Betonabrasion im Wasserbau

Autor(en): **Jakobs, Frank**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **130 (2004)**

Heft Dossier (Werkstoff Beton): **22/14**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-108408

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Frank Jacobs

Betonabrasion im Wasserbau

Die durch Verschleiss von Beton im Wasserbau verursachten Kosten sind volkswirtschaftlich bedeutend. Vor diesem Hintergrund führt die TFB zusammen mit der VAW der ETH Zürich seit 1995 ein Forschungsprojekt über den Abrasionswiderstand von Beton durch. Abrasion ist als kombinierter Angriff von Wasser und Feststoffen (Geschiebe) auf Beton definiert. In Normen und Regelwerken wird auf diesen Aspekt zumeist nur am Rande und unvollständig eingegangen.

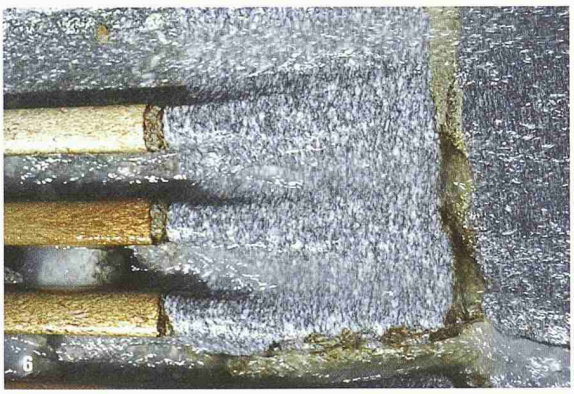
1
Oberflächlicher Verschleiss («Waschbeton») an Beton mit einem Grösstkorn von 32 mm an einer Wehrkrone (Bilder: TFB)

2
Muldenförmige Abrasion zwischen den Kanteneisen auf einem Wehrrücken

Im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojekts von TFB (Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton) und VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau) wurden umfangreiche Literaturstudien vorgenommen und mehrere Dutzend abrasiv beanspruchte Bauwerke inspiziert. In der Regel lagen nur wenige Angaben über die Beanspruchung (Wasser-, Geschiebeführung) des Betons, dessen Eigenschaften und die daraus entstandenen Schäden vor. Mit Bezug auf die grossflächige (nicht lokale) Verschleissrate können folgende Bauwerkstypen bzw. dort typischerweise auftretende Schadensfälle unterschieden werden:

- Flussbauwerke
- Wildbachverbauungen
- Geschiebeumleitstollen, Grundablässe, Tosbecken

In dieser Reihenfolge nehmen im Allgemeinen die Fliessgeschwindigkeit sowie die Menge an Geschiebe und dessen Grösse zu. Zusätzlich zu diesen drei Kategorien ist noch die Klasse der Wasserfassungen von



3
Linienförmige Abrasion in einem Gerinne mit Betonsohle

4
Abgeschliffener Schmelzbasalt auf einem Wehrrücken

5
Schleifend und stossend beanspruchter Betonboden in einem Geschiebeumleitstollen mit wenig erkennbaren Schäden an den Wänden

6
Abrasion von Naturstein an einem Tirolerwehr durch Wasser mit hoher Fliessgeschwindigkeit und Geschiebe mit kleinem Durchmesser: Im Strömungsschatten der Eisenbahnschienen ist die Abrasion geringer; in Strömungsrichtung unterhalb der Mörtelfugen wird der Naturstein abradiert

Bedeutung. Sie unterscheidet sich von den drei oben genannten, indem die Fliessgeschwindigkeit an den kritischen Bauteilen höher und die Geschiebegrösse deutlich kleiner ist.

