

# Substrat- und Interstitialqualität in der Our (Luxemburg)



Gutachten im Rahmen des EU-Projektes LIFE05Nat/L/000116  
„Restauration des populations des moules perlières en  
Ardennes“

2009

*erstellt von:*

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Geist  
Angerstr. 14 a  
D-85354 Freising  
Tel.: +49-(0)8161-42417  
Email: [geist@wzw.tum.de](mailto:geist@wzw.tum.de)

# 1 Einleitung

Flussperlmuscheln (*Margaritifera margaritifera* L.) sind besonders anspruchsvolle Bewohner von Fließgewässern, deren Schutz aufgrund ihrer Funktionen als Flaggschiff-, Indikator-, Schirm- und Schlüsselart besondere Bedeutung hat (Geist, 2005). Die hohen Ansprüche der Flussperlmuschel an ihr Habitat liegen in ihrem komplexen Entwicklungszyklus begründet, der durch Veränderungen des Lebensraums empfindlich gestört werden kann. So sind neben einem intakten Wirtsfischbestand für das parasitäre Stadium der Flussperlmuschel vor allem die Substratverhältnisse für ein Aufwachsen von Jungmuscheln entscheidend. Für bis zu 5 Jahre leben junge Flussperlmuscheln in ihrer postparasitären Phase im Gewässersubstrat vergraben und sind während dieses Zeitraums auf eine ausreichende Sauerstoff- und Nahrungsversorgung sowie auf eine ausreichende Stabilität ihres Habitats angewiesen. Änderungen der Landnutzung, Einträge von Feinsedimenten und Veränderungen im Abflussregime von Fließgewässern können das empfindliche Gefüge aus Erosion und Sedimentation nachhaltig stören und zum Aussetzen der Reproduktion der Perlmuschel führen. Ein fehlender Austausch zwischen Freiwasser und Interstitial, wie dieser bei Verstopfung des Sedimentlückensystems durch Feinsedimente auftritt, gilt als besonders problematisch für das Überleben der Jungmuscheln (Buddensiek et al., 1993; Buddensiek, 1995; Geist, 1999a, b; Geist & Auerswald, 2007). Auch eine Instabilität des Substrates, wie unnatürlich hohe Sandfrachten anthropogenen Ursprungs, wirkt sich nachteilig aus (Altmüller & Dettmer, 1996).

In der Our im Grenzgebiet zwischen Luxemburg, Deutschland und Belgien wird der derzeitige Perlmuschelbestand auf nur noch ca. 50 Individuen beziffert (Stand: September 2009; Arendt & Thielen, mdl. Mitt.), was einem erneuten Rückgang von 90% innerhalb von nur zwei Jahren entspricht. Im Rahmen des EU-LIFE Projektes „Restauration des populations des moules perlières en Ardennes“ sollen die Habitatbedingungen für Flussperlmuscheln in der Our verbessert werden und mittels Rettungszucht eine ausreichende Zahl an Jungmuscheln generiert werden. Untersuchungen zur Genetik europäischer Perlmuschelbestände zeigten basierend auf hochauflösenden Mikrosatelliten-Markern, dass die Perlmuschelpopulation der Our aus genetischer Sicht besonders schützenswert sind (Geist, 2002a; Geist et al., 2003; Geist & Kuehn, 2005). Trotz ihrer geringen genetischen Variabilität können Erhaltungsstrategien für die Perlmuschel in der Our damit einen wichtigen Beitrag zur

Sicherung des evolutionären Potenzials der wenigen verbleibenden Perlmuschelpopulationen im Einzugsgebiet des Rheins leisten.

Das Vorhandensein eines ausreichenden Wirtsfischbestandes (Arendt & Thielen in Geist, 2007; Geist et al. 2006) bietet eine wichtige Voraussetzung zur Wiederherstellung der Bedingungen für eine natürliche Reproduktion der Perlmuschel im Gewässer.

Untersuchungen der Substratqualität in der Our (Schmid, 1994; Geist, 2007) wiesen deutliche Defizite im Vergleich mit funktionalen Perlmuschelbeständen auf (Geist & Auerswald, 2007). In diesem Zusammenhang sind vor allem die jeweils ungünstigsten Bedingungen während der postparasitären Phase der Perlmuschel für deren Überleben limitierend. Diese „worst case“ Bedingungen treten im mitteleuropäischen Fließgewässern meist während abflussarmer Perioden im Spätsommer und Frühherbst auf.

Ziel der im Spätsommer 2009 durchgeführten Untersuchungen war die Bewertung der Substrat- und Interstitialqualität in repräsentativen Bereichen der Our zur Identifikation potenziell günstiger Bereiche für das Aufwachsen von juvenilen Flussperlmuscheln. Zudem sollte durch einen Vergleich mit den Untersuchungen im Jahr 2007 (Geist, 2007) die zeitlich-räumliche Stabilität günstiger und ungünstiger Habitatbereiche bewertet werden.

## 2 Untersuchungsstellen

Insgesamt wurden im Rahmen der Untersuchungen an der Our 12 Querschnittsprofile im Zeitraum vom 16.-17. August 2009 beprobt. Um eine Vergleichbarkeit der Daten mit denen der Untersuchungsperiode vom 06.-07. September 2007 zu ermöglichen, wurden exakt dieselben Stellen beprobt, die im Jahr 2007 in enger Abstimmung mit den Projektverantwortlichen des EU- LIFE05Nat/L/000116 (Frau Dipl.-Biol. Alexandra Arendt, Herr Dr. Frank Thielen, Frau Dipl.-Biol. Mireille Molitor) ausgewählt wurden. Bei der Auswahl der Untersuchungsstellen wurden nur Bereiche einbezogen, die aufgrund ihrer gewässermorphologischen Eigenschaften prinzipiell als Perlmuschelhabitat in Frage kommen. Die genaue Lage der Messstellen ist aus Tab. 1 und Abb. 1-3 ersichtlich. Die Our wurde im Bereich des Projektgebietes zwischen Dreiländereck Luxemburg-Belgien-Deutschland (OU-1) bis unterhalb der Ortschaft Dasburg (OU-12) untersucht. Alle relevanten Bereiche mit rezentem Muschelvorkommen wurden hierbei einbezogen (z.B. Stellen OU-4 – OU-6), da hier mit einem Abfallen von Jungmuscheln von auf natürlichem Wege infizierten Bachforellen gerechnet werden kann. Zudem belegt das derzeitige Perlmuschelvorkommen in diesem Bereich, dass eine für adulte Perlmuscheln zumindest tolerierbare Wasserqualität vorliegt. Auffällig sind die deutlich niedrigeren Wasserstände bei den Untersuchungen 2009 im Vergleich zu 2007 (Tab. 1).

