

Dauerhafte Bauwerke dank geringem Schwinden? (Teil 1)

Autor(en): **Jacobs, Frank / Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **69 (2001)**

Heft 4

PDF erstellt am: **01.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153870>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Dauerhafte Bauwerke dank geringem Schwinden? (Teil 1)

Das Schwinden gehört zum Beton und ist an sich nicht schlimm, solange keine Risse auftreten. Um die Rissbildungsgefahr zu verkleinern, sind Vorkehrungen zum Beschränken des Schwindens sinnvoll.

Mit «Schwinden» und «Quellen» werden Volumenänderungen eines Betons bezeichnet, die sich auf Änderungen des Wasserhaushalts infolge von Austrocknung oder chemischen Reaktionen zwischen Zement und Wasser zurückführen lassen. Beim Schwinden verkleinert sich das Volumen eines Betonkörpers, beim Quellen vergrössert es sich. Durch das Abfliessen der Wärme aus der Hydratation des Zements in verformungsbehinderten Bauteilen entstehen Spannungen, die häufig als Schwindspannungen bezeichnet werden. Dies ist falsch, denn es handelt sich dabei um Temperaturspannungen. Auf diese wird im Juni-«Cementbulletin» eingegangen. Das Schwinden ist nicht problematisch, solange keine Risse auftreten. Bei Schwindversuchen im Labor werden in der Regel keine Risse be-

obachtet, weil die Verformung der Probekörper nicht behindert ist. Selbst Betondecken mit Flächen bis zu 900 m² lassen sich ohne Bewegungsfugen und Risse herstellen, wenn eine gleichmässige Bewegung möglich ist. Kritisch wird das Schwinden, wenn die Verformung eines Betons behindert wird und sein Bruchdehnungsvermögen (etwa 0,05 bis 0,20 ‰ bzw. 0,05 bis 0,20 mm/m) überschritten wird [10].

Schwindarten

Im vorliegenden Artikel wird auf vier Schwindarten eingegangen:

- Kapillarschwinden
- Chemisches Schwinden
- Trocknungsschwinden
- Karbonatisierungsschwinden.

Aus *Tabelle 1* folgt, dass das *Karbonatisierungsschwinden* (Volumenreduktion infolge der Karbonatisie-

rung des Betons) in der Praxis relativ unbedeutend ist. Deshalb wird es hier nicht weiter behandelt.

Kapillarschwinden

Das Kapillarschwinden (Frühschwinden, plastisches Schwinden) tritt bei Frischbetonen in den ersten Stunden zwischen dem Verdichten und dem Erhärtungsbeginn auf. Während dieser Zeit finden keine wesentlichen chemischen Reaktionen des Zements statt (Ruhephase).

Verursacht wird das Kapillarschwinden durch die Wasserabgabe an die Umgebung: Der Beton trocknet aus und zieht sich zusammen (Kapillarkräfte).

Wenn ein Beton etwas Wasser absondert (blutet), wird das Kapillarschwinden verzögert; ein starkes Bluten ist jedoch unerwünscht (siehe «Cementbulletin» über Bluten [13]).

Schwindarten	Zeitpunkt	Schwindmass [‰]	Bemerkungen
Kapillarschwinden	Bis zum Erstarren	0–4	Probleme bei grossen Oberflächen (Böden) Probleme bei Betonen ohne Blutungswasser
Chemisches Schwinden	Während der ersten Tage	0–0,3	Bedeutend 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 in Innenraum mit trockener Luft (50 % r.F.)
Karbonatisierungsschwinden	Wochen bis Jahrzehnte	0–0,01	Schwinden maximal bei etwa 70–80 % r.F.

Tab. 1 Schwindmasse von unbewehrten Bauteilen aus Betonen mit üblichen W/Z-Werten [10, 12].

Besonders gefährdet sind grosse horizontale Flächen, die nach dem Betonieren nicht ausreichend gegen Wind und Sonneneinstrahlung geschützt sind. Vorsicht ist auch bei Betonen mit niedrigen W/Z-Werten (niedrigen Wassergehalten) geboten, die nicht bluten.

