

Untersuchungen über den Frost-Tausalz-Widerstand von Gehwegplatten aus Beton

Von Kurt Walz, Düsseldorf, und Axel Schäfer, Sindelfingen

Übersicht

In dem ungewöhnlich strengen Winter 1962/63 sind Gehwegplatten aus Beton besonders häufig mit Tausalzen bestreut worden. Dadurch traten bisher nur selten beobachtete Abwitterungen auf. Die daraufhin durchgeführten Untersuchungen an abgewitterten Platten ließen im allgemeinen eine unzweckmäßige Zusammensetzung ihrer Oberschicht erkennen. — Durch Laboratoriumsversuche an gesondert hergestellten Platten konnte der Einfluß unterschiedlicher Zusammensetzung und Behandlung auf den Widerstand gegen eine sehr scharfe Frost-Tausalz-Einwirkung weitgehend geklärt werden. Die Untersuchungen, bei denen die Platten 60 schroffen Frost-Tausalz-Wechseln ausgesetzt wurden, lassen den Schluß zu, daß ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand bereits durch einen zweckmäßigen Mischungsaufbau erhalten werden kann (Wasserszementwert um 0,40, Zementgehalt mindestens 450 kg/m³ bei günstig zusammengesetztem Zuschlaggemisch mit nicht zu großem Gehalt an Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm). — Künstlich eingeführte, kugelförmige Luftporen erhöhten ebenfalls den Frost-Tausalz-Widerstand. In der Praxis ist es jedoch schwierig, einen ausreichend hohen Luftporengehalt sicher zu erzeugen. — Durch Imprägnieren der oberen Fläche mit Leinölfirnis oder Mineralöl (Anthrazenöl) konnte ebenfalls ein verbesserter Widerstand erzielt werden.

1. Einleitung

Während eine Abwitterung normgemäßer Gehwegplatten durch Frost- oder Frost-Tausalz-Einwirkung in früheren Jahren selten auftrat, häuften sich solche Schäden in dem ungewöhnlich langen, kalten und schneereichen Winter 1962/63 („Jahrhundert-Winter“); siehe z. B. Bild 1. Diese Abwitterungen sind überwiegend durch die in diesem Winter häufigere Verwendung von Tausalzen zur Schnee- und Eisbeseitigung verursacht worden. Bei Straßenbeton, der nicht durch künstlich eingeführte Luftporen hiergegen geschützt ist, werden sie schon seit langem beobachtet. Die Betonstraßen sind in den letzten Jahren stärker als früher davon betroffen, weil eine dem Autoverkehr angemessene Winterwartung der Straßen mehr und mehr mit Salzstreuung betrieben wird. (Das Bestreuen der Gehwege dürfte im allgemeinen nicht in gleichem Maße zunehmend nötig werden.)



Bild 1 Gehweg mit unregelmäßig abgewitterten Platten



Bild 2 Abwitterung der Feinmörtelschicht an der oberen Fläche einer Platte durch Frost- und Tausalz-Einwirkung

Bei der Abwitterung durch Tausalzstreuung oder durch das Gefrieren der obersten, mit Salzlösung durchtränkten Schicht wirken gleichzeitig verschiedene physikalische Sprengvorgänge, die noch nicht völlig geklärt sind. Sie wirken sich im Grunde ähnlich aus wie das in Poren gefrierende Wasser, scheinen den Beton jedoch wesentlich stärker zu beanspruchen. Denn Beton von Fahrbahndecken oder Gehwegplatten, der durch Frost-Tausalz-Einwirkung abwittern kann, erträgt Frostwechsel ohne Tausalze auch im durchfeuchteten Zustand ohne Veränderung.

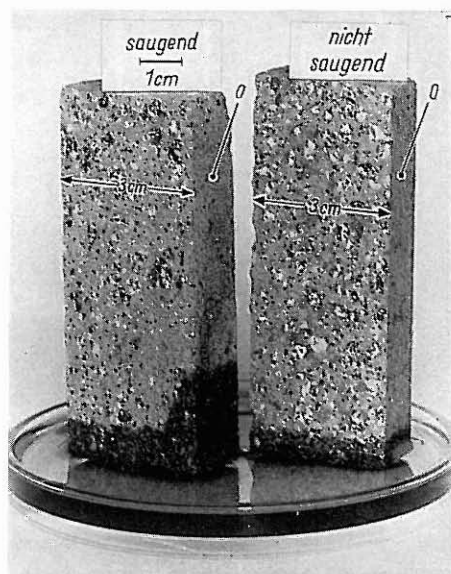
Straßenbeton kann durch Einführen von künstlichen, durch luftporenbildende Zusatzmittel erzeugten, sehr kleinen, kugelförmigen Luftporen, die als Puffer wirken, ausreichend frost- und tausalzwiderstandsfähig hergestellt werden (LP-Beton). Eine Übersicht über den Stand der Erkenntnisse für deutsche Verhältnisse findet sich in [1].

Ein solcher Schutz des Straßenbetons durch einen ausreichenden Gehalt an künstlichen Luftporen (mind. 3,5 %) wird bei Straßenbauten erst in neuerer Zeit konsequent verlangt. Die früher hergestellten Betondecken sind durch Luftporen gegen Tausalzeinwirkung noch nicht oder nicht ausreichend geschützt worden, so daß man versucht, weitere Schäden auf solchen Decken durch Imprägnieren der Oberfläche zu unterbinden oder dadurch auch LP-Beton, der erst kurz vor dem Winter hergestellt worden ist, in jungem Alter zusätzlich zu schützen. Laboratoriums- und auch Streckenversuche lassen bei Einhaltung bestimmter Voraussetzungen eine wesentliche Erhöhung des Frost-Tausalz-Wider-

Bild 3 Wasseraufsaugen von Abschnitten aus 5 cm dicken Gehwegplatten [8]

Links: Abschnitt aus einer abgewitterten Platte (stärkeres Wasseraufsaugen, insbesondere an der Gehfläche 0)

Rechts: Abschnitt aus einer nicht abgewitterten Platte des gleichen Belags (geringes Wasseraufsaugen, auch an der Gehfläche 0)



standes durch Imprägnieren der Oberfläche des Betons erwarten [2].

Das seit langem in Bearbeitung befindliche Tausalzproblem bei Betonstraßen führte nach dem Auftreten von Tausalz-Abwitterungen an Gehwegplatten zu Überlegungen, auch Gehwegplatten durch Einführen künstlicher Luftporen oder durch Imprägnieren gegen starke Tausalzeinwirkung zu schützen.

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf wurden daher seit 1963 Voruntersuchungen zur Schadensursache bei Gehwegplatten angestellt. Sie bezogen sich sowohl auf die als schwierig vorauszusetzende Einführung künstlicher Luftporen (Kugelporen) in erdfeuchte Mischungen für Vorsatzschichten als auch auf Feststellungen an ausgebauten Platten aus Gehwegen. Hierbei zeigte sich, daß unbeschädigte oder weitgehend unbeschädigte Platten neben solchen mit stark abgewitterter Oberfläche lagen, siehe Bilder 1 und 2. Da man diese Platten der gleichen Herstellung zuordnen konnte, wurde gefolgert, daß offenbar schon geringe Schwankungen in der Zusammensetzung, der Verdichtung, der Nachbehandlung oder anderer nicht mehr nachweisbarer Einflüsse einen bedeutsamen Einfluß haben können. So ist auch auf Gehwegen nach Niederschlägen zu beobachten, daß sich nebeneinanderliegende Platten in der Wasseraufnahme oft erheblich unterscheiden: Die einen erscheinen längere Zeit dunkel, sie sind stark wassersaugend und trocknen nur langsam, wogegen andere, danebenliegende, dichtere Platten bereits hell abgetrocknet sind. Solche Unterschiede im Wasseraufsaugen konnten auch bei Vorversuchen für abgewitterte und unbeschädigte Platten gefunden werden, siehe Bild 3. Bei den

Sämtliche Platten wurden in einem größeren Betonwerk in Düsseldorf in der dort üblichen Weise hergestellt. Sie bestanden stets aus einer Unterschicht und einer rd. 1,5 cm dicken Vorsatzschicht. Die Mischung für die Unterschicht war immer gleich (Zementgehalt rd. 350 kg/m³, Wassergehalt rd. 0,35, Geröstkorn 7 mm, Zuschlaggemisch aus rd. 40 % Rheinsand 0/3 mm und rd. 60 % Basaltbrechsand 0/7 mm, erdfeuchte Konsistenz). Die Platten wiesen 6 verschiedene Vorsatzschichten auf, siehe Tafel 1. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich nur auf die für die Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit maßgebende Vorsatzschicht.

