Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 127 (2001)
Heft: 41: Werkstoff Holz

Artikel: Holz wieder entdeckt: Holzkonstruktionen im Wildbachverbau
Autor: Frei, Martin / Böll, Albert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-80220

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: 16.07.2025

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

Martin Frei, Albert Böll

Wildbäche als Gefahr
Wildbäche sind vielerorts eine ernsthafte Bedrohung für Siedlungen, Verkehrswege und Kulturland, insbesondere in den Alpen und Voralpen. Bezeichnend für solche Gerinne ist das rasche Anschwellen bei starken Regenfällen und die Umlagerung grosser Geschiebemengen. In den steilen Abschnitten herrschen Sohlen- und Ufererosion vor, in den flachen Bereichen dominiert die Ablagerung von Geschiebe. Zudem sind die Bacheinhänge häufig von Erosions- und Rutschungsprozessen geprägt. Zum Schutz vor den Auswirkungen eines hochwasserführenden Wildbaches wird unter anderem versucht, die Energie des abfliessenden Wassers zu reduzieren und damit die gefährliche Sohlen- und Ufererosion sowie den Geschiebetransport einzudämmen. Dies kann erreicht werden, indem das Gefälle des Gerinnes mit Wildbachsperren (Querwerken) verkleinert wird. Solche Querwerke können aus Blocksteinen, Holz, Beton, Stahlbeton oder Drahtsteinkörben gebaut sein.

Holz wieder entdeckt

Holzkonstruktionen im Wildbachverbau

Im Wildbachverbau wird wieder häufig Holz eingesetzt. Dieser Werkstoff lässt sich nicht nur leicht bearbeiten, sondern hat auch gute Festigkeitseigenschaften. Über das Langzeitverhalten von Holzkonstruktionen im Wildbachverbau ist allerdings wenig bekannt.

Das Holz erlebt im Wildbachverbau derzeit wieder einen Aufschwung. Früher wurde für Bachverbauungen bei Werken mit einer Nutzhöhe von 3 bis 4 Metern sehr häufig Holz eingesetzt. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts wurde Holz aber in vielen Bereichen zunehmend durch Beton verdrängt. Kenntnisse über den Bau von Holzsperren und handwerkliche Erfahrungen gingen dadurch im Laufe der Jahrzehnte verloren. Verschiedene Gründe führten zur Wiederentdeckung des Holzes für konstruktive Zwecke im Bachverbau. Einerseits verlangt das neue Waldgesetz für den forstlichen Bachverbau möglichst naturnahe Methoden. Andererseits wurden die Mittel der öffentlichen Hand knapp. Nicht zuletzt dürfte auch die verhältnismässig gute Integration von Holzverbauungen in die Landschaft zu einer vermehrten Verwendung von Holz im Wildbachverbau beitragen.

Fest und leicht

Holz weist im Vergleich zu anderen Baustoffen entscheidende Vorteile auf. Es kann meist direkt beim Verbauungsort bereitgestellt werden und ist einfach zu bearbeiten. Insbesondere verfügt es über sehr gute mechanische Eigenschaften: Es ist leicht und besitzt dennoch eine hohe Festigkeit. Entscheidenden Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften von Holz hat die Raumdichte r_u (kg/m³). Enge Jahrringe oder ein hoher Spätholzanteil erhöhen die Dichte und damit die Festigkeit. Wuchsanomalien wie Äste oder Risse setzen die Festigkeit herab. Zudem verringert sich die Festigkeit auch mit zunehmender Holzfeuchte, weil durch die Feuchtigkeitsaufnahme der Abstand zwischen den zellwandbildenden Molekülen vergrössert wird, was zur Abnahme der zwischenmolekularen Bindungskräfte führt. Innerhalb der gleichen Baumart lassen sich bezüglich der Raumdichte und den davon abhängigen Festigkeitswerten grosse Streuungen feststellen. Entsprechend wurden in der SIA Holzbaunorm 164 aus Sicherheitsgründen die zulässigen Spannungen im Vergleich zu den ermittelten Bruchfestigkeiten bis zu einem Faktor 10 reduziert. In Anlehnung an diese Norm wird empfohlen, bei Bemessungsaufgaben im Wildbachverbau für Nadelrundholz eine zulässige Spannung von $\sigma_{adm} = 7\,N/mm^2$ einzusetzen. Die mittlere Biegebruchspannung von fehlerfreiem, lufttrockenen Probekörpern aus Nadelholz liegt bei $70\,N/mm^2$.

