

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 165 (2014)

Heft: 4

Artikel: Wildbachsperrren aus Fichte und Tanne : Festigkeit und Pilzbefall in den ersten Jahren

Autor: Rickli, Christian / Graf, Frank

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097565>

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: 02.05.2026

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

Wildbachsperren aus Fichte und Tanne: Festigkeit und Pilzbefall in den ersten Jahren

Christian Rickli Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Frank Graf WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)

Timber constructions in torrent control with Norway spruce and silver fir: wood quality and colonisation with decay fungi during the first years

Timber is widely used for protection measures in torrent control. However, life span of woody constructions such as timber check dams is limited due to fungal decay. Only sparse scientific information is available on the long-term behaviour of timber structures and the colonisation with decay fungi. Related to this, in practice a controversial discussion has been going on if either Norway spruce (*Picea abies*) or silver fir (*Abies alba*) is more enduring and if bark removal increases resistance against fungal decay. In order to go into this matter, a series of 15 timber check dams built in 1996/1997 has been monitored. The constructions were alternatively realised with Norway spruce and silver fir, half of them each with remaining and removed bark, respectively. The scientific investigations included the documentation of colonisation with rot fungi and the identification of decayed zones with a simple practical approach as well as based on drilling resistance. Colonisation by decay fungi started three years after construction (e.g. *Gloeophyllum sepiarium*), two years later first parts with reduced wood resistance were detected. The protection measures were still fully functional sixteen years after construction although decay was found on all check dams but two. Wood quality was markedly better in watered sections compared to the occasionally dry lateral abutment sections, without showing clear differences in decay between logs of Norway spruce and silver fir. However, both the practical approach and the drilling resistance measurement suggest more defects on logs without bark. Further investigations and sound statistical analysis are needed to confirm the observed trends.

Keywords: torrent control, log crib dam, timber structure, long-term behaviour, fungal decay
doi: 10.3188/szf.2014.0079

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail christian.rickli@wsl.ch

Holz wird verbreitet auch im Wildbachverbau eingesetzt. Das ist einerseits ökologisch und landschaftsschützerisch bedingt, andererseits ist der Baustoff Holz besonders geeignet an Orten mit schlechter Erschliessung sowie in kleinen und dauernd wasserführenden Gerinnen (Böll et al 1999). Die Lebensdauer von Holzwerken ist allerdings im Vergleich zu Stein oder Beton geringer, und besonders an wechselfeuchten Stellen wird im Laufe der Jahre die Tragsicherheit durch Holz abbauende Pilze herabgesetzt (Highley 1995). Der Zustand von Holzverbauungen muss deshalb in regelmässigen Abständen neu beurteilt werden, und konsequenter Unterhalt ist entscheidend (Böll 1997). Informationen zum Langzeitverhalten sind bereits bei Planung und Bau von Holzwerken zu berücksichtigen. Einfluss auf die Lebensdauer von Holzsperrern haben unter anderem die Standorteigenschaften (z.B. Höhenlage und Exposition), das Auftreten von geomorphologischen Prozessen wie Rutschbewegungen und Sedimenttransport, die Holzart sowie ver-

schiedene konstruktive Aspekte.¹ Zeller & Röthlisberger (1987) führten in den Gamser Wildbächen Zustandsinventuren an Holzbauwerken aus verschiedenen Zeitepochen durch. Sie stellten fest, dass nach 50 bis 60 Jahren ein Zustand erreicht war, der eine rasche Sperrenerneuerung erforderlich machte. Im Gegensatz dazu ergaben Bruchversuche an Rundhölzern von drei 60-jährigen Holzsperrern immer noch ausreichend hohe Tragsicherheiten, um den Beanspruchungen in einem Wildbach zu widerstehen (Noetzli et al 2002). Böll et al (1999) leiteten aus verschiedenen Erhebungen einen approximativen Zustandsverlauf von Holzsperrern über mehrere Jahrzehnte ab. Eine Untersuchung an neun Wildbachsperrern aus Holz (Noetzli 2002) ergab für die Sperrenflügel im Vergleich zum übrigen Sperrerkörper eine stärkere Besiedelung mit Fäulepilzen. Besonders zum Einfluss der Holzart und der Bauausführung

¹ RICKLI C (1997) Holzbauwerke im forstlichen Bachverbau. Proc FAN-Kurs 1997, Forstlicher Bachverbau, Stalden (OW). 20 p.

auf die Lebensdauer existieren jedoch nur wenige Untersuchungen, und seitens der Verbaupraxis gibt es nach wie vor offene Fragen. Im Winter 1996/1997 wurde im Kanton Nidwalden durch die Firma Schubiger AG in Hergiswil eine Sperrentreppe aus Holz gebaut, bei der die Eidgenössische Forschungsanstalt WSL in Bezug auf die Art und Anordnung der Werke Einfluss nehmen konnte. Ziel dieser Zusammenarbeit war die Dokumentation des zeitlichen Verlaufs der Holzfestigkeit sowie des Auftretens Holz abbauender Pilze. Im vorliegenden Artikel werden erste Auswertungen zum Holzzustand sowie zur Besiedlung der Wildbachsperren mit Fäulepilzen dargelegt.

Material und Methoden

Verbauung Steingraben

Zur Stabilisierung des Steingraben bei Hergiswil (Kanton Nidwalden) wurde im Winter 1996/1997 eine Sperrentreppe aus 15 Holzsperrern erstellt. Davon sind drei Sperren aus Fichtenholz in Rinde (*Picea abies*), vier aus Fichtenholz ohne Rinde sowie je vier Werke aus Tannenholz (*Abies alba*) in bzw. ohne Rinde. Die verschiedenen Sperrentypen sind in Bezug auf die Holzart und Entrindung jeweils abwechselungsweise angeordnet. Die Verbauung befindet sich auf 880 m ü. M. und ist nach Osten ausgerichtet. Der Steingraben mit einem Einzugsgebiet von 0.2 km² weist dank dem Verbau auch bei Starkniederschlä-

gen keine starke Geschiebeführung auf und ist aufgrund vernässter Flächen im Einzugsgebiet immer wasserführend. Bei den Sperren handelt es sich um zweiwandige Holzkasten mit Holzausfachung und Sperrenflügeln aus Drahtsteinkörben (Abbildung 1). Die Spannweiten betragen 6.0 bis 8.5 m, und die Nutzhöhen liegen zwischen 1.0 und 3.5 m. Zur Reduktion von Feinmaterialausschwemmungen wurde jeweils an der Kastenrückwand ein Geotextil angebracht. Die seitlichen Böschungen sind als Blocksatz ausgebildet, und die Bachufer sind mit Weisslerlen bepflanzt. Nach Abschluss der Bauarbeiten im Frühjahr 1997 erfolgten in Abständen von ein bis drei Jahren Erhebungen zum Gerinne und zum Werkzustand (qualitativ) sowie eine Inventur der Holz abbauenden Pilze. Im November 2010 wurde der Holzzustand der Sperren zudem mit Bohrwiderstandsmessungen (quantitativ) erfasst.

