

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 69 (2001)
Heft: 5

Artikel: Dauerhafte Bauwerke dank geringem Schwinden? (Teil 2)
Autor: Hermann, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153871>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dauerhafte Bauwerke dank geringem Schwinden? (Teil 2)

Zur Beschränkung der schädlichen Folgen des Schwindens, nämlich der Rissbildung, stehen konstruktive und betontechnologische Massnahmen zur Verfügung.

Risse können einen grossen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks aus Stahlbeton haben. Darüber wird nachfolgend informiert. Anschliessend wird vertieft auf die Minimierung der Rissbildung beim Schwinden von Betonen eingegangen. Es folgen Erfahrungen mit einem Bonus-Malus-System, das teilweise auf der Grösse des Schwindmasses von Betonen basiert, sowie Allgemeines zur Dauerhaftigkeit von Bauwerken.

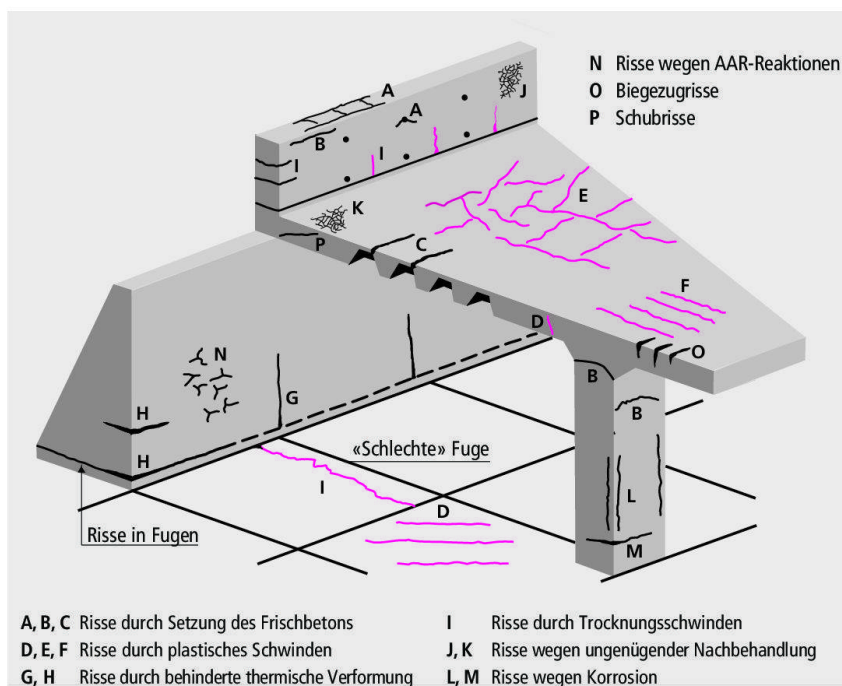
Risse und Dauerhaftigkeit [2, 8]

Risse treten in einem Betonbauwerk zu unterschiedlichen Zeiten auf. Eine Auswahl von Rissbildern ist in *Abbildung 3* dargestellt; Schwindrisse sind mit Rot hervorgehoben. Zusätzlich zu den sichtbaren Makrorissen sind im Inneren von Betonen Mikrorisse vorhanden. Sie sind ein Mass für den Schädigungsgrad eines Bauwerks.

Risse erleichtern das Eindringen von Wasser und von darin gelösten Stoffen wie Tausalzen oder Sulfaten. Als Transportmechanismen kommen – je nach Umgebungsbedingungen – in Frage:

- kapillares Saugen
- Wasserdampfdruck-Differenzen
- Absolutdruck-Differenzen (Reservoirs).

Im Zusammenhang mit dem Schwinden ist vor allem das kapillare Saugen wichtig.



Zu diesem Artikel

Auch der vorliegende zweite Teil des Artikels über das Schwinden von Betonen 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 Wildegg [7–11]

Die Referenten und ihre Referate wurden im ersten Teil dieses Artikels [18] auf Seite 4 vorgestellt. Es sprachen:

- R. Leutwyler (Genf) [1]
- E. Dénarié (Lausanne) [2]
- J.-P. Jaccoud (Eclépens) [3, 5, 9]
- P. Mivelaz (St-Sulpice) [4]
- P. Graber (Lausanne) [6]
- W. Schuler (Ittigen) [7]
- E. Brühwiler (Lausanne) [8]
- F. Jacobs (Wildegg) [10]
- R. Suter (Solothurn) [11 a]
- S. Briggen (Solothurn) [11 b]

Weitere Informationen stammen aus der Literatur (s. Verzeichnis auf Seite 11).

Abb. 3 Schwindrisse (D, E, F, I) sind nur eine Art von Rissen, die in Betonbauteilen in Abhängigkeit von Faktoren wie der baulichen Konzeption, der Herstellung und der Beanspruchung auftreten können (nach [19].)

In *Trennrissen* wird Wasser durch das kapillare Saugen umso weiter transportiert, je kleiner die Rissweite ist. Bei *Biegerissen* ist der Einfluss der Rissweite wesentlich geringer als bei Trennrissen, und die Wasseraufnahme ist im Gegenteil umso grösser, je grösser die Rissweite ist (Tabelle 2). Beim Transport unter Druck gilt, dass der Wasserfluss umso grösser ist, je grösser der Druck und die Rissweiten sind.

