

Henriette John, André Günther, Reinhard Reißmann, Detlef Tolke und Hermann Heilmeyer

Bedeutung und Schutz des FFH-Lebensraumtyps „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“ im Gebiet der oberen Freiberger Mulde*

Zusammenfassung

Im Sommer 2003 wurde in einem 30 km langen Abschnitt der oberen Freiberger Mulde die nach dem extremen Augusthochwasser 2002 vorhandene Unterwasservegetation kartiert. Daran schlossen sich detaillierte Untersuchungen an, die sowohl Pflanzenparameter (Vorkommen, Größe und Wachstum) als auch chemische, physikalische und strukturelle Standortfaktoren beinhalteten. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem für Mittelgebirgsflüsse typischen Schild-Wasserhahnenfuß (*Ranunculus peltatus*).

In der vorliegenden Studie wird die Bedeutung der Unterwasservegetation für das Fließgewässerökosystem anhand ausgewählter Tiergruppen verdeutlicht und die Schutzbedürftigkeit durch Aufzeigen einer Reihe von Gefährdungspotenzialen unterstrichen. Daraus werden Konsequenzen für den Schutz sowie die Förderung des Lebensraumtyps „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“ gezogen und Empfehlungen für das Monitoring im Rahmen der FFH-Managementplanung gegeben.

1 Einleitung

Fließgewässer mit Unterwasservegetation stellen einen Lebensraumtyp nach Anhang I der FFH-Richtlinie der Europäischen Union dar. Sie haben in 144 der 270 gemeldeten FFH-Gebiete Sachsens einen großen Anteil unter den FFH-Lebensraumtypen. Etwa die Hälfte der bekannten Fläche des Lebensraumtyps in Sachsen befindet sich heute in FFH-Gebieten.

Im FFH-Gebiet „Oberes Freiberger Muldetal“ nehmen Fließgewässer mit Unterwasservegetation mehr als 5 % der Gesamtfläche von ca. 1 550 ha ein. Als Auswirkung des extremen Hochwassers im August 2002 kam es zu massiven Veränderungen in der Gewässerstruktur des Gebietes. In großem Umfang wurden Wasserpflanzen weggespült. Detaillierte, flächendeckende Aufzeichnungen über die Besiedlungssituation

* Die Abbildungen 1–4 zu dieser Arbeit befinden sich auf der 2. Umschlagseite des Heftes.

vor dem Hochwasser fehlen, so ist unklar, ob derzeit unbesiedelte Gewässerabschnitte als potenzieller Lebensraum geeignet sind. Gerade für die Abgrenzung der Lebensraumtypflächen sowie zur Abschätzung von Konfliktpotenzialen im Rahmen der FFH-Managementplanung war die Beantwortung dieser Frage besonders wichtig. Ziele der vorliegenden Arbeit waren einerseits die Erfassung des Ist-Zustandes der Pflanzenverbreitung nach dem Hochwasser und andererseits Untersuchungen zu Standortansprüchen und Gefährdungsursachen der Unterwasservegetation im Zuge der Wiederbesiedlung im Sommer 2003. Das Hauptaugenmerk lag auf dem für Mittelgebirgsflüsse typischen Schild-Wasserhahnenfuß (*Ranunculus peltatus*). Aus den Erkenntnissen sollen Empfehlungen für den Schutz und das Monitoring der Submersvegetation der Freiberger Mulde abgeleitet werden.

2 Der Schild-Wasserhahnenfuß (*Ranunculus peltatus*)

Ranunculus peltatus aus der Gruppe *R. aquatilis* agg. besiedelt sowohl meso- bis eutrophe Fließ- als auch Stillgewässer der Ebene bis in die Gebirgslagen Sachsens (HARDTKE & IHL 2000). In Fließgewässern kann die Art bis mehrere Meter lange, in sich verwobene Schwaden ausbilden, die in der Strömung pendeln. Die Schwaden sind dabei vom Gewässergrund bis zur Wasseroberfläche dicht mit haarfein zerteilten Blättern besetzt. Im Zusammenhang mit der Blütenbildung kommt es häufig zur Ausbildung gelappter Schwimmblätter, die die Blüten, welche im Aufbau denen terrestrischer Arten entsprechen, über der Wasseroberfläche stabilisieren (POTT & REMY 2000) (siehe Abb. 1).

Die Art zeigt sich tolerant gegenüber Wasserstandsschwankungen und ist in der Lage, bei Niedrigwasserperioden durch Bildung rasiger Landformen auf feuchtem Schlamm zu überdauern (CASPER & KRAUSCH 1981) (siehe Abb. 2). *R. peltatus* scheint auch niedrige winterliche Temperaturen zu ertragen. So wurden vielerorts Schwaden beobachtet, die ganzjährig einen Grundstock von Unterwasserblättern behalten (POTT & REMY 2000).

Die Vermehrung bzw. Ausbreitung von *R. peltatus* erfolgt auf zweierlei Weise. Zum einen werden abgerissene Sprosstücke mit der Strömung flussabwärts transportiert und können sich durch Adventivwurzeln sofort am neuen Standort verankern (GARBEY et al. 2003). Zum anderen erfolgt eine Ausbreitung durch Samen, die durch Luftpolster längere Zeit schwimmfähig sind (POTT & REMY 2000). Da eine Keimung der Samen nur auf feuchtem Schlamm erfolgt, jedoch nicht unter Wasser (pers. Beobachtung), und die Samenbank kurzzeitig ist (OBERDORFER 2001), stellt die vegetative Vermehrung durch Sprosstücke vermutlich die bedeutsamere dar. Eine Ausbreitung über Vögel und Säugetiere wurde bislang unzureichend untersucht.

Die Verbreitung von *R. peltatus* in Sachsen ist noch unzureichend bekannt. Für die obere Freiberger Mulde führten HARDTKE & IHL (2000) Nachweise des *R. aquatilis* agg. an, ohne diese zu spezifizieren. Die vor dem Hochwasser geschlossenen Bestände der Freiberger Mulde zwischen der Gimmlitzmündung und Muldenhütten

sowie zwischen Muldenhütten und Siebenlehn bezogen sich jedoch ausnahmslos auf *R. peltatus* (A. Günther).

Ursachen für die unzureichend geklärte Verbreitungssituation sind vor allem in der Verwechslung mit anderen Wasserhahnenfuß-Arten bzw. in der Ansprache als *R. aquatilis* agg. zu suchen. Aus diesem Grund werden in Tabelle 1 die drei häufigsten sächsischen Wasserhahnenfuß-Arten hinsichtlich ihrer wesentlichen Unterscheidungsmerkmale vorgestellt. Während man bei der Unterscheidung von *R. peltatus* und *R. aquatilis* s. str. auf das Vorhandensein von Schwimmblättern oder Blüten angewiesen ist, lässt sich *R. fluitans* bereits im vegetativen Zustand eindeutig von diesen beiden Arten trennen. Zuverlässige Unterscheidungsmerkmale sind hierbei die Breite sowie der Verlauf der Blattzipfel der Unterwasserblätter. *R. peltatus* und *R. aquatilis* s. str. unterscheiden sich hinsichtlich der Tiefe der Einschnitte in den Schwimmblättern, des Länge-Breite-Verhältnisses der Blattzähne sowie der Form der Nektargrube der Honigblätter voneinander (Tab. 1).

Tabelle 1: Die drei häufigsten Wasserhahnenfußarten der sächsischen Mittelgebirge und ihres Vorlandes (zusammengestellt nach CASPER & KRAUSCH 1981)

<i>Ranunculus peltatus</i> (zu <i>R. aquatilis</i> agg.)	<i>Ranunculus aquatilis</i> s. str. (zu <i>R. aquatilis</i> agg.)	<i>Ranunculus fluitans</i>
Stängel bis 2 m lang	bis 2 m lang	bis 6 m lang
Unterwasserblätter kürzer als Stängelinternodien, mehrfach haarfein gefiedert, Blattzipfel allseitig ausgebreitet, nicht parallel verlaufend	kürzer als Stängelinternodien, mehrfach haarfein gefiedert, Blattzipfel allseitig ausgebreitet, nicht parallel verlaufend	8–25 cm lang, oft länger als Stängelinternodien, selten > 4-fach gefiedert, Blattzipfel > 0,5 mm breit und nahezu parallel verlaufend
Schwimmblätter in Blütezeit oft vorhanden, etwa bis zur Mitte 3-lappig, Blattlappen gekerbt-gezähnt, Kerbzähne gerundet, breiter als lang	in Blütezeit oft vorhanden, etwa bis zum Grund 3- bis 5-lappig, Blattlappen länger als bei <i>R. peltatus</i> , gezähnt, Zähne zugespitzt, länger als breit	nie vorhanden
Nektargrube der Honigblätter birnenförmig	kreisrund, ± becherförmig	eilänglich
Fruchtsiel > 50 mm lang, länger als der Stiel des opponierten Schwimmblattes	selten > 50 mm lang, kürzer als der Stiel des opponierten Schwimmblattes	kürzer als opponiertes Tauchblatt

3 Kurzcharakteristik des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet, ein etwa 30 km langer Abschnitt der Freiburger Mulde, reicht von Mulda im Süden bis nach Siebenlehn im Norden (Abb. 5). Die Freiburger Mulde durchquert dabei, mit vorzugsweise nordwestwärts gerichtetem Lauf, die mitt-

