

Michael Seidel und Michael Mutz

Hydromorphologische Entwicklung von Tieflandbächen durch Holzeinsatz – Vergleich von Einbauvarianten im Ruhlander Schwarzwasser

Developing hydromorphology of lowland streams by means of wood installations – comparison of various installations in the Ruhlander Schwarzwasser stream

In der vorliegenden Studie wurde die Eignung von drei Varianten des Holzeinsatzes für die eigendynamische Gewässerentwicklung und die Realisierbarkeit der drei Entwicklungsziele Krümmungserosion, Erhöhung der Strukturvielfalt und Sohlanhebung geprüft. Der Holzeinsatz wurde 2007 im Ruhlander Schwarzwasser, einem sandgeprägten Tieflandbach im Süden Brandenburgs, mit 9 Holzeinbauten je Variante auf einer Länge von jeweils ca. 200 m realisiert. Die Varianten unterschieden sich im Aufwand der wasserbaulichen Umsetzung, in der Art der Fixierung der Holzeinbauten und in der Verwendung von Stammholz, Kronenholz und Wurzelstöcken. Es wurden die Gewässerbettmorphologie, der Anstau an den Holzeinbauten, die Lagestabilität der Einbauten, die Anlagerung von Drift Holz, die Besiedlung der Holzstrecken durch Fische und Makrozoobenthos und die Kosten erfasst. Die Anzahl der Sohlstrukturen wurde durch den Holzeinsatz um das Drei- bis Vierfache gesteigert. Der Anstau an einzelnen Holzeinbauten war gering und lag für alle Einbauvarianten und bei Abflüssen des 0,2- und 3,2-fachen vom MQ zwischen 0 und 6 cm. Die Anlagerung von Drift Holz war drei Jahre nach Umsetzung der Maßnahme eher gering. Dammbildungen und ungeplante Ufererosionen traten nicht auf. Der ökologische Zustand, gemessen an Makrozoobenthos, verbesserte sich zwei Jahre nach Umsetzung der Maßnahmen von mäßig zu gut. Bei Fischen stellte sich keine Verbesserung ein. Die Kosten der unfixierten Einbauvariante waren mit 11 Euro pro laufenden Meter um 65 % geringer als die der beiden fixierten Einbauvarianten. Das Entwicklungsziel Strukturanreicherung konnte durch alle drei Varianten, die Krümmungserosion nur durch zwei Varianten umgesetzt werden. Für das Entwicklungsziel Sohlanhebung war die Entfernung zu kolkbildenden Gewässerstrukturen oberhalb der Holzeinbauten entscheidender als die Einbauvariante. Hinsichtlich der mittelfristigen Wirkung zeigte sich, dass das feine Kronenholz schnell abgebaut und infolgedessen hydraulisch weniger wirksam war als Stammholz. Unfixierte Holzeinbauten waren insbesondere aufgrund der fehlenden Sicherung gegen Auftrieb weniger lagestabil als fixierte. Die fixierten Einbauvarianten erwiesen sich als preisgünstige Maßnahme zur eigendynamischen Gewässerentwicklung. Es zeigte sich aber auch, dass Holz zur Aufwertung der Gewässerstruktur eingesetzt werden kann, ohne Ufererosion bzw. eine eigendynamische Entwicklung des Gewässerverlaufes zu initiieren.

Schlagwörter: Eigendynamische Entwicklung, Revitalisierung, Strukturverbesserung, Tieflandbach, Totholz

The objective of the current study was to measure the effects of three installation types of wood structures on morphodynamics, especially lateral erosion, aggradation of the river bed and on the structural variability. In 2007, 9 wood structures were installed for each installation type on a reach length of 200 m in the Ruhlander Schwarzwasser, a lowland sand-bed stream in the south of the Federal State of Brandenburg (Germany). The installation types differed in terms of technical effort, anchoring and use of branches, crowns, logs and root wads. On this basis, bed morphology, afflux at the wood structures and their stability, accumulation of drift wood, colonisation by fish and macroinvertebrates as well as the construction costs were assessed. The wood addition increased the occurrence of bed structures by a factor of three to four. The afflux at individual wood structures was low for all three types ranging from 0 to 6 cm at discharge values between the 0.2- and 3.2-fold mean discharge. The accumulation of drift wood at the structures was low. Woody dam formations and unplanned bank erosion did not take place. Two years after the wood addition, the ecological status, indicated by macroinvertebrates, improved from a moderate to a good status. In terms of the fish population, no improvement could be found. The costs of the non-fixed installation type were 65 % lower than those of the fixed types. All three installation types were able to achieve an enhancement of structural variability. However, only the two fixed types were able to initiate a lateral erosion of the stream. For the goal bed aggradation, the distance to pool-initiating bed structures upstream of the wood structure was more important than the installation type. All in all, the non-fixed wood structures were less sustainable than the fixed structures, whereas the fixed structures appeared as suitable low-cost measures to initiate self-reinforcing morphodynamics. The results show that an increase in the structural variability of the streambed is possible by adding wood without initiating any bank erosion.

Keywords: Lowland stream, morphodynamics, restoration, structural enhancement, woody debris

1 Einleitung und Hintergrund

Holz ist wesentlicher Bestandteil naturnaher Fließgewässer mit 1 bis 3 m³ Holz pro 100 m² Gewässersohle (GURNELL et al. 1995, MUTZ et al. 2001). Die Bedeutung von Holz reicht von der Morphologie, Hydrologie, Hydraulik und Ökologie bis hin zur Gerinnestabilität und Stoffretention des Gewässers (GREGORY et al. 2003, GURNELL et al. 1995, MASER & SEDELL 1994). Insbesondere

in Tieflandbächen führt Holz zur Erhöhung der Tiefenvarianz durch Bildung von Kolken und Bänken, wobei das Kolkvolumen und das Volumen der Holzstruktur positiv miteinander korrelieren (BILBY & BISSON 1998, GERHARD & REICH 2000, KAIL 2005). Ebenso verursacht Totholz durch Strömungsablenkung Krümmungserosion und erhöht damit die Breitenvarianz der Gewässer (GURNELL et al. 1995, KELLER & SWANSON 1979, ROBISON & BESCHTA 1990). In strömungsparalleler Lage kann Holz aber auch

zu Uferstabilisierung beitragen (GERHARD & REICH 2001, KELLER & SWANSON 1979). Durch die Schaffung von schnell und langsam strömenden Bereichen werden bei der Sedimentation des Geschiebes die Korngrößen sortiert (GURNELL et al. 1995) und damit die Substratdiversität erhöht. Im unmittelbaren Einflussbereich der Holzstruktur kommt es zu Turbulenzen und der Umkehrung der Strömungsrichtungen (MUTZ 2003), was zu verminderter Sohlschubspannung führt (GURNELL et al. 1995, SHIELDS & SMITH 1992). Dazu tragen auch die Energiedissipation in Kolken (MONTGOMERY et al. 2003) und der Gefälleabbau an Totholzobjekten bei (KELLER & SWANSON 1979). Dies kann, zusammen mit der Stabilisierung der Sohle durch Astholz, zur Speicherung von Sediment führen (KELLER & SWANSON 1979, LAUNHARDT & MUTZ 2002). Analog dazu führt die Entnahme von Holz zu verstärkter Sohlerosion (BILBY 1984, SHIELDS & GIPPEL 1995). Totholz hat weiterhin großen Einfluss auf die Retention von Laub und Driftholz (BILBY & LIKENS 1980, GURNELL et al. 1995, MANNERS & DOYLE 2008). Laub ist wesentliche Nahrungsquelle für Makrozoobenthos. Zurückgehaltenes Driftholz erhöht die besiedelbare Oberfläche für Makrozoobenthos und Mikroorganismen (Biofilm). Die Dichte und Diversität der Makroinvertebraten an Holz ist daher insbesondere in Tieflandbächen oft sehr hoch. Dies macht sich auch in einer Steigerung der Fischpopulation bemerkbar und führt insgesamt zu einer Steigerung der Produktivität des Gewässers (BILBY & BISSON 1998). Weiterhin schafft Totholz Habitate, mindert inter- und intraspezifische Konkurrenz (GURNELL et al. 1995) und steigert den Wasseraustausch im hyporheischen Interstitial (MUTZ et al. 2007, MUTZ & RHODE 2003), das als Lebensraum und für den Stoffumsatz im Gewässer von hoher Bedeutung ist (BRUNKE & GONSER 1997).

