



Ausblühungen – im weitesten Sinne als unerwünschte Verfärbungen auf Oberflächen von Bauteilen und Bauwerken bekannt – treten praktisch in Verbindung mit vielen Massivbaustoffen, z.B. Sandsteinen, Ziegelmauerwerk, Betonbauteilen, insbesondere im jungen Alter und vorzugsweise im Frühjahr und Herbst auf. Sie zeigen immer die mangelnde Lösung – Planung und/oder Ausführung – des Feuchte- und Wassertransportes im Bauwerk an. Die Mechanismen zur Entstehung von Ausblühungen sind bei den verschiedenen massiven Baustoffen unterschiedlich. Ausblühungen beeinträchtigen im Allgemeinen nicht die mechanischen Eigenschaften des Bauteils oder Bauwerks. Im Folgenden werden nur Ausblühungen auf Betonoberflächen betrachtet.

1 Ausblühungen auf Betonoberflächen

Ausblühungen sind weiße, schleierartige bis fleckige Beläge auf Betonoberflächen (siehe Bild 1 und Bild 2). Sie können vor allem im trockenen Zustand die Farbe verändern und damit das Erscheinungsbild und Aussehen von sichtbaren Betonoberflächen beeinträchtigen. Ausblüh-



Bild 1: Ausblühungen an paketierten Pflastersteinen in einem Werk für Betonwaren



Bild 2: Ausblühungen und Aussinterungen an einer Brettgeschalteten Betonoberfläche

ungen haben keinen Einfluss auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit und damit auf die Gebrauchseigenschaften des Betons.

Erreichen die oberflächigen hellen Ablagerungen durch dauerhafte Wasserführung im Bauwerk die Dicke von Krusten und Ablagerungen, wie sie z. B. an älteren Stau-mauern, Brücken und Stollenauskleidungen gelegentlich auftreten, spricht man von Kalkaussinterungen.

Ausblühungen an Ortbetonbauteilen, Fertigteilen, Flächenbefestigungen mit Betonwaren u. a. können nicht ziel-sicher vermieden werden. Sie hängen mit der Feuchtezu-fuhr bzw. der Durchfeuchtung des Betons zusammen und können durch Bauwerksplanung und Ausführung beein-flusst werden.

Ausblühungen auf Betonoberflächen sind in der Regel Abscheidungen von in Wasser schwer löslichem Kalzium-karbonat. Sie sind nicht gleichzusetzen mit Ausblühungen an Bauteilen wie Klinker und Dachziegel. Bei den Aus-blühungen an keramischen Klinkern und Dachziegeln han-delt es sich um Ablagerungen vorzugsweise von Alkalisul-faten.

2 Zementhydratation, Karbonatisierung und Ausblühungen

Sofort nach der Wasserzugabe beginnt der Zement in einer Betonmischung zu reagieren. Die Reaktion der wesent-lichen Klinkerbestandteile des Zements, der Kalziumsili-kate, mit Wasser führt zu den festigkeitsbildenden Kalzium-silikathydraten (C-S-H-Phasen). Dabei wird Kalzium-hydroxid freigesetzt. Bei vollständiger Reaktion von 300 kg Portlandzement (CEM I) können z. B. bis zu 90 kg Kalzi-umhydroxid (Portlandit) entstehen. Dieses Kalziumhydroxid ist nur zu einem geringen Teil im Porenwasser gelöst und liegt überwiegend als nicht festigkeitsbildender Portlandit im Zementstein vor.

Das im Porenwasser gelöste Kalziumhydroxid stellt ei-nen pH-Wert > 12 sicher und gewährleistet die dauerhafte Stahlpassivierung. Die Korrosion der Bewehrung im Stahl-beton wird damit verhindert.

Latent hydraulische Stoffe wie z. B. Hüttensand benö-tigen das Kalziumhydroxid zur Anregung der eigenen Hydratation. Das Kalziumhydroxid wird teilweise in die kalkärmeren C-S-H-Phasen eingebunden.