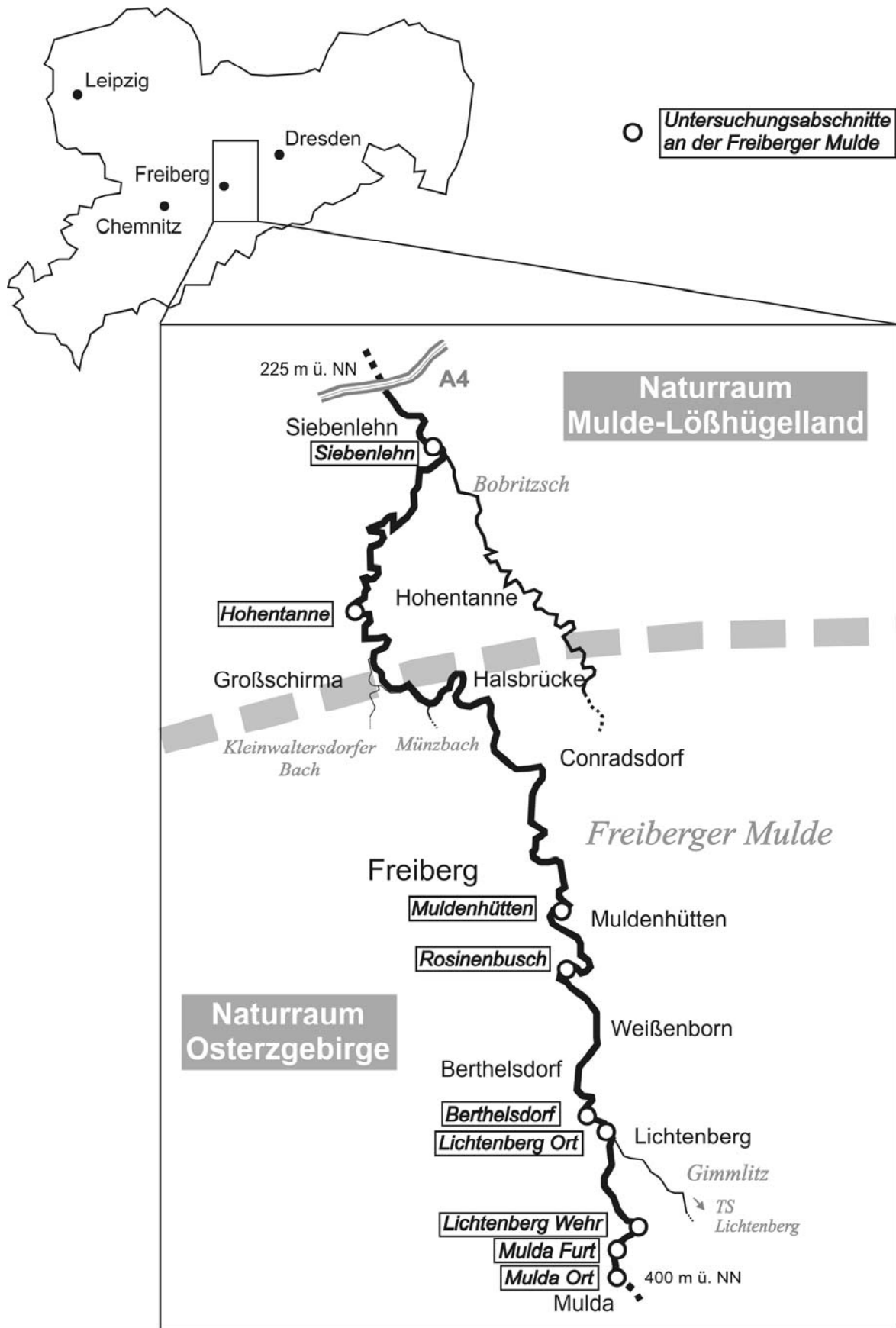


Abbildung 5: Das Untersuchungsgebiet an der oberen Freiberger Mulde mit den neun Untersuchungsabschnitten (Höhenangaben gemäß TK 25, Blätter 5146 und 4945)

leren und unteren Lagen des Osterzgebirges sowie das Mulde-Lößhügelland. Der Flusslauf ist geschlängelt und es sind überwiegend Kerbsohlentäler anzutreffen (MANNSFELD & RICHTER 1995). Während im Naturraum Osterzgebirge der Freiburger Gneis vorherrscht, wird im Mulde-Lößhügelland das Grundgebirge in den Tälern von Kiesen und Sanden überlagert (MANNSFELD & RICHTER 1995). Stellenweise treten anthropogene Standorte mit Kippen und Halden auf.

Die Jahresniederschläge reichen von 750–960 mm für die Täler des Osterzgebirges und von 650–750 mm für das Mulde-Lößhügelland. Die Jahresmitteltemperatur beträgt in den Tälern des Osterzgebirges 7,5–8,0 °C, im Mulde-Lößhügelland 7,9–8,6 °C (SCHMIDT et al. 2002).

Die Freiburger Mulde ist ein Niederschlagsgewässer ohne nennenswerte Grundwasserkörper. Der durchschnittliche Abfluss liegt zwischen 1,43 m³/s bei Mulda (FREYER 1988) und 6,79 m³/s bei Nossen (LFUG 2002). Für die hydrologischen Halbjahre ergibt sich am Pegel Nossen ein durchschnittlicher Abfluss von 4,89 m³/s im Sommer bzw. 8,71 m³/s im Winter. Der niedrigste bekannt gewordene Abfluss betrug 0,3 m³/s im Jahr 1934 (LFUG 2002), der höchste 690 m³/s im August 2002 (StUFA Chemnitz, schriftl. Mitteilung 2004).

Das Umfeld der oberen Freiburger Mulde wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt, wobei der Anteil in Richtung Mulde-Lößhügelland zunimmt. In gleicher Richtung gehen die Fichtenforste in Laub- und Mischwälder über. Der insgesamt geringe Grünlandanteil ist auf die Tallagen konzentriert. Locker bebaute Siedlungsflächen treten vereinzelt bis an das Gewässer heran. Eine dichte Bebauung ist nur bei Muldenhütten gegeben.

4 Methoden

Im Wesentlichen bauen die hier vorgestellten Ergebnisse auf der Diplomarbeit von JOHN (2004) auf. Die Methodik beinhaltete mit Ausnahme der Wasserkäfer primär keine zoologischen Untersuchungen. Vorliegende faunistische Daten zur Libellen- und Ichthyofauna und stichprobenartige Kontrollen ermöglichten jedoch Aussagen zur Bedeutung der *Ranunculus*-Bestände für ausgewählte Tiergruppen.

4.1 Vegetation und Standortparameter

Im Juni 2003 wurde zunächst im gesamten Flussabschnitt zwischen Siebenlehn und Mulda die Verbreitung der Wasserpflanzenarten kartiert. Daraufhin wurden neun Abschnitte à 100 m für detaillierte Untersuchungen ausgewählt (Abb. 5). In acht Abschnitten bildeten einerseits das Vorkommen nennenswerter *Ranunculus*-Bestände und andererseits das Vorhandensein einer möglichst großen Vielfalt unterschiedlicher struktureller Standorteigenschaften die Auswahlkriterien. Ein Abschnitt, der vor dem Hochwasser 2002 Bestände von *R. peltatus* aufwies, jedoch aktuell über keine submerse Vegetation verfügte, diente als Vergleichsabschnitt.

Tabelle 2: Methoden der Standortfaktoren- und Vegetationserfassung

Parameter	Methode
Beschattung	Schätzung nach WÖRLEIN (1992), zitiert in SCHNEIDER (2000) vollsonnig Sonne von deren Auf- bis Untergang sonnig in der überwiegenden Zeit des Tages und immer in den wärmsten Stunden in voller Sonne absonnig in der überwiegenden Zeit des Tages in der Sonne, in den wärmsten Stunden jedoch im Schatten halbschattig mehr als die Tageshälfte und immer in den wärmsten Stunden beschattet schattig voller Schatten unter Bäumen
Wassertiefe	mittlere Wassertiefe und Tiefenverteilung im Abschnitt sehr gering < 10 cm gering 10–25 cm mäßig 25–40 cm hoch 40–55 cm sehr hoch > 55 cm
Strömungsdiversität	fünfstufige Klassifizierung nach LAWA (2000) unter Berücksichtigung der Wasserspiegeloberfläche (siehe Fließgeschwindigkeit) keine Wasserspiegeloberfläche (WSOF) im gesamten Abschnitt gleichförmig gering 2 Formen der WSOF vorhanden, 1 davon nur in geringem Umfang mäßig 3 Formen der WSOF vorhanden, 2 davon nur in geringem Umfang groß mindestens 3 Formen der WSOF vorhanden, 2 davon in großem Umfang sehr groß mehr als 3 Formen der WSOF vorhanden, 3 davon in großem Umfang
Fließgeschwindigkeit	Einschätzung anhand der Wasserspiegeloberfläche, verändert nach LAWA (2000) sehr gering glatt gering geripgelt mäßig gewellt hoch kammförmig sehr hoch überstürzend
Substrat	nach RIIS et al. (2001), erweitert um die Klasse Blöcke Schlamm < 0,1 mm Sand 0,1–3 mm Kies 3–30 mm Steine 30–300 mm Blöcke > 300 mm
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit	Mittelwert aus mindestens zwei Messungen pro Abschnitt mit der Multi-Parameter-Sonde vom Typ U-22.23 der Firma Horiba (Japan)
Nitrat	Daten der jeweils nächstgelegenen Messstelle der Umweltbetriebsgesellschaft (UBG). Die Messstellen stimmen nicht mit den eigenen Untersuchungsabschnitten überein, daher sind nur Näherungswerte möglich.
Schwermetalle, Arsen, Aluminium	Einschätzung der gelösten Elemente anhand von UBG-Daten der jeweils nächstgelegenen Messstelle
Schwadenanzahl	dreimalige Kartierung pro Abschnitt (jeweils Anfang Juli, August und September), die Schwadenanzahl der 3. Aufnahme entspricht gleichzeitig der max. Schwadenanzahl im Untersuchungszeitraum
Schwadengröße	dreimalige Messung aller Schwaden je Abschnitt (jeweils Anfang Juli, August und September) Breite maximale Schwadenbreite senkrecht zur Fließrichtung Länge maximale Schwadenlänge in Fließrichtung
Schwadenwachstum	Differenz der Schwadenlänge bzw. -breite zwischen der dritten und ersten Messung

Im Zeitraum von Ende Juni bis Mitte September 2003 wurden diese neun Abschnitte der Freiburger Mulde durch die in Tabelle 2 zusammengefassten Methoden untersucht.

4.2 Fauna

Wasserkäfer (Coleoptera part.)

Drei ausgewählte Abschnitte wurden im Oktober 2003 stichprobenartig auf das Vorhandensein von Wasserkäfern untersucht (R. Reißmann, H. John). Zum einen wurden von flutenden *Ranunculus*- und *Fontinalis*-Pflanzen mehrere Sprosse entnommen, zum anderen fand die Kick-Sampling-Methode Anwendung und es wurden Steine der Gewässersohle im Wasserstrom abgebürstet. Als Auffang diente in beiden Fällen ein Mikronetz. Das Pflanzen- und Schlammmaterial wurde anschließend im Labor mit einer veränderten Apparatur nach Berlese auf das Vorhandensein von Hakenkäfern (Elmidae) und anderen im Wasser lebenden Käferarten untersucht.

Libellen (Odonata)

Die Daten entstammen einem langjährigen Monitoringprojekt zur Libellenwiederbesiedlung der oberen Freiburger Mulde (A. Günther). Dabei wurden im Zeitraum Mai bis August der Jahre 2003 bis 2005 jeweils bei günstiger Witterung 20 Probestellen auf das Vorkommen von Imagines kontrolliert. In Abschnitten mit Imaginalnachweisen wurde der aktuelle Reproduktionsstatus der jeweiligen Arten durch die Suche nach Larven, Exuvien bzw. schlüpfenden Individuen bestimmt.

Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces)

Alle zur Verfügung stehenden Daten entstammen Zufallsfunden. In der Regel handelte es sich um Käscherfänge bei der Suche nach Libellenlarven (A. Günther). Alle Tiere wurden unmittelbar nach der Bestimmung am Fundort freigelassen.

5 Ergebnisse

5.1 Vorkommende Pflanzenarten und deren Verbreitung im Juni 2003

Die vorgefundenen makroskopischen Algen gehörten vermutlich der Gattung *Cladophora* an. Ihre Verbreitung beschränkte sich auf Bereiche unterhalb von Einleitungen aus Kläranlagen sowie Abschnitte mit intensiver Bewirtschaftung des Gewässerumfeldes, die bis an das Ufer heranreichte.

Als häufigstes Wassermoos der Freiburger Mulde wurde *Hygrohypnum ochraceum* festgestellt. Es war nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet zu finden. *Fontinalis antipyretica* und *F. squamosa* traten besonders im Oberlauf des untersuchten Abschnittes bis etwa Muldenhütten auf. Auch das Vorkommen von *Amblystegium fluviatile* war auf den Oberlauf beschränkt. Im Unterlauf konnte bei Hohentanne *Lepidodictyum riparium* nachgewiesen werden.



Abbildung 6: Verbreitung und Menge der Schwaden von *Ranunculus peltatus* an der oberen Freiberger Mulde (n.b. = Kategorie ist im Untersuchungsgebiet nicht belegt)

Zu den Höheren Pflanzen der Submersvegetation der Freiburger Mulde gehören *Callitriche palustris* agg. und *Ranunculus peltatus*. Erstere Art war insgesamt nur mit wenigen Individuen vertreten. Ihre Verbreitung beschränkte sich auf den Mittellauf des Abschnittes etwa von Lichtenberg bis Muldenhütten. *R. peltatus* wies besonders im Oberlauf nennenswerte Bestände auf. So kann für den Abschnitt Mulda bis kurz unterhalb des Pegels Berthelsdorf von einer nahezu lückenlosen Verbreitung von *R. peltatus* gesprochen werden. In der Ortslage Weißenborn und dem sich anschließenden Gewässerabschnitt bis zur Radwanderbrücke im „Rosinenbusch“ konnten nur an wenigen, weit auseinander liegenden Stellen Unterwasserpflanzen nachgewiesen werden. Weiter flussabwärts nahm die Dichte dann wieder stark zu und erreichte im Muldenbogen des Industriegebiets Muldenhütten ihr Maximum. Auf 50 m Fließstrecke (durchschnittliche Gewässerbreite 15 m) wurden hier über 200 Schwaden von *R. peltatus* festgestellt. Im flussabwärts anschließenden Gewässerabschnitt konnten wiederum nur stellenweise Schwaden gefunden werden, so bei Conradsdorf und Großschirma. Der am weitesten flussabwärts gelegene Nachweis von *R. peltatus* war in Hohentanne zu verzeichnen (Abb. 6).

Die hier aufgezeigte Verbreitung konnte durch eine erneute Erfassung im Rahmen der Managementplanung im FFH-Gebiet „Oberes Freiburger Muldetal“ 2004 weitgehend bestätigt werden (VOSS et al. 2005). Verluste traten in der Ortslage Mulda aufgrund Instandsetzung der Ufermauer sowie in Muldenhütten wegen des Baus einer Ufermauer zur Stabilisierung der Schlackeanschlüpfungen auf (Abb. 4).

5.2 Vorkommen von *Ranunculus peltatus* in Abhängigkeit von den Standortfaktoren

Die Untersuchungsergebnisse für die jeweiligen Abschnitte sind in Tabelle 3 gegenübergestellt. Beachtet werden muss, dass 2003 ein sehr trockenes Jahr war und die Angaben sich deshalb auf den Niedrigwasserstand beziehen.

Für die Submersvegetation setzt sich der Standortfaktor Licht aus einer Kombination der Beschattung und der Lichtabschwächung aufgrund der Wassertiefe zusammen. In den Abschnitten „Mulda Ort“ und „Lichtenberg Wehr“ waren die stärker beschatteten Bereiche gleichzeitig durch hohe bis sehr hohe Wassertiefen gekennzeichnet. In beiden Fällen blieben sie unbesiedelt. Tiefwasserzonen ohne Beschattung („Mulda Furt“, „Muldenhütten“, „Hohentanne“) blieben ebenso weitgehend unbesiedelt. Die Vorkommensschwerpunkte lagen in sehr gering bis mäßig tiefen Gewässerabschnitten bei vollsonnigen bzw. sonnigen („Mulda Ort“ unterer Teil, „Lichtenberg Ort“ Furt, „Muldenhütten“ unterer Teil, „Rosinenbusch“) aber auch absonnigen bis halbschattigen Bedingungen („Mulda Furt“ mittlerer Teil, „Lichtenberg Wehr“ mittlerer Teil). Im Abschnitt „Berthelsdorf“ wurden die hohen Wassertiefen im oberen Teil durch die Ansiedlung auf moosbewachsenen Blöcken ausgeglichen, die fast bis zur Wasseroberfläche reichten. Somit bildete die Wassertiefe den stärker limitierenden Faktor im Vergleich zur Beschattung z. B. durch Ufergehölze. Die Wassertiefe war

wiederum dahingehend mit der Fließgeschwindigkeit gekoppelt, dass ausgedehnte Tiefwasserzonen mit einer Strömungsberuhigung einhergehen. Im Gegensatz zur Strömungsberuhigung wurden stärker erhöhte Fließgeschwindigkeiten durchaus toleriert („Mulda Furt“ Stufenbereich, „Lichtenberg Wehr“ Mittellauf, „Muldenhütten“ Tiefrinne).

Die unterschiedlichen Substrate waren etwa zu gleichen Anteilen besiedelt wie sie im jeweiligen Abschnitt vorkamen. Neuansiedlungen von Keimlingen und Sprossstücken fanden jedoch bevorzugt auf Schlamm und moosbewachsenen Blöcken statt.

Anzeichen für eine Verschmutzung des Wassers lieferten im Fall der Freiburger Mulde als Silikatgewässer ein schwach basischer pH-Wert sowie erhöhte elektrische Leitfähigkeiten ($> 250 \mu\text{S}/\text{cm}$) und Nitratgehalte ($> 10 \text{ mg/l}$). Aus dem pH-Wert und dem Nitratgehalt ließ sich kein direkter Einfluss auf das Vorkommen von *R. peltatus* ableiten. Hingegen ist in der stark erhöhten elektrischen Leitfähigkeit eine Ursache für die unterhalb Muldenhütten zu beobachtende Abundanzabnahme der Pflanzen zu suchen. Als weitere Einflussfaktoren ab diesem Standort sind stark erhöhte gelöste Schwermetall-, Arsen- sowie Aluminiumgehalte vorhanden.

5.3 Schwadengröße und Wachstum von *Ranunculus peltatus* in Abhängigkeit von den Standortfaktoren

In diesem Abschnitt werden wichtige (statistisch signifikante) Zusammenhänge zwischen ausgewählten Standortfaktoren und der Schwadengröße bzw. dem Schwadenwachstum aus JOHN (2004) vorgestellt.

Ranunculus peltatus besiedelte zwar durchaus stärker beschattete Abschnitte, die Schwaden zeigten hier jedoch eine geringere Größe (Breite und Länge) und ein vermindertes Wachstum. Mit zunehmender Wassertiefe und damit zunehmender Lichtabschwächung stieg jedoch die Schwadenlänge an.

Hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit ergaben sich ähnliche Zusammenhänge wie bei der Beschattung. Erhöhte Fließgeschwindigkeiten wurden zwar toleriert, aber die Schwadengröße und das Wachstum waren entsprechend geringer.

Die Besiedlung von Schlamm und moosbewachsenen Blöcken wirkte sich positiv auf Schwadengröße und -wachstum von *R. peltatus* aus. Schwaden auf Kies, Steinen oder unbewachsenen Blöcken wiesen eine geringere Größe und ein geringeres Wachstum auf. Statistisch signifikante Zusammenhänge ergaben sich auch für die Verschmutzungsparameter. So wurde bei einer Erhöhung des pH-Werts im gemessenen Wertebereich von 6,2 bis 7,6 eine Erniedrigung von Schwadengröße und -wachstum festgestellt. Auch den erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten im Unterlauf stehen durchschnittlich geringere Schwadengrößen gegenüber.

Da die Messstellen für Nitrat, Schwermetalle, Arsen und Aluminium nicht mit den eigenen Untersuchungsabschnitten übereinstimmten, konnten für diese Parameter keine statistischen Tests vorgenommen werden. Durch Gegenüberstellung der middle-

Tabelle 3: Standortkundliche Charakterisierung der neun Untersuchungsabschnitte und deren Besiedlung durch *Ranunculus peltatus* (Positionsangaben links/rechts beziehen sich auf Blick in Fließrichtung)

Abschnitt	Mulda Ort	Mulda Furt	Lichtenberg Wehr	Lichtenberg Ort
Beschattung	sonnig	sonnig	halbschattig bis schattig	vollsonnig bis sonnig
Besonderheiten	rechts Galerie (regelmäßige Gehölzreihe) im oberen Teil	links Galerie, rechts Bäume im mittleren Teil	beidseitig Galerie, im mittleren Teil niedrig	kaum Ufergehölze
Wassertiefe (=> in Fließrichtung)	hoch => mäßig => gering	hoch => sehr gering (Sohlenstufen) => gering	sehr hoch => gering => sehr hoch (Anstauhinter Wehr)	gesamter Abschnitt mäßig
Strömungsdiversität	gering	groß	gering	keine
Fließgeschwindigkeiten und Verteilung (=> in Fließrichtung)	gering => mäßig	sehr gering => sehr hoch (Stufenbereich) => mäßig	sehr gering => hoch => sehr gering	einheitlich mäßig
Substratverteilung	Steine, vereinzelt Blöcke, in Tiefwasserzone Sand und Detritus aufgelagert, kleine ufernahe Schlammvorkommen	Steine, vereinzelt Blöcke, Tiefwasserzone zunächst Steine und dicke Detritusschicht, dann Blöcke, Sohlenstufen Blöcke (gut eingeregelt)	oberer Teil Kies-Stein-Gemisch mit aufgelagertem Sand, Detritus und Laub, mittlerer Teil Steine, Anstaubereich Steine und Detritus	Steine und Blöcke, linksseitig häufig schmale Schlammablagerungen entlang Ufer, mittlerer Teil Furt mit Betonplatten
pH-Wert	6,2	6,7	6,8	7,0
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	210	210	220	220
Nitrat [mg/l]	< 10	< 10	< 10	ca. 15
Schwermetalle/-Arsen	gering	gering	gering	gering
Aluminium	gering	gering	gering	gering
Schwadenanzahl 1./3. Aufnahme	40/67	35/41	16/17	30/80
Verbreitungsschwerpunkte	unterer Teil, ufernahe Flachwasserbereiche im oberen Teil	ufernahe Bereiche, Sohlenstufen	mittlerer Teil (zwischen Tiefwasserzonen)	linkes ufernahes Gewässerbett (Prallufer), Bereich der Furt
Unbesiedelte Bereiche	Tiefwasserzone im oberen Teil	Tiefwasserzone im oberen Teil	Anstaubereich, natürliche Tiefwasserzone	weite Bereiche des rechten Gewässerbettes
Bereiche mit Neuan-siedlungen	Flachwasserbereiche mit Schlamm	Flachwasserbereiche nahe Ufer bzw. oberhalb Sohlenstufen	mittlerer Teil (zwischen Tiefwasserzonen)	linkes ufernahes Gewässerbett auf moosbewachsenen Blöcken bzw. in Schlamm
Bemerkungen	Strukturveränderung durch Neubau der linken Ufermauer	-	abzweigender Mühlgraben vermutlich heute funktionslos	-

