

# Landesruderverband Brandenburg e.V.

## Technischer Bericht

### Untersuchung der Wirkung der Borsten von Fisch-Boots-Pässen auf Ruderboote



Dr.-Ing. Hans-Peter Kozerski,  
Rüdersdorfer Ruderverein Kalkberge e.V.

Dipl. Ing. Heinzdieter Schmidt,  
Ruderverein Wasserfreunde Erkner e.V.

Beeskow, 1. Juni 2009

## 1. Zusammenfassung

Europaweit werden in den kommenden Jahren Anlagen gebaut, die eine ökologische Durchgängigkeit der Flüsse bewirkt. Eine Möglichkeit dazu bieten neuartige Borsten-Fischpässe, die gleichzeitig auch von Kanus und anderen muskelbetriebenen Sportbooten genutzt werden können, Staustufen zu überwinden, stromauf treidelnd und talwärts in freier Fahrt.

Voraussetzung für die Benutzung insbesondere durch relativ teure und lange Boote ist, dass durch eine Berührung mit den Borsten keine Schäden entstehen.

Ziel der Untersuchungen des Ruderverbandes war es daher, die Wirkung einzelner, stark belasteter und in verschiedenen Winkeln eingespannter Borsten und ganzer Borstenkollektive auf lackiertes Holz zu ermitteln und entsprechende Folgerungen zu ziehen.

Die Untersuchungen fanden beim Ruderverein Wasserfreunde Erkner e.V. in drei Abteilungen statt:

1. Trockenexperimente mit einzelnen Borsten bei definierten Einspannlängen, Andruckkräften und Winkeln.  
Hierzu wurde ein Slipwagen mit einer Borste an einer ebenen Holzplatte (das Seitenteil eines höhenverstellbaren Turnkastens) entlang geschoben.
2. Trockenexperimente mit einem kompletten Borstenelement (100 Büschel mit je 6 Borsten), das mehrmals mit Beschwerung von 2 Personen über den Rumpf eines C-Zweiers gezogen wurde.
3. Wasserexperimente mit einem Gig-Einer mit Steuermann, der mit Belastung über ein Borstenelement gezogen wurde, dessen Borstenspitzen sich in Höhe des Wasserspiegels oder in 10 cm Tiefe befanden.

Die Einspannlänge der Borsten betrug dabei 47, 10 und 6 cm.

Alle Experimente haben gezeigt, dass im Normalfall keine Schädigungen erfolgen. Nur wenn sich durch drastische Verschmutzungen die Einspannlänge einzelner Borsten auf wenige Zentimeter verkürzt oder sich Unrat im „Fahrwasser“ befindet, ist mit in der Regel geringfügigen Kratzern zu rechnen.

Es ist daher die bewährte Geflogenheit beizubehalten, sich den Weg des Bootes vor der Befahrung gut (bei einem kurzen Halt vor einer solchen Gesamtanlage) anzusehen und ggf. Hindernisse und Verunreinigungen zu entfernen.

Der Bau von Borstengassen auch für Ruderboote und andere empfindliche Bootstypen ist zu befürworten. Es ergeben sich auch keine prinzipiellen Bedenken dagegen, die Berührung von Borsten mit den Boote dahingehend auszunutzen, die Kurs der Boote gezielt zu verändern und zu bremsen. Entsprechende systematische Labor- und Feldversuche sollten möglichst kurzfristig begonnen werden.

## 2. Versuchsaufbau und Ergebnisse

### 2. 1. Experimente im Trocknen mit Einzelborsten

**Versuchsfläche:** Um mit weitestgehend ebenen Flächen arbeiten und die Spuren einzelner Versuche deutlich von einander trennen zu können, wurden Turnkästen-Elemente verwendet, die neben der den Slipwagengleisen parallel und höhenverstellbar abgelegt und beschwert wurden. Die Seitenflächen waren mit einer oder 2 Lackschichten (4 Wochen alt) versehen und in senkrechter Position.

**Lack:** Super Nova, Bootsklarlack, Produkt-Code M KH 02, Meffert AG Farbwerke Sandweg 15, Bad Kreuznach. Die Versuche fanden im April 2009 bei Temperaturen zwischen 15 und 22 Grad Celsius (im Wasser ca. 17 ° C) statt.