Gegen das Kapillarschwinden hilft eine fachgerechte Nachbehandlung. Wenn diese ungenügend ist oder verspätet durchgeführt wird, können an der Oberfläche grosse Risse mit unterschiedlichen Breiten und Tiefen entstehen.

Chemisches Schwinden

Das chemische Schwinden läuft ohne Wasser- oder Feuchtigkeitsaustausch mit der Umgebung ab. Es ist eine Folge der Volumenänderung während der Hydratation des Zements: Da der Zementleim ein kleineres Volumen als die Ausgangsstoffe (Zement und Wasser) einnimmt, kommt es zu einer Verminderung des Betonvolumens.

Das chemische Schwinden ist bei Betonen mit W/Z-Werten $\approx 0,40$ bis $0,45$ gering ($\approx 0,1\%$; *Abbildung 2*). In Betonen mit sehr hohen Festigkeiten

und bei Hochleistungsbetonen mit niedrigen W/Z-Werten ($< 0,35$ – $0,40$) kann es zur Hauptschwindart werden.

Wenn das chemische Schwinden bedeutend ist, treten in der Regel auch Verformungen als Folge der freigesetzten Hydrationswärme auf (siehe Juni-«Cementbulletin» 2001).

Trocknungsschwinden

Das Trocknungsschwinden läuft nach dem gleichen Mechanismus wie das Kapillarschwinden ab: durch den Austausch von Wasser mit der Umgebung nach dem Erhärten.

Zu diesem Artikel

Der vorliegende Artikel basiert in weiten Teilen auf Referaten, die im Rahmen zweier TFB-Veranstaltungen gehalten wurden:

- «Maîtrise du retrait pour la réalisation d'ouvrages durables en béton» am 16. November 2000 in Fribourg [1–6]
- «Mit möglichst geringem Schwinden zu dauerhaften Bauwerken?» am 12. Februar 2001 in Wildeggen [7–11].

Es sprachen:

- [1] R. Leutwyler (Genève) über «Qu'est-ce qui détermine la durabilité des ouvrages en béton?»
- [2] E. Dénarié (Lausanne) über «Influences de la fissuration sur la durabilité: causes, conséquences, prévention»
- [3] J.-P. Jaccoud (Eclépens) über «Mesures relevant de la technologie du béton pour réduire le retrait – 1^{ère} partie: Généralités – les différents types de retrait et facteur d'influences»

- [4] P. Mivelaz (St-Sulpice) über «Mesures relevant de la technologie du béton pour réduire le retrait – 2^e partie: Maîtrise du retrait thermique»
- [5] J.-P. Jaccoud (Eclépens) über «Mesures constructives pour réduire le retrait et ses conséquences»
- [6] P. Graber (Lausanne) über «Mesures imposées par le maître d'ouvrages: Plan de qualité»
- [7] W. Schuler (Ittigen) über «Was bestimmt die Dauerhaftigkeit von Bauwerken? – Sicht des Bauherrn»
- [8] E. Brühwiler (Lausanne) über «Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit: Rissursachen, Folgen, Prävention» (entspricht $\pm$ Vortrag von Dénarié [2])
- [9] J.-P. Jaccoud (Eclépens) über «Konstruktive Massnahmen zur Reduktion des Schwindens: Bewehrung, Vorspannung, Bauteilgrösse, Bauablauf»

- [10] F. Jacobs (Wildeggen) über «Betontechnologische Massnahmen zur Reduktion des Schwindens: Schwindarten, Betonzusammensetzung, Einbau, Nachbehandlung; Bestimmung des Schwindens im Labor»
- [11] R. Suter (Solothurn) [11 a] und S. Briggen (Solothurn) [11 b] über «Qualitätssicherung bei der Bauausführung: Bonus-Malus-System als Schlüssel zum Erfolg?
 - Finanzielle Anreize aus der Sicht des Bauherrn ([11 a])
 - Erfahrungen des Unternehmers ([11 b])

Weitere Informationen stammen aus der Literatur (s. Literaturverzeichnis auf Seite 7).

