



Schwinden von Beton

Für das Schwinden von Beton gibt es verschiedene Ursachen. Versuche haben nun gezeigt, dass mit dem Einsatz von Fließmitteln das Zementleimvolumen und damit das Schwindmass reduziert werden. Hingegen nimmt das Schwindmass, wenn in einem Beton der w/z-Wert gesenkt und die Fließfähigkeit ohne Fließmittel, also mit einer Erhöhung des Zementleimgehaltes, erreicht werden soll.

*Frank Jacobs, Fritz Hunkeler,
Lorenzo Carmine, André Germann
und Thomas Hirschi*

Das Schwinden von Beton und dessen Ursachen führen immer wieder zu intensiven und teils auch kontroversen Diskussionen. In der Norm SIA 262, Ziffer 3.1.2.5.1, heisst es dazu, dass das Schwinden hauptsächlich von der Umgebungsfeuchte, den Bauteilabmessungen und der Betonfestigkeit abhängt. In Ziffer 3.1.2.5.7 der gleichen Norm ist angegeben, dass das Schwinden bzw. der Beiwert $\epsilon_{cs, \infty}$, der proportional zum Schwinden ist, mit zunehmender Druckfestigkeit von $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ bis $f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ abnimmt. Aus Laboruntersuchungen wie auch aus der Praxis ist bekannt, dass das Schwinden wesentlich durch die Betonzusammensetzung beeinflusst wird und es nicht immer mit zunehmender Druckfestigkeit abnimmt. Um dies und die Einflüsse des w/z-Wertes und von Fließmitteln auf das Schwinden zu klären, veranlasste der Fachverband Schweizerischer Hersteller

von Betonzusatzmitteln (FSHBZ) entsprechende Untersuchungen bei der Technischen Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB).

Das Schwinden von Beton kann, wie in Tabelle 1 dargestellt, verschiedene Ursachen haben. Neben dem Trocknungsschwinden können, je nach Beton, Einbau und Nachbehandlung, auch das Kapillarschwinden und das chemische Schwinden eine grosse Bedeutung haben. Bei den hier betrachteten Betonen wird das Schwinden weitestgehend durch das Trocknungsschwinden bestimmt. In Ziffer 3.1.2.5.10 der Norm SIA 262 wird darauf hingewiesen, dass bei Beton mit tiefen w/z-Werten (d.h. hoher Festigkeit) erhöhte Schwindverformungen resultieren können. Dieser Hinweis bezieht sich jedoch nur auf das chemische Schwinden und damit auf Betone mit einem w/z-Wert deutlich unter 0,43.



Materialien und Versuche

Die Versuche hatten zum Ziel, das Schwindmass nach SIA 262/1, Anhang F, während eines Jahres an heute üblichen, unterschiedlich zusammengesetzten Betonsorten zu bestimmen. Hierzu wurden acht Betone hergestellt und an diesen Frischbetonkontrollen gemäss den Normen der Reihe SN EN 12350 durchgeführt. Neben dem Schwindmass wurde auch die 28-Tage-Druckfestigkeit nach SN EN 12390-3 ermittelt. Die untersuchten Betonzusammensetzungen wurden so gewählt, dass diese verschiedenen Expositionsklassen gemäss SN EN 206-1:2000 abdeckten bzw. den NPK-Betonsorten entsprachen. Zum Vergleich wurden neben den fünf Betonen mit einem Grösstkorn von 32 mm auch drei Betone mit einem Grösstkorn von 16 mm hergestellt und geprüft. Bei Betonen mit $D_{\max 16}$ wurde, wie üblich, der Zementleimgehalt in Vergleich zu Beton mit $D_{\max 32}$ erhöht. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die hergestellten Betone, die Frischbetoneigenschaften, die 28-Tage-Druckfestigkeiten und das Schwindmass nach 364 Tagen.

Tabelle 1: «Schwinden von Beton», aus «Cementbulletin Nr. 4» (2001).

Schwindarten	Zeitpunkt	Schwindmass [‰]	Bemerkung
Kapillarschwinden	bis zum Erstarren	0 bis -4	Probleme vor allem bei grossen Oberflächen (Böden) und Betonen ohne Blutwasser
Chemisches Schwinden	während der ersten Tage	0 bis -0,3	Bedeutung vor allem bei tiefen w/z-Werten (< 0,45)
Trocknungsschwinden	ab Erstarren während Jahren	0,1 (Quellen) -0,1 -0,3 -0,5	Wasserlagerung Lagerung in sehr feuchter Luft (90% r. F.) Lagerung im Freien (70% r. F.) Lagerung im Innenraum mit trockener Luft (50% r. F.)
Karbonatisierungsschwinden	ab Monaten bis Jahrzehnte	-0,1 bis -0,01	maximales Schwinden bei ca. 70–80 % r. F.

