

Luftporen-Kennwerte von Betonfahrbahndecken – Einfluß auf das Abwittern durch Tausalze

Von Kurt Walz und Hermann Helms-Derfert, Düsseldorf

Übersicht

Als Luftporenkennwerte des Betons gelten sein gesamter Luftporengehalt (L_a), sein Gehalt an kleinen Poren bis 0,3 mm Durchmesser (L_{300}) und der Abstandsfaktor der Poren (AF). Diese Kennwerte wurden an 49 Bohrkernen aus Betonfahrbahnen, deren Oberfläche durch Einwirkung von Tausalz mehr oder weniger stark abgewittert war, sowie an Versuchsplatten, die im Laboratorium zahlreichen Frost-Tausalz-Wechseln ausgesetzt worden waren, durch mikroskopisches Ausmessen bestimmt.

Bei ausreichend hohem Luftgehalt aus kleinen künstlichen Poren ($L_a \geq 3,5\%$ und $L_{300} \geq 1,5\%$) und bei dementsprechend kleinem Abstandsfaktor ($AF \leq 0,2$ mm) wurde kein Abwittern festgestellt. Nach den vorliegenden Erfahrungen können solch günstige Luftporenkennwerte in einer Fahrbahndecke vorausgesetzt werden, wenn beim Einbau der mit dem Druckausgleichsverfahren im Frischbeton geprüfte Gesamtluftgehalt mindestens 3,5% beträgt und wenn das luftporenbildende Zusatzmittel überwiegend viele kleine Poren liefert.

1. Allgemeines

Fahrbahndecken aus Beton können an der Oberfläche abwittern, wenn sie unter ungünstigen Verhältnissen bei der Winterwartung häufig mit Tausalzen bestreut werden. Der Grad des Abwitterns hängt von der Betonzusammensetzung, dem Hydratationsgrad des Zements (Erhärtungszustand), den Eigenschaften der Decke an der Fahrbahnfläche (Dicke und Beschaffenheit der abschließenden Feinmörtelschicht) und von den klimatischen Verhältnissen bei der Winterwartung ab (Häufigkeit der Streuung, Temperatur, Wassergehalt des Betons und Grad der Durchtränkung mit der Salzlösung usw.). Der Zerstörungsmechanismus ist sehr komplex; immer handelt es sich aber um physikalische Beanspruchungen, die bei ungünstigem Zusammentreffen auch sachgemäß zusammengesetzten, hochwertigen Straßenbeton zu schädigen vermögen, wenn er keine künstlichen (kleinen) Luftporen in ausreichender Zahl enthält. Gegen reine Frost-Tau-Wechsel ohne Mitwirkung von Tausalzen ist üblicher Straßenbeton beständig. Die beim Gefrie-

ren mit Tausalzen auftretenden Sprengkräfte sind wesentlich stärker [1, 2, 3].

Die ersten Untersuchungen über die Einwirkung der Tausalze in Deutschland [4] wurden durch Tausalz-Abwitterungen veranlaßt, die im Winter 1939/40 auf der 1934 gebauten Autobahnstrecke Frankfurt - Mannheim aufgetreten waren. Zu Beginn des Krieges, als noch spärlich Forschungsberichte aus den USA zu uns gelangten, insbesondere aber nach dem Kriege, als die amerikanische Fachliteratur wieder zugänglich war, wurde offenkundig, daß die Verwendung von sogenannten luftporenbildenden Zusatzmitteln (LP-Zusatzmittel, in den USA „air-entraining agents“) die wichtigste Voraussetzung bot, tausalzbeständige Betondecken zu schaffen. Nach und nach wurden hierüber viele, kaum mehr zu erfassende Versuchsberichte, auch solche über langjährige Versuchsstrecken, bekannt. Auch in Deutschland untersuchte man nach dem Kriege mehr und mehr die Möglichkeit eines Schutzes des Straßenbetons durch LP-Zusatzmittel. Zu den zahlreichen amerikanischen sowie deutschen und schwedischen Versuchsberichten wird als Quellennachweis auf [1, 2, 3, 5, 6] verwiesen.

In allen Fällen zeigte sich eindeutig, daß ein wirksamer Schutz des sonst ordnungsgemäß zusammengesetzten und eingebauten Straßenbetons durch künstliche, mit zweckentsprechenden LP-Zusatzmitteln erhaltene, kleinste, gleichmäßig im Beton verteilte Luftporen möglich ist. Besonders überzeugend stellte sich dies, außer in vielen mit zahlreichen schroffen Frost-Tausalz-Wechseln angestellten Laboratoriumsversuchen, bei den langjährigen amerikanischen Versuchsstrecken heraus, die meist einem sehr harten Winterklima und sehr starken Tausalzstreuungen ausgesetzt waren [1].