Besiedlung durch Pilze

Gleichzeitig mit der qualitativen Zustandserhebung wurden von Auge sichtbare Pilzfruchtkörper erfasst, insbesondere Basidiomyceten, welche den weitaus grössten Anteil an Fäuleerregern von Nadelholz (Fichte, Tanne) stellen. Von 1999 bis 2009 alle zwei Jahre sowie 2006, 2012 und 2013 wurden alle Sperren je einmal nach Pilzfruchtkörpern abgesehen. Von diesen wurden die Position an der Sperre gemäss Abbildung 2 notiert und, sofern bekannt, auch der Artname. Unbekannte Taxa wurden fotografiert oder makroskopisch beschrieben und für die Bestimmung mit Spezialliteratur ins Labor gebracht (Jülich 1984, Breitenbach & Kränzlin 1986a, 1986b). Einige Kollektionen (*Corticaceae*) waren steril und konnten nicht bestimmt werden. Für den Vergleich mit den Bohrwiderstandsmessungen, welche 2010 stattfanden, wurden aufgrund der sonst sehr spärlichen Fruchtkörperfunde nur das oberste Längsholz und für dieses die wichtigsten Fäuleerreger im Zeitraum 1999 bis 2009 berücksichtigt.

Qualitative Beurteilung der Holzfestigkeit

Die Holzfestigkeit wurde an allen Bauteilen in einem Abstand von etwa 0.5 m qualitativ beurteilt. Prüfgrösse war dabei die Eindringtiefe eines Schraubenziehers der Grösse Nr. 3, welcher parallel zum Faserverlauf in radialer Richtung mit einer Kraft von ungefähr 5 kg von Hand in den Holzkörper hineingedrückt wurde. Die Befunde mit reduzierter Festigkeit (Eindringtiefe >2 bis ≤10 mm) oder geringer Festigkeit (Eindringtiefe >10 mm) wurden den insgesamt sieben Zonen pro Sperre gemäss Abbildung 2 zugeordnet.

Erfassung des Holzzustandes mittels Bohrwiderstandsmessung

Im Herbst 2010 wurde der Holzzustand im Rahmen einer einmaligen Messkampagne mittels



Abb 1 Sperrentreppe Steingraben bei Hergiswil (NW) im November 2001 (links) und im November 2010 (rechts).

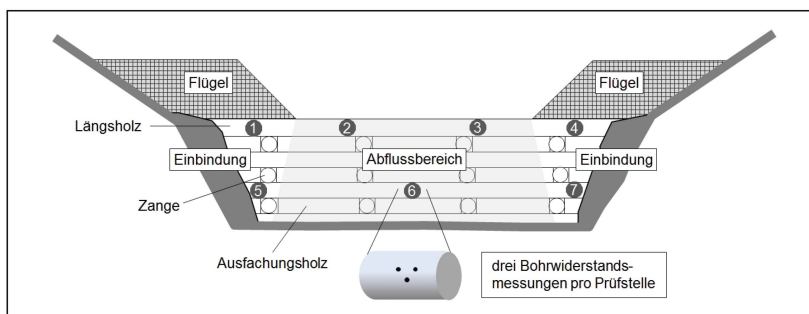


Abb 2 Aufbau einer Sperre und Versuchsanordnung. Die Befunde der qualitativen Beurteilung der Holzfestigkeit und der Bohrwiderstandsmessungen wie auch die Pilzfunde wurden den in der Grafik angegebenen Zonen 1 bis 7 zugeordnet.

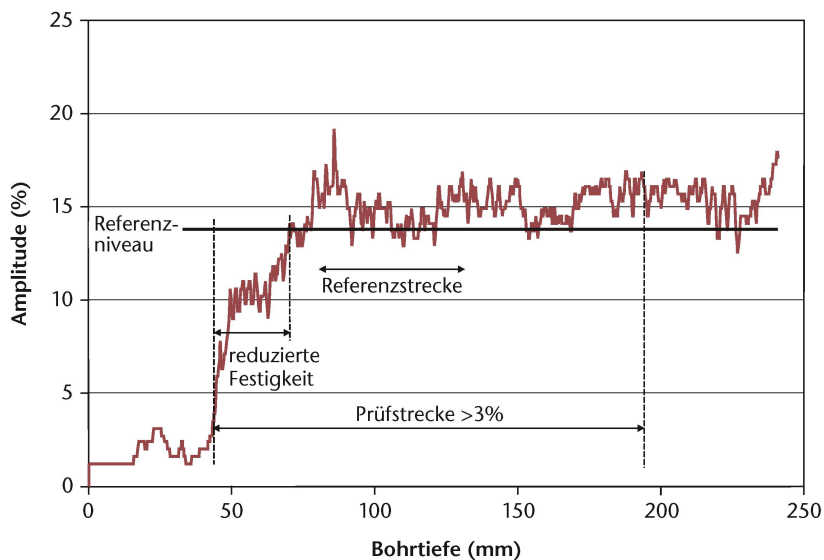


Abb 3 Auswertung der Bohrwiderstandsmessungen. Die Referenzstrecke für gesundes Holz wurde für dieses Beispiel von 80 bis 130 mm festgelegt.