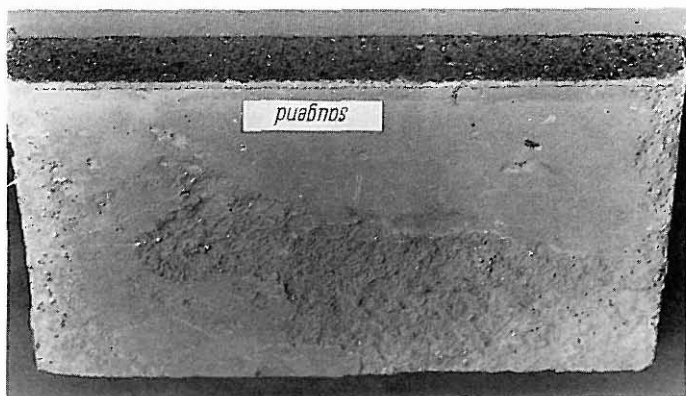
3. Versuchsplatten

Mit diesen Hinweisen aus den Vorversuchen und mit den Erfahrungen über Straßenbeton wurde 1963 ein Versuchsplan aufgestellt, in den verschiedene Mischungszusammensetzungen, Nachbehandlungen, Imprägnierungen und die Zugabe luftporbildender Zusatzmittel einbezogen wurden. Die zur Untersuchung vorgesehenen Reihen mit den verschiedenen Varianten sind in Tafel 1 zusammengefasst; die Besonderheiten der Reihen werden in Abschnitt 3 behandelt.

2. Versuchsplan

untersuchten Platten fiel die Anfälligkeit gegen Tausalzabwitterung in der Regel mit einer stark saugenden Zone an der Gehfläche zusammen, siehe Bild 4. Weiter wurde festgestellt, daß solche stärker saugende Oberschichten meist sehr reich an Feinsand und Steinhohl waren.

Bild 4 Abschnitt einer teilweise abgewitterten Gehwegplatte mit feinsandreicher Abschlussschicht an der Gehfläche: starkes Wasseraufsaugen dieser Schicht nach kurzem Benetzen mit Wasser (Oberschicht hell, dichtere Unterschicht durch nicht aufgesaugtes Wasser dunkel erscheinend)



Tafel 1 Versuchsplan

Zusammensetzung und Behandlung der Vorsatzschichten der Platten

1	2	3	4	5	6	7	8	
Vor- satz- schicht (Mi- schung)	Versuchs- reihe	Zement- gehalt	Anteil ¹⁾ 0/0,2 mm im Zuschlag- gemisch	Zuschlag- zusammen- setzung	Nachbehandlung (angesprüht) ²⁾ (feucht) ³⁾	Imprägnierung (Mittel und Alter)	Luftporen- bildendes Zusatzmittel (LP)	
		kg/m ³	Gew.-%					
R	Ra	rd. 370	4	Rheinsand 0/7 mm (65 % 0,2/1 mm)	angesprüht	—	—	
	RaL				feucht		LP	
	Rf				—			
G	Ga		6	G (grob- körnig)	angesprüht	—	Leinölfirnis 6 Tage	—
	Gal							
M	Ma		7	M (mittel- körnig)	angesprüht	—	Leinölfirnis 6 Tage	—
	MaL				LP			
	Mal				keine	Leinölfirnis 10 min	—	
	MI							
F	Fa		12	F (fein- körnig)	angesprüht	—	Leinölfirnis 6 Tage	—
	FaL					LP		
	Fal					Leinölfirnis 6 Tage	—	
	Fam							Mineralöl 6 Tage
	Fi				feucht	—		
	Ffi					Leinölfirnis 18 Tage		
	F				keine	—		
	FI					Leinölfirnis 10 min		
Fz	Fza	580 (ze- ment- reich)		F (fein- körnig)	angesprüht	—	—	
	Fzf				feucht			
	Fz				keine			
B	Ba	370	21	Basalt 0/7 mm (fein- körnig)	angesprüht	—	—	

¹⁾ Feinstsand + Steinmehl 0/0,2 mm²⁾ im Alter von 2 Tagen 10 Minuten lang mit Wasser angesprüht³⁾ bis zum Alter von 14 Tagen mit feuchten Tüchern bedeckt

3.1 Zement und Wassermazementwert (Tafel 2, Spalten 3 und 5)

Zu allen Mischungen wurde der in dem Betonwerk verwendete Eisenportlandzement Z 275 mit einer Normfestigkeit nach 28 Tagen von 454 kp/cm² benutzt (Biegefestigkeit 76 kp/cm², spezifische Oberfläche nach Blaine 3150 cm²/g, Rückstand 1,8 % auf dem Prüfsieb 0,09 mm). Der Vorsatz enthielt mit Ausnahme der Mischungen Fz einen für ein Zuschlaggemisch mit 7 mm Größtkorn mäßigen Zementgehalt von rd. 370 kg/m³. Die Mischungen Fz wiesen dagegen 580 kg/m³ Zement auf. Der Wassermazementwert der Mischungen lag je nach Zementgehalt und Kornzusammensetzung zwischen 0,36 und 0,56.

Alle Betone wurden erdfeucht angemacht, so daß die Platten unmittelbar nach der Herstellung senkrecht abgestellt werden konnten. Der darauf abgestimmte Wassergehalt (Tafel 2, Spalte 4) nahm im allgemeinen mit steigendem Gehalt an Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm und mit dem Mehlkorngehalt (Feinstsand bzw. Steinmehl + Zement) gemäß Tafel 2, Spalte 6 bzw. 10, zu.

3.2 Zuschlag und Kornzusammensetzung

Der Zuschlag der Vorsatzschicht bestand bei

Mischung R aus Rheinsand 0/7 mm,

Mischung B aus Basaltbrechsand 0/7 mm.

Die anderen 4 Vorsatzmischungen

G

M

F und Fz

enthielten im Zuschlaggemisch außer Basaltbrechsand 0/7 mm noch Rheinsand 0/7 mm in einer Menge von

rd. 15 Gew.-%

rd. 25 Gew.-%

rd. 20 Gew.-%

In Bild 5 und den Spalten 6 bis 9 der Tafel 2 ist die Kornzusammensetzung der Vorsatzschichten wiedergegeben¹⁾. Da die Beobachtungen an geschädigten Platten aus Gehwegen vermuten ließen, daß Platten mit sehr feinkornreicher Vorsatzschicht einen geringen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen, wurden Zuschlaggemische mit sehr unterschiedlichem Anteil 0/0,2 mm und 0/1 mm angesetzt.

Die Kornzusammensetzung des Vorsatzes R bestand nur aus Rheinsand, der wie gewöhnlich wenig Feinstsand 0/0,2 mm (hier 4 %), jedoch einen hohen Gehalt an Feinstsand bis 1 mm (69 %) enthielt. Der Wasseranspruch dieses natürlichen Sandes war trotzdem deutlich geringer als der der Zuschlaggemische mit Basaltbrechsand oder aus Basaltbrechsand allein (Tafel 2, Spalte 4).

¹⁾ Bei Aufstellen der Sieblinien wurde nicht berücksichtigt, daß die Rohdichten von Quarzsand (rd. 2,6 kg/dm³) und von Basalt (rd. 3,0 kg/dm³) verschieden sind. Der Gehalt an Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm, der bei den Mischungen mit Basalt überwiegend aus dem Basaltbrechsand stammt, dürfte nach den maßgeblichen Stoffraumanteilen daher etwas kleiner sein.

