

8. Ausführung von Betonwerkstein- und Natursteinarbeiten



8.3 Ursachen und Vermeidung von Rissen im Betonwerkstein

Ein Praxisleitfaden

Innovative Betonwerksteine, sowie Terrazzoböden und geschliffene Monolithböden erreichen heute wieder eine selten da gewesene Renaissance. Nicht zuletzt die Verbände und in Deutschland vor allem die Info-Portale trugen mit ihren Marketingmaßnahmen wesentlich dazu bei, den Bedarf zu wecken. Allerdings haben sich in den letzten Jahren die Qualitätsanforderungen an solche Baustoffe erhöht. Neue Techniken tragen dazu bei, diesem gesteigerten Qualitätsbedürfnis Rechnung zu tragen. Leider wird aber von Seiten der Bauherren und Planer allzu oft vergessen, dass es sich bei Betonwerkstein um einen Werkstein aus Beton handelt. Terrazzo- und Monolithböden sind ebenfalls den physikalischen Gesetzen zementgebundener Baustoffe unterlegen. Demzufolge dürfen bei der Herstellung und bei der Beurteilung solcher Baustoffe die beton-typischen Spezifika nicht außer Acht gelassen werden. Dieser Aufsatz bietet daher ohne Anspruch auf Vollständigkeit einen Überblick über mögliche Ursachen sowie Hinweise zur Vermeidung von Rissen im Betonwerkstein.

Wolfram Reinhardt, Reinhardt Beton GmbH, Deutschland

Statischer Lasteintrag ständige und veränderliche Einwirkungen auf Bauten

Risse können entstehen, wenn die Konstruktion nicht ausreichend bemessen ist und eine Überlastung der Konstruktion eintritt. In diesem Zusammenhang wird auf die Veröffentlichung „Bemessung von Belägen und tragenden Bauteilen aus Betonwerkstein“ in BWI 4-2006 hingewiesen, in der ausführlich ein sehr leicht verständliches, anwenderfreundliches und gutachterlich geprüftes Bemessungskonzept für Betonwerkstein dargestellt

wurde. Dieser Beitrag sowie zahlreiche Bemessungsdiagramme sind in deutscher Sprache auch stets Bestandteil des Betonwerksteinkalenders (www.betonwerksteinkalender.de), der jährlich aktualisiert herausgegeben wird.

Die Bemessung von Betonwerkstein setzt allerdings stets voraus, dass die Festigkeitsentwicklung der Bauteile ausreichend fortgeschritten ist, um den planmäßigen Beanspruchungen ausreichend Widerstand entgegen zu setzen. Der Zeitpunkt der Auslieferung ist daher sehr sorgfältig zu beachten.

Normauslieferfestigkeit

Die Normauslieferfestigkeit in Deutschland gilt als eingehalten, wenn gemäß DIN V

18500, Abschnitt 5.1. Absatz 8, folgende Parameter eingehalten wurden: „Bauteile aus Betonwerkstein müssen die in den Abschnitten 5.2. bis 5.5. angegebenen Anforderungen bei Auslieferung spätestens nach 28 Tagen nach der Herstellung aufweisen.“

Daraus ist konkret der Soll-Zustand für die Auslieferfestigkeit abzuleiten, d.h. die Biegezugfestigkeit f_{CT} muss im Mittel 5 N/mm² betragen und die Druckfestigkeit muss einem C25/30 entsprechen.

Heutzutage können bei Hochleistungsbetonen im Betonwerksteinbereich durchaus Biegezugfestigkeiten nach 28 Tagen von 20 N/mm² und mehr erreicht werden. Diese Hochleistungsbetone, vornehmlich auch im Betonwerksteinbereich, auch als selbstverdichtender Beton, erreichen meist sehr früh, schon nach 1 bis 2 Tagen die normenkonforme Auslieferfestigkeit von 5 N/mm².

Das bedeutet aber keinesfalls, dass damit auch schon die Verlegereife der Produkte gegeben sein muss, da unter Umständen das hygrische Schwinden noch nicht abgeschlossen ist. Hochleistungsbetone oder schwindreduziert modifizierte Betonwerksteinmischungen können meist viel früher eine Verlegereife sichern. Herstellerangaben sind deshalb zur schadenfreien Verlegung unbedingt einzuhalten.