Für die Entwicklung degradierter Fließgewässer findet Holz zunehmend Akzeptanz in der Praxis. Meist werden Maßnahmen allerdings nur lokal umgesetzt. Der Holzeinsatz ist zudem oft hydraulisch unterdimensioniert und wird meist nur als Stammholzbohle realisiert. Die Fixierung der Einbauten hingegen wird oft überdimensioniert und mit naturraumuntypischen Materialien durchgeführt. Das als Lebensraum wertvolle Kronenholz wird in der wasserbaulichen Praxis scheinbar aufgrund des schwierigeren Einbaus, der schwer zu vorhersagenden hydraulischen Wirkung und geringeren Haltbarkeit des feinen Kronenholzes überwiegend mit Skepsis betrachtet und vermieden. Gründe für den trotz der gestiegenen Akzeptanz leider immer noch eher selten durchgeführten Holzeinsatz scheinen vor allem die noch bestehenden Kenntnisdefizite zu Umsetzung, Unterhaltung und Gefahrenpotenzial zu sein. Es besteht noch immer Unsicherheit, wie Holz für spezifische Entwicklungsziele, wie z.B. eine Strukturanreicherung der Sohle, eingesetzt werden kann, und wie sich zum Teil unerwünschte morphologische Entwicklungen, wie z.B. Veränderungen der Linienführung, vermeiden lassen. Dies gilt insbesondere für die erosionsanfälligen Sandbäche, für die bisher kaum Erfolgskontrollen zum Holzeinsatz vorliegen. Auch über mögliche Veränderungen von Holzeinbauten durch sich anlagerndes Driftholz, eine häufig vermutete Ursache für Verklausungen, ist bisher wenig bekannt.

Ziel der Untersuchungen am Ruhlander Schwarzwasser war der Vergleich von drei Einbauvarianten als Impuls für eine eigendynamische Gewässerentwicklung und Sohlanehebung. Es sollten für jede Einbauvariante die morphologischen, ökologischen und hydraulischen Wirkungen verglichen und den Kosten der Varianten gegenübergestellt werden. Weiterhin sollte untersucht wer-

den, ob die Entwicklungsziele Krümmungserosion, Strukturanreicherung und Sohlanehebung durch gezielten Einbau von Holz umgesetzt werden können und ob durch Driftholzanlagerung an die Holzeinbauten eine Gefahr der Verklausung besteht.

2 Untersuchungsgebiet

Das Ruhlander Schwarzwasser ist ein Zufluss der Schwarzen Elster (Einzugsgebiet der Elbe) im Süden Brandenburgs. Es ist nach LAWA (2003) als sandgeprägter Tieflandbach (Gewässertyp 14) ausgewiesen. Der insgesamt 600 m lange Untersuchungsabschnitt ist im Mittel 5,5 m breit, 0,7 m tief und ca. 1,5 m unter Flur eingetieft. Der bordvolle Abfluss wird etwa bei MHQ (3,9 m³/s) erreicht und ereignete sich im Untersuchungszeitraum viermal (Abb. 1). Der Mittelwasserabfluss beträgt 0,7 m³/s, das Gefälle 0,8 ‰. Das Ruhlander Schwarzwasser ist mit einem Verhältnis von MNQ zu MQ mit 4,5 zu 1 (LUA 2010) oberflächenwassergeprägt (MUNLV 2003). Die Ufer sind überwiegend durch Erlen, Eschen und z.T. alte Eichen, das Gewässerumfeld durch Kiefern- und Eichenwälder verschiedener Altersklassen bestanden. Im Oberlauf dominieren Land- und Forstwirtschaft, das Ufer ist auf ca. 50 % der Lauflänge baumbestanden. Die Längsdurchgängigkeit ist durch mehrere Wehre unterbrochen und wird seit 2007 durch Fischaufstiegsanlagen sukzessive wiederhergestellt.

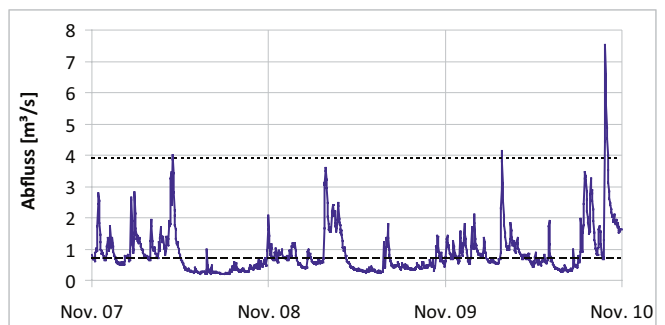


Abbildung 1

Abflussganglinie für die hydrologischen Jahre 2008 bis 2010. Die gepunktete Linie entspricht MHQ, die gestrichelte Linie MQ. Das Hochwasserereignis 10.2010 entspricht etwa einem 25-jährlichen Wiederkehrintervall.

Hydrograph for 11.2007 to 10.2010. The dotted line shows the mean high discharge, the dashed line shows mean discharge. The flood event in 10.2010 statistically occurs once in 25 years.

3 Umsetzung des Holzeinsatzes und Untersuchungsansatz

Die drei Einbauvarianten wurden in jeweils ca. 200 m langen, aneinander anschließenden Bachabschnitten umgesetzt. Es wurden Einbauten mit hohem, mittlerem und geringem wasserbaulichem Aufwand (W+, W±, W-) errichtet (Tab. 1). Der wasserbauliche Aufwand bezieht sich dabei auf die benötigte Technik zur Errichtung und Fixierung der Einbauten, auf die Art der Fixierung und auf die Art des verwendeten Holzes. Bei der Einbauvariante mit hohem wasserbaulichem Aufwand (W+) wurden die Holzeinbauten in die Böschung eingelassen und/oder durch eingespülte Pfähle, Steine und Drahtseile auf der Sohle fixiert. Es wurden Wurzelstöcke und überwiegend astloses und z.T. geschältes Stammholz verwendet. Das Ufer musste für die Baumaschinen fast vollständig beidseitig befahrbar sein. Die Umsetzung der

Einbauten erfolgte überwiegend durch zwei sich unterstützende Bagger. Bei der Einbauvariante mit geringem wasserbaulichem Aufwand (W-) wurden die Einbauten nicht fixiert. Für die Stabilität der überwiegend aus Baumkronen errichteten Einbauten wurden nach GURNELL et al. (1995) ca. zwei Drittel des gefällten Baumes als Stamm-Ende auf der Böschung abgelegt oder mit Uferbäumen verkeilt. Lediglich die Baumkrone, bzw. ein Drittel des Baumes, lag im Gewässer. Das Ufer musste nicht vollständig befahrbar sein. Die Einbauten konnten durch direktes Fällen von Uferbäumen in das Gewässer, durch Einziehen über eine Seilwinde oder über einen Bagger positioniert werden. Die Einbauvariante mit mittlerem wasserbaulichem Aufwand (W±) war eine Kombination aus den Varianten mit hohem und geringem Aufwand. Es wurden Wurzelstöcke, Stamm- und Kronenholz verwendet. Die Fixierung erfolgte überwiegend durch Einbau in die Böschung oder Holzpfähle, Steine wurden nicht verwendet. Die Einbauten wurden je nach Gegebenheit des Einbauortes durch Bagger, Seilwinden oder direktes Einfällen positioniert. Beispiele für die Variante W+ sind Dreiecksbuhnen aus Holzpfählen (Abb. 2) oder Wurzelstöcke, für W± Stammuhnen (Abb. 3) und für W-Raubaubuhnen aus Kronenholz (Abb. 4).