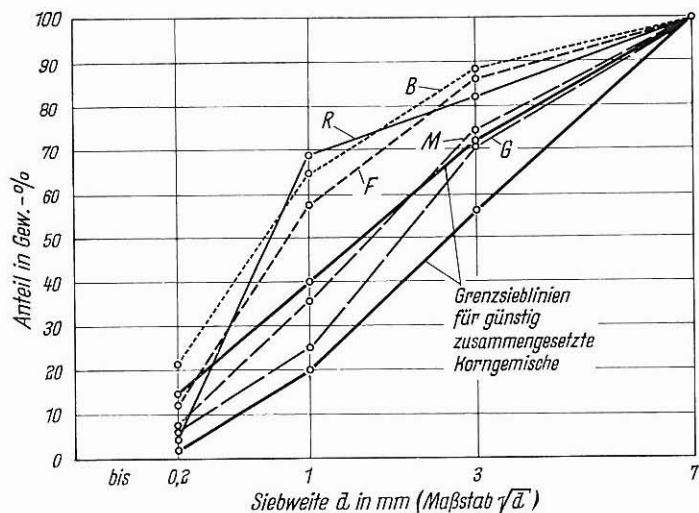


Bild 5 Sieblinien der Zuschlaggemische der Vorsatzmischungen R (Rheinsand); G („grob“), M („mittel“) und F („fein“) je aus rd. 80 Gew.-% Basaltbrechsand und rd 20 Gew.-% Rheinsand; B (Basaltbrochsand)

Das Zuschlaggemisch aus Rheinsand und Basaltbrechsand war für Vorsatz G am gröbsten; das für Vorsatz M („mittelkörnig“) wies eine – nach den üblichen Sieblinien (DIN 1045, Bild 1) beurteilt – noch günstige und das für Vorsatz F eine zu feinkörnige Kornzusammensetzung auf. Der nur aus Basaltbrechsand 0/7 mm mit einem hohen Gehalt an Steinmehl bestehende Zuschlag des Vorsatzes B war noch feinkörniger. Wesentlich ist der in dieser Reihenfolge zunehmende Anteil an Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm, der für Mischung B mit 21% sehr hoch war. Ein solcher Gehalt kann jedoch auch in der Praxis vorkommen, wenn ein nicht oder ungenügend klassierter Gesteinsbrechsand mit dem anfallenden Gesteinsmehl verwendet wird.

3.3 Luftporenbildendes Zusatzmittel (LP-Zusatzmittel)

Bei den Versuchsreihen RaL, MaL und FaL wurde angestrebt, durch ein bewährtes LP-Zusatzmittel [3] künstliche Luftporen einzuführen; das LP-Zusatzmittel wies als Hauptbestandteil Vinsol-Resin auf. Mikroskopische Untersuchungen am erhärteten Beton haben jedoch bei Vorversuchen erkennen lassen, daß eine Bildung künstlicher Kugelporen in größerer Menge bei erdfeuchtem Vorsatz nicht sicher gelingt. Dies ist auch für sehr steif angemachten Beton bekannt, bei dem der aus Zement und Feinstsand bestehende Feinmörtel zu wenig Wasser zur Bildung und Umhüllung der Luftporen mit Wasserfilmen enthält. Die Vorsatzmischung wurde daher in zwei Mischgängen hergestellt. Der besonders reichlich bemessene LP-Zusatz (0,3% des Zementgewichts) wurde zunächst mit einem Teil des Zements und des Grobsandes mit

Tafel 2 Eigenschaften der Vorsatzschichten und Biegefestigkeit der Platten

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vorsatzschicht (Mischung)	Versuchsreihe	Zement in der verdichteten Schicht	Wasser ¹⁾ in der verdichteten Schicht	Wasserzementwert w ²⁾	Kornanteile im Zuschlaggemisch bis				Mehlkorngehalt ³⁾	LP-Zusatzmittel	Frischroh-dichte ⁵⁾	Biegefestigkeit ⁴⁾			Verhältniswert Spalte 15 Spalte 14
					0,2 mm	1 mm	3 mm	7 mm				ohne Frost 4 Wochen	Frost 23 Wochen	nach Frost 23 Wochen	
		kg/m ³	l/m ²	—	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	kg/m ³	Gew.-% ⁴⁾	kg/m ³	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	%
R	Ra	370	132	0,36	4	69	82	100	435	—	2130	57	58	56	97
	RaL									0,3	2160	53	57	41	72
	Rf									—	2130	53	62	58	93
G	Ga	365	160	0,44	6	25	71	100	470	—	2270	64	69	65	94
	Gal											62	68	57	84
M	Ma	380	175	0,46	7	36	74	100	505	—	2390	65	73	78	107
	MaL									0,3	2370	60	69	85	122
	Mal									—	2390	67	72	76	106
	MI									—		58	66	64	97

¹⁾ Anmachwasser + Wasser im Zuschlag; nachgeprüft durch Darren einer Probe der frischen Mischungen

²⁾ w = Spalte 4 / Spalte 3

³⁾ Mehlkorn = Zement + Feinsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm in 1 m³ der verdichteten Vorsatzschicht

⁴⁾ bezogen auf das Zementgewicht

⁵⁾ an frischen Platten aus der Vorsatzmischung festgestellt

⁶⁾ Vorsatzschicht in der Zugzone; Mittelwert aus der Prüfung von 3 Platten

Fortsetzung der Tafel 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vor- satz- schicht (Mi- schung)	Ver- suchs- reihe	Zement in der verdichteten Schicht	Wasser ¹⁾	Wasser- zement- wert w ²⁾	Kornanteile im Zuschlaggemisch bis				Mehl- korn- gehalt ³⁾	LP- Zusatz- mittel	Frisch- rohr- dichte ⁵⁾	Biegefestigkeit ⁴⁾		Verhält- niswert Spalte 15 Spalte 14	
		kg/m ³	l/m ²		—	0,2 mm	1 mm	3 mm				7 mm	ohne Frost 4 Wochen		nach Frost 23 Wochen
F	Fa	370	206	0,56	Basaltbrechsand und Rheinsand				585	—	2340	64	66	77	117
	FaL									0,3	2320	58	65	76	117
	Fal									—	—	66	70	77	110
	Fam									—	—	59	66	77	117
	Ff									—	—	66	67	73	108
	Ffl									—	—	66	76	78	103
	F									—	—	62	66	75	113
Fz	Fl	580	213	0,37	12	58	86	100	775	—	55	58	65	112	
	Fza									72	82	79	97		
	Fzf									2390	76	79	90	114	
B	Ba	370	195	0,53	21	65	88	100	740	—	2320	63	63	70	111

1) Anmachwasser + Wasser im Zuschlag; nachgeprüft durch Darren einer Probe der frischen Mischungen

2) w = Spalte 4 / Spalte 3

3) Mehlkorn = Zement + Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm in 1 m³ der verdichteten Vorsatzschicht

4) bezogen auf das Zementgewicht

5) an frischen Platten aus der Vorsatzmischung festgestellt

6) Vorsatzschicht in der Zugzone; Mittelwert aus der Prüfung von 3 Platten

der gesamten Wassermenge im Zwangsmischer 2 min lang vorgemischt. In dieser weichen Mischung wurde mit dem Druckausgleichsgerät [4] ein LP-Gehalt von rd. 10 % festgestellt. Anschließend wurden der restliche Zement und der Grobsand in den Mischer gegeben und noch 1 min lang eingemischt. Der später am erhärteten Beton gemessene Gehalt an künstlichen Luftporen (Abschnitt 4.3.4) war jedoch bei den drei so entstandenen Mischungen der Reihen RaL, MaL und FaL verhältnismäßig klein ausgefallen (siehe Tafel 3, Spalte 10). Die Bestimmung des LP-Gehalts an den so hergestellten erdfeuchten Mischungen war – wie erwartet – mit dem Druckausgleichsgerät nicht mehr möglich, weil sich erdfeuchter Beton im Drucktopf des Gerätes in üblicher Weise nicht mehr ausreichend verdichten läßt, sich verspannt und so einen zu hohen Porengehalt vortäuscht. Vor allem werden auch die aus unvollständiger Verdichtung verbliebenen, größeren Poren im Luftgehalt mit erfaßt. (Der Frost- und Tausalzwiderstand wird jedoch nur durch die künstlich entstandenen, bis zu 0,3 mm großen und geschlossenen Kugelporen erhöht.)

3.4 Herstellen der Platten

Mit Ausnahme der LP-Mischungen nach Abschnitt 3.3 wurden alle anderen Mischungen für die Ober- und Unterschicht in einem Zwangsmischer rd. 2 min lang gemischt. Unter- und Vorsatzbeton wurden automatisch in die Plattenformen der neuzeitlichen Stampfmaschine eingebracht und rd. 5 sec lang verdichtet.

3.5 Feuchtbehandlung

Von den 30 cm · 30 cm · 5 cm großen Platten der in Tafel 1 aufgeführten 21 Reihen wurden der Fertigung mindestens je 9 Platten für die Untersuchung entnommen. Sie lagerten 3 Wochen in einer Halle bei 5 bis 15 °C und anschließend in einem Klimaraum des Instituts bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit.

Die Platten der mit „a“ bezeichneten Reihen wurden im Alter von zwei Tagen 10 min lang mit Wasser angesprüht und die Platten der mit „f“ bezeichneten Reihen bis zum Alter von 14 Tagen mit feuchten Tüchern bedeckt (Tafel 1, Spalte 6).