Stellen-Nr.	Beschreibung	GPS-Koordinaten in WGS84 dezimal (Präzision ca. 10-15 m) longitude/latitude	Breite [m]	Mittlere Tiefe 2007 ± SD [cm]	Mittlere Tiefe 2009 ± SD [cm]
OU-01	Ca. 100 m unterhalb Brücke Dreiländereck und Einmündung Reibach	6,13773/50,12894	13,9	46 ± 13	33 ± 4
OU-02	Ca. 100 m unterhalb Campingplatz, ca. 1 km unterhalb OU-01	6,12978/50,12196	17,1	50 ± 7	25 ± 3
OU-03	Ca. 20 m unterhalb Wehr Kalbornmühle	6,13449/50,10516	19,1	26 ± 8	18 ± 7
OU-04	Unterhalb Kalbornmühle im Bereich einer Rausche, auf Höhe Perl- und Bachmuschel-vorkommen am rechten Ufer	6,12596/50,10164	12,1	41 ± 9	21 ± 3

OU-05	Ca. 380 m oberhalb OU-06, im Bereich des Muschelvorkommens am rechten Ufer	6,12565/50,09992	23,6	30 ± 4	14 ± 1
OU-06	Zwischen Tintesmühle und Kalbornmühle, südlichste Stelle im Bereich des Muschelbestands	6,12733/50,09671	19,8	31 ± 2	26 ± 7
OU-07	Ca. 1,7 km unterhalb des Muschelvorkommens (OU-06)	6,12200/50,08209	20,0	29 ± 3	23 ± 4
OU-08	Ca. 880 m unterhalb OU-07, unmittelbar unterhalb Wiese mit Ruine (linkes Ufer)	6,12189/50,07409	18,4	48 ± 11	29 ± 10
OU-09	Ca. 30 m oberhalb Kenzelbach-Mündung	6,11273/50,06088	18,9	39 ± 7	28 ± 6
OU-10	Ca. 20 m unterhalb OU-09, allerdings im Bereich stärkerer Strömung, nach Rausche	6,11256/50,06063	12,5	40 ± 7	28 ± 3
OU-11	Ca. 570 m unterhalb OU-09/LOU-10	6,12007/50,05923	12,6	42 ± 6	31 ± 3
OU-12	Ca.150 m unterhalb Dasburgbrücke	6,12705/50,04824	18,7	40 ± 7	41 ± 5

---

**Tabelle 1: Untersuchungsstellen an der Our; Angaben zu Breite und Tiefe beziehen sich auf die Werte zum Untersuchungszeitpunkt 2007 bzw. 2009; SD= Standardabweichung**



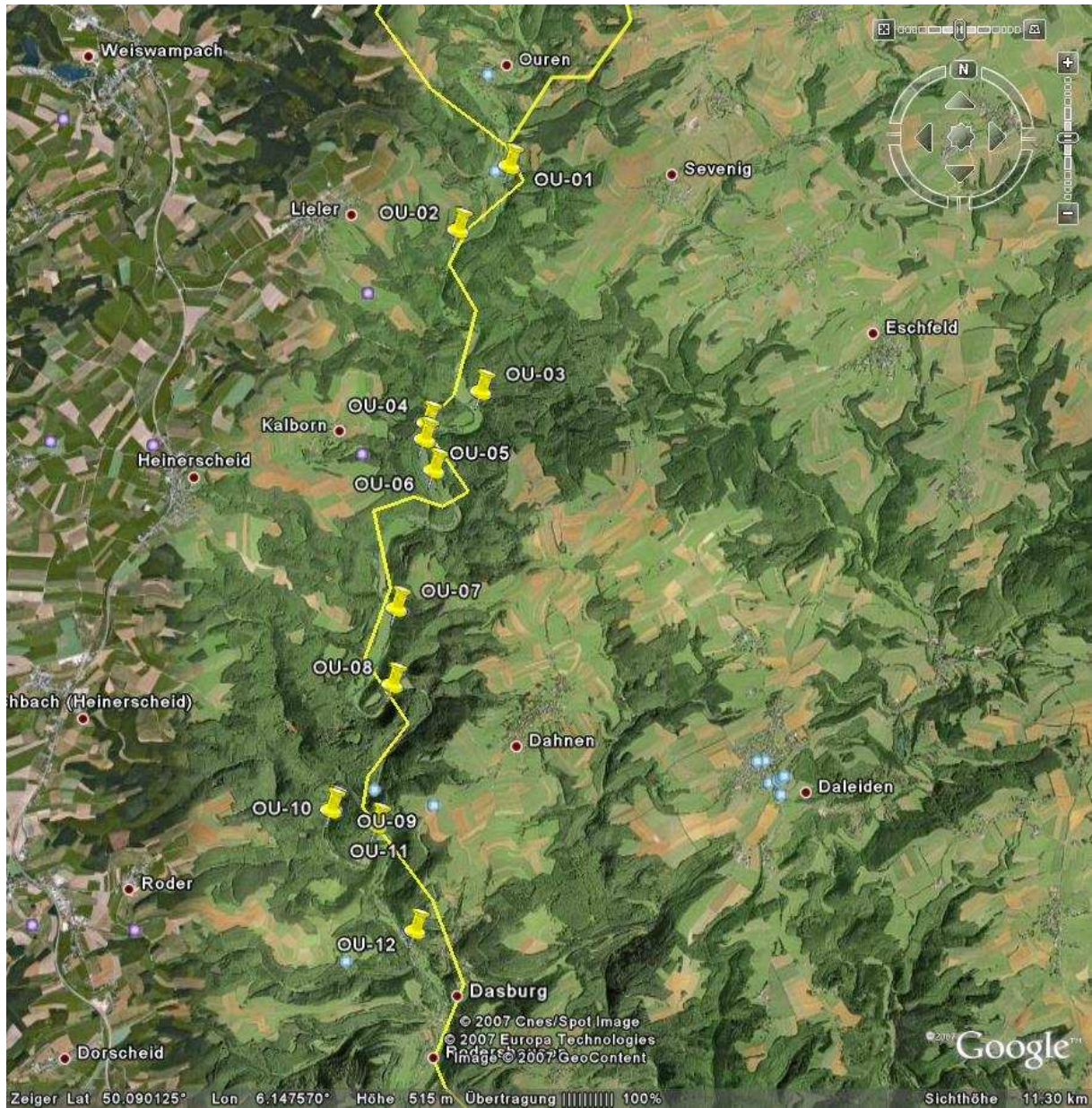


Abbildung 1: Übersicht über die Lage der 12 Untersuchungsquerschnitte an der Our (basierend auf Google Earth Darstellung); gelbe Linie = Landesgrenzen





Abbildung 2: Detaildarstellung der flussaufwärts gelegenen Untersuchungsstellen OU-1 bis OU-06 (basierend auf Google Earth Darstellung); gelbe Linie = Landesgrenzen