Chloridtransport in Trennrissen

In *Abbildung 3* sind die Resultate von Aufsaugversuchen mit einer Natriumchloridlösung an bewehrten Betonen mit 0,1 bzw. 0,4 mm Rissweite in Abhängigkeit vom Abstand zur Rissflanke aufgezeichnet. Erwartungsgemäss ist die Eindringtiefe bei Betonen mit einem 0,1-mm-Riss wesentlich höher als bei Betonen mit einem 0,4-mm-Riss (rund 105 mm gegenüber gut 30 mm). Auffallend ist auch die schnelle Verteilung der Chloridionen entlang der Rissflanken bis zu einem Abstand von rund 10 mm (Bereiche I und II).

Korrosion in gerissenen Betonbauteilen

Bewehrungsstähle sind durch eine Schutzschicht aus Eisenoxiden vor Korrosion geschützt. Diese Schicht ist bei pH-Werten unter 11,0–11,5 (d.h.

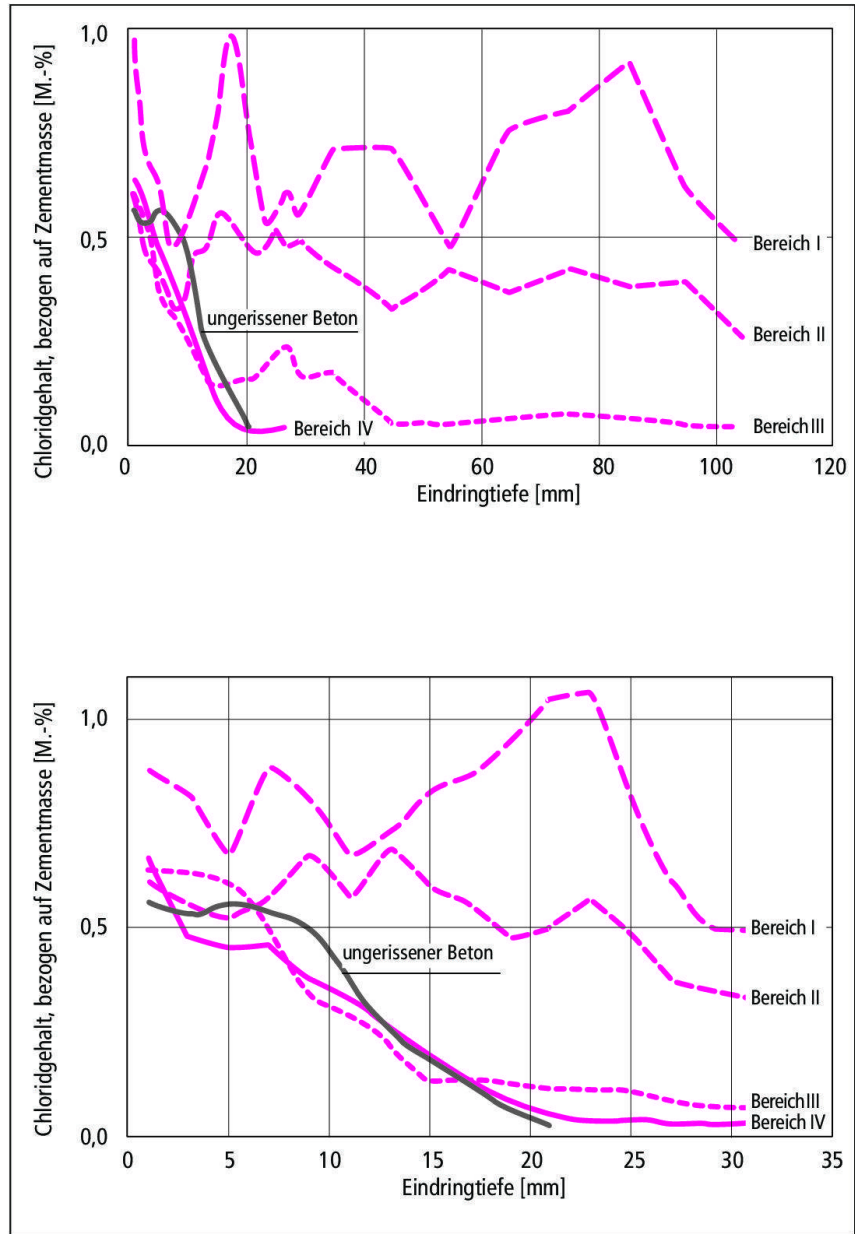


Abb. 4 Gesamtchloridgehalt in Funktion von der Eindringtiefe und vom seitlichen Abstand von den Rissflanken eines Betons ($W/Z = 0,50$) mit 0,1 mm Rissweite (oben) bzw. 0,4 mm Rissweite (unten) nach 24 Std. Aufsaugen einer 3-M.-%igen Natriumchloridlösung (nach [20]). (Seitlicher Abstand von den Rissflanken: Bereich I = 0–5 mm, Bereich II = 5–10 mm, Bereich III = 10–20 mm, Bereich IV = > 20 mm.)

