
Zur Dauerhaftigkeit von Spritzbeton

ON THE DURABILITY OF SPRAYED CONCRETE

PIETRO TEICHERT

Seit einiger Zeit ist zusehends öfter von der Dauerhaftigkeit des Spritzbetons zu lesen und zu hören. Was hat es mit diesem Begriff auf sich?

Dauerhaftigkeit hängt von der Beanspruchung, von der Widerstandskraft dagegen und von der Beanspruchungsdauer ab. Wie genau sind diese drei Einflussgrößen bekannt? Dauerhaftigkeit lässt sich nicht messen. Messbar sind hingegen die Spritzbetoneigenschaften, von denen sie abhängt.

Dauerhaftigkeit ist ein vager Terminus, der nicht so zu erfassen ist, dass er handhabbar wird. Gehört er in Normen und zu den Anforderungen, die Spritzbeton erfüllen soll?

For some time now it has been noticeable that more and more is being said or written about the durability of sprayed concrete. What does this concept really mean?

Durability depends on the stress to which a material is subject, on its resistance properties and on the duration of the stress. How exactly do we come to know the value of these factors? Durability is not measurable as such. What can be measured are the properties of sprayed concrete on which durability depends.

Durability is a vague term which cannot be grasped in any way that would make it a useful tool. Does this term really belong with the norms and requirements that sprayed concrete needs to fulfil?

Seit einiger Zeit lesen oder hören wir immer häufiger von der Dauerhaftigkeit des Spritzbetons.

Gemeint ist die Dauerhaftigkeit des Baustoffes Spritzbeton, nicht die Dauerhaftigkeit von Bauteilen oder ganzen Bauwerken. Diese ist ja in einigen Normen erwähnt und definiert, zum Beispiel im Entwurf der künftigen Swiss Conditions (das sind normenspezifische Vertragsbedingungen) betreffend die "Grundlagen der Projektierung von Trag-

werken". Sie umschreiben die Dauerhaftigkeit als "Erfüllung der Anforderungen an Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit im Rahmen der vorgesehenen Nutzung und der vorhersehbaren Einwirkungen". Auch die Sicherheitsleistung, also die Gewähr des Unternehmers für ein mängelfreies Werk, betrifft im Grunde die Dauerhaftigkeit des Bauwerks. In diesem Zusammenhang ist der Begriff Dauerhaftigkeit also nichts Neues.

Neu scheint mir hingegen, dass der Spritzbeton selbst nicht mehr nur druckfest, dicht und sulfatbeständig sein soll, sondern auch noch dauerhaft.

Nun pflegt sich ja Neues sehr schnell zu verbreiten, weil - etwas überspitzt gesagt - jeder vom anderen abschreibt und weil jeder auf der Höhe der Zeit sein will. Solange es um nützliche, bereichernde Neuerungen geht, ist das begrüßenswert. Viel schneller werden allerdings die Auswüchse nachgeahmt. Ein gutes Beispiel dafür ist der sprachliche Wildwuchs. Eine Frage wird heute nicht mehr einfach gestellt wie früher - sie wird in den Raum gestellt. Eine Gegebenheit wirkt sich nicht schlicht aus, sondern sie kommt zum Tragen. Und ein Bericht, der früher seine Kapitel umfasste, der beinhaltet sie heute ... Es ist daher zu befürchten, dass der Begriff der Dauerhaftigkeit über kurz oder lang auch in Ausschreibungsunterlagen auftaucht und so die schon ansehnlich lange Liste der Anforderungen bereichert, denen der Spritzbeton zu genügen hat.

Ich finde es deshalb sinnvoll, zu fragen, was es mit dem Begriff Dauerhaftigkeit beim Spritzbeton auf sich hat.

Um Missverständnissen vorzubeugen, sei festgehalten, dass mir qualitativ guter Spritzbeton ein oberstes Anliegen ist. Ich habe mich ein Berufsleben lang, seit immerhin vierzig Jahren, um guten Spritzbeton bemüht. Ich habe mich aber auch immer bemüht, ehrlich zu sein und keine Schaumschlägerei zu betreiben. Deshalb habe ich mich schon mehrmals gefragt, ob der im Trend liegende Begriff der Dauerhaftigkeit des Spritzbetons mehr als ein luftiger Mode-Begriff sei.