Entsprechend der gewerblichen Verkehrssite sowie allen Hinweisen aus der Fachliteratur muss man davon ausgehen, dass diese Umstände erst nach 28 Tagen sicher eingetreten sind.

Drei Tage nach der Herstellung werden solche Betonwerksteinelemente in der

Regel geschliffen, so dass bei einem relativ geringen Hydratationsgrad eine relativ hohe Wasseraufnahme erfolgt. Werden, wie im folgenden Fall nachgewiesen, nach Erreichen der Normauslieferfestigkeit nach DIN V 18500 $f_{cr}=5$ N/mm² (im Mittel) die Teile bei Temperaturen unter 5°C transportiert und angeliefert, kommt die Hydratation der Betonwerksteinmischung ins Stocken.

Durch das hohe Wasserrückhaltevermögen aus hochfein aufgemahlene Zementen, wie CEM I/52,5 in Zusammenhang mit der großen spezifischen Oberfläche der häufig eingesetzten Gesteinskomponente 0 - 1,5 mm insbesondere bei selbstverdichtendem Betonwerkstein, sowie der infolge hohem Zementanspruches und hohem Wasseranspruches bedingten Kapillarporosität entsteht bei der im jungen Alter durchgeführten Nassbearbeitung eine sehr große Bauteildurchfeuchtung.

Niedrige Temperaturen zum Verlegezeitpunkt bedingen, dass die Inhaltsfeuchte in den Belagsbauteilen konserviert wird. Mit dem Angleichen der Betonwerksteinfeuchte an die Luft geht ein unausweichlicher Schwindprozess einher.



Wolfram Reinhardt (1948),
1967-1972 Studium
Bauingenieurwesen in
Leipzig. Seit 1972 geschäftsführender
Gesellschafter der Reinhardt Beton GmbH. Seit
1990 Vorsitzender des Dachverbandes der
Beton- und Terrazzohersteller e.V., seit 1994
Vizevorsitzender der Bundesfachgruppe im ZDB.
Seit 2006 Vorsitzender der Bundesfachgruppe
BFTN im ZDB.

info@reinhardt-stein.de

Nach der gewerblichen Verkehrssite, der GGB - Richtlinie und gemäß Reinhardt - Bemessung von Belägen und tragenden Bauteilen aus Betonwerkstein und Naturstein - Abschnitt 7.2.; Pos. 3/4; Pkt. 3 ist bei der Verlegung von Treppenbelägen „eine Bauteilfeuchte von $\leq 2,0$ CM % nicht zu überschreiten, maximal jedoch 3 CM%.“

Dynamischer Lasteintrag

Vibration, Stoß- und Schlagbelastung dürfen nur in begrenztem Umfang auf Betonwerksteinbauteile einwirken, sonst besteht Rissgefahr. Hier ist als besondere Rissgefährdung die Schlag- und Stoßbelastung zu nennen. Maßnahmen zur Minimierung der Belastung bei mechanisch hochbelasteten Bodenbelägen sind die Vermeidung von Überzähnen, der Einsatz von geeignetem Räderwerk, sowie von geeigneten Schubmaststaplern.

Außerdem müssen die Böden korrekt bemessen werden und die Vorgabe des Planers bezüglich der Dicke der Lastverteilungsschicht muss unbedingt eingehalten werden. Ein sicherer Verbund zwischen Platten, Mörtel und Unterkonstruktion muss gewährleistet sein, und Maßnahmen zur Schwindbegrenzung sollten getroffen werden.

Formänderungen aus Schrumpfen und Schwinden

Schrumpfen

Als Schrumpfen bezeichnet man die Volumenverminderung, die auf die chemische Wasserbindung zurückgeht. Die Ausgangsstoffe Zement und Wasser nehmen anfangs einen größeren Raum ein als die daraus entstehenden Reaktionsprodukte.

Die Kontraktion beträgt etwa 25 Vol.-%, bezogen auf das chemisch gebundene Wasser, das entspricht einer Volumenverminderung von etwa 6 cm³ bei 100 g vollständig hydratisiertem Portlandzement. Da das Schrumpfen analog der Erhärtung verläuft, kann die Volumenverminderung zur Ermittlung des Hydratationsgrades zu einem gewählten Zeitpunkt dienen.