Ergänzend seien hierzu noch zwei vor kurzem bekanntgewordene Berichte angeführt; der eine befaßt sich mit dem Verhalten von drei Versuchsstraßen im Staate New York nach 20jähriger Liegezeit [7] und der andere mit Betonbelägen zahlreicher Brücken [8]. Aus dem Abschlußbericht über die 20 Jahre lang beanspruchten New Yorker Versuchsstrecken geht hervor, daß die Abschnitte, deren Beton künstliche Luftporen enthielt ¹⁾, keinerlei Abwitterungen aufwiesen, während die entsprechenden Abschnitte ohne Luftporen zwar in unterschiedlichem Umfang, jedoch immer stark abgewittert waren; die starke Abwitterung erstreckte sich im Mittel aus den vergleichbaren Versuchsabschnitten auf 63 % der Fahrbahnfläche. Für eine der drei Versuchsstrecken (Projekt 1) wurde an Bohrkernen der Luftgehalt mikroskopisch nach dem Meßlinien-Verfahren ausgemessen (siehe auch Abschnitt 3). Dabei fand sich der Gesamtluftgehalt für den Beton ohne LP-Zusatzmittel zu 1,5 % und für den LP-Beton zu 4,0 %.

Der Luftgehalt von 604 Bohrkernen, die bei der Untersuchung von 67 Brücken anfielen [8], betrug bei nicht abgewittertem Beton im Mittel rd. 2,6 % und bei abgewittertem Beton im Mittel rd. 1,8 %.

¹⁾ Bei diesen Untersuchungen wurden je 6 Zemente mit und ohne LP-Zusatzmittel verwendet (das LP-Zusatzmittel war also bereits dem Zement zugemahlen worden).

Der Luftgehalt von 1,8 % wird in dem Bericht als viel zu niedrig angesehen, aber auch der Luftgehalt von 2,6 % wird als nicht ausreichend erachtet, um auf die Dauer eine Tausalzabwitterung zu verhindern.

Die Auffassung, daß Straßenbeton einen angemessenen Luftgehalt aufweisen muß, setzte sich nach und nach auch in Deutschland durch. Sie ist 1963 in amtlich anerkannten Richtlinien [9] entsprechend berücksichtigt worden, nachdem bereits ein Merkblatt der Arbeitsgruppe Betonstraßen (Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen) aus dem Jahre 1953 [10] die nutzbaren Erkenntnisse für die Herstellung des LP-Betons vermittelt hatte.

Nach den Richtlinien soll in Deutschland für durchschnittliche klimatische Verhältnisse der Luftgehalt des Frischbetons nach dem Mischen, mit dem Druckausgleichsverfahren bestimmt [10], im Tagesmittel mindestens 3,5 % betragen²⁾, wenn der Beton im übrigen sachgemäß zusammengesetzt, eingebaut und nachbehandelt wird.

Es ist nun hinreichend bekannt, daß auch nach dem Kriege und sogar in den letzten Jahren gebaute Autobahnstrecken mehr oder weniger stark durch Tausalze abwitterten, obwohl LP-Zusatzmittel zugegeben worden sein sollen.

Im folgenden soll dargelegt werden, welche Folgerungen sich hinsichtlich Luftgehalt und Tausalzwiderstand aus der Untersuchung zahlreicher Bohrkerne aus solchen Betonfahrbahnen ergeben. Bei einer Reihe dieser Decken wurden insbesondere die im ungewöhnlich strengen Winter 1962/63 („Jahrhundertwinter“) durch kräftige Tausalzstreuung aufgetretenen Abwitterungen beanstandet. (Auf Abwitterungen, die weitgehend durch eine unzureichende Zusammensetzung oder Bearbeitung des Betons veranlaßt worden sind, soll hier nicht eingegangen werden, auch nicht auf die häufig unzureichende Überwachung und Erfassung sowie Korrektur des tatsächlichen Luftgehalts im Frischbeton.)

