Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 100 (2008)
Heft: 1

Artikel: Schadensmechanismen an Wildbachsperren aus Konstruktionsbeton
Autor: Suda, Jürgen / Rudolf-Miklau, Florian
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939689

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.02.2026

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

Schadensmechanismen an Wildbachsperren aus Konstruktionsbeton

Jürgen Suda, Florian Rudolf-Miklau

1. Einleitung

Schutzbauwerke der Wildbachverbauung werden errichtet, um den menschlichen Siedlungsraum und Infrastruktur vor negativen Auswirkungen von alpinen Naturgefahren (Hochwasser, Murgänge, Massenbewegungen) zu schützen. Während ihrer Lebensdauer interagieren diese Bauwerke mit Prozessen aus ihrer Umwelt. Die für das Bauwerk massgeblichen Umweltprozesse resultieren aus dem Umgebungsklima, den geologischen und geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes und den Wildbachprozessen selbst. Die Wildbachprozesse lassen sich in die Abtragsprozesse (Erosion), die Verlagerungsprozesse (Hochwasser, Feststofftransport, Murgang) und die Ablagerungsprozesse (Sedimentation) untergliedern. Infolge der Beanspruchung durch Wildbachprozesse unterliegen Schutzbauwerke, mehr als andere Bauwerke, einem besonders hohen Verschleiss, der ihre Dauerhaftigkeit negativ beeinflusst.

Da Schutzbauwerke von Menschen errichtete, technische Bauwerke sind, stehen sie weiters – besonders während der Planungs- und Errichtungsphase, aber auch der Betriebsphase – unter dem Einfluss antropogener Prozesse. Zu den negativen Folgen dieser Prozesse zählen Planungsfehler und daraus resultierende konstruktive Mängel oder Baumängel am Bauwerk. Aber auch die Art und der Umfang der Bauwerkserhaltung (Erhaltungsstrategie) hat einen wesentlichen Einfluss auf den zeitabhängigen Zustand des Bauwerkes und somit dessen Lebensdauer. [11]

Aus der Summe dieser Prozesse können Randbedingungen, welche die zeitabhängige Zustandsentwicklung des Bauwerkes beeinflussen, abgeleitet werden *(Bild 1)*. Diese Randbedingungen lassen sich in die externen und die internen Randbedingungen einteilen. Die externen Randbedingungen beschreiben jene Prozesse, die auf das Bauwerk von aussen einwirken, die internen jene, die von den Bauwerkseigenschaften selbst abhängig sind. Diese Randbedingungen sind in besonderem Masse für die Wirkung von Wildbachsperren relevant.

2. Schäden und Versagen von Schutzbauwerken (Wildbachsperren)

Veränderungen an einem Bauwerk, in dessen Gründung oder Umgebung, hervorgerufen durch externe oder interne Ursachen, welche zu einer Verminderung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit oder Dauerhaftigkeit des Tragwerkes führen, werden als Schaden eingestuft. Schäden können sich kontinuierlich aufgrund der plangemässen Abnutzung des Bauwerkes im Betriebszustand oder schlagartig aufgrund einer Überbeanspruchung des Bauwerkes (z.B. Extremereignis) entwickeln. Mit zunehmendem Ausmass oder durch einen Summationseffekt können Schäden schliesslich zum Versagen des Bauwerkes oder eines Bauteiles führen. Allgemein liegt ein Bauwerks- oder Bauteilversagen vor, wenn ein definierter Grenzzustand überschritten wird. Ein Grenzzustand ist erreicht, wenn ein Bauwerk (inklusive Untergrund), oder ein Teil davon, die Entwurfsanforderungen nicht mehr erfüllt. Neben dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (Standsicherheit) ist die prozessbezogene Gebrauchstauglichkeit des Schutzbauwerkes wesentlich. Der Grenzzustand der prozessbezogenen Gebrauchstauglichkeit ist nach Aufbrauchen des Abnutzungsvorrates, der dem Bauwerk inne wohnt, erreicht. Nach DIN 31051 [2] ist der Abnutzungsvorrat jener Vorrat der möglichen Funktionserfüllung unter festgelegten Bedingungen, der einem Schutzbauwerk (z.B. einer Wildbachsperre) aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung inne wohnt. Die prozessbezogene Gebrauchstauglichkeit entspricht im Wesentlichen dem Grad der Schutzwirkung, welche gemäss Hübl et al. [4] über die Einwirkung des Bauwerkes auf den Prozessablauf, der Reduktion der Ereignisdisposition und der Reduktion der

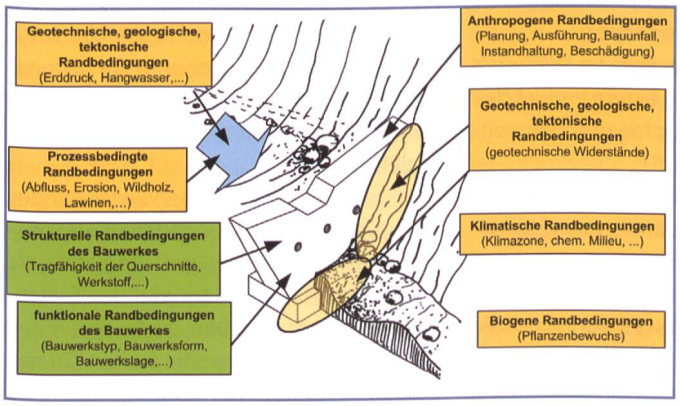

Bild 1. Randbedingungen, die den Bauwerkszustand einer Wildbachsperre beeinflussen, gelb: externe Randbedingungen, grün: interne Randbedingungen, blau: Einwirkungen.

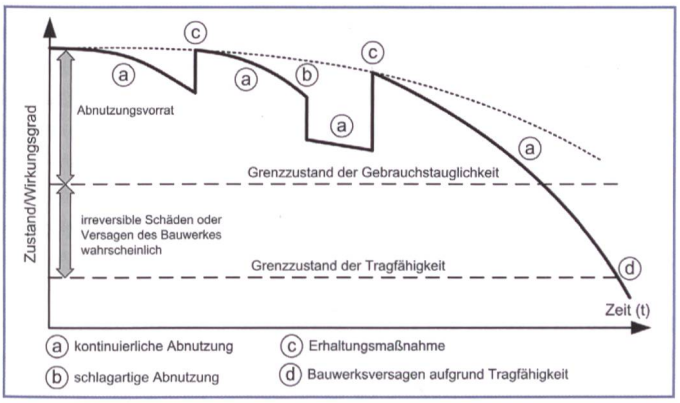

Bild 2. Beispiel der Zustandsentwicklung einer Wildbachsperre.

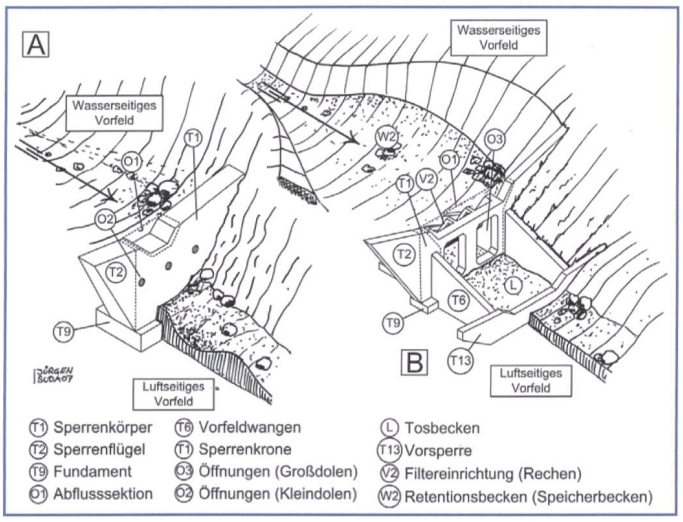

Bild 3. Anlagenteile von Schutzbauwerken: (A) Konsolidierungssperre; (B) Beispiel eines komplexeren Bauwerkes (Dosiersperre mit Retentionsbecken); aus Suda et.al [12].