Wasser gegen die biologische Holzzersetzung

Die grösste Gefährdung von Holzkonstruktionen ist nebst mechanischen und klimatischen Einflüssen die biologische Holzzersetzung. Wirtschaftlich den bedeutendsten Schaden verursacht die äusserst artenreiche Gruppe der saproben Pilze (Pilze die totes Holz abbauen). Innerhalb dieser unterscheidet man aufgrund der Abbaustrategien und des bevorzugten Substrates zwischen Braun-, Weiss- und Moderfäuleerregern. Die Braunfäulepilze greifen vor allem die im Bachverbau häufig eingesetzten Nadelhölzer an. Sie bauen die Zellulose im Holz ab, was zu einer drastischen Reduktion der Dimensionsstabilität führt. Weissfäulepilze hingegen kommen vor allem auf Laubhölzern vor und sind demnach an Bachverbauungen seltener anzutreffen. Moderfäulen sind bis heute schwer einzuordnen. Sie besitzen sowohl Eigenschaften von Braunfäulen als auch von Weissfäulen. Nadelholz ist im Allgemeinen resistenter gegen diese Art von Fäulen als Laubholz. Zudem sind sie in der Anfangsphase der Zersetzung kaum von Auge wahrnehmbar und werden somit meist erst zu spät entdeckt. Zudem besitzen diese Pilze eine sehr grosse Feuchtetoleranz, was ihnen erlaubt auch in stark feuchtem Holz zu wachsen.

Die entscheidenden Faktoren im Kampf gegen eine Zersetzung durch Pilze sind einerseits die Widerstandskraft des Holzes selbst, aber auch die Lebensbedingungen für die Pilze am Werkstandort. Der ständige Wasserkontakt etwa hindert die Pilze am Wachsen, weil zu wenig Sauerstoff vorhanden ist. Zudem führt das Wasser zu Kalkablagerungen, die zu einer Schutzschicht auf dem Holz aggregieren und auf diese Weise weiteren Organismen den Zutritt verweigern.

Echtes Handwerk

Die Lebensdauer von Wildbachverbauungen aus Holz ist stark abhängig von der Holzart und einer sorgfältigen Bauausführung. Am häufigsten eingesetzt werden Fichten und Tannen. Im ungünstigsten Fall kann für Verbauungen aus Tannen- oder Fichtenholz – gemäss Erfahrungswerten – mit einer Lebensdauer von rund 30 Jahren gerechnet werden. Es gibt jedoch auch einzelne Konstruktionen, welche über 90 Jahre alt und immer noch funktionstüchtig sind. Eine höhere Lebensdauer erreichen Konstruktionen, welche aus dem Kernholz von Lärche oder Föhre sowie aus Eiche, Robinie oder Edelkastanie gebaut werden. Allerdings sind Verbauungen aus Edellaubhölzern wegen der beschränkten Verfügbarkeit dieser Holzarten sowie aus konstruktiven Gründen kaum verbreitet. Die Edelkastanie etwa ist schwierig zu bearbeiten, weil sie meist krumm gewachsen ist und zum Nageln jeweils vorgebohrt werden muss. Zudem sind grosse Dimensionen selten erhältlich. Eine Sonderstellung nimmt die Eiche ein. Sie wäre zwar aufgrund ihres dauerhaften Holzes ideal für den Verbau, wächst aber nur im Mittelland. Dies führt zu zusätzlichen Transportkosten. Eichenholz wird deshalb nur an den speziell heiklen Stellen eingesetzt, etwa im Bereich der Überfallkante und der Abflusssektion. Vor allem Eichenholz, aber auch andere Baumarten, können bei ständigem Wasserkontakt ein sehr hohes Alter erreichen.