Pilzart	Holzart und -behandlung				Fundort	Bemerkungen
	Tanne (<i>Abies alba</i>)		Fichte (<i>Picea abies</i>)			
	mit Rinde	ohne Rinde	mit Rinde	ohne Rinde		
<i>Armillaria cf. borealis</i>	1	3, 4		1, 2	L, Z	W ab 07
<i>Antrodia cf. serialis</i>	1, 3, 4	1	1	1, 3, 4	L	B ab 03
<i>Ascocoryne cf. sarcooides</i>	1	3	3, 4	3	Z	ab 01
<i>Dacrymyces stillatus</i>		4			L	99, 01
<i>Entoloma sp.</i>		4			L	E, 09
<i>Exidia cf. phytia</i>			1, 2		L	99, 01
<i>Gloeophyllum odoratum</i>				7	Z	B ab 2005
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>				1, 2, 4	L	B ab 99
Hallimasch-Rhizomorphen	1, 2			1	L	W ab 05
<i>Heterobasidion annosum</i> s.l.	1, 4				L	W (R) ab 05
<i>Micromphale foetidum</i>		4			L	E, 06
<i>Mycena</i> spp.	4	4	4		L	ab 05
<i>Omphalina</i> sp.				1	L	E, 01
<i>Physisporinus cf. vitreus</i>		1, 4	1	1, 3, 4	L	W ab 03
<i>Postia caesia</i>	1, 4			1	L, Z	B ab 03
<i>Schizophyllum commune</i>		4		4	L, Z	W 99
<i>Scutellinia scutellata</i>	1		3, 4, 5		L, Z	ab 01
<i>Stereum sanguinolentum</i>		4	4		Z	B ab 01
Total Arten	8	10	7	10		
Potenzielle Fäuleerreger	5	5	3	8		

Tab 1 Liste der gefundenen Pilzarten (1999 bis 2009). Die fett hervorgehobenen Fäuleerreger traten häufiger auf und wurden für die statistischen Auswertungen berücksichtigt. B: Braunfäule, W: Weissfäule, (R): Rotfäule; E: Fund eines einzelnen Fruchtkörpers; L: Längsholz, Z: Zange; 1–4: Zonen gemäss Abbildung 2; 99, 01, ..., 09: Jahr der Funde.

Bohrwiderstandsmessungen mit einem Resistographen erfasst (Resistograph® Typ 1410 der Firma Frank Rinn Distribution, Heidelberg/DE). Dieses Messgerät zeichnet den Stromverbrauch beim Einbohren einer dünnen Nadel in den Holzkörper über die Eindringtiefe auf. Der gemessene Wert korreliert stark mit der Holzdicke (Wang et al 2003). Der Bohrwiderstand wird als Amplitudenprozent der frei dre-

henden Bohrnadel (0%) zu undurchdringbarem Holz (100%) angegeben. Die Bohrtiefe betrug jeweils 20 cm. Mit dem Statistikprogramm R 3.0.1 (R Development Core Team 2013) wurde ein Auswerteprogramm erstellt, mit welchem die Bohrlänge mit reduzierter Holzfestigkeit ermittelt werden kann. Dazu wurde zunächst für jede Bohrkurve optisch, insbesondere aufgrund der Dichteunterschiede in den Jahrringen, ein Referenzniveau bestimmt, welches dem Kurvenverlauf im intakten Holz entspricht. Anschliessend wurden die Bereiche der Kurve festgelegt, welche deutlich unter diesem Referenzniveau liegen (Abbildung 3). Für die Auswertungen wurden nur Bohrstrecken mit reduziertem Widerstand von mehr als 10 mm berücksichtigt. Dieser Wert wird in der Folge mit B_{rW} bezeichnet. Die Prüfstellen (Zonen) am Sperrenkörper sind aus Abbildung 2 ersichtlich.

Statistische Auswertung

Neben Spearman-Korrelationen wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt mit der Zielvariablen «Reduzierter Bohrwiderstand» des obersten Längsholzes und den Haupteffekten «Zone» (Einbindung/Abflussbereich), «Holzart/Berindung» (Tanne/Fichte, in/ohne Rinde) und «Fäuletyp» (Braun-/Weissfäule). Die Zielvariable wurde nach Box & Cox (1964) transformiert. Zur Unterscheidung der Faktorstufen wurde das Verfahren der «Tukey Honest Significant Differences» verwendet.

Resultate

Zustand der Verbauung

Der Zustand der Verbauung hat sich seit der Fertigstellung nicht wesentlich verändert, und die Funktionstauglichkeit der Werke ist 16 Jahre nach dem Bau immer noch vollständig gewährleistet. Der Abfluss wurde jedoch bei allen Werken bereits kurz nach dem Bau infolge von Ablagerungen auf den Hinterfüllungen seitlich so abgelenkt, dass die Abflussektionen sodann nicht mehr gleichmässig überflossen wurden. Bei den Sperren ohne Entrindung fiel bereits innerhalb der ersten fünf Jahre nach dem Bau der grösste Teil der Rinde ab, und der berindete Anteil betrug 2003 meist weniger als 5%. Zwischen Fichte und Tanne konnte in dieser Hinsicht kein Unterschied festgestellt werden.

Besiedlung durch Pilze

Im Zeitraum 1999 bis 2009 konnten 18 verschiedene Pilzarten unterschieden werden (Tabelle 1, Abbildung 4). Bereits drei Jahre nach Bauabschluss wurden erste Fäulepilze entdeckt (*Schizophyllum commune*, Gemeiner Spaltblättling; *Gloeophyllum sepiarium*, Zaunblättling). In den nachfolgenden Jahren kamen weitere Weiss- (z.B. *Physisporinus cf. vitreus*, *Armillaria cf. borealis*) und Braunfäulepilze (z.B. *Pos-*



Abb 4 Funde (1999 bis 2013) von Holz abbauenden Pilzen an den untersuchten Holzsperrern: a) *Armillaria cf. borealis*; b) *Postia caesia*; c) *Gloeophyllum sepiarium* (links); d) *Gloeophyllum odoratum*.

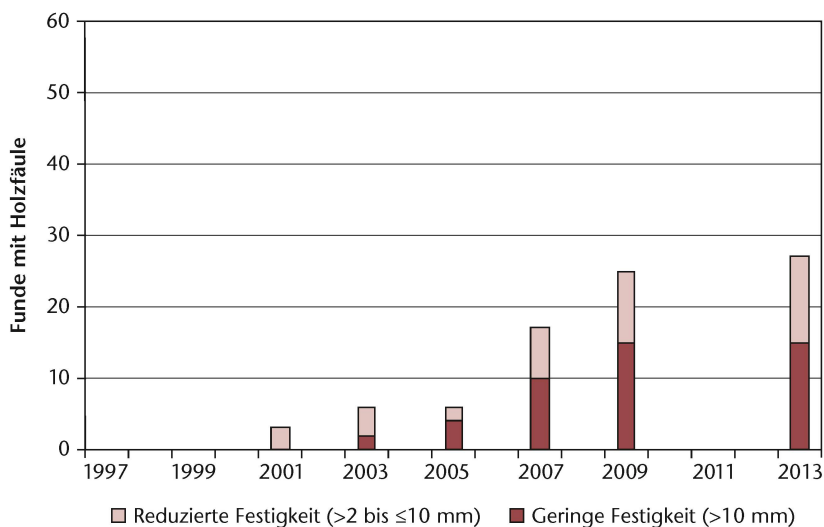


Abb 5 Anzahl Befunde mit Holzfäule (1997 bis 2013) am obersten Längsholz der 15 Holzsperrern, beurteilt mit dem qualitativen Verfahren.