Puzzolanische Stoffe wie z. B. Trass, Flugasche, Mikro-silika verbrauchen bei ihrer Hydratation hingegen Kal-ziumhydroxid. Der entstehende Portlandit aus der Reaktion des Portlandzementklinkers wird in die Hydratationspro-

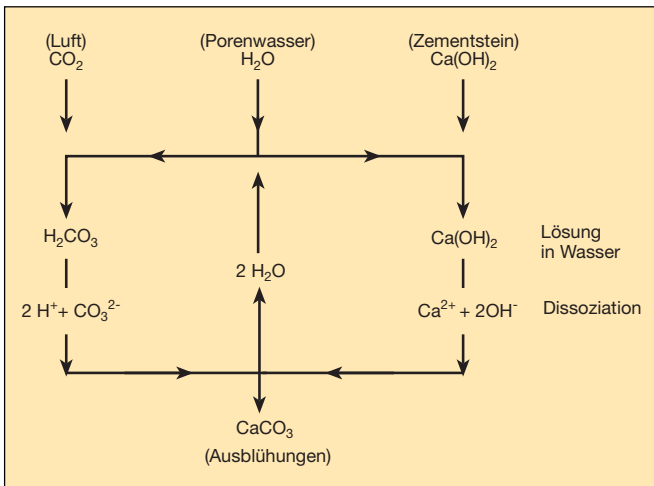


Bild 3: Schematische Darstellung der Lösungsgleichgewichte und Entstehung von Ausblühungen auf Betonoberflächen

dukte der puzzolanischen Stoffe eingebaut und verbraucht. Durch puzzolanische Stoffe wird die Kalziumhydroxidreserve aus hydratisierenden PZ-Klinkern reduziert. Bei richtiger Zusammensetzung steht aber immer genügend Kalziumhydroxid zur Verfügung, um den Korrosionsschutz der Bewehrung im Stahlbeton sicherzustellen.

An der Oberfläche eines Betonkörpers steht das Porenwasser des Betons mit dem Zementstein und der angrenzenden Atmosphäre im Lösungsgleichgewicht. Gleichzeitig können sowohl Teile des Porenwassers verdunsten als auch Teile der umgebenden Luft, insbesondere das Kohlendioxid, im Porenwasser in Lösung gehen. Löst sich CO_2 im Porenwasser, kann sich Kalziumkarbonat bilden; die Karbonatisierung beginnt. Jedes weitere in Lösung Gehen von CO_2 bildet zwangsläufig weiteres CaCO_3 . Ist das gesamte Kalziumhydroxid aus der Zementhydratation über die Porenlösung in Kalziumkarbonat umgesetzt, fällt der pH-Wert auf Werte < 9 , der Beton ist karbonatisiert, die Stahlpassivierung ist nicht mehr gegeben.

Die Bildung des Kalziumkarbonats im Porenwasser von Zementstein wird wesentlich beeinflusst durch

- den Feuchtegehalt des Festbetons,
- die Kontaktfläche des Betons mit der umgebenden Luft,
- die Temperatur des Porenwassers und
- die Temperaturgradienten Kern – Rand im feuchten Beton.

Entsteht das Kalziumkarbonat (CaCO_3) vornehmlich an der Betonoberfläche, bilden sich nach der Wasserverdunstung die sogenannten Ausblühungen. Schematisch sind die Lösungsgleichgewichte und die Entstehung von Ausblühungen auf Betonoberflächen in Bild 3 dargestellt.

Schreitet die Karbonatisierung im Laufe der Zeit ins Innere der Betonrandzone fort, bildet sich das jeweils entstehende Kalziumkarbonat im Inneren des Betonkörpers und ist nicht als Ausblühung sichtbar.

Sinkt die Lufttemperatur, dann verschiebt sich die Ausscheidungszone des Kalziumkarbonats näher an die Betonoberfläche und die Möglichkeit sichtbarer Ausblühungen wächst.

Trocknet der Beton an der Oberfläche aus, werden die Lösungs- und Diffusionsvorgänge unterbrochen. Es können sich keine Ausblühungen an der Oberfläche bilden.

Wird bereits ausgetrockneter Beton, insbesondere im frühen Alter, wieder vollständig durchfeuchtet, so kann sich wieder Kalziumkarbonat abscheiden und als Ausblühung abzeichnen. Die Ausbildung von Ausblühungen wird verstärkt, wenn sich auf horizontalen Betonflächen Wasserlachen bilden oder das überstehende Wasser über geneigte Flächen abfließt und sich auf der Oberfläche Kalziumkarbonat abscheidet.

