

Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes
Band 54

Pilotprojekt Borstenanlagen im Spreewald

Abschlussbericht





Pilotprojekt „Borstenanlagen im Spreewald“

Erhaltung von Habitaten der Kleinen Flussmuschel
(*Unio crassus*) im Biosphärenreservat Spreewald durch
Einrichtung von Borstenanlagen

Abschlussbericht



Landesumweltamt Brandenburg
Universität Kassel
2007

Erhaltung von Habitaten der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus*) im Biosphärenreservat Spreewald durch Einrichtung von Borstenanlagen (DBU- Pilotprojekt)

<u>Projektförderung:</u>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Fachliche Betreuung: Dr. V. Wachendörfer Juni 2005 – November 2006
<u>Laufzeit:</u>	
<u>Projekträger:</u>	Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
<u>Kooperationspartner:</u>	Universität Kassel, Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau
<u>Auftragnehmer für ökolog. Monitoring:</u>	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V., Berlin (IGB)
<u>Mitwirk. bei Planung und Umsetzung:</u>	IPP-HYDRO-CONSULT GmbH, Cottbus; PROKON; Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“
<u>Projektbearbeiter:</u>	
Dipl.-Ing. Isabell Hiekel, LUA, RS 5	Koordination und fachliche Leitung
Dr.- Ing. Reinhard Hassinger, Uni Kassel	Entwicklung und Errichtung der Borstenanlagen, Hydraulische Untersuchungen
Dipl.-Ing. Karin Hüppe, Gerhard Magoltz LUA, RS 6	Begleitung der Errichtung der Anlagen
Dr. Martin Pusch (IGB)	Leitung der ökologischen Untersuchungen an der Kleinen Spree
Sebastian Zoepf, Carpus e.V.	Nutzerakzeptanzanalyse am Fisch-Kanu-Pass
Norbert Herr, LUA,RS 5	Fachliche Begleitung
<u>Projektbearbeiter im Auftrag des IGB:</u>	
Dipl.-Ing. Jens Martin	Untersuchungen zu <i>Unio crassus</i>
Dipl.-Biol. Frank Fredrich	Fischbestandserfassung
Torsten Berger	Untersuchungen zu <i>Unio crassus</i>
Ricarda Lehmitz	Strukturgüteuntersuchungen
Olaf Zöllig	Fließgeschwindigkeitsmessungen
Dipl.-Biol. Martina Pusch	Strukturgüteauswertung
Dipl.Biol. Frank Fredrich	Untersuchungen zum Fischeaufstieg am Fisch-Kanu-Pass und am Vertical-Slot-Pass

Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe - ISSN 0948-0838

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Seeburger Chaussee 2
OT Groß Glienicke
14476 Potsdam
Tel.: +4933201 442 515
Fax: +4933201 43678
E-Mail: info@lua.brandenburg.de

Band 54

Pilotprojekt Borstenanlagen im Spreewald - Abschlussbericht

Bearbeitung:

Ref. RS5 Wasserbewirtschaftung, Hydrologie: Dipl.-Ing Isabell Hiekel
Tel.: +49355 4991 1387
E-Mail: isabell.hiekel@lua.brandenburg.de

Redaktion, Gestaltung: Referat S5 Umweltinformation, Öffentlichkeitsarbeit: Dr. Barbara Herrmann

Titelumschlag: PoWer.DesignThing Berlin-Potsdam

Druck: Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Am Halbleiterwerk 1, 15236 Frankfurt (Oder)
TZ AT 098/07

Potsdam, im Oktober 2007

Schutzgebühr: 7 EUR

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Gleichfalls untersagt ist die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Zielstellung und Projektdurchführung	6
1.1	Einleitung	6
1.2	Projektgebiet und Problemstellung	7
1.3	Lösungsansatz – Das Borstenkonzept	11
1.4	Zielstellung und Projektdurchführung	13
1.4.1	Ziele des Projektes	13
1.4.2	Arbeitsinhalte und Koordination	14
1.4.3	Öffentlichkeitsarbeit	15
2	Grundlagen zur Bestandssicherung von <i>Unio crassus</i>	16
2.1	Habitatanforderungen von <i>Unio crassus</i> im Raum Burg	16
2.1.1	Zielstellung	16
2.1.2	Material und Methoden	16
2.1.3	Ergebnisse	17
2.1.3.1	Kleine Spree – Pilotstrecke	18
2.1.3.2	Kleine Spree unterhalb der Pilotstrecke: Fischerfließ bis Kälbergraben	20
2.1.3.3	Burg-Lübbener-Kanal	21
2.1.3.4	Kleines Fließ	21
2.1.3.5	Großes Fließ	22
2.1.3.6	Weitere Arten	24
2.1.4	Auswertung und Diskussion	26
2.2	Bestandsbeeinflussende Parameter	28
2.2.1	Physiko-chemische Parameter	28
2.2.1.1	Sohlbeschaffenheit und Gewässerstrukturen	28
2.2.1.2	Strömung	30
2.2.1.3	Wasserbeschaffenheit	30
2.2.2	Wirtsfische	32
2.2.2.1	Ökologische Grundlagen	32
2.2.2.2	Zur Fischfauna im Burger Spreewald	33
2.2.2.3	Einschätzung zur Bestandsentwicklung der Fischfauna	41
2.2.3	Beutegreifer (Prädatoren)	42
2.3	Funktionale ökologische Zusammenhänge in Bezug auf <i>Unio crassus</i>	42
2.4	Gefährdung von <i>Unio crassus</i> im Burger Spreewald	44
2.4.1	Touristische Nutzung der Fließe	44
2.4.2	Prognostizierte Durchflussverringerung im Großen Fließ	45
2.4.3	Fehlende Längsdurchgängigkeit der Gewässer	46
2.5	Maßnahmenvorschläge zum Schutz von <i>Unio crassus</i>	46
2.6	Zusammenfassung und Fazit	47
3	Teilprojekt Kleine Spree	49
3.1	Ziel, Planung und Umsetzung	49
3.2	Hydraulische Untersuchungen	52
3.2.1	Strömungszustand	52
3.2.2	Laborversuche	53
3.2.2.1	Vorbemerkungen	53
3.2.2.2	Theoretische Ansätze zur Erfassung der Wirkung auf die Strömung	53
3.2.2.3	Durchführung der Laborversuche	54

3.2.3	Hydraulisches Monitoring	57
3.2.3.1	Erfassung des Fließquerschnitts	57
3.2.3.2	Wasserspiegelmessungen	57
3.2.3.3	Abflussmessung	58
3.2.3.4	Messergebnisse zu den Einflüssen der Borstenelemente	61
3.2.4	Numerische Modellierung der Strömung	64
3.2.4.1	Einführung	64
3.2.4.2	Erzeugung der Geometriedaten für das Modell	64
3.2.4.3	Kalibrierung des Modells	64
3.2.4.4	Nachbildung des Widerstands von Borstenelementen im Modell	66
3.2.4.5	Anpassen des Modells mit Borsten	66
3.2.4.6	Ergebnisse der Modellierung	67
3.2.4.7	Übertragung der Ergebnisse und Anwendungsvorschlag	68
3.2.4.8	Zusammenfassung	68
3.3	Ökologische Untersuchungen	69
3.3.1	Ziele und Aufgaben	69
3.3.2	Auswirkungen auf die Gewässerstrukturen in der Kleinen Spree	69
3.3.2.1	Strukturaufnahmen der Gewässersohle	69
3.3.2.2	Strömungs- und Tiefenverhältnisse	73
3.3.2.3	Strukturgütekartierung nach LAWA	78
3.3.3	Auswirkungen auf die Besiedlung mit Großmuscheln	83
3.3.3.1	Material und Methoden	83
3.3.3.2	Ergebnisse	84
3.3.3.3	Auswertung und Diskussion	87
3.3.4	Auswirkungen auf das Makrozoobenthos	88
3.3.4.1	Material und Methode	88
3.3.4.2	Ergebnisse	89
3.3.5	Auswirkungen auf die Fischfauna	92
3.4	Sozioökonomische Betrachtungen	93
3.4.1	Befahrbarkeit und Akzeptanz der Borstenanlage	93
3.4.2	Unterhaltung	93
3.4.3	Verhalten bei Eisgang	93
3.4.4	Gesamtwirtschaftlichkeit	94
3.4.4.1	Herstellungskosten	94
3.4.4.2	Folgekosten	95
3.4.4.3	Lebensdauer	95
3.5	Fazit zum Teilprojekt Kleine Spree	95
3.5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	95
3.5.2	Schlussfolgerungen	97
3.5.3	Weiterer Untersuchungs- und Handlungsbedarf	97
4	Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass	99
4.1	Ziel, Planung und Umsetzung	99
4.1.1	Konzept und Zielsetzung	99
4.1.2	Planung und Umsetzung	99
4.2	Funktionskontrolle des Fischaufstiegs	104
4.2.1	Methode	104
4.2.1.1	Erfassung der Hydraulik	104
4.2.1.2	Erfassung der physiko-chemischen Wasserparameter	105
4.2.1.3	Reusenfang	106
4.2.1.4	Erfassung des Fischbestandes im Unterwasser mittels Elektrofischerei	107
4.2.2	Datenerfassung und -auswertung	107

4.2.3	Ergebnisse der Fischaufstiegskontrollen	107
4.2.3.1	Geometrische, hydraulische und physiko-chemische Parameter	107
4.2.3.2	Ergebnisse der Fischerfassungen an den Fischaufstiegsanlagen	112
4.2.3.3	Einschätzung der Effizienz der Fischaufstiegsanlagen	120
4.2.3.4	Diskussion zu technischen Daten der Fischaufstiegsanlagen	123
4.3	Sozioökonomische Betrachtungen	124
4.3.1	Nutzerakzeptanzanalyse am Fisch-Kanu-Pass	124
4.3.1.1	Methodik und Ablauf	124
4.3.1.2	Ergebnisse und Auswertung	124
4.3.2	Unterhaltung des Fisch-Kanu-Passes	128
4.3.3	Verhalten bei starkem Frost	129
4.3.4	Gesamtwirtschaftlichkeit	129
4.3.4.1	Herstellungskosten	129
4.3.4.2	Folgekosten und Lebensdauer	130
4.4	Fazit zum Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass	131
4.4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	131
4.4.2	Schlussfolgerungen	132
4.4.3	Weiterer Untersuchungs- und Handlungsbedarf	132
5	Gesamtzusammenfassung und Fazit	134
5.1	Teilprojekt Kleine Spree	134
5.2	Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass	135
6	Literatur	137

1 Einleitung, Zielstellung und Projektdurchführung

1.1 Einleitung

Als UNESCO-Biosphärenreservat ist der Spreewald eine Modellregion für den nachhaltigen Umgang mit Natur und Umwelt. Die Erhaltung und Entwicklung dieser besonders eigenartigen und schönen Kulturlandschaft, die Vereinbarung von Schutz und Nutzung der natürlichen Ressourcen stellt uns immer wieder vor neue Herausforderungen.

Besonders bei der Bewältigung von Problemen, die der Rückgang der Wasserführung der Spree bereitet, sind innovative Ideen gefragt. Hier gilt es, die durch die EG-Wasserrahmenrichtlinie und die FFH-Richtlinie spezifizierten Schutzziele mit der Nutzbarkeit der Flächen und Gewässer durch den Menschen zu verbinden und so akzeptable und nachhaltige Lösungen für die anstehenden Probleme zu finden.

Die natürlichen klimatischen Bedingungen in der Lausitz und die Auswirkungen der Tagebautätigkeit in der Lausitz führen zu einem fast permanenten Wassermangel im Spreegebiet. Dieser wirkt sich bereits sowohl im ökologischen als auch im ökonomischen Bereich im Biosphärenreservat Spreewald aus. Der Rückgang der Durchflüsse in der Spree und ihren Seitenarmen kann insbesondere im östlichen Oberspreewald, im Bereich Burg, in Niedrigwasserzeiten erhebliche Wasserstandsabsenkungen in den ungestauten Abschnitten der Spreearme verursachen. Neben den negativen Folgen für die Grundwasserstände wird dann die Nutzung der schiffbaren Landesgewässer durch Boote und Kähne immer schwieriger.

Überlegungen zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation gingen bisher dahin, das bestehende Stausystem im Spreewald mit weiteren konventionellen Stauanlagen in den Gewässern zu komplettieren, um die Wasserstände zu sichern. Die verbliebenen frei fließenden Gewässerabschnitte stellen jedoch nicht nur einen zentralen Schutzgegenstand des Biosphärenreservates dar. Sie sind auch unter den Aspekten der FFH-Richtlinie und der Wasserrahmenrichtlinie als fließende Gewässer zu erhalten und zu entwickeln.

Insbesondere im Burger Raum haben sich aufgrund des etwas stärkeren Geländegefälles und längerer ungestauter Fließstrecken sehr wertvolle Lebensräume erhalten, die für einige FFH-Arten das letzte Fortpflanzungsgebiet im Biosphärenreservat Spreewald darstellen. Die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*), die aufgrund ihrer rückläufigen Bestandsentwicklung in ganz Europa vom Aussterben bedroht ist, hat hier eines ihrer bedeutendsten Reproduktionsgebiete in Deutschland. Die Errichtung weiterer Stauanlagen im Burger Raum würde mittelfristig über den Verlust des Lebensraumes hier zum Aussterben dieser und weiterer FFH-Arten führen. Darüber hinaus ist es für die Stabilisierung der Vorkommen der anspruchsvollen Fließgewässerarten dringend geboten, die Wandermöglichkeiten für Fische an den bestehenden Stauanlagen zu optimieren. Dazu zählt die Errichtung weiterer Fischwanderhilfen an bisher undurchgängigen bestehenden Wehranlagen und die Optimierung der Funktionsfähigkeit bestehender Anlagen, auch in Bezug auf deren Unterhaltung.

Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der FFH-Richtlinie im Spreewald erfordern daher spezielle Problemlösungen, die hier in der Region umzusetzen und zu erproben sind, aber auch übertragbar auf andere Gebiete sein sollten.

Mit der Entwicklung von Rauheitselementen aus Borsten an der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Uni Kassel steht ein Lösungsansatz für eine naturverträglichere Wasserstandssicherung als mit Wehranlagen sowie für eine Verbesserung des Biotopverbundes an Stauanlagen in Kombination mit Bootspassagen zur Verfügung.

Im Rahmen des DBU-Pilotprojektes war zu ergründen, ob das Borstenkonzept dazu beitragen kann, den guten ökologischen Zustand der Gewässer im Biosphärenreservat Spreewald zu erhalten bzw. zu erreichen und gleichzeitig die Nutzung durch den Kahn- und Bootsverkehr zu gewährleisten.

1.2 Projektgebiet und Problemstellung

Der Spreewald ist ein Niederungsgebiet am Mittellauf der Spree ca. 100 km südöstlich von Berlin. In einer Ausdehnung von ca. 75 km Länge und max. 15 km Breite hat sich hier am Ende der letzten Eiszeit ein Binnendelta herausgebildet, das trotz umfangreicher meliorativer Maßnahmen in großen Teilen erhalten geblieben ist. Begründet in unterschiedlicher Entstehungsgeschichte und Naturausprägung wird das Gebiet in Ober- und Unterspreewald eingeteilt. Als Charakteristikum der gesamten Landschaft gilt ein weit verzweigtes Netz von natürlichen und über mehrere Jahrhunderte künstlich angelegten Wasserläufen, das eines der zentralen Schutzgüter des 1990 hier ausgewiesenen UNESCO-Biosphärenreservates ist (Abb. 1-1).

Das heute erhaltene Binnendelta der Spree verzweigt sich im Bereich des Burger Spreewaldes, wo sich das Projektgebiet befindet. Hier spalten sich die Spree und das Große Fließ aus Osten kommend über einem Teil des Cottbuser Schwemmsandfächers in mehrere Arme auf. Mit durchschnittlich 0,25 ‰ ist das Gefälle hier etwas größer als im weiteren Verlauf des Oberspreewaldes, wo es bei 0,10 bis 0,15 ‰ liegt.

Die seit ca. 250 Jahren währende Kultivierung des inneren Spreewaldes führte zu umfangreichen Regulierungsmaßnahmen am Gewässernetz. Mit Hilfe eines Systems aus 138 Wehranlagen, die in zwölf so genannten Staugürteln über den gesamten inneren Spreewald angeordnet sind, können die Stauhöhen seit ca. 80 Jahren hier in großen Teilen konstant gehalten werden, so dass die Nutzung der Flächen und Wasserläufe relativ unabhängig von den Durchflüssen gewährleistet wird (Abb. 1-2). Ausnahmen bestehen nur bei größeren Hochwassern und bei extremem Niedrigwasser, wie es in den letzten Jahren (2003 und 2006) wiederholt aufgetreten ist. Als eine besondere wasserwirtschaftliche Praxis hat sich der Winterstau mit höheren Wasserständen in Teilbereichen des Spreewaldes erhalten. Aufgrund der Wassermangelproblematik rückt dieses Instrument zunehmend ins Blickfeld und wird unter dem Aspekt der Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes schrittweise umgesetzt. Das Ziel des Winterstaus ist eine höhere Stauhaltung im Winterhalbjahr zur besseren Wassersättigung der Böden. Damit verbunden sind unterschiedliche Stauhöhen an den Wehranlagen, die im Bereich von 20 – 30 cm liegen.

Die geringe Niederschlagsrate von ca. 570 mm/Jahr und die zunehmende Klimaerwärmung (GERSTENGARBE 2003) führen hier in Verbindung mit den meist vorherrschenden Sandböden zu einer verringerten Wasserführung in der Spree und ihren Zuläufen.

Diese Situation wird durch die Auswirkungen des Braunkohlenbergbaus im Lausitzer Revier wesentlich verschärft. Abflussreduzierend wirken vor allem die großen Grundwasserabsenkungstrichter im Einzugsgebiet der Spree. Im Nachgang der intensiven Bergbautätigkeit kommt es hier seit Mitte der 1990er Jahre wegen reduzierter Sümpfung sowie durch Wiederauffüllung der Restlöcher u.a. mit Spreewasser zur einer starken Verringerung der Durchflüsse in der Spree.

Die fast permanente Niedrigwassersituation führt sowohl im ökologischen als auch im touristischen Bereich bereits jetzt zu Beeinträchtigungen. Durch die prognostizierte Klimaverschiebung zu einem wärmeren und trockenerem Klima im Einzugsbereich der Spree wird hier mit einer Verschärfung der Wassermangelsituation gerechnet.

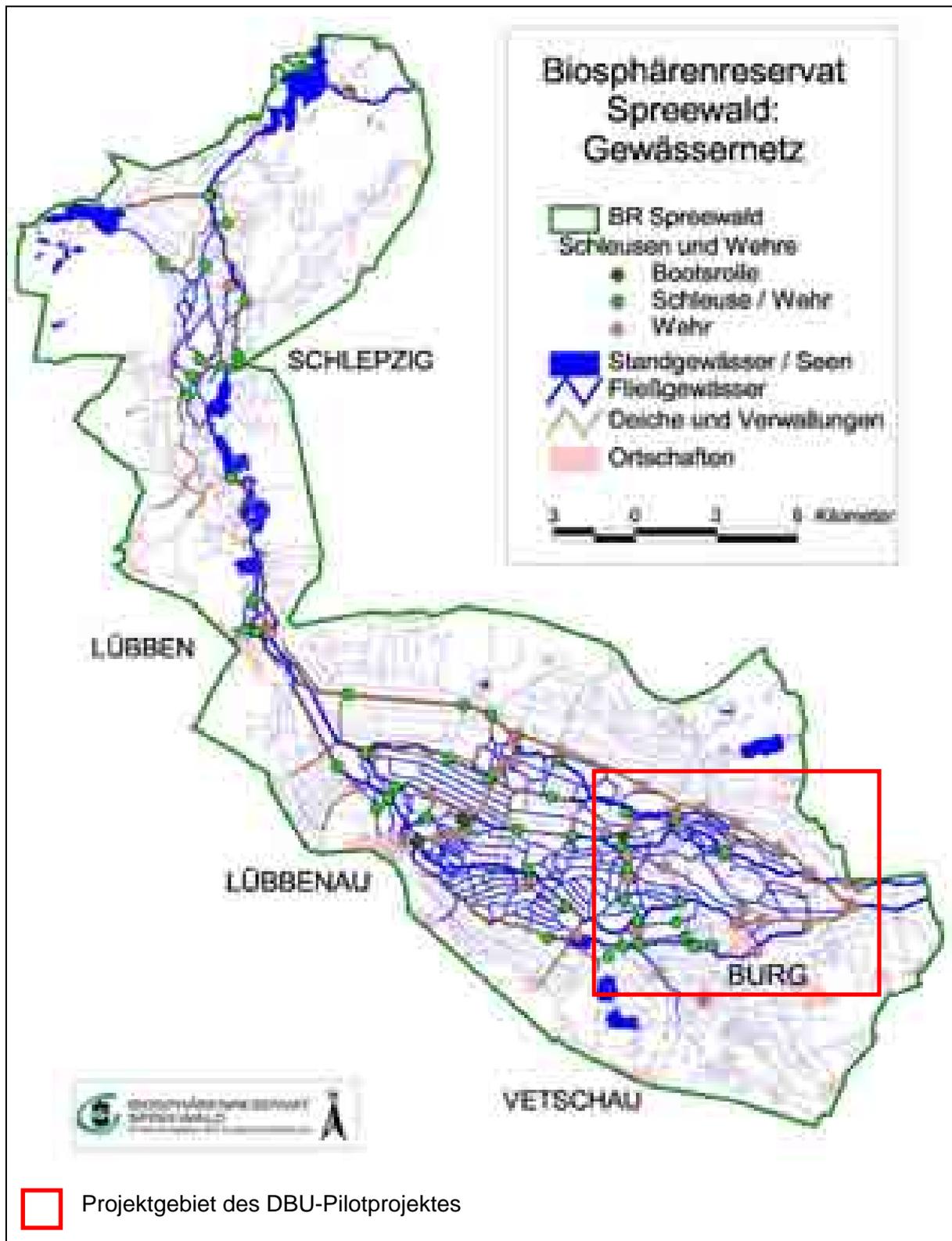


Abbildung 1-1: Biosphärenreservat Spreewald mit Projektgebiet

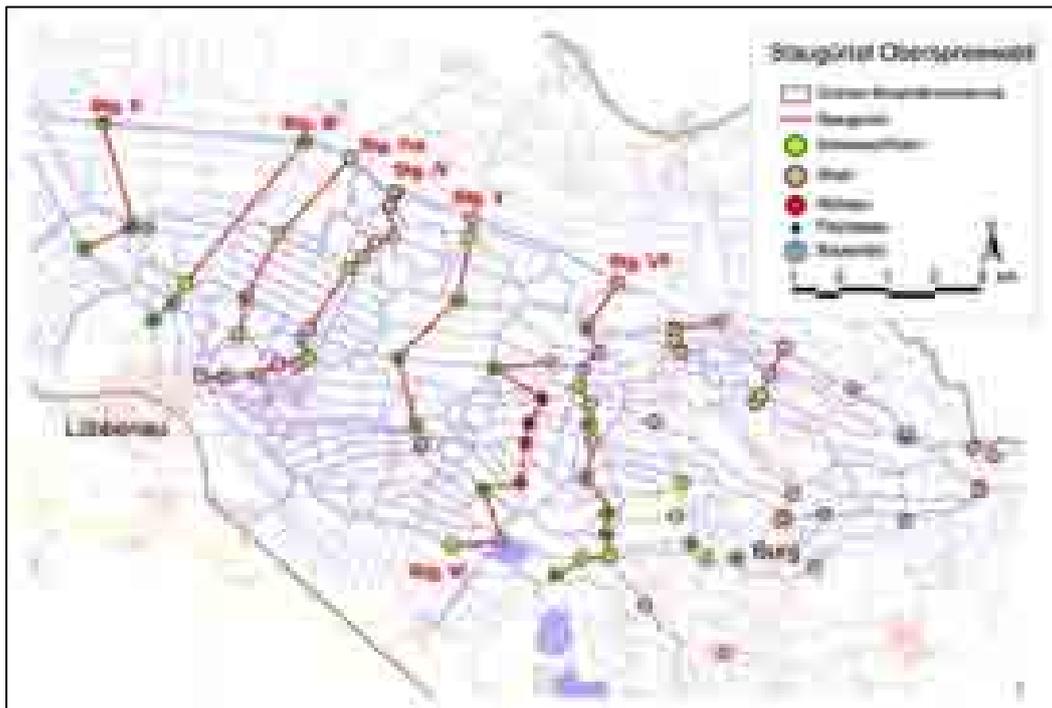


Abbildung 1-2: Staugürtelsystem im Oberspreewald

Der Rückgang der Durchflüsse in der Spree verursacht insbesondere im Burger Spreewald größere Probleme hinsichtlich der Wasserstände. Während im mittleren und westlichen Oberspreewald die Wasserstände mit Hilfe der sogenannten Staugürtel geländenah gehalten werden können, ist dies im östlichen Bereich um Burg unter den gegebenen Verhältnissen nicht möglich. Die Ursachen bestehen zum einen in dem hier stärkeren Geländegefälle gegenüber dem weiteren Verlauf der Fließe, zum anderen bilden die bestehenden Wehre keine geschlossenen Staugürtel zur Wasserrückhaltung (vgl. Abb.1-2).

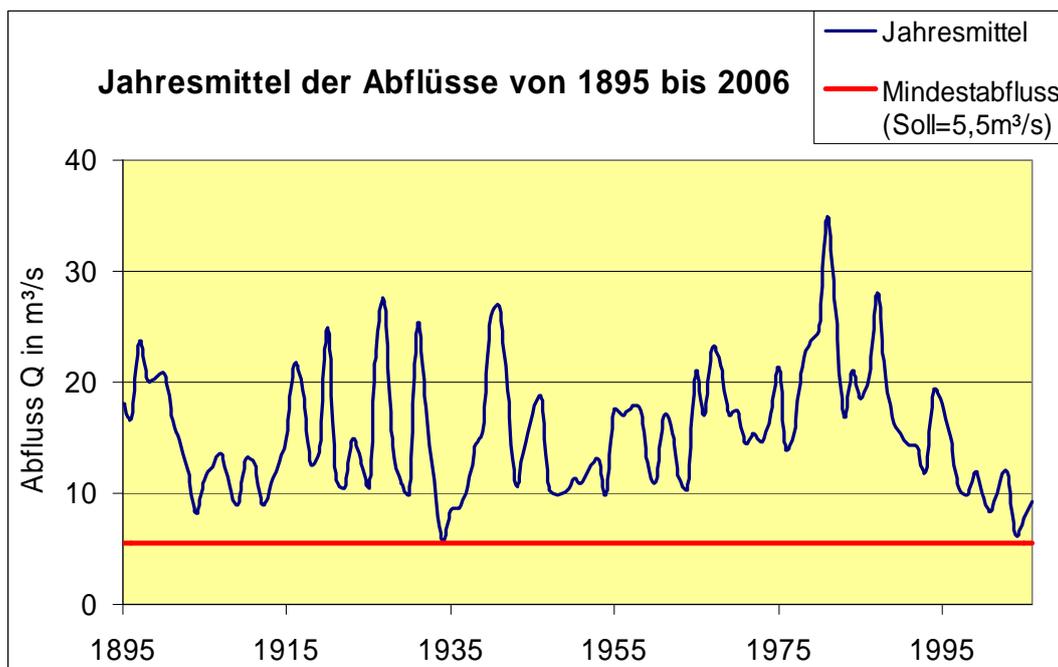


Abbildung 1-3: Abflussganglinie am Pegel Cottbus, Sandower Brücke

In Folge dessen herrscht bislang in vielen Burger Fließgewässern eine stärkere Strömung vor, die auch unter Niedrigwasserverhältnissen gute Sauerstoffverhältnisse und vielfältige Gewässerstrukturen mit sandigem Sohlsubstrat bewirkt. Für die Fließgewässerfauna resultieren daraus gute Lebensverhältnisse. So sind hier mehrere FFH-Arten nachgewiesen worden, von denen die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*) aufgrund ihrer rückläufigen Bestandsentwicklung in ganz Europa vom Aussterben bedroht und daher besonders schutzbedürftig ist. Tabelle 1-1 führt einige der im Raum Burg bekannten wirbellosen Fließgewässerarten auf. Zum Teil sind für diese Arten aufgrund des Wassermangels rückläufige Bestandstrends im Spreewald und den unterhalb gelegenen Spreegebieten nachgewiesen. Die Grüne Flussjungfer (*Ophiogomphus cecilia*) z.B., die in den 80er Jahren ihren Verbreitungsschwerpunkt im Unterspreewald hatte, kommt dort wahrscheinlich nicht mehr zur Fortpflanzung und konzentriert sich heute ebenfalls auf die Burger Gewässer.

Tabelle 1-1: Rheophile (strömungsliebende) Arten im Raum Burg
 Quellen: JUNGLUTH, J.H. & D. VON KNORRE (1998); MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND RAUMORDNUNG BRANDENBURG (1992); MAUERSBERGER, R. (2000)

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	FFH-Status (Anhang)	Rote Liste Deutschland	Rote Liste Brandenburg
Kleine Flussmuschel	<i>Unio crassus</i>	II	1	1
Abgeplattete Teichmuschel	<i>Pseudanodonta complanata</i>	-	1	2
Aufgeblasene Flussmuschel	<i>Unio tumidus</i>	-	2	R
Malermuschel	<i>Unio pictorum</i>	-	3	R
Flusskugelmuschel	<i>Sphaerium rivicola</i>	-	2	2
Große Erbsenmuschel	<i>Pisidium amnicum</i>	-	2	3
Grüne Flussjungfer	<i>Ophiogomphus cecilia</i>	II	2	2
Asiatische Keiljungfer	<i>Gomphus flavipes</i>	IV	G	3
Grundwanze	<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	-	V	1

1 = vom Aussterben bedroht
 2 = stark gefährdet
 3 = gefährdet

R = extrem selten bzw. potenziell gefährdet
 V = zurückgehend, Vorwarnliste
 G = Gefährdung anzunehmen

Für den südlichen Raum Brandenburgs stellen die Bestände von *Unio crassus* im Spreewald die einzigen aktuellen Nachweise dar. Während die Art auch im übrigen Spreewald aufgrund der Wassermangelproblematik rückläufig ist und nur noch durch Einzelfunde direkt unterhalb von Wehranlagen belegt ist, können wir in den Burger Gewässern von einem positiven Bestandstrend der Kleinen Flussmuschel ausgehen (vgl. Kap. 2). Die Bestände sind hier jedoch keinesfalls gesichert und bedürfen der weiteren Beobachtung und entsprechender Maßnahmen zur Erhaltung der Habitate.

Das Problem hinsichtlich der Sicherung der Wasserstände kann wie folgt beschrieben werden: Die Wasserspiegellagen wurden in den Burger Gewässern bisher durch die sich bei freiem Fließen einstellenden Fließtiefen gehalten, die über eine Abflusskurve (Beziehung Wasserstand-Abfluss) vom Abfluss abhängen. Dieser Zusammenhang wird durch die Rauheiten im Gewässer maßgeblich dahingehend beeinflusst, dass bei höherer Rauheit die Wassertiefe bei gleichem Abfluss zunimmt. Auf der anderen Seite sind die Abstände zwischen den Stauanlagen so groß, dass die Stauwirkung nicht bis ins Unterwasser der oberhalb gelegenen Stauanlage wirkt. Beide Effekte führen bei reduziertem Durchfluss zum Absinken der Wasserstände in den Fließsen.

Dies hat negative Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt und die Wasserrückhaltung im Gebiet. Aufgrund der anstehenden sehr durchlässigen Böden im Gebiet besteht eine unmittelbare Beziehung zwischen Grund- und Oberflächenwasser. Bei hoch anstehendem Wasser in den Fließen ergibt sich ein Gefälle zum Grundwasser, dagegen zieht das Grundwasser bei niedrigem Wasser-niveau in die Oberflächengewässer. Dementsprechend kommt es in trockenen Perioden durch das Absinken der Wasserstände in den Fließen zur Absenkung der Grundwasserstände. Da die Wasseroberfläche in den Gewässern, in Abhängigkeit vom Abfluss und Abstand zur nächsten Stauanlage, in Teilbereichen bei mehr als 1 m unter Flur liegt, sind hier erhebliche Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt gegeben.

Hinzu kommen die Beeinträchtigungen durch den Kahn- und Bootsverkehr auf den Gewässer-strecken, die laut Landesschiffahrtsverordnung als schiffbare Gewässer ausgewiesen sind. In beson- ders niederschlagsarmen Perioden kann es in Teilbereichen zu so geringen Wassertiefen kommen, dass mechanische Schädigungen des Makrozoobenthos durch Grundberührung von Kähnen und Booten nicht ausgeschlossen werden können. Auf der anderen Seite kommt es aufgrund der er- schwerten Bedingungen für die Kahnfahrt bei Niedrigwasser immer wieder zu Konflikten zwischen dem Naturschutz und dem Tourismus, der in der Region einen der wichtigsten Wirtschaftszweige dar- stellt.

Die Überlegungen zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation im Burger Spreewald gingen bisher dahin, weitere Stauanlagen in den Gewässern zu installieren, um die Wasserstände zu sichern. Dem stehen aber die FFH-Richtlinie und die Wasserrahmenrichtlinie entgegen, die die Erhaltung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer und den Schutz der gefährdeten Arten fordern. Mit dem Bau weiterer Stauanlagen würde es zur Verkleinerung bzw. vollständigen Beseiti- gung der für die rheophilen Arten notwendigen fließenden Gewässerabschnitte kommen. In diesem Fall wäre mittelfristig mit dem Aussterben von mehreren FFH-Arten (vgl. Tab.1-1) im Biosphärenre- servat Spreewald zu rechnen. Um dieser Entwicklung zu begegnen, müssen Lösungen für die Was- serstandssicherung in den freifließenden Gewässerabschnitten gefunden werden, die neben der Er- haltung der Lebensräume auch die Befahrbarkeit der Strecken mit Kähnen und Booten gewähr- leisten.

Ein zweites Problem im Zusammenhang mit dem Stausystem im Spreewald ist die fehlende oder mangelhafte ökologische Durchgängigkeit der Stauanlagen für Fische und Wirbellose. Von den 138 Stauanlagen im inneren Spreewald verfügen nur 40 über eine Fischwanderhilfe, die wiederum eine unterschiedlich gute Funktionsfähigkeit aufweisen. Besonders im Raum Burg ist der Biotopverbund stark eingeschränkt. Die Längsdurchgängigkeit in Richtung Cottbuser Spree ist nicht gegeben. Damit sind der Ausbreitung von rheophilen Fischen und Muscheln in andere naturnahe oberhalb des Spree- waldes gelegene Gewässerabschnitte Grenzen gesetzt. Für die Bestandssicherung der FFH-Arten und die Erschließung weiterer potenzieller naturnaher Fließgewässerhabitats ist die Überwindung der Wehranlagen von existenzieller Bedeutung.

Die Wehranlagen in den traditionellen Kahnfährtrassen sind mit Schleusen ausgerüstet, die die Befahrung durch Spreewaldkähne und Kanus ermöglichen. Bei geringem Wasserdargebot führen die Schleusungsvorgänge zu einem erhöhten Wasserabfluss aus der Stauhaltung, wobei der dabei entstehende Wasserstrom kaum für die Wanderung von Fischen und Benthosorganismen nutzbar ist. In extrem trockenen Zeiten wurden bereits Wasserstandsabsenkungen aufgrund erhöhter Schleu- sentätigkeit in den Burger Gewässern nachgewiesen. Die Schleusentätigkeit könnte wesentlich einge- schränkt werden, wenn die Paddler statt der Schleusen andere Wanderhilfen nutzen würden, die dann gleichzeitig auch dem ökologischen Verbund dienen könnten.

1.3 Lösungsansatz – Das Borstenkonzept

Das an der Universität Kassel entwickelte Borstenkonzept hat sich als eine sehr effektive Möglichkeit erwiesen, Strömungen kinetische Energie zu entziehen. Daraus ergeben sich zwei primäre Einsatz- möglichkeiten: Auf der einen Seite können damit sehr effektive, kombiniert nutzbare Wanderhilfen für Fische, Wirbellose und Paddler an Staustufen hergestellt werden. Darüber hinaus ist diese Technologie dazu geeignet, die Wasserstände in Fließgewässern ohne Stauanlagen herkömmlicher Bauart bei gleichzeitiger Erhaltung von durchströmten Gewässerbereichen anzuheben. Dabei wird die

Rauheit des Gewässers durch Einsatz der Borstenelemente erhöht. Die Vorteile dieses Prinzips liegen darin, dass die Anlagen

- gleichzeitig von Fischen, Wirbellosen und Paddlern genutzt werden können,
- sehr variabel einsetzbar sind, unterschiedlichsten Gegebenheiten angepasst werden können und
- sehr kostengünstig in der Herstellung und wieder verwendbar sind.

Das Prinzip der Borsten-Fischpässe beruht darauf, die Strömungsenergie in einem Gerinne mittels flexibler Borstenbündel umzuwandeln, so wie dies unter natürlichen Verhältnissen durch Wasserpflanzen und Röhrichte erfolgt. Die Borstenbündel werden auf Grundplatten verankert, welche aus wasserfesten Materialien, vorzugsweise aus Recycling-Kunststoff hergestellt werden. Die Borsten bestehen aus zäh-elastischem Material, vorzugsweise gestrecktem Polypropylen (PP), da natürliche Materialien im Wasser zu schnell biologisch abgebaut werden. Die so entstandenen Rauheits-elemente werden in locker aufgebauten Gerinnesohlen auf kleinen Kies-Gabionen aus Edelstahl-Lochblech befestigt, die in die Sohle eingelassen werden.

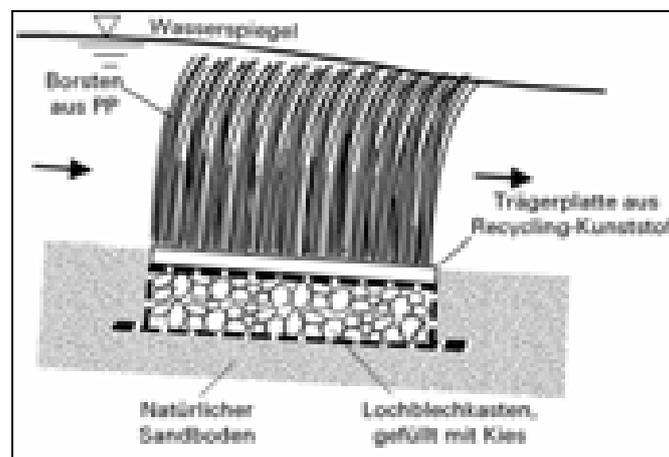


Abbildung 1-4: Elastisches, überfahrbares Rauheitselement für Raugerinne in Sohle aus Lockermaterial

Für den Einbau in Sohlen aus grobem Lockermaterial hat sich die Aufständigung über einer einfachen Betonplatte bewährt (Abb. 1-5). Die Betonplatte dient als Verankerung, die durch die darüber liegende Füllung belastet ist. Bei dieser Bauweise besteht die Sohle praktisch durchgängig aus Lockermaterial, so dass dem auf und in der Sohle lebenden Makrozoobenthos optimale Bedingungen geboten werden. Um eine befahrbare Rinne zu erhalten, können die Elemente tiefer gesetzt bzw. kürzer gestaltet werden oder sie werden paarweise so angeordnet, dass eine Durchfahrt bleibt.

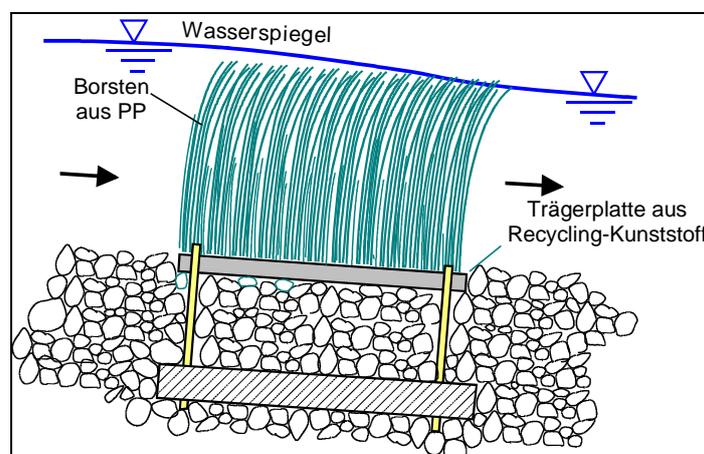


Abbildung 1-5: Rauheitselement bei durchgehendem grobem Lockersubstrat

1.4 Zielstellung und Projektdurchführung

1.4.1 Ziele des Projektes

Das Ziel des Projektes besteht in der Erhaltung von Habitaten der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus*) im Biosphärenreservat Spreewald durch die Einrichtung und Erprobung von Borstenanlagen.

Die Kleine Flussmuschel steht dabei stellvertretend für die strömungsliebende (rheophile) Fließgewässerfauna im Burger Spreewald, insbesondere für die Arten, die auf strukturreiche, fließende Gewässer mit sandig-kiesiger Sohle angewiesen sind.

Mit der oben genannten Zielstellung sollten im Rahmen dieses Projektes

- a) erstmals Borstenelemente in einer freifließenden Gewässerstrecke zur Wasserstandssicherung eingebaut

und

- b) die Möglichkeiten des Einsatzes von Fisch-Kanu-Pässen unter geringen Durchflussbedingungen erprobt werden.

Dazu waren folgende zwei Borstenanlagen mit unterschiedlicher Aufgabenstellung zu errichten und deren Funktionsfähigkeit sowie die Wirkung auf die Lebensräume zu untersuchen. (Abb. 1-6):

Herstellung und Erprobung einer Borstenanlage zur Wasserstandssicherung in der Kleinen Spree mit folgender Aufgabenstellung:

- Sicherung der Wasserstände bei verringerten Durchflüssen und gleichzeitige Erhaltung der Längsdurchgängigkeit des Gewässerlebensraumes,
- Gleichzeitige Erhaltung der Befahrbarkeit durch Boote und Kähne und Betrachtung der Akzeptanz bei Fährleuten und Bootsfahrern,
- Untersuchung der Auswirkung der Anlage auf die Gewässerstrukturen und Fließverhältnisse,
- Untersuchung der Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften, unter besonderer Berücksichtigung von *Unio crassus*,
- Betrachtung von Gewässerunterhaltung und Verhalten bei starkem Frost,
- Betrachtung der Gesamtwirtschaftlichkeit.

Herstellung und Erprobung eines Fisch-Kanu-Passes am Wehr 31 mit folgender Aufgabenstellung:

- Gewährleistung der vorgegebenen Stauhöhe,
- Gewährleistung eines Mindestdurchflusses von 100 l/s,
- Uneingeschränkte Passierbarkeit für die im Untersuchungsgebiet relevanten Fischarten mit Wandermotivation,
- Funktionalität als Bootsruhschleuse – auch für unerfahrene Leihbootfahrer – zur Entlastung der Schleuse,
- Betrachtung der Unterhaltung der Anlage und bei starkem Frost,
- Betrachtung der Gesamtwirtschaftlichkeit.

Beide Teilprojekte wurden sowohl wissenschaftlich untersucht, als auch durch einen Projektbeirat begleitet, der sich aus Vertretern der zuständigen Behörden und Interessensbereiche zusammensetzte.

sich vor allem aus der Tatsache, dass der Fisch-Kanu-Pass in eine bestehende Planung für einen Vertical-Slot-Pass eingebracht werden musste (vgl. Kap. 4).

1.4.3 Öffentlichkeitsarbeit

Im August 2005 wurde ein Projektbeirat gebildet, der sich aus folgenden Behörden und Interessensvertretungen zusammensetzte:

Landesumweltamt
Universität Kassel
Biosphärenreservat Spreewald
Untere Naturschutzbehörde
Untere Wasserbehörde
Untere Fischereibehörde
Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“
Landesamt für Bauen und Verkehr
Amt Burg
Kahnfährunternehmen und Bootsverleiher
Kanuverband
Gemeinschaft der sorbisch-wendischen Spreewaldfischer
Landesanglerverband
Kreisanglerverband

Im Rahmen dieses Beirates wurden fünf Veranstaltungen durchgeführt, in denen über das Projekt informiert und diskutiert wurde:

- | | |
|------------|--|
| 24.08.2005 | Konstituierung des Projektbeirates und Vorstellung des Vorhabens |
| 18.01.2006 | Information über den Einbau der Borstenanlagen und Diskussion der ersten Ergebnisse aus dem hydraulischen und dem ökologischen Monitoring in der Kleinen Spree |
| 08.04.2006 | Information über Vorhaben im Jahr 2006 und feierliche Einweihung des Fisch-Kanu-Passes |
| 13.09.2006 | Befahrung der Borstenanlage in der Kleinen Spree und Diskussion über Möglichkeiten, Anlagen zur Wasserstandssicherung für Kahnbefahrungen zu optimieren |
| 21.11.2006 | Abschlussveranstaltung mit Präsentation der Ergebnisse und Premiere des Videos „Von Kähnen, Muscheln und Borsten“ |

Zu gegebenen Anlässen wurde in der Lokalpresse und im Rundfunk (z.B. Antenne Brandenburg) über das Projekt informiert. Darüber hinaus wurden auch Veranstaltungen genutzt, um über das Projekt zu berichten. Einen Höhepunkt bildete der Workshop am 14. September 2006, an dem eine Zwischenbilanz des Projektes gezogen wurde.

Zur Information der Öffentlichkeit wurde ein Faltblatt in einer Auflagenhöhe von 2.000 Stück produziert. Dieses Medium sollte neben der Information über das Grundanliegen des Projektes die Aufmerksamkeit insbesondere auf den Fisch-Kanu-Pass lenken, um hier die Meinungsumfrage zur Nutzbarkeit dieser Anlage zu unterstützen. Andererseits sollten die Interessierten über die Problematik von Fischwanderwegen zu einigen Fragen der Gewässerökologie und des Naturschutzes im Spreewald geführt werden. Das Faltblatt wurde insbesondere bei Bootsvermietern, an Kahnhäfen und in touristischen Informationsstellen sowie bei den relevanten Behörden verteilt.

Um den Verlauf und die Ergebnisse des Projektes in anschaulicher Weise einem breiten Publikum zugänglich machen zu können, wurde ein Video von 18 min Länge mit dem Titel „Von Kähnen, Muscheln und Borsten“ produziert. Bereits in der Abschlussphase des Projektes hat sich gezeigt, dass dieses Medium sehr gut geeignet ist, die Problemstellung des Projektes, die Lösungsansätze sowie die Errichtung der Anlagen und die Ergebnisse in populärwissenschaftlicher Art zu vermitteln.

2 Grundlagen zur Bestandssicherung von *Unio crassus*

2.1 Habitatanforderungen von *Unio crassus* im Raum Burg

2.1.1 Zielstellung

Im Zuge eines für die Verwaltung des Biosphärenreservates Spreewald im Jahre 2001 erstellten gewässerökologischen Gutachtens wurden die Vorkommen von *Unio crassus* im gesamten Großschutzgebiet kartiert. Es entstand ein erster zusammenfassender Überblick über den Bestand dieser Art im Spreewald insbesondere unter den stark veränderten wasserwirtschaftlichen Bedingungen nach 1990 (PETRICK ET AL. 2001). Weitere Beobachtungen und gezielte Nachsuchen in den Folgejahren untermauerten die Ergebnisse und verdichteten das Bild zur Verbreitung dieser Art im Untersuchungsgebiet (PETRICK ET AL. 2004). Es stellte sich heraus, dass die Kleine Flussmuschel im Burger Spreewald eines ihrer bedeutendsten Reproduktionsgebiete in Deutschland hat und für dieses Gebiet ein positiver Bestandstrend vorliegt. Dieser wird vorrangig auf die Verbesserung der Wasserbeschaffenheit in Verbindung mit günstigen Abflussverhältnissen in einzelnen Fließten im Komplex des Gewässersystems zurückgeführt.

Die Niedrigwasser-Problematik im Spreegebiet führt insbesondere im touristisch stark genutzten Raum Burg immer wieder zu Überlegungen und Forderungen, die Wasserstände in den frei fließenden Gewässerabschnitten durch den Bau von neuen Wehren zu stabilisieren. Dem würden die WRRL und die FFH-Richtlinie in Bezug auf *Unio crassus* und andere Arten entgegenstehen. Mit dem Einbau der Borstenstrecke in der Kleinen Spree sollte getestet werden, ob damit die Möglichkeit besteht, einerseits die Wasserstände bei Niedrigwasser zu sichern, gleichzeitig aber den Lebensraum rheophiler Arten zu erhalten und die Befahrbarkeit mit Kähnen und Booten zu gewährleisten.

Die Auswirkungen der Borstenelemente auf die Großmuscheln, insbesondere auf die Kleine Flussmuschel waren in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung. Zunächst sollten die Habitatanforderungen von *Unio crassus* im Burger Spreewald genauer beschrieben werden, um die Grundlagen zum Schutz dieser Art zu verdichten. Dazu sollten bekannte reproduzierende *Unio crassus*-Bestände im Burger Spreewald hinsichtlich der vorhandenen Habitatstrukturen näher untersucht sowie die aktuelle Bestandssituation beschrieben werden. Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Erfassung der Muschelfauna in der ca. 1,2 km Pilotstrecke in der Kleinen Spree zwischen dem Verbindungsfließ Schneider und dem Fischerfließ und der Beobachtung von Großmuscheln, die nach dem Einbau der Borstenelemente in diese Pilotstrecke eingesetzt wurden.

2.1.2 Material und Methoden

Die Erfassung der Muschelfauna in der Pilotstrecke in der Kleinen Spree erfolgte an den für die Strukturkartierung festgelegten 33 Transekten (vgl. 3.3.2.1), jeweils über den gesamten Fließquerschnitt. Vor Beginn der Untersuchung war nicht bekannt, dass *Unio crassus* diesen Gewässerabschnitt besiedelt. Stichprobenartige Untersuchungen im Jahr 2001 waren hier im Hinblick auf die Art negativ gewesen.

Die Bestandserfassung in weiteren Burger Fließten erfolgte an dreizehn Stationen in vier Referenzgewässer-Abschnitten mit bekannten bzw. vermuteten Vorkommen von *Unio crassus* (vgl. Abb. 2-1). An Stationen mit guter Bestandssituation wurden die Habitatstrukturen im Bereich der Gewässersohle aufgenommen:

- Großes Fließ: Wehr 66 – Weidengraben,
- Kleines Fließ: unterhalb Wehr Roggatz (Wehr 62),
- Burg-Lübbener-Kanal: oberhalb Alter Storchgraben,
- Kleine Spree: Fischerfließ – Kälbergraben.

Zur Probennahme der Muschelkartierung dienten zwei Drahtsiebkescher mit Maschenweiten von 1,5 bzw. 10 mm Maschenweite, mit denen die obersten Sedimentschichten durchgeseibt wurden. Der Einsatz des Keschers mit Maschenweiten von 1,5 mm beschränkte sich jedoch auf wenige detritusarme, feinsandige Abschnitte.



Abbildung 2-1: Pilotstrecke und Referenzgewässer der Muschelkartierung

Alle aufgefundenen Groß-, Kugel- und Erbsenmuscheln wurden vor Ort ausgezählt und lebende Exemplare wieder in das Gewässer zurückgesetzt. Leerschalen von *Unio crassus* kamen ebenfalls zur Auswertung. Die Altersbestimmung der Großmuscheln erfolgte mit bloßem Auge durch Auszählen der erkennbaren Jahresringe. Besonders bei älteren Exemplaren ist daher mit einem Unsicherheitsfaktor zu rechnen.

2.1.3 Ergebnisse



Abbildung 2-2: Die Kleine Flussmuschel - *Unio crassus*

Die Ergebnisse werden im Bericht des Leibniz-Institutes für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) ausführlich diskutiert (PUSCH ET.AL., 2006) und hier zusammenfassend dargestellt. Tabelle 2-1 listet alle Muschelfunde dieser Untersuchung auf.

Tabelle 2-1: Checkliste aller Molluskenfunde

Art	Status	Burg-Lübbener-Kanal	Großes Fließ	Kleines Fließ	Kleine Spree	Pilotstrecke Kleine Spree
Anzahl der Stationen / Transekte		2	2	3	8	33
<i>Anodonta anatina</i>	Leb	4	5	11	47	31
	SH	2	4	-	2	10
<i>Pseudanodonta complanata</i>	Leb	7	16	29	18	6
	SH	-	12	2	-	
<i>Unio crassus</i>	Leb	13	45	28	113	61
	SH	4	23	-	5	22
<i>Unio pictorum</i>	Leb	28	38	18	197	82
	SH	-	30	-	20	36
<i>Unio tumidus</i>	Leb	7	28	1	16	5
	SH	-	14	-	-	-
<i>Pisidium amnicum</i>				SH	Leb	
<i>Pisidium supinum</i>					SH	
<i>Sphaerium rivicola</i>		Leb	Leb	Leb	Leb,SH	Leb,SH

Leb = Lebendfunde

SH = Schalenfunde

Im Folgenden werden die Ergebnisse an der Pilotstrecke sowie an den Referenzgewässern vorgestellt.

2.1.3.1 Kleine Spree – Pilotstrecke

In der Kleinen Spree gelangen an 25 der 33 untersuchten Transekte insgesamt 61 Lebendnachweise und 22 Schalenfunde von *Unio crassus*. Die Besiedlungsdichte lag bei 0,5 – 2,5 Ind./m². Es dominierten überwiegend vier- bis neunjährige Individuen, wobei das Alter der jüngsten Tiere zwei Jahre und das der ältesten ca. 20 Jahre betrug. An mehreren Transekten im Oberlauf der Pilotstrecke trat *Unio crassus* bei sehr niedrigen Individuenzahlen als dominierende Art auf.

In Zonen mit deutlicher Sedimentfracht fehlte *Unio crassus* oder wurde ebenso wie die übrigen Arten nur vereinzelt in strömungsberuhigten Bereichen, beispielsweise im Strömungsschatten von Wurzelbärten der Ufergehölze, beobachtet.

Als weitere besiedelte Habitats sind Strömungsrinnen entlang der Ufer, Auskolkungen im Bereich der zahlreichen Ufergehölze sowie der Strömungsschatten von Makrophyten zu nennen. Im unmittelbaren Bereich des Stromstriches konnte *Unio crassus* nur bei größerer Wassertiefe (>1,5 m) erfasst werden. In Kolken präferierte die Muschel deren Gleithänge und unteren Kolkbereiche, in denen die Sohle wieder anstieg. Es dominierten feinsandige Sedimente mit geringen organischen Anteilen,

wogegen in stärker durchströmten Kolken und an Prallhängen größerer Windungen auch Mittelsand bis Feinkies anstand. Am Transekt Nr. 7 fielen zudem lokale Verockerungen der Sohle durch Austritt eisenreichen und somit sauerstoffarmen Grundwassers auf.



Abbildung 2-3: Kleine Spree - Pilotstrecke

Hinsichtlich der drei im Rahmen der Strukturkartierung selektierten Fließabschnittstypen (vgl. 3.3.2.1) gab es deutliche Unterschiede bei der Besiedlung durch Großmuscheln (Abb. 2-4 und 2-5). *Unio crassus* wurde am häufigsten in Fließabschnitten mit Makrophytenwuchs gefunden, speziell am Rand der dort ausgebildeten Fließrinnen. In den weniger stark strukturierten beschatteten Fließabschnitten war sie seltener, und die geringste Individuendichte wurde in den Treibsandabschnitten festgestellt. Interessanterweise zeigen die anderen dort lebenden Unionidenarten *Unio tumidus*, *Unio pictorum* und *Anodonta anatina* gegensätzliche Habitatpräferenzen.

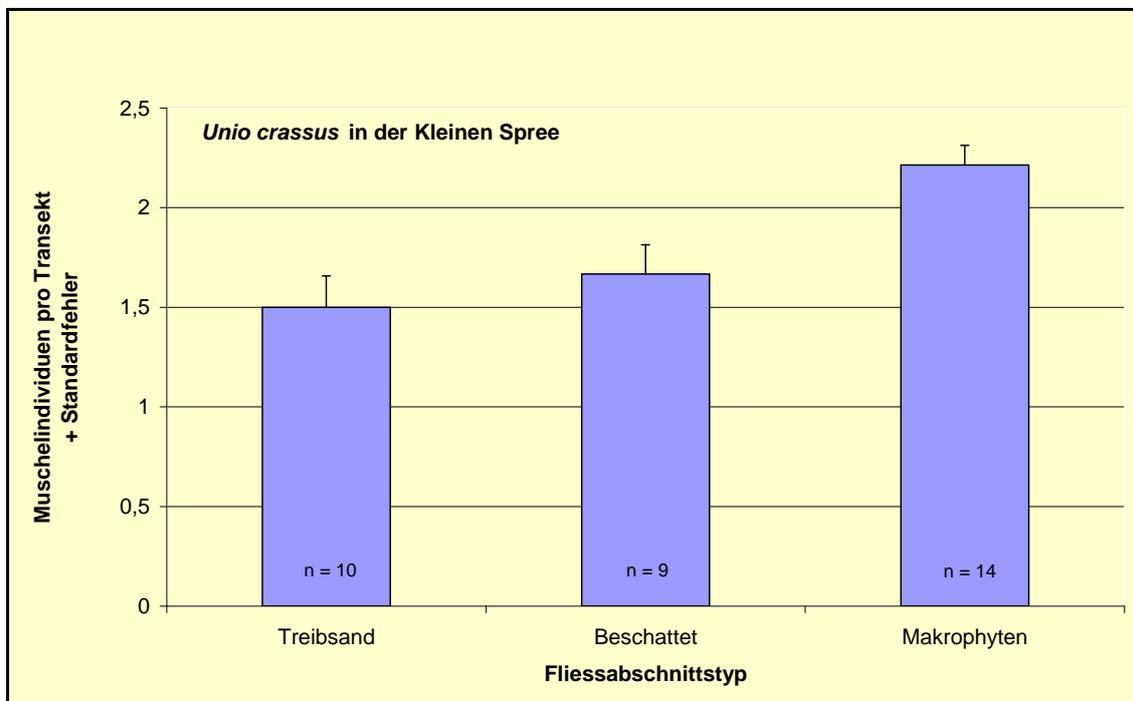


Abbildung 2-4: Abundanz von *Unio crassus* in der Pilotstrecke

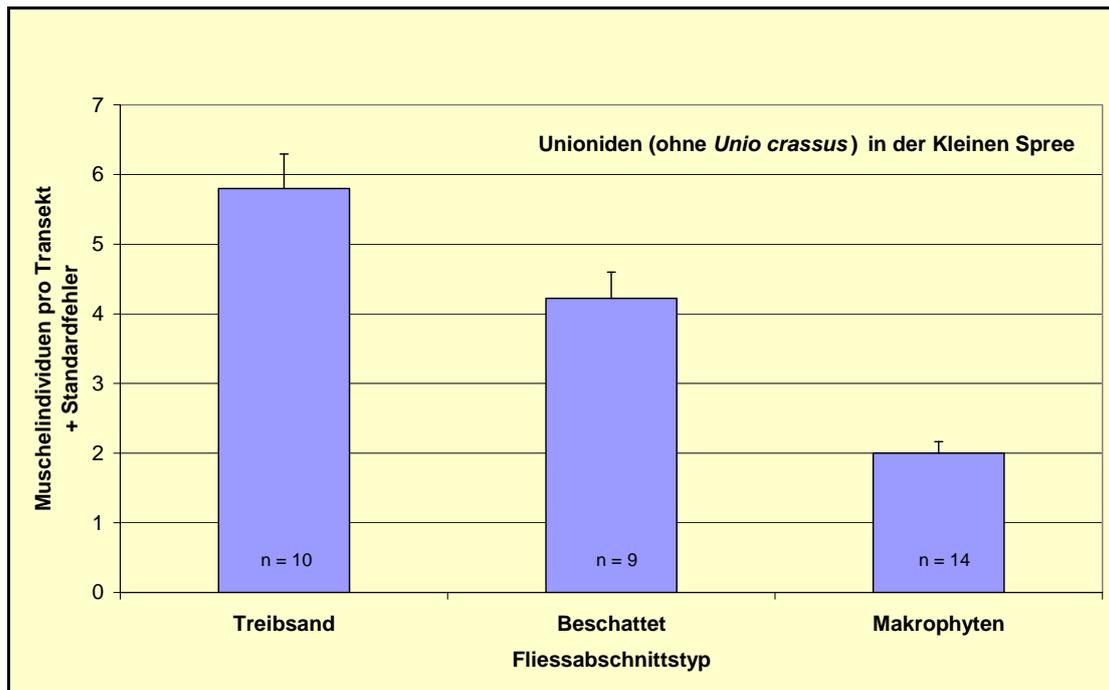


Abbildung 2-5: Abundanz der Unioniden in Flie遥gewässertypen der Pilotstrecke

2.1.3.2 Kleine Spree unterhalb der Pilotstrecke: Fischerflie遥 bis Kälbergraben

An den ausgewählten Stationen zwischen Fischerflie遥 und Kälbergraben konnte im Jahre 2005 sowie im Zuge der Muschelbergungen für die Markierungsarbeiten mit insgesamt 113 aufgefundenen Exemplaren von *Unio crassus* eine Besiedlungsdichte von 0,5 Ind./m² (Station V) bis 9 Ind./m² (Station VI) ermittelt werden. Die Mehrzahl der Tiere hatte ein Alter von 4 – 9 Jahren. Das Maximalalter wurde mit > 20 Jahren bestimmt. Zudem gelang der Nachweis eines einjährigen Jungtieres.



Abbildung 2-6: Stromrinne an der Station IV der Kleinen Spree

Besiedelt wurden auch hier bevorzugt ufernahe Auskolkungen und Längsbänke mit feinsandigem Substrat sowohl bei geringeren als auch bei höheren Fein- bzw. Grobdetritusanteilen (max. 50 %). Beispielhaft beherbergte Station VI *Unio crassus* im Stromstrich, der hier durch eine *Alnus glutinosa*-Baumgruppe nach links abgelenkt wurde. Deren Wurzelfächer engen mit einem *Glyceria maxima*-Bestand auf der gegenüberliegenden Gewässerseite das Profil ein und erzeugen gemeinsam mit

Ranunculus fluitans-Bulten ein differenziertes Strömungsbild. Die Muschel siedelte in höherer Dichte in einer Tiefe von >1,5 m bei relativ hohen Detritusanteilen. An der schon mehrfach begangenen Station IV (vgl. PETRICK ET AL. 2004) konnte *Unio crassus* dagegen wiederholt im unteren Bereich eines größeren Kolkes und in der sich anschließenden Sandbank auf detritusreicherem Feinsand kartiert werden.

Alle *Unio crassus*-Nachweise aus dem Gewässerabschnitt zwischen der Pilotstrecke und dem Kälbergraben liegen unmittelbar im Wirkungsbereich von Ufergehölzen.

2.1.3.3 Burg-Lübbener-Kanal

Mit Hilfe der beschriebenen Methode konnten insgesamt dreizehn zwischen 5 und 17 Jahre alte Tiere sowie vier Schalenhälften geborgen werden. Die Besiedlungsdichte lag bei 6,5 Ind./m².

Die im Burg-Lübbener-Kanal durch *Unio crassus* besiedelten Standorte können ähnlich charakterisiert werden, wie für die Kleine Spree unterhalb der Pilotstrecke. Aufgrund der nahezu doppelten Gewässerbreite und höherer Wasserführung sind die geeigneten Habitate jedoch ausgeprägter. Die an Station II untersuchte Sohle fällt in einer Kurve entlang des Prallufers ab. Im Bereich der in Abbildung 2-7 im Vordergrund dargestellten Erle wird die Strömung erneut umgelenkt, so dass sich ein ausgedehnter Kolk (>1,6 m Tiefe) herausbilden konnte. *Unio crassus* siedelte auch hier in größerer Zahl in der sich zum Kolk neigenden Sohle. Im Gegensatz zu den dortigen detritusreicheren Feinsanden fiel an Station I ein geringerer organischer Anteil auf. Entlang eines kleineren, in Ufernähe längst zur Fließrichtung liegenden Fallbaumes hatte sich eine Stromrinne entwickelt, die *Unio crassus* beherbergte. Das Gewässer wies an beiden Standorten wegen starker Beschattung keinerlei Makrophyten auf.

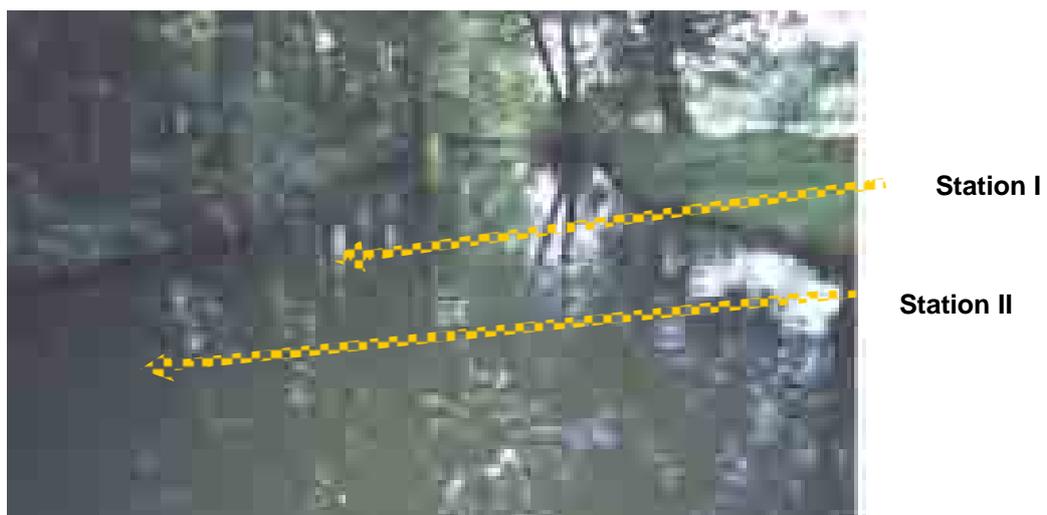


Abbildung 2-7: Durch *Unio crassus* besiedelter Bereich des Burg-Lübbener-Kanals

2.1.3.4 Kleines Fließ

Auch das Kleine Fließ lässt hinsichtlich Gewässerlauf und Uferstruktur im Abschnitt unterhalb Wehr Roggatz (Wehr Nr. 62) große Ähnlichkeiten zur Kleinen Spree erkennen. Es ist jedoch bei vergleichbarer Breite deutlich tiefer (1,5 – >2,0 m). Ein wesentlich höheres Wasserdargebot bewirkt dadurch in Verbindung mit einer durch die fast durchgehend lückige Bestockung entlang der Ufer begünstigten dichten Makrophytenbestände eine hohe Strömungsdiversität. Aufgrund der großen Wassertiefe und den oft meterlangen dominierenden *R. fluitans*-Bulten scheint über der Sohle aber nur eine geringe Strömung zu herrschen, wie die oft beobachtete Verschlammung vermuten lässt.

Im Kleinen Fließ wurden an drei Stationen insgesamt 34 Individuen erfasst. Mit jeweils vierzehn Exemplaren fanden sich die meisten Tiere an den Stationen I und III. Die Besiedlungsdichte betrug im Durchschnitt 4,1 Ind./m², wobei die Mehrzahl der Muscheln zwischen 3 – 9 Jahren alt war. Das jüngste aufgefundene Tier hatte ein Alter von zwei Jahren. *Unio crassus* trat oft mit wenigen Exemplaren in den ufernahen Bereichen der Kolke und Flusswindungen auf. Die individuenreicheren

Nachweise der Stationen I und III entstammen dagegen Abschnitten mit etwas beruhigter Strömung. Infolge stärkerer Beschattung fehlten Makrophyten fast vollständig und die Sohle war bei Tiefen von 0,5 – 1,5 m über 1/3 (Station I) bis 2/3 (Station III) der Gewässerbreite fein- bis mittelsandig. Station I wies über die Hälfte der Gewässerbreite starke organische Sedimente auf wogegen an Station III Verockerungen der Sohle durch Austritt eisenreichen Grundwassers in Ufernähe den besiedelbaren Bereich einschränkten. An Station I trat die Muschel im Stromstrich in der rechten Gewässershälfte und dabei wiederum besonders in der Neigung der Sohle zur entlang der Ufergehölze verlaufenden Auskolkung in Erscheinung.



Abbildung 2-8: An Station I des Kleinen Fließes



Abbildung 2-9: Teil der an Station I des Kleinen Fließes erfassten Mollusken

2.1.3.5 Großes Fließ

Das Große Fließ ist die direkte Weiterführung der aus Richtung Fehrow anströmenden Malxe im Oberspreewald. Charakteristisches Kennzeichen im Abschnitt von Wehr 66 bis Weidenfließ ist ein langgestreckter, windungsarmer Verlauf mit einer Gewässerbreite von 8 – 10 m. Die Wassertiefe beträgt an den Stationen max. 1,8 m. Es weist aufgrund größerer Durchflüsse (mittlerer Abfluss am Pegel Fehrow im Jahre 2005: 4,5 m³/s) eine mäßige bis stärkere Strömung auf, wobei der Stromstrich

überwiegend in Gewässermitte verläuft. Ufergehölze säumen ebenfalls den Gewässerlauf, beeinflussen die Strömung aufgrund der größeren Gewässerbreite jedoch in weit geringerem Ausmaß, als in den bereits besprochenen Fließten. Makrophyten finden sich hauptsächlich außerhalb des Stromstriches in Ufernähe.



Abbildung 2-10: Das Große Fließ an Station II (Blick gegen die Fließrichtung)

Hier gelang der Nachweis von 25 (Station I) bzw. 20 (Station II) lebenden Muscheln bei einer Besiedlungsdichte von 8,3 Ind./m² (Station I) bzw. 6,7 Ind./m² (Station II) sowie insgesamt 23 Schalenhälften. Die Mehrzahl der Lebendfunde hatte ein Alter von 3 – 11 Jahren. Es konnte auch ein einjähriges Jungtier registriert werden. Das Maximalalter betrug 19 Jahre. Die meisten Exemplare siedelten in Feinsand mit organischen Anteilen von bis zu 50 % und maximal 2 cm organischer Sedimentauflage.



Abbildung 2-11: Nachweise von *Unio crassus* und *Pseudanodonta complanata* aus dem Großen Fließ, Station I

2.1.3.6 Weitere Arten

Für die meisten beprobten Stationen und mehrere Transekte der Pilotstrecke ist eine Vergesellschaftung von *Unio crassus* mit folgenden Muschelarten festgestellt worden:

- *Unio pictorum* (Malermuschel),
- *Unio tumidus* (Große Flussmuschel),
- *Anodonta anatina* (Entenmuschel),
- *Pseudanodonta complanata* (Abgeplattete Teichmuschel),
- *Sphaerium rivicola* (Flusskugelmuschel),
- *Pisidium amnicum* (Große Erbsenmuschel),
- *Pisidium supinum* (Dreieckige Erbsenmuschel).

Bei *Unio pictorum* handelte es sich sowohl im Burg-Lübbener-Kanal als auch an der Mehrzahl der Stationen bzw. Transekten der Kleinen Spree um die häufigste Art.

Unio crassus dominierte jedoch an Station VI der Kleinen Spree, im Großen Fließ, an Station II und III des Kleinen Fließes sowie bei sehr geringen Individuendichten an einzelnen Transekten der Pilotstrecke der Kleinen Spree (vgl. Abb. 2-12). Als zweithäufigste Art wurde er an den Stationen III und IV der Kleinen Spree, im Burg-Lübbener-Kanal sowie an Station I des Kleinen Fließes beobachtet.

