

Zum Schwindverhalten von Mauerwerk

(ON THE SHRINKAGE BEHAVIOUR OF MASONRY)

P. Schubert

Institut für Bauforschung, RWTH Aachen, Deutschland

KURZFASSUNG

Mauerwerk schwindet bei Austrocknung. Die Formänderung infolge Schwinden kann einen großen Anteil der gesamten Formänderungen ausmachen. Ihre Kenntnis ist deshalb wichtig für die Beurteilung der Rißsicherheit von Mauerwerkkonstruktionen.

Der Beitrag enthält Angaben zum Schwindverlauf und dem Schwindendwert für Mauerwerk aus verschiedenen Steinarten in Abhängigkeit vom Schwindklima, der Bauteilgröße und anderen Einflußgrößen.

SUMMARY

Masonry shrinks by decreasing moisture content. The deformation due to shrinkage can represent a large component of the sum of deformations. Therefore it is important to know the degree of shrinkage to estimate the safety from cracking.

The paper gives informations about the relationship between shrinkage and time and about the final values of shrinkage for masonry from different units depending on the climate of shrinkage, the size of test specimens and other influences.

1. Einleitung

Die üblicherweise verwendeten Mauersteine enthalten einen mehr oder weniger großen Anteil an Kapillarporen. Trocknen wassergesättigte Steine aus, so entstehen Kapillarzugspannungen, die mit zunehmender Austrocknung bis zu einem bestimmten Grenzwert anwachsen. Die Kapillarzugspannungen bewirken eine Volumenverringern, die mit Schwinden bezeichnet wird (siehe auch in /1/). Die Größe des Schwindens hängt im wesentlichen vom anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt, den Austrocknungsbedingungen sowie von der Porenstruktur und "Verformbarkeit" des Steines ab. Das Schwinden ϵ_s ist weitgehend umkehrbar, man spricht dann vom Quellen ϵ_q . Neben den überwiegend physikalischen Vorgängen von Schwinden bzw. Quellen tritt bei einigen Mauerziegeln eine Volumenvergrößerung auf, die erst bei hoher Temperatur (etwa 600 °C) umkehrbar ist und wesentlich durch chemische Vorgänge bestimmt wird. Sie wird deshalb als chemisches Quellen ϵ_{qc} bezeichnet. Da über dessen Größe und die wesentlichen Einflüsse noch keine ausreichenden Erkenntnisse für die Gegebenheiten in der Bundesrepublik Deutschland vorliegen, wird auf diese Formänderung im folgenden nicht besonders eingegangen. Dies gilt auch für Volumenverringern infolge Karbonatisierung, die bei nichtkeramischen Mauersteinen auftreten können.

Die durch die Feuchtigkeitsänderung beeinflussten Volumenänderungen bzw. bezogenen Längenänderungen ϵ_s , ϵ_q und ϵ_{qc} werden mit dem Oberbegriff Feuchtedehnung ϵ_h bezeichnet.

Die Feuchtedehnung von Mauersteinen bzw. Mauerwerk, hier im wesentlichen das Schwinden, kann einen erheblichen Anteil der gesamten Formänderungen des Mauerwerks ausmachen. Die möglichst genaue Kenntnis von Verlauf und Endwert der Feuchtedehnung sowie der wesentlichen Einflußgrößen ist deshalb von großer Bedeutung für eine zutreffende Abschätzung der Rißsicherheit von Mauerwerkbauteilen.

In einer umfangreichen Forschungsarbeit /2/ wurden alle vorliegenden Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang mit eigenen Untersuchungen mit dieser Zielsetzung ausgewertet. Wesentliche Ergebnisse werden im folgenden mitgeteilt.

2. Schwindverhalten von Mauerwerk

2.1 Allgemeines

Bei den meisten der ausgewerteten Untersuchungen über das Schwinden von Einzelsteinen und Mauerwerk wurden die Mauersteine vor der Schwindlagerung wasservorgelagert, im allgemeinen 2 Tage, um einen einigermaßen definierten, einfach zu erreichenden Ausgangszustand zu gewährleisten /3/. Kann davon ausgegangen werden, daß die Einbaufeuchte der Steine auf der Baustelle deutlich geringer ist, so wird durch diese Vorlagerung in einigen Fällen ein zu hoher Endschwindwert $\epsilon_{s\infty}$ erhalten, der ggfs. abzumindern wäre.