Die Grösse des Trocknungsschwindmasses wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, z.B. durch [3, 10]:

- Zusammensetzung des Betons
- Eigenschaften der Betonkomponenten
- Nachbehandlung
- Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Wind, Feuchte
- Permeabilität des Betons, Risse
- Betonalter
- Bauteilgeometrie, Bewehrung, Zwängung.

Auf einige dieser Faktoren wird hier kurz eingegangen.

Wasser und Zement [3]

Der Einfluss des Wasser- und Zementgehalts bzw. des W/Z-Werts auf das Trocknungsschwinden von Mörteln und Betonen ohne HBV ist in *Abbildung 1* zusammengefasst. Vereinfacht gilt: Bei ähnlichen Zementgehalten ist das Schwindmass umso niedriger, je niedriger der Wassergehalt ist. Weitere Konsequenzen sind beispielsweise [3, 10]:

- Das Schwindmass bleibt mehr oder weniger konstant, wenn der W/Z-Wert und der Zementgehalt Z sich ändern, die Wassermenge W aber konstant bleibt.
- Bei Betonen ohne HBV mit gleichen Konsistenzen nimmt das Schwindmass mit abnehmenden W/Z-Werten zu. Der Grund: Je tie-

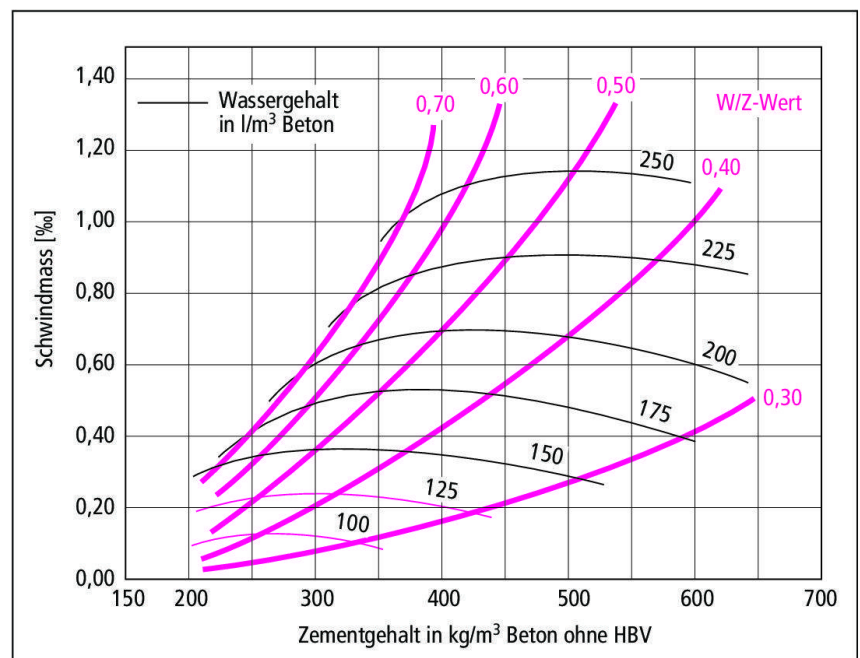


Abb. 1 Einfluss des Zementgehalts und des W/Z-Werts auf das Trocknungsschwinden von Betonen und Mörteln (Prismen 100 mm x 100 mm x 400 mm, 5 Tage Feuchtlagerung, gefolgt von Lagerung bei 50 % r. F. [12, 14]).

Zeichnung TFB

fer der W/Z-Wert ist, desto höher werden der erforderliche Zementleim- und damit auch der Wassergehalt W .

Durch die Zugabe von HBV zu einem Beton erhöht sich in der Regel das Schwindmass. Nur wenn gleichzeitig der Wassergehalt und das Zementleimvolumen reduziert werden, lässt sich der negative Einfluss des HBV annähernd kompensieren.

Der Einfluss der Zementart auf das Trocknungsschwinden ist meistens gering.