Unio tumidus findet offensichtlich erst bei größerer Wassertiefe, mäßiger Strömung und höheren Detritusanteilen günstigere Bedingungen (Großes Fließ, Unterlauf der Kleinen Spree, Burg-Lübbener-Kanal). Die Art trat auch in der Pilotstrecke nur mit fünf Individuen in Erscheinung. Ähnliche Beobachtungen wurden bereits in früheren Arbeiten formuliert (ILLIG 1984; ARLT 1997; PETRICK ET AL., 2004). Es wird in diesem Zusammenhang auf die subfossilen Schalenfunde aus der Kleinen Spree zwischen Fischerfließ und Kälbergraben verwiesen. Die Artenzusammensetzung dieser umfangreichen Funde spiegelt eine ähnliche Verteilung zwischen *Unio pictorum* und *Unio tumidus* aus der Zeit um 1900 wieder. Eine Schalenhälfte von *Unio tumidus* steht dabei 188 Schalenhälften von *Unio pictorum* und 89 Schalenhälften von *Unio crassus* gegenüber (vgl. PETRICK ET AL., 2004).

Besonders hervorzuheben sind die individuenreichen Bestände von *Pseudanodonta complanata* im Kleinen und im Großen Fließ, im Burg-Lübbener-Kanal und an Station I der Kleinen Spree. Insgesamt konnten 74 Exemplare erfasst werden. Diese Muschel besetzt vergleichbare Habitate wie *Unio crassus*, meidet jedoch die stärker durchströmten Abschnitte der Pilotstrecke, an denen sich noch Vertreter von *Unio crassus* finden. Laut GLÖER & MEIERBROOK (1998) und ZETTLER (2000) reagieren beide Arten ähnlich sensibel auf anthropogene Veränderungen. Aktuell existieren nur wenige Fundangaben für Brandenburg. Der Spreewald stellt somit auch für *Pseudanodonta complanata* einen Verbreitungsschwerpunkt dar.

Die strömungsliebende Flusskugelmuschel *Sphaerium rivicola* konnte an mehreren Transekten und Stationen in geringer Individuenzahl kartiert werden. Auch im Rahmen des Gutachtens aus dem Jahre 2001 (PETRICK ET AL., 2001) ließ sich diese Art im Burger Spreewald nur mit Einzelexemplaren belegen. *Sphaerium rivicola* weist im Spreewald eine deutliche Präferenz zu feinsandigen Substraten mit geringen Detritusanteilen auf und wurde ausschließlich in stabilen Sedimenten und dabei bevorzugt in ufernahen Kolken unter Wurzelfächern der Gehölze festgestellt

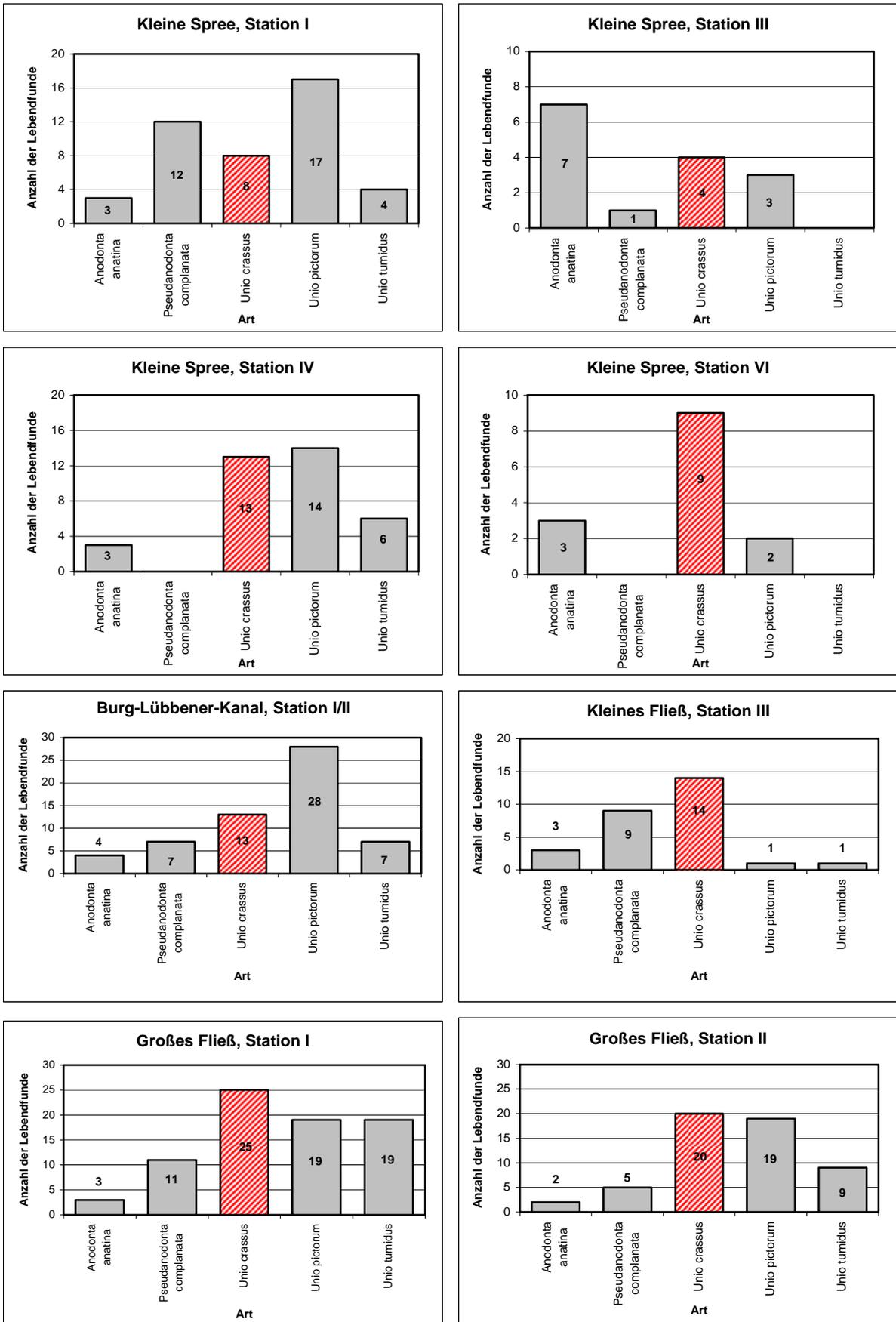


Abbildung 2-12: Artenzusammensetzung der Großmuscheln an ausgewählten Stationen

2.1.4 Auswertung und Diskussion

Sowohl an 25 der 33 angelegten Transsekte der Pilotstrecke der Kleinen Spree als auch an allen 15 Stationen der übrigen ausgewählten Gewässerabschnitte des Untersuchungsgebietes gelangen zum Teil individuenreiche Lebendfunde von *Unio crassus*. Besonders die häufigen Nachweise in der Pilotstrecke widersprachen jeglichen Erwartungen. Diese Fließstrecke bot sich u.a. aufgrund der abschnittsweise beobachteten Sandfracht für die Errichtung der Pilotanlage an. Außerdem wurde in diesem Zusammenhang von einer sehr geringen Molluskenbesiedlung und einem Fehlen von *Unio crassus* ausgegangen. Gezielte Nachsuchen an zwei Stationen im Jahre 2001 erbrachten keine Nachweise der Kleinen Flussmuschel (vgl. PETRICK ET AL. 2001). Mit 0,5 – 2,5 Ind./m² ist die jetzt ermittelte Besiedlungsdichte in der Pilotstrecke zwar sehr gering. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Art stetig im gesamten Abschnitt vorkommt. Der Nachweis von mehreren zwei- und dreijährigen Jungtieren belegt eine erfolgreiche Reproduktion in der Pilotstrecke.

In den Referenz-Gewässerabschnitten ließen sich zum Teil wesentlich größere Besiedlungsdichten mit zahlreichen Jungtieren beobachten. Aufgrund der oft hohen Grobdetritusanteile der Gewässersohlen sowie dem dadurch bedingten bevorzugten Einsatz des Keschers mit 10 mm Maschenweite sind die ein- bis dreijährigen Individuen in der Erfassung jedoch sehr wahrscheinlich unterrepräsentiert. Sowohl in der Kleinen Spree als auch im Kleinen Fließ und im Großen Fließ konnte dessen ungeachtet jeweils ein einjähriges Jungtier geborgen werden. *Unio crassus* siedelte primär in ufernahen Auskolkungen auf sandigen bis feinsandigen Substraten mit sehr geringen organischen Bestandteilen, aber auch auf feinsandigen Sedimenten mit höheren Fein- bzw. Grobdetritusanteilen. Bevorzugt wurden besonders die Gleithänge der Kolke, Bereiche im Strömungsschatten von Wurzelbärten der Gehölze, gut durchströmte Sandbänke und Strömungsrinnen.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird auf ein weitgehend durchgängiges Vorkommen von *Unio crassus* in den vier untersuchten Gewässern geschlossen. Bedingt durch die abwechslungsreiche Gestaltung der Kleinen Spree, des Burg-Lübbener-Kanals und des Kleinen Fließes ist das Vorkommen der Muschel abgesehen vom Großen Fließ jedoch sehr variabel. Dabei scheint sich in allen vier Gewässern eine schmale, wenige Dezimeter bis zu drei Meter breite Zone der Gewässersole für eine Besiedlung zu eignen. Der Anteil der geeigneten Substrate an der Gewässerbite beträgt je nach Standort in der Kleinen Spree 5 – 30 %, im Burg-Lübbener-Kanal, im Kleinen Fließ 5 – 75 % sowie im Großen Fließ 25 – 75 %.

Deren Ausdehnung hängt unmittelbar von Strömung und Wasserführung ab. In den mäßig strömenden Gewässerabschnitten liegt diese Zone häufig im Wirkungsbereich von Uferstrukturen bzw. des Stromstriches. Ufer- und Gewässerstrukturen als auch Makrophyten können die Ausprägung geeigneter Bereiche wesentlich fördern. Dagegen finden sich bei instabiler Sohle und stärkerer Strömung in der Pilotstrecke die besiedelbaren stabileren Sedimente sowohl in strömungsberuhigteren (Strömungsschatten von Wurzeln und Makrophyten, ufernahe Bereiche) als auch in stärker durchströmten Habitaten (Kolke und Stromrinnen), in denen sich die transportierten Sedimente nicht ablagern können. Auch dort tragen Strukturelemente zu einer Differenzierung der Strömung und damit zur Sicherung und Entwicklung dieser Bereiche bei.

Im Großen Fließ ist im gesamten untersuchten Abschnitt von einer stärkeren Verbreitung auszugehen. In diesem weitestgehend geradlinig verlaufendem Gewässer bieten sich für *Unio crassus* scheinbar sehr gute Existenzbedingungen, wie die dokumentierte Besiedlungsdichte sowie dessen Dominanz gegenüber den übrigen Arten nahe legen. Das Gewässer wird zwar ebenfalls von Ufergehölzen gesäumt, aufgrund der Breite des Großen Fließes und des gestreckten Verlaufes konnte der Stromstrich jedoch überwiegend in Gewässermitte lokalisiert werden. Stromrinnen und leichte Auskolkungen in Ufernähe stellen jedoch auch hier die bevorzugt besiedelten Habitate dar. PETRICK ET.AL. (2001) fanden *Unio crassus* damals an vier Stationen auch in größerer Zahl in Gewässermitte, was in den aktuellen Untersuchungen nur mit Einzelindividuen gelang. Die Ursachen dafür sind nicht geklärt. Eine saisonale Abwanderung der Tiere kann aber ausgeschlossen werden, da beide Kartierungen in der gleichen Jahreszeit erfolgten.



Abbildung 2-13: Von *Unio crassus* besiedelte Habitate im Burg-Lübbener-Kanal (links, Station I-II) und in der Kleinen Spree (rechts, Station VI), Blick in Fließrichtung

In allen bearbeiteten Gewässerabschnitten fanden sich Muscheln, die älter als 15 Jahre waren. Auch konnten in den zurück liegenden Jahren mehrere rezente Schalenfunde von älteren Tieren im Großen Fließ, Burg-Lübbener-Kanal und in der Kleinen Spree entdeckt werden (MARTIN, J., unveröff. Daten). Das bislang höchste Alter wurde mit mindestens 37 Jahren an einem rezenten Schalenfund aus dem Greifenhainer Fließ bestimmt. Mehrere Gewässer im Burger Raum waren also schon in den 1980er Jahren – wenn auch sicher sehr spärlich – durch *Unio crassus* besiedelt. Daraus und aus einem im Großen Fließ vermuteten größeren Bestand ging nach 1990 wahrscheinlich die dokumentierte Wiederbesiedlung des Burger Spreewaldes hervor.

Zusammenfassend kann der in früheren Arbeiten (PETRICK ET AL. 2001, 2004) vermutete positive Bestandstrend im Burger Spreewald zumindest für die hier betrachteten Gewässer bestätigt werden. Abbildung 2-14 vermittelt anhand der dargestellten Altersverteilung aller aufgefundenen Muscheln mit einem hohen Anteil von Jungtieren einen deutlichen Eindruck von der Vitalität des Gesamtbestandes.

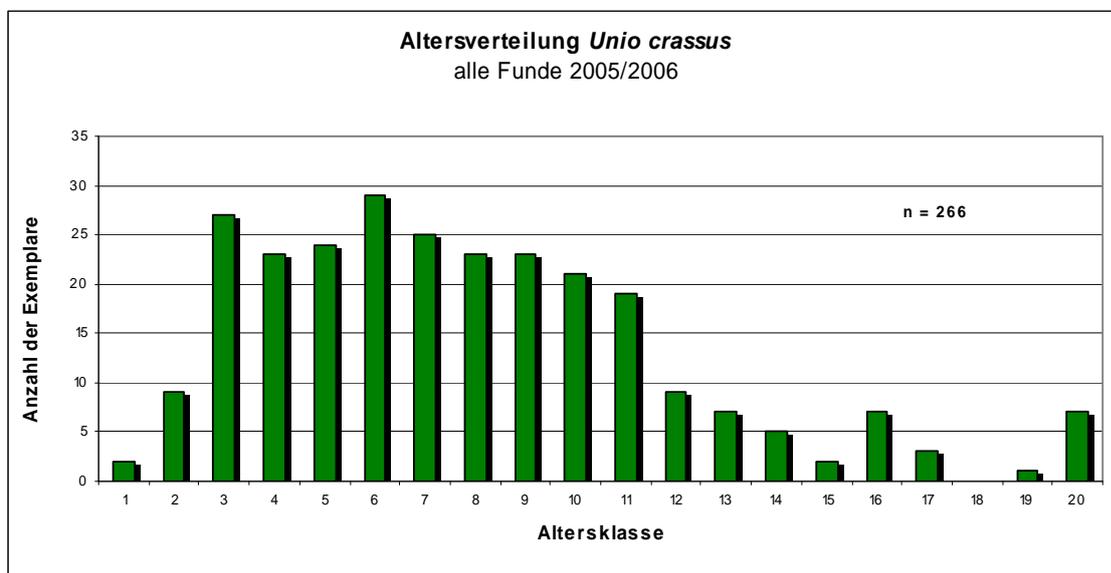


Abbildung 2-14: Altersverteilung von *Unio crassus* im Burger Spreewald (Aufnahme 2005 / 2006)

Die beobachteten mittleren Besiedlungsdichten von 7,5 Ind./m² (max. 8,3 Ind./m²) im Großen Fließ bzw. 4,7 Ind./m² (max. 9 Ind./m²) in der Kleinen Spree liegen in ähnlichen Größenordnungen, wie z.B. in der Ilmenau in Schleswig-Holstein (BRINKMANN 2002) oder im Cederbach in der Prignitz (BERGMANN 2003). Die für die Nebel und Löcknitz in Mecklenburg-Vorpommern beschriebenen maximalen Abundanz von 157 bzw. 197 Ind./m² (ZETTLER & JUEG 2002) verdeutlichen die unter entsprechend günstigen Bedingungen möglichen Entwicklungspotenziale der Art. In diesem strömungsbegünstigtem

Teilgebiet des Oberspreewaldes stehen wir somit im Vergleich dazu zweifellos am Beginn einer positiven Entwicklung.

Aufgrund der günstigen Alterstruktur der Bestände sowie dem relativ hohen Alter, welches *Unio crassus* im Spreewald erreichen kann, wäre unter den aktuellen wasserwirtschaftlichen Bedingungen auch weiterhin eine Stabilisierung des Gesamtvorkommens zumindest im östlichen Oberspreewald um Burg zu erwarten.

Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass sich der Verbreitungsschwerpunkt von *Unio crassus* in Burg in den vollständig oder größtenteils vom Großen Fließ gespeisten Gewässern befindet. Das Einzugsgebiet des Großen Fließes ist derzeit weitestgehend durch den Braunkohlenbergbau Jänschwalde in Anspruch genommen, so dass der Abfluss in Malxe und Großem Fließ zu einem großen Teil mit Sumpfungswasser aus dem Tagebau Jänschwalde abgedeckt wird. Mit dem Auslaufen des Tagebaus wird es hier zu einer enormen Verringerung des Durchflusses kommen (vgl. 2.4.2).

Zur Erhaltung der rheophilen Lebensgemeinschaften im Burger Spreewald sind hier entsprechende Maßnahmen erforderlich (vgl. 2.3 und 2.4).

2.2 Bestandsbeeinflussende Parameter

2.2.1 Physiko-chemische Parameter

2.2.1.1 Sohlbeschaffenheit und Gewässerstrukturen

In zahlreichen Arbeiten wird betont, dass *Unio crassus* für eine erfolgreiche Reproduktion auf ein von organischen Einlagerungen weitgehend freies Sediment mit einem bis in tiefere Schichten gut mit nährstoffarmem und sauerstoffreichem Wasser durchströmtes Interstitial angewiesen ist (ENGEL 1990; BUDDENSIEK ET AL. 1993; GROß 1997; COLLING & SCHRÖDER 2003). Die Besiedlung sandiger bis kiesiger und u.U. steiniger Substrate mit sehr geringen organischen Anteilen sind für verschiedene Vorkommen belegt (u.a. BJÖRK 1962; BEDNARCZUK 1986; ENGEL 1990; LEWANDOWSKI 1990; TIMM & MUTVEI 1993; GROß 1997; VICENTINI & PFÄNDLER 2001; ZETTLER & JUEG 2002; BERGMANN 2003; KLAWISCH 2005; HUS ET AL. 2006). Daneben wurde *U. crassus* in Ostschwedischen Populationen jedoch auch auf Lehm angetroffen (LUNDBERG & PROSCHWITZ 2004) und sowohl aus Österreich (OFENBÖCK mdl. Mitt. 2005), Bayern (HEITZ 1996; HIRSCHBERG 2002), Hessen (DÜMPELMANN 2003), Schleswig-Holstein (BRINKMANN 2002), Mecklenburg-Vorpommern (ZETTLER & JUEG 2002) als auch aus polnischen Flüssen (z. B. PIECHOTZKI 1969) werden Bestände aus schluffigen bzw. feinsandig-schllickigen bis schlammigen Sedimenten aufgeführt. Auch in älteren Publikationen wurden *U. crassus*-Bestände beschrieben, die strömungsberuhigte Abschnitte mit tonigen bis schlammigen Substraten besiedelten (MERKEL 1894; ISRAEL 1909, 1913; MENTZEN 1925).

Die Mehrzahl der von *Unio crassus* im Burger Spreewald bewohnten Habitate weist bei mäßiger bis stärkerer Strömung fein- bis mittelsandige Sedimente auf. Oftmals sind diese schllickig oder mit Grobdetritus durchsetzt und mit einer organischen Sedimentauflage bedeckt, so dass die Verhältnisse im Spreewald auch eine erfolgreiche Reproduktion von *Unio crassus* auf organisch-mineralischen Sedimenten belegen (vgl. Abb.2-15).

An den kartierten Stationen konnte der Großteil der Lebendfunde aus sandigen Sedimenten mit organischen Anteilen (Fein- oder Grobdetritus) von bis zu 50 % geborgen werden. Lediglich an Station I und III des Kleinen Fließes sowie an Station I der Kleinen Spree siedelte der Großteil der Muscheln auf Sand mit organischen Anteilen von weniger als 25 %. Im Burg-Lübbener Kanal wurden ca. 30 % der Muscheln in Sedimenten mit einem Anteil von 50 – 75 % organischem Material erfasst. Anzumerken ist zudem, dass eine größere Anzahl der aus der Kleinen Spree stammenden subfossilen Schalenfunde von *Unio crassus* aus der Zeit um 1900 (vgl. 2.1.3.6 bzw. PETRICK ET AL.

2004) Reste von schwarz-braunen Inkrustationen auf der Schalenoberfläche erkennen lassen. Diese Inkrustationen finden sich im Bereich der ehemaligen Sedimentoberfläche und lassen somit auch auf höhere organische oder tonige Anteile auf der Oberfläche der damaligen Gewässersohle schließen (Abb. 2-16).



Abbildung 2-15: *Unio crassus* im detritusreichen Sohlsubstrat des Großen Fließes



Abbildung 2-16: Subfossile Schalenfunde von *Unio crassus* aus der Kleinen Spree mit Resten der ehemaligen Inkrustationen

Instabile Sedimente mit Sandfrachten entlang des Stromstriches wurden lediglich innerhalb der Pilotstrecke beobachtet. Diese sind für eine Besiedlung durch *Unio crassus* (und andere Arten) zweifellos ungeeignet. Auf den Zusammenhang zwischen Instabilität der Gewässersohle und verminderter Reproduktion durch hohe Glochidiensterblichkeit in norddeutschen Perlmuschelbächen haben bereits ALTMÜLLER & DETTMER (1996, 2000, 2002) bzw. BUDDENSIEK & RATZBOR (1995) hingewiesen. Die Ergebnisse sind auf *Unio crassus* übertragbar, da deren Glochidien ebenfalls auf stabile Sedimente angewiesen sind.

Ein wesentlicher Strukturfaktor für die Gewässersohle sind submerse Wasserpflanzen. Sie haben durch ihre Wirkung als Strömungshindernis eine große Bedeutung für die Entwicklung geeigneter Habitats zumindest in der Kleinen Spree, dem Burg-Lübbener-Kanal und dem Kleinen Fließ. Größere Bestände engen das Abflussprofil ein und bewirken damit eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit in den verbliebenen Strömungsrinnen und eine Strömunglenkung. Sie tragen somit in Abhängigkeit von der Pflanzenart in unterschiedlichem Ausmaß zur Strömungs- und damit Strukturdiversität eines Gewässers bei und fördern dadurch die Entwicklung geeigneter Substrate für eine Besiedlung durch *Unio crassus* und anderer Arten. Besonders der ganzjährig vorkommende und mehrere Meter lange Bulte bildende Flutende Wasserhahnenfuß (*Ranunculus fluitans*) ist ein wesentlicher Gestaltungsfaktor in den betrachteten Gewässern. Er siedelt sowohl auf Schlamm als auch auf Feinsand. Die gegenüber früheren Untersuchungen beobachtete flächenmäßige Verringerung der Bereiche mit Treibsand in der Pilotstrecke sind wahrscheinlich primär der stabilisierenden Wirkung dieser Art zuzuschreiben. Größere instabile Abschnitte mit Sandfracht wurden zudem nur bei starker Beschattung und fehlenden Makrophyten beobachtet. Das Sediment wird bei größeren Beständen von *R. fluitans* von einem sehr dichten Wurzelgeflecht durchzogen, welches nach bisherigen Beobachtungen für eine Besiedlung durch Großmuscheln dadurch jedoch nur noch eingeschränkt verfügbar ist. Dagegen entwickelt sich in Nachbarschaft von *R. fluitans* oft eine Strömungsrinne, die häufig durch Großmuscheln besetzt wird.

Größere Bestände von Röhrichtpflanzen können durch die Einengung des durchflossenen Querschnittes ebenfalls eine hydraulische Wirkung auf den Abfluss ausüben. Auch stellen Makrophyten und Röhrichtpflanzen wichtige Einstände für potenzielle Wirtsfische dar.

2.2.1.2 Strömung

Die von *Unio crassus* im Untersuchungsgebiet bevorzugten Substrate lassen einen klaren Zusammenhang zu den Strömungsverhältnissen erkennen. Die angesprochenen besiedelbaren Bereiche der Sohle finden abgesehen vom Großen Fließ ihre größte Ausprägung an Prallhängen der Fließwindungen sowie an größeren Ufergehölzen, Makrophytenbeständen und Totholz im Gewässer. Diese Faktoren führen zu einer Umlenkung der Strömung und zur Erhöhung der Strömungsdiversität. Dadurch entwickeln sich für *Unio crassus* geeignete Sedimente mit einer vermutlich guten Durchlüftung des Interstitials. Ähnliche Beobachtungen sind beispielsweise auch aus dem *Stobber* in der Märkischen Schweiz bekannt (KLAWISCH 2005).

Eine ausreichende Strömung und die Vermeidung stauender Verhältnisse mit ihren Nebeneffekten der vermehrten Sedimentation von organischem Material und der Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse sind für *Unio crassus* ein wesentlicher Entwicklungsfaktor. Wie jüngere Funde aus dem Spreewald belegen, wird die Art außerhalb der Burger Gewässer nur noch vereinzelt und nur direkt unterhalb von Stauanlagen gefunden, wo günstige Strömungsverhältnisse ohne Stauwirkung herrschen (vgl. 2.3).

2.2.1.3 Wasserbeschaffenheit

Unio crassus weist eine enge Bindung an eine hohe Wasserqualität auf. Nach Literaturangaben kommen reproduktionsfähige Bestände nur in Gewässern der Güteklasse I – II, unter Umständen auch der Güteklasse II vor (u.a. BUDDENSIEK ET AL. 1993; HOCHWALD 1997; ZETTLER ET AL. 1995; ZETTLER & JUEG 2002; COLLING & SCHRÖDER 2003). Mehrfach wird in der Literatur die Empfindlichkeit von *Unio crassus* gegenüber Gewässerverunreinigungen betont und ein Zusammenhang zwischen eingeschränkter Reproduktion bzw. Stoffwechselaktivität und insbesondere den Nitrit-, Nitrat- und Ammonium-Gehalten aufgezeigt (u.a. BAHR 1994; HOCHWALD 1997). Während Nitrit und Ammonium unter aeroben Bedingungen einer schnellen Oxidation unterliegen, kann dagegen Nitrat in Oberflächengewässern als Endstufe dieser Nitrifikation lange erhalten bleiben. Als von reproduzierenden Bestände noch tolerierter Höchstwert wird eine Nitrat-Konzentration $< 8 - 10 \text{ mg/l NO}_3$ in der Wassersäule genannt (ENGEL 1990; HOCHWALD 1997).

GROß (1997) konnte keinen Zusammenhang zwischen ausbleibender Reproduktion von *Unio crassus* und den N-Komponenten der freien Welle in ausgewählten Gewässern Schleswig-Holsteins ausmachen. Dagegen vermutet er primär einen negativen Einfluss der organischen Belastung der Gewässer. Der mikrobielle Abbau organischer Substanz kann im Sediment zu starker Sauerstoffzehrung und damit zu einer hohen Sterblichkeit der Jungmuscheln führen. Auch aus dem Barnim

nördlich Berlins ist ein ehemaliges *Unio crassus*-Gewässer bekannt, welches unterhalb eines eutrophen Sees bei sehr niedrigen Nitrat-Konzentrationen eine hohe organische Belastung infolge der Phytoplankton-Gehalte im See auszeichnet (LOEBIN 2006). Die organische Belastung darf daher bei der Suche nach den Ursachen für eine verringerte bzw. ausbleibende Reproduktion von *Unio crassus* nicht außer Acht gelassen werden.

Darüber hinaus betonen in Bezug auf die kritischste Phase des *Unio crassus*-Lebenszyklus BUDDENSIEK ET AL. (1993), dass ein Rückschluss von den Analysewerten aus der freien Welle auf den Zustand des hyporheischen Interstitials nur eingeschränkt möglich ist. Im Interstitialwasser können sich in Abhängigkeit von Schwebstoffsedimentation, Sedimenteigenschaften und Grundwasserzustrom höhere oder niedrigere Nitratkonzentrationen als in der Wassersäule einstellen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Konzentrationen der Stickstoffverbindungen in Oberflächengewässern jahreszeitlich stark schwanken können, so dass Einzelmessungen noch keine abschließenden Schlussfolgerungen über die Wasserqualität zulassen.

Nach 1990 kam es sowohl in der Spree als auch im Großen Fließ zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserbeschaffenheit, wodurch sich die Lebens- bzw. Reproduktionsbedingungen für *Unio crassus* mit Sicherheit verbesserten. Auch die aktuellen Ergebnisse und dabei insbesondere die Altersverteilung der aufgefundenen Individuen legen diesen Schluss nahe. Die Lage des im Jahre 2001 lokalisierten und in den Folgejahren bestätigten Verbreitungsschwerpunktes im Gewässersystem des Großen Fließes, welches sich überwiegend aus der Malxe speist, wurde durch die damaligen Bearbeiter maßgeblich der gegenüber der Spree günstigeren Wasserbeschaffenheit zugeschrieben (PETRICK ET AL. 2004). Hier konnten in mehreren von der Spree beschickten Gewässern des Spreewaldes stabile sandige Abschnitte registriert werden, die keine Besiedlung durch *Unio crassus* aufwiesen.

Die Jahresgänge der Nitrat-Gehalte in der Hauptspreet und im Großen Fließ (Abb. 2-17) zeigen zwischen 2003 und 2005 einen typischen Verlauf mit niedrigen Werten in den Sommermonaten und höheren Konzentrationen im Winter. Diese Dynamik wird einerseits durch die temperaturabhängige mikrobielle Denitrifikation und die damit verknüpfte ebenfalls temperaturabhängige Mineralisation organischen Materials im Gewässer sowie andererseits durch den verstärkten Nitrat-Eintrag aus dem Umland in den Winter- und Frühjahrsmonaten erzeugt. Aufgrund der reduzierten Datenerhebung im Großen Fließ stehen nur alle 2 – 3 Jahre Beschaffenheitswerte zur Verfügung. Die ebenfalls ausgewerteten Messreihen aus dem Jahre 2000 vermitteln jedoch gleichartige Verhältnisse. Unter Berücksichtigung des o.g. Richtwertes der Nitrat-Belastung könnten die dargestellten Daten daher die beobachtete Verbreitung von *Unio crassus* im Burger Spreewald erklären.

Die vergleichenden Betrachtungen weiterer chemischen Parameter erbrachten keine signifikanten Unterschiede zwischen Spree und Großem Fließ und werden hier nicht explizit aufgeführt (vgl. dazu PUSCH ET AL., 2006).

Bemerkenswert ist aber, dass die bessere Wasserqualität des Großen Fließes in Verbindung mit einer ausreichenden Strömung offensichtlich auch die Besiedlung von Substraten mit höheren organischen Anteilen durch *Unio crassus* im Burger Spreewald ermöglicht.

Anzumerken ist zudem, dass sich die Messstelle des Großen Fließes bei Fehrow noch etwa 10 km oberhalb der ersten hier berücksichtigten *Unio crassus*-Nachweise befindet. Es darf daher mit einer weiteren Verbesserung der Wasserbeschaffenheit infolge der Gewässerselbstreinigung auf dieser Fließstrecke in einem relativ dünn besiedelten Gebiet bis zum Eintritt in den Burger Spreewald gerechnet werden. Demgegenüber charakterisieren die Daten zur Spree die konkreten Verhältnisse an der Mühle in Burg/Spreewald.

Aus der überwiegend günstigeren Beschaffenheit der freien Welle des Großen Fließes können auch vergleichbare Bedingungen im Kleinen Fließ, im Burg-Lübbener-Kanal und in der Kleinen Spree abgeleitet werden. Daraus resultieren in Verbindung mit der mäßigen bis stärkeren Strömung sowie den durch Ufer- und Gewässerstrukturen bzw. Makrophyten verursachten Strömungsdiversitäten für die juvenilen Muscheln im Interstitial vermutlich ebenfalls qualitativ günstigere Bedingungen insbesondere im Hinblick auf die Gehalte an Stickstoffverbindungen, abbaubaren organischen Substanzen und damit den Sauerstoffgehalt. Die gute Wasserbeschaffenheit des Großen Fließes ist primär auf den hohen Anteil (> 50 %) nährstoffarmer und weitestgehend gereinigter Sumpfungswassermengen aus den Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord zurückzuführen.

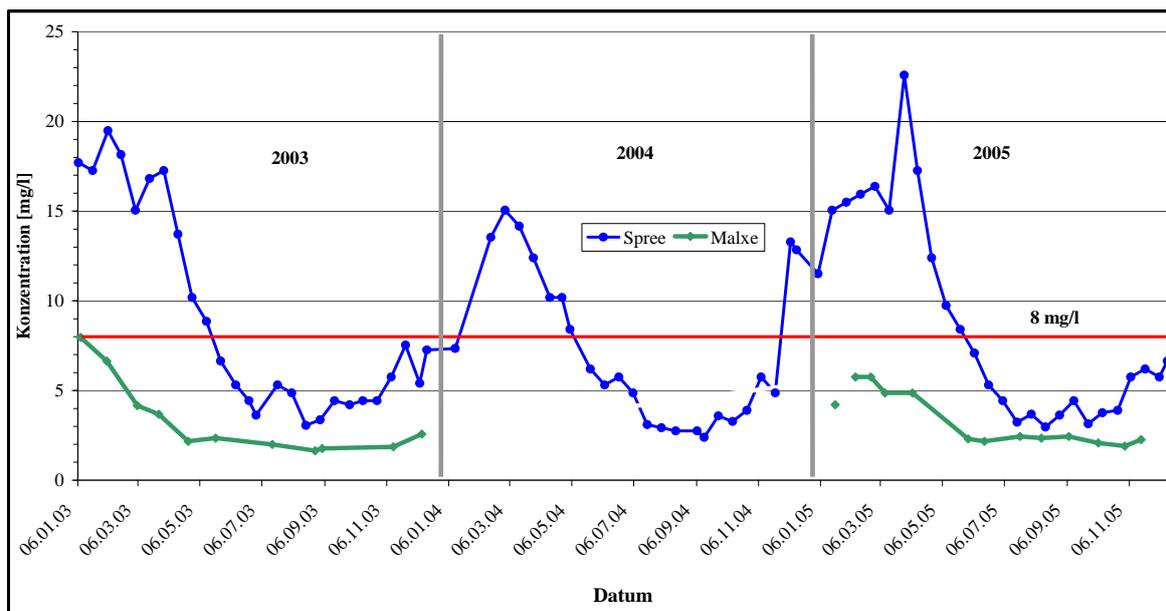


Abbildung 2-17: Ganglinien der Nitrat-Konzentration in der Spree und im Großen Fließ, 2003-2005

2.2.2 Wirtsfische

2.2.2.1 Ökologische Grundlagen

Neben den physikalischen und chemischen Umweltfaktoren ist aufgrund des speziellen Lebenszyklus der Großmuscheln, der ein parasitisches Stadium einschließt, auch das Vorkommen der Wirtsgorganismen (Fische) von großer Bedeutung für das Fortbestehen bzw. die Wiederausbreitung von *Unio crassus*.

Die von Muttermuscheln ausgestoßenen Muschellarven (Glochidien) müssen innerhalb weniger Tage über das Atemwasser der Fische die Möglichkeit haben, sich im Kiemengewebe festzusetzen. In der hier stattfindenden, etwa vierwöchigen Entwicklungsphase reifen sie zu Jungmuscheln von ca. 0,4 cm Größe heran. Die sich während dieser Zeit bildende Zyste platzt dann auf und entlässt die Jungmuscheln auf den Gewässerboden, wo sie sich für die nächsten 2 – 3 Jahre eingraben. Nur in einem sandigen, ausreichend mit sauerstoffhaltigem Wasser durchströmten Sediment haben die Muscheln dann eine Überlebenschance.

In der parasitischen Lebensphase kommen nur bestimmte Fischarten in Frage, die von den Muscheln erfolgreich als Wirtsfische genutzt werden können (Tabelle 2-1). Die relativ große Spanne des Wirtsfischspektrums von *Unio crassus* relativiert sich jedoch dadurch, dass in unterschiedlichen Gebieten eine spezifische Präferenz für eine oder wenige Fischarten vorherrschen kann.

Am häufigsten werden in der Literatur Döbel, Elritze und Westgroppe als geeignete Wirtsfischarten genannt. Da weder die Westgroppe noch die Elritze im Spreewald vorkommen, ist der Döbel hier vermutlich der wichtigste Wirtsfisch für *Unio crassus*.

Wegen der großen Bedeutung der Wirtsfische für die Erhaltung von *Unio crassus* erfolgte im Rahmen dieses Projektes auch eine Erfassung der Fischfauna im Untersuchungsgebiet, die u.a. stetige Anteile des Döbels am Gesamtfischbestand erbrachte. Endgültige Aussagen zum Wirtsfischspektrum von *Unio crassus* im Spreewald wären aber erst über die Untersuchung des Glochidienbefalls der Fische zu erlangen.

Tabelle 2-2: Wirtsfischspektrum von *Unio crassus* gemäß verschiedener Autoren
 (Zusammenstellung verändert n. ZETTLER & JUEG (2002)). Die drei geeignetsten Arten sind farbig unterlegt. Aufgeführt sind nur Arten, bei denen sowohl eine Infektion mit Glochidien als auch eine vollständige Entwicklung bis zur Jungmuschel nachgewiesen wurde, oder die gezielt für künstliche Infektionen zur Bestandsstützung von *Unio crassus* eingesetzt werden.

Art	Bednarczuk (1986)	Maass (1987)	Engel (1990)	Hochwald & Bauer (1990)	Hochwald (1997)	Lang (1998)	Dümpelmann (2000, 2003, 2004)	Henker et al. (2000)	Zimmermann et al. (1998, 2000)	Schmalz et al. (2005)
Bachforelle (<i>Salmo trutta fario</i>)			X			X				
Bachsaibling (<i>Salvelinus fontinalis</i>)				X	X					
Bitterling (<i>Rhodeus sericeus amarus</i>)			X							
Döbel (<i>Leuciscus cephalus</i>)	X	X		X	X	X	X	X		
Dreist. Stichling (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)			X		X					
Elritze (<i>Phoxinus phoxinus</i>)		X		X	X	X	X	X	X	X
Flussbarsch (<i>Perca fluviatilis</i>)	X									
Hasel (<i>Leuciscus leuciscus</i>)			X				X			
Kaulbarsch (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)		X								
Moderlieschen (<i>Leucaspis delineatus</i>)			X							
Neunst. Stichling (<i>Pungitus pungitus</i>)			X							
Rotfeder (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	X				X					
Westgroppe (<i>Cottus gobio</i>)				X	X			X		

2.2.2.2 Zur Fischfauna im Burger Spreewald

Material und Methode

Am 12./13. Oktober 2005 und am 11./12. und 23. Mai 2006 erfolgte die Bestandsaufnahme zur Fischfauna in den vorgegebenen Fließabschnitten im Burger Spreewald. Dabei wurden insbesondere Gewässerstrecken untersucht, die als (potenzieller) Lebensraum für *Unio crassus* in Frage kommen. Im Mai 2006 wurde die Station in der Neuen Spree unterhalb des Wehres 55 im Rahmen der Fischaufstiegskontrolle am Vertical-Slot-Pass zusätzlich beprobt (vgl. Kap. 4). Außerdem wurden die wichtigsten Strukturen der Beprobungsabschnitte registriert.

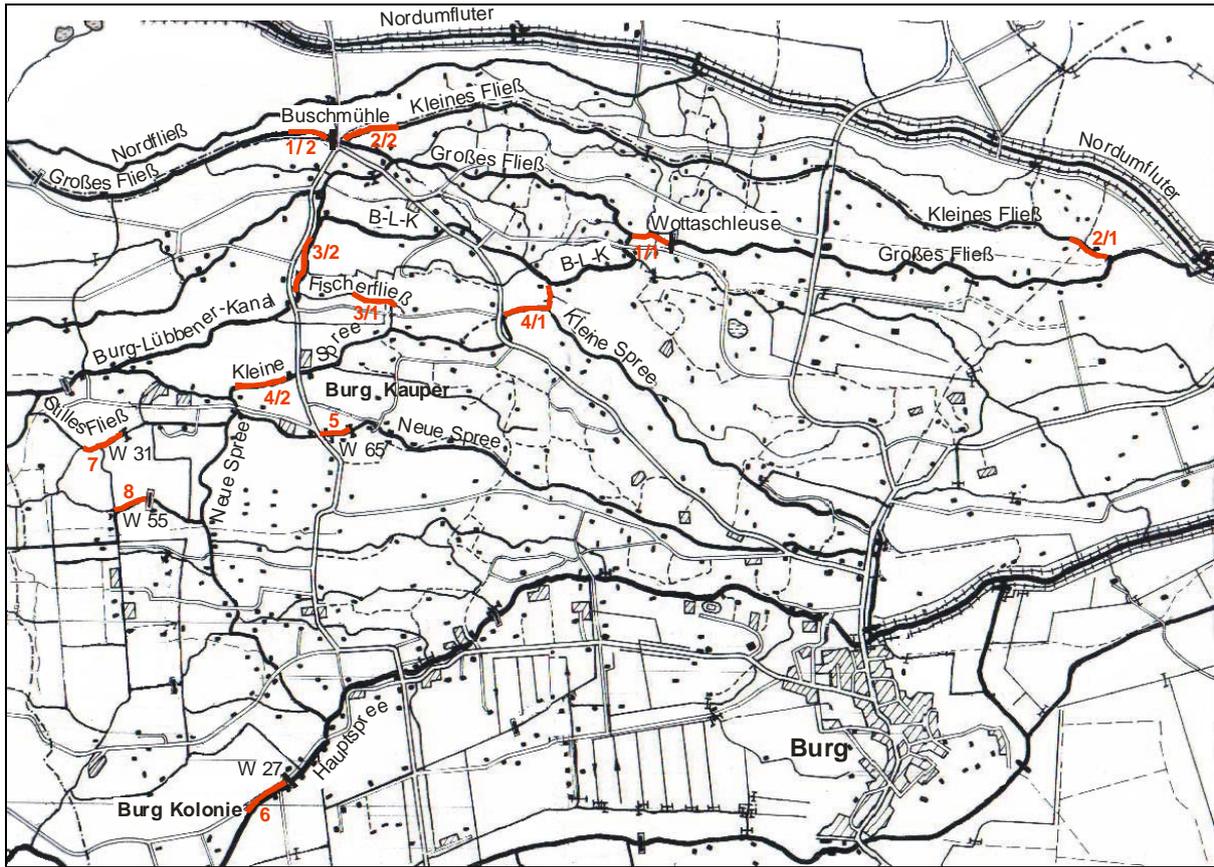


Abbildung 2-18: Gewässerstrecken der Fischerfassung

Neun Beprobungsabschnitte waren 200 bis 400 m lang, drei Abschnitte waren nur 150 bzw. 175 m lang. Diese Abschnitte befanden sich direkt unterhalb von Stauanlagen. In größerer Entfernung von den Stauanlagen änderten sich die Strukturen und damit der Fischbestand erheblich. Um eine genauere Beschreibung des Fischbestandes für diese Strukturen unterhalb der Stau zu erhalten, wurde hier auf eine Ausdehnung der Beprobungsabschnitte verzichtet. Um eine Vergleichbarkeit der Fangergebnisse gewährleisten zu können, wurden die Fänge auf 100 Fließmeter umgerechnet.

Die Beprobung erfolgte mittels eines 7,5 kW-Gleichstromaggregates vom Boot aus. Andere Fangmethoden, wie Kiemennetze, eignen sich wegen des regen Kahn- und Bootsverkehrs sowie der Gewässermorphologie nicht. Alle Fische wurden bestimmt. Die Totallänge (Lt) wurde auf 0,5 cm below gemessen und die Körpermasse (KM) auf 1g genau gewogen. Die Altersbestimmungen erfolgten an Schuppen. Der Laichreifstatus wurde wie folgt erfasst:

- Reifestadium IV: prall gefüllter Bauch, voll entwickelte Gonaden, noch nicht ovuliert,
- Reifestadium V: laichend, Geschlechtsprodukte treten bei leichtem Druck auf die Leibeshöhle aus der Geschlechtsöffnung aus,
- Reifestadium VI: abgelaicht, eingefallener Bauch, letzte Geschlechtsprodukte abstreichbar.

Äußerlich erkennbare Krankheiten wurden registriert. Der Korpulenzfaktor nach wurde nach $K = 100Lt/KM^3$ bestimmt.

Die Artendiversität wurde durch den Simpson-Index (D), modifiziert nach KREBS (1994) bestimmt:

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad \text{wobei } p_i \text{ den relativen Anteil der Arten am Gesamtfang darstellt.}$$

Der Index D beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der zwei zufällig gefangene Fische verschiedenen Arten angehören. Er liegt zwischen 0 (beide Fische gehören einer Art an) und 1 (beide Fische gehören verschiedenen Arten an). Je höher D, desto diverser ist die Fischgemeinschaft.

Die Artendominanz wurde als Community Dominance Index (CDI) berechnet (KREBS 1994):

$$CDI = 100 * (n_1 + n_2) / N$$

(n_1, n_2 = Individuenzahl der häufigsten, zweithäufigsten Fischart, N = Gesamtfang).

Der CDI beschreibt, in welchem Maße der Fischbestand durch die zwei häufigsten Fischarten dominiert wird. Er beträgt maximal 100 %, wenn der gesamte Fischbestand nur durch zwei Arten gebildet wird. Ein hoher CDI zeigt zumeist einen beeinträchtigten Fischbestand an und wird negativ bewertet. Die beiden Indices wurden auf der Basis der Fänge pro 100 m berechnet.



Abbildung 2-19: Frühjahrsbefischung 2006 am Großen Fließ

Ergebnisse

Insgesamt wurden 3.202 Fische gefangen, die 20 Arten zuzuordnen waren (vgl. Tab. 2-3 und 2-4).

Über alle Stationen summiert waren Plötze (46,7 % des Gesamtfanges) und Ukelei (25,9 %) dominierend. Daraus ergibt sich eine Artendominanz CDI von 72,6 %, die als hoch und damit ungünstig einzuschätzen ist. Die Artendiversität C auf der Basis des Gesamtfanges beträgt 0,70 und ist zu niedrig. Beide Indizes zeigen für das Gesamtgebiet einen vom natürlichen Zustand abweichenden Fischbestand an.

Es wurden acht Arten nachgewiesen, die in den Roten Listen Brandenburgs (KNUTH ET AL., 1998) und Deutschlands (BLESS ET AL., 1994) aufgeführt sind (Bitterling, Hasel, Schmerle, Aland, Quappe, Zander, Hecht, Aal). Die Arten waren mit Ausnahme des Hechtes und des Bitterlings im Stillen Fließ nur mit wenigen Individuen im Fang vertreten (Tab. 2-4). Nur der Bitterling ist als FFH-Art im Anhang II aufgeführt.

Die für kleine Fließgewässer charakteristischen rheophilen Arten sind nur unvollständig präsent und mit Ausnahme des Döbels nur in sehr geringer Abundanz. Früher häufige Bachneunaugen, Steinbeisser und Barben fehlen im Untersuchungsgebiet. Der Anteil aller Individuen rheophiler Arten am Gesamtfang je 100 m betrug im Oktober 2005 10,65 % und im Mai 2006 13,33 %.

Tabelle 2-3: Liste der präsenten Fischarten im Spreewald bei Burg

2005 und 2006 mit Angabe ihrer relativen Abundanz pro 100 m; verglichen mit den Daten von FLADUNG & ZAHN (2003) im Ober- und Unterspreewald sowie von ROTHE (2005) im Schiwastrom (jeweilige Basis: Gesamtfang). Die Strömungsgilden nach SCHIEMER UND WAIDBACHER (1994) sind farblich hinterlegt: dunkelblau – rheophil A; hellblau – rheophil B; rot – eurytop; grün – limnophil.

Art	Schutzstatus BRB/D/EU	Spreewald/Burg		Spreewald	Unterspreewald
		2005	2006	FLADUNG & ZAHN 2003	ROTHE 2005
Hasel	3 / 3 / -	0,10	1,12	1,45	
Döbel		6,28	6,11	7,20	9,19
Schmerle	2 / 3 / -	0,05	0,09		
Aland	3 / 3 / -	2,11	0,14	6,93	
Rapfen				1,46	
Gründling		2,01	4,27	6,47	1,31
Steinbeisser	2 / 2 / II			0,73	
Quappe	2 / 2 / -	0,1	1,51	2,86	3,38
Ukelei		23,97	26,19	7,20	0,56
Plötze		48,63	42,86	8,84	17,82
Blei		2,66	2,66	6,75	6,57
Güster		1,06	1,7	6,02	0,56
Karpfen				0,73	
Giebel			0,05	0,46	0,75
Wels	V / 2 / -			0,27	
Zwergwels				0,27	
Flussbarsch		8,12	6,26	7,20	47,47
Zander	V / - / -	0,25	0,16	0,27	
Kaulbarsch		0,35	0,18	5,56	
Hecht	- / 3 / -	2,78	2,19	8,84	6,57
Aal	V / 3 / -	0,57	1,00	6,47	2,06
Schleie		0,55	0,36	6,20	0,56
Rotfeder		0,35	1,18	4,56	0,56
Bitterling	1 / 2 / II		1,80	0,73	
Moderlieschen	3 / 3 / -			0,46	
Schlammpeitzger	3 / 2 / II			0,46	0,19
Dreist. Stichling		0,05	0,05	1,64	2,25
Artenzahl		18	20	26	15

Tabelle 2-4: Zusammensetzung der absoluten Fänge je Station

Art	Station													
	1/1	1/2	2/1*	2/1#	2/2	3*	3/1#	3/2#	4/1	4/2	5	6	7	8#
Hasel	1			6					1		10			
Döbel	18	9	4	5	2	9	7	6	9	16	31	32	33	7
Schmerle			1	2										
Aland			1	1	1	1			1	6		12	3	
Gründling	7	2	4	14	1	1	1	10	18	5	20	11	3	
Quappe	12	2						1			2	7	1	4
Ukelei	67	32	27	52	138	10	7	44	147	112	3	17	104	69
Plötze	49	88	90	65	395	52	42	43	160	80	67	120	167	78
Blei	2	2	4	6	9	6	1	4	12	17	7	3	5	6
Güster	3	14		1	1			1	3			3	8	2
Giebel														1
Flussbarsch	13	35	4	5	12	17	5	4	21	11	7	55	19	7
Zander	3		1			2			1					
Kaulbarsch	1	2	1	1		1		1	1					
Hecht	6	2	3	3	8	10	3	2	10	1	6	11	13	6
Aal	1		1									1		
Schleie	5	7		1	1			2		1	1	4		
Rotfeder			3		2				1				14	
Bitterling	4	1	1			1						4	2	
Dreist. Stichling													18	3
Cyprin. Hybrid					1									1
Individuenzahl	192	196	145	162	571	110	66	118	385	249	154	280	390	184
Artenzahl	15	12	13	13	11	11	7	11	13	9	10	13	13	10
Ind.zahl/100 m	32,0	56,0	72,0	64,8	81,6	27,5	22,0	39,3	64,3	55,3	32,4	56,0	70,9	73,6
Dominanzindex	58,3	66,0	81,3	72,2	89,5	62,7	74,2	73,7	75,7	80,8	59,4	65,4	69,7	79,9
Diversitätsindex	0,80	0,71	0,57	0,72	0,59	0,73	0,56	0,72	0,68	0,56	0,75	0,75	0,71	0,67

* nur Fang von Oktober 05

nur Fang von Mai 06

Im Folgenden werden die potenziellen Wirtsfische von *Unio crassus* näher beschrieben (vgl. Tab. 2-2). Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse zur Bestandsaufnahme der Fischfauna erfolgt in PUSCH ET AL. (2006).

Hasel, *Leuciscus leuciscus*

Insgesamt wurden nur 18 Hasel (zwei im Okt.05 und 16 im Mai 06) gefangen. Die Präsenz der Hasel war an größere Strömungsgeschwindigkeiten geknüpft, wie sie z.B. im Kleinen Fließ nach dem Abzweig vom Großen Fließ oder in der Neuen Spree unterhalb vom Wehr 65 auftraten. Allerdings

wurden auf anderen Stationen mit ähnlichen Bedingungen (Großes Fließ unterhalb Wehr Buschmühle, Stilles Fließ unterhalb Wehr 31, Neue Spree unterhalb Wehr 55 oder Hauptspreewald unterhalb Wehr 27 keine oder nur einzelne (unterhalb Wehr 64) Hasel gefangen. Die Verbreitung der Hasel ist durch geeignete Habitate (WÜSTEMANN & KAMMERAD, 1995) und wahrscheinlich auch durch die Querbauwerke eingeschränkt. Die Hasel waren 6 – 20 cm lang und 1 – 3 Jahre alt. Im Oktober 2005 wurden nur zwei Jungfische < 10 cm vom Jahrgang 2005 gefangen. Im Mai 2006 wurden keine Fische von Jahrgang 2005 gefangen. Auf Grund der geringen Anzahl der gefangenen Hasel sind Aussagen über das Wachstum der Fische nicht möglich.

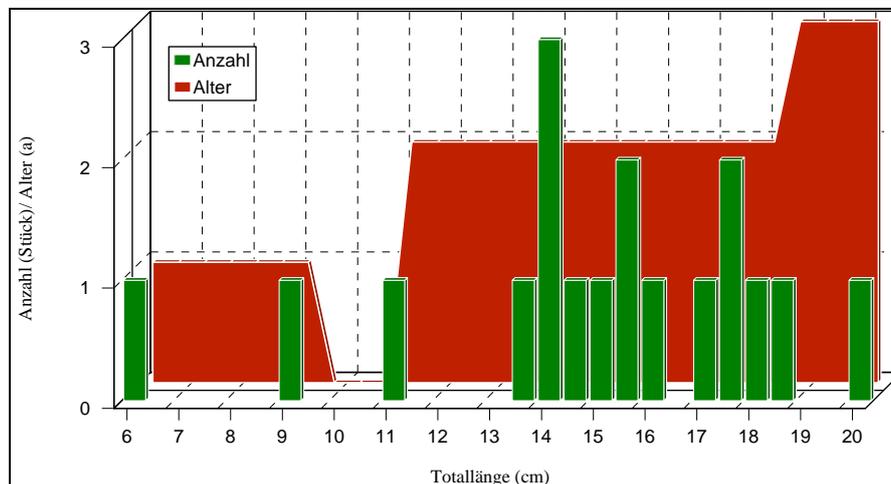


Abbildung 2-20: Längen- und Häufigkeitsverteilung der Hasel im Burger Spreewald im Oktober 2005 und Mai 2006

Döbel, *Leuciscus cephalus*

Döbel wurden auf allen Stationen gefangen, die wenigsten in dem sehr schwach strömenden Abschnitt des Kleinen Fließes oberhalb der Wehr 64 (Wottaschleuse). Auch im Kleinen Fließ am Abzweig vom Großen Fließ wurden relativ wenige Döbel gefangen. Eventuell konnten sich auch deshalb dort wegen der geringen Konkurrenz die Hasel gut entwickeln.

In allen Fängen fehlen Jungfische. Während in der Spree ober- und unterhalb von Cottbus die Döbel mit 5 – 6 cm Körperlänge dominieren, fehlte diese Länge im Oktober und im Mai im Untersuchungsgebiet fast vollständig. Auch die 10 – 12 cm langen Fische sind in den Fließten bei Burg sehr selten. Erst Döbel mit Körperlängen >12 cm wurden öfter gefangen. Am häufigsten waren Fische von 20 – 44 cm. Dies Ergebnis deutet auf mangelnde Reproduktion im Gebiet hin. Wahrscheinlich findet die Reproduktion der Döbel oberhalb des Untersuchungsgebietes statt und die Jungfische wandern erst mit zunehmendem Alter ein. Ein Eindriften von Larven und Jungfischen, wie es in frei fließenden Abschnitten der Spree beobachtet wurde, ist auf Grund der vielen Querbauwerke und daraus resultierender schwacher Strömung stark eingeschränkt. Geeignete Laichplätze sollten nach den Erkenntnissen aus der Müggelspreewald (FREDRICH ET AL., 2003) unterhalb der Wehre auch im Untersuchungsgebiet vorhanden sein.

Auf Grund der Verbreitung der Döbel im Untersuchungsgebiet und seines relativ großen Bestandes sowie der Tatsache, dass sich die Döbelbestände in vielen Gewässern des nordostdeutschen Tiefland- und Vorgebirgslandes sehr gut entwickelt haben, muss er nicht besonders gefördert werden, zumal die Auswirkungen auf andere rheophile Arten (Nahrungskonkurrenz) noch nicht bekannt sind. Das Wachstum der Döbel im Burger Spreewald entspricht dem der Döbel oberhalb von Cottbus und ist besser, als das der Döbel unterhalb von Cottbus. Deutlich besser wachsen die Döbel aber z.B. in der Mulde bei Bitterfeld (Abb.2-22).

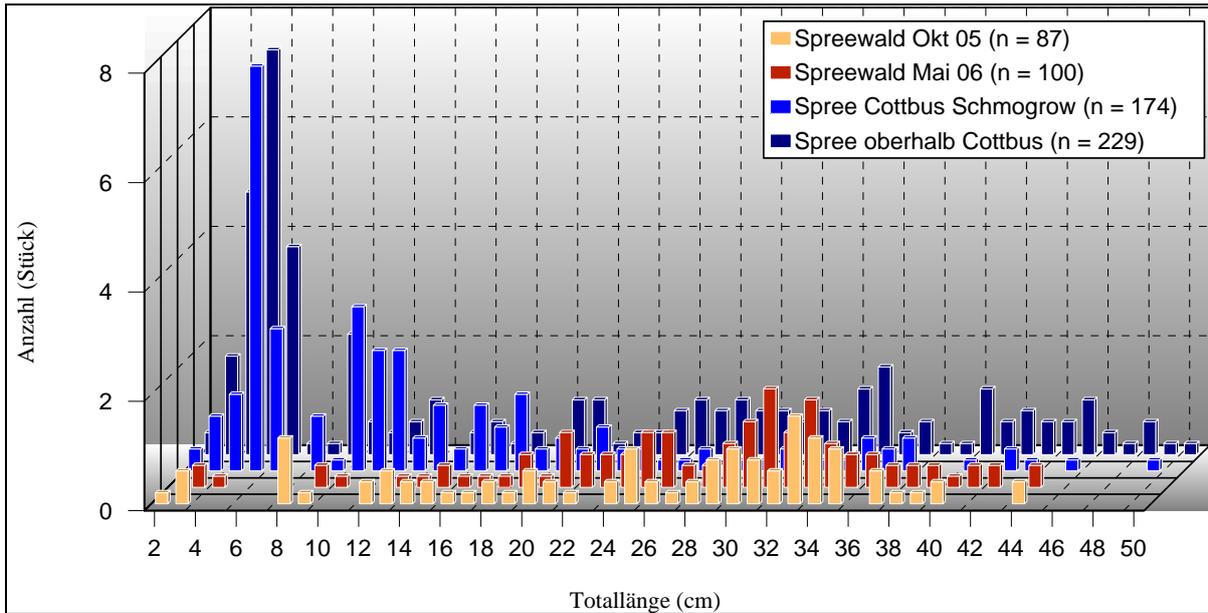


Abbildung 2-21: Längenhäufigkeitsverteilung der Döbel im Burger Spreewald und in der Spree. Quellen zur Längenhäufigkeitsverteilung der Döbel in der Spree unterhalb und oberhalb von Cottbus: FREDRICH, 2003a,b

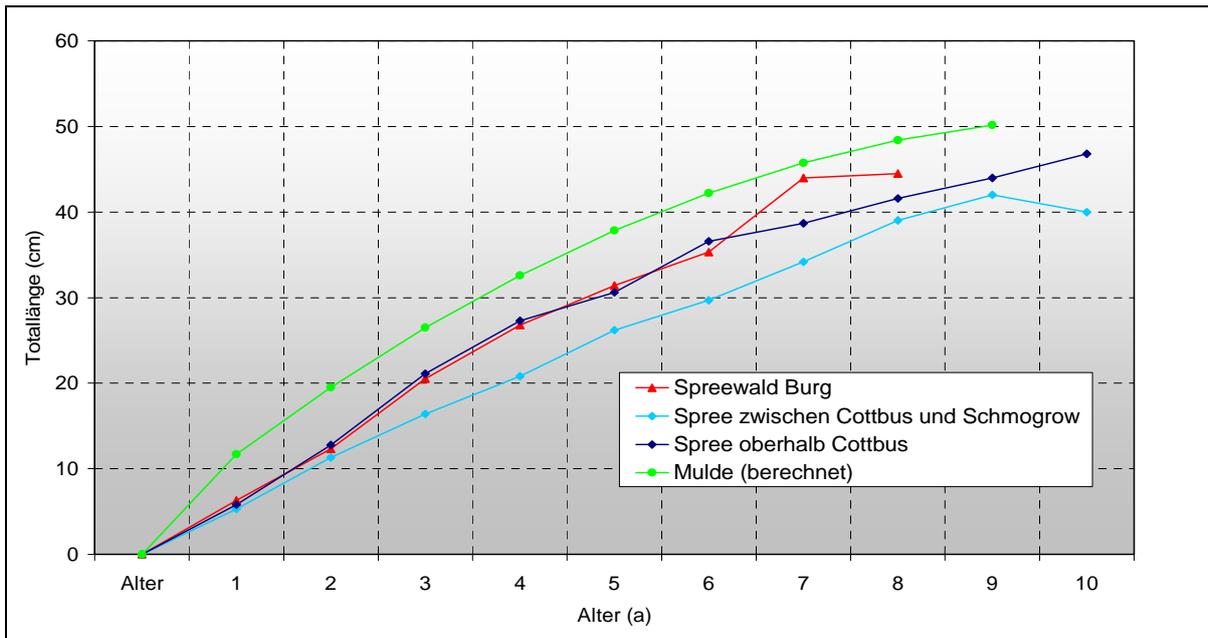


Abbildung 2-22: Wachstum der Döbel im Burger Spreewald, in der Spree und in der Mulde. Quellen zum Wachstum der Döbel in der Spree unterhalb und oberhalb von Cottbus: (FREDRICH, 2003A,B) sowie in der Mulde (FREDRICH 2006a)

Rotfeder, *Scardinius erythrophthalmus*

Es wurden 20 Rotfedern gefangen. Allein vierzehn Rotfedern wurden im Mai 2006 im Stillen Fließ unterhalb von Wehr 31 gefangen. Von diesen Fischen gehörten acht dem Jahrgang 2005 an und waren 2,5 – 5 cm lang, was für eine geringfügige, aber erfolgreiche Reproduktion spricht. Die Laichfische waren zwischen 14 und 18 cm lang. Während der Laichwanderung sind nur über den Vertical-Slot-Pass zwei Rotfedern aufgestiegen, was die Vermutung unterstützt, dass die Rotfedern unterhalb vom Wehr 31 im Stillen Fließ laichen.

Dreistachliger Stichling, *Gasterosteus aculeatus*

Es wurden nur zwei Dreistachlige Stichlinge gefangen, einer im Oktober und einer im Mai, jeweils im Großen Fließ unterhalb Wehr 64 (Wottaschleuse).

Kaulbarsch, *Gymnocephalus cernuus*

Insgesamt wurden nur 8 Kaulbarsche gefangen, und zwar ausschließlich in schneller strömenden Abschnitten, wo sandiger Untergrund ansteht. Die Kaulbarsche waren 8 – 11,5 cm lang. Während der Fischaufstiegskontrolle wurden am Fisch-Kanu-Pass 21 Kaulbarsche mit Längen von 9 – 13 cm gefangen (vgl. 4.2.3.2). Insgesamt scheint die Kaulbarschpopulation in den Fließten recht klein zu sein.

Flussbarsch, *Perca fluviatilis*

Flussbarsche kamen im Oktober und Mai auf allen Stationen vor. Ihre Abundanzen lagen zwischen 1 (Burg-Lübbener-Kanal) und 11 Ind./100m (Hauptspree unterhalb Wehr 27). Die Längenhäufigkeitsverteilungen weisen, wie viele andere Arten, einen Mangel an Jungfischen des Jahres 2005 auf. In der Spree ober- und unterhalb von Cottbus dominieren die einsömmrigen Jungfische den Bestand, in den Spreewaldfließten fehlen sie dagegen fast vollständig. Dagegen sind die adulten Flussbarsche in den gleichen Größenklassen präsent wie in der Spree. Der größte Flussbarsch wurde im Kleinen Fließ unterhalb der Ringchaussee gefangen er war 31 cm lang und 362 g schwer. Offensichtlich sind die Lebensbedingungen für große Barsche in den Fließten nicht schlecht. Dies belegen auch die großen Korpulenzfaktoren, die bei nur wenigen Barschen < 1,20 sind und in der Mehrzahl zwischen 1,30 und 1,40 liegen.

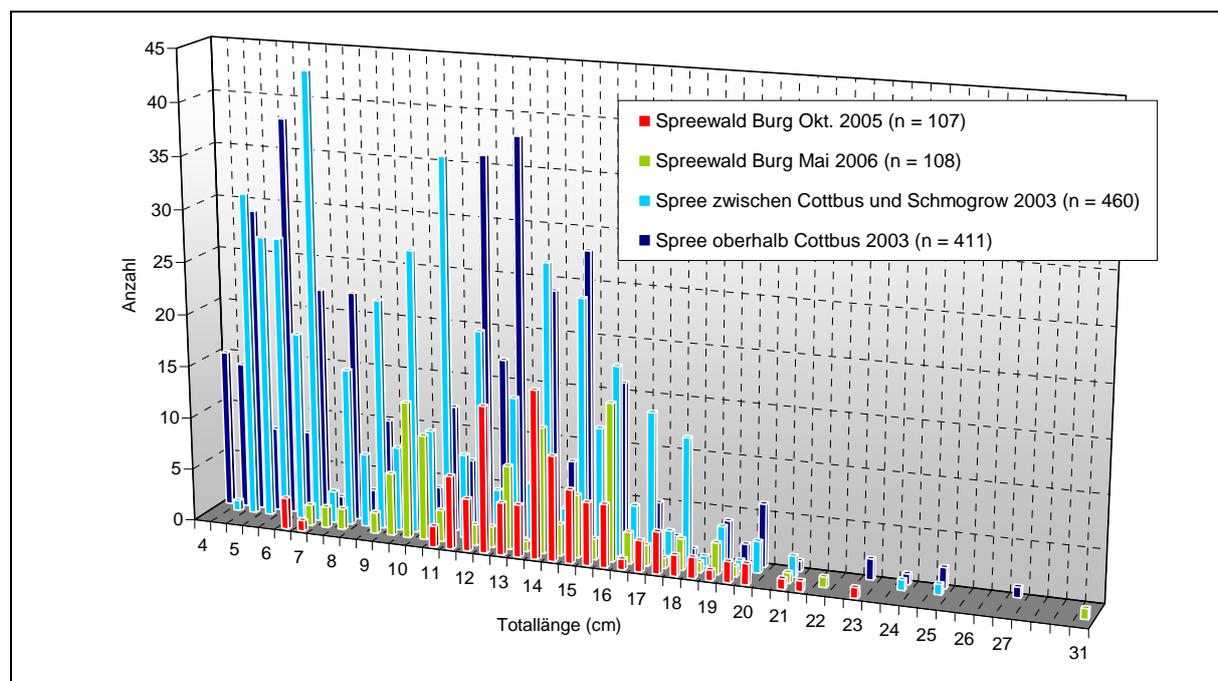


Abbildung 2-23: Längenhäufigkeitsverteilung der Flussbarsche im Burger Spreewald und in der Spree. Quellen zur Längenhäufigkeitsverteilung der Flussbarsche zwischen Cottbus und Schmogrow und Neuhausen und Cottbus 2003: FREDRICH, 2003a,b

Bitterling, *Rhodeus amarus*

Im Mai 2006 wurden 21 Bitterlinge im Stillen Fließ unterhalb Wehr 31 und in der Neuen Spree unterhalb Wehr 55 gefangen. Die Fische waren zwischen 2,5 – 4,5 cm lang. Obwohl im Untersuchungsgebiet Großmuschelbestände vorhanden sind, war das Bitterlingsaufkommen auf diese beiden Fließabschnitte beschränkt. Eventuell kann durch die Verbesserung der Durchgängigkeit des Fließgewässersystems die Ausbreitung der geschützten Bitterlinge zumindest in die Bereiche mit Muschelvorhanden ausgedehnt werden.

2.2.2.3 Einschätzung zur Bestandsentwicklung der Fischfauna

Der Döbel ist wahrscheinlich die wichtigste Wirtsfischart für die Kleine Flussmuschel im Spreewald. Welche Stellung der Döbel im Spreewald tatsächlich hat und in welchem Verhältnis auch die anderen potenziellen Wirtsfischarten hier eine Rolle spielen, könnte erst mit einer Untersuchung zum Glochidienbesatz der Fische geklärt werden.

Nach den Fangergebnissen tritt der Döbel zwar im gesamten Gebiet stetig auf, er scheint sich aber nach den vorliegenden Ergebnissen im Burger Spreewald nicht fortzupflanzen. Dies erscheint aber unlogisch, weil die Burger Gewässer aufgrund ihrer besseren Strömung gegenüber den Fließten im zentralen Spreewald als Laichgewässer für den Döbel bevorzugt in Frage kommen. Möglicherweise erfolgt hier die Fortpflanzung und die Jungfische unterliegen hier zumindest in bestimmten Jahren einem erhöhten Prädationsdruck, zumal durch die Vereinheitlichung der Gewässerstrukturen in vielen Gewässerstrecken das Angebot an Deckungsmöglichkeiten relativ gering ist. Denkbar wäre auch, dass sich die Döbel vor allem in der Cottbuser Spree oberhalb Burg fortpflanzen und dann als erwachsene Tiere einwandern.

Insgesamt zeigt der Fischbestand der Fließe im Raum Burg deutliche Anzeichen einer anthropogen verursachten Überformung. Das zeigt sich an der Veränderung der Dominanzstruktur der Fischgemeinschaft:

- Rheophile Arten (Hasel, Schmerle, Quappe, Aland) kommen mit Ausnahme des Döbels in sehr geringer Abundanz vor.
- Limnophile Arten (Schleie, Rottfeder, Bitterling) kommen sehr selten vor.
- Eurytope Arten (bes. Plötze und Ukelei) dominieren den Fischbestand mit 60 – 90 %, da sie keine speziellen Ansprüche an den Lebensraum stellen.

Die Ursachen für diese Entwicklung werden insbesondere in folgenden Punkten gesehen:

- Vereinheitlichung der Gewässerstrukturen:
Die Fließe weisen in der Regel relativ einheitliche Strukturen auf. Sandige bzw. kiesige Strecken (insbesondere für Kieslaicher wie den Döbel) sind auf meist ungestaute Bereiche unterhalb der Wehre begrenzt. Es fehlen vielfältige Unterstände und Nischen, die insbesondere Jungfischen Deckung bieten können. Befestigte Uferabschnitte an bewohnten Grundstücken fallen wegen der einheitlichen Strukturen gänzlich als Unterstände aus.
- Unterbindung der Längsdurchgängigkeit:
Im Unterwasser der Querbauwerke wurde meist ein arten- und individuenreicherer Fischbestand nachgewiesen. Im Rahmen dieses Projektes konnte nicht geklärt werden, ob dies allein durch die günstigen Lebensbedingungen verursacht wurde oder ob zumindest ein Teil der Fische auch an der Weiterwanderung gehindert wurde. Bei der Kontrolle der Fischwanderhilfen im Stillen Fließ und in der Neuen Spree (vgl. Kap.4) wurde sehr deutlich, dass ein großer Teil der Fische im Unterwasser der Wehre diese zumindest im Zuge der Laichwanderung passieren. Eine Passierbarkeit der Wehre würde den Fischen das Aufsuchen der günstigsten Lebensräume (z.B. Laichplatz, Nahrungsareal, Wintereinstand) ermöglichen und ganz wesentlich zu einem größeren und artenreicheren Fischbestand beitragen. Besonders Arten mit speziellen Lebensraumanforderungen (z.B. Kieslaicher, Sandlaicher) würden davon profitieren. Gewässerstrecken mit unpassierbaren Wehren bilden möglicherweise regelrechte Fallen für Jungfische und Arten aus dem Beutespektrum von Prädatoren. Profitieren werden von in diesen Sackgassen vor allem die großen Beutegreifer wie ausgewachsene Döbel und Hechte.