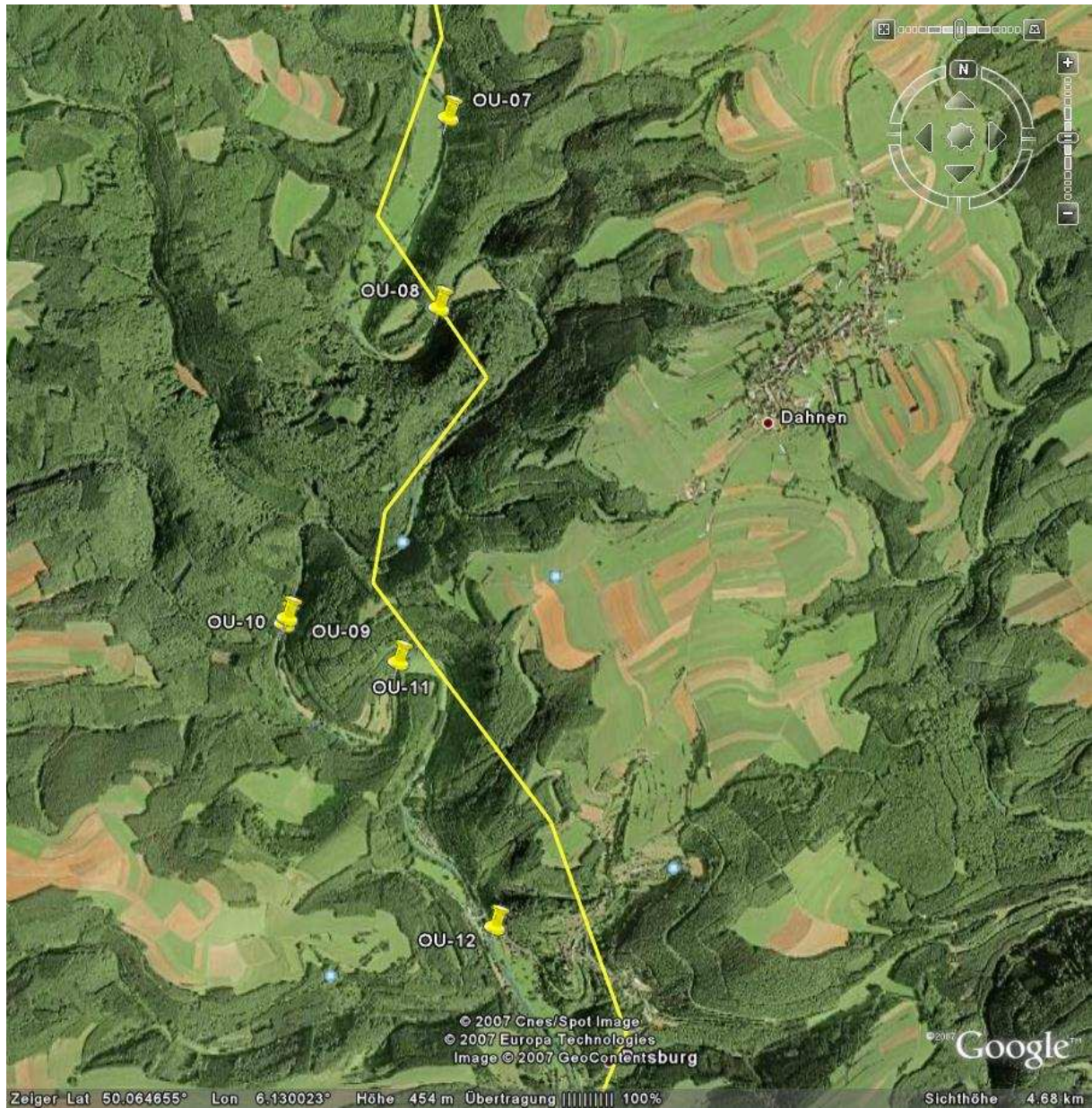


Abbildung 3: Detaildarstellung der flussabwärts gelegenen Untersuchungsstellen OU-7 bis OU-12 (basierend auf Google Earth Darstellung); gelbe Linie = Landesgrenzen



## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Strömungsgeschwindigkeit**

Die Strömungsgeschwindigkeit besitzt für das Durchsatzvolumen und für die Effektivität der passiven Filtration adulter Perlmuscheln große Bedeutung. Darüber hinaus stellt die Strömungsgeschwindigkeit einen entscheidenden Faktor für den Geschiebetransport, die Korngrößenverteilung und das Sedimentations- / Resuspensionsverhalten von Sedimenten dar. Die angegebenen durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten an jedem Querschnittsprofil entsprechen der mittleren Oberflächen-Strömungsgeschwindigkeit, die aus Einzelmessungen am linken Ufer (Mitte des linken Flussdrittels), in der Flussmitte und am rechten Ufer (Mitte des rechten Flussdrittels) errechnet wurden. Die Einzelmessungen der Strömungsgeschwindigkeiten wurden mit einem Propeller-Strömungsmessgerät der Fa. Höntzsch über Zeitintervalle von 10 s durchgeführt.

### **3.2 Oberflächliche Substratverfestigung**

Für das Eingraben junger Flussperlmuscheln sowie für die Durchströmbarkeit des Interstitials hat die Kolmation und Oberflächen-Substratverfestigung große Bedeutung. Diese korreliert zudem mit der Korngrößenverteilung (Geist & Auerswald, 2007). Ein Bereich mittlerer Sedimentverfestigung scheint für Jungmuscheln besonders günstig zu sein. Oberflächlich stark verhärtetes Substrat stellt eine Barriere für das Eingraben von Jungmuscheln dar (Hruska, pers. Mitteilung) und ist meist durch (zeitweise) hohe Strömungsgeschwindigkeiten, verbunden mit hoher Geschiebetransportkapazität, oder durch Kolmationserscheinungen zu erklären. Andererseits weisen verschlammte oder mit mobilem Sand überlagerte Bereiche, die ebenfalls als ungünstig für das Aufwachsen von Perlmuscheln angesehen werden (Altmüller & Dettmer, 1996), in der Regel eine sehr „weiche“ Sedimentoberfläche auf. Die oberflächliche Substratverfestigung wurde mit einem Penetrometer mit unterschiedlichen Steckaufsätzen an jedem der 12 Querschnittsprofile in mindestens 15 Einzelmessungen (je 5 links, 5 Mitte, 5 rechts) gemessen und für jede Querschnittsstelle der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt. Die Einzelmessungen wurden jeweils in Bereichen durchgeführt, die potenziell als Jungmuschelhabitat geeignet sind (z.B. Kiestaschen zwischen größeren Steinen). An der Stelle OU-07 wurde nur die rechtsseitige Hälfte der Our beprobt, da an der linksseitigen Flusshälfte direkt das Untergrundgestein anstand.

### **3.3 Redoxpotenzial**

Das Redoxpotenzial einer Reaktion ist ein Maß für die Fähigkeit einer Umgebung, Elektronen aufzunehmen oder abzugeben und damit (auf Böden bezogen) ein Maß für die freisetzbare Energie. Das Redoxpotenzial wird als Gleichspannungsdifferenz [mV] zwischen einer elektronenübertragenden, inerten Messelektrode und einer Referenzelektrode gemessen und ermöglicht Aussagen über die langfristige Sauerstoffversorgung, die Mineralisierung der organischen Substanz, die Verfügbarkeit und Mobilisierung von Nährstoffen (z.B. P) sowie den Abbau und die Freisetzung von Schadstoffen (z.B. Schwermetalle, H<sub>2</sub>S). Als grober Richtwert kann gelten, dass bei einem auf die Standardwasserstoffelektrode bezogenen Redoxpotenzial von unter 300 mV in Böden kein Sauerstoff mehr verfügbar ist (Schlesinger, 1991).

An jedem der 12 Querschnittsprofile wurden, je nach Gewässerbreite und Variabilität des Substrates, die Redoxpotenziale in ungefähr gleichen Abständen an 3 bis 5 Einzelpunkten entlang eines Transektes in der freien Welle, in 5 cm und in 10 cm Sedimenttiefe gemessen (9 bis 15 Einzelmessungen pro Querschnitt). Alle Redoxpotenzialwerte wurden mittels Temperaturkorrektur auf das Normalpotenzial (bezogen auf die Wasserstoff-Elektrode) umgerechnet.