Anhand einiger Parameter (Fliessgeschwindigkeit, Geschiebemenge und -grösse, Aufprallwinkel etc.) kann zumeist die Beanspruchung eines Bauteils abgeschätzt werden. Je härter der Werkstoff ist, desto besser ist sein Widerstand gegen eine schleifende Beanspruchung. Treten bei feinem Geschiebe und niedrigen Fliessgeschwindigkeiten grössere Abrasionsbelastungen auf, ist ein harter Abrasionsschutz vorteilhaft. Bei grösserem Geschiebe, höheren Wassergeschwindigkeiten oder an Orten, wo das Geschiebe aufprallt, hat die Beanspruchung auf das Bauteil stets auch eine schlagende Komponente (Prall- bzw. Stossverschleiss). Bei zu harten Werkstoffen können dabei Sprödbrüche auftreten.

Flussbauwerke

Ein gut eingebrachter und ausreichend nachbehandelter Beton mit einer mittleren 28-Tage-Druckfestigkeit von 40 N/mm² widersteht in Flussbauwerken, in Wehren und Schwellen im Allgemeinen Fliessgeschwindigkeiten bis 6 m/s mit üblicher (geringer) Geschiebeführung und auch z. T. Hochwässern mit mehr und grösserem Geschiebe mit maximalen Durchmessern von 10 bis 20 cm. Die Zementhaut des Betons und der Feinmörtel zwischen den grossen Zuschlägen werden im Lauf der Jahre durch die schleifende und stossende Beanspruchung sowie die Frostbeanspruchung abgetragen, die grossen Zuschläge ragen dadurch hervor (Bild 1). Der Verschleiss bleibt auf den Randbeton beschränkt und liegt im Allgemeinen im Mittel bei maximal etwa 1 mm pro Jahr. Bei sehr ungünstigen strömungsmechanischen Bedingungen (z. B. Fischtreppen, Tosbecken) treten stärkere Schäden auf.

Wildbachverbauungen

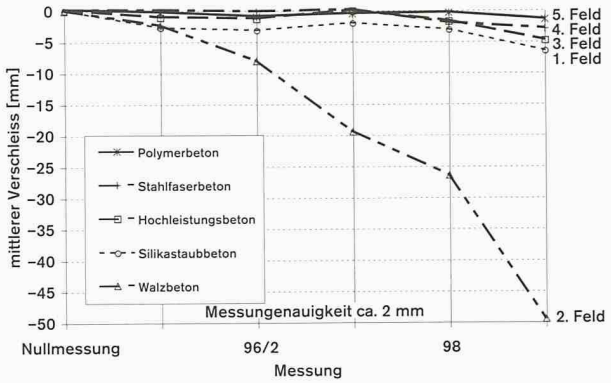
Durch die Verwendung von hochwertigen Betonen mit Stahl bzw. Natursteinen als Kantenschutz kann der Verschleiss meistens auf im Mittel wenige Millimeter pro Jahr beschränkt werden. Der Verschleiss wird vor allem durch jährlich wenige grössere Hochwasserereignisse verursacht. Als hochwertige Betone werden u. a. Stahlfaserbetone, silikastaubhaltige Betone und Polymer- (vergütete) Betone eingebaut. Zwischen den Kanteneisen findet eine muldenförmige Abrasion statt (Bild 2). Ohne Kanteneisen wäre somit mit deutlich grösseren Abrasionsraten zu rechnen. Das Schadensbild (Herausarbeiten der Zuschläge) entspricht in etwa dem des Betons von Wehren in Flussbauwerken. Bei starker Geschiebeführung werden die Zuschläge mit dem Zementstein abgeschliffen, d. h. die angegriffene Betonoberfläche ist nur leicht gewellt. In der Regel widerstehen hochwertige Betone mit einer mittleren 28-Tage-Druckfestigkeit von 40–50 N/mm² den Beanspruchungen in Wildbächen.