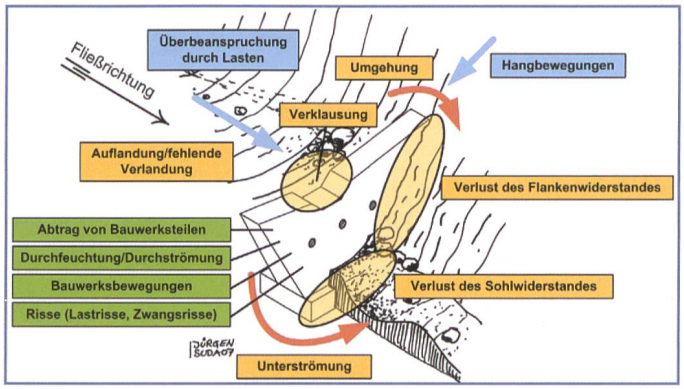

Bild 4. Lage der Schadmechanismen an einem Schutzbauwerk (Konsolidierungssperre).

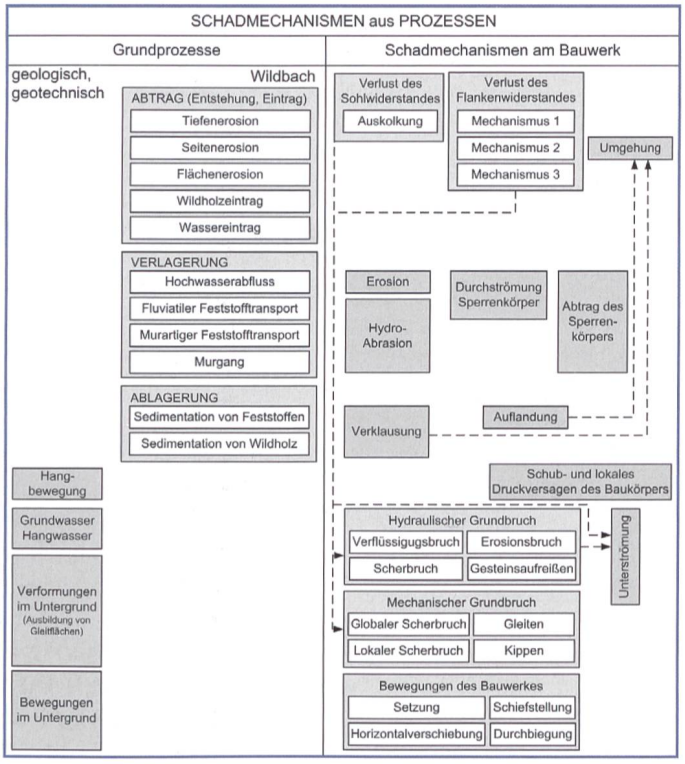

Bild 5. Grundlegende Prozesse und davon abhängende Schadmechanismen an Bauwerken oder Bauteilen; aus Suda et.al. [12]: Strichlierte Linien geben Schadmechanismen an, die durch den Ausgangsmechanismus gefördert werden.

Schadenswirkung definiert werden kann.

Bild 2 zeigt modellhaft die Zustandsentwicklung einer Wildbachsperre. Der Zustand (Wirkungsgrad) sinkt durch kontinuierliche Abnutzung und schlagartige Überbeanspruchung und steigt durch Erhaltungsmassnahmen. Durch eine Überbeanspruchung der Sperre ist auch ein sofortiges Versagen der Tragfähigkeit möglich. Dieses schlagartige Versagen der Tragfähigkeit wird mit geringer werdendem Abnutzungsvorrat und zunehmendem Schadensausmass wahrscheinlicher. Somit sind beide Grenzzustände bei der Schadensbeurteilung gleichwertig zu berücksichtigen.

Um die Auswirkung von Schäden auf das Versagen eines Wildbachschutzbauwerks in ausreichendem Ausmass beurteilen zu können, werden die wasser- und luftseitigen Bachbereiche in die Betrachtung mit einbezogen *(Bild 3)*. Prozesse in den wasser- und luftseitigen Vorfeldern haben wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Sperre. Die Auswirkung eines Schadens auf die Standsicherheit des gesamten Sperrenbauwerks (globale Standsicherheit) ist auch abhängig von der Wertigkeit des betroffenen Bauteiles. In *Bild 3* sind die wichtigsten Bauteile einer Konsolidierungssperre und einer Dosiersperre mit Retentionsbecken dargestellt.

3. Schadensmechanismen an Wildbachsperren

In Abhängigkeit der in *Bild 1* dargestellten Randbedingungen lassen sich Schadensmechanismen, welche zu konkreten Schäden am Bauwerk führen, definieren ([12] [13]). Entsprechend den externen und internen Randbedingungen kann man diese in prozessspezifische und materialspezifische Mechanismen einteilen. In diesem Beitrag werden Schäden infolge der prozessspezifischen Mechanismen eingegangen, hinsichtlich der materialspezifischen Schadensmechanismen wird auf die diesem Beitrag zugrunde liegende Studie verwiesen [13].

Betrachtet man die Prozesse vom Standpunkt eines Bauwerkes, kann man jedem Schadensmechanismus einen primären Grundprozess zuordnen *(Bild 5)*.

3.1 Schadmechanismen infolge von Abtragsprozessen

Infolge der Abtragsprozesse im Wildbach kann es am Bauwerk zu einem Verlust des Widerstandes an der Sohle und den seitlichen Flanken kommen.

Für den Verlust des Sohlwiderstandes können generell zwei unterschiedliche Mechanismen unterschieden werden *(Bild 6)*. Mechanismus 1: Die Einbindung des Bauwerkes geht durch lokale Kolkbildung verloren. Mechanismus 2: Es kommt durch eine generelle Sohleintiefung zu einem Verlust des Sohlwiderstandes. Eine generelle Absenkung der Sohle tritt durch Tiefenerosion ein und kann unterschiedliche Ursachen haben: Sie kann auftreten, wenn das plangemässe Verlandungsgefälle im verbauten Abschnitt zu steil angenommen wurde. Ein Wildbach tieft sich jedoch auch ein, wenn die verfügbare Geschiebemenge geringer ist als die hydraulische Transportkapazität des vorherrschenden Abflusses (Geschiebedefizit).

Ein Verlust des Sohlwiderstandes kann verschiedene Schadensmechanismen am Sperrenbauwerk begünstigen. Ist zusätzlich der Widerstand der Talflanken nicht mehr gegeben, ist die Sicherheit gegen Kippen und mechanischen Grundbruch herabgesetzt. Bei ausreichend tragfähigen Flanken tritt hingegen eher ein hydraulischer Grundbruch oder eine Unterströmung des Sperrenmittelteiles auf.

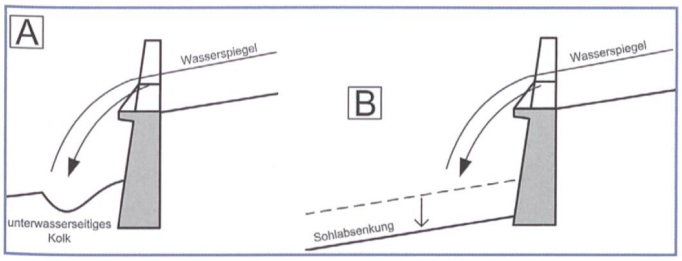

Bild 6. Verlust des Sohlwiderstandes bei Sperren und Grundschwellen: (A) Mechanismus 1: lokale Kolkbildung; (B) Mechanismus 2: Sohlabsenkung; dargestellt ist ein Schnitt durch den Sperrenkörper in Gerinneachse; aus Suda et.al [12].