Im Ergebnis der Untersuchungen werden folgende Maßnahmen zur Förderung der Fischfauna vorgeschlagen:

- Verbesserung der Gewässerstrukturen; Förderung von Strömungsdiversität und Deckungsmöglichkeiten
- Herstellung der vollständigen Längsdurchgängigkeit aller wichtigen Fließe in Verbindung mit der Entwicklung fließgewässertypischer Habitats (Herstellung von funktionsfähigen Fischwanderhilfen an Stauanlagen)
- Herstellung der lateralen Durchgängigkeit zu flachen, kleinen Nebengewässern (Gräben, Überschwemmungsflächen),
- Schutz der Laichplätze der förderungswürdigen Arten vor Wasserstandsabsenkung, Verschlammung, Unterhaltungsarbeiten und Störungen durch Bootsfahrer in der Laich- und Aufwuchszeit.

2.2.3 Beutegreifer (Prädatoren)

Die Beeinträchtigung von Muschelbeständen durch den Bisam (*Ondatra zibethicus*) ist hinreichend bekannt (z.B. HENKER ET AL. 2003; HOCHWALD 1990; VICENTINI & PFÄNDLER 2001; ZAHNER-MEIKE & HANSON 2001). Ein dokumentierter Fraßplatz aus dem Großen Fließ kann mit Hilfe der Bissspuren an den Schalen zweifelsfrei dem Bisam zugeordnet werden. Dagegen wurden frühere erfasste Fraßplätze dieses Gewässers hauptsächlich durch Mink (*Mustela vison*) bzw. Otter (*Lutra lutra*) angelegt (PETRICK ET AL., 2004). Auch wird vermutet, dass der Nutria (*Myocaster coypus*) im Spreewald als Prädatoren in Erscheinung tritt. Zumindest die Aufnahme von Muscheln als winterliche „Zukost“ wurde bereits dokumentiert (SCHMIDT 2002). Die Schalenfunde aus der Pilotstrecke der Kleinen Spree könnten dagegen auch von Enten verursacht worden sein. Alle diese Prädatoren tragen lokal sicherlich zu einer Verminderung der Populationsdichten bei, stellen bislang jedoch keine Gefahr für das gesamte Vorkommen im Spreewald dar.

2.3 Funktionale ökologische Zusammenhänge in Bezug auf *Unio crassus*

Die Abbildungen 2-24 und 2-25 fassen in Form von vereinfachten Funktionsdiagrammen die wichtigsten bekannten und in den Ausführungen erwähnten Einflussfaktoren auf den untersuchten *Unio crassus*-Bestand im Spreewald zusammen. In Abbildung 2-24 ist die gegenwärtige Situation im Burger Spreewald dargestellt, in der das Wasserdargebot für eine ausreichende Durchströmung der vorhandenen Profile und die Entwicklung der erforderlichen stabilen sandigen und gut durchströmten Sedimente mit organischen Anteilen von < 50 % (noch) ausreicht.

Durch die Strömung bzw. den durch die Gewässerstruktur erzeugten Turbulenzen des Wasserkörpers wird der Sauerstoffhaushalt und damit das Selbstreinigungsvermögen des Gewässers beeinflusst. Die Strömung transportiert Atemwasser, Nahrung und Stoffwechselprodukte sowie Spermien zu den Muschelweibchen und Glochidien zu den Wirtsfischen. Strukturelemente, wie z.B. Sandbänke, Totholz, Ufergehölze oder Makrophyten, erhöhen die biologisch aktive innere Oberfläche und verbessern damit das Selbstreinigungsvermögen des Gewässers.

Die Konzentrationsabnahmen beispielsweise anorganischer Stickstoffverbindungen mit der Fließstrecke beruhen auf der Abbauleistung des benthischen Bewuchses sowie, besonders in den tieferen, langsam strömenden Abschnitten oberhalb der Stauanlagen, der suspendierten Mikroorganismen. Jedoch wird die höhere Leistung sessiler, auf Steinen, Totholz und Wasserpflanzen angesiedelter, Mikroorganismen an der Nitrifikation betont (DVWK 1990). Auch können im Bodensediment und in Grenzflächen Denitrifikationsvorgänge schon bei geringerer Belastung des O₂-Haushaltes im Gewässer ablaufen. Bei Makrophyten als Aufwuchsflächen kann eine Denitrifikation durch den Bewuchs zumindest während der Nachtstunden vermutet werden. Dichte Makrophytenbestände können dagegen sowohl infolge der Respirationleistung in den Nachtstunden als auch durch den mikrobiellen Abbau abgestorbener Pflanzenmasse am Ende der Vegetationsperiode zu einer Belastung des Sauerstoffhaushaltes führen.

Derartige Strukturen vermögen zudem, durch die Einengung des durchflossenen Querschnittes die Fließgeschwindigkeit zu erhöhen und die Strömungsdiversität zu vergrößern, stellen jedoch auch Laich-, Einstands- und Nahrungshabitate für die potenziellen Wirtsfische von *Unio crassus* dar. Gleichzeitig ist die Strömung ein wichtiger Gestaltungsfaktor für die Gewässerstruktur. Die Wasserbeschaffenheit steht über die Gehalte sauerstoffzehrender bzw. toxischer Wasserinhaltsstoffe in direktem Zusammenhang mit der Überlebensfähigkeit der Jungmuscheln im Sediment. In sehr nährstoffreichen Gewässern kommt es bei geringeren Fließgeschwindigkeiten häufig zum Verschluss des Interstitials durch Sedimentation organischen Materials und damit zur Verschlammung der Gewässersohle. Bei länger andauernden Belastungen mit toxischen Substanzen sind auch Schädigungen der adulten Muscheln möglich. Weitere wichtige Gefährdungsfaktoren der Muschelbestände sind Prädatoren und Maßnahmen der Gewässerunterhaltung bzw. des Gewässerausbaus. Besonders durch Sohlberäumungen werden neben der direkten Vernichtung ganzer Teilpopulationen sowohl die besiedlungsfähigen Sedimente als auch die für die Sicherung der Strömungsdiversität wichtigen Gewässerstrukturen beseitigt.

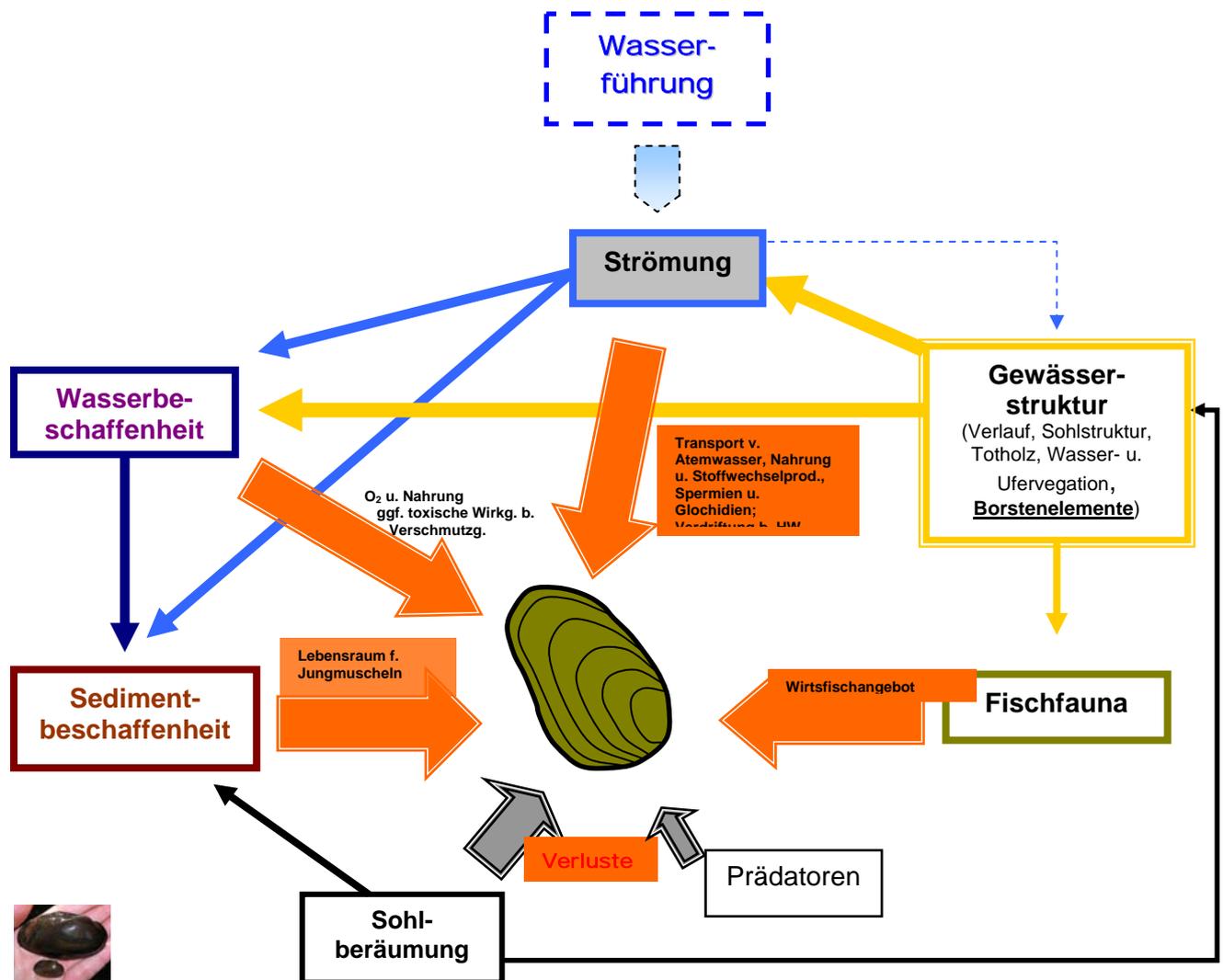


Abbildung 2-25: Vereinfachtes Funktionsschema der Einflussfaktoren auf einen *Unio crassus*-Bestand im Spreewald bei unzureichendem Wasserdargebot und zunehmender Bedeutung der Gewässerstrukturen einschließlich Borstenelemente

2.4 Gefährdung von *Unio crassus* im Burger Spreewald

2.4.1 Touristische Nutzung der Fließe

Der Kahnfährbetrieb stellt im Spreewald einen wichtigen Teil der touristischen Attraktionen dar und hat wesentlichen Anteil an der Wertschöpfung in der Wirtschaftsregion. In der Landesschiffahrtsverordnung sind 266 km Spreewaldfließe als schiffbare Landesgewässer zur überwiegend motorfreien Nutzung festgesetzt, die sich bis in den Burger Spreewald erstrecken. Daraus ergeben sich Ansprüche hinsichtlich der Tauchtiefen, die mit 60 – 80 cm gewährleistet werden müssen. Besonders in den freifließenden Strecken mit verstärkter Strukturbildung durch Sandbänke kommt es immer wieder zu Konflikten zwischen Kahnbefahrung und Artenschutz.

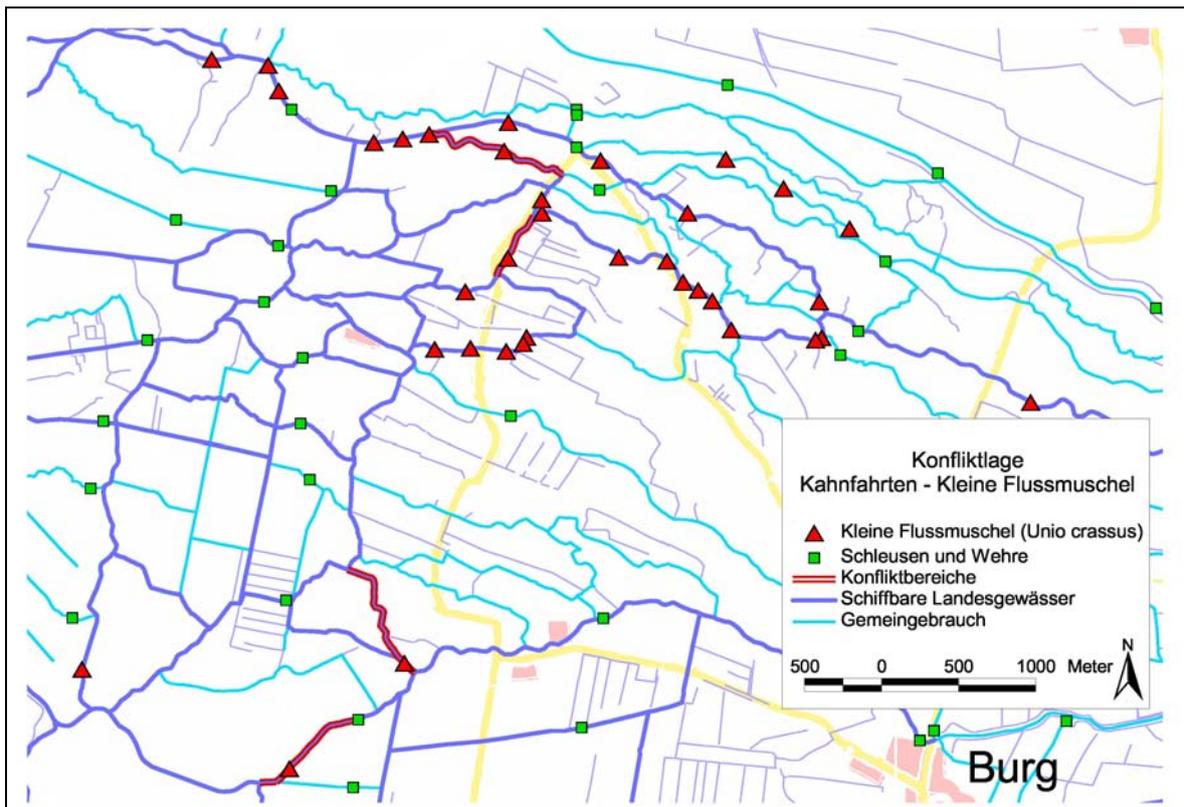


Abbildung 2-26: Konfliktlage zwischen Kahnfährbetrieb und Besiedlung durch *Unio crassus*

Die Gewässerunterhaltung hat die Aufgabe, die Befahrbarkeit der Strecken sicherzustellen. In Bereichen mit verstärkten Ablagerungen werden Grundräumungen notwendig. Meist handelt es sich um Schlammauflagen, die keinen besonderen Wert als Lebensraum rheophiler Arten haben. Wenn Sandbänke betroffen sind, erfolgt seit einigen Jahren eine gesonderte Prüfung hinsichtlich der Besiedlung der Strecke und der Notwendigkeit der Maßnahme. Wenn die Grundräumung unumgänglich ist, sollte das entnommene Material nach Muscheln abgesucht und möglichst an geeigneten Stellen dem Gewässersystem wieder zugeführt werden, wie dies in Einzelfällen schon praktiziert wurde.

Infolge der Durchflussverringerung kommt es in Gewässern mit längeren ungestauten Abschnitten zum Absinken der Wasserstände und damit zur Verringerung der Tauchtiefen. Damit ist die Befahrbarkeit einiger Strecken der schiffbaren Landesgewässer in Frage gestellt. Seit einigen Jahren werden daher Forderungen erhoben, mit dem Bau weiterer Stauanlagen die Wasserstände für die Befahrung zu sichern. Damit würden die verbleibenden frei fließenden Gewässerstrecken als Lebensraum der spreewaldtypischen Fließgewässerarten weiter erheblich reduziert werden. Es ginge so der einzigartige Rückzugsraum für rheophile Fisch- und Wirbellosenarten im Oberspreewald weitestgehend verloren. Bei einem solchen Szenario wären unweigerlich auch negative Auswirkungen auf die Selbstreinigungsleistung der Gewässer und die Wasserbeschaffenheit zu erwarten (vgl. 2.3). Ein derartiges Szenario ließe sich weder mit der FFH-Richtlinie noch mit der EU-WRRL vereinbaren.

2.4.2 Prognostizierte Durchflussverringerung im Großen Fließ

Derzeit verfügt nur das Große Fließ im Vergleich zu den übrigen Hauptzuflüssen des östlichen Oberspreewaldes (Spree, Greifenhainer Fließ, Vetschauer Mühlenfließ, Wudritz) infolge des anhaltenden Tagebaubetriebes im Einzugsgebiet der Malxe noch über ein relativ ausgeglichenes Wasserdargebot. Der aktuelle Durchfluss über die Malxe ist mit etwa $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Fehrow) beim vorliegenden Profil des Großen Fließes noch vergleichsweise hoch. Unter den aktuellen Bedingungen reicht die Wasserführung für eine ausreichende Strömung und gute Durchlüftung der Sedimente offensichtlich aus. Mittelfristig ist hier aber eine Reduzierung des Durchflusses infolge der Schließung der Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord absehbar. Damit verbunden ist eine erhebliche Abflussreduktion im Großen Fließ und den davon beschickten Gewässern, die jetzt den Hauptverbreitungsschwerpunkt für *Unio crassus* im Burger Spreewald bilden (Abb. 2.27).

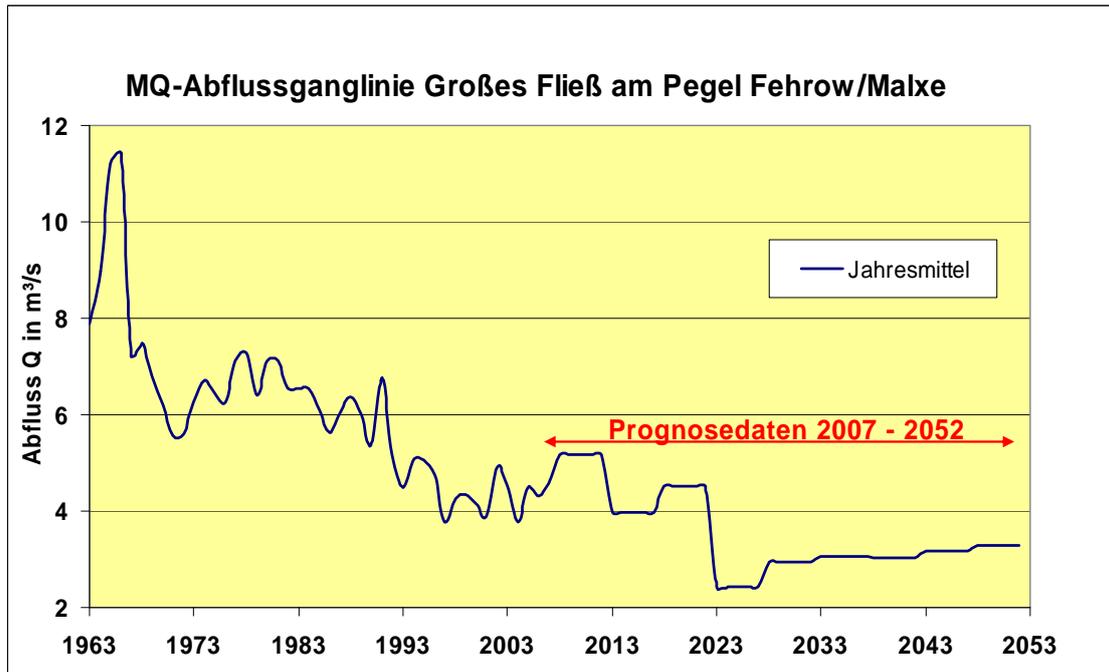


Abbildung 2-27: Abflussentwicklung im Großen Fließ, Pegel Fehrow

Wenn keine Maßnahmen ergriffen werden, die dieser Entwicklung gegensteuern, ist hier mit massiven Bestandseinbrüchen bei *Unio crassus* zu rechnen. Da die Wassermenge begrenzt bleiben wird, müssen sich die Anstrengungen zur Erhaltung der Fließgewässerfauna darauf richten, die Gewässerquerschnitte der betroffenen Fließe den künftig zu erwartenden Durchflüssen anzupassen, das heißt, zu verkleinern. Auch strukturfördernde Maßnahmen, die zu einer Differenzierung der Strömung führen, können in den fließenden Bereichen zur Erhaltung der Lebensräume beitragen (vgl. 2.5).

2.4.3 Fehlende Längsdurchgängigkeit der Gewässer

Die enge Begrenzung des südbrandenburgischen Vorkommens der Kleinen Flussmuschel auf die Burger Gewässer birgt die Gefahr eines raschen Auslöschens der Population bei besonderen Ereignissen. Es ist daher notwendig, dem Bestand zu Möglichkeit zur Ausbreitung zu gewähren. Insbesondere in Richtung Cottbuser Spree ist der jetzt nicht vorhandene Biotopverbund über die Herstellung von Fischwanderhilfen zu schaffen. Diese Strecke ist besonders wichtig, da an der Cottbuser Spree derzeit ein Renaturierungsprojekt läuft, in dessen Verlauf sich auch dort entsprechende Lebensbedingungen für *Unio crassus* einstellen dürften.

2.5 Maßnahmenvorschläge zum Schutz von *Unio crassus*

Die Strategie zur Sicherung der Bestände der rheophilen Arten im Raum Burg, insbesondere der bedeutenden Population von *Unio crassus* muss nach bisherigem Kenntnisstand folgende Punkte beinhalten:

- Vermeidung von neuen Wehrbauten in den von *Unio crassus* besiedelten Gewässern
Die Einrichtung neuer Stauanlagen in bisher weitgehend ungestauten Gewässerstrecken sollte aus gewässerökologischer Sicht unterbleiben. Für die Sicherung der Wasserstände sollten andere Lösungen favorisiert werden. Diese umfassen eine gezielte Abflusssteuerung im Gewässersystem, die Anpassung von Fließquerschnitten an die aktuell und künftig zu erwartenden Durchflüsse und das Einbringen von Strukturelementen mit strömungsbremsender Wirkung (vgl. Kap. 3).
- Bergung von Großmuscheln bei wasserbaulichen Maßnahmen

Im Zusammenhang mit unvermeidbaren wasserbaulichen Maßnahmen wie Wehrrersatzbauten und Grundräumungen von Fahrrinnen ist die ökologische Baubegleitung insbesondere auch auf die Großmuschelfauna zu fokussieren. Abgesehen von der Begrenzung des Eingriffs auf das unbedingt notwendige Maß, sind Muschelbestände aus beeinträchtigten Bereichen (z.B. Baugruben für Wehre) zu bergen und in benachbarte geeignete Biotope umzusetzen. Bei Grundräumungen (Entschlammungen) sind die Muscheln so kurzfristig wie möglich in das Gewässer zurückzusetzen.

- **Gezielte Durchflussteuerung**
Mit Hilfe des Stausystems im Burger Spreewald ist es möglich, die Wasserführung einzelner Gewässerstrecken gezielt zu steuern. Diese Möglichkeiten sollten genutzt werden, um die aktuellen und potenziellen Lebensräume der rheophilen Arten auch in Niedrigwasserzeiten mit einem ökologisch notwendigen Mindestabfluss zu versorgen. Im wasserwirtschaftlichen Bewirtschaftungsplan für den Spreewald sind hierzu die entsprechenden Festlegungen zu treffen.
- **Verbesserung der Gewässerstrukturen**
Für die Stabilisierung des Bestandes und die Entwicklung weiterer besiedelbarer Gewässerstrecken ist es notwendig, die Gewässerstrukturen durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Das Ziel muss es hierbei sein, die Strömungsdiversität und damit die Feinsortierung der Sohlsedimente zu fördern. Geeignete Maßnahmen sind eine differenzierte Gewässerunterhaltung unter besonderer Schonung von sandigen und kiesigen Sohlbereichen, das Belassen bzw. Einbringen von Totholz sowie Altarmanschlüsse.
- **Anpassung der Gewässerprofile an die zu erwartenden Durchflussmengen**
Mit der prognostizierten Verringerung der Durchflüsse im Großen Fließ und dem von ihm gespeisten Gewässern Kleines Fließ, Burg-Lübbener-Kanal, Kleine Spree ist unter dem Einfluss der bestehenden Querprofile und Stauanlagen mit einer drastischen Verschlechterung der Strömungsverhältnisse in diesen Fließ zu rechnen. Eine effiziente Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, ist die Anpassung der Gewässerprofile an die künftig zu erwartenden Durchflüsse. Ähnliche Maßnahmen wurden bereits an Spreezuflüssen zum Oberspreewald mit Erfolg praktiziert (z.B. Koselmühlenfließ). Das Ziel besteht darin, durch Substratzugaben zu einer Sohlaufhöhung in den überdimensionierten Gewässerabschnitten zu kommen. Mit der Verkleinerung der Querprofile ist die Erhaltung der notwendigen Strömung, auch unter dem teilweisen Einfluss von Staubauwerken, verbunden. Aufgrund der noch vorhandenen Zeitschiene bis zur dauerhaften Verringerung der Durchflüsse können hier kostengünstige Maßnahmen unter weitgehender Nutzung der eigendynamischen Prozesse zum Transport und Sortierung der Sedimente in den Gewässern genutzt werden. Es wird vorgeschlagen, an geeigneten Stellen mit erhöhter Strömung Plätze für stationäre Sedimentzugaben an den Gewässern einzurichten und über längere Zeit mit geeignetem Material zu beschicken.
- **Verbesserung der Lebensraumqualität in den von der Spree gespeisten Fließ**
Zur langfristigen Bestandssicherung von *Unio crassus* ist es erforderlich, auch die von der Spree gespeisten Gewässer im Burger Spreewald so zu entwickeln, dass rheophile Arten hier Ausweichhabitate finden. Da hinsichtlich der Verbesserung der Wasserqualität keine großen Qualitätssprünge zu erwarten sind, sollten sich die Maßnahmen hier auf die Verbesserung der Gewässerstrukturen konzentrieren, insbesondere auf die Schaffung einer sandigen Gewässersohle mit organischen Anteilen von < 50 % und die Erhöhung der Gerinnerauigkeit.
- **Verbesserung des Biotopverbundes für die Wirtsfische**
Zur Sicherung des Bestandes ist es dringend erforderlich, Ausbreitungsaktivitäten der Wirtsfische durch die Herstellung der Längsdurchgängigkeit der Gewässer zu unterstützen. Insbesondere die Verbindung zur oberhalb Burg gelegenen Cottbuser Spree ist herzustellen, da hier mit dem laufenden Renaturierungsvorhaben in den nächsten Jahren auch geeignete Habitate für *Unio crassus* entstehen sollen.

2.6 Zusammenfassung und Fazit

Im Zusammenhang mit der Errichtung einer Borstenanlage in der Kleinen Spree wurde eine 1,5 km lange Pilotstrecke an 33 Transekten nach einer Besiedlung durch *Unio crassus* und weitere Großmuschelarten untersucht. Danach liegen für 25 der 33 Transekten der Pilotstrecke Nachweise für *Unio crassus* vor. Bei stabilen Sohlverhältnissen wurde die Kleine Flussmuschel vorwiegend in strömungsbegünstigten tieferen Gewässerstrukturen (Kolke, Stromrinnen) lokalisiert, während sie in instabilen Abschnitten mit Treibsand gemeinsam mit den übrigen vorkommenden Arten in ufernahen,

sowohl weniger strömungsexponierten als auch stärker durchströmten Bereichen siedelt. Dabei ließ *Unio crassus* naturgemäß eine größere Strömungstoleranz erkennen.

Die Habitatanforderungen von *Unio crassus* wurden an 15 Stationen in Gewässerabschnitten mit bekannten Vorkommen untersucht. Hier wurde an allen Stationen eine z.T. individuenreiche Besiedlung durch *Unio crassus* beobachtet. Er konzentrierte sich bei überwiegend mäßiger Strömung, größerer Wassertiefe und höheren Anteilen organischer Substrate auf der Gewässersohle in strömungsbegünstigten Bereichen (Kolke, Prallufeln, durchströmte Sandbänke und Stromrinnen). Die Mehrzahl aller Individuen konnte hier auf sandigen Substraten mit organischen Anteilen von < 50 % und teilweise geringen organischen Sedimentauflagen lokalisiert werden. Einzelindividuen fanden sich auch bei höheren organischen Substratanteilen.

Der Reproduktionserfolg von *Unio crassus* scheint bei ausreichender Wasserqualität und ausreichendem Wirtsfischangebot sehr wahrscheinlich durch den Anteil besiedlungsungeeigneter, stärkerer schlammiger Sedimente in der Sohle (organischer Gehalt > 50 %) begrenzt zu sein. Er steht somit in direktem Bezug zur Fließgeschwindigkeit.

Beobachtungen aus Gewässern außerhalb des Untersuchungsgebietes legen die Vermutung nahe, dass bei entsprechender Strukturvielfalt und größerer Strömung eine Reproduktion auch bei schlechterer Wasserbeschaffenheit möglich ist, so z.B. in der Hauptspreewald unterhalb Wehr 27 und im Neuen Buschfließ zwischen Burg und Leipe, welches sich aus der Hauptspreewald speist (VGL. PETRICK ET AL., 2001).

Häufige Funde von Jungtieren belegen eine erfolgreiche Reproduktion im gesamten Untersuchungsgebiet. Die günstige Alterstruktur lässt unter den aktuellen wasserwirtschaftlichen Bedingungen eine weitere Stabilisierung des Gesamtorkommens im Burger Spreewald erwarten. In den anderen Teilen des Biosphärenreservates (zentraler und westlicher Oberspreewald, Unterspreewald) kommt *Unio crassus* nur noch vereinzelt und fast ausschließlich unterhalb von Wehren im Bereich stärkerer Strömung vor. Im Großteil des Gewässernetzes ist die Kleine Flussmuschel auf Grund ungeeigneter Bedingungen (v.a. Verschlammung, geringe Fließgeschwindigkeiten) ausgestorben.

Im Burger Spreewald besiedelt *Unio crassus* vor allem die vom Großen Fließ gespeisten Gewässer, was insbesondere auf die gute Wasserqualität zurückgeführt wird. Die von der Spree gespeisten Gewässer werden offensichtlich nur bei optimalen Substratverhältnissen mit einem organischen Anteil von < 25 % organischem Anteil erfolgreich besiedelt.

Mit der künftig für das Große Fließ prognostizierten Verringerung der Durchflüsse ist nach derzeitigem Kenntnisstand ohne gegensteuernde Maßnahmen mit einem Bestandseinbruch von *Unio crassus* im Burger Spreewald zu rechnen. Mit einer starken Ausdünnung der Bestände könnte langfristig das Aussterben der Art im Biosphärenreservat verbunden sein.

Die Strategie zur Sicherung der Bestände der rheophilen Arten im Raum Burg, insbesondere der bedeutenden Population von *Unio crassus* muss nach bisherigem Kenntnisstand folgende Punkte beinhalten:

- Vermeidung von neuen Wehrbauten in den von *Unio crassus* besiedelten Gewässern,
- Bergung und Umsetzung von Großmuscheln bei wasserbaulichen Maßnahmen,
- Gezielte Durchflusssteuerung zur Gewährleistung der ökologisch notwendigen Mindestwasserführung in den Lebensräumen von *Unio crassus*,
- Verbesserung der Gewässerstrukturen (Förderung der Strömungsdiversität und damit der Feinsortierung der Sohlsedimente) durch schonende Gewässerunterhaltung,
- Weitest gehende Anpassung der Gewässerprofile an die zu erwartenden Durchflussmengen und damit Erhaltung und Verbesserung der Strömungsverhältnisse,
- Langfristige Verbesserung der Lebensraumqualität in den von der Spree gespeisten Flüssen zur Schaffung von Ausweichhabitaten,
- Verbesserung des Biotopverbundes für die Wirtsfische von *Unio crassus*, um Ausbreitungsaktivitäten in geeignete Habitate zu unterstützen.

3 Teilprojekt Kleine Spree

3.1 Ziel, Planung und Umsetzung

Das Ziel dieses Teilprojektes besteht in der Erhaltung der freifließenden Gewässerstrecken mit sandigem Sohls substrat bei gleichzeitiger Sicherung der Wasserstände unter Niedrigwasserbedingungen und der Gewährleistung der Befahrbarkeit durch Kähne und Boote. Zu diesem Zweck erfolgte der Einbau von 99 Borstenelementen auf einer Strecke von ca. 800 m.

Die Pilotstrecke wurde in der Kleinen Spree eingerichtet. Ausschlaggebend für die Auswahl der Strecke waren folgende Parameter:

- Hohe Fließgeschwindigkeiten, die einen entsprechenden hydraulischen Effekt erwarten ließen;
- (Potenzielles) Habitat für die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*) mit sandigem Sohls substrat; während der Untersuchung stellte sich heraus, dass *Unio crassus* die Kleine Spree besiedelt.
- Befahrbarkeit für Kähne und Boote, aber kein schiffbares Landesgewässer (Dadurch konnten Probleme mit dem Landesamt für Bauen und Verkehr vermieden werden.)

Im Rahmen der Planung für den Borsteneinbau wurde das Gewässer auf einer Länge von 1.500 m zwischen dem Verbindungsfließ Schneider bis zum Fischerfließ vermessen. Es wurden georeferenzierte Querprofile im Abstand von 50 m aufgenommen und daraus ein Längsschnitt sowie ein Orientierungslageplan entwickelt.

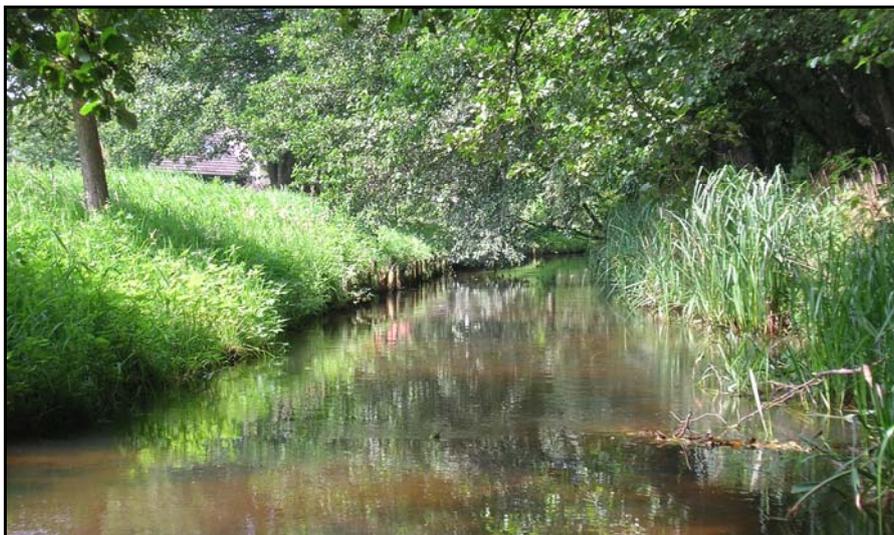


Abbildung 3-1: Pilotstrecke an der Kleinen Spree

In der Pilotstrecke stellt die Kleine Spree ein Gewässer dar, welches eine durchschnittliche Breite von 5,50 – 8,50 m bei einer Böschungsneigung von 1:1,5 und steiler aufweist. Die Sohlbreite wechselt zwischen 1,50 m und 2,50 m. Die Wassertiefen liegen zwischen 0,70 m und 1,40 m.

Entsprechend der Querprofilaten des Gewässerabschnitts wurden die Borstenelemente an der Uni Kassel entwickelt und deren hydraulische Wirkung in Laborversuchen ermittelt (vgl. 3.2.2). Die Borsten selbst bestehen aus grünen und braunen elliptischen PP-Profilstäben mit einem mittleren Durchmesser von ca. 5 mm.

Diese sind zu Borstenbündeln auf einer Grundplatte aus Recyclingmaterial zusammengefasst. Zur Gründung der Elemente im Gewässerboden wurden Edelstahlkörbe mit grobem Kies gefüllt und mit der o.g. Grundplatte verschraubt.



Abbildung 3-2: Montage der Borstenelemente



Abbildung 3-3: Fertiggestelltes Borstenelement

Die Borstenelemente wurden so im Gewässer angeordnet, dass sie eine möglichst große hydraulische Wirksamkeit erreichen können, ohne die Befahrbarkeit mit Kähnen wesentlich einzuschränken. In geradlinigen Bereichen wurden meist Borstenpaare in die Bereiche mit stärkerer Strömung eingesetzt, wobei eine befahrbare Rinne in der Mitte freigelassen wurde. In den Gewässerkurven wurden die strömungsbegünstigten Prallhänge genutzt.

Innerhalb der Pilotstrecke wurden auf diese Weise 99 Borstenelemente auf einer Länge von ca. 800 m in der Zeit vom 11. November bis 1. Dezember 2005 in die Gewässersohle eingebaut.

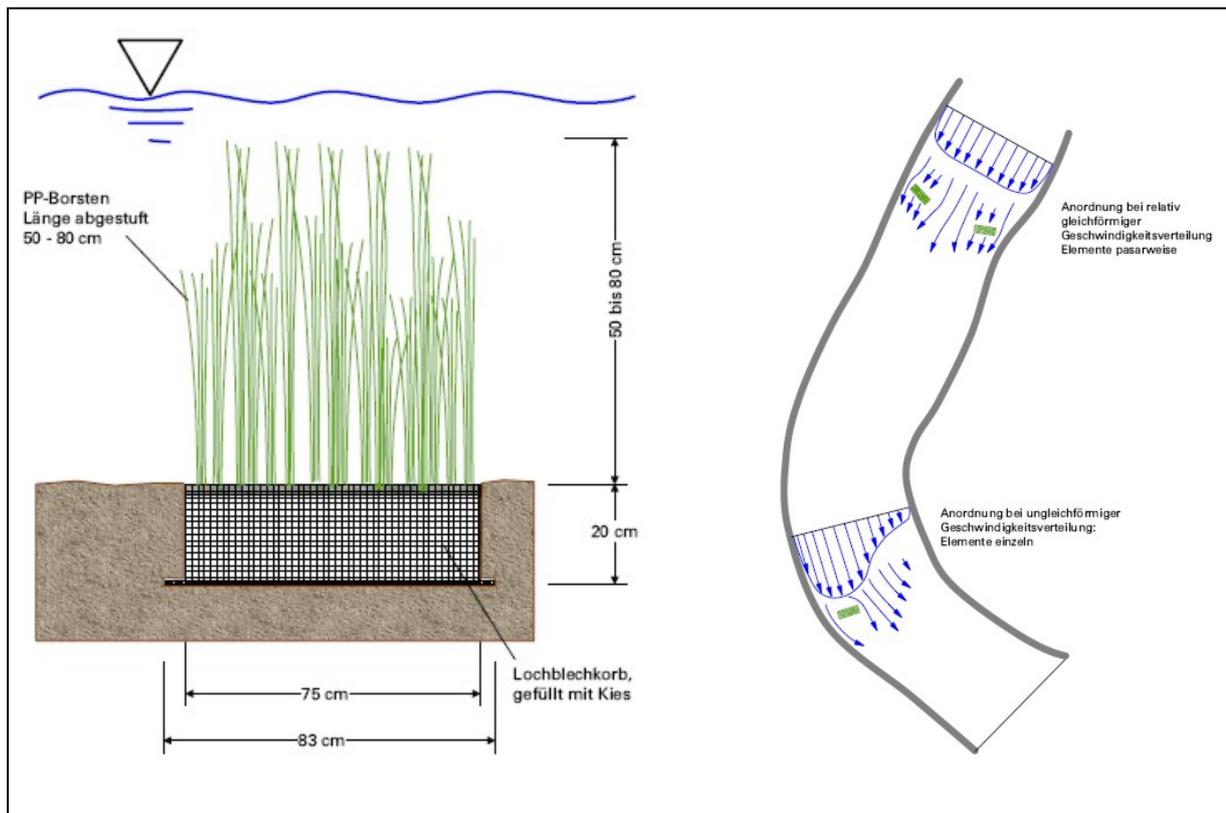


Abbildung 3-4: Aufbau und Verteilung der Borstenelemente in der Kleinen Spree

Mit Unterstützung durch den Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“ wurden dabei zwei Verfahren erprobt:



Abbildung 3-5: Einbau mit Schreitbagger

Beim Einbau mittels Schreitbagger wurde mit der Baggerschaufel zunächst eine Rinne in der Sohle gezogen, das Element hineingesetzt und anschließend in dem anstehenden Sohlsubstrat eingebettet. Diese Methode erwies sich als ungünstig, da aufgrund der Gewässertiefe und der Wassertrübung die durch den Bagger geschaffene Vertiefung nicht gut aufzufinden war und nicht immer den erforderlichen Ausmaßen entsprach. Die versenkten Elemente ließen sich schwer korrigieren.



Abbildung 3-6: Einbau mit Spüllanze

Beim Einspülen mit der Spüllanze wurden die Borstenelemente zunächst im Gewässer platziert. Mit der Spüllanze wurde dann gezielt das Sediment weggespült, so dass sich die Elemente dabei einsenkten. Diese Methode erwies sich als praktikabler und lies eine Lagekorrektur der Borstenelemente in akzeptablem Rahmen zu.

Die in Anspruch genommenen Sohlbereiche wurden vor dem Einbau der Borsten stichprobenartig nach Muscheln abgesucht. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Tiere vor allem in den Randbereichen aufhielten, die von den Arbeiten nicht beeinträchtigt wurden. An den Zielstandorten der Elemente herrschten meist Strömungsverhältnisse vor, die eine Besiedlung durch Muscheln und andere Arten aufgrund der stark bewegten Sohle nicht ermöglichten. Insbesondere die ebenen Treibsandbereiche stellten sich als besiedlungsfeindlich heraus.



Abbildung 3-7: Kleine Spree mit eingebauten Borstenelementen

3.2 Hydraulische Untersuchungen

3.2.1 Strömungszustand

In der Kleinen Spree fließt das Wasser vergleichsweise langsam, so dass im hydraulischen Sinn ein „Strömender Abflusszustand“ vorliegt (Gegensatz: Schießender Abfluss). Bei diesen Bedingungen sind die Strömungsbedingungen in einer beliebigen Gewässerstrecke nach folgender Wirkungskette zu bestimmen:

Die Wasserspiegelvorgabe am Auslaufquerschnitt bestimmt den Wasserstand am unteren Rand des betrachteten Abschnitts. Von dieser Randbedingung ausgehend entwickelt sich der Wasserspiegel in Richtung Oberwasser, wobei der lokale Wasserspiegel jeweils aus der integrierten Wirkung von geometrischen Bedingungen und den durchflussabhängigen Reibungswiderständen resultiert. Damit wird die Strömungssituation an einer beliebigen Stelle in der Kleinen Spree maßgeblich durch zwei Randbedingungen beeinflusst:

- Der Durchfluss oder Abfluss (in l/s oder m³/s) bedingt die Strömungsgeschwindigkeiten und die Abflusszustände.
- Die Wasserstände am unteren Querschnitt bestimmen die Wassertiefen.

Innerhalb des Fließgesetzes, mit dem die Strömung im Fließ beschrieben werden soll, ist das Gefälle ein zentraler Parameter. Mit „Gefälle“ ist bei hydraulisch korrekter Betrachtung das Energieliniengefälle gemeint, das jedoch direkt nicht zu messen ist. Das Energieliniengefälle unterscheidet sich vom Wasserspiegelgefälle dadurch, dass es unterschiedliche Geschwindigkeitshöhen ($v^2/2g$) mitberücksichtigt. Da die Strömungsgeschwindigkeiten in den 3 betrachteten Querschnitten jedoch nicht sehr verschieden sind, kann ersatzweise das Wasserspiegelgefälle benutzt werden. Da das Gefälle mit ca. 25 ‰ relativ klein ist, müssen die Wasserstände möglichst auf 1/10 mm genau bestimmt werden.

Diese Vorüberlegung zeigt, dass die Durchflüsse und Wasserstände die wesentlichen hydraulischen Größen sind, die im Rahmen des hydraulischen Monitorings zu messen waren.

3.2.2 Laborversuche

3.2.2.1 Vorbemerkungen

In einer umfangreichen Vorserie von Versuchen in der großen Kipprinne der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau (DENHOF, 2005) war die Eignung von Borstenelementen als Strömungsbremsen bzw. Energieabsorber getestet worden. Darüber hinaus liegen seit mehreren Jahren Erfahrungen über die Wirkung von Borstenelementen insbesondere auf die Strömung in Fischpässen vor.

3.2.2.2 Theoretische Ansätze zur Erfassung der Wirkung auf die Strömung

Die Wirkung der Borsten auf die Strömung kann aus 2 verschiedenen Perspektiven betrachtet werden:

a) Kraftorientierte Betrachtungsweise

Hier geht man davon aus, dass die Strömung eine Widerstandskraft auf die Borsten ausübt, die nach der Formel

$$W = c_w \cdot A \cdot \rho / 2 \cdot v^2 \quad (1)$$

berechnet wird.

W = Widerstandskraft in N
c_w = Widerstandsbeiwert (dimensionslos)
A = Anströmfläche (Querschnittsfläche) des Körpers in m²
ρ = Dichte des Wassers in kg/m³
v = mittlere Anströmgeschwindigkeit in m/s)

Der Widerstandsbeiwert ist von der Reynoldszahl abhängig und kann für annähernd zylindrische Körper aus Standardwerken der Hydraulik entnommen werden. Bei Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,2 und 1,0 m/s liegt die Reynoldszahl bei 770 bis 3.850. Für diesen Bereich ist der Widerstandsbeiwert c_w annähernd konstant und liegt bei 0,95.

Die Kraft des Wassers auf die Borsten muss umgekehrt eine Kraftwirkung auf das Wasser auslösen. Diese Kraftwirkung führt dazu, dass sich das Wasser vor dem Rauheitselement etwas aufstaut und am Element ein Wasserspiegelabfall auftritt. Es entspricht einer einfachen hydrostatischen Überle-

gung, die gesamte Kraftwirkung des Elements dem Unterschied der hydrostatischen Druckkräfte gleichzusetzen, da die Unterschiede in den Strömungsgeschwindigkeiten in einiger Entfernung vom Element vernachlässigt werden können. Eine interessante Betrachtung, die sich daran anschließen kann, sollte sein, wie weit die Summe der Einzelkräfte auf alle Borsten mit der so ermittelten Gesamtwiderstandskraft übereinstimmt.

b) Energetische Betrachtungsweise

Diese Betrachtungsweise geht davon aus, dass durch das Borstenelement ein örtlicher Verlust ausgelöst wird. Dieser entsteht dadurch, dass die Borsten einen Teil des Querschnitts blockieren, das Wasser im Restquerschnitt beschleunigt wird und die Differenz der Geschwindigkeitshöhen im Unterwasser durch Turbulenzwirkung verloren geht. Der damit verbundene Energiehöhenabfall ist nur möglich, wenn auch der Wasserspiegel in etwa gleichem Maße abfällt.

Die Formeln hierzu lauten:

$$v_1 = \frac{Q}{A_{ges}}; v_2 = \frac{Q}{A_{ges} - A_B} \quad (2)$$

$$\Delta H = \zeta \cdot \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \text{ mit } \zeta = \zeta_{conv} \text{ bei Konvergenz und } \zeta = \zeta_{div} \text{ bei Divergenz} \quad (3)$$

Darin sind v_1 und v_2 die Strömungsgeschwindigkeiten vor bzw. nach der Änderung des Querschnitts (Einschnürung oder Aufweitung). ΔH ist der Energiehöhenverlust [m].

Unter der Annahme, dass die beiden Verlustbeiwerte ζ_{conv} und ζ_{div} zusammen in etwa den Wert 1 ergeben, kann die vom Borstenelement blockierte Fläche aus der Höhendifferenz des Wasserspiegels vor und hinter den Borstenelementen berechnet werden.

3.2.2.3 Durchführung der Laborversuche

Für den konkreten Anwendungsfall in der Kleinen Spree im Spreewald wurde in einem Laborversuch ein baugleiches Element in der großen Kipprinne der VPUW untersucht. Die Rinne ist 2 m breit und 30 m lang. Damit ist die Gerinnebreite etwas geringer als in der Natur. Die Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten sind im Labor jedoch ähnlich so einstellbar, wie man sie im Spreewald typischerweise antrifft. Die Einbausituation des Borstenelements in der Kipprinne ist in Abbildung 3-8 zu sehen.



Abbildung 3-1: Borstenelement in der Kipprinne

Ein wesentlicher Unterschied in den Strömungsbedingungen zwischen Labor und Natur besteht darin, dass im Labor die seitlichen Berandungen sehr glatt und die Querschnitte einheitlich sind. Damit kann die Rauheit der seitlichen Berandung vernachlässigt werden. Die Sohlrauheit war im Labor durch Auflage eines Zierkieses auf die Rinnensohle geprägt. In der Natur ist die Rauheitshöhe der reinen Sohl-Sedimente sicher geringer. Der Reibungseinfluss der Sohle insgesamt dürfte jedoch durch die Unebenheiten und durch Bewuchs größer sein. Hinzu kommt in der Natur der Strömungsverlust durch Krümmungen des Fließes. Insgesamt ist festzustellen, dass die Verluste durch Borstenelemente in der Natur durch die Verluste aus Sohl- und Wandunebenheiten sowie aus Krümmungen überlagert sind, während im Labor neben den Borstenverlusten lediglich die Sohlrauheit eine gewisse Rolle spielt.

Die Verluste äußern sich im Labor in einem Wasserspiegelanstau vor dem Borstenelement bzw. einem Wasserspiegelabfall nach dem Element. Da die Wassertiefenänderungen nur wenige mm betragen, sind die Änderungen des Durchflussquerschnittes und der Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zwischen der An- und der Abströmung ohne Bedeutung.

Der Wasserspiegelabfall wurde durch hochgenaues Aufmessen eines Wasserspiegel-Längsprofils über das Borstenelement hinweg erfasst. Das Längsprofil erstreckte sich von 3 m oberstrom bis 3 m unterstrom der Mitte des Elements. Als Messgerät wurde ein Labor-Ultraschallgerät Sonic Joker der Firma Format Messtechnik verwendet, das eine Auflösung von 1/100 mm und eine Messunsicherheit von einigen 1/10 mm hat.

Mit einem aufwändigen Verfahren wurde die Unebenheit der Laufbahn, mit der die Wasserstands-sonde bewegt wurde, durch eine Fahrt über den ruhenden Wasserspiegel ermittelt und jeweils bei der Auswertung herausgerechnet.

Typische Wasserspiegelverläufe sind in Abbildung 3-9 dargestellt. Aus verschiedenen Auswertungen zeigte sich, dass die Höhendifferenz Δh am besten aus der Differenz der Mittelwerte für die fünf obersten und die fünf untersten Punkte des Wasserspiegels zu ermitteln war. Die Messpunkte in der Nähe des Borstenelements sind durch lokale Effekte beeinflusst und repräsentieren nicht die Gesamt-Wasserspiegeldifferenz.

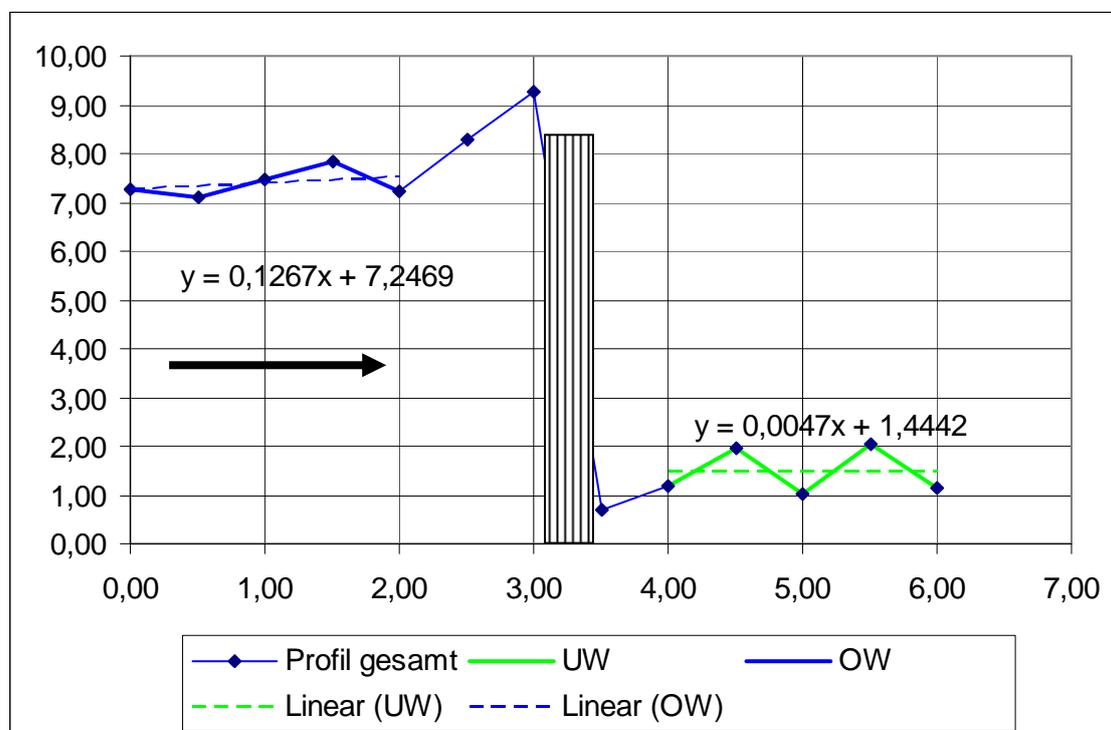


Abbildung 3-2: Wasserspiegel-Verlauf am Borstenelement im Labor

In der Tabelle 3-1 sind die gemessenen Wasserspiegelabfälle und die daraus resultierenden Widerstandskräfte einander gegenüber gestellt. Der Vergleich der Werte für W und W_{eb} zeigt, dass die Unterschiede bei sauberem Element unter 20 % liegen und dass die Summierung der Einzelwiderstände der Borsten die tatsächliche Wirkung übersteigt. Dies ist auf die teilweise Überlagerung der Borsten insbesondere im unteren Teil zurückzuführen und auch nicht anders zu erwarten. Gemessen an den sonstigen vorhandenen Unsicherheiten ist diese Abweichung als zufrieden stellend zu bezeichnen. Die vergleichsweise gute Übereinstimmung erlaubt die direkte Bemessung von mit Borsten besetzten Strömungen aus Durchfluss und Gefällegrößen.

Tabelle 3-1: Vergleich von Kräften aus Wasserspiegelabfall (W) und aus der Summe von Einzelwiderständen (W_{eb}) für 1 Borstenelement

Vorwerte							
Wassertiefe		h		0,675		m	
Gerinnebreite		b		2,000		m	
Widerstandsbeiwert der Einzelborste		c_w		0,950		-	
Gesamte Anströmfläche aller Borsten		A_{ges}		2,2542		m^2	
Durchflossene Querschnittsfläche		A		1,350		m^2	
Widerstandskennwerte für durchströmte Borsten							
saubere Borsten							
Q	v	Δh	ζ	W_{eb}	W	ΔW	ΔA
l/s	m/s	mm	-	N	N	$\%$	m^2
270	0,20	2,98	1,462	42,83	39,4853	8	0,4897
402	0,30	6,73	1,467	96,37	89,1513	7	0,4906
536	0,40	10,39	1,273	171,32	137,494	20	0,4546
halb belegte Borsten							
270	0,20	3,18	1,559	42,83	42,1143	2	0,5061
402	0,30	7,12	1,552	96,37	94,2937	2	0,5049
536	0,40	11,70	1,434	171,32	154,949	10	0,4847
ganz belegte Borsten							
270	0,20	4,74	2,326	42,83	62,8198	-47	0,6097
402	0,30	9,24	2,014	96,37	122,37	-27	0,5723
536	0,40	13,63	1,671	171,32	180,509	-5	0,5239

- Q = Durchfluss
 V = Geschwindigkeit
 Δh = Differenz der Wassertiefe ober- und unterhalb des Borstenelementes
 ζ = Verlustbeiwert
 W_{eb} = Widerstandskraft aus Summe der Einzelborsten
 W = Widerstandskraft aus der Wasserspiegeldifferenz
 ΔW = Differenz der Widerstandskräfte W_{eb} und W
 ΔA = durch das Borstenelement blockierte Fläche in m^2

Im Labor wurde ebenfalls untersucht, ob die oben beschriebene Wirkung abnimmt, wenn die Borsten teilweise oder ganz mit Getreibsel (Ästchen, Laub) belegt sind. Dazu wurden Stofffetzen als Modell-Laub verwendet. Der bremsende Effekt der mit Getreibsel belegten Borstenelemente liegt etwas über dem der sauberen Elemente, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die in der Natur mit organischen Stoffen durchsetzten Borsten ihre Wirkung nicht verlieren. Auch dieses Ergebnis ist aus hydraulischer Sicht nachvollziehbar, denn der behinderten Anströmung einzelner Borsten steht eine größere Blockadewirkung des Gesamtblocks im Querschnitt gegenüber.

Unter ΔA sind die aus den Wasserspiegelabfällen berechneten blockierten Flächen der Borstenelemente abgebildet. Grundlage dieser Berechnung ist die Annahme, dass genau eine ganze Differenz-Geschwindigkeitshöhe verloren geht (siehe auch Abschnitt 3.2.4.4). Es zeigt sich, dass die Differenzen für unterschiedliche Durchflüsse im Versuch gering sind.

Die Betrachtung nach dem Verlustansatz von Gleichung 2 und 3 ergibt demgegenüber eine blockierende Fläche von etwa einem halben Quadratmeter durch den gesamten Borstenblock. Die blockierende Fläche nimmt mit der Belegung der Borstenelemente zu. Die blockierende Fläche beträgt bei relativ sauberen Borsten etwa 22,2 % der Gesamt-Borsten-Anströmfläche (Summe aller Stirnflächen der Borsten).

3.2.3 Hydraulisches Monitoring

3.2.3.1 Erfassung des Fließquerschnitts

Die kleine Spree ist wie die meisten der Spreewaldflüsse ein sehr unregelmäßiges Gerinne. Die Sohle besteht aus sandigem und teils schlammigem Sediment, das teilweise bzw. zeitweise in Bewegung ist. Die Querschnitte sind sehr unterschiedlich und wechseln sehr oft auf kurzem Weg. Neben ebenen Treibsandflächen gibt es Sohlenstrukturen in Form von Sandbänken, die von Makrophyten durchwurzelt sind sowie Strömungsrinnen. Das Ufer ist durch Baumwurzeln und Wurzelstöcke vielfach unregelmäßig geformt.

Unter diesen Verhältnissen ist es praktisch unmöglich, die Berandung des Gerinnes im Detail zu erfassen und nachzubilden. Dazu müssten die aufgemessenen Profile Abstände von weniger als 1 m haben. Da eine solche räumliche Auflösung vom Aufwand her nicht vertretbar ist, können die durch die Formen der Berandung bedingten örtlichen Verluste nur integral durch Rauheitsparameter beschrieben werden.

Vor diesem Hintergrund blieb nur die Gerinneaufnahme in wesentlichen größeren Abständen (50 m) durch eine Vermessungsfirma. Die Querprofile an den Standorten der Borstenelemente wurden durch Interpolation der benachbarten Profile ermittelt, wobei die Abstände jeweils zur Gewichtung herangezogen wurden.

3.2.3.2 Wasserspiegelmessungen

Für die Erfassung hydraulischer Vorgänge und Effekte ist die Messung von Wasserspiegellagen und ihrer Veränderung von großer Bedeutung. Dabei kommt es weniger auf eine genaue Erfassung absoluter Höhen an als auf Höhendifferenzen verschiedener Querschnitte (Gefälle) und auf lokale Unterschiede zwischen verschiedenen Zeitpunkten.

Es wurden drei Messquerschnitte definiert, die am oberstromigen Rand, etwa in der Mitte sowie am unteren Ende der untersuchten Strecke angeordnet sind. Hier wurden Pegel zur genauen Wasserstandsmessung mit soliden Holzpfehlen eingerichtet.

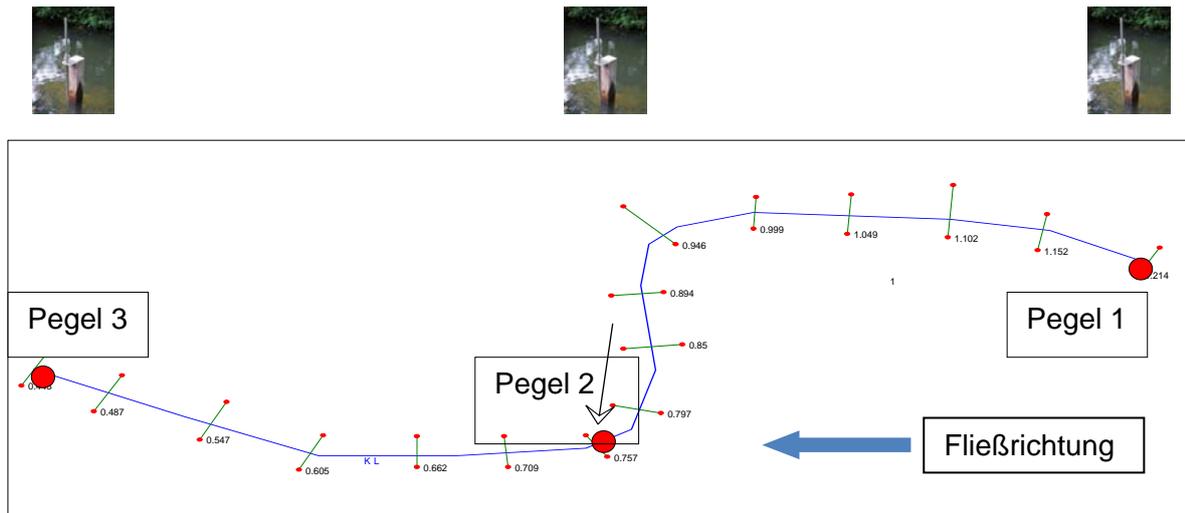


Abbildung 3-3: Pilotstrecke an der Kleinen Spree mit Querprofilen und Messpunkten

Die Aufgabe einer exakten Wasserstandsmessung im Freiland ließ sich sehr gut mit einem gewöhnlichen mobilen Stechpegel erfüllen (Abb. 3-11), für den an den Pfosten Winkelkonsolen angebracht wurden. Der Stechpegel wurde zum Ablesen des aktuellen Wasserspiegels auf die Konsolen aufgeschraubt. Anschließend wurde die Spitze auf den Wasserspiegel abgesenkt und das aktuelle Verstellmaß mit einem Nonius auf 1/10 mm genau abgelesen. Die Wasserspiegelhöhe ergibt sich aus der Länge des Stechpegels zwischen der Null-Marke und der Spitze, die im Labor unter Zuhilfenahme eines Nivelliergerätes genau bestimmt wurde.



Abbildung 3-4: Stechpegel

3.2.3.3 Abflussmessung

Der Abfluss im Gerinne ist ein Schlüsselparameter für die Beurteilung der hydraulischen Auswirkungen des Borstenbesatzes. Dieser muss deshalb so genau wie mit vertretbarem Aufwand möglich bestimmt werden. Folgende Anforderungen an die Durchflussmessung waren zu stellen:

- Einfache und sichere Installation,
- Hohe hydrometrische Sicherheit – unkritische Verfahrensweise,
- Messung mit Registrierung über längere Zeit, um instationäre Vorgänge zu erkennen,
- Durchführung mit vorhandenen Geräten der Versuchsanstalt.

Die Durchflussbestimmung mittels Netzmessung mit einem hydraulischen Flügel konnte diesen Anforderungen nicht gerecht werden, da eine solche Messung sehr aufwändig ist. Sie erfasst zudem nur eine Momentaufnahme zu einem Zeitpunkt, zu dem der Abfluss unveränderlich, also stationär ist. Für die Erfassung vieler und instationärer Durchflusswerte war diese Form der Durchflussbestimmung an der Kleinen Spree nicht praktikabel.

Auf der Basis des o.g. Anforderungsprofils wurde folgende Methodik gewählt:

Es wurde ein Querprofil und darin eine Messlotrechte gesucht, in dem die Geschwindigkeitsverteilung durch die Manipulationen in der Strömung praktisch unbeeinflusst bleibt und von dem erwartet werden konnte, dass es praktisch unveränderlich ist. Dieses Profil fand sich am Ende des Brückendurchlasses an der Ringchaussee. Unter dieser Brücke ist das Gerinne mit Steinen ausgekleidet, die so schwer sind, dass sie stabil liegen. Außerdem wurden unter der Brücke selber und auf einem längeren Stück davor keine Borsten versetzt.

In dieser Messlotrechten wurde die vertikale Geschwindigkeitsverteilung und damit der spezifische Abfluss q [$\text{m}^3/(\text{s} \times \text{m})$] mit einem profilierenden Messgerät (Typ PCMpro der Firma Nivus, Eppingen) erfasst. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden in bis zu 16 Messebenen gemessen und separat gespeichert. Die Messfrequenz betrug 1/min. Die mögliche Dauer der Messung betrug wegen eines relativ großen Akkus bis zu einem gesamten Tag.

Dieses vertikale Geschwindigkeitsprofil in der Referenz-Lotrechten war in Beziehung zu setzen zum Gesamtdurchfluss. Dieser wurde mittels einer einmaligen Netzmessung mit einem hydrometrischen Flügel recht genau bestimmt. Die Netzmessung wurde am 25.08.2005 von einem Behelfssteg aus durchgeführt, der temporär einige Meter unterhalb der Brücke errichtet worden war. Die Messzeit pro Messpunkt betrug 3×20 Sekunden. Die Messlotrechten und die Messebenen wurden so gelegt, dass der durchflossene Querschnitt recht genau erfasst wurde. Die Auswertung einer solchen Messung kann nach unterschiedlichen Methoden erfolgen. An der VPUW wurde dazu die amtlich eingeführte Software Q (BfG Koblenz) verwendet, die speziell zur Auswertung solcher Flügelmessungen konzipiert wurde.

Unter der Brücke der Ringchaussee bildet sich eine Geschwindigkeitsverteilung aus, in der in einer Lotrechten ein zugehöriges Vertikalprofil der Geschwindigkeit vorliegt. Der Durchfluss entspricht dem Volumen unter der Geschwindigkeitsverteilung. Wenn der Durchfluss schwankt, bleibt die prinzipielle Form der Geschwindigkeitsverteilung erhalten, es werden lediglich alle v -Ordinaten in einem bestimmten Verhältnis größer oder kleiner. Wenn der Wasserspiegel nur relativ zur Wassertiefe gering schwankt, wovon wegen der Lage im Staugürtel ausgegangen werden kann, bleibt somit auch das Verhältnis zwischen dem vertikalen Geschwindigkeitsprofil in der immer wieder benutzten Messlotrechten (= spezifischer Abfluss q) und dem Gesamtprofil (= Durchfluss Q) in etwa konstant. Da die Wandung des Gerinnes über eine längere Strecke unverändert bleibt und das Querprofil annähernd sich selbst ähnlich bleibt, kann angenommen werden, dass zwischen dem spezifischen Abfluss in der Messlotrechten und dem Gesamtabfluss ein in etwa konstantes Verhältnis besteht.

Dieses Verhältnis wurde in der Referenzmessung am 25.08.2005 ermittelt zu (vgl. Tab. 3-2):

$$Q/q = 2,5536$$

Q = Gesamtabfluss in l/s

q = spezifischer Abfluss in l/(s x m)

Damit war es möglich, den Durchfluss vereinfacht durch Messen des Vertikalprofils und Umrechnen auf den Gesamtquerschnitt zu bestimmen. Unter den gegebenen Anforderungen war diese Methodik ausreichend.

In Abbildung 3-13 sind einige der ermittelten Vertikalprofile der Strömungsgeschwindigkeiten in der Messlotrechten dargestellt.



Abbildung 3-5: Gerät zur Durchflussmessung (links) und Einsatzort an der Brücke Ringchausee

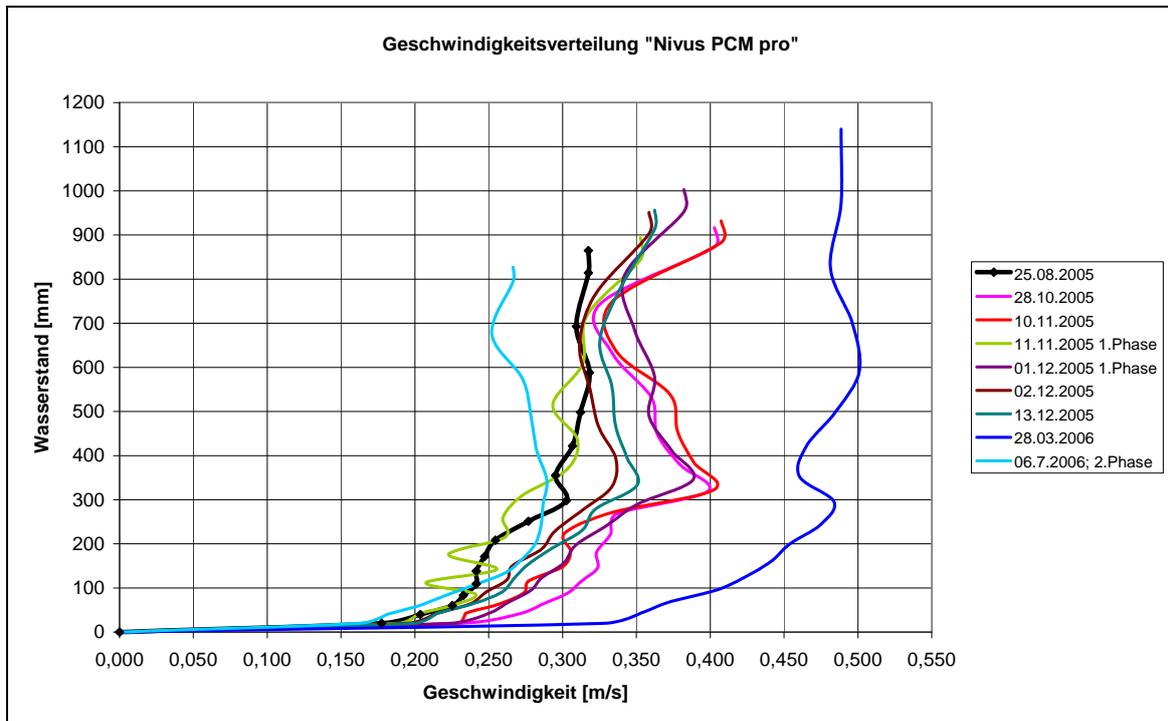


Abbildung 3-6: Vertikalprofile der Geschwindigkeitsverteilung im Referenzpunkt während der Referenzmessung

Die aktuelle Wassertiefe wird dabei einerseits durch ein in das Messgerät eingebautes Ultraschall-Echolot und parallel dazu mit dem Stechpegel erfasst. Da die im Gerät eingebaute Tiefenmessung eine größere Unsicherheit aufweist, diente sie nur als Kontrolle und wurde zur Fehlerkompensation (s.u.) benutzt.

Die eigentlichen Abflussmessungen in den zu erfassenden Zeiträumen wurden auf folgende Weise durchgeführt: Zunächst wurde das beschriebene Messgerät an der gleichen Stelle (Brücke Ringchausee) auf der Sohle installiert. Als Halterung diente eine lange Stange, die am Brückengeländer befestigt wurde. Es zeigte sich, dass die Sohle an dieser Stelle durch benachbarte Steine relativ gut fixiert ist und damit die Höhenposition des Messgeräts über die verschiedenen Messphasen

annähernd gleich blieb. Anschließend wurde die notwendige Konfiguration vorgenommen und Messung und Datenerfassung gestartet. Die Messungen erfolgten in einer zeitlichen Auflösung von einmal pro Minute. Die Messdauer war jeweils lang genug, um entweder stationäre Werte durch Mittelbildung bilden zu können oder den zeitlichen Verlauf nachzuzeichnen.

Bei der Auswertung war zu beachten, dass die 16 Höhengschichten, in denen die Geschwindigkeitswerte gelten, von der Wassertiefe abhängen. Deshalb musste die Höhenlage der gemessenen Geschwindigkeitsvektoren für die aktuelle Tiefe bestimmt werden. Hierzu diente auch die intern aufgezeichnete Wassertiefe. Die Datenregistrierung umfasste die 16 Geschwindigkeitsmesswerte in den 16 Schichten sowie den Höhenmesswert. Da die 16 Geschwindigkeitswerte immer wieder einzelne Ausfälle aufwiesen, ermittelte die geräteinterne Auswertung falsche Gesamtdurchflüsse. Deshalb wurde, die höhenabhängige Auswertung manuell nachbearbeitet, da so die fehlenden Einzelwerte gut ausgeglichen werden konnten. Diese Nachbearbeitung lieferte wesentlich stabilere Durchflüsse als die geräteinterne Berechnung.

