

# Schutz von jungem Straßenbeton gegen Tausalzeinwirkung

Von Kurt Walz und Hermann Helms-Derfert, Düsseldorf

## Übersicht

*Gut zusammengesetzter und erhärteter Straßenbeton, der einen durch luftporenbildende Betonzusatzmittel erzeugten Mindestluftgehalt von 3,5% aufweist (LP-Beton), ist nach Versuchen und Erfahrung unter hiesigen klimatischen Verhältnissen gegen Tausalze ausreichend widerstandsfähig. Wird ordnungsgemäßer LP-Beton, der im Spätherbst bei niedrigen Temperaturen und feuchter Witterung erhärtete, bald darauf einer starken Frost-Tausalz-Banspruchung ausgesetzt, so hält man trotz des LP-Gehaltes Schäden im ersten Winter durch teilweises Abwittern der Oberfläche für möglich. Durch die vorliegenden Laboratoriumsuntersuchungen sollte festgestellt werden, ob solche Schäden auftreten können und welche Maßnahmen gegebenenfalls erforderlich sind, um solchen jungen LP-Beton vor Abwitterung zu schützen. Hierzu wurden zahlreiche Platten aus gutem Straßenbeton mit einem Luftgehalt von meist rd. 3,5% nach feuchter Vorlagerung bei +5°C im Alter von 42 Tagen 90 scharfen Frost-Tausalz-Wechseln unterworfen. Zu einem Teil erhielten die oberen Flächen der Platten vor den Wechseln eine Imprägnierung durch Leinöl, Epoxyharz-Lösung, Anthrazenöl oder Silicon.*

*Platten aus dem bei +20°C gelagerten Vergleichsbeton ohne künstliche Luftporen und ohne Imprägnierung (Druckfestigkeit bei Beginn der Wechsel im Alter von 42 Tagen 587 kp/cm<sup>2</sup>) wiesen nach den Frost-Tausalz-Wechseln starke Schäden mit Abwitterungen bis zu 1 cm Tiefe auf; dabei lösten sich auch grobe Zuschlagkörner heraus. Auf dem sonst gleichen, ebenfalls nicht imprägnierten und bei +5°C erhärteten LP-Beton mit rd. 3,5% Luftgehalt (Druckfestigkeit bei Beginn der Wechsel im Alter von 42 Tagen 445 kp/cm<sup>2</sup>) witterte selbst unter diesen ungünstigen Bedingungen lediglich eine höchstens 1 mm dicke Feinmörtelschicht ab. Die obere Fläche von Platten aus LP-Beton, auf die einige Stunden nach der Fertigstellung ein handelsüblicher Nachbehandlungsmittel aufgesprüht wurde, wies etwa die gleiche geringe Abwitterung auf wie die zuvor erwähnten Platten mit 3,5% Luftgehalt. Ebenso verhielten sich Platten, die mit Anthrazenöl oder Silicon-Lösungen imprägniert waren oder denen ein Siliconzusatz zur Betonmischung beigegeben war. Bei den mit Leinöl imprägnierten Platten aus LP-Beton witterte nur noch die Zementhaut ab, und die mit Epoxyharz-Lösung imprägnierten blieben unverändert.*

## 1. Einleitung

Straßenbeton mit einem ausreichenden Gehalt von wenigstens 3,5 % sehr kleiner, gleichmäßig verteilter, künstlich in den Frischbeton eingeführter Luftporen ist gegen Frost-Tausalz-Einwirkung im allgemeinen widerstandsfähig, wenn er im übrigen sachgemäß zusammengesetzt und eingebaut sowie ausreichend lange nachbehandelt worden ist<sup>1)</sup> [1]. Diese Erkenntnis ergab sich aus vielen, u.a. amerikanischen Untersuchungen und Versuchsstrecken, auf die hier im einzelnen nicht eingegangen werden kann. In [1], [2] und [3] werden zahlreiche Veröffentlichungen zu diesem Thema aufgeführt und referiert.

Die günstige Wirkung der künstlich eingeführten Luftporen gilt für Beton, der vor der ersten Tausalzbeanspruchung zunächst weitgehend erhärtet und dann einer Trockenperiode ausgesetzt war, durch die das von der Herstellung bedingte überschüssige Anmachwasser vermindert wurde. Klieger [4] hält bei 4,5 °C eine Erhärtungszeit des Betons von 14 Tagen vor der Frost-Tausalz-Einwirkung u. U. bereits für ausreichend, während ein amerikanischer Ausschuß [5] die dreifache Zeit vorschlägt; nach dem Feuchtigkeitszustand des Betons (Trocknungsgrad) wurde hier nicht unterschieden. Grieb [6] und Bloem [7] betonen auf Grund verschiedener Versuchsergebnisse, daß bei jungem Beton neben ausreichender Erhärtung auch ein durch Trocknung verminderter Wassergehalt vor der Tausalzbeanspruchung wesentlich ist. Grieb stellte darüber hinaus fest, daß ein mit Wasser nachbehandelter Beton weniger beständig war als sonst gleicher Beton, der nur mit einem Nachbehandlungsmittel besprüht wurde. (Da Nachbehandlungsfilme keinen absoluten Schutz gegen Austrocknen bieten, kann angenommen werden, daß der Beton darunter etwas Wasser abgeben kann.)

Über den Feuchtigkeitsgehalt im Beton, der vor Beginn der Frost-Tausalz-Beanspruchung höchstens vorhanden sein darf, ist nichts bekannt. Er könnte vermutlich auch nicht als einfache Bezugsgröße wiedergegeben werden, weil er u.a. nur in Beziehung zu dem vom Wasser füllbaren Porenraum Bedeutung erlangt und so kein praktisch einfaches Beurteilungsmerkmal abgeben würde.

Vorwiegend in den USA – aber auch bei uns – stellt man seit langem Versuche an, um die weniger widerstandsfähigen, jungen Luftporenbetone sowie älteren Straßenbeton, der seinerzeit ohne künstliche Luftporen hergestellt wurde, durch Imprägnieren gegen Tausalzangriffe zu schützen. Man erwartet von einer wirksamen Imprägnierung, daß sie die Poren des Betons außen verschließt oder wasserabweisend macht, damit das Eindringen der Salzlösung und eine weitgehende Flüssigkeitssättigung unterbunden werden. Andererseits sollen Imprägnierungen keinen eigentlichen

---

<sup>1)</sup> Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden 39 Bohrkerne aus 12 nach dem extrem strengen Winter 1962/63 durch starke Tausalzeinwirkung abgewitterten Streckenabschnitten mikroskopisch auf LP-Gehalt untersucht. Die Luftporenkennwerte lagen mit einer Ausnahme so niedrig, daß auf einen zu geringen LP-Gehalt des Frischbetons beim Einbau geschlossen werden muß. Ein Bericht ist in Vorbereitung.

Film auf der Fahrbahnfläche bilden, weil dadurch der Gleitwiderstand beeinträchtigt werden kann.

In dem amerikanischen Ausschußbericht [5] wird mitgeteilt, daß mit 85 Imprägniermitteln Versuche angestellt wurden; nur wenige erwiesen sich als geeignet oder bedingt geeignet. Im allgemeinen wurde der junge Beton schon im Alter von 7 bis 28 Tagen imprägniert. Nachstehend sind die Erfahrungen mit einigen Imprägnierstoffen aufgeführt, die in Deutschland verfügbar waren und eine günstige Wirkung erwarten ließen.

*Imprägnierungen mit Leinöl oder Leinölfirnis* werden in den USA fast ausschließlich positiv beurteilt [5, 8, 9, 10]. Für die Praxis empfiehlt man [5, 10] die Imprägnierung durch zwei, etwa 1 Tag auseinanderliegende Anstriche auf den erhärteten und einigermaßen trockenen Beton, wobei das Leinöl bzw. der Leinölfirnis beim ersten Auftrag mit einem organischen Lösungsmittel im Verhältnis 1:1 verdünnt wird. Als Lösungsmittel kommen in Frage: Testbenzin, Schwerbenzin, Kerosin, Petroleum, Terpentinöl. Die Mengen bewegen sich für den ersten Anstrich zwischen 0,07 und 0,1 l/m<sup>2</sup> und für den zweiten zwischen 0,06 und 0,1 l/m<sup>2</sup> [5, 8, 9]. Die Wirkung nur eines Anstrichs mit Leinölfirnis war geringer als die zweier Anstriche [8, 9]. Eine zweimalige Behandlung mit einer Leinöl-Emulsion hatte bei anfälligem Beton ohne künstliche Luftporen eine mäßige Verringerung des Abwitterns zur Folge [8]. Leinölfirnis ist nur unwesentlich wirkungsvoller als einfaches Leinöl. (Man wird aber in der Regel Leinölfirnis verwenden, weil dieser in etwa 1 Tag aushärtet, wozu das Leinöl u. U. über drei Wochen benötigt.)