Tabelle 1

Vergleich der Einbauvarianten (EV) in wasserbaulichem Aufwand, Fixierung und Art des hauptsächlich verwendeten Holzes.
Comparison of wood structures (ws) differing in technical effort, anchoring and type of wood used.

EV ws	Fixierung Anchoring	Verwendetes Holz Type of wood
W+	Pfähle, Draht Piles, wire	Stammholz, Wurzelstöcke Logs, root wads
W±	Pfähle, Draht Piles, wire	Stammholz, Kronenholz, Wurzelstöcke Logs, crowns, root wads
W-	Keine None	Stammholz, Kronenholz Logs, crowns



Abbildung 2

Beispiel für eine Maßnahme zur Initiierung von Krümmungserosion für die Einbauvariante mit hohem wasserbaulichem Aufwand (W+): Dreiecksbuhne mit eingespülten Robinienpfählen und Hinterfüllung mit Erdaushub und Schotter (Pfeil zeigt in Fließrichtung).
Example of a wood structure with the restoration goal lateral erosion involving substantial technical construction effort (W+): Triangular groyne consisting of jetted piles of robinia and a backfill consisting of excavated soil and crushed rock (arrow points in flow direction).



Abbildung 3

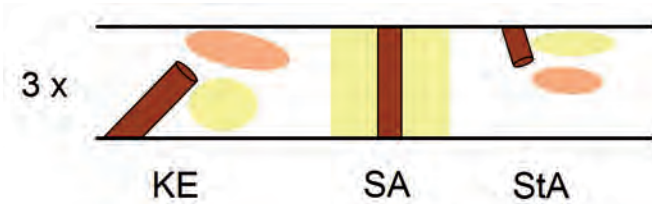
Beispiel für eine Maßnahme zur Initiierung von Krümmungserosion für die Einbauvariante mit mittlerem wasserbaulichem Aufwand (W±): Buhne aus zwei übereinanderliegenden Stämmen (nur ein Stamm über der Wasserlinie sichtbar) mit angelagertem Driftholz. Ein Stamm-Ende wurde in die Böschung eingelassen, das andere mit Pfählen in der Sohle fixiert (Pfeil zeigt in Fließrichtung).
Example of a wood structure with the restoration goal lateral erosion requiring average technical effort (W±) concerning its construction: Groyne consisting of two stacked logs (only the upper one is visible above the waterline) with an accumulation of driftwood. The rear part of the logs was buried in the bank, the front part anchored by two piles (arrow points in flow direction).



Abbildung 4

Beispiel für eine Maßnahme zur Initiierung von Krümmungserosion für die Einbauvariante mit geringem wasserbaulichem Aufwand (W-): Zwei nebeneinander liegende Kiefernkrönen, überwiegend unter der Wasserlinie. Um die Stabilität der Einbauten zu erhöhen, wurden 2/3 der Kiefern auf der Böschung abgelegt (Pfeil zeigt in Fließrichtung).
Example of a wood structure with the restoration goal lateral erosion requiring little technical effort (W-) for construction: Groyne consisting of two parallel oriented pine trees (crowns mostly below water surface). To increase the stability of the wood structure, 2/3 of the trees were placed on the dry bank (arrow points in flow direction).

Von jeder Einbauvariante wurden neun Holzeinbauten errichtet. Jeweils drei der Einbauten waren auf die Entwicklungsziele Krümmungserosion, Sohl-anhebung und Erhöhung der Strukturvielfalt ausgerichtet. Dabei folgten auf einen Einbau zur Krümmungserosion ein Einbau zur Sohl-anhebung und ein Einbau zur Struktur-anreicherung (Abb. 5). Diese Abfolge wurde für jede

**Abbildung 5**

Schema zur Abfolge der Einbauten mit den jeweiligen Entwicklungszielen Krümmungserosion (KE), Sohl-anhebung (SA) und Strukturanreicherung (StA). Es sind beispielhaft für die Einbauvariante W+ Holzeinbauten aus Stammholz (braun) sowie die prognostizierten Erosions- (orange) und Sedimentationsbereiche (gelb) grob skizziert. Die schwarzen Linien stellen das Ufer dar. Diese Abfolge wurde für jede Einbauvariante dreimal hintereinander umgesetzt.

Series of wood structures with the specific restoration goals lateral erosion (KE), bed aggradation (SA) and structural variability (StA). For the example of the technical type of wood structures (W+) the predicted areas of erosion (orange) and deposition (yellow) are shown. The black lines represent the bank. This series was repeated three times per section.

Einbauvariante dreimal hintereinander umgesetzt. Durch die geplante Krümmungserosion sollte das Gewässer ca. 1 bis 2 m breiter werden. Das erodierte Ufermaterial sollte an den Einbauten zur Sohl-anhebung auf der gesamten Gewässerbreite und einer Länge von ca. 10 m ober- und unterhalb des Einbaus sedimentieren und die Sohle um ca. 0,3 m anheben. An Einbauten zur Strukturanreicherung und Krümmungserosion sollte das Geschiebe punktuell als Bank zurückgehalten werden. Zudem sollte an den Einbauten zur Krümmungserosion und Strukturanreicherung jeweils mindestens ein Kolke entstehen. Die drei Entwicklungsziele sollten durch Kombination unterschiedlicher horizontaler und vertikaler Verbauungsgrade des Gewässerquerschnitts erreicht werden (Tab. 2) (basierend auf ECKERT et al. 1996). Dabei beziehen sich der vertikale Verbauungsgrad auf die Gewässertiefe und der horizontale Verbauungsgrad auf die Gewässerbreite. Die Gesamtverbauung war bei Maßnahmen zur Krümmungserosion ca. 75 % und variierte bei Maßnahmen zur Sohl-anhebung und Strukturanreicherung zwischen 25 und 50 % des Fließquerschnitts bei Mittelwasserabfluss. Die eingebrachte Totholzmenge war ca. 0,8 m³/100 m² Sohlfläche. Der mittlere Abstand der Holzeinbauten betrug 21 m.

4 Methoden der Erfolgskontrolle

Zur Erfolgskontrolle wurden Gewässermorphologie und Anstau durch die Holzeinbauten für den Ausgangszustand 2007 erfasst und mit dem Zustand 2008 und 2009 verglichen. Die Gewässermorphologie wurde durch Vermessung von Querprofilen in regelmäßigem Abstand (ca. 8 m) erfasst. Darüber hinaus wurden die klar ersichtlichen Sohlstrukturen Kolke, Bänke, Furten und Tiefrinnen (nach SCHERLE 1999) durch zusätzliche Querprofile vermessen. Furten sind hier durch tiefe Kolke und nicht durch Grobkornanreicherung verursachte, hochliegende Sohlenbereiche des Talwegs. Der Abstand der Messpunkte auf den Querprofilen betrug je nach Größe der zu erfassenden Strukturen 0,25 bis 0,5 m. Der Anstau vor den Holzeinbauten wurde durch Nivellierung der Wasserspiegellagen jeweils ca. 5 bis 10 m ober- und unterhalb der Einbauten in strömungsberuhigten Bereichen einmalig bei Abflüssen von 0,25, 1,3 und 2,25 m³/s gemessen. Die jeweiligen Abflüsse wurden nach DIN EN ISO 748:2008-02 auf Messlotrechten mit dem Dreipunkt-Verfahren ermittelt.