### **3.4 Leitfähigkeitsgradienten**

Die Leitfähigkeit stellt ein Maß für die Gesamtmineralisation in Abhängigkeit von Temperatur, Dissoziationsgrad, Aktivität, Wertigkeit und Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen dar. Flussperlmuscheln sind an kalk- und nährstoffarme Gewässer mit niedriger Leitfähigkeit angepasst. Bedingt durch Abbauprozesse organischer Substanz und durch eine fehlende Durchströmung kann die Leitfähigkeit im Interstitial deutlich höher als in der freien Welle liegen. Bei einem intensiven Austausch zwischen beiden Kompartimenten sollte hingegen kein Unterschied vorliegen. Zur Messung der Leitfähigkeit im Tiefengradienten wurden an allen 12 Querschnittsprofilen Wasserproben des Freiwassers, aus 5 cm und 10 cm Sedimenttiefe von beiden Uferbereichen und aus der Flussmitte mit einer Saugspritze entnommen (jeweils 9 Einzelproben pro Querschnittsprofil). Hierbei wurde auf die Entnahme konstanter Wasservolumina geachtet, die durch das Schlauchvolumen auf 15 ml fest definiert wurden. Die Leitfähigkeitsmessungen wurden mit einem WTW-Cond 315i Messgerät (Bezugstemperatur 25°C) durchgeführt.

### **3.5 pH-Gradienten**

Eine Trennung zwischen dem Wasser der freien Welle und dem Interstitial kann in einigen Gewässern auch durch einen Vergleich des pH-Wertes im Freiwasser mit dem in unterschiedlichen Substrattiefen nachgewiesen werden, besitzt jedoch meist eine geringere Trennschärfe als der Gradient der Leitfähigkeit (Geist & Auerswald, 2007). Zusätzlich zur Leitfähigkeit wurde in allen gem. 3.4 entnommenen Interstitialwasserproben pH-Werte unter Verwendung eines WTW-pH 315i Messgerätes bestimmt.



## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Strömungsgeschwindigkeit

Der Flussverlauf der Our ist gekennzeichnet durch einen meist kleinräumigen Wechsel der Strömungsgeschwindigkeit. Längere Abschnitte kommen offenbar allein aufgrund des Gefälles und der damit verbundenen starken Strömung und des instabilen Substrats nicht als Habitat für die Perlmuschel in Frage. Im Vergleich mit anderen mitteleuropäischen Perlmuschelgewässern zeichnet sich die Our durch eine vergleichsweise hohe durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 0,67 m/s (0,65 m/s in 2007) über alle Untersuchungsstellen aus. Möglicherweise ist dies einer der Gründe, warum sich der Flussperlmuschelbestand der Our vor allem in den strömungsberuhigten Bereichen, meist in Ufernähe, konzentriert. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Strömungsprofile im Vergleich der Jahre 2007 und 2009. In Abb. 4 sind die durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten mit Standardabweichung an den 12 untersuchten Querschnittsprofilen grafisch dargestellt.

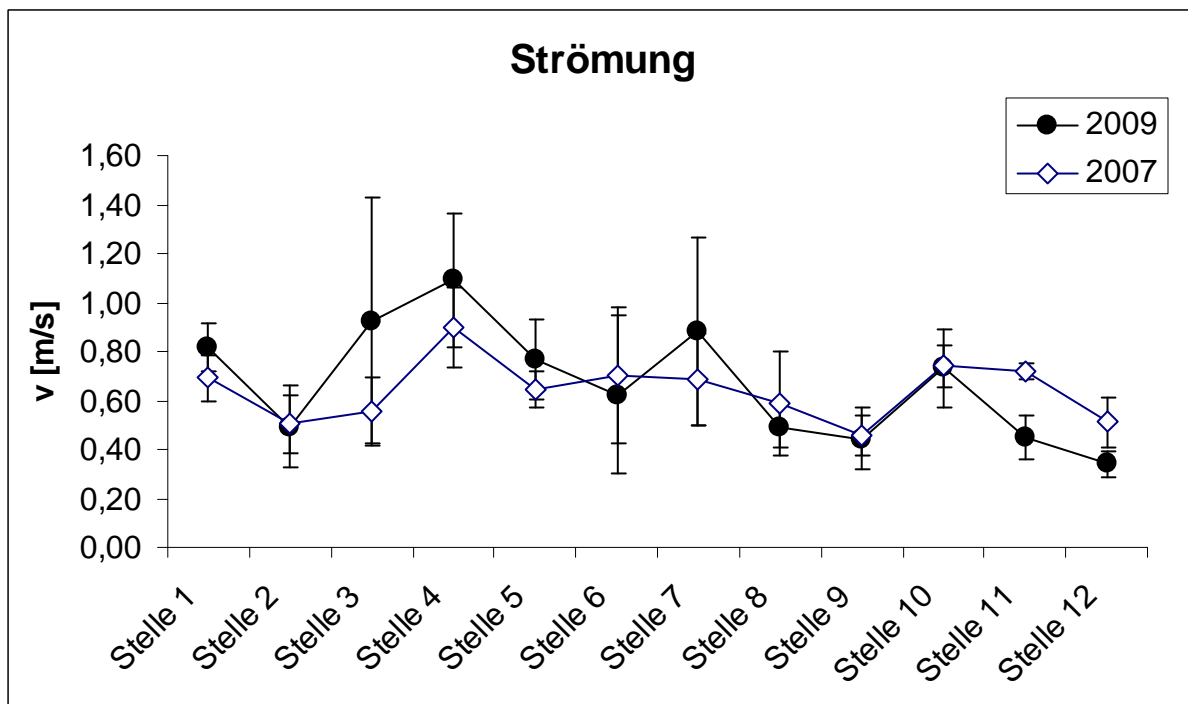


Abbildung 4: Durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten ( $\pm$ Standardabweichung) an den Querschnittsprofilen der Our in 2007 und 2009

## 4.2 Oberflächliche Substratverfestigung

Die in der Untersuchungsperiode 2009 mit dem Penetrometer gemessene mittlere oberflächliche Substratverfestigung an der Our variierte zwischen  $0,12 \text{ kg/cm}^2$  und  $2,50 \text{ kg/cm}^2$  (2007: zwischen  $0,33 \text{ kg/cm}^2$  und  $2,44 \text{ kg/cm}^2$ ). Im Vergleich mit der Untersuchungsperiode in 2007 ging der Mittelwert über alle Untersuchungsstellen von  $0,94 \text{ kg/cm}^2$  in 2007 auf nur noch  $0,43 \text{ kg/cm}^2$  in 2009 deutlich zurück. Dieser Effekt ist in erster Linie durch einen Rückgang der Substratverhärtung im Bereich der oberen (OU-02, OU-03, OU-04) und mittleren (OU-06, OU-07, OU-08) Untersuchungsstellen zu erklären, während sich die Werte in den 2007 relativ wenig verhärteten Bereichen (OU-01, OU-05, OU09, OU-10, OU-11) kaum verändert haben (Abb. 5).