Die im folgenden angegebenen Auswerteergebnisse liegen somit meist deutlich auf der sicheren Seite. Die versuchsmäßig ermittelten Schwinddehnungen können jedoch bei den nichtkeramischen Mauersteinen durch einen meist unbestimmten Anteil Karbonatisierungsschwinden vergrößert worden sein. Sie sind bereits dadurch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

2.2 Wesentliche Einflußgrößen auf das Schwinden von Mauerwerk

Schwindendwert und meist auch der Schwindverlauf werden wesentlich beeinflusst von

- Schwinden von Mauerstein und Mörtel
- dem Anteil von Mauerstein und Mörtel im Mauerwerk
- der Bauteilgröße
- dem Austrocknungsklima.

2.3 Schwindverlauf von Mauerwerk

Der Schwindverlauf $\epsilon_s(t)$ kann ausreichend genau mit den Ansätzen

$$\epsilon_s(t) = \frac{t+C}{A+B \cdot t} \quad \text{und} \quad (1)$$

$$\epsilon_s(t) = A (1 - e^{-B \cdot t^C}) \quad (2)$$

t: Schwinddauer in d
beschrieben werden.

Nach den Bestimmtheitsmaßen der Regressionsrechnungen und dem Vergleich von gemessenen und gerechneten Schwindwerten mittels Regression ergab sich mit Ansatz (1) in der Regel die beste Anpassung an die Versuchswerte. Nachteilig ist bei diesem Ansatz, daß die Randbedingung $\epsilon_s(t=0) = 0$ nicht erfüllt werden muß. Ansatz (2) eignet sich, wenn relativ viele Versuchswerte über einen längeren Zeitraum vorliegen.

Wegen der vergleichsweise wenigen vorliegenden Untersuchungen zum Schwindverlauf und der 3 parametrischen Ansätze, konnte kein rechnerischer Zusammenhang zwischen den Gleichungsparametern und wesentlichen Einflußgrößen wie Steinart, Bauteilgröße, Schwindklima ermittelt werden.

In Bild 1 ist der Schwindverlauf einiger Mauerwerkarten und Bauteilgrößen für das Schwindklima 20/65 dargestellt. Die Bauteilgröße wurde durch die wirksame Dicke

$$d_{ef} = \frac{2A}{u}$$

mit A: Querschnittsfläche

u: der Austrocknung ausgesetzter Umfang

gekennzeichnet. Bei flächigen Bauteilen (Wänden) entspricht d_{ef} in etwa der Wanddicke. Das Bild 1 zeigt erwartungsgemäß, daß Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen langsamer schwindet als Gasbeton- und Kalksandsteinmauerwerk und daß dünnere Wände schneller schwinden als dickere Wände.