Tabelle 3 (Fortsetzung): Standortkundliche Charakterisierung der neun Untersuchungsabschnitte und deren Besiedlung durch *Ranunculus peltatus*

Berthelsdorf	Rosinenbusch	Muldenhütten	Hohentanne	Siebenlehn
sonnig bis absonnig	sonnig	vollsonnig bis sonnig	vollsonnig bis sonnig	vollsonnig bis sonnig
Wald linksseitig	Wald linksseitig	tiefes Kerbtal (künstlich)	kaum Ufergehölze	kaum Ufergehölze
häufig wechselnd mäßig bis hoch => links gering, rechts sehr gering (Uferbankansatz)	gesamter Abschnitt gering	sehr hoch => links gering (Schnelle), rechts mäßig (Tiefrinne)	sehr hoch => links sehr gering, rechts hoch => gering (Schnelle)	sehr hoch => links sehr gering (Sohlenstufen, Flachwasserzone), rechts hoch (Tiefrinne)
gering	keine	mäßig	gering	mäßig
linksseitig gering, rechtsseitig mäßig	einheitlich mäßig	sehr gering => links mäßig (Schnelle), rechts hoch (Tiefrinne)	sehr gering => mäßig	sehr gering => gering => hoch
links große Blöcke (überwiegend moosbewachsen), rechts Steine, Detritusablagerungen in Tiefwasserzonen	Steine, linker unterer Teil Blöcke (moosbewachsen), oberer Teil Blöcke in Flussmitte, ufernahe Detritusablagerungen	Schlackebrocken (Ø 20 cm), linksseitig Steine beigemischt	oberer Teil und Schnelle Blöcke, mittlerer Teil Steine, cm-dicke Detritusablagerung im oberen Teil	Blöcke, im linken oberen Teil Steine mit Schlammauflage, Detritusschicht im gesamten oberen Teil
7,2	7,6	~ 7,4	7,5	6,9
230	450	> 200, z. T. > 1000	780	800
> 20	20–30	20–30	15–30	> 20 (z. T. 35)
gering	leicht erhöht	deutlich erhöht	stark erhöht	deutlich erhöht
gering	gering	gering	stark erhöht	stark erhöht
35/93	29/41	237/nicht kartiert	11/16	0/0
linkes Gewässerbett auf moosbewachsenen Blöcken, Uferbankansatz	linkes ufernahes Gewässerbett	oberer Teil rechtes Gewässerbett (Prallufer), gesamter unterer Teil	ufernaher Bereich	-
weite Bereiche des rechten Gewässerbettes	Gewässermitte, rechter ufernaher Bereich	linksseitige Tiefwasserzone im oberen Teil	Tiefwasserzone im oberen Teil	gesamter Abschnitt
linkes Gewässerbett auf moosbewachsenen Blöcken, Uferbankansatz	keine bevorzugten Bereiche	nicht kartiert	Flachwasserbereiche	-
Oberhalb Einleitung aus Kläranlage, starke Grünalgenbesiedlung	gleichmäßige Besiedlung des Gewässerbettes durch Grünalgen	Abschnittslänge nur 50 m, Strukturveränderung durch Ufermauerbau	letztes Vorkommen von <i>R. peltatus</i> flussabwärts	im gesamten Untersuchungszeitraum vegetationsfrei

ren Größen- und Wachstumsdaten mit den genannten mittleren Stoff- bzw. Elementgehalten ergaben sich jedoch weitere mögliche Zusammenhänge.

Ein erhöhter Nitratgehalt, wie er unterhalb der Einleitungen aus Kläranlagen zu beobachten war, korrelierte zwar zunächst positiv mit dem Schwadenwachstum, doch wurde gleichzeitig auch verstärktes Algenwachstum registriert (siehe Abb. 3). Das beobachtete Wachstum von Algen in und auf den Schwaden von *R. peltatus* dürfte nachhaltig zu deren Wachstumshemmung führen.

Bei erhöhten Schwermetall- bzw. Arsengehalten verringerte sich die mittlere Schwadengröße und das mittlere Schwadenwachstum pro Abschnitt.

5.4 Fauna

Die Ausprägung der submersen und flutenden Vegetation der Fließgewässer beeinflusst im starken Maße die Habitataignung für verschiedene Tierarten. Aus dem Untersuchungsgebiet liegen dazu konkrete Ergebnisse insbesondere zu Wasserkäfern und Libellen sowie Hinweise zu Bachneunauge (*Lampetra planeri*) und Westgroppe (*Cottus gobio*) vor.

Wasserkäfer (Coleoptera part.)

Bei den Untersuchungen 2003 konnten in Assoziation mit *Ranunculus peltatus* und *Fontinalis* spp. die Hakenkäferarten *Elmis maugetii* und *E. aenea* als Imagines und Larven sowie der Langtasterwasserkäfer *Hydraena gracilis* nachgewiesen werden. Besonders *Elmis*-Larven zeigten eine enge Bindung an Wasserpflanzen, was sich in deutlich erhöhten Individuenzahlen äußerte (Tab. 4). Als eine weitere Besonderheit konnten zwei Individuen des Schwimmkäfers *Oreodytes sanmarki* bei der Beprobung des Sohlensubstrates nachgewiesen werden.

Tabelle 4: Wasserkäferarten der beprobten Untersuchungsabschnitte (sofern nicht anders angegeben handelt es sich um Imagines)

Abschnitt	Lichtenberg Ort		Berthelsdorf	Rosinenbusch	
	<i>Ranunculus</i> - Probe	Kick-Sampling, Abbürsten von Steinen	<i>Fontinalis</i> - Probe	<i>Ranunculus</i> - Probe	Kick-Sampling, Abbürsten von Steinen
<i>Elmis</i> spec. (Larven)	14	-	5	31	11
<i>Elmis maugetii</i>	-	1	1	-	-
<i>Elmis aenea</i>	-	2	-	2	2
<i>Hydraena gracilis</i>	2	14	8	-	-
<i>Oreodytes sanmarki</i>	-	-	-	-	2

Libellen (Odonata)

An der Freiburger Mulde reproduzieren nach gegenwärtigem Kenntnisstand mindestens 15 Libellenarten. Für fünf dieser Arten (vgl. Tab. 5) konnte eine Beziehung zur

Entwicklung der Submersvegetation zumindest für die turbulent strömenden Bereiche gezeigt werden. Submerse bzw. flutende Vegetationsbestände können dabei sowohl direkt als Larvallebensraum bzw. Habitatstruktur für Imagines genutzt werden, als auch indirekt durch die Akkumulation von Feinsedimenten Bedeutung erlangen.

Tabelle 5: Habitatnutzung der Fließgewässervegetation durch Libellenarten (SW = Sitzwarte Imagines, E/H = Eiablagesubstrat/Habitatschema, LL = Larvallebensraum, SD = indirekt über Substratdiversität)

Art		SW	E/H	LL	SD
Gebänderte Prachtlibelle	<i>Calopteryx splendens</i>	x	x	x	-
Blaflügel-Prachtlibelle	<i>Calopteryx virgo</i>	x	x	x	-
Federlibelle	<i>Platycnemis pennipes</i>	x	x	x	-
Frühe Adonislibelle	<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	x	x	x	-
Grüne Keiljungfer	<i>Ophiogomphus cecilia</i>	(x)	-	-	x

Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces)

Im oberen Abschnitt des Untersuchungsgebietes (Mulda bis Rosinenbusch) wurden bei der Beprobung von Vegetationsbeständen mehrfach Jungtiere der Westgroppe (*Cottus gobio*) und Querder des Bachneunauges (*Lampetra planeri*) gefunden. Während die Westgropfen überwiegend innerhalb eher rasig wachsender *Ranunculus*-Bestände in stark strömenden Bereichen auftraten, besiedelten die Querder detritusreiche Feinsedimentansammlungen im Strömungsschatten größerer Schwaden. Besonders im Abschnitt unterhalb von Freiberg traten verstärkt Schmerlen (*Neomacheilus barbatulus*) und Gründlinge (*Gobio gobio*), seltener auch Elritzen (*Phoxinus phoxinus*) und Flussbarsche (*Perca fluviatilis*) auf, ohne dass eine engere Präferenz zu submerser bzw. flutender Vegetation erkennbar war. Mit zunehmender Potamalisierung des Gewässercharakters nahmen besonders Döbel (*Leuciscus cephalus*) und Plötze (*Rutilus rutilus*) an Häufigkeit zu. In den entsprechenden Gewässerabschnitten hatte sich im Untersuchungszeitraum die submerse Vegetation noch nicht wieder etablieren können und war auf initiale Polster von Wassermoosen beschränkt.

6 Diskussion

6.1 Die Freiburger Mulde – ein naturnaher Mittelgebirgsfluss in typischer Ausprägung

Das Tal der Freiburger Mulde ist durch eine Reihe von Eigenschaften gekennzeichnet, die für naturnahe Mittelgebirgsflüsse typisch sind. Im betrachteten Abschnitt zwischen Mulda und Siebenlehn ist der Flusslauf überwiegend geschwungen. Natürliche Tiefenunterschiede gehen mit einer Variation der Strömung auf engstem Raum und natürlichen Sedimentationsprozessen einher. Da in Tiefwasserzonen Trübungstoffe sedimentiert werden, ist das Wasser überwiegend klar. Die dominierenden Sohlensubstrate bilden Blöcke und Steine, ufernah treten vielerorts kleinräumige Schlammبانke auf.