Zone	Holzart und -behandlung							
	Fichte (<i>Picea abies</i>)			Tanne (<i>Abies alba</i>)			Fichte und Tanne	
	mit Rinde	ohne Rinde	Total	mit Rinde	ohne Rinde	Total	Total	%
1	2	5	7	4	3	7	14	35
2	0	1	1	0	0	0	1	2
3	0	3	3	2	3	5	8	20
4	4	4	8	3	4	7	15	38
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	2	0	0	0	2	5
Total	7	14	21	9	10	19	40	100
%	18	33	51	23	26	49	100	

Tab 2 Qualitative Zustandserhebung der Holzsperrern im Jahr 2013: Anzahl Befunde mit reduzierter (Eindringtiefe Schraubenzieher >2 bis ≤10 mm) oder geringer Holzfestigkeit (Eindringtiefe Schraubenzieher >10 mm) nach Zonen, Holzart und Entrindung (Zonen gemäss Abbildung 2).

tia caesia, *Antrodia cf. serialis*) dazu, insbesondere im Einbindungsbereich des obersten Längsholzes. Mit *Gloeophyllum odoratum* und *Stereum sanguinolentum* wurden zwei weitere Braunfäulen exklusiv auf Zangen gefunden. Am meisten Fäuleerreger wurden auf Fichte ohne, am wenigsten auf Fichte in Rinde gefunden.

Holzfestigkeit, qualitatives Verfahren

Erste Anzeichen von Holzabbau durch Pilze wurden mit dem qualitativen Verfahren vier Jahre nach Bauabschluss festgestellt (Abbildung 5). In den folgenden Jahren nahm die Anzahl der Fundstellen mit reduzierter Holzfestigkeit zu, und ab 2003 fanden sich erste Bereiche mit geringer Festigkeit. Bei der Erhebung im August 2013 wurden von den insgesamt 60 Zonen der obersten Längshölzer deren 12 mit reduzierter und 15 mit geringer Festigkeit registriert.

Bei der Erhebung im Sommer 2013 waren die Einbindungen mit 78% aller Befunde mit reduzierter Holzfestigkeit stärker betroffen als der ständig benetzte Abflussbereich (Abbildung 2 und Tabelle 2). Im Weiteren befanden sich 95% der Befunde an Bauteilen des oberen Sperrbereiches und nur 5% am Sperrfuss. Werke aus Fichtenholz (21 Befunde) sind nur wenig stärker betroffen als solche aus Tannenholz (19 Befunde). Sperrern aus entrindetem Holz sind mit 24 Befunden stärker betroffen als Sperrern mit Holz in Rinde (16 Befunde). Mit Ausnahme von zwei Sperrern waren im Sommer 2013 an allen Bauteilen Anzeichen von Holzfäule zu erkennen.

Bohrwiderstandsmessung

In Tabelle 3 sind die Bohrstrecken mit reduziertem Widerstand ($B_{rW} > 10$ mm) im obersten Längsholz den dort gefundenen Fäulepilzen gegenübergestellt. Insgesamt 29 von total 315 Messungen waren durch Fäule betroffen. Dabei wurde nur an einer Stelle kein Pilzfruchtkörper gefunden. Von den durch Fäule betroffenen Messungen befanden sich sechs in der Abflusssektion und 23 an den Einbindungen. Im Abflussbereich wurden ausschliesslich *Antrodia cf. serialis* oder *Physisporinus cf. vitreus* gefunden sowie an einer Fundstelle Hallimasch-Rhizomorphen (*Armillaria* sp.). Auch an den Einbindungen waren diese drei Arten vorhanden sowie zusätzlich *Armillaria cf. borealis*, *Gloeophyllum sepiarium*, *Heterobasidion annosum* s.l. und *Schizophyllum commune*. Für die grösste Fäuleausbreitung sorgte *G. sepiarium* mit einem B_{rW} von 86.7 mm in Zone 4 einer Fichtensperre ohne Rinde. An den zwölf Fundstellen (5 Sperrern) von *A. cf. serialis* resultierte eine gesamte Länge von $B_{rW} = 342.1$ mm (Mittelwert 28.5 ± 10.3 mm). *Physisporinus cf. vitreus* wurde an sechs Stellen (4 Sperrern) gefunden, mit einer Gesamtlänge von 105.5 mm (Mittelwert 17.6 ± 7.2 mm), und *G. sepiarium* an drei Stellen auf zwei Sperrern (Gesamtlänge B_{rW} 162.8 mm; Mittelwert 54.3 ± 25.2 mm). An den Stellen mit

Sperre	Holzart	Rinde	Zone	Bohrstrecke mit reduziertem Widerstand (mm)	Pilzart
867	Tanne	ohne	1	20.85	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
872	Tanne	ohne	1	20.25	<i>Physisporinus cf. vitreus</i> (W)
867	Tanne	ohne	4	31.35	<i>Physisporinus cf. vitreus</i> (W)
872	Tanne	ohne	4	16.80	<i>Armillaria cf. borealis</i> (W)
870	Tanne	mit	1	(25.6, 27.8, 18.7) 24.05	<i>Heterobasidion annosum</i> s.l. (W)
892	Tanne	mit	1	(17.1, 32.0) 24.53	Hallimasch-Rhizomorphen (W)
892	Tanne	mit	2	15.00	Hallimasch-Rhizomorphen (W)
884	Tanne	mit	3	13.95	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
870	Tanne	mit	4	(41.7, 32.9) 37.28	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
884	Tanne	mit	4	17.25	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
890	Fichte	ohne	1	50.70	<i>Gloeophyllum sepiarium</i> (B)
874	Fichte	ohne	2	25.35	* kein Fruchtkörper gefunden
868	Fichte	ohne	3	11.70	<i>Physisporinus cf. vitreus</i> (W)
882	Fichte	ohne	3	(12.8, 31.2) 21.98	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
868	Fichte	ohne	4	19.05	<i>Physisporinus cf. vitreus</i> (W)
874	Fichte	ohne	4	(42.5, 34.6, 40.3) 39.15	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
882	Fichte	ohne	4	22.20	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
890	Fichte	ohne	4	(25.1, 86.7) 55.88	<i>Schizophyllum commune</i> (W), <i>G. sepiarium</i> (B)
878	Fichte	mit	1	31.80	<i>Antrodia cf. serialis</i> (B)
886	Fichte	mit	1	(12.1, 11.0) 11.55	<i>Physisporinus cf. vitreus</i> (W)