Überlegen wir uns zuerst einmal, welche Bilder und Gedanken wir im allgemeinen mit dem Begriff der Dauerhaftigkeit verbinden. Dauerhaft oder andauernd ist etwas, das lange hält, das also dauert, etwa Konserven, Bürokratie, Feindschaften, die Jugend von Filmstars, Vorurteile und Verkehrsstaus.

Das Deutsche Wörterbuch von Gerhard Wahrig und der Duden umschreiben die Eigenschaft "dauerhaft" mit fest, beständig, widerstandsfähig über einen längeren Zeitraum. Dauerhaftigkeit bedeutet laut diesen Nachschlagewerken soviel wie dauerhafte Beschaffenheit, Langlebigkeit, lange Lebensdauer, Haltbarkeit, Beständigkeit.

Bezogen auf einen Baustoff wie Spritzbeton bedeutet Dauerhaftigkeit das Vermögen, einer Beanspruchung möglichst lange zu genügen. Dauerhaftigkeit ist, anders gesagt, der anhaltende Widerstand gegen schädigende Einwirkungen. Die Dauerhaftig-

keit hängt also von dreierlei ab: von den Einwirkungen oder Beanspruchungen, von der Widerstandskraft dagegen und von der Dauer der Einwirkungen. Die Dauer der Einwirkungen entspricht der Nutzungsdauer des Bauwerks [1] - oder einem Teil davon. Es soll ja vorkommen, dass ein Bauwerk weniger lange hält, als der Projektverfasser vorgesehen hat. Stichworte in diesem Zusammenhang sind etwa Winterdienst mit reichlich Salz, Verkehrsentwicklung jenseits aller Prognosen, Alkali-Aggregat-Reaktion und ähnliche Überraschungen. Für unsere Betrachtungen sei die Dauer der Einwirkungen gegeben.

Die Einwirkungen oder Beanspruchungen, denen Spritzbeton ausgesetzt ist, können sehr vielfältig sein. Je nach Art und Lage des Bauwerks muss Spritzbeton nämlich allerlei ertragen: Druck, Zug und Biegung, Temperatur- und Schwindspannungen, Hitze und Kälte, Wasser- und Dampfdruck, Abrieb und chemischen Angriff. Letzterer kann verheerend sein, beispielsweise bei Bergwasser mit hohem Sulfatgehalt. Auch die Alkali-Aggregat-Reaktion ist offenbar eine viel häufigere Ursache von Betonschäden als bislang vermutet worden ist. Wasser, das aus dem Untergrund, also von der Auftragsfläche des Spritzbetons her, drückt oder fließt, führt vor allem bei häufigem Gefrieren und Auftauen über kurz oder lang zu Schäden. Abrieb durch Schüttgut oder bei Wasserbauten durch Geschiebe und sandbefrachtetes Wasser kann ebenfalls starke Abnutzung bewirken.

Die Beanspruchungen schwanken naturgemäss. Eine Verstetigung ergibt sich erst über längere Zeitspannen. Deshalb ist es schwierig, wenn nicht gar unmöglich, die Einwirkungen so zu erfassen, dass sich das Verhalten von Spritzbeton an verschiedenen Orten zuverlässig beurteilen lässt.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Beanspruchungen in der Regel nicht einzeln auftreten, sondern im Verbund. Um das zu verdeutlichen, betrachten wir als Beispiel, was eine Hangsicherung an einer Bergstrasse auszuhalten hat (*Bild 1*). Vom Fels her wirken Druck, Zug und Biegung; Bergwasser drückt und ist womöglich sulfathaltig; Wind und Wetter bringen Temperatursprünge und Frost; im Winter spritzen die durchfahrenden Autos mit Tausalz vermisches Wasser auf den Spritzbeton.

Um definitionsgemäss dauerhaft zu sein, muss der Spritzbeton hier allen diesen Beanspruchungen schadlos widerstehen. Er muss also nicht nur druck-, zug- und biegefest, sondern auch wasserdicht und frostsicher, tausalzresistent und sulfatbeständig sein.



