

Ausblühungen auf Betonflächen

Von Kurt Walz und Justus Bonzel, Düsseldorf

Übersicht

Auf Flächen von Betonbauwerken und von Betonwaren können weiße Ausblühungen auftreten, die nicht zu den Alkaliausblühungen gehören, wie sie manchmal an Ziegelmauerwerk festgestellt werden. Es handelt sich auch nicht um Aussinterungen, die beim Durchsickern des Wassers auf undichtem Beton oder unter Arbeits- und Betonierlugen entstehen. Nach den Erfahrungen, die bei den Untersuchungen im Laboratorium sowie an Bauwerken und Betonwaren gewonnen wurden, treten solche Ausblühungen auf, wenn Wasser zwischen Schalung und Betonflächen gelangt, auf frisch entschalteten Betonflächen längere Zeit haftet oder wenn Wasser auf einer Fläche Kalk aufnimmt und anschließend über andere Betonflächen abfließt.

Solche Ausblühungen entstanden unabhängig von der Art und Güte des Zements. Auch die Zusammensetzung, die Dichtigkeit und das Alter des Betons hatten keinen Einfluß, wenn die Betonfläche wegen der dichten Schalung nicht austrocknen und oberflächlich karbonatisieren konnte. Bisher fanden sich keine Betonzusätze, die Ausblühungen auf jungem Beton deutlich verminderten.

Zur Vermeidung von Ausblühungen ist vor allem dafür zu sorgen, daß Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser nicht zwischen Betonfläche und Schalung gelangt und auf frisch entschalteten Flächen nicht längere Zeit haftet.

Zur Nachbehandlung sind daher frei liegende oder frisch entschaltete Flächen, die ein sehr gleichmäßiges Aussehen erhalten sollen, in den ersten Tagen gegen Austrocknen nur durch Abdecken und Abhängen mit dichten oder feucht zu haltenden Bahnen so zu schützen, daß Wasser die Betonflächen nicht direkt benetzt.

Das gleiche gilt sinngemäß für Betonwaren. Hier ist auch darauf zu achten, daß Massenwaren, wie z. B. Platten, anfanglich mit einem Luftzwischenraum gestapelt werden oder daß bei einer Behandlung in Wärmekammern durch langsames Aufheizen ein stärkerer Kondenswasserniederschlag vermieden wird.

1. Allgemeines

Helle, schleierartige Verfärbungen auf Betonflächen von Bauwerken, Fertigteilen und Betonwaren bezeichnet man im allgemeinen als Ausblühungen, sie sind als Schönheitsfehler zu werten. Dickere, überwiegend aus Calciumcarbonat bestehende Krusten und Ablagerungen findet man andererseits an älteren Stauwauern, Brückenwiderlagern, Stollenauskleidungen usw. Dabei handelt es sich um Kalksinter, der entsteht, wenn Beton vom Wasser durchsickert wird. Die Ursachen hierfür sind undichter Beton, einzelne porige Stellen oder nicht wasserdichte Arbeits- und Betonierfugen. Bild 1 zeigt ein Brückenwiderlager, auf dem durchsickerndes Wasser Kalksinter gebildet hat.



Bild 1 Widerlager einer Brücke mit Kalksinter

Auch die weißen, hauchdünnen Ausblühungen, die an Bauwerken und Betonwaren aus Beton hoher Güte und Dichtigkeit beanstandet werden, entsprechen stofflich im wesentlichen dem Kalksinter. Da dabei der Beton vom Wasser jedoch nicht durchflossen wird, müssen sie auf andere Weise wie der Kalksinter entstehen. Sie wurden häufig in den kühleren und feuchteren Monaten des Frühjahrs und Herbstes beobachtet. Bild 2 zeigt Ausblühungen auf den Flächen einer Betonbrücke.

Die Untersuchungen sollten klären, wie solche Ausblühungen entstehen und wie sie vermieden werden können.

2. Überlegungen zum Entstehen der Ausblühungen

Um wirksame Maßnahmen zur Vermeidung der Ausblühungen empfehlen zu können, muß ihre Entstehungsursache bekannt

sein. Eine notwendige Voraussetzung für das Entstehen der Ausblühungen auf Flächen dichter Betone ist Wasser, welches Kalkhydrat gelöst hat und auf der Betonfläche verdunstet. Beim Verdunsten des Wassers bleibt das Kalkhydrat auf der Betonfläche zurück und verwandelt sich bei Luftzutritt in Calciumcarbonat. Für das Entstehen der Ausblühungen kommen als Wasser die Eigenfeuchtigkeit des Betons und „Fremdwasser“ (z. B. Nachbehandlungs- und Niederschlagswasser) in Betracht.

Das im jungen Beton vorhandene Wasser ist immer kalkgesättigt. Günstige Bedingungen für das Entstehen der Ausblühungen könnten vorhanden sein, wenn beim Austrocknen die Eigenfeuchtigkeit erst auf der Betonfläche verdunstet und sich keine tiefer liegende Verdunstungszone ausbildet, wie u. U. bei feuchtem und windstillem Wetter. Der Wassertransport im Beton nach außen hin wird begünstigt, wenn – wie bei kühlerem Wetter und größeren Querschnitten – der Kern wärmer ist als die Oberfläche (Schwitzwasser). Ist dagegen die Temperatur der Oberfläche wärmer als die der umgebenden Luft, so kann auch bei feuchtem Wetter (je nach Temperatur und Luftfeuchte) die Verdunstungszone bereits im Beton liegen. Es wurde erwogen, inwieweit auch Kondenswasser, das sich z. B. an der Innenseite von kälteren Schalungen oder zwischen gestapelten Betonwaren bildet, zu Ausblühungen führen kann.

Auch Nachbehandlungs- und Niederschlagswasser („Fremdwasser“) kommt mit jungen Betonflächen in Berührung und kann sich zwischen Schalung und Betonfläche oder zwischen gestapelten Betonwaren längere Zeit halten. Es sättigt sich dabei ebenfalls mit Kalk ab, der auf der Betonfläche zurückbleibt.

Niedere Temperaturen können das Entstehen der Ausblühungen auch deshalb begünstigen, weil dann die Löslichkeit des Kalkhydrats etwas größer ist.

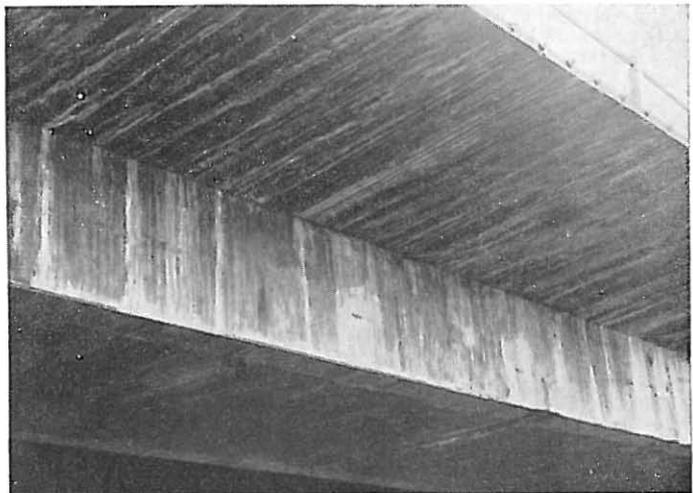


Bild 2 Ausblühungen an der Unterseite einer Spannbetonbrücke

3. Versuche über das Entstehen von Ausblühungen *)

3.1 Verfahren

Den Versuchen über das Entstehen der Ausblühungen lagen die Überlegungen des Abschnittes 2 zugrunde. Dabei sollten die Versuchsbedingungen den in der Praxis herrschenden Verhältnissen möglichst nahe kommen. Es wurden folgende Vorgänge untersucht: Verdunsten der Eigenfeuchtigkeit (Schwitz- und Kondenswasserbildung) und Benetzen der Betonfläche mit Fremdwasser.

Verfahren a: Verdunsten der Eigenfeuchtigkeit auf der Betonfläche (Schwitzwasserbildung)

Betonwürfel von 30 cm Kantenlänge wurden nach 1 Tag entformt, unmittelbar danach allseitig bis auf den Mittelteil einer Seitenfläche (Beobachtungsfläche) mit einer Polyäthylenfolie umhüllt und anschließend in einen abgedichteten und wärmeisolierten, aber nach einer Seite offenen Behälter eingebaut. Die Versuchsanordnung ist in Bild 3 dargestellt. Die Beobachtungsfläche des Betons war Luft von etwa 5 °C und etwa 100 % rel. Feuchtigkeit ausgesetzt, die ihr gegenüberliegende Fläche wurde auf etwa 30 °C erwärmt. Die Folie verhinderte ein Verdunsten der Eigenfeuchtigkeit auf fünf Würfelflächen und ermöglichte eine Feuchtigkeitswanderung zur kalten Beobachtungsfläche.