3 Folgerungen für die Praxis

Ausblühungen als Ablagerungen von Kalziumkarbonat an der Betonoberfläche werden an betongrauen Oberflächen im Mittel sichtbar, wenn sich mehr als 3 - 4 mg $\text{CaCO}_3/\text{cm}^2$ Oberfläche ablagern. In Abhängigkeit von der Menge des abgelagerten Kalziumkarbonats und den eingeschlossenen Verunreinigungen, z. B. Staub, variiert die Farbe von reinweiß bis weiß-grau. Auf farbigen Betonoberflächen sind bereits geringere Ablagerungsmengen an Kalziumkarbonat sichtbar.

Die Ausgangshelligkeit und die Farbe des Betons beeinflussen wesentlich das Erkennen der Ausblühungen mit bloßem Auge. Insbesondere bei dunklen und eingefärbten Betonen, wie sie vorrangig im Betonwarenbereich anzutreffen sind, werden Ausblühungen früher und stärker wahrgenommen.

Ausblühungen sind nicht vollständig vermeidbar. Dies gilt insbesondere auch für Sichtbeton. Herstellungstechnisch können an Ortbetonbauteilen sowohl an vertikalen als auch an horizontalen Bauteilen einzelne Kalkfahnen nicht vollständig vermieden werden.

Die im Beton verwendete Zementart hat nur einen geringen Einfluss auf die Ausblühneigung. Ausblühungen werden immer dann begünstigt, wenn

- sich auf waagerechten Flächen aus jungem Beton sichtbar Wasser bildet (z. B. Nassnachbehandlung, Kondenswasser an aufliegenden Folien), an geneigten Flächen aus jungem Beton Wasser an bevorzugten Wasserbahnen abläuft (z. B. aus Schalungsankerlöchern, Abfluss von Wasser auf der Mauerkrone) oder an „grünen“ Betonwaren der Austrocknungsprozess durch Wasserzuführung (Regenwasser, Kondenswasser u. a.) verzögert oder umgekehrt wird. Das Oberflächenwasser steht in direktem Kontakt mit dem Porenwasser des frischen Betons und besitzt einen Überschuss an Kalziumhydroxid.
- bevorzugt frische Betonwaren, insbesondere bei tieferen Temperaturen (höhere Löslichkeit von Kalziumhydroxid) nicht über die Gesamtoberfläche sondern nur über Teilflächen austrocknen. Demzufolge ist bei kühler Witterung, z. B. Herbst und Frühjahr, verstärkt mit Ausblühungen zu rechnen.
- an ausgewählten Stellen des Betonbauwerks (z. B. Verdichtungsporen, Risse) ständig Porenwasser mit gelöstem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ verdunstet, das aus dem Inneren nachgeliefert wird. Die ständige Verdunstung von Feuchtigkeit an exponierten Stellen ist in der Regel nur möglich, wenn dem Betonbauwerk laufend neue Feuchte zur Verfügung steht (unzureichende Wasserführung an der Betonoberfläche, aufsteigende Feuchte, mangelnde Dichte des Betonkörpers u. a.).

Ausblühneigungen werden gemindert oder vollständig vermieden, wenn

- die äußerste Oberfläche der Betonbauteile karbonatisiert ist. In diesem Fall kann auftreffendes Wasser kein Kalziumhydroxid mehr lösen und gelöstes Kalziumhydroxid kann nur innerhalb des Betonkörpers mit CO_2 reagieren. Das CO_2 der Luft dringt über Befeuchtungs- und Austrocknungsvorgänge in den Betonkörper ein. Es treten keine sichtbaren Ausblühungen auf.
- der Transport von Feuchte aus dem Betonkörper an die Oberfläche durch eine hohe Dichte des Zementsteins eingeschränkt wird. Je höher die Betonfestigkeit, desto dichter ist der Zementstein. Dadurch werden die Möglichkeiten ungleichmäßiger Ausblühungen eingeschränkt.
- die Durchfeuchtung von Betonkörpern mit anstehender Feuchte durch Hydrophobierung der Oberfläche eingeschränkt wird. Dies verlagert jedoch die Ausblühungen oft nur auf einen späteren Zeitpunkt.