Zur Herstellung der Betone wurden Zement CEM II/A-LL 42.5 N, Gesteinskörnung aus dem schweizerischen Mittelland, ein Fließmittel auf Basis Naphtalinsulfonat/Ligninsulfonat (NSK/LS) und ein Fließmittel auf Basis Polycarboxyläther (PC) verwendet. Das in Tabelle 2 angegebene Zementleimvolumen wurde aus den Zement- und Wassergehalten gemäss Rezeptur sowie dem am Frischbeton ermittelten Luftgehalt errechnet. Nachfolgend wird wegen der einfacheren Lesbarkeit nur noch vom Zementleimvolumen gesprochen, auch wenn das Zementsteinvolumen (im erhärteten Beton) gemeint ist.

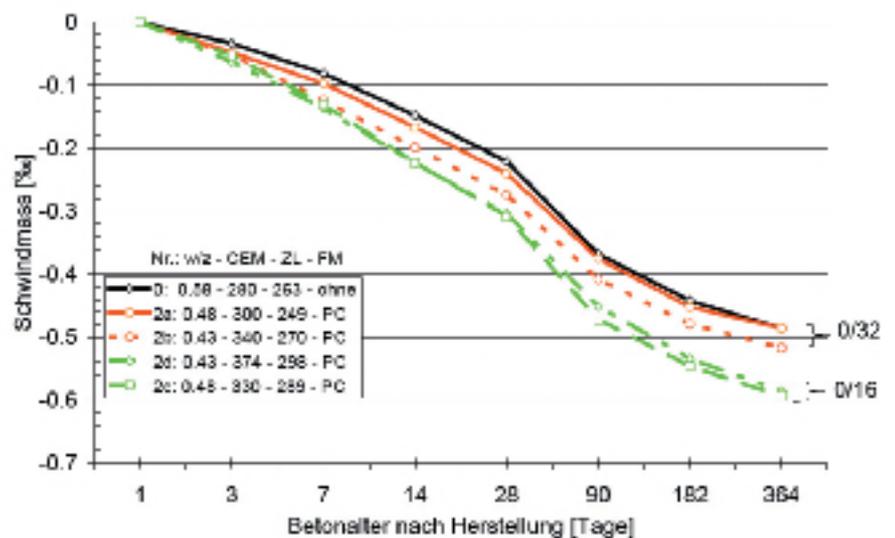
Zementleimvolumen = Zementgehalt + Wassergehalt + Luftgehalt im Frischbeton
Wichtige Grösse für das Schwinden von Beton

Aus der Tabelle 2 geht hervor, dass das Zementleimvolumen der hergestellten Betone zwischen etwa 250 und 300 l/m³ variiert. Betone mit einem

Grösstkorn D_{max} von 16 mm liegen beim Zementleimvolumen im oberen Bereich und Betone mit einem D_{max} von 32 mm im unteren Bereich. Auch mit zunehmendem Luftgehalt steigt das Zementleimvolumen (1 Vol.-% Luft ergibt 10 l/m³).

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Schwindversuche von Beton ohne und mit dem Fließmittel auf Basis PC sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Betone mit einem Grösstkorn von 32 wiesen ein nahezu identisches Schwindmass auf; Gleiches war auch bei den Betonen mit einem Grösstkorn von 16 mm festzustellen. Erwartungsgemäss schwinden die Betone mit einem Grösstkorn von 16 mm (und einem deutlich höheren Zementleimvolumen) mehr als Betone mit einem Grösstkorn von 32 mm. Die Art des Fließmittels (NSK/LS oder PC) hatte im Vergleich zum Zementleimvolumen keinen bzw. nur einen sehr geringen Einfluss auf das Schwindmass (Vergleich der Betone 1a mit 2a, 1b mit 2b, 1c mit 2c in Tabelle 2).