3.2.3.4 Messergebnisse zu den Einflüssen der Borstenelemente

Die Messergebnisse werden in Tabelle 3-2 dargestellt. Die Durchfluss- und Wasserstandsmessungen liefern Wertepaare von Wasserstand und Abfluss. Aus diesen ergeben sich die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Wasserstands-Abfluss-Beziehungen. Diese sind in Richtung der hydraulischen Wirkung von unten nach oben dargestellt (Abb. 3-14 bis 3-16).

Den hydraulischen Gesetzmäßigkeiten folgend haben die Borstenelemente am unterstromseitigen Profil (Pegel 3) keine Auswirkung. Hier ist vom Herbst bis zum Winter sogar ein Absinken des Wasserspiegels von ca. 1 cm zu erkennen. Dieser Umstand kann jedoch nicht mit dem Borsteneinbau in Verbindung gebracht werden, da Borsten ihre Wirkung nur gegen die Strömungsrichtung entfalten können. Die Wasserstände an dieser Stelle (Ausgang der Messstrecke) können z.B. durch Änderungen von Stauhöhen im Staugürtel VII oder durch veränderte Widerstandsverhältnisse im Fließ verursacht sein (Abb. 3-14).

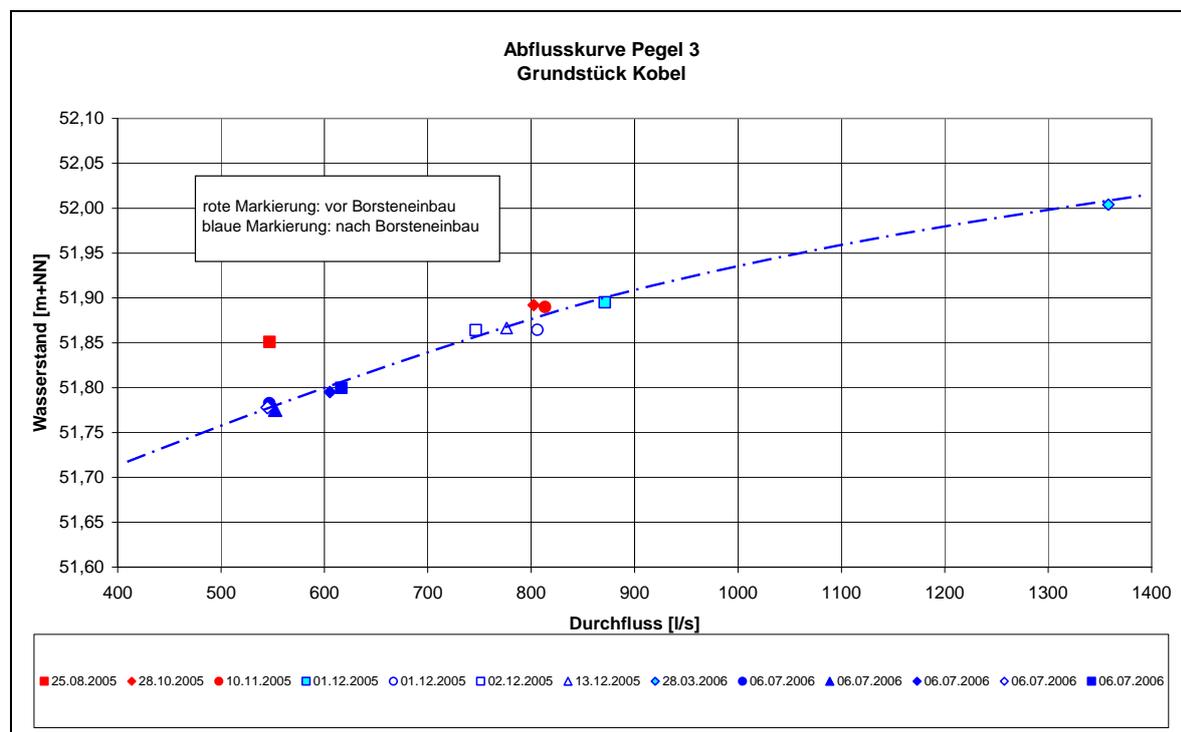


Abbildung 3-7: Abflusskurve am Ende der Pilotstrecke (Pegel 3, km 0.455)

Am Pegel 2 (Abb. 3-15) sind die Wasserstände nach dem Borsteneinbau mit 4 cm signifikant höher als vorher. Inwieweit sich die aus dem darunter liegenden Bereich kommenden Einflüsse, die sich am Pegel 3 noch bemerkbar gemacht haben, hier noch auswirken, kann nur durch numerische Nachrechnung geklärt werden.

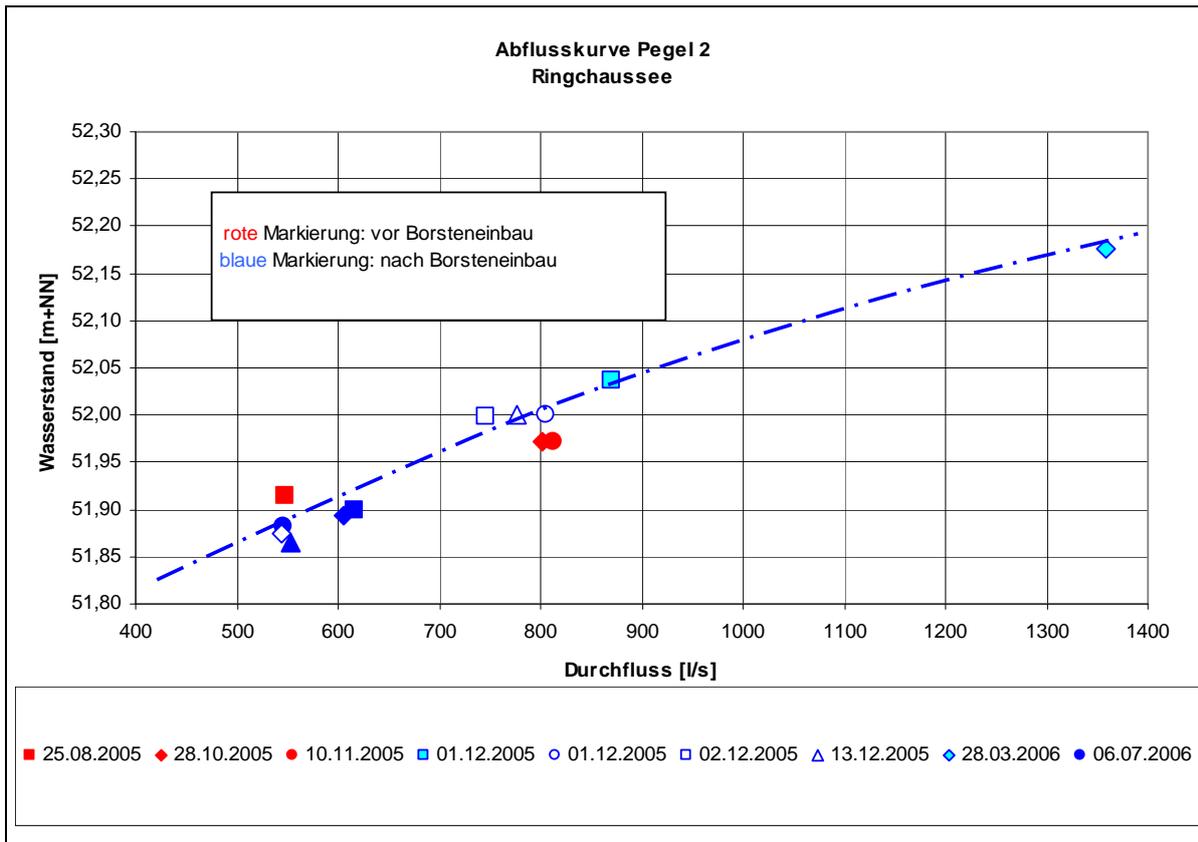


Abbildung 3-8: Abflusskurve in der Mitte der Pilotstrecke (Pegel 2, km 0.762)

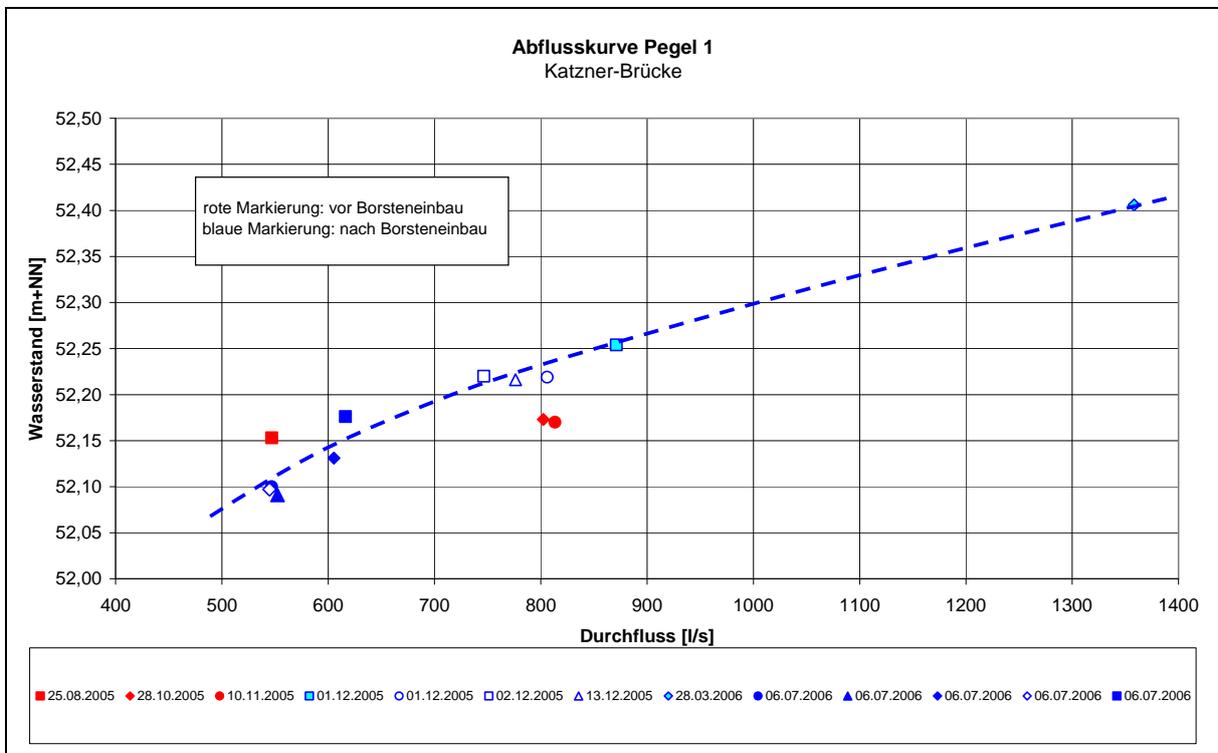


Abbildung 3-9: Abflusskurve am Anfang der Pilotstrecke (Pegel 1, km 1.195)

Am Pegel 1 ist die Wirkung der Borstenelemente vollständig eingetreten. Die Wasserstandserhöhung beträgt gegenüber dem Zustand vor dem Einbau ca. 5 cm. Die gegenüber dem Pegel 2 eingetretene zusätzliche Erhöhung liegt nur bei 1 cm. Dies ist damit zu erklären, dass im oberen Abschnitt die Borstenwirkung dazu gebraucht wird, die höheren Wasserspiegel bei gleichem Durchfluss zu halten. Durch die Wasserstandserhöhung wird die Durchflussfläche größer und die Geschwindigkeiten gehen zurück. Da die Verluste vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängen, gehen diese deutlich zurück. Dies führt normalerweise dazu, dass sich ein geringeres Wasserspiegelgefälle einstellt und die Wassertiefe entlang einer Staulinie auf den normalen Wert abfällt. Die Borsten verhindern dies durch zusätzliche Verluste und halten damit die größere Wassertiefe bei dem vorhandenen Gefälle.

Tabelle 3-2: Messdaten zu Wasserständen und Abflüssen

Datum		Messung Nivus-Gerät PCM pro			Stechpegelmessungen			
		spezif. Abfluss q	berechn. Abfluss Q	Wassertiefe PCM pro h	Pegel 1	Pegel 2	Pegel 3	Differenz 1-3
					h	h	h	
Zeit	l/(s x m)	[l/s]	[mm]	[m+NN]	[m+NN]	[m+NN]		
Referenzmessung								
25.08.2005	11:27	214,23	547,00	865	52,153	51,915	51,851	0,3020
Vor Borsteneinbau								
28.10.2005	12:53	314,29	802,48	917	52,173	51,972	51,892	0,2810
10.11.2005	09:20	318,56	813,39	932	52,170	51,971	51,890	0,2800
Beginn Borsteneinbau								
11.11.2005	08:19 - 09:28	255,95	653,52	895		51,939	51,856	
11.11.2005	10:06 - 10:14	284,75	727,07	905		51,950		
01.12.2005	09:28 - 12:17	341,17	871,13	1003	52,254	52,037	51,895	0,3590
01.12.2005	13:41 - 14:18	315,65	805,96	991	52,219	52,000	51,865	0,3545
Ende Borsteneinbau								
02.12.2005	08:30 - 14:17	292,36	746,50	951	52,220	51,999	51,864	0,3560
13.12.2005	09:00 - 13:48	303,99	776,18	956	52,216	52,001	51,867	0,3495
28.03.2006	ab 11:20	531,90	1358,12	1140	52,406	52,176	52,004	0,4020
Einzelmessungen an einem Tag mit Instationarität (Anheben nach Absenkung)								
06.07.2006	09:39 - 13:39	214,10	546,67	827	52,100	51,883	51,783	0,3173
06.07.2006	13:40 - 17:39	216,39	552,50	827	52,091	51,864	51,775	0,3158
06.07.2006	17:40 - 21:53	237,09	605,37	857	52,131	51,894	51,795	0,3358
Ausgewählte Phasen mit relativ konstantem Durchfluss und Wasserstand								
06.07.2006	11:00 - 11:30	213,37	544,81	828	52,097	51,874	51,778	0,3191
06.07.2006	21:30 - 21:53	241,38	616,33	863	52,176	51,899	51,800	0,3763

Die Eintragungen für den 06.07.2006 sind durch künstliche Veränderungen am Wasserspiegel (Absenkung und Wiederauffüllung) gekennzeichnet. Diese Messphasen sind deshalb mehr oder weniger stark durch instationäre Einflüsse verfälscht. Es sind darin auch Mittelwerte über längere und kürzere Zeiten aus dem gleichen Zeitabschnitt enthalten. Der spezifische Abfluss von 214,23 l/(s·m) wurde mittels der Netzflügelmessung am 25.08.2005 ermittelt.

3.2.4 Numerische Modellierung der Strömung

3.2.4.1 Einführung

Zielsetzung der numerischen Modellierung ist die Entwicklung und Bereitstellung eines Werkzeugs zur Dimensionierung von Borstenanordnungen in Gerinnen. Ergebnis der Berechnungen mit diesem Bemessungswerkzeug soll eine Angabe über die Dichte von Borstenelementen für eine gegebene Kombination von Abfluss und Wassertiefe sein. Dabei ist es hilfreich, wenn das Software-Werkzeug kostenlos und frei verfügbar ist.

Für die Berechnung von Gerinneströmungen stehen unterschiedliche numerische Modelle zur Verfügung, die so ausgewählt werden, dass das jeweilige Strömungsphänomen mit der geforderten Genauigkeit und Auflösung rechnerisch nachvollzogen werden kann. Bei der Auswahl spielt auch eine Rolle, ob die benötigten Daten und Randbedingungen verfügbar sind bzw. beschafft werden können. Bei dem vorliegenden Strömungsvorgang handelt es sich um gerichtete Strömungen in kompakten Fließquerschnitten. Ausuferungen oder Stromaufteilungen in Flussschlauch und Vorland kommen praktisch nicht vor. Unter diesen Bedingungen reicht es aus, die Strömung mit vergleichsweise einfachen, eindimensionalen stationären Modellen zu berechnen. Hier bietet sich das frei verfügbare Modell HEC-RAS des US Corps of Engineers an. Dieses ist umfassend dokumentiert und vergleichsweise leicht anzuwenden. Es ist in praktisch allen Instituten für Wasserbau und/oder Gewässerkunde eingeführt und wird dort mit Erfolg verwendet.

3.2.4.2 Erzeugung der Geometriedaten für das Modell

Das numerische Strömungsmodell HEC-RAS benötigt höhenbezogene Querprofildaten. Von einem Vermessungsbüro wurden in der Pilotstrecke der Kleinen Spree 30 Querprofile über eine Strecke von 1.476 m in einem Abstand von im Mittel 50 m mit GPS und Tachymeter aufgenommen. Für den Borstenbesatz wurde aus dieser Strecke der Abschnitt von Profil 1.214 bis 0.443 m, was einer Länge von 771 m entspricht, ausgewählt. Dieser Abschnitt ist durch 16 Querprofile abgedeckt. Die Querprofile sind gegen die Strömungsrichtung aufsteigend nummeriert (0.443 unten; 1.214 oben).

Nach dem Einbau der Borstenelemente, die zum Teil einzeln, zum Teil als Paare im gleichen Querschnitt versetzt wurden, erfolgte die Bestimmung der Lage mittels einer GPS-Messung. Indem die Strecke langsam mit dem Kahn abgefahren wurde, konnten die einzelnen Elemente mit dem GPS-Gerät eingemessen werden. Es ergaben sich dadurch 60 weitere Stationen im Gewässer, die ins Modell aufzunehmen waren. Insgesamt waren 99 Borstenelemente eingesetzt worden. Von diesen konnten zehn Stück nicht eindeutig bei der Positionsbestimmung zugeordnet werden, so dass im Endeffekt nur 89 Elemente im Modell eingebaut sind. Wegen der z.T. paarweisen Positionierung in einem Querschnitt blieben letztlich 60 Elementstandorte.

Da an diesen Standorten in der Regel keine Querprofildaten vorlagen, wurden die dort maßgebenden Querprofile durch lineare Interpolation, gewichtet durch den Abstand zu den einrahmenden Profilen, ermittelt. Das bedeutet, dass näher liegende gemessene Profile deutlich mehr Einfluss auf die erzeugte Profilform haben, als solche, die weiter entfernt sind. Diese Profile haben natürlich Ähnlichkeit mit den gemessenen Querschnitten, jedoch nur bedingt mit dem tatsächlichen Querschnitt am Einbauort. Dies ist jedoch aufgrund der Tatsache, dass die Form der Kleinen Spree nur mit vielen Querschnitten im Abstand von wenigen Metern genau abgebildet werden könnte, die einzige praktikable Möglichkeit der Erzeugung hydraulisch wirksamer Querprofile im Modell.

3.2.4.3 Kalibrierung des Modells

Ausgangsbasis für die Anpassung des Modells sind die in Tabelle 3-2 angegebenen Messdaten aus den Durchfluss- bzw. Wasserspiegelmessungen.

Im numerischen Modell ergibt sich der Wasserspiegelverlauf durch die Lösung des Fließgesetzes unter der Wirkung von kontinuierlichen und örtlichen Verlusten. Als Fließgesetz wird im HEC-RAS-Modell die Gaukler-Manning-Strickler-Formel in der Manning-Formulierung verwendet.

$$v = \frac{1}{n} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (4)$$

v = mittlere Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
 r_{hy} = hydraulischer Radius [m] I = Gefälle [-] n = Manning-Beiwert in [s/m^{1/3}].

Die örtlichen Verluste ergeben sich aus den Querschnittsänderungen über den oben erwähnten Ansatz. Die kontinuierlichen, über die Wandung verteilten Verluste werden über die Manning-Beiwerte n in das Modell eingegeben. Dabei kann zwischen linkem und rechtem Vorland und dem Flussschlauch unterschieden werden. Im Falle der kompakten kleinen Spree tragen die Vorländer nicht zum Abfluss bei, so dass nur die Flussschlauch-Daten relevant sind.

Unter Nutzung der genauen Messdaten über das Wasserspiegelgefälle für den Abflusszustand vor Borsteneinbau (3 Messungen) konnte das Modell für den Ist-Zustand kalibriert werden. Dabei ergab sich, dass die Rauheitswerte im oberen Abschnitt etwas größer gewählt werden mussten als in der unteren Hälfte. Für den Abschnitt zwischen dem Pegel 1 und Pegel 2 erwies sich ein Manning-Koeffizient von 0,065 (entspricht Strickler-Beiwert von $k_s = 15.4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) als optimal, während im unteren Abschnitt zwischen Pegel 2 und Pegel 3 ein Wert von 0,06 ($k_s = 16.67 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) eingesetzt werden musste. Die Kontraktions- und Expansionsbeiwerte wurden standardmäßig auf 0,4 bzw. 0,6 gesetzt. Dies bedeutet, dass bei Querschnittsänderungen insgesamt eine volle Differenz-Geschwindigkeitshöhe gemäß Gleichung 3 (vgl. 3.2.2.2) verloren geht.

Die Ursache für diese insgesamt geringen Unterschiede ist vermutlich in den oben vorkommenden Gerinnekrümmungen und der vielfältigeren Struktur zu suchen. In der folgenden Abbildung ist der für den Ist-Zustand berechnete Wasserspiegelverlauf eingetragen. Durch die Anpassung der Verlustbeiwerte sind die Übereinstimmungen an den Pegeln optimal. Die Pegel liegen in der Abbildung 3-17 bei den Stationen: Pegel 1: 1.195; Pegel 2: 0.762; Pegel 3: 0.455.

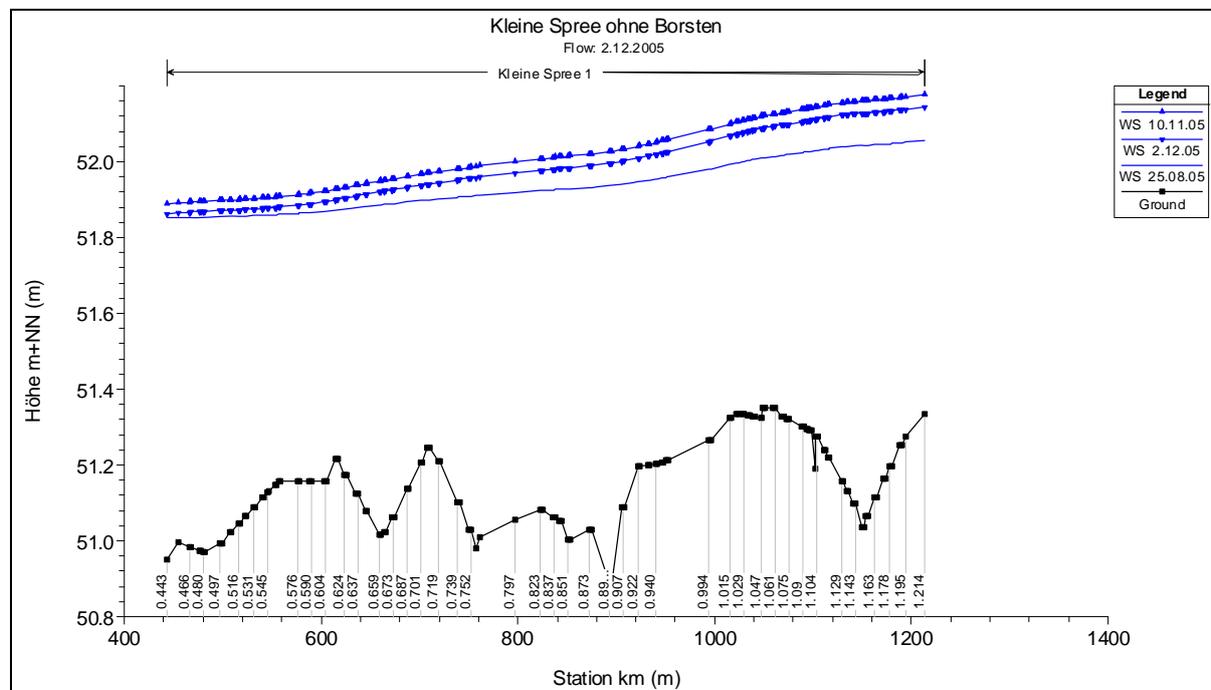


Abbildung 3-10: Wasserspiegelprofile für den Zustand vor Borsteneinbau

3.2.4.4 Nachbildung des Widerstands von Borstenelementen im Modell

In den verfügbaren numerischen Modellen zur Berechnung von Gerinneströmungen ist der Widerstandstyp „Borstenelement“ nicht enthalten. Diese Modelle lassen jedoch in allen Fällen den Einbau von lokalen Verlusten zu. Da solche Verluste in der Regel mit einer Änderung der Strömungsgeschwindigkeit verbunden sind, die durch die Strömungskonvergenz und -divergenz verursacht sind, liegt es nahe, die Verluste durch Borsten mit diesen Elementen zu modellieren. Hierzu wird an jedem Borstenstandort ein Tripel von Querprofilen in die Strömung eingeführt, die einen geringen Abstand (hier je 1 m) haben. Das erste und das dritte Profil entsprechen dem unbeeinflussten Fließquerschnitt am Standort, während das dazwischen liegende Profil Nr. 2 um eine bestimmte Fläche ΔA kleiner ist. Die Verluste entstehen durch die Strömungsbeschleunigung zum engeren Querschnitt hin und durch die Wiederaufweitung auf den ursprünglichen Querschnitt. Sie werden erfasst nach der Änderung mit

$$\Delta H = \zeta \cdot \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \text{ mit } \zeta = \zeta_{conv} \text{ bei Konvergenz und } \zeta = \zeta_{div} \text{ bei Divergenz} \quad (5)$$

ΔH = Verlust an Energiehöhe [m]

v_1 = Geschwindigkeit [m/s] vor der Änderung

v_2 = Geschwindigkeit [m/s]

Das Ausmaß der Querschnittsverengung wird festgelegt über die Ergebnisse aus den Laborversuchen. Diese Versuche ergaben, dass die blockierende Fläche der Elemente bei ca. einem halben Quadratmeter lag (vgl. 3.2.2.3).

In der folgenden Abbildung sind beispielhaft die Querschnitte an einem Borstenelement dargestellt. Die für die Borstenstandorte erzeugten Querprofile wurden nun jeweils 3-fach in das Modell eingesetzt, wobei dazwischen ein Abstand von 1 m lag. Dies bedeutet, dass jeweils 1 m vor und nach dem Borstenstandort ein interpoliertes Querprofil positioniert wurde und dass am Standort selbst ein im Querschnitt reduziertes Profil eingebaut wurde. Damit ergeben sich in der Anströmung über ein Fließlänge von 1 m eine Kontraktion und über einen weiteren Meter eine Expansion, die mit einem Verlustbeiwert versehen sind.

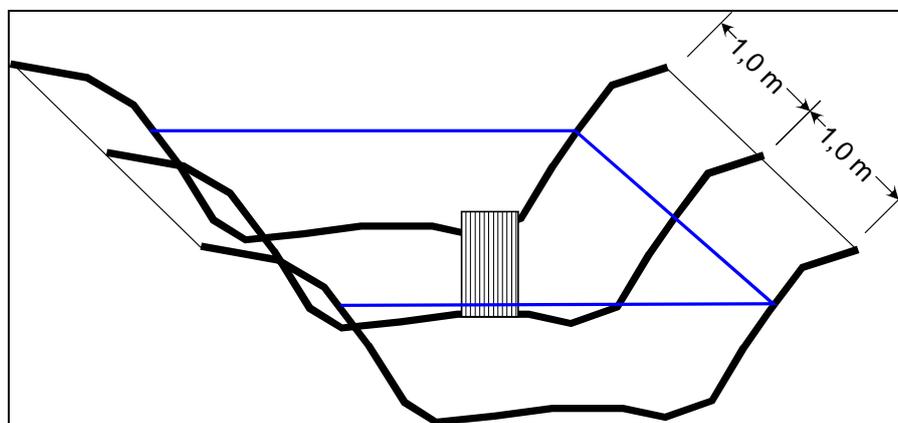


Abbildung 3-11: Wiedergabe der Borstenelemente durch ein Profil-Tripel mit Einengung des mittleren Profils

Die Größe der Einengung betrug für ein Borstenelement genau $0,5 \text{ m}^2$ und für ein Elemente-Paar $1,0 \text{ m}^2$. Durch Variieren der Verlustbeiwerte ζ_{con} und ζ_{div} kann das Modell an die Ergebnisse der Naturmessungen angepasst werden.

3.2.4.5 Anpassen des Modells mit Borsten

Nachdem in den Profilen an den Borstenstandorten die oben dargestellten fiktiven Hindernisse eingebaut worden waren, dienten die nach dem Borsteneinbau gemessenen Wasserspiegel aus Tabelle 3-2 als Bedingungen für die Anpassung. Die Manning-Werte wurden nicht verändert. Lediglich die Kontraktions- und Expansionsbeiwerte nach Gleichung 5 wurden so angepasst, dass die

Übereinstimmung an Pegel 1 optimal war. Um hier eine gute Anpassung zu erreichen, mussten die Kontraktions- und Expansionsbeiwerte zusammen über den Wert 1 angehoben werden ($\zeta_{\text{con}} = 0,7$ und $\zeta_{\text{div}} = 0,8$, $\zeta_{\text{con}} + \zeta_{\text{div}} = 1,5$). Es ist eigentlich physikalisch nicht möglich, dass an einem Hindernis mehr als eine Differenz-Geschwindigkeitshöhe verloren geht. In der Natur treten jedoch Wirkungen auf, die im Modell nicht so explizit nachgebildet werden können:

- Die Borsten wurden bewusst an Standorten eingebaut, wo die Strömung besonders stark war. Damit werden sie effektiv stärker angeströmt als im eindimensionalen Modell, wo der Querschnittsmittelwert der Geschwindigkeit angesetzt wird.
- In der Natur sind die Borsten mit organischem Material stark belegt. Zusätzlich liegt teilweise auch noch Treibholz quer davor. Beides erhöht die hydraulische Wirkung.
- Die im numerischen Modell fehlenden 10 Borstenelemente müssen durch höhere Verlustbeiwerte kompensiert werden.

3.2.4.6 Ergebnisse der Modellierung

Mit den oben erläuterten Kalibrierwerten ergaben sich folgende berechneten Wasserspiegelprofile:

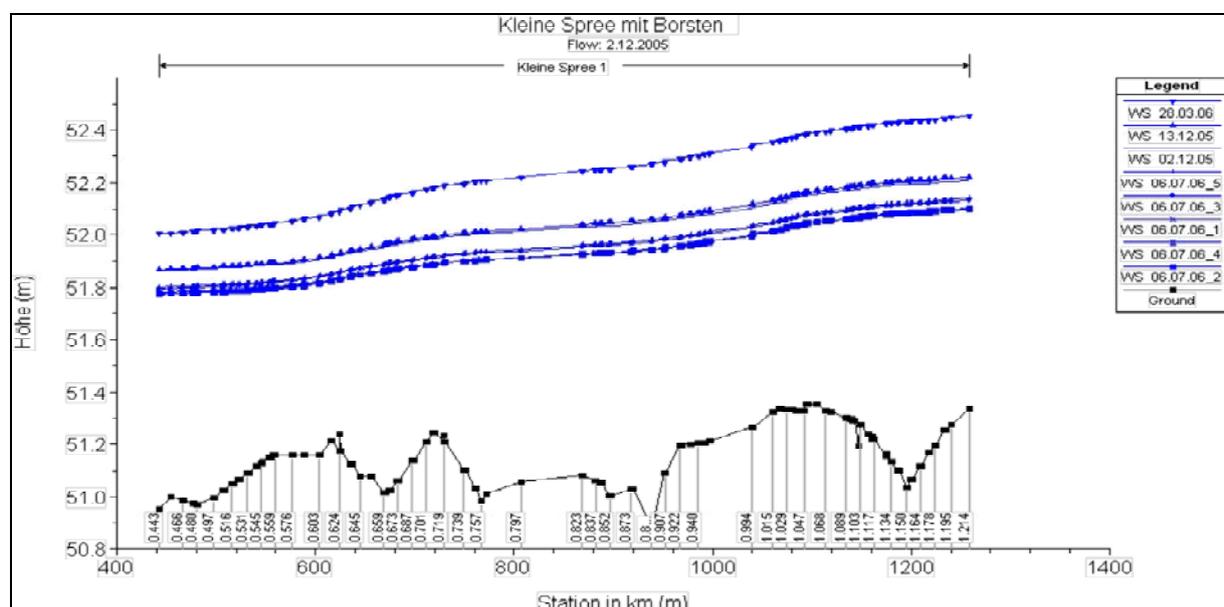


Abbildung 3-12: Berechnete Wasserspiegelverläufe für die Zustände nach Borsteneinbau

Ein Qualitätskriterium der Anpassung des Modells ist die Streuung der berechneten Wasserstände in Profil 1, ausgedrückt als Abweichung von den gemessenen Spiegellagen. Diese werden in der Abbildung 3-20 deutlich:

Dieses Diagramm zeigt, dass sechs von acht Messungen nur geringe Abweichungen aufweisen, die nur in einem Fall über 10 mm liegt. Die größere Abweichung nach oben gehört zu einer Messung, die möglicherweise durch instationäre Zustände beeinflusst war (Ansteigen des Wasserspiegels nach Absenkung). Die größere Abweichung nach unten gehört zu einem deutlich größeren Abfluss aus dem Frühjahr 2006 (28.03.2006). Hier war die tatsächlich gemessene Höhe deutlich größer als die berechnete, was darauf zurück zu führen sein könnte, dass bei größeren Füllhöhen im Fließ die Widerstandsbeiwerte höher sind, da sehr unebene Bereiche des Ufers (Wurzeln, Gras, etc.) benetzt werden. Diese Widerstände sind durch die Kalibrierung mit Abflusszuständen im Herbst nicht erfasst.

Eine weitere interessante Frage ist, um wie viel bei gleichem Wasserspiegel der Durchfluss reduziert werden kann, wenn die Borsten eingesetzt werden. Dies wurde anhand des Abflusszustandes vom 02.12.2005 (747 l/s direkt nach dem Borsteneinbau) exemplarisch berechnet. Ergebnis ist, dass sich mit Borsten der gleiche Wasserspiegel einstellt, wenn der Abfluss auf 606 l/s reduziert wird. Dies bedeutet eine Abflussreduktion von 19 %, wenn als Vergleich (100 %) der Abfluss ohne Borsten zugrunde gelegt wird.

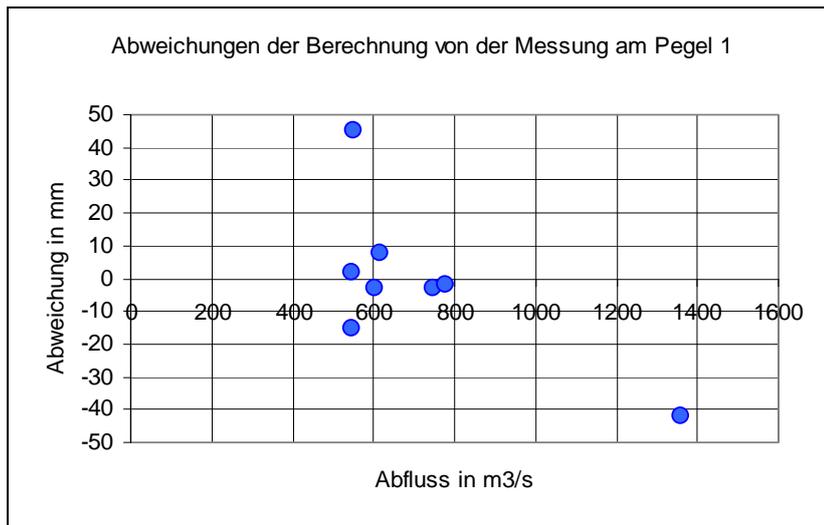


Abbildung 3-13: Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Wasserspiegeln am Pegel 1 (Abweichung = Rechnung – Messung)

3.2.4.7 Übertragung der Ergebnisse und Anwendungsvorschlag

Zur Frage, inwieweit die Ergebnisse übertragbar und auf andere Fließgerinne anwendbar sind, ist Folgendes auszuführen: Die Anwendung des HEC-RAS-Modells zeigt zusammen mit den Messdaten aus dem Labor, dass die Borsten in Abhängigkeit von ihrer gesamten Anströmfläche eine blockierende Wirkung im Gerinne ausüben, die einen örtlichen Verlust erzeugt. Damit können die Borsten über einen eingegengten Querschnitt zwischen 2 normalen Querschnitten nachgebildet werden. Bei Übertragung auf andere Fließe müssen diese dabei mit ähnlicher Genauigkeit modelliert werden. Eine Anleitung für die Ermittlung eines Borstenbesatzes in einem anderen Fließ könnte wie folgt lauten:

1. Gerinnequerschnitte bestimmen und Modell aufstellen
2. Rauheitsbeiwerte über eine Kalibrierrechnung bestimmen.
3. Borstenstandorte im Gerinne festlegen.
4. Die Borsten durch eingegengte Querschnitte modellieren.
5. Den Borsten für Verengungs- und Erweiterungsverlust einen Wert zuordnen, der die Summe 1,5 ergibt.
6. Für die maßgebenden Durchflüsse die Wasserstandserhöhung durch die Borsten berechnen.
7. Wenn diese nicht ausreicht, die Borstendichte erhöhen oder die eingegengte Fläche verkleinern.
8. Wenn die Wasserstandserhöhung ausreicht, ergibt sich die Zahl der Einzelborsten pro Element so, dass die Gesamtanströmfläche aller Einzelborsten das 4,545-fache der Querschnittseinengung im Modell ist.

Die oben genannten Werte gelten für eine Borstendichte innerhalb des Elements, wie sie in der kleinen Spree verwendet wurde. Bei geringerer Dichte oder bei erheblich kleineren aber zahlreicheren Borstenelementen kann das Verhältnis zwischen Gesamtfläche aller Einzelborsten und der blockierenden Fläche im Fließ anders ausfallen. In diesem Fall können mit einem Laborversuch diese Verhältniswerte allerdings mit mäßigem Aufwand zielgerichtet neu bestimmt werden.

3.2.4.8 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des hydraulischen Monitorings und der Simulationen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Laborversuche ergaben, dass die Borsten der Strömung eine blockierende Fläche in den Weg stellen, die etwa 22,2 % der Gesamt-Anströmfläche aller Borsten beträgt. Diese betrug bei den im Spreewald eingesetzten Elementen ziemlich genau 0,5 m².

- Die blockierende Fläche und die hydraulische Bremswirkung nehmen mit der Belegung durch Laub und organischem Material zu.
- Die Wirkung der Borstenelemente scheint in der Natur größer zu sein als im Labor, da sie mit organischem Material belegt sind und bevorzugt in Zonen stärkerer Strömung angeordnet sind.
- Die gemessene Wasserspiegelerhöhung betrug etwa 5 cm, wobei sich diese schon auf der halben Borstenstrecke weitgehend aufgebaut hatte. In der oberen Hälfte dienten die Borstenelemente überwiegend dazu, den höheren Wasserspiegel zu halten.
- Die Strömung in der Kleinen Spree wurde mit dem eindimensionalen Modell HEC-RAS modelliert.
- Die Borstenelemente können im eindimensionalen Modell als Tripel von Querprofilen modelliert werden, in denen das mittlere Profil um die blockierende Fläche kleiner ist (0,5 m² pro Borstenelement), wobei die Summe der Verlustbeiwerte für die Differenz-Geschwindigkeitshöhe 1,5 beträgt.
- Die mögliche Abflussreduktion durch Borsteneinsatz beträgt bei gleichem Wasserspiegel knapp 19 %. Dieser Wert gilt jedoch nur für die Kleine Spree.
- Eine Übertragung der Erkenntnisse auf beliebige andere Fließgewässer ist mit diesem numerischen Modell sehr gut möglich.

3.3 Ökologische Untersuchungen

3.3.1 Ziele und Aufgaben

In den ökologischen Untersuchungen wurden die Auswirkungen der Borstenelemente auf die Strukturen und aquatischen Lebensgemeinschaften in der Kleinen Spree betrachtet und dokumentiert. Im Mittelpunkt stand dabei die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*) stellvertretend für die strömungsliebende (rheophile) Wirbellosenfauna. Die Arbeitsschwerpunkte für das Monitoring in der Kleinen Spree umfassten folgendes Spektrum:

- detaillierte Aufnahme der Gewässerstrukturen in der Kleinen Spree,
- Bestandsaufnahme und Beschreibung der Habitatanforderungen zu *Unio crassus* im Raum Burg,
- Ansiedlung und Kontrolle der Bestandsentwicklung von Großmuschelarten in der Kleinen Spree nach dem Borsteneinbau unter besonderer Berücksichtigung von *Unio crassus*,
- Bestandsaufnahme der Fischfauna im Raum Burg unter besonderer Berücksichtigung von potenziellen Wirtsfischen von *Unio crassus*,
- Untersuchung der Borstenelemente hinsichtlich ihrer Bedeutung als Kleinlebensraum für das Makrozoobenthos.

Im Folgenden werden die vorgenommenen Untersuchungen zusammenfassend dargestellt. Zu den ausführlichen Berichten der Bearbeiter siehe PUSCH ET AL. (2006).

3.3.2 Auswirkungen auf die Gewässerstrukturen in der Kleinen Spree

3.3.2.1 Strukturaufnahmen der Gewässersohle

Methodik

Zwischen dem Verbindungsfließ zum Burg-Lübbener Kanal (Verbindungsfließ Schneider) und dem Abzweig Fischerfließ wurde die insgesamt 1.265 m lange Pilotstrecke der Kleinen Spree (Abb. 3-21) vermessen und eine Karte im Maßstab 1:1000 erstellt. Die Pilotstrecke ist entgegen der Fließrichtung stationiert. Dementsprechend wurden entgegen der Fließrichtung 33 Querprofile zur Substratkartierung und Fließgeschwindigkeitsmessung festgelegt, die sich morphologisch jeweils deutlich unterschieden. Diese wurden mit Holzpföstchen am Ufer markiert und es wurden mithilfe eines Satellitengeräts (GPS) die geographischen Koordinaten der Querprofile festgestellt.

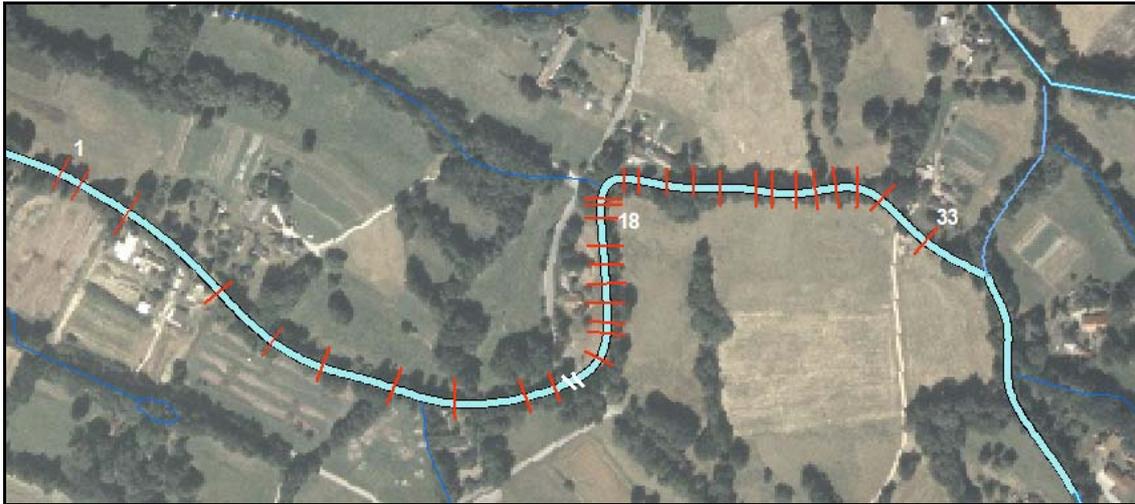


Abbildung 3-21: Pilotstrecke der Kleinen Spree
Die Fließrichtung verläuft von rechts nach links. Rot markiert sind die 33 Transekte.

Am 05.09. und am 04.10.2005 wurden gantztägig die in diesen Querprofilen vorhandenen Sohlsubstrate kartiert, teils mit Hilfe eines Spreewaldkahns. Hierzu wurde an jedem Profil ein mit Längemarken versehenes Drahtseil gespannt und jeweils im Abstand von 0,5 m die Gewässersohle mithilfe eines Sedimentstechers (Fa. Uwitec, Mondsee) mit Innendurchmesser 6 cm beprobt. Die Sedimentzusammensetzung wurde hinsichtlich folgender Eigenschaften angesprochen:

- Korngröße: Feinkies – Sand – Schluff (organ. Schlamm oder Lehm),
- Organischer Gehalt: Stufe 1 (0 – 25 %) – Stufe 2 (25 – 50 %) – Stufe 3 (50 – 75 %) – Stufe 4 (75 – 100 %),
- Sedimentauflage (definiert bis 10 cm Höhe): Feindetritus – Grobdetritus, Auflagenhöhe in Zentimeter,
- Makrophyten, Totholz,
- Ausbildung von Treibsand (Bildung von Sandrippeln).



Abbildung 3-22: Strukturaufnahme der Gewässersohle

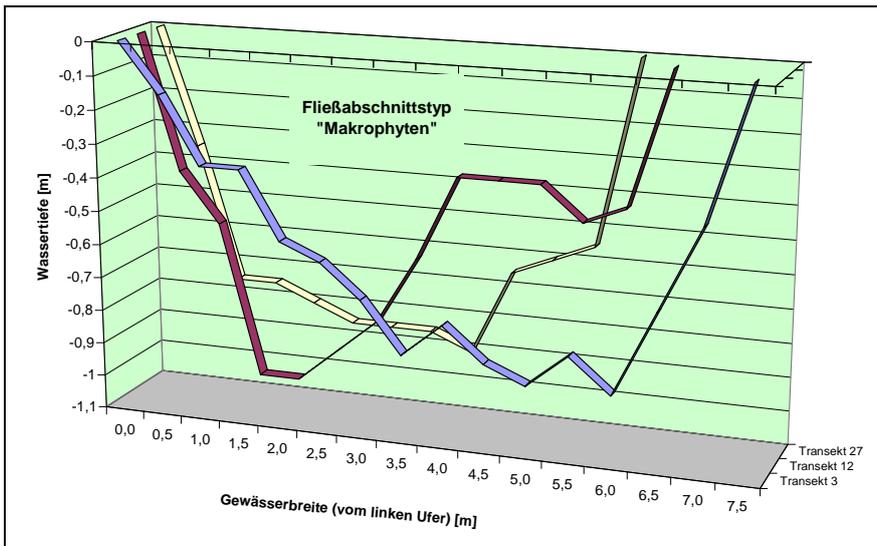
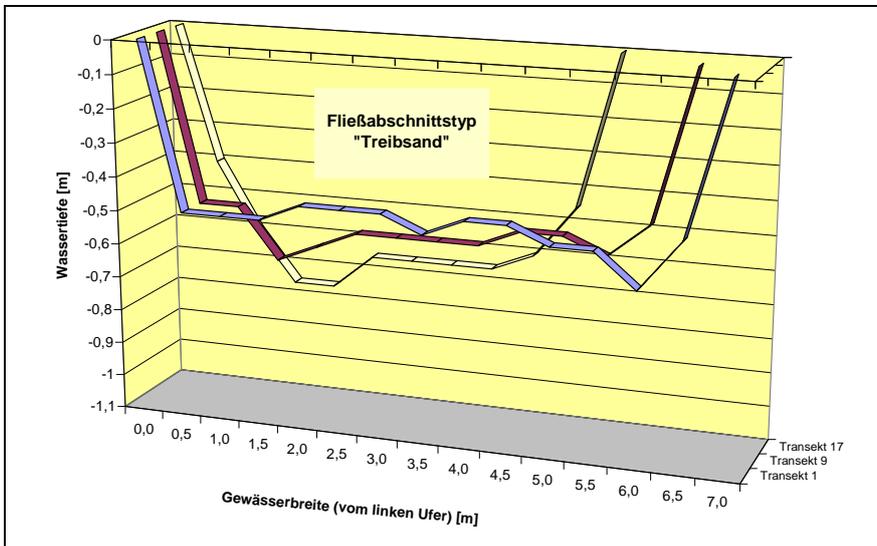
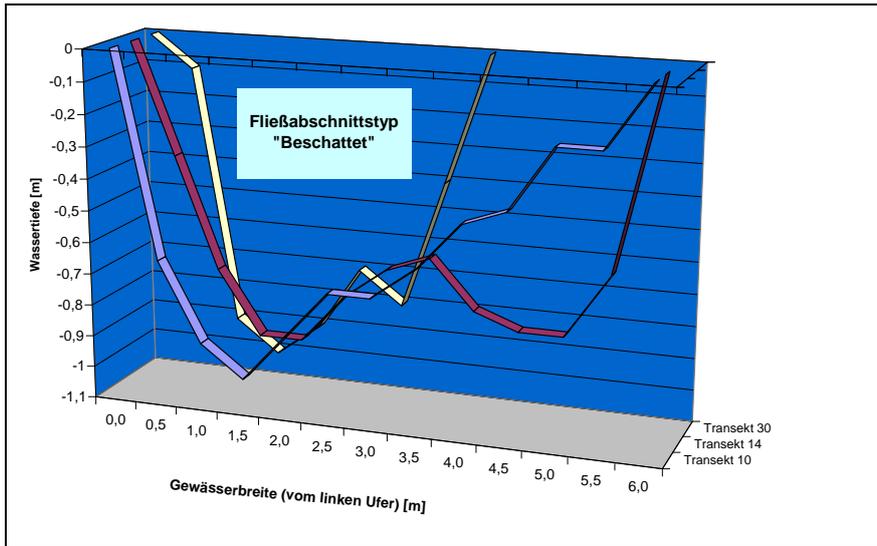


Abbildung 3-23: Tiefen-Querprofile der Fließabschnittstypen in der Pilotstrecke

Gewässerstruktur vor dem Einbau der Borstenelemente

Die Querprofile können drei Grundtypen zugeordnet werden (vgl. Abb. 3-23):

- Beschattete Fließabschnitte mit wenig bzw. ohne Makrophyten, oft relativ schmal und tief
- Fließabschnitte mit Treibsandflächen, oft relativ breit, eben und flach. Diese wurden praktisch wie folgt selektiert: Sand mit geringem organischem Gehalt der Stufen 1 oder 2 auf mindestens 1,5 m des Querprofils (vier Messpunkte) mit einer Sedimentauflage von < 3 cm, gleichzeitig auf dieser Fläche Wassertiefendifferenz < 20 cm.
- Dicht mit Makrophyten bewachsene Fließabschnitte mit unregelmäßigem Querprofil. Zwischen den Makrophyten-Bulten bilden sich bis zu drei parallele Tiefrinnen aus. Diese wurden praktisch wie folgt selektiert: Makrophyten an mindestens zwei Messstellen vorhanden und nicht überwiegend Treibsand im Rest des Querprofils.

Gewässerstruktur nach dem Einbau der Borstenelemente

Nach dem Einbau der Borstenelemente bildeten sich in deren Umfeld ein charakteristisches gewässermorphologisches Muster aus, von dem nur ausnahmsweise Abweichungen beobachtet wurden. Stromauf und zu beiden Seiten bildete sich ein halbmondförmiger Kolk, während stromab eine Sandbank von bis zu 4 m Länge abgelagert wurde.

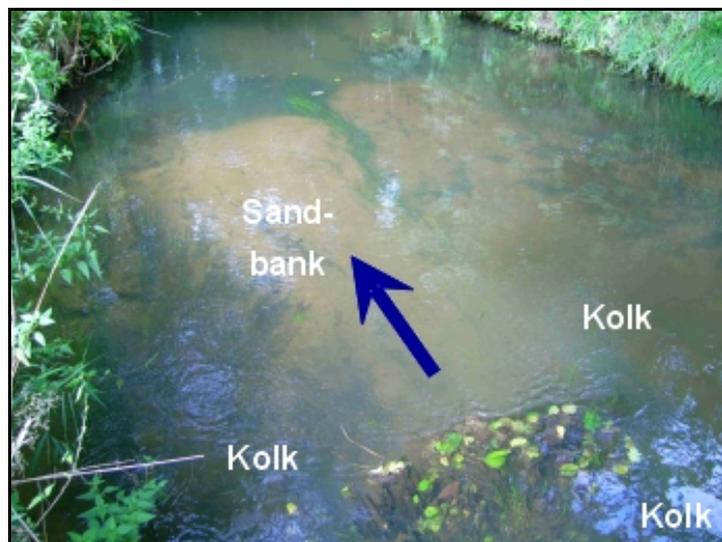


Abbildung 3-24: Charakteristisches gewässermorphologisches Muster im Bereich eines Borstenelementes

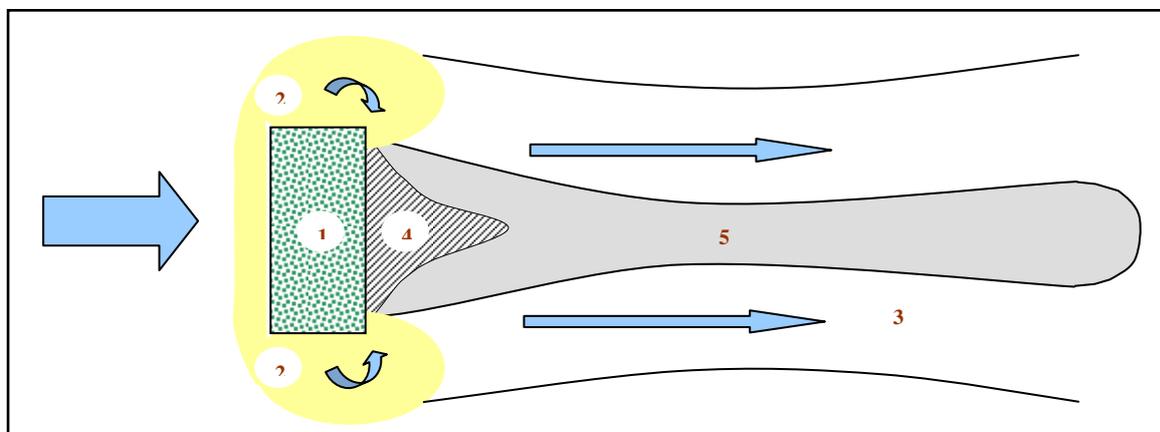


Abbildung 3-25: Schematische Darstellung der typischen Sohlstrukturen im Umfeld eines Borstenelementes
(1 Borstenelement, 2 Auskolkung, 3 Stromrinne, 4 organische Auflandung, 5 Längsbank)

Die Ausdehnung der durch ein Borstenelement direkt beeinflussten Gewässersohle betrug zwischen 6 – 20 m². Als typische Sohlstrukturen konnten folgende Strukturklassen ausgediegt werden:

Tabelle 3-3: Beschreibung der auf der Gewässersohle der Pilotstrecke entwickelten Strukturen

Teilstruktur	Lage zum Borstenelement	Charakteristika
Kolk	i.d.R. beidseitig, u. U. auch schon wenige Dezimeter vor dem Element beginnend	Stabile Sohle; Fein- bis Mittelsand, bei geringerer Durchströmung häufig mit Totholz überlagert
Stromrinne	Weiterführung der Auskolkungen, i.d.R. beidseitig und bis zu 4 m unterhalb eines Elementes	Stabile Sohle; Fein- bis Mittelsand, lokal mit Totholz überlagert
Auflandung	direkt unterhalb des Borstenelementes; wenige Dezimeter Ausdehnung in Fließrichtung	Feinsand mit bis zu mehreren Zentimetern starker Detritusauflage
Längsbank	Weiterführung der Auflandung; Ausdehnung bis zu 4 m unterhalb eines Elementes	Feinsand, in unteren Bereichen oft instabil

Hinsichtlich der Substrattypen ergab sich nach Einbau der Borstenelemente ein nahezu vollständiges Verschwinden des Treibsandes in den entsprechenden Querprofilen, sowie eine Flächenvergrößerung des festen Sandes sowie von Totholz (Abb. 3-26). Sandflächen mit organischen Anteilen verloren Flächenanteile, sowie auch Wasserpflanzenbestände, wobei letzteres möglicherweise teilweise auch mit auf externe Ursachen zurückgeführt werden muss. Insgesamt zeigte sich eine erfreuliche Veränderung der Substratanteile in Richtung des gewässerökologischen Leitbilds.

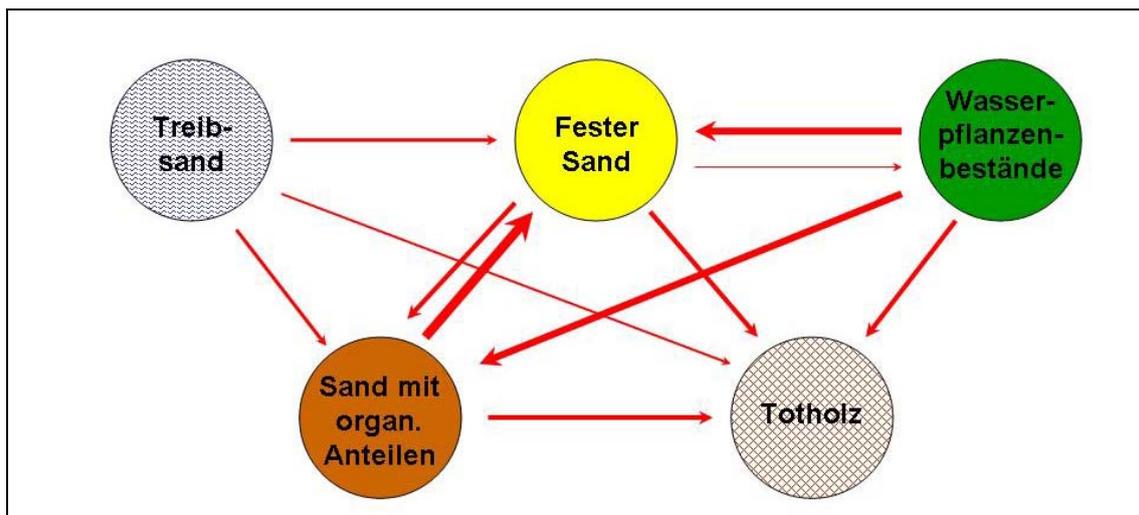


Abbildung 3-26: Veränderungen der Substratzusammensetzung an den Transekten vor und nach dem Borsteneinbau

3.3.2.2 Strömungs- und Tiefenverhältnisse

Methodik

Die Borstenelemente wurden gezielt in stark durchströmten Gewässerbereichen installiert. Daher wurden sie nur ausnahmsweise im Bereich der vorher aufgenommenen Querprofile platziert. Als Folge davon wurden direkte hydrodynamische und morphologische Wirkungen der Borstenelemente nur bei einigen wenigen Querprofilen registriert. Um dennoch die Wirkung der Elemente auf das Strömungsmuster im Fließ zu erfassen, wurden neue Querprofile und Querprofil-Gruppen direkt über, vor und hinter ausgewählten Borstenelementen gelegt und die Strömungsprofile dort aufgenommen.

Zur Messung der Profile der Geschwindigkeitsverteilung im Fließquerschnitt wurde ein Stahlseil mit Halbmetermarkierungen über das Gewässer straff gespannt. Vom linken Ufer beginnend wurde an jedem halben Meter die Gewässertiefe gemessen, sowie in einer Tiefe von 5, 25, 45 cm usw. unter

Wasserspiegel die Fließgeschwindigkeit gemessen. Dabei wurde das Gerät „Flow Mate“ der Fa. Flow-Tronic verwendet, das nach dem Prinzip der magnetischen Induktion misst (Genauigkeit 2% des Anzeigewerts, Minimalgeschwindigkeit 1,5 cm/s). Um eine Verfälschung des Strömungsbildes zu vermeiden, wurde der Messkopf schräg vom Körper weg gehalten.

Die gemessenen Werte der Fließgeschwindigkeiten wurden mit dem Programm Matlab ausgewertet. Damit wurden die Fließgeschwindigkeitsmuster der Profile als zweidimensionale Konturdiagramme dargestellt.

Vergleich der Fließgeschwindigkeiten vor und nach dem Einbau der Borstenelemente

Vor dem Einbau der Borstenelemente zeigten die meisten Querprofile in der Kleinen Spree ein mehr oder weniger regelmäßiges Strömungsmuster. Die höchsten Fließgeschwindigkeiten wurden oft in 20 cm Wassertiefe über den tiefsten Gewässerbereichen gemessen. Viele Querprofile waren durch steile Ufer mehr oder weniger „kastenförmig“ ausgebildet und wiesen dadurch nur eine geringe Strömungsdiversität auf. Die Querprofile, die zu erheblichen Anteilen durch flutenden Hahnenfuß bewachsen waren, wiesen zwischen den Pflanzenpolstern oft stark durchströmte Tiefrinnen auf.

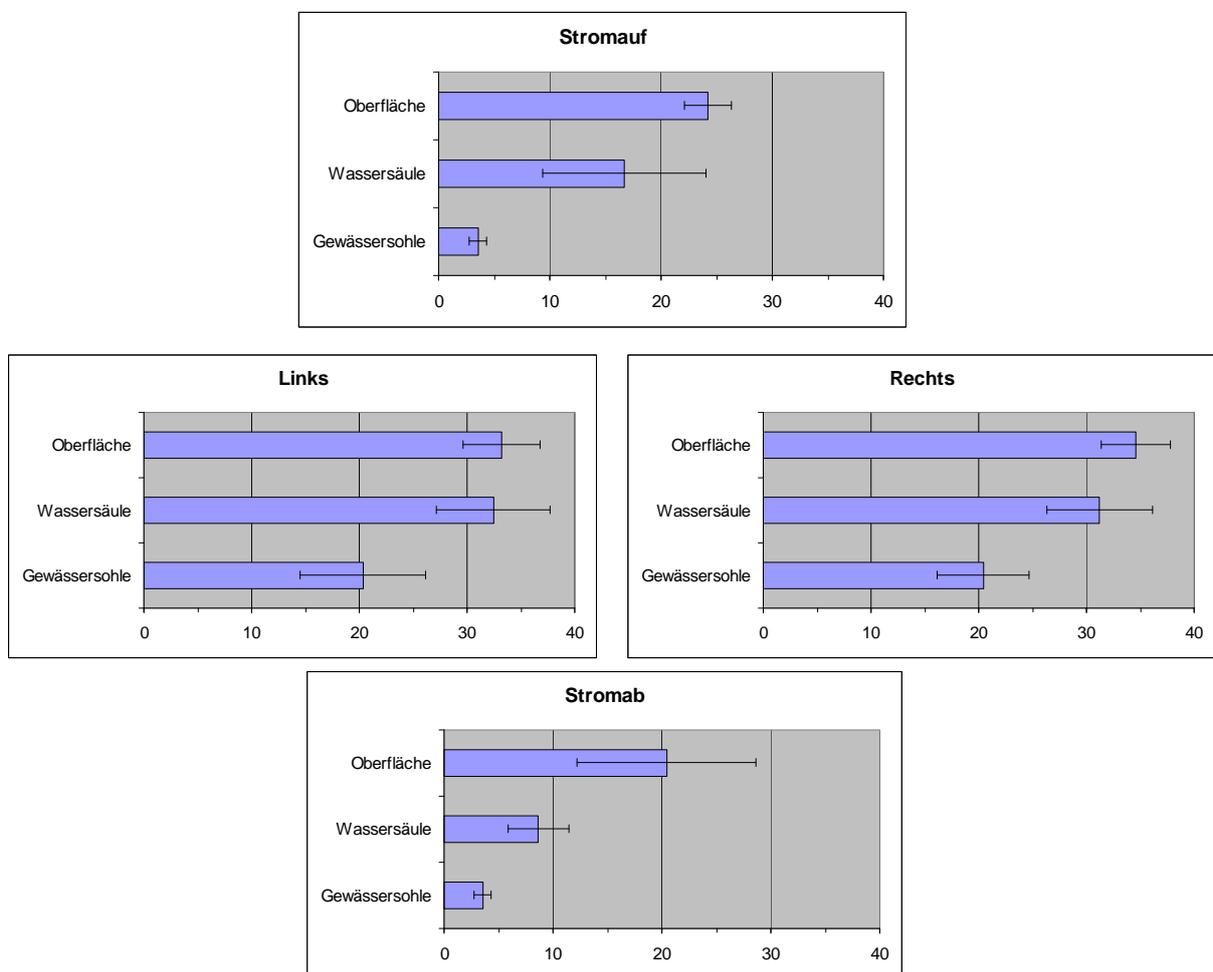


Abbildung 3-27: Vertikale Verteilung der Fließgeschwindigkeit (cm/s) im Bereich eines Borstenelementes

Die Borstenelemente füllten bei der Untersuchung im Jahr 2006 meist die gesamte Wassersäule aus, nur ein Teil der Borstenelemente wurde noch einige Zentimeter frei überströmt. Die Wirkung der Borstenelemente als Strömungshindernis wurde vielfach noch durch festgesetztes Getreibsel (Falllaub und Zweige) verstärkt. Zwischen einigen ufernahen Borstenelementen und dem Ufer bildeten sich Verkläuserungen, die die hydromorphologische Wirkung verstärkten.

Die Borstenelemente erzeugten im Fließ eine Querschnittsverengung sowie eine erhöhte örtliche Rauheit, wodurch die Strömung aus dem ursprünglichen Stromstrich umgelenkt wurde. Im Bereich der Borstenelemente wurde die Strömung stark verwirbelt und teilweise beschleunigt. Dadurch wurde direkt oberhalb und seitlich der Borstenelemente die Gewässersohle zumeist umgelagert, so dass Kolke mit einer relativen Tiefe von 20 – 30 cm im Verhältnis zum umgebenden Sohlenniveau entstanden.

Stromauf der Borstenelemente war die Strömung im Prallbereich stark verwirbelt, was zu großen Strömungsdifferenzen im mittleren Tiefenbereich führte. Links und rechts war in den Kolken eine hohe Strömungsgeschwindigkeit bis hinunter in Sohlhöhe zu verzeichnen, die dort die Gewässersohle erodiert. Stromab stellte sich ein ausgeprägter Strömungsschatten mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten nahe der Gewässersohle ein. Es wurde beobachtet, dass dieser Bereich bevorzugt von Fischen als Einstand genutzt wurde.

Durch die in Abbildung 3-27 dargestellte Fließgeschwindigkeitsverteilung im Bereich der einzelnen Borstenelemente wurde die Verteilung der Fließgeschwindigkeit jeweils innerhalb des gesamten Querprofils verändert. Dort, wo das Borstenelement installiert war, rückte der Bereich mit der höchsten Fließgeschwindigkeit aus dem tiefsten Bereich des Querprofils heraus. Es ergaben sich steile transversale Gradienten der Fließgeschwindigkeit.

In den Abbildungen 3-28 bis 3-30 sind einige Querprofile im Vergleich der Jahre 2005 und 2006 dargestellt. Bei den Messungen im Jahr 2006 war allerdings der Durchfluss höher. Es sind deutliche Verschiebungen und Zerteilungen des Strömungsmaximums infolge der Einbringung der Borstenelemente zu erkennen. Bei der Betrachtung der Abbildungen ist zu berücksichtigen, dass die Rechtecke die Form und Position der Borstenelemente nur annähernd wiedergeben.