*Epoxyharz mit Polysulfid*, das im Verhältnis 1:1 oder 1:4 mit Toluol verdünnt auf den erhärteten Beton aufgebracht wurde, hatte im Laboratorium und auf der Straße eine ähnlich gute Schutzwirkung wie das vergleichsweise angewendete Leinöl [9]. Die Kosten waren jedoch wesentlich höher als bei Verwendung von Leinöl.

*Motorenöl* als Imprägnierung, das in verschiedenen Verhältnissen mit Benzin oder Testbenzin verdünnt wurde, erhöhte in einigen Fällen die Frost-Tausalz-Beständigkeit des Betons [11, 12]. Eine überzeugende Wirkung blieb jedoch aus.

*Siliconanstriche* werden mit Erfolg zur Abdichtung der Außenwände von Hochbauten gegen Schlagregen angewendet [13, 14]. Auch bei der Imprägnierung von Betonstraßen wurde z. T. eine Verbesserung der Frost-Tausalz-Beständigkeit erreicht [15, 16, 17]. In neueren Berichten werden die Siliconimprägnierungen dagegen nur als bedingt wirksam [6, 18] oder auch negativ beurteilt [5, 9, 19], d. h. daß die behandelten Proben einer Frost-Tausalz-Beanspruchung z. T. weniger widerstanden als die unbehandelten.

*Silicon als Zusatzmittel* für den Beton wurde in seiner Wirkung ebenfalls untersucht. (Mit einem Siliconzusatz wird Wandputz im

Hochbau wasserabweisend [13, 20].) Grieb fand [6, 21], daß die Zumischung von wasserlöslichen Siliconen<sup>2)</sup> zu Straßenbeton in ganz bestimmten, eng begrenzten Mengen eine gewisse Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Tausalz-Beanspruchung bringen kann.

Je nach Siliconart waren die erforderlichen Zusatzmengen verschieden. Manche Silicone blieben ohne Wirkung oder verminderten die Frostwiderstandsfähigkeit. Weiter ist zu beachten, daß Silicone das Erhärten des Betons meist stark verzögerten.

Stärkere Abwitterungen auf einigen in Deutschland im Spätjahr hergestellten, bald darauf dem Verkehr übergebenen und einer Salzstreuung ausgesetzten Strecken veranlaßten zu Überlegungen, wie junger LP-Beton im ersten Winter zusätzlich geschützt werden kann. Auch alte, als weniger gut befundene Autobahndecken ohne künstliche Luftporen verlangen bei der zunehmenden Tausalzstreuung einen Schutz gegen den Salzangriff<sup>3)</sup>. Es erschien angezeigt festzustellen, ob die in Nordamerika gemachten Erfahrungen mit Imprägnierungen auf den in Deutschland eingebauten Straßenbeton mit künstlichen Luftporen, der bald nach der Herstellung durch Frost und Tausalz beansprucht wird, übertragen werden können. Günstig wirkende Imprägnierungen würden dann ohne weiteres auch für ältere Fahrbahndecken, die ohne LP-Zusatzmittel oder ohne ausreichenden LP-Gehalt hergestellt wurden, genutzt werden können<sup>4)</sup>.

## 2. Übersicht über die Versuche

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden vom Sommer 1963 bis zum Frühjahr 1964 Frost-Tausalz-Versuche mit jungem Straßenbeton durchgeführt, der verschiedenen großen LP-Gehalt aufwies und unterschiedlicher Behandlung unterzogen wurde.

Für die Beurteilung der Frost-Tausalz-Einwirkung dienten Platten 30 cm × 30 cm × 10 cm aus Straßenbeton. Bei der Verdichtung und bei der Bearbeitung der oberen Fläche der Platten wurden die Verhältnisse der Baustelle weitgehend nachgeahmt. Die Druck-

---

<sup>2)</sup> In [21] gibt Grieb an, daß es sich um Natriummethylsiliconat handelte.

<sup>3)</sup> Die Wirkung der Tausalze, durch die die Oberfläche auch von solchem Straßenbeton abwittert, der reiner Frostbeanspruchung widersteht, ist noch nicht ausreichend geklärt. Die Salzlösung in den Poren des Betons führt zweifellos zu einer stärkeren Sprengwirkung als Wasser allein. Dazu können die plötzliche Abkühlung, aber noch mehr osmotischer und Kristallisationsdruck sowie ein Gefrieren in verschiedenen Zonen beitragen. Eine chemische Umsetzung der Salze mit dem Zementstein ist dabei nicht beteiligt.

<sup>4)</sup> Gleichgerichtete Versuche wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen vom Otto-Graf-Institut in Stuttgart (Professor W. Albrecht) auf der Strecke und im Laboratorium begonnen sowie von Oberregierungs- und -baurat L. Schaible im Auftrage des Bundesverkehrsministeriums auf mehreren Autobahnstrecken; ferner befassen sich u. W. einige Straßenbauverwaltungen mit Imprägnierversuchen auf Autobahndecken.

festigkeit der Betone wurde an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge festgestellt [22].

Die meisten Platten wurden bei + 5 °C hergestellt und gelagert. Zum Vergleich dienten ferner Platten, die bei 20 °C hergestellt und gelagert wurden.

Dem Beton von zwei Versuchsreihen wurden Silicone zugesetzt, bei einer Reihe wurde auf die Platten ein Nachbehandlungsfilm aufgetragen, und Platten einer Reihe wurden 14 Tage vor Beginn der Frost-Tausalz-Versuche in Wasser gelagert. Weitere vier Reihen mit verschiedenen LP-Gehalten wurden zum Vergleich nach Lagerung bei + 5 °C und + 20 °C ohne weitere Behandlung den Frost-Tausalz-Wechseln unterworfen. Schließlich erhielt die Oberfläche von sechs Reihen im Alter von 28 Tagen eine Imprägnierung mit Leinölfirnis [23], Anthrazenöl, Siliconen oder Epoxyharz-Lösungen.

Tafel 1 Versuchsreihen (Arbeitsplan)

1	2	3	4	5
Reihen <sup>1)</sup>	LP-Gehalt %	Silicon- zusatz	besondere Behandlung	Imprägnier- mittel
20	1	—	—	—
20 L	3,5	—	—	—
20 eL	5	—	—	—
5 L	3,5	—	—	—
5 L N	3,5	—	Nachbehand- lungsfilm L	—
5 L Z SF	3,5	BF	—	—
5 L Z SS	3,5	BS	—	—
5 L W	3,5	—	Wassertage- rung 14 Tage vor Frost- beginn	—
5 L I B	3,5	—	—	Leinölfirnis
5 L I A	3,5	—	—	Anthrazenöl
5 L I SL	3,5	—	—	Silicon BL
5 L I SS	3,5	—	—	Silicon BS
5 L I ES	3,5	—	—	Epoxyharz S
5 L I EK	3,5	—	—	Epoxyharz K25 S

<sup>1)</sup> Die Buchstaben und Zahlen der Kurzbezeichnungen haben folgende Bedeutung:

5 bzw. 20	= Lagerungstemperatur 5 bzw. 20 °C	Z	= Zumischung eines Silicons
L	= 3,5 % Luftporen	SF	= Silicon BF
eL	= erhöhter Luft- porengehalt (5 %)	SS	= Silicon BS
N	= Nachbehandlungs- film L	SL	= Silicon BL
W	= 14tägige Wasserlagerung vor Prüfung	B	= Leinölfirnis
		A	= Anthrazenöl
		ES	= Epoxyharz S
		EK	= Epoxyharz K 25 S
		I	= Imprägnierung

Auf zwei Platten jeder Reihe wurde eine Wasserschicht gefroren und dann Tausalz aufgestreut. Auf zwei weiteren Platten jeder Reihe gefror eine Tausalzlösung, die in Raumluft wieder auftaute. Diese Wechsel fanden 90mal statt.

Der in Tafel 1 wiedergegebene Arbeitsplan vermittelt einen Überblick. Insgesamt sind 14 Versuchsreihen zu je 4 Platten geprüft worden. In den folgenden Abschnitten 3 bis 6 finden sich Einzelheiten über die Stoffe, die Betonzusammensetzung, die Lagerung, die Festigkeit und den Luftgehalt sowie über die Frost-Tausalz-Wechsel.

### **3. Ausgangsstoffe**

#### **3.1 Zement**

Der für Bundesfernstraßen zugelassene PZ 275 (wes) hatte eine Normenfestigkeit nach DIN 1164 von  $N_7 = 302 \text{ kp/cm}^2$  und  $N_{28} = 459 \text{ kp/cm}^2$ , eine spezifische Oberfläche nach Blaine von  $2670 \text{ cm}^2/\text{g}$  und einen Rückstand auf dem Prüfsieb 0,09 mm DIN 4188 von 5,9 %.