Rissart	Rissweite [mm]	Wasseraufnahme [kg/m ²]
Ungerissen	0,0	1,5
Trennrisse	0,1	4,3
	0,2	3,7
	0,4	3,4
Biegerisse (130–150 mm tief)	0,1	6,2
	0,2	6,4
	0,4	< 6,6
	0,8	> 6,6

Tab. 2 Kapillare Wasseraufnahme nach 24 Std. in Aufsaugversuchen mit Betonwürfeln (Seitenlänge 150 mm; $W/Z = 0,50$) nach [20].

in karbonatisiertem Beton) oder in Gegenwart von erhöhten Chloridgehalten nicht mehr stabil; wenn Wasser und Sauerstoff hinzukommen, besteht ein Korrosionsrisiko. In *Abbildung 5* ist der Korrosionsfortschritt in Betonen mit Trennrissen und mit nicht durchgehenden Rissen sowie in Betonen ohne Risse schematisch dargestellt. Über den Einfluss von Rissen auf Korrosionsvorgänge machten *Dé-narié* [2] und *Brühwiler* [8] unter anderem die folgenden Aussagen:

- Risse beschleunigen die Initiierung der Bewehrungskorrosion. Risse mit Weiten unter etwa 0,3 bis 0,4 mm scheinen die Korrosionsgeschwindigkeit nicht zu beeinflussen.
- In karbonatisierten Betonen bilden Korrosionsprodukte in den nicht durchgehenden Rissen Barrieren, die den Korrosionsfortschritt während der so genannten «schlafenden Phase» bremsen. Die Dauer dieser Phase hängt von der Qualität des Deckbetons ab.
- Bei *Chlorideinwirkungen* beeinflussen die Qualität des Deckbetons sowie sein Schädigungsgrad allein den Korrosionsfortschritt.

Die Bedeutung von Rissen in Betonbauteilen wird vielfach über-

schätzt. Eindeutig im Vordergrund steht die Dichtigkeit des Deckbetons.

Konstruktive Massnahmen [5, 9]

Zur Begrenzung des Schwindens und seiner schädlichen Folgen, nämlich der Rissbildung, stehen neben den im ersten Teil des Artikels behandelten betontechnologischen Massnahmen auch konstruktive Massnahmen zur Verfügung:

- Entwurf des Tragwerks, statisches Konzept
- Wahl der Fugen wie beispielsweise
 - Dilatations- und Schwindfugen
 - Arbeitsfugen
- Wahl der Bewehrung
 - schlaife Bewehrung
 - Vorspannung
 - Fasern (siehe [18])
- Wahl der Ausführungsstapen und des Betonierprogramms
- Wahl des Grösstkordurchmessers der Zuschlagstoffe.

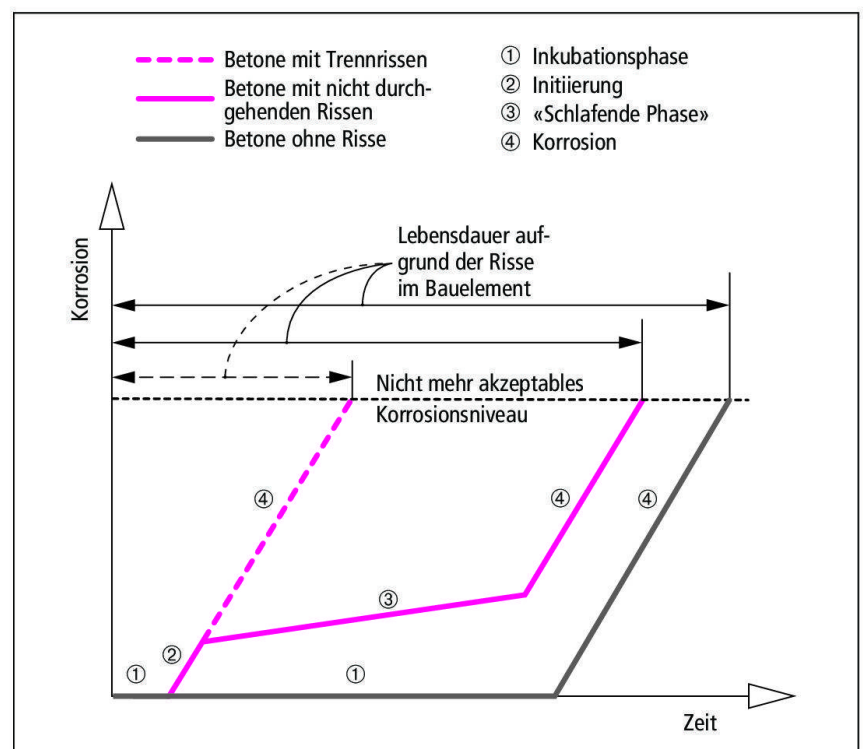


Abb. 5 Modelle zum zeitlichen Verlauf der Korrosion in Betonen mit Trennrissen, mit nicht durchgehenden Rissen sowie ohne Risse (nach [21, 22]).