Bild 1: Hangsicherung an einer Bergstrasse

Ob und wann diese Eigenschaften gleichzeitig nötig sind, hängt von der Jahreszeit und von der Witterung ab.

Dauerhaftigkeit ist also nicht nur eine bestimmte Eigenschaft, sondern je nach Zeitpunkt, Art und Zahl der Beanspruchungen, ein mehr oder weniger unbestimmtes Bündel mehrerer Eigenschaften. Man könnte Dauerhaftigkeit auch als Multipack von Eigenschaften bezeichnen. Was dieses Multipack enthalten muss, damit die Dauerhaftigkeit gewährleistet ist, wird von den Beanspruchungen bestimmt. Aus diesen Beanspruchungen ergeben sich die Anforderungen, denen der Spritzbeton zu genügen hat, um dauerhaft zu sein. Mit anderen Worten: Dauerhaftigkeit ist durch die Anforderungen definiert.

Als Fazit ergibt sich, dass der Begriff Dauerhaftigkeit allein, bezogen auf den Baustoff Spritzbeton, ein vieldeutiger und vager Terminus ist. Es gibt keine Messmethode und auch keine Kennzahl für die Dauerhaftigkeit als solche. Erfassbar ist sie nur indirekt durch die Festlegung bestimmter Anforderungen (deren Erfüllung nach anerkannten Prüfverfahren kontrolliert und belegt werden kann). Wenn Dauerhaftigkeit ohne sie ein leerer Begriff ist, dann hat es keinen Sinn, ihn zu verwenden. Sinnvoll hingegen ist es, zu ergründen, wie der

Spritzbeton dauerhafter Bauwerke beschaffen sein muss. Am besten erkennen wir das, wenn wir uns Bauten kritisch ansehen, die in die Jahre gekommen sind.

Seit dem Zweiten Weltkrieg hat die Verwendung von Spritzbeton weltweit enorm zugenommen, und dies keineswegs nur im Untertagebau. Was heutzutage mit und aus Spritzbeton gemacht wird, hätte ich mir 1961, als ich in unserer Firma zu arbeiten begann, nicht vorzustellen gewagt.

In den vergangenen dreissig, vierzig Jahren ist Spritzbeton an ungezählten Orten zu den verschiedensten Zwecken verwendet worden: zur Sicherung und zum Ausbau von Untertagebauten, zur Instandsetzung von Beton und Mauerwerk, zur Abdichtung von Wasserbauten, für Hang- und Böschungssicherungen, für tragende Strukturen und für freie Formen.

Je älter diese Bauten werden, um so deutlicher offenbart sich, ob sie dauerhaft sind oder nicht. Die daraus zu gewinnenden Erkenntnisse über das Langzeitverhalten des Spritzbetons sind wertvolle Grundlagen, mindestens aber Anhaltspunkte für die Planung und Ausführung künftiger Vorhaben.

Bei der Beurteilung älteren Spritzbetons ist allerdings Vorsicht geboten - nicht nur, weil in der Regel

die Zusammensetzung und die Herstellung dieses Spritzbetons unbekannt sind. Es ist vor allem zu berücksichtigen, wie sehr sich das Betonspritzen und seine Anwendung in den letzten vier Jahrzehnten verändert haben.

Anfang der fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts ist der Zuleitungsstollen Caveragno - Palagnedra der Maggia-Kraftwerke im Schweizer Kanton Tessin einschalig ausgebaut worden (Bild 2), desgleichen 1990 ein Tunnel der Centovalli-Bahn unter der Stadt Locarno (Bild 3), beide mit Spritzbeton, aber nicht mit dem gleichen. Der heutige Spritzbeton unterscheidet sich in der Tat beträchtlich vom Spritzbeton der frühen Jahre, weil er anders zusammengesetzt ist und anders hergestellt wird.



Bild 2: Einschaliger Ausbau mit Spritzbeton im Zuleitungsstollen Caveragno - Palagnedra der Maggia-Kraftwerke (Foto 18.3.1953, Ofima, Locarno)*



Bild 3: Einschaliger Ausbau mit Spritzbeton im Tunnel der Centovalli-Bahn unter der Stadt Locarno (Foto 1990, H. Germond, Lausanne)

* Diese Aufnahme hat historischen Wert. Sie zeigt die erstmalige Anwendung von Spritzbeton im heutigen Sinn als Ersatz für den damals üblichen Holzeinbau und als endgültige Auskleidung, also als einschaligen Ausbau (siehe "Die Geschichte des Spritzbetons", Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 47/1979, Zürich).