#### **3.2 Zuschlagstoffe**

Das Zuschlaggemisch setzte sich zusammen aus Rheinsand 0/0,2 mm, 0/3 mm, 1/2 mm und 3/7 mm (Kornrohddichte rd.  $2,63 \text{ kg/dm}^3$ ) und doppelt gebrochenem Basaltspiltt 8/12 mm, 12/18 mm und 18/25 mm (Kornrohddichte rd.  $3,00 \text{ kg/dm}^3$ ).

#### **3.3 Betonzusätze**

##### **3.3.1 Luftporenbildner**

Zur Einstellung der verschiedenen Luftgehalte wurde ein amtlich zugelassenes, spezifisches LP-Zusatzmittel V dem Anmachwasser zugegeben.

##### **3.3.2 Silicone**

Bei dem verwendeten Silicon BF handelte es sich um ein hochdisperses Silicon-Harpulver (50 bis 60 % Silicongehalt), das weder in Wasser noch in organischen Lösungsmitteln löslich war. Es dient als Zusatz für Außenputz.

Das andere Silicon BS war eine 20%ige Lösung von Natrium-methylsiliconat in Wasser, die mit Wasser weiter verdünnt wurde. Es wurde entwickelt, um Außenputz gegen Feuchtigkeit zu imprägnieren.

#### **3.4 Nachbehandlungs- und Imprägniermittel**

Das flüssige Nachbehandlungsmittel L entsprach dem „Vorläufigen Merkblatt für die Prüfung und Beurteilung von flüssigen Nachbehandlungsmitteln für Straßenbeton“ (Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln, 1963).

Zum Imprägnieren der Plattenoberfläche dienten folgende Mittel:

1. Erwärmter Leinölfirnis (rd. 80 °C), beim ersten Anstrich 1:1 mit Terpentinöl verdünnt, beim zweiten Anstrich unverdünnt;
2. Anthrazenöl, Typ IV A 5;
3. Silicon BL, harzartiges Silicon (50 % Silicongehalt), gelöst in Xylol/Toluol und mit Testbenzin verdünnt;
4. Silicon BS, alkalisches, salzartiges Natriummethylsiliconat (20 % Silicongehalt), in Wasser gelöst und mit Wasser weiter verdünnt;
5. Epoxyharz-Lösung S, aus Harz und Härter hergestellt, mit 35 bis 40 % Feststoffen;
6. Epoxyharz-Lösung K 25 S, aus zwei Komponenten zusammengesetzt und mit der doppelten Menge eines Verdünners K versetzt.

#### 4. Beton

##### 4.1 Zusammensetzung (Tafel 2, Spalten 3, 4 und 5)

Der Zementgehalt lag je nach Luftgehalt des Betons zwischen 350 und 362 kg je m<sup>3</sup> Beton, bei den Mischungen mit rd. 3 bis 4 % Luft bei 354 kg/m<sup>3</sup> ± 4 kg/m<sup>3</sup>.

Der Wasserzementwert betrug einheitlich 0,40.

Das Zuschlaggemisch enthielt 45 Gew.-% Rheinsand und 55 Gew.-% Basaltdedelsplitt. Die Anteile – wegen der unterschiedlichen Rohdichte von Rheinsand und Basaltsplitt in Stoffraum-% ausgedrückt – betragen (Bild 1)

bis	0,2	1	3	7	15	30 mm
	2,8	18,9	33,6	48,3	69,5	100 %

Das LP-Zusatzmittel V wurde je nach Luftgehalt und Temperatur in einer Menge zwischen rd. 0,1 und 0,2 % des Zementgewichtes zugegeben. Die jeweils erforderliche Menge wurde in Vorversuchen festgelegt.

Die beiden Siliconzusätze wurden in Anlehnung an die Versuche von Grieb [6, 21] so gewählt, daß der Anteil reinen Silicons in beiden Fällen 0,3 % des Zementgewichtes betrug. Demnach wurden 0,6 % Silicon BF und 1,5 % Silicon BS, bezogen auf das Zementgewicht, zugegeben.

##### 4.2 Herstellen der Platten und Würfel

Die abgewogene Mischung aus trockenen Zuschlägen wurde in einem 250 l-Zwangsmischer nach Zugabe aller Stoffe 120 sec lang bei 20 °C gemischt. Soweit die daraus hergestellten Betonproben anschließend bei + 5 °C erhärteten, wurden Zement, Wasser und Zuschlag vorher auf + 5 °C gekühlt.

Tafel 2 Eigenschaften der Straßenbetone

(Zementgehalt rd. 350 kg/m<sup>3</sup>, Rheinsand 0/7 mm und Basaltsplitt 8/25 mm, Wasserzementwert einheitlich 0,40)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Reihe	Mischg.	1 m <sup>3</sup> Beton enthält <sup>1)</sup>		Luftporengehalt L			Rohdichte des Frischbetons			Konsistenz (nasser als erdfeucht)		Lagerung				Druckfestigkeit von 20 cm-Würfeln	
		Zement	Wasser	Soll	LP-Topf	Mikroskop	Würfel	Platten	LP-Topf	Verdichtungsmaß	Aufschläge (Powers)	naß		Luft		W <sub>28</sub> <sup>2)</sup>	W <sub>42</sub> <sup>3)</sup>
		kg/m <sup>3</sup>		%			kg/dm <sup>3</sup>			—	—	Tage				kp/cm <sup>2</sup>	
				1	0,8	1,4	2,59	2,59	2,59	1,36	17	—	14	—	28	566	587
20 L	2	352	141	3,5	3,8	4,0	2,52	2,52	2,50	1,32	12	—	14	—	28	417	445
20 eL	3	350	140	5	4,9	5,2	2,48	2,50	2,47	1,32	10	—	14	—	28	392	397
5 L	4	355	142	3,5	3,5	3,6	2,54	2,54	2,51	1,34	12	14	—	28	—	—	482
5 L N	5	355	142	3,5	3,3	3,1	2,56	2,54	2,51	1,35	12	—	—	42	—	—	448
5 L Z SF	7	358	143	3,5	2,7	3,3	2,56	2,56	2,54	1,35	14	14	—	28	—	—	507
5 L Z SS	8	350	140	3,5	4,2	4,2	2,52	2,50	2,47	1,33	13	14	—	28	—	—	436
5 L W	6	352	141	3,5	3,4	3,9	2,52	2,52	2,52	1,37	16	14	—	14 <sup>4)</sup>	—	—	486
5 L I B	4	355	142	3,5	3,5	3,6	2,54	2,54	2,51	1,34	12	14	—	28	—	—	482
5 L I A	4	355	142	3,5	3,5	3,6	2,54	2,54	2,51	1,34	12	14	—	28	—	—	482
5 L I SL	5	355	142	3,5	3,3	3,1	2,56	2,54	2,51	1,35	12	14	—	28	—	—	448
5 L I SS	5	355	142	3,5	3,3	3,1	2,56	2,54	2,51	1,35	12	14	—	28	—	—	448
5 L I ES	6	352	141	3,5	3,4	3,9	2,52	2,52	2,52	1,37	16	14	—	28	—	—	486
5 L I EK	6	352	141	3,5	3,4	3,9	2,52	2,52	2,52	1,37	16	14	—	28	—	—	486

<sup>1)</sup> Frischbetonrohddichten der Platten zugrunde gelegt<sup>2)</sup> Normallagerung nach DIN 1048<sup>3)</sup> Alter 42 Tage; Lagerung bei 5 °C, 14 Tage unter nassen Tüchern, 28 Tage an Luft mit über 90 % rel. Feuchte<sup>4)</sup> anschließend 14 Tage in Wasser von 20 °C



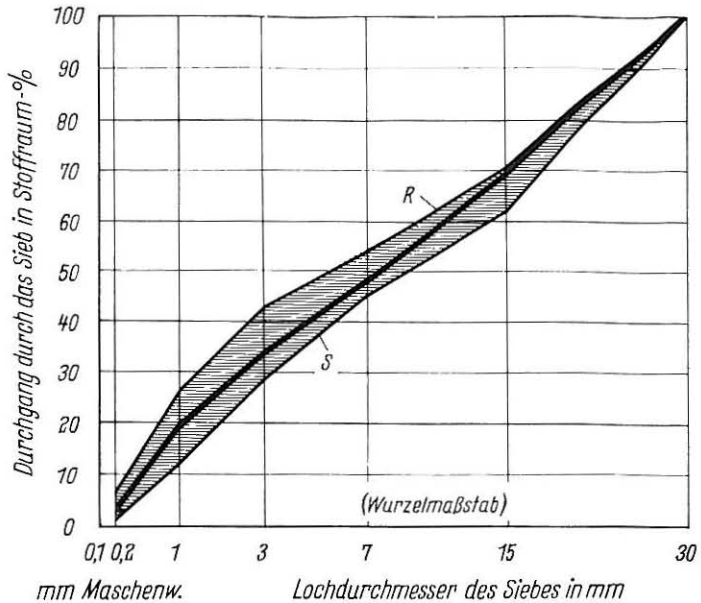


Bild 1 Sieblinie des Zuschlaggemisches  
(R und S = Grenzsieblinien des günstigen Bereiches nach Bild 1 der Richtlinien für den Bau von Betonfahrbahnen, 1963)