Von entscheidender Bedeutung für die Verlängerung der Lebensdauer ist handwerkliches Geschick und Erfahrung in der Bauausführung. In einigen Gegenden der Schweiz war anfangs des 20. Jahrhunderts ein grosser Erfahrungsschatz über das Bauen von zweiwandigen Holzkastensperren vorhanden. Im Gebiet der Gamser Wildbäche SG wurden sehr kunstvolle Sperrentreppen aus Fichten- und Tannenholz gebaut, welche Ausfachungen und Längswerke aus Blocksteinen hatten (Bild 1). Solche sorgfältig konstruierten Verbauungen können ein Alter von über 90 Jahren erreichen (Bild 2). Die Lebensdauer kann zusätzlich verlängert werden durch einen zweckmässigen Unterhalt. So lassen sich durch Kontrollgänge, welche periodisch und nach grösseren Niederschlagsereignissen stattfinden, Schäden und Schwachstellen erkennen und beheben, solange sie noch kein grösseres Ausmass angenommen haben. Verschiedene Beobachtungen über den Zustand von Sperren zeigen, dass beispielsweise bei den Sperrenflügeln früher Schäden auftreten als am Sperrenhauptkörper. Durch rechtzeitige Erneuerung von einzelnen Werksteilen kann die Funktionstauglichkeit der Holzsperre über längere Zeit aufrecht erhalten werden.

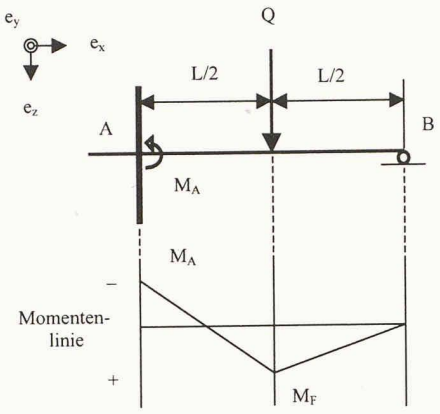
Ungewissheit über das Langzeitverhalten

Es fehlen weitgehend wissenschaftlich fundierte Daten, damit Holz mit anderen Baustoffen verglichen werden kann. Unerlässlich sind Angaben über die Mindestnutzungsdauer und über die Unterhaltskosten. Initiiert durch Dr. Peter Greminger (Buwal) wurden an der Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen der WSL verschiedene Projekte lanciert. Unterstützt werden diese sowohl von der Praxis durch Fritz Ammann (Forstunternehmung Bollingen) als auch von der ETH Zürich im Bereich Mykologie (Prof. O. Holdenrieder) und Forstlichen Ingenieurwesen (Prof. H.-R. Heinimann). Untersucht wird insbesondere die Dynamik der Holzzersetzung und der Tragsicherheit in Abhängigkeit des Sperrenalters. Neben der Erfassung der an Wildbachverbauungen vorkommenden Fäuleerregern und der Bestimmung der Geschwindigkeit des Holzabbaus bei den wichtigsten Arten, umfasst die Fragestellung auch die Analyse von mechanischen Schwachstellen sowie das Verteilungsmuster von Fäulen innerhalb einzelner Bauwerke.

Im Speziellen wurden Biegebruchversuche an einer 60 Jahre alten Holzsperre aus Fichtenrundholz durchgeführt, welche aber trotz ihres Alters äusserlich noch

1
Sperrentreppe bei der Fertigstellung 1905 im Gebiet von Gams SG. (Bild aus «Gamser Wildbäche»)

2
Sperre aus Fichten- und Tannenholz im Gebiet der Gamser Wildbäche. Das Alter der Sperre beträgt über 90 Jahre

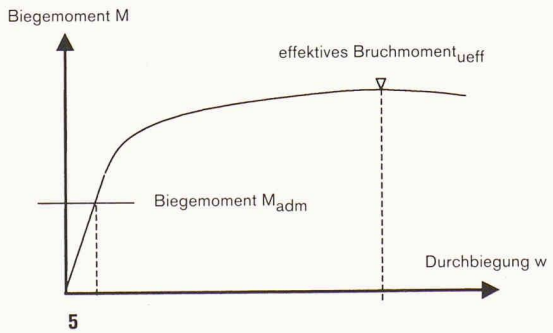


3

Statisches Modell eines in A eingespannten und in B frei drehbar gelagerten Balkens. In Balkenmitte greift eine Einzelkraft Q an

4

Biegebruchversuch an einer einwandigen Holzsperre. Das Rundholz ist in Balkenmitte und bei der rechten Einbindung gebrochen (in Fliessrichtung betrachtet). Als Kraftquelle diente eine traktorbetrieben Seilwinde