2. Betonproben

In den letzten 3 Jahren wurden dem Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf von Baufirmen und Behörden insgesamt 49 Bohrkerne ($d = 15 \text{ cm}$) aus 12 Fahrbahndecken zugestellt, die in den Jahren 1954 bis 1964 gebaut worden waren. Neben Bohrkernen aus abgewitterten Abschnitten wurden zum Vergleich auch Bohrkerne aus unveränderten Bereichen mitgeliefert. Eine Übersicht geben die Spalten 1 bis 3 der Tafel 1. In die Beurteilung wurden außerdem Probepplatten $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ bzw. $30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ aus Straßenbeton einbezogen, die im

²⁾ Einzelwerte dürfen 3 % nicht unterschreiten. — Die in den Hinweisen des Bundesministeriums für Verkehr für die Anwendung der Richtlinien [9] gebrachte Ergänzung, daß der im Tagesmittel in [9] geforderte Luftporengehalt von 3,5 % mit Genehmigung des Auftraggebers unterschritten werden darf, wenn für den Beton eine Druckfestigkeit nach 28 Tagen von mindestens 450 kp/cm^2 nachgewiesen ist, bedeutet im allgemeinen eine Verminderung des Tausalzwiderstandes, da bereits mit dem in den Richtlinien [9] geforderten mittleren Luftgehalt von 3,5 % die unterste, noch vertretbare Grenze angesetzt wurde.

Tafel 1 Bohrkern aus Betonfahrbahnen. Abwitterung und Luftporen-Kennwerte

1	2	3	4	5	6	7
Bohrkern	Entnahmestelle (Baujahr)	Abwitterung	Luftporengehalt L_a	Luftporengehalt L_{300}	Abstandsfaktor AF	Bewertung nach den LP-Kennwerten*)
			%	%	mm	
1	Autobahn Hannover – Kassel (1960/61)	keine	2,2	0,6	0,3	uLP
2		keine	3,1	0,5	0,4	uLP
3		stark	0,6	< 0,1	1,4	oLP
4		stark	2,4	0,1	1,1	oLP
5		keine	4,0	0,7	0,4	uLP
6		stark	1,5	0,1	1,0	oLP
7		stark	2,1	0,1	0,9	oLP
8		stark	1,1	0,6	0,3	uLP
9	Bundesstraße 15 Rosenheim – Kufstein (1954)	keine	2,0	0,5	0,4	uLP
10		stark	1,3	0,2	1,0	oLP
11	Autobahn München – Ingolstadt (1960)	keine	1,7	0,1	1,0	oLP
12		stark	1,1	0,1	1,0	oLP
13		keine	1,1	0,1	1,2	oLP
14		stark	0,6	0,1	1,0	oLP
15	Bundesstraße 244 Runstedt – Helmstedt (1960)	stark	2,0	0,1	1,1	oLP
16		keine	1,6	0,1	0,9	oLP
17		mäßig	1,9	0,1	1,0	oLP
18		stark	2,1	0,1	1,0	oLP
19		stark	1,5	0,1	0,9	oLP
20	Autobahn Stuttgart – Ulm (1936) (1957/58)	mäßig	1,9	—	0,5	uLP
21		stark	1,5	—	2,5	oLP
22		mäßig	2,3	—	1,4	oLP
23		mäßig	2,3	1,1	0,2	uLP
24		mäßig	1,0	0,1	1,0	oLP

*) aLP = ausreichend
uLP = unzureichend
oLP = ohne

Fortsetzung der Tafel 1

1	2	3	4	5	6	7
Bohrkern	Entnahmestelle (Baujahr)	Abwitterung	Luftporengehalt L_{20}	Luftporengehalt L_{300}	Abstandsfaktor AF	Bewertung nach den LP-Kennwerten*)
			%	%	mm	
25	Omnibusbahnhof in Hamburg (1962)	stark	1,4	0,1	1,4	oLP
26		stark	1,2	0,1	1,3	oLP
27		mäßig	0,9	0,2	0,6	uLP
28		mäßig	2,9	0,2	0,7	uLP
29	Autobahn Hamburg – Hannover (1961)	stark	0,9	0,1	0,9	oLP
30		mäßig	1,0	0,1	1,2	oLP
31		stark	1,0	0,2	0,8	oLP
32	Autobahn Wesel – Ellen (1961)	stark	1,2	0,1	0,9	oLP
33		stark	1,1	0,1	0,9	oLP
34		keine	1,6	0,5	0,3	uLP
35	Autobahn Elten - Arnheim (1961)	mäßig	1,6	0,8	0,2	uLP
36		stark	1,4	0,1	1,0	oLP
37		stark	1,2	0,1	1,0	oLP
38	Autobahn Hannover – Kassel (1960/61)	stark	1,0	0,1	0,9	oLP
39		mäßig	1,6	0,5	0,4	uLP
40		keine	3,5	1,6	0,2	aLP
41		keine	1,6	0,4	0,4	uLP
42		stark	1,5	0,1	0,8	oLP
43		stark	1,5	0,4	0,4	uLP
44		stark	2,5	0,6	0,4	uLP
45	Landstraße 797 bei Rothemühle (1964)	stark	1,3	0,1	0,9	oLP
46		stark	1,8	0,1	0,8	oLP
47	Schwansenstraße Söby-Vogelsang (1963)	keine	3,4	1,8	0,2	aLP
48		keine	1,2	0,2	0,8	oLP
49		keine	1,0	0,2	0,9	oLP