Die Würfelformen und der 8 l fassende Drucktopf des Luftporenmeßgerätes wurden unter stetigem Füllen 35 sec lang auf einem Rütteltisch (Schwingungszahl 3000/min, Schwingungsbreite rd. 1 mm) verdichtet, die gefüllten, liegenden Plattenformen mit einem Rüttelstampfer (Schwingungszahl 2800/min; Gewicht 25 kg). Der Rüttelstampfer war mit einem rd. 40 cm breiten und 15 cm langen, kufenförmigen Schuh versehen, der der Rüttelbohle eines Deckenfertigers nachgebildet war. Dieser Schuh wurde über die mit rd. 3 cm Überstand gefüllten, auf einem Betonboden festgehaltenen Holzformen so hinweggeführt, daß er mit seinem ganzen Gewicht auf dem Beton auflag und die Vortriebsgeschwindigkeit etwa der eines Deckenfertigers entsprach. Daraus ergab sich für den einmaligen Übergang eine Verdichtungszeit von 40 bis 45 sec. Der über dem Formrand stehende Beton wurde durch Abstreichen mit einem schräggehaltenen Stahllineal entfernt; darauf folgte ein Abziehen mit einem schräggehaltenen Reibbrett in zwei zueinander senkrechten Richtungen, um noch überstehende Schlämme zu entfernen. Unmittelbar nach dem Herstellen wurden Platten und Würfel, die für die + 5 °C-Lagerung vorgesehen waren, in den auf diese Temperatur eingestellten Lagerraum gebracht.

### 4.3 Frischbetoneigenschaften

Die Luftgehalte (Tafel 2, Spalte 6) wurden nach dem Druckausgleichsverfahren festgestellt. Sie wichen im allgemeinen um max. 0,3 % vom Sollwert (Tafel 2, Spalte 5) ab. Lediglich bei den

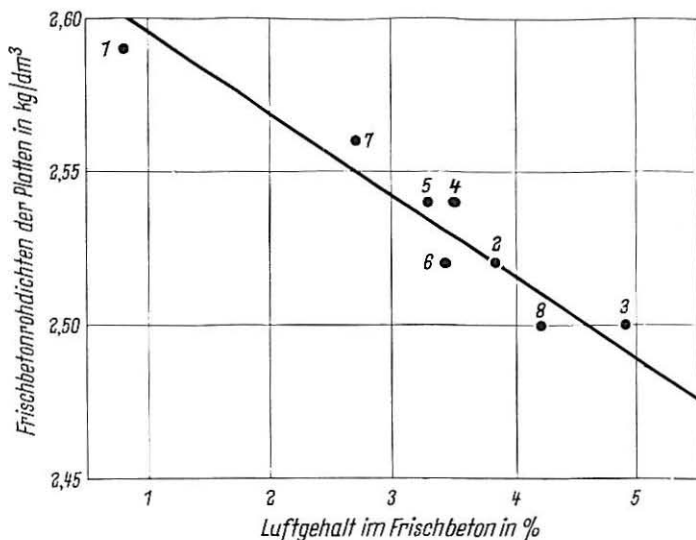


Bild 2 Frischbetonrohddichten der Platten und Luftgehalt des Frischbetons

Reihen 5 L Z SF und 5 L Z SS entstanden abweichende Luftgehalte von 2,7 % und 4,2 %, die wahrscheinlich durch den Siliconzusatz bewirkt wurden.

Die Frischbetonrohddichten wurden an den Würfeln mit 20 cm Kantenlänge, an den Platten (30 cm x 30 cm x 10 cm) und an der Füllung des Drucktopfes des Luftporenmeßgerätes ermittelt (Tafel 2, Spalten 8, 9 und 10). In den zwischen 2,47 und 2,59 kg/dm<sup>3</sup> liegenden Rohddichten drückt sich der unterschiedliche Luftgehalt aus. Die Abhängigkeit der Frischbetonrohddichten der Platten vom Luftgehalt geht aus Bild 2 hervor.

Die Konsistenz der Mischung (Tafel 2, Spalten 11 und 12) entsprach etwa der für deutschen Straßenbeton üblichen; der Beton kam bereits durch Klatschen mit der Kelle ins Fließen und wurde beim Rütteln sehr beweglich. Da der Wassergehalt gleichgehalten wurde, erschienen die Betone mit den höheren Luftgehalten etwas weicher. Das Verdichtungsmaß [24] lag zwischen 1,32 und 1,37, die Zahl der Aufschläge im Verformungsgerät nach Powers zwischen 10 und 17.

#### 4.4 Lagerung (Tafel 2, Spalten 13 bis 16)

Würfel und Platten lagerten in der Regel 14 Tage unter nassen Tüchern und 28 Tage an der Luft, und zwar die Vergleichsreihen 20, 20 L und 20 eL bei 20 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 65 %, und die übrigen Reihen bei 5 °C und bei über 90 % rel. Luftfeuchtigkeit. Zu den Reihen 20, 20 L und 20 eL wurden außerdem je 3 Würfel nach DIN 1048 gelagert, um die Betongüte nach 28 Tagen feststellen zu können.

Die Platten der Reihe 5 L N wurden 3 Stunden nach der Herstellung mit einem Nachbehandlungsfilm L versehen und sofort an der Luft gelagert (5 °C, über 90 % rel. Feuchte). Die Platten der Reihe 5 L W lagerten unmittelbar vor der Frostbeanspruchung 14 Tage lang unter Wasser.

#### 4.5 Prüfung des Festbetons

Als Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen Normallagerung [22] fand sich für

Reihe 20 (0,8 % Luftporen)	566 kp/cm <sup>2</sup>
Reihe 20 L (3,8 % Luftporen)	417 kp/cm <sup>2</sup>
Reihe 20 eL (4,9 % Luftporen)	392 kp/cm <sup>2</sup>

(siehe Tafel 2, Spalte 17).

Der etwas weichere Beton mit 4,9 % Luftporen erreichte knapp die in den Richtlinien (1963) vorgeschriebene Mindestdruckfestigkeit von 400 kp/cm<sup>2</sup>.

Die Druckfestigkeiten der Betone im Alter von 42 Tagen (Beginn der Frost-Tausalz-Wechsel) sind in Spalte 18 der Tafel 2 aufgeführt und außerdem in Bild 3 über dem Luftporengehalt aufgetragen. Aus Bild 3 erkennt man wieder trotz unterschiedlicher Erhärtungstemperatur der Betone, daß mit ansteigendem Luftgehalt die Druckfestigkeit zunehmend kleiner ausfällt, wenn der Wasser- und Feinsandgehalt des LP-Betons nicht vermindert wird, also die verflüssigende Wirkung der Luftporen unberücksichtigt bleibt (siehe [22], Abschnitte 5.3 bis 5.5). Hierauf wurde bei diesen

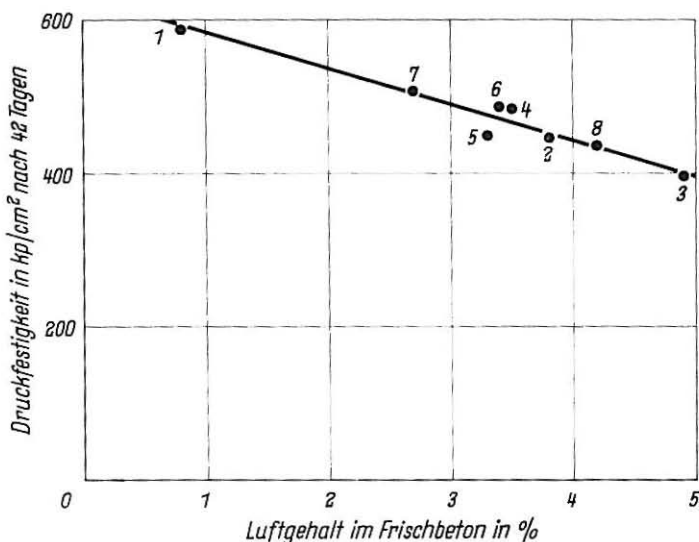


Bild 3 Druckfestigkeit nach 42 Tagen und Luftgehalt des Frischbetons mit gleichem Wassergehalt (rd. 142 l/m<sup>3</sup>)

Untersuchungen zur besseren Vergleichbarkeit der Wirkung der Imprägnierungen verzichtet.