Tab 3 Werte der Resistographen-Bohrungen mit reduziertem Bohrwiderstand sowie Mittelwerte im Falle mehrerer Messungen mit $B_{rW} > 10\text{mm}$ an derselben Prüfstelle in den Zonen 1–4 des obersten Längsholzes in Abhängigkeit von Holzart und Berindung mit den entsprechenden Pilzfruchtkörper-Funden von Fäuleerregern (B: Braun-, W: Weissfäule). Fett hervorgehoben sind die längsten Strecken mit reduziertem Bohrwiderstand. * In Zone 1 wurde *Gloeophyllum sepiarium* gefunden.

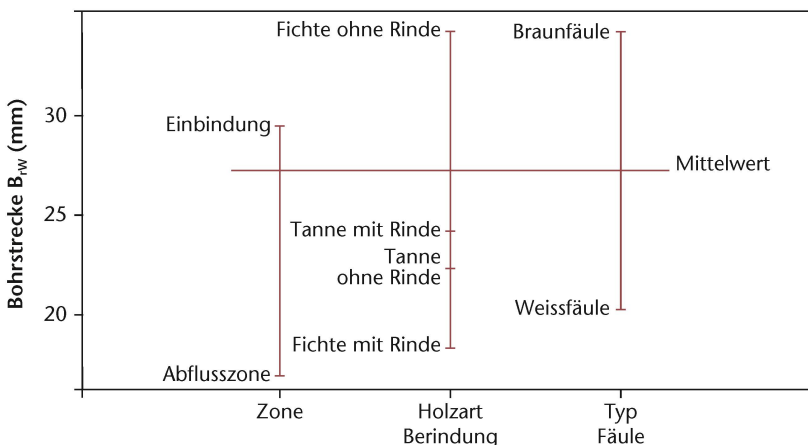


Abb 6 Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Bohrstrecke mit reduziertem Widerstand (B_{rW}) im obersten Längsholz.

reduziertem Bohrwiderstand wurden je zur Hälfte Braun- (Gesamtlänge B_{rW} 479.5 mm; Mittelwert 34.2 ± 18.3 mm) respektive Weissfäulepilze registriert (Gesamtlänge B_{rW} 283.6 mm; Mittelwert 20.3 ± 6.8 mm). Nur gerade knapp 11% (B_{rW} 84.7 mm) des gesamten B_{rW} (788.5 mm) fielen auf den Abflussbereich.

Die höchsten Korrelationen bestehen zwischen B_{rW} und Fäuletyp (0.49) sowie Zonen (0.43). Die drei Einflussfaktoren «Zone» (p-Wert: 0.009), «Fäuletyp» (p-Wert: 0.01) und «Holzart/Berindung» (p-Wert: 0.01) haben alle einen signifikanten Einfluss auf den Bohrwiderstand (ANOVA). Braun- und Weissfäule (p-Wert: 0.017), Einbindung und Abflussbereich (p-Wert: 0.008) sowie Fichte in und ohne Rinde (p-Wert: 0.019) unterscheiden sich signifikant. Analysiert man die einzelnen Effekte (Abbildung 6), wird ersichtlich, dass Fichtensperren ohne Rinde den längsten und in Rinde den kürzesten B_{rW} aufweisen (signifikant). Tannensperren in Rinde sind tendenziell stärker von Fäule betroffen als ohne Rinde. Die Braun- hatte im Vergleich zur Weissfäule einen signifikant stärkeren Festigkeitsverlust zur Folge, und die Einbindungen waren signifikant stärker betroffen als der Abflussbereich.

Bei der Auswertung der Bohrwiderstandsmessungen am gesamten Sperrenkörper ergeben sich in den wechselfeuchten Einbindungen ebenfalls deutlich grössere Bohrweiten mit reduziertem Widerstand B_{rW} als in den dauernd wassergesättigten Abflussbereichen (Abbildung 7). Im Weiteren weisen die Zonen am Sperrenfuss im Vergleich zum obersten Längsholz einen besseren Holzzustand auf. Sperren aus Fichtenholz sind mit einem B_{rW} von 457 mm in einem leicht schlechteren Zustand als solche aus Tannenholz mit einem B_{rW} von 421 mm. Werke aus entrindetem Holz weisen mit einem B_{rW} von 562 mm einen schlechteren Zustand auf als solche aus Holz in Rinde mit einem B_{rW} von 315 mm.

Diskussion

Bei der vorliegenden Untersuchung standen Fragen nach der Besiedelung durch Holz abbauende Pilze, dem Auftreten von Faulstellen sowie dem Einfluss von Holzart und Entrindung des Holzes im Vordergrund. Da sich alle untersuchten Sperren entlang eines kurzen Gerinneabschnittes befinden und gleichzeitig gebaut wurden, treten Einflussfaktoren wie zum Beispiel Höhenlage, Exposition oder Sperrenalter in den Hintergrund, was eine einzigartige Konstellation im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Lebensdauer von Holzsperrern darstellt.