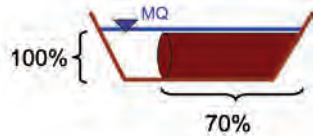
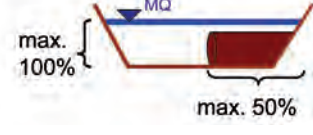
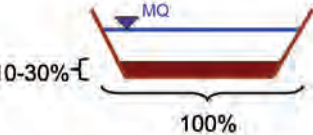
Zur Abschätzung der Lagestabilität wurden Veränderungen der vertikalen und horizontalen Lage der Holzelemente vom Einbau im Herbst 2007 bis Herbst 2011 mindestens einmal im Frühjahr und Herbst erfasst (nach CHERRY & BESCHTA 1989, ROBISON & BESCHTA 1990). Die Driftholzanlagerung wurde im Sommer 2010, also drei Jahre nach Umsetzung der Maßnahmen, kartiert. Dabei wurden Länge und Durchmesser der an den Einbauten angelagerten Hölzer mit einem Durchmesser von mehr als 1 cm erfasst.

Die biologischen Qualitätskomponenten Fische und Makrozoobenthos wurden in 2008 und 2009 stets zeitgleich im renaturierten Gewässerabschnitt und einem nicht renaturierten Kontrollabschnitt untersucht. Der Kontrollabschnitt lag 0,5 km unterhalb des renaturierten Abschnitts, da oberhalb kein geeigneter Kontrollabschnitt zu finden war. Das Makrozoobenthos wurde nach dem „Multi-Habitat-Sampling“ Ende Juli und Anfang Oktober 2008 sowie Ende März 2009, also ein bzw. eineinhalb Jahre nach dem Holzeinbau beprobt. Die drei renaturierten Abschnitte wurden für die Beprobung als eine Strecke zusammengefasst. Die 20 Teilproben wurden gleichmäßig auf die Substrate aller drei Abschnitte verteilt. Es wurden 14 Teilproben in Sand, drei in Kies, zwei in Detritus und eine an Totholz genommen. Im Kontrollabschnitt verteilten sich 18 Teilproben auf Sand und zwei auf Detritus. Die Bewertung erfolgte mithilfe der Bewertungssoftware ASTERICS 3.1.1 unter Verwendung des Bewertungsverfahrens PERLODES (MEIER et al. 2006). Die Fischzönose der renaturierten Abschnitte und des Kontrollabschnitts wurde durch zwei Elek-

Tabelle 2

Verbauungsgrade der für die angestrebten Entwicklungsziele umgesetzten Holzeinbauten. Prozentuale Angaben für den Gesamtverbauungsgrad (GVG), horizontalen Verbauungsgrad (Breite) (HVG) und vertikalen Verbauungsgrad (Tiefe) (VVG) bezogen auf Mittelwasserabfluss (MQ). In den schematischen Darstellungen sind jeweils der HVG und VVG angegeben.

Blockage ratios of individual wood structures with specific restoration goals. Percentage for horizontal blockage ratio (width) (HVG), vertical blockage ratio (depth) (VVG) and total blockage ratio (GVG), referring to mean water discharge (MQ). The schematic drawings show the horizontal and vertical blockage ratio.

Entwicklungsziel und Verbauungsgrade <i>Restoration goal and blockage ratios</i>	Schematische Darstellung <i>Schematic diagram</i>
Krümmungserosion Lateral erosion HVG 75 % VVG 100 % GVG 75 %	
Strukturanreicherung Structural variability HVG 50 % (max.) VVG 100 % (max.) GVG 50 % (max.)	
Sohl-anhebung Bed aggradation HVG 100 % VVG 10 %–30 % GVG 10 %–50 %	

trobefischungen im Oktober 2008 und Ende April 2009 erfasst. Im Oktober 2008 war die Zahl gefangener Fische aufgrund hoher Strömung und Trübung des Wassers ca. 75 % geringer als im April 2009. Die jeweiligen Gewässerabschnitte wurden, vom Unterstrom beginnend, auf der ganzen Länge (je 200 m) mit einem Elektrofischfanggerät EFGI 650 einmal watend beprobt. Die gefangenen Tiere wurden zwischengehäutert und die Art und Länge auf 0,5 cm genau bestimmt. Die Bewertung des ökologischen Zustands erfolgte mit dem fischbasierten Bewertungssystem fIBS 8.0 (DUßLING 2009).

Die Kostenerfassung stützte sich auf die Abschlussrechnung des durchführenden Gewässerunterhaltungsverbandes. Für jeden Holzeinbau wurden Personal-, Maschinen- und Materialkosten erfasst. Das Holz für die Einbauten wurde aus dem Gewässerumfeld gewonnen, sodass hierfür keine Materialkosten entstanden. Die Planungskosten wurden pro Holzeinbau mit 125,- € veranschlagt, was den durch KAIL (2005) recherchierten mittleren Planungskosten aus zehn Revitalisierungsprojekten mit Holz entspricht.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Morphologie

Die Häufigkeit der Sohlstrukturen Kolke und Bänke wurde durch den Holzeinbau um das Dreifache auf 11 Sohlstrukturen/100 m (Variante W-) bzw. das Vierfache auf 15 Sohlstrukturen/100 m (Variante W+) gesteigert und war bei der Verwendung von Stammholz höher als bei der Verwendung von Kronenholz. Erste Strukturbildungen im Gerinne waren erwartungsgemäß bereits nach dem ersten Hochwasser festzustellen. Die Steigerung der Tiefenvariabilität der Sohle war im Mittel bei allen Einbauvarianten vergleichbar. Allerdings wurden durch den Einbau von Stammholz (W+) zwei auffallend tiefe Kolke gebildet. Die Einbauten aus Kronenholz wurden wegen des lückigen Aufbaus stärker durchströmt. Sie hatten daher eine weniger stark auf die Sohle gerichtete Nachlaufströmung und erzeugten dementsprechend auch flachere Auskolkungen.

Das Entwicklungsziel Strukturanreicherung konnte wie geplant erreicht werden, Krümmungserosion wurde teilweise initiiert. Es wurden keine bis sechs Sohlstrukturen pro Holzeinbau gebildet (Mittelwert 2,2). Die bei den Einbauten zur Krümmungserosion gebildeten Kolke waren aufgrund des größeren Volumens der Einbauten (KAIL 2005) um ca. 0,25 m tiefer als bei den Einbauten zur Strukturanreicherung. Ufererosion setzte wie gewünscht nur an Maßnahmen zur Krümmungserosion ein, wobei nur an vier dieser neun Maßnahmen eine Krümmungserosion initiiert wurde. Aufgrund der krautigen Ufervegetation setzte diese aber erst nach drei Jahren bei einem 25-jährlichen Hochwasserereignis ein. Die geplante Aufweitung des Ufers wurde durch die Krümmungserosion drei Jahre nach Umsetzung der Maßnahmen zu ca. 10 bis 50 % erreicht. Es ist aber insbesondere aufgrund der mittlerweile angebrochenen Ufer von weiter fortschreitender Erosion auszugehen.