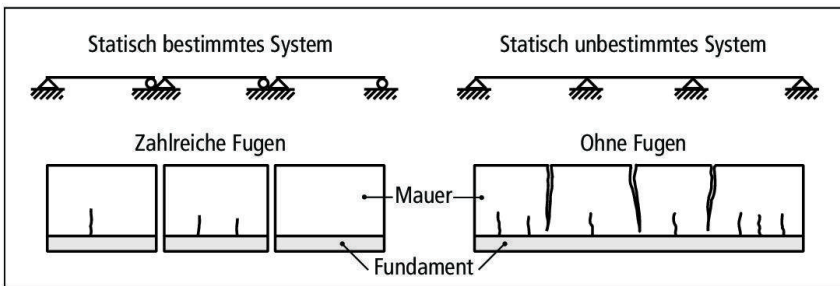


Abb. 6 Erniedrigung der Rissbildungsgefahr durch konzeptionelle Massnahmen (nach [23]).

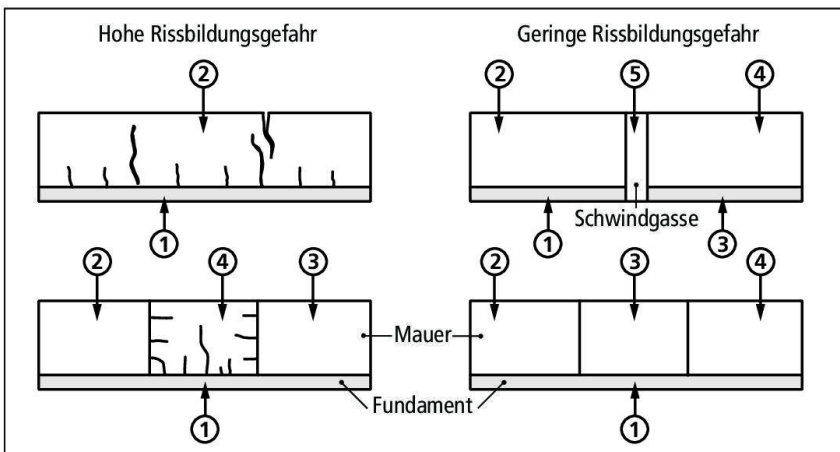


Abb. 7 Die Reihenfolge der einzelnen Betonieretappen (① → ⑤) hat einen grossen Einfluss auf das Auftreten von Schwindrissen. (nach [23]).

Konzeptionelles

In statisch bestimmten Systemen mit nahe liegenden Fugen ist das Auftreten von mechanisch bedingten Rissen wesentlich seltener als in statisch unbestimmten Systemen (Abbildung 6).

Ein weiteres Beispiel ist die Gestaltung von Auflagen von Betondecken in einem Gebäude mit Parkdecks: Durch Dübel oder Konsolen wird erreicht, dass Schwindverkürzungen ohne Risse möglich sind. Dies kann allerdings auf Kosten der Erdbebensicherheit erfolgen.

Besondere Beachtung verdienen auch die verschiedenen Arten von Dilatations-, Schwind- und Arbeits-

fugen. Ein Beispiel: In einem 96 m langen Gebäude sind in den unterirdischen Geschossen geringe Temperaturschwankungen und auch ein geringes Trocknungsschwinden (höhere Luftfeuchtigkeit) zu erwarten. Auf Dilatationsfugen kann deshalb verzichtet werden. Im oberen Teil sind hohe Temperaturunterschiede und ein erhöhtes Trocknungsschwinden möglich. Hier sind zwei Dilatationsfugen im

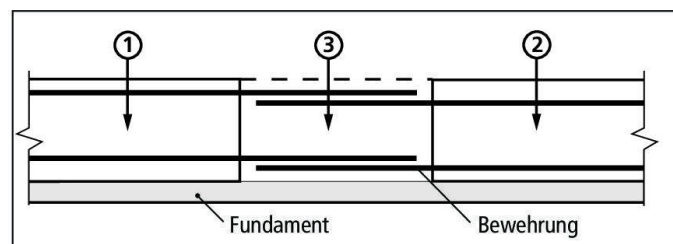


Abb. 8 Schwindgassen (③) sind ein wirkungsvolles Mittel gegen Trocknungsschwindrisse, wenn sie genügend lange frei gelassen werden (nach [23]).

Abstand von jeweils 32 m durchaus sinnvoll [5].

Schwindgassen (Abbildung 8) sind ein wirkungsvolles Mittel gegen Schwindrisse. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass sie durch das ganze Bauteil gehen und während vielen Monaten offen gehalten werden.

Bewehrung

Eine schlaffe Bewehrung verhindert die Rissbildung nicht. Mit ihr können beispielsweise beim behinderten Schwinden die Weiten der Risse reduziert bzw. die Risse verteilt werden. Dies geschieht durch:

- Verlegen der Mindestbewehrung gemäss den geltenden Normenwerken
- Wahl einer möglichst feinen Verteilung der Bewehrung, die in der Praxis noch handhabbar ist.