*) aLP = ausreichend
uLP = unzureichend
oLP = ohne

Forschungsinstitut der Zementindustrie und im Laboratorium der Dyckerhoff Zementwerke AG, Wiesbaden-Amöneburg, hergestellt und zahlreichen scharfen Frost-Tausalz-Wechseln in Frostkammern unterworfen worden waren [2, 11]; siehe Tafel 2.

Die Fahrbahnen, aus denen die Bohrkernstämme stammten, wurden teilweise durch Mitarbeiter des Forschungsinstituts besichtigt, oder es stand eine Beschreibung mit Fotos zur Beurteilung des Abwitterungsgrades zur Verfügung. Hiernach konnte die Beschaffenheit der Fahrbahnfläche im Bereich der Entnahmestellen der Bohrkernstämme in großen Zügen in drei Abwitterungsstufen – „keine“, „mäßige“ und „starke“ Abwitterung – eingeteilt werden (siehe Spalte 3, Tafeln 1 und 2).

Dabei wurde schwaches Absanden der Betonoberfläche oder stellenweises Abwittern des Feinmörtels ohne deutliche Vertiefungen in die Gruppe „keine“ Abwitterung einbezogen, weil sich solche Veränderungen in der Praxis nicht bemerkbar machen. Unter Schadensstufe „mäßige“ Abwitterung fielen Oberflächen, bei denen der Feinmörtel bis höchstens 5 mm Tiefe abgewittert war und bei denen die größeren Sandkörner und einzelne, oben anstehende Splittkörner freilagen. Schadensstufe „starke“ Abwitterung umfaßte jene Flächen, bei denen das Herauswittern des Mörtels tiefer reichte (oft 10 mm und tiefer) und bei denen die größeren Zuschlagkörner freilagen, siehe z. B. Bild 1.



Bild 1
Beispiel einer Betonfahr-
bahn mit „starker“ Abwit-
terung durch Tausalze

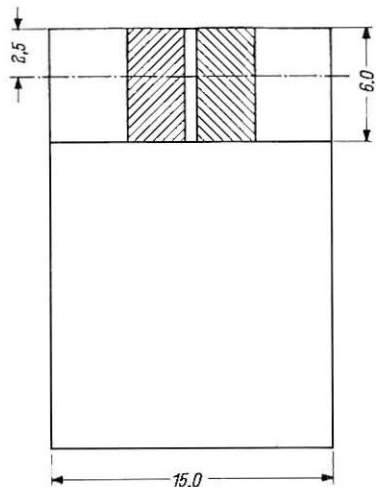
Tafel 2 Abwitterung und Luftporen-Kennwerte von vorschriftsmäßigem Straßenbeton mit und ohne künstliche Luftporen
(Herstellung und Beanspruchung im Laboratorium durch 90 bzw. 100 Frost-Tausalz-Wechsel [2] [11])

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Hersteller (Laboratorium)	Abwitterung	Luftporengehalt L_a	Luftporengehalt L_{300}	Abstandsfaktor AF	Bewertung nach den LP-Kennwerten*)
			%	%	mm	
1	Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf	stark	0,8	0,1	–	oLP
2		keine	3,8	2,2	–	aLP
3		keine	4,9	3,2	–	aLP
4	Laboratorium der Dyckerhoff Zementwerke, Amöneburg	keine	5,0	2,1	0,2	aLP
5		keine	4,8	1,7	0,2	aLP