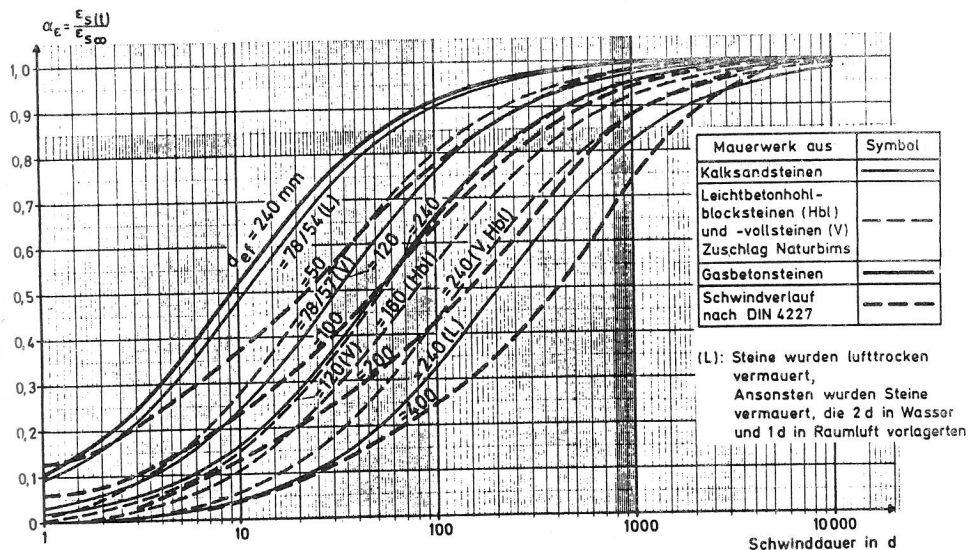


Bild 1: Zeitlicher Verlauf des Schwindens von Mauerwerk aus nicht-keramischen Mauersteinen (Mauerwerkalter bei Schwindbeginn im allgemeinen 3 bis 7 d) (aus /2/)

Nach 3-jähriger Schwinddauer wird bei (unverputzten) Wänden mit $d \leq 240$ mm mehr als 80 % des rechnerischen Endschwindwertes erreicht. Mit Hilfe von Bild 1 kann der Schwindanteil für einen bestimmten Zeitraum aus

$$\epsilon_s(t_2 - t_1) = \epsilon_{s\infty} (\alpha_\epsilon(t_2) - \alpha_\epsilon(t_1)) \quad (3)$$

abgeschätzt werden.

Anhaltswerte für den Schwindverlauf bei anderen relativen Luftfeuchten U ergeben sich durch entsprechende Veränderung der wirk-samen Dicke:

$$d_{ef}(U = 50) \approx 0,7 d_{ef}(U = 65) \quad (4)$$

$$d_{ef}(U = 30) \approx 0,5 d_{ef}(U = 65). \quad (4a)$$

Insbesondere bei dickeren Bauteilen und schneller Austrocknung kann die Schwinddehnung im Oberflächen- und Kernbereich sehr unterschiedlich sein. Dies gilt vor allem für den anfänglichen Austrocknungszeitraum. Es wurden Schwindungsunterschiede bis zu maximal etwa 0,4 mm/m festgestellt.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Schwindverlauf senkrecht und parallel zu den Lagerfugen ergab sich nicht.

2.4 Endschwindwerte von Mauerwerk

2.4.1 Berechnungsverfahren

Der Endschwindwert $\epsilon_{s\infty}$ kann ausreichend genau mit den angegebenen Ansätzen (1) und (2) für $t \rightarrow \infty$ errechnet werden. Sollen nicht Endwert und Verlauf des Schwindens, sondern soll nur der Endwert ermittelt werden, so kann auch der einfache Ansatz

$$\epsilon_s(t) = \frac{t}{A+B \cdot t} \quad (5)$$

verwendet werden.

Mit

$$t/\epsilon(t) = A+B \cdot t \quad (5a)$$

kann dann durch lineare Regression der Parameter B und daraus

$$\epsilon_{s\infty} = 1/B$$

bestimmt werden.

Da der Ansatz (5) meist den anfänglichen Schwindverlauf nicht ausreichend genau wiedergibt, empfiehlt es sich, die Regression mit den letzten 5 Versuchswerten durchzuführen und ggfs. weitere Regressionen mit jeweils einem zusätzlichen Versuchswert zu rechnen.

Kriterium für den auszuwählenden Parameter B kann das größte Bestimmtheitsmaß der verschiedenen Regressionsrechnungen sein.

2.4.2 Endschwindwerte

Der Endschwindwert von Mauerwerk $\epsilon_{h\infty, mw}$ wird im wesentlichen beeinflusst von

- dem Endschwindwert Mauerstein $\epsilon_{h\infty, st}$
- dem Schwindanteil des Mörtels $\alpha_{m\ddot{o}}$
- der relativen Luftfeuchte α_U
- der Bauteilgröße (wirksame Dicke) α_d .

Darüberhinaus sind Alter und Vorlagerung des Mauerwerks von Einfluß.