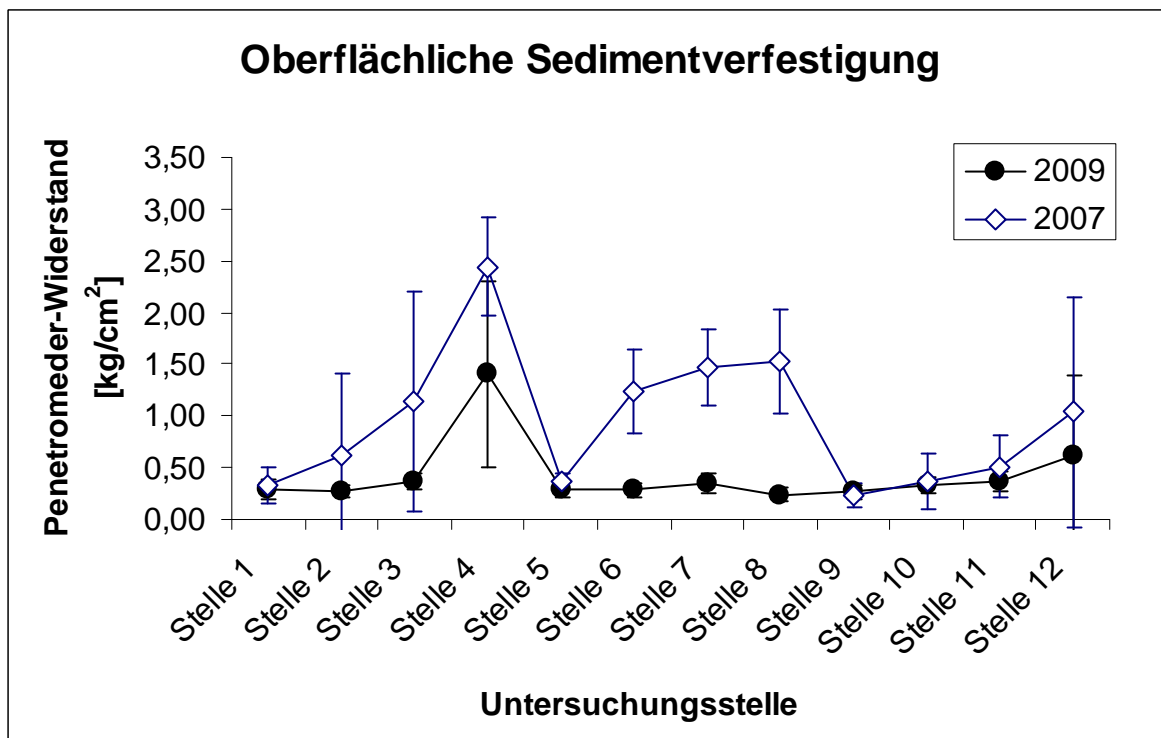


Abbildung 5: Mittlere oberflächliche Substratverfestigung ( $\pm$ Standardabweichung) an den Querschnittsprofilen der Our in 2009 und 2007

In funktionalen europäischen Perlmuschelpopulationen mit Reproduktion lag die mittlere oberflächliche Sedimentverfestigung bei  $0,16 \text{ kg/cm}^2$  mit einer Spannweite zwischen  $0,04$  und  $0,39 \text{ kg/cm}^2$ . In nicht-funktionalen Gewässerbereichen ohne Jungmuschelnachwuchs wurde hingegen eine deutlich größere Spannweite zwischen  $<0,001 \text{ kg/cm}^2$  an verschlammten Stellen bis zu  $4,00 \text{ kg/cm}^2$  an kolmatierten Stellen nachgewiesen (Geist & Auerswald, 2007). Im Gegensatz zur Untersuchungsperiode 2007 lagen in 2009 deutlich mehr Stellen innerhalb des Toleranzbereichs für das Aufwachsen von Jungmuscheln. Der höchste Wert von  $2,50 \text{ kg/cm}^2$

cm<sup>2</sup> (2,44 kg/ cm<sup>2</sup> in 2007) trat – wie bereits in 2007 - an der Stelle mit der höchsten durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit (OU-4) auf.

Wie auch in 2007 bestand zum Untersuchungszeitpunkt nur ein schwacher Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und oberflächlicher Sedimentverfestigung (Abb. 6).