*) aLP = ausreichend
uLP = unzureichend
oLP = ohne

3. Mikroskopische Untersuchung der Proben

Aus der oberen Zone der Bohrkern wurden gemäß Bild 2 etwa 3 cm breite Streifen herausgesägt, deren Seitenflächen (6 cm × rd. 15 cm) poliert wurden, zuerst mit einer Schleifmaschine und anschließend von Hand auf einer horizontal laufenden Tellerscheibe unter Verwendung von Siliciumcarbid feiner und feinsten Körnung. Ähnliche Streifen wurden auch den Probepplatten des Betons aus den Laboratorien entnommen. Die Poren wurden mit Hilfe des



Maße in cm

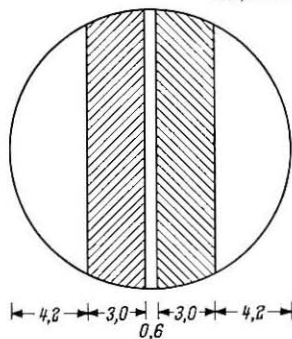


Bild 2
Streifen aus dem oberen Teil der Bohrkern (schraffiert) für die mikroskopische Ermittlung der Luftporen-Kennwerte (Ausmessung der 4 Seitenflächen auf 2,5 cm Tiefe)

Meßlinienverfahrens in bekannter Weise [12, 13] auf den vier oberen 2,5 cm hohen und rd. 15 cm langen Flächen (Bild 2) ausgemessen.

Insgesamt wurde bei jeder Betonprobe eine Meßstrecke von rd. 4 m untersucht (d. i. die Gesamtlänge der einzelnen durchgeführten Meßlinien). Das Meßgerät, Bild 3, mit dem jede Art von Luftporen-Kennwerten ermittelt werden kann, wurde 1963 im Forschungsinstitut der Zementindustrie gebaut. Die Ermittlung der Luftporen-Kennwerte am erhärteten Beton bleibt trotz der elektronischen Registrierung sehr aufwendig; für jeden Bohrkern

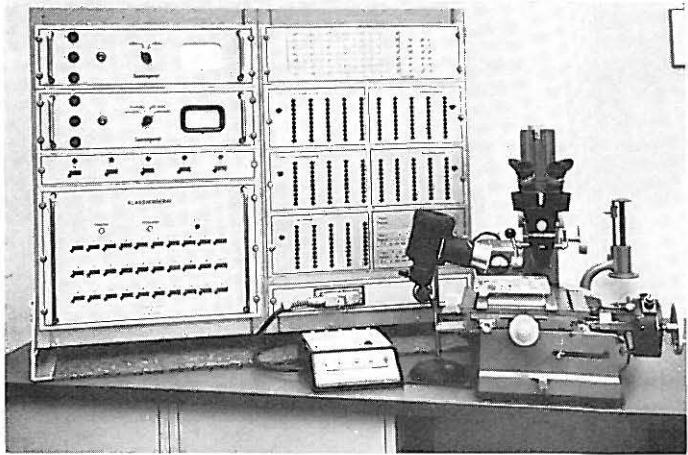


Bild 3 Meßgerät zur Ermittlung der Luftporen-Kennwerte von LP-Beton

waren einschließlich Probenherstellung und Ausrechnung der Kennwerte 3 bis 4 Arbeitstage nötig. Folgende Kennwerte wurden durch die Ausmessung gewonnen [3, 13]:

- L_a Gesamter Luftgehalt als prozentualer Anteil des Volumens aller kugeligen Luftporen am Gesamtvolumen des Betons,
- L_{300} „Wirksamer“ Luftgehalt als prozentualer Anteil des Volumens aller Luftporen bis zu einem Durchmesser von 0,3 mm (300 μm) am Gesamtvolumen des Betons,
- AF Abstandsfaktor in mm. Der Abstandsfaktor ist ein ideeller, rechnerischer Mittelwert der Abstände der jeweils am weitesten von den Luftporenrändern entfernten Punkte des Zementsteins.

Diese drei Luftporen-Kennwerte finden sich für die untersuchten Proben in den Spalten 4, 5 und 6 der Tafeln 1 und 2. Der Gesamt-LP-Gehalt L_a stimmt erfahrungsgemäß mit dem am Frischbeton nach dem Druckausgleichsverfahren [10] ermittelten Luftgehalt L_d , der ebenso wie L_a alle im verdichteten Frischbeton vorhandenen, luftgefüllten Hohlräume einschließt, recht gut überein, wenn bei der Bestimmung von L_d mit der nötigen Sachkenntnis vorgegangen wird.

