-cc.at](http://www.basf-cc.at)