Mit einer ausreichenden Vorspannung lassen sich die Rissweiten noch stärker beschränken oder gar auf

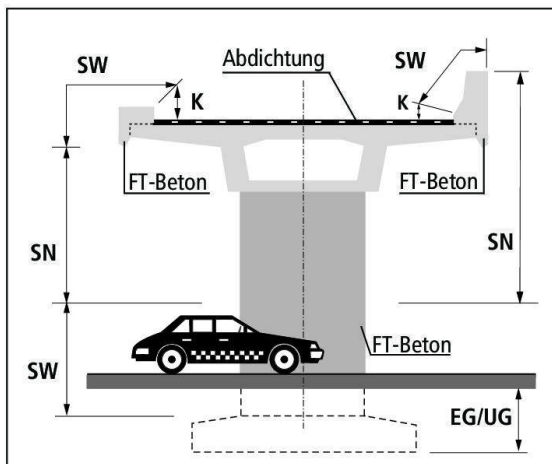


Abb. 9 Einwirkungsbereiche bei einer Brücke (nach Astra; Abkürzungen siehe Tabelle 5 (nach [7])).

Null senken [21, 22]. Bei gleicher Bauteilqualität (Dauerhaftigkeit und Wasserdichtigkeit) ist die erforderliche Mindestbewehrung umso geringer, je stärker die Vorspannung ist.

Betonieretappen

Je mehr Betonieretappen vorliegen, desto grösser ist die Gefahr des Auftretens von Rissen im Bauwerk, die eine Folge des unterschiedlichen Schwindens einzelner Bereiche oder des Auftretens thermischer Spannungen sind.

Bei grossen Bauwerken sollten die einzelnen Etappen direkt nebeneinander und nicht alternierend (Schachbrettmuster) ausgeführt werden. Zudem sollte der zeitliche Abstand beim Betonieren möglichst kurz sein (Abbildung 7).

Zuschlagstoffe

Im ersten Teil des Artikels [18] wurde gezeigt, dass das Schwindmass umso

kleiner ist, je grösser der Grösstkorndurchmesser D des Zuschlags ist.

Aus konstruktiven Gründen (Bauteildicke, Bewehrungsdichte, Betondeckung) kann D nicht beliebig gross gewählt werden; es muss ein

guter Kompromiss gefunden werden.

Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken

Nach *W. Schuler* vom Bundesamt für Strassen (Astra) [7] ist die Dauerhaftigkeit bei der Beurteilung von Detailprojekten für Nationalstrassen und ihren technischen Einrichtungen ein wichtiges Kriterium. Dabei sollen

die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Robuste Gestaltung der Bauwerke (Robustheit = Unempfindlichkeit gegenüber Abweichungen der vereinbarten Einwirkungen und gegenüber Ausführungsungenauigkeiten)
- Wahl bewährter Konzepte/ Lösungen
- Wahl der Baustoffe entsprechend den Anforderungen.

Unter Dauerhaftigkeit ist nach *Schuler* «das Erfüllen vereinbarter Anforderungen bezüglich Sicherheit, Funktionstüchtigkeit und Aussehen über eine vorgegebene Zeitdauer (Nutzungsdauer)» zu verstehen. Neben den Regelungen bezüglich der Gebrauchsdauer in der Norm SIA 162 [24] ist auch die Astra-Richt-

Einwirkungsbereich/Lage	Besondere Eigenschaften des Betons	Betondeckung [mm]
K Kontaktwasserbereich	frost- und frostausalzbeständig	80
SW Spritz- oder Sickerwasserbereich	frost- und frostausalzbeständig	60–80
SN Sprühnebelbereich	frostbeständig	40
EG Erdberührt geschalt	frostbeständig	40–60
UG Ungeschalt (Oberflächen)	frostbeständig	40–60
OE Bauteile ohne besondere Einwirkungen	frostbeständig	40
Fahrbahnplatte (unter Abdichtung)	frostbeständig	40
Gegen Erdreich betonierete Bauteile	frostbeständig	60

Tab. 5 Anforderungen an Bauwerksteile aus Beton (nach «Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen») [7].

Bonus-Malus-System als Schlüssel zum Erfolg?

Finanzielle Anreize aus der Sicht des Bauherrn

Der Kanton Solothurn war gemäss R. Suter [11a], Kantonsingenieur, häufig mit der Situation konfrontiert, dass bei Bauwerken die vertraglich festgelegte Qualität nur teilweise erbracht wurde. Garantieverlängerungen bis zu zehn Jahren (absolute Verjährungsfrist) waren bei geplanten Nutzungsdauern von 60 und mehr Jahren in den meisten Fällen keine oder nur ungenügende Entschädigungen für die teilweise fehlende Gebrauchstauglichkeit.

Vertraglich festgelegte Betonqualität

Nach Suter [11a] hilft hier ein klar definiertes, projektbezogenes Qualitätsmanagement. Die Materialspezifikationen werden bereits bei der Ausschreibung definiert (Zielgrössen). Bei Betonen können dies beispielsweise die Druckfestigkeit und die Frosttausalzbeständigkeit sein. Vom Unternehmer werden dann vor Vertragsabschluss Vorversuche verlangt, mit denen die Steuergrössen festgelegt werden. Auch die Prüfungen während der Produktion werden bestimmt, wobei der Unternehmer für den Frisch-

und der Bauherr für den Festbeton zuständig sind. Zudem verlangt der Bauherr vom Betonlieferanten über den Hauptunternehmer qualitätssichernde Massnahmen. Die Bauunternehmer müssen dafür sorgen, dass die vertraglich festgelegten minimalen Anforderungen erfüllt werden.