4 Vorbeugende Maßnahmen

Vorbeugend können die nachfolgenden stofflichen, technologischen und konstruktiven Maßnahmen oder eine Kombination derselben angewendet werden. Hierdurch sind eine schnelle Karbonatisierung der Betonoberfläche und eine geringe Transportgeschwindigkeit von Kalziumhydroxid an die Oberfläche zu erreichen. Hilfreich ist in allen Fällen ein möglichst rissefreier und dichter Beton.

Da Ausblühungen die technischen Eigenschaften des Betons nicht beeinträchtigen, gelten die vorbeugenden Maßnahmen nur für sichtbar bleibende Betonflächen aus Ortbeton, Fertigteilen und Betonwaren.

Vorbeugend ist an Bauwerken mit Betonflächen aus Ortbeton und Fertigteilen insbesondere folgendes zu beachten:

- ❑ Konstruktiv ist alles zu unternehmen, um den nachträglichen Eintrag von Wasser in die Betonkonstruktion zu vermeiden. Wasser darf nicht auf oder über Betonflächen abgeleitet werden. Das Eindringen von Wasser ist durch einen dichten Beton, durch Abführen anstehenden Wassers oder durch einen Oberflächenschutz zu vermeiden.
- ❑ Die Auswirkungen aufsteigenden Wassers (Wassersaugen) sind durch wasserundurchlässigen Beton und eine darauf abgestimmte Konstruktion (z. B. Weiße Wanne) zu vermeiden. Mögliche Wasserführungen an Fugen, Rissen, Ankerlöchern u. Ä. sind besonders zu berücksichtigen.
- ❑ Bei Sichtbetonwänden sollte zum Schutz gegen Niederschläge der Spalt zwischen Schalung und Beton abgedeckt werden.
- ❑ Sichtbetonwände sollten nicht vor oder während stärkeren Niederschlägen entschalt werden. Nach dem Entschalen ist das unmittelbare Absprühen mit Wasser zu vermeiden.
- ❑ Auf horizontalen Sichtbetonflächen darf nach dem Entschalen je nach Betonzusammensetzung und Lagerungstemperatur Wasser erst nach fortgeschrittener Erhärtung stehen bleiben. Es empfiehlt sich, nicht mit Wasser nachzubehandeln, sondern die Flächen mit Folien abzudecken. Bei Verwendung von Folien ist die Kondenswasserbildung auf der Betonoberfläche oder den Folien weitgehend zu vermeiden.
- ❑ Auch bei der Nachbehandlung senkrechter Betonflächen dürfen die Folien die Betonoberflächen nicht berühren. Entsteht trotz Vorsorge auf den Folien Kondenswasser, darf das Wasser nicht mit der Betonoberfläche in Berührung kommen (Holzleiste als Abstandshalter bei Wänden). Mögliche Kaminwirkungen zwischen Folie und Betonoberfläche an senkrechten Bauteilen sind zu vermeiden.

An Betonoberflächen von Betonwaren ist vornehmlich zu beachten:

- ❑ Betonfertigteile und Betonwaren dürfen in den ersten Tagen nach der Herstellung nicht zu dicht gestapelt werden und nicht mit Nachbehandlungs- oder Niederschlagwasser in Berührung kommen. Es empfiehlt sich, sie mit Folien oder schwach feuchten Matten abzudecken oder sie in Wärmebehandlungskammern zu lagern. Gelegentlich reicht auch das Zwischenlagern in witterungsgeschützten Hallen. Insbesondere Fertigteile können auch mit einem farblos trocknenden, nicht klebrigen Hydrophobierungsmittel eingesprüht werden. Damit sich kein Kondenswasser bildet, sollte der Temperaturunterschied zwischen der feuchten Luft in der Wärmebehandlungskammer und den frisch entschalteten Betonteilen nicht zu groß sein.

5 Maßnahmen zur Beseitigung

Sind insbesondere bei Sichtbeton und Betonwaren Ausblühungen aufgetreten, so ist es in der Regel ratsam, zunächst nichts zu unternehmen, sondern den Beton austrocknen zu lassen. Oft bekommt die Betonfläche nach einiger Zeit wieder ein gleichmäßiges Aussehen.