Besiedelung durch Pilze

Nachfolgend ist zu berücksichtigen, dass die Auswertung nur Fruchtkörperfunde Holz abbauender Pilze auf dem obersten Längsholz berücksichtigt, welche zwischen 1999 und 2009 registriert und bestimmt wurden. Zudem resultierte nur an 29 von 315 Stellen (9%) ein $B_{rW} > 10$ mm. An 28 Stellen wurde direkt mindestens eine Pilzart gefunden, und nahe der Stelle ohne Fruchtkörperfund (Zone 2) wurde *Gloeophyllum sepiarium* (Zone 1) registriert. Die ge-

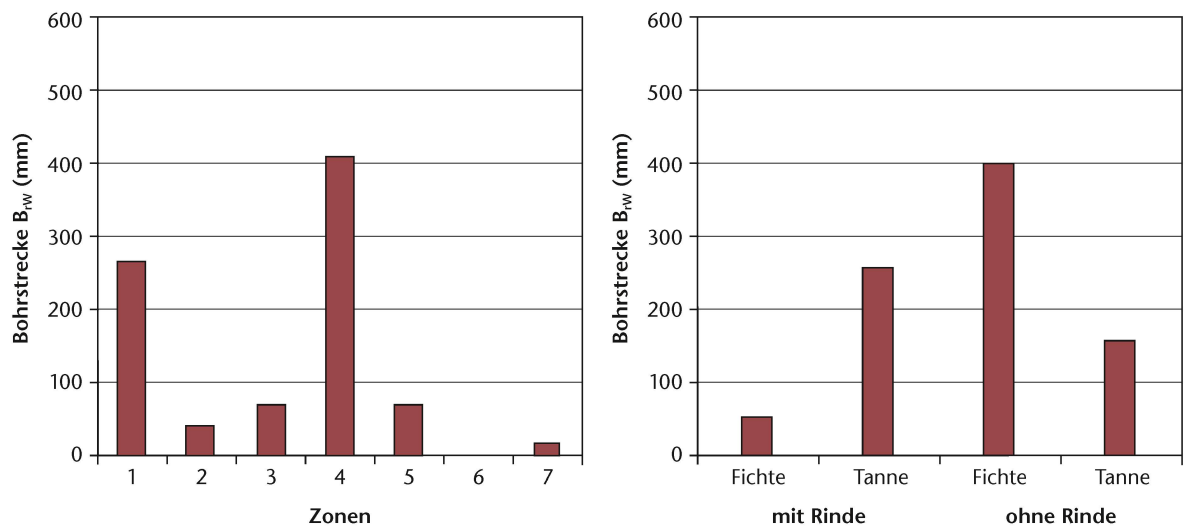


Abb 7 Summe der Bohrstrecke mit reduziertem Widerstand B_{rw} für den ganzen Sperrenkörper. Links: Holzzustand an den verschiedenen Zonen 1 bis 7 gemäss Abbildung 2. Rechts: Holzzustand nach Holzart und Entrindung.

fundenen Holz abbauenden Arten sowie deren geringe Diversität stimmen gut mit den Ergebnissen von Noetzli et al (2008) überein. Allerdings wurde die in dieser Untersuchung häufigste Art, *Fomitopsis pinicola*, an den Sperren des Steingrabens nicht als Fruchtkörper gefunden, was dessen Präsenz in Form von Mycel jedoch nicht ausschliesst. Fäule verursachende und somit die Festigkeit mindernde Pilze auf Totholz unterliegen einer ausgeprägten Sukzession, welche aufgrund des fortschreitenden Holzabbaus in Initial-, Optimal- und Finalphase eingeteilt wird (Jahn 1979). Eine gewisse Sukzession, mit zunehmender Diversität, konnte in der vorliegenden Untersuchung auch für die betrachteten Holzsperrren beobachtet werden. Allerdings fruktifizierten bereits drei Jahre nach Fertigstellung der Sperrentreppe erste Vertreter potenzieller Holzabbauer der Optimalphase (z.B. *Gloeophyllum sepiarium*), womit an einzelnen Sperren die Initialphase mit Vertretern von Schimmel- und Schleimpilzen sowie Ascomyceten und *Stereum sanguinolentum* (Tabelle 1) sehr schnell in die Optimalphase überging. Mit *Physisporinus* cf. *vitreus* erschien sieben Jahre nach dem Bau der Sperren eine Weissfäuleart, die möglicherweise bereits zur Finalphase gehört (Jahn 1979).

Von der insgesamt knapp 800 mm langen Bohrstrecke mit reduziertem Widerstand (B_{rw}) fallen 61% auf Braun- und 36% auf Weissfäulen. Durch den effizienten Abbau von Zellulose und Hemizellulosen verursachen Braun- im Vergleich zu den selektiven Weissfäulen höhere Festigkeitsverluste, zumindest im Frühstadium. Mit einem B_{rw} von 85 mm entfallen nur 11% auf den Abflussbereich. Nur wenige Pilzarten sind bekannt, die unter extrem feuchten Bedingungen und Sauerstoffarmut Holz abbauen können. Dazu gehören *Physisporinus vitreus* (Schmidt et al 1996), *Armillaria* spp. (Metzler & Hecht 2004) und *Antrodia serialis* (Noetzli et al 2008), was sich

sehr gut mit den Befunden der vorliegenden Untersuchung deckt.

Die beiden Braunfäulen *Antrodia* cf. *serialis* und *Gloeophyllum sepiarium* sind für mehr als die Hälfte des reduzierten Bohrwiderstands verantwortlich und stellen wohl die Hauptursache für den Verlust an Strukturfestigkeit dar. Zieht man zusätzlich in Betracht, dass Weissfäulen mittelfristig im Hinblick auf die Tragfähigkeit weniger problematisch sind, dürften aufgrund der vorliegenden Ergebnisse Sperren mit Tanne ohne respektive mit Fichte in Rinde tendenziell dauerhafter sein (Tabelle 1, Abbildung 6). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass für diese Auswertung nur das oberste Längsholz berücksichtigt wurde, die Beobachtungsdauer mit knapp 15 Jahren sehr kurz war und die relative Häufigkeit der dominanten Holz abbauenden Pilzarten zwischen den Sperren sowie innerhalb einzelner Sperren (Längshölzer, Zonen) stark variiert.

Holzfestigkeit

Bereits fünf Jahre nach dem Bau der Sperren wurden erste Stellen mit reduzierter Holzfestigkeit registriert. Das rasche Auftreten solcher Fäuleanzeichen stimmt grundsätzlich mit Angaben aus der Literatur überein, wonach das verwendete Fichten- und Tannenrundholz generell als wenig dauerhaft bewertet wird (Niemz 2005). Bauteile mit reduzierter Festigkeit wurden vor allem in wechselfeuchten Bereichen gefunden, was im Wesentlichen mit den Ergebnissen von Nötzli et al (2002) übereinstimmt. Im Gegensatz zu dieser Untersuchung sind im vorliegenden Fall jedoch die wechselfeuchten Einbindungen wesentlich stärker betroffen als der Abflussbereich (Abbildungen 6 und 7). Dass dennoch einige Fäulen im Bereich der Abflusssektion vorkamen, kann grösstenteils mit der einseitigen Benetzung der Sperrenkörper aufgrund von Ablagerungen auf den

Hinterfüllungen erklärt werden. Die Bedeutung einer gleichmässigen Benetzung des Sperrkörpers wird dadurch offenkundig.