Der Endschwindwert von Mauerwerk kann rechnerisch bestimmt werden aus

a) dem Grundwert $\epsilon_{h\infty(o), mw}$

$$\epsilon_{h\infty, mw} = (\epsilon_{h\infty(o), mw} + \alpha_{m\ddot{o}(2)}) \cdot \alpha_U \cdot \alpha_d \quad (6)$$

b) dem Grundwert $\epsilon_{h\infty(o), st}$

$$\epsilon_{h\infty, mw} = (\epsilon_{h\infty(o), st} + \alpha_{m\ddot{o}(1)}) \cdot \alpha_U \cdot \alpha_d \quad (6a)$$

Grundwerte $\epsilon_{h\infty(o), st}$ und $\epsilon_{h\infty(o), mw}$ für $U = 65 \%$ sind in der Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Grundendwerte $\epsilon_{h\infty(o)}$ in mm/m von Mauersteinen, Mörtel und Mauerwerk (aus /2/) Prüfklima 20/65, Mauersteine meist ≥ 2 d in Wasser vorgelagert

Steinsorte / Mörtel	$\epsilon_{h\infty(o), st}$ (Meßstelle LR) ¹⁾			$\epsilon_{h\infty(o), mw}$ (Vertikal, Wände d = 240 mm)		
	Mittelwert	10 % Fraktile	90 % Fraktile	Mittelwert	10 % Fraktile	90 % Fraktile
Mauerziegel	+0,10 ²⁾	-	-	+0,10 ¹⁾	-	-
Kalksandsteine	-0,30	-	-	-0,40	-0,11	-0,69
Leichtbetonsteine Zuschlag Naturbims	-0,40	-0,10	-0,65	-0,45	-0,20	-0,70
Betonsteine dichter Zuschlag	-0,20	-	-	-0,20	-	-
Gasbetonsteine	-0,35	-	-	-0,40	-	-
Mörtel	-0,75	-0,40	-1,10	-	-	-

1) Richtung Steinlänge, Steinrand

2) chemisches Quellen, mittlerer Schätzwert, in Einzelfällen sind erheblich höhere Werte möglich

Der Schwindeinfluß des Mörtels kann mit Hilfe von Näherungsansätzen bzw. Diagrammen berücksichtigt werden /2/. Er kann besonders groß sein, wenn Leichtmörtel verwendet werden, da deren Endschwindwert meist mehrfach so groß ist wie der von Normalmörtel.

In Bild 2 ist der rechnerische Anteil des Mörtelschwindens (Normalmörtel) für Mauerwerk im Läuferverband senkrecht zu den Lagerfugen dargestellt. Wie aus Bild 2 ersichtlich, kann der Mörtelschwindanteil $\Delta \epsilon_{h\infty(m\ddot{o})}$ bei der geringen Steinhöhe von 52 mm (Format DF) bei nichtkeramischen Mauersteinen bis ca. 0,15 mm/m betragen. Bei den 238 mm hohen Blocksteinen ist der Mörtelschwindanteil dagegen bereits vernachlässigbar klein.