**Borsten:** Dr. Hassinger, Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieurwesen, [www.uni-kassel.de/fb14/vpuw](http://www.uni-kassel.de/fb14/vpuw) hatte für die Versuche freundlicherweise zwei Borstenelemente mit ca. 1200 einzelnen Borsten aus Polypropylen (PP) zur Verfügung, die er vom Hersteller Braun & Wettberg, Beerfelden bezogen hatte. Sie haben einen ellipsenförmiger Querschnitt mit einem langen Durchmesser (hier meist wirksam) von 6 mm und einen kurzen Halbmesser von 4 mm. Ihre Länge betrug 50 cm und wurde zum Einbau in die Halterung am Slipwagen auf das notwendige Maß reduziert.



Improvisierte Versuchsanlage bestehend aus einem Slipwagen mit Borsteneinspannung, Rollen gelagertem Andruckhebel sowie den Hantelgewichten und den höhenverstellbaren Turnkastenteilen mit den lackierten Versuchsflächen

**Ergebnisse:**



Die mit Flügelmutter und Schraubzwinde eingespannte Borste knickt an dem lackierten Kastenteil bei Einspannlängen über 5 cm und Belastung mit mehr als 50 N nach unten weg

Bereits die ersten Experimente zeigten ein sehr wichtiges Grundverhalten der Borsten: Bei Bewegung biegen sich die Borste aus der orthogonalen Position heraus, wenn die freie Länge über 5 cm liegt. Kürzer gefasste Borsten flattern, d.h. sie geben dynamisch nach oder knicken bei entsprechender Andruckkraft durch Versagen der Zugzone ganz und gar ab.

5 cm lange Borsten brauchen eine Kraft von 55 N (Exp. 23), um sich nach hinten, oben oder unten deutlich weg zu biegen. Sie hinterlassen dabei keine erkennbaren Spuren.

Sind die Borsten ein wenig (ca.  $5^\circ$ ) gegen die Bewegungsrichtung (nach vorn) geneigt, dann weichen die Borsten nicht aus und können bei dieser Kraft deutlich sichtbare Spuren hinterlassen, die aber nicht bedrohlich sind, weil nur die Lackoberschicht aufgeraut wird.



Horizontal verlaufende Kratzspur auf dem lackierten Kastenteil im Versuch 7 bei einem Winkel von  $5^\circ$ , einer Einspannlänge von 5 cm und einer Belastung von 55 N. Die schräge Spur war alt und liegt unter der dem Lack.

Sind die Borsten weniger eng eingespannt und bei Belastungsbeginn nach hinten oder stärker nach vorn geneigt, dann verstärkt sich die Neigung mit dem Beginn der Bewegung. Die Kratzwirkung vermindert sich dadurch und ist in der Regel nicht mehr erkennbar. Das ist in der Praxis der Regelfall, denn die Borsten sind normalerweise sehr lang eingespannt (50 cm) und die Auflagekräfte des Bootes verteilen sich auf eine sehr große Anzahl von Borsten. Ganz flach anliegende Borsten hinterlassen erwartungsgemäß keine Spuren.

Ernst zu nehmende Kratzer konnten wir nur erzeugen, wenn die Einzel-Borste extrem kurz (2,5 cm) eingespannt und mit einer Kraft von mehr als 100 N belastet wurden. Hier wurde der Lack in einer Breite von ca. 2 mm so weit angekratzt, dass man eine neue Lackierung nicht

allzu lange hinausschieben sollte. Das Holz wurde aber nicht frei gelegt und die Funktion des Bootes in Frage gestellt. Derartige Kratzer kommen an viel benutzten Booten häufig vor. Eine Notwendigkeit, die Fahrt bei solchen Kratzern zu unterbrechen, besteht somit nicht.