Der Luftgehalt wurde auch an den erhärteten Platten nach der Frost-Tauwechsel-Beanspruchung nachgeprüft, um festzustellen, inwieweit er durch die verschiedenartige Verdichtung und andere Einflüsse gegenüber dem des Frischbetons verändert worden war. Zu diesem Zweck wurden aus der oberen 3 cm dicken Zone der Platten Prismen herausgesägt und an deren senkrecht zur Plattenoberfläche verlaufenden Flächen die Luftgehalte nach dem Meßlinienverfahren mikroskopisch bestimmt; siehe auch [25]. Wie Tafel 2, Spalten 6 und 7, zu entnehmen ist, weicht der mikroskopisch bestimmte Gesamtluftgehalt von den am Frischbeton ermittelten Luftgehalten um +0,6 bis -0,2 %, im Mittel um 0,2 % ab. Für den Beton der Reihen 20, 20 L und 20 eL wurde darüber hinaus der Gehalt an Luftporen mit einem Durchmesser bis 0,3 mm ausgemessen. Dieser Teilluftgehalt  $L_{300}$  erlaubt eine bessere Beurteilung des zu erwartenden Frost-Tausalz-Widerstandes als der gesamte Luftgehalt. Er ist in Tafel 3 zusammen mit dem Gesamtluftgehalt des Frischbetons dieser Reihen eingetragen. Der Teilluftgehalt  $L_{300}$ , der naturgemäß kleiner als der Gesamtluftporengehalt L ist, sollte für einen Beton mit hohem Tausalz-Widerstand nicht unter 1,5 % liegen. Man erkennt aus Tafel 3 ferner, daß das LP-Zusatzmittel V überwiegend feine Luftporen bis 0,3 mm Durchmesser erzeugte.

Tafel 3 Luftgehalt im erhärteten Beton

Reihe	20 <sup>1)</sup>	20 L	20 eL
Gesamt-Luftporengehalt L	0,8	3,8	4,9 %
$L_{300}$	0,1	2,2	3,2 %

<sup>1)</sup> ohne LP-Zusatzmittel

## 5. Imprägnieren

Alle Platten wurden im Alter von 28 Tagen, also nach vorausgegangener 14tägiger Naß- und 14tägiger Feuchtluftlagerung, bei + 5 °C imprägniert. Am Tage vorher wurden auf einer Hälfte jeder Platte 20 g Wasser (entsprechend 0,5 mm Niederschlagshöhe) mit einem Pinsel verteilt. Bei der Imprägnierung erschien auch dieser Teil der Plattenoberfläche nach Augenschein trocken.

Die aufzutragenden Mengen der Imprägnierflüssigkeiten wurden nach den Angaben der im Abschnitt 1 erwähnten Berichte gewählt. Das Auftragen erfolgte durch wiederholtes Überstreichen mit einem Pinsel, bis die vorgesehene Menge erreicht war. Der Leinölfirnis wurde bei beiden Anstrichen auf 80 °C erwärmt, die anderen Imprägnierflüssigkeiten hatten Zimmertemperatur.

Tafel 4 Imprägniermittel, Verdünner und aufgetragene Menge (einschließlich Verdünner)

1	2	3	4	5	6
Reihe	Mittel	Verdünner	Verdünnungsverhältnis	Menge g/m <sup>2</sup>	Bemerkungen
5 L I B	Leinölfirnis	Terpentinöl	1 : 1	90 ( + 70) <sup>1)</sup>	
5 L I A	Anthrazenöl	—	—	250	Typ IV A 5
5 L I SL	Silicon BL	Testbenzin	1 : 20	200	5 g reines Silicon je m <sup>2</sup>
5 L I SS	Silicon BS	Wasser	1 : 10	250	5 g reines Silicon je m <sup>2</sup>
5 L I ES	Epoxyharz-Lösung S	—	—	180	Harz : Härter = 1 : 1
5 L I EK	Epoxyharz-Lösung K 25 S	Verdünner K	1 : 2	200	Harz : Härter : Verdünner = 1 : 1 : 4

<sup>1)</sup> nach 1 Tag ein zweiter Auftrag von unverdünntem Leinöl

Das Anthrazenöl benötigt etwa 2 Tage zum Trocknen. Alle übrigen Imprägniermittel waren nach längstens einem Tag nach Augenschein und beim Befühlen trocken. Weder beim Auftragen noch beim Abtrocknen konnte ein Einfluß der vorgehäßten Flächenhälfte erkannt werden.

Tafel 4 gibt Aufschluß über Einzelheiten der Imprägnierungen.

## 6. Frost-Tausalz-Wechsel

Den erhöhten Rand an der Plattenoberfläche, siehe Bild 4, bildete eine Holzleiste 2/2 cm, die mit einem gemagerten Kunstharzkleber aufgesetzt und mit dem reinen Kleber überspachtelt wurde.

Die Versuchsplatten lagerten dauernd in fahrbaren Gestellen (Bild 5) während 16½ Stunden im Frostraum (-15 °C) und anschließend zum Auftauen 7½ Stunden in einem Raum von +20 °C. Beide Räume wurden dauernd auf dieser Temperatur gehalten; die Luft im Frostraum wurde durch Ventilatoren umgewälzt. Der Temperaturverlauf in einer Platte, etwa 1 bis 2 mm und 5 cm unter der oberen Fläche, wurde über eingebettete Thermolemente, ebenso wie die Raumluft, von einem 6-Farbenschreiber laufend registriert. Bild 6 gibt den Temperaturverlauf über 24 Stunden wieder; die laufenden Messungen wiesen nur wenige Unterschiede aus. Um eine möglichst gleichmäßige Beanspruchung aller Platten zu gewährleisten, wurden sowohl die Platten in den Gestellen als auch der Standplatz der Gestelle nach einem bestimmten Plan zyklisch gewechselt.

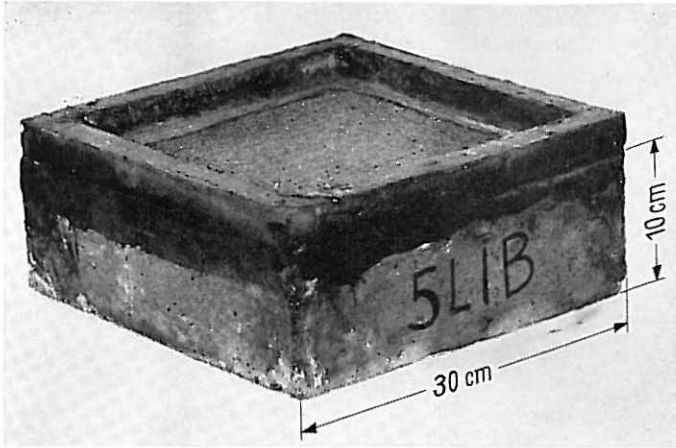


Bild 4 Versuchsplatte mit aufgeklebtem Rand



Bild 5 Fahrbares Gestell mit 18 Versuchsplatten

### *Platten mit Wasserschicht*

Auf zwei Platten jeder Reihe wurde eine 3 mm dicke Schicht aus Leitungswasser gefroren; nach etwa 1½ Stunden hatte sich eine durchgehende Eisschicht gebildet. Im Frostraum wurden auf die Eisschicht gegen Ende der Frostlagerung (rd. 15½ Stunden im Frostraum) je Platte 6,3 g Kochsalz (NaCl) gleichmäßig aufgestreut. Diese Menge war so bemessen, daß nach dem völligen Auftauen eine 3 ‰ige Salzlösung – entsprechend 90 g Salz je m<sup>2</sup> – entstand<sup>5)</sup>. Das Aufstreuen des Salzes brachte die bekannte plötzliche Temperatursenkung ([2], Seite 13), hier von etwa 4 °C (siehe auch Bild 6).

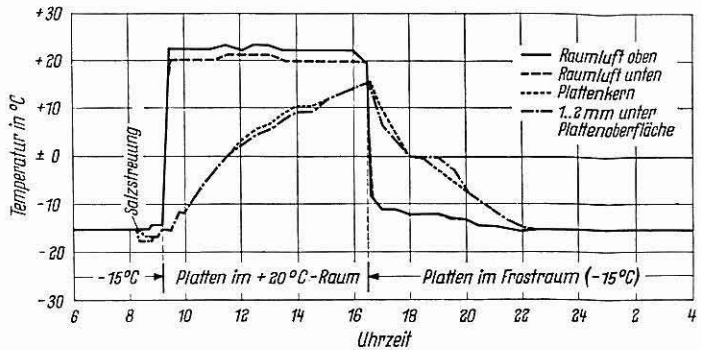


Bild 6 Temperaturverlauf in den Platten und der umgebenden Raumluft während eines Frost-Tausalz-Wechsels durch Aufstreuen von Salz (24 h - Zyklus)

Die Platten verblieben nach dem Aufstreuen des Salzes noch etwa 1 Stunde im Frostraum. Während dieser Zeit tauten die bestreuten Platten fleckenweise etwas auf, wobei die auf der Eisfläche entstehenden Pfützen jedoch selten so tief waren, daß sie die Betonoberfläche erreichten. Danach wurden die Platten zum Auftauen in den 20 °C-Raum gefahren, wo die Eisschicht in rd. 3 1/2 Stunden völlig auftaute. Zu diesem Zeitpunkt herrschte auch im Kern keine Frosttemperatur mehr. Etwa 1/2 Stunde vor dem erneuten Einfahren in den Frostraum wurde die Salzlösung mit einem Schwamm abgetupft, frisches Wasser aufgegossen, und die Platten wurden für einen neuen Zyklus in den Frostraum gebracht.