Rechtliche Aspekte

Bereits in der Ausschreibung werden Preisnachlässe angegeben, die bei Nichterreichen der Zielvorgaben in Kraft treten. Derartige Preisnachlässe sind in der Norm SIA 118 [25] vorgesehen.

Preisminderungen, wie sie in *Tabelle 4* aufgeführt werden, treten erst in Kraft, wenn ein Unternehmer die vertraglich festgelegte Qualität an einem Werkteil auch nach einer Nachbesserung nicht erbringen kann; sie gelten für das gesamte Werkteil.

Im Extremfall, wenn die Qualität ausserhalb des vereinbarten Grenzwerts liegt, kann der Bauherr ein Werkteil auf Kosten und Gefahr des Unternehmers abrechnen und neu erstellen lassen bzw. den maximalen Herabsetzungssatz berechnen.

Wirksamkeit der Massnahmen

Nach Suter [11a] ist das hier skizzierte Bonus-Malus-System ein pragmatischer Ansatz zur Qualitätssicherung bei der Bauausführung. Im Kanton Solothurn wurden damit gemäss Suter bei den vier grossen Tunnelbauwerken der A 5 positive Erfahrungen gemacht.

Als Eigenschaften, die sich für ein Bonus-Malus-System eignen, wurden gewählt: Druckfestigkeit, Wasserzementwert, Frost- bzw. Frosttausalzbeständigkeit FT_{N50} , Wasserleitfähigkeit und Schwindmass $\Delta S_{100/10-60}$ [18] (*Tabelle 4*). Mit einem Bonus belohnt wurde aber nur ein niedriges Schwindmass. Bei den anderen Betoneigenschaften waren «Überqualitäten» (z.B. hohe Festigkeiten) gar nicht erwünscht. Beim *Birchitunnel* erfüllten 33 500 m³ Beton B 35/25 FT 80 die gestellten Anforderungen. Für gut 40 000 m³ Beton B 40/30 WU mit unterschiedlichen Anforderungen an die Frosttausalzbeständigkeit wurden die Minimalanforderungen bei der Festigkeit und bei der Frosttausalzbeständigkeit erreicht. Beim Schwindmass dagegen wurden 108 m³ wasserundurchlässiger (schwindarmer) Beton mit einem Malus und 489 m³ mit einem Bonus belegt.

Erfahrungen eines Unternehmers

S. Briggen [11b] berichtete aus der Sicht der Unternehmer über die Erfahrungen beim Bau des *Wititunnels*, eines weiteren Bauwerks der A 5 im Kanton Solothurn. Konkret ging es um die beiden Rampen, für die Betone mit sehr niedrigen Schwindmassen ausgeschrieben wurden.

Die Rampen sind 359 m und 285 m lang, die Bodenplatten sind bis zu 1,40 m dick und bis zu 40 m breit, die Wände bis zu 8 m hoch. Insgesamt wurden 27 500 m³ Beton B 40/30 WU bzw. B 40/30 WUFT eingebaut. Der für ein Schwindmass $\Delta S \leq 0,21 \text{ ‰}$ (gemessen mit der speziellen, von der Prüfung Nr. 4 der Norm SIA 162/1 [16] abweichenden Prüfmethode) vorgesehene Bonus

wurde von den Kalkulatoren bereits berücksichtigt. Dies war sehr mutig, denn bei nicht speziell auf Schwindarmut getrimmten Betonen liegt ΔS 100/10–60 (siehe [18]) ungefähr im Bereich 0,30–0,35 ‰.

Angesichts der besonderen Anforderungen bezüglich des Schwindens war – abgesehen von ausgedehnten Vorversuchen – eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten erforderlich.

Die schliesslich gewählte Mischung enthielt neben Wasser, Zuschlagstoffen (0/32 mm) und Portlandkalksteinzement CEM II/A-L 32,5 R auch einen Hochleistungsbetonverflüssiger, einen Luftporenbildner sowie ein Schwindreduktionsmittel. Der Beton der Bodenplatten wurde mit Curing compounds nachbehandelt sowie nach einem Tag mit

Thermomatten belegt. Die Hydrationswärme wurde nicht speziell abgeführt.

Der von der ARGE Wititunnel verwendete Beton erwies sich als geeignet. Aufgrund der in regelmässigen Abständen ausgeführten Schwindmessungen nach der Solothurner Methode betrug das Schwindmass ΔS 100/10–60 in einem einzigen Fall mehr als 0,21 ‰. Vom maximal möglichen Bonus von Fr. 962 000.– konnten Fr. 950 000.– beansprucht werden.

Für die ARGE Wititunnel ist dies erfreulich. Entscheidend ist jedoch die Rissefreiheit bzw. die Wasserdichtigkeit des Bauwerkbetons während der *gesamten* Nutzungsdauer. Erst in den kommenden Jahren wird sich zeigen, ob der gewählte aufwändige Weg gerechtfertigt war.