Trotz der insgesamt geringen Siedlungsdichte ist ein anthropogener Einfluss feststellbar, welcher flussabwärts noch zunimmt. Uferverbau ist meist nur innerhalb der Ortschaften vorhanden, Wehre sind selten. Die Gewässerrandstreifen sind im Oberlauf durch Galerien (regelmäßige Gehölzreihen) aus standortgerechten Gehölzen gekennzeichnet, während im Unterlauf oft nur Einzelgehölze anzutreffen sind. Größere Wälder – im Oberlauf Fichtenforste, im Unterlauf Laubmischwälder – treten selten bis an die Ufer heran. Da die Freiburger Mulde mehreren Kläranlagen als Vorfluter dient, verschlechtert sich flussabwärts die Wasserqualität. Die Vegetationsdichte submerser Makrophyten nimmt in gleicher Richtung stark ab.

Entsprechend der sich flussabwärts ändernden Standortbedingungen sind die beiden Fließgewässerregionen Rhitral und Potamal (Definition entsprechend BFN 1998) anzutreffen. Das Rhitral des betrachteten Abschnittes entspricht dem unteren Rhitral des Gesamtflusslaufs der Freiburger Mulde. Hier liegt nach derzeitigem Wasserpflanzenbesatz der Schwerpunkt des Lebensraumtyps „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“. Im oberen Potamal, welches ebenfalls als Schwerpunkt vorkommen des Lebensraumtyps angegeben wird (BFN 1998), ist eine Wiederbesiedlung nach dem Hochwasser absehbar.

6.2 Vegetation

Beschattung

In der Freiburger Mulde zeigte sich hinsichtlich einer zunehmenden Beschattung durch Ufergehölze u. ä. eine negative Wirkung auf die Schwadengröße und das Schwadenwachstum von *Ranunculus peltatus*. Auch POTT & REMY (2000) wiesen *R. peltatus* als lichtliebende Art aus. Das Vorkommen auch in schattigen Bereichen zeigte jedoch eine größere Amplitude der Art auf. Die Besiedlung beschatteter Bereiche mit sonst „optimalen“ Bedingungen wurde eventuell nur durch das Fehlen von Konkurrenten möglich. Beispiele für eine lichtabhängige Konkurrenz in Fließgewässern gaben ebenso POTT & REMY (2000).

Wassertiefe

Mit zunehmender Wassertiefe setzte in der Freiburger Mulde ein verstärktes Längenwachstum von *R. peltatus* ein, welches als Ausgleich des Lichtdefizits zu deuten ist. Das Streckungswachstum wird durch kurzwelliges Licht induziert, welches bei Wasserpassage weniger abgeschwächt wird. Der Ausgleich des Lichtdefizits ist jedoch nicht unbegrenzt möglich, was durch die unbesiedelten Tiefwasserzonen deutlich wurde. Ebenso wie die natürlichen Tiefwasserzonen blieb der Anstaubereich im Abschnitt „Lichtenberg Wehr“ vegetationsfrei. Der gleiche Sachverhalt wurde an mehreren Fließgewässern in anderen Teilen Deutschlands belegt, an denen gestaute Bereiche frei von *Ranunculus*-Schwaden waren bzw. nur wenige schlechtwüchsige Pflanzen mit geringer Verankerung aufwiesen (POTT & REMY 2000, LUA 2001, KOHLER et al. 1992). Zu beachten ist neben dem Lichtdefizit jedoch auch der Ein-

fluss, den die Stauhaltung auf Strömung, Sedimentation, Wassertemperatur, Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt ausübt (LUA 2001, KOHLER et al. 1992).

Fließgeschwindigkeit

Bereiche der Freiburger Mulde mit starker Strömungsberuhigung, vor allem ausgedehnte Tiefwasserzonen, blieben weitestgehend unbesiedelt. Entscheidend war hier der Effekt der Detritusablagerung. Bei fortwährender Ablagerung von Detritus auf den Schwaden ist eine zusätzliche Verdunklung gegeben, die auf Dauer nicht durch verstärktes Wachstum und Bildung neuer Blätter ausgeglichen werden kann und zum Absterben der Pflanze führt (MESTERS 1995, KRAUSE 1979). Vermutlich ist neben der Verdunklung auch die Behinderung des Gasaustauschs durch Detritusablagerungen ein wesentlicher Effekt (KOHLER et al. 1992).

Eine erhöhte Fließgeschwindigkeit z. B. in Bereichen mit Stufen in der Gewässersohle wurde durchaus toleriert, doch waren die Schwaden entsprechend kleiner. Als Obergrenze für das Vorkommen von Makrophyten gaben TREMP & KAPPUS (2003) 2 m/s an. Negative Korrelationen der Schwadengröße bzw. des Makrophytenvorkommens mit einer zunehmenden Fließgeschwindigkeit stellten auch GANTES & SÁNCHEZ CARO (2001) fest.

Insgesamt ergibt sich aus der Physiognomie von *R. peltatus* eine hohe Strömungstoleranz. Da die elastischen Stängel bei zunehmender Strömung zu Sprosskomplexen zusammengedrückt werden, bieten diese dem wechselnden Stromstrich den geringsten Widerstand. Eine Schwadenerosion wird somit vermieden (POTT & REMY 2000).

Substrat

Wie die Ergebnisse zeigen, fanden Neuansiedlungen bevorzugt auf Schlamm und moosbewachsenen Blöcken statt. Beide Substrate wirkten sich auch positiv auf das Wachstum von *R. peltatus* aus. Sandige Schlammböden bzw. Sand und Schluff werden in der Literatur als bevorzugte Substrate angegeben (OBERDORFER 2001, SEBALD et al. 1993) und besitzen eine Schlüsselrolle für das Wachstum von *R. peltatus* (GARBEY et al. 2003). Auch die Besiedlung von Bryophytenmatten wurde anderenorts beobachtet (HAURY & GOUESSE AÏDARA 1999). Das Substrat bestimmt die Nährstoffverfügbarkeit, Verankerungssicherheit und Sedimentstabilität (RIIS et al. 2001). Da die Wurzeln von *R. peltatus* einen spiraligen Habitus aufweisen und zusätzlich Adventivwurzeln ausgebildet werden (POTT & REMY 2000), ist die Verankerungssicherheit und Sedimentstabilität in verschiedensten Substraten gegeben. Bestätigt wurde diese Aussage durch die Feststellungen an der Freiburger Mulde, wo die Besiedlung unterschiedlicher Substrate in etwa dem Verhältnis ihres Auftretens im Gewässerabschnitt entsprach. Entscheidend für das bessere Wachstum auf Feinsubstraten dürfte daher die Nährstoffverfügbarkeit sein, die möglicherweise aufgrund der vergleichsweise größeren Oberfläche der Feinsubstrate gesteigert ist.

pH-Wert

Ein Anstieg des pH-Wertes von 6,2 bis 7,6 führte zu einer Abnahme von Schwadengröße und -wachstum. *R. peltatus* wird als sensitiv gegenüber niedrigen pH-Werten beschrieben (THIEBAUT & MULLER 1999). Die Art gilt als Mäßigsäurezeiger, die auf stark sauren sowie auf neutralen bis alkalischen Substraten selten vorkommt (ELLENBERG 1996).

Elektrische Leitfähigkeit

Der Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit stellt eine mögliche Ursache für die starke Abundanzabnahme von *R. peltatus* im Unterlauf dar. Die elektrische Leitfähigkeit umfasst aber eine Reihe gelöster Ionen, deren Wirkung im Einzelnen sehr unterschiedlich sein kann. Auf einige wichtige Ionen soll im Folgenden näher eingegangen werden.

Nitrat

Bei einem erhöhten Nitratgehalt war sowohl ein verstärktes Schwadenwachstum als auch Algenwachstum in und auf den Schwaden von *R. peltatus* zu beobachten (v. a. im Abschnitt „Berthelsdorf“, siehe Abb. 3). Eine zunehmende Belastung fördert allgemein das Phytoplankton und die Aufwuchsalgen, was dann zur Wachstums- hemmung bis hin zum Ausfall ganzer Makrophyten-Sippen führen kann. Dabei ist vor allem der Nitratgehalt entscheidend (KOHLENER et al. 1971). Eine Ansiedlung von Aufwuchsalgen wird bei *R. peltatus* zusätzlich durch dessen Blattform begünstigt (POTT & REMY 2000).

Schwermetalle und Arsen

Bei erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten war neben verringerter Schwadengröße und -wachstum gleichzeitig eine drastische Abundanzabnahme zu beobachten. Im Zusammenhang mit dem Schwermetallgehalt sind unbedingt organische Partikel zu berücksichtigen, welche als Transporteur von Schwermetallen fungieren. Durch die haarfein gegliederten Blätter von *R. peltatus* ist das Auskämmen von organischen Partikeln sehr effektiv (POTT & REMY 2000). Da die Stoffaufnahme über die gesamte Oberfläche der Pflanze und nicht nur über die Wurzeln erfolgt (TREMP & KOHLER 1991), begünstigen die organischen Ablagerungen möglicherweise auch die Schwermetallaufnahme. Nach der Aufnahme können die Schwermetalle eine toxische Wirkung auf zahlreiche biochemische Prozesse ausüben.

Aluminium

Die hohen Aluminiumgehalte im Unterlauf waren eine mögliche Ursache für die starke Abundanzabnahme. Der Einfluss des Aluminiums auf *R. peltatus* wurde von TREMP & KOHLER (1991) in Laborexperimenten untersucht. Bei einem Gehalt von 1,35 mg Al/l stellte die Art binnen weniger Tage das Wurzelwachstum ein.

Die Ausbildung von Wurzeln, insbesondere Adventivwurzeln, ist aber gerade für die Etablierung von Sprossstücken bedeutsam. Bei Mitwirkung weiterer Ungünstfaktoren unter Feldbedingungen setzt eine Beeinträchtigung des Wurzelwachstums mit Sicherheit schon bei geringeren Gehalten ein. In Fließgewässern Frankreichs konnte *R. peltatus* ab mittleren Aluminiumgehalten von 154 µg/l nicht mehr nachgewiesen werden (THIEBAUT & MULLER 1999). Die Gehalte der Freiburger Mulde betragen 2003 im Extremfall 390 µg/l.

6.3 Fauna

Wasserkäfer (Coleoptera part.)