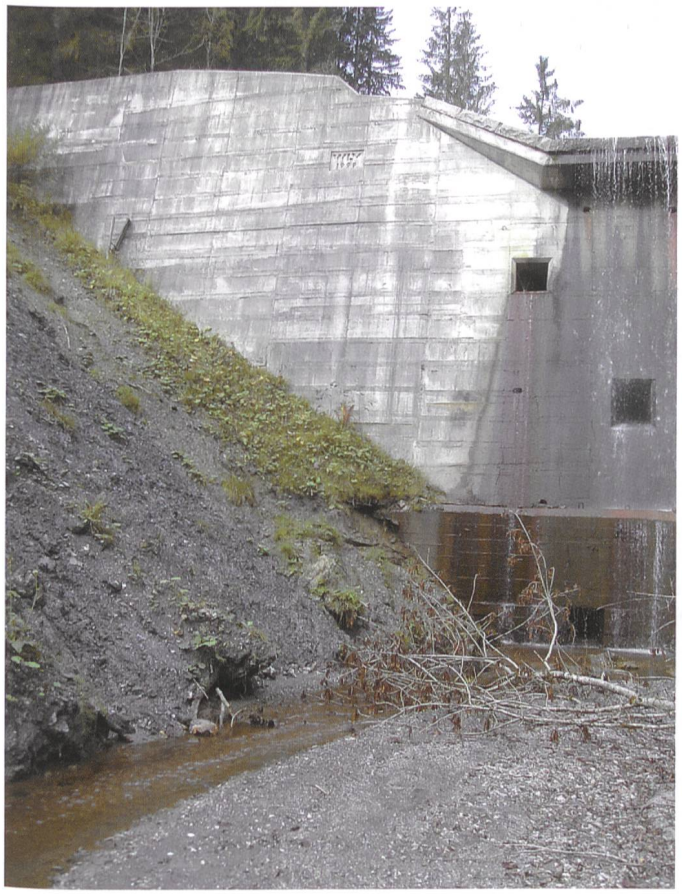

Bild 7. Sohlabsenkung und instabiler Hang infolge Tiefenerosion an einer Konsolidierungssperre.

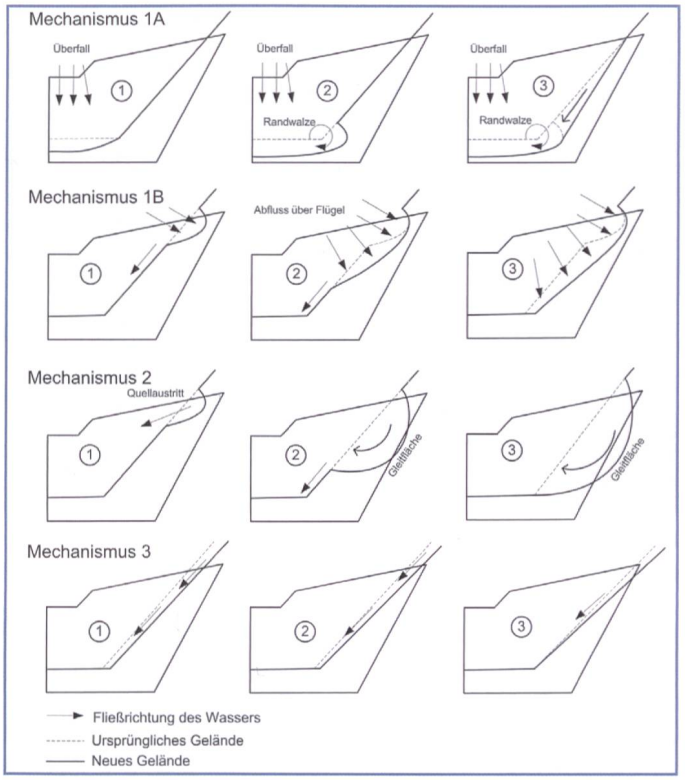

Bild 8. Mechanismen, die im Lockergestein zum Verlust des seitlichen Flankenwiderstandes führen können; dargestellt ist die halbe luftseitige Ansicht des Sperrenkörpers; aus Suda et.al [12].

Bild 9. Erosion der seitlichen Flanke durch eine Kombination aus Mechanismus 1A und 3.

Da Bauwerke aus Stahlbeton in der Lage sind, Zugkräfte aufzunehmen und innere Beanspruchungen umzulagern, können Wildbachsperren trotz Verlust des Sohlwiderstandes noch standsicher sein. In diesem Fall kommt es zu einer Umlagerung der Lasten in die Flanken. Für an der Sohle ausreichend eingebundene Bauwerke stellen diese Mechanismen daher selten eine Bedrohung der globalen Standsicherheit dar *(Bild 7)*. Solche Bauwerke können jedoch durch sekundäre Mechanismen, beispielsweise die Mobilisierung der seitlichen Hänge (sackender Talzuschub) oder den Verlust des Widerstandes in den Flanken (Mechanismus 1A), die durch die Eintiefung initiiert werden, geschädigt werden.

Beim Verlust des Flankenwiderstandes kann aufgrund unterschiedlicher Mechanismen auftreten. Entweder destabilisiert die Seitenerosion der Randwalzen im Sperrenvorfeld den Einhang (Mechanismus 1A), oder es findet ein unplanmässiger Abfluss über die Sperrenflügel (nach Verklausung der Abflusssektion oder Auflandung infolge Geschiebeüberlastung) (Mechanismus 2B), der den Einhang direkt beaufschlagt, statt. Beide Prozesse können zum Abtrag oder Abrutschen der Flanken führen. Ein zu geringer Anzug des Sperrenflügels begünstigt Mechanismus 2.

An labilen oder übersteilten Hängen kann es zu Böschungsbrüchen beispielsweise aufgrund von Vernässungen (Quellaustritte) oder durch geologische Instabilitäten zum Abrutschen von Hangteilen kommen (Mechanismus 2). Eine weitere Möglichkeit ist der Abtrag des Handes durch Oberflächenabfluss (Mechanismus 3). Alle Mechanismen führen zur Reduktion der Einbindetiefe der Sperre und können schliesslich zum Verlust des Flankenwiderstandes führen.

Der Abfluss im Bereich einer Sperre erfolgt im Normalfall über eine dafür bemessene Abflusssektion. Bei der Umgehung wird ein Querbauwerk seitlich vom Bach umgangen. Im Falle einer Umgehung kommt es zu einem Versagen der Gebrauchstauglichkeit. Der Beginn der Umgehung kann in einem Verlust des Flankenwiderstandes nach dem 2. Mechanismus, einer Auflandung im wasserseitigen Sperrenvorfeld oder einer Verklausung liegen. Weiters können konstruktive Mängel wie eine ungenügende seitliche Einbinde-

Bild 10. Umgehung von Konsolidierungssperren, aufgrund ungünstiger Anordnung zur Bachachse (Quelle: IAN [5]).

Bild 11. Bruch im Flügel aufgrund fehlender seitlicher Einbindung durch Umgehung.

tiefe der Flügel, eine zu gering bemessene Abflusssektion oder eine ungünstige Platzierung des Bauwerkes zur Bachachse zu einer Umgehung führen.

3.2 Schadensmechanismen infolge von Verlagerungsprozessen

Aufgrund der Verlagerungsprozesse des Wildbaches (Hochwasser, Feststofftransport, Muren) kann es am Sperrenbauwerk zum Abtrag von Bauwerksteilen oder zu einer Durchfeuchtung und Durchströmung des Bauwerkskörpers kommen.

Ein Abtrag von Bauwerksteilen erfolgt durch das Zusammenwirken der Abrasion, der Schleppspannung und der Beanspruchung durch dynamischen Wasserdruck *(Bild 12)*. Geringe (oberflächliche) Abtragsraten sind in der Regel auf Hydroabrasion zurückzuführen *(Bild 13)*. Durch Hydroabrasion mit hohem schlagendem Anteil kann es zu einer Lockerung von einzelnen Komponenten im Gefüge kommen. Eine Mobilisierung von einzelnen Komponenten aus dem Bauwerk oder aus der Krone (z.B. Mauersteine) kann auftreten, wenn eine ausreichende Schleppspannung auf den gelockerten Bauwerksteil einwirkt. Dynamischer Wasserdruck baut sich während des Abflussgeschehens auf angeströmten Flächen auf. Seine Grösse hängt von der Abflusshöhe, der Fliessgeschwindigkeit und der Dichte des transportierten Mediums ab. Durch die Einwirkung dieser Horizontallasten kann es zum Versagen der inneren Standsicherheit (Biege-, Schubbruch) oder/und zum Kippen von Bauteilen kommen. Gekippte Bauteile können durch die Schleppspannung des Abflusses weiter verlagert werden.