3.6 Imprägnieren

Vier Tage nach der Feuchtbehandlung, also im Alter von 6 bzw. 18 Tagen (siehe Tafel 1, Spalte 7), wurden die Platten Gal, MaL, FaL bzw. FfL mit 90 cm³/m² verdünntem Leinölfirnis (50 % Leinölfirnis und 50 % Terpentinölersatz) und die Platten Fam mit 130 cm³/m² Mineralöl (Anthrazenöl) bestrichen. Der verdünnte Leinölfirnis war nach einem Tag weitgehend eingetrocknet; er bildete keinen erkennbaren Film und hatte den Farbton der Plattenoberflächen nicht deutlich verändert.

Außerdem wurde auf frische Platten (Reihen MI und FI) ein geschlossener Film des verdünnten Leinölfirnisses aus einer Farbspritzpistole aufgesprüht. Bei diesen im frischen Zustand imprägnierten Platten weichte die Oberfläche etwas auf; eine etwa 1 mm dicke Feinmörtelschicht konnte an diesen Flächen nach dem Erhärten der Platten leicht abgeschabt werden.

4. Prüfen der Platten

4.1 Biegefestigkeit

Von jeder Reihe wurden 3 Platten im Alter von 4 und 23 Wochen im unbefrostenen Zustand sowie nach 60 Frost-Tausalz-Wechseln (Alter 23 Wochen) auf Biegefestigkeit geprüft. Vor der Biegeprüfung lagerten alle Platten 5 Tage in Wasser von 20 °C. Bei der Biegeprüfung befand sich die Vorsatzschicht in der Zugzone; die Stützweite betrug 25 cm und die Belastungsgeschwindigkeit 15 kp/sec (DIN 485). Die Mittelwerte der Biegefestigkeit sind in den Spalten 13 bis 15 der Tafel 2 aufgeführt.

Aus Spalte 14 geht hervor, daß die Biegefestigkeit des Vorsatzes R und B aus dem feinkornreichen Rheinsand 0/7 mm bzw. Basaltbrechsand 0/7 mm mit rd. 60 kp/cm² nach 23 Wochen am kleinsten und beim zementreichen Vorsatz Fz trotz des hohen Gehalts an Feinsand 0/1 mm mit rd. 80 kp/cm² am größten ausfiel. Die anfängliche Feuchtbehandlung „a“ und „f“ wirkte sich bei den vergleichbaren Reihen Fza und Fzf gegenüber Reihe Fz nur wenig festigkeitssteigernd aus. Das Imprägnieren im frischen Zustand (Reihen MI und FI) verminderte die Festigkeit etwas.

Im übrigen genügte die Biegefestigkeit der Platten bei Beginn der Frost-Tausalz-Beanspruchung im Alter von 23 Wochen überwiegend den Anforderungen nach DIN 485, obwohl die im allgemeinen weniger feste Vorsatzschicht in der Zugzone lag. Die in DIN 485 geforderte mittlere Biegefestigkeit von 60 kp/cm² wurde nur bei 3 Reihen (Ra, RaL und FI) geringfügig unterschritten.

4.2 Frost-Tausalz-Wechsel

Im Alter von 6 Wochen wurden 3 Platten jeder Reihe im Forschungsinstitut 60 Frost-Tausalz-Wechseln ausgesetzt (1 Wechsel je Tag). Die Plattenflächen mit der Vorsatzschicht wurden vorher am Rande mit 20 mm hohen Rahmen gemäß Bild 6 versehen²⁾.

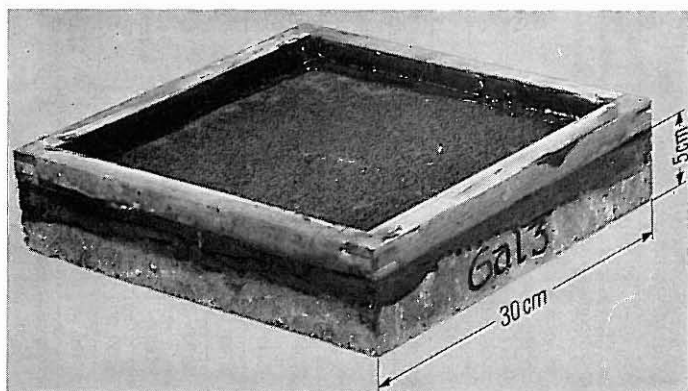


Bild 6 Gehwegplatte mit Rahmen zur Aufnahme einer Wasserschicht

²⁾ Klebemittel: gemagerter Epoxyharz-Kleber „Sinmast S 49“.

Tafel 3 Abwitterung der Vorsatzschichten (nach zunehmender Abwitterung durch 60 Frost-Tausalz-Wechseln geordnet), Wasseraufnahme und Poren

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Versuchs- reihe	Abwitterungsgrad / Flächenanteil (0 bis 4) / (%)			Besonderheiten der Herstellung	Wasseraufnahme		Gesamt- Poren- raum ³⁾	Sättigungs- wert ⁶⁾ S	Gehalt an Kugelporen		Poren- verhältnis ⁷⁾ P
	nach 11	nach 40	nach 60		obere Fläche ¹⁾	ein- getaucht ¹⁾			gesamt	bis 0,3 mm Durchm.	
	Frost-Tausalz-Wechseln				g/cm ²	Raum- ²⁾ %			Raum- ²⁾ %	Raum- ²⁾ %	
Fz	1/ 20	2/10 ¹⁾	2/ 10	580 kg Zement/m ³ w = 0,37	0,21	17,2	20,4	0,84	—	—	—
Fzf	2/ 20 ¹⁾	2/20 ¹⁾	2/ 20 ¹⁾		0,07	—	—	—	—	—	—
Fza	2/ 20	2/20	2/ 20		0,14	17,7	21,2	0,84	0,7	—	—
FaL	2/ 20 ¹⁾	2/30 ¹⁾	2/ 40	künstlich eingeführte Luftporen	0,14	17,6	20,9	0,84	2,6	2,1	11,9
MaL	2/ 40 ¹⁾	2/40 ¹⁾	3/ 10 ²⁾		0,12	15,0	18,7	0,80	2,3	1,2	8,0
Fam	2/ 30	2/50	3/ 10 ²⁾	Imprägnieren im Alter von 6 bzw. 18 (Ffi) Tagen	0,12	—	—	—	—	—	—
Mal	0/100	2/20	3/ 40		0,14	—	—	—	—	—	—
Ffi	1/ 20	2/20	3/ 40		0,06	—	—	—	—	—	—
Fal	0/100	2/20 ¹⁾	3/ 50		0,04	—	—	—	—	—	—
Gal	0/100	2/10	3/ 50		0,34	—	—	—	—	—	—

¹⁾ restliche Fläche mit Abwitterungsgrad 0

²⁾ restliche Fläche mit Abwitterungsgrad 1

³⁾ Wasserschicht 3 Tage lang 5 mm hoch auf der oberen Plattenfläche; Wasseraufnahme in g, bezogen auf die benetzte Oberfläche

⁴⁾ Proben aus der Vorsatzschicht 12 Tage lang in Wasser gelagert

⁵⁾ Wasseraufnahme unter 150 atü nach vorausgegangener Entlüftung bei 20 Torr von Proben aus der Vorsatzschicht

⁶⁾ S = Spalte 7 / Spalte 8

⁷⁾ P = (Spalte 11 / Spalte 7) 100

Fortsetzung der Tafel 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Versuchsreihe	Abwitterungsgrad / Flächenanteil (0 bis 4) / (%)			Besonderheiten der Herstellung	Wasseraufnahme		Gesamt-Porenraum ²⁾	Sättigungswert ⁴⁾ S	Gehalt an Kugelporen		Porenverhältnis ⁷⁾ P
	nach 11	nach 40	nach 60		obere Fläche ³⁾	ein- getaucht ⁴⁾			gesamt	bis 0,3 mm Durchm.	
	Frost-Tausalz-Wechseln				g/cm ²	Raum-%	Raum-%	—	Raum-%	Raum-%	—
Ma	2/ 60	3/40	3/ 50	36 % Feinsand 0/1 mm	0,15	15,1	17,7	0,85	0,5	—	—
Ff	2/ 60	3/50	3/ 60	58 % Feinsand 0/1 mm	0,16	—	—	—	—	—	—
Fa	2/ 80	3/70	3/ 90		0,23	17,4	20,1	0,87	0,7	—	—
F	2/ 80	3/90	3/100		0,31	17,9	20,9	0,86	—	—	—
MI	2/100	3/90	3/100	Imprägnieren der frischen Oberfläche	0,38	—	—	—	—	—	—
FI	2/100	3/80	4/ 10		0,19	—	—	—	—	—	—
Ba	2/ 50	3/30 ⁵⁾	4/ 20	ungünstiger Kornaufbau	0,27	18,5	21,6	0,86	—	—	—
Ra	2/ 70	3/90	4/ 20		0,48	17,3	21,6	0,80	0,9	—	—
Ga	2/ 50	4/10	4/ 30		0,37	16,2	20,3	0,80	—	—	—
Rf	2/ 70	4/10	4/ 40		0,39	—	—	—	—	—	—
RaL	2/ 30	3/40	4/ 40		0,54	16,6	21,5	0,77	1,4	1,1	6,6