#### Platten mit Salzlösung

Auf den anderen beiden Platten jeder Reihe stand dauernd eine 3 %ige Kochsalzlösung 3 mm hoch (210 g Lösung je Platte, entsprechend 90 g Salz je m<sup>2</sup>). Die Lösung wurde nach je 5 Wechseln erneuert. Im übrigen liefen die Frost-Tausalz-Wechsel genauso ab, wie es für die mit Salz bestreuten Platten beschrieben wurde. Da der Gefrierpunkt durch die Lösung nur um etwa 3 °C gesenkt wurde, änderten sich auch die Gefrier- und Auftauzeiten gegenüber den bestreuten Platten kaum. Der Temperaturverlauf von Bild 6 gilt mit unwesentlichen Abweichungen also auch für diese Platten.

Insgesamt wurden in einem Zeitraum von 4 1/2 Monaten 90 Frost-Tausalz-Wechsel aufgebracht; die Platten wurden darüber rd. 6 Monate alt.

<sup>5)</sup> Arnfelt [26] stellte bereits vor über 20 Jahren fest, daß bei nicht zu hohen Salzkonzentrationen die Schädigung durch Gefrieren ein Maximum erreicht. Durch Versuche von Verbeck und Klieger [27] wurde dies bestätigt. Auch andere Salze, die mit Sicherheit sich mit den Zementbestandteilen chemisch nicht umsetzen, wie z. B. Harnstoff, führten bei ähnlicher Lösungskonzentration zur stärksten Zerstörung. In Anlehnung an diese Feststellungen wurde eine Salzmenge gewählt, die eine 3 %ige Lösung ergab.

## 7. Veränderungen der Plattenoberflächen durch die Frost-Tausalz-Wechsel

### 7.1 Einordnung nach Schadensstufen

Nach dem 5. und 10. Wechsel und weiter alle 10 Wechsel wurden die Platten untersucht und die aufgetretenen Veränderungen nach den Schadensstufen 0 bis 4 eingeordnet. Dabei bedeuteten Schadensstufe

0 = keine Veränderung

1 = Abwittern der Zementhaut und einer dünnen Feinmörtelschicht, sandpapierartige Oberfläche, keine merkbaren Vertiefungen

2 = Abwittern des Feinmörtels bis etwa 1 mm Tiefe; feine Narbung, Sandkörner z. T. freiliegend

3 = stärkeres Abwittern bis etwa 4 mm Tiefe; Narbung im Mörtel, grobe Sandkörner freiliegend

4 = Abwittern bis etwa 10 mm Tiefe; grobe Zuschlagkörner freiliegend, Mörtel zwischen den Zuschlagkörnern herausgewittert

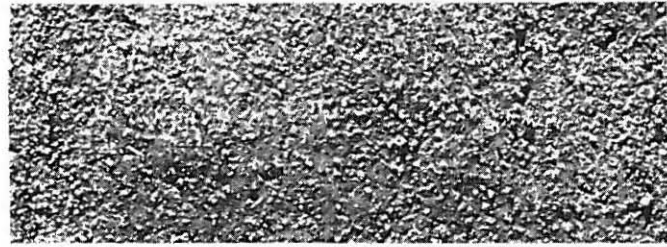
Bild 7 gibt die 5 Schadensstufen und Tafel 5 eine Zusammenfassung der Feststellungen wieder. In den Spalten 2 bis 4 finden sich die Beobachtungen an den 14 Reihen nach 30, 60 und 90 Wechseln und in den Spalten 5 bis 7 die unter Berücksichtigung

Tafel 5 Schadensstufen nach 30, 60 und 90 Frost-Tausalz-Wechseln

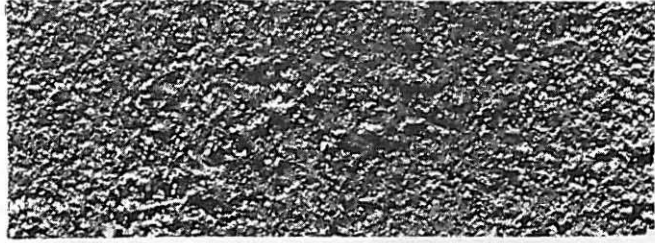
1	2	3	4	5	6	7
Reihe	Flächenanteil <sup>1)</sup> in % mit der größten Schadensstufe nach Wechseln			bestimmende Schadensstufe nach Wechseln		
	30	60	90	30	60	90
20	100 % 4	100 % 4	100 % 4	4	4	4
20 L	10 % 2	10 % 3	20 % 3	1	2	2
20 eL	80 % 2	10 % 3	10 % 3	2	2	2
5 L	30 % 2	30 % 3	30 % 3	2	2	2
5 L N	10 % 2	10 % 3	10 % 3	1	2	2
5 L Z SF	30 % 3	30 % 3	30 % 3	2	2	2
5 L Z SS	30 % 2	60 % 3	90 % 3	1	3	3
5 L W	10 % 3	30 % 3	30 % 3	2	2	2
5 L I B	50 % 1	20 % 2	20 % 2	1	1	1
5 L I A	90 % 2	20 % 3	20 % 3	2	2	2
5 L I SL	10 % 3	50 % 3	50 % 3	2	3	3
5 L I SS	40 % 3	50 % 3	50 % 3	2	3	3
5 L I ES	10 % 1	10 % 1	10 % 1	0	0	0
5 L I EK	20 % 1	20 % 1	20 % 1	0	0	0

<sup>1)</sup> es ist der Flächenanteil in % aufgeführt, der am stärksten geschädigt war (größte Schadensstufe); die übrige Fläche wies in der Regel die nächstkleineren Schadensstufen auf

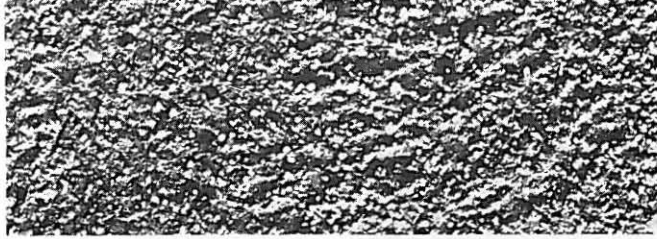




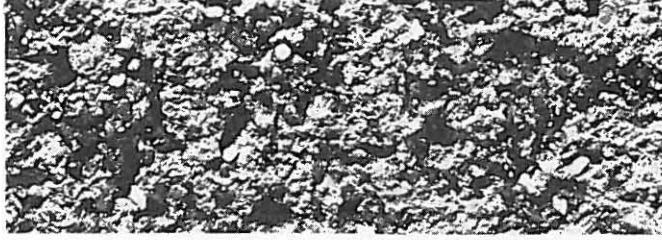
0



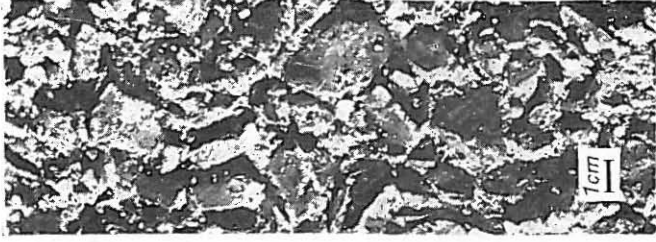
1



2



3



4

Bild 7 Schadensstufen 0 bis 4

des Flächenanteils „bestimmenden Schadensstufen“. Für Reihe 20 L bedeutet z. B. in Spalte 4 „20 % 3“, daß die am meisten geschädigte der 4 Platten dieser Reihe auf 20 % der Oberfläche die Stufe 3 aufwies, der übrige Teil der Oberfläche jedoch nur Stufe 2, weshalb in Spalte 7 Schadensstufe 2 aufgenommen ist.

## 7.2 Entwicklung der Abwitterung

Nach anfänglich wenig zunehmender Abwitterung nahm diese bei allen Reihen dann rasch und anschließend, etwa vom 60. Wechsel an, nur noch langsam zu.