Niederschlagswasser, Bachwasser oder drückendes Hangwasser können in Sperrenbauwerken zu einer Durchfeuchtung oder Durchströmung des Sperrenkörpers führen. Bei einer Durchfeuchtung werden kleinere Mengen an Wasser über schmale Risse oder Transportprozesse durch den Betonquerschnitt geleitet. Es kommt dabei i.d.R. zu keinen direkten Verschleisserscheinungen (Abrasion, Erosion) am Bauwerk. Eine unplangemässe Durchströmung setzt eine Vorschädigung des Bauwerkes voraus. Diese Vorschädigung kann einerseits durch Risse infolge Überlastung oder Zwang (Setzungsrisse) oder andererseits durch unsachgemässe Ausführung der Arbeitsfugen im Betonkörper gegeben sein. Die Folgen sind Aussinterungen, Bewehrungskorrosion und ein zusätzlicher Wasserdruck in den Rissen. Eine erhöhte Korrosionsrate der Bewehrung führt zu einer Verringerung der Dauerhaftigkeit und letztlich einem Verlust der

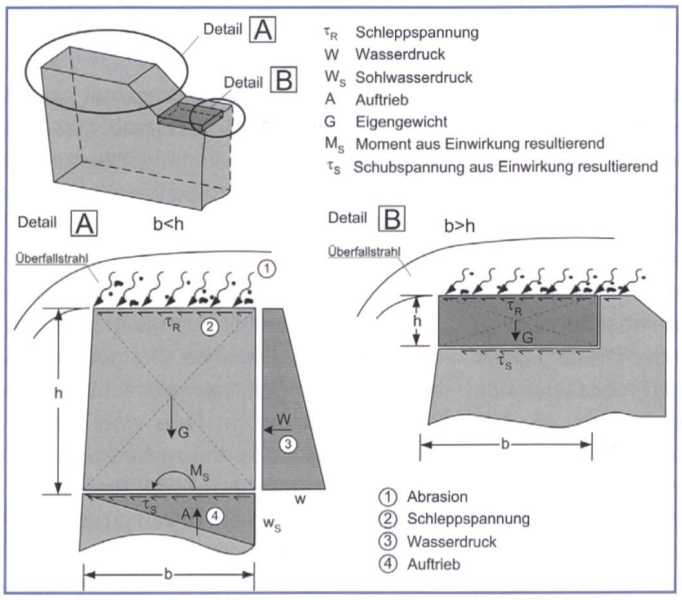

Bild 12. Kräfte, die zu einem Abtrag von Bauwerksteilen führen können: (A) schlanke Bauteile (z.B. obere Flügelteile); (B) gedrungene Bauteile (z.B. Kronensteine); aus Suda et.al [13].

Bild 13. Leichter Abtrag infolge Hydroabrasion (waschbetonartige Oberfläche).

Bild 14. Abtrag von Kronsteinen aus der Abflusssektion infolge Hydroabrasion und Schleppspannung des Wassers.

Bild 15. Durchfeuchtung des Betonkörpers entlang ungenügend abgedichteten Arbeitsfugen.

inneren Standsicherheit. Durchfeuchtung und Durchsickerung stellen für ordnungsgemäss hergestellten Beton kein Problem dar und lassen sich durch die Verwendung eines geeigneten Betons (WU-Beton) und der Abdichtung aller Arbeitsfugen mit geeigneten Fugenbändern vermeiden.

3.3 Schadensmechanismen infolge von Ablagerungsprozessen

Extreme Ablagerungsprozesse können zu einer Verklausung am Bauwerk und zu einer unplangemässen Auflandung der Gerinnesohle führen. Ablagerungsräume (Retentionsbecken) müssen nach Ereignissen regelmässig geleert (geräumt) werden, weil ansonsten die geplante Speicherkubatur nicht zur Verfügung steht (eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit).

Eine Verklausung kann direkt oder indirekt zu Schäden an einem Bauwerk führen. Indirekte Schäden können auftreten, wenn es durch eine Verklausung im Gerinne zu einer Mobilisierung grosser Kompartimente und einem schwallartigen Abfluss (z.B. Murgang) kommt. Dieser schwallartige Abfluss kann weit über dem hydrologisch ermittelten, höchsten Hochwasserabfluss (HHQ) liegen und zu einer Überlastung des Bauwerkes führen. Eine Verklausung am Bauwerk im Bereich der Abflusssektion oder der Öffnungen führt zu einer Reduktion der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes, da sich dessen hydraulische Eigenschaften stark ändern.

Eine unplangemässe Auflandung tritt als schadensrelevanter Mechanismus bei Konsolidierungssperren bzw. bei allen plangemäss verlandeten Querbauwerken auf. Eine Auflandung ist in diesem Sinne als Hebung der Gerinnesohle über das plangemässe Verlandungsniveau definiert. Eine unplanmässige Auflandung ist

Bild 16 a–c. Verklausungen am Bauwerk durch Geschiebe und Wildholz; D, E: Verklausung im Gerinne; (Quelle Bild A, B, C: IAN [5]).

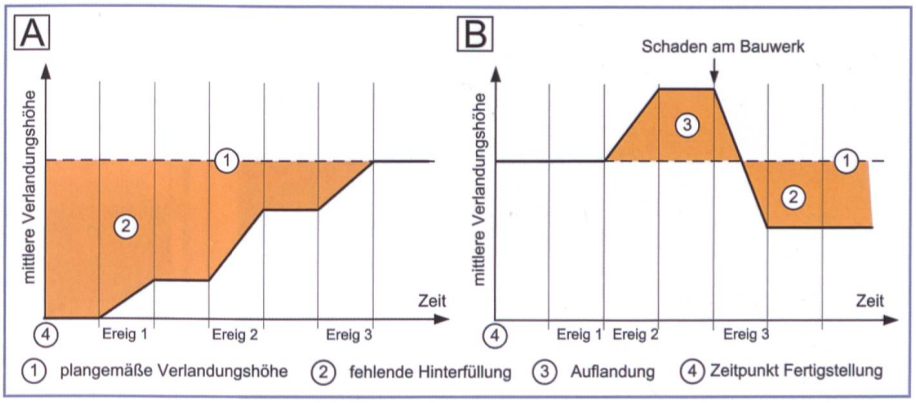

Bild 17. Ganglinie der Verlandungshöhe an Konsolidierungsbauwerken: (A) ohne künstliche Auffüllung der Verlandungsräume, (B) mit künstlicher Auffüllung der Verlandungsräume und Beispiel der Auswirkung eines Schadens; aus Suda et.al [12].

schadensrelevant, wenn dadurch die prozessbezogene Gebrauchstauglichkeit der Verbauung oder des Bauwerkes oder die Standsicherheit des Bauwerkes gefährdet ist. In *Bild 17* sind schematisch die Ganglinien der Verlandungshöhen eines Bauwerkes mit künstlich aufgefülltem Verlandungsraum und eines Bauwerkes mit natürlicher Verlandung im Laufe der Ereignisse dargestellt. Als Schadmechanismus für das Bauwerk ist besonders die Auflandung im Bereich des wasserseitigen Sperrenvorfeldes relevant *(Bild 18 b)*. Sie kann die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes beeinträchtigen und zur Verlagerung der Bachachse führen. Eine stärkere Verlagerung der Bachachse kann eine Umgehung des Bauwerkes begünstigen.

Bei hohen Geschiebefrachten beispielsweise infolge eines Murganges oder murartigem Feststofftransportes kann die gesamte Sperre oder Grundschwelle überschottert werden. Von Überschotterung spricht man bei Geschiebeablagerungen im wasser- und luftseitigen Vorfeld *(Bild 18 c)*. Im Extremfall ist das Bauwerk nicht mehr sichtbar und hat kaum mehr Wirkung auf das Abflussverhalten des Gerinnes.

Bei fehlender Verlandung (Konsolidierungssperren ohne Hinterfüllung, insbesonder während der Bauphase) kann es zu einer unplangemässen Belastung durch Murgänge kommen *(Bild 18 a)*. Dadurch werden die Sperren in der Regel schwer beschädigt oder zerstört, da sie nicht auf diese Beanspruchung ausgelegt wurden. Durch eine künstliche Auffüllung der Verlandungsräume nach der Errichtung der Bauwerke kann dieser Schaden verhindert werden *(Bild 17 b, Bild 20)*. Die Verlandungshöhe kann auch durch Schäden am Bauwerk, wie dessen Zerstörung, Umgehung oder Unterströmung sinken *(Bild 17 b)* (Erosion des Verlandungskörpers).