5

Biegewiderstand an Rundholzbalken (schematisch)

weitgehend intakt war. Der Standort der Sperre war im Gruonbachtal bei Flüelen UR. In der Mitte eines Sperrenrundholzes wurde eine Seilstruppe befestigt. Die Krafteinleitung erfolgte mit Hilfe einer Seilspannanlage und einer manuell bedienten Zugvorrichtung. Die Belastung der Balken erfolgte bis zum Bruch. Dabei wurde die aufgewendete Kraft mit einer Kraftmessdose ermittelt, welche zwischen Zugvorrichtung und Verankerung eingebaut war. An fünf von sechs Balken erfolgte ein Biegebruchversuch. Die Schwachstelle war jeweils die seitliche Einbindung. Dies verwundert nicht, denn die seitliche Einbindung ist bekanntermassen die heikle Stelle einer Bachverbauung, befindet sie sich doch im Übergangsbereich zwischen Boden, Wasser und Luft. Diese Erklärung dürfte in vielen praktischen Fällen zutreffen. In verschiedenen Fällen könnte aber auch das statische System eine Rolle spielen. Wenn an einem Auflager von einer Einspannung – im Gegensatz zu einer frei drehbaren Auflagerung wie sie bei der Einbindung angenommen wird – ausgegangen wird, wird dort das Moment (Einspannmoment) grösser als das Biegemoment in Balkenmitte (Feldmoment) unter der in Balkenmitte einwirkenden Einzelkraft (Bild 3). Somit tritt unter homogenen Bedingungen (gleicher Querschnitt und gleiche Werkstoffkennwerte über die ganze Balkenlänge) in jedem Fall Bruch an der Einspannstelle ein. Wie weit diese Vermutung zutrifft und welchen Einfluss sie auf das Bruchverhalten von Sperrenrundhölzern hat, soll im Zuge von weiteren Versuchen an einwandigen Sperren genauer untersucht werden.

Mit einer weiteren Versuchsanordnung wurde im Gebiet Hirzel ZH an vier rund 50 Jahre alten, einwandigen Sperren aus Fichtenrundholz Biegebruchversuche durchgeführt (Bild 4). Für die Resultatauswertung wurde für das einzelne Rundholz der Grenzwert des Biegemoments beim Bruch (Bruchmoment Mu_{eff}) mit dem rechnerischen (elastischen) Biegewiderstand des zugehörigen Rundholzquerschnitts M_{adm} verglichen (Bild 5). Dieser Ansatz wurde gewählt, weil bei einer Belastung bis zum Bruch die Spannungs-Dehnungs-Kurve nur am Anfang der Belastung linear verläuft. Bei höheren Belastungen beginnt sich das Holz plastisch zu verformen und die Spannungs-Dehnungs-Kurve flacht sich ab. Die Untersuchung Hirzel ZH ergab, dass die effektiven Spannungen beim Versagen auf Biegung wesentlich höher waren als die zulässigen Spannungen nach SIA 164, obwohl die Sperre in einem schlechten Zustand war. Dies zeigt, dass Holzkonstruktionen bei der Bemessung nach derzeit gültiger Norm mit vergleichsweise hohen Sicherheitsfaktoren beaufschlagt sind und deshalb in dieser Hinsicht gegenüber Tragwerken aus Stahl oder Stahlbeton vermutlich benachteiligt werden.

Martin Frei, Dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen, 8903 Birmensdorf
Albert Böll, Dipl. Bauing. ETH und Dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen, 8903 Birmensdorf

Bemessung von Wildbachsperren aus Holz

Wildbachsperren werden entweder an den Flanken eingebunden, die sogenannt einwandigen Sperren, oder sie werden als Gewichtsmauern erstellt, wobei die seitliche Einbindung rechnerisch nicht berücksichtigt wird.

Einwandige Wildbachsperren werden in der Regel bis zu einer Höhe (H_s) von 2 bis 3 m gebaut (Bild 6). Als Bemessungsgrundlage dient das Modell des horizontalen Balkens, welcher von Flanke zu Flanke trägt. Die seitliche, ideelle Auflagerachse wird zu rund 0.5 m unterhalb des ursprünglichen Terrainverlaufs und als Leiteinwirkung der hydrostatische Wasserdruck unter der Wasserspiegelhöhe z angenommen. Dies führt zu Rundholzquerschnitten von rund 20 bis 35 cm Durchmesser.