Da die größeren Luftporen praktisch für eine Verbesserung des Frost- und Tausalz widerstandes unwirksam sind, gibt der Kennwert L_{300} einen besseren Aufschluß [12], ebenso auch der in den USA häufig zur Beurteilung herangezogene Abstandsfaktor AF (siehe Schrifttum in [1]).

Nach den im Forschungsinstitut für deutsche Verhältnisse gewonnenen Erfahrungswerten soll erhärteter Beton, von dem ein ausreichender Tausalz widerstand erwartet wird, folgenden drei Bedingungen genügen [12]:

Gesamtluftgehalt L_a mind. 3,5 %,
 wirksamer Luftgehalt L_{300} mind. 1,5 % und
 Abstandsfaktor höchstens 0,2 mm.

4. LP-Kennwerte und Tausalzabwitterung der untersuchten Proben

In den Bildern 4 und 5 wurde der Abwitterungsgrad der Proben über dem Gesamtluftgehalt L_a und über dem Luftgehalt L_{300} aufgetragen. Der Gesamtluftgehalt L_a lag bei den untersuchten Proben zwischen 0,6 und 5,0%, der Teilluftgehalt L_{300} zwischen $< 0,1$ und 3,2%. Proben mit einem Luftgehalt L_a von rd. 3% und höher oder mit einem Luftgehalt L_{300} von rd. 1% und höher wiesen keine bemerkenswerten Abwitterungen auf.

Der Abstandsfaktor lag bei den untersuchten Proben zwischen 0,2 und 2,5 mm. Proben mit einem Abstandsfaktor von 0,2 mm waren im allgemeinen nicht abgewittert; lediglich an zwei Bohrkernen mit diesem niedrigen Abstandsfaktor fanden sich mäßige Abwitterungen (vergl. Tafel 1, Spalte 6). Der über die Entnahmestelle dieser Proben vorliegende Bericht führt jedoch auch nur „sehr leichte Schäden“ an.

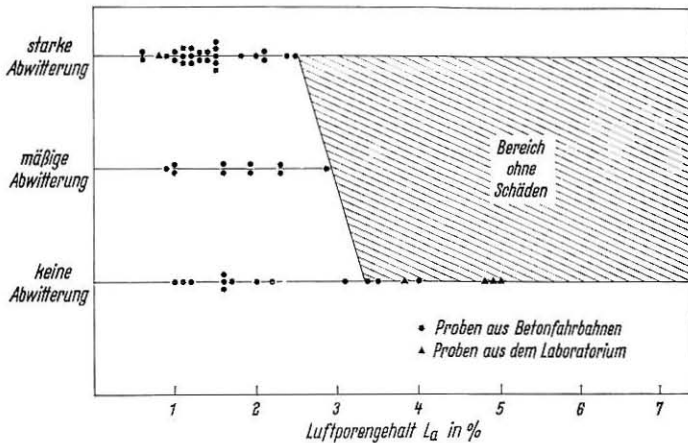


Bild 4 Beziehung zwischen Abwitterung und gesamtem Luftporengehalt L_a

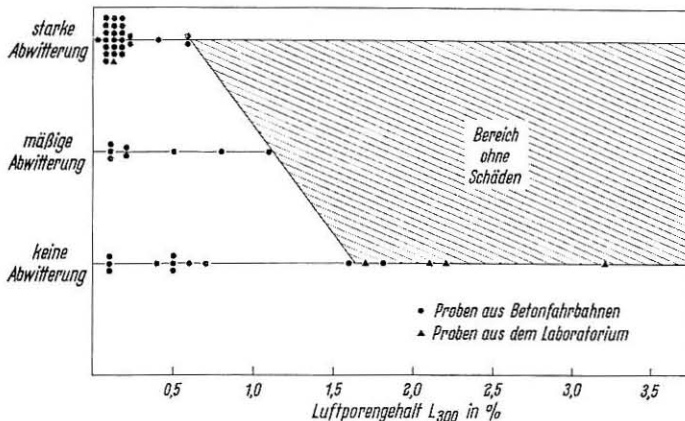


Bild 5 Beziehung zwischen Abwitterung und Luftporengehalt L_{300}

In den Bildern 4 und 5 sowie in Spalte 6 der Tafel 1 sind auch Proben aufgeführt, die trotz ungenügender Luftporen-Kennwerte noch „ohne“ Abwitterung geblieben waren. Man kann dies darauf zurückführen, daß dieser Beton entweder weniger durch Tausalze beansprucht worden ist, z. B. infolge örtlicher Gegebenheiten, oder daß einzelne, besonders hochwertige Betone den bisherigen, z. T. noch kurzzeitigen Beanspruchungen (2 oder 3 Jahre) bislang widerstanden haben, ohne daß Gewähr dafür gegeben ist, daß sie dies auch in Zukunft tun.