Offene Sperren mit Retentionsbecken sind plangemäss nicht verlandet. Ihre Aufgabe ist der Rückhalt von Wasser und/oder Feststoffen deren Speicherung und/oder die dosierte Abgabe in den Unterlauf *(Bild 21)*. Ist der verfügbare Speicherinhalt zu gering, kann die plangemässe Rückhaltewirkung nicht erfüllt werden. Das Fehlen von Retentionsraum (Speichervolumen) infolge Vorverfüllung ist somit ebenfalls als ein Schadenstyp zu definieren. Eine Teilverlandung nach einem Ereignis ist in der Regel plangemäss, ist anschliessend zu wenig verfügbarer Speicherinhalt für das kommende Ereignis vorhanden, muss das Becken künstlich geräumt werden. Ist das Rückhaltebecken Teil einer Dosiersperre erfolgt durch die auslaufende Hochwasserwelle oder kleinere Hochwässer eine teilweise Selbstentleerung der Geschiebeablagerungen des Speichers. Ist die Filtereinrichtung oder die Öffnungen der Dosiersperre verklaust, funktioniert dies in der Regel nicht. Somit sind für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit des Rückhaltebeckens einerseits das verfügbare Speichervolumen und andererseits die Art und Grösse des vorhandenen Bewuchses im Becken heranzuziehen. Bei grösseren, vor allem wenig biegsamen Bäumen im Becken besteht bei einem Ereignis eine erhöhte Gefahr von Verklausungen der Öffnungen (Abflusssektion, Dolen) am Bauwerk durch mitgerissenes Wildholz aus dem Becken oder dem Gerinnesystem *(Bild 22)*.

3.4 Schadmechanismen infolge Hangbewegungen

Querwerke in Wildbachgerinnen sind oft Einwirkungen von Massenbewegungen in den seitlichen Hängen (Talzuschub, Rutschungen) ausgesetzt. Diese Bewegungsarten des Hanges oder Gebirges

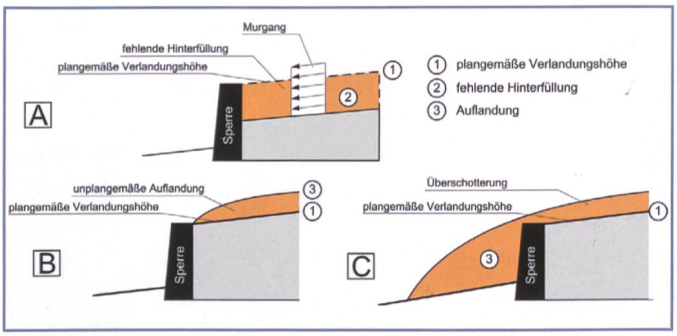

Bild 18. Schnitt durch die Bachachse: (A) Auflandung im wasserseitigen Sperrenvorfeld (Verlandungsraum); (B) Überschotterung eines Bauwerkes mit Ablagerungen im luft- und wasserseitigen Vorfeld; aus Suda et.al [12].

Bild 19. Fehlende Verlandung hinter einer Konsolidierungssperre.

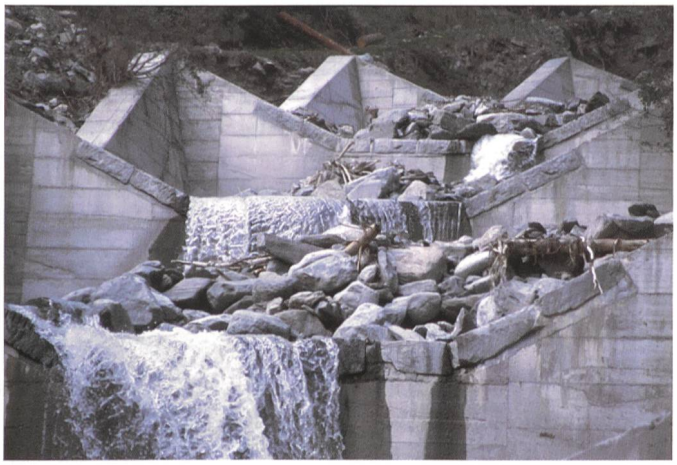

Bild 20. Auflandung im wasserseitigen Vorfeld von Konsolidierungssperren (Quelle: IAN [5]).

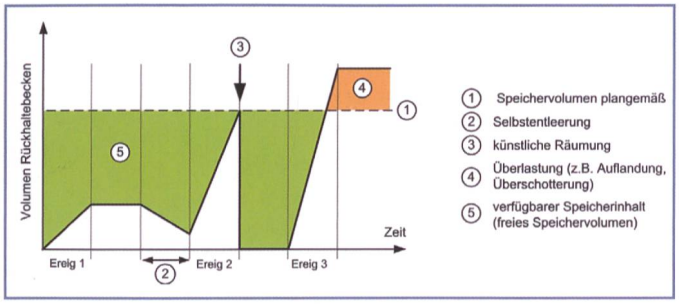

Bild 21. Ganglinie des Speicherinhaltes eines Rückhaltebeckens an einer Dosiersperre: Verlandung durch Ereignisse, künstliche Räumung, Überlastung; aus Suda et.al [12].

wirken auf Widerstände als Hangdruck (Bergdruck) ein *(Bild 23)*. Durch den Druck werden die Sperrenbauwerke als Scheiben beansprucht. Die Resultierende der Druckkraft kann annähernd parallel oder unter einem Winkel (α) zur Bauwerksachse verlaufen.

Die Beanspruchung des Bauwerkes ist abhängig von der Bewegungsrichtung des Hanges, der Tiefe der Gleitfläche und der Bauwerksform. Als Schadensmechanismen können dabei grundsätzlich ein Schubversagen (1. Mechanismus), ein lokales Druckversagen (Biegeversagen; 2. Mechanismus) und ein Umfliessen (3. Mechanismus) der Sperre unterschieden werden *(Bild 24)*. In der Regel treten Mischformen auf.

Beim Schubversagen (Mechanismus 1) kommt es zum Abscheren von Flügeln oder Flügelteilen an horizontalen Fugen oder dem Abscheren von keilförmigen Sperrenteilen *(Bild 24 A)*. Dabei tritt ein Schubversagen entlang dieser Fuge auf. In der Regel entsteht ein Trennriss. Die Lage und Richtung dieses Risses sind im Wesentlichen von der Hangbewegung (Bewegungsrichtung und Lage der Gleitfläche) und vom Sperrenbauwerk (Störzonen in der Sperre und Sperrengeometrie) selbst abhängig. Je nach Geometrie des Flügels kommt es zusätzlich zu einer Verschiebung oder Verdrehung des abgescherten Bauteiles.

Das lokale Druckversagen (Mechanismus 2) kann aufgrund des Knickens der Gesamtstruktur oder als Druckversagen in

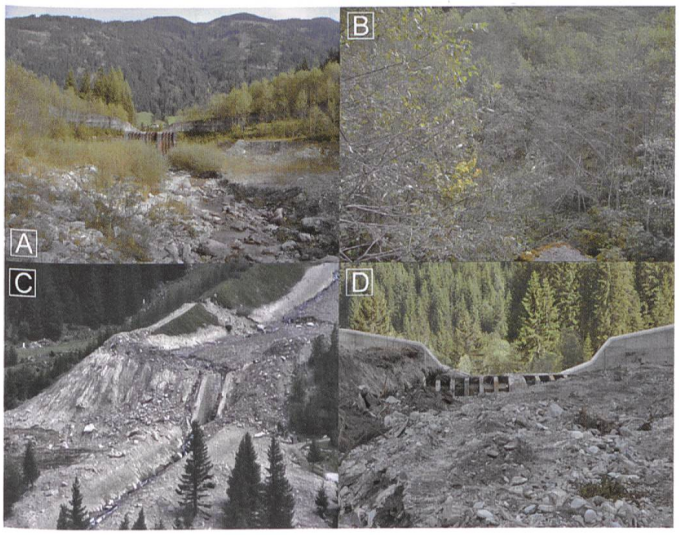

Bild 22. Zustände von Retentionsräumen: (A) plangemäss; (B) Bewuchs mit Grauerlen; (C) Überlastung durch Geschiebe; (D) gefüllter Retentionsraum aufgrund Verklausung des Rechens mit Wildholz (Quelle Bild C, D: IAN [5]).