Durch die chemische Wasserbindung wird dem Beton Wasser entzogen. Deshalb ist durch eine entsprechend lange feuchte Nachbehandlung dafür zu sorgen, dass genügend Wasser aufgesaugt werden kann, weil sonst der Hydratationsvorgang und damit der Erhärtungsverlauf unterbrochen wird.

Schwinden

Unter Schwinden des Betons versteht man die Volumenänderungen, die beim Austrocknen und bei feuchter Behandlung des erhärteten Betons auftreten, wenn der Betonkörper keinerlei äußeren Kräften ausgesetzt ist.

Diese Maßveränderung hält so lange an, bis das Gleichgewicht zwischen Luft- und der Betonfeuchte eingetreten ist. Da zuerst die Außenflächen trocknen, bildet sich am Betonkörper zunächst eine nahezu lufttrockene Außenschicht, die sich zusammenziehen versucht, während der feuchte Beton im Kern keiner Formänderung unterliegt.

Es entstehen Zugspannungen an den Außenflächen, Druckspannungen im Kern. Soweit nun diese Zugspannungen die Zugfestigkeit des Betons überschreiten, entstehen die so genannten Schwindrisse. Sie schließen sich mehr oder weniger mit zunehmender Austrocknung des Kerns.

Die Hauptursache für das Schwinden des Betons ist der Zementstein mit seinen zwischen den Gesteinsteilchen wirkenden Kräften (van der Waalsche Kräfte) und dem entgegenstehenden Quelldruck des Gesteinswassers, der durch Wasserabgabe vermindert wird und so ein Zusammenziehen des Zementsteines verursacht.

Die wesentlichsten Einflussgrößen sind deshalb auch der Wasserzementwert bzw. Wassergehalt und die Umweltbedingungen, insbesondere die relative Luftfeuchte. Ein Schwinden des lufttrockenen Zementsteines tritt außerdem in geringem Umfang auch durch die Aufnahme von Kohlendioxid aus der Luft ein, obwohl die Umsetzung von Kalziumhydroxid zu Kalziumkarbonat mit einer Volumenzunahme verbunden ist. Diese Erscheinung, die durch die Druckverhältnisse der großen Kalziumhydroxidkristalle im Zementstein erklärt wird, tritt nicht bei Wassersättigung ein. Infolgedessen entsteht in diesem Fall kein Schwinden. Bei nachfolgendem Austrocknen bleibt die Volumenabnahme gering.

Mit zunehmender Mahlfineinheit steigen die Schwindmaße der Zemente an. Abgelagerter Zement schwindet häufig nicht so stark wie frischer Zement.

Das Schwindverhalten des Betons wird aber durch diese Eigenschaften der Zemente wenig beeinflusst. Das trifft auch für den Zementgehalt zu. Das Schwindmaß des Betons verändert sich mit zunehmendem Zementgehalt bei gleicher Wassermenge nur gering. Das Schwinden und Quellen des Zementsteines wird durch die eingebetteten Gesteinskörnungen verringert, und zwar im allgemeinen umso mehr, je weniger nachgiebig das Gestein ist und je kleiner seine Raumänderungen

beim Trocknen und Durchfeuchten sind. Hinsichtlich der Kornzusammensetzung wurde festgestellt, dass mit Zunahme des Feinstanteils die Längenänderungen größer werden. Die Ursache dafür ist der erhöhte Wasseranspruch, der aus der größeren spezifischen Oberfläche resultiert.

Außerdem beeinflussen der Dichtigkeitsgrad und die Porenbeschaffenheit das Schwinden und Quellen. Chemische Zusätze zum Beton (Frostschutzmittel, Erstarrungsbeschleuniger u. a.) können das Schwindmaß stark beeinflussen. Besonders trifft das bei der Zugabe von Kalziumchlorid zur Beschleunigung der Erhärtung zu. Die Erhöhung des üblichen Schwindmaßes kann dabei über 50 % betragen. Aus diesem Grunde sind Vorkehrungen zur Verringerung des Schwindens durch Oberflächenschutz zu treffen.

Das Schwindmaß verhält sich im höheren Alter bei verschiedenen großen Körpern etwa proportional dem Verhältnis aus Oberfläche und Körperinhalt. Das trifft im jüngeren Alter nicht zu, weil das Austrocknen bei kleineren Körpern schneller verläuft.