Verfahren b: Kondenswasserbildung an der Schalung

Diese Versuchsanordnung unterschied sich vom Verfahren a (Bild 3) nur dadurch, daß an die bei 5 °C gelagerte Beobach-

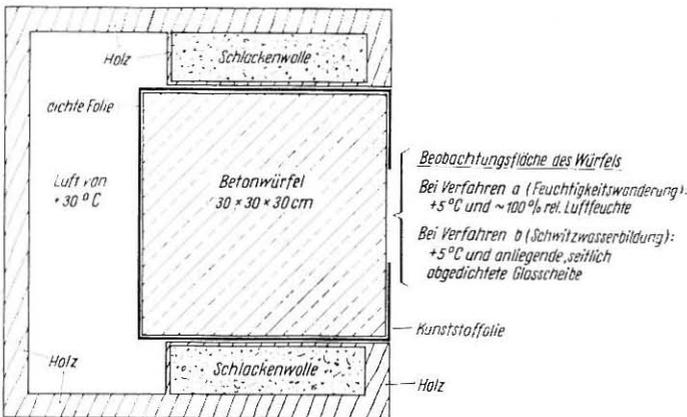


Bild 3 Versuchsanordnung für das Erzeugen von Ausblühungen nach den Verfahren a und b

*) Zwischenberichte wurden am 12. 12. 1958 während der 9. Sitzung des Beton-technischen Ausschusses des Vereins Deutscher Zementwerke und am 14. 9. 1960 während der Herbsttagung des Vereins Deutscher Zementwerke in Salzburg erstatet sowie bereits an einigen Stellen veröffentlicht [1, 2, 3]. — Die Versuche wurden größtenteils von Herrn Dipl.-Ing. Dahms durchgeführt.

Tafel 1 Eigenschaften der Zemente nach DIN 1164

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eigenschaften		Zement										
		A PZ 275 (wfr)	B PZ 275 (wbn)	C PZ 275 (bda)	D PZ 375 (nhr)	E PZ 375 (sbe)	F PZ 475 (wdcl)	G HOZ 275 (wmü)	H HOZ 275 (sab)	J HOZ 275 (wre)	K SHZ 275 (wre)	L TrZ (slb)
Erstarren	Beginn	2 h 45 m	2 h 40 m	4 h 55 m	2 h 35 m	2 h 35 m	2 h 25 m	5 h 30 m	4 h 50 m	5 h 25 m	2 h 55 m	2 h 40 m
	Ende	4 h 30 m	3 h 35 m	6 h 45 m	4 h 30 m	4 h 20 m	3 h 40 m	7 h 35 m	6 h 10 m	7 h 40 m	4 h 20 m	5 h 40 m
Rückstand auf Prüfsieb 0,09 DIN 4188 in %		5,4	5,7	2,4	4,1	2,7	0,3	2,0	0,7	0,1	2,4	1,0
Biegezugfestigkeit in kp/cm ² nach Tagen	1	—	—	—	—	—	41	—	—	—	—	—
	3	49	—	32	51	48	65	—	—	—	—	—
	7	63	57	48	63	63	79	62	52	44	67	41
	28	78	76	66	75	78	84	82	80	74	69	65
Druckfestigkeit in kp/cm ² nach Tagen	1	—	—	—	—	—	170	—	—	—	—	—
	3	251	—	149	242	232	341	—	—	—	—	—
	7	369	296	235	322	346	454	265	216	191	319	190
	28	487	421	343	415	519	558	439	403	341	453	323

Tafel 2 Zusammensetzung der Zemente

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bestandteile in Gew.-%		Zementle										
		A PZ 275 (wfr)	B PZ 275 (wbn)	C PZ 275 (bda)	D PZ 375 (nhr)	E PZ 375 (sbe)	F PZ 475 (wdcl)	G HOZ 275 (wmü)	H HOZ 275 (sab)	J HOZ 275 (wre)	K SHZ 275 (wre)	L TrZ (sib)
Unlöslicher Rückstand		0,59	0,38	0,37	0,42	0,15	0,25	0,24	0,50	0,32	0,44	10,48
Kieselsäure SiO ₂		21,25	18,64	22,41	21,11	21,89	18,75	27,52	26,94	28,45	24,22	21,21
Al ₂ O ₃ + TiO ₂ + P ₂ O ₅		4,26	8,01	4,51	6,24	5,74	6,18	11,58	9,86	11,30	14,22	6,45
Eisen-II-oxyd FeO		—	—	—	—	—	—	1,19	1,90	0,91	0,38	—
Eisen-III-oxyd Fe ₂ O ₃		1,57	1,31	1,79	2,12	2,20	2,67	—	—	—	—	2,78
Mangan-II-oxyd MnO		—	—	—	—	—	—	0,42	0,46	1,34	0,89	—
Mangan-III-oxyd Mn ₂ O ₃		0,07	0,09	0,06	0,07	0,10	0,21	—	—	—	—	0,14
Gesamtkalk CaO		67,15	61,84	62,84	61,38	65,28	65,43	51,82	52,50	47,10	40,97	50,03
Magnesia MgO		0,72	3,53	1,54	1,64	0,54	0,92	3,08	1,78	4,72	6,65	1,34
Sulfatschwefel SO ₂		1,65	2,40	2,55	2,08	2,38	3,07	2,00	2,00	2,72	8,76	2,47
Sulfidschwefel S		—	—	—	—	—	—	1,11	1,18	0,95	1,32	0,05
Kaliumoxyd K ₂ O		0,24	0,99	0,70	1,88	0,05	0,86	0,32	0,34	0,80	0,64	1,20
Natriumoxyd Na ₂ O		0,15	0,16	0,10	0,48	0,22	0,15	0,43	0,17	0,42	0,10	0,27
Glühverlust		2,30	2,49	3,18	1,32	1,32	1,49	0,52	2,65	1,38	2,07	3,61
nicht bestimmter Rest		0,05	0,16	—	1,20	0,03	0,02	0,33	0,31	0,07	—	—
freier Kalk		3,16	2,38	1,39	—	—	2,94	0,24	0,28	0,28	0,03	1,78
Klinkerphasen errechnet nach R. H. Bogue	C ₃ S	63	38	30	38	51	69	—	—	—	—	—
	C ₂ S	13	25	45	32	24	1	—	—	—	—	—
	C ₃ A	9	19	9	13	11	12	—	—	—	—	—
	C ₄ AF	5	4	6	8	7	9	—	—	—	—	—
Hütensand bzw. Trassanteil in %		—	—	—	—	—	—	rd. 47	rd. 68	rd. 83	rd. 83	rd. 30

tungsfläche des Würfels eine Glasplatte als Schalung angelegt wurde. Die verdunstende Eigenfeuchtigkeit sollte sich an der kalten Glasplatte als Kondenswasser niederschlagen.

Verfahren c: Fremdwasser auf frisch entschalter Betonfläche oder zwischen Betonfläche und Schalung (Pfüßenversuch)

Auf eine waagrecht liegende Seitenfläche entformter Betonwürfel von 20 oder 30 cm Kantenlänge wurden Wasserpfützen von 4 bis 7 cm Durchmesser und rd. 2 mm Dicke aufgebracht. Diese Wasserpfützen blieben durch Nachträpfeln von Wasser wenigstens 1 Tag, meist aber 3 Tage lang erhalten und konnten anschließend abtrocknen. Die Würfel lagerten teils bei 5 °C und teils bei 20 °C.

Als Abwandlung dazu wurde Wasser in einen Spalt zwischen einer senkrecht stehenden, entformten Betonfläche und einer anliegenden Glasplatte eingeführt. Dieses Wasser konnte nach außen nicht abfließen und wurde, soweit es vom Beton aufgesaugt wurde, 3 Tage lang ergänzt.

Verfahren d: Fremdwasser auf schalungsfreier, oberer Betonfläche (Rieselversuch)

Niederschlags- und Nachbehandlungswasser kann auf Abstreifflächen Kalk aufnehmen und anschließend über die Seitenflächen ablaufen. Um nachzuprüfen, ob dies zu Ausblühungen führt, wurde die bei der Herstellung obere Fläche von schwach geneigten Betonwürfeln, deren seitliche Formwände gelockert oder entfernt worden waren, an einer oder mehreren Stellen ständig mit Wasser betröpfelt (insgesamt etwa 10 Wassertropfen je Minute). Dabei floß das Wasser von der oberen Betonfläche über eine Seitenfläche ab.

3.2 Betonzusammensetzung

Es wird manchmal die Meinung vertreten, daß die Entstehung der Ausblühungen auch von der Zusammensetzung des Zements und des Betons abhängig ist **). Aus diesem Grunde wurden elf Normzemente verschiedener Art und Güte einbezogen. Die Eigenschaften der Zemente, die nach DIN 1164 geprüft wurden, sind in Tafel 1, die wichtigsten Kenndaten ihrer Zusammensetzung in Tafel 2 zusammengestellt. Als Zuschlagstoff wurde Rheinkiessand 0/30 mm verwendet. Die Güte der unterschiedlich zusammengesetzten, knapp weich bis etwa flüssig angemachten Betone lag zwischen B 120 und B 600. Einige Betone erhielten auch Zusätze, denen häufig zugeschrieben wird, daß sie das Entstehen der Ausblühungen verhindern. Alle Betone wurden vollständig verdichtet. Die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Betone ohne Zusätze sind in Tafel 3, die der Betone mit Zusätzen in Tafel 4 angegeben.