Insbesondere an farbigen Platten auf Fußwegen entwickeln sich Ausblühungen auf der Oberfläche mit der Zeit immer langsamer und werden durch Witterung und Verkehrsbelastung abgetragen.



Bild 4: Ausblühungen nach 1 Woche



Bild 5: Ausblühungen nach 2 Monaten

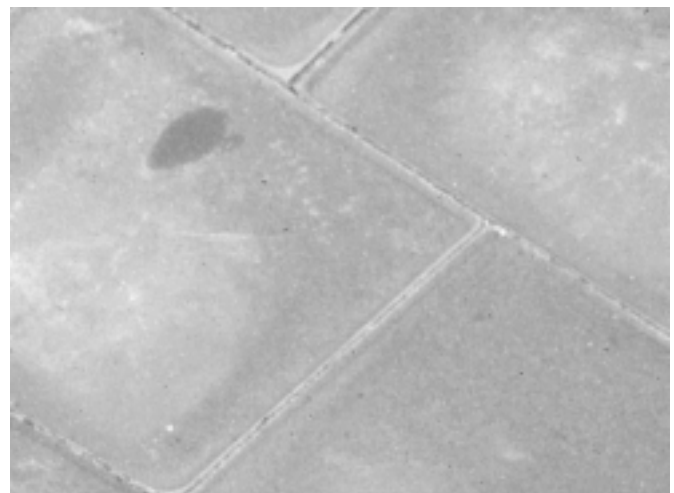


Bild 6: Ausblühungen nach 21 Monaten

In den Bildern 4 bis 6 wurden rotgefärbte Gehwegplatten auf einer geeigneten Wasser führenden Unterlage in Zementmörtel verlegt. Bereits nach 1 Woche traten erste schwache Ausblühungen auf den Plattenoberflächen auf. Nach 2 Monaten haben sich die Ausblühungen auf den Platten, auch durch Ausblühungen des Zementmörtels in den Fugen, erheblich verstärkt. Nach 21 Monaten sind die Ausblühungen immer noch vorhanden, wurden aber durch Witterung und Verkehrsbelastung deutlich vermindert.

Befriedigt das Aussehen der Betonfläche auch später nicht und ist die Ursache der Ausblühung bekannt und abgestellt, können die Ausblühungen durch eine Behandlung mit verdünnter Säure (z. B. 10%-ige Phosphorsäure) oder geeigneten Mitteln (z. B. Zementschleierentferner) bzw. durch hydromechanische Verfahren entfernt oder gemildert werden. Werden Produkte der Bautenschutzmittel-Industrie eingesetzt, so ist nach der Anweisung des Herstellers zu verfahren.

Vor einer Behandlung mit verdünnter Säure ist der Beton gut anzunässen und nachher mit Wasser gründlich abzuspritzen, damit keine Säurereste im Beton verbleiben. Säurebehandlungen

sollen bei bedecktem Himmel und windstillem Wetter ohne Unterbrechung durchgeführt werden, damit Farbunterschiede durch ungleiches Abtrocknen möglichst vermieden werden.

Es ist zu beachten, dass durch eine Beseitigung der Ausblühungen nicht in jedem Falle eine vollkommen gleichmäßige Betonfläche erzielt wird. Insbesondere können danach Struktur- und Farbunterschiede stärker hervortreten. Die Beseitigung von Ausblühungen an Sichtflächen eingefärbter Betone muss im Allgemeinen besonders sorgfältig ausgeführt werden, um Ungleichmäßigkeiten im Aussehen zu vermeiden.

6 Literatur

Walz, K.; Bonzel, J.: Ausblühungen auf Betonoberflächen. beton 12 (1962), H. 3, S. 115-120

–: Witterung und Kalkausblühungen, Cementbulletin, 1976, H. 6

–: Entfernung von Ausblühungen und Verschmutzungen von Betonpflastersteinoberflächen, Anwendungstechnische Informationen, Bayer AG, 7/91

Plöhn, J.: Ausblühungen – ein latent vorhandenes Ärgernis, Lafarge Forum, 2/2001

Bauberatung Zement



Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:BDZ@BDZement.de