Anzumerken ist hier aber, dass solch eine kurze Einspannung der Borsten in der Praxis nicht zu erwarten ist. Die Borsten müssten dazu durch sehr kompakt eingelagerten Sand, grobes Geschwemmsel oder eine Eisschicht eingespannt sein. Wenn man nach der Regel verfährt,



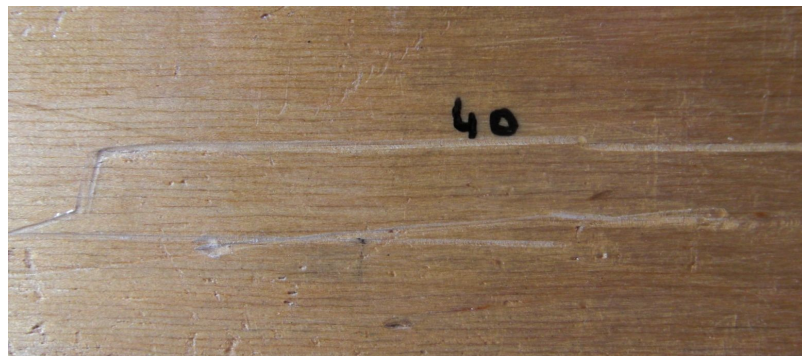
dass man mit offenen Augen das Boot nur dorthin bewegt, wo man Wasser sowie den Untergrund und andere Hindernisse einschätzen kann, dann ist ein solcher Fall

Deutliche Kratzspur in der Lackschicht bei extrem kurzer Einspannung und einer Belastung der Einzelborste mit 109 N im Versuch 9

auszuschließen. Und der Fall, dass eine Rinne mit starker Strömung vereist ist, wenn die Zufahrt noch oder schon wieder eisfrei ist, kann man wohl auch als höchst unwahrscheinlich betrachten.

Was das Geschwemmsel anbelangt, wäre darauf hinzuwirken, dass an derartigen Anlagen ein Schild darauf hinweist, dass man vor der Benutzung die Gasse besichtigt und ggf. angesammelten Unrat mit dem Paddelhaken oder anderen Hilfsmitteln entfernt.

Geprüft wurde auch der Einfluss der Form der Borstenspitzen auf die Kratzwirkung. Dazu wurden Borsten im Auslieferungszustand, mit der Kneifzange zerteilt und durch Flammeneinwirkung abgerundet, in ihrer Wirkung verglichen. Es zeigte sich ein viel geringerer Unterschied als erwartet. Die durch Flam-



Kratzspuren einer abgerundeten Borste bei kurzer Einspannung (3 cm) und einer Belastung von 110 N im Versuch 40.

meneinwirkung abgerundete Borsten hinterlassen bei entsprechender Einspannung und Belastung ähnliche Spuren wie die anderen. Folglich sind immer wieder zu hörende Forderungen nach speziellen Behandlungen der Borsten zwecks Abrundung nicht gerechtfertigt. Wer befürchtet, dass sich gegen die Bewegungsrichtung geneigte, nicht abgerundete Borstenspitzen an Hindernissen auf der Bootshaut (z.B. unsauber gearbeitete Plankenstöße) verfangen könnten, der sollte solche Hindernisse am Boot beseitigen.

Das Wegbiegen der Borsten wurde in einer speziellen Versuchsreihe mit Einspannwinkeln zwischen  $-50$  bis  $+90^\circ$  und unterschiedlichen Kräften und Einspannlängen  $L$  untersucht. Sind die Borsten gegen die Bewegung geneigt, dann reichen bei  $L = 5$  cm Kräfte unter  $25$  N, um die Borstenspitzen deutlich zu biegen, von  $-30^\circ$  auf  $-45^\circ$ , von  $-40^\circ$  auf  $-50^\circ$  und von  $-50$  auf minus  $70^\circ$ . Bei einer Anfangsneigung der Borsten nach hinten vollziehen sich die Biegungen bei noch geringeren Kräften. Beträgt die Einspannlänge  $10$  cm und mehr, dann schmiegen sich die Borsten sofort an die Versuchsfläche an und verlieren jede Möglichkeit, den Lack deutlich zu schädigen. Bei einem speziellen Experiment wurde eine Borste flach zwischen Andruckhebel und Versuchsfläche positioniert und mit  $110$  N angedrückt. Sie hinterließ keinerlei Spuren, obwohl die Andruckfläche des Andruckhebels nicht größer als ca.  $1$  cm<sup>2</sup> war.