**) In einem Runderlaß [4] empfiehlt das Bundesverkehrsministerium zur Verhinderung der Ausblühungen einen möglichst niedrigen Wasserzementwert und Zemente mit möglichst geringem Gehalt an freiem Kalk, z. B. Hochofenzement solcher Lieferwerke, die die Zusammensetzung ihrer Hochofenzemente sorgfältig überwachen.

Tafel 3 Zusammensetzung und Eigenschaften der Betone ohne Zusätze

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nr.	W/Z- Wert	Zement		Kies sand 0/30 mm		Wassergehalt kg/m ³	Konsistenz (Schlagzahl nach Powers)	Frischbeton- rohichte kp/dm ³	Rohwichte nach 28 Tagen kp/dm ³	Druckfestigkeit nach 28 Tagen kp/cm ²
		Art und Güte	Gehalt kg/m ³	Sieblinie DIN 1045	Gehalt kg/m ³					
1	0,40	F (PZ 475)	463	D/E	1792	185	13	2,44	2,39	652
2	0,42	A (PZ 275)	354	D/E	1927	149	17	2,43	—	—
3	0,50	A (PZ 275)	356	D/E	1866	178	8	2,40	2,39	474
4	0,50	G (HOZ 275)	357	D/E	1864	179	7	2,40	2,39	427
5	0,50	B (PZ 275)	355	D/E	1857	178	9	2,39	2,35	428
6	0,50	C (PZ 275)	356	D/E	1866	178	8	2,40	—	—
7	0,50	D (PZ 375)	354	D/E	1849	177	11	2,38	—	—
8	0,50	E (PZ 375)	354	D/E	1849	177	11	2,38	—	—
9	0,50	H (HOZ 275)	354	D/E	1849	177	8	2,38	2,35	379
10	0,50	I (HOZ 275)	353	D/E	1850	177	7	2,38	2,35	396
11	0,50	K (SHZ 275)	349	D/E	1826	175	6	2,35	2,34	438
12	0,50	L (TrZ)	355	D/E	1857	178	8	2,38	2,33	349
13	0,60	F (PZ 475)	363	D/E	1819	218	66 cm ¹⁾	2,40	—	—
14	0,70	A (PZ 275)	286	E/F	1884	200	5	2,37	2,35	311
15	0,70	G (HOZ 275)	286	E/F	1884	200	5	2,37	2,35	267
16	0,83	A (PZ 275)	238	E/F	1884	198	6	2,32	2,29	210
17	0,83	G (HOZ 275)	238	E/F	1884	198	5	2,32	2,32	251
18	1,00	A (PZ 275)	205	E/F	1880	205	5	2,29	2,24	147

1) Ausbreitmaß nach DIN 1048

Tafel 4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Betone mit Zusatzstoffen oder Zusatzmitteln

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nr.	W/Z- Wert ¹⁾	Zement		Zusatz ¹⁾	Gehalt an Zement u. Zusatzstoff kg/m ³	Kiessand 0/30 mm		Wasser- gehalt kg/m ³	Konsistenz (Schlagzahl n. Powers)	Frischbeton- rohichte kp/dm ³	Rohwichte nach 28 Tagen kp/dm ³	Druck- festigkeit nach 28 Tagen kp/cm ²
		Art und Güte	Gehalt kg/m ³			Sieblinie DIN 1045	Gehalt kg/m ³					
1	0,50	A (PZ 275)	285	20 % Zusatz M	356	D/E	1866	178	10	2,40	2,40	436
2	0,50	G (HOZ 275)	285	20 % Zusatz M	356	D/E	1866	178	9	2,40	2,39	394
3	0,50	A (PZ 275)	211	40 % Zusatz M	352	D/E	1832	176	8	2,36	2,32	316
4	0,50	G (HOZ 275)	211	40 % Zusatz M	351	D/E	1823	176	8	2,35	2,32	263
5	0,70	A (PZ 275)	229	20 % Zusatz M	286	E/F	1884	200	4	2,37	—	—
6	0,70	G (HOZ 275)	229	20 % Zusatz M	286	E/F	1884	200	4	2,37	—	—
7	0,50	A (PZ 275)	355	1 % Zusatz N	—	D/E	1857	178	7	2,39	2,38	429
8	0,50	G (HOZ 275)	356	0,5 % Zusatz N	—	D/E	1866	178	7	2,40	2,39	433
9	0,70	A (PZ 275)	286	1 % Zusatz N	—	E/F	1884	200	4	2,37	—	—
10	0,70	G (HOZ 275)	286	0,5 % Zusatz N	—	E/F	1884	200	4	2,37	—	—
11	0,50	A (PZ 275)	341	1 % Zusatz P	—	D/E	1778	171	2	2,29	—	—
12	0,50	A (PZ 275)	337	1 % Zusatz R	—	D/E	1754	169	2	2,26	—	—
13	0,50	A (PZ 275)	350	0,25 % Zusatz S	—	D/E	1825	175	7	2,35	2,31	341
14	0,50	G (HOZ 275)	352	0,25 % Zusatz S	—	D/E	1832	176	7	2,36	2,34	358

¹⁾ Der Zusatz M ist auf den Gehalt an Zement + Zusatz, die übrigen Zusätze sind auf den Zementgehalt bezogen.

3.3 Einfluß des Alters, der Schalung und besonderer Behandlung

Um über den Einfluß des Betonalters und des Entschalungszeitpunktes Aufschluß zu bekommen, blieb der Beton 1, 3, 7, 14 oder 28 Tage in der Form unter feuchten Tüchern. Beim Pfützenversuch wurde das Wasser unmittelbar oder bis zu 6 Tagen nach dem Entformen aufgebracht. Als Formwände kamen neben bearbeiteten Stahlplatten auch unbearbeitete und gehobelte Holzbretter sowie Hartfaserplatten zur Anwendung. Zum Nachprüfen des Einflusses der Beschaffenheit des Fremdwassers wurde außer Leitungswasser auch destilliertes oder mit Calciumhydroxyd angereichertes oder Calciumbicarbonat enthaltendes Wasser verwendet.

Einige Proben wurden unmittelbar nach dem Ausschalen, aber vor dem Pfützenversuch, während 10 Minuten mit CO₂ oder mit Luft von etwa 20 °C angeblasen oder 2 Tage in Wasser oder feuchter Luft gelagert.

Auch wärmebehandelte und dampfgehärtete Betonwürfel wurden im Alter von 24 Stunden dem Pfützenversuch unterworfen. Die mit der Form in Kunststoff-Folien verpackten Würfel für die Wärmebehandlung lagerten zunächst 2 Stunden bei etwa 20 °C und anschließend einschließlich der kurzen Aufheizungszeit (rd. 15 min) 6 Stunden bei etwa 80 °C. Die Proben für die Dampfhärtung wurden nach einer Vorlagerung von 2 Stunden bei rd. 20 °C während 1 Stunde im Autoklaven auf 175 °C (entsprechend 8 at) erhitzt. Diese Temperatur wurde etwa 4 Stunden gehalten. Zur Feststellung, bei welcher Nachbehandlung der Beton genügend feucht bleibt, Ausblühungen jedoch nicht entstehen, wurden auch einige Betonflächen vor dem Pfützenversuch mit einem Anstrich versehen und andere senkrechte Flächen mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit (rauhe und glatte Schalung) nach dem Entformen während 1, 2 oder 3 Tagen wiederholt kurz mit Wasser abgesprüht.

4. Ergebnisse der Untersuchungen

4.1 Verfahren und Lagerungsbedingungen

Der Einfluß der Verfahren a bis d wurde an Betonen geprüft, deren Zusammensetzung den Angaben der Zeilen 3, 4, 14 und 15 in Tafel 3 entsprach. Es handelte sich dabei um Betone mit rd. 350 und 285 kg/m³ Portlandzement A oder Hochofenzement G und mit Wasserzementwerten von 0,50 und 0,70.

Verfahren a und b: Die Versuche über die Feuchtigkeitsbewegung aus dem Beton führten nicht zu Ausblühungen.

Während und nach Abschluß des Versuchs nach Verfahren a konnte eine Veränderung der Farbe der Beobachtungsfläche nicht festgestellt werden. Während des Versuchs nach Verfahren b bildeten sich zahlreiche Wassertropfen auf der Glasplatte, die vom Beton weitgehend wieder aufgesaugt wurden. Der die Betonfläche benetzende Wasserfilm war offenbar zu dünn, um genügend Kalk zurückzulassen. Da mit der Bildung von Kondenswasser, das aus dem Beton stammt, ein Austrocknen des Betons verbunden ist, erscheint es auch fraglich, ob auf diese Weise deutliche Ausblühungen entstehen können.