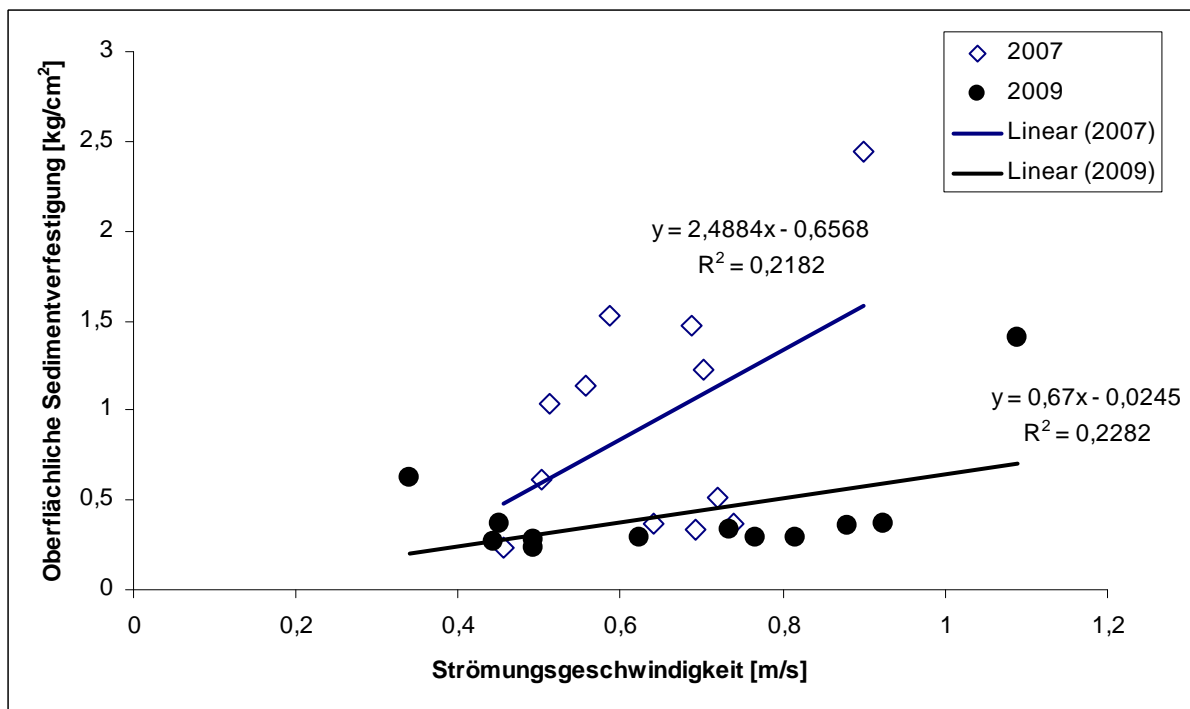


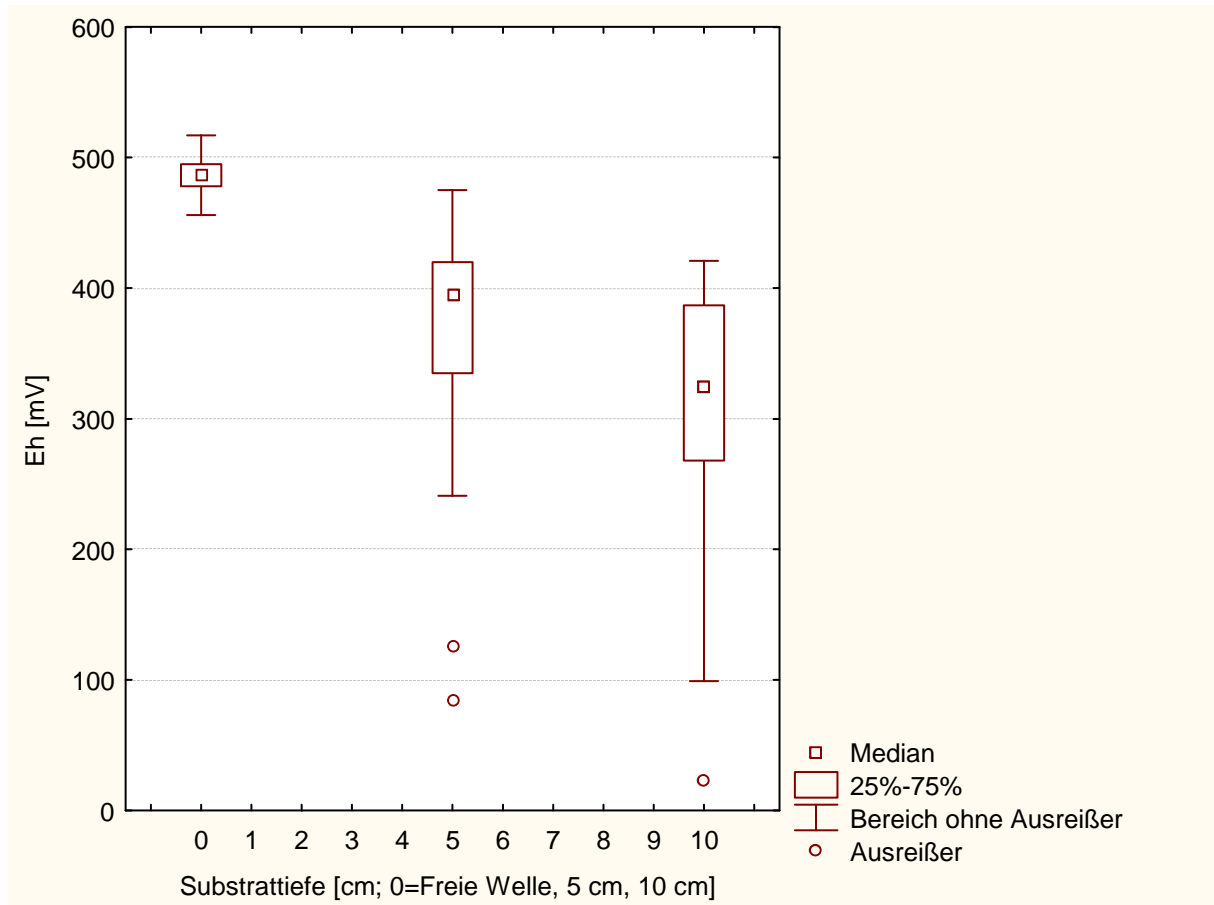
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen mittlerer Strömungsgeschwindigkeit und oberflächlicher Sedimentverfestigung in 2007 und 2009

### 4.3 Redoxpotenzial und Habitatbedingungen

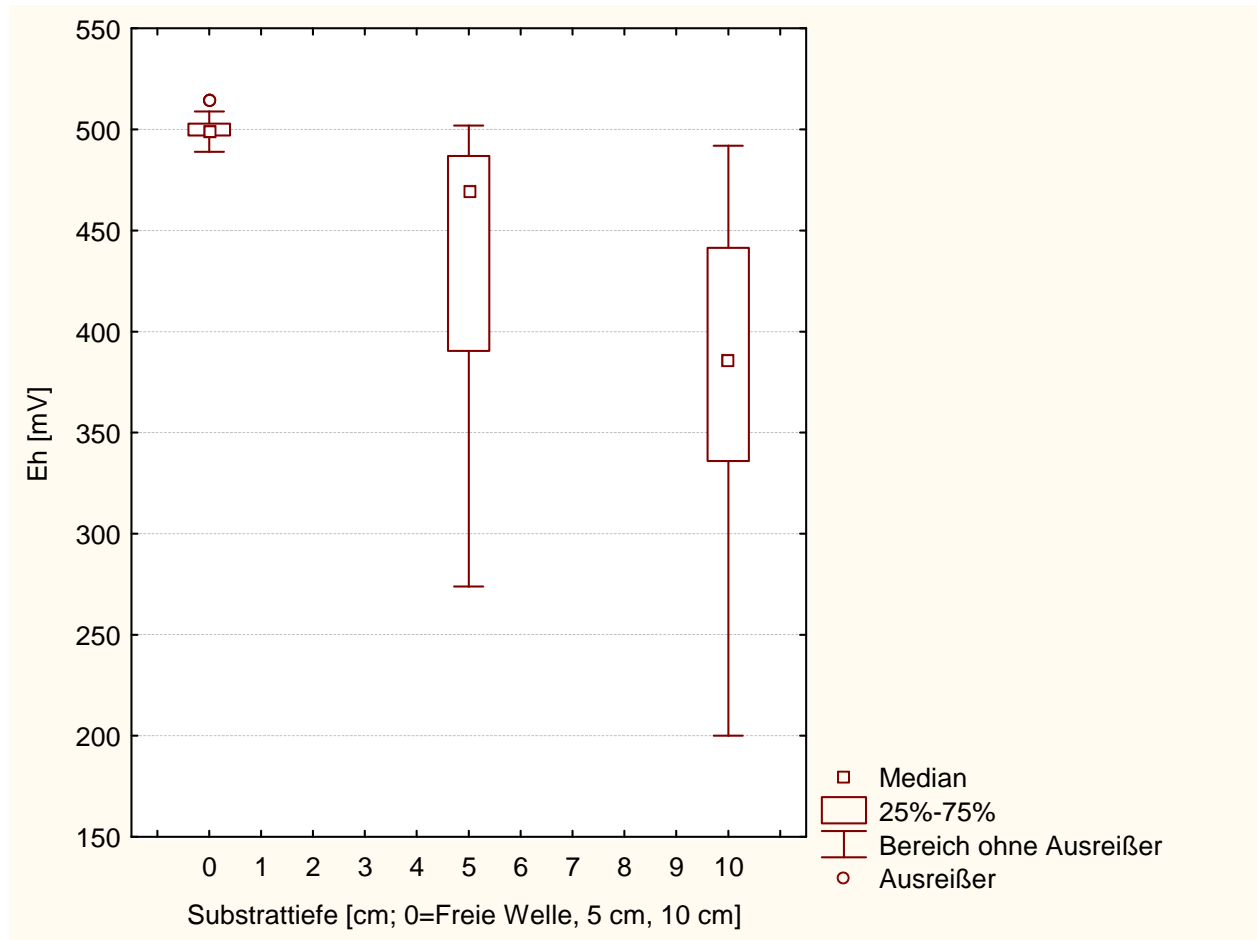
Das Redoxpotenzial als Maßzahl für Sauerstoffversorgung, die Mineralisierung der organischen Substanz, die Verfügbarkeit bzw. Mobilisierung von Nährstoffen (z.B. P) und den Abbau sowie die Freisetzung von Schadstoffen (z.B. Schwermetalle, H<sub>2</sub>S) entsprach in der freien Welle den Werten von 2007 und wies zum Zeitpunkt der Messungen erwartungsgemäß eine geringe Variabilität auf. Mit zunehmender Sedimenttiefe (5 cm, 10 cm) fiel das Redoxpotenzial bei gleichzeitig zunehmender Variabilität weiter ab (vgl. Abb. 7). Im Mittel fällt das Redoxpotenzial über alle Untersuchungsstellen von 487 mV (SD=13; 2007: 500 mV, SD=6) in der freien Welle auf 369 mV (SD=83; 2007: 439 mV, SD=62) in 5 cm Tiefe und auf 304 mV (SD=98; 2007: 378 mV, SD=76) in 10 cm Tiefe ab. Im Vergleich mit den Ergebnissen von 2007 fallen die Unterschiede im Redoxpotenzial zwischen freier



Welle und 5 bzw. 10 cm Substrattiefe damit insgesamt deutlicher aus (vgl. Abb. 8). Einige Untersuchungsstellen sind bereits in 5 cm und 10 cm Sedimenttiefe offenbar nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt und weisen Redoxpotenziale unter 300 mV auf (vgl. Abb. 9). Im Gegensatz dazu zeigen einige Bereiche selbst in 5 cm und 10 cm Substrattiefe ähnlich hohe Redoxpotenziale wie die freie Welle des Gewässers.