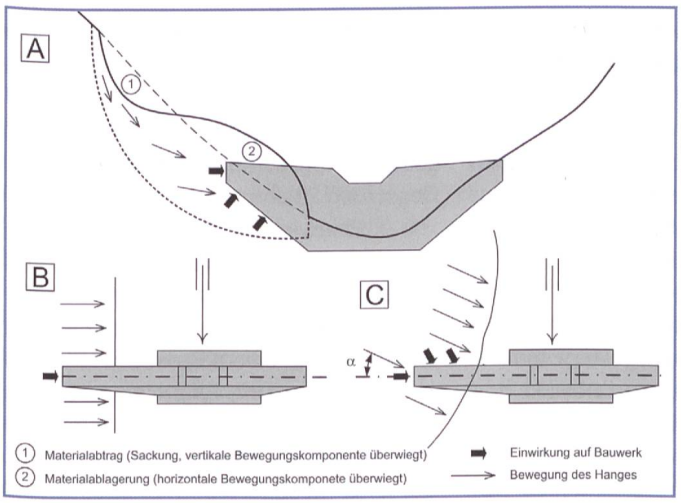

Bild 23. Seitlicher Hangdruck auf Sperrenbauwerke (schematisch): (A) Ansicht: Bewegungen im Hang; (B) Hauptbewegungsrichtung verläuft annähernd parallel zur Bauwerksachse; (C) Hauptbewegungsrichtung verläuft schräg zur Bauwerksachse; aus Suda et.al [12].

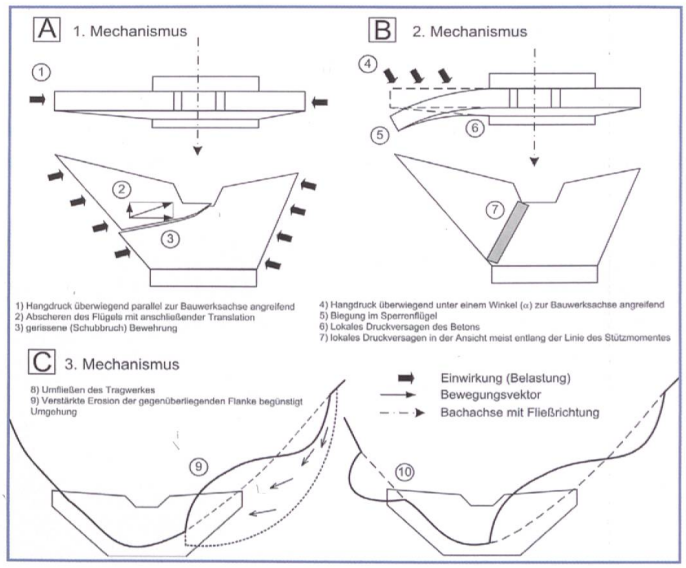

Bild 24. Aus seitlichem Hangdruck resultierende Schadmechanismen an Beton- und Stahlbetonsperren: (A) 1. Mechanismus (Schubversagen); (B) 2. Mechanismus (lokales Druckversagen); (C) 3. Mechanismus (Umfliessen des Bauwerkes).

Bild 25. seitlicher Hangdruck: 1. Mechanismus: (A) Abscheren des Flügels an einer horizontalen Fuge (Trennriss) mit anschliessender Verkantung; (B) gerissene Bewehrung; 2. Mechanismus: (C) Abscheren mit Verkantung und Verdrehung; (D) ausgeknickte Bewehrung; (E) 3. Mechanismus: Linksufrige Rutschung schiebt sich bis zur Gerinnemitte vor, ohne das Bauwerk zu zerstören (Quelle Bild C, D, E: IAN [5]).

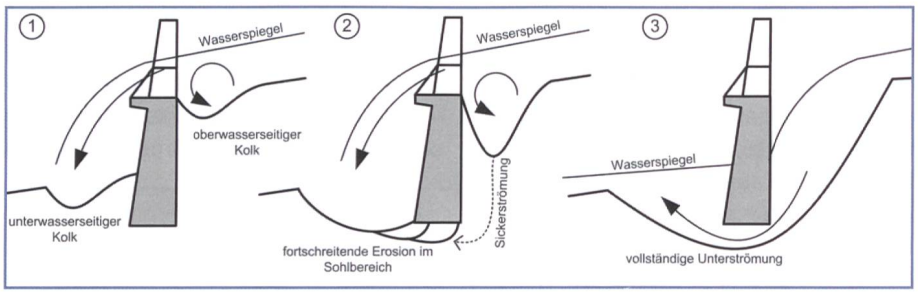

Bild 26. Ausbildung einer Unterströmung: (A) durch Zusammenwachsen eines unter- und oberwasserseitigen Kolkes und Erosionsbruch; dargestellt ist eine Sperre im Schnitt.

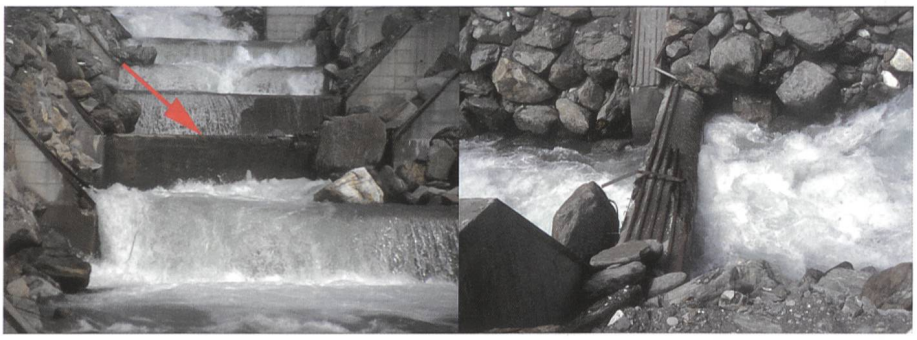

Bild 27. Unterströmung einer Konsolidierungssperre (Quelle: IAN [5]).

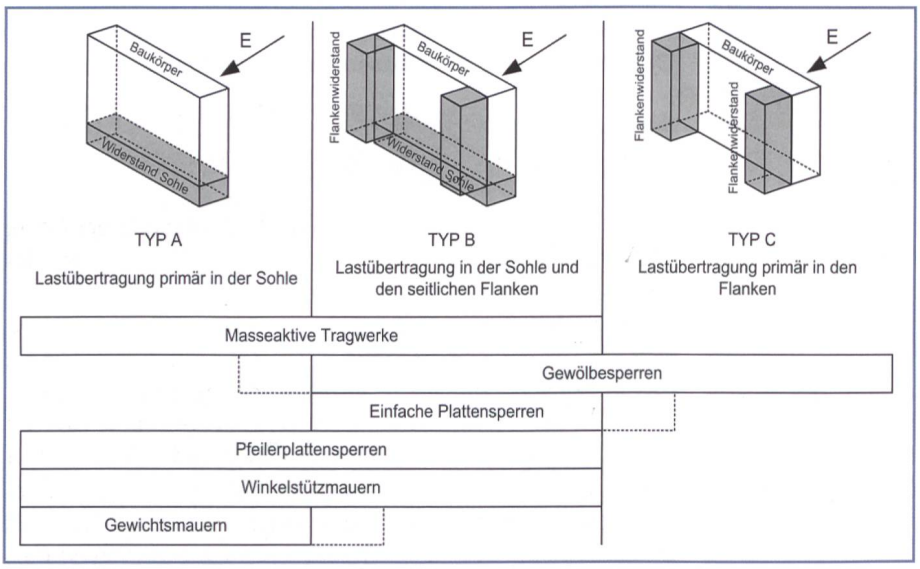

Bild 28. Einteilung der statischen Systeme nach der Art der Lastabtragung in den Untergrund, E = Einwirkung (Erddruck, Wasserdruck, Murdruck,...); Klassifikation der statischen Systeme nach ONR 24800 [8] bzw Bergmeister et. al. [1].

einer Biegedruckzone auftreten. Letzteres ist häufig, wenn der Hangdruck in einem Winkel zur Systemachse des Bauteiles angreift. Als Beispiel kann der Flügelbereich angeführt werden, in welchem durch einen schräg angreifenden Hangdruck Biegung erzeugt wird. Weicht die Systemachse von der Stützlinie des Bauteils ab, entstehen in der gesamten Struktur Biegemomente und Querkräfte. Man erkennt diesen Mechanismus am ganzen Bauwerk (Knicken des Bauwerkes, Verdrehung der Flügel). Im Druckbereich bilden sich senkrechte (Biegemomente überwiegen) oder schräge Risse (Biegemomente und Querkräfte liegen vor) mit ausgeknickter Bewehrung und plattenartigen Betonabplatzungen aus. Im Zugbereich sind Biegerisse sichtbar.