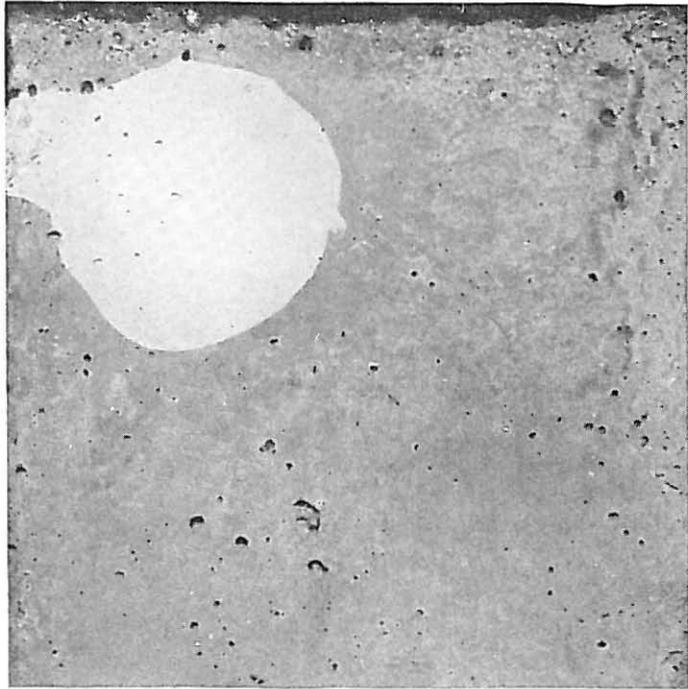


Bild 4 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf der Seitenfläche eines Würfels aus Beton B 450

Nach diesen Versuchen glauben wir, daß das Wandern der Eigenfeuchtigkeit (Schwitzwasser) und die Bildung von Kondenswasser aus verdampfter Eigenfeuchtigkeit in der Regel nicht zu wesentlichen Ausblühungen führen und daß beide Möglichkeiten beim Entstehen stärkerer Ausblühungen bestenfalls mitbeteiligt sein können. Auf kalten Bauteilen kann sich bei einem plötzlichen Wetterumschlag jedoch auch die Luftfeuchtigkeit als Kondenswasser niederschlagen. Wie auch Beobachtungen aus der Praxis zeigen, wird dieses Kondenswasser auf frisch entschalteten Betonflächen in der Regel zu Ausblühungen führen.

Verfahren c, Pfützenversuch: Das Aufbringen von Wasserpfützen auf frisch entformte Betonflächen hatte dagegen ausgeprägte Ausblühungen zur Folge. Diese Ausblühungen wurden deutlich sichtbar, sobald die Wasserpfützen abgetrocknet waren, siehe z. B. Bild 4. Starke Ausblühungen entstanden, wenn die Wasserpfützen unmittelbar nach dem Entformen aufgebracht wurden und vor dem Abtrocknen einen oder mehrere Tage dort verblieben. Hervortretende Ausblühungen waren nicht mehr zu beobachten, wenn die Wasserpfützen, je nach Dichtigkeit des Betons und den Lagerungsbedingungen, 2 bis 6 Tage nach dem Entformen auf die Betonfläche aufgebracht wurden. An den bei 5 °C gelagerten Betonwürfeln konnten solche Ausblühungen noch längere Zeit nach dem Entformen erzeugt werden als an den bei 20 °C gelagerten Betonwürfeln. Die Beschaffenheit des „Fremd-



Bild 5 Ausblühungen nach dem abgewandelten Pfützenversuch auf einer senkrecht stehenden Seitenfläche eines Würfels aus Beton B 450

wassers“ – Leitungswasser, destilliertes Wasser (entsprechend Wasser von Niederschlägen), mit Kalkhydrat oder mit Calciumbicarbonat angereichertes Wasser – hatte keinen Einfluß auf das Entstehen der Ausblühungen, da in allen Fällen etwa gleich starke Ausblühungen festgestellt wurden.

Gleiche Ausblühungen (Bild 5) wie beim Pfützenversuch, stellten sich ein, wenn Wasser längere Zeit (z. B. 3 Tage) zwischen frisch entformter Würfelfläche und eng anliegender Glasplatte oder zwischen junger Betonfläche und dichter Formwand stand (abgewandeltes Verfahren c).

Das Anblasen der Betonflächen mit CO_2 oder Luft unmittelbar nach dem Entschalen verhinderte Ausblühungen beim anschließenden Pfützenversuch nicht. Die aufgewendete Zeit von 10 Minuten reichte zum Carbonatisieren der Betonfläche offenbar nicht aus. Während eine zweitägige Lagerung frisch entformter Betonwürfel unter feuchten Tüchern und Kunststoff-Folien ebenfalls wirkungslos blieb, entstanden nach einer zweitägigen Wasserlagerung in großen Behältern beim anschließenden Pfützenversuch keine Ausblühungen mehr. In diesem Falle dürfte der ausblühfähige Kalk an der Oberfläche durch die verhältnismäßig große Wassermenge bereits ausgelaugt worden sein.

Auch wärmebehandelte und dampfgehärtete Würfel aus Kies-sandbeton mit etwa 350 kg/m^3 PZ A und einem W/Z-Wert von

0,50 zeigten nach dem Pfützenversuch etwa gleich starke Ausblühungen wie die bei 5 °C oder bei 20 °C gelagerten Würfel gleichen Alters, siehe Bild 6. Bei dampfgehärtetem Beton entstehen Ausblühungen erfahrungsgemäß nicht, wenn dem Beton so viel zementfeines Quarzmehl zugegeben wird, daß das Kalkhydrat gebunden wird.

Verfahren d, Rieselsversuch: Nach einem frühzeitigen Beträpfeln der oberen Würfelfläche (Abstreichseite) hinterließ das ablaufende Wasser ausgeprägte „Kalkfahnen“ auf den Seitenflächen der Würfel. Wie Bild 7 zeigt, sind diese Ausblühungen den an Brückenbauwerken beobachteten sehr ähnlich. Die Ausblühungen waren beim jungen Beton naturgemäß um so ausgeprägter, je länger die Würfel betröpfelt wurden. Doch konnten an 3 Tage alten Würfeln, deren obere Fläche einen Tag feucht abgedeckt und anschließend zwei Tage der Raumluft ausgesetzt war, nennenswerte Ausblühungen auf den Seitenflächen entformter Würfel auf diese Weise meist nicht mehr erzeugt werden; vermutlich war die kalkangereicherte Oberfläche dann schon ausreichend carbonatisiert. Bei nur gelockerten Formwänden traten nach dem Rieselsversuch auch an älteren Betonen noch Ausblühungen auf, da sich das hinablaufende Wasser dann zwischen den Formwänden und den noch feuchten, der Carbonatisierung weniger zugänglichen Flächen halten konnte.

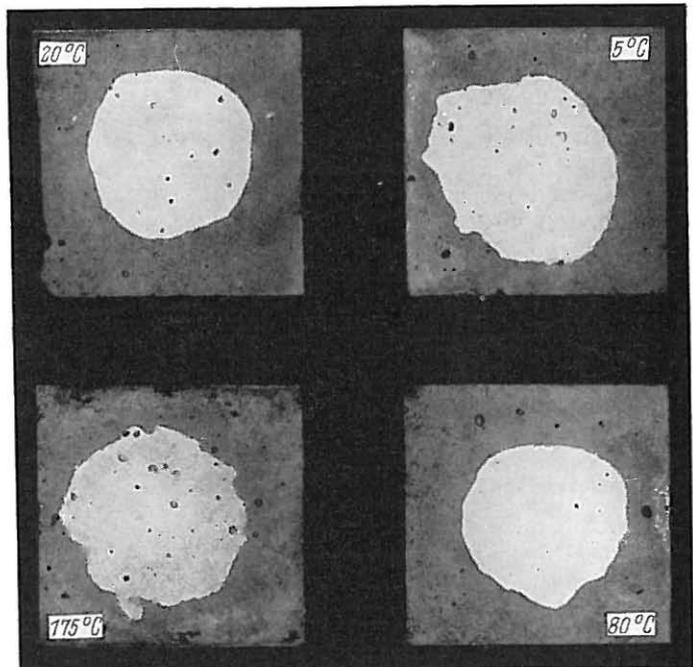


Bild 6 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf der Seitenfläche verschiedenen gelagerter Würfel aus Beton B 450

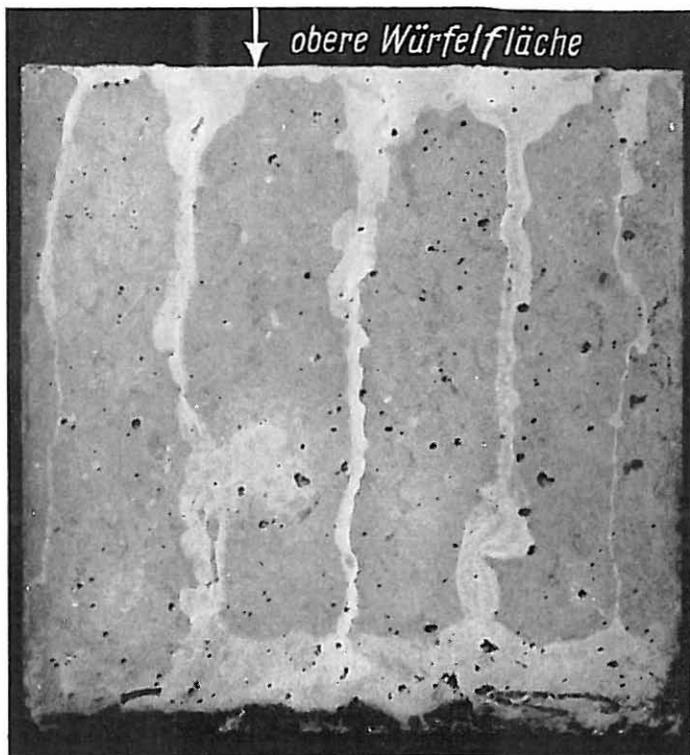


Bild 7 Ausblühungen nach dem Rieselversuch auf der Seitenfläche eines Würfels aus Beton B 450

Ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren erlaubt in Übereinstimmung mit den Erfahrungen, die bei der Untersuchung praktischer Fälle gewonnen wurden, die Folgerung, daß Ausblühungen vorwiegend durch in dünnen Schichten stehendes oder durch schwach hinablaufendes Fremdwasser hervorgerufen werden. Die Wanderung und das Verdunsten der Eigenfeuchtigkeit sind am Entstehen stärkerer Ausblühungen sicher nicht maßgeblich beteiligt.