Ist eine Borsten sehr kurz eingespannt und stärker belastet ( $> 55$  N), dann kann es auch zu plastischen Verformungen kommen. Das Material verliert seine bisherigen Eigenschaften. Die elastischen Kräfte werden schwächer und alle momentanen Gefahren für den Lack ebenfalls. Negativ könnte sich dieses Verhalten aber für die Funktionsweise der Borstengassen auswirken, wenn die Borsten auf diese Weise verkürzt werden. Deshalb erscheint es unbedingt notwendig zu sein, dass alle Materialien, die die Einspannung der Borsten stark verkürzen können (z.B. Eis, Sand, Unrat), entfernt oder umfahren werden.

### Schlussfolgerungen aus dieser Versuchen:

Solange man es mit länger als  $10$  cm eingespannten Borsten zu tun hat, kann man davon ausgehen, dass sich diese bei Belastung zur Seite weg biegen und es zu keinen Schädigungen des Lackes kommt.

Nur bei stark verklausten oder vereisten Fisch-Boots-Pässen erscheint es möglich, dass sich die Einspannung verkürzt und ggf. einzelne Borsten mit Kräften über  $50$  N auf die Bootshaut gedrückt werden. Nur dann sind deutliche Spuren von den Borsten zu erwarten, die aber die Funktion der Lackschicht oder gar des Bootes nicht gefährden. Noch größere Kräfte würden zu plastischen Verformungen der Borsten führen und können damit dem Boot wahrscheinlich ebenfalls nicht gefährlich werden. Harte Gegenstände, die sich in den Borsten verfangen haben, könnten dagegen aber zu deutlicheren Kratzern führen, weshalb es u.a. immer sinnvoll erscheint, die Gasse vor der Benutzung zu besichtigen und ggf. Unrat zu entfernen.

## 2.2 Experimente im Trocknen mit einem Borstenelement



Kratzversuche im Trocknen an einem C-Gig-Zweier

Ein C-Gig- Zweier war kieloben gelagert. Ein an zwei Latten befestigtes Borstenelement war mit zwei 5-Kilogramm-Hantelscheiben beschwert und wurde von zwei Personen in etwa horizontaler Ausrichtung mehrmals über die Bootshaut ca.  $2$  m lang hin und her bewegt. Danach waren keinerlei Kratzspuren erkennbar, während auf einem mit Ruß bedeckten Abschnitt die Wischwirkung der Borsten sehr gut zu erkennen war. Auch dort, wo die Borsten absolut senkrecht auf den Lack gesetzt wurden und beim Wechsel der Bewegungsrichtung auch gegen die Bewegung auf die

Bootshaut einwirkten, gab es keinerlei Kratzspuren. Gut zu beobachten war hier, wie sich die Borsten durch Biegung nach hinten, zur Seite und ggf. auch nach vorn einer starken Druckbelastung entzogen. Dabei passt sich die Borstenformation nach kurzer Strecke der Form des Bootes genau an.

### 2.3 Experimente mit einer B-Gig im Wasser

Ein Borstenelement war senkrecht auf einen Splipwagen montiert und mit dem Wagen so weit ins Wasser gebracht worden, dass im ersten Experiment die mittleren Borsten genau mit dem Wasserspiegel abschlossen. Die landseitigen Borsten ragten wenige Millimeter heraus, die seeseitigen tauchten unter, denn die Splipwanne hatte eine Neigung von 1:7. Wenn das Boot über die Borsten in Richtung Land gezogen wurde, hatten die Borsten somit eine Neigung von  $-7^\circ$  gegen die Bewegungsrichtung. Das Boot wurde fünfmal hin und zurück bewegt.

Es ergaben sich auf dem Boot keine Spuren, die an Land nach Trocknung und Umdrehen des Bootes weder mit dem Auge noch durch Fotos wahrnehmbar waren.

Dieses Experiment wurde mit gleichem Ergebnis bei einer Tiefe der Borstenspitzen von 7 cm wiederholt. Das war die Tiefe, bei der die Borsten das Boot gerade so berührten, aber fast senkrecht blieben. Das Schaben der Borsten war deutlich zu hören, aber keine Kratzwirkung zu erkennen.



Durch das Hindurchstecken der Borsten durch die Löcher einer zweiten „Grund“-Platte konnte die Einspannlänge der Borsten stark vermindert werden.



Der B-Big-Einer unmittelbar vor der Berührung mit den Borsten, die nur landwärts etwas aus dem Wasser heraus ragten.