¹⁾ restliche Fläche mit Abwitterungsgrad 0

²⁾ restliche Fläche mit Abwitterungsgrad 1

³⁾ Wasserschicht 3 Tage lang 5 mm hoch auf der oberen Plattenfläche; Wasseraufnahme in g, bezogen auf die benetzte Oberfläche

⁴⁾ Proben aus der Vorsatzschicht 12 Tage lang in Wasser gelagert

⁵⁾ Wasseraufnahme unter 150 atü nach vorausgegangener Entlüftung bei 20 Torr von Proben aus der Vorsatzschicht

⁶⁾ S = Spalte 7 / Spalte 8

⁷⁾ P = (Spalte 11 / Spalte 7) 100



Bild 7 Gehwegplatten in fahrbarem Gestell für die Frost-Tausalz-Wechsel

Vor dem ersten Gefrieren stand in diesen Rahmen drei Tage lang etwa 5 mm hoch Wasser. Die in dieser Zeit aufgenommene Wassermenge wurde aus der Gewichtszunahme der Platten nach Entfernen des nicht aufgesaugten Wassers bestimmt und in g je cm² der benetzten Oberfläche angegeben (Tafel 3, Spalte 6). Bevor die Platten in fahrbaren Gestellen (Bild 7) in den Frostraum kamen, wurden sie mit einer 3 mm hohen Wasserschicht bedeckt. Der Frostraum war auf eine Temperatur von -15°C eingestellt. Die Platten blieben dort bei jedem Frost-Tau-Wechsel $16\frac{1}{2}$ Stunden lang. Nach $15\frac{1}{2}$ Stunden wurden im Frostraum auf die Eisschicht, die sich auf den Platten gebildet hatte, 8,65 g Steinsalz (NaCl) – d. s. 150 g/m^2 – gleichmäßig aufgestreut. Nach dem Auftauen entstand damit eine Lösung mit einem Salzgehalt von rd. 5 %³⁾. Die Eisschicht taute im Frostraum nach dem Bestreuen mit Salz nur fleckenweise auf, vollends erst nach dem Ausfahren der gefrorenen Platten aus der Frostkammer. Die Salzlösung wurde nach $7\frac{1}{2}$ Stunden bis zum 40. Wechsel jedesmal mit einem Schwamm abgetupft. Nach Aufgießen frischen Wassers kamen die Platten wieder in den Frostraum zurück usw.

Bei den letzten 20 Wechseln wurde die Salzlösung nur nach jedem 5. Auftauen entfernt und anschließend eine frische, 5%ige NaCl-Lösung 3 mm hoch aufgegossen und auf den Platten eingefroren. War die Lösung schon nach weniger als 5maligem Auftauen eingedungen oder verdunstet, wie z. B. bei den stark saugenden Vorsatzschichten R und G, so wurde sie früher ergänzt.

³⁾ Nach schwedischen und amerikanischen Untersuchungen [5] entstehen bei einer Salzkonzentration um 2 bis 5 % die größten Abwitterungen.

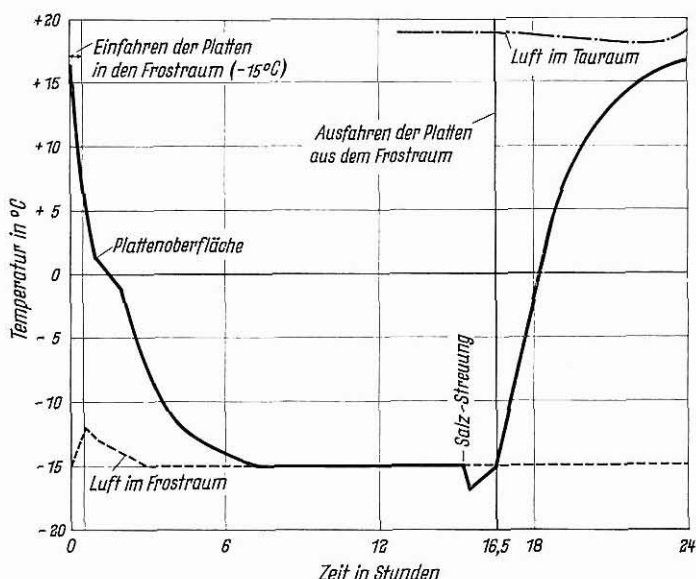


Bild 8 Temperaturverlauf im Frostraum, im Tauraum und an der Plattenoberfläche während eines Frost-Tausalz-Wechsels (gemittelter Verlauf)

Die Luft im Frostraum wurde durch Ventilatoren umgewälzt und die Temperatur automatisch gehalten. Der zeitliche Temperaturverlauf während eines Frost-Tausalz-Wechsels mit Salzstreuung ist in Bild 8 dargestellt. (Der Temperaturverlauf während eines Wechsels mit aufgebrachtener Lösung war ähnlich.) Die Temperatur der Plattenoberfläche wurde mit Thermoelementen festgestellt, die etwa 2 mm unter der Oberfläche von besonderen, allerdings trockenen Betonprismen eingesetzt waren.

Im Laufe der Frost-Tausalz-Wechsel wurden die Plattenoberflächen nach Augenschein beurteilt und in Abwitterungsgrade 0 bis 4 eingestuft [2].

Abwitterungsgrad

0 = keine Veränderung;

1 = Abwittern der Zementhaut oder einer sehr dünnen Feinmörtelschicht;

2 = Abwittern von Feinmörtel bis etwa 1 mm Tiefe; schwache Narbung;

3 = Abwittern des Mörtels bis etwa 4 mm Tiefe; deutliche Narbung, feine Zuschlagkörner freiliegend;

4 = starkes Abwittern bis rd. 10 mm Tiefe; grobe Zuschlagkörner freiliegend.

(Ein Ablösen der Vorsatzschicht als Ganzes von der Unterschicht wurde nie festgestellt; dies wird auch in der Praxis sehr selten beobachtet.)

In Tafel 3, Spalten 2 bis 4, sind die Vorsatzschichten nach abnehmendem Frost-Tausalz-Widerstand, also nach zunehmendem Abwitterungsgrad, aufgeführt. Es bedeutet z. B. bei 1/20 die erste Zahl den Abwitterungsgrad 1 und die zweite Zahl einen prozentualen Anteil an der gesamten Fläche. (Der übrige Flächenanteil entsprach – soweit in Fußnoten nichts anderes vermerkt ist – dem nächst geringeren Abwitterungsgrad.)

4.3 Wasseraufnahme und Poren

4.3.1 Natürliche Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck wurde durch Wasserlagerung von Proben bis zur Gewichtsbeständigkeit nach rd. 12 Tagen in Anlehnung an DIN 52 103 festgestellt (Tafel 3, Spalte 7). Die drei aus der Vorsatzschicht herausgesägten rd. $1,2\text{ cm} \cdot 5,0\text{ cm} \cdot 10,0\text{ cm}$ großen Proben stammten aus drei verschiedenen, unbefrostenen Platten einer jeden Reihe.

4.3.2 Wasseraufnahme unter Druck

Die Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 atü wurde an der gleichen Proben festgestellt (Trocknung bei 105 °C, Entlüftung bei etwa 20 Torr, Einfüllen des Wassers in den entlüfteten Druckkessel). Diese Wasseraufnahme, in Raum-% ausgedrückt, entspricht etwa dem Gesamtporenraum (Tafel 3, Spalte 8) [8].

4.3.3 Sättigungswert

Der Sättigungswert oder S-Wert (Tafel 3, Spalte 9) wurde als Verhältnis der natürlichen Wasseraufnahme zu der unter 150 atü nach vorangegangener Entlüftung errechnet. Er wurde schon vor vielen Jahren zur Beurteilung des Frostwiderstands von Naturgestein vorgeschlagen [6]. Gesteine mit $S \leq 0,8$ werden hiernach als frostbeständig, solche mit $S > 0,8$ als frostanfällig bezeichnet.