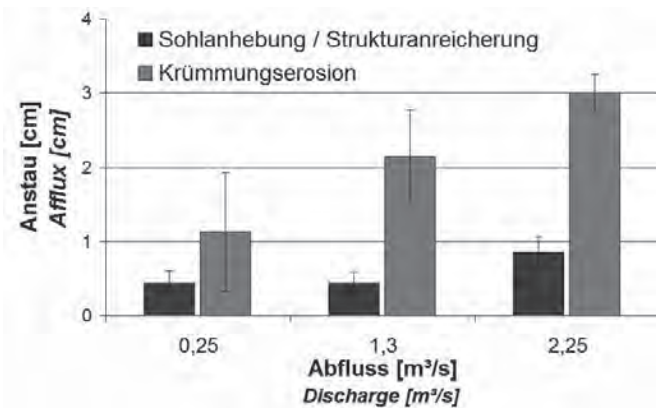
Für Einbauten mit dem Entwicklungsziel Sohlanhebung schien die Entfernung zu Profileinengungen im Oberstrom wesentlich für die Zielerreichung zu sein. Die Einbauten funktionierten nur dann dauerhaft, wenn sie mindestens 15 m bzw. im Abstand der dreifachen Gewässerbreite unterhalb von Maßnahmen zur Krümmungserosion angeordnet waren. An sechs von acht Holz-

einbauten zur Sohlanhebung wurde die Sohle zwischen 2007 und 2010 auf einer Länge von je 1 bis 10 m ober- und unterhalb der Einbauten zunächst um 0,1 bis 0,3 m angehoben. Oberhalb von vier dieser sechs wirksamen Einbauten wurden aber infolge eines 25-jährlichen Hochwasserereignisses an den Einbauten zur Krümmungserosion sehr tiefe und lang gestreckte Kolke gebildet. Diese reichten bis zu den Einbauten zur Sohlanhebung und führten zu einer Erosion des zuvor aufgelandeten Sediments und einer Unterspülung der Einbauten um 0,1 bis 0,3 m. Die durch Sedimentation als natürliche Abfolge auf den Kolk gebildete Furt entstand ca. 5 m unterhalb der Einbauten zur Sohlanhebung, bzw. 15 bis 20 m unterhalb der Einbauten zur Krümmungserosion. Dieser Abstand entspricht mit der dreifachen Bettbreite nach KELLER (1972) etwa dem mittleren Kolk-Furt-Abstand eines gestreckten Gewässers. Inwiefern die Beobachtungen ein zeitlich beschränkter Ausschnitt dynamischer Prozesse bei Extremereignissen sind und die Einbauten zur Sohlanhebung während niedrigerer Abflüsse wieder zu einer Sedimentation des Geschiebes führen, müssen längerfristige Untersuchungen zeigen. Unterspülungen der Stämme zum Zeitpunkt des Einbaus beeinträchtigten die Funktion der Holzstrukturen nicht und wurden während Basisabfluss-Bedingungen innerhalb des ersten Jahres durch Driftholz, Laub und Geschiebe verlegt. In eingetieften Gewässern sollten darüber hinaus Maßnahmen zur Krümmungserosion nach Möglichkeit erst nach erreichter Sohlanhebung umgesetzt werden. Das Ziel der Sohlanhebung konnte in der hier angewandten Abfolge nur punktuell durch temporäre Sedimentspeicherung in Bänken und Furten erreicht werden, was z.B. auch KELLER & SWANSON (1979) und BILBY (1984) fanden. Verbesserte Auenanbindung oder Grundwasserspiegelanstieg sind daher auch zukünftig nicht zu erwarten. Die Kombination aus aufeinanderfolgenden Maßnahmen zur Krümmungserosion und Sohlanhebung zeigt aber eine geeignete Möglichkeit, die naturnahe Kolk-Furt-Abfolge in Tieflandbächen zu initiieren. Dies fördert wiederum wechselseitige Krümmungserosion und damit auch die eigendynamische Entwicklung des Gewässers. Generell müssen hydromorphologische Interaktionen aufeinanderfolgender Strukturen beim Holzeinsatz in degradierten Fließgewässern berücksichtigt werden.

5.2 Hydraulik

Der Rückstau an den Holzeinbauten war gering. Die lokale Einengung des Stromstrichs führte aber zu einer Sortierung von Korngrößen und damit zur Bildung von kiesigen Sohlbereichen. Insbesondere bei Niedrigwasserführung verbesserten sich die Fließverhältnisse im Stromstrich der Einbauten zur Krümmungserosion und Strukturanreicherung und im Bereich der Furten für strömungsliebende Organismen sichtbar.

Die Wasserspiegelerhöhung bzw. der Anstau im Oberwasser der Holzeinbauten war für die beiden fixierten Einbauvarianten (W±, W+) gleich, für die unfixierte Variante (W-) geringer. Bei niedrigem Abfluss von 0,25 m³/s stauten die Holzeinbauten unabhängig von der Einbauvariante und dem Verbauungsgrad den Wasserspiegel im Mittel um 0,5 cm an (Min. 0 cm; Max. 7 cm) (Abb. 6), hatten also keinen nennenswerten Effekt auf den Wasserrückhalt bei Niedrigwasser. Bei erhöhten Abflüssen von 1,3 m³/s und 2,25 m³/s war der Anstau 2 cm (Min. 0 cm; Max. 6 cm) und 3 cm (Min. 0 cm; Max. 4 cm). Bei diesen höheren Abflüssen war der Effekt erwartungsgemäß für Einbauten mit höherem Verbauungsgrad stärker (Mann-Whitney U, $p < 0,05$). Den höchsten Anstau von 7 cm bei 0,25 m³/s und 6 cm bei 1,3 m³/s bewirkte eine

**Abbildung 6**

Wasserspiegelanstau an Einbauten zur Sohl-anhebung und Struktur-anreicherung (N = 17) und Einbauten zur Krümmungserosion (N = 8) bei verschiedenen Abflüssen. Zum Vergleich: MNQ = 0,13 m³/s, MQ = 0,7 m³/s und MHQ = 3,9 m³/s. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Afflux at wood structures with the restoration goals bed aggradation and enhancement of structural variability (grey bars) (N = 17) and structures for lateral erosion (black bars) (N = 8) at different discharges. For comparison, the mean discharge in Ruhlander Schwarzwasser stream was 0,7 m³/s. The error bars illustrate the standard deviation.

Maßnahme aus vier Wurzelstöcken, wobei der Wasserspiegel-sprung hier durch einen sehr flachen, grobkiesigen Sohlbereich direkt unterhalb des Holzeinbaus verstärkt wurde. Durch den Rückstau an den Einbauten wurde das Gesamtgefälle zwischen 45 % bei 0,25 m³/s und 60 % bei 2,25 m³/s punktuell abgebaut.

5.3 Lagestabilität und Driftholzanlagerung

Die Holzeinbauten der beiden fixierten Varianten (W+, W±) waren erwartungsgemäß lagestabil. Lediglich ein 5,7 m langer Stamm, der seitlich durch Pfähle, nicht aber gegen Auftrieb gesichert war, löste sich bereits in der ersten Hochwasserperiode nach dem Einbau und wurde verdriftet. Die Wurzelstöcke und die durch die Bagger auf die Sohle gedrückten Baumkronen der Einbauvariante W± wurden durch die Gewässerbettdynamik in der ersten Hochwasserperiode ca. 0,2 m in die Sohle eingegraben und dadurch zusätzlich fixiert. Von den neun Holzeinbauten der unfixierten Einbauvariante (W-) waren nach drei Jahren nur noch zwei Einbauten zur Sohl-anhebung und ein Einbau zur Krümmungserosion funktionstüchtig. Die Einbauten aus Kronenholz waren zum Großteil bereits nach zwei Jahren so zerfallen, dass sie hydraulisch wirkungslos waren. Zudem wurden zwei der drei unfixierten Baumkronen, die zur Krümmungserosion eingebracht wurden, bereits durch das erste Hochwasser in eine strömungsparallele Lage gedreht. Drei Jahre nach dem Einbau wurde eine dieser Kronen während eines 25-jährlichen Hochwasserereignisses aus dem Untersuchungsabschnitt geschwemmt, die andere ganz auf die Böschung verlagert. Eine Fixierung der Holzeinbauten scheint daher in eingetieften Gewässern, in denen Hochwasser überwiegend im Gerinne abgeführt wird, unbedingt notwendig. Insgesamt schien es vor allem darauf anzukommen, ein Auftreiben der Holzeinbauten, insbesondere der Stamm-Enden, zu verhindern.