Beton		0	1a	1b	2a	2b	1c	2c	2d
Betonsorte gemäss SN EN 206-1		XC3	XF2	XF4	XF2	XF4	XF2	XF2	XF4
Betonsorte gemäss NPK		B	D	G	D	G	(D)	(D)	(G)
Grösstkorn	[mm]	32	32	32	32	32	16	16	16
CEM II/A-LL 42.5 N	[kg/m ³]	280	300	340	300	340	330	330	374
Wasser	[kg/m ³]	162	144	146	144	146	158	158	161
w/z-Wert	[-]	0,58	0,48	0,43	0,48	0,43	0,48	0,48	0,43
Summe Gesteinskörnung	[kg/m ³]	1941	1972	1932	1972	1932	1908	1908	1864
Fliessmittel NSK/LS	[M.-% CEM]	–	0,60	0,80	–	–	1,33	–	–
Fliessmittel PC	[M.-% CEM]	–	–	–	0,19	0,41	–	0,72	0,75
Frischbetoneigenschaften									
Luftgehalt	[Vol.-%]	1,0	2,0	2,5	0,8	1,4	3,2	2,4	1,6
Rohdichte	[kg/m ³]	2440	2420	2420	2490	2440	2380	2390	2380
Verdichtungsmass	[-]	1,05	1,16	1,08	1,03	1,11	1,24	1,12	1,12
Festbetoneigenschaften									
28-T-Würfeldruckfestigkeit	[N/mm ²]	40,2	48,3	51,5	47,3	54,7	51,7	54,7	55,8
28-T-Rohdichte	[kg/m ³]	2420	2410	2410	2430	2420	2380	2400	2390
Schwinden nach 364 Tagen	[‰]	-0,49	-0,49	-0,50	-0,49	-0,52	-0,63	-0,59	-0,59
Zementleimvolumen									
inkl. Luftgehalt	[l/m ³]	263	261	281	249	270	297	289	298

Tabelle 2: Zusammensetzung der untersuchten Betone sowie Ergebnisse der Frischbetonkontrolle und der Festbetonprüfungen; bei Beton mit einem Grösstkorn von 16 mm sind die NPK-Betonsorten in Klammern angegeben, da sich die NPK-Klassen auf Betone mit $D_{max}32$ beziehen.

In Abbildung 2 sind die ermittelten Schwindmasse gegen das Zementleimvolumen aus Tabelle 2 für die eigenen Versuche und Versuche von Grube aufgetragen. Es zeigt sich ein relativ enger Zusammenhang zwischen dem Zementleimvolumen und dem Schwindmass. Die nach einem Jahr gemessenen Schwindmasse sind ähnlich zu den Werten von Grube. Wird das Zementleimvolumen um etwa 5 bis 10 % verändert, hatte dies noch keinen signifikanten Einfluss auf das Schwindmass. Wird das Zementleimvolumen jedoch um 20 % von z.B. 250

auf 300 l/m³ oder von 280 auf 340 l/m³ erhöht, ist mit einer Zunahme des Schwindmasses von etwa 20 % zu rechnen.

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass sich bei Betonen mit gleicher Konsistenz, aber unterschiedlichen w/z-Werten das Schwindmass kaum ändert, wenn die Zementleimgehalte ähnlich bleiben, was nur durch den Einsatz von Fliessmitteln möglich ist. Mit anderen Worten: Mit dem Einsatz von Fliessmitteln kann das Zementleimvolumen und damit das Schwindmass

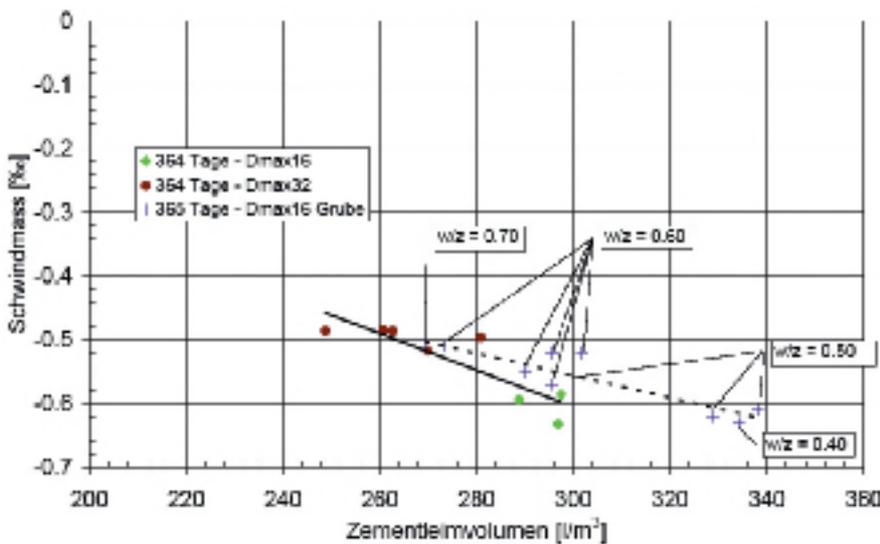


Abb. 2: Schwindmass in Abhängigkeit vom Zementleimvolumen.