4.3.4 Luftporengehalt

Da die Ermittlung des Luftporengehalts am Frischbeton nicht möglich war, wurden am erhärteten Beton der Reihen Ra, Ma, Fa mikroskopisch nach dem Meßlinienverfahren [7] Untersuchungen der Porenkennwerte vorgenommen. Dazu dienten zwei etwa $1,5\text{ cm} \cdot 2,5\text{ cm} \cdot 15,0\text{ cm}$ große Proben, die rechtwinklig zur oberen Fläche aus der Vorsatzschicht von zwei verschiedenen, unbefrosten Platten herausgesägt wurden. (Bild 9 zeigt dazu als Beispiel die für die Ausmessung vorbereitete Schliff-Fläche eines Straßenbetons aus einer anderen Untersuchung.) Die Porengehalte in den Spalten 10 und 11 der Tafel 3 wurden aus den Sehnen der Kugelporen längs einer Meßlinie errechnet, die mit dem im Forschungsinstitut der Zementindustrie gebauten Gerät nach Bild 10 [8] ausgemessen wurden. Dabei hatte die je Probe untersuchte Meßlinie eine Länge von rd. 180 cm.

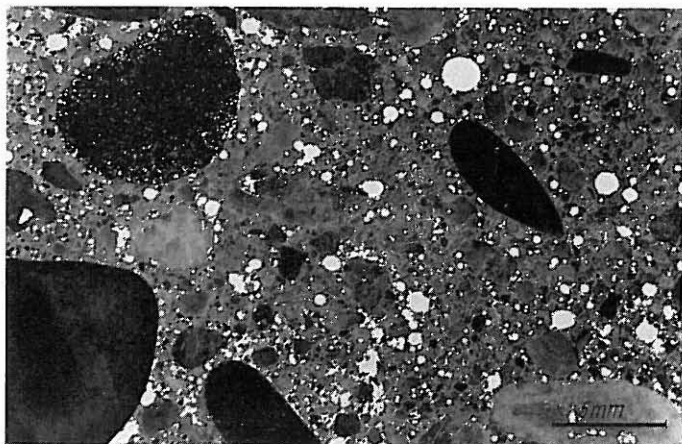


Bild 9 Geschliffener Schnitt durch einen Straßenbeton (kugelige Luftporen für die Aufnahme mit weiß reflektierendem MgO gefüllt; Aufnahme nach Anleitung Dr. Gille [8])

Das Erkennen und Messen der eigentlichen, den Frost- und Tausalz widerstand des Betons erhöhenden kugelförmigen Luftporen war bei den feinkörnigen Vorsatzmischungen sehr schwierig, weil viele bizarre, von der unvollständigen Verdichtung der erdfeuchten Mischung herrührende Poren den Zementstein durchsetzten. (Die beobachteten Poren waren nie größer als 1 mm.) Die errechneten Porengehalte sind daher nicht gesichert und erlauben keine zuver-

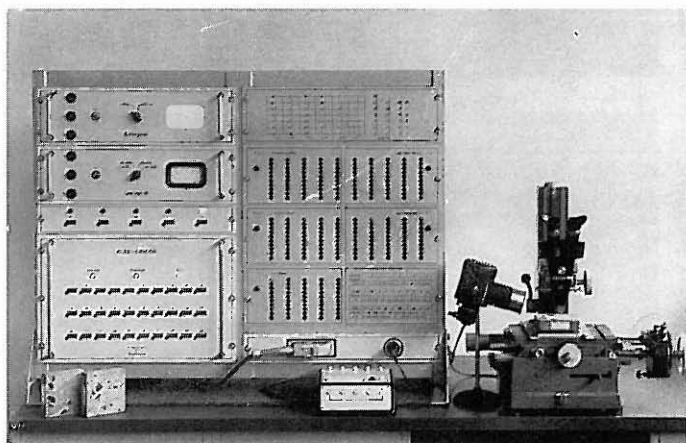


Bild 10 Gerät zum Messen, Zählen, Addieren und Klassieren der Betonbestandteile. Binokulares Mikroskop (rechts) mit 100- bis 200facher Vergrößerung und nachgeschalteter elektronisch registrierender Einrichtung, mit der die Luftporen automatisch in 30 Größengruppen nach unterschiedlicher Sehnenlänge [8] einklassiert werden

lässigen Rückschlüsse; aus dem gleichen Grunde wurde auch darauf verzichtet, die in amerikanischen Arbeiten [9, 10, 11, 12] herausgestellten weiteren Kennwerte, wie Abstands faktor und spezifische Oberfläche der Luftporen, abzuleiten.

5. Einflußgrößen für den Frost-Tausalz-Widerstand

5.1 Mehlkorn- und Zementgehalt sowie Wassermenge

In Bild 11 sind die Wasseraufnahme durch die Vorsatzschicht und der Abwitterungsgrad über dem Mehlkorngehalt (Zement + Feinstsand bzw. Steinmehl 0/0,2 mm) von den Reihen aufgetragen, die etwa gleichen Zementgehalt hatten und ohne LP-Zusatzmittel und Imprägnierung hergestellt waren. Aus Bild 11 kann man die Tendenz herauslesen, daß die Wasseraufnahme und der Abwitterungsgrad im Bereich eines Mehlkorngehalts von 500 kg/m³ am kleinsten ausfallen, obschon die vorliegenden Versuchsergebnisse für einen signifikanten Nachweis nicht ausreichen. Für ausreichende Verarbeitbarkeit und Dichtigkeit wird für Gemische mit einem Größtkorn von 7 mm allgemein ein Richtwert für den Mehlkorngehalt von ebenfalls 500 kg/m³ angegeben [13]. (Dabei ist zu beachten, daß die hier verglichenen, erdfeucht angemachten Vorsatzmischungen 0/7 mm mit einem Zementgehalt von rd. 370 kg/m³ zum Mehlkorngehalt beitrugen. Der Wassermenge der Vorsatzschicht, die sich bei diesem Zement- und Mehlkorngehalt am günstigsten verhielt, lag bei 0,45.)

Andererseits zeigte die Reihe Fz, deren Vorsatz 580 kg/m³ Zement enthielt, daß zementreichere Mischungen trotz wesentlich größeren Mehlkorngehalts noch einen höheren Frost-Tausalz-Widerstand besitzen können (Mehlkorngelalt der Reihe Fz

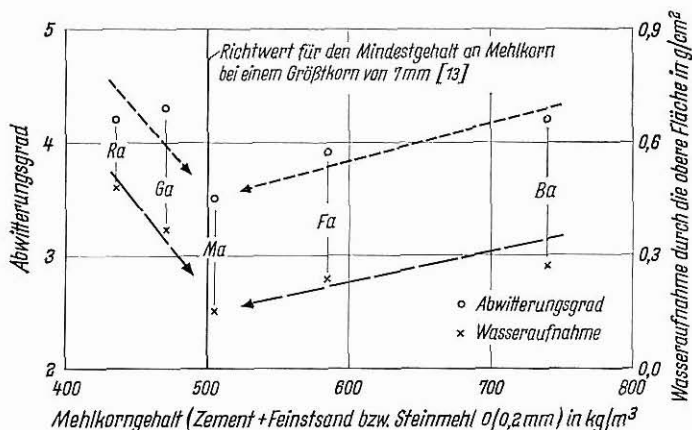


Bild 11 Wasseraufnahme durch die obere Fläche von Versuchsplatten 30/30/5 cm und Abwitterungsgrad in Abhängigkeit vom Mehlkorngehalt bei etwa gleichem Zementgehalt (rd. 370 kg/m³) der Vorsatzschicht

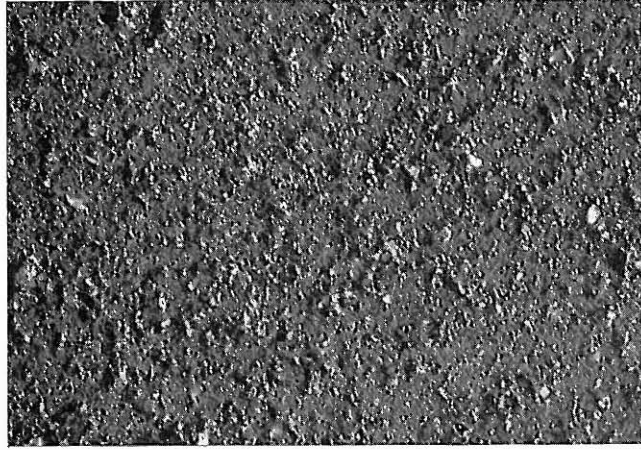
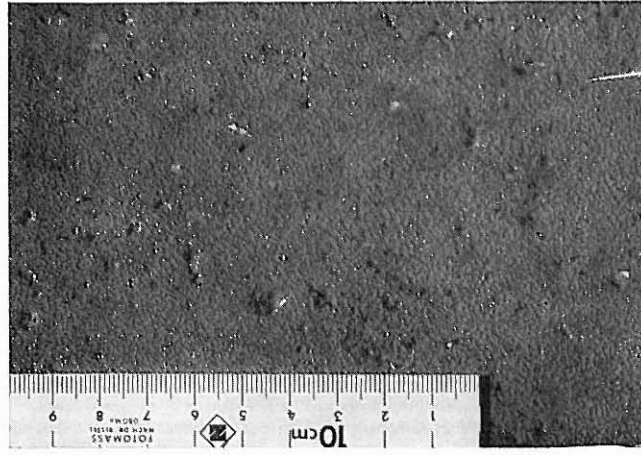