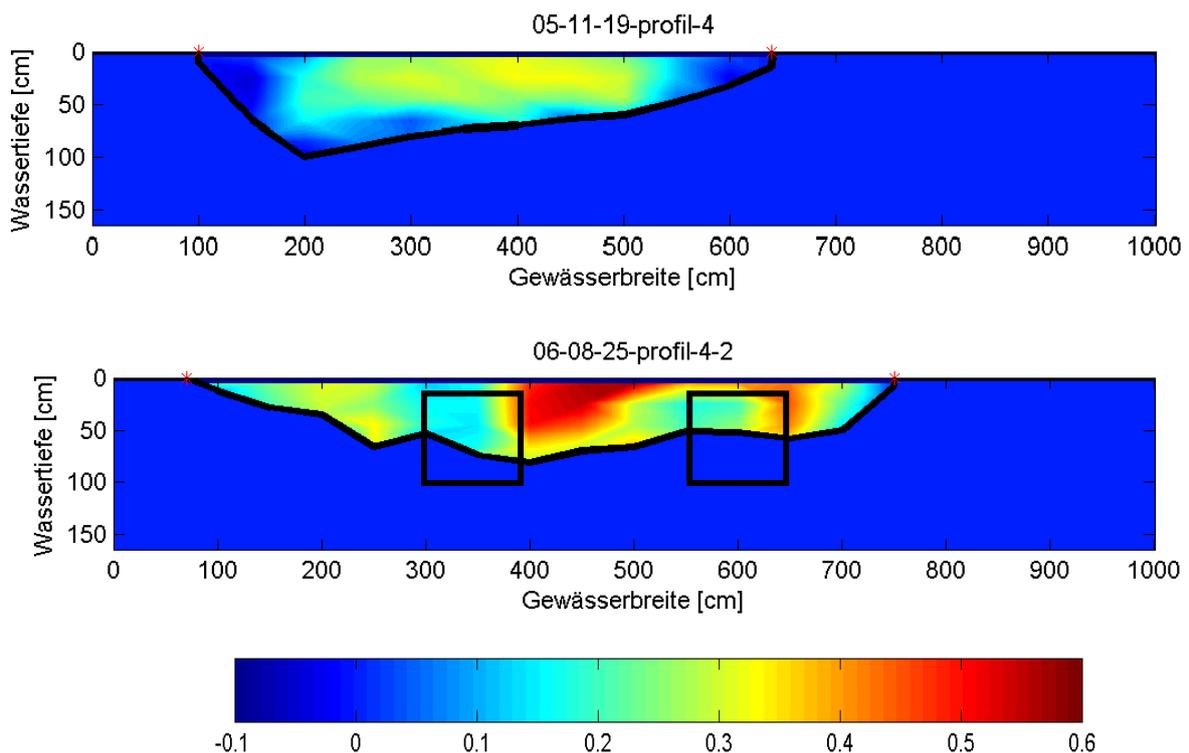


Abbildung 3-28: Strömungsquerprofile in Transsekt 4 und in Transsekt 4-2.
Transsekt 4 vor Einbau der Borstenelemente und Transsekt 4-2 (ca. 5 m stromauf von Transsekt 4) nach Einbau der Borstenelemente (Rechtecke). Die Borstenelemente befanden sich 0,5 m stromauf von Transsekt 4-2. (Legende in m/s, für alle Grafiken gleich gültig)

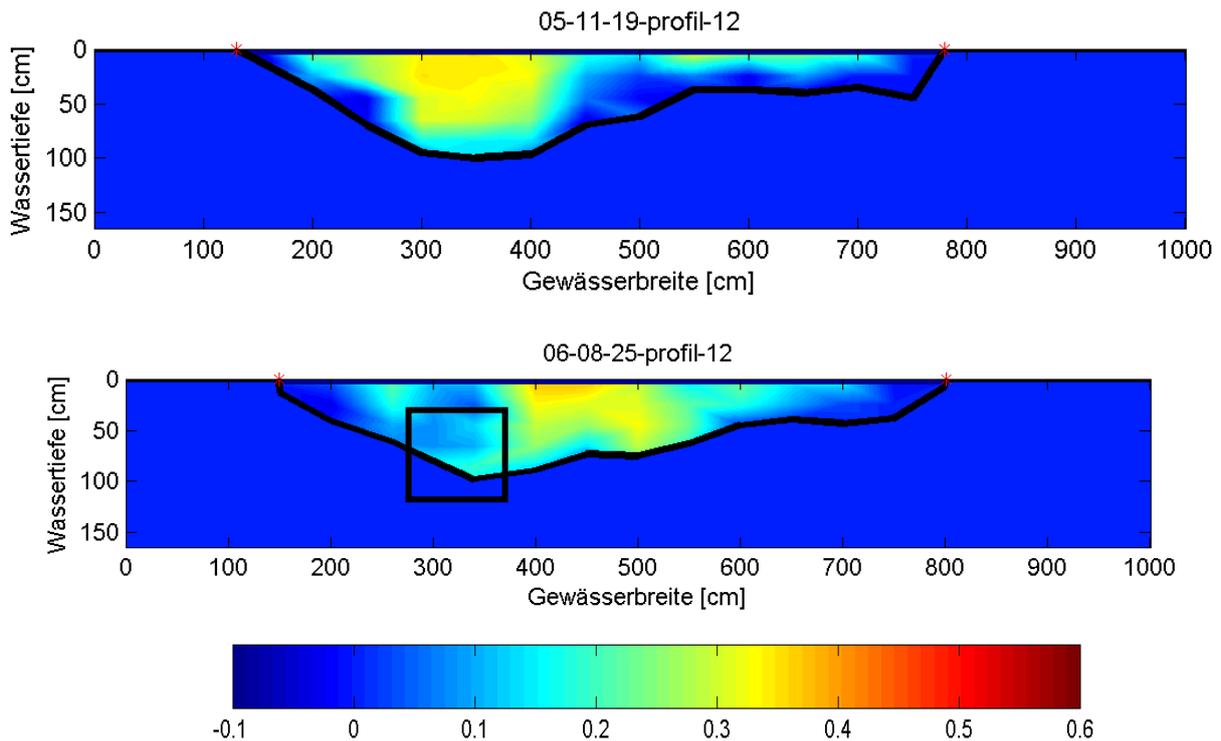


Abbildung 3-29: Strömungsquerprofile in Transekt 12 vor (oben) und nach (unten) Einbau eines Borstenelements 2,7 m stromauf des Transekts (Rechteck). (Legende in m/s)

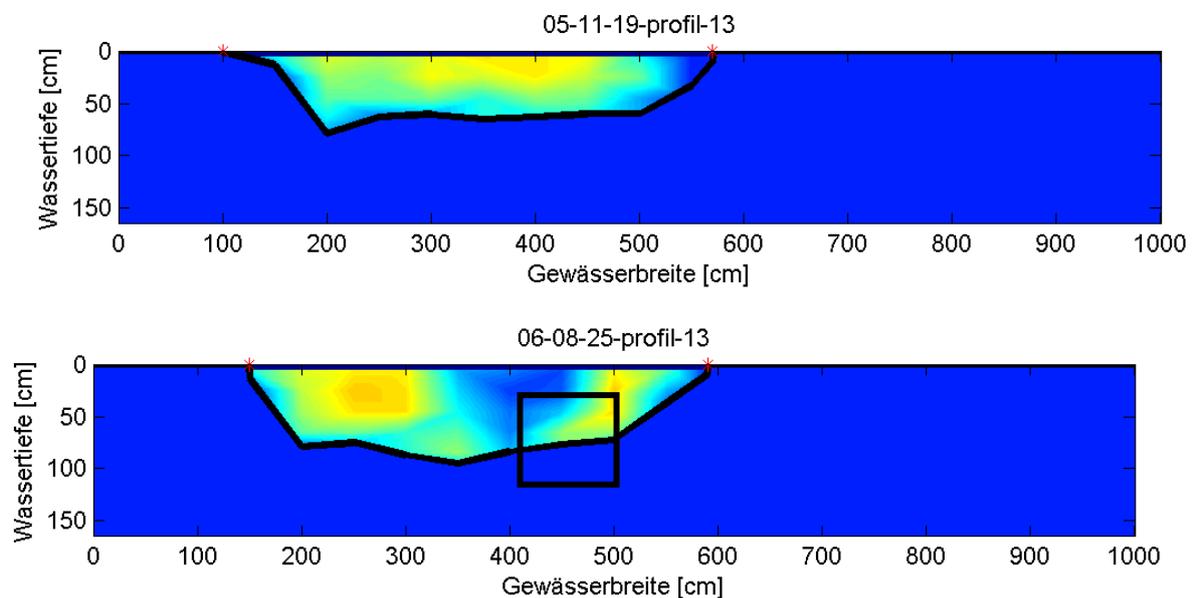
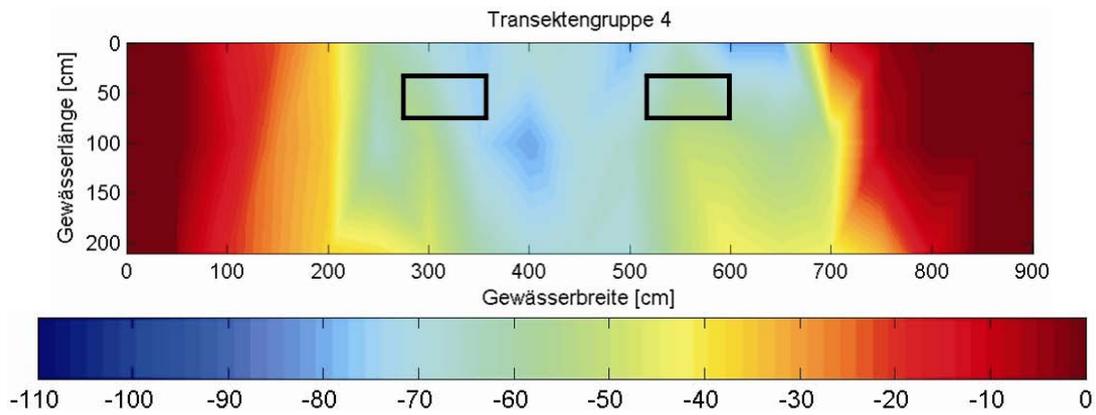
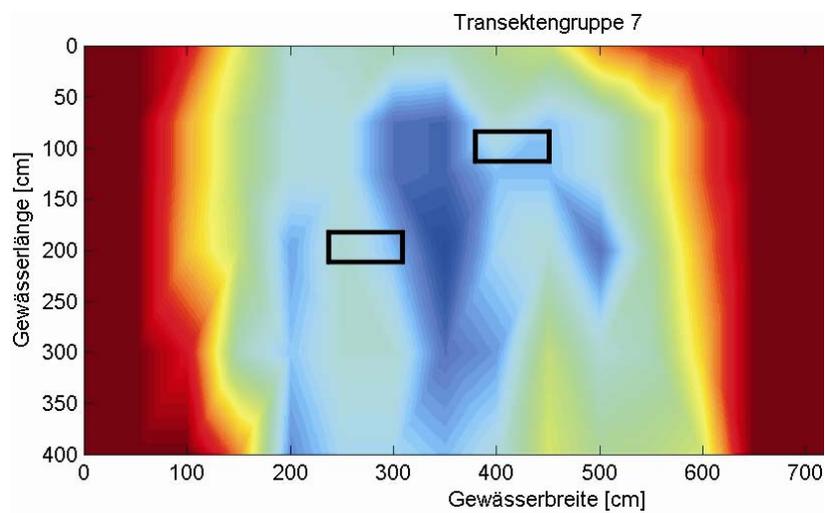


Abbildung 3-30: Strömungsquerprofile in Transekt 13 vor (oben) und nach (unten) Einbau eines Borstenelements 0,6 m stromauf des Transekts (Rechteck).

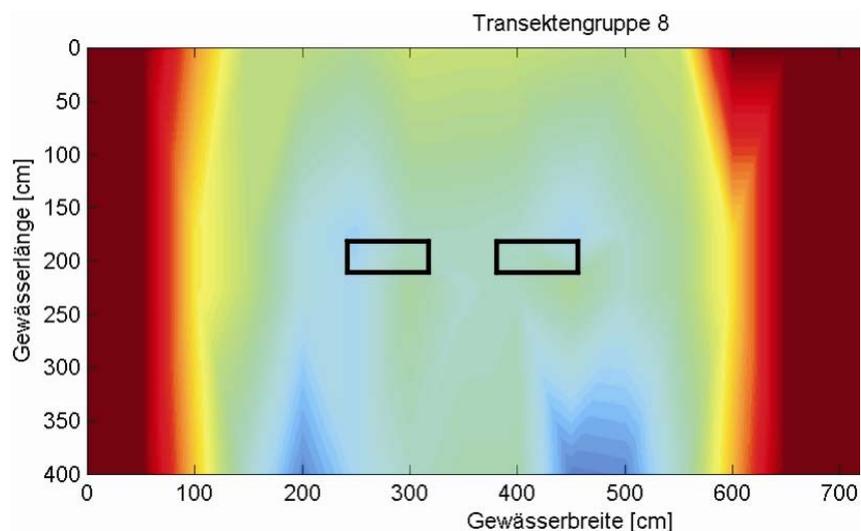
Die Tiefenkarten in den Abbildungen 3-31 bis 3-33 zeigen jeweils die Tiefenverhältnisse in kurzen Teilabschnitten des Pilotabschnitts der Kleinen Spree im September 2006, also unter dem Einfluss der Borstenelemente. Dabei sind die Tiefenverhältnisse stromauf (am oberen Bildrand) jeweils kaum durch Borstenelemente beeinflusst, so dass die Wirkung der Borstenelemente auf die Tiefenverhältnisse, und die Längserstreckung dieser Wirkung, zu erkennen ist.



**Abbildung 3-31: Tiefenkarte bei Transekt 4 im Bereich zweier Borstenelemente (Rechtecke).
Legende in cm Wassertiefe. Strömungsrichtung von oben nach unten. Die Ablagerung von Sandbänken
stromab beider Borstenelemente ist deutlich zu erkennen.**



**Abbildung 3-32: Tiefenkarte stromab von Transekt 7 im Bereich zweier Borstenelemente.
Abbildung sonst wie oben. Jedes Borstenelement bildete um sich herum einen großen Kolk, die jeweils
stromab gebildeten Sandbänke wurden in verschiedener Höhe und in verschiedenem Abstand von den
Borstenelementen akkumuliert.**



**Abbildung 3-33: Tiefenkarte stromab von Transekt 8 im Bereich zweier Borstenelemente.
Abbildung sonst wie oben. Jedes Borstenelement bildete um sich herum einen großen Kolk, die jeweils
stromab gebildeten Sandbänke vereinigten sich hier in der Mitte.**

3.3.2.3 Strukturgütekartierung nach LAWA

Einleitung

Zur Prüfung der Auswirkungen der Borstenelemente auf die Gewässerstrukturgüte der Kleinen Spree wurde vor und nach dem Einsetzen der Borstenelemente (Oktober 2005 und September 2006) je eine Gewässerstrukturgüte-Kartierung vorgenommen. Dabei wurde der Pilotabschnitt (1,265 km Länge) jeweils gemäß dem von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelten Verfahren (LAWA 1998) kartiert.

Es wird davon ausgegangen, dass die Kleine Spree - im Gegensatz zu vielen anderen Fließten - ein abschnittsweise natürlich entstandenes Gewässer darstellt (KÖHLER 1934). Allerdings ist der Abschnitt oberhalb der Straßenbrücke (zwischen den beiden rechtwinkligen Kurven) sicher künstlich angelegt bzw. sehr stark verändert worden.

Leitbild

Vor der Strukturgütekartierung muss ein Leitbild für das entsprechende Gewässer entworfen werden, das aus dem heutigen potentiell natürlichen Gewässerzustand abgeleitet wird (ZUMBROICH ET AL. 1999). Aufgrund der Lage der Kleinen Spree im Schwemmsandfächer der Spree, der sich aus südöstlicher Richtung in den Oberspreewald hinein erstreckt, wird das Gewässer dem Gewässertyp des Tiefland-Sandbachs zugeordnet.

Methodik

Zur Gewässerstrukturgüte-Kartierung nach dem Verfahren der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurden am 28.10. und 5.11.2005 im zu untersuchenden Pilotabschnitt mit Hilfe des GPS-Gerätes 9 Teilabschnitte à etwa 133 m festgelegt (Abb. 3-34).

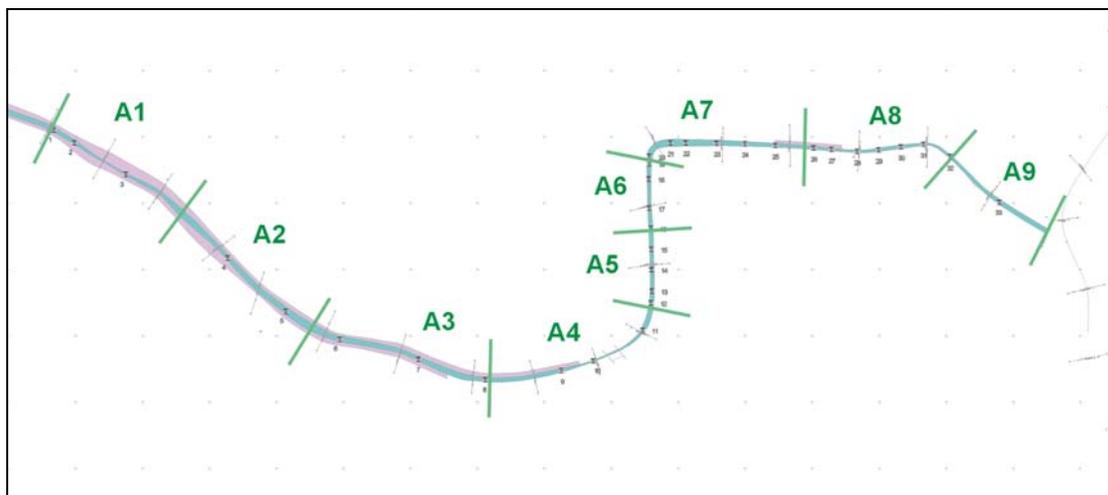


Abbildung 3-34: Lage der Kartierabschnitte an der Kleinen Spree. Die Fließrichtung verläuft von rechts nach links.

Zur Orientierung im Gelände wurden zwei Karten im Maßstab 1:1000 und 1:5000 verwendet. Der Kartierabschnitt A1 beginnt am Transekt 1 der Sediment-Querprofilaufnahmen, die weitere Nummerierung erfolgte fortlaufend flussaufwärts. An jedem Kartierabschnitt wurde ein Erhebungsbogen gemäß Verfahrensempfehlung der LAWA 1999 ausgefüllt.

Im Rahmen der Bestimmung von Substrat-Querprofilen an 33 Transekten im Testabschnitt war die Kleine Spree mit einem Spreewaldkahn befahren sowie z.T. mit Wathosen durchlaufen worden. Die dabei gewonnen Erkenntnisse zur Sedimentzusammensetzung und zur Tiefenvarianz wurden in der Strukturgüte-Kartierung berücksichtigt.

Bei der hier zunächst eingesetzten indexgestützten Bewertung wird jedem Einzelparameter in den einzelnen Kartierabschnitten eine Indexziffer zwischen 1 und 7 zugeordnet, wobei ein Index von 1 bedeutet, dass der Parameter in keiner Weise vom heutigen potentiell natürlichen Gewässerzustand abweicht (genaue Vorgehensweise siehe Arbeitsanleitung LAWA). Die Indizes der Einzelparameter können über arithmetische Mittelwertbildung zu Indizes der Hauptparameter Laufentwicklung, Längsprofil, Sohlenstruktur, Querprofil, Uferstruktur und Gewässerumfeld zusammengefasst werden. Auf gleiche Weise können Unter-Indizes für die Teilbereiche Sohle, Ufer und Land berechnet werden, sowie die Zusammenfassung zu einem Gesamtergebnis. Die Zuordnung der Indexziffern zum jeweiligen Zustand der Einzelparameter erfolgte gemäß Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland, Anhang 2 (ZUMBROICH ET AL. 1999, LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER 2000). Darüber hinaus wurde als Plausibilitätskontrolle auch eine direkte Bewertung der Gewässerstruktur durchgeführt, um die speziellen Verhältnisse im Leitbild der Spreewaldfließe zu berücksichtigen.

Ergebnisse

Gesamtbetrachtung

Die durchschnittliche Strukturgüte des Pilotabschnittes betrug vor Installation der Borstenelemente 3,7 (deutlich verändert), die sich nach der Installation auf 3,2 (mäßig verändert) verbesserte. Am schlechtesten schnitt der oberste Teilabschnitt A9 ab mit einer Strukturgüte von 4,4 (vorher) bzw. 4,2 (nachher; jeweils deutlich verändert). Am besten schnitt der direkt stromab davon gelegene Kartierabschnitt A8 ab mit einer Strukturgüte von 3,2 (vorher, mäßig verändert) bzw. 2,7 (nachher; gering verändert). Insgesamt schwankt die Strukturgüte zwischen den einzelnen Teilabschnitten nur wenig und verbesserte sich in fast allen Abschnitten deutlich.

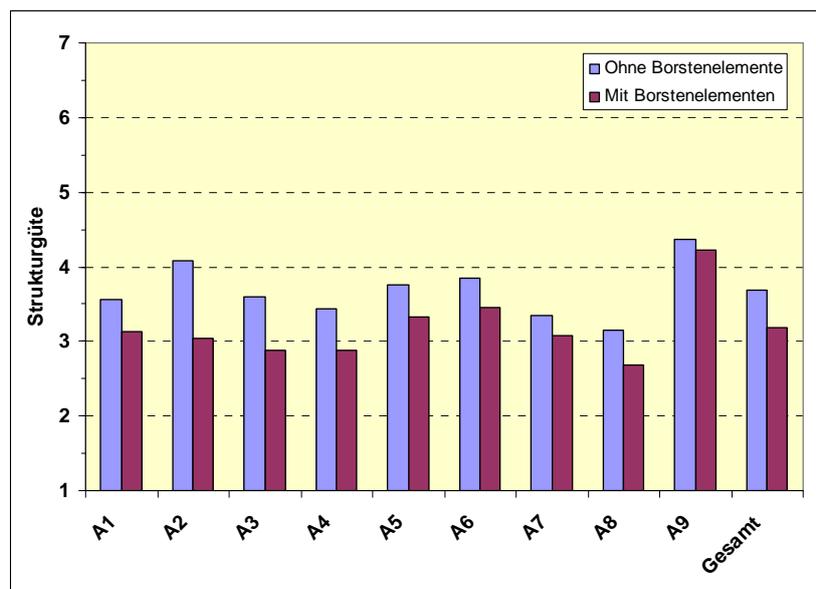


Abbildung 3-35: Strukturgüte der einzelnen Kartierabschnitte der Kleinen Spree in der Gesamtbewertung

Betrachtung der Hauptstrukturparameter

Beim Vergleich der Hauptparameter zeigt sich, dass die Kleine Spree bei der Sohlenstruktur am besten bewertet wird und bei der Laufentwicklung und der Uferstruktur am schlechtesten (Abb. 3-36). Als Folge der Installation der Borstenelemente verbesserten sich vier der sechs Hauptparameter deutlich, während Querprofil und Gewässerumfeld – wie zu erwarten – nicht beeinflusst wurden. Die Laufentwicklung ist der am stärksten anthropogen veränderte Hauptparameter. Die schlechte Bewertung kommt vor allem durch die fehlenden Längsbänke zustande. Nach Einbringung der Borstenelemente haben sich unterhalb dieser zumeist Längsbank-Ansätze entwickelt, wodurch sich die Bewertung erheblich verbesserte. Negativ bewertet wurde die größtenteils fehlende Krümmungs-erosion, welche nur in den Teilabschnitten A3 und A5 in Ansätzen erkennbar war. Besondere Laufstrukturen sind bis auf den obersten Teilabschnitt (A9) überall vorhanden. Neben zwei Sturzbäumen handelt es sich hierbei um Laufaufweitungen und Laufverengungen.

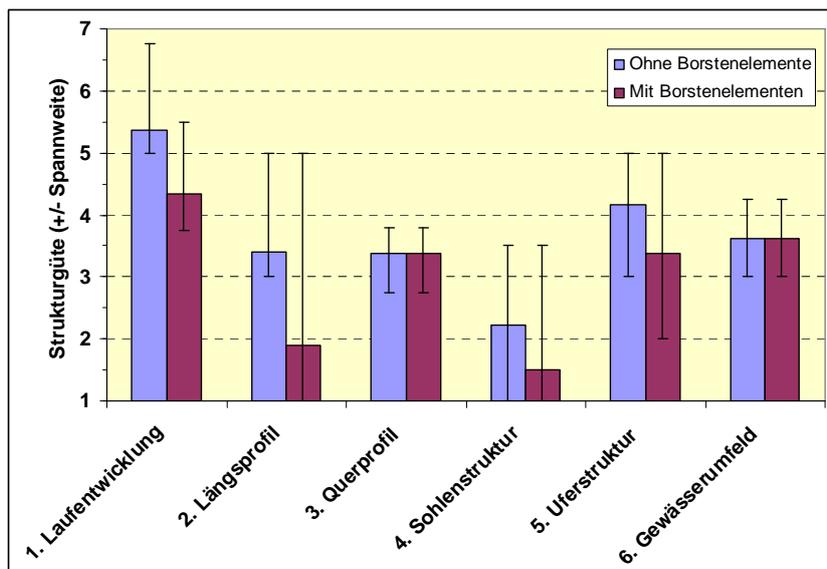


Abbildung 3-36: Mittelwerte der 6 Hauptparameter der Strukturgröße im Pilotabschnitt der Kleinen Spree

Zum Längsprofil: Querbauwerke, Rückstau und Verrohrungen sind im ganzen Testabschnitt der Kleinen Spree nicht vorhanden. Querbänke treten durchgehend auf, im letzten Teilabschnitt jedoch nur in Ansätzen. Die Strömungsdiversität war vor Einbringung der Borstenelemente überall gering, die Wasserspiegelfläche war entweder glatt oder geripelt. Die Tiefenvarianz war mäßig bis gering. Insbesondere Strömungsdiversität und Tiefenvarianz wurden durch die Borstenelemente um mehrere Gütestufen verbessert.

Zum Querprofil: Der Pilotabschnitt wurde dem Profiltyp „Erosionsprofil, tief“ zugeordnet, obwohl die Uferböschungen nicht vegetationslos sind. Das Querprofil ist jedoch aufgrund von Ausbaggerung steilwandig und nahezu rechteckförmig. Durch die ausgeprägte Ufervegetation tritt kaum Erosion auf, so dass der Profiltyp – auch durch die punktuellen Uferbefestigung an Prallhängen – erhalten bleibt. Der Gewässerabschnitt ist überwiegend flach und nur in den Teilabschnitten A2 und A5 mäßig tief. Breitenerosion tritt meist nicht auf. Die Flussbreite variiert meist nur gering, in den Teilabschnitten A6 und A7 mäßig.

Die Sohlenstruktur ist von allen Hauptparametern am wenigsten stark verändert. Das Sohlensubstrat besteht im gesamten Flussabschnitt überwiegend aus Sand, welcher im Burger Spreewald das natürliche Flusssubstrat darstellt. Sohlenverbau liegt nicht vor. Die Substratdiversität variiert stark von groß bis gering. An mehreren Stellen ist neben Sand auch Schlamm, Feinkies, Lehm und der für *Unio crassus* und andere Organismen ungünstige Treibsand vorhanden. Besondere Sohlenstrukturen bestehen meist aus submersen Makrophytenpolstern, die von *Ranunculus fluitans* (mit deutlicher Sedimentakkumulation) und *Sparganium emersum* gebildet werden. Sie waren ursprünglich vor allem in den Teilabschnitten A1, A3 und A7 vorhanden. Außerdem traten vereinzelt Wurzelfächer, Kolke und Kehrwasserpools auf. Sowohl Substratdiversität als auch die besonderen Sohlenstrukturen wurden durch die Borstenelemente vermehrt.

Der Uferbewuchs ist überall bodenständig. Größtenteils besteht er aus einer Galerie von Erlen, Eschen und vereinzelt Holundersträuchern. Teilweise ist das Ufer mit einer Krautflur und Hochstauden bewachsen. Das linke Ufer ist in A3 mit Holzfaschinen befestigt, das rechte Ufer in A6 und A7 ebenfalls. Besondere Uferstrukturen liegen im gesamten Flussabschnitt kaum vor. Neben den beiden Sturzbäumen waren während der Kartierung nur Ansätze von Baumumläufen erkennbar.

Die Flächennutzung im Gewässerumfeld erfolgt größtenteils als Grünlandnutzung. Vereinzelt liegen Bebauungen mit Freiflächen sowie Gärten vor. Als Gewässerrandstreifen ist meist nur ein Saumstreifen vorhanden. Sonstige Umfeldstrukturen liegen nicht vor.

Betrachtung der Einzelparameter

Infolge der Installation der Borstenelemente wurden im Wesentlichen sieben Einzelparameter verbessert (Abb. 3-37):

- 1.3 Längsbänke, Besondere Laufstrukturen,
- 2.5 Strömungsdiversität,
- 2.6 Tiefenvarianz,
- 4.3 Substratdiversität,
- 4.4 Besondere Sohlenstrukturen,
- 5.3 Besondere Uferstrukturen.

Durch die Verbesserungen ist bei fünf dieser Einzelparameter (ohne Längsbänke und Uferstrukturen) das operationelle Bewirtschaftungsziel durch Erreichen der Strukturgüteklasse 2 bereits erreicht.

Auffällig sind die vor Einbau der Borstenelemente festgestellten starken Unterschiede im Auftreten von „Besonderen Laufstrukturen“ (Einzelparameter 1.4) zwischen den einzelnen Kartierabschnitten, die nach dem Einbau infolge der durchgehenden strukturellen Verbesserungen verschwanden.

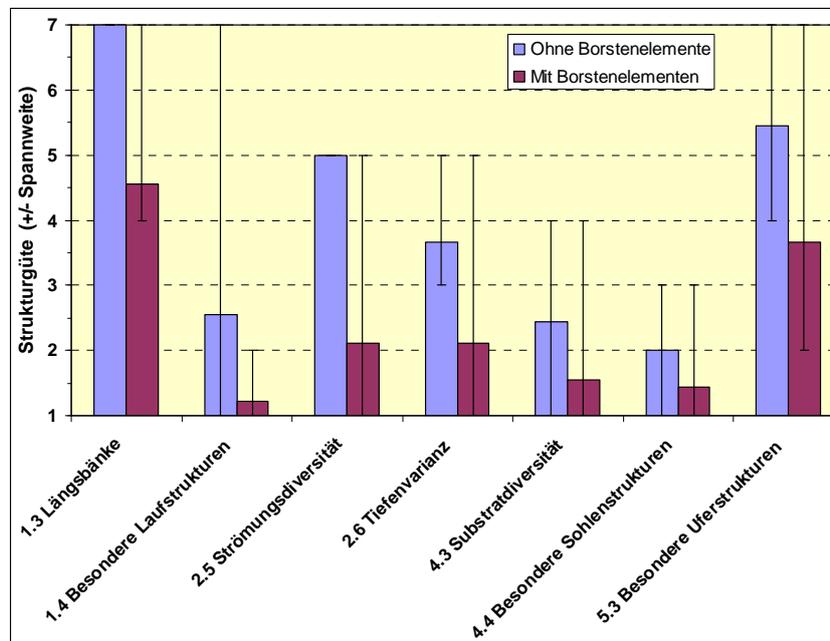


Abbildung 3-37: Mittelwerte der durch die Borstenelemente beeinflussten Einzelparameter der Gewässerstrukturgüte in der Pilotstrecke der Kleinen Spree (Mit Minima und Maxima innerhalb der 9 Kartierabschnitte und Bewertung der Einzelparameter jeweils vor und nach dem Einbau der Borstenelemente.)

Zusammenfassung

Die durchschnittliche Strukturgüte des Pilotabschnittes betrug vor Installation der Borstenelemente 3,7 (deutlich verändert), die sich nach der Installation auf 3,2 (mäßig verändert) verbesserte.

Wie zu erwarten, wirkte sich die Einbringung der Borstenelemente auf die die Sohle bewertenden Hauptparameter (1, 2, 4) deutlich aus, auf die Ufer-Hauptparameter (3, 5) nur in geringem Umfang, und auf das Umland (6) überhaupt nicht.

Zwischen den Teilabschnitten schwankt die Strukturgüte nur mäßig, der Abschnitt A9 wurde jedoch am schlechtesten bewertet. Deutlich negativ wirkten sich die fehlenden Längsbänke, die größtenteils fehlende Krümmungserosion und der Profiltyp „Erosionsprofil, tief“ auf das Gesamtergebnis aus. Negativ zu bemerken ist auch das Fehlen eines mindestens 5 m breiten Gewässerrandstreifens.

Stattdessen wird das Gewässerumfeld vielfach bis nahe an das Fließ als Weideland genutzt, so dass bestenfalls ein Saumstreifen (2 – 5 m) verbleibt.

Durch den Einbau der Borstenelemente wurde der Stromstrich umgelenkt, die Strömungs- und Substratdiversität erhöht, das Wasser etwas zurückgestaut und die Tiefenvarianz durch Anlandungen und Auskolkungen deutlich erhöht. Als Sekundäreffekt stellten sich kleine Treibholzansammlungen ein. Die beobachteten kurzfristigen Effekte der Borstenelemente können natürlicherweise ähnlich auch im Umfeld von Sturzbäumen und Treibholzverkläuerungen beobachtet werden. Die Borstenelemente leisten somit einen erheblichen Teil der von solchen Strukturen geleisteten Dynamisierung eines Gewässerabschnitts. Aus ästhetischer Sicht sind die Borstenelemente unauffällig, sobald sie von Periphyton überwachsen sind und Ansammlungen von Falllaub und Getreibsel enthalten.

3.3.3 Auswirkungen auf die Besiedlung mit Großmuscheln

3.3.3.1 Material und Methoden

Auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der Muschelkartierung des Jahres 2005 wurden jeweils vier Borstenelemente in einem Abschnitt mit stabilen feinsandigen und teilweise organischen Sedimenten sowie Makrophytenbewuchs (Transsekte 12-15, Borstenelemente 45-48) und einem Abschnitt mit instabiler feinsandiger Sohle sowie fehlenden Makrophyten (Transsekte 5-6, Borstenelemente 79-82) für das Einsetzen der markierten Tiere ausgewählt.



Abbildung 3-38: Zum Aussetzen der markierten Muscheln ausgewählte Abschnitte der Pilotstrecke (links: Bereich der Elemente 45-48, rechts: Bereich der Elemente 79-82)

Die Entnahme der zur Markierung vorgesehenen Tiere erfolgte am 19.05.2006 in einem Abschnitt der Kleinen Spree direkt unterhalb der Pilotstrecke. Es gelang, insgesamt 199 Großmuscheln mit dem Drahtsiebescher zu bergen, wobei 56 Tiere der Art *Unio crassus*, 112 Tiere der Art *Unio pictorum* und sechs Tiere der Art *Unio tumidus* bestimmt werden konnten. *Pseudanodonta complanata* und *Anodonta anatina* waren mit 1 bzw. 24 Exemplaren vertreten.

Alle entnommenen Muscheln wurden den einzelnen Arten zugeordnet und mit einer laufenden Nummer und dem Anfangsbuchstaben des Artnamens unter Verwendung eines weißen Edding-Marker markiert (Abb. 3-39). Anschließend wurden die Tiere gleichmäßig auf die einzelnen Elemente verteilt und mittig unmittelbar hinter jedem Element eingesetzt. Da bei Wassertiefen von bis zu 1,5 m weder mit dem Schauglas noch per Schnorcheln die markierten Muscheln erfolgreich wieder aufgefunden werden konnten, erfolgten die Nachkontrollen daraufhin am 01.06., 16.06., 22.06. und 30.06.2006 tauchend.

Die Positionen und die besiedelten Habitate der beim Tauchen lokalisierten Muscheln wurden notiert und die Muscheln wieder an ihre Standorte zurückgesetzt. Eine Kennzeichnung der Muschelpositionen durch kleine Holzstöckchen sollte zudem die spätere Nachsuche erleichtern. Nichtmarkierte, eingewanderte Tiere kamen dahingehend zur Auswertung, dass ebenfalls deren Position und die entsprechenden Standortverhältnisse notiert wurden.



Abbildung 3-39: Markierte Großmuscheln

Abschließend führten die Bearbeiter am 06.07.2006 mit Hilfe von Drahtsiebkeschern (Maschenweite ca. 10 mm) an 24 weiteren Borstenelementen eine Muschelsuche selektiv nach den vorkommenden typischen Sohlstrukturen unterhalb der Borstenelemente durch.

3.3.3.2 Ergebnisse

Während der vier Betauchungen lag die Wiederfindungsrate der eingesetzten Muscheln bei 15 – 45 %. Insgesamt wurden von den 199 eingesetzten Muscheln 136 Tiere (68 %) mindestens einmal, 46 Tiere (23 %) mindestens zweimal, 26 Tiere (13 %) mindestens dreimal und vier Tiere (2 %) viermal beobachtet. Die Wiederfunde in Bezug auf die konkrete Anzahl eingesetzter Tiere gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle 3-4: Anzahl der eingesetzten Muscheln und Wiederfunde an den einzelnen Tauchterminen

Datum	<i>Unio crassus</i>	<i>Unio pictorum</i>	<i>Unio tumidus</i>	<i>Anodonta anatina</i>	<i>Pseudanodonta complanata</i>	gesamt	[%]
Anzahl der eingesetzten Tiere							
19.05.06	56	112	6	24	1	199	100
Anzahl der wieder gefundenen Tiere							
01.06.06	12	10	0	8	0	30	15
16.06.06	20	43	0	11	0	74	37
22.06.06	32	50	3	7	0	92	46
30.06.06	14	34	2	7	0	57	29

Der Großteil der Individuen hatte sich zumindest oberflächennah im Sediment eingegraben. Für einige wenige Muscheln konnte jedoch auch ein Verlassen des kartierten Bereiches festgestellt werden. Bezüglich der durch die einzelnen Arten besiedelten Standorte können die Beobachtungen der Betauchungen in der folgenden Tabelle wie folgt zusammengefasst werden.

Tabelle 3-5: Nachweise der Arten - zugeordnet zu den ausgeschiedenen Habitaten einschließlich unmarkierter Tiere

Art	Kolk	Stromrinne	Auflandung	Längsbank	Außerhalb d. entw. Strukturen	Wiederfunde summarisch
<i>A. anatina</i>	3 (9%)	14 (44%)	6 (19%)	9 (28%)	--	32 (100%)
<i>Unio crassus</i>	41 (47%)	26 (29%)	5 (6%)	11 (12%)	5 (6%)	88 (100%)
<i>U. pictorum</i>	59 (40%)	40 (29%)	16 (11%)	16 (11%)	9 (6%)	140 (100%)
<i>U. tumidus</i>	3 (60%)	--	--	2 (40%)	--	5 (100%)
<i>P. complanata</i>	--	--	--	--	--	0

Zu beachten ist jedoch, dass die Tabelle summarisch alle Sichtungen auflistet. In diesen Ergebnissen sind somit auch Mehrfachbeobachtungen einzelner Individuen bei den Nachsuchen enthalten.

Die Auswertung der Fundergebnisse hinsichtlich der Mobilität der Tiere gestaltete sich schwierig, da mehrere der bei einer Betauchung lokalisierten Tiere zum nächsten Termin nicht wieder nachgewiesen werden konnten. Dagegen fanden sich ständig Exemplare, die bei den vorangegangenen Betauchungen noch nicht erfasst wurden. Im Zuge der letzten Betauchung am 30.06.2006 konnten beispielsweise insgesamt 57 Muscheln kartiert werden. Davon waren 16 Individuen bislang nicht registrierte Neufunde. Für 26 Tiere konnte gegenüber dem 22.06., 16.06. bzw. 01.06. keine Ortsveränderung nachgewiesen werden, wogegen sich 15 Tiere innerhalb der untersuchten Bereiche bewegten. Dabei wurden Strecken zwischen 0,1 und maximal 2,9 m zurückgelegt, ohne dass Unterschiede innerhalb der Arten im Hinblick auf die Wanderungsaktivität erkennbar wären.

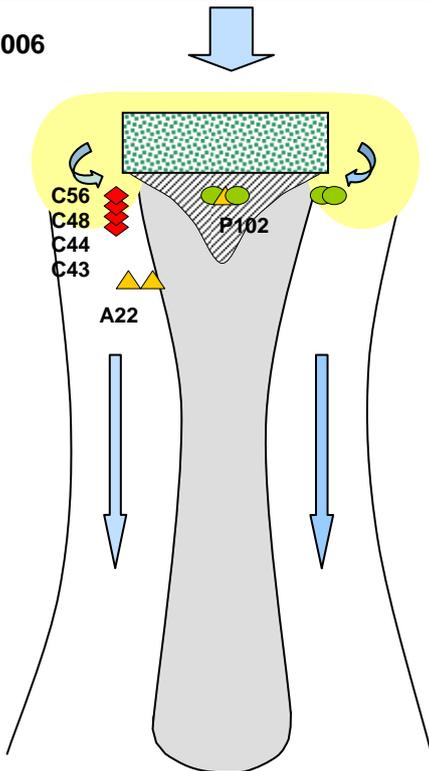
Aus den Beobachtungen ist erkennbar, dass sich *Unio crassus* primär in den Stromrinnen und Kolken sowohl stromauf als auch stromab bewegte und diese nur selten verließ, um z.B. die Längsbank aufzusuchen oder den kartierten Bereich um die Elemente zu verlassen. Mehrfach konnte sogar das Verlassen der Längsbank zur Stromrinne hin beobachtet werden. Einzelindividuen aller Arten legten auch größere Strecken von bis zu 13 m zurück und wanderten zu einem benachbarten ober- oder unterhalb gelegenen Element. Abbildung 3-40 verdeutlicht beispielhaft die Wanderbewegungen am Borstenelement 82.

Tabelle 3-6 gibt die durch das gezielte Abkeschern am 06.07.2006 der im Einflussbereich der Borstenelemente hinsichtlich der Besiedlung der unterschiedlichen Sohlstrukturen gewonnenen Ergebnisse wieder. Dabei trat *Unio crassus* als häufigste Art auf und fand sich bis auf ein Exemplar fast gleich verteilt nur in Kolken und Stromrinnen.

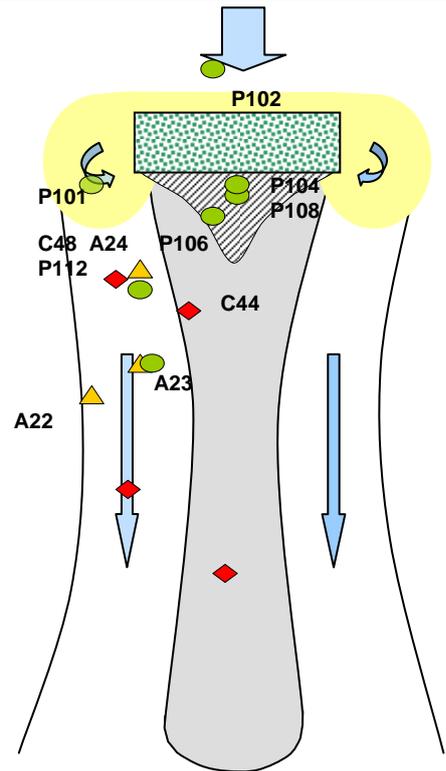
Tabelle 3-6: Anzahl und Anteile der durch Abkeschern am 06.07.2006 in den selektiv beprobten Teilstrukturen aufgefundenen Großmuscheln

Art	Kolk	Stromrinne	Auflandung	Längsbank	gesamt
<i>A. anatina</i>	5 (25%)	4 (20%)	3 (15%)	8 (40%)	20 (100%)
<i>Unio crassus</i>	18 (46%)	20 (51%)	--	1 (3%)	39 (100%)
<i>U. pictorum</i>	7 (24%)	11 (38%)	--	11 (38%)	29 (100%)
<i>U. tumidus</i>	--	2 (100%)	--	--	2 (100%)
<i>P. complanata</i>	1 (25%)	2 (50%)	--	1 (25%)	4 (100%)

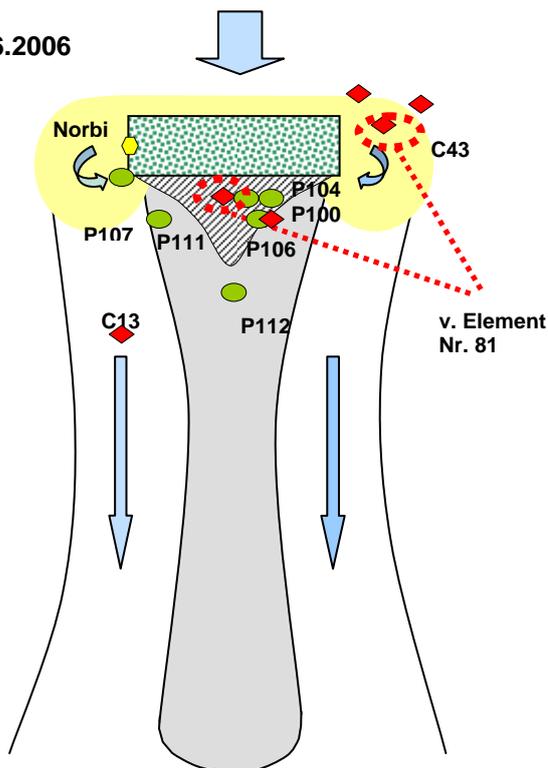
01.06.2006



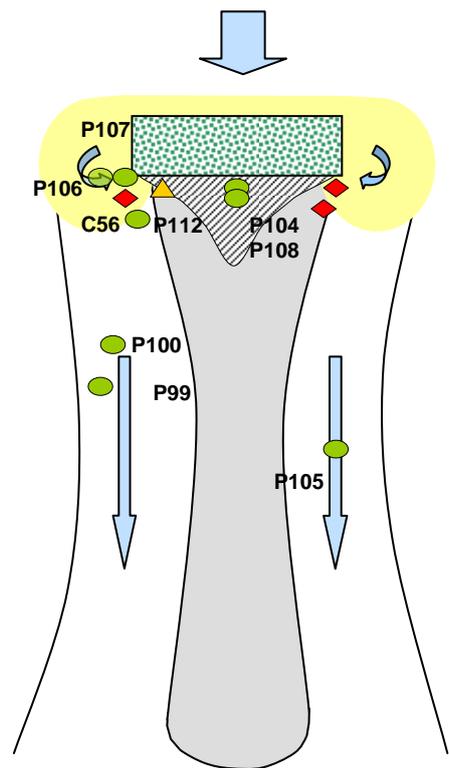
16.06.2006



20.06.2006



30.06.2006



Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*)
Große Flussmuschel (*Unio tumidus*)



Malermuschel (*Unio pictorum*)
Teichmuschel (*Anodonta anatina*)



Abbildung 3-40: Wanderverhalten der Muscheln am Borstenelement Nr. 82. Besiedlung der Strukturen am Borstenelement an den 4 Betauchungsterminen. Darstellung im Maßstab 1:300.

3.3.3.3 Auswertung und Diskussion

Die Mehrzahl der erfassten Muscheln siedelte sich in den Kolken und Stromrinnen in Nähe der Borstenelemente, auch oberhalb eines Elementes, an. *Unio crassus* bevorzugte dabei erwartungsgemäß die strömungsbegünstigten Bereiche (Kolke, Stromrinnen, Neigungen der Sohle zu den Kolken und Stromrinnen).

Unio pictorum fand sich sowohl in strömungsberuhigten Bereichen (Längsbank, Strömungsschatten der Borstenelemente) als auch in den gut durchströmten Kolken und Stromrinnen an der Seite von *Unio crassus*. *Anodonta anatina* scheint ebenfalls über ein breiteres Spektrum der besiedelbaren Habitate zu verfügen. Sie trat in den Stromrinnen, im Strömungsschatten auf den Auflandungen unterhalb der Elemente sowie den anschließenden Längsbänken auf. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen aus den Kartierungsarbeiten (vgl. 2.1). Die individuenarmen Nachweise von *Pseudanodonta complanata* und *Unio tumidus* lassen zumindest im Rahmen dieser Untersuchungen keine klaren Aussagen zum bevorzugten Habitat zu. *Unio tumidus* fand sich in Kolken und auf einer Längsbank und *Pseudanodonta complanata* schien ähnlich wie *Unio crassus* strömungsbegünstigte Bereiche zu präferieren.

Beim Vergleich der Ergebnisse aus den Betauchungen und dem abschließenden Abkeschern fallen besonders bei *Unio pictorum* und *Anodonta anatina* größere Abweichungen bei der Bevorzugung der Habitate auf. Durch das Keschern kann die Lokalisierung der Muscheln nicht mit einer vergleichbaren Genauigkeit, wie beim Betauchen erfolgen. Festzustellen ist aber, dass im Bereich der oberhalb der Straßenbrücke befindlichen Elemente Nr. 45-48 im Vergleich zu den Elementen 79-82 ursprünglich bereits relativ vielgestaltige Sohlstrukturen mit stabilem Sediment und differenzierteren Strömungsverhältnissen vorhanden waren. Durch die Borstenelemente wurde die Strömungs- und Strukturvielfalt jedoch wesentlich erhöht. Auf stabile Sohlverhältnisse in diesem Abschnitt deutet auch das hier beobachtete häufige Auftreten der Grünen Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*), die nach BRINKMANN (2002) ungestörte Sedimente bevorzugt. Demgegenüber befinden sich die Borstenelemente Nr. 79-82 in einem Bereich der Pilotstrecke mit Treibsand und damit besonders im Stromstrich mit instabiler Gewässersohle. Infolge des Einbaus der Elemente kam es dort ebenfalls zur Entwicklung von Kolken und Stromrinnen sowie Auflandungen im Strömungsschatten der Elemente. Stabile Sohlbereiche konnten jedoch nur in den tieferen Kolkbereichen, der Sohle der Stromrinne und der abstromigen Auflandung bis in einer Entfernung von maximal 2,0 m unterhalb der Elemente registriert werden. Die umgebenden instabilen, feinsandigen Sedimente führten somit vermutlich zu einer Konzentration der Muscheln in den stabilen Sohlbereichen. Besonders in diesem Abschnitt konnte beispielsweise *Unio pictorum* sehr häufig in den strömungsbegünstigten Strukturen angetroffen werden. Vermutlich war die Stabilität der Sohle in diesen Strukturen der ausschlaggebende „Beweggrund“ für die Art, vermehrt in Kolken und Stromrinnen zu siedeln.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass sich die in der Pilotstrecke der Kleinen Spree entwickelten Sohlstrukturen für eine Besiedlung durch Großmuscheln, besonders für *Unio crassus* eignen. Die Abbildungen 3-41 und 3-42 vermitteln zudem einen Eindruck von der Ausdehnung der besiedlungsfähigen Habitate vor und ca. ½ Jahr nach Einbau der Borstenelemente, wie sie durch Lebendnachweise im Zuge der Kartierungsarbeiten im Jahre 2005 und der Betauchungen im Jahre 2006 ausgeschieden werden konnte.

In der Treibsandzone konnten sich alle Großmuscheln ursprünglich lediglich in vor der Sandfracht geschützten Stromrinnen unmittelbar unterhalb der Ufer behaupten. Der überwiegende Teil der Gewässersohle wies besiedlungsfeindliche, instabile, feinsandige Sedimente auf. Stabile Sedimente finden sich nunmehr jedoch auch in den stärker durchströmten Kolken und oberen Abschnitten der Stromrinnen sowie in den Auflandungen im Strömungsschatten der Borstenelemente und in den ufernahen Sedimentationsbereichen bei Einschränkung oder Verschluss der ufernahen Umströmung. Durch den Einbau der Borstenelemente hat sich somit der Anteil der besiedlungsfähigen Habitate der Gewässersohle stark erhöht. Dies betrifft sowohl den ursprünglich bereits durch stabile feinsandige bzw. organische Sedimente charakterisierten Abschnitt als auch den durch Treibsand gekennzeichneten Bereich. Ohne die Ausdehnung dieser Habitate ausgemessen zu haben, lässt sich deren jetzige Verbreitung in der Pilotstrecke auf das 2- bis 4-fache gegenüber dem ursprünglichen Zustand schätzen. Wesentliche Bedeutung kommt dabei auch dem auf der Sohle und vor den Elementen abgelagertem Totholz zu.



Abbildung 3-41: Ausdehnung der besiedlungsfähigen Habitats zwischen den Elementen 45-48 (links vor und rechts nach Einbau der Borstenelemente)



Abbildung 3-42: Ausdehnung der besiedlungsfähigen Habitats zwischen den Elementen 79-82 (links vor und rechts nach Einbau der Borstenelemente)

Es ist davon auszugehen, dass sich die Lebensbedingungen für rheophile Arten im Bereich der Borstenelemente verbessert haben. Diese These sollte durch Untersuchungen zur Reproduktion von *Unio crassus* in der Pilotstrecke in den nächsten Jahren weiter untersucht werden.

Bis auf die beschriebene Tendenz, dass es häufig zu einem Verschluss (und ggf. späteren erneuten Öffnung) der ufernahen Umströmung der Elemente einschließlich der damit im Zusammenhang stehenden Sedimentations- und Erosionsvorgänge kommen kann, vermitteln die eingestellten Sohlstrukturen während der Tauchgänge einen relativ statischen Eindruck. Maßgebliche kurzfristige Änderungen an der Ausprägung der Sohlstrukturen sind vermutlich lediglich bei Festsetzen größerer Strömungshindernisse (z.B. größere Äste) oder bei selten auftretenden Abflussschwankungen in der Kleinen Spree zu erwarten. Dynamische Sohlentwicklungen sind jedoch ein Charakteristikum natürlicher und naturnaher Fließgewässer mit entsprechendem natürlichem Abflussregime.

3.3.4 Auswirkungen auf das Makrozoobenthos

3.3.4.1 Material und Methode

Zur Bewertung des Effekts der Borstenelemente auf die wirbellosen bodenlebenden Kleintiere (Makrozoobenthos) in der Kleinen Spree wurde die Makrozoobenthosbesiedlung von Borstenelementen mit der des übrigen Gewässerbettes (Referenz) verglichen. Hierzu wurde am 13.05.2006 mit einem großen Kescher (Maschenweite 300 µm, Öffnung 50 cm x 50 cm, 100 cm Tiefe) acht Borstenelemente beprobt. Zusätzlich wurden jeweils in unmittelbarer Nähe zu den Borstenelementen vier unveränderte Referenzflächen etwa gleicher Grundfläche beprobt. Dabei wurden relativ gut struktu-

rierte Teilflächen mit etwas abgelagertem Falllaub beprobt. In den reinen Sandflächen, insbesondere Treibsandflächen, leben nur wenige Wirbellose.

Die gefangenen Tiere wurden in konserviertem Zustand (in 70 % Alkohol) im Labor sortiert, gezählt (bei Massenvorkommen nur Teilproben mit bekanntem Anteil) und mittels Binokular und Mikroskop taxonomisch bestimmt. Zusätzlich wurde das mit eingesammelte Getreibsel (grobes partikuläres organisches Material = GPOM) separiert und im Trockenschrank (4 h bei 105 °C) getrocknet.

3.3.4.2 Ergebnisse

In den Proben wurden etwa 1.700 Tiere gezählt und 48 verschiedene Taxa (Arten und höhere taxonomische Einheiten) bestimmt (PUSCH ET AL., 2006). Die Abundanz pro Probe bewegte sich zwischen 187 (Borstenelement 54) und 5.456 (Referenzprobe Makrophyten) Tieren. Erwähnenswert sind dabei die Funde der Larven der Eintagsfliegen *Caenis macrura*, *Heptagenia sulphurea* und *Seratella ignita*, der Grundwanze *Aphelocheirus aestivalis*, der Libellen *Gomphus vulgatissimus* (Gemeine Keiljungfer) und *Ophiogomphus cecilia* (Grüne Keiljungfer), der Steinfliegen aus der Familie der Nemouridae, der Köcherfliegen *Brachycentrus subnubilus*, *Hydropsyche pellucidula*, *Lype phaeopa/reducta* und *Polycentropus irroratus*. In den Borstenelementen wurden außerdem zwischen 8 und 162 g (Trockengewicht) an Grob partikulärem Material (GPOM) gesammelt.

Die Borstenelemente zeigten insgesamt eine dichte Makrozoobenthosbesiedlung (Abb. 3-43 bis 3-45), die überwiegend höher lag als auf dem wenig strukturierten sandigen Gewässergrund. In den Borstenelementen wurde durchschnittlich jeweils 65 Flohkrebse (*Gammarus roeselii*) gefunden gegenüber 23 auf den Referenzflächen (ohne Erlenwurzeln). Ein ähnliches Verhältnis war bei den wasserlebenden Ringelwürmern (Oligochaeta) festzustellen (388 zu 174 Einzeltiere). Beide Tiergruppen sind an der Aufarbeitung des in den Borstenelementen angesammelten Falllaubs beteiligt und bilden eine wichtige Nahrung für Fische. Außerdem wurden ausschließlich in den Borstenelementen durchschnittlich jeweils 1,5 Larven der Köcherfliege *Hydropsyche pellucidula* gefunden. Diese Köcherfliegenlarven bauen Netze, mit denen sie Schwebstoffe und Kleintiere aus dem fließenden Wasser fangen. Sie sind so auf stabile Strukturen in strömendem Wasser (mindestens ca. 20 cm/s) angewiesen. Natürlicherweise würden sie in der Kleinen Spree untergetauchte Totholzansammlungen besiedeln. Es ist zu erwarten, dass mit dem Vorhandensein der Borstenelemente sich die *Hydropsyche*-Population in den Folgejahren deutlich vergrößern wird.

Erfreulicherweise waren die Borstenelemente, die im Bereich von Makrophytenbeständen eingesetzt worden waren, jedoch nur mit 18 % der Dichte an Kriebelmückenlarven (Simuliidae) besiedelt im Vergleich zu den dort vorhandenen Makrophyten. Die Borstenelemente tragen somit nicht zur Erhöhung des Bestands dieser blutsaugenden Mücken bei, die bevorzugt auf flutenden Wasserpflanzen siedeln. Die Makrozoobenthosabundanz lag daher in diesen Borstenelementen insgesamt deutlich niedriger als in dieser Referenzfläche (Abb. 3-44). In der Referenzfläche, die in einem Bestand des Flutenden Hahnenfußes lag, bestand das Makrozoobenthos zu 89 % aus Kriebelmückenlarven.

Betrachtet man die gesamte Makrozoobenthosgemeinschaft ohne die Kriebelmücken (Simuliidae, s.o.), waren die Borstenelemente mit durchschnittlich 1.024 Tieren deutlich dichter besiedelt als die Referenzflächen mit 612 Tieren.

Die Borstenelemente waren in allen drei untersuchten Gewässerabschnitten artenreicher besiedelt als andere Gewässerstrukturen (außer Erlenwurzeln). Der festgestellte intensive Rückhalt von GPOM lässt für die Zukunft eine weitere positive Populationsentwicklung erwarten infolge der Zudriftung von Individuen, und insbesondere auch durch die Fortpflanzung der gefundenen Populationen.

Die Getreibselmenge (GPOM-Menge) stellt für viele Makrozoobenthos-Taxa einen der wichtigsten Lebensraumsfaktoren dar, wie an den Korrelationen mit der Taxazahl und der Abundanz bestimmter Taxa zu erkennen ist (Abb. 3-46 und 3-47).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die sich in den Borsten bildenden Geschwemmselansammlungen diese dichter und artenreicher durch bodenlebende Wirbellose (Makrozoobenthos) besiedelt sind als die meisten übrigen Gewässerbereiche.

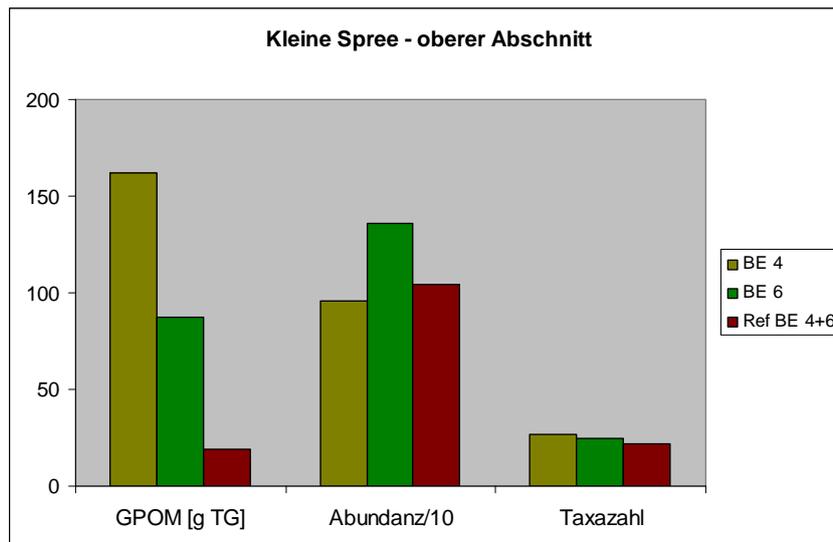


Abbildung 3-43: Vergleich von GPOM und Makrozoobenthosbesiedlung in Borstenelement 4 und 6 mit der Referenzfläche.

Vergleich der Menge an grobem partikulären organischen Material (GPOM) sowie Abundanz und Taxazahl des Makrozoobenthos in den Borstenelementen 4 und 6 im oberen Abschnitt der Kleinen Spree mit einer Referenzprobe vom benachbarten Gewässergrund. Zur besseren Darstellung wurden die realen Abundanzwerte durch 10 dividiert. Die Taxazahl berücksichtigt nicht die schwer bestimmbareren Tiergruppen Chironomidae, Simuliidae, Oligochaeta.

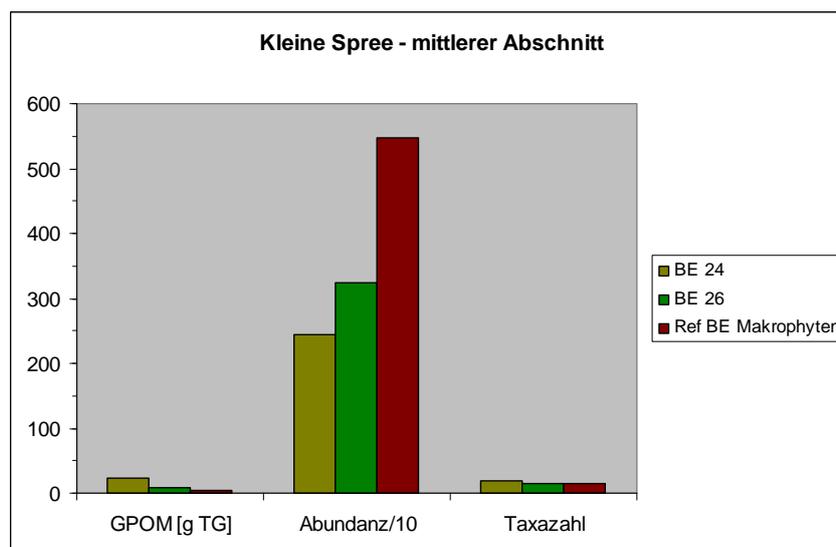


Abbildung 3-44: Vergleich der Menge an GPOM mit der Makrozoobenthosbesiedlung in den Borstenelementen 24 und 26 mit der Referenzfläche

Vergleich der Menge an grobem partikulären organischen Material (GPOM) sowie Abundanz und Taxazahl des Makrozoobenthos in den Borstenelementen 24 und 26 im von submersen Makrophyten dominierten mittleren Abschnitt der Kleinen Spree mit einer Referenzprobe aus einem benachbarten natürlichen Makrophytenbestand. Darstellung wie in Abb. 3-43.

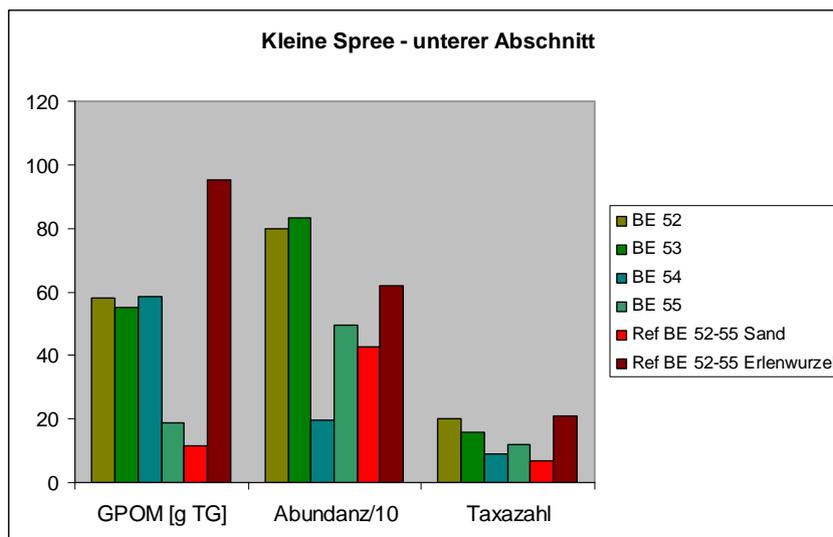


Abbildung 3-45: Vergleich der Menge an GPM mit der Besiedlung in den Borstenelementen 52-56 mit der Referenzfläche

Vergleich der Menge an grobem partikulären organischen Material (GPM) sowie Abundanz und Taxazahl des Makrozoobenthos in den Borstenelementen 52 bis 56 im unteren Abschnitt der Kleinen Spree mit zwei Referenzproben vom benachbarten sandigen Gewässergrund sowie aus benachbarten submersen Erlenwurzeln. Darstellung wie in Abb. 3-43.

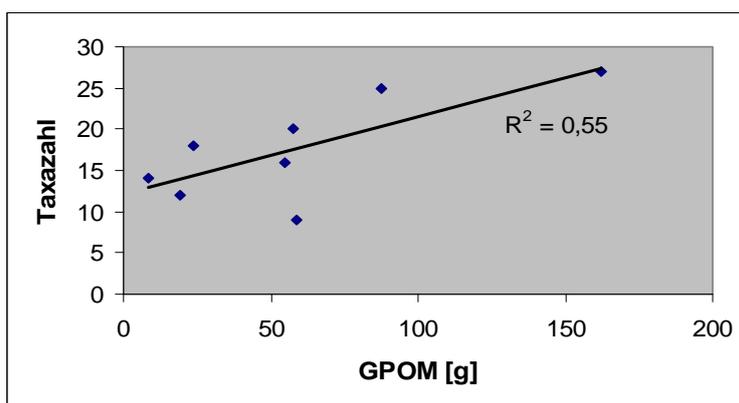


Abbildung 3-46: Korrelation und Trendlinie zwischen der Makrozoobenthos-Taxazahl und der in den Borstenelementen zurückgehaltene Menge an GPM

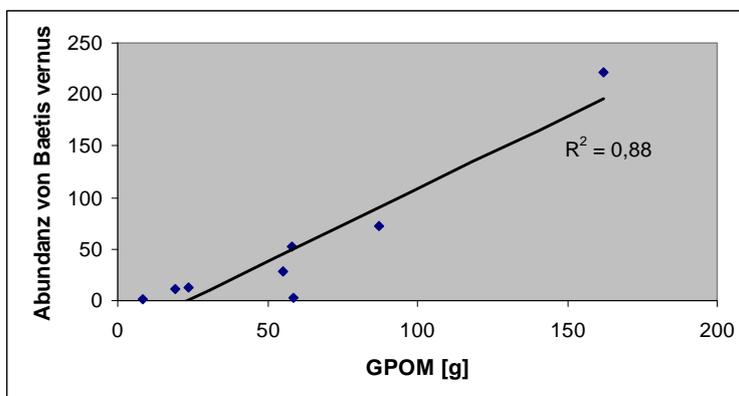


Abbildung 3-47: Korrelation und Trendlinie zwischen der Abundanz der Eintagsfliegenlarve *Baetis vernus* und der in den Borstenelementen zurückgehaltene Mengen an GPM

3.3.5 Auswirkungen auf die Fischfauna

Im Rahmen der Bestandserfassung zur Fischfauna wurde auch die Pilotstrecke in der Kleinen Spree beprobt (vgl. Kap. 2.2.2). Dazu erfolgte je eine Aufnahme im Oktober 2005 und Mai 2006. Aus der geringen Datenlage lassen sich zwar noch keine signifikanten Aussagen zur Wirkung der Borstenelemente auf die Fischfauna ableiten, die Ergebnisse sollen hier dennoch dargestellt werden.

Obwohl die Strecke vor dem Borsteneinbau eine relativ variable Strömung und auch eine gewisse Tiefenvarianz aufwies, wurden hier vor dem Borsteneinbau nur 11 Fischarten gefangen. Deren Dominanzindex lag auf Grund der großen Abundanz von Ukelei und Plötze bei 82 % und der Diversitätsindex bei 0,66 (vgl. 2.2.2.2). Beide Indizes weisen eine starke Abweichung des Fischbestandes von der natürlichen Zusammensetzung aus. Positiv ist zu vermerken, dass drei rheophile Arten (Döbel, Aland, Gründling) präsent waren. Die Gesamtabundanz aller Fische lag bei 59,5 Ind./100 m.

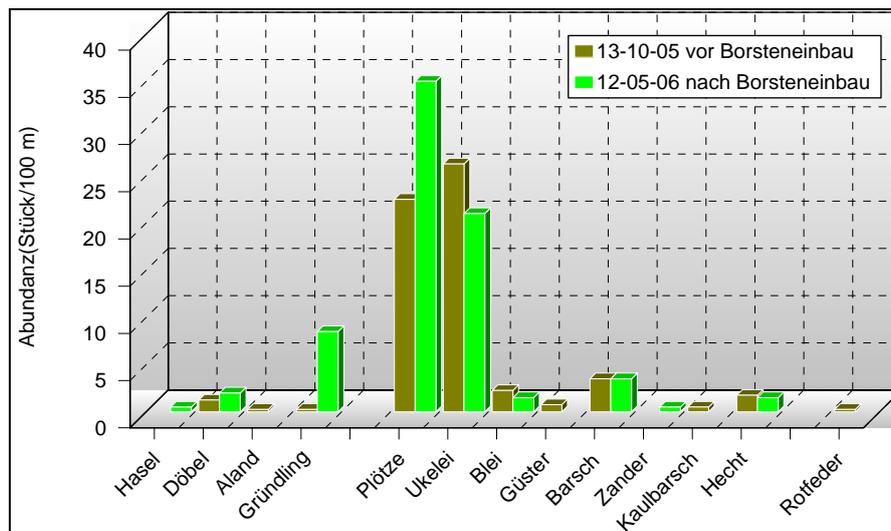


Abbildung 3-48: Vergleich der Abundanzen der Fischarten in der Kleinen Spree vor und nach dem Einbau der Borstenelemente

Nach dem Borsteneinbau waren geringfügige Veränderungen im Fischbestand ansatzweise erkennbar. Die Anzahl präsenten Arten sank auf neun. Die eurytrophe Güster und die limnophile Rotfeder wurden nicht mehr nachgewiesen, ebenso wie der rheophile Aland.

Dagegen wurde nun die im Untersuchungsgebiet seltene rheophile Hasel zwischen den Borstenelementen nachgewiesen. Döbel und vor allem Gründlinge waren häufiger im Gewässerabschnitt, was als Wirkung der größeren Strömungsdiversität gewertet werden kann. Besonders die Aufenthaltsorte der meisten rheophilen Fische direkt in den Strömungsrinnen zeigt, dass die Fische auf solche Strukturveränderungen reagieren, die auch beim Einbringen von Totholz oder größeren Steinen zu beobachten sind.

Die Veränderungen in der Artzusammensetzung dürfen aber nicht überbewertet werden, da es sich sowohl vor als auch nach dem Einbau der Borstenelemente um jeweils nur eine Beprobung handelte und die meisten Arten nur in sehr geringer Abundanz präsent waren.

Nach dem Borsteneinbau war der Dominanzindex des Fischbestandes geringfügig gesunken (76 %). Der Diversitätsindex war aber gleich geblieben (0,68).

Generell deutet sich an, dass sich die Strukturveränderungen durch die Borstenelemente auch auf den Fischbestand auswirken werden. Um das nachzuweisen, müsste allerdings in einem größeren zeitlichen Abstand der Fischbestand erneut erfasst werden.

3.4 Sozioökonomische Betrachtungen

3.4.1 Befahrbarkeit und Akzeptanz der Borstenanlage

Die Anordnung der Borstenelemente erfolgte in der Art, dass eine freie befahrbare Rinne für die Kähne erhalten blieb.

Stromab ist die Befahrung innerhalb dieser Fahrrinne ohne Probleme möglich. Auch die Elemente selbst können von den Kähnen stromab „überfahren“ werden. Damit besteht die Möglichkeit, dass sich Kähne und Boote auf der Strecke begegnen bzw. überholen. Beim „Überfahren“ der Borstenelemente kommt es erwartungsgemäß zu einem Abbremsen der Fahrtgeschwindigkeit. In Abhängigkeit vom Wasserstand und der Schwimmtiefe des Kahnes ist dann zwar ein höherer Energieeinsatz für die Weiterfahrt notwendig, grundsätzlich ist die Befahrbarkeit mit Kähnen aber gegeben.

Die stromaufwärts gerichtete Fahrt mit Kähnen gestaltet sich schwieriger. Aufgrund der differenzierten hohen Fließgeschwindigkeiten in der Strecke und der Bremswirkung der stromab geneigten Borsten ist die Befahrung für Kähne nicht praktikabel. In möglichen Folgeprojekten sollte deshalb die Gestalt und Anordnung der Borstenelemente so verändert werden, dass die Befahrung auch stromauf möglich ist. Um eine befahrbare Rinne zu erhalten, können die Borstenelemente z.B. tiefer gesetzt oder niedriger gestaltet werden.

Für Paddelboote bestehen aufgrund ihrer Wendigkeit keine Probleme in beiden Richtungen, da sie die Elemente einfach umfahren können. Nach Aussagen von Boottouristen wird der durch Borsten veränderte Pilotabschnitt durch die erhöhte Strömungsdiversität als interessant empfunden.

Die Borstenelemente werden durch Rudel (Stakruder für Kähne im Spreewald) oder Paddel offensichtlich nicht beeinträchtigt.

3.4.2 Unterhaltung

Im Rahmen des Projektes war auch zu untersuchen, ob die Borstenelemente zu vermehrter Ansammlung von Treibholz und Geschwemmsel führen und damit die Befahrbarkeit in Frage gestellt wird.

Tatsächlich ist es im Winterhalbjahr zu solchen Ansammlungen gekommen, die aber in einem naturnahen Gewässer auch durch natürliche Strukturen wie Äste und anderes Getreibsel hervorgerufen werden. Von den Ansammlungen betroffen waren solche Borstenelemente, die nicht weit genug unter die Wasseroberfläche abgesenkt waren. Geschwemmsel hielt sich vor allen an den Elementen, die aus dem Wasser herausstanden. Während einer Befahrung mit dem Wasser- und Bodenverband im März 2006 waren diese Ansammlungen bereits aufgrund des erhöhten Wasserstandes wieder weggespült und die Befahrung problemlos möglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Unterhaltungsaufwand für die Borstenanlage in der Kleinen Spree wahrscheinlich mit dem in einem naturnahen Gewässer vergleichbar ist. Bei ausreichender Strömung, die Voraussetzung für die Errichtung einer wirksamen Borstenstrecke ist, und entsprechender Überströmung der Borsten um ca. 10 cm ist keine dauerhafte Verklauung zu erwarten.

3.4.3 Verhalten bei Eisgang

Im Zuge der Projektbearbeitung ist auch die Frage aufgetreten, wie sich die Borstenelemente bei Vereisung in strengen Wintern, insbesondere bei Eisgang verhalten. Obwohl der Winter 2005/2006 mit seinen niedrigen Temperaturen für diese Fragestellung prädestiniert war, konnte dieses Problem nicht erschöpfend geklärt werden. Die Wasserzuführung für die Kleine Spree erfolgt größtenteils über das Große Fließ und den Burg-Lübbener-Kanal aus den Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord. Der hohe Anteil an Sumpfungswässern mit erhöhter Temperatur bewirkt in den betroffenen Fließen auch in strengen Wintern eine offene Wasserfläche. Einzelne Borstenelemente, die wenige Zentimeter aus dem Wasser ragten, vereisten zwar oberflächlich, es konnten aber keine Schäden festgestellt werden (Einige wenige Borstenelemente waren zur Beobachtung der Vereisungseffekte nicht unter die Wasseroberfläche eingekürzt worden.).