Da der einfache Pfützenversuch den Vorgang wiedergibt, der in der Praxis zu Ausblühungen führt, wurde mit ihm im folgenden nachgeprüft, ob und inwieweit die Entstehung der Ausblühungen noch von anderen, in den Abschnitten 3.2 und 3.3 angeführten Einflüssen abhängt.

4.2 Zement

Die zu den Versuchen herangezogenen Zemente unterschieden sich nach Art, Güte und Zusammensetzung. Unter ihnen befanden sich auch langsamer erhärtende Zemente und Zemente mit hoher Frühfestigkeit und hoher 28 Tage-Festigkeit (Z 475). Der Gesamtkalkgehalt lag zwischen 41 und 67%, der Gehalt an freiem Kalk (als CaO ausgedrückt) zwischen 0,03 und 3,16%,

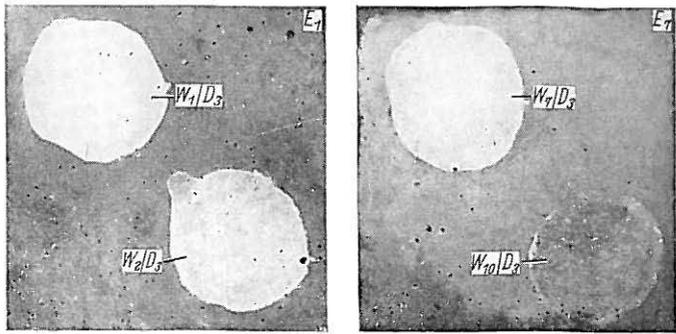


Bild 8 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit 350 kg/m³ PZ A und W/Z = 0,50

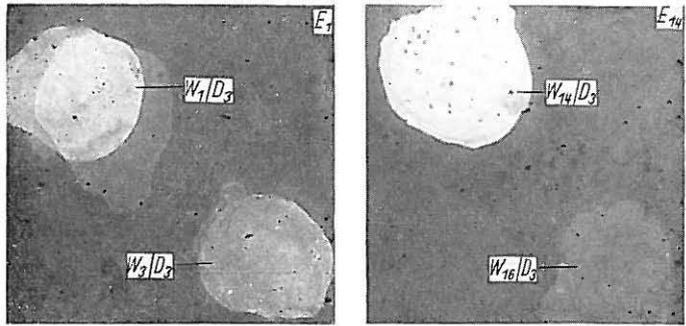


Bild 9 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit 350 kg/m³ PZ C und W/Z = 0,50

der Gehalt an Alkalien zwischen 0,27 und 2,36 % und die Feinheit – beurteilt am Rückstand auf dem Prüfsieb 0,09 DIN 4188 – zwischen 0,1 und 5,7 %. Der rechnerische Gehalt an Tricalciumsilikat (C₃S), das bei der Hydratation viel Calciumhydroxyd liefert, schwankte bei den Portlandzementen zwischen 30 und 69 %. Die Hüttenzemente (3 HOZ und 1 SHZ) enthielten rd. 50 bis 83 % Hüttensand und damit teilweise sehr wenig Portlandzementklinker. Der Trasszement bestand aus rd. 70 % Portlandzementklinker und rd. 30 % Trass.

Der Einfluß, den die unterschiedlichen Zemente auf das Entstehen der Ausblühungen haben könnten, wurde vorwiegend an Betonen mit einem Wasserzementwert von 0,50 und zum Teil auch an Betonen mit Wasserzementwerten von 0,70 und 0,83 durch den Pfützenversuch geprüft. Die Betone der Zeilen 3 bis 12 (W/Z = 0,50) bzw. 14 und 15 (W/Z = 0,70) bzw. 16 und 17 (W/Z = 0,83) in Tafel 3 wiesen abgesehen vom Zement gleiche Zusammensetzung auf. Die auf diesen Betonwürfeln entstandenen Ausblühungen machen daher eine Aussage über den Einfluß des Zementes. Einige Ergebnisse sind auf den Bildern 8 bis 13 wiedergegeben. Vergleichbar sind die oberen Ausblühungen auf dem linken Würfel der Bilder 8 bis 11, aber auch die oberen Flecken des linken Würfels auf Bild 12 und des rechten Würfels auf Bild 13 sowie die oberen Flecken des rechten

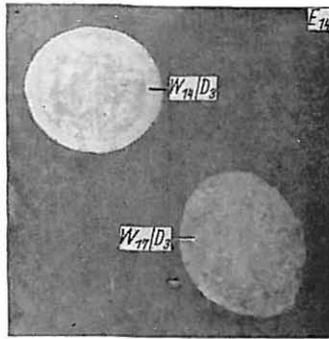
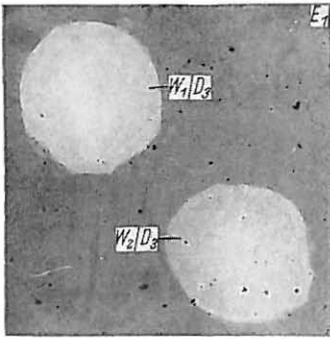


Bild 10 Ausblühungen nach dem Pfüßenversuch auf Beton mit 350 kg/m^3 HOZ G und $W/Z = 0,50$

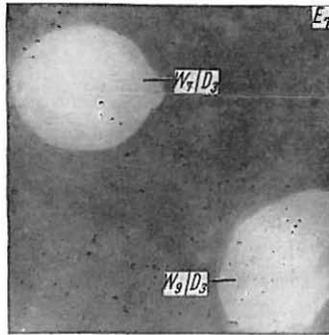
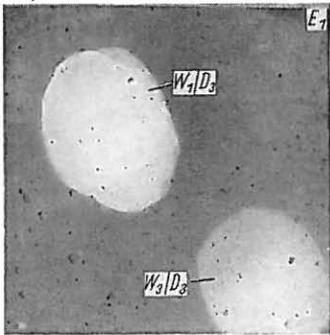


Bild 11 Ausblühungen nach dem Pfüßenversuch auf Beton mit 350 kg/m^3 HOZ J und $W/Z = 0,50$

Würfels der Bilder 8 und 11 und die oberen Flecken des rechten Würfels der Bilder 9 und 10.

Auf den Bildern 8 bis 17 wurden folgende Kurzbezeichnungen gewählt:

- E_n = Entformen des Würfels im Alter von n Tagen
- W_n = Aufbringen der Wasserpfüßen im Alter von n Tagen
- D_n = Dauer der Benetzung durch die Wasserpfüßen in Tagen.

Danach bedeutet z.B. die Bezeichnung $E_1 W_1/D_3$, daß der Würfel im Alter von einem Tag entformt wurde und daß die Wasserpfüße im Alter von einem Tag unmittelbar nach dem Entformen aufgebracht wurde und drei Tage erhalten blieb. Diese Ergebnisse und die der hier nicht abgebildeten Betonwürfel zeigen, daß auf Beton aus verschiedenen Zementen unter sonst gleichen Verhältnissen etwa gleich starke Ausblühungen entstehen. Lediglich der Beton mit Sulfathüttenzement, der bei diesen Versuchen zum Vergleich mitgeführt worden war, zeigte schwächere Ausblühungen, die nach dem Austrocknen des Betons wegen seiner helleren Farbe nicht mehr zu sehen waren. Allgemein ist zu beachten, daß Ausblühungen in der Regel nach ihrem Helligkeitsunterschied zum übrigen

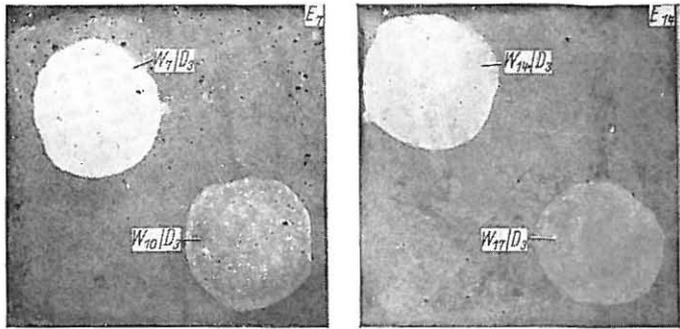


Bild 12 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit 285 kg/m³ PZ A und W/Z = 0,70

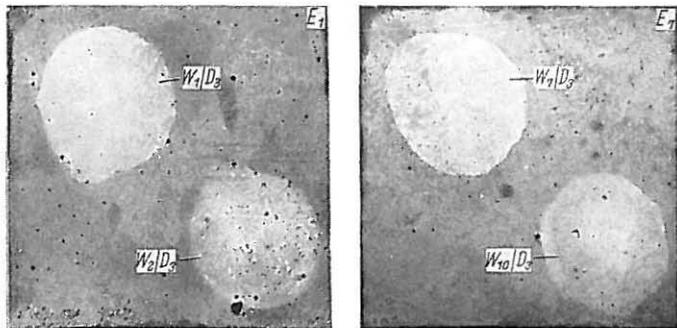


Bild 13 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit 285 kg/m³ HOZ G und W/Z = 0,70

Beton beurteilt werden. Gleich starke Ausblühungen treten auf helleren Betonflächen weniger hervor als auf dunkleren und auf ausgetrocknetem Beton weniger als auf nur oberflächlich abgetrocknetem.