Zweiwandige Holzkastensperren werden nur selten bemessen (Bild 7). Meistens ergibt sich eine genügende Sicherheit, wenn die Sperrenbreite an der Basis etwa der halben Sperrenhöhe H_s entspricht .

Literatur

1 A. Böll: Wildbach- und Hangverbau. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL). Nr. 343. 1997

2 A. Böll, W. Gerber, F. Graf, Ch. Rickli: Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL). Birmensdorf 1999

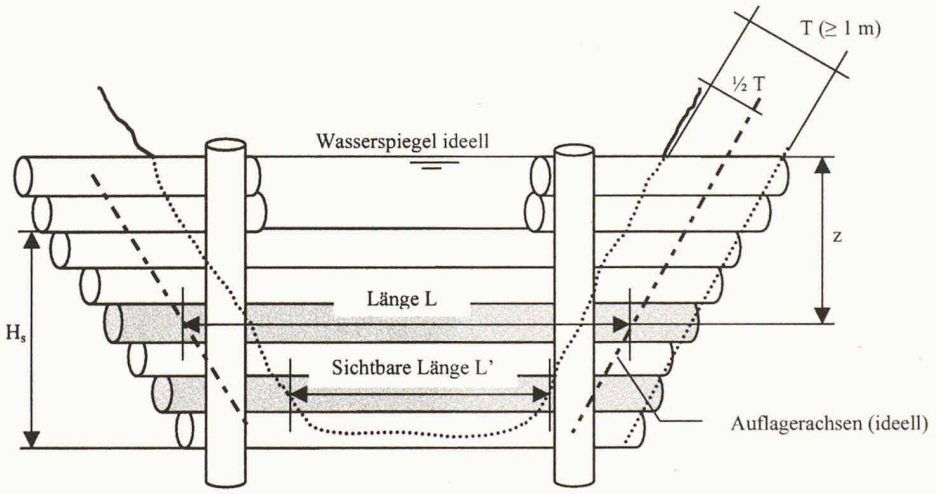
3 M. Frei: Analyse der Tragsicherheit von Wildbachsperren aus Holz. Diplomarbeit ETHZ, unveröffentlicht. Zürich 2001

4 F. Kollmann: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd.1, 2. Auflage. Berlin 1951

5 H.-W. Reinhardt: Ingenieurbaustoffe. Berlin 1973

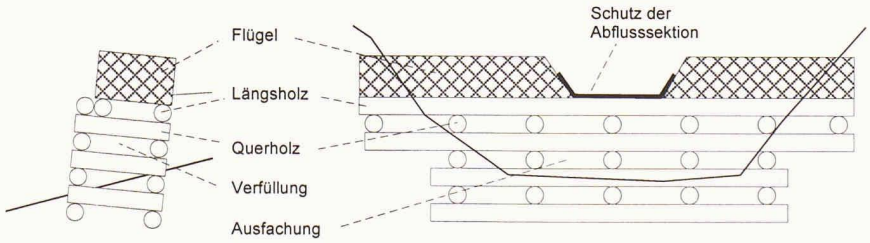
6 SIA (Hrsg.): SIA Norm 164 Holzbau. 1992

7 J. Zeller: Gamser Wildbäche. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL). Birmensdorf 1977



6

Einwandige Sperren bestehen aus Rundhölzern, welche seitlich mindestens einen Meter in die Flanken eingebunden und in der Regel miteinander vernagelt sind. Auf das oberste Rundholz werden beidseitig Sperrenflügel aufgesetzt. Diese Flügel bestehen in der Regel aus Holz und verhindern im Bereich der seitlichen Sperreneinbindung die Erosion



7

Zweiwandige Holzkastensperren wirken als Gewichtsmauern und bestehen aus miteinander vernagelten Längs- und Querhölzern sowie beidseitig aufgesetzten Sperrenflügeln. Sie sind mit Lockermaterial verfüllt. Die Räume zwischen den luftseitigen Längshölzern werden entweder mit Steinen oder mit Rundhölzern ausgefacht