Eigenschaft	Bonus	Zielwert	Malus
Festigkeit f_{cm} der Würfel und Bohrkerne Bonus bzw. Malus [Fr./m ³ Beton]	– –	– 35 N/mm ² ± 00.–	– 31 N/mm ² – 27 N/mm ² < 27 N/mm ² – 30.– – 110.– Abbruch
Wasserzementwert Bonus bzw. Malus [Fr./m ³ Beton]	– –	– 0,48 ± 00.–	– 0,50 – 0,52 > 0,54 – 30.– – 90.– Abbruch
Frosttausalzbeständigkeit FT _{N50} (HIE-FT) Bonus bzw. Malus [Fr./m ³ Beton]	– –	– 240 ± 00.–	– 180 – 120 < 120 – 30.– – 90.– Abbruch
Wasserleitfähigkeit Bonus bzw. Malus [Fr./m ³ Beton]	– –	– 8 g/m ² h ± 00.–	8–12 g/m ² h 13–16 g/m ² h > 16 g/m ² h – 30.– – 90.– Abbruch
Schwindmass ΔS 100/10–60 ¹⁾ Bonus bzw. Malus [Fr./m ³ Beton]	– 0,21 ‰ – 0,23 ‰ + 35.– + 17.50	0,23–0,25 ‰ ± 00.–	> 0,25–0,30 ‰ > 0,30–0,40 ‰ > 0,40 ‰ – 30.– – 90.– Abbruch

¹⁾ Gemäss der Prüfmethode des Kantons Solothurn [18].

Tab. 4 Bonus- und Malusansätze sowie Abbruchgrenzwerte für die Betonsorte B 40/30 WUFT-240 für Tunnelbauwerke der A5 im Kanton Solothurn [11a].

linie «Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen» zu beachten. Darin sind beispielsweise Empfehlungen für die Anforderungen und Massnahmen an Bauteile unterschiedlicher Expositionen enthalten (Abbildung 9).

Schwinden und Dauerhaftigkeit

Das Schwinden ist einerseits eine Materialeigenschaft von Betonen, andererseits wirkt es auch auf Teile des Bauwerks oder auf das gesamte Bauwerk. Folgen des Schwindens bzw.

des differentiellen Schwindens sind Eigenspannungen im Querschnitt und Zwängungsspannungen im System.

In Übereinstimmung mit bereits früher erwähnten Beobachtungen sagte *Schuler* [7]: «Verschiedene Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich Rissweiten bis ca. 0,4 mm bezüglich Korrosion der Bewehrung im Allgemeinen nicht nachteilig auswirken. Die wichtigsten Faktoren sind die Dichtigkeit und Stärke des

Überdeckungsbetons. Daher sind konstruktive und betontechnologische Massnahmen wirkungsvoller als eine rechnerisch genaue Beschränkung der Rissweite.»

Ein niedriges Kapillarporenvolumen wirkt sich positiv auf die Dichtigkeit der Betondeckung aus. Bei chloridbelasteten Bauteilen sind nach *Schuler* [7] auch zeitlich beschränkte Schutzmassnahmen wie Hydrophobierungen zu empfehlen. In Bereichen mit sehr hohen Chloridbelastungen, also im Kon-

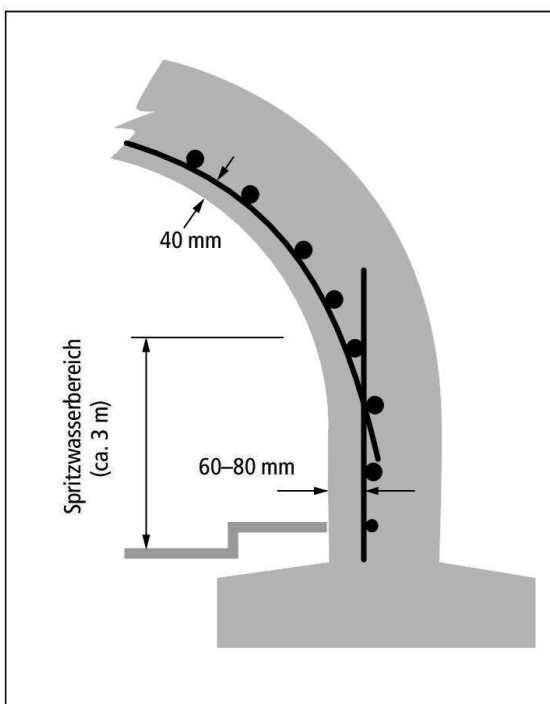


Abb. 10 Minimale Betondeckung im Spritzwasserbereich eines Tunnels (nach [7]).

Schlüsselwörter

Biegerisse, Bonus-Malus-System, Chloride, Gebrauchsdauer, Korrosion, Nutzungsdauer, Risse, Schwindrisse, Trennrisse

takt- und Spritzwasserbereich, genügen dichte, frosttausalzbeständige Betone und Rissbeschränkungen allein nicht, um die angestrebte Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Deshalb sind Massnahmen wie Oberflächenschutz, beschichtete Bewehrung oder nichtrostende Bewehrung erforderlich. Eine Alternative sind erhöhte Betondeckungen (Abbildung 10). Betondeckungen im Bereich von 60–80 mm sind allerdings nicht einfach zu realisieren.