Zur Vermeidung der Rissbildung aus Schrumpfen und Schwinden ist insbesondere auf eine gute Betontechnologie und eine optimale Nachbehandlung zu achten. Besonders bei den Monolithböden der neuen Generation werden oft moderne Betonzusatzmittel benutzt.

Die traditionell häufig anzutreffende Rissgefahr, z. B. von traditionellen Terrazzo Böden mit einem Schwindverhalten von nicht selten bis zu 1,2 bis 1,4 mm/m erfordert gesonderte Maßnahmen. Hilfreich erweisen sich ein möglichst geringer Feinstanteil der Gesteinskörnungen, ein

Tabelle 1: Längenausdehnung bei Temperaturänderungen um $\pm 10^\circ\text{C}$ über der durchschnittlichen Raumtemperatur für Terrazzo

Material	α in $1/^\circ\text{C}$	LT/m	$\Delta L/\text{mm}$
Terrazzo/Beton	0,000007	7,500525	0,5
Stahl	0,000013	7,500975	0,98
Messing	0,000018	7,50135	1,35
Aluminium	0,000023	7,501725	1,73

Ausgangslänge $L_0 = 7,5\text{m}$, $LT =$ Länge nach Ausdehnung bei einer Temperatur von $t = 10^\circ\text{C}$

niedriger Zementgehalt, ein niedriger w/z-Wert, geringe Schwindfugenabstände (Feldbegrenzungsfugen) sowie weitere Maßnahmen zur Schwindbegrenzung, z. B. durch Zusatzmittel.

Formänderungen infolge einseitiger Austrocknung, negativen Momenten und Durchbiegung

Risse aus einseitiger Austrocknung sind zu verhindern, indem man Zugluft bei frischen Belägen vermeidet, die Beläge gut nachbehandelt und abdeckt.

Bei negativen Momenten, beispielsweise über Stützenreihen, müssen Dehnungsfugenprofile angeordnet werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Statiker die Durchbiegung der Decken bemessen und im Rahmen eines Fugenplans berücksichtigen muss.

Behinderung der Formänderung aus Einspannungszuständen

In VOB/C – ATV – DIN 18333 – Betonwerksteinarbeiten – ist unter Punkt 3.2.2. gefordert, dass Treppenstufen und Be-

lagsplatten auf betonierten Treppenläufen zwängungsfrei, z. B. auf Mörtelquerstreifen, zu verlegen sind, was auch der gewerblichen Verkehrssitte entspricht. Dabei sind die Anzahl und die Breite der Mörtelquerstreifen nicht definiert.

Normenkonform kann deshalb, um die Baustoffeigenschaften besser auszunutzen zu können, auch auf mehr als zwei Mörtelquerstreifen verlegt werden, wobei mittig bewegliche Auflager anzuordnen sind. Diese beweglichen Auflager können in der Regel durch Überdeckung des Mörtels mit Folie geschaffen werden.

Es ist besonders wichtig, dass die für die Auflagerbedingungen gemachten Annahmen bei der Verlegung eingehalten werden, da sich sonst eine veränderte Spannungsverteilung ergibt, z. B. wenn mehr als zwei Auflager als feste Auflager ausgeführt werden. Es ist auch durchaus möglich, bei Verwendung von zu breiten Mörtelstreifen, dass Kontraktionen der Trittstufen oder der Betonwerksteinelemente, durch erhöhte Wasserdampfdiffusion aus den Mörtelauflagern, vorstatten gehen können, welche zu Schäden

führen können. Generell müssen die Auflagerbedingungen $b \leq 16 \text{ cm}$, $l_1 \leq 2 \text{ d}$ auch eingehalten werden, um Kontraktionen und Kontraktionsrisse zu vermeiden. Natürlich kann auch eine Verlegung im Dünn- oder Mittelbettverfahren erfolgen, oder z. B. eine Verlegung in elastischen Massen bei Stahltragtreppen. Bei Ersteren ist es besonders darauf zu achten, dass schnelle Dünnbettmörtel zum Einsatz kommen, um die durch Feuchteinwanderung typische Verschüsselung nicht eintreten zu lassen und somit Schäden verhindert werden. Diese Art der Auflagerung ist bei Belagstreppen eher selten, da die in der Regel angetroffenen Bauwerksdifferenzen der Unterkonstruktion derart auszugleichen sind, wie es die Anwendung des

Dickbettverfahrens allgemein erfordert. Bei im Dünnbett verlegten Belägen macht die Bauteildimensionierung statisch gesehen weniger Probleme, da hierbei in der Regel nur äußerst geringe Stützweiten entstehen.