Der 3. Mechanismus tritt auf, wenn das Rutschmaterial eine hohe Plastizität aufweist *(Bild 24 C)*. In diesem Fall kann es zu einem Umfliessen des Bauwerks kommen. Das Rutschmaterial gelangt somit in den Abflussquerschnitt und bewirkt dort eine Querschnittsverringerung (Verringerung der prozessbezogenen Gebrauchstauglichkeit). Die Verringerung des Abflussquerschnittes kann eine Verlagerung der Bachachse bewirken, die wiederum zu einer Umgehung des Bauwerkes oder/und einem Unterschneiden des gegenüberliegenden Hanges führen kann. Letzteres begünstigt eine Rutschung des unterschnittenen Hanges (sackender Talzuschub).

3.5 Schadmechanismen infolge anderer geotechnischer Prozesse

3.5.1 Bruchmechanismen bei Flachgründungen

Einwirkungen auf das Bauwerk und den Untergrund im Sohlbereich können zu einem Versagen der Lagesicherheit des Bauwerkes und einem Versagen des Untergrundes aufgrund mechanischen oder hydraulischen Grundbruchs führen. Bei einem mechanischen Grundbruch ist die Standsicherheit der Gründung infolge der Ausbildung von Gleitflächen nicht mehr gegeben. Der Untergrund verformt sich durch die von der Last des Bauwerkes hervorgerufenen Spannungen entsprechend seiner Zusammendrückbarkeit und Scherfestigkeit. Mit zunehmender Last bilden sich progressiv fortschreitende Gleitflächen aus.

Wird der Untergrund unter einem Sperrenbauwerk durchströmt, ergibt sich eine Abnahme der Tragfähigkeit im Sohlbereich durch die auftretenden Strömungskräfte. Wird der Untergrund infolge einer Zunahme von Porenwasserdrücken instabil, liegt ein hydraulischer Grundbruch vor. Der Erosionsbruch, eine häufig auftretende Form des hydraulischen Grundbruchs, kann an Sperren zu einer Unterströmung führen. Eine vollständige Unterströmung bildet sich meist nur bei einer Kombination von mehreren Schadmechanismen aus. Die Unterströmung von Querwerken hängt massgeblich von der Kolkbildung ab. Durch das Zusammenwachsen eines unter- und oberwasserseitigen Kolkes in Zusammenhang mit einem Erosionsbruch bildet sich eine durchgehende Stromröhre aus (Piping). Als Folge der inneren Erosion kommt es zu einer Aufweitung der Stromröhre, was soweit führen kann, das der gesamte Abfluss unter der Sperre durchfliesst *(Bild 26)*.

Eine wichtige Voraussetzung für die Standsicherheit des Bauwerks bei Eintritt dieses Schadmechanismus ist eine tragfähige Einbindung der Sperre in den Flanken, da es sonst zu einem Bauwerksversagen auf Kippen kommt. Eine Unterströmung wird durch zu geringe Fundierungstiefen oder fehlende Dichtschirme begünstigt. Bei einer ausgebildeten Unterströmung ist die prozessbezogene Gebrauchstauglichkeit trotz beschränkter Standsicherheit des Bauwerkes nicht mehr gegeben. Für die innere Standsicherheit stellen diese Mechanismen eine aufgezwungene Be-

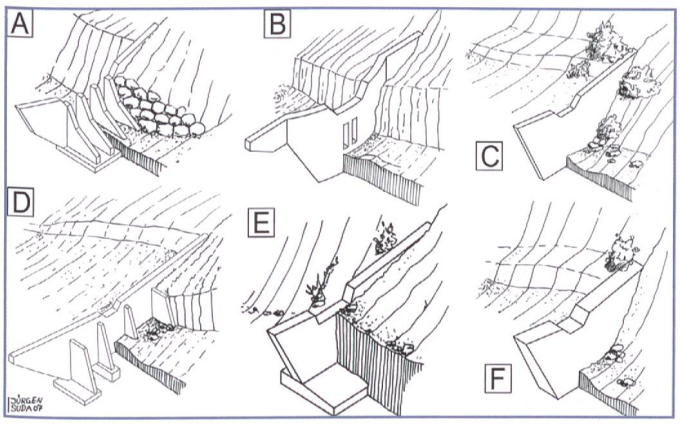

Bild 29. Repräsentative Beispiele für statische Systeme: (A) Massenaktives Tragwerk; (B) Gewölbesperre; (C) einfache Plattensperre; (D) Pfeilerplattensperre; (E) Winkelstützmauer; (F) Gewölbesperre.

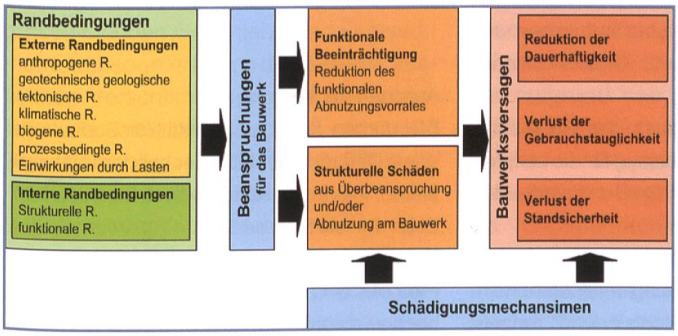

Bild 30. Zusammenhang zwischen Randbedingungen, Schadmechanismen, Schäden und einem Bauwerksversagen.

Schädigungsmechanismen		Verlust des Sohlwiderstandes	Verlust des Flankenwiderstandes	Umgehung	Hangdruck, Hangbewegung	Mech., hydr. Grundbruch	Bauwerksbewegung, Starrkörper	Bauwerksverformungen	Überlastfall (Murstoß, Sturzprozesse)
Statisches System	Massenaktive Tragwerke	1	1	1	2	1	1	1	1
	Gewölbesperren	2	3	3	3	2	1	3	2
	Einfache Plattensperren	3	3	3	3	3	1	3	3
	Pfeilerplattensperren	1	1	1	2	1	1	1	1
	Winkelstützmauern	2	1	1	2	1	1	2	2
	Gewichtsmauern	3	2	2	2	3	2	1	1

Tabelle 1. Auswirkungen von ausgewählten Schadensmechanismen auf die Standsicherheit in Abhängigkeit des statischen Systems: 1=gering, 2=mittel, 3=hoch.

Schadmechansimus	Konstruktive Vorkehrungen
Verlust des Sohlwiderstandes	Vorfeldsicherungen (Tosbecken, Sohlpflasterung) ausreichende Einbindung des Fundamentes in der Sohle
Verlust des Flankenwiderstandes/ Umgehung	ausreichende Einbindung der seitlichen Flügel in die Talflanken Anzug der Flügel an der Oberseite mind. 20% Erosionsschutzmaßnahmen in den Hängen [1]
Hydroabrasion	Panzerung der angeströmten Teile mit Kronensteinen oder Stahlblechen [1] [6] [3]
Abtrag von Bauwerksteilen	Ausreichende statische Dimensionierung Panzerung von hochbeanspruchten Teilen (Kronensteine, Stahlbleche)
Durchfeuchtung	Verwendung von WU-Beton Wasserseitige Abdichtung aller Fugen durch Fugenbänder
Verklausung	Freihaltung des Abflußquerschnittes durch regelmäßige Pflegemaßnahmen [10]
Fehlende Verlandung	Künstliche Verfüllug des Verlandungsraumes
Fehlender Retentionsraum	Regelmäßige Räumung des Retentionsbeckens
Hangruck	Verwendung von Hangdrucktypen [1] [7] (z.B. Verschiebbare Sperrenflügel)
Mechanischer Grundbruch	Geotechnische Bemessung, möglichst große Sohlfläche
Hydraulischer Grundbruch/Unterströmung	Anordnung von Dichtschirmen im Sohlbereich, Sickerwegverlängerung

Tabelle 2. Konstruktive Vorkehrung gegen prozessbezogene Schadensmechanismen an Wildbachsperren.

anspruchung (Zwang) durch die Bauwerksbewegungen dar. Bei lokalem Überschreiten der Zugfestigkeit kommt es an Stahlbetonbauwerken zur Ausbildung von Setzungsrissen (Zwangsrisse).