Bild 12 Ausschnitte aus der oberen Fläche der Vorsatzschichten Fza, Ma und Ba mit unterschiedlichem Abwitterungsgrad nach 60 Frost-Tausalz-Wechseln

775 kg/m³). Der Wasserzementwert der Mischungen Fz lag bei nur 0,37. Der günstige Einfluß des hohen Zementgehalts – verbunden mit einem niederen Wasserzementwert – führte bei Reihe Fz zu einer nach 60 scharfen Frost-Tausalz-Wechseln praktisch unbeschädigten Oberfläche, wie Bild 12 erkennen läßt. Dort ist auch ein Ausschnitt aus Vorsatz Ma wiedergegeben, der nach Bild 11 als verhältnismäßig günstig zu bewerten ist. Diese Vorsatzmischung witterte durch die schon im Alter von 6 Wochen beginnenden 60 unnatürlich scharfen Frost-Tausalz-Wechsel ebenfalls nur unwesentlich ab (mäßige Narbung). Dagegen wies die Vorsatzschicht Ba mit einem Wasserzementwert von 0,53 (370 kg/m³ Zement, Mehlkorngesamt 740 kg/m³) bereits erhebliche Abwitterung auf.

5.2 Wasseraufnahme, Sättigungswert und Imprägnierung

Die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Tafel 3, Spalte 7) und der aus der Druckwassersättigung errechnete Gesamtporenraum (Tafel 3, Spalte 8) reichten bis rd. 18 bzw. bis rd. 21 Raum-% und lagen damit sehr hoch. Eine Beziehung zwischen dem Grad der Abwitterung und der natürlichen Wasseraufnahme bzw. dem Gesamtporenraum ist nicht erkennbar.

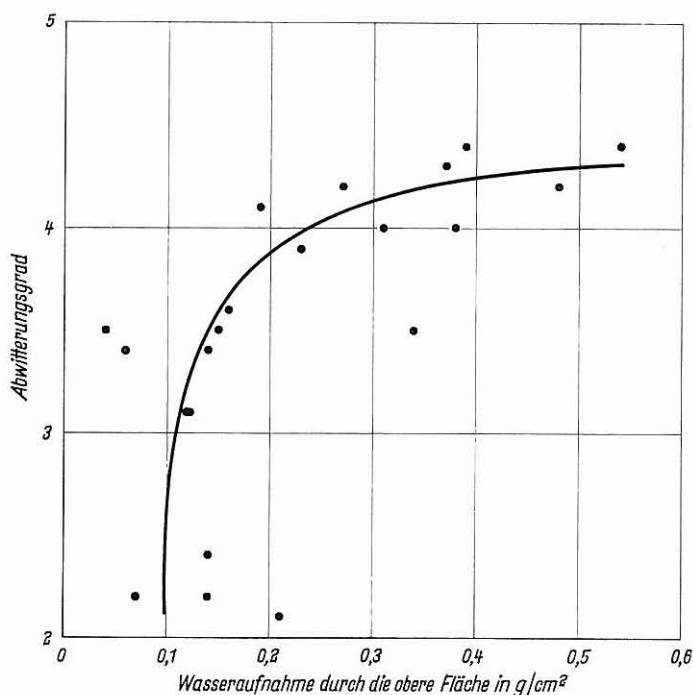


Bild 13 Abwitterungsgrad in Abhängigkeit von der Wasseraufnahme durch die obere Fläche

Der Sättigungswert S (Tafel 3, Spalte 9) war meist größer als 0,80. Doch fand sich ebenfalls keine Beziehung zur Abwitterung (Tafel 3, Spalte 4); z. B. hatte die Vorsatzschicht Fz mit einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand einen größeren (ungünstigeren) Sättigungswert von 0,84 als der anfälligste Vorsatz RaL mit dem kleinsten Sättigungswert von 0,77.

Dagegen besteht anscheinend nach Bild 13 eine gewisse Abhängigkeit des Abwitterungsgrades von der durch die obere Fläche aufgenommenen Wassermenge (Tafel 3, Spalte 6). Bei den zementreichen und bei den nachträglich im Alter von 6 bzw. 18 Tagen imprägnierten Versuchsreihen lag die Wasseraufnahme im allgemeinen unter $0,14 \text{ g/cm}^2$ und der Abwitterungsgrad unter $3/50$. Bei den Reihen mit einer demgegenüber stärker wasser-saugenden Oberschicht lagen die Abwitterungsgrade über $3/50$.

Durch Imprägnieren (Reihen Mal, Ffl, Fal, Gal und Fam) hat sich bis zum 11. Wechsel eine hervorragende und auch bis zum 40. Wechsel noch eine sehr gute Schutzwirkung ergeben (Abwitterungsgrad etwa wie bei dem Vorsatz Fza, Bild 12). Erst durch die folgenden 20 Wechsel mit gefrierender Salzlösung stellte sich eine hervortretende Schädigung ein. Für die Praxis dürfte der in etwa gleichem Maße mit Leinölfirnis und Mineralöl erzielte Schutz in Fällen, in denen ein Vorsatz anfällig erscheint, vorteilhaft sein, ebenso auch für junge, unmittelbar vor dem Winter verlegte Platten.

Als gütemindernd hat sich die Imprägnierung der frischen Platten MI und FI erwiesen.

5.3 Feuchtbehandlung

Die mit Wasser angesprühten und die feucht abgedeckten Platten (a bzw. f) nahmen durch die obere Fläche etwas weniger Wasser auf als die nicht feucht behandelten Platten vergleichbarer Reihen. Dies hatte hier keine merkbare Verbesserung des Frost-Tausalz-Widerstands zur Folge.

5.4 Luftporengehalt

Nach Tafel 3, Spalte 10, wurde durch das LP-Zusatzmittel bei Vorsatz RaL der Luftporengehalt (Abschnitt 4.3.4) nur unwesentlich, von 0,9 auf 1,4%, und bei Mal und FaL auf 2,3 bzw. 2,6% erhöht. Trotz der noch als unzureichend erachteten Porengehalte⁴⁾ der Reihen MaL und FaL war bereits dadurch der Frost-Tausalz-Widerstand gegenüber den Reihen Ma und Fa ohne LP-Zusatzmittel merkbar angehoben worden.

Über die weitere Beurteilung nach dem Teil-Luftporengehalt (Porengehalt bis 0,3 mm Durchmesser, Tafel 3, Spalte 11), der mindestens 2% betragen soll, und bezüglich des Porenverhältnisses (Tafel 3, Spalte 12) sei auf [8] verwiesen.

⁴⁾ Nach den in den USA für Konstruktionsbetone geltenden Richtwerten soll der Luftporengehalt in Mischungen mit 7 mm Größtkorn rd. 10% betragen [14].

5.5 Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit der nicht beanspruchten Platten aus den Mischungen Fz war mit rd. 75 kp/cm² am größten (Tafel 2, Spalten 13 und 14). Diese Platten wiesen auch den geringsten Abwitterungsgrad auf.

Während der Frost-Tausalz-Wechsel ergab sich nach Tafel 2, Spalten 14 bis 16, zum Teil ein Anstieg der Biegefestigkeit bis auf rd. 120 %. Ein Rückgang bis auf rd. 70 % der Biegefestigkeit fand sich meist bei solchen Platten, die stärker abgewittert waren, z. B. bei den Vorsatzschichten G und R. Insgesamt gesehen ist die Biegefestigkeit während der schroffen und zahlreichen Frost-Tausalz-Wechsel und trotz der Oberflächenschäden im allgemeinen erhalten geblieben.