Manche Wildbachsperren stellen jedoch Extremfälle der Beanspruchung dar mit sehr hohen grossflächigen Verschleissraten am Beton (bis einige cm/Jahr) durch grosses Geschiebe (Durchmesser bis 1 m), das während

	Silika-staub-beton	Walz-beton	Hochleis-tungs-beton	Stahl-faser beton	Polymerbeton	
Zement CEM I 42.5 N	450	400	500	480	Polymer	1060
Anmachwassergehalt	50	90	90	75		
Sand 0/4*	563	656	565	559	Sand 1.5/3	250
Basalt 3/15	1505	1452	1432	1405	Kies 4/8	250
					Kies 8/16	1000
Fliessmittel	40.5		45.0	43.2		
Verzögerer	2.25		2.50	2.40		
MS-Suspension**	80			28.8		
Stahlfasern 30/0.5				45		
w/z	0.32	0.32	0.30	0.31		
w/(CEM+MS)	0.30			0.30		

* der Sand wies eine durchschnittliche Feuchte von 5.5 Gew.-% auf
** ca. 50 Massen-% Silikastaub

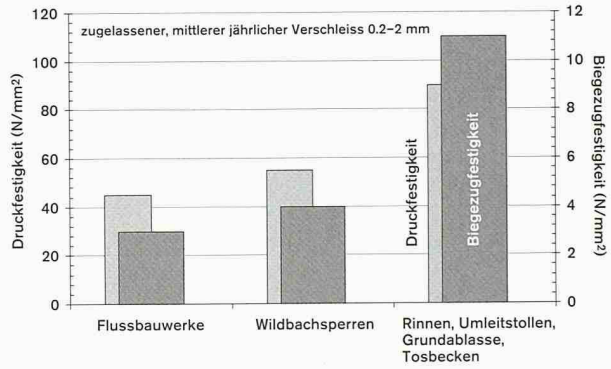
7



9

	Alter	Silika-staub-beton	Walz-beton	Hochleis-tungs-beton	Stahl-faser-beton	Polymer-beton
Würfeldruckfestigkeit	28	86	56	77	96	67
N/mm²	90	109	68	94	114	68
	700			116	123	81
Elastizitätsmodul	28	54	50	53	52	16
kN/mm²	90	57	51	58	58	13
Biegezugfestigkeit	28	12	8	10	11	16
N/mm²	90	12	9	10	12	14
	700			10	12	11
Bruchenergie	28	300	110	240	1060	920
J/m²	90	210	210	210	1020	870
Rohdichte	28	2674	2564	2683	2737	2366
kg/m³	90	2683	2568	2655	2726	2360
	700			2677	2726	2488

8



10

7
Betonzusammensetzungen in kg/m³ der Versuchsfelder

8
Festbetoneigenschaften der im Stollen Runcahez eingebauten Versuchsbetone

9
Gemessener mittlerer Verschleiss der Betonoberfläche in den fünf Versuchsfeldern von 1995 bis 1999

10
Allgemeine Empfehlungen zu den notwendigen Betonfestigkeiten nach 28 Tagen für verschiedene abrasiv beanspruchte Bauteile

weniger Stunden pro Jahr transportiert wird. Granitsteine als Kantenschutz weisen dabei einen Verschleiss von wenigen Millimetern pro Jahr auf. Einer ähnlich starken Abrasion können die Sohlen in geraden Gerinnen mit wenigen grossen Geschiebestössen bei Hochwasser unterliegen. Der Beton wird, oft ausgehend von einem nur kleinen lokalen Schaden, linienförmig abgetragen (Bild 3). Bei einem Wehrrücken wurde sogar ein Abschleifen von Schmelzbasalt festgestellt (Bild 4). Ursache hierfür ist die hohe Fliessgeschwindigkeit des Wassers und viel Geschiebe in mm-Grösse.