Dammbildungen und Verklausungen entstanden trotz des offensichtlichen großen Fallholzeintrags und des Transports von min-

destens zwei über 5,5 m langen Stämmen durch die komplette Untersuchungsstrecke nicht. Eine Gefährdung durch Schwallwellen, wie sie in Gebirgsbächen durch den Bruch von Holzdämmen dokumentiert sind (LANGE & BEZZOLA 2006), scheint daher unwahrscheinlich. Drei Jahre nach Einbau der Maßnahmen waren pro Holzeinbau neun Drifthölzer bzw. 0,06 m³ angelagert (max. 32 Drifthölzer und 0,44 m³ an einem Holzeinbau). Lediglich 8 % der Hölzer waren länger als 3 m (Max. 4,7 m). Der Holzeintrag aus der Ufervegetation ist nicht bekannt, aber aufgrund der teilweise alten Gehölzbestände und dem zu ca. 50 % baumbestandenen Ufer des Oberlaufs sicher erheblich höher als die nur geringe zurückgehaltene Holzmenge. Der Grund für den geringen Driftholzrückhalt und die mit 6 % geringe Steigerung des Gesamtholz-volumens im renaturierten Gewässerabschnitt war vermutlich die Beschränkung der Höhe der Einbauten bis maximal zur Höhe der Mittelwasserlinie. Bei Hochwasser wurden die Einbauten überströmt, sodass das überwiegend bei Hochwasser transportierte Driftholz (BILBY 1984) durch die Einbauten nicht zurückgehalten wurde. Der Rückhalt von natürlichem Driftholz sollte aber, sofern dies die Randbedingungen zulassen, ein Ziel von Maßnahmen zur Gewässerentwicklung sein. Durch die große Oberfläche der Driftholzanlagerungen (2,9 m² pro Holzeinbau, Min. 0,05 m²; Max. 10,5 m²) wird die ökologische Wirksamkeit der Holzeinbauten für das Makrozoobenthos wesentlich gesteigert (LESTER et al. 2009). Technisch kann die Driftholzanlagerung z.B. durch einen rechenartigen Aufbau der für die Fixierung der Stämme in die Sohle eingespülten Pfähle gefördert werden. Auch die Position eines buhnenartigen Holzeinbaus auf einer angeströmten Uferseite, zum Beispiel in der Außenkurve einer leichten Laufkrümmung oder durch die wechselseitige Anordnung von Buhnen, schien die Anlagerung von Driftholz zu steigern. Sofern die aus ökologischer Sicht erstrebenswerte Anlagerung von Astholz erwünscht ist bzw. toleriert werden kann, sollte bei der Umsetzung von wechselseitigen Einbauten zunächst der oberhalb liegende Holzeinbau realisiert werden, um den unterhalb liegenden Holzeinbau im optimalen Anstrombereich errichten zu können. Soll das bei Hochwasser transportierte, zum Teil größere Driftholz weitergeleitet werden um eine Dammbildung zu verhindern, sollten die Einbauten bei einem Abfluss über Mittelwasser überströmt werden. So wird überwiegend nur das bei Basisabfluss-Bedingungen verlagerte Driftholz zurückgehalten.

5.4 Ökologische Zustandsbewertung

Für das Makrozoobenthos bewirkte der Holzeinsatz eine Verbesserung aufgrund des gesteigerten Mikrohabitatangebots infolge der Sortierung von Korngrößen (GURNELL et al. 1995), der Zunahme besiedelbarer, lagestabiler Hartsubstrate und des Rückhalts von organischem Material (BILBY & LIKENS 1980, LESTER et al. 2009, MANNERS & DOYLE 2008). Die ökologische Zustandsklasse für die Abschnitte mit Holzeinsatz war gut, für den Kontrollabschnitt nur mäßig. Die Saprobie war in allen Abschnitten gut, die allgemeine Degradation in den renaturierten Abschnitten gut und im Kontrollabschnitt mäßig. Die Anzahl der Taxa in den revitalisierten Abschnitten lag zwischen 38 und 49 und war bei allen Beprobungen ca. 10 Taxa höher als im Kontrollabschnitt. Das Artenspektrum war aber in beiden Abschnitten vergleichbar. Aufgrund der höheren Deckungsgrade wertvoller Habitate wie Kies und Grobdetritus im Abschnitt mit Holzeinsatz waren hier aber Charakterarten mit hohen Zeigerwerten häufiger als im Kontrollabschnitt. Zudem ist davon auszugehen, dass der Kontrollabschnitt durch verdriftete Organismen aus den oberhalb liegenden renaturierten Strecken positiv beeinflusst wurde

(DRL 2008). Die mit einem Jahr relativ schnelle Verbesserung lässt auf ein gutes Wiederbesiedlungspotenzial des Abschnittes schließen.

Der Zustand der Fischbiozönose war sowohl in den Abschnitten mit Holzeinsatz als auch im Kontrollabschnitt schlecht. Der Holzeinsatz führte noch nicht zu einer Steigerung der Artenzahl bei den Fischen. Von den insgesamt 16 typspezifischen Arten wurden nur 8 Arten, von den 15 Begleitarten nur 2 Arten gefunden. Es fehlten die Leitarten Bachforelle, Hasel und Schmerle. Befischungen im April 2009 ca. 2 km ober- und unterhalb der Untersuchungsabschnitte zeigten ähnliche Ergebnisse. Wandernde und rheophile Arten fehlten oder waren in sehr geringer Abundanz vertreten. Die gleich gebliebene Artenzahl ist daher auf das geringe Wiederbesiedlungspotenzial zurückzuführen. Sowohl in den renaturierten Abschnitten als auch im nicht renaturierten Kontrollabschnitt wurden mit 90 % überwiegend Rotaugen und Flussbarsch gefangen. Dies weist auf einen degradierten Lebensraum hin (z.B. WOLTER & VILCINSKAS 1997 a und b). Die Fischdichte war in den Abschnitten der Einbauvarianten mit hohem und mittlerem wasserbaulichem Aufwand ($W+$, $W\pm$) etwa so hoch wie im Kontrollabschnitt. Die Fische hielten sich nicht verstärkt an den Holzstrukturen auf (Abb. 7). Die höchste Abundanz wurde im Abschnitt der naturnahen, unfixierten Einbauvariante ($W-$) gefunden und war fast doppelt so hoch wie im Kontrollabschnitt. Hier schien sich die gute Deckung durch Baumkronen positiv auf die Individuenzahl ausgewirkt zu haben. Fixierte Baumkronen sollten insbesondere zur Steigerung der Struktur- und Habitatvielfalt verstärkt Anwendung in der Revitalisierungspraxis finden. Die hydromorphologische Wirkung ist durch den Abbau der Zweige nach zwei bis drei Jahren reduziert, die strukturierende Wirkung bleibt aber durch das langsamer abbaubare Astholz länger erhalten.