Generell ist bei den Werkstücken und bei Monolithböden auch darauf zu achten, dass sie gegenüber aufstrebenden Bauteilen ausreichend entkoppelt sind, um Risse aus Einspannungszuständen zu vermeiden.

Thermische Beanspruchung

Auch infolge thermischer Beanspruchung von Bauteilen kann es zu Rissen im Betonwerkstein kommen. Thermische Bean-

spruchung kann vor allem auch bei einer unsachgemäß konstruierten Fußbodenheizung zu Rissen im Betonwerkstein, Terrazzo oder Monolithböden führen. Ursache dafür sind die unterschiedlichen Wärme-dehnzahlen α . Tabelle 1 zeigt den Unterschied der Längenausdehnungen bei verschiedenen Materialien.

Zur Vermeidung von Rissen sind insbesondere die Bemessung einer betonverträglichen Heizung mit einer Vorlauftemperatur $\leq 35^\circ\text{C}$, die richtige Anordnung und Ausbildung von Dehnungsfugenprofilen sowie die Beachtung des Fugenplans, als Bestandteil der Planung, von besonderer Bedeutung.

Zu tolerierende Abweichungen

Betonwerkstein und Terrazzo sowie geschliffene Monolithböden sind Betonprodukte und somit mit den spezifischen Eigenschaften des Betons ausgerüstet.

Modernste Bauchemie, sorgfältigste Betontechnologien können die Rissneigung dieser Produkte mit modernen Mitteln und Technologien zwar stark reduzieren, aber nicht mit 100 %iger Sicherheit ausschließen. Vereinzelt kleine Haarrisse sind in Abhängigkeit von den Nutzungsbedingungen deshalb nicht als Mangel zu werten.

Rissbreiten, die für Sichtbeton gemäß DIN 1045 zugelassen sind, müssen auch für Betonwerkstein, Terrazzo und Monolithböden gelten. Auch für die Beurteilung von Terrazzo und Monolithböden können vergleichsweise die Regeln der DIN 18500 zu tolerierbaren Rissen herangezogen werden. In DIN V 18500-2006-12 heißt es unter 5.2.3 Beurteilung von Oberflächen: „Bei Prüfung nach 6.1 dür-

fen keine wesentlichen ... Risse oder Abplatzungen erkennbar sein.“ Rissweiten gemäß Tab. 2 gelten dabei als nicht wesentlich. Gemäß 6.1 DIN V 18500-2006-12 ist die Oberflächenbeschaffenheit an mindestens drei Werkstücken bei üblichen Lichtverhältnissen (kein Streiflicht, trockene, saubere Flächen) aus einer Entfernung von 2m zu prüfen. Dabei sind gemäß DIN V 18500, Punkt 5.2.1. „Aus-besserungen zulässig soweit das Einhalten der Anforderung der Norm sichergestellt ist.“

Nach der Grundlage der Stahlbetontheorie sowie dem gegenwärtigen Stand der Technik, gelten je nach Umweltbedingungen Rissweiten $< 0,4 \text{ mm}$ als unbedenklich.

Tabelle 2: Grenzweite für Rissweiten bei Beanspruchung im nicht aggressiven Bereich für schlaff bewehrte Bauteile (in Anlehnung an: Pörschmann „Bautechnische Berechnungstabellen für Ingenieure“, 21. Auflage, 1986, BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft)

Nutzungsbedingungen	Trockene Innenräume einschl. Küchen, Bäder in Wohnungen	Feuchte Innenräume, allgemein im Freien, im Erdreich	Nassräume, im Freien bei häufig wechselnder Feuchte
Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit [%]	≤ 75	> 75 ≤ 90	> 90
Beanspruchung durch langfristig wirkende Lasten [mm]	0,30	0,20	0,15
Beanspruchung infolge Gesamtlasten [mm]	0,40	0,30	0,25

Weitere Informationen:



Innovationswerkstatt Reinhardt
 Stollberger Straße 44
 09387 Jahnsdorf OT Pfaffenhain
 T +49 37296 7630
 F +49 37296 76324
 info@reinhardt-stein.de
 www.reinhardt-stein.de