Bekanntlich hängt die Beschaffenheit des Spritzbetons unter anderem von der Düsenführung und von den Spritzmaschinen ab. Beide haben sich im Lauf der Zeit gewandelt. Bis zur Mitte des letzten Jahrhunderts gab es weltweit nur Zweikammermaschinen; in den fünfziger Jahren und auch später ist beim Bau von Wasserkraftwerken in der Schweiz und in Österreich allerhand mit der Sennschen Schneckenmaschine gespritzt worden; 1957 lief die erste stollentaugliche Rotormaschine. Dieser Gerätetyp hat sich innert kurzer Zeit durchgesetzt, so dass heutzutage wohl der überwiegende Teil des Trockenspritzbetons auf der ganzen Welt mit Rotormaschinen hergestellt wird, grösstenteils mit Düsenführung von Hand. Daneben ist in den letzten zwanzig Jahren das Nassspritzen im Untertagebau immer stärker aufgekommen. Die dafür eingesetzten Maschinen arbeiten grösstenteils mit Manipulatoren, also mit Spritzarmen.

Weil immer mehr gespritzt wird, wächst auch das Wissen über das Betonspritzen und den Spritzbeton. Besseres Know-how, gründlichere Kenntnisse der Betontechnologie sowie eigens zum Spritzen entwickelte Zusatzmittel und Zemente haben dazu geführt, dass heute Spritzbetonrezepturen verwendet werden, die jenen von anno dazumal ungefähr so gleichen wie der Volkswagen-"Käfer" von 1950 einem VW Golf der vierten Generation.

Die alten Zweikammermaschinen der frühen Jahre verarbeiteten oft nach Schaufeln bemessene Gemische aus nichts anderem als Zement und getrocknetem Sand der nächsten Grube; moderne Nassspritz-Systeme pumpen ausgeklügelte Mixturen aus sorgfältig aufbereiteten Zuschlagstoffen und Spezialzementen mit zwei oder drei chemischen Zusatzmitteln, oft noch mit Beigaben von Siliziumstaub und Fasern.

Geändert hat sich nicht nur die Zusammensetzung des Spritzbetons, also die Zahl, die Menge und das Mischverhältnis seiner Bestandteile - verändert haben sich im Laufe der Zeit auch die Bestandteile selbst. So spritzen wir heute mit anderen Zementen als vor vierzig Jahren. Auch die chemischen Zusatzmittel sind nicht mehr die gleichen wie damals. Wieviel besser sind beispielsweise während der letzten Jahrzehnte die Abbindebeschleuniger geworden!

Eines ist trotz all diesem Wandel noch genau gleich wie in den Anfängen, genau gleich nötig - das ständige Bemühen um fachgerechte Düsenführung: Die Bilder 4 und 5 stammen aus neuester Zeit und bedürfen wohl keines Kommentars.