Abbildung 3-49: Vereistes Element in der Kleinen Spree im Januar 2006

Um den Sachverhalt zu untersuchen, soll ein weiteres Borstenelement in ein Gewässer eingesetzt werden, das mit großer Wahrscheinlichkeit zufriert. Dafür geeignet ist die Neue Spree oberhalb Wehr 65 g. Hinsichtlich der Strömungsverhältnisse ist dieses Fließ mit der Kleinen Spree vergleichbar, friert aber aufgrund der Speisung aus der Spree bei entsprechenden Temperaturen zu.

3.4.4 Gesamtwirtschaftlichkeit

3.4.4.1 Herstellungskosten

Die Herstellungskosten für die Borstenanlage mit 100 Elementen in der Kleinen Spree betragen insgesamt 20.118 €. Dabei ist zu beachten, dass insgesamt ca. 45 Stunden der Arbeitsleistungen beim Einbau der Anlage durch die Mitwirkung von drei Mitarbeitern der Universität Kassel bzw. des Landesumweltamtes zusätzlich erbracht wurden (Tab. 3-7).

Die Herstellungskosten dürften sich bei Nachfolgeprojekten ähnlich darstellen, wobei ein höherer Satz für die Einbauleistung zu veranschlagen wäre. Der Pilotcharakter des Einbauverfahrens führte bei der Ausschreibung der Leistung zu sehr hohen Angebotspreisen. Deshalb wurde von der Beauftragung einer Baufirma Abstand genommen und der Einbau mit Unterstützung durch den Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“ in Eigenregie vorgenommen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen bei der Montage lassen jetzt bessere Angaben über geeignete Einbauverfahren zu, so dass sich hier in Zukunft in Leistungsverzeichnissen präzise Vorgaben machen lassen.

Tabelle 3-7: Herstellungskosten für die Borstenanlage in der Kleinen Spree

Bauteil/Leistung	Brutto je Element (EURO)	Bruttogesamt (EURO)	Ausführung
Unterbau Lochblechkasten	78,41	7.841,30	Herstellung durch die Werkstatt der Uni Kassel
Borsten	84,57	8457,32	Kasseler Werkstatt
Transport			Erfolgte durch die Uni Kassel im Rahmen ohne-hin anfallender Dienstreisen (Dienstfahrzeug mit Anhänger) Kosten für Folgeprojekte sind mit 3,50 € pro Element ansetzen
Montage der Elemente und Einbau	38,20	3.820,00	Erfolgte durch den Wasser- und Bodenverband unter Mitarbeit von Mitarbeitern des LUA, der VPUW
Gesamtkosten	201,18	20.118,00	

3.4.4.2 Folgekosten

Wenn die Borstenelemente so tief liegen, dass Treibzeug darüber schwimmt, und wenn ihre Verankerung stabil ist, entstehen praktisch keine kurzfristigen Folgekosten für Reparatur und Unterhaltung. Unter den spezifischen Bedingungen im Spreewald mit geringen Durchflüssen und hohem Getreibsel-Eintrag könnten sich in Niedrigwasserzeiten Folgekosten im Bereich der Unterhaltung ergeben. Dieser Fragestellung ist langfristig Aufmerksamkeit zu schenken.

3.4.4.3 Lebensdauer

Die Lebensdauer der Borsten kann beschränkt sein durch mechanische Belastung, durch Verschleiß infolge Vibration, UV-Bestrahlung und biologischen Abbau. Umlagerungen und Kippbewegungen der Elemente könnten durch Erosion des Untergrundes und ggf. Eiswirkung auftreten. Denkbar ist auch eine Korrosion des verwendeten Edelstahls in den Körben durch eisenhaltiges Grundwasser.

Zu diesen Punkten können aus dem Projekt folgende Aussagen abgeleitet werden:

Die größte mechanische Belastung tritt auf, wenn die Kahnfährleute das Rudel (Stakruder im Spreewald) in das Borstenelement einsetzen und sich abstoßen. Die Elemente sitzt fest genug, um solchen Kräften zu widerstehen, jedoch können einzelne Borsten umgeknickt werden. Da diese Borsten dann nur quer stehen und ihre hydraulische Wirkung nicht verlieren, ist eine Begrenzung der Lebensdauer nur über lange Zeiträume zu erwarten.

Der Verschleiß ist in langsamer Strömung minimal, da nur geringe Vibrationen auftreten und die Bewegung der Borsten durch das eingefangene Material gedämpft wird. Eine Begrenzung der Lebensdauer durch strömungsbedingte Bewegungen ist derzeit nicht ersichtlich und muss langfristig beobachtet werden.

Ob massives Einfrieren in dicke Eisdecken Schäden verursacht, kann mangels Erfahrung derzeit noch nicht gesagt werden (vgl. 3.4.3). Denkbar ist evtl. ein Anheben der eingefrorenen Borstenelemente, wenn sich die Eisdecke hebt. Im Allgemeinen sind die Wasserstände im Winter höher, so dass die Überdeckung der Borsten mit Wasser größer bleibt als die Dicke der Eisdecke. Deshalb ist diese Gefahr als nicht besonders hoch einzuschätzen. Eine mechanische Beschädigung der Borsten durch Kälte ist nicht zu erwarten, denn bei den üblichen Temperaturen im Wasser bleibt die Verformbarkeit voll erhalten (vgl. 4.3.3).

Ob durch Stoffwechselprodukte der die Borsten besiedelnden Mikroorganismen ein biologischer Abbau stattfindet, kann frühestens in einigen Jahren festgestellt werden. Da der verwendete Kunststoff jedoch keine Weichmacher enthält und keine Stoffe abgibt, dürften Abbauvorgänge sehr langsam ablaufen. Die Erfahrungen aus Deponien zeigen, dass Kunststoffe sich dort über Jahrzehnte halten.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass eine Lebensdauer der Borstenelemente in der kleinen Spree von mehreren Jahrzehnten zu erwarten ist.

Wenn nach langer Zeit ein Ersatz nötig sein sollte, kann dieser zielgerichtet erfolgen. Einzelne zerstörte Borstenelemente können ausgewechselt oder ersetzt werden, indem diese aus der Sohle herausgespült werden und einen neuen Borsten-Oberbau erhalten, sofern der Lochblechkorb noch gut erhalten ist. Borstenelemente, die an ungünstige Stellen stehen, können umgesetzt werden. Die Erfahrungen vom Einbau zeigen, dass dies wohl am besten mit dem Einsatz von 2 Spüllanzen gleichzeitig geht.

3.5 Fazit zum Teilprojekt Kleine Spree

3.5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die frei fließenden Gewässer im Burger Spreewald stellen nach derzeitigem Kenntnisstand das einzige stabile Reproduktionsgebiet für die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*) in Südbrandenburg und eines der deutschlandweit bedeutendsten Vorkommen dar.

Die Population ist durch das für die Malxe und das Große Fließ prognostizierte sinkende Wasserangebot stark gefährdet. Neben der Erhaltung und Verbesserung der Wasserqualität der Spree sind deshalb Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturen erforderlich, um diesen Bestand von *Unio crassus* langfristig zu sichern.

Dies wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen der Fischfauna im Burger Spreewald unterstrichen, die wegen der parasitären Entwicklungsphase von *Unio crassus* im Kiemengewebe bestimmter Fischarten (insbesondere des Döbels) zur Erhaltung der Muschelbestände eine besondere Rolle spielt. Der geringe Anteil von Jungfischen spiegelt die fehlenden Laichgründe und damit die Strukturarmut der Gewässer wider. Die wenigen vorhandenen, oft nur teilweise geeigneten Laichhabitate sind für die Fische oft nicht erreichbar, da sie durch undurchgängige Querbauwerke abgeriegelt sind. Der potenziell wichtige Wanderweg zur Cottbuser Spree ist gänzlich unterbrochen.

Mit dem Einbau der Borstenelemente in einem ca. 800 m langen frei fließenden Abschnitt der Kleinen Spree wurde eine wesentliche Strukturverbesserung erreicht. Im Bereich der Borstenelemente treten kleinräumig steile Gradienten der Fließgeschwindigkeit auf, die zur Entstehung von Sohlvertiefungen (Kolken) und Sandbänken führten, wodurch die Tiefenvarianz örtlich stark vergrößert wurde. Die durchschnittliche Strukturgröße nach LAWA verbesserte sich durch den Borsteneinbau von 3,7 (deutlich verändert) auf 3,2 (mäßig verändert). Maßgeblich sind dabei die die Sohle bewertenden Hauptparameter Laufentwicklung, Längsprofil und Sohlstruktur. Durch die Verbesserungen ist bei fünf Einzelparametern (Besondere Laufstrukturen, Strömungsdiversität, Tiefenvarianz, Substratdiversität, Besondere Sohlstrukturen) das operationelle Bewirtschaftungsziel der EU-WRRL, die Strukturklasse 2, bereits erreicht.

Es wird eingeschätzt, dass durch den Einbau der Borstenelemente die für die Kleine Flussmuschel als Lebensraum nutzbaren Sohlenbereiche innerhalb der Pilotstrecke auf das doppelte bis 4-fache vergrößert wurden. Auch die qualitative Eignung der Sohlsubstrate zur Besiedlung durch *Unio crassus* hat sich positiv verändert, insbesondere durch eine Verringerung organischer Sedimentanteile (geringere Verschlammung). Die Borstenelemente stellen somit eine effektive Managementoption zur Lebensraumverbesserung für die Kleine Flussmuschel in der Kleinen Spree dar.

Auch der Bestand an bodenlebenden wirbellosen Tieren (Makrozoobenthos) hat sich nach dem Einbau der Borstenelemente hinsichtlich Besiedlungsdichte und Artenvielfalt verbessert. Das Makrozoobenthos profitierte besonders von den Getreibselansammlungen an den Borstenelementen. Dadurch waren die Borsten artenreicher besiedelt als andere Gewässerstrukturen und erreichten nahezu die Habitatqualität des besten Teillebensraums, der Erlenwurzeln.

Für die Pilotstrecke wurde durch den Einbau der Borstenelemente eine Wasserstandserhöhung von 5 cm erreicht. Dies bedeutet eine Abflussreduktion von ca. 16 % bei gleich bleibendem Wasserstand. Damit ist die Wirkung der Borstenelemente prinzipiell nachgewiesen. Die Messungen haben bestätigt, dass eine Wirkung nur bei nennenswerten Strömungsgeschwindigkeiten ab (ca. 0,3 m/s) erwartet werden kann.

Die Wirkung der Borsten auf die Strömung ist aufgrund von Ergebnissen aus dem Labor und den Naturmessungen mit relativ einfachen Ansätzen nachvollziehbar und in das entwickelte numerische Modell implementierbar. Damit ist die hydraulische Berechnung der Wirkung der Borstenelemente mit den üblichen Einschränkungen recht gut möglich. Somit steht nun ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Borstensätze für andere Gewässerstrecken ausgelegt und hydraulisch bemessen werden könnten.

In der Kleinen Spree haben die großen Strukturveränderungen mit der Bildung von Kolken und Sandbänken in der locker sandigen Gewässersohle die geometrischen Randbedingungen für die hydraulischen Abläufe stark modifiziert. Die numerische Modellierung der Borsten ist davon insofern beeinflusst, als die veränderten Rauheitsverhältnisse in den Borsteneinfluss mit hinein genommen werden müssen. Dies stellt jedoch keinen Nachteil für die Nutzung des Bemessungswerkzeugs dar.

Die Befahrbarkeit der Borstenstrecke ist abwärts ohne Probleme für Kähne und muskelbetriebene Sportboote (Kanus, Faltboote) möglich. Die Anordnung der Borsten in der Pilotstrecke lässt ein Umfahren der Elemente zu. Beim „Überfahren“ der Borsten kommt es zwar zum Abbremsen der Wasserfahrzeuge, dem aber mit geringfügig erhöhtem Kraftaufwand entgegengewirkt werden kann. Die

stromaufwärts gerichtete Fahrt ist aufgrund der differenzierten hohen Fließgeschwindigkeit und der Bremswirkung der stromab geneigten Borsten für Kähne nicht praktikabel. Für Sportboote stellt dies aufgrund ihrer größeren Wendigkeit kein Problem dar. Nach Aussagen von Bootstouristen wird der durch Borsten veränderte Pilotabschnitt durch die erhöhte Strömungsdiversität als interessant empfunden.

Die Unterhaltung der Borstenanlage stellte im Beobachtungszeitraum kein Problem dar. Voraussetzung ist aber, dass die Borsten ca. 10 cm vom Wasser überspült werden, damit sich oberflächennah ansammelndes Getreibsel durch die Strömung selbst lösen kann. Das Verhalten bei Eisgang konnte in der Kleinen Spree nicht beobachtet werden, da das Gewässer nicht gefroren war.

3.5.2 Schlussfolgerungen

Die Sicherung bzw. Erhöhung von Wasserständen ist in fließenden, ungestauten Gewässern mit Hilfe von Borstenelementen prinzipiell möglich. Mit dem entwickelten numerischen Modell steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Borstensätze für diesen Zweck hydraulisch bemessen werden können.

Borstenelemente sind nach bisherigem Kenntnisstand dazu geeignet, die Gewässerstrukturen in fließenden Gewässern mit beweglicher Sohle erheblich zu verbessern. Dieser Effekt kann durch die Dichte und Form der Elemente gesteuert und damit optimiert werden. Die Borstenelemente stellen somit eine effektive Managementoption zur Lebensraumverbesserung für die Kleine Flussmuschel (*Unio crassus*) und andere strömungsliebende Makrozoobenthosarten dar.

Der besondere Vorteil dieser künstlichen Strukturelemente besteht darin, dass sie in Gewässern eingesetzt werden können, die mit muskelbetriebenen Booten und Kähnen befahren werden. Während die stromab gerichtete Fahrt ohne wesentliche Einschränkungen erfolgen kann, ist die stromauf gerichtete Fahrt für Kähne nicht praktikabel. Hier sind Möglichkeiten zu suchen, durch eine veränderte Anordnung der Borstenelemente die Befahrbarkeit zu gewährleisten.

Grundsätzlich sollte bei der Verbesserung der Gewässerstrukturen die Verwendung natürlicher Materialien wie geeignetes Sediment, Totholz und Steine den Vorrang vor dem Einsatz künstlicher Strukturen haben.

In relativ schmalen und stark befahrenen Fließten stellen die Borstenelemente jedoch eine effektive Option zur Stabilisierung der hydrologischen und ökologischen Verhältnisse dar.

Zur Stabilisierung der Muschel- und Wirtsfischpopulationen im Burger Spreewald sind weiterführende und ergänzende Maßnahmen erforderlich.

3.5.3 Weiterer Untersuchungs- und Handlungsbedarf

- A) Beobachtung der mittel- und langfristigen Entwicklung der Gewässerstrukturen und der hydrodynamischen Vorgänge in der Pilotstrecke unter besonderer Berücksichtigung:
- von weiteren massiven Sohlumlagerungen, insbesondere einer möglichen weiteren Eintiefung und Ausdehnung der Kolke,
 - von möglichen Veränderungen der vertikalen Position und Ausrichtung der Borstenelemente bei starker Wasserführung,
 - der Prüfung, ob durch Geschiebezugabe die Projektziele unterstützt werden könnten,
 - der Dynamik der Sohlstrukturen,
 - der Wasserstand – Durchfluss – Beziehung,
 - des langfristigen Unterhaltungsaufwandes,
 - der Lebensdauer der Borstenelemente,
 - des Verhaltens bei Frost und Eis.
- B) Beobachtung der Bestände von Fischen, Muscheln und Makrozoobenthos in der Pilotstrecke in Verbindung mit der Entwicklung der Gewässerstrukturen und unter Einbeziehung von Referenzstrecken in anderen Burger Gewässern.

- C) Untersuchung weiterer Möglichkeiten des Borsteneinsatzes zur Strukturverbesserung in anderen Gewässern im Burger Spreewald insbesondere unter dem Aspekt der prognostizierten Durchflussreduzierung in den gegenwärtigen Hauptverbreitungsgewässern von *Unio crassus*. Prüfung der Möglichkeiten der Kombination des Borsteneinsatzes mit anderen Maßnahmen zur Strukturverbesserung, z.B. dem Einbringen von Totholz und Geschiebe.
- D) Weitere Beobachtung der Bestandsentwicklung von *Unio crassus* im Raum Burg und Erarbeitung eines Handlungskonzeptes zur Kompensierung der prognostizierten Niedrigwasserabflüsse. Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen zur Erhaltung von Mindestfließgeschwindigkeiten in ausgewählten Gewässern und zur Strukturverbesserung in den potenziellen Lebensräumen.
- E) Untersuchung der potenziellen Wirtsfischarten für *Unio crassus* (insbesondere Döbel) hinsichtlich ihres Besatzes durch Muschellarven (Glochidien), um die Grundlagen für eine zielgerichtete Förderung der Fischfauna mit dem Hintergrund des Schutzes von *Unio crassus* zu schaffen.
- F) Untersuchungen der Populationen von Wirtsfischarten und anderen strömungsliebenden Fischarten im Raum Burg als Grundlage für ein Handlungskonzept zur Stabilisierung des Fischbestandes in Burg. Aufklärung von Laichplätzen und Laichwanderungen zur Festlegung von Prioritäten bei der Wasserverteilung und der Herstellung der Durchgängigkeit der Fließgewässer.
- G) Nutzung des Borstenkonzeptes zur Entwicklung neuer kostensparender Möglichkeiten für die Sicherung von Wasserständen und die Beeinflussung von Durchflussverteilungen bei geringen Wasserspiegeldifferenzen bei voller Durchgängigkeit für Fische, Makrozoobenthos und Wassertouristen.

4 Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass

4.1 Ziel, Planung und Umsetzung

4.1.1 Konzept und Zielsetzung

Der Fisch-Kanu-Pass (FKP) ist abgeleitet vom Borstenfischpass (HASSINGER 2001), für den in früheren Jahren umfangreiche Laborversuche durchgeführt wurden. Der Borstenfischpass basiert auf der Vorstellung, der Strömung in einer steil geneigten Rinne eine Vielzahl dünner aber elastischer Störkörper in den Weg zu stellen, um das Wasser zu bremsen und die Energie umzuwandeln. Diese Lösung hat den weiteren Vorteil, dass die elastischen Störkörper in Form von Borstenelementen mit Booten ohne Schaden überfahren werden können.

Das Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass hat zum Ziel, die Eignung des kombinierten Konzepts aus Fischpassage und Bootsruutsche unter den speziellen Bedingungen des Spreewaldes zu testen. Als besondere Rahmenbedingungen gelten hier:

- geringe Abflüsse,
- geringe Fallhöhen,
- hohe Abflussanteile über die Fischwanderhilfe,
- starker Laubfall im Herbst,
- eine auch schwimmschwache Arten umfassende Fischfauna,
- starker Frost,
- Nutzung durch unerfahrene Kanuten (Leihbootfahrer),
- Befahrung in beiden Richtungen, stromauf soll Treideln möglich sein,
- Vorhandensein von Schleusen parallel zum Fisch-Kanu-Pass.

4.1.2 Planung und Umsetzung

Die bauliche Realisierung dieses Teilprojekts erfolgte am Wehr 31 in Burg. Hier konnte das Projekt in den Ersatzneubau des Wehres 31 integriert werden, der im Herbst 2005 vom Landesumweltamt umgesetzt wurde. Für die Stauanlage war ursprünglich die Kombination von Schleuse und Vertical-Slot-Pass vorgesehen. Aufgrund des geringen Abflusses von 100 l/s (NQ) bis 200 l/s (MQ) war hier nicht die Kombination von Schleuse und Fischpass mit einem Wehr geplant. Der gesamte Abfluss sollte über den Fischpass erfolgen. Die Breite des ursprünglich vorgesehenen Fischpasses war mit 1,86 m (lichte Breite zwischen den Spundwänden) ausreichend, um den Fisch-Kanu-Pass und einen Treidelsteg aufzunehmen. Die Länge der Fischaufstiegsanlage war durch die baulichen Voraussetzungen auf 8 m begrenzt.

Die Umsetzung des Konzeptes umfasste folgende Arbeiten:

- Planung und Bau des Fisch-Kanu-Passes für einen Abfluss von ca. 100 l/s,
- Bau eines Treidelsteges mit Anlegemöglichkeiten in Ober- und Unterwasser,
- Optimierung des Borstenbesatzes mit weicheren Borsten,
- Bau einer Vorrichtung mit der Funktion eines Handlaufs, an dem sich die Bootsinsassen durch die Gasse ziehen können,
- Drosselung des Durchflusses in extremen Niedrigwasserphasen durch Einbau von kleinen Borstenteilen im Mittelschlitz.

Den am Wehr 31 bestehenden Randbedingungen wurde dabei auf folgende Weise Rechnung getragen:

- Der geringe Abfluss bedingte eine Beschränkung der Breite des Fisch-Kanu-Passes auf 116 cm sowie eine Wassertiefe von 0,35 – 0,40 m.
- Die geringe Fallhöhe ermöglichte die Überwindung der gesamten Höhendifferenz von 0,50 m (Planwert: 0,35 m) in einer zusammenhängenden Anlage. Während des Einbaus wurde eine Differenz von 15 cm zwischen den beplanten und den realistischen Wasserstandshöhen festgestellt. Aufgrund des flexiblen Borstenkonzeptes konnte diese Differenz unproblematisch ausgeglichen werden.

In Ober- und Unterwasser sind jeweils Nischen für das Einsetzen von Dammbalken vorhanden, um die Anlage im Bedarfsfall trocken zu legen.



Abbildung 4-2: Fisch-Kanu-Pass in der Einbauphase

Der Einbau der Borstenelemente erfolgte nach Plan auf Betonplatten, die im Baumarkt passend und kostengünstig erstanden werden konnten. Die Borstenelemente sind mit Edelstahl-Stehbolzen über den Platten aufgeständert. Diese Module wurden auf einem Schotter-Planum versetzt und mit einer Mischung aus Kies und Feinschotter aufgefüllt. Damit liegt ein durchgängig poröser Untergrund im Fisch-Kanu-Pass vor.



Abbildung 4-3: Fisch-Kanu-Pass am Ende der Einbauphase

Die Borstenelemente bestehen im Fall des Fisch-Kanu-Passes am Wehr 31 aus halben Trapezen, die so gegeneinander gestellt sind, dass in der Mitte eine schräg verlaufende Gasse entsteht. Diese Gasse gibt dem durchfließenden Strahl genügend Querimpuls, dass er in das nachfolgende Borstenelement hineinströmt und die Strömung der nachfolgenden Lücke weniger Energie vom Strahl aus dem Oberwasser aufnehmen muss. Die Lücken wechseln von Riegel zu Riegel die Richtung, so dass für große Fische eine geschlängelte Gasse entsteht. Die Konzentration der Lücken in die Mitte hat darüber hinaus den Sinn, für die Boote eine Art Fahrtrasse anzubieten, so dass diese in der Mitte geführt werden.



Abbildung 4-4: Fisch-Kanu-Pass im Probebetrieb

Bei den ersten Erprobungen zeigte sich, dass durch die relativ kurzen Borsten (35 cm statt wie sonst 45 – 50 cm) das Borstenbett sehr wenig nachgiebig war. Die Boote wurden sehr stark gebremst und rutschen nur mit starker Nachhilfe ab. Ergebnis der sich anschließenden Überlegungen war, die Borstenelemente im mittleren Bereich durch das Einfügen von dünneren und weicheren Borsten flexibler zu gestalten. Es fand sich ein Bürstenhersteller, der passende Borstenelemente mit 2-mm Borsten aus farblosem PP und mit Edelstahlverankerung anbieten konnte. In den versetzten Borstenelementen wurde für diese Einsätze eine ausreichend große Lücke mit dem Stemmeisen freigemacht, in die die weichen Teilelemente eingesetzt werden konnten. Die Befestigung erfolgte auf den Grundplatten mit Edelstahl-Schrauben.

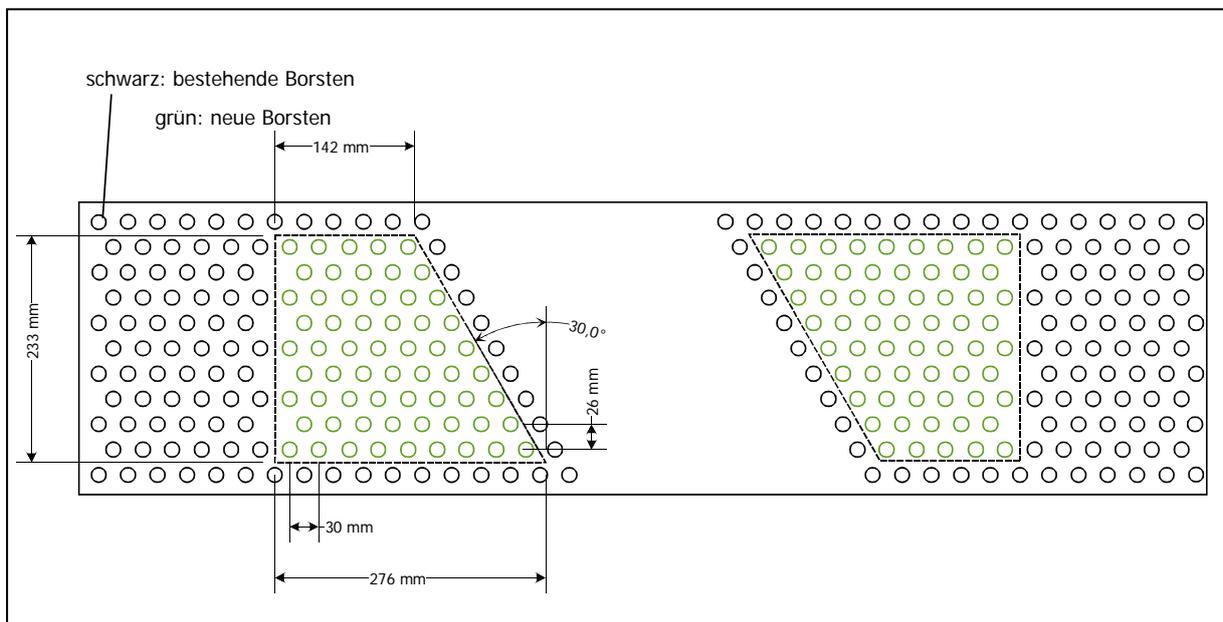


Abbildung 4-5: Planung für den Einsatz weicherer Borsten

Im Zuge der Umrüstung der Borstenriegel wurden die mittleren Lücken am Boden mit Rasenmatten ausgekleidet, um Makrozoobenthos und kleineren Fischen bessere Aufstiegsmöglichkeiten zu schaffen. Die nachfolgenden Erprobungen und die Befahrungen bei der Einweihung am 08.04.2006 zeigten, dass bei normalem Wasserstand schmale Boote ohne Nachhilfe herunterrutschen und dass breitere und schwerere Boote ggf. am Handlauf (s.u.) durchgezogen werden müssen. Die Führungswirkung durch die „Mulde“ in der Mitte des Fisch-Kanu-Passes erwies sich als voll ausreichend.



Abbildung 4-6: Umgerüsteter Fisch-Kanu-Pass mit weichen Borsten und Makrozoobenthos-Matten

Bei den ersten Treidelversuchen zeigte sich, dass das ursprünglich verwendete Material für die Schrammborde ungeeignet war. Erstens war das bestehende Schrammbord mit 8 cm zu dick und reduzierte damit unnötigerweise die lichte Breite der Fahrrinne. Zweitens war das Material, obwohl aus Recycling-Kunststoff hergestellt, sehr abrasiv und beanspruchte die Oberflächen der Boote stark. Zur Verbesserung dieser Situation und zur Schaffung einer besseren Möglichkeit, schwerere Boote durchzuziehen, ohne aussteigen zu müssen, wurden die dicken Schrammprofile ausgewechselt gegen dünnere Platten aus Recycling-PE. Diese Schrammborde sind einerseits sehr glatt und für die Boote schonend: Außerdem stehen sie 4 cm über den Steg nach oben und können als „Handlauf“ benutzt werden (vgl. Abb. 4-7). Damit man mit der Hand nicht abrutscht, sind die Platten oben profiliert.

Im Mai 2006 kam es zu einer Niedrigwassersituation im Spreewald, in der die Anforderung stand, den Abfluss über den Fisch-Kanu-Pass weiter zu reduzieren. Deshalb wurden im Juni kleine Bürsteneinsätze in die Mittelschlitze eingebaut. Die Einsätze wurden an Ösen eingehängt, so dass sie leicht einzubauen und zu entfernen sind, ohne den Notverschluss zu setzen (Abb. 4-7). Damit ist die Möglichkeit gegeben, eine gewisse Regulierung des Durchflusses vorzunehmen. Wie sich beim späteren Herausnehmen der Bürsteneinsätze zeigte, werden diese sehr intensiv von Makrozoobenthos besiedelt.



Abbildung 4-7: Optimierter Fisch-Kanu-Pass mit Bürsteneinsätzen und erhöhtem Schrammbord (Handlauf)

4.2 Funktionskontrolle des Fischaufstiegs

4.2.1 Methode

Im Mai/Juni 2006 erfolgte die Kontrolle des Fischaufstieges. Um die Eignung der Borstenanlage für den Fischaufstieg besser bewerten zu können, wurde parallel zum Fisch-Kanu-Pass ein Vertical-Slot-Pass der im Spreewald üblichen Bauart in einem benachbarten Fließ, der Neuen Spree am Wehr 55 mit gleicher Methodik beprobt. Der Fisch-Kanu-Pass war während der Fischaufstiegskontrolle für Boote gesperrt.

Die Untersuchungen umfassten an beiden Fischaufstiegsanlagen folgende Aufgaben:

- Hydraulische Untersuchung mittels eines Ultraschall-Doppler-Strömungsmessers zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse in der Anlage und der Lockströmung unterhalb,
- Erfassung der Fischfauna im Unterwasser (erfolgt am Fisch-Kanu-Pass im Rahmen der Bestandsaufnahme der Fischfauna,
- Erfassung des Fischaufstiegs mittels einer Lochblechreuse mit integrierter Garnnetzkehle bei zweimaliger Leerung pro Tag,
- Erfassung von Temperatur und Sauerstoffgehalt,
- Fischereibiologische Auswertung unter Einbeziehung der Ergebnisse aus der hydraulischen Untersuchung.

Die zeitliche Abfolge der Feldarbeiten gibt die Tabelle 4-1 wieder. Da die vergleichenden Untersuchungen am Vertical-Slot-Pass erst zu einem späteren Zeitpunkt in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurden, ist hier keine Herbstbefischung in 2005 im Unterwasser erfolgt. Der spätere Beginn der Aufstiegskontrollen am Vertical-Slot-Pass ist durch technische Schwierigkeiten beim Einbau der Lochblechreuse begründet. Aufgrund von Unebenheiten am Eingang des VSP mussten zunächst Umbauten an der Lochblechreuse vorgenommen werden, um ihre Fängigkeit sicherzustellen.

4.2.1.1 Erfassung der Hydraulik

Die Erfassung der Hydraulik erfolgte mittels Strömungsmessungen bei zwei im Jahresverlauf repräsentativen Abflüssen in der obersten und untersten Kammer der Fischaufstiegsanlagen. Dabei wurden die Messungen an repräsentativen Punkten mit erwartungsgemäß unterschiedlicher Strömung (Abb. 4-8 und 4-9) oberflächennah und sohlennah durchgeführt, so dass die Strömungsverhältnisse im Becken beschrieben werden. Die erste Messkampagne fand zu Beginn und die zweite nach Abschluss der Aufstiegskontrollen statt.

Für die Strömungsmessungen wurde die Methode der Ultraschall-Velocimetrie eingesetzt (ADV der Firma Nortec). Die Vorteile von Ultraschallmessungen liegen in der Erfassung der dreidimensionalen Strömung (x-, y-, z- Komponenten) und der hohen zeitlichen Auflösung von bis zu 25 Hertz. Die Hertz-Zahl wurde in Abhängigkeit von Turbulenzen und Fließgeschwindigkeiten angepasst um eine möglichst hohe Auflösung zu erzielen. In beiden Fischpässen wurde meist mit einer Auflösung von 10 Hertz gemessen.

Im Gegensatz z.B. zu Flügelmessungen ergeben sich aus den dreidimensionalen Werten die resultierende Strömungsgeschwindigkeit und -richtung, welche bei Flügelmessungen nur bei permanent korrekter Ausrichtung in die Strömung gewährleistet ist, da sonst eine seitliche oder sogar rückwärtige Anströmung erfolgen kann. Weiterhin können aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung Turbulenzen und Strömungsschwankungen sowie Richtungsänderungen erfasst werden, welche bei anderen Messmethoden üblicherweise herausgemittelt werden.

Das ursprünglich vorgeschlagene Messprinzip mit drei zu messenden Kammern wurde nach Sichtung der beiden Fischpässe modifiziert. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die oberste und die unterste Kammer und wurden hier um einige Messpunkte erweitert. Die mittlere Kammer wurde nicht gemessen. Damit wurde für zwei Kammern eine optimierte Abdeckung mit Messpunkten erreicht. Eine dritte mittlere Kammer mit entsprechend weniger Messpunkten in allen Kammern hätte dagegen ein Defizit in der repräsentativen Abdeckung bedeutet. Die sohlennahe Strömung wurde ca. 2 bis 3 cm über der Sohle gemessen. Der ursprünglich vorgesehene Abstand von 10 cm hätte insbesondere in flachen Bereichen des Fisch-Kanu-Passes eine große Nähe zu dem oberflächennahen Messpunkt

10 cm unter der Wasseroberfläche bedeutet und die gleichen Messwerte geliefert. In Fällen uneindeutiger Strömungsverhältnisse wurden ergänzend Zwischenpunkte in mittlerer Tiefe beprobt, um z.B. die Reichweite von Walzen oder von Strömungsumkehrungen festzustellen.

Die Benennung und Lage der Messpunkte ist in Abb. 4-8 und 4-9 schematisch dargestellt. Im Fisch-Kanu-Pass lagen die Messpunkte für die oberste und unterste Kammer jeweils mittig des Einstroms sowie auf einer Linie oberhalb des Ausstrombereiches (Punkte 1 und 5). Weitere drei Messpunkte befanden sich auf einer mittleren Tangente um den gesamten Abfluss, inklusive den über die Borstenbündel fließenden Anteile, zu erfassen. Der Messpunkt 3 wurde zusätzlich gemessen um die Strahlströmung durch das gesamte Becken zu erfassen.

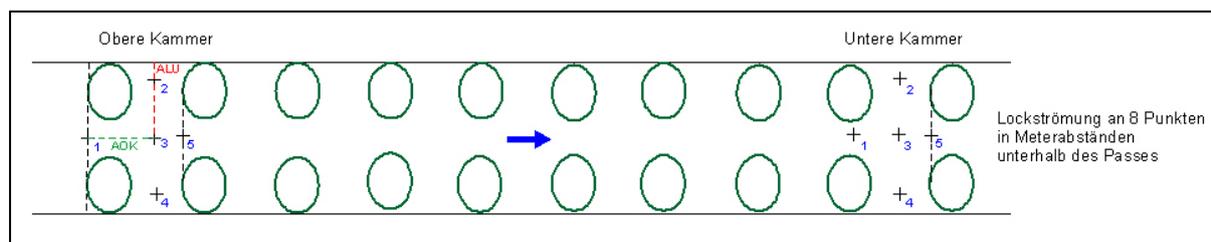


Abbildung 4-8: Prinzipskizze der Messpunkte im Fisch-Kanu-Pass (ALU = Abstand von linkem Ufer, AOK = Abstand von oberer Kante)

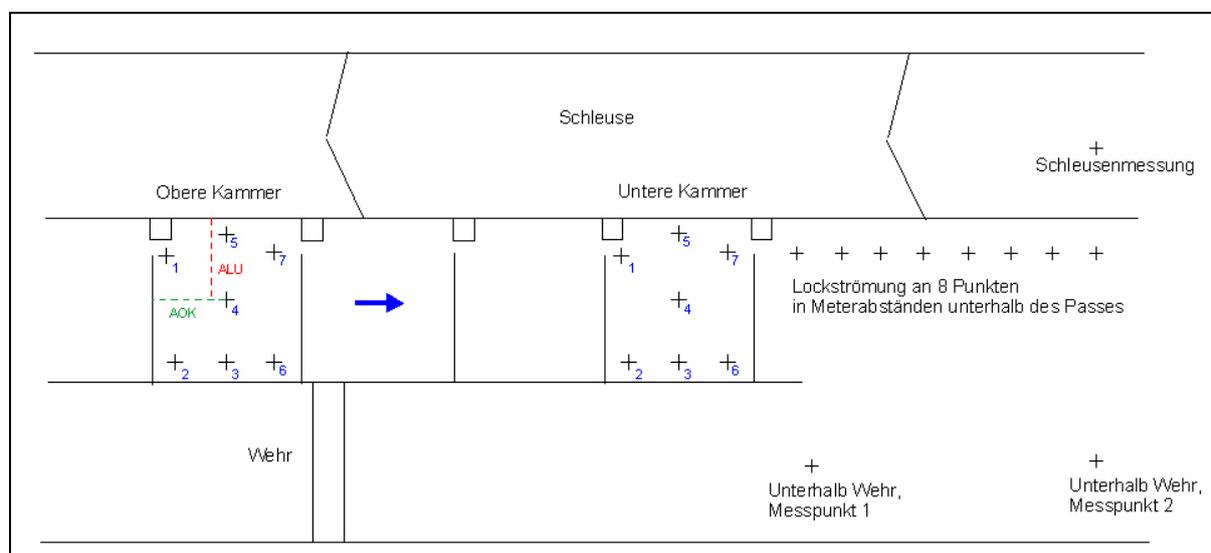


Abbildung 4-9: Prinzipskizze der Messpunkte im Vertical-Slot -Pass (ALU = Abstand von linkem Ufer, AOK = Abstand von oberer Kante).

Die Leitströmung wurde an acht Messpunkten jeweils in 1-m-Abständen oberflächen- und sohlennah unterhalb der Fischpässe gemessen. Unterhalb der benachbarten Schleuse am Fisch-Kanu-Pass erfolgten aufgrund fehlender permanenter Abflüsse keine Messungen.

Jede Messung dauerte 1 – 2 Minuten. Die Ergebnisse sind Sekundenmittelwerte, d.h. für jeden Messpunkt wurden 60 – 120 Datensätze ermittelt. Die Strömungsverhältnisse sind anhand der Sekundenwerte grafisch als Strömungsrosen dargestellt, welche Lage, Strömungsrichtung und Geschwindigkeiten veranschaulichen (Abb. 4-15 und 4-18).

4.2.1.2 Erfassung der physiko-chemischen Wasserparameter

Es wurden die Temperatur und der Sauerstoffgehalt des Wassers während der Kontrollperioden ermittelt. Die Wassertemperaturen wurden bei jeder Reusenentleerung im Oberwasser in einer Tiefe von 0,50 m registriert (Genauigkeit: $\pm 0,1$ K). Parallel dazu wurde die Lufttemperatur gemessen (Genauigkeit: $\pm 0,1$ K). Der im Wasser gelöste Sauerstoff wurde ebenfalls bei jeder Reusenentleerung im Ober- und Unterwasser mittels einer UMS-Sonde gemessen (Genauigkeit: 0,2 mg/l).

4.2.1.3 Reusenfang

Die über die Fischpässe aufsteigenden Fische wurden mit einer Aluminium-Lochblechkastenreuse gefangen. Die Reuse besteht aus einem geschweißten Rahmen (Länge x Breite x Höhe: 2.000 x 1.000 x 1.000) an den Lochbleche (Lochdurchmesser 6 mm) angeschraubt sind. Das obere Blech ist über Scharniere zu öffnen und gegen Diebstahl abzuschließen. Die vordere Öffnung wurde an jeder Seite durch 200 mm breite, angeschraubte Bleche eingeeengt, so dass sie 600 x 1000 mm (Breite X Höhe) beträgt. In die Reusenöffnung ist eine Netzkehle aus 6 mm synthetischem Netzgarn eingespannt, die eine Länge von 1.200 mm hat. An der Öffnung befinden sich zwei bewegliche Flügel aus Lochblech, die an verschieden breite Fischpässe angepasst werden können.

Am Fisch-Kanu-Pass konnte die Reuse auf die flexible kiesige Sohle dicht aufgesetzt werden. Die Reuse wurde hier oberhalb des letzten Querelementes des Fischpasses aufgestellt. Der exakte Schluss mit den senkrechten Wänden gestaltete sich schwierig, da die oberste Borstenreihe oberhalb der Dammbalkenführung eingebaut ist. Um die Reuse etwa waagrecht aufzubauen, wurde der hintere Teil der Reuse an einer Behelfskonstruktion aufgehängt.



Abbildung 4-10: Lochblechreusen am Fisch-Kanu-Pass (links) und am Vertical-Slot-Pass (rechts)

Am Vertical-Slot-Pass konnte die Reuse nicht auf die Sohle gestellt werden, da einbetonierte Wasserbausteine unterschiedlicher Größe die Sohle uneben gestalteten. Deshalb wurde die Reuse sohlennah am Geländer des Querbauwerkes und einer behelfsmäßigen Konstruktion aus Holzbohlen aufgehängt. Der exakte Sohlenschluss wurde mittels einer textilen Netzschürze, die mit einer Eisenkette beschwert war, hergestellt. Der exakte Schluss mit den senkrechten Wänden wurde an den Dammbalkenführungen erreicht.

Da aus Kostengründen auf ein Hebezeug für die Reuse verzichtet wurde, mussten die Reusen leer gekäschert werden. Zu diesem Zweck wurden die Reusen etwas angehoben, um den Schwimmraum für die Fische zu reduzieren.

Die Leerungszeiten, die Anzahl der Leerungen während der Kontrollperioden sowie die Termine der Fischbestandserfassung im Unterwasser zeigt Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Termine der Arbeiten zu den Funktionskontrollen der Fischaufstiege

Datum	Fisch-Kanu-Pass		Vertical-Slot-Pass		Befischung im Unterwasser
	Strömungs-messung	Anzahl der Leerungen	Strömungs-messung	Anzahl der Leerungen	
13.10.2005					nur am FKP
27.- 29.04.06		5		-	
03.05.2006	x				
04.05.2006			x		
03.- 23.05.06		38*		30*	
11.05.2006					beide FWH
06.-23.06.06		33		33	
31.08.2006	x				
01.09.2006			x		

* Am 16.05. abends und am 17.05. morgens wurde die Reuse nicht geleert. Die Kontrollen am Vertical-Slot-Pass begannen wegen technischer Probleme beim Einbau der Reuse erst am 07.05.2006.

4.2.1.4 Erfassung des Fischbestandes im Unterwasser mittels Elektrofischerei

Im Oktober 2005 und Mai 2006 wurden 400 m bzw. 150 m Fließstrecke unterhalb des Wehres 31 (Fisch-Kanu-Pass) mit einem 7,5 kW Gleichstrom-E-Gerät vom Boot aus befischt. Am Vertical-Slot-Pass erfolgte die Befischung nur im Mai 2006, da die Untersuchung dieser Anlage erst später in das Programm aufgenommen worden war. Hier wurden 250 m unterhalb des Wehres 55 befischt.

Es wurden wechselnd beide Ufer beprobt. Unterhalb des Wehres/der Schleuse wurden auch strom-mittig das Tosbecken und besonders der Auslaufbereich der FWH befischt. Für Vergleichszwecke wurde der Fang auf jeweils 100 m Uferlänge normiert. Eine vollständige Einheitlichkeit beim Fang ist nicht erreichbar, da die verschiedenen Fischarten und -größen unterschiedliche Fluchtdistanzen aufweisen und unterschiedlich auf herannahende Gefahren (Boot mit Elektroaggregat) reagieren.

4.2.2 Datenerfassung und -auswertung

Alle gefangenen Fische wurden bestimmt. Die Totallänge (Lt) wurde auf 0,5 cm below gemessen und die Körpermasse (KM) bei repräsentativen Stichproben (bis 50 Fische pro Art) auf g below gewogen. Das Geschlecht und der Reifegrad der Gonaden wurden nach äußerlichen Merkmalen wie Austritt von Geschlechtsprodukten bei leichtem Druck auf die Leibeshöhle bestimmt. Zur Bestimmung des Wachstums wurden bei Stichproben ausgewählter Arten Schuppen entnommen. Der Korpulenzfaktor K wurde nach der Formel $K = 100KM/Lt^3$ berechnet. Ebenfalls wurde die Artendiversität und die Artendominanz nach der unter 2.2.2.2 beschriebenen Methode bestimmt.

4.2.3 Ergebnisse der Fischaufstiegskontrollen

4.2.3.1 Geometrische, hydraulische und physiko-chemische Parameter

Einige der im DVWK-Merkblatt geforderten Richtwerte werden am untersuchten Fisch-Kanu-Pass nicht eingehalten (vgl. Tab. 4-2). Dies ist darin begründet, dass die Anlage hier in eine bestehende Planung integriert wurde, deren Rahmenbedingungen nicht mehr zu ändern waren. Die Länge des Gerinnes begrenzt damit die Beckenlänge. Der vorgegebene geringe Durchfluss von ca. 100 l/s begrenzt die Wassertiefe.

Die minimale Schlitzweite liegt im Bereich der Forderungen und die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken wird deutlich unterschritten. Die zu kleinen Becken können sich größenselektiv gegen größere Fische auswirken, da sie darin keinen genügend großen Ruheraum finden. Bei kurzen

Bauwerken, die nur eine geringe Wasserspiegeldifferenz überbrücken müssen, können größere Fische die Anlage ohne Pause überwinden, so dass der Nachteil nicht wirksam werden muss. Im vorliegenden Fall sind Baulänge und Höhendifferenz so gering, dass größere Fische den Pass in einem Zug durchwandern können.

Tabelle 4-2: Geometrische Grenzwerte für beckenartige Fischpässe mit einem Schlitz

Gültig für alle Fischarten außer Stör. Nach DVWK (1996) und Handbuch Querbauwerke (MUNLV NRW, 2005). Angaben in m. Ocker hinterlegt sind die Parameter, die nicht den Forderungen des DVWK-Merkblattes entsprechen. Gelb hinterlegt sind die Parameter, die nicht dem Handbuch Querbauwerke entsprechen.

Parameter	DVWK –Merkblatt 323 (1996)	MUNLV NRW Handbuch Querbauwerke (2005)	Fisch-Kanu-Pass	Vertical-Slot-Pass
min. lichte Beckenlänge	1,4 – 2,0	2,80 – 4,00	0,59	1,63
min. lichte Beckenbreite	1,00 – 1,50	1,80 – 3,00	1,21	1,22
min. Wassertiefe unterhalb Trennwand	0,60 – 0,80	0,50	0,33	0,68
min. Schlitzbreite	0,25 – 0,35	0,30 – 0,60	0,33	0,18
rechn. max. Wasserspiegeldifferenz	0,20	0,10	0,05	0,10

Obwohl der Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 schon 1993 gebaut wurde, entsprechen die geometrischen Grenzwerte mit Ausnahme der Schlitzbreite den Forderungen des DVWK-Merkblattes von 1996. Nach aktuellen Forderungen (HANDBUCH QUERBAUWERKE, 2005) sind Beckenlänge, Beckenbreite und Schlitzbreite zu klein. Die Beckenwassertiefe und die rechnerische maximale Wasserspiegeldifferenz entsprechen den Forderungen uneingeschränkt.

Die hydraulischen Rahmenbedingungen ergeben sich aus der Abflussmenge und den Pegeldifferenzen, die aber auf Grund der Stauhaltung im Ober- und Unterwasser während der Messungen konstant waren.

Zum Längsgefälle können folgende Aussagen getroffen werden:

Im Fisch-Kanu-Pass wurde am 03.05.2006 von Ober- zu Unterwasser ein Höhenunterschied von 0,48 m überwunden. Die Differenzen der Wasserspiegellagen von Kammer zu Kammer waren allerdings unterschiedlich. Im Mittel betrug $\Delta h = 4,8$ cm. Die realen Werte lagen zwischen 6,2 cm als Maximum sowie 2,3 cm als Minimum, was als gemäßigte Abweichungen anzusehen ist, und keinem Fisch die Bewegung von Becken zu Becken verhindern sollte. Am 31.08.2006 betrug die Wasserspiegeldifferenz von Ober- zu Unterwasser 0,50 m. Die Borstenriegel, die am 03.05. nur um 1 cm überströmt waren, waren am 31.08. deutlicher um etwa 2 – 3 cm überströmt. Im Mittel betrug $\Delta h = 5$ cm. Die Abweichungen fielen, wie bei der ersten Messung, mit einer maximalen Höhendifferenz von 6,5 cm und minimalen Differenz von 2,5 cm erneut gering aus. Die Differenzen der Wasserspiegellagen von Kammer zu Kammer wurden durch den unterschiedlichen Grad der Verunreinigung der einzelnen Borstenriegel verursacht. Dennoch waren die Differenzen nie so groß wie beim Versatz der Schlitzte am Vertical-Slot-Pass (FREDRICH, 2006), da das Wasser über die Borstenelemente abfließen konnte.

Am Vertical-Slot-Pass betrug die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser bei beiden Messungen 0,50 m. Am 04.05.2006 wies der VSP aufgrund einer sohlennahen Verunreinigung durch Treibholz, die erst beim Aufbau der Reuse am 07.05.2006 als solche erkannt und entfernt wurde, eine deutliche Störung des Abflusses sowie des Längsgefälles auf. Der durchschnittliche Unterschied der Wasserspiegellagen von Kammer zu Kammer bis ins Unterwasser lag bei 10 cm, die Abweichungen waren allerdings enorm. Der höchste Wert vom Oberwasser zu der ersten Kammer betrug 23 cm, der geringste Wert zwischen Kammer 3 und 4 lag bei nur 3,5 cm. Am 01.09.2006 behinderten keine Verunreinigungen den Abfluss. Folglich baute sich die Wasserspiegeldifferenz von Becken zu Becken gleichmäßiger ab, der maximale Wert betrug 13 cm und der geringste 5 cm.

Pegelstand in cm ↑
 Nummerierung der Kammern →

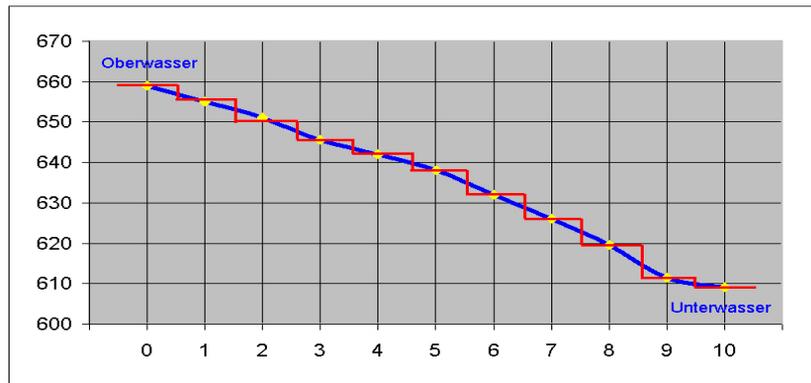


Abbildung 4-11: Schematisiertes Längsgefälle des Fisch-Kanu-Passes am 03.05.2006

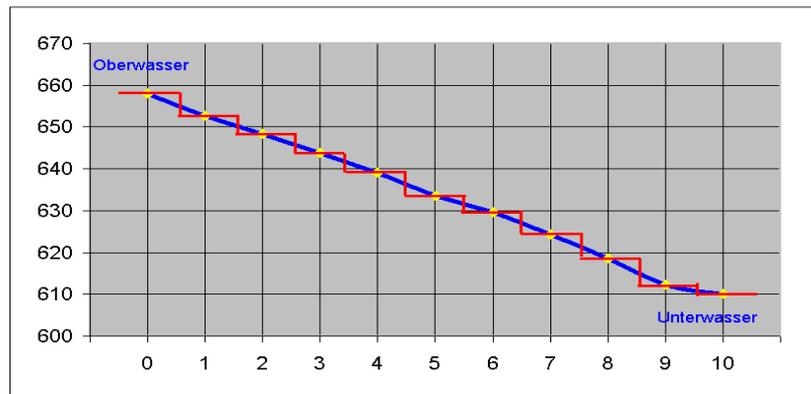


Abbildung 4-12: Schematisiertes Längsgefälle des Borstenfischpasses am 31.08.2006

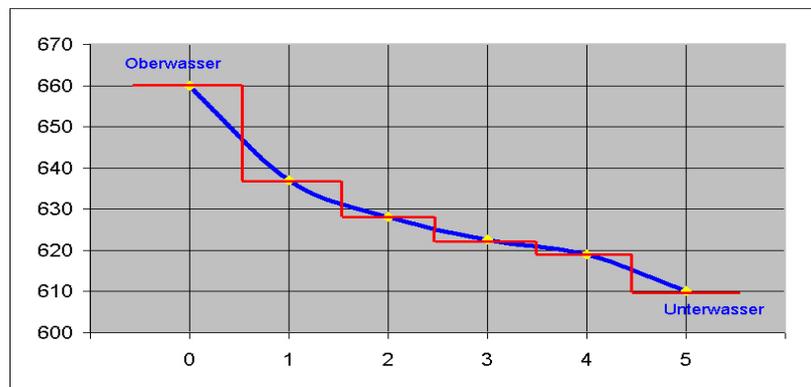


Abbildung 4-13: Schematisiertes Längsgefälle des Vertical-Slot-Passes am 04.05.2006

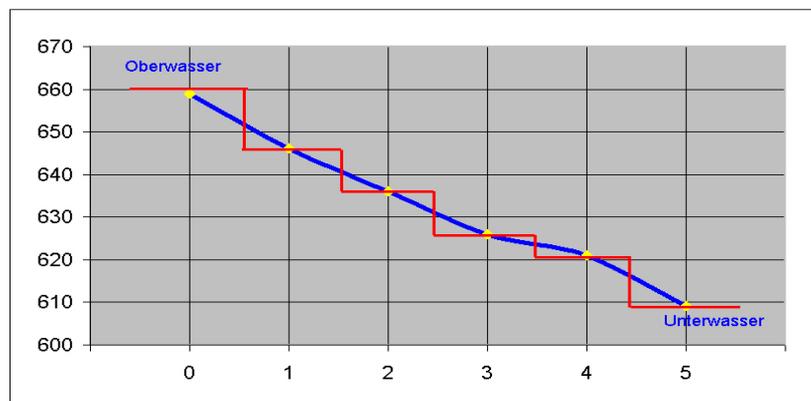


Abbildung 4-14: Schematisiertes Längsgefälle des Vertical-Slot-Passes vom 01.09.2006

Die wesentlichen Ergebnisse zu Fließgeschwindigkeiten und Abfluss werden in der folgenden Tabelle dargestellt. Eine ausführliche Darstellung ist im Abschlussbericht zum Fisch-Kanu-Pass (FREDRICH, 2006A) enthalten.

Tabelle 4-3: Vergleichende Ergebnisse zu Fließgeschwindigkeiten und Abfluss in den Fischwanderhilfen

Parameter	Fisch-Kanu-Pass		Vertical-Slot-Pass	
	03.05.2006	31.08.2006	04.05.2006	01.09.2006
Mittlere Fließgeschwindigkeiten in der Vertikalsäule im Wanderkorridor ¹ in cm/s	Obere K.: 52.57 – 112.29 Untere K.: 82.84 – 93.19	Obere K.: 43.91 – 83,16 Untere K.: 47.45 – 52.26	Obere K.: 40,21 – 114.20 Untere K.: 36.85 – 100.92	Obere K.: 82.33 – 120,23 Untere K.: 73.43 – 116.69
Mittlere Fließgeschwindigkeiten in der Vertikalsäule in den Becken ² in cm/s	Obere K.: 10.66 – 40.91 Untere K.: 2.70 – 25.09	Obere K.: 15.64 – 23.76 Untere K.: 19.67 – 21.25	Obere K.: 15.38 – 37.44 Untere K.: 7.48 – 27.50	Obere K.: 13.48 – 38.60 Untere K.: 5.34 – 53.97
Durchfluss in l/s	102,43	106.36	171.29	204.39
Oberflächennahe Leitströmung bei 1 m Entfernung in cm/s	38.09	29.54	15.24	16.49
Oberflächennahe Leitströmung in 8 m Entfernung in cm/s	15.50	19.90	24.70	23.08

¹ bei FKP = Messpunkte 1,3,5; bei VSP = Messpunkte 1,7

² bei FKP = Messpunkte 2,4; bei VSP = Messpunkte 2,3,4,5,6

In den Abbildungen 4-15 bis 4-18 werden die Strömungsrosen beider Messkampagnen im Fisch-Kanu-Pass und im Vertical-Slot-Pass dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Länge der Strömungspfeile nicht die Reichweite der Strömungen anzeigt, sondern lediglich die Geschwindigkeit an den durch den Mittelpunkt der Strömungsrosen gekennzeichneten Messpunkten veranschaulicht. Rote Strömungsrosen stehen für oberflächennahe, blaue für sohlennahe und grüne für Fließgeschwindigkeiten im Mittelwasser. Die Kreise der Rosen stehen für vom Mittelpunkt jeweils zunehmende 25 cm/s.

Der Abfluss des Fisch-Kanu-Passes ist durch Fließgeschwindigkeiten von ca. 120 cm/s in den Schlitzen zwischen den Borstenelementen gekennzeichnet, welche sich vom Oberwasser bis zum Unterwasser besonders oberflächennah weitgehend ungestört fortsetzen. An den Messpunkten 1, 3 und 5 beider Kammern wurden bei beiden Messkampagnen entsprechend hohe mittlere Geschwindigkeiten bis etwa 1,20 m/s aufgezeichnet. Am 03.05.2006 wurden im obersten Becken oberflächennah und im Mittelwasser Geschwindigkeiten > 1,00 m/s im Mittel gemessen. Im untersten Becken waren die Werte an diesen Messpunkten etwas geringer (0,91 ... 0,98 m/s). Da am 31.08.2006 die Borsten um 1 bis 2 cm höher überströmt wurden, waren die Mittelwerte im Strömungsstrahl der Durchlässe etwas geringer als am 03.05.2006.

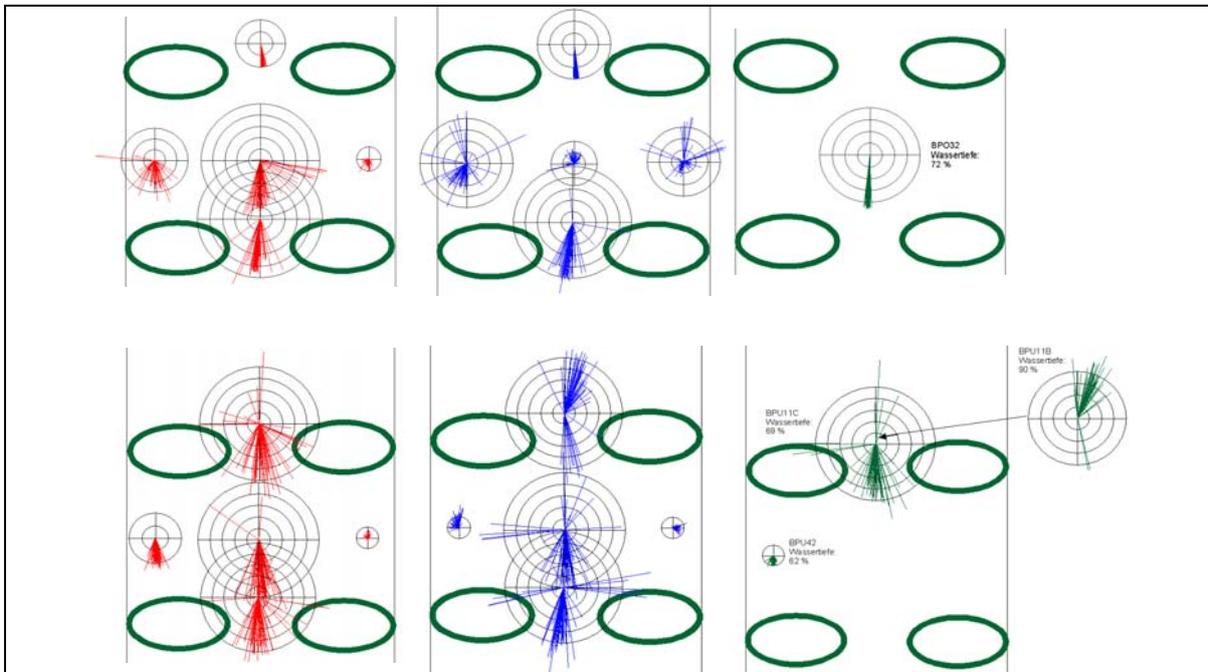


Abbildung 4-15: Fließgeschwindigkeiten im Fisch-Kanu-Pass am 03.05.2006
 (oben: obere Kammer; unten: untere Kammer (rot = oberflächennah; blau = sohlennah, grün = mittig))

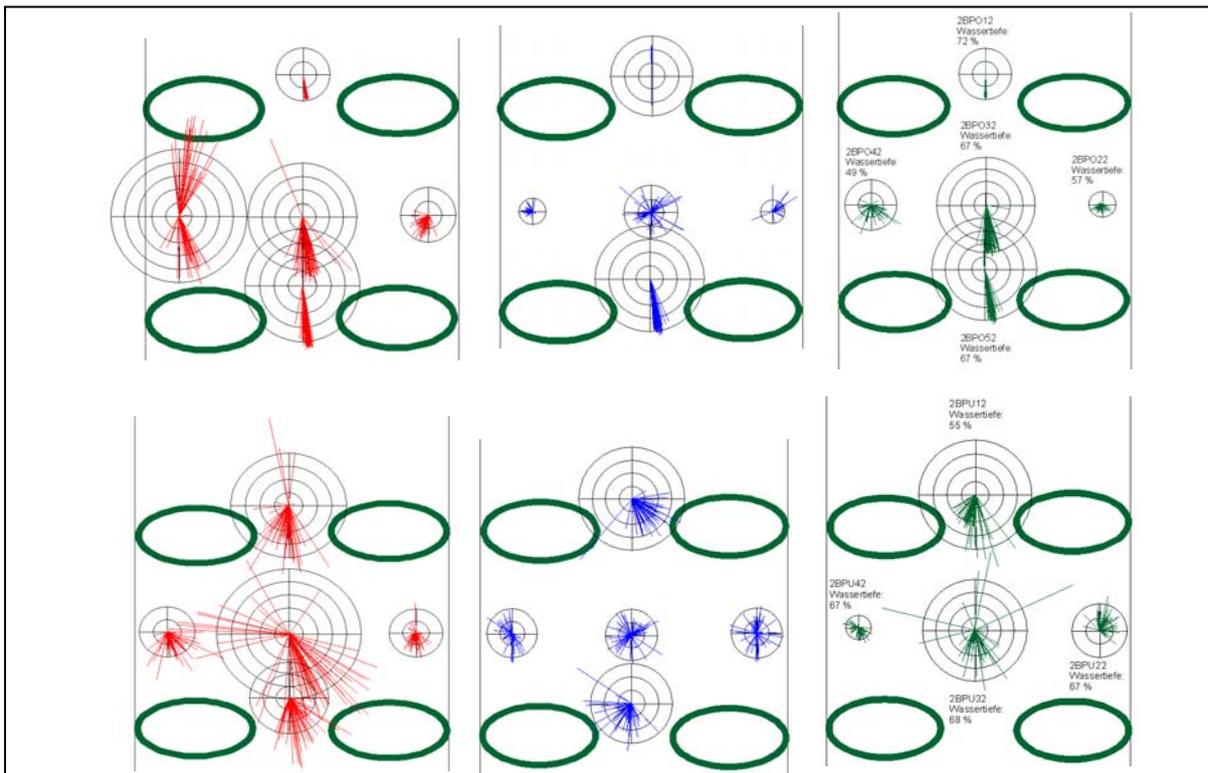


Abbildung 4-17: Fließgeschwindigkeiten im Fisch-Kanu-Pass am 31.08.2006
 (oben: obere Kammer; unten: untere Kammer (rot = oberflächennah; blau = sohlennah; grün = mittig))

Der Abfluss des Vertical-Slot-Passes war während der ersten Messkampagne am 04.05.2006 stark durch Verunreinigungen beeinflusst, die erst später erkannt wurden. Abgesehen von dem oben beschriebenen Längsgefälle wurde dadurch vor allem die Strömung unterhalb der Schlitze (Messpunkt 1) in beiden Kammern beeinflusst. Der Abfluss konnte deshalb nur näherungsweise geschätzt werden, wobei die oberflächennahen Werte mit 4/5 und die sohlennahe Werte mit 1/5 in die Kalkulation eingingen. In beiden Schlitzen wurden oberflächennah hohe Fließgeschwindigkeiten auf-

gezeichnet, die am obersten, von der Verunreinigung betroffenen Schlitz des Passes etwa 157 cm/s erreichten, während am Einstrom der untersten Kammer gemäßigte Werte von etwa 120 cm/s vorlagen. Etwas erhöhte Werte traten auch oberhalb der Schlitze an den Positionen 7 beider Kammern mit Mittelwerten zwischen 80 und 130 cm/s auf. Die Geschwindigkeiten der übrigen Messpunkte (2 – 6) lagen leicht bis deutlich unter denen der Ein- und Ausstrombereiche, allerdings herrschten in der oberen Kammer starke Turbulenzen, wie an den Strömungsrosen (Abb. 4-16) gut erkennbar ist. Während der zweiten Messkampagne am 01.09.2006 wurden keine Verunreinigungen festgestellt. Entsprechend gestaltete sich das Gefälle ausgeglichener, und die Turbulenzen fielen in beiden Kammern geringer aus.

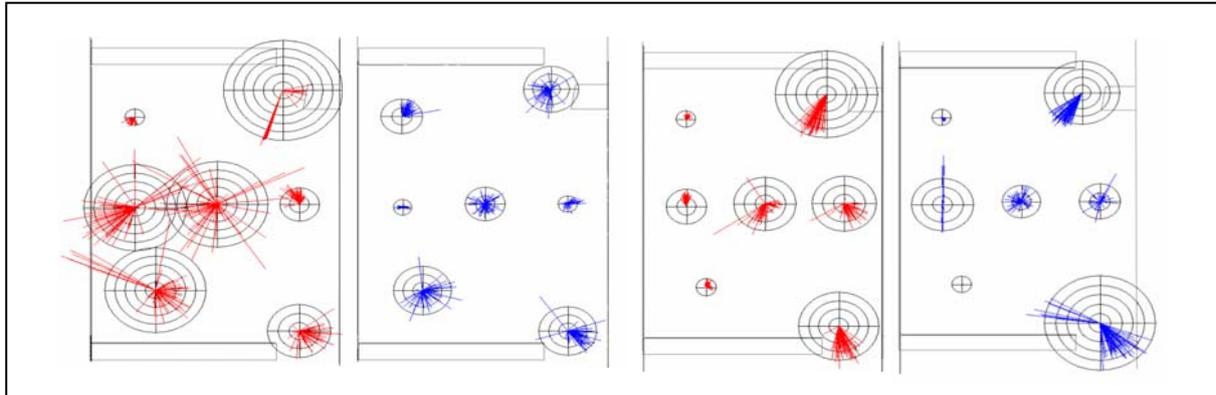


Abbildung 4-16: Fließgeschwindigkeiten im Vertical-Slot-Pass am 04.05.2006
(rechts: obere Kammer; links: untere Kammer (rot = oberflächennah; blau = sohlennah))

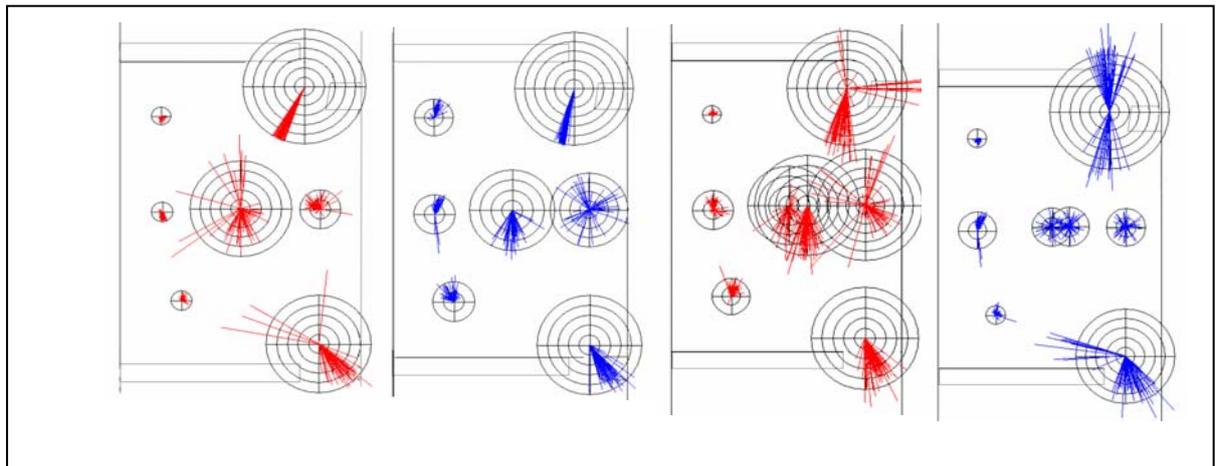


Abbildung 4-18: Fließgeschwindigkeiten im Vertical-Slot-Pass am 01.09.2006
(links: obere Kammer; rechts: untere Kammer (rot = oberflächennah; blau = sohlennah))

Zur Geometrie und Hydraulik des Fisch-Kanu-Passes am Wehr 31 lässt sich zusammenfassend einschätzen:

- Die Becken sind zu kurz, zu schmal und zu flach.
- Das Gefälle in der Fischwanderhilfe ist kontinuierlich.
- Die mittleren Tiefen in den Becken sind annähernd gleich.
- Unterhalb der Borstenelemente bilden sich im Strömungsstrahl kleine Kolke.
- Der stromab gelegene Teil der Grundplatten hat keinen zufriedenstellenden Sohlenschluss.
- Der Abfluss über den Fisch-Kanu-Pass betrug 102 – 106 l/s.
- Die Strömungen im Strömungsstrahl entsprechen den Forderungen des DVWK-Merkblattes (1996), überschreiten vor allem oberflächennah teilweise die im Handbuch Querbauwerke (2006) vorgeschlagenen Höchstgeschwindigkeiten von 0,7 m/s. Bei den sohlennahen Strömungen sind die Überschreitungen geringer.

- Die Seitenbereiche weisen strömungsberuhigte Bereiche auf, deren Existenz und Strömungen von der Überströmung der Borsten sowie den Hinterströmungen an der Stahlspundwand abhängen.
- Wegen dem fehlenden Treibgutabweiser und dem fehlenden Alternativabfluss kommt es besonders bei Sturm und im Herbst zu Versetzungen der Borstenelemente mit Treibgut. Da sich auch die Schlitzte vollständig zusetzen können, ist ein Fischaufstieg dann eingeschränkt oder auch gar nicht möglich. Ein Treibgutabweiser ist jedoch auch aus praktischen Gründen am Wehr 31 problematisch, da der gesamte Abfluss über den Fischpass geführt wird. Wegen dem fehlenden alternativen Abfluss (über ein Wehr) würde sich das Treibgut hier vor der Gesamtanlage stauen und wäre von dort nur mühsam zu entfernen.