Zuschläge [3, 10]

Die Kornzusammensetzung der Zuschläge beeinflusst das Trocknungsschwinden: Je grösser der Grösstkorndurchmesser ist, desto geringer sind das Zementsteinvolumen und damit das Schwinden. Je höher der E-Modul eines Zuschlags ist, desto geringer ist das Trocknungsschwinden. Betone mit Sandstein (E-Modul = 20 kN/mm²) als Zuschlagmaterial schwinden rund doppelt so stark wie Betone mit Kalkstein (E-Modul = 60 kN/mm²). Die E-Moduln von Leichtzuschlägen sind im Allgemeinen niedrig. Das

Schwindmass von Leichtbetonen ist denn auch um 20 bis 50 % höher als dasjenige von Betonen mit vergleichbaren Festigkeiten und Verarbeitbarkeiten [3].

Zuschläge mit Sieblinien, die eine hohlraumarme Packung ermöglichen, haben einen niedrigen Zementleimbedarf. Sowohl Zuschläge mit einem zu geringen als auch solche mit einem zu hohen Feinkornanteil haben einen höheren Zementleimbedarf und damit ein grösseres Schwindmass.

Da selbstverdichtende Betone (SCC, [15]) mehr Zementleim enthalten als

«normale» Betone mit vergleichbaren Festbetoneigenschaften, schwinden sie meistens stärker.

Schwindreduktionsmittel [10]

Schwindreduktionsmittel sind noch zu wenig untersucht worden, um abschliessend beurteilt zu werden. Beobachtet wurden Reduktionen des Schwindmasses um bis zu 30 % (Versuchsdauer 90–365 Tage). Langzeiterfahrungen liegen noch nicht vor.

Es wird angenommen, dass diese Zusatzmittel die Oberflächenspannung des Porenwassers reduzieren. Dadurch werden die Kapillarkräfte ver-

mindert, die für das Trocknungsschwinden mitverantwortlich sind. Weiter wurde beobachtet, dass die Druck- und Zugfestigkeiten sowie die E-Moduln und die Bruchenergien der schwindreduzierten Betone um bis zu 30% abnahmen.

Quellzemente, die nach einem anderen Prinzip wirken, sind in Europa kaum bekannt.

Schwinden allgemein

Die verschiedenen Schwindarten überlagern sich. In *Abbildung 2* wird gezeigt, dass zwar einerseits das chemische Schwinden mit zunehmendem W/Z-Wert abnimmt, andererseits aber das Trocknungsschwinden zunimmt. Zusammen resultiert für die beiden Schwindarten, die von Änderungen im Wasserhaushalt eines Festbetons abhängig sind, ein ähnliches Schwindmass im üblichen W/Z-Wertbereich.

Schwindmessungen

Im Labor kann wesentlich genauer gearbeitet werden als in der Praxis. Deshalb ist es wichtig, schwindarme Betonmischungen zu finden, die einerseits im Betonwerk mit geringen Schwankungen hergestellt werden können und andererseits auf Änderungen in der Zusammensetzung

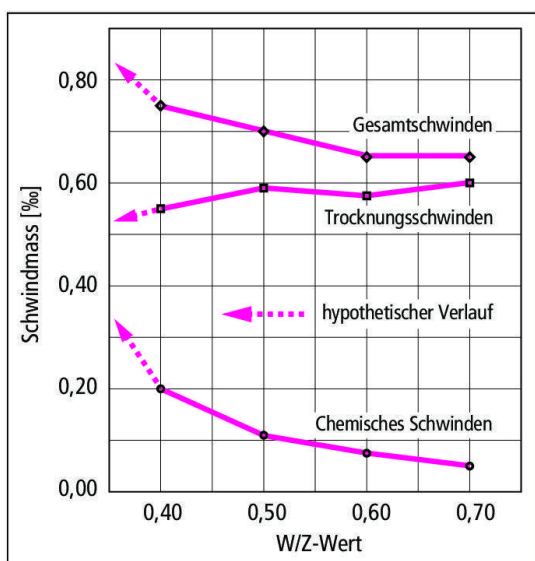


Abb. 2 Einfluss des W/Z-Werts auf das chemische und auf das Trocknungsschwinden (nach [12]).