Besonders für die Larven der verschiedenen *Elmis*-Arten war eine enge Bindung an die Submersvegetation festzustellen. Die Bedeutung der Submersvegetation für *Elmis aenea* und *E. maugetii* wird beispielsweise von STEFFAN (1979), FICHTNER & BELLSTEDT (1990) sowie KLAUSNITZER (1996a) hervorgehoben. Da die Käfer der Gattung *Elmis* nicht zum Schwimmen befähigt sind, wäre ein regelmäßiger Gasaustausch an der Wasseroberfläche wegen der Gefahr der Verdriftung nicht möglich. Stattdessen wird der Luftvorrat unter anderem durch die Aufnahme von Luftbläschen an Wasserpflanzen ergänzt (KLAUSNITZER 1996a). *Elmis aenea* gilt als typische Art des Rhitralbereichs der „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“ (BFN 1998). Die Funde von *Hydraena gracilis*, die zwar zahlenmäßig auf dem Sohlensubstrat größer waren als in den untersuchten Wasserpflanzen, belegen, dass die Submersvegetation einen Teillebensraum für die Art darstellt. Auch für *Oreodytes sanmarki* stellt laut SCHAEFLEIN (1971) die Submersvegetation einen Teillebensraum dar. Die geringe Anzahl gefundener Individuen ist vermutlich auf die hohe Mobilität des Schwimmkäfers zurückzuführen.

Die Ergebnisse entsprechen den Aussagen von TREMP & KAPPUS (2003), die die Masse der auf Wasserpflanzen lebenden Tiere, bezogen auf die Substratfläche, um das 4- bis 15-fache höher als auf Sedimenten unterschiedlicher Qualität einschätzen.

Libellen (Odonata)

Unter den typischen Fließwasserlibellen wiesen insbesondere die beiden an der Freiburger Mulde reproduzierenden Prachtlibellen *Calopteryx splendens* und *C. virgo* eine enge direkte Bindung an die Vegetation auf. Imagines beider Arten nutzten die flutenden *Ranunculus*-Schwaden vor allem als Sitzwarten und Eiablagsubstrate. Die emersen Teile der oberflächlich flutenden Pflanzen entsprechen dem Habitatschema beider *Calopteryx*-Arten und führen zu einer lokalen Konzentration anwesender Imagines in vegetationsreichen Fließgewässerabschnitten. Von höherer Bedeutung für Habitatsignung und Reproduktionserfolg ist jedoch die Eignung und Qualität als Lebensraum der Larvenstadien.

Flächenhaft flutende *Ranunculus*-Bestände führen zu einer lokalen Homogenisierung der Strömungsverhältnisse und ermöglichen damit der morphologisch nicht an stark

wechselnde Strömungsverhältnisse angepassten *C. splendens* die Besiedlung der Oberlaufbereiche mit stärkerem Gefälle. Die Beobachtungen an der Freiburger Mulde deuten auf eine mit Erhöhung der Strömungsturbulenz und Abnahme der maximalen Wassertemperaturen zunehmende Bindung an derartige Vegetationsbestände hin (GÜNTHER 2005a). Auch die Larven der tendenziell verstärkt in den Oberlauf vordringenden *C. virgo* profitieren vermutlich von der Homogenisierung und Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit (GÜNTHER 2005b), da der physiologische Nutzwert des im Wasser gelösten Sauerstoffs bei Strömungsgeschwindigkeiten von weniger als 6 cm/s infolge der erhöhten Anforderungen an den Gasaustausch der Larven sinkt (ZAHNER 1959).

Während die Larven der beiden Prachtlibellen regelmäßig in stark strömungsexponierten Schwaden angetroffen wurden, besiedelten die Federlibelle (*Platycnemis pennipes*) und die Frühe Adonisl libelle (*Pyrrhosoma nymphula*) bevorzugt Schwaden in Abschnitten mit reduzierter Strömungsgeschwindigkeit. Besonders oberflächlich flutende und blühende Pflanzen wurden von den Imagines zur Eiablage genutzt und wiesen in Folge auch die höchsten Larvendichten aus.

Eine indirekte Beziehung zwischen der Ausbildung submerser und flutender Vegetationsbestände in Mittelgebirgsbächen und der Besiedlung durch Libellenarten ist desweiteren für verschiedene Arten der Flussjungfern (Gomphidae) zu vermuten. Ihre Larven leben überwiegend eingegraben in den Bodensubstraten. Besonders lückige submerse Vegetation fördert eine Erhöhung der Substratdiversität im Gewässer und führt neben einer Anreicherung von organischen Ablagerungen auch zur Stabilisierung von sandig-kiesigen Substraten in gefällereichen Fließgewässerabschnitten. Im unteren Teil des Untersuchungsgebietes konnten vereinzelt Larven der Grünen Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*) in Feinsedimentansammlungen im Strömungsschatten der Schwaden nachgewiesen werden. Gezielte Untersuchungen zu dieser Thematik waren jedoch bislang noch nicht möglich, da die Wiederbesiedlung des Flusssystemes durch Flussjungfern im Untersuchungszeitraum ebenso wenig abgeschlossen war, wie die Regeneration der Vegetation nach den Auswirkungen des Sommerhochwassers 2002. Die Gemeine Keiljungfer (*Gomphus vulgatissimus*) wurde im Untersuchungszeitraum lediglich in einem Abschnitt der Freiburger Mulde bei Siebenlehn angetroffen, der seit dem Hochwasserereignis noch nicht wieder durch *R. peltatus* besiedelt wurde. Die potenziell auch im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes zu erwartende Kleine Zangenlibelle (*Onychogomphus forcipatus*) konnte das Muldesystem bislang noch nicht wiederbesiedeln. Grundsätzlich ist zu erwarten, dass das Vorhandensein lückiger submerser Vegetation den besiedelbaren Bereich für Flussjungfern in Richtung Oberlauf erweitern kann. Dagegen sind von großflächigen geschlossenen Rasen eher Negative Auswirkungen infolge von Faulschlammakkumulation, (nächtlicher) Sauerstoffzehrung sowie Abdeckung und Durchwurzelung der als Larvallebensräume dienenden Bodensubstrate zu vermuten.

Rundmäuler (Cyclostomata) und Fische (Pisces)

Das durch Spontanfunde nachgewiesene Artenspektrum bestätigt die Ergebnisse vorliegender fischereibiologischer und faunistischer Untersuchungen (z. B. ARNOLD 1992, FÜLLNER et al. 1996, GEISLER 2001), ist jedoch nicht ausreichend, um Aussagen zum Einfluss submerser Vegetationsbestände auf die Habitatqualität für die jeweiligen Arten zu ermöglichen.

Alle im Bezug zur Fließgewässervegetation nachgewiesenen Arten besiedeln im Untersuchungsgebiet regelmäßig auch vegetationsfreie Abschnitte. So lassen sich weder allgemeine Auswirkungen hinsichtlich der Erhöhung der Vielfalt der Fließgewässermorphologie und der Nahrungsverfügbarkeit noch die Bedeutung der Nutzung der Vegetationsbestände als Requisiten, z. B. als Laichsubstrat für substratlaichende Fischarten oder als Aufenthaltsbereich für Jungfische auf die Fischfauna abschätzen. Für derartige Beurteilungen sind gezielte quantitative Untersuchungen unabdingbar. Die nächtliche Sauerstoffzehrung der Pflanzenbestände und die von den Schwaden hervorgerufene Anreicherung organischer Sedimente sollten zumindest unter den Bedingungen turbulenter Strömungsverhältnisse keine Negativauswirkungen auf die Fischfauna ausüben.

Deutlichere Hinweise auf eine indirekte Bedeutung der Submersvegetation ergaben die Untersuchungsergebnisse lediglich für das Bachneunauge (*Lampetra planeri*). Die eingegraben lebenden Larvenstadien (Querder) sind auf feinkörniges, weiches Substrat als Lebensraum angewiesen (HARDISTY 1986, STEINMANN & BLESS 2004). In den gefällereichen Oberlaufstrecken bilden die durch Makrophyten hervorgerufenen Feinsedimentablagerungen einen hohen Anteil der verfügbaren und nachgewiesenen Larvallebensräume.

Die Submersvegetation stellt ferner ein Initialstadium für neue Nahrungsketten dar. Während Herbivorenfraß an lebenden Makrophytenblättern kaum eine Rolle spielt, bildet der Algenaufwuchs eine wichtige Nahrungsquelle für Wirbellose. Weitgehend unerforscht sind die komplexen Beziehungen zwischen Submersvegetation, den Wirbellosen und der Habitatmusterbildung bei wirbellosefressenden Fischen und Raubfischen in Fließgewässern (TREMP & KAPPUS 2003).

7 Gefährdungspotenziale – Schutzbedürftigkeit

Im Vorangegangenen wurde die Bedeutung der Submersvegetation für das gesamte Fließgewässerhabitat dargelegt und damit die Schutzwürdigkeit des Lebensraumtyps „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“ unterstrichen. Naturschutzfachlich wertbestimmende Elemente im untersuchten Flussabschnitt der Freiburger Mulde sind in Tab. 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Naturschutzfachlich wertbestimmende Elemente der Freiburger Mulde mit ihrem Gefährdungs- und Schutzstatus (nach BUDER 1999, SCHULZ 1999, MÜLLER 1998, KLAUSNITZER 1996b, GÜNTHER et al. 2006 und FÜLLNER et al. 2005)

Sächsischer Gefährdungsstatus		
Biotoptyp	Naturnaher Fluss	2 – stark gefährdet
Pflanzenarten	Schild-Wasserhahnenfuß (<i>Ranunculus peltatus</i>)	V – Vorwarnliste
	Gemeines Brunnenmoos (<i>Fontinalis antipyretica</i>)	3 – gefährdet
	Schuppiges Brunnenmoos (<i>Fontinalis squamosa</i>)	2 – stark gefährdet
Tierarten	[Schwimmkäfer] <i>Oreodytes sanmarki</i>	3 – gefährdet
	Blauflügel-Prachtlibelle (<i>Calopteryx virgo</i>)	3 – gefährdet
	Grüne Keiljungfer (<i>Ophiogomphus cecilia</i>)	3 – gefährdet
	Bachneunauge (<i>Lampetra planeri</i>)	2 – stark gefährdet
	Westgroppe (<i>Cottus gobio</i>)	2 – stark gefährdet
	Schmerle (<i>Barbatula barbatula</i>)	3 – gefährdet
	Bachforelle (<i>Salmo trutta fario</i>)	3 – gefährdet
Schutzstatus		
Biotoptyp	naturnaher Fluss	besonders geschützt nach § 26 SächsNatSchG
Lebensraumtyp	Fließgewässer mit Unterwasservegetation (Code 3260)	Anhang I RL 92/43/EWG (FFH-Richtlinie)
Tierarten	Grüne Keiljungfer (<i>Ophiogomphus cecilia</i>)	Anhang II+IV der FFH-Richtlinie, somit streng geschützt nach § 10 BNatSchG
	alle vorhandenen Libellenarten (Odonata)	besonders geschützt nach § 10 BNatSchG
	Westgroppe (<i>Cottus gobio</i>)	Anhang II der FFH-Richtlinie, somit streng geschützt nach § 10 BNatSchG

Es konnte gezeigt werden, dass das Vorkommen und der Zustand der Submersvegetation von vielen Standortfaktoren abhängig ist. Ebenso wurde deutlich, dass die Standortfaktoren nicht isoliert voneinander wirken, sondern die Veränderung eines Faktors die Veränderung anderer nach sich zieht. Durch die anthropogenen Einflüsse ergeben sich so direkt als auch indirekt eine Reihe von Gefährdungspotenzialen, die die Schutzbedürftigkeit des Lebensraumes verdeutlichen.