Nach diesen Feststellungen ist die Stärke der Ausblühungen von der Art und Güte sowie dem chemischen Aufbau der üblichen Normzemente nach DIN 1164 und DIN 1167 unabhängig. Auch der Gesamtkalkgehalt des Zementes ist ohne Einfluß. Dies ist damit erklärbar, daß Wasser, das mit jungem Beton in Berührung kommt, unabhängig vom verwendeten Zement immer genügend Kalkhydrat vorfindet, das es aufnehmen kann.

4.3 Aufbau und Güte des Betons

Bei den untersuchten Betonen lag der Zementgehalt etwa zwischen 460 und 200 kg/m³ und der Wassergehalt zwischen 0,40 und 1,00. Die Güte der Betone (28 Tage-Druckfestigkeit) schwankte etwa zwischen B 150 und B 600. Sie war naturgemäß noch nicht erreicht, wenn der Pfützenversuch vor dem 28. Tage durchgeführt wurde.

Der Einfluß, den die unterschiedliche Betonzusammensetzung gegebenenfalls auf das Entstehen der Ausblühungen hat, wurde

mit dem Pfützenversuch an Betonen untersucht, die mit einem üblichen Portlandzement (PZ A), einem üblichen Hochofenzement (HOZ G) oder einem hochwertigen Portlandzement (PZ F) hergestellt wurden. Die Betonzusammensetzung vergleichbarer Reihen, die sich im wesentlichen nur durch den Wasserzementwert und den Zementgehalt unterschieden, entsprach den Zeilen 2, 3, 14, 16 und 18 (PZ A), den Zeilen 4, 15 und 17 (HOZ G) sowie den Zeilen 1 und 13 (PZ F) der Tafel 3. Einige Ergebnisse der mit dem Pfützenversuch geprüften Betonwürfel sind auf den Bildern 8, 12 und 14 (PZ A) sowie 10 und 13 (HOZ G) dargestellt.

Vergleichbare Versuchsbedingungen liegen vor bei den oberen weißen Flecken auf dem linken Würfel der Bilder 8 und 14 (PZ A) sowie der Bilder 10 und 13 (HOZ G) und bei den oberen Flecken auf dem rechten Würfel des Bildes 8 und auf dem linken Würfel des Bildes 12 (PZ A).

Diese Ergebnisse und die der hier nicht abgebildeten geprüften Betone zeigten, daß auf Beton verschiedenen Aufbaus und unterschiedlicher Güte unter sonst gleichen Verhältnissen gleich starke Ausblühungen entstanden, wenn die Wasserpfützen unmittelbar nach dem Entformen auf eine Seitenfläche der Würfel aufgebracht wurden. Im jungen Beton ist unabhängig vom Zementgehalt immer so viel Kalkhydrat vorhanden, daß Ausblühungen entstehen können. Betone geringerer Güte sind – vollständige Verdichtung vorausgesetzt – unter sonst gleichen Verhältnissen wegen des höheren Wasserzementwertes in der Regel poriger als Betone höherer Güte. Bei Luftzutritt können sie daher schneller austrocknen sowie schneller und tiefergehend carbonatisieren. Zutretendes Fremdwasser nimmt dann weniger oder sogar keinen Kalk mehr aus dem Beton auf, so daß die Möglichkeit des Entstehens der Ausblühungen mit dem Alter rascher abklingt oder nicht mehr vorhanden ist.

4.4 Alter des Betons

Der Einfluß des Betonalters wurde an Betonen aus verschiedenen Zementen und an Betonen verschiedener Zusammensetzung und Güte mit dem Pfützenversuch nachgeprüft. Die oberen Flecken auf den Bildern 8 bis 14 und die übrigen hier nicht abgebildeten Versuchsergebnisse zeigten, daß unter sonst gleichen Verhältnissen auf allen geprüften Betonen nahezu gleich starke Ausblühungen im Betonalter von 1, 3, 7, 14 und 28 Tagen entstanden, wenn der Beton bis dahin in der Form blieb und die Wasserpfützen unmittelbar nach dem Entformen auf eine Seitenfläche der Würfel aufgebracht wurden. Besonders bemerkenswert ist, daß Ausblühungen von etwa gleicher Stärke auch auf einem vollständig verdichteten Beton festgestellt wurden, der mit einem schnell erhärtenden, hochwertigen Zement (PZ F) und einem Wasserzementwert von 0,40 hergestellt worden war und unmittelbar nach dem Entformen im Alter von 28 Tagen dem Pfützenversuch unterworfen wurde. Daraus ist zu folgern, daß selbst auf sehr dichtem Beton höheren Alters Ausblühungen entstehen, wenn der Beton an der Oberfläche noch nicht ausgetrocknet und carbonatisiert ist und daher noch freier Kalk vom Fremdwasser gelöst werden kann.

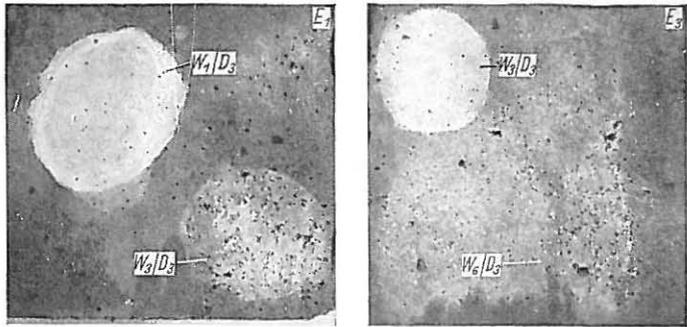


Bild 14 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit 200 kg/m^3 PZ A und $W/Z = 0,83$

Auf den Betonwürfeln der Bilder 8 bis 14 sind auch unten rechts Ausblühungen zu erkennen, die beim Abtrocknen des Fremdwassers zurückblieben, welches erst einen oder mehrere Tage nach dem Entformen der Würfel aufgebracht wurde. Diese Ausblühungen waren im allgemeinen deutlich schwächer als die oberen Ausblühungen der gleichen Bilder. Auf anderen Betonwürfeln entstanden nach dem Pfützenversuch unten rechts nahezu keine Ausblühungen (vgl. z. B. Bilder 15 und 16). Die Neigung zum Ausblühen nahm mit zunehmender Einwirkungs-dauer der Luft ab.

Somit sagt bei Verwendung dichter Schalung nicht das Alter des Betons, sondern die Zeit zwischen Entschalen (Luftzutritt) und erster Berührung mit dem Fremdwasser etwas darüber aus, ob Ausblühungen noch entstehen können. Bei den vorliegenden Versuchen traten Ausblühungen nicht mehr auf, wenn der Beton vor Aufbringen des Wassers 2 bis 6 Tage der Luft ausgesetzt war. Die für das Vermeiden der Ausblühungen erforderliche Zeit war abhängig von der Betongüte und den Lagerungsbedingungen. Sie war im allgemeinen für dichte Betone größer als für weniger dichte (vgl. z. B. Bilder 10 und Abschnitt 4. 3) und bei 5°C -Lagerung größer als bei 20°C -Lagerung.

4. 5 Schalung

Da nach bisherigen Beobachtungen das Entstehen der Ausblühungen nicht nur von dem Anliegen (Steifigkeit) der Schalung, sondern auch von ihrer Oberflächenbeschaffenheit und Dichtigkeit abhängt, wurden einige Betonwürfel dem Pfützenversuch unterworfen oder mit Wasser abgespritzt, deren Formen aus bearbeiteten Stahlplatten, Hartfaserplatten und gehobelten sowie unbearbeiteten Holzbrettern bestanden. In den Seitenwänden einiger Holzformen wurden Fugen angeordnet, die einen Luftzutritt zur Betonfläche ermöglichten.

Auf allen Betonwürfeln, die in dichten Formen aus Stahl, Hartfaserplatten oder Holz hergestellt wurden, entstanden kräftige Ausblühungen, wenn die Wasserpfützen unmittelbar nach dem Entformen aufgebracht wurden. Für die Stahlformen bestätigten dies die oberen Flecken auf den Bildern 8 bis 14.