**Abbildung 7: Redox-Normalpotenzial im Freiwasser und in 5 und 10 cm Substrattiefe der Our über alle Messstellen in 2009;  $n_{ges}=111$**



**Abbildung 8: Redox-Normalpotenzial im Freiwasser und in 5 und 10 cm Substrattiefe der Our über alle Messstellen in 2007;  $n_{\text{ges}}=120$**

Als grobe Faustregel kann gelten, dass Redoxpotenziale zwischen 400 und 800 mV oxidierende Verhältnisse, solche zwischen 0 und 400 mV teilreduzierende Verhältnisse und zwischen 0 und -400 mV reduzierende Bedingungen widerspiegeln. Nach Schlesinger (1991) liegt die experimentell bestimmte Grenze zwischen aeroben und anaeroben Bedingungen in Böden bei einem Normalpotenzial von ca. 300 mV. Eine Reduktion von Nitrat zum toxischen Nitrit findet in Abhängigkeit verfügbarer Liganden bei etwa 400 mV statt.

In Abbildung 9 sind die in 2009 gemessenen Redoxpotenziale in der freien Welle, in 5 cm Substrattiefe und in 10 cm Substrattiefe für die 12 Untersuchungsstellen im Detail zusammen mit den absoluten Redox-Minima zum Untersuchungszeitpunkt dargestellt. In der freien Welle variierte das Redoxpotenzial kaum zwischen den Untersuchungsstellen und innerhalb der Einzelmesspunkte an den Untersuchungsstellen. In 5 cm und besonders in 10 cm Substrattiefe war eine stellenspezifisch signifikante Absenkung des Redoxpotenzials zu verzeichnen. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Redoxprofile in 2009 (Abb. 9) mit denen im Jahr 2007 (Abb. 10). So ist in beiden Fällen ein leichtes Abfallen der Redoxpotenziale im

Substrat von Stelle OU-01 zu OU-02 und ein folgender Anstieg zu OU-03 zu beobachten. Die besonders hohen Redoxpotenziale im Substrat an Stelle OU-03 sind möglicherweise durch deren Lage unterhalb eines Wehres und das dortige Absetzen von Feinsubstrat bedingt.

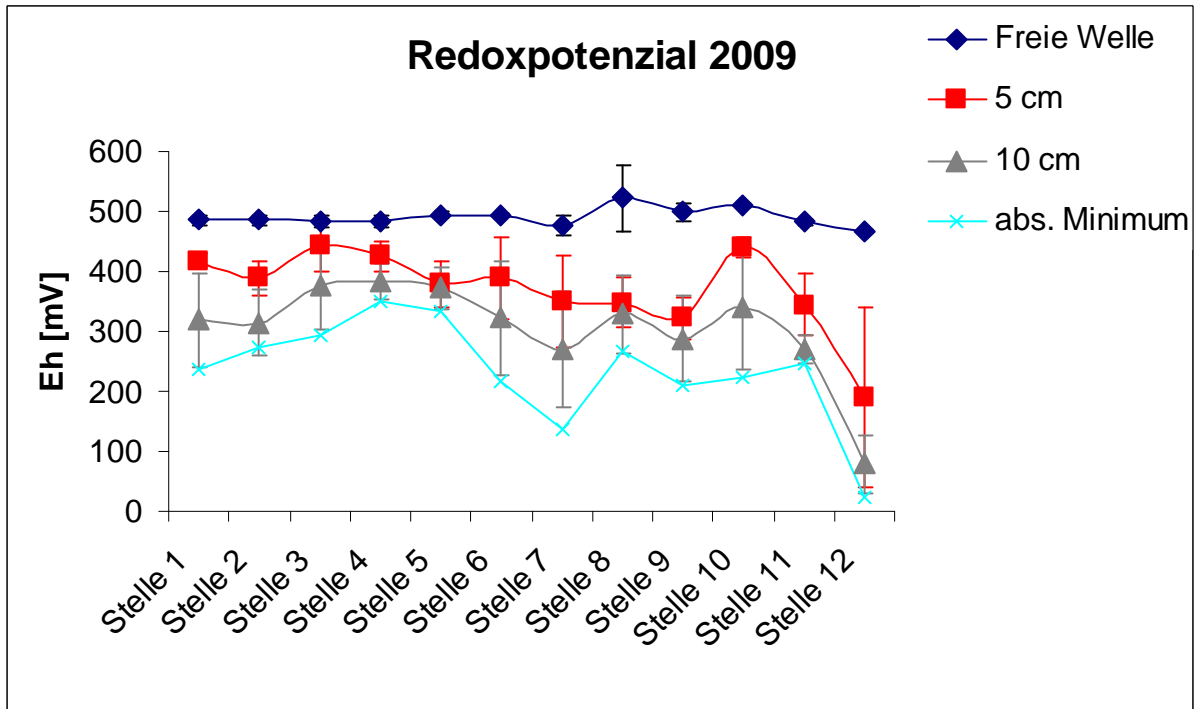


Abbildung 9: Mittlere Redoxpotenziale ( $\pm$ Standardabweichung) an den Querschnittsprofilen der Our in 2009; günstige Stellen (z.B. Stelle 3) weisen geringfügige Unterschiede zwischen den Redoxpotenzialen der freien Welle und dem Interstitial (5 cm, 10 cm) auf

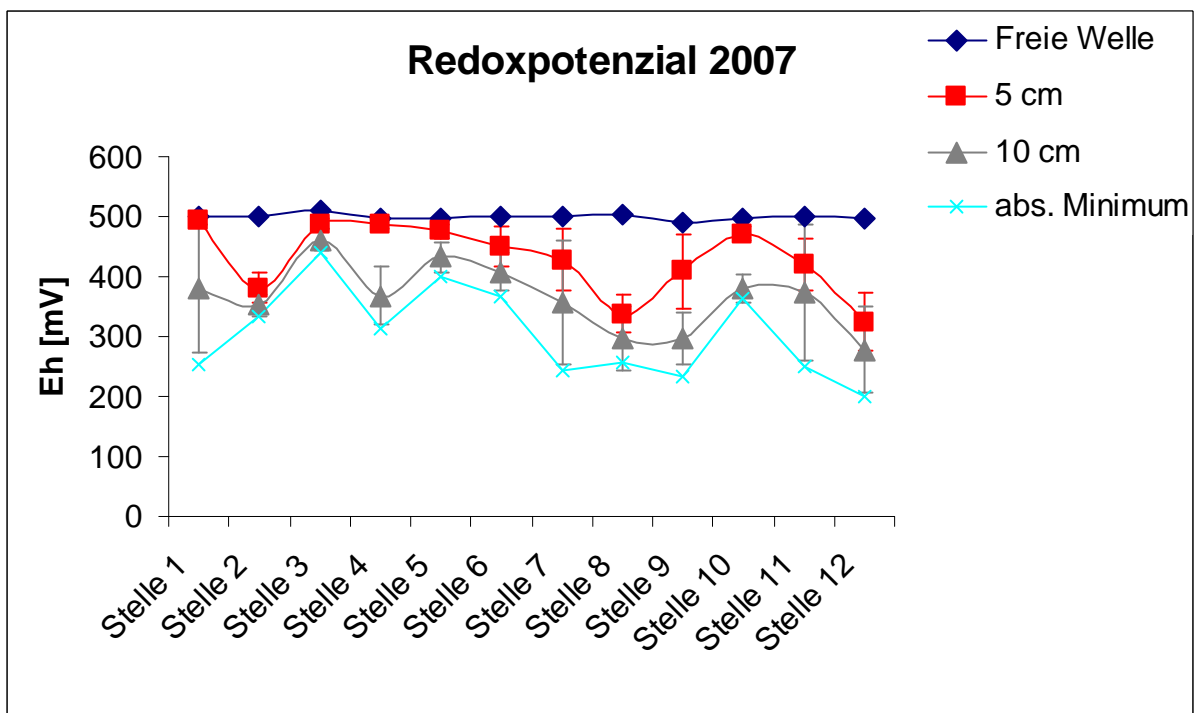


Abbildung 10: Mittlere Redoxpotenziale ( $\pm$ Standardabweichung) an den Querschnittsprofilen der Our in 2007