Geschiebeumleitstollen, Grundablass, Tosbecken

In Geschiebeumleitstollen und Grundablässen tritt bei den wenigen und kurzen Beanspruchungsdauern ein grosser Verschleiss auf. Die Verschleissrate kann hier im Bereich von Zentimetern pro Stunde liegen. Es wird Beton mit 28-Tage-Druckfestigkeiten zwischen 50 und 80 N/mm² eingesetzt. In einzelnen Fällen unterliegt Beton mit einer Würfeldruckfestigkeit von etwa 70 N/mm² dennoch einem so starken Verschleiss, dass fortlaufend Reparaturen notwendig sind.
Durch grobes Geschiebe werden in grossen Teilen von Stollen die Zuschläge und die Matrix des Betons gleichmässig oder ungleichmässig abgeschliffen. Vereinzelte Abplatzungen durch stossende Beanspruchungen sind ebenfalls zu verzeichnen. Der Verschleiss ist meistens auf die Sohle und, in geringerem Mass, auf die untersten Dezimeter der Wände begrenzt (Bild 5).

Wasserfassungen im Gebirge

Einströmendes Wasser prallt bei Tirolerwehren, einer typischen Bauform von einfachen Wasserfassungen im Alpenraum, zusammen mit Geschiebe bis etwa 2 cm Grösse unter einem stumpfen Winkel auf den Beton und führt so zu beträchtlichen Schäden. Daneben kann auch eine linienförmige Abrasion durch Wasser und feines Geschiebe erfolgen (Bild 6).

Versuche in einem Umleitstollen

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Feldversuche[1] vorgestellt. Der Anfang der 1960er-Jahre erstellte Umleitstollen Runcahez liegt im Val Sumvitg, einem Seitental des Vorderrheins, und soll bei Hochwasserereignissen ein Staubecken von Geschiebe frei halten. Schäden an der aus Spezial- und Normalbetonen bestehenden Tunnelsohle traten wahrscheinlich bereits wenige Jahre nach der Fertigstellung, sicher ab Ende der 70er Jahre auf und wurden fortwährend lokal ausgebessert. Der Schadensfortschritt konnte jedoch nie deutlich verlangsamt werden. An den Stollenwänden sind kaum Spuren von Verschleiss sichtbar. Nur in den unteren Wandpartien ist die Zementhaut des Betons abradiert worden. Die ursprünglich eingebauten Normal- und Spezialbetone erreichen im Alter von ca. 30 Jahren Druckfestigkeiten von 60 und 70 N/mm^2.

Bei der Planung der Versuche wurde von einer Kombination aus schleifender und stossender Beanspruchung der Stollensohle ausgegangen. Es wurden Betone mit hohen Festigkeiten und/oder tiefen Elastizitätsmoduln (Bilder 7 und 8) in einer Schichtstärke von mindestens 20 cm einzeln in durch Stahlprofile abgetrennte, 3.8 m breite und 10.0 m lange Felder in die Sohle eingebaut.

Abrasionsbeständigkeit der einzelnen Betone

Während der Versuchsdauer von 1995–1999 passierten ca. 13 Mio. m^3 Wasser und ca. 40 000 t Geschiebe mit einem mittleren Durchmesser (d_{50}) von 16 cm und einem d_{90} von 53 cm während total 60 Stunden den Stollen.

Die Bestimmung der Abrasionsbeständigkeit erfolgte durch eine jährliche Begehung mit visueller Aufnahme und Vermessung der Oberfläche der Testfelder. Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf den Erfahrungen von fünf Betriebsjahren mit einer im langjährigen Mittel gesamthaft durchschnittlichen Beanspruchung.

Der mittlere Verschleiss ist in Bild 9 dargestellt. Im 1. Betriebsjahr wurde nach einem Betrieb des Stollens von nur 2.5 Stunden (Messung 96/1) mit einer geschätzten Wasserfracht von ca. 350 000 m^3 ein grossflächiges Abschleifen der Zementhaut beobachtet. Der teilweise ersichtliche «Rückgang» im Verschleiss (z. B. zwischen der Messung 1996 und 1997) beruht auf Messungenauigkeiten. Gesamthaft lag der mittlere (grossflächige) Verschleiss zumeist im Bereich von 0.5 bis 1.0 mm/Jahr.