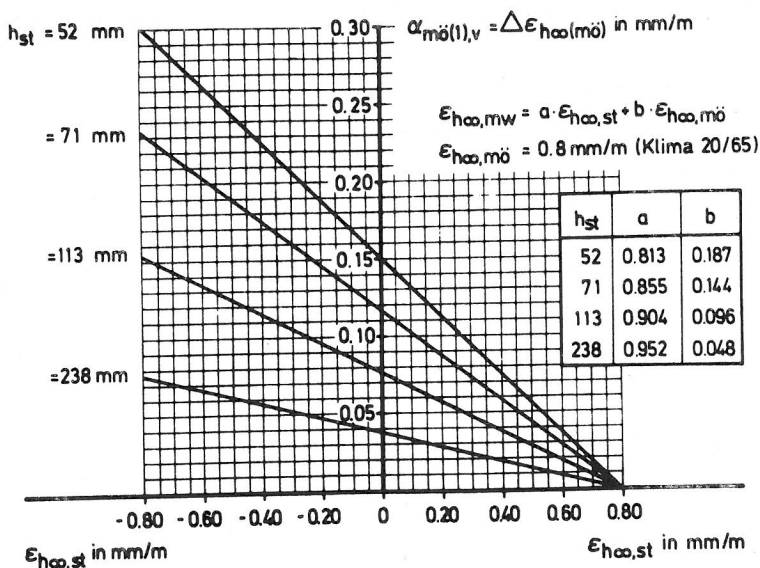


Bild 2: Rechnerischer Anteil des Mörtels am Endwert der Feuchtedeh- und des Mauerwerks in vertikaler Richtung
Mauerwerk im Läuferverband (aus /2/)

Da in Gleichung (6) bereits vom Grundendwert des Mauerwerks ausgegangen wird, kann der Schwindeinfluß des Mörtels in diesem Falle näherungsweise unberücksichtigt bleiben, obwohl gewisse rechnerische Unterschiede je nach dem Stein-Mörtel-Anteil im Mauerwerk bestehen. Wird somit von $\epsilon_{h\infty(o),mw}$ ausgegangen, so ist dann

$$\epsilon_{h\infty,mw} = \epsilon_{h\infty(o),mw} \cdot \alpha_U \cdot \alpha_d \quad (7)$$

Mit den in den Tabellen 2 und 3 angegebenen α_U - und α_d -Werten lassen sich Endschwindwerte von verschiedenem Mauerwerk für unterschiedliche Austrocknungsbedingungen (relative Luftfeuchte) und Bauteilgröße ermitteln.

Tabelle 2: Beiwert α_U (Einfluß relative Luftfeuchte) (aus /2/)

Vorlagerung: meist ≥ 2 d Wasser

Steinsorte	α_U relative Luftfeuchte in %				
	30	40	50	65	80
Mauerziegel	(1,0) ¹⁾				
Kalksandsteine	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8
Leichtbetonsteine Zuschlag Naturbims, Blähton	1,7	1,5	1,3	1,0	0,7
Betonsteine dichter Zuschlag	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8
Gasbetonsteine	(2,2)	(1,9)	(1,5)	(1,0)	(0,5)
Mörtel	1,6	1,5	1,3	1,0	0,7

1) wahrscheinlicher α_U -Wert

(): sehr unsicher

Tabelle 3: Beiwert α_d (Einfluß Prüfkörpergröße) (aus /2/)

$$\alpha_d = 1 - (240 - d_{ef}) \cdot 0,0017$$

Bauteilquerschnitt		d_{ef} mm	α_d
d	b		
240	175	101	0,75
115	- ¹⁾	115	0,8
240	240	120	0,8
240	300	133	0,8
240	365	144	0,85
240	490	161	0,85
175	- ¹⁾	175	0,9
240	- ¹⁾	240	1,0
300	- ¹⁾	300	(1,1)
365	- ¹⁾	365	(1,2)

1) Wand, (): extrapoliert

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Endschwindwerten senkrecht und parallel zu den Lagerfugen ergab sich in der Regel nicht.

2.5 Hinweis zur Anwendung der Auswerteergebnisse

Die quantitativen Angaben zum Verlauf und Endwert des Schwindens von Mauerwerk basieren auf einer ersten diesbezüglichen Auswer-

tung aller vorliegenden Untersuchungsergebnisse. Da zum Teil noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich Größe und Schwankungsbereich dieser Angaben bestehen, sind sie zunächst nur als Anhaltswerte zu betrachten und bedürfen der weiteren Absicherung.

- /1/ Wesche, K.:
Baustoffe für tragende Bauteile, Bd. 2 Beton, 2. Auflage
1981, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- /2/ Schubert, P.:
Zur Feuchtedehnung von Mauerwerk. An der RWTH Aachen 1981
eingereichte Dissertation
- /3/ Wesche, K. und Schubert, P.:
Prüfverfahren für Mauerwerk. Betonwerk + Fertigteil-Technik
40 (1974), H. 5, S. 329...333