Zur Geometrie und Hydraulik des Vertical-Slot-Passes am Wehr 55 lässt sich zusammenfassend einschätzen:

- Die geometrischen Parameter entsprechen mit Ausnahme der Schlitzbreite den Forderungen des DVWK-Merkblattes (1996). Nach neueren Erkenntnissen, die beim Bau des VSP aber noch nicht vorlagen (MUNLV NRW, 2005), sind die Becken zu kurz und zu schmal.
- Das Sohlgefälle in der Fischwanderhilfe ist kontinuierlich.
- Die mittleren Tiefen in den Becken sind annähernd gleich.
- Auf Grund von Versatz mit Treibgut wird die Höhendifferenz relativ oft nicht kontinuierlich abgebaut, was die Passierbarkeit des VSP zumindest für kleinere Fische einschränkt.
- Die unteren drei Stauwände sind am VSP am Wehr 55 zu niedrig. Häufig werden sie überströmt. Bei geringen Überströmungen kann dies vernachlässigt werden. Bei stärkeren Überströmungen hat es negative Auswirkungen auf die Ruhezonen in den Becken und die Ausbildung der Leitströmung.
- Der Abfluss über den Vertical-Slot-Pass betrug 171 bzw. 204 l/s.
- Die Strömungen in den Schlitzten überschreiten die im Handbuch Querbauwerke (2006) vorgeschlagenen Höchstgeschwindigkeiten von 0,7 m/s, entsprechen aber den Forderungen des DVWK-Merkblattes (1996).
- Die rechten Seitenbereiche weisen strömungsberuhigte Zonen auf, deren Existenz und Größe aber durch überhöhte Wasserspiegeldifferenzen temporär eingeschränkt wird.
- Die Leitströmung ist bei höherem Abfluss über das Wehr nur wenig größer als die Konkurrenzströmung des Wehrunterwassers.

Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt sind Parameter, die die Aktivität der Fische, den Stoffwechsel insgesamt und die Gonadenreife oder die Nahrungsaufnahme im Besonderen nachhaltig determinieren. Deshalb wurden während der Untersuchungen beide Parameter regelmäßig ermittelt. Die Ergebnisse werden in (FREDRICH, 2006 A UND B) ausführlich dargestellt.

4.2.3.2 Ergebnisse der Fischerfassungen an den Fischaufstiegsanlagen

Am Fisch-Kanu-Pass wurde an 38 Tagen der Fischaufstieg kontrolliert. Dabei wurden 11.879 Fische gefangen, die vierzehn Arten angehörten.

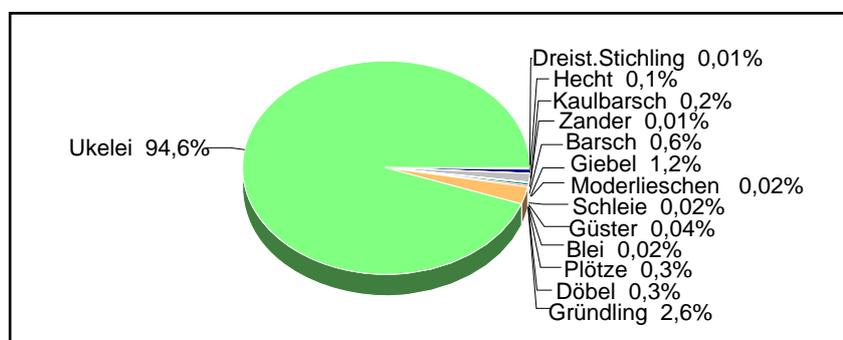


Abbildung 4-19: Zusammensetzung der Gesamtreusenfänge am Fisch-Kanu-Pass

Am Vertical-Slot-Pass wurde an 33 Tagen der Fischaufstieg kontrolliert. Dabei wurden 1.057 Fische gefangen, die 12 Arten angehörten.

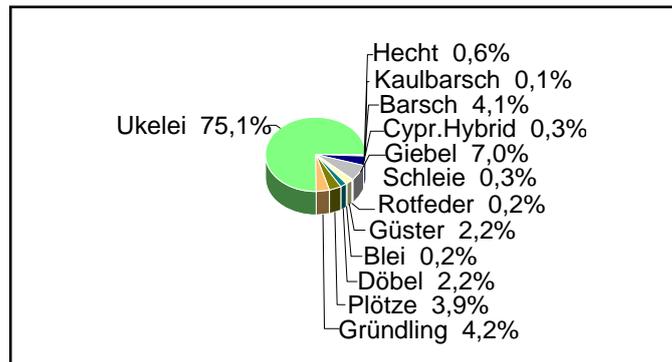


Abbildung 4-20: Zusammensetzung der Gesamtreusenfänge am Vertical-Slot-Pass

Tabelle 4-4: Relative Fangzusammensetzung bei der Befischung im Unterwasser und in den Fischwanderhilfen (FREDRICH, 2006 a und b) und aktuelle Verbreitung der Fischarten in der Spree (WOLTER ET AL. 2002)

	Fischart	Bestand im Unterwasser der Fischaufstiegsanlagen				aktuelle Vorkommen im Spreegebiet			
		FKP Okt 05	FKP Mai 06	VSP Mai 06	Laichzeit	Oberlauf	Mittellauf	Spree-wald	Unterlauf
rheophil	Döbel	14,0	4,7	3,8	PL	X	X	X	X
	Aland	1,3	0,4	-	III-IV		X	X	X
	Gründling	2,0	-	-	PL	X	X	X	X
	Quappe	-	0,4	2,17	XI-III		X	X	X
eurytop	Hecht	4,6	2,6	3,26	II-IV	X	X	X	X
	Plötze	36,9	46,6	42,39	V	X	X	X	X
	Ukelei	31,8	23,1	37,5	PL		X	X	X
	Güster	2,5	1,7	1,09	V		X	X	X
	Blei	0,8	1,7	3,26	V	X	X	X	X
	Giebel	-	-	0,54			X	X	X
	Flussbarsch	4,6	5,1	3,8		X	X	X	X
limnophil	Bitterling	-	7,7	1,63	PL			X	X
	Rotfeder	0,8	5,6	-	VI	X	X	X	X
	Schleie	0,8	0,4	-	VI	X	X	X	X
	Cypr. Hybrid	-	-	0,54					
Individuenzahl		155	234	184					
Artenzahl		11	12	11					

Die Tabelle 4-4 stellt den aktuellen Fischbestand im Spree-wald im Zusammenhang mit der Besiedlung der Spree dar und ordnet die Ergebnisse der Befischungen im Unterwasser der untersuchten Fischaufstiegsanlagen in diesen Zusammenhang ein.

Den absolut größten Anteil am Fang stellten sowohl im Fisch-Kanu-Pass als auch im Vertical-Slot-Pass die Ukelei. Die Vielzahl der Ukelei, die über die beiden Anlagen aufgestiegen sind, belegt, dass die Fische aus einem größeren Gewässerabschnitt während der Laichwanderung diesen Weg gewählt haben. Da das Wehr 31 mehrere Jahrzehnte für Fische unpassierbar war und der Fisch-Kanu-Pass erst ½ Jahr vor Beginn der Laichwanderung fertig gestellt wurde, ist es sehr erstaunlich, dass die Fische in der Vielzahl und aus einem weiten Gebiet diesen Weg gewählt haben. Obwohl der Vertical-Slot-Pass seit 1993 passierbar ist, sind hier zehnmal weniger Ukelei aufgestiegen, als über den Fisch-Kanu-Pass passiert haben. Dies ist um so erstaunlicher, da über den VSP und das Wehr 55 mehr Wasser abfließt als über den Fisch-Kanu-Pass. Eine Erklärung dieses Phänomens kann hier nicht gegeben werden.

Generell fällt auf, dass die relativen Abundanzen in den Reusenfängen mit denen der Elektrofischerei wenig übereinstimmen. Dies ist aber in erster Linie in den verschiedenen Wanderaktivitätsphasen der Fische begründet.

So wurden im Unterwasser Quappen gefangen, die aber nicht in den Reusen nachgewiesen wurden. Die Quappen wandern im Winter (November – Februar) und sind außerhalb dieser Zeit stationär (FREDRICH & ARZBACH, 2002). Auch Alande wurden in den Reusen nicht gefangen, wohl aber im Unterwasser des Fisch-Kanu-Passes, wenn auch in sehr geringer Stückzahl. Die Laichzeit der Alande war zum Beginn der Kontrollen bereits vorbei, so dass dieses Wandermotiv nicht mehr wirkte. Allerdings sind Alande auch außerhalb der Laichzeit mobil und sollten bei längeren Kontrollen in FWH auftauchen. Über das Fehlen der Rotfeder im Fisch-Kanu-Pass kann nur spekuliert werden. Die Zunahme der Abundanz der Rotfedern im Unterwasser lässt eine Laichwanderung vermuten. Obwohl die Kontrollperiode die Laichzeit der Rotfeder einschloss, wurden keine Rotfeder bei der Passage des Fisch-Kanu-Passes beobachtet. Im Vertical-Slot-Pass wurden dagegen einige laichreife Rotfedern gefangen, was die Hypothese einer Laichwanderung dieser Art oder einiger Individuen der Population unterstützt. Eventuell haben sie im Unterwasser abgelaicht und sind deshalb nicht in der Reuse erfasst worden. Im Rahmen dieses Projektes konnte diese Frage nicht geklärt werden.

Auch die Bitterlinge, die in den Unterwassern der Fischwanderhilfen im Mai 2006 in größerer Anzahl gefangen wurden, fehlten in den Reusen. Über die Gründe kann nur spekuliert werden, da z.B. über das Wanderverhalten der Bitterlinge bisher recht wenig bekannt ist. Eventuell haben sie nur ein sehr kleines Home Range nahe der für ihre Reproduktion erforderlichen Muschelbestände. Möglicherweise konzentrieren sich die für Bitterlinge interessanten Muschelbestände zunehmend unterhalb der Wehre, da die Bereiche oberhalb der Stauanlagen aufgrund der insgesamt geringeren Durchflüsse im Spreewald zunehmend verschlammten und damit als Muschellebensräume ausfallen. Ob die Bitterlinge unterhalb der Stauanlagen zur Reproduktion finden und zumindest den Sommer über dort leben oder ob sie wie andere Arten auch aufsteigen wollten, dazu aber nicht in der Lage waren, bleibt unklar und müsste zukünftig geklärt werden. Über die Schwimmleistungen der Bitterlinge gibt es keine Hinweise. Sie sind allerdings in der Lage, auch schneller fließende Gewässer zu besiedeln, wo sie sich dann in strömungsberuhigten Bereichen aufhalten, z.B. in der Spree unterhalb des Wehres Schmogrow (FREDRICH, 2003).

Einige Arten, die bei der Elektrofischerei nicht nachgewiesen wurden, sind in den Reusen gefangen worden. Dabei handelt es sich aber überwiegend um Arten, die auch in den Reusen nur in sehr geringer Stückzahl präsent waren. Während Moderlieschen, Zander und Dreistachliger Stichling nur im Fisch-Kanu-Pass nachgewiesen wurden, konnte der Kaulbarsch auch im Vertical-Slot-Pass festgestellt werden.

Eine Ausnahme bilden Gründlinge und Giebel, die recht zahlreich, insbesondere über den Fisch-Kanu-Pass aufgestiegen sind, aber im Unterwasser im Mai an beiden Anlagen nicht nachgewiesen wurden.

Interessant ist die Tag-Nacht-Aktivität der Fische bei der Passage des Fisch-Kanu-Passes. Die meisten Fische sind während der Dämmerung und/oder Nacht aufgestiegen. Nur während der Höhepunkte der zwei erfassten Laichwanderungen der Ukelei wanderten zahlreiche Ukelei auch am Tage. Maximal wurden etwa 1.500 Ukelei während der Nachthälfte gefangen und etwa 800 Ukelei während der Taghälfte. Außerhalb dieser Hauptwandertage wanderten Ukelei hauptsächlich nachts. Am Vertical-Slot-Pass wandern die Ukelei hauptsächlich am Tage und während der Hauptwandertage auch nachts. Offensichtlich ist die geringe Wassertiefe am Fisch-Kanu-Pass Ursache für die Nacht- oder Dämmerungsaktivität der Ukelei, die bei größeren Wassertiefen am Vertical-Slot Pass tagaktiv sind.

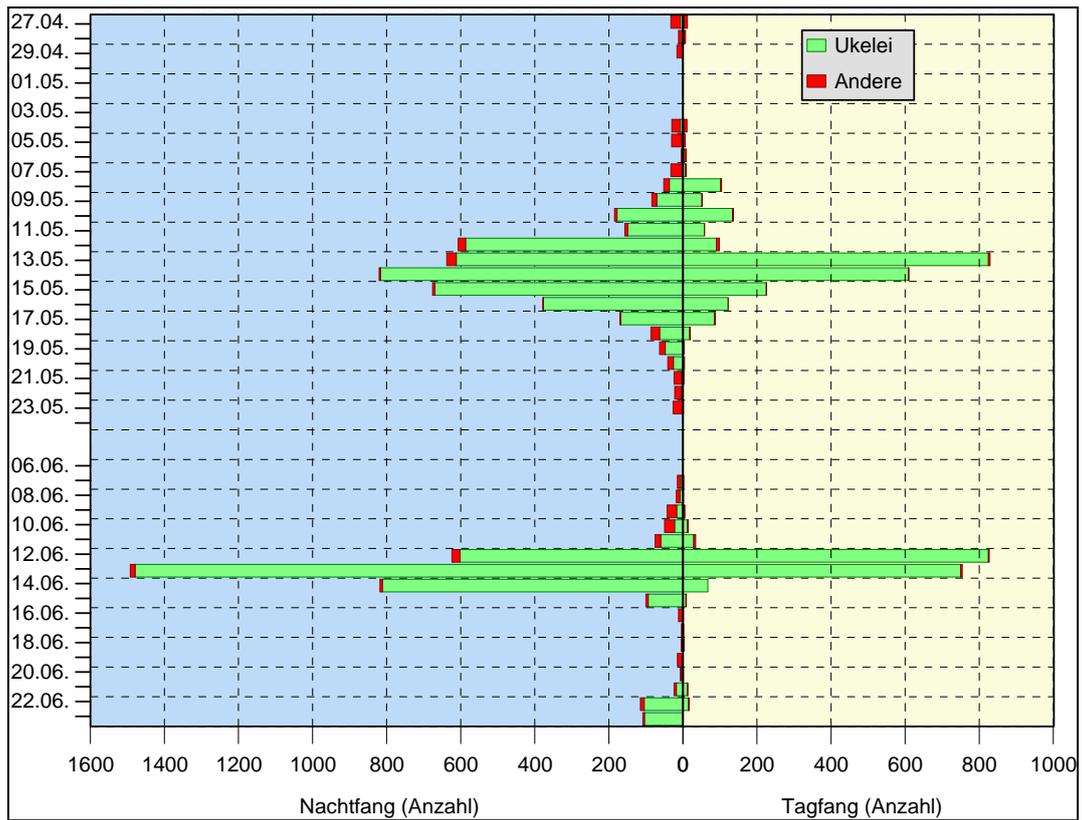


Abbildung 4-21: Fischaufstieg über den Fisch-Kanu-Pass, getrennt nach Nacht- und Tagfängen

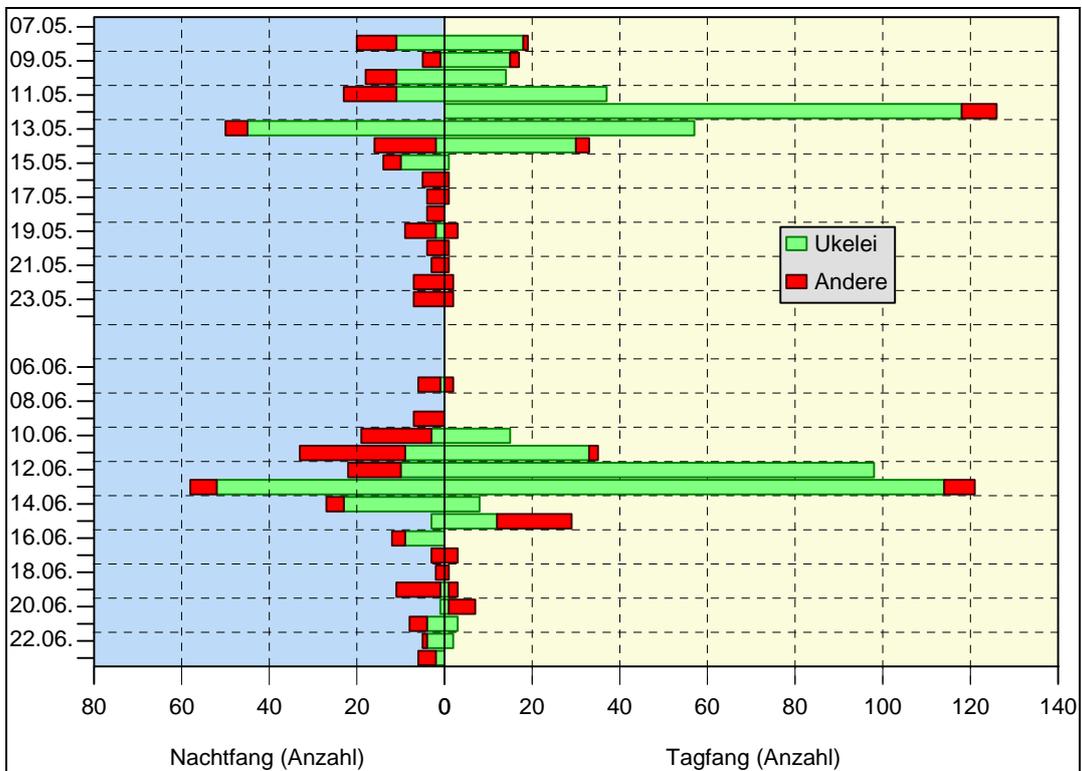


Abbildung 4-22: Fischaufstieg über den Vertical-Slot-Pass, getrennt nach Nacht- und Tagfängen

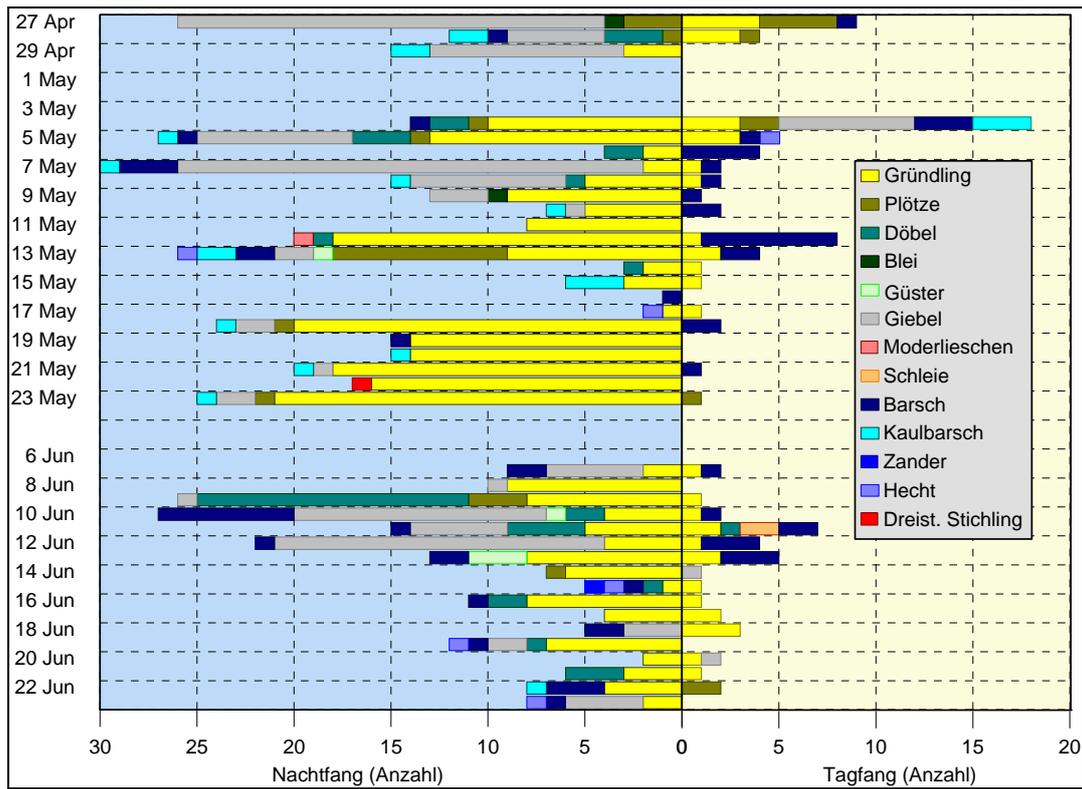


Abbildung 4-23: Fischaufstieg (ohne Ukelei) über den Fisch-Kanu-Pass, getrennt nach Nacht- und Tagfängen

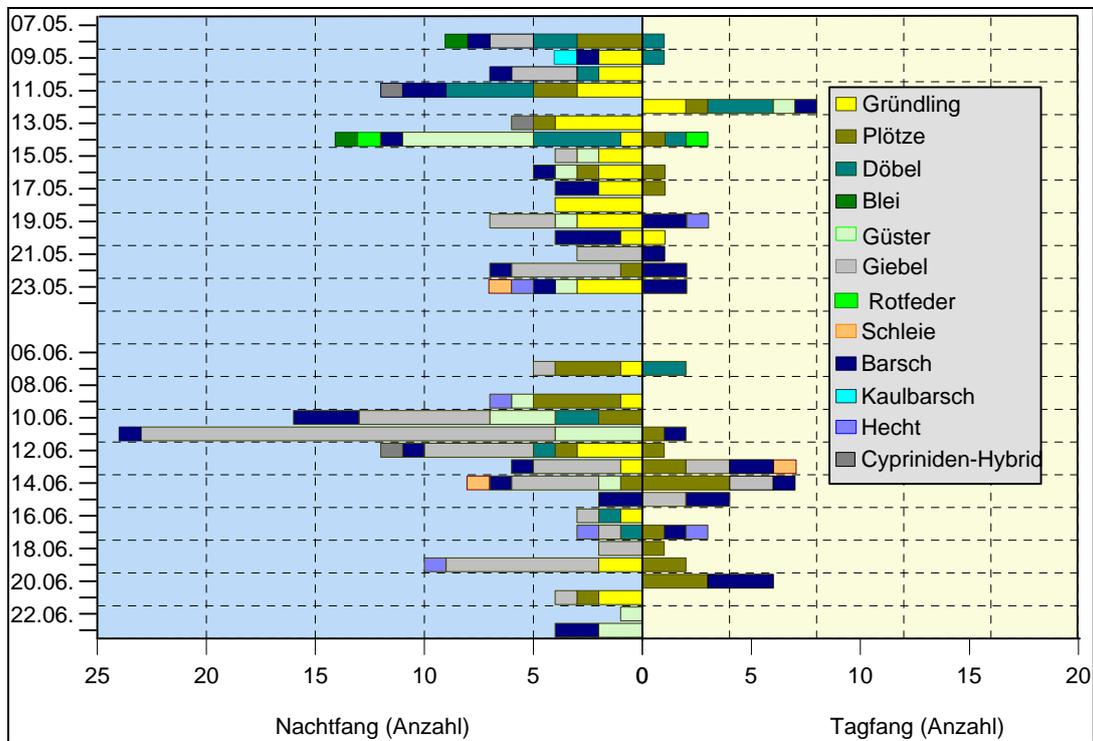


Abbildung 4-24: Fischaufstieg (ohne Ukelei) über den Vertical-Slot-Pass, getrennt nach Nacht- und Tagfängen

Dies ist überraschend, da Ukelei zumeist oberflächennah leben. Von den anderen Arten wanderten Giebel, Döbel, Güster und Kaulbarsch fast ausschließlich nachts, Gründlinge wanderten hauptsächlich nachts während Flussbarsch und Plötze sowohl am Tage als auch nachts wanderten (Abb. 4-23 und 4-24).

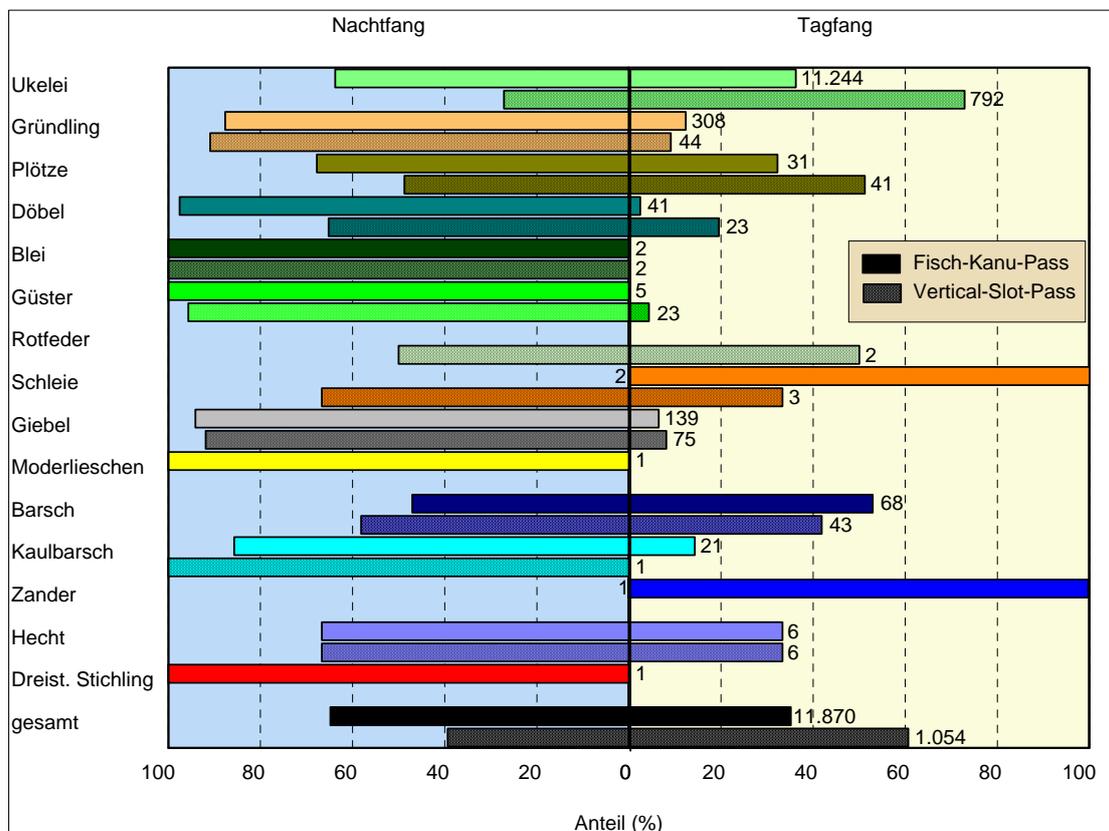


Abbildung 4-25: Vergleich von Tag-Nacht-Aktivitäten der Arten in den Fischwanderhilfen. Neben den Säulen sind die Gesamtzahlen der gefangenen Individuen angegeben. Cyprinidenhybriden wurden nicht berücksichtigt.

Anhand der vorangegangenen Ergebnisse und Annahmen wird festgestellt, dass beide Anlagen nicht artenselektiv wirken. Hinsichtlich der Längensverteilung der Fische ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen Fisch-Kanu-Pass und Vertikal-Slot-Pass.

Der Döbel ist die häufigste rheophile Art im Spreewald und wahrscheinlich der Hauptwirtschaftsfisch für *Unio crassus* im Gebiet. Da man im Mai/Juni nur geschlechtsreifen Fischen, die nach den Untersuchungen ≥ 18 cm sind, einen Wandertrieb unterstellen kann, klammert man üblicherweise die juvenilen Fische aus der Bewertung der Fischwanderhilfe aus.

Im Fisch-Kanu-Pass wurden 41 Döbel mit Körperlängen von 5 – 36 cm gefangen (Abb. 4-26). Döbel aller präsenten Längen, die mit großer Wahrscheinlichkeit wandern wollten, haben demnach diese Fischwanderhilfe passiert. Bei Döbeln wirkt der Fisch-Kanu-Pass offensichtlich nicht größenselektiv. Es wäre zu testen, ob Döbel > 50 cm, die in der Spree auch vorkommen, den vorhandenen Fisch-Kanu-Pass passieren.

Im Vertical-Slot-Pass wurden 23 Döbel mit Körperlängen von 24 – 36 cm gefangen. Im Unterwasser der Anlage waren auch sieben Döbel mit Längen von 4 – 31 cm festgestellt worden. Die Fische > 25 cm waren laichreif. Diese Längengruppen wurden auch in der Reuse nach der Passage des VSP gefangen. Die kleineren Döbel, die den Fisch-Kanu-Pass passierten, wurden im Vertical-Slot-Pass nicht gefangen. Theoretisch kann man zwar nur den laichreifen Döbeln einen Wandertrieb unterstellen und folglich nur ihr Auftreten im Reusenfang bewerten. Die Ergebnisse der Fischaufstiegskontrolle im Fisch-Kanu-Pass haben aber eindeutig gezeigt, dass auch kleine Döbel wandern.

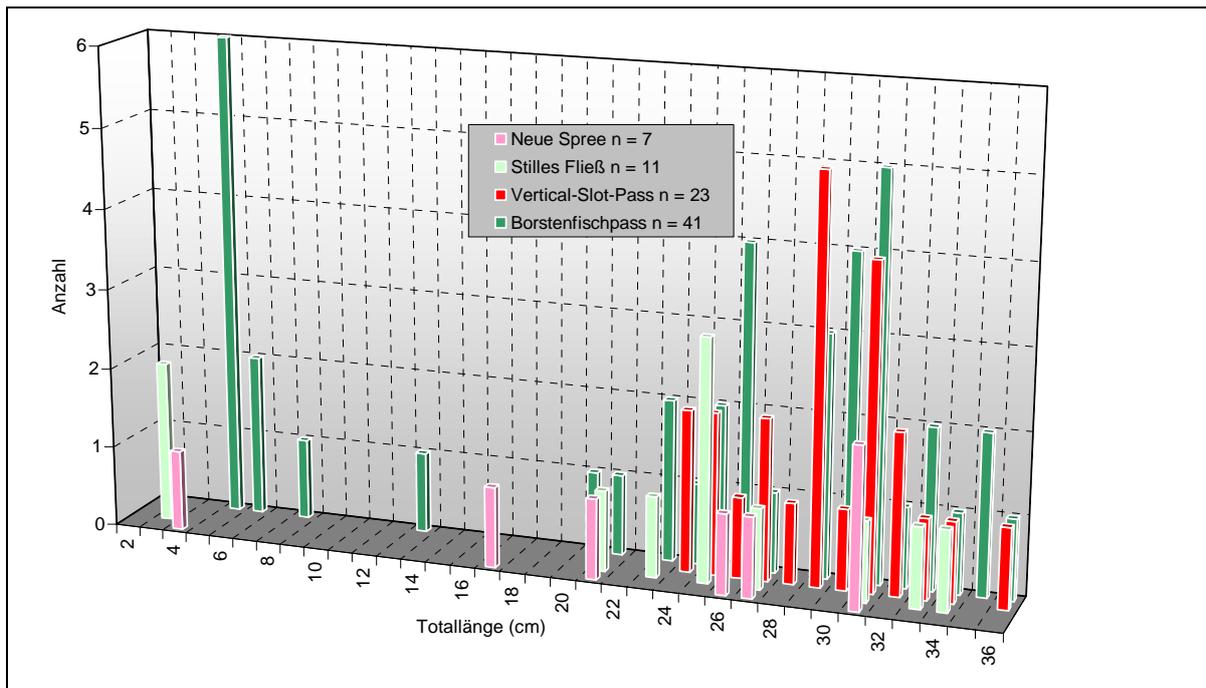


Abbildung 4-26: Längenhäufigkeitsverteilung der Döbel in den Fischwanderhilfen und im Unterwasser (Neue Spree = Unterwasser VSP; Stilles Fließ = Unterwasser FKP)

Die Döbel, die im Mai 2006 3 – 5 cm lang waren, gehören dem Jahrgang 2005 an und belegen die erfolgreiche Reproduktion der Art im Gewässer. Da die Döbel im Untersuchungsgebiet nicht besonders wohl genährt waren (mittlerer Korpulenzfaktor = 1,15), könnten die Döbel auch zum Fressen ins Oberwasser aufsteigen.

Ähnliche Aussagen lassen sich auch für die Wanderung der Gründlinge treffen. Im Unterwasser des Wehres 31 wurden im Oktober nur drei Gründlinge gefangen, im Mai keiner. Dennoch stiegen 308 Gründlinge über den Fisch-Kanu-Pass auf. Die Fische waren 4 – 11,5 cm lang (Abb. 4-27). Damit sind neben adulten (≥ 9 cm) auch juvenile Gründlinge aufgestiegen. Dies belegt, dass Gründlinge sehr wohl wandern und auch recht kleine Gründlinge bereits größere Strecken zurücklegen. Dass die kleinen Gründlinge in der Lage waren, die Fischwanderhilfe zu passieren, belegt, dass der Fisch-Kanu-Pass besser geeignet ist als der Vertical-Slot-Pass, besonders kleineren Fischen den Aufstieg zu ermöglichen.

Auch wenn für die Bewertung der Funktionsfähigkeit einer Fischwanderhilfe nur die laichreifen, weil tatsächlich wanderwilligen Fische betrachtet werden sollten (EBEL ET AL., 2006) zeigen die Ergebnisse, dass auch nichtlaichreife Gründlinge wandern wollen und dies über den Fisch-Kanu-Pass auch können, während sie den Vertical-Slot-Pass nicht passieren können. Auf Grund der Gleichzeitigkeit der Untersuchungen am Fisch-Kanu-Pass und am Vertical-Slot-Pass kann man mit hoher Sicherheit annehmen, dass auch die kleinen Gründlinge unterhalb des Vertical-Slot-Passes wandern würden.

Hinsichtlich der Eignung der Fischwanderhilfen für größere Hechte konnte im Rahmen dieser Untersuchung keine abschließende Feststellung getroffen werden. Im Unterwasser des Fisch-Kanu-Passes ist er mit Längen von 14,5 – 48 cm festgestellt worden, unterhalb des Vertical-Slot-Passes war er mit Längen von 15 – 37 cm vertreten. Im Fisch-Kanu-Pass wurden insgesamt sechs Hechte gefangen deren Größe aber deutlich hinter der der Hechte im Unterwasser zurückbleibt (Abb. 4-28). Die in den Reusen oberhalb der Fischwanderhilfen gefangenen Hechte waren 7 – 19 cm (FKP) bzw. 5 – 21 cm (VSP) lang und gehörten den Jahrgängen 2005 und 2006 an.

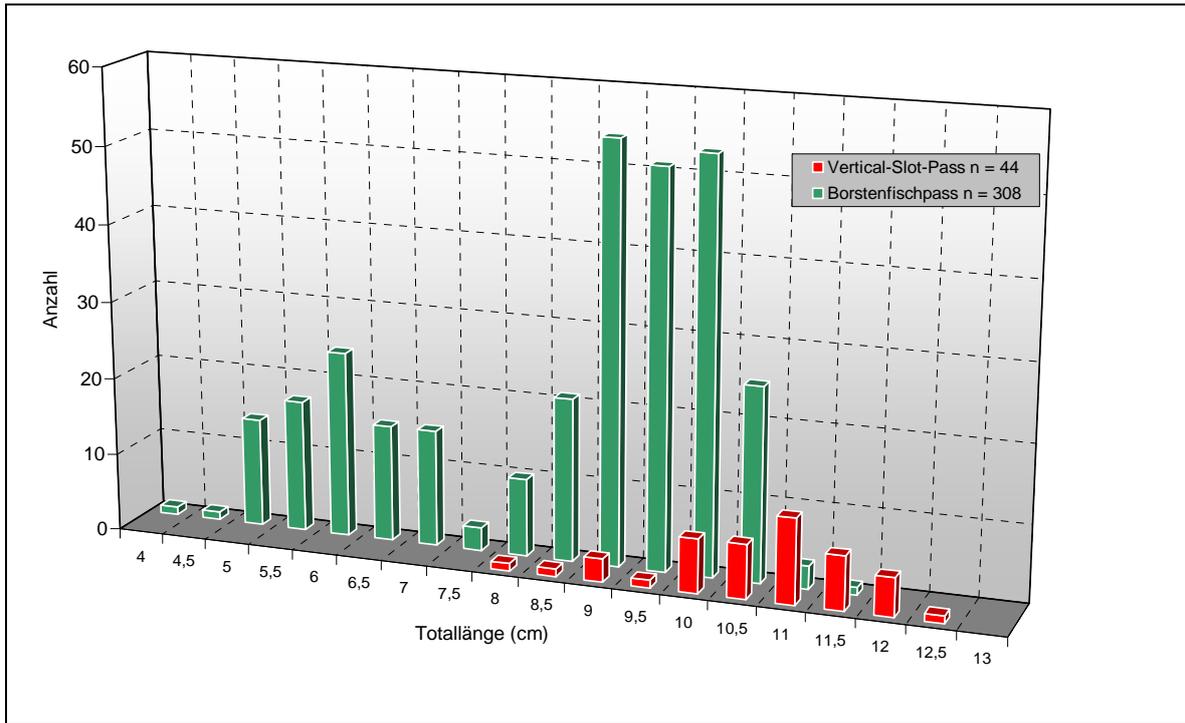


Abbildung 4-27: Längenhäufigkeitsverteilungen der Gründlinge in den Fischwanderhilfen

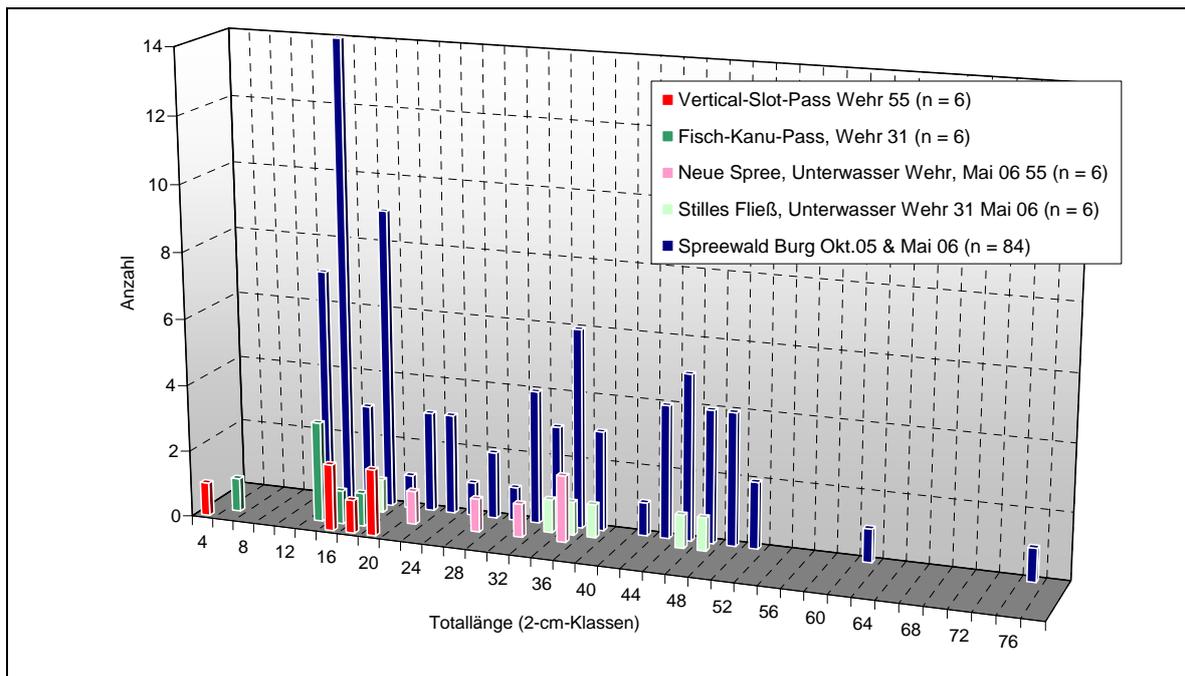


Abbildung 4-28: Längenhäufigkeitsverteilung der Hechte in den Fischwanderhilfen, im Unterwasser und im Burger Spreewald

Das vollständige Fehlen größerer Hechte, die im Unterwasser präsent sind, kann zwei Gründe haben:

- Die wandernden kleinen Hechte sind auf der Suche nach einem Einstand, da alle Einstände von größeren Hechten besetzt sind und dadurch für sie ein sehr hoher Prädationsdruck entstanden ist.
- Alle Hechte unternehmen auch außerhalb der Laichzeit verschieden motivierte Wanderungen. Die großen Hechte begeben sich außerhalb der Laichzeit nicht in Gefahr und meiden die Fischpässe, oder sie sind nicht in der Lage, die Anlagen zu durchschwimmen.

Generell gehören Hechte nicht zu den Fischen, die Fischwanderhilfen im Strom häufig annehmen. Obwohl bekannt ist, dass Hechte auch ausgedehnte longitudinale Wanderungen unternehmen, verlaufen die meisten Laichwanderungen eher lateral. Andererseits kann es auch daran liegen, dass die Hechte die Fischwanderhilfen, die verglichen mit dem unverbauten Zustand eher Fischwanderhindernisse sind, meiden. Ihr langer Körper findet keinen Platz in den strömungsberuhigten Bereichen von Fischwanderhilfen, so dass sie ständig einer hohen hydraulischen Belastung ausgesetzt sind.

Nicht alle erwachsenen Fische, die die Fischaufstiegsanlagen passierten, taten dies also im Zusammenhang mit der Reproduktion (Laichwanderung). Während man den portionslaichenden Gründlingen, Giebeln, Döbeln und Güstern, auch an Hand der kontrollierten Geschlechtsreife, mehrfache reproduktionsgesteuerte Wanderungen unterstellen kann, wanderten Plötze, Flussbarsch und Hecht auch außerhalb der Reproduktionsperiode. Ihre Wanderungen waren also anders motiviert (Nahrungssuche, Suche neuer Unterstände, Flucht vor Konkurrenz- oder Prädationsdruck). Dies zeigt, dass Fischwanderhilfen ganzjährig passierbar sein müssen und nicht nur während der Laichzeit.

Mit den abiotischen Parametern lassen sich die Aufstiegsaktivitäten nur schwer korrelieren. So sind die Wassertemperaturen vor und während der Laichwanderung der Ukelei relativ konstant. Auch das Ende des massenhaften Aufstiegs der Ukelei ist z.B. nicht durch einen Temperatursturz erklärbar. Ebenso folgen die Wanderaktivitäten der anderen Arten, die besondere Maxima erkennen lassen, nicht dem Temperaturverlauf. Es ist aber zu berücksichtigen, dass während der Kontrollperiode die Wassertemperaturen nur stundenweise $< 14\text{ °C}$ waren und erst Temperaturen $< 10\text{ °C}$ die Aktivitäten der präsenten Arten reduzieren.

4.2.3.3 Einschätzung der Effizienz der Fischaufstiegsanlagen

Beide Fischaufstiegsanlagen ermöglichen Fischen den Aufstieg ins Oberwasser der Staustufe.

Von den zwölf Arten, die im Unterwasser des Fisch-Kanu-Passes zeitgleich zur Aufstiegskontrolle erfasst wurden, wurden auch acht Arten in der Fischwanderhilfe gefangen. Für den fehlenden Nachweis der Passage durch Individuen der restlichen vier Arten können bei einigen Arten verhaltensbiologische Ursachen herangezogen werden:

- Quappe und Aland laichen sehr zeitig im Jahr (Januar bzw. März/Anfang April). Ihre Laichwanderungen waren vor Beginn der Aufstiegskontrollen abgeschlossen (FREDRICH, 2000, WINTER & FREDRICH, 2002), so dass der wichtigste Wandergrund entfiel. Die rheophilen Arten sollten aber in der Lage sein, die FWH zu passieren.
- Die Laichzeiten von Bitterling und Rotfeder fielen in die Kontrollperiode. Die Rotfedern im Unterwasser waren aber juvenil, so dass die Motivation für eine Wanderung ggf. gefehlt hat. Das Verhalten der Bitterlinge kann noch nicht geklärt werden.

Sechs Arten, die im Unterwasser des Fisch-Kanu-Passes nicht nachgewiesen wurden, konnten nach der Passage der Fischwanderhilfe gefangen werden. Besonders Gründlinge passierten die Anlage zahlreich. Auch Giebel und Kaulbarsche wurden regelmäßig beim Aufstieg über den Fisch-Kanu-Pass beobachtet. Von den im Burger Gebiet seltenen Arten Moderlieschen, Zander und Stichling wurde je ein Individuum bei der Passage der FWH gefangen.

Von den zehn Arten, die im Unterwasser des Vertical-Slot-Passes zeitgleich zur Aufstiegskontrolle erfasst wurden, wurden acht Arten in der Fischwanderhilfe gefangen. Auch hier wurden Quappen und Bitterlinge nicht im Fischpass nachgewiesen (s.o.). Vier Arten, die im Unterwasser nicht nachgewiesen wurden, wurden nach der Passage des Vertical-Slot-Passes gefangen. Besonders Gründlinge passierten die Fischwanderhilfe zahlreich. Schleie, Rotfeder und Kaulbarsch wurden nur in sehr geringer Anzahl gefangen, die meisten Individuen dieser Arten bei ihrer Laichwanderung.

Der Vergleich der relativen Abundanzen der Arten im Unterwasser und in den Fischwanderhilfen erweist sich als wenig sinnvoll. Mehrere Arten kommen offensichtlich kurzfristig aus einem größeren Gewässerabschnitt zu den Stauanlagen, um dann zügig über die Fischpässe ins Oberwasser aufzusteigen. Sie wurden im Unterwasser gar nicht oder zumindest nicht in dem in der Fischwanderhilfe beobachteten Umfang registriert. Dies gilt besonders für Ukelei, Gründling und Giebel. Diese drei Arten sind offensichtlich aus einem größeren Gebiet gekommen, um aufzusteigen:

- Die Anzahl der aufgestiegenen Ukelei (FKP = von 11.237; VSP = 792) ist bemerkenswert. Am Fisch-Kanu-Pass sind bis zu 1.500 Individuen pro Nacht während der Hauptlaichwanderzeit aufgestiegen. Woher die Ukelei kommen und wann und über welchen Weg sie zurückwandern, konnte in diesem Projekt nicht geklärt werden.
- Verglichen mit dem Bestand im Unterwasser ist auch die Anzahl aufgestiegener Gründlinge überraschend groß und belegt offenbar ausgedehnte Laichwanderungen dieser Kleinfischart.
- Auch die Giebel müssen aus einem größeren oder einem bisher nicht beprobten Gebiet zum Fisch-Kanu-Pass gekommen sein, um aufzusteigen.

In allen Fällen bleibt die Frage unbeantwortet, welche Reize die Fische aus großer Entfernung zum Fisch-Kanu-Pass gelenkt haben. An Stelle des kurze Zeit vor der Kontrolle fertig gestellten Fisch-Kanu-Passes befand sich zuvor ein unpassierbares Wehr ohne Schleuse. Dies schließt die Erklärung mittels „historische Wanderroute“ bzw. „erlernter Wanderweg“ vollständig aus, spricht aber für den Wanderkorridor insgesamt, der von den Fischen vieler Arten sofort erfolgreich angenommen wurde. Interessant und auch bewertungsrelevant ist ein Vergleich der Aufstiegszahlen zwischen Vertical-Slot- und Fisch-Kanu-Pass:

- Allein ein Vergleich der Gesamtzahl aufgestiegener Fische wirft die Frage nach den Ursachen für die Bevorzugung des Fisch-Kanu-Passes gegenüber dem Vertical-Slot-Pass auf. So wurden im Fisch-Kanu-Pass fast zehnmal so viele Fische pro Reusenleerung gefangen wie im VSP (Tab. 4-5). Dieser größere Gesamtfang im Fisch-Kanu-Pass basiert vor allen Dingen auf der großen Anzahl Ukelei die über diese Anlage aufstiegen. Aber auch Kaulbarsch und Gründling stiegen zahlreicher über den Fisch-Kanu-Pass als über den Vertical-Slot-Pass auf.
- Nicht alle Arten bevorzugten den Fisch-Kanu-Pass. Güster stiegen fünfmal häufiger über den Vertical-Slot-Pass auf als über den Fisch-Kanu-Pass.
- Die Aufstiegsaktivitäten der anderen Arten unterschieden sich an den beiden Fischwanderhilfen nicht wesentlich. Auch die alleinige Präsenz einzelner Arten im Fisch-Kanu-Pass (Moderlieschen, Zander, Dreistachliger Stichling) bzw. im Vertical-Slot-Pass (Rotfeder) darf nicht überbewertet werden, da es sich nur um einzelne Individuen der jeweiligen Arten handelt.

Tabelle 4-5: Vergleichende Übersicht über den Fang der einzelnen Arten an beiden Anlagen

Fischart	Fisch-Kanu-Pass	Vertical-Slot-Pass	FKP: VSP
	Anz. Ind./ Reusenleerung	Anz. Ind./Reusenleerung	
Döbel	0,54	0,37	1,48
Gründling	4,05	0,7	5,8
Ukelei	147,9	12,57	11,8
Plötze	0,41	0,65	0,63
Blei	0,03	0,03	0,83
Güster	0,07	0,37	0,18
Giebel	1,83	1,18	1,56
Schleie	0,03	0,05	0,55
Rotfeder		0,03	
Moderlieschen	0,01		
Flussbarsch	0,9	0,68	1,31
Zander	0,01		
Kaulbarsch	0,28	0,02	17,41
Hecht	0,08	0,09	0,83
Dreist. Stichling	0,01		
Gesamtindividuenzahl	156,2	16,73	9,34
Artenzahl	14	12	1,17

Die Frage nach den Ursachen für die teilweise artspezifische ungleiche Nutzung der Fischwanderhilfen bleibt in diesem Rahmen ungeklärt. Da alle möglichen Varianten vorkommen, Bevorzugung der einen oder anderen FWH ebenso wie \pm gleichmäßig Verteilung der aufsteigenden Individuen einer Art auf beide Fischwanderhilfen, scheidet eine Generalerklärung z.B. durch stärker ausgeprägte Leitströmung zu Gunsten einer Fischwanderhilfe aus.

Es fällt aber auf, dass scheinbar die schwimmschwächeren Arten Ukelei, Gründling und Kaulbarsch den Fisch-Kanu-Pass präferieren, während die schwimmstärkeren Arten über beide Fischwanderhilfen in gleicher Anzahl aufsteigen. Eventuell nutzen besonders Gründling und Kaulbarsch die seitlichen kleinen Schlitzte an den Wänden des Gerinnes. Die fast ausschließlich nachts wandernden Güstern haben eventuell den flachen und damit unsicher erscheinenden Fisch-Kanu-Pass gemieden und den tiefen und damit mehr Sicherheit bietenden Vertical-Slot-Pass bevorzugt.

Generell muss man beim Abundanzvergleich die Längenhäufigkeitsverteilung der Arten und damit auch ihre Geschlechtsreife berücksichtigen. Nicht geschlechtsreifen Fischen kann man schwer eine Wanderabsicht während der Laichzeit unterstellen, obwohl bekannt ist, dass auch unreife Fische an Laichwanderungen teilnehmen. Die gleichzeitige Kontrolle der benachbarten Fischwanderhilfen im gleichen Staugürtel erlaubt aber Quervergleiche, so dass in diesem Fall auch die Wanderungen juveniler Fische einiger Arten beurteilt und für die Einschätzung der Funktionsfähigkeit der Fischwanderhilfen herangezogen werden können:

- Von den Arten Döbel, Gründling, Plötze und Flussbarsch sind Individuen des gesamten präsenten Längenspektrums in der Lage, den Fisch-Kanu-Pass zu passieren. Es wurden sogar in der Fischwanderhilfe kleinere Flussbarsche gefangen als im Unterwasser der Anlage. Im Vertical-Slot-Pass wurden so kleine Längengruppen dieser Arten nicht gefangen. Ohne den Vergleich mit den Ergebnissen des Fisch-Kanu-Passes würde man die im Vertical-Slot-Pass fehlenden kleinen Fische der Arten wegen fehlender Motivation aus der Betrachtung ausklammern. Da der Vergleich vorliegt, muss man dem Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 in der Neuen Spree eine größen-selektive Wirkung gegenüber kleinen Fischen bescheinigen.
- Ukelei waren offensichtlich erst mit Größen > 8 cm in der Lage den Fisch-Kanu-Pass zu durchschwimmen. Bei dieser Art decken sich die Ergebnisse aus dem Fisch-Kanu-Pass mit denen aus dem Vertical-Slot-Pass. Wahrscheinlich sind die kleinen Ukelei, die in den turbulentesten Zonen nahe der Oberfläche wandern, nicht stark genug, der Strömung zu widerstehen. Fehlende Motivation kann aber auch nicht ausgeschlossen werden.

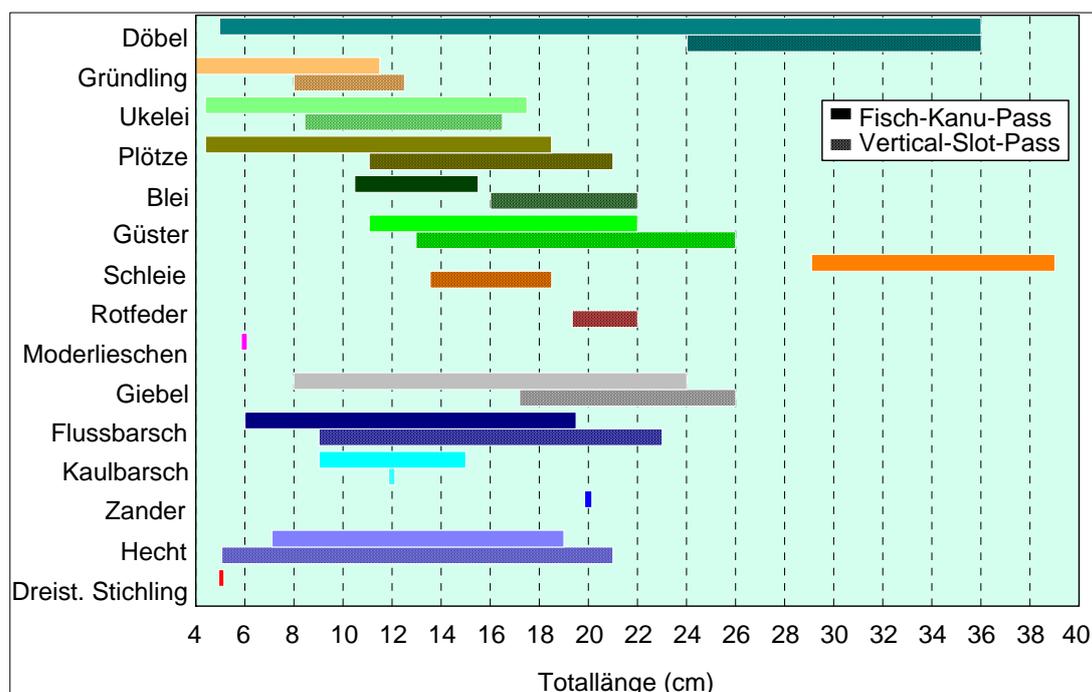


Abbildung 4-29: Übersicht über das Längenspektrum der aufgestiegenen Arten differenziert nach Fisch-Kanu-Pass und Vertical-Slot-Pass

Anders ist der Aufstieg der Hechte zu bewerten. Es wurden nur juvenile Hechte < 20 cm nach der Passage des Fisch-Kanu-Passes gefangen. Die auch im Unterwasser präsenten größeren Hechte haben die FWH nicht passiert. Da es den größeren Hechten auch an Motivation zum Aufstieg gefehlt haben kann (die Laichzeit war vorüber, Einstände gesichert, Nahrung ausreichend vorhanden), kann aus diesen Resultaten keine belastbare Größenselektivität gegen große Hechte abgeleitet werden. Diesem Problem wird aber weiter Aufmerksamkeit zu widmen sein.

Diese Erkenntnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 im Stillen Fließ ist sehr gut geeignet, kleinen Fischen verschiedener Arten den Aufstieg zu ermöglichen.
- Der Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 in der Neuen Spree wirkt größenselektiv gegen Fische < 8 – 10 cm (außer Hechte).

4.2.3.4 Diskussion zu technischen Daten der Fischaufstiegsanlagen

Im Land Brandenburg bilden die im DVWK-MERKBLATT 232 (1996) festgeschriebenen Kennwerte die Grundlage für den Bau von Fischwanderhilfen. Nach neueren Erkenntnissen, die im Handbuch Querbauwerke (2006) zusammengefasst sind, müssen für einige Parameter veränderte Werte angesetzt werden. In den Abschlussberichten zu den beiden untersuchten Fischaufstiegsanlagen werden diese Punkte diskutiert (FREDRICH 2006 a und b).

Zusammenfassend lässt sich einschätzen, dass die untersuchten Fischwanderhilfen einige Mängel bzw. Punkte aufweist, die einer weiteren Prüfung unterzogen werden müssen. Für den Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 wird festgestellt:

- Die Becken sind zu klein (Länge, Breite, Tiefe).
- Die Strömungsgeschwindigkeit im Wanderkorridor überschreitet teilweise die im Handbuch Querbauwerke fixierten Grenzwerte, ohne dass sich das beim Fischaufstieg bemerkbar macht. Einzige Ausnahme: kleine Ukelei.
- Eine sohlennahe Leitströmung ist nicht ausgeprägt.
- Feineres Sohlssubstrat ist bereits ausgespült oder umgelagert, so dass sich an den Grundplatten der Borstenelemente sowie an den im Schlitz belassenen Dammbalken senkrechte Abstürze von mehreren Zentimetern gebildet haben.
- Als Resultat aus der projektbedingten zu geringen Beckengröße wirkt die FWH eventuell größenselektiv gegen größere Fische (Hechte). Dies ist beim Bau weiterer Anlagen zu berücksichtigen.
- Der Fisch-Kanu-Pass ist nicht selbstreinigend. Aufgrund des geringen Durchflusses und des fehlenden Alternativabflusses am Wehr 31 kann Treibgut und Laub, insbesondere im Herbst, zum Verstopfen der Schlitze führen.
- Ungeklärt sind bisher die Auswirkungen des Kanubetriebes auf den Fischaufstieg. Es muss geklärt werden, ob organisatorische (Sperrung während der Laichwanderung oder Dämmerung und Nacht) oder bautechnische Maßnahmen (Bau von Rückzugsräumen) oder eine Kombination beider erforderlich sind.

Für den Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 wird festgestellt:

- Die Becken sind nach neueren Kenntnissen zu klein (Länge, Breite).
- Die unteren drei Stauwände sind zu niedrig und werden oft überspült. Dies kann zur Reduzierung der Größe der Ruhezonen und zur Behinderung der Leitströmung führen.
- Die Strömungsgeschwindigkeit in den Schlitzen überschreitet teilweise die im Handbuch Querbauwerke (2005) fixierten Grenzwerte.
- Eine sohlennahe Leitströmung ist nicht ausgeprägt.
- Feineres Sohlssubstrat ist bereits ausgespült oder umgelagert und sollte wieder eingebracht werden.
- Die Wasserspiegeldifferenz wird oft ungleichmäßig von Becken zu Becken abgebaut. Ursache ist der Versatz der Schlitze mit Treibgut (Ästen). Dies führt zu erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten in den betroffenen Schlitzen und zur Einschränkung der Funktionsfähigkeit.
- Als Resultat aus der zu starken Strömung in den Schlitzen wirkt der VSP selektiv gegen kleine Fische mehrerer Arten.

4.3 Sozioökonomische Betrachtungen

4.3.1 Nutzerakzeptanzanalyse am Fisch-Kanu-Pass

Am 08.04.2006 war der Fisch-Kanu-Pass im Rahmen des Projektbeirates feierlich eingeweiht worden, wobei Kanuten des ESV Lok RAW Cottbus die offizielle Erstbefahrung vornahmen. Im Ergebnis dessen wurde Anfang Mai eine Verbesserung der Anlage durch die Einrichtung eines Handlaufes am Treidelsteg vorgenommen. Damit ist es den Bootsfahrern möglich, sich bei geringeren Wasserständen, wenn die Abfahrt ins Stocken kommen sollte, über den Fisch-Kanu-Pass zu ziehen, ohne aussteigen zu müssen.

Für die Nachnutzung des Borstenkonzeptes ist die Praktikabilität des Fisch-Kanu-Passes für die Kanuten von Bedeutung. Im Spreewald hat dieser Punkt wegen des häufigen Niedrigwassers und der starken touristischen Frequentierung des Gebietes durch Kanuten einen besonderen Stellenwert. Im Rahmen des Projektes war zu klären, ob die Anlage bei dem geringen Wasserdargebot befahrbar ist, welche Verbesserungen ggfs. vorgenommen werden sollten und ob der Fisch-Kanu-Pass von den Kanuten angenommen wird. Zur Klärung dieser Fragen wurde eine Nutzerakzeptanzanalyse durchgeführt.



Abbildung 4-30: Einweihung des Fisch-Kanu-Passes im April 2006

4.3.1.1 Methodik und Ablauf

Zur Datenerhebung im Rahmen der Nutzerakzeptanzanalyse wurden Fragebögen in einer halboffenen Struktur entwickelt, die für Interviews am Fisch-Kanu-Pass und an der Schleuse am Wehr 31 eingesetzt wurden. Außerdem wurden zwei Bögen für rein quantitative Erfassungen (Zählungen) hinsichtlich der Nutzung von Schleuse und Fisch-Kanu-Pass eingesetzt. Die Aufbereitung und Analyse der erhobenen Daten erfolgte im Wesentlichen nach Standardwerken der empirischen Sozialforschung (SACHS U. HEDDERICH, 2003; DIEKMANN, 2006).

Auf Grundlage der Frage- und Erfassungsbögen wurden über einen Zeitraum von vier Monaten von Mitte April bis Mitte August 2006 an neun Terminen Interviews durchgeführt. Diese fanden sowohl an Werk- wie auch an Feiertagen und innerhalb der Ferienzeit statt.

4.3.1.2 Ergebnisse und Auswertung

Am Fisch-Kanu-Pass wurden insgesamt 40 Interviews mit 108 teilnehmenden Personen durchgeführt, an der Schleuse waren es 31 Interviews mit 74 teilnehmenden Personen. In das jeweilige Interview wurden alle Personen im Kanu einbezogen, so dass ein Interview oftmals die Meinung mehrerer

Kanuten repräsentiert. Der Anteil der männlichen Befragten überwog an beiden Anlagen und betrug 58 %, gegenüber der weiblichen mit 42 %.

Tabelle 4-6: Zeitliche Verteilung der Interviews im Rahmen der Nutzerakzeptanzanalyse am Fisch-Kanu-Pass

		Fisch-Kanu-Pass	Schleuse
Gesamtzahl der Interviews		40	31
Anzahl der befragten Kanuten		108	74
Verteilung nach Datum	15.04.06	9	defekt
	29.04.06	2	0
	30.04.06	3	0
	03.06.06	4	9
	04.06.06	1	1
	12.07.06	6	4
	19.07.06	0	5
	03.08.06	0	5
	17.08.06	8	7
Verteilung nach Wochentagen	Mittwoch	12	9
	Donnerstag	8	12
	Samstag	15	9
	Sonntag	4	1
Verteilung nach Freizeit	Ferien	21	21
	Feiertage	1	1
	Außerhalb Ferien	18	9
Witterungsverhältnisse	Sonnig	24	12
	Heiter	11	13
	Bewölkt	5	6

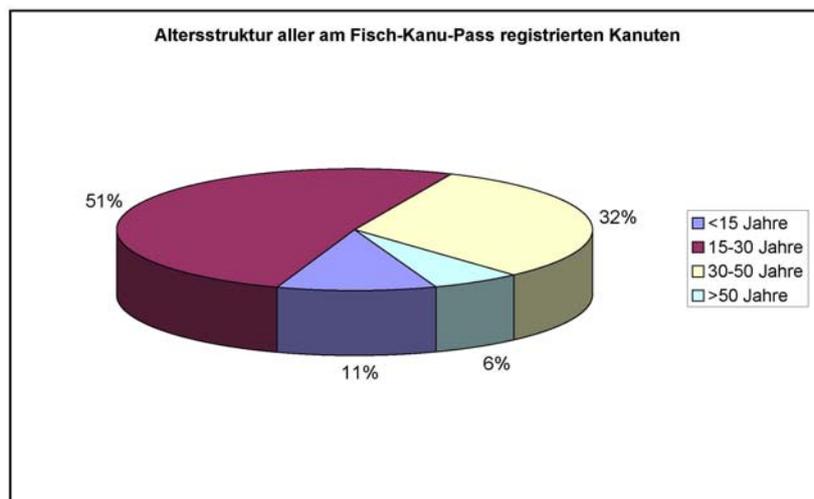


Abbildung 4-31: Altersstruktur der am Fisch-Kanu-Pass registrierten Kanuten

Unterschiede zwischen Fisch-Kanu-Pass und Schleuse gab es in der Altersstruktur der registrierten Kanuten. Am Fisch-Kanu-Pass dominierte die Altersgruppe der 15 – 30 jährigen, während die älteren Bootsfahrer lieber die altbewährte Schleuse nutzten.

Tabelle 4-7: Übersicht zu den Ergebnissen der Zählungen der Bootsnutzer am Wehr 31

	Fisch-Kanu-Pass	Schleuse
Gezählte Kanuten	284	232
Altersgruppe 15 – 30 jährige	51 %	29 %
Altersgruppe 30 – 50 jährige	32 %	45 %

In den Abbildungen 4-32 und 4-33 werden die Ergebnisse der Interviews zusammengefasst dargestellt.

Im Ergebnis der Nutzerakzeptanzanalyse ist zunächst festzustellen, dass der Fisch-Kanu-Pass bei den Kanuten eine überragend gute Akzeptanz findet. Alle Nutzer des FKP und die große Mehrheit der Schleusennutzer sind ohne weiteres bereit, diese Anlage (erneut) zu nutzen. Viele der Kanuten, die den Fisch-Kanu-Pass befahren haben, sehen in dieser Anlage nicht nur einen persönlichen Vorteil sondern begrüßen deren positive Auswirkungen auf die Ökologie des Fließgewässers.

Es ist aber auch deutlich geworden, dass der Fisch-Kanu-Pass einem Großteil der Nutzer noch unbekannt ist. Aus der Befragung an der Schleuse wird deutlich, dass dieses Informationsdefizit vielfach zur Nutzung der Schleuse statt des Fisch-Kanu-Passes führte. Sofern die Kanuten überhaupt vom Fisch-Kanu-Pass wussten, hatten sie ihre Informationen mehrheitlich aus Printmedien.

Eine besondere Rolle bei der Information spielen die Kanuvermieter. In den insgesamt 71 Interviews wurden lediglich 4-mal Kanuvermieter als Informationsquelle genannt. Dies ist besonders kritisch anzumerken, weil in Summe gut 95 % aller registrierten Kanus von Kanuvermietern stammen. Ein Großteil der Bootsverleiher ist Mitglied im Projektbeirat und so aus erster Hand informiert worden, abgesehen von der Pressearbeit im Amtsblatt und der Tagespresse. Darüber hinaus ist das im Rahmen des Projektes erstellte Faltblatt vor der Saison bei den Kanuvermietern verteilt worden. Es muss im Nachgang festgestellt werden, dass das Interesse am Fisch-Kanu-Pass bei den Bootsverleihern offensichtlich unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Insbesondere Bootsverleiher, die auch ein Kahnfährunternehmen betreiben, zeigen mehr Interesse, da sie durch die Entlastung der Schleuse einen Vorteil vom Fisch-Kanu-Pass haben. Dies drückt sich auch darin aus, dass sie ihre Kahn-gäste während der Durchfahung der Schleuse über den Fisch-Kanu-Pass informieren, wie mehrfach beobachtet wurde.

Sowohl die mangelnde Information durch die Kanuvermieter als auch die häufige Kritik der Kanuten bezüglich fehlender bzw. unzureichender Beschilderung im Eingangsbereich sowie direkt am Fisch-Kanu-Pass geben Anlass zu Verbesserungen.

Eine Nachauflage des Faltblattes und die Verbreitung des Videos (1.2.2) sollen dazu beitragen, die Öffentlichkeitsarbeit zu unterstützen. Hinsichtlich der Kanuvermieter wird es notwendig sein, die Verteilung des Faltblattes zu Saisonbeginn mit einem persönlichen Gespräch zu verbinden.

Auch die Beschilderung am Fisch-Kanu-Pass ist zu optimieren. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass diese in ein gewässerbezogenes Wegeleitsystem integriert wird. Gut ein Viertel aller am FKP und der Schleuse registrierten Kanuten legten eine kürzere Pause an der Anlage ein. Bietet man gezielt Rast- und Informationsmöglichkeiten vor Ort an, erhöht sich sicherlich der Anteil derer, die eine Pause machen und die Gelegenheit nutzen, sich umfassender über den Fisch-Kanu-Pass zu informieren. Beim Bau weiterer Anlagen sollten längere Stege vor und hinter den Anlagen eingerichtet werden.

Auswertung Fisch-Kanu-Pass-Nutzung			
Auswertungskriterium		Anzahl Nennungen	Prozent
Befahrung d. FKP	Flussaufwärts	21	53%
	Flussabwärts	19	48%
		nein gesamt	24
Bekanntheit FKP	ja	Zeitung/ Zeitschriften	6
		Kanuvermieter	3
		TV	1
		Infoschild	1
		Sonstige/ o. A.	4
		ja gesamt	16
FKP Erstbefahrung		ja	35
		nein	5
Meinung zum FKP	Gut ist	Zeitersparnis	16
		ökologischer Nutzen	11
		Umtragen/ Schleusennutzung entfällt	10
		bequeme Nutzung/ kein Aussteigen notwendig	4
		kein Zahlen an d. Schleuse	4
	Schlecht ist	Kraftsparend	3
		Sonstige	6
		unzureichende Beschilderung	8
		Widerstand der Borsten zu groß/ man bleibt stecken	7
		man muss aussteigen (flussaufwärts)	4
Sonstige	4		
Gesamtbewertung des FKP		positiv	40
		negativ	0
Gestaltungswünsche zum FKP u. Umfeld		bessere Beschilderung	9
		Polsterwege	5
		Rastmöglichkeiten	4
		Umfeldbegrünung	3
		längere Stege	3
Erneute FKP-Nutzung		ja	38
		ja mit Einschränkungen	2
			95%
			5%

Abbildung 4-32: Zusammenfassende Auswertung zur Nutzung des Fisch-Kanu-Passes

Auswertung Schleusennutzung			
Auswertungskriterium		Anzahl	Prozent
Befahrung d. Schleuse	Flussaufwärts	15	48%
	Flussabwärts	16	52%
Häufigkeit weiterer Boote i. d. Schleuse	Kanus	8	
	Kähne	0	
		nein gesamt	26
			84%
Bekanntheit FKP	ja	Zeitung/ Zeitschriften	2
		Kanuvermieter	1
		Eigene Befahrung	1
		ja gesamt	5
			16%
Überwinden anderer Stauanlagen durch		Umtragen	13
		Schleusen	31
Gründe zur Nutzung der Schleuse statt FKP	nicht Beachten des FKP bzw. fehlende/ unzureichende Beschilderung/ Information	15	
	aus Gewohnheit	7	
	Unsicherheit bzgl. der Benutzung des FKP	4	
	bequeme Nutzung/ kein Aussteigen notwendig	3	
	Schleusen ist ein Erlebnis	3	
	Schleuse war geöffnet	3	
	Schleuser haben sich angeboten	2	
Künftige FKP-Nutzung wenn...	bessere Beschilderung	12	
	Nutzung beim nächsten Mal	3	
	keine andere Möglichkeit besteht	2	
	Sonstige	4	
Gestaltungswünsche zum FKP u. Umfeld	bessere Beschilderung	4	
	Umfeldbegrünung	2	
	Rastmöglichkeiten	1	
	Sonstige	1	
FKP-Nutzung beim nächsten Mal	ja	22	71%
	ja mit Einschränkungen	8	26%
	o. A.	1	

Abbildung 4-33: Zusammenfassende Auswertung zur Nutzung der Schleuse durch Kanuten



Abbildung 4-34: Kanuten beim Befahren des Fisch-Kanu-Passes

4.3.2 Unterhaltung des Fisch-Kanu-Passes

Die Unterhaltung ist an allen Fischaufstiegsanlagen im Spreewald erforderlich, nicht nur im Spreewald. Hier sind es vor allem herab fallendes Laub und Äste, die eine häufige Reinigung der Anlagen verlangen, um deren Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Am Fisch-Kanu-Pass erfolgt die Säuberung durch Abharken der Borsten mit einem Rechen, was unter normalen Bedingungen in kurzer Zeit problemlos erfolgt.