Fäuleresistenz von Fichte und Tanne

Für Anwendungen im Wasserbau wird Tannenholz oft als geeigneter bezeichnet als Fichtenholz (Bosshard 1982). Untersuchungen an neun Wildbachsperrn (Noetzi 2002) ergaben jedoch keine Korrelation der Holzart mit dem Auftreten von Fäulen. In der vorliegenden Arbeit ergaben sowohl die qualitativen Beobachtungen als auch die Bohrwiderstandsmessungen für den gesamten Sperrkörper tendenziell geringere Fäuleentwicklung an Sperrn aus Tannenholz, wobei bei entrindetem Holz die Tanne weniger Fäule aufweist als die Fichte, bei nicht entrindetem Holz jedoch mehr. Sowohl der geringe Unterschied bei der Fäuleentwicklung als auch die inkonsistenten Ergebnisse bei entrindetem und nicht entrindetem Holz lassen bei Betrachtung der ganzen Sperrre keine eindeutigen Aussagen zur besseren Eignung der einen oder anderen Holzart zu. Die geringe Anzahl Sperrn und die kurze Beobachtungszeit stellen diesbezüglich eine erhebliche Limitierung dar.

Entrindung

Die Entrindung zeigte sowohl in der qualitativen Erhebung wie auch mit der Bohrwiderstandsmessung eine in der Tendenz nachteilige Wirkung auf den Holzzustand. Dem widerspricht allerdings Kuhn (1992), wonach die Rinde bei geschlagenem Holz als Barriere gegen Pilzinfektion anscheinend kaum eine Rolle spielt. Für viele Pilze stellt zudem nach Holdenrieder (1992) die Rinde kein Hindernis dar, da die Fäuleerreger primär von Borkenkäfern und Holzwespen übertragen werden. Zudem hätte in der vorliegenden Studie die Rinde ohnehin nur für eine sehr kurze Zeit eine Pilzinfektion verhindern können, da bei nicht entrindetem Holz bereits drei Jahre nach dem Bau 50 bis 70% der Rinde abgefallen waren. Für eine Entrindung würden somit nur die präziseren Verbindungen zwischen den verschiedenen Bauteilen sprechen. Nachteilig sind dagegen vor allem Holzkörperverletzungen, insbesondere wenn maschinell entrindet wird.

Methoden zur Beurteilung der Holzfestigkeit

Die qualitative Abschätzung der Holzfestigkeit durch die Bestimmung des Eindringwiderstandes eines Werkzeuges ergibt sinnvolle Resultate, welche im Grundsatz mit der Bohrwiderstandsmessung vergleichbar sind. Allerdings kann damit nur die Festigkeit im Bereich der äusseren Jahrringe geprüft werden, wogegen mit dem aufwendigeren Verfahren der Bohrwiderstandsmessung auch Faulstellen im Innern entdeckt werden können. Auch wenn bei

beiden Methoden nur minimale Holzverletzungen entstehen, kann nach Kubler (1992) nicht ausgeschlossen werden, dass durch diese Untersuchungen Pilzinfektionen begünstigt werden.

Folgerungen

Holz wird unmittelbar nach dem Fällen von Holz abbauenden Pilzen besiedelt oder ist es bereits vorher. Entsprechend schnell können Faulstellen auftreten. Eine vollständige Benetzung des Sperrkörpers wirkt der Fäuleentwicklung entgegen. Daher sind periodische Zustandskontrollen sowie Unterhaltsarbeiten unabdingbar. Untermauert wird diese Forderung durch die Ergebnisse sowohl der Bohrwiderstandsmessungen als auch der qualitativen Beurteilung, welche für die Sperrereinbindungen die grösste Fäuleanfälligkeit aufzeigen. Bezüglich der Fragen, ob Fichte oder Tanne und Stämme mit oder ohne Rinde die bessere Wahl sind, liefern weder die statistischen Analysen der Bohrwiderstandsmessungen am obersten Längsholz noch das qualitative Verfahren für den ganzen Sperrkörper eindeutige Ergebnisse. Werden die Daten der qualitativen Beurteilung der Holzfestigkeit und die Bohrwiderstandsmessungen für den gesamten Sperrkörper betrachtet, ergibt sich für die Entrindung ein negativer Trend. Für eine statistisch gesicherte Aussage sollten die Sperrn jedoch noch über eine längere Zeitdauer beobachtet und weitere Holzverbauungen in die Untersuchung einbezogen werden. ■

Eingereicht: 6. Januar 2014, akzeptiert (mit Review): 18. Februar 2014

Dank

Die Autoren danken Urs Braschler, Amt für Wald und Energie Nidwalden, und Josef Odermatt, Forstrevier Hergiswil, für die Ermöglichung der Untersuchung. Rouven Sturni, Angela Klaimer, Alexandre Badoux und Werner Gerber danken wir für die Voruntersuchungen, die Unterstützung bei den Erhebungen und für die wertvollen Diskussionsbeiträge. Bei der Nachbestimmung von Pilzfruchtkörpern aufgrund von Fotografien konnten wir auf die wertvolle Unterstützung von Thomas Sieber von der ETH Zürich zählen.

Literatur

- BÖLL A (1997) Wildbach- und Hangverbau. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 123 p.
- BÖLL A, GERBER W, GRAF F, RICKLI C (1999) Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 60 p.
- BOSSHARD HH (1982) Holzkunde. Band 1: Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Basel: Birkhäuser. 224 p.
- BOX GEP, COX DR (1964) An analysis of transformations (with discussion). J R Stat Soc B 26: 211–252.