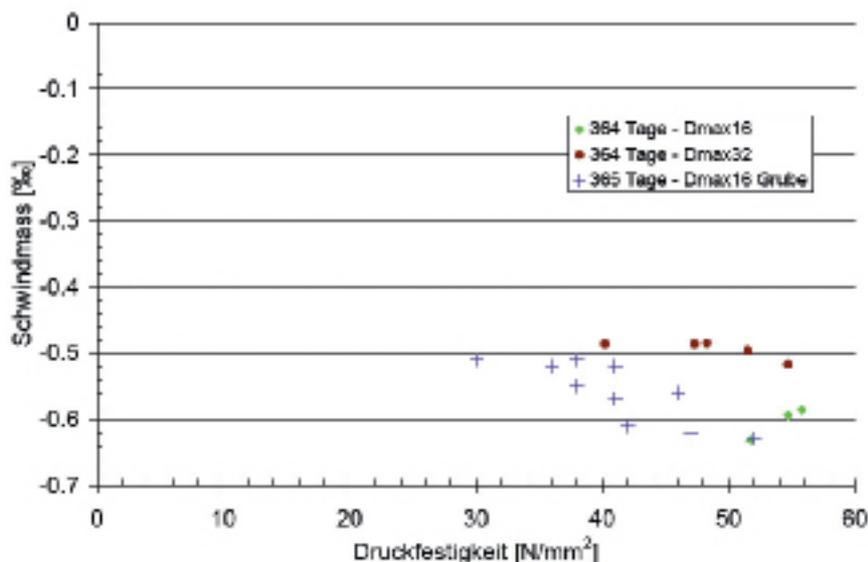


Abb. 3: 28-Tage-Druckfestigkeit und Schwindmass nach 365 Tagen.

reduziert werden. Demgegenüber nimmt das Schwindmass zu, wenn in einem Beton der w/z-Wert gesenkt und die Fließfähigkeit ohne Fließmittel, d.h. mit einer Erhöhung des Zementleimgehaltes, erreicht werden soll. Die Versuche von Grube zeigen beispielhaft, dass für eine w/z-Wertabsenkung von ca. 0,65 auf ca. 0,45 das Zementleimvolumen von ca. 270 auf ca. 330 l/m³ zu erhöhen war, um die gleiche Konsistenz zu erreichen. Dadurch nahm das Schwindmass um ca. 20 % zu (Abbildung 2).

Neben den hier betrachteten Einflüssen auf das Schwindmass wirken sich unter Anderem auch die Versuchsdurchführung (z.B. Prüfkörpergröße, Lage der Messpunkte, Beginn der Trocknung), Dauer der Messungen, Lagerungsklima und die Betonausgangsstoffe (vor allem Elastizitätsmodul der Gesteinskörnung) auf das Schwindmass aus. Dies gilt es beim Vergleich von Ergebnissen von verschiedenen Schwindversuchen zu berücksichtigen.

Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, besteht zwischen dem Schwindmass und der Druckfestigkeit keine klare Beziehung. Das in der Norm SIA 262 Ziffer 3.1.2.5.7 beschriebene, abnehmende Schwindmass bei steigender Druckfestigkeit konnte hier nicht bestätigt werden.

Zwischen Schwindmass und Druckfestigkeit besteht keine klare Beziehung.

Folgerungen

- Das Schwindmass (Trocknungsschwinden) wird vor allem durch das Zementleimvolumen beeinflusst. Betone mit einem kleinen Grösstkorn schwinden deshalb stärker.
- Durch die Verwendung von Fließmitteln kann das Schwindmass reduziert werden, wenn gleichzeitig das Zementleimvolumen reduziert wird.

- Die Druckfestigkeit ist keine geeignete Kenngrösse zur Abschätzung des Trocknungsschwindens.



*Dr. dipl. Ing. Fritz Hunkeler,
Geschäftsführer TFB Technische
Forschung und Beratung für Zement
und Beton, Wildegg*



*Dr. dipl. Ing. Frank Jacobs,
TFB Technische Forschung und
Beratung für Zement und Beton,
Wildegg*



*Thomas Hirschi, Bauingenieur HTL,
Leiter Marketing / Technik, Business
Unit Concrete, Sika Services AG*



*Lorenzo Carmine, Leiter Marketing und
Product-Management, Mapei Suisse SA*



*André Germann, Leiter
Geschäftsbereich Admixture
Systems Schweiz, BASF*

Bibliographie

*«Cementbulletin» (2001): «Dauerhafte Bauwerke
dank geringem Schwinden», Heft 4, TFB
Grube, H. (1991): «Ursachen des Schwindens von
Beton und Auswirkungen auf Betonbauteile».
Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 52,
Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf*