Am Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 ist die Situation dadurch verschärft, dass hier der gesamte Abfluss über den Fischpass erfolgt. Es gibt keinen weiteren Abfluss über ein Wehr, so dass alles Laub und anderes Treibgut den Fisch-Kanu-Pass passiert. Aufgrund des geringen Durchflusses von ca. 100 l/s reicht die Strömung nicht aus, um das ankommende Material über die Borsten ins Unterwasser zu befördern, wie dies an anderen Fisch-Kanu-Pässen mit höheren Durchflüssen der Fall ist.

Im Herbst 2006 wurde beobachtet, dass es kurzzeitig zum vollständigen Versatz der Schlitze mit Laub gekommen ist und die Funktionsfähigkeit dann für einzelne Tage nicht gegeben war. Dies ist u.a. in Verbindung mit einer baustellenbedingten Absenkung des Wasserstandes im Staugürtel VII der Fall gewesen.

In diesem Zusammenhang wurde auch das Anbringen eines Treibgutabweisers diskutiert. Wegen der Doppelfunktion der Anlage als Fisch- und Bootspassage gibt es die Vorstellung, den Treibgutabweiser nur in Zeiten außerhalb der Kanusaison, vor allem im Herbst, einzusetzen. Gegebenenfalls könnte man den Treibgutabweiser auch schräg vor dem Fisch-Kanu-Pass platzieren, so dass der überwiegende Teil des Treibgutes zwar abgewiesen wird, Boote die Anlage aber noch passieren können. Im Fall des Fisch-Kanu-Passes am Wehr 31 bringen jedoch beide Varianten keinen wirklichen Vorteil, da es keinen alternativen Abfluss gibt. Hier würde sich das Treibgut vor dem Abweiser stauen, voll Wasser saugen, absinken und dann doch in den Fischpass einschwimmen.

Da die Stauanlagen im Spreewald zweimal wöchentlich vom Wasser- und Bodenverband kontrolliert und gereinigt werden, treten Funktionsstörungen wegen des Versatzes mit Treibgut hier nur kurzzeitig auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 die Anforderung einer 300tägigen Passierbarkeit im Jahr erfüllt.

Im Rahmen der Fischaufstiegskontrollen am Wehr 55 hat sich gezeigt, dass auch der Schlitzpass unter Spreewaldbedingungen einer ständigen Unterhaltung bedarf, wenn seine Funktionsfähigkeit gewährleistet sein soll.

Bei freiem Abfluss durch die Schlitze baut sich die Höhendifferenz vom Oberwasser zum Unterwasser relativ gleichmäßig von Becken zu Becken ($\Delta h = 0,10$ m) ab. Durch das Zusetzen der Schlitze mit Treibgut wurde hier an einigen Tagen ein ungleichmäßiger Abbau der Höhendifferenz beobachtet. Bei

solchen Situationen wurden $\Delta h > 0,20$ m gemessen. Unter- bzw. oberhalb solch großer Abstürze reduzieren sich die anderen Abstürze entsprechend. Unter solchen Bedingungen ist der Vertical-Slot-Pass nur begrenzt durch Fische passierbar, da neben den erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten in den Schlitzen auch starke Strömungen in dem darunter gelegenen Becken auftreten. Aus diesen beobachteten Zuständen resultiert die Forderung nach einer verbesserten gründlichen Reinigung, da die Fließe neben Laub auch viele Äste mitführen, die mit Wasser vollgesogen, sohlennah driften und so nicht vom Treibgutabweiser aufgehalten werden. Anders als am Fisch-Kanu-Pass ist der Reinigungsbedarf dann hier zwar nicht sichtbar, aber vorhanden.

4.3.3 Verhalten bei starkem Frost

Die starken Fröste im Januar / Februar 2006 führten zu einer starken Vereisung der Anlage. Die an der Wasseroberfläche befindlichen Borstenbereiche waren fast alle im Eis eingeschlossen. Das Wasser strömte unter diesem tragfähigen Eisanspanzer hindurch.

An den Borsten waren nach dem Abtauen keine Schäden erkennbar. Die Position der einzelnen Borstenelemente hatte sich nicht verändert.

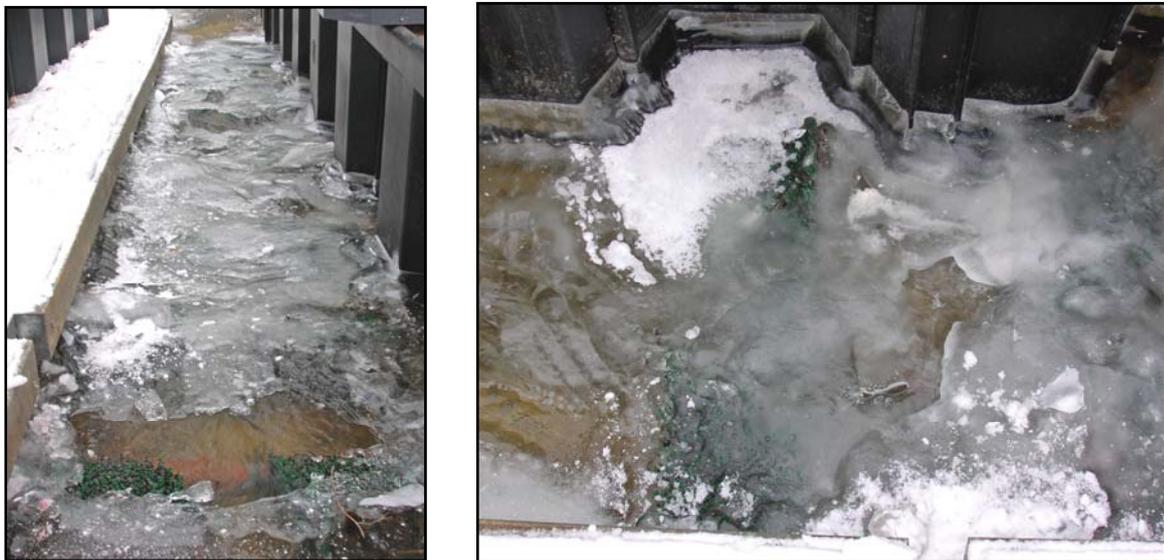


Abbildung 4-35: Vereisung des Fisch-Kanu-Passes im Januar 2006

4.3.4 Gesamtwirtschaftlichkeit

4.3.4.1 Herstellungskosten

Die im Zusammenhang mit dem Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass entstandenen Kosten sind durch die Tatsache geprägt, dass in eine als Vertical-Slot-Pass geplante Anlage nachträglich ein Fisch-Kanu-Pass hineingeplant und -gebaut werden musste. Darüber hinaus war zur besseren Nutzbarkeit noch nachträglich ein Treidelsteg zu integrieren. Eine Übertragung von Kosten auf andere Anlagen ist deshalb nur teilweise möglich.

Die Leistung für die Umplanung am Wehr 31 oblag dem planenden Ing.-Büro, das für diese Mehrarbeit zu vergüten war. Die Mehrkosten beim Bau entstanden überwiegend durch den Treidelsteg, der jedoch für die Nutzbarkeit in beide Richtungen an diesem Standort unverzichtbar ist.

Eventuelle Mehrkosten für den Einbau sind vernachlässigbar, da sich diese Position mit den Einbaukosten für einen Vertical-Slot-Pass decken dürften. Ebenso bewegen sich die Kosten für die Einbauten der Fischaufstiegsanlage im Rahmen der im Spreewald üblichen Aufwendungen für die Vertical-Slot-Pässe.

Generell kann gesagt werden, dass die Kosten für die Borstenelemente marktüblich waren und bei anderen Projekten ähnlich ausfallen werden. Die Kosten für den Unterbau der Borstenelemente

waren durch den Bezug der Betonplatten aus einem Baumarkt und die Vorbereitung durch die Versuchsanstalt der Uni Kassel minimiert. Diese Kosten, sowie die Kosten für den Einbau dürften bei zukünftigen Ausschreibungen höher ausfallen. Da sie aber nur einen kleinen Teil der gesamten Kosten ausmachen, fallen Änderungen in diesem Bereich nicht ins Gewicht. Hinsichtlich Unterbau, Stabilität und Montage konnten so viele Erfahrungen gesammelt werden, dass genauere Leistungsverzeichnisse erstellt und damit kostengünstige Ausschreibungsergebnisse erwartet werden können.

Tabelle 4-8: Herstellungskosten für den Fisch-Kanu-Pass

Leistung	Summe in EURO	Bemerkungen
Umplanung der Fischaufstiegsanlage mit Treidelsteg und höher gelegten Bediensteg	2.325,33	Erfolgte durch ein Planungsbüro
Ausführung Treidelsteg, Auffüllen des Fisch-Kanu-Passes mit Sediment und Probestau	18.738,97	Finanzierung erfolgte aus LUA-Mitteln
Einbauten für den Fisch-Kanu-Pass (Borstenelemente)	2.700,46	Vormontage erfolgte an der VPUW
Einbau der Borstenelemente	-	Erfolgte im Rahmen der Projektarbeit mit 3 Mitarbeitern; Gesamtstundenzahl komplett ca. 15

4.3.4.2 Folgekosten und Lebensdauer

Die Folgekosten, die für Unterhaltung und bauliche Ersatzmaßnahmen auftreten können, sind stark von der örtlichen Situation im Hinblick auf Wassertiefe, Einlaufgestaltung, Vorhandensein von Abweiskanten, etc. abhängig. Sie gliedern sich in die Unterhaltungsmaßnahmen, Kleinreparaturen und größeren Ersatzmaßnahmen, die nach Ablauf der Lebensdauer der Borsten fällig werden. Die Unterhaltungsmaßnahmen sind von verschiedenen Randbedingungen abhängig (vgl. 4.3.2).

Eine nach der Inbetriebnahme noch anfallende Nacharbeit betrifft das Abschneiden der Borsten, die schräg in die mittige Lücke hineinragen. Arbeiten, die etwa jährlich anfallen, sind das Kontrollieren der Sohle, das Ausbessern von eventuell vorhandenen Unterläufigkeiten sowie die Kontrolle und ggf. Reparatur der Zusatzeinrichtungen (Treidelsteg, Anleger und Beschilderung). Diese dürften sich kostenseitig etwa mit den Aufwendungen an anderen Anlagen decken.

In welchem Umfang größere Reparaturen nötig sind, hängt überwiegend vom Ausmaß des Vandalismus ab. Vorteilhaft ist, dass es keine beweglichen Teile gibt und dass deshalb eine falsche Bedienung kaum möglich ist. Die Tatsache, dass der normale Mensch mit solchen Borstenelementen kaum etwas anfangen kann, reduziert auch die Gefahr des Diebstahls von Bauteilen. Abgesehen von durch Vandalismus hervorgerufenen Schäden dürften die über Wasser liegenden Teile nicht besonders reparaturanfällig sein.

Zur Lebensdauer liegen noch keine langfristigen Erfahrungen vor. Die Beobachtungen an vergleichbaren bestehenden Fisch-Kanu-Pässen lassen jedoch den Schluss zu, dass die Verschleißprozesse langsam ablaufen und dass dabei die hydraulische Wirkung weitgehend erhalten bleibt. Für die ökologische Funktion ist dabei günstig, dass diese Prozesse lediglich zu einer leichten Erhöhung des Durchflusses, nicht aber zum Versagen der Anlage führen.

Die Lebensdauer der Borsten hängt überwiegend von der hydraulischen Belastung ab, da der gegenseitige Abrieb durch starkes Vibrieren den wesentlichen Verschleißprozess ausmacht. Der Abrieb durch Boote ist dagegen vernachlässigbar. Bei den durch dieses Projekt abgedeckten Einsatzfällen (niedriger Abfluss, niedrige Fallhöhe und mäßiges Gefälle) sind die hydraulischen Belastungen der Borsten eher gering, weshalb ihre Lebensdauer mit großer Wahrscheinlichkeit deutlich mehr als zehn Jahre erreicht. Sollten dann die Borsten so sehr in Strömungsrichtung umgebogen sein, dass ihre hydraulische Wirksamkeit nachlässt, können die Borstenelemente um 180 Grad gedreht werden.

Am Ende der Lebensdauer sind lediglich die Borstenelemente, also die Recyclingplatten mit den Borsten auszuwechseln. Der Unterbau kann im Gerinne bestehen bleiben. Es ist zu erwarten, dass nur ein Teil der Borsten auszuwechseln ist und dass der andere Teil umgedreht noch weiter verwendbar bleibt. Die Kosten für diese Maßnahme liegen nach derzeitigem Preisstand am Wehr 31 schätzungsweise unter 2.000 Euro.

Generell ist zu erwarten, dass mit Zunahme der Anzahl der Borstenanlagen einerseits neue Techniken für die Herstellung entwickelt werden und dass andererseits der Erfahrungsschatz bezüglich Unterhaltung größer wird. Beide Entwicklungen tragen langfristig eher zu einer Verringerung des monetären Unterhaltungsaufwandes bei.

4.4 Fazit zum Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass

4.4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 erfüllt die Anforderungen der Stauhaltung bei 51,60 m ü NN bei einem Wasserdurchfluss von ca. 102 – 106 l/s. Damit ist die hydraulische Funktionsfähigkeit als Stauwerk bei extrem geringen Abflüssen gegeben. Der bei der Borstenauslegung zugrunde gelegte Durchfluss wurde ausreichend genau eingehalten.

Eine Modifikation der Borstenelemente mit dem Ziel der Reduzierung der Reibung für Boote und der Verringerung des Abflusses durch Einsetzen weicherer Borsten war praktikabel und erfolgreich.

Die Strömungen im Strömungsstrahl liegen mit max. 1,2 m/s unter dem Richtwert der DVWK-Richtlinie, jedoch über den Empfehlungen im Handbuch Querbauwerke. Im sohnahen Bereich existieren geringere Strömungen, während die Seitenbereiche teilweise auch strömungsberuhigt sind. Mit einem Gefälle von 1:20 und einem Höhenunterschied von 5 cm zwischen den Becken ist die Basis für eine gute Passierbarkeit gegeben.

Aufgrund des vorgegebenen sehr geringen Durchflusses und der Länge des Gerinnes musste die Anlage so bemessen werden, dass wesentliche Richtwerte der DVWK-Richtlinie zu Fischaufstiegsanlagen nicht eingehalten werden konnten. Die Wassertiefe ist mit 0,35 m zu gering und die Beckenlänge mit ca. 60 cm zu kurz.

Dennoch hat sich der Fisch-Kanu-Pass während der 30-tägigen Kontrolle des Fischaufstiegs bewährt. Die vergleichende Untersuchung mit dem Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 in der benachbarten Neuen Spree erbrachte folgendes Ergebnis:

- Beide Fischwanderhilfen wurden von Fischen passiert, wobei Ukelei den Hauptanteil ausmachten.
- Über den Fisch-Kanu-Pass wanderten ca. 12.000 Fische, davon 635 Individuen von anderen Arten als Ukelei. Insgesamt waren vierzehn Arten vertreten.
- Über den Vertical-Slot-Pass wanderten ca. 1.000 Fische, davon 265 Individuen von anderen Arten als Ukelei. Insgesamt waren zwölf Arten vertreten.
- Es gibt keine begründeten Anzeichen für eine Artenselektivität beider Anlagen.
- Von den Arten Döbel, Gründling, Plötze und Flussbarsch sind Individuen des gesamten Längenspektrums (5 – 36 cm) in der Lage, den Fisch-Kanu-Pass zu passieren. Die im Unterwasser der Anlage nachgewiesenen größeren Hechte > 20 cm haben den Fisch-Kanu-Pass nicht passiert, was unter anderem auf die fehlende Motivation zur Wanderung außerhalb ihrer Laichzeit zurückgeführt wird, wobei andere Ursachen nicht ausgeschlossen werden können.
- Im Vertical-Slot-Pass wurden nicht so kleine Längengruppen der o.g. Arten gefangen, obwohl die Tiere im Unterwasser der Anlage präsent waren. Dem Vertical-Slot-Pass wird daher eine größenselektive Wirkung bescheinigt.
- Der Fisch-Kanu-Pass wurde bevorzugt nachts und in der Dämmerung passiert, was mit seiner geringen Tiefe in Verbindung gebracht werden kann.

Das Befahren des Fisch-Kanu-Passes ist für die gängigen Kanus und Kanadier abwärts möglich und unproblematisch. Sehr breite oder schwere Boote werden insbesondere bei geringerem Wasserstand

abgebremst, können aber am Handlauf weiter gezogen werden. Zur Not kann jederzeit ausgestiegen und getreidelt werden. Auch aufwärts können die Boote getreidelt werden.

Im Ergebnis der Nutzerakzeptanzanalyse wird festgestellt, dass der Fisch-Kanu-Pass von allen Nutzern positiv bewertet wird. Es werden persönliche sowie ökologische Vorteile erkannt. Defizite bestehen vor allem in der Ausschilderung der Anlage und im Bekanntheitsgrad von Fisch-Kanu-Pässen. Unzureichende Öffentlichkeitsarbeit, aber auch Unerfahrenheit im Kanufahren, Unkenntnis der Anlagen und die Scheu, unbekannte Möglichkeiten zu probieren und zu nutzen, sind die Hauptursachen für die Nutzung der Schleuse statt des Fisch-Kanu-Passes durch Kanuten. Zwei Drittel der befragten Schleusennutzer würden beim nächsten Mal den Fisch-Kanu-Pass benutzen.

Die Unterhaltung des Fisch-Kanu-Passes erfolgt mit einem handelsüblichen Rechen, mit dem das sich ansammelnde Laub und anderes Getreibsel abgeharkt wird, was in der Regel ca. 5 Minuten dauert. Am Wehr 31 besteht die besondere Situation, dass der gesamte Abfluss über den Fisch-Kanu-Pass erfolgt und die Belastung mit Schwemmgut daher besonders hoch ist. Bei normaler Wasserführung und zweimaliger Reinigung pro Woche, die im Spreewald an allen Anlagen erfolgen muss, wird die Funktionsfähigkeit des Fisch-Kanu-Passes sichergestellt. Ausnahmestände können hier an einzelnen Tagen im Herbst auftreten, wenn eine besonders starke Laubfracht mit einem verringerten Wasserstand zusammentrifft. Dann kann es zur Verstopfung der Anlage kommen.

Es gab keine Probleme infolge der Vereisung im Winterhalbjahr, obwohl die Anlage im Januar 2006 oberflächlich zugefroren war.

Die Kosten für den Fisch-Kanu-Pass liegen etwa im gleichen Bereich wie die für einen Vertical-Slot-Pass.

4.4.2 Schlussfolgerungen

Der Fisch-Kanu-Pass ist eine Option für die Herstellung des Biotopverbundes, auch in Gewässern mit geringen Durchflüssen. Dem Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 wird eine uneingeschränkte Passierbarkeit bescheinigt:

- ca. 12.000 Fische haben die Anlage in 30 Tagen passiert,
- darunter waren alle Arten und Längengruppen vertreten, die den Fisch-Kanu-Pass mit hoher Wahrscheinlichkeit passieren wollten,
- und darüber hinaus sind kleine, juvenile Fische mehrerer Arten aufgestiegen sind, von denen bisher gar nicht bekannt war, dass sie zu diesen Zeiten wandern wollen.

Der besondere Vorteil des Fisch-Kanu-Passes besteht in der Kombination von Fischaufstiegshilfe und Bootsruhsche in einer Anlage. Dadurch könnten insbesondere im stark durch Paddler frequentierten Spreewald die Kosten für aufwändige Schleusenreparaturen wegen unqualifizierter Bedienung gesenkt werden. Außerdem können besonders in touristischen Spitzenzeiten die Wartezeiten an den Schleusen verringert und damit Konflikte zwischen Kahnführleuten und Bootsfahrern vermieden werden.

Die Belastung des Fisch-Kanu-Passes am Wehr 31 mit Laub und Getreibsel ist besonders hoch, weil der gesamte Abfluss über den Pass stattfindet. Es wird deshalb empfohlen, weitere Fisch-Kanu-Pässe möglichst mit Wehren zu kombinieren. Damit besteht eine bessere Möglichkeit, Schwemmgut vom Fisch-Kanu-Pass fern zu halten und so den Unterhaltungsaufwand zu verringern. Für die Zeit des stärksten Laubfalls wird für wenige Tage der Einsatz von Schwimmbalken vor dem Fisch-Kanu-Pass empfohlen, auch wenn die Bootspassage dann erschwert ist. Die Funktionsfähigkeit als Fischaufstiegsanlage sollte hier den Vorrang haben.

4.4.3 Weiterer Untersuchungs- und Handlungsbedarf

Für die Förderung des Fischbestandes im Spreewald ist es neben der Strukturverbesserung in den Gewässern wichtig, den Biotopverbund zur Cottbuser Spree und innerhalb des Spreewaldes für allen Arten und Altersklassen herzustellen.

Aufgrund der Vielgestaltigkeit der Gewässer und Abflussverhältnisse ist bei der Übertragung des Borstenprinzips auf andere Staubaauwerke in größeren Fließen eine Modifizierung des Fisch-Kanu-Passes hinsichtlich Wassertiefe, Länge und Beckengröße erforderlich. Damit ist sicherzustellen, dass dem gesamten Spektrum der zu erwartenden Fischfauna der Aufstieg ermöglicht wird.

Außerdem besteht besonderer Bedarf an der Entwicklung von Fisch-Kanu-Pässen für Wehranlagen, an denen im Jahresverlauf unterschiedliche Stauhöhen eingestellt werden (sollen), bzw. an denen sich natürlicherweise verschiedene Wasserstände einstellen. Dabei muss auch hier gleichzeitig das Ziel verfolgt werden, die Bedingungen für den Fischaufstieg im Hinblick auf Wassertiefe und Raum zu optimieren. Die Lösung könnten Fisch-Kanu-Pässe mit beweglichen Elementen sein, wobei die Erkenntnisse auch für reine Fischpassanlagen hilfreich wären.

Die Auffindbarkeit von Fischpässen durch Fische hängt vorrangig von einer entsprechend großen Lockströmung ab, die zumeist im turbulenten Bereich direkt unterhalb des Wehres auftritt. Von den Kanuten wird eine ruhig auslaufende Fahrrinne erwartet. Es ist daher notwendig, Lösungsmöglichkeiten zu untersuchen, die sowohl die Auffindbarkeit der Anlage für die Fische sicherstellt, als auch die ungefährliche Abfahrt für die Bootsnutzer ermöglicht.

Zu untersuchen ist weiterhin, ob und wie der Bootsverkehr den Fischaufstieg am Fisch-Kanu-Pass beeinflusst. Diese Fragen wären über die Markierung aufsteigender Fische mit Radiotransmittern möglich, die die Aufzeichnung des Verhaltens der Fische bei Kanubetrieb und bei Ruhe erlauben. In diesem Zusammenhang sind beim Bau weiterer Fisch-Kanu-Pässe auch Überlegungen anzustellen, bei ausreichendem Durchfluss seitliche Deckungsmöglichkeiten für die Fische (z.B. unter dem Treidelsteg) in die Anlagen zu integrieren.

Unter Spreewaldverhältnissen wird die Lebensdauer der Borsten auf 15 – 20 Jahre geschätzt. Dieser Ansatz ist im Laufe der Zeit zu überprüfen. Außerdem sind Methoden zum kostensparenden und praktikablen Austausch verbrauchter Borsten zu entwickeln.

5 Gesamtzusammenfassung und Fazit

5.1 Teilprojekt Kleine Spree

Wasserstandssicherung mit Borstenelementen

Die Borstenanlage in der Kleinen Spree ersetzt keine regulierbare Stauanlage.

Das Pilotprojekt hat jedoch gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, Wasserstände in fließenden Gewässern mit Hilfe von Borstenelementen zu sichern.

In einem festgelegten Profil kann ein deutlich höheres Wasserspiegelgefälle als in einem natürlichen, veränderlichen Gewässer wie in der Pilotstrecke erzeugt werden. Die Anzahl, Größe und Anordnung der Elemente kann dafür mit dem im Projekt entwickelten eindimensionalen Modell berechnet werden.

Strukturverbesserung mit Borstenelementen

Borstenelemente sind geeignet, die Sohlstrukturen und das Habitatangebot für rheophile Arten in fließenden Gewässern mit sandiger Sohle erheblich zu verbessern. Sie sollten als Strukturelemente vor allem in kleineren Gewässern zum Einsatz kommen, auf denen die Befahrbarkeit mit muskelbetriebenen Booten und Kähnen gewährleistet werden soll.

Bei Fließgewässern ohne Nutzungsdruck durch Befahrung sollten grundsätzlich bevorzugt natürliche, dem Standort angepasste Strukturelemente wie Totholz, Steine u.a. zur Verbesserung des Habitatangebotes eingesetzt werden.

Vorteile beim Einsatz von Borstenelementen

- Der Wasserstand eines Fließes wird stabilisiert, ohne dass seine Biotopeigenschaften beeinträchtigt werden, wie dies bei Stauanlagen der Fall ist.
- Die Ausprägung und Erhaltung durchgängiger Strömungsrinnen ermöglichen bei gleichzeitiger strömungsbremsender Wirkung durch die Erhöhung der Rauheit im Gewässerquerschnitt einen freien Biotopverbund und die Ausprägung wertvoller Gewässerstrukturen, so dass die Ausbildung standortsgemäßer Lebensgemeinschaften von Fischen und Wirbellosen (insbesondere auch Muscheln) unterstützt wird.
- Der Einsatz von Borstenelementen unterstützt somit die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der FFH-Richtlinie in kleineren Fließgewässern Brandenburgs, die von Durchflussrückgang betroffen sind.
- Die stromab gerichtete Befahrbarkeit ist für Kähne und Boote gegeben. Für Boote ist auch die stromauf gerichtete Befahrung der Borstenstrecke möglich.
- Mit dem entwickelten Berechnungsmodell besteht die Möglichkeit der zielgerichteten Dimensionierung der Elemente als Strömungsbremsen entsprechend Gewässerquerschnitt, Gefälle und Durchfluss.
- Mit dem erprobten Einspülverfahren gibt es gute Möglichkeiten zur Verankerung der Elemente im Gewässerboden.
- Es kann von einer verhältnismäßig langfristigen Stabilität der Borstenelemente ausgegangen werden, da sie nicht wie organische Materialien in überschaubarer Zeit zersetzt werden.

Weiterer Untersuchungsbedarf beim Einsatz von Borstenelementen

- Das zur Dimensionierung der Borstenanlage entwickelte eindimensionale Modell ist ggf. mit Erfahrungswerten aus der Praxis zu verfeinern.
- Zu untersuchen sind die langfristigen Auswirkungen der Elemente auf die Strukturen und Lebensgemeinschaften, auch in Verbindung mit dem Geschiebehaushalt des Gewässers über die Pilotstrecke hinaus. Hinsichtlich der Sohlveränderungen sind insbesondere Aussagen zu deren Qualität (geometrische Veränderungen; Dynamik) und Quantität (Mengen, ggf. entstehende Zehrungen /Nehrungen innerhalb und außerhalb des Systems; daraus folgende Notwendigkeiten von Sedimentzugaben / -entnahmen) erforderlich.

- Einen weiteren Untersuchungsgegenstand bilden die langfristigen Auswirkungen hinsichtlich des Gewässerunterhaltungsaufwandes und der Befahrbarkeit der Strecke.
- Im Zusammenhang mit unterschiedlichen Durchflussverhältnissen ist die Lagestabilität der Elemente im Gewässer zu beobachten.
- In Bezug auf die Umweltverträglichkeit ist der langfristige Einsatz des verwendeten Kunststoffes Polyethylen (PE) in natürlichen Gewässern zu betrachten, wobei die Lebensdauer der Borstenelemente und Lichtempfindlichkeit der Borsten im Mittelpunkt stehen sollten. Außerdem ist der Konformitätsnachweis zu erbringen. In diesem Zusammenhang ist vom Hersteller die Beachtung aller geltenden Richtlinien in Bezug auf sein Produkt zu erklären.
- Für die in der Pilotstrecke erzielte Wasserstandsanhhebung von 5 cm ist der mit den Borstenelementen in der gewählten Anordnung und Dichte verbundene Aufwand unverhältnismäßig groß. Es wird angeregt, Borstenelemente in Kombination mit anderen Möglichkeiten der Wasserspiegelanhebung zu untersuchen.
- Zur Erzeugung größerer Wasserspiegelgefälle (Vergrößerung der Wirkung als Strömungsbremsen) sind außerdem Modifizierungsmöglichkeiten von Borstenanlagen hinsichtlich Größe, Anordnung und Dichte der Elemente zu untersuchen. Ein Beispielprojekt wäre die Wasserstandssicherung in der „Schnellen Kathrin“ zur besseren Wasserversorgung des Lehmannstroms im Unterspreewald. Die hier geplante Einengung des Gewässerprofils könnte mit Borstenelementen maßgeblich unterstützt werden.
- Es sind Möglichkeiten für die bisher stark eingeschränkte, stromauf gerichtete Fahrt mit Kähnen zu untersuchen und zu erproben.
- Es bietet sich an, den Einbau von Borstenelementen mit weiteren Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der Gewässerstrukturen zu kombinieren. Hier wäre zu untersuchen, wie durch gezielte Zugabe von geeignetem Sediment und Erschließung von Sedimentherden wesentliche Effekte zur Aufwertung der Gewässerlebensräume erreicht werden können.

5.2 Teilprojekt Fisch-Kanu-Pass

Der Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 erfüllt die Anforderungen einer Fischwanderhilfe in technischer Bauweise als kombinierte Anlage von Fischeaufstieg und Bootsruhsche. Mit einem Durchfluss von ca. 100 l/s liegt die Pilotanlage an der unteren Grenze dieses Parameters. Unter diesen Verhältnissen ist bei einer kombinierten Nutzung als Bootsruhsche mit der erforderlichen Gerinnebreite von 115 cm die Wassertiefe auf 35 cm begrenzt.

Die Auswahl der an einer Staustufe zu errichtenden Fischwanderhilfe erfordert immer eine Einzelbeurteilung entsprechend den am Standort vorherrschenden Rahmenbedingungen. Es wird empfohlen, Fisch-Kanu-Pässe immer mit einem Wehr zu kombinieren, um einen Konkurrenzabfluss zu schaffen, über den das Getreibsel abgeführt werden kann.

Grundsätzlich sollten Fischwanderhilfen in naturnaher Bauweise den Vorrang haben, wenn ihre Funktionsfähigkeit am entsprechenden Standort an mindestens 300 Tagen im Jahr sichergestellt werden kann.

Trotz konstruktiver Mängel der Pilotanlage am Wehr 31, die aus der Integration der Anlage in eine bestehende Fischpassplanung herrühren, hat der Fisch-Kanu-Pass während der Funktionskontrollen im Vergleich zum Vertical-Slot-Pass am Wehr 55 bessere Ergebnisse hinsichtlich der Individuenzahlen, Artenzahlen und Längenspektren der aufgestiegenen Fische erzielt. Er stellt damit eine Option für die Errichtung von Fischwanderhilfen, insbesondere in Kombination mit touristischer Nutzung, dar.

Aus der Erprobungsphase am Wehr 31 in Burg können für die Kategorie der technischen Fischwanderhilfen folgende Vorteile des Fisch-Kanu-Passes abgeleitet werden. Diese sind im Spreewald besonders bedeutsam:

Für die Fischwanderung:

- Es erfolgt offenbar keine Artenselektivität beim Fischeaufstieg.
- Die Passierbarkeit ist auch für kleine und schwimmschwache Fische gegeben.

Für die Wasserwirtschaft:

- Die Kombination von Fischaufstieg und Bootsruksche in einem Gerinne spart Platz und Kosten bei der Errichtung der Anlage, sowie bei der Unterhaltung.
- Die Schleusennutzung durch Kanuten wird reduziert. Damit wird das Risiko unsachgemäßer Bedienung und der Reparaturaufwand an den Anlagen gesenkt.
- Der Wasserabfluss aus der Stauhaltung durch das Schleusen wird verringert, was in extremen Niedrigwasserzeiten zur Stützung der Wasserstände beitragen kann.

Für den Tourismus:

- Konflikte zwischen Kahnfährlenten und Kanuten wegen der Wartezeiten an den Schleusen, insbesondere in Spitzenzeiten, werden verringert.
- Der Fisch-Kanu-Pass stellt eine touristische Attraktion für Kanuten dar und erhöht den Erlebniswert der Landschaft für diese Zielgruppe.

Weiterer Untersuchungsbedarf zum Fisch-Kanu-Pass

- **Regulierbarkeit der Wasserstände am Fischpass**
Die Niedrigwasserproblematik im Zusammenhang mit Bergbaueinfluss und Klimawandel rückt im Spreewald immer mehr ins Blickfeld der Wasserbewirtschaftung. Die Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes erfordert eine zunehmend differenzierte Stauhaltung mit höheren Wasserständen im Winter (Winterstau). Die in diesen Prozess eingebundenen Anlagen müssen mit Fischwanderhilfen ausgerüstet sein, die auch bei unterschiedlichen Wasserständen im Bereich um 20 – 30 cm funktionstüchtig sind. Einen Lösungsansatz für dieses Problem bietet eine mit Borstenelementen besetzte höhenverstellbare Rampe. Die Entwicklung eines solchen beweglichen Borstenfischpasses/Fisch-Kanu-Passes könnte eine den Erfordernissen des Landschaftswasserhaushaltes angepasste Wasserbewirtschaftung im Spreewald ermöglichen, ohne die Fischwanderung über längere Zeiten einzuschränken. Insbesondere Quappe und Hecht – zwei Charakterarten des Spreewaldes - die im Winter bzw. zeitigen Frühjahr laichen, würden von dieser Entwicklung profitieren.
- **Modifizierung von Fischpasslänge und Beckengröße**
Der Fisch-Kanu-Pass am Wehr 31 stellt eine relativ kleine Anlage dar. Die geringe Beckengröße resultiert aus der vorgegebenen Gerinnelänge und der vorhandenen Stauhöhe. Insbesondere für größere Gewässer und größere Fischen ist die Modifikation derartiger Anlagen zur Schaffung größerer Ruhebecken, wie sie in der Fachliteratur gefordert werden, zu erproben. Dies erfolgt mit dem Bau einer Anlage in Fürstenberg / Land Brandenburg im Jahr 2007 / 2008.
- **Auffindbarkeit für Fische bei Konkurrenzabfluss über ein Wehr**
Am Wehr 31 besteht neben dem Fisch-Kanu-Pass nur eine Schleuse. Das gesamte Wasser fließt über den Fischpass, so dass die Lockströmung hier direkt zum Fischpass führt. Bei Konkurrenzströmung durch ein Wehr müssen Möglichkeiten gefunden werden, die Lockströmung zu optimieren.
- **Vereinbarkeit von Fischaufstieg und Bootspassage**
Es sind Erkenntnisse darüber zu gewinnen, ob die Fischwanderung im Fisch-Kanu-Pass durch den Bootsverkehr beeinträchtigt wird und wie man evtl. Beeinträchtigungen ggf. konstruktiv vermindern bzw. beseitigen kann.
- **Kombination von Borstenelementen mit Fischwanderhilfen in naturnaher Bauweise**
Die kombinierte Nutzbarkeit von Fischwanderhilfe und Bootsruksche ist auch bei Anlagen in naturnaher Bauweise durch Gestaltung einer Bootspassage mit Borstenelementen möglich. Diese Möglichkeit sollte an einem geeigneten Standort, der für die Erschließung für den Bootstourismus vorgesehen ist, näher untersucht und erprobt werden.
- **Gesamtwirtschaftlichkeit**
Es sind Erkenntnisse zu Herstellungskosten und Lebensdauer von Fisch-Kanu-Pässen unter verschiedenen Bedingungen, u.a. Eisbelastung in strengen Wintern über mehrere Jahre, zu gewinnen.
- **Unterhaltungsaufwand**
Der Unterhaltungs- und Reparaturaufwand ist über einen längeren Zeitraum zu beobachten und mit dem an anderen Fischwanderhilfen ins Verhältnis zu setzen. Dabei ist das Maß der Unterhaltung an der Funktionsfähigkeit des Fischaufstieges auszurichten.

6 Literatur

Zu Kapitel 1

- GERSTENGARBE, F.-W.; HATTERMANN, F.; KRYSANOVA, V.; LAHMER, W.; LASCH, P.; STOCK, M.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven.- Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung PIK e.V., PIK Report 83
- JUNGBLUTH, J.H. & D. VON KNORRE (1998): Rote Liste der Binnenmollusken [Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia)] in Deutschland. – Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz. 55: 233-289
- MAUERSBERGER, R. (2000): Artenliste und Rote Liste der Libellen (Odonata) des Landes Brandenburg. – Natursch. u Landschaftspf. in Brandenburg, Beilage zu Heft 4
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND RAUMORDNUNG BRANDENBURG (1992): Gefährdete Tierarten im Land Brandenburg - Rote Liste, Potsdam

Zu Kapitel 2

- ALTMÜLLER, R. & DETTMER, R. (1996): Unnatürliche Sandfrachten in Geestbächen – Ursachen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten am Beispiel der Lutter.- Inform. d. Naturschutz Niedersachs. 5/96: 222 – 237
- ALTMÜLLER, R. & DETTMER, R. (2000): Erste Erfolge beim Arten- und Biotopschutz für die Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera* L.) in Niedersachsen.- Natur u. Landschaft 75 (9/10): 384-388
- ALTMÜLLER, R. & DETTMER, R. (2002): Erhaltungsmaßnahmen für die Flussperlmuschel in der Lüneburger Heide: Ein Situationsbericht.- In: Die Flussperlmuschel in Europa: Bestandsituation und Schutzmaßnahmen.- Tagungsbericht v. 16.-18.10.2000, WWA Hof: 146-156
- ARLT, D. (1997): Erfassung und Charakterisierung der Molluskenfauna der Spreewaldfließe 1. Ordnung im Bereich der Wehrgruppen und Staugürtel des Biosphärenreservates Spreewald.- unveröff. Gutachten Biosphärenreservat Spreewald
- BAHR, K. (1994): Untersuchungen zu Schalenbewegung und Sauerstoffverbrauch einheimischer Großmuscheln unter verschiedenen experimentellen Bedingungen.- Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover
- BARTHELMES, D., F. FREDRICH, U. GROSCH, TH. MATTHEIS, M. SOMMER, M. (1995): Substantielle Verbesserung des Cyprinidenwachstums in kulturell eutrophierten Flußseen: ein ungewöhnlicher Langzeittrend in Berliner Gewässern. *Limnologica* 25 3/4: 251-275
- BEDNARCZUK, J. (1986): Untersuchungen zum Wirtsfischspektrum und Entwicklung der Bachmuschel *Unio crassus*.- Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover
- BERGMANN, D. (2003): Die Bachmuschel (*Unio crassus*) im Cederbach (Lkr. Prignitz): Bestand, Gefährdung und Schutz.-unveröff. Gutachten BR Flusslandschaft Elbe-Brandenburg
- BJÖRK, S. (1962): Investigations on *Margaritifera margaritifera* and *Unio crassus*. *Limnologic Studies in Rivers in South Sweden*.-Acta Limnol. 4
- BRINKMANN, R. (2002): FFH-Monitoring ausgewählter Wirbelloser der Ilmenau, Lutter und Örtze unter besonderer Berücksichtigung der Anhang II-Arten Bachmuschel (*Unio crassus*) und Grüne Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*).- unveröff. Gutachten Niedersächs. Landesamt Ökologie
- BRUNKEN, H. (1989): Lebensraumsprüche und Verbreitungsmuster der Bachschmerle *Neomacheilus barbatulus* (LINNAEUS, 1758). *Fischökologie* 1(1): 29-45
- BUDDENSIEK, V.; ENGEL, H.; FLEISCHAUER-RÖSSING, S. & WÄCHTLER, K. (1993): Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments of bivalve habitats in several northern German lowland waters. II: Mikrohabitats of *Margaritifera margaritifera* L., *Unio crassus* (PHILIPSSON) and *Unio tumidus* PHILIPSSON.- Arch. Hydrobiol. 127 (2): 151 – 166
- BUDDENSIEK, V. & RATZBOR, G. (1995): Restoration of sedimental quality in a small brook of the Lüneburger Heide, Northern Germany.- Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia 91: 19-24
- COLLING, M. & SCHRÖDER, E. (2003): *Unio crassus* (PHILIPSSON, 1788).- Schriftenr. Landschaftspf. u. Natursch. 69/1: 649-664
- DORNIER GMBH (1993): Ökologischer Entwicklungs- und Sanierungsplan Niederlausitz.- Bd. 1, F+E-Vorhaben 10204057/02, i. A. UBA
- DÜMPELMANN, C. (2000): Artenschutzprojekt Bachmuschel (*Unio crassus*) 2000: Erhaltung und Vermehrung der Kleinen Flussmuschel an der Oberen Eder in Hessen.- unveröff. Gutachten Regierungspräsidium Kassel

- DÜMPELMANN, C. (2003): Artenschutzprojekt Bachmuschel (*Unio crassus*) 2003: Erhaltung und Vermehrung der Kleinen Flussmuschel an der Oberen Eder in Hessen.- unveröff. Gutachten Regierungspräsidium Kassel
- DÜMPELMANN, C. (2004): Artenschutzprojekt Bachmuschel (*Unio crassus*) 2004: Erhaltung und Vermehrung der Kleinen Flussmuschel an der Oberen Eder in Hessen.- unveröff. Gutachten Regierungspräsidium Kassel
- DVWK (1993): Aussagekraft von Gewässergüteparametern in Fließgewässern Teil 1.; DVWK-Merkblätter 227/1993- Paul Parey, Hamburg, Berlin
- ENGEL, H. (1990): Untersuchungen zur Autökologie von *Unio crassus* (PHILIPSSON) in Norddeutschland.- Diss. Universität Hannover
- FLEISCHAUER-RÖSSING, S. (1990): Untersuchungen zur Autökologie von *Unio tumidus* PHILIPSSON und *Unio pictorum* LINNAEUS (*Bivalvia*) unter besonderer Berücksichtigung der frühen postparasitären Phase.- Diss. Universität Hannover
- FREDRICH, F. (2003a): Fischfauna in der Spree und ihren Nebengewässern vom Großen Spreeweher Cottbus bis zur Wehrgruppe Schmogrow. Gutachten im Auftrag IHC Ingenieurbüro IPP-HYDRO-CONSULT GmbH, 42 S.
- FREDRICH, F.(2003b): Fischfauna in der Spree und ihren Nebengewässern von der Wehrgruppe Neuhausen bis Cottbus. Gutachten im Auftrag IHC Ingenieurbüro IPP-HYDRO-CONSULT GmbH, 52 S.
- FREDRICH, F.(2003c): Erhebung des Neunaugen- und Fischbestandes im Cederbach von der B5 bis zur Mündung in die Karthane. Gutachten im Auftrag des Wasser- und Bodenverbandes Prignitz, 35 S.
- FREDRICH, F.(2006a): Monitoring zur Durchwanderbarkeit des Muldestausees für potamodrome Fischarten. Im Auftrag des Talsperrenbetriebes Sachsen-Anhalt, 112 S.
- FREDRICH, F. (2006b): Vergleichende Kontrolle der Funktionsfähigkeit (Fischaufstieg) des Fisch-Kanupasses im Stillen Fließ und des Vertical-Slot-Fischpasses in der Neuen Spree. Gutachten im Auftrag des LUA
- FREDRICH, F. (2006c): Funktionskontrolle der Fischaufstiegsanlage am Wehr Bad Liebenwerda in der Schwarzen Elster. Gutachten im Auftrag der Strabag, 71 S.
- FREDRICH, F., BONGARTZ, C., FRANEK, D., BRÜGGEMANN, R., BAADE, U., WOLF, G., SCHUMACHER, C.: Ichthyo- und Makrozoobenthosfauna in den aquatischen Biotopen des Naturschutzgebietes „Gosener Wiesen und Seddinsee (Nordost –Teil) im Bezirk Köpenick von Berlin“ - mögliche Unterhaltungsmaßnahmen in diesem Feuchtgebiet. Projektabschlussbericht, Auftraggeber Senat von Berlin (1997) 258 S.
- FREDRICH, F., OHMANN, S., CURIO, B. & KIRSCHBAUM, F. (2003): Spawning Migrations of the Chub in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology* 63: 710-723
- FREDRICH, F. & WOLTER, C. (1994): Fischfauna. in: WALZ ET AL.: Ökologische Untersuchungen an Altgewässern der Krummen Spree zwischen Neuendorfer See und Schwielochsee. Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Großschutzgebiete. (1994)
- GEIST, J. & SCHMIDT, CH. (2004): Besatzmaßnahmen mit Muscheln.- Bayerns Fischerei + Gewässer, 3/2004
- GERSTENGARBE, F.-W.; HATTERMANN, F.; KRYSANOVA, V.; LAHMER, W.; LASCH, P.; STOCK, M.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven.- Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung PIK e.V., PIK Report 83
- GROß, J. (1997): Zur postlarvalen Entwicklung der Süßwassermuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON) auf definierten Sedimenten.- Dipl.-Arbeit Universität Hannover
- HEITZ, S. (1996): Untersuchungen zur Bestandsgröße und Ökologie der Großmuscheln im Unterlauf der Schutter.- unveröff. Gutachten i. A. Büro f. Landschaftsplanung R. Mühlingshaus, Oberhausen-Rheinhausen
- HENKER, A.; HOCHWALD, S.; ANSTEEG, O.; AUDORFF, V.; BABL, A.; KRIEGER, B.; KRÖDEL, B.; POTRYKUS, W.; SCHLUMPRECHT, H. & STRÄTZ, C. (2003): Zielartenorientierte Regeneration zweier Muschelbäche in Oberfranken. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben „Maßnahmen zum Schutz der Bachmuschel *Unio crassus*“ des BfN.- *Angew. Landschaftsökologie* 56
- HERDAM, V. & ILLIG, J. (1992): Weichtiere (*Mollusca*, *Gastropoda* & *Bivalvia*). In: Gefährdete Tiere in Brandenburg. Rote Liste. - MUNR Brandenburg (Hrsg.): 39-48
- HIRSCHBERG, C. (2002): Bestandssituation der Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Renchflutkanal.- Staatsexamensarbeit Universität Freiburg
- HOCHWALD, S. & BAUER G. (1988): Gutachten zur Bestandssituation und zum Schutz der Bachmuschel *Unio crassus* in Nordbayern.- *Fischer & Teichwirt* 39 (12): 366-371

- HOCHWALD, S. (1990): Bestandsgefährdung seltener Muschelarten durch den Bisam (*Ondatra zibethica*).- Schriftenreihe Bayr. Landesamt f. Umweltschutz 97: 113-114
- HOCHWALD, S. (1997): Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayrischer Bachmuschelpopulationen (*Unio crassus* PHIL. 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltparametern.- Diss. Universität Bayreuth
- HUS, M.; SMIALEK, M.; ZAJAC, K.; ZAJAC, T. (2006): Occurrence of *Unio crassus* (*Bivalvia*, *Unionidae*) depending on water chemistry in the foreland of the Polish Carpathians.- Pol. J. Environ. Studies 15 (1), 169-172
- HÖLL, K. (1986): Wasser – Untersuchung, Beurteilung, Zubereitung, Chemie, Bakteriologie, Biologie.; 6. Aufl.- Verlag de Gruyter & Co., Berlin, New York
- HÜBY, B. (1988): Zur Entwicklungsbiologie der Fließgewässermuschel *Pseudanodonta complanata*.- Diss. Universität Hannover
- ILLIG, J. (1984): Zur Weichtierfauna (*Mollusca*) der Fließgewässer des Spreewaldes.- Natur u. Landschaft im Bez. Cottbus 6: 69-75
- ISRAEL, W. (1909): Über die Najaden des Mittelelbegebietes.- 51. u. 52. Jahresber. d. Ges. v. Freund. d. Naturwiss. zu Gera-Reuß
- ISRAEL, W. (1913): Biologie der europäischen Süßwassermuscheln.- K.G. Lutz, Stuttgart
- JUNGBLUTH, J.H. & KNORRE, D. V. (1995): Rote Liste der Binnenmollusken [Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalva) in Deutschland. 5., revid. u. erw. Fassg.- Mitt. d. Deut. Malakozool. Ges. 56/57: 1-17
- KLAWISCH, U. (2005): Ersterfassung der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus*) in den FFH-Gebieten Buckow-Waldsiedersdorfer Niederungslandschaft und Stobbertal (Märkische Schweiz).- unveröff. Gutachten i. A. LUA Brandenburg
- KÖHLER, J.; GELBRECHT, J. & PUSCH, M. (Hrsg) (2002): Die Spree – Zustand, Probleme und Entwicklungsmöglichkeiten.- Reihe Limnologie aktuell, Bd. 10, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- LANG, K. (1998): Die Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON, 1788) im Niederbach: Bestands-situation, Fortpflanzungsbiologie und Wanderverhalten.- Dipl.-Arb. Univ. Freiburg
- LEWANDOWSKI, K. (1990): *Unionidae* of Szeszupa River and of the lakes along its course in Suwalski Landscape Park.- Ekol. Pol. 38 (3-4): 271-286
- LOEBIN, I. (2006): Bewertung der Lebensbedingungen für Najaden in der Finow.- Dipl.-Arb. Fachhochschule Eberswalde
- MAASS, S. (1987): Untersuchungen zur Fortpflanzungsbiologie einheimischer Süßwassermuscheln der Gattung *Unio*.- Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover
- MARTIN, J. (2006): Lebendnachweise der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus* PHIL. 1788) im Rahmen einer Molluskenbergung am Komplexbauwerk Wehr und Schleuse Kossenblatt.- Natursch. u. Landschaftspfl. in Brbg. 15 (1): 13-16
- MENTZEN, R. (1925): Die Unioniden Schlesiens.- Abh. Naturf. Ges. Görlitz 29 (2): 1-64
- MERKEL, E. (1894): Molluskenfauna von Schlesien.- J.U. Kern's Verlag, Breslau
- NESEMANN, H. (1988): Die Kugelmuschel *Sphaerium rivicola* (LAMARCK, 1818) in der niederösterreichischen Donau.- Mitt. dt. Malakol. Ges. 42: 33-34
- OFENBÖCK, TH., Universität f. Bodenkultur Wien
- PETRICK, S.; MARTIN, J. & REIMER, A. (2001): Erfassung der Bestände der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus*) im Biosphärenreservat Spreewald und Einschätzung der künftigen Populationsentwicklung.- unveröff. Gutachten BR Spreewald
- PETRICK, S.; MARTIN, J. & REIMER, A. (2004): Die Kleine Flussmuschel *Unio crassus* PHILIPSSON, 1788 im Biosphärenreservat Spreewald - aktuelle Verbreitung und Entwicklungstendenzen.- Natursch. u. Landschaftspfl. in Brbg. 13 (2): 70-76
- PIECHOTZKI, A. (1969): Biologische Beobachtungen von Muscheln aus der Familie *Unionidae* im Flusse Grabia.- Acta Hydrobiol. 11 (1): 57-67
- PUSCH, M., GRÜNERT, U., SIEFERT, J. & FREDRICH, F.: Ermittlung der ökologisch begründeten Mindestabflussmengen für die Spree von der Landesgrenze am Pegel Zerze bis zum Eintritt in den Spreewald bei Schmogrow und Formulierung von Zielzuständen zur Kompensation ökologischer Schäden am Spreelauf. Studie im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, (2000): 129 S. & Anlagen
- PUSCH, M.; KÖHLER, J.; WANNER, S.; OCKENFELD, K.; HOFFMANN, A.; BRUNKE, M.; GRÜNERT, U. & KOZERSKI, H.-P. (2001): Ökologisch begründetes Bewirtschaftungskonzept für die Spree unter dem Aspekt der bergbaubedingten Durchflussreduktion, Berichte des IGB, Heft 11
- REMY, D. (1993): Pflanzensoziologische und standortkundliche Untersuchungen an Fließgewässern Nordwestdeutschlands.- Diss. Geobot. Inst. Universität Hannover

- RINGLER, A.; REHDING, G. & BRÄU, M. (1994): Lebensraumtyp Bäche und Bachufer.- Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.19.- Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium f. Landesentwicklung u. Umweltfragen u. Bayerische Akademie f. Naturschutz u. Landschaftspflege, München
- SCHMALZ, W.; SCHMALZ, M. & ANSTEEG, O. (2005): Artenhilfsmaßnahme für die Bachmuschel (*Unio crassus*) in der Milz (Landkreis Hildburghausen) durch Infektion autochthoner Elritzen (*Phoxinus phoxinus*) mit Bachmuschelglochidien: Fortführung der Maßnahme im Jahr 2005.- Arbeitsbericht Hydrolabor Schleusingen i.A. Thüringer Landesanst. f. Umwelt u. Geologie Jena
- SCHMIDT, A. (2002): Zur Winternahrung des Nutria *Myocaster coypus*.-Mitt. d. LFA Säugetierkunde Brandenburg-Berlin 01/2002: 24
- TIMM, H. & MUTVEI, H. (1993): Shell Growth Of The Freshwater Unionid *Unio crassus* From Estonian Rivers.- Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. 42 (1): 55-67
- VICENTINI, H. & PFÄNDLER, U. (2001): Die Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Seegraben, Kanton Schaffhausen.- Mitt. Natf. Ges. Schaffhausen 46: 85-100
- WINTER, H.V. & FREDRICH, F. (2003): Migratory behaviour of ide, *Leuciscus idus*: a comparison between the lowland rivers Elbe, Germany, and Vecht, The Netherlands. *Journal of Fish Biology* 63: 871-880
- WÜSTEMANN, O. & KAMMERAD, B. (1995): Der Hasel. Die Neue Brehm Bücherei Bd. 614.
- ZAHNER-MEIKE, E. & HANSON, J.M. (2001): Effect of Muskrat Predation on Naiads.- In: BAUER, G.; WÄCHTLER, K. (Hrsg.): Ecology and Evolution of Freshwater Mussels Unionida.- Ecological Studies 145, Springer, Berlin Heidelberg Stuttgart: 163-181
- ZETTLER, M. L.; KOLBOW, D. & GOSSELCK, F. (1995): Ursachen für den Rückgang und die heutige Verbreitung der *Unioniden* im Warnow-Einzugsgebiet (Mecklenburg-Vorpommern) unter besonderer Berücksichtigung der Bachmuschel (*Unio crassus* PHILIPSSON 1788) (*Mollusca: Bivalvia*).- Tagungsber. 1994, Dt. Ges. f. Limnologie 2: 597-601
- ZETTLER, M. L. (2000): Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern in Mecklenburg-Vorpommern über die Malakofauna als Indikatororganismen.- Natur u. Naturschutz in M.-Vp. 35: 3-36
- ZETTLER, M. L. & JUEG U. (2001): Die Bachmuschel (*Unio crassus*) in Mecklenburg-Vorpommern.- Naturschutzarbeit in M.-Vp. 44 (2): 9-16
- ZETTLER, M. L. & JUEG U. (2002): Artenhilfsprogramm für die Bachmuschel (*Unio crassus*) in Mecklenburg-Vorpommern.- unveröff. Gutachten Umweltministerium M.-Vp
- ZIMMERMANN, U.; GÖRLACH, J. & ANSTEEG, O. (1998): Bestandsstützungsmaßnahmen für die Bachmuschel (*Unio crassus*) in der Milz (Landkreis Hildburghausen) durch Infektion autochthoner Elritzen (*Phoxinus phoxinus*) mit Bachmuschelglochidien.- Arbeitsbericht i.A. Thüringer Landesanst. f. Umwelt u. Geologie Jena
- ZIMMERMANN, U.; GÖRLACH, J. & ANSTEEG, O. (2000): Bestandsstützungsmaßnahmen für die Bachmuschel (*Unio crassus*) in der Milz (Landkreis Hildburghausen).- Landschaftspflege u. Naturschutz in Thüringen 37, (1): 11-16

Zu Kapitel 3

- BRIEM, E. (2002): Formen und Strukturen der Fließgewässer – ein Handbuch der morphologischen Fließgewässerkunde. ATV-DVWK-Arbeitsbericht, 135 S.
- BRINKMANN, R. (2002): FFH-Monitoring ausgewählter Wirbelloser der Ilmenau, Lutter und Örtze unter besonderer Berücksichtigung der Anhang II-Arten Bachmuschel (*Unio crassus*) und Grüne Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*).- unveröff. Gutachten Niedersächs. Landesamt Ökologie
- BÖßNECK, U. (1999): Untersuchungen zur Großmuschelfauna der Helme und der unteren Unstrut (Kyffhäuserkreis und Lkr. Nordhausen/Thüringen).- unveröff. Gutachten TLUG Jena
- DENHOF, CH. (2005): Stützung von Abflusstiefen in Fließen des Spreewaldes durch künstliche Rauheitselemente. Diplomarbeit an der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Universität Kassel, Kassel (unveröffentlicht)
- DÜMPELMANN, C. (2000): Artenschutzprojekt Bachmuschel (*Unio crassus*) 2000: Erhaltung und Vermehrung der Kleinen Flussmuschel an der Oberen Eder in Hessen.- unveröff. Gutachten Regierungspräsidium Kassel
- DÜMPELMANN, C. (2003): Artenschutzprojekt Bachmuschel (*Unio crassus*) 2003: Erhaltung und Vermehrung der Kleinen Flussmuschel an der Oberen Eder in Hessen.- unveröff. Gutachten Regierungspräsidium Kassel
- DVWK (1990): Abhängigkeiten der Selbstreinigung von der Naturnähe der Gewässer.; Mitt. Deut. Verband f. Wasserwirt. u. Kulturbau e.V., 21
- ENGEL, H. (1990): Untersuchungen zur Autökologie von *Unio crassus* (PHILIPSSON) in Norddeutschland.- Diss. Universität Hannover

- ENGEL, H. (1993): Über das Wanderungsverhalten adulter Süßwassermuscheln *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) und *Anodonta anatina* (LINNAEUS 1758).- Schr. Malakozool 6; 69-78
- FLEISCHAUER-RÖSSING, S. (1990): Untersuchungen zur Autökologie von *Unio tumidus* PHILIPSSON und *Unio pictorum* LINNAEUS (*Bivalvia*) unter besonderer Berücksichtigung der frühen postparasitären Phase.- Diss. Universität Hannover
- HASSINGER, R. (2002): Der Borstenfischpass – Fischaufstieg und Bootsabfahrt in einer Rinne.- Wasserwirtschaft, 92.Jg.H.4/5, S. 38-42
- HENKER, A.; HOCHWALD, S.; ANSTEEG, O.; AUDORFF, V.; BABL, A.; KRIEGER, B.; KRÖDEL, B.; POTRYKUS, W.; SCHLUMPRECHT, H. & STRÄTZ, C. (2003): Zielartenorientierte Regeneration zweier Muschelbäche in Oberfranken. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben „Maßnahmen zum Schutz der Bachmuschel *Unio crassus*“ des BfN.- Angew. Landschaftsökologie 56
- HINTERMANN, M. (2003): Borstenfischpass als neuartige Fischaufstiegshilfe – Pilotanlage Kraftwerk Au-Schönenberg. Wasser Energie Luft, 11-12
- HOCHWALD, S. (1997): Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayrischer Bachmuschelpopulationen (*Unio crassus* PHIL. 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltparametern.- Diss. Universität Bayreuth
- HÜBNER, D. (2000): Ichthyologische Funktionskontrolle eines Fisch-Kanu-Passes im Versuchsgerinne. Versuchsbericht im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Universität Kassel (unveröffentlicht).
- HÜBY, B. (1988): Zur Entwicklungsbiologie der Fließgewässermuschel *Pseudanodonta complanata*.- Diss. Universität Hannover
- ISRAEL, W. (1909): Über die Najaden des Mittelelbegebietes.- 51. u. 52. Jahresber. d. Ges. v. Freund. d. Naturwiss. zu Gera-Reuß
- ISRAEL, W. (1913): Biologie der europäischen Süßwassermuscheln.- K.G. Lutz, Stuttgart
- KLEEBERG, A.; DUDEL, G. E. (1997): Changes in extent of phosphorus release in a shallow lake (Lake Großer Müggelsee; Germany, Berlin) due to climatic factors and load; Marine Geology 139, 61-75
- KÖHLER, F. (1934): Die Veränderungen des hydrographischen Netzes im Spreewald im Wandel der Zeiten.- Diss. TU Dresden, Coburg
- KRÄTZ, D. (2002): Vergleichende Untersuchungen zur Funktionalität von Fischwanderhilfen. Diplomarbeit an der Philipps-Universität Marburg, Marburg (unveröffentlicht)
- LANG, K. (1998): Die Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON, 1788) im Niederbach: Bestandsituation, Fortpflanzungsbiologie und Wanderverhalten.- Dipl.-Arb. Univ. Freiburg
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (Hrsg., 2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Kulturbuchverlag Berlin, 2000.
- MAIER, D. (2005): Verfahren zur hydraulischen Quantifizierung des Widerstandsverhaltens eines Borstenfischpass-Gerinnes. Diplomarbeit am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Uni Karlsruhe (unveröffentlicht).
- MEHL, D., THIELE, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag), 261 S.
- MENTZEN, R. (1925): Die Unioniden Schlesiens.- Abh. Naturf. Ges. Görlitz 29 (2): 1-64
- MOSCH, E.(2003): Funktionsüberprüfung der Fischwanderhilfe am Okerwehr in Rünigen/Braunschweig – Bürste-Fisch-Pass in einer Kanurutsche. Untersuchung im Auftrag des NLWKN, Braunschweig (unveröffentlicht)
- PIECHOTZKI, A. (1969): Biologische Beobachtungen von Muscheln aus der Familie *Unionidae* im Flusse Grabia.- Acta Hydrobiol. 11 (1): 57-67
- SCHWALB, A. (2004): Horizontale und vertikale Bewegungen von Großmuscheln (*Bivalvia*, *Unionidae*) in der Spree.- Dipl.-Arb. Universität Potsdam
- ZUMBROICH, T., MÜLLER, A., FRIEDRICH, G. (1999): Strukturgüte von Fließgewässern - Grundlagen und Kartierung. Springer Berlin Heidelberg New York, 283 S.

Zu Kapitel 4

- ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE (2002): Querbauwerke und Fischaufstiegshilfen in Gewässern 1. Ordnung des deutschen Elbeinzugsgebietes - Passierbarkeit und Funktionsfähigkeit - 109 S.
- BAADE, U. & FREDRICH, F. (1997): Movement and pattern of activity of the roach in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology*, 52: 1165-1174
- BALON, E. K. (1975): Reproductive guilds of fishes: A proposal and definition. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32: 821-864

- BALON, E. K. (1981): Additions and amendments to the classification of reproductive styles in fishes. *Environ. Biol. Fish.*, **6**: 377-389
- BEAMISH, F. W. (1978): Swimming capacity. in Hoar, W. S. & Randall, D. J. (eds.): Fish physiology. Vol.VII: 101 – 187. Academic Press New York
- BORNE, M. v.D. (1882): Die Fischerei Verhältnisse des Deutschen Reiches, Oesterreich-Ungarns, der Schweiz und Luxemburgs. Bearbeitet im Auftrag des Deutschen Fischerei Vereins, Moeser Hofbuchdruckbinderei, Berlin, 306 S.
- BRÄMICK, U.; ROTHE, U.; SCHUHR, H.; TAUTENHAHN, M.; THIEL, U.; WOLTER, C. & ZAHN, S. (1999): Fische in Brandenburg - Verbreitung und Beschreibung der märkischen Fischfauna. – Herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg, Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Saccrow. 152 S.
- BRÄUNIG, C.; GLUCH, A.; KLEINSTEUBER, W. (1999): Fischaufstiegsanlagen an Saale und Unstrut. Hrsg.: Staatl. Amt für Umweltschutz Halle (Saale). 80 S.
- COLER, M.J. (1599): Von Fischen oder Fischereien. Verlag Paul Hellwig, Wittenberg
- DIEKMANN, A. (2006): Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. 13. Auflage. Rowohlt-Tb.-Verlag. Reinbeck
- DRIESCHER, E. (2002): Die Spree und ihr Einzugsgebiet – Naturräumliche Gegebenheiten und Landschaftsentwicklung in: Köhler, J.; Gelbrecht, J. & Pusch, M. (2002): Die Spree. Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten. Limnologie aktuell 10.
- DVWK-FACHAUSSCHUSS „Fischaufstiegsanlagen“ Merkblatt 232/1996: Fischaufstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) (Hrsg.) – Bonn. Wirtschafts- und Verl. Ges. Gas und Wasser: 110 S.
- MUNLV NRW. (2005): Handbuch Querbauwerke. Wasserwirtschaft NRW Min. f. Umweltschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- SACHS, L., HEDDERICH, J. (2003): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 11. Auflage. Springer-Verlag. Berlin
- EBEL, G.; FREDRICH, F.; GLUCH, A.; LECOUR, C. & WAGNER, F. (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. BWK-Fachinformation 1/2006. 115 S.
- ENDLER, A. (1891): Untersuchungen über den gegenwärtigen Stand der Fischereiverhältnisse in der Schwarzen Elster, der Spree und der Lausitzer Neisse nebst deren hauptsächlich, im Königreiche Sachsen entspringenden Nebengewässern. Schriften des Sächsischen Fischereivereines, Dresden, Nr. 13: 1-54
- FREDRICH, F. (1999): Migration and diel pattern of activity of ide, *Leuciscus idus*, in the River Elbe, Germany. Abstract, Symposium Ökologie, Ethologie und Systematik der Fische, Berlin 1999.
- FREDRICH, F. (2000): Wanderverhalten und Habitatwahl potamodromer Fische in der Elbe. Gewässer Landschaften Aquatic landscapes 9. Magdeburger Gewässerschutzseminar 25.-27.10.2000 22 ATV-DVWK- Schriftenreihe S.258-259
- FREDRICH, F. (2001): Effizienzkontrolle der Fischwanderhilfe am neubauten Spreeweher Beeskow. Gutachten im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg: 77 S.
- FREDRICH, F. (2002): Wanderungen des Zanders zwischen Winter- und Nahrungshabitaten. In: Ökologische Zusammenhänge zwischen Fischgemeinschafts- und Lebensraumstrukturen der Elbe (ELFI) BMBF-Projekt, Abschlussbericht (1.3.1997 – 31.8.2002) Universität Hamburg 223-230
- FREDRICH, F. (2003): Long-term investigations of migratory behaviour of asp (*Aspius aspius* L.) in the middle part of River Elbe, Germany. *Journal of Applied Ichthyology* 19: 294-302
- FREDRICH, F. (2003): Fischfauna in der Spree und ihren Nebengewässern vom Großen Spreeweher Cottbus bis zur Wehrgruppe Schmogrow. Gutachten im Auftrag IHC Ingenieurbüro IPP-HYDRO-CONSULT GmbH (2003): 42 S.
- FREDRICH, F. (2005): Monitoring der Durchwanderbarkeit des Muldestausees. Fachgutachten im Auftrag des Talsperrenbetriebes des Landes Sachsen-Anhalt
- FREDRICH, F. (2006 a): Funktionskontrolle der Fischaufstiegsanlage am Wehr Bad Liebenwerda in der Schwarzen Elster. Gutachten im Auftrag der STRABAG. 70 S.
- FREDRICH, F. (2006 b): Funktionskontrolle (Fischaufstieg) des Vertical-Slot-Fischpasses am Wehr 55 in Burg im Rahmen des DBU-Pilotprojektes „Borstenanlagen im Spreewald“. Gutachten im Auftrag des LUA Brandenburg
- FREDRICH, F.; ARZBACH, H.-H. (2002): Wanderungen und Uferstrukturnutzung der Quappe, *Lota lota*, in der Elbe, Deutschland. *Z. Fischkunde*, Suppl. 1.159-178
- FREDRICH, F., OHMANN, S., CURIO, B. & KIRSCHBAUM, F. (2003): Spawning Migrations of the Chub in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology* 63: 710-723

- FREDRICH, F. & WOLTER, C. (2001): Ichthyofauna der Müggelspree. in Pusch, M., et al.: Teilleistungen zum wasserwirtschaftlich-ökologischen Rahmenkonzept Müggelspree. Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg: 219 S. und 180 S. Anhänge
- FREDRICH, F. & WOLTER, C.: (2004): Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Fischwanderhilfe in der Löcknitz am Maxseeauslauf. Gutachten im Auftrag des Wasser- und Bodenverbandes „Untere Spree. 22 S.
- GEBLER, R.-J. (1991): Sohlrampen und Fischaufstiege. Eigenverlag Gebler, Walzbachtal
- JENS, G., BORN, O., HOHLSTEIN, R., KÄMMEREIT, M., KLUPP, R., LABATZKI, P., MAU, G., SEIFERT, K. & WONDRAK, P. (1997): Fischwanderhilfen – Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V. Heft 11: 114 S.
- JUNGWIRTH, M & PELICAN, Z. (1989): Zur Problematik von Fischaufstiegshilfen. Österreichs Wasserwirtschaft 41: 80-89
- KADEN, S.; KANTELBERG, G.; REHRFELD-KLEIN, M. & SAUER, C. (2002): Hydrologie in: Köhler, J.; Gelbrecht, J. & Pusch, M. (2002): Die Spree. Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten. Limnologie aktuell 10
- KÖHLER, J.; GELBRECHT, J. & PUSCH, M. (2002): Die Spree. Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten. Limnologie aktuell 10
- KREBS, C. J. (1994) Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. 4. Aufl., Harper Collins College Publishers, New York
- LEHMANN, C. (1925): Die Verunreinigung der Spree und Havel durch die Abwässer Groß-Berlins nebst einem Überblick über die fischereilichen Verhältnisse. *Z. Fischerei* 33: 523-548
- MAHNKOPF, E. (1907): Erfahrungen in der Seenbewirtschaftung. *Fischerei-Zeitung* Neudamm 10: 99-105
- PUSCH, M.; MARTIN, J.; FREDRICH, F.; BERGER, T; LEHMITZ, R.; ZÖLLIG, O. & PUSCH, M.H.E. (2006): Erhaltung von Habitaten der Kleinen Flussmuschel (*Unio crassus* Philipsson, 1788) im Biospärenreservat Spreewald durch Errichtung von Borstenpässen (Pilotprojekt) Teilprojekt Biologisches Monitoring. Im Auftrag des LUA Brandenburg
- SCHIEMER, F. & WAIDBACHER, H. (1992): Strategies for Conservation of a Danubian Fish Fauna. in: Boon, P.J., Calow, P. & Petts, G.E. (Hrsg.) *River Conservation and Management*. John Wiley & Sons Ltd. S. 363-382
- SCHIEMER, F. & WAIDBACHER, H. (1994): Naturschutzerfordernisse zur Erhaltung einer typischen Donau-Fischfauna. *Limnologie aktuell*, 2 Biologie der Donau: 247-265
- STAHLBERG, S. & PECKMANN, P. (1986): Bestimmung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit für einheimische Kleinfischarten. *Wasserwirtschaft* Vol. 76 (7/8): 340-342
- STRUBE, A. (1927): Vom Fischreichtum der Lausitz, Unsere Heimat „Heimatwanderer“ Nr. 20
- WINTER, H.V. & FREDRICH, F.: Migratory behaviour of ide, *Leuciscus idus*: a comparison between the lowland rivers Elbe, Germany, and Vecht, The Netherlands. *Journal of Fish Biology* 63 (2003): 871-880
- WITMACK, L. (1875): Beiträge zur Fischereistatistik des Deutschen Reiches sowie eines Teiles von Oesterreich-Ungarn und der Schweiz. W. Moeser Hofbuchdruckerei, Berlin. 251 S.
- WOLTER, C.; DOETINCHEM, N.; DOLLINGER, H.; FÜLLNER, G.; LABATZKI, P.; SCHUR, H.; SIEG, S. & FREDRICH, F. (2002) Fischzönotische Gliederung der Spree. In: Köhler, J.; Gelbrecht, J. & Pusch, M. (2002): Die Spree. Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten. Limnologie aktuell 10

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Landesumweltamt Brandenburg
Referat Umweltinformation/Öffentlichkeitsarbeit

Seeburger Chaussee 2
14476 Potsdam, OT Groß Glienicke
Tel: (033201) 442 515
Fax: (033201) 43678
E-Mail: infoline@lua.brandenburg.de
www.mluv.brandenburg.de/info/lua-publikationen