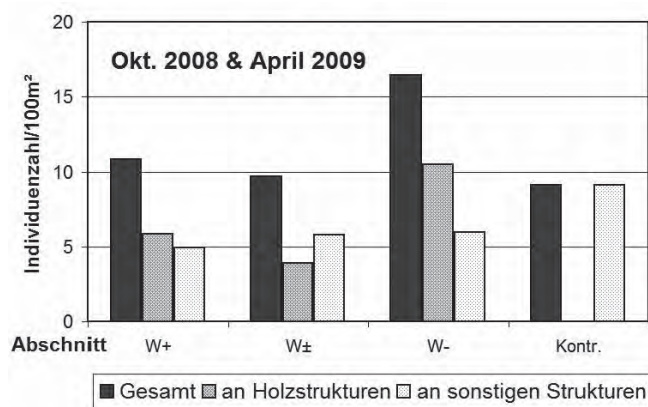


Abbildung 7

Fische und Neunaugen pro 100 m² in den renaturierten Gewässerabschnitten, differenziert nach den Einbauvarianten $W+$, $W\pm$ und $W-$ und dem Kontrollabschnitt (Kontr.). Das Diagramm zeigt sowohl die Gesamtzahl der in den jeweiligen Abschnitten gefangenen Fische (Gesamt) als auch anteilig die Anzahl der unmittelbar an den Holzeinbauten bzw. an sonstigen Gewässerstrukturen gefangenen Individuen.

Fish and lamprey per 100 m² in restored stream sections of the installation types $W+$, $W\pm$, $W-$ and in the control section (Kontr.). The figure shows the total number of fish for the individual sections (black bar), and the number of individuals near the wood structures (dark grey bar) and near other structures in the stream sections (light grey bars) respectively.

5.5 Kosten

Insgesamt lagen die Kosten für alle drei Einbauvarianten im unteren Bereich für Maßnahmen zur eigendynamischen Entwicklung an Fließgewässern (HILLENBRAND et al. 2001). Die Kosten für die beiden fixierten Einbauvarianten ($W+$, $W\pm$) waren mit 31 Euro pro laufenden Meter Gewässerlänge (€/lfm) etwa dreimal so hoch wie für die unfixierte Variante ($W-$) mit 11 €/lfm. Pro Maßnahme kosteten die fixierten Varianten 640 € (460–1160 €), die unfixierte Variante 240 € (170–300 €). Ursache für die vergleichsweise hohen Kosten der beiden fixierten Varianten war der höhere Zeit- und Maschinenaufwand für die Fixierung der Holzeinbauten.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Pilotstudie Ruhlander Schwarzwasser hat gezeigt, dass der für Tieflandbäche leitbildkonforme Holzeinsatz eine kosteneffiziente Methode zur Gewässerentwicklung ist. Durch die Kombination verschiedener horizontaler und vertikaler Verbauungsgrade konnten mit fixierten Holzeinbauten die Entwicklungsziele Strukturanreicherung erreicht und Krümmungserosion initiiert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Krümmungserosion infolge weiterer Hochwasserereignisse, insbesondere aufgrund der mittlerweile vegetationsfreien Uferabbrüche, weiter voranschreiten wird. Ungeplante Uferabbrüche und Dammbildungen entstanden auch während eines 25-jährlichen Hochwasserereignisses nicht. Damit scheint Holzeinsatz mit fixierten Einbauten in Tieflandbächen nicht nur als Initialmaßnahme zur eigendynamischen Entwicklung der Linienführung, sondern auch zur gezielten Strukturanreicherung im bestehenden Gewässerbett geeignet zu sein. Für Maßnahmen zur Sohlanehebung war der Abstand des Einbauortes zu kolkbildenden Gewässerstrukturen im Oberstrom, wie Sturzbäumen oder Querschnittseinnegungen, wesentliches Funktionskriterium. Dieser sollte mindestens der drei- bis vierfachen Sohlbreite entsprechen.

Für die fixierten Einbauvarianten ist aufgrund der langen Haltbarkeit und hohen Lagestabilität der Einbauten auch langfristig eine weitere positive hydromorphologische Entwicklung zu erwarten. Allerdings entspricht das in der Einbauvariante mit hohem wasserbaulichem Aufwand ($W+$) verwendete Stammholz nicht der Zusammensetzung natürlicher Strukturen aus Hölzern mit verschiedenen, überwiegend geringen Durchmessern. Die ökologischen Funktionen dieser Einbauten sind daher deutlich eingeschränkt. Um diese ökologisch aufzuwerten, sollte die Anlagerung von Driftholz ermöglicht und gefördert werden. Dadurch können die hydraulische Komplexität und Holzoberfläche der Einbauten wesentlich gesteigert werden.

Unfixierte Holzeinbauten und Baumkronen waren für eine eigendynamische Strukturentwicklung aufgrund der Verlagerung, der geringen Haltbarkeit des feinen Kronenholzes und der geringeren hydraulischen Wirkung nur bedingt geeignet. Die Vorteile lagen hier vor allem bei den geringen Umsetzungskosten und dem hohen ökologischen Wert des länger haltbaren groben Kronenholzes als Lebensraum. Der Einsatz von Baumkronen und Astholz scheint daher überwiegend für die direkte Strukturverbesserung und Habitatanreicherung empfehlenswert. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Kronen waren allerdings Weichhölzer. Es sollten daher noch Untersuchungen mit massiveren Kronen von Harthölzern mit geringeren Abbauraten durchgeführt werden. Zudem sollte, beispielsweise durch eingeschlagene Pfähle oder Einbinden in die Böschung, eine Fixierung

der Holzeinbauten am Ufer erfolgen. Für die Förderung eigendynamischer Entwicklung sollten Einbauten mit einem vertikalen Verbauungsgrad bis zum bettbildenden, mittleren Hochwasserabfluss bzw. zum bordvollen Abfluss getestet werden.

Um eine weitere Generalisierung der Erkenntnisse dieser Pilotstudie zu ermöglichen, sollten weitere Untersuchungen in einem breiteren Spektrum von Tieflandbächen mit verschiedener Abflusskapazität und unterschiedlich starkem Sedimenttrieb erfolgen.

Summary and conclusions

The Ruhlander Schwarzwasser pilot study has shown that the installation of wood structures is a cost-efficient measure for stream development. By appropriately combining horizontal and vertical blockage ratios, the restoration goal enhancement of structural variability was achieved and lateral erosion initiated. Uncontrolled bank erosion or dam formations did not occur, even during a 25-year flood event. Hence, fixed wood structures in lowland streams seem to be suitable for enhancing of structural variability of the streambed at sites where lateral erosion cannot be allowed. To achieve bed aggradation, an upstream distance to pool-initiating structures of more than three- to fourfold the stream width was required.

Because of their durability and stability, a positive long-term hydromorphological development is expected for the anchored constructions. The logs installed with high technical effort do not reflect the naturally occurring composition of different lumbers, predominantly with small diameters. Thus, the ecological functions of these constructions are limited. The retention of driftwood at the structures should be permitted to promote hydraulic and structural complexity and enhance the wooden surface area.

Non-fixed wood structures and crowns were only partially suitable for self-reinforcing stream structures because of displacement, low durability of the crowns and the low hydraulic effects. On the other hand, these wood structures offered the advantage of low implementation costs and a high ecological value of crowns as a habitat. Hence, the input of crowns and branches seems to be most recommendable for enhancing structural variability and for habitat enrichment. In this study, the crowns consisted of softwood with a high decomposition rate. Further investigations need to be done with hardwood crowns fixed at the bank. Moreover, to promote strong morphodynamics, wood installations with a vertical extent above the water level at riverbed-forming discharge should be tested.