- BREITENBACH J, KRÄNZLIN F (1986A) Pilze der Schweiz, Band 2. Luzern: Mykologia. 416 p.
- BREITENBACH J, KRÄNZLIN F (1986B) Pilze der Schweiz, Band 3. Luzern: Mykologia. 364 p.
- HIGHLEY TL (1995) Comparative durability of untreated wood in use above ground. *Int Biodeter Biodegr* 35: 409–419.
- HOLDENRIEDER O (1992) Zur Biologie von holzbewohnenden Pilzen. *Schweiz Z Forstwes* 143: 739–748.
- JAHN H (1979) Pilze, die an Holz wachsen. Herford: Busse 268 p.
- JÜLICH W (1984) Die Nichtblättermilze, Gallertpilze und Bauchpilze: *Aphylophorales, Heterobasidiomycetes, Gastromycetes*. Stuttgart: Fischer. 626 p.
- KUBLER H (1992) Corrosion of nails in wood construction interfaces. *For Prod J* 42: 47–49.
- KUHN C (1992) Wertentwicklung bei der Waldlagerung von Fi/Ta-Rundholz. *Schweiz Z Forstwes* 143: 783–794.
- METZLER B, HECHT U (2004) Three-dimensional structure of tubular air channels formed by *Armillaria* spp. in water saturated logs of silver fir and Norway spruce. *Can J Bot* 82: 1338–1345.
- NIEMZ P (2005) Physik des Holzes. Zürich: ETH Zürich, Inst Baustoffe. 50 p.
- NOETZLI KP (2002) Ursachen und Dynamik von Fäulen an Holzkonstruktionen im Wildbachverbau. Zürich, ETH Zürich, Dissertation 14974. 170 p.
- NOETZLI KP, FREI M, BÖLL A (2002) Tragsicherheit von Holzkonstruktionen im Wildbachverbau – ein Fallbeispiel 60-jähriger Wildbachsperren. *Schweiz Z Forstwes* 153: 377–384. doi: 10.3188/szf.377
- NOETZLI K, BÖLL A, GRAF F, SIEBER TN, HOLDENRIEDER O (2008) Influence of decay fungi, construction characteristics, and environmental conditions on the quality of wooden check dams. *For Prod J* 58: 72–78.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2013) R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- SCHMIDT O, LIESE W, MORETH U (1996) Decay of timber in a water cooling tower by the basidiomycete *Physisporinus vitreus*. *Mat Org* 50: 161–177.
- WANG SY, CHIU CM, LIN CJ (2003) Application of the drilling resistance method for annual ring characteristics: evaluation of *Taiwania (Taiwania cryptomerioides)* trees grown with different thinning and pruning treatments. *J Wood Sci* 49: 116–124.
- ZELLER J, RÖTHLISBERGER G (1987) Lebensdauer von Holzsperrern am Beispiel der Gamser Wildbäche. Birmensdorf: Eidgenössische Anstalt forstl Vers.wes, Ber 291. 34 p.

Wildbachsperren aus Fichte und Tanne: Festigkeit und Pilzbefall in den ersten Jahren

Bei Verbauungen in Wildbächen wird oft auch Holz eingesetzt. Die Lebensdauer von Holzkonstruktionen ist jedoch durch Holz abbauende Pilze begrenzt. Zur Besiedlung der Bauwerke durch Holz abbauende Pilze und zum Langzeitverhalten der Werke existieren nur wenige Untersuchungen. Die Fragen nach der geeigneten Holzart und der Bedeutung einer Entrindung des Holzes werden daher seitens der Verbaupraxis nach wie vor oft gestellt. Mit periodischen Erhebungen dokumentierten wir deshalb die Zustandsentwicklung einer im Winter 1996/1997 errichteten Verbauung mit 15 Holzsperrern, je zur Hälfte aus Fichte (*Picea abies*) und Tanne (*Abies alba*) sowie in Rinde und ohne Rinde. Dabei wurde einerseits die Besiedlung durch Holz abbauende Pilze festgehalten und andererseits die Festigkeit des Holzes sowohl mit einem qualitativen Verfahren als auch mit Bohrwiderstandsmessungen erfasst. Erste Erreger massiver Braunfäulen (*Gloeophyllum sepiarium*, Zaunblättling) wurden drei Jahre nach dem Bau registriert und zwei Jahre danach auch erste Stellen mit reduzierter Holzfestigkeit. Im Sommer 2013 waren die Sperren immer noch vollständig funktionstauglich. Mit Ausnahme von zwei Sperren wurden jedoch an allen Werken einzelne Bauteile mit reduzierter Festigkeit festgestellt, und die Zahl häufiger vorkommender Fäuleerreger belief sich auf fünf. Die Holzqualität war in den dauernd wassergesättigten Zonen der Abflusssktion deutlich besser als in den wechselfeuchten Bereichen der Einbindungen. Bezüglich der Dauerhaftigkeit und Eignung der Holzarten sind die Ergebnisse nicht eindeutig, jedoch erwies sich die Entrindung als eher nachteilig. Für eine statistische Absicherung der beobachteten Trends ist eine Weiterführung der Aufnahmen unerlässlich.

Barrières dans les torrents en épicéa et sapin: résistance et colonisation par les champignons xylophages

Pour la construction d'ouvrages sur torrents, on utilise fréquemment aussi le bois. La durée de vie de ces constructions est cependant limitée par les champignons xylophages. Il n'existe que peu de recherches sur la colonisation des ouvrages par les champignons xylophages et leur adéquation à long terme. Les constructeurs d'ouvrages continuent de poser des questions sur la meilleure essence de bois et sur l'importance de l'écorçage. C'est pourquoi nous documentons par des observations périodiques un ouvrage construit en hiver 1996/1997 et constitué de 15 barrières en bois, moitié épicéa (*Picea abies*) moitié sapin (*Abies alba*), sans écorce et avec écorce. Nous avons observé la colonisation du bois par les champignons et évalué sa solidité aussi bien par des procédures qualitatives que par des mesures de résistance au perçement. Les premiers représentants de la pourriture brune (*Gloeophyllum sepiarium*, gloeophylle des haies) ont été repérés trois ans après la construction, et deux ans plus tard on a enregistré certaines parties avec une résistance du bois amoindrie. Pendant l'été 2013, toutes les constructions étaient encore complètement en mesure de remplir leur but de protection. Pourtant, tous les ouvrages à l'exception de deux barrages présentaient certaines pièces de résistance réduite, et le nombre d'espèces de champignons assez fréquentes responsables de la pourriture s'élevait à cinq. La qualité du bois dans les zones saturées en permanence par l'eau d'écoulement était nettement meilleure que dans les pièces d'insertion d'humidité variable. Concernant la durabilité et l'aptitude des essences, les résultats ne sont pas évidents, par contre, l'écorçage s'est révélé dans l'ensemble plutôt désavantageux. Pour une consolidation statistique des tendances observées, il est indispensable de continuer les observations.