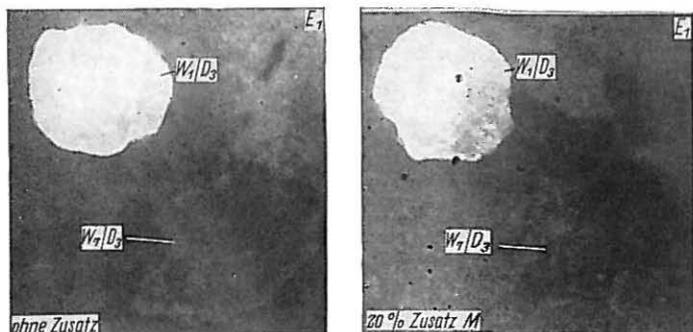


Bild 15 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit HOZ G und $W/Z = 0,50$ ohne und mit Zusatz

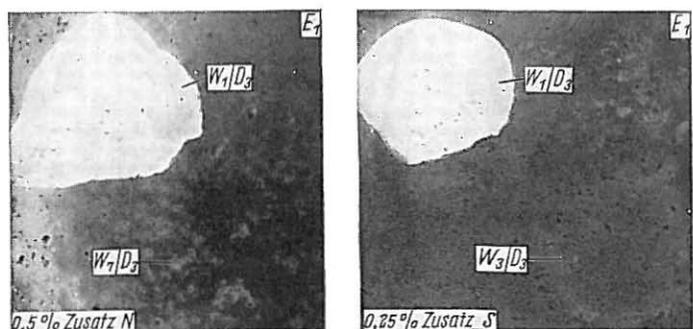


Bild 16 Ausblühungen nach dem Pfützenversuch auf Beton mit HOZ G, $W/Z = 0,50$ und Zusatz

Die dichten Formen verhinderten einen Luftzutritt und damit ein Carbonatisieren und Austrocknen der Betonfläche. Bei Holzschalungen mit Fugen, die einen gewissen Luftzutritt ermöglichten, entstanden im Bereich der Fugen mit zunehmendem Alter des Betons wesentlich schwächere oder sogar keine Ausblühungen mehr.

Ein zeitweiliges oder ständiges Abspritzen senkrechter Seitenflächen mit Wasser unmittelbar nach dem Entformen führte bei Betonflächen, die in Formen aus Stahl oder Hartfaserplatten hergestellt worden waren, nicht zu nennenswerten Ausblühungen, da sich das Wasser nicht auf der dichten und glatten Betonfläche halten konnte, sondern rasch abließ. Senkrechte Betonflächen, deren Formen aus gehobelten Holzbrettern bestanden, zeigten nach dem Abtrocknen der weniger geschlossenen Oberfläche starke Ausblühungen, wenn sie unmittelbar nach dem Entformen abgespritzt wurden, aber nur noch schwache Ausblühungen, wenn dies erstmals zwei Tage nach dem Entformen geschah. Bei unbearbeiteter Holzschalung entstanden sehr raue Betonflächen, auf denen sich das Wasser gut halten konnte und daher auch dann noch kräftige Ausblühungen, wenn der Beton fünf Tage nach dem Entformen erstmals mit Wasser abgespritzt wurde.

4.6 Betonzusätze

Einigen Betonen mit rund 350 und 285 kg/m³ Portlandzement (PZ A) oder Hochofenzement (HOZ G) und Wasserzementwerten von 0,50 und 0,70 wurden Zusatzstoffe unter Anrechnung auf den Bindemittelgehalt oder Zusatzmittel nach Anweisung des Herstellers zugegeben. Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Betone sind in Tafel 4 angegeben. Als Zusätze kamen zur Anwendung:

20 und 40 %	natürliche Puzzolane	(Zusatz M)
0,5 und 1 %	Betonzusatzmittel auf Fluatbasis	(Zusatz N)
1,0 %	Betondichtungsmittel DM	(Zusatz P)
1,0 %	Betondichtungsmittel DM	(Zusatz R)
0,25 %	Zusatzmittel, im Handel zur Verhinderung von Ausblühungen angeboten	(Zusatz S)

Diesen Zusätzen wird zugeschrieben, daß sie Ausblühungen verhindern. Es handelt sich dabei um Mittel, die porenfüllend wirken, die kapillare Saugfähigkeit des Betons vermindern, Anmachwasser einsparen oder Kalkhydrat binden.

Auf den Bildern 15 und 16 sind einige Betonwürfel abgebildet, die mit Hochofenzement (HOZ G) und einem Wasserzementwert von 0,50 hergestellt wurden und keinen Zusatz, sowie 20 % Zusatz M, 0,5 % Zusatz N oder 0,25 % Zusatz S erhielten. Nach Abtrocknen der oberen Wasserpfützen, die unmittelbar nach dem Entformen im Alter von einem Tag aufgebracht wurden, zeigten alle Würfel etwa gleich starke Ausblühungen. Wie auf den Würfeln unten rechts zu erkennen ist, entstanden auch bei diesem Beton nahezu keine Ausblühungen mehr, wenn die Wasserpfützen erstmals 2 bzw. 6 Tage nach dem Entformen aufgebracht wurden (vgl. auch Abschnitt 4.4). Bei den übrigen, hier nicht abgebildeten Betonen der Tafel 4 – d. h. auch bei Beton mit einem Bindemittelgemisch aus 60 % HOZ G und 40 % Zusatz M, das nur noch etwa 30 % Zementklinker enthielt – stellte sich ein gleiches Ergebnis ein. Dies traf auch für Betonwürfel zu, die erst im Alter von 28 Tagen entformt und anschließend dem Pfützenversuch unterworfen wurden.

Nach diesen Versuchen und entsprechenden praktischen Erfahrungen können die hier besprochenen Ausblühungen durch die Zugabe von Betonzusätzen nicht vermieden werden. Zusätze mit dichtender Wirkung schaffen dies nicht, weil alle noch nicht carbonatisierten Betonflächen, auch wenn der Beton bereits 28 Tage alt und sehr dicht ist, genügend Kalkhydrat an zutretendes Wasser abgeben. Betonzusätze, von denen man eine Kalkbindung erhofft, verhindern Ausblühungen nicht, weil Zusatzmittel auf Fluatbasis möglicherweise sofort, aber nur einen unbedeutenden Anteil des Kalkhydrats und Puzzolane den Kalk erst im Verlaufe längerer Zeit binden.

4.7 Anstriche

In die Versuche einbezogen wurden ein Fluatanstrich, von dem eine Kalkbindung erwartet wird, und drei Silikonanstriche, die die Fläche wasserabweisend machen. Die Anstriche bestanden vorwiegend aus Magnesiumsilikofluorid (Anstrich T), wasserlöslichem Natriummethylsilikonat (Anstrich X), Methylsilikonharzlösung (An-

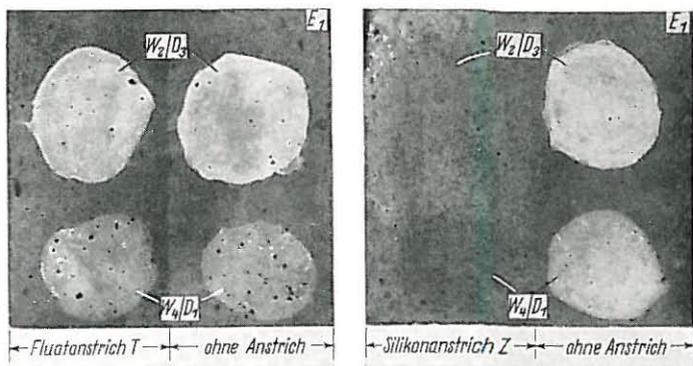


Bild 17 Wirkung von Anstrichen auf das Entstehen von Ausblühungen (Beton mit 350 kg/m^3 PZ A, $W/Z = 0,50$)

strich Y) oder einer Emulsion aus Methylsilikonharz und Kunstharz (Anstrich Z). Die zu diesen Versuchen herangezogenen Betone wurden mit PZ A oder HOZ G und einem Wasserzementwert von 0,50 hergestellt (vgl. Tafel 3, Zeilen 3 und 4). Unmittelbar nach dem Entformen im Alter von einem Tag wurde auf die Hälfte einer Seitenfläche jedes Würfels einer der genannten Anstriche nach der Anweisung des Herstellers aufgetragen. Der angestrichene und der nicht gestrichene Teil der Seitenflächen wurden 2 Stunden sowie 1 und 3 Tage nach Aufbringen des Anstrichs mit dem Pfützenversuch geprüft. Die Würfel lagerten nach dem Entformen an Raumluft bei 5°C .

Bild 17 zeigt zwei Betonwürfel, deren sichtbare Seitenflächen zur Hälfte mit den Anstrichen T und Z behandelt und im Alter von 2 und 4 Tagen mit dem Pfützenversuch geprüft wurden. Nach diesen Ergebnissen und denen der hier nicht abgebildeten Würfel verhinderte der Silikonanstrich Z das Entstehen der Ausblühungen praktisch ausreichend. Durch die Silikonanstriche X und Y entstanden bestenfalls geringfügig schwächere Ausblühungen. Der Fluat-anstrich T verminderte die Stärke der Ausblühungen nur auf einigen Würfeln, z. B. auf Bild 17 jedoch nicht.