Bild 4: Kommentar überflüssig

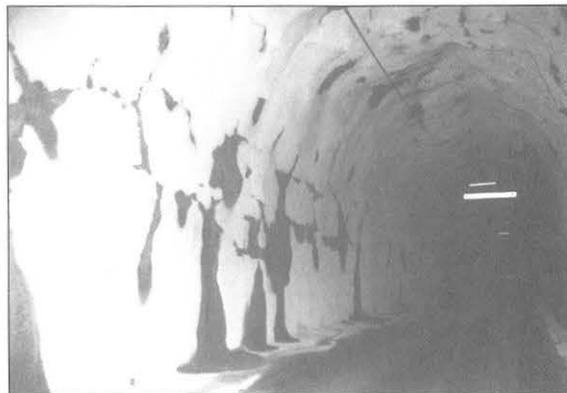


Bild 6: Gerissener einschaliger Ausbau mit Spritzbeton

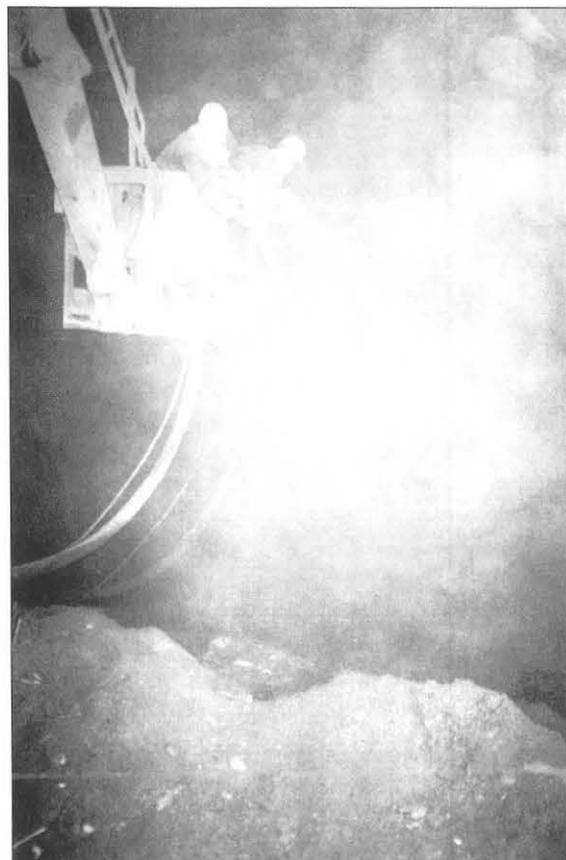


Bild 5: Kommentar überflüssig (Foto Zimmerling)

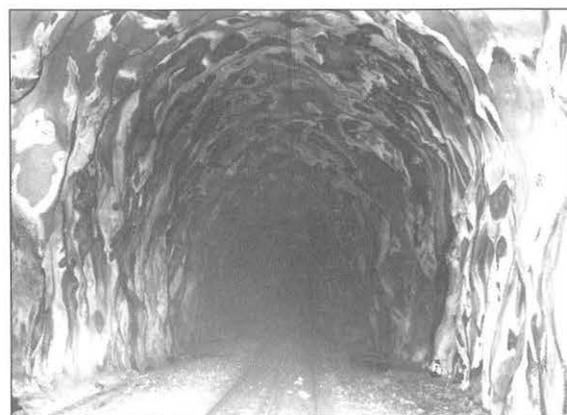


Bild 7: Ausblühungen zufolge übermässiger Beigabe von Abbindebeschleuniger

betonmängeln und -schäden hat sich das 3. Spritzbeton-Kolloquium vom 27. September 1991 in Wildegg befasst [2].

Wenn wir uns darüber klar werden, wie sich Spritzbeton wo und unter welchen Umständen verhalten hat, wissen wir besser, worauf es ankommt, wenn wir aus Spritzbeton dauerhafte Bauten schaffen wollen. Es geht darum, zu wissen, wie Altes sich bewährt hat, um Neues richtig zu machen.

Literatur

- [1] **Sala, A.:**
"Was ist Dauerhaftigkeit? Konstruktive Anforderungen aus der Sicht des Projektverfassers" Vortrag an der Fachveranstaltung "Tunnelbau: Anforderungen für hohe Dauerhaftigkeiten", 20.3. und 22.6.2001, TFB, Wildegg, Schweiz.
- [2] **"Spritzbeton: Fehler, Mängel und Schäden":**
Tagungsbericht des 3. Spritzbeton-Kolloquiums vom 27.9.1991. Herausgeber: Laich SA, Avegno, 1992.

Nach diesem Rückblick dürfte klar sein, was es zu bedenken gilt, wenn wir das Langzeitverhalten von Spritzbeton an alten Bauten beurteilen. Solche Betrachtungen sind meiner Ansicht nach am aufschlussreichsten an Objekten, bei denen die Beständigkeit vielleicht nicht ganz den Erwartungen derer entspricht, die sie bezahlt haben (Bilder 6, 7).

Ursachen unzulänglichen Spritzbetons können konstruktive Fehler, ungeeignete Bestandteile oder mangelnde Sorgfalt bei der Herstellung sein. Mit den Gründen und Erscheinungsformen von Spritz-