Die untersuchten Proben wurden abschließend nach den festgestellten LP-Kennwerten in drei Bewertungsgruppen eingestuft:

Betone *ohne* künstliche Luftporen, d. h. deren LP-Kennwerte sich in den Grenzen bewegen, die bei Betonen ohne ein LP-Zusatzmittel gewöhnlich gemessen werden (L_a um 1 bis 2 ‰; L_{300} bis etwa 0,2 ‰; AF um 1 mm und mehr),

Betone mit *ausreichendem* LP-Gehalt, d. h. deren LP-Kennwerte alle Anforderungen erfüllen ($L_a \geq$ rd. 3,5 ‰; $L_{300} \geq$ 1,5 ‰; $AF \leq$ 0,2 mm),

Betone mit *unzureichendem* LP-Gehalt, d. h. deren LP-Kennwerte deutlich günstiger als die von Betonen ohne LP-Zusatzmittel liegen, jedoch nicht ausreichen, um die zuvor aufgeführten Anforderungen zu erfüllen.

In Spalte 7 der Tafeln 1 und 2 sind diese drei Gruppen mit oLP, aLP und uLP bezeichnet. In Bild 6 sind die Abwitterungsgrade dieser drei Gruppen anteilmäßig aufgetragen.

Man erkennt, daß von den Betonen ohne künstliche Luftporen 70 ‰ stark, 12 ‰ mäßig und 18 ‰ nicht abgewittert waren, wogegen kein echter LP-Beton abgewittert war.

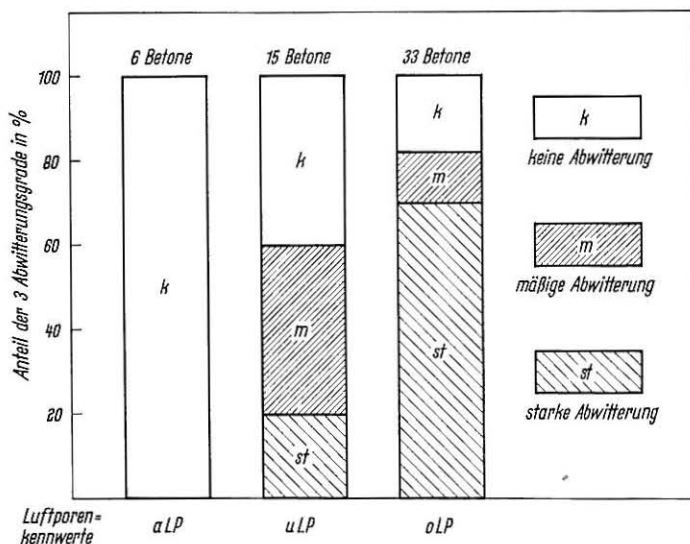


Bild 6 Luftporen-Kennwerte und Abwitterungsgrade der untersuchten Betone

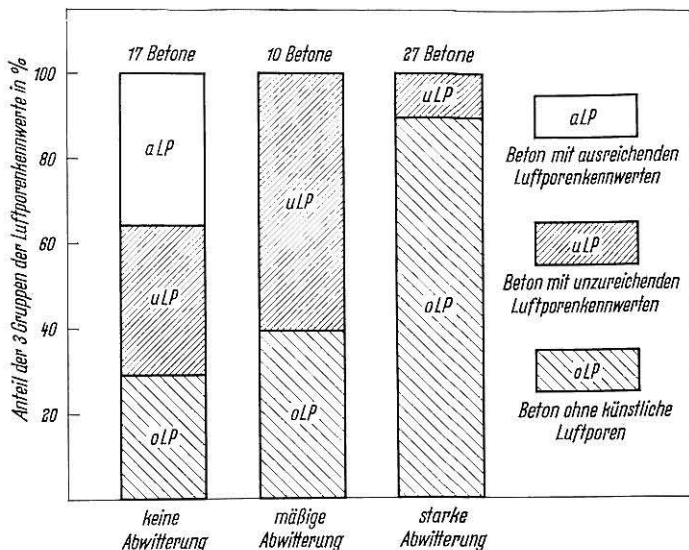


Bild 7 Abwitterungsgrade und Luftporen-Kennwerte der untersuchten Betone

Eine andere Darstellung der Verhältnisse zwischen Abwitterungsgrad und Luftporen-Kennwerten findet sich in Bild 7. Aus beiden Darstellungen geht wiederum hervor, daß die Möglichkeit des Auftretens von Abwitterungen zunehmend geringer wird, je günstiger die Luftporen-Kennwerte in einem Beton sind.