6. Zusammenfassung

Gehwegplatten aus Beton waren nach häufigen Tausalzstreuungen in dem ungewöhnlich strengen Winter 1962/63 abgewittert. Diese Platten nach DIN 485 überstanden durchschnittliche Winter ohne Mängel. Um die Bedingungen für hohen Frost-Tausalz-Widerstand von Gehwegplatten abzugrenzen, wurden zahlreiche Gehwegplatten in einem Betonwerk mit unterschiedlich zusammengesetzter und behandelter Vorsatzschicht hergestellt und im Laboratorium bereits im Alter von 6 Wochen 60 schroffen Frost-Tausalz-Wechseln ausgesetzt. Die Mischungen für die Vorsatzschicht unterschieden sich im Zementgehalt, Wasserzementwert, Zuschlag und Luftporengehalt. Die Platten wurden außerdem in verschiedener Weise feucht behandelt oder an der oberen Fläche imprägniert.

Wenn auch die verhältnismäßig umfangreichen und mit erheblichem Aufwand betriebenen Untersuchungen eine noch breitere Basis erfordern, so zeichnen sich doch einige nutzbare Folgerungen ab:

6.1 Erdfeucht angemachte und durch eine Stampfmaschine verdichtete Oberschichten mit einem Größtkorn von 7 mm sollen mindestens 450 kg Zement je m³ und einen Wasserzementwert um 0,40 (keinesfalls über 0,45) aufweisen, sofern die Sieblinie des Zuschlaggemisches im günstigen Bereich verläuft. Der Mehlkorngelalt in 1 m³ der verdichteten Vorsatzmischung, der sich aus dem Zementgehalt und dem Feinstsand 0/0,2 mm bzw. Steinmehl 0/0,2 mm zusammensetzt, liegt dabei zweckmäßig im Bereich von 500 bis 550 kg je m³ des verdichteten Vorsatzes. Doch können auch ungünstige, sehr feinkornreiche Mischungen widerstandsfähig sein — wie einige hier geprüfte Mischungen (Fz) —, wenn durch einen erhöhten Zementgehalt (hier 580 kg/m³) der Wasserzementwert klein gehalten werden kann (hier 0,37). Damit erhält man auch hier einen günstig zusammengesetzten Zementleim (mit kleinem Wasserzementwert) in einer für die Verdichtung ausreichenden Menge.

6.2 Künstliche Luftporen können in die erdfeucht angemachten, feinkornreichen Vorsatzmischungen nur beschränkt und durch ein besonderes Vorgehen eingeführt werden. Bereits ein geringer Anteil an kugelförmigen, kleinen Luftporen — der allerdings nur

mikroskopisch am erhärteten Beton nachweisbar ist — wirkte sich in einer Verbesserung des Frost-Tausalz-Widerstandes aus.

6.3 Imprägnieren der oberen Fläche der Platten mit Leinölfirnis oder Mineralöl (Anthrazenöl) im Alter von 6 bzw. 18 Tagen hat den Frost-Tausalz-Widerstand verbessert, besonders ausgeprägt bei den an sich weniger widerstandsfähigen Vorsatzschichten während der ersten 40 Frost-Tausalz-Wechsel.

6.4 Eine verbessernde Wirkung einer Feuchtbehandlung der Platten (einmaliges Ansprühen mit Wasser oder 14tägige Lagerung unter feuchten Tüchern) trat entgegen den sonstigen Erkenntnissen hier nicht hervor.

6.5 Die Biegefestigkeit der Platten wurde durch die scharfe Frost-Tausalz-Einwirkung und die zum Teil aufgetretene Abwitterung in der Regel nicht vermindert.

6.6 Der Sättigungswert nach J. Hirschwald stand in keiner Beziehung zum Frost-Tausalz-Widerstand. Der Widerstand nahm jedoch mit kleiner werdender Wasseraufnahme durch die obere Fläche im allgemeinen zu.

7. Folgerungen

Die Versuche lassen allgemein den Schluß zu, daß ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand durch eine zweckentsprechende, günstige *Zusammensetzung der Vorsatzmischung* praktisch ausreichend gewährleistet werden kann. Dazu muß allerdings — wenn der Vorsatz nicht mit ungewöhnlich hohem Zementgehalt versehen wird — auf die häufig übliche, alleinige Verwendung von steinmehlreichen Brechsanden oder von Flußsanden 0/3 mm mit hohem Gehalt an Körnung 0/1 mm verzichtet werden⁵⁾.

Künstlich eingeführte Luftporen, die bei dem nicht so steif angemachten Straßenbeton hohen Frost-Tausalz-Widerstand ermöglichen, sind in den erdfeuchten Vorsatzmischungen nur in beschränktem Ausmaß mit besonderem Aufwand zu erzeugen, so daß diese Maßnahme bei der üblichen Plattenfertigung ausscheiden dürfte.

Eine den Frost-Tausalz-Widerstand erhöhende *Imprägnierung* der erhärteten Platten bedeutet ebenfalls eine betriebliche Erschwerung und wird nur unter besonderen Verhältnissen in Betracht gezogen werden können, wie in Fällen, in denen hochwertige, jedoch noch junge Platten kurz vor dem Winter verlegt werden müssen und Tausalzstreuung zu erwarten ist. Man kann jedoch nicht voraussetzen, daß Platten mit geringem Widerstand gegen Frost-Tausalz-Einwirkung durch eine einmalige Imprägnierung auf die Dauer gegen Tausalzabwitterungen geschützt bleiben.

⁵⁾ Auf Grund der im Jahre 1963 im Forschungsinstitut der Zementindustrie angestellten Untersuchungen wurde dem Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie e. V. in Bonn eine kurze Ausarbeitung übergeben, in der nach dem damaligen Stand der Feststellungen einige Hinweise für die zweckmäßige Kornzusammensetzung der Oberschicht gemacht wurden (Sonderabdruck Januar 1964). Die Ergebnisse dieser Versuche haben die damaligen Empfehlungen im wesentlichen bestätigt.

SCHRIFTTUM:

- [1] Walz, K., und R. Springenschmid: Betonstraßen und Tausalzeinwirkung. beton 12 (1962) H. 11, S. 507/512; ebenso Betontechnische Berichte 1962, Beton-Verlag, Düsseldorf 1963, S. 159/175.
- [2] Walz, K., und H. Helms-Derfert: Schutz von jungem Straßenbeton gegen Tausalzeinwirkung. beton 15 (1965) H. 4, S. 155/159, und H. 5, S. 201/205; ebenso Betontechnische Berichte 1965. Beton-Verlag, Düsseldorf 1966, S. 73/97.
- [3] Prüfrichtlinien für Betonzusatzmittel, Fassung 1958 mit Änderungen 1960. Betonstein-Zeitung 26 (1960) H. 10, S. 424/431.
- [4] Schäfer, A.: Die Bestimmung des Luftporengehalts im Beton. beton 13 (1963) H. 8, S. 383/386; ebenso Betontechnische Berichte 1963, Beton-Verlag, Düsseldorf 1964, S. 127/136.
- [5] Verbeck, G. J., und P. Klieger: Studies of salt scaling of concrete. Highw. Res. Board, Bull. 1950, 1957, S. 1/13.
- [6] Hirschwald, J.: Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1908.
- [7] Rosiwal, A.: Verhandl. K. u. k. geol. Reichsanstalt, 1898, S. 143/156.
- [8] Schäfer, A.: Frostwiderstand und Porengefüge des Betons — Beziehungen und Prüfverfahren. Dissertation T.H. Clausthal 1964; ebenso Schriftenreihe Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, H. 167, W. Ernst & Sohn, Berlin 1964.
- [9] Powers, T. C.: The air requirement of frost-resistant concrete. Proc. Highw. Res. Board 29 (1949) S. 184/202 (Diskussionsbeitrag T. F. Willis, S. 203/211).
- [10] Powers, T. C.: Void spacing as a basis for producing air-entrained concrete. Portland Cement Association, Research Bulletin 49 (Juli 1954).
- [11] Schäfer, A.: Vergleichende amerikanische Untersuchungen über vier Verfahren der Frost-Tau-Wechsel-Prüfung an Beton. beton 12 (1962) H. 7, S. 314/318; ebenso Betontechnische Berichte 1962, Beton-Verlag, Düsseldorf 1963, S. 93/104. (Nach: Report on cooperative freezing-and-thawing tests of concrete. Highway Research Board, Spec. Rep. 47, Washington 1959).
- [12] Mielenz, R. C., V. E. Wolkodoff, J. E. Backstrom und R. W. Burrows: Origin, evolution, and effects of the air void system in concrete. Part 4 — The air void system in job concrete. Proc. Amer. Concr. Inst. 55 (1958/1959) S. 507/517.
- [13] Walz, K.: Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin/München 1963; ebenso Beton- und Stahlbetonbau 53 (1958) H. 6, S. 163/169.
- [14] Walz, K.: Luftporenbildende Zusatzmittel. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, H. 123, Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1956.