Auffällig war das Verhalten der Reihe 5 L Z SS (Zusatz von Silicon S), und zwar vor allem bei den Platten, auf denen die Salzlösung gefror. Bis zu etwa 50 Wechseln war die Abwitterung sehr gering (Stufe 1). Danach witterte nach wenigen weiteren Wechseln die Oberfläche so stark ab, daß auf dem größten Teil der Fläche Stufe 3 erreicht wurde.

## 7.3 Einfluß der Art der Salzeinwirkung

Durch die beiden verschiedenen Salzeinwirkungen – Aufstreuen von Salz oder Gefrieren einer Salzlösung – stellten sich zwei verschiedene Abwitterungsvorgänge ein.

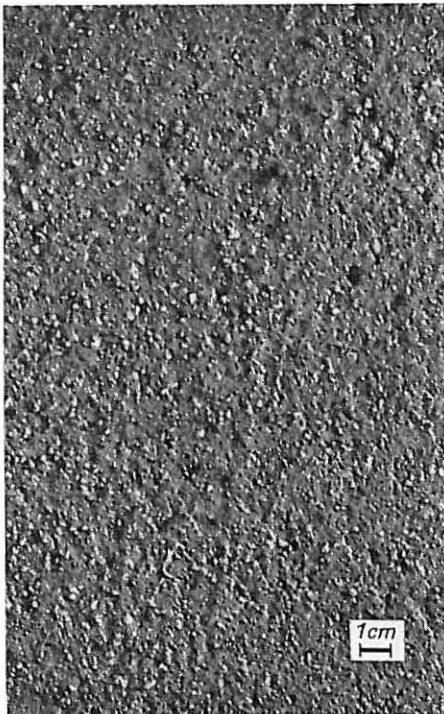


Bild 8  
Reihe 20 eL: Luftporen-  
gehalt rd. 5 %; Zu-  
stand nach 90 Frost-  
Tausalz-Wechseln; Ab-  
witterung nach Sch-  
adensstufe 2 durch Auf-  
streuen von Tausalz

Beim Aufstreuen des Salzes auf die Eisschicht witterte der Mörtel gleichmäßig und mehr flächenhaft ab. Auch nahm die Verwitterung verhältnismäßig stetig zu. Die Oberfläche wurde zwar rau, blieb aber wenigstens bis zur Schadensstufe 2 ohne hervortretende Narben, siehe Bild 8.

Auf den Flächen, auf denen die Salzlösung einfror, entstanden dagegen zunächst meist einzelne, mehr oder weniger tiefe, narbenförmige Abwitterungen (Durchmesser selten über 2 cm). Sie nahmen bei wenig widerstandsfähigen Platten an Zahl zu, so daß schließlich die ganze Oberfläche zerstört wurde. Meist war bei dieser Schadensart aber nur ein kleiner Teil der Oberfläche betroffen, so daß die Veränderung im ganzen wenig hervortrat.

Je stärker die Abwitterungen durch beide Schadensarten wurden, desto mehr ähnelten sich die Schadensbilder.

#### 7.4 Einfluß der verschiedenen Behandlungen, Imprägnierungen und Siliconzusätze

In Tafel 6 sind die Versuchsreihen nach der Schadensstufe geordnet. Die meisten Reihen weisen die Schadensstufen 2 und 3 auf. Der Übergang von Stufe 2 nach Stufe 3 war fließend, und die Reihenfolge konnte meist nur durch Vergleich aller Platten aufgestellt werden. Hiervon hoben sich die Platten mit den übrigen Schadensstufen (0, 1 und 4) sehr deutlich ab.

Tafel 6 Einordnung der Versuchsreihen in die Schadensstufen nach 90 Frost-Tausalz-Wechseln

1	2	3	4	5
Schadensstufe <sup>1)</sup>				
0	1	2	3	4
5 L I ES (Epoxyharz)	5 L I B (Leinöl)	20 eL (4,9 % Luft)	5 L I SL (Siliconanstrich)	20 (ohne Imprägnierung und Luftporen)
5 L I EK (Epoxyharz)		5 L N (Film L)	5 L I SS (Siliconanstrich)	
		20 L (3,9 % Luft)	5 L Z SS (Siliconzusatz S)	
		5 L I A (Anthrazenöl)		
		5 L (3,5 % Luft)		
		5 L Z SF (Siliconzusatz F)		
		5 L W (3,4 % Luft; W. L.)		

<sup>1)</sup> innerhalb der einzelnen Schadensstufen (Spalten 3 und 4) nimmt der Grad der Abwitterung von oben nach unten zu

Mit dem Nachbehandlungsfilm entstand wie beim unbehandelten „Normalbeton“ mit rd. 3,5% Luftporen die Schadensstufe 2. Eine Erhöhung der Beständigkeit fand sich also nicht. Dies gilt auch für (Schadensstufe 1).

Eine Imprägnierung mit Leinölfirnis schützte so weit, daß nur die Zementhaut abwitterte. Bild 12 zeigt eine Platte der Reihe 5 L I B

Bild 11 zeigt eine Platte der Reihe 5 L I ES (Schadensstufe 0).

Die Imprägnierung war nach 90 Frostwechseln unversehrt. Die Oberfläche mit der Epoxyharz-Lösung hat sich eindeutig am besten bewahrt. Die Imprägnierungen, der Zusätze usw.). Die Imprägnierung (Diese Platten aus „Normalbeton“ dienen zum Vergleich der Wir- deren Oberfläche nicht imprägniert wurde (Reihe 5 L), siehe Bild 10. den als zweckmäßig errichteten Luftgehalt von 3,5% aufwies und Schadensstufe 2 stellte sich bei jenen Platten ein, deren LP-Beton

den, wie Bild 9 zeigt (Schadensstufe 4). weitere Behandlung beansprucht wurden, witterten an der Oberfläche so stark ab, daß die groben Zuschlagkörner blödgelegt wur-

Die Platten der Reihe 20, die ohne künstliche Luftporen und ohne

Bild 9 Reihe 20: Luftporengehalt 0,8%; Zustand nach 90 Frost-Tausatz-Wechseln; Beispiel für Schadensstufe 4 (leeres Auswintern des Mörtels; grober Zuschlag liegt frei und bricht aus)



Bild 10 Reihe 5 L: Luftporengehalt 3,5%; Zustand nach 90 Frost-Tausatz-Wechseln; Beispiel für Schadensstufe 2 (Abwintern des Feinmörtels)



Die Feststellungen bestätigten vor allem, daß auch der Luftporengehalt des jungen Betons für den Tausalz-widerstand von Bedeutung ist. Die beiden Betone in Bild 9 (Reihe 20) und Bild 13 (Reihe 20 L) unterschieden sich nur dadurch, daß die kaum geschädigte Reihe 20 L (Schadensstufe 2) 3,5% künstliche Luftporen, Reihe 20 dagegen keine aufwies (Schadensstufe 4). Die

## 7.5 Einfluß der Luftporen

Die mit Anthrazenöl imprägnierten Platten, ebenso für jene, die einen Silikonanstrich oder -zusatz erhielten. Die 14tägige Wasserlagerung der Reihe 5 L W vor der Frostbeanspruchung machte sich nicht ungünstig bemerkbar, da wie beim „Normalbeton“ nur Schadensstufe 2 auftrat. Die einen Tag vor dem Imprägnieren angegäherten Platten verrieten sich ebenso wie die nicht angegäherten (vgl. Abschnitt 5).

Bild 12 Reihe 5 L I B: Imprägnierung mit Leinöl (Abwilttern der Zementhaut)  
Wechseln; Beispiel für Schadensstufe 1  
firmis; Zustand nach 90 Frost-Tausalz-



Bild 11 Reihe 5 L I ES: Imprägnierung mit Epoxyharz S; Zustand nach 90 Frost-Tausalz-Wechseln; Beispiel für Schadensstufe 0 (Zementhaut erhalten)





Bild 13  
Reihe 20 L: Luftporen-  
gehalt rd. 3,5 ‰; Zu-  
stand nach 90 Frost-  
Tausalz-Wechseln; Bei-  
spiel für Schadens-  
stufe 2 (Abwintern des  
Feinmörtels)

Druckfestigkeit des Betons der Reihe 20 lag mit  $587 \text{ kp/cm}^2$  bei Beginn der Frostwechsel noch über jener des LP-Betons mit  $445 \text{ kp/cm}^2$ .

## 8. Zusammenfassung

Unter den hier eingehaltenen Versuchsbedingungen ergab sich folgendes:

8.1 Die Druckfestigkeit des Betons fiel bei konstantem Wassergehalt etwa linear mit steigendem LP-Gehalt ab.

8.2 Die hier angewendeten Imprägnierungen waren nach längstens einem Tag nach Augenschein und beim Befühlen trocken.

8.3 Wenn das Salz auf eine Eisschicht aufgestreut wurde, witterte die Oberfläche gleichmäßig ab. Das Gefrieren der Salzlösung wirkte sich mehr in narbenartigen Abwitterungen aus.