To further generalise the findings of this study, further investigations should be performed in a wider range of lowland streams with various discharge-capacities and bed load transport rates.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden zum Teil im Rahmen eines zweijährigen Monitorings von Revitalisierungsmaßnahmen am Ruhlander Schwarzwasser erhoben. Wir möchten dem Gewässerverband „Kleine Elster – Pulsnitz“ danken, durch dessen Offenheit und Unterstützung diese Arbeiten ermöglicht wurden. Für Hilfe im Gelände danken wir Bianca Rappke, Jürgen Amonat, Katja Westphal und Marika Stange.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. M. Seidel
Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser- und
Kreislaufwirtschaft
Breitscheidstr. 2, 39114 Magdeburg
Michael.Seidel@hs-magdeburg.de

Dr. M. Mutz
Brandenburgische Technische Universität Cottbus,
Lehrstuhl Gewässerschutz
Seestraße 45, 15526 Bad Saarow

Literaturverzeichnis

- BILBY, R.E. & G.E. LIKENS (1980): Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems. – *Ecology* 61 (5), 1107–1113
- BILBY, R.E. (1984): Removal of wood may affect stream channel stability. – *Journal of Forestry* 82, 609–613
- BILBY, R.E. & P.A. BISSON (1998): Function and distribution of large woody debris. – In: Naiman R.J. & R.E. Bilby (ed.). *River Ecology and Management*. – Springer, New York, 324–346
- BRUNKE, M. & T. GONSER (1997): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. – *Freshwater Biology* 37, 1–33
- CHERRY, J. & R.L. BESCHTA (1989): Coarse Woody debris and channel morphology: a flume study. – *Water Resources Bulletin* 25, 1031–1036
- DIN EN ISO 748:2008-02 (2008): Hydrometrie – Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007); Deutsche Fassung EN ISO 748:2007. – Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DRL (Deutscher Rat für Landespflege) (Hrsg.) (2008): Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch Strahlwirkung. – Schriftenreihe des deutschen Rates für Landespflege, H. 81
- DÜßLING, U. (2009): Handbuch zu fIBS. – Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V., H. 15, 59 S.
- ECKERT, S., J. SCHERLE, F. NESTMANN, M. HUG & V. SPÄTH (1996): Totholzfall in Fließgewässern und dessen Auswirkungen auf die Gewässerstrukturentwicklung in Abhängigkeit von Baumarten, Waldgesellschaften, Alters- und Waldstruktur auf Ufer und Uferandstreifen. – Veröff. PAÖ 16. Universität Karlsruhe, 122 S.
- GERHARD, M. & M. REICH (2000): Restoration of streams with large wood: Effects of accumulated and built-in wood on channel morphology, habitat diversity and aquatic fauna. – *International Review of Hydrobiology* 85 (1), 123–137
- GERHARD, M. & M. REICH (2001): Totholz in Fließgewässern – Empfehlungen zur Gewässerentwicklung. – Werum GmbH, Mainz, 84 S.
- GREGORY, S.V., K.L. BOYER & A.M. GURNELL (2003): The ecology and management of wood in world rivers. – *American Fisheries Society, Symposium* 37, Bethesda, Maryland, 431 S.
- GURNELL, A.M., K.J. GREGORY & G.E. PETTS (1995): The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications

- for management. – *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5, 143–166
- HARMON, M.E., J.F. FRANKLIN, F.J. SWANSON, P. SOLLINS, S.V. GREGORY, J.D. LATTIN, N.H. ANDERSON, S.P. CLINE, N.G. AUMEN, J.R. SEDELL, G.W. LIENKAEMPER, K. CROMACK & K.W. CUMMINS (1986): Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. – *Advances in Ecological Research* 15, 133–302
- HILLENBRAND, T., J. LIEBERT, E. BÖHM & A. ROSER (2001): Kosten-Wirksamkeitsanalyse für Gewässerstrukturmaßnahmen in Hessen. Endbericht. – Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, 72 S.
- KAIL, J. (2005): Geomorphic effects of large wood in streams and rivers and its use in stream restoration: a Central European perspective. – Ph.D. Thesis, Universität Duisburg-Essen, Essen, 153 S.
- KELLER, E.A. (1972): Development of alluvial stream channels: A five-stage model. – *Geological Society of America Bulletin* 89, 1531–1536
- KELLER, E.A. & F.J. SWANSON (1979): Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. – *Earth Surface Processes* 4, 361–380
- LANGE, D. & G.R. BEZZOLA (2006): Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze. – *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich*, H. 188, 125 S.
- LAUNHARDT, A. & M. MUTZ (2002): Totholz statt Steine, eine Alternative für Sohlgleiten in abflussschwachen Sandbächen. – *Deutsche Gesellschaft für Limnologie – Tagungsbericht 2002*. Eigenverlag der DGL, Tutzing, 699–702
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2003): Karte der biozönotisch bedeutsamen Fließgewässertypen Deutschlands. Stand Dezember 2003
- LESTER, R.E., W. WRIGHT, M. JONES-LENNON & P. RAYMENT (2009): Large versus small wood in streams: the effect of wood dimension on macroinvertebrate communities. – *Fundamental and Applied Limnology. Archiv für Hydrobiologie* 174 (4), 339–351
- LUA (Landesumweltamt Brandenburg) (2010): Hydrologische Auskunft der Regionalabteilung Süd vom November 2010
- MANNERS, R.B. & M.W. DOYLE (2008): A mechanistic model of woody debris jam evolution and its application to wood-based restoration and management. – *River Research and Applications* 24, 1104–1123; DOI: 10.1002/rra.1108
- MASER, C. & J.R. SEDELL (1994): From the forest to the sea – The ecology of wood in streams, rivers, estuaries, and oceans. – St. Lucie Press, Delray Beach, 196 S.
- MEIER, C., P. HAASE, P. ROLAUFFS, K. SCHINDEHÜTTE, F. SCHÖLL, A. SUNDERMANN & D. HERING (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung, 79 S.; <http://www.fliessgewaesserbewertung.de> [Stand März 2011]
- MONTGOMMERY, D.R., B.D. COLLINS, J.M. BUFFINGTON & T.B. ABBE (2003): Geomorphic Affects of Wood in Rivers. – In: Gregory, S.V., Boyer, K.L. & A.M. Gurnell. The ecology and management of wood in world rivers. – American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland, 21–48
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2003): Handbuch zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern, Bd 1
- MUTZ, M., J. SCHLIEF & C. ORENDT (2001): Morphologische Referenzzustände für Bäche in Brandenburg. – In: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Studien und Tagungsberichte – Band 33. Berlin/Potsdam. 75 S.
- MUTZ, M. (2003): Hydraulic effects of wood in streams and rivers. – In: S. Gregory, K. L. Boyer, A. M. Gurnell. The ecology and management of wood in world rivers. – American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland, 93–107
- MUTZ, M. & A. RHODE (2003): Processes of surface-subsurface water exchange in a low energy sand-bed stream. – *International Review of Hydrobiology* 88, 290–303
- MUTZ, M., E. KALBUS & S. MEINECKE (2007): Effect of in-stream wood on vertical water flux in low-energy sand bed flume experiments. – *Water Resour. Res.* 43, W10424; doi:10.1029/2006WR005676
- ROBISON, E.G. & R.L. BESCHTA (1990): Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southeast Alaska, USA. – *Earth Surf. Process. Landf.* 15, 149–156
- SCHERLE, J. (1999): Entwicklung naturnaher Gewässerstrukturen – Grundlagen, Leitbilder, Planung. – *Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH)*, H. 199
- SHIELDS, F.D. & R.H. SMITH (1992): Effects of large Woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed River. – *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 2, 145–163
- SHIELDS, F.D. & C.J. GIPPEL (1995): Prediction of effects of woody debris removal on flow resistance. – *Journal of Hydraulic Engineering* 121, 341–354
- WOLTER, C. & A. VILCINSKAS (1997 a): Perch (*Perca fluviatilis*) as an indicator species for structural degradation in regulated rivers and canals in the lowlands of Germany. – *Ecology Freshwater Fish* 6, 174–181
- WOLTER, C. & A. VILCINSKAS, A. (1997 b): Characterization of the typical fish community of inland waterways of the north-eastern lowlands in Germany. – *Regulated Rivers: Fisheries Research & Management* 13, 335–343