Vor allem in den Jahren 1998 und 1999 traten vermehrt kleinflächige Abplatzungen auf (Durchmesser wenige cm oder dm), und der maximale (lokale) Verschleiss nahm deutlicher zu als der mittlere. Die Abplatzungen gehen auf lokale, beim Einbau entstandene Schwachstellen der Betonrandzone und den Stossverschleiss durch das transportierte Geschiebe zurück. Der kleinflächige Verschleiss lag im Allgemeinen bei 3 bis 5 mm pro Jahr.

Der überhöhte Einbau des Walzbetons, ausgebildet in Form einer Rampe, führte zu ungünstigen hydraulischen Bedingungen und einem verstärkten Verschleiss. Das Walzbetonfeld zeigt auf Grund der Verdichtungsart die raueste Oberfläche und am meisten kleine Schäden wie Abplatzungen sowie Kalkfahnen bei Rissen. Mit zunehmender Biegezugfestigkeit und Bruchenergie nimmt der Verschleiss tendenziell ab. Der Hochleistungsbeton fällt aus dieser Tendenz heraus, was möglicherweise auf eine höhere abrasive Belastung des entsprechenden Feldes im Vergleich zu den anderen hinweist.

Das Ausmass der bis 2004 entstandenen, nicht ungewöhnlichen Abplatzungen und Schleifspuren deuten darauf hin, dass die Härte und die Duktilität der eingesetzten Betone für diesen Anwendungsbereich zweckmässig sind. Bisher (1995–2004) wurde vor allem die äusserste Randschicht des Betons abgetragen. Für eine abschliessende Bewertung der einzelnen Betonrezepturen sind sowohl die absolut betrachteten Schäden als auch die gegenseitigen Unterschiede zu gering.

Folgerungen für die Werkstoffwahl

Im Allgemeinen steigt mit zunehmender Fliessgeschwindigkeit die Transportkapazität für Geschiebe (Menge, Grösse). Mit zunehmender Geschiebemenge und vor allem Geschiebegrösse nimmt der Verschleiss zu. Die Auswahl eines Werkstoffs muss auf die zu erwartende abrasive Beanspruchung abgestimmt sein. Aufgrund der im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erfahrungen werden die in Bild 10 aufgeführten Betonfestigkeiten empfohlen.

Neben der abrasiven Beanspruchung sind bei der Festlegung der Betonqualität auch chemisch-phsikalische Einwirkungen wie chemischer Angriff, Frostwechsel, Bergwasserdruck, Temperaturgradienten usw. zu beachten. Weitere Gesichtspunke sind die Form des Bauwerks, insbesondere die Bauteildicke, die Zugänglichkeit bei Bau, Betrieb und Unterhalt sowie das Gefahrenpotenzial bei plötzlichem Auftreten grösserer Abrasionsschäden.

Dr. Frank Jacobs, dipl. Geologe
TFB Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Wildegg
jacobs@tfb.ch

Literatur

1 Jacobs, F., Winkler, K., Hunkeler, F., Volkart, P.: Betonabrasion im Wasserbau: Grundlagen – Feldversuche – Empfehlungen. Mitteilungen VAW der ETHZ, Nr. 168, Zürich, 2001, 162 S.

Normen

SIA 162 (Norm): Betonbauten. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1993.

Astra / BAV / BWW / SBB: Sicherheit von Bauwerken im Wasser: Empfehlungen für die Überwachung und Hinweise für den Neubau. Bundesamt für Strassen (Astra), Bundesamt für Verkehr (BAV), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Bern, 1998.

DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Beuth-Verlag, Berlin, 2001

BMV: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserkraftwerken (Leistungsbereich 219), 1997.

ÖNORM B4710 – 1.