3.2.5 Bauwerksbewegungen

Die Bewegung eines Sperrenbauwerkes besteht aus dem Anteil der Starrkörperbewegung (Translation und Rotation) und jenem der Verformung. Um die Gesamtbewegung exakt zu beschreiben, wird sie in die Komponenten der Setzung (vertikale Translation), der Horizontalverschiebung (horizontale Translation), der Schiefstellung (Kantung, Rotation) und der Durchbiegung (Verformung) zerlegt. Der Begriff Setzung umfasst somit die Summe der lotrechten Komponenten der Bewegung. «Ob sich eine Konstruktion bei einer Bewegung nur verformt, ob sie nur eine Starrkörperbewegung ausführt oder ob beide Bewegungsanteile vorliegen, hängt von der Steifigkeit der Konstruktion, den Untergrundverhältnissen und der Bewegungsursache ab.» ([9] 304).

Laut Pregl [9] können die Ursachen von Bauwerksbewegungen aus Untergrundbewegungen und/oder Belastungen resultieren: Bei reinen Starrkörperbewegungen kommt es zu Schrägstellungen und/oder Setzungen des gesamten Bauwerkes (Verlust der äusseren Standsicherheit). Ist die Bauwerksbewegung mit einer Verformung verbunden, resultieren daraus innere Beanspruchungen (Zwänge) an das Bauwerk. Bei Überschreiten der Materialwiderstände treten Brüche in der Konstruktion auf. Bei Bauwerken aus Konstruktionsbeton führen Bauwerksverformungen in der Regel zu Rissbildungen (Setzungsrisse).

3.6 Einfluss des Bauwerkstyps (statisches System)

Wie weit die zuvor beschriebenen Mechanismen in der Lage sind, das Bauwerk zu schädigen, hängt neben der Intensität und Häufigkeit des Auftretens der Prozesse von der Konstruktion und dem statischen System des Sperrenbauwerks ab. Dabei sind die aktivierbaren geotechnischen Widerstände und die Fähigkeit des Bauwerks, Lasten umzulagern, die wichtigsten Beurteilungskriterien.

Die statischen Systeme lassen sich aufgrund der Mobilisierbarkeit von geotechnischen Widerständen einteilen *(Bild 28)*. Horizontalen Einwirkungen wie Erd- und Wasserdrücken oder Murstössen können als Widerstände neben dem Eigengewicht und der Form des Bauwerks geotechnische Widerstände in der Sohle und den Flanken gegenüberstehen. Ein Sperrenbauwerk kann die Einwirkungen primär über die Bauwerkssohle (Typ A), die seitlichen Flanken (Typ C) oder aufgeteilt auf beide Widerstände (Typ B) abtragen.

In *Tabelle 1* ist die Empfindlichkeit hinsichtlich des Verlusts der Tragfähigkeit der wichtigsten statischen Systeme von Massivbauwerken in Abhängigkeit von verschiedenen Schadmechanismen dargestellt.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wildbachsperren werden durch komplexe Naturprozesse beansprucht. Diese Prozesse können aus dem Umgebungsklima, dem geologischen Umfeld oder aus dem Wildbach ihren Ursprung haben. Neben diesen Prozessen hängt die Entwicklung des Zustandes dieser Bauwerke während ihrer Lebensdauer auch von menschlichen Einflüssen ab (anthropogene Prozesse). Aus der Summe dieser Prozesse lassen sich Randbedingungen für die Zustandsentwicklung des Bauwerkes ableiten. Diesen Randbedingungen kann man Schädigungsmechanismen zuordnen, aus denen konkrete Bauwerksschäden resultieren können. Diese Schäden können zu einer

Reduktion der Dauerhaftigkeit, zu einem Verlust der Standsicherheit und zu einem Verlust der Gebrauchstauglichkeit führen *(Bild 30)*.

Durch eine systematische Berücksichtigung der möglichen Schadensmechanismen bei Design, Konstruktion und bei der Bemessung von Wildbachsperren sowie durch die laufende Überwachung und Erhaltung können Schäden oder dem Versagen der Bauwerke wirksam vorgebeugt werden. Unter diesen Voraussetzungen kann die Lebensdauer von Schutzbauwerken wesentlich erhöht werden. Nach Zeller/Röthlisberger [14] kann man bei ordnungsgemäss gebauten und erhaltenen Bauwerken aus Konstruktionsbeton von einer Lebensdauer über 100 Jahre ausgehen. In der Praxis haben sich die in *Tabelle 2* zusammengefassten konstruktiven Vorkehrungen zur Reduktion der Auswikung oder der Wahrscheinlichkeit des Auftretends der einzelnen Schadmechanismen bewährt.

Literatur

Bergmeister, K.; Suda, J.; Hübl, J.; Rudolf-Miklau, F. (2008): Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren, In: Bergmeister, K.; Wörner J.-D. (Hrsg): Betonkalender 2008. Berlin: Ernst und Sohn

DIN (2003): DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung, Ausgabe 2003–06.

Helbig, U.; Horlacher, H.; Schnutterer, C.; Engler, T. (2005): Möglichkeiten zur Erhöhung der Festigkeit abrasionsbeanspruchter Betonoberflächen bei Wasserbaulichen Anlagen. Die Bautechnik 82–12, 869–877.

Hübl, J.; Holub, M; Ganahl, E.; Moser, M.; Wehrmann, H. (2005): Checkdam – Evaluierung offener Wildbachsperren unter Lastannahme, IAN Report 69. Im Auftrag des BMLFUW (unveröffentlicht). Wien: Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur.

Institut für Alpine Naturgefahren (IAN) – Archiv; Universität für Bodenkultur, Wien.

Jacobs, F.; Winkler, K.; Hunkeler, F.; Volkhart, P. (2001): Betonabrasion im Wasserbau – Grundlagen, Feldversuche, Empfehlungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Zürich: Eigenverlag.

Ofner, G. (1977): Schadensursache: Talzuschub. Wildbach- und Lawinenverbau Jg. 41 Heft 1, S.39–42.

ONR 24800 (2007) – Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffsbestimmungen und Klassifizierungen (Entwurf), Österreichisches Normungsinstitut.

Pregl, O. (1999): Handbuch der Geotechnik – Erd- und Grundbau I – Auszug für die Lehrveranstaltung. Wien: Institut für Geotechnik, Universität für Bodenkultur.

Pichler, A.; Stör, D. (2007): Ein Konzept zur Überwachung und Betreuung der Wildbacheinzugsgebiete in Tirol. In: Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 155, S. 238–245.

Rudolf-Miklau, F.; Agerer, H. (2007): Lebenszyklusbezogenes Management für Schutzmassnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung: Strategische und praktische Dimension. In: Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 155, 71 Jahrgang, Juni 2007.

Rudolf-Miklau, F.; Suda, J.; Sicher P. (2007): Erhaltungsmanagement der Wildbachverbauung. In: Bautechnik (in Vorbereitung), Berlin: Ernst und Sohn.

Suda, J.; Sicher. P.; Lambrecht, D. (2007): Zustandserfassung und -bewertung von Schutzbauwerken der Wildbachverbauung – Teil 1 – Schädigungsmechanismen, Bauwerkserhaltung. Schriftenreihe des Departments für Bautechnik + Naturgefahren, Band 15. Wien: Eigenverlag (im Auftrag des Lebensministeriums).

Suda, J.; Hübl, J. (2007): Schäden und Schadensmechanismen an Schutzbauwerken der Wildbachverbauung. In: Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 155, S. 56–83.

Zeller, J.; Röthlisberger, G. (1987): Lebensdauer von Holzsperren am Beispiel der Gamser Wildbäche. Birmensdorf: Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

Anschrift der Verfasser

DDI *Jürgen Suda,* Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Peter Jordan Strasse 82, A-1190 Wien
Tel. (+43 1) 47654 5256
Fax (+43 1) 47654 5299
juergen.suda@boku.ac.at
www.baunat.boku.ac.at/486.html

DI Dr. *Florian Rudolf-Miklau*
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/5, Wildbach- und Lawinenverbauung
A-1030 Wien, Marxergasse 2
Tel. +43 1 71 100 7333
Fax +43 1 71 100 7399
florian.rudolf-miklau@lebensministerium.at
www.lebensministerium.at/forst

Die nächste Ausgabe der Fachzeitschrift «Wasser Energie Luft» erscheint am Donnerstag, 19. Juni 2008.