Da die Wirkung der Borsten bei den Trockenversuchen eindeutig dann am stärksten war, als die Borsten sehr kurz eingespannt waren, wurde der wohl ungünstigste Fall simuliert, dass alle Borsten von einer Eisschicht eingespannt sind. Dazu hatten wir die mit Löchern versehenen Grundplatte eines zweiten Borstenelementes verwendet, deren Borsten entfernt wurden. Die Bündel unseres bisherigen ersten Borstenelementes wurden durch die nun freien Löcher hindurch gesteckt und somit ein zweites Mal in einer Tiefe von 10 cm eingespannt. Egal mit welcher Wassertiefe gearbeitet wurde, ergaben sich selbst dann keine Kratzspuren, als die Einspannlänge auf 6 cm reduziert wurde.

Bei der sehr genauen abschließenden Prüfung der Bootshaut wurden an wenigen Stellen ganz leichte Eindrücke in die Lackschicht entdeckt, die vorher

nicht bemerkt worden waren. Wenn diese Minidellen in der Lackschicht tatsächlich durch die Versuche entstanden sind, könnten sie folgendermaßen erklärt werden:

Beim letzten Versuch mussten wir den Ablauf verändern, denn das durch eine Person normal belastete Boot tauchte am Bug mit Außenkiel und Kielschiene gleich so weit ein, dass es beim Auffahren auf das Borstenelement sofort „Grund“-Berührung mit der Grundplatte bekam und „strandete“, sich also nicht mehr so weit auf die Borsten ziehen ließ, dass die Planken Druckkontakt mit den Borstenspitzen erhalten konnten. Daraufhin postierten wir die Person zuerst im Heck und zogen das Boot so weit auf die Bosten, dass das Boot über der Platte schwamm und nicht die Kielschiene, sondern die Borsten unter Druck gerieten.. Erst dann kletterte die Person (96 kg) nach vorn, setzte sich auf den Rollstuhl und sorgte dabei für zunehmenden Druck. Da das Boot dabei auf der Stelle gehalten wurde entstand eine sich diskontinuierlich erhöhende Punktbelastung, die zu den Minidellen geführt haben kann. Im Normalbetrieb einer Bootsgasse wird dieser Lastfall wohl nur ganz selten vorkommen und ist ebenfalls nicht als Gefahr bringend einzustufen.

Es ist aber auch möglich, dass diese Eindruckstellen eine andere Ursache hatten und nur vor diesem Experiment, als linienförmige Kratzer gesucht worden sind, übersehen worden waren.

#### Schlussfolgerungen aus den Wasserversuchen

Im Gegensatz zu den Trockenversuchen mit einzelnen Borsten ist bei der gemeinsamen Wirkung ganzer Borstenelemente die Belastung offenbar so gering, dass keine Schädigungen auftreten.

### **3. Gesamtschlußfolgerungen**

Die etwa 50 einzelnen Experimente im Trockenen und im Wasser haben gezeigt, dass im Normalfall keine Schädigungen erfolgen. Nur bei sehr kurzer Einspannlänge einzelner Borsten traten relativ schwache Kratzer auf.

Unter der Voraussetzung, dass ähnlich günstige Borsten und Lacke oder andere Bootshaut-Materialien verwendet werden, kann man davon ausgehen, dass die Anwendung von Borstenelementen in kombinierten Bootsgassen – Fischwanderhilfen für Ruderboote generell unproblematisch sind. Die Autoren selbst haben keinen Grund daran zu zweifeln, dass entsprechende Experimente bei anderen Temperaturen und mit anderen handelsüblichen Materialien zu gleichen Aussagen führen werden.

Dennoch wäre es zu begrüßen, dass eventuell notwendige Warnungen für andere Bedingungen von der Lackindustrie selbst kämen.

Der Bau von Borstengassen auch für Ruderboote und andere empfindliche Bootstypen kann somit befürwortet werden. Es ergeben sich auch keine prinzipiellen Bedenken dagegen, die Berührung von Borsten mit den Boote dahingehend auszunutzen, die Fahrt der Boote gezielt zu lenken und zu bremsen. Entsprechende systematische Labor- und Feldversuche in genügend breiten Pilotanlagen sollten möglichst kurzfristig begonnen werden.