Im Folgenden sollen die bedeutsamsten Gefährdungspotenziale mit ihren nachhaltigen Auswirkungen auf die Submersvegetation zusammenfassend dargestellt werden.

Permanente Stauhaltungen bzw. Wehre

... sorgen für künstliche Tiefwasserzonen. Die primäre Konsequenz ist Lichtmangel, der durch einsetzende Sedimentation von Detritus und Feinsedimenten infolge geringerer Fließgeschwindigkeit zusätzlich verstärkt wird. Weiterhin können Totwasserbereiche mit Sauerstoffzehrung bis hin zu anaeroben Bedingungen entstehen. Das Licht- und Sauerstoffdefizit macht die Existenz von submersen Makrophyten unmöglich. Ein zusätzlicher Effekt ist der Krautrückhalt am Stauwerk, der eine Ausbreitung

von Sprossstücken flussabwärts einschränkt und damit die Besiedlungsdynamik hemmt.

Uferverbau und Instandsetzungsmaßnahmen nach dem Hochwasser 2002

... waren und sind noch von intensiver Baggertätigkeit und häufig auch Befahrungen im Flussbett begleitet. Dies führt, neben der Zerstörung der vorhandenen Submersvegetation, zur Exposition und zum Abtransport der Feinsubstrate. Bis sich nach einem solchen Eingriff eine annähernd naturnahe Substratdiversität und -verteilung eingestellt hat, bestehen kaum Möglichkeiten für die eng an Feinsubstrate gebundene Neuansiedlung von Submersvegetation, insbesondere *Ranunculus peltatus*. Weiterhin ist bei vielen Baumaßnahmen eine Vereinheitlichung der Gewässertiefe die Folge, was im Abschnitt Muldenhütten besonders schwerwiegende Folgen hatte. Der Flachwasserbereich, der vor den Baumaßnahmen den Verbreitungsschwerpunkt von *R. peltatus* sowohl im Untersuchungsabschnitt selbst als auch in der gesamten Freiburger Mulde bis Siebenlehn bildete, fehlt nach dem Ausbau (siehe Abb. 4).

Wegen des Uferverbaus fehlen außerdem Schlammbanken, weshalb auch die Keimung unterbunden ist. Außerdem geht durch Ufermauern der Kontakt des Gewässers zum Umland verloren. Hochwässer können somit nicht mehr abgepuffert werden, und die Hochwasserwellen nehmen wegen der Kanalisierung an Wucht zu.

Landwirtschaftliche Nutzung des Gewässerumfeldes und Abwassereinleitung

... erhöhen den Nitratgehalt des Gewässers. Dieser ist zwar zunächst positiv für das Schwadenwachstum, fördert aber gleichzeitig das Algenwachstum in und auf den Schwaden. Neben dem Lichtmangel führt die zunehmende Konkurrenz mit den Algen zur Wachstumshemmung.

Stark erhöhte Schwermetall-, Arsen- und Aluminiumgehalte

... führen zur Wachstumshemmung und im speziellen Fall von Aluminium zur Hemmung des Wurzelwachstums. Dies verhindert vermutlich die Etablierung von Sprossabrisstücken. Die erhöhten Schwermetall-, Arsen- und Aluminiumgehalte resultierten aus der Freilegung neuer „Metallquellen“ durch Uferabschwemmung und Schlackeumlagerungen (Halden der Hüttenindustrie) während des Hochwasserereignisses, gekoppelt mit der mangelnden Verdünnung durch die Niedrigwasserperiode 2003. Es wird davon ausgegangen, dass ein für die Submersvegetation kritisches Maß bald unterschritten wird und eine Wiederbesiedlung des Unterlaufes stattfinden kann.

Gleichmäßige Uferbepflanzungen

... sei es in Form von Forsten oder im Bestreben, einen naturnahen Uferbewuchs zu schaffen, führen zu einem hohen und vor allem gleichmäßigen Maß an Beschattung. Dies entspricht nicht dem auwaldtypischen Mosaik von Licht und Schatten und kann zu einem erheblichen Rückgang der Submersvegetation führen.

8 Zusammenfassende naturschutzfachliche Bewertung – Konsequenzen und Ableitungen für Schutz und Förderung des Lebensraumtyps „Fließgewässer mit Unterwasservegetation“

Trotz der scheinbar „erheblichen“ Auswirkungen des Hochwassers auf die Submersvegetation muss das Ereignis als Ausdruck eines dynamischen Systems betrachtet werden. Besonders im Oberlauf des betrachteten Abschnittes hat eine Reihe von *Ranunculus*-Schwaden das Hochwasser überlebt, von denen aus eine Wiederbesiedlung des Unterlaufes stattfinden kann. Gleichzeitig hat das Hochwasser ideale Regenerationsmöglichkeiten geschaffen. So entstanden durch Ufererosion vielerorts Sand- und Schlammbanken sowie Schotterterrassen, die sehr gut für die Keimung der Samen bzw. die Anlandung abgerissener Sprossstücke von *R. peltatus* geeignet sind.

Aufgrund der Dynamik, d. h. des Abtransports von Pflanzen an der einen und der Anlandung an anderer Stelle, sollte zukünftig zu einem Systemschutz statt Abschnittsschutz bzw. der Ausweisung potenzieller Lebensräume übergegangen werden.

Die Gefährdungspotenziale für die Submersvegetation sind zwar vielfältig, doch ist die Schutzfähigkeit durchaus gegeben. Unter Einbeziehung der Gefährdungspotenziale sollen im Folgenden einige Möglichkeiten zur Verbesserung des Zustandes des Lebensraumtyps vorgestellt werden.

Permanente Stauhaltungen bzw. Wehre

Nicht mehr benötigte Anlagen sollten zurückgebaut werden. In jedem Fall sollte auf die Neuanlage von Querbauwerken verzichtet werden, da die Barrierewirkung flussabwärts keine Besiedlungsdynamik zulässt. Ein Krautrückhalt am Stauwerk kann die Wiederbesiedlung des hochwasserbedingt vegetationsfreien Unterlaufes verhindern bzw. langfristig verzögern. Zusätzlich stellen Querbauwerke ein Ausbreitungshindernis für Makrozoobenthos und kleinere Fische flussabwärts als auch flussaufwärts dar.

Uferverbau und Instandsetzungsmaßnahmen nach dem Hochwasser 2002

Baumaßnahmen jeglicher Art sollten auf ein Mindestmaß reduziert werden. Besonders nach dem Hochwasser zeigte sich, dass der Uferverbau noch massiver wird. Waren vorher noch unverfugte Natursteinmauern vorhanden, sieht man jetzt vielerorts Betonbauten, die das Gewässer komplett vom Umland abriegeln und keinerlei Gewässerdynamik zulassen. Bei der Gestaltung der Ufer sollte die Verwendung loser Steinschüttungen, in deren Zwischenräumen langfristig Feinsediment akkumuliert werden kann, als Alternative betrachtet werden. Außerhalb von Ortschaften sollte eine naturnahe Gewässerentwicklung als Voraussetzung für die Entstehung und Wiederherstellung intakter Gewässer-Auesysteme zugelassen werden. Einer der wichtigsten Faktoren ist dabei, dass dem Gewässer die Möglichkeit zur Breitenerosion gegeben wird.

Landwirtschaftliche Nutzung des Gewässerumfeldes und Abwassereinleitung

Hinsichtlich der Nährstoffeinträge, insbesondere von Nitrat, sind die landwirtschaftlichen Nutzungen in der Aue zu extensivieren bzw. durch Anlage breiter Gewässerrandstreifen Pufferzonen zu schaffen. Eventuell besteht in der Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlagen eine weitere Möglichkeit, die Nitratgehalte zu reduzieren.

Stark erhöhte Schwermetall-, Arsen- und Aluminiumgehalte

Gewarnt werden soll an dieser Stelle vor umfassenden Uferbau- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen im Gewässerabschnitt unterhalb Muldenhütten. Diese könnten zu einer erneuten Freisetzung der genannten Metalle führen und die Wiederbesiedlung durch *R. peltatus* und weitere Arten verzögern. Die Gehalte sollten weiter beobachtet werden, ohne besondere Maßnahmen zu ergreifen.

Gleichmäßige Uferbepflanzungen

Es sollte darauf geachtet werden, nur eine lockere unregelmäßige Bepflanzung vorzunehmen und anschließend bzw. von vornherein natürliche Sukzession zuzulassen. Nur so kann sich langfristig ein naturnahes, auwaldtypisches Mosaik von Licht und Schatten entwickeln, das die Existenz von Submersvegetation zulässt.

9 Monitoring

Für das im Rahmen der FFH-Managementplanung durchzuführende Monitoring werden folgende Empfehlungen gegeben. Das Gewässer sollte zunächst in gleichlange Abschnitte (möglichst 100 m) eingeteilt werden. Pro Abschnitt ist eine Mengenschätzung in Anlehnung an KOHLER & JANAUER (1995) durchzuführen, wobei die Skala um konkrete Schwadenzahlen erweitert wurde (Tab. 7).

Schätzstufe	Menge	Schwadenzahl
1	sehr selten	1–7
2	selten	8–26
3	verbreitet	27–63
4	häufig	64–124
5	sehr häufig bis massenhaft	> 124

Tabelle 7: Mengenschätzskala für *Ranunculus*-Schwaden pro 100-m-Abschnitt

Zur Zustandsbeschreibung der Schwaden sollte weiterhin die häufigste im Abschnitt vorhandene Klasse der Deckung innerhalb des Schwadenumrisses angegeben werden (Tab. 8). Die Schwadendeckung steht in signifikantem Zusammenhang mit der Schwadengröße (JOHN 2004).