8.4 Das teilweise Annässen der Platten 1 Tag vor dem Imprägnieren mit einer Wassermenge, die 0,5 mm Niederschlagshöhe entspricht, blieb ohne Einfluß auf die Wirkung der Imprägnierung.

8.5 Der ohne Zugabe eines Luftporenbildners hergestellte Beton witterte mit Abstand am stärksten ab.

8.6 Der hier untersuchte, hochwertige LP-Beton mit 3,5 % Luftporen wies dagegen ohne Imprägnierung auch unter diesen ungünstigen Bedingungen der Vorlagerung schon im jungen Alter einen so hohen Tausalzwidestand auf, daß die eingetretenen schwachen Abwitterungen praktisch ohne weiteres hingenommen werden könnten.

8.7 Das Imprägnieren mit dem Leinölfirnis und mit der Epoxyharzlösung schützte den jungen LP-Beton noch weitergehend gegen Abwitterung.

8.8 Mit einem Nachbehandlungsfilm versehene Platten aus LP-Beton verhielten sich wie feucht nachbehandelte ohne Imprägnierung; bei beiden witterte lediglich der Feinmörtel bis etwa 1 mm Tiefe ab.

8.9 Die Imprägnierung mit Anthrazenöl oder Siliconen oder ein Siliconzusatz zum Beton brachten keine Verbesserung.

## 9. Folgerungen

Im ganzen gesehen wies schon der dauernd feucht gehaltene, junge LP-Beton, der vom Alter von 42 Tagen an nach Erhärtung bei niederer Temperatur (+5 °C) 90 scharfen Frost-Tausalz-Wechseln ausgesetzt wurde, einen verhältnismäßig hohen Widerstand gegen Abwintern auf. (Luftgehalt 3,5 %, Wasserzementwert 0,40, Druckfestigkeit bei Beginn der Tausalzbeanspruchung 482 kp/cm<sup>2</sup>, Feinmörtel nur bis auf eine Tiefe von rd. 1 mm abgewittert, siehe Bild 10.) Man kann daher folgern, daß Straßenbeton, der im Spätjahr eingebaut und in frühem Alter (hier 42 Tage) Tausalzstreunungen ausgesetzt wird, auch im ersten Winter praktisch keinen störenden Abwitterungen unterliegt, sofern er einen Luftgehalt von mindestens 3,5 % aufweist und eine hohe Druckfestigkeit erreicht hat.

Die hier durch 90 scharfe Frost-Tausalz-Wechsel aufgebrachte Beanspruchung dürfte jene übersteigen, die in einem sehr strengen Winter auftritt.

Sofern eine zu frühe Tausalzbeanspruchung nicht zu umgehen ist, ließe sich, wie die Versuche zeigen, auch noch die geringfügige Abwitterung durch ein vorausgehendes Imprägnieren mit Leinöl oder mit einer geeigneten Kunstharzlösung (hier Epoxyharz-Lösung) verhindern.

## 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.: Der Einfluß luftporenbildender Zusatzmittel auf die Eigenschaften von Beton, insbesondere auf die Tausalzbeständigkeit von Straßenbeton. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue Folge, Heft 20. Kirschbaum-Verlag, Bielefeld 1956 (mit 98 Schrifttumsauszügen).
- [3] Walz, K.: Luftporenbildende Betonzusatzmittel. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 123, W. Ernst & Sohn, Berlin 1956. Beitrag von K. Walz und E. Hartmann: Schrifttum der Jahre 1944/54, S. 8/43.
- [4] Klieger, P.: Curing requirements for scale resistance of concrete. Highway Res. Board, Bulletin 150, Washington D. C. 1957, S. 18/31.
- [5] ACI Committee 201: Durability of concrete in service. Proc. Amer. Concr. Inst. 59 (1962) H. 12, S. 1771/1820. Deutsche Bearbeitung: Walz, K.: Die Beständigkeit von Beton unter Gebrauchsbeanspruchung. beton 13 (1963) H. 6, S. 279/286, und H. 7, S. 331/338; ebenso Betontechnische Berichte 1963. Beton-Verlag, Düsseldorf 1964, S. 85/125.
- [6] Grieb, W. E.: Resistance of concrete surfaces to scaling by de-icing agents. Public Roads 31 (1962) H. 8, S. 64/73.
- [7] Bloem, L. D.: Factors affecting freezing-and-thawing resistance of chert gravel concrete. Highway Res. Rec. Nr. 18, Washington D. C. 1963, S. 48/60.
- [8] Grieb, W. E., und R. Appleton: Effect of linseed oil coatings on resistance of concrete to scaling. Public Roads 33 (1964) H. 4, S. 1/5.
- [9] Smith, P.: Observations on protective surface coatings for exposed or asphalt-surfaced concrete. Highway Res. Board, Bulletin 323, Washington D. C. 1962, S. 72/96.
- [10] Concrete Manual. 7. Aufl., Bureau of Reclamation, Denver/Col. 1963. S. 440.
- [11] Timms, A. G.: Resistance of concrete surfaces to scaling action of ice removal agents. Highway Res. Board, Bulletin 128, Washington D. C. 1956, S. 20/50. Deutsche Bearbeitung: Walz, K.: Amerikanische Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit von Straßenbeton. Zement-Kalk-Gips 10 (1957) H. 5, S. 205/208.
- [12] Walz, K.: Über Feststellungen mit Auftausalzen und den Schutz der Betonfahrbahndecken. Zement-Kalk-Gips 6 (1953) H. 1, S. 8/14.
- [13] Ferber: Silicone im Bautenschutz. Bau-Markt 59 (1960) H. 6, S. 159/164.
- [14] Havenith, L.: Praktische Erfahrungen mit wasserabweisenden Silicon-Imprägnierungen im Hochbau. Das Baugewerbe 41 (1961) H. 20, S. 1006-1/1006-8, und H. 22, S. 1097/1104.
- [15] Cahn, H. L., und R. V. Mackey jr.: Extending concrete highway durability and light reflectance with silicones. Amer. Soc. Test. Mat. Bulletin 235, Philadelphia 1959, S. 37/42. Deutsche Bearbeitung: Erhöhung der Beständigkeit und des Lichtreflexionsvermögens von Betonstraßen. Straßen- und Tiefbau, Beilage Licht und Farbe im Bauwesen, 3 (1960) H. 4, S. 28.
- [16] Mardulier, F. J.: Scaling resistance of concrete improved through silicones. Highway Res. Board, Bulletin 197, Washington D. C. 1958, S. 1/12.
- [17] Britton, H. R.: New York state's experience in use of silicones. Highway Res. Board, Bulletin 197, Washington D. C. 1958, S. 13/23.
- [18] Hüssel, D. J. T.: Freeze-thaw and scaling tests on silicone-treated concrete. Highway Res. Rec. Nr. 18, Washington D. C. 1963, S. 13/32.



- [19] Klieger, P., und W. Perenchio: Silicone influence on concrete resistance to freeze-thaw and de-icer damage. Highway Res. Rec. Nr. 18, Washington D. C. 1963, S. 33/47.
- [20] Künzel, H.: Untersuchung über die Wirkung von Silicon-Imprägniermittel Bayer F als Zusatz zum Außenputz. Deutsche Bauzeitschrift 7 (1959) H. 4, S. 449/450.
- [21] Grieb, W. E.: Silicones as admixtures for concrete. Highway Res. Rec. Nr. 18, Washington D. C. 1963, S. 1/11.
- [22] Richtlinien für den Bau von Betonfahrbahnen. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1963.
- [23] DIN 55 932: Leinölfirnis.
- [24] Walz, K.: Kennzeichnung der Betonkonsistenz durch das Verdichtungsmaß v. beton 14 (1964) H. 11, S. 505/509; ebenso Belontechnische Berichte 1964. Beton-Verlag, Düsseldorf 1965, S. 207/218.
- [25] Schäfer, A.: Die Bestimmung des Luftporengehaltes im Beton. beton 13 (1963) H. 8, S. 383/386; ebenso Belontechnische Berichte 1963. Beton-Verlag, Düsseldorf 1964, S. 127/136.
- [26] Arnfelt, H.: Skador på betonvägar uppkomna genom saltbehandling vintertid (Schäden auf Betonstraßen durch Salzstreuung im Winter). Statens Väginstitut, Mitt. Nr. 66, Stockholm 1943.
- [27] Verbeck, G. J., und P. Klieger: Studies of salt scaling of concrete. Highway Res. Board, Bulletin 150, Washington D. C. 1957, S. 1/13.