5. Zusammenfassung

5.1 Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden die Luftporen-Kennwerte von 5 Betonen aus dem Laboratorium und von 49 Bohrkerne aus tausalzgeschädigten Deckenabschnitten mikroskopisch untersucht.

5.2 Proben, für die ausreichende LP-Kennwerte festgestellt wurden, wiesen keine Abwitterung auf. An den stark abgewitterten Proben waren die Betone ohne künstliche Luftporen oder mit unzureichenden Luftporen-Kennwerten mit etwa 90 %, an den mäßig abgewitterten Proben mit nahezu der Hälfte und an den unveränderten Proben mit rd. 30 % beteiligt.

5.3 Bei Betonen mit zu geringem LP-Gehalt besteht keine Gewähr, daß Tausalz-Abwitterungen bei starker Beanspruchung nicht früher oder später auftreten, auch wenn bei einigen der untersuchten, rd. 1 bis 10 Jahre alten Betone an den Entnahmestellen bisher keine Abwitterungen beobachtet worden sind.

5.4 Man kann auch aus diesen Untersuchungen folgern, daß sachgemäß zusammengesetzter Straßenbeton mit ausreichenden LP-Kennwerten ($L_a \geq 3,5 \%$; $L_{300} \geq 1,5 \%$; $AF \leq 0,2 \text{ mm}$) unter den Verhältnissen in Deutschland der Frost-Tausalz-Beanspruchung ausreichend widersteht.

5.5 Beim Einbau des Betons kann nur der LP-Gehalt des Frischbetons gemessen werden. Liegt dieser mindestens bei 3,5 %, so darf nach den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen mit angemessenen Luftporen-Kennwerten im erhärteten Beton gerechnet werden.

SCHRIFTTUM :

- [1] Walz, K., und R. Springenschmid: Betonstraßen und Tausalzeiwirkung. 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 Tausalzeiwirkung. beton 15 (1965), H. 4, S. 155/159, und H. 5, S. 201/205.
- [3] Bonzel, J.: Beton mit hohem Frost- und Tausalzwidestand. beton 15 (1965), H. 11, S. 469/474, und H. 12, S. 509/515.
- [4] Walz, K.: Die Einwirkung von Streusalzen auf Beton. Straßenbau-Jahrbuch 1939/40, Volk und Reich-Verlag, Berlin 1940, S. 231/244.
- [5] Walz, K.: Der Einfluß luftporenbildender Zusatzmittel auf die Eigenschaften von Beton, insbesondere auf die Tausalzbeständigkeit von Straßenbeton. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue Folge, H. 20, Bielefeld 1956 (98 Schrifttumsauszüge).
- [6] Walz, K.: Luftporenbildende Betonzusatzmittel. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, H. 123, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1956. Beitrag von K. Walz und E. Hartmann: Schrifttum der Jahre 1944/54, S. 8/43.
- [7] Twenty-year report on the long-time study of cement performance in concrete. Portland Cement Association, Research Department, Bulletin 175, Skokie 1965.
- [8] Dykins, F. A., und F. H. Blandin: Field and laboratory air-content studies of salt-damaged concrete structures. Highway Research Record Nr. 62, Washington 1964, S. 7/12.
- [9] Richtlinien für den Bau von Betonfahrbahnen. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1963.
- [10] Vorläufiges Merkblatt für die Verwendung von luftporenbildenden Zusatzstoffen zu Straßenbeton. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1953.
- [11] Schimmelwitz, P., und B. Henk: Zur Frage des Einflusses von Luftporengehalt und Zementart auf die Beständigkeit des Straßenbetons. Straßen- und Tiefbau 19 (1965), H. 5, S. 560/569.
- [12] Schäfer, A.: Frostwiderstand und Porengefüge des Betons – Beziehungen und Prüfverfahren. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, H. 167, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1965.
- [13] Schäfer, A.: Über den Frost- und Tausalzwidestand von Beton. Tonindustrie-Zeitung 89 (1965), H. 11/12, S. 241/245.