Unterhaltskosten

«Die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks wird durch die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen beim Kampf gegen den Zerstörungsprozess des bewehrten Betons bestimmt. Alle Massnahmen mit dem Ziel, die Rissbildung als Folge des Schwindens zu minimieren, bilden einen wirksamen und dauernden Beitrag zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit eines Bauwerks», schloss *R. Leutwyler* [1] sein Referat über die Dauerhaftigkeit von Bauwerken aus der Sicht des Bauherrn.

Bei Brücken müssen in unseren Breitengraden mit jährlichen Unterhalts-

kosten in der Höhe von 1% des Wiederbeschaffungswerts des Bauwerks gerechnet werden. Allerdings werden die Unterhaltsarbeiten nicht jährlich, sondern in grösseren Intervallen durchgeführt (Abbildung 11). Dies geschieht auch im Hinblick darauf, dass der Verkehr während den Instandsetzungsarbeiten aufrechterhalten und die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer und der Arbeiter gewährleistet werden muss; eine verbesserte Dauerhaftigkeit schlägt sich auch in einer geringeren Instandsetzungshäufigkeit nieder. Zu den Massnahmen, die sich besonders positiv auf die Dauerhaftigkeit

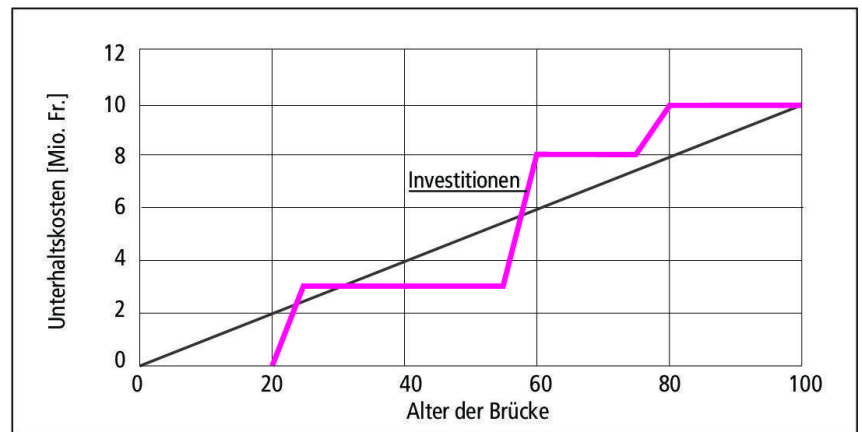


Abb. 11 Unterhaltskosten einer 10 Mio. Fr. teuren Brücke mit einer Nutzungsdauer von 100 Jahren (nach [1]).

einer Brücke auswirken, gehören unter anderem [1]:

- Betontechnologie
 - dichter Beton
 - schwindarmer Beton
 - Nachbehandlung
- epoxidharzbeschichtete Bewehrung
- nichtrostende Bewehrung

- Ausführung der Bewehrung nach Norm SIA 162 [24]
- Ausreichende Betondeckung. Daneben bestehen weitere Möglichkeiten wie Oberflächenschutzmassnahmen, die jedoch eine beschränkte Wirkungsdauer aufweisen und periodisch wiederholt werden müssen.

LITERATUR

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

- [18] **Jacobs, F.**, und **Hermann, K.**, «Dauerhafte Bauwerke dank geringem Schwinden? (Teil 1)», *Cementbulletin* 69 [4], 3–7 (2001).
- [19] «CEB-Guide to durable concrete structures», *Bulletin d'information* 166, 30 (1985).
- [20] **Lunk, P.**, **Müller, T.**, und **Wittmann, F. H.**, «Feuchtigkeits- und Ionentransport in gerissenen Stahlbetonbauteilen», herausgegeben vom Bundesamt für Strassen (1998).
- [21] **Laurencet, P.**, «Précontrainte et armature pour contrôler l'ouverture résiduelle des fissures», thèse n° 2028 (1999), EPFL, Lausanne.
- [22] **Laurencet, P.**, et **Jaccoud, J.-P.**, «Fissuration, étanchéité, et durabilité des structures en béton armé», *Annales du bâtiment et des travaux publics* n° 6, 13–22 (déc. 2000).
- [23] **Favre, R.**, **Jaccoud, J.-P.**, **Burdet, O.**, et **Charif, H.**, «Dimensionnement des structures en béton – Aptitude au service et éléments de structures», vol. 8 du «*Traité de génie civil de l'EPFL, PPUR*», nouvelle édition, 594 pages (1997).
- [24] Norm SIA 162: «Betonbauten» (Ausgabe 1993).
- [25] Norm SIA 118: «Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten» (Ausgabe 1977/1991).

Zum Abschluss

«Die Beschränkung des Schwindmasses ist kein Ziel an sich», sagte *Jaccoud* [5, 9]. Wichtig sei es, die schädlichen Folgen des Schwindens, nämlich die Rissbildung infolge des behinderten Schwindens, zu minimieren. Dabei gelte es oft, Kompromisse zwischen gegensätzlichen Anforderungen zu finden.

Eine einseitige Fokussierung auf die Minimierung des Schwindmasses ist aus dieser Optik sicher nicht der Weisheit letzter Schluss.