Eine hohe Schwadenanzahl bei gleichzeitig hoher Deckung innerhalb des Schwadenumrisses spricht für einen guten Zustand. Bei überwiegend geringer Deckung innerhalb des Schwadenumrisses ist weiterhin die Sprossanzahl pro Schwaden zu berücksichtigen.

sichtigen. Ist auch diese gering (< 10), so handelt es sich eventuell um eine intensive Neu- bzw. Wiederansiedlung, die wiederum positiv zu bewerten ist. Unter Einbeziehung der genannten Gefährdungspotenziale kann die Weiterentwicklung des Abschnittes eingeschätzt werden.

Tabelle 8: Skala der Deckung innerhalb des Schwadenumrisses von *Ranunculus peltatus*

Symbol	Deckung innerhalb des Schwadenumrisses
A	$> 2/3$
B	1/3 bis 2/3
C	$< 1/3$

Literatur

- ARNOLD, A. (1992): Die Fischfauna der Fließgewässer im Einzugsbereich von Mulde und Zschopau im Regierungsbezirk Chemnitz. In: STAATLICHES UMWELTFACHAMT CHEMNITZ (Hrsg.): Ökologische Beurteilung von Fließgewässern im Regierungsbezirk Chemnitz: 33–40
- BFN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (1998): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53
- BUDER, W. (1999): Rote Liste Biotoptypen. – Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
- CASPER, S. J. & H.-D. KRAUSCH (1981): Pteridophyta und Anthophyta. 2. Teil: Saururaceae bis Asteraceae. In: Ettl, H., J. GERLOFF & H. HEYNIG (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 24: 405–943. – Fischer, Stuttgart
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. – 5. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- FICHTNER, E. & R. BELLSTEDT (1990): Beiträge zur Insektenfauna der DDR: Coleoptera – Dryopidae und Elmidae. – Veröffentlichungen Naturkundemuseum Leipzig 8: 69–81
- FREYER, G. (1988): Freiberger Land. Werte unserer Heimat. Bd. 47. – Akademie-Verlag, Berlin
- FÜLLNER, G., M. PFEIFER & A. ZARSKE (1996): Die Fischfauna von Sachsen. – Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- FÜLLNER, G., M. PFEIFER & A. ZARSKE (2005): Atlas der Fische Sachsens. – Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- GANTES, H. P. & A. SÁNCHEZ CARO (2001): Environmental heterogeneity and spatial distribution of macrophytes in plain streams. – Aquatic Botany 70: 225–236
- GARBAY, C., G. THIÉBAUT & S. MULLER (2003): Impact of manual spring harvesting on the regrowth of a spreading aquatic plant: *Ranunculus peltatus* Schrank. – Archiv für Hydrobiologie 156: 271–286

- GEISLER, J. (2001): Die Fischfauna der sächsischen Mulden. Ergebnisse fischereibiologischer Untersuchungen. – Jahresschrift für Feldherpetologie und Ichthyofaunistik in Sachsen 6: 4–35
- GÜNTHER, A. (2005a): Gebänderte Prachtlibelle *Calopteryx splendens* (Harris, 1782). In: BROCKHAUS, T. & U. FISCHER (Hrsg.): Die Libellenfauna Sachsens: 52–55. – Natur & Text, Rangsdorf
- GÜNTHER, A. (2005b): Blauflügel-Prachtlibelle *Calopteryx virgo* (Linnaeus, 1758). In: BROCKHAUS, T. & U. FISCHER (Hrsg.): Die Libellenfauna Sachsens: 56–59. – Natur & Text, Rangsdorf
- GÜNTHER, A., M. OLIAS & T. BROCKHAUS (2006): Rote Liste Libellen Sachsens. – Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
- HARDISTY, M. W. (1986): *Lampetra planeri* (Bloch, 1784). In: HOLČIK, J.: The Freshwater Fishes of Europe 1/I: 279–304. – Aula, Wiesbaden
- HARDTKE, H.-J. & A. IHL (2000): Atlas der Farn- und Samenpflanzen Sachsens. – Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
- HAURY, J. & L. GOUESSE AÏDARA (1999): Macrophyte cover and standing crop in the River Scorff and its tributaries (Brittany, northwestern France): scale, patterns and process. – *Hydrobiologia* 415: 109–115
- JOHN, H. (2004): Die Bedeutung verschiedener Standortfaktoren für das Vorkommen von Submersvegetation in der Freiburger Mulde. – Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, unveröff.
- KLAUSNITZER, B. (1996a): Käfer in und am Wasser. Die Neue Brehm-Bücherei, Bd. 567. – 2. Aufl., Westarp-Wissenschaften, Magdeburg
- KLAUSNITZER, B. (1996b): Rote Liste Wasserkäfer. – Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
- KOHLER, A. & G. A. JANAUER (1995): Zur Methodik der Untersuchung von aquatischen Makrophyten in Fließgewässern. In: STEINBERG, C., H. BERNHARD & H. KLAPPER (Hrsg.): Handbuch angewandte Limnologie: 1–22. – ecomed, Landsberg/Lech
- KOHLER, A., B. LANGE & G.-H. ZELTNER (1992): Veränderung von Flora und Vegetation in den Fließgewässern Pfreimd und Naab (Oberpfälzer Wald) 1972–1988. – Berichte des Institutes für Landeskultur und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim 1: 72–138
- KOHLER, A., H. VOLLRATH & E. BEISL (1971): Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Ökologie der Gefäß-Makrophyten im Fließwassersystem Moosach (Münchener Ebene). – *Archiv für Hydrobiologie* 69: 333–365
- KRAUSE, A. (1979): Zur Kenntnis des Wasserpflanzenbestandes der westdeutschen Mittelgebirgsflüsse Fulda, Ahr, Sieg und Saar. – *Decheniana* 132: 15–28

- LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Hrsg.) (2000): Gewässerstruktur-
gütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleinere und
mittlere Fließgewässer. – 1. Aufl., Kulturbuch-Verlag, Berlin
- LFUG – SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Hyd-
rologisches Handbuch. – Materialien zur Wasserwirtschaft, Dresden
- LUA – LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (2001): Klassifikation
der aquatischen Makrophyten der Fließgewässer von Nordrhein-Westfalen gemäß
den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie. – Merkblätter Nr. 30
- MANNSFELD, K. & H. RICHTER (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. –
Zentralausschuß für deutsche Landeskunde, Trier
- MESTERS, C. M. L. (1995): Shifts in macrophyte species composition as a result of
eutrophication and pollution in Dutch transboundary streams over the past decades.
– *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 4: 295–305
- MÜLLER, F. (1998): Rote Liste Moose. – Materialien zu Naturschutz und Land-
schaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dres-
den
- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und
angrenzende Gebiete. – 8. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- POTT, R. & D. REMY (2000): Gewässer des Binnenlandes. – Ulmer, Stuttgart
- RIIS, T., K. SAND-JENSEN & S. E. LARSEN (2001): Plant distribution and abundance in
relation to physical conditions and location within Danish stream systems. – *Hy-
drobiologia* 448: 217–228
- SCHAEFLEIN, H. (1971): Dytiscidae, echte Schwimmkäfer. In: FREUDE, H.,
K. W. HARDE & J. A. LOHSE: Die Käfer Mitteleuropas, Bd. 3: 16–89. – Goecke &
Evers, Krefeld
- SCHMIDT, P. A., W. HEMPEL, M. DENNER, N. DÖRING, A. GNÜCHTEL, B. WALTER &
D. WENDEL (2002): Potentielle natürliche Vegetation Sachsens. – Materialien zu
Naturschutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt
und Geologie, Dresden
- SCHNEIDER, S. (2000): Entwicklung eines Makrophytenindexes zur Trophieindikation
in Fließgewässern. – Shaker, Aachen
- SCHULZ, D. (1999): Rote Liste Farn- und Samenpflanzen. – Materialien zu Natur-
schutz und Landschaftspflege, hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und
Geologie, Dresden
- SEBALD, O., S. SEYBOLD & G. PHILIPPI (Hrsg.) (1993): Die Farn- und Blütenpflanzen
Baden-Württembergs. Bd. 1. – 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- STEFFAN, A. W. (1979): Dryopidae. In: FREUDE, H., K. W. HARDE & J. A. LOHSE:
Die Käfer Mitteleuropas, Bd. 3: 265–294. – Goecke & Evers, Krefeld
- STEINMANN, I. & R. BLESS (2004): *Lampetra planeri* (Bloch, 1784). In: PETERSEN, B.,
G. ELLWANGER, R. BLESS, P. BOYE, E. SCHRÖDER, & A. SSYMANK (Bearb.): Das
europäische Schutzgebietssystem Natura 2000 – Ökologie und Verbreitung von

Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Bd. 2: Wirbeltiere: 281–285. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 69/2

- THIEBAUT, G. & S. MULLER (1999): A macrophyte communities sequence as an indicator of eutrophication and acidification levels in weakly mineralised streams in north-eastern France. – *Hydrobiologia* 410: 17–24
- TREMP, H. & B. KAPPUS (2003): Natürliche Fließgewässer – Habitate, Flora und Fauna. In: KONOLD, W. (Hrsg.): *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. – ecomed, Landsberg/Lech*
- TREMP, H. & A. KOHLER (1991): Die Auswirkungen von Säure- und Aluminiumbelastung auf submerse Makrophyten. – *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 20: 569–573
- VOSS, J., V. KUSCHKA, T. GLASER, & C. ZÄNKER (2005): FFH-Managementplan SCI DE 4945-301 „Oberes Freiburger Muldetal“. – Abschlussbericht im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden, unveröff.
- ZAHNER, R. (1959): Über die Bindung der mitteleuropäischen Calopteryx-Arten (Odonata, Zygoptera) an den Lebensraum des strömenden Wassers. I. Der Anteil der Larven an der Biotopbindung. – *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 44: 51–130

Anschrift der Verfasser:

Henriette John, Hermann Heilmeyer
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, AG Biologie/Ökologie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg
henriette.john@ioez.tu-freiberg.de, hermann.heilmeyer@ioez.tu-freiberg.de

André Günther
Naturschutzzinstitut Freiberg, Waisenhausstr. 10, 09599 Freiberg
nsi-freiberg@naturschutzzinstitut.de

Reinhard Reißmann
beak Consultants GmbH, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg
reissmann@beak.de

Detlef Tolke
Regierungspräsidium Chemnitz, Abteilung Umwelt, Umweltfachbereich,
Referat Naturschutz/Landschaftspflege, PF 1341, 09072 Chemnitz
Detlef.Tolke@rpc.sachsen.de