Zeichnung: TFB

Fasern [10]

Stahlfasern haben keinen Einfluss auf das Schwinden. Wenn sie gut im Ze-

zung nur wenig reagieren. Dabei darf nicht vergessen werden, dass das Schwinden nur eine Betoneigenschaft unter anderen ist. Bei der Mischungszusammensetzung sind diese anderen Eigenschaften ebenfalls zu beachten [10]. In Laborversuchen mit kleinen Probekörpern werden im Allgemeinen wesentlich höhere Schwindmasse gefunden werden als bei Messungen an Betonbauteilen. Die Messung des Schwindmasses ist in der Norm SIA 162/1 [16] nicht detailliert geregelt. Üblich sind:

- Messung an Prismen
(120 mm x 120 mm x 360 mm)
- Proben bei 20 °C und 70 % r.F. gelagert.

Messungen nach der Norm SIA 162/1 [16] werden üblicherweise bereits 24 Stunden nach der Betonherstellung begonnen, es sei denn, der Abbindebeginn des Betons werde durch Zusatzmittel (z.B. Verzögerer oder

viel HBV) bzw. durch langsam reagierende Zusatzstoffe wie Flugaschen verzögert.

In Zusammenhang mit Tunnelbauten für die A 5 im Kanton Solothurn wurden für die Schwindmessungen Bedingungen vorgegeben, die von den SIA-Bedingungen abweichen:

- Proben: Zylinder mit $\varnothing = 100$ mm, Höhe = 300 mm
- Lagerung der Proben bei 23 °C und 50 % relativer Feuchte
- Messung zwischen dem 10. und dem 60. Tag.

Zwischen den Resultaten der beiden Verfahren besteht nur ein grober Zusammenhang. Betone mit einem hohen Frühschwindmass können nach der Solothurner Methode ein wesentlich niedrigeres Endschwindmass aufweisen als nach der SIA-Methode, weil die Messung erst am 10. Tag beginnt.

Schlüsselwörter

Chemisches Schwinden, Frühschwinden, Kapillarschwinden, Karbonatisierungsschwinden, plastisches Schwinden, SCC, Schwinden, Schwindmass, Trocknungsschwinden

Ein kurzes Fazit

Das Schwinden gehört zum Beton und ist an sich nicht schlimm, solange keine Risse auftreten. Um die Rissbildungsgefahr zu verkleinern, sind Vorkehrungen zum Beschränken des Schwindens sinnvoll. Drei Punkte sind dabei besonders zu beachten:

- Betone mit relativ wenig Wasser verwenden. (Ein niedriger W/Z-Wert reicht nicht aus.)
- Betone mit möglichst wenig Zementstein einsetzen, d. h., Zuschläge mit möglichst grossem Grösstkorndurchmesser verwenden
- Betone möglichst gut und lange nachbehandeln.

Auch so lassen sich nicht alle Risse verhindern, obwohl das Schwinden verzögert und vermindert wird.

Über Risse als Schwindfolgen und konstruktive Massnahmen zum Verhindern von Rissen aufgrund des Schwindens von Betonen wird im nächsten «Cementbulletin» berichtet.

Frank Jacobs und Kurt Hermann, TFB

LITERATUR

Neben den Angaben der Referenten der TFB-Fachveranstaltungen wurden die folgenden Publikationen verwendet oder zitiert:

- [12] Grube, H., «Ursachen des Schwindens von Beton und Auswirkung auf Betonbauteile», Schriftenreihe der Zementindustrie 52, 84 Seiten (1991).
- [13] van Egmond, B., und Hermann, K., «Blutender Beton», Cementbulletin 67 [2], 3–7 (1999).

- [14] Czernin, W., «Zementchemie für Bauingenieure», Bauverlag, Wiesbaden, 3. Auflage (1977), Seite 103.

- [15] Jacobs, F., und Hermann, K., «Self-compacting concrete», Cementbulletin 68 [1], 3–7 (2000).

- [16] Norm SIA 162/1: «Betonbauten» (Ausgabe 1989).