Demnach gibt es Anstriche, die das Entstehen der Ausblühungen unterbinden, und solche, die wenigstens unter den gewählten Bedingungen wirkungslos erscheinen. Zur endgültigen Klärung bedarf diese Frage jedoch noch einer weiteren Überprüfung, bei der auch andere Anstriche einbezogen und die Bedingungen noch mehr verändert werden. Im allgemeinen aber können Anstriche zum Vermeiden von Ausblühungen an Betonbauwerken nicht wirksam eingesetzt werden, weil der Grund für die Ausblühungen bereits auf den noch eingeschalteten Betonflächen gelegt wird (vgl. Abschnitt 5).

5. Vergleich mit Ausblühungen an Bauwerken

In den letzten Jahren hatte das Institut eine Reihe von Gutachten über Ausblühungen zu erstatten, die an Betonbauwerken oder auf Betonwaren entstanden waren. Die Ausblühungen konnten, nach-

dem im Institut die Entstehungsmöglichkeiten durch die seit 1958 laufenden Versuche geklärt waren, überwiegend auf die Einwirkung von Fremdwasser (Nachbehandlungs- und Niederschlagswasser) zurückgeführt werden. Insbesondere fanden sich nach dem warmen Sommer 1959 Ausblühungen an manchen Brücken, da der Beton mehr als sonst nachbehandelt und schon bald nach dem Betonieren laufend oder häufig mit Wasser abgespritzt worden war. Dieses Wasser lief dann von der oberen Betonfläche zwischen Schalung und Betonfläche. Das Entstehen der Ausblühungen war – entgegen der teilweise in Baukreisen vertretenen Ansicht – ohne Einfluß auf die Güte des Bauwerks und auch nicht ein Zeichen dafür, daß eine geringere Betongüte vorhanden war. In der Regel handelte es sich um besonders hochwertige und dichte Betone, zu deren Herstellung meist dichte Schalung mit glatter Oberfläche verwendet worden war.

Auf den Betonflächen fand man aber auch Mörtelverschmutzungen, die wegen des ähnlichen Aussehens oft als Ausblühungen angesehen werden, siehe z. B. Bild 18. Solche Mörtelverschmutzungen können bei nicht satt anliegender Schalung an waagerechten Arbeitsfugen und beim Verpressen von Spannkanälen entstehen.

Verschiedentlich wurden auch auf Betonwaren solche Ausblühungen beobachtet. Unter normalen Lagerungsbedingungen erhärtende Betonwaren zeigten Ausblühungen, wenn die Teile schon bald nach der Herstellung eng gestapelt wurden und von Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser längere Zeit benetzt waren. Auf wärmebehandelten Betonwaren fand man Ausblühungen, wenn frisch entschaltete Teile mit deutlich niedrigerer Tempera-



Bild 18 Mörtelverschmutzung an einer Brücke

tur in die feucht-warmen Kammern eingebracht wurden und sich durch Kondensation der Luftfeuchtigkeit Wasser auf den Betonflächen niederschlagen konnte.

6. Vermeiden von Ausblühungen

Ausblühungen, die auch bei üblicher Nachbehandlung auf Betonflächen entstehen können, lassen sich weitgehend vermeiden, wenn folgendes beachtet wird:

6.1 Auf eingeschalteten oder frisch entschalteten Betonflächen darf Wasser nicht stehen bleiben. Zu Ausblühungen führt stehendes Wasser auf glatten und geschlossenen Betonflächen im allgemeinen nicht mehr, wenn es je nach Betongüte und Temperatur den Beton erst 2 bis 6 Tage nach dem Entschalen benetzt.

6.2 Sichtbetonflächen sollten daher im allgemeinen nicht vor oder bei stärkeren Niederschlägen entschalt und nicht unmittelbar nach dem Entschalen mit Wasser abgespritzt werden. Bei sehr glatten und geschlossenen, vertikalen Betonflächen ist jedoch ein Abspritzen in der Regel bereits ein Tag nach dem Entschalen möglich.

6.3 Die obere Betonfläche von Bauwerken darf nicht so stark mit Wasser besprüht werden, daß das Wasser zwischen Schalung und Betonfläche oder unmittelbar nach dem Entschalen über die Seitenflächen ablaufen kann. Der Beton kann mit feuchten Matten, Nachbehandlungsfilmen oder Folien ausreichend nachbehandelt werden. Bei stärkeren Niederschlägen sollte die obere Betonfläche so abgedeckt werden, daß das Wasser nicht zwischen Schalung und Betonfläche eindringt.

6.4 Betonwaren sollten in den ersten Tagen nach der Herstellung nicht zu eng gestapelt werden und nicht mit Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser in Berührung kommen. Es empfiehlt sich, sie zunächst in Feuchtlufträumen zu lagern oder mit Folien, schwach feuchten Matten o. ä. abzudecken. Zur Vermeidung der Kondenswasserbildung sollte der Temperaturunterschied zwischen der feuchten Luft in der Wärmebehandlungskammer und den entschalteten Teilen beim Einbringen nicht zu groß sein.

7. Beseitigen von Ausblühungen

Sind Ausblühungen aufgetreten, so ist es in der Regel ratsam, zunächst nichts zu unternehmen. Oft bekommt die Betonfläche nach längerer Zeit wieder ein gleichmäßigeres Aussehen. Befriedigt das Aussehen der Betonfläche auch später nicht und führt ein Abbürsten mit einem Stahlbesen nicht zum Ziel, so kann die Fläche mit verdünnter Salzsäure (1:5 bis 1:10) oder geeigneten Mitteln der Bautenschutzmittel-Industrie abgewaschen werden. Der Beton ist vor einer solchen Behandlung gut mit Wasser zu tränken und nachher gründlich abzuspülen, damit keine Säurereste im Beton verbleiben. Bei Mitteln der Bautenschutzmittel-Industrie ist nach der Anweisung des Herstellers zu verfahren. Säurebehandlungen sollen bei bedecktem Himmel und windstillem Wetter in einem Zuge durchgeführt werden, damit Farbunterschiede durch ungleiches Abtrocknen vermieden werden.

Es ist zu beachten, daß nach einer Säurebehandlung Strukturunterschiede des Betons, die vorher durch die Zementhaut überdeckt waren, und Mörtelverschmutzungen stärker hervortreten können. Ungleichmäßige Sichtflächen eingefärbter Betone werden im allgemeinen durch eine Säurebehandlung nicht verbessert.

8. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen führten in guter Übereinstimmung mit den Erfahrungen, die beim Begutachten praktischer Fälle gewonnen wurden, zu folgenden Schlüssen:

8.1 Auf Betonflächen können sich Ausblühungen bilden, die überwiegend aus Calciumcarbonat bestehen. Sie sind ohne Einfluß auf die Güte des Bauwerks und auch kein Zeichen dafür, daß der Beton nicht die geforderte Güte aufweist.

8.2 Diese Ausblühungen entstehen, wenn sich Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser zwischen dichter Schalung und Betonfläche oder auf frisch entschalteten Betonflächen aufhält oder wenn Wasser auf den oberen Betonflächen (Herstellungsoberseite) Kalk aufnimmt und anschließend über andere Betonflächen fließt.

8.3 Die Entstehung der Ausblühungen ist unabhängig von der Art und Güte üblicher Normzemente. Auch die Zusammensetzung, die Dichtigkeit und das Alter des Betons haben keinen Einfluß, wenn die Betonfläche wegen der dichten Schalung vorher nicht austrocknen und oberflächlich carbonatisieren kann. Bei den Untersuchungen konnten Betonzusätze das Entstehen der Ausblühungen nicht verhindern.

8.4 Die Ausblühungen können weitgehend vermieden werden, wenn die Herstellungsoberseite nicht mit Wasser abgesprüht, sondern mit Nachbehandlungsfilmen, Folien o. ä. abgedeckt wird und auch das Eindringen von Niederschlagswasser zwischen Schalung und Sichtbetonfläche verhindert wird. Im allgemeinen sollten auch frisch entschaltete Betonflächen nicht mit Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser in Berührung kommen.

8.5 Betonwaren sollten in den ersten Tagen nicht zu eng gestapelt werden und nicht mit Nachbehandlungs- oder Niederschlagswasser benetzt werden, sondern möglichst in Feuchtluft-räumen oder abgedeckt lagern. Bei Wärmebehandlung sind die Bedingungen so zu wählen, daß sich auf den Betonflächen kein Kondenswasser bildet.

SCHRIFTTUM :

- [1] Walz, K., und J. Bonzel: Entstehung weißer Verfärbungen (Ausblühungen) auf Betonflächen. beton 10 (1960) H. 7, S. 330.
- [2] Bonzel, J.: Ausblühungen auf Betonflächen. Tagungsberichte der Zementindustrie, Heft 21. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf 1961.
- [3] Bonzel, J.: Ausblühungen auf Betonflächen. Zement-Taschenbuch 1962, Bauverlag, Wiesbaden. S. 343/358.
- [4] BVM: Allgemeiner Runderlaß Straßenbau Nr. 5/1958, Sachgebiet 5, Brückenbau, Abschnitt 4. Straße und Autobahn 9 (1958) H. 8, S. 311/314.