Im weiteren Verlauf der Our nehmen die Redoxpotenzialunterschiede zwischen Freiwasser und Interstitial sowohl in 2007 als auch in 2009 fast stetig zu – bis zur Stelle OU-08 bzw. OU-09. Erst im Bereich der Stelle OU-10 verbessern sich die Redoxpotenziale in 5 und 10 cm Substrattiefe deutlich – ein Muster, das sowohl in 2007 als auch in 2009 auftrat. Eine mögliche Erklärung könnte – wie auch beim Unterschied zwischen Stelle OU-02 und OU-03 – im Absetzen von Feinsediment im strömungsberuhigten Oberwasser liegen. Stelle OU-09 liegt nur ca. 20 m oberhalb von OU-10 im Oberwasser eines Querriegels aus Steinen, der zur Bildung einer Rausche im Bereich von OU-09 führt. Auch optisch unterscheiden sich beide Bereiche deutlich (vgl. Abb. 11 und 12). Im weiteren Verlauf zur Stelle OU-11 und OU-12 verschlechtern sich die Redoxpotenziale im Interstitial deutlich, wobei sich dieser Trend bei den niedrigeren Wasserständen in 2009 im Vergleich zu 2007 noch verstärkte.



**Abbildung 11: Substratbedingungen an der Stelle OU-10 (ca. 20 m unterhalb von OU-09)**



**Abbildung 12: Substratbedingungen an der Stelle OU-10 (ca. 20 m unterhalb von OU-09)**



**Abbildung 13: Substratbedingungen an der Stelle OU-09, ca. 20 m oberhalb von OU-10; deutlich ist eine Auflage von Feinsediment zu erkennen, die sich auch in einem stärkeren Abfall der Redoxpotenziale und den niedrigen Penetrationswerten widerspiegeln**



**Abbildung 14: Substratbedingungen an der Stelle OU-09, ca. 20 m oberhalb von OU-10**

Messungen nach gleicher Methodik zeigten, dass an Stellen mit Jungmuschelaufkommen anderer europäischer Perlmuschelgewässer selbst zu „worst case“ Bedingungen (d.h. im Sommer bei hohen Wassertemperaturen, niedrigen Abflusswerten und Strömungsgeschwindigkeiten, erhöhter Primärproduktion und erhöhter Feinsedimentdeposition) keine oder nur geringfügige Reduktionen des Redoxpotenzials im Substrat festzustellen sind (Geist & Auerswald, 2007). Im Gegensatz dazu weist die Mehrzahl der Gewässer ohne Jungmuschelvorkommen zumindest zeitweilig reduzierende Bedingungen im Interstitial auf. Ein Aufwachsen von Jungmuscheln an bestimmten Stellen der Our wird durch die vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen. Die hohe Übereinstimmung der räumlichen Redoxpotenzialmuster zwischen den Jahren 2007 und 2009 lassen die Schlussfolgerung zu, dass in diesem Zeitraum eine hohe Stabilität der Lage günstiger und ungünstiger Substratbereiche auftrat. Die in 2009 im Vergleich mit 2007 beobachtete Verschlechterung der Redoxpotenzialwerte im Interstitial an ungünstigen Stellen lässt sich vor allem durch wetter- und abflussbedingte Unterschiede erklären. So lagen an der Our in 2007 relativ regnerische und kühle Bedingungen mit erhöhten Abflüssen vor, die zu einer stärkeren Durchströmung und geringeren Intensität der Abbauprozesse im Interstitial geführt haben können (Geist, 2007).



Sowohl im Jahr 2007 als auch in 2009 traten die ungünstigsten Substratbedingungen mit den niedrigsten Redoxpotenzialen im Interstitial im Bereich der untersten Untersuchungsstelle OU-12 auf. Kiesige Bereiche zwischen größeren Steinen waren hier nahezu vollständig mit Feinsediment verfüllt (Abb. 15). Zudem trat hier (wie auch in 2007) ein ausgeprägter Algenwuchs auf.



**Abbildung 15: Ungünstige Substratbedingungen im Bereich der Untersuchungsstelle OU-12**

An Stelle OU-07 findet rechtsseitig ein ausgeprägter Eintrag von Feinsedimenten über eine Viehtränke statt. Dieser Einfluss lässt sich über die physikalisch-chemischen Messungen der Substrateigenschaften nachweisen, ist aber auch rein optisch klar zu erkennen (Abb. 16-18).



**Abbildung 16: Feinsedimenteintrag über eine Viehtränke im Bereich der Untersuchungsstelle OU-07**



**Abbildung 17: Substratbedingungen knapp unterhalb der Viehtränke an Untersuchungsstelle OU-07**





**Abbildung 18: Fädige Grünalgen im Bereich der Untersuchungsstelle OU-07**

Insgesamt zeichnet sich die Our durch eine starke Feinsedimentbelastung aus, die in weiten Bereichen zu ungünstigen Aufwuchsbedingungen für junge Flussperlmuscheln führt. Oxische Bereiche im Interstitial liegen flächig meist nur in den oberen 5 cm vor. Punktuell treten allerdings Bereiche mit tiefgründig günstigeren Bedingungen auf, die offenbar auch über mehrere Jahre hinweg für das Aufwachsen von Jungmuscheln geeignet sein könnten. Diese günstigeren Stellen treten vermehrt unterhalb von Wehren und Querriegeln auf, die als Feinsedimentfänge wirken. Aufgrund der ausgeprägten Heterogenität der Substratbedingungen in der Our sind punktuell günstige Stellen allerdings auch in anderen Bereichen (wie an OU-01 und zwischen OU-04 und OU-07) zu finden (Abb. 19). Wie auch in 2007 wurden an nahezu allen Untersuchungsstellen Schwärme von Elritzen (*Phoxinus phoxinus*) während der Untersuchung nachgewiesen, die aufgrund ihres Laichverhaltens als Indikatoren für Kiessubstrate gelten.



**Abbildung 19: Kleinräumige Kiestaschen, wie hier an Untersuchungsstelle OU-01 befinden sich punktuell an mehreren Untersuchungsstellen der Our**

#### 4.4 Leitfähigkeitsgradienten

Die elektrische Leitfähigkeit der Our war zum Untersuchungszeitpunkt 2009 mit 171  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Vergleich zu den Ergebnissen von 2007 erhöht. Über alle Untersuchungsstellen ist ein leichter Anstieg der mittleren elektrischen Leitfähigkeit von 171  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in der freien Welle zu 174  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in 5 und 10 cm Substrattiefe zu beobachten (Abb. 20). Mit zunehmender Substrattiefe nahm die Streuung der Werte stark zu. So lag die Standardabweichung (SD) in der freien Welle bei nur 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , in 5 cm bei 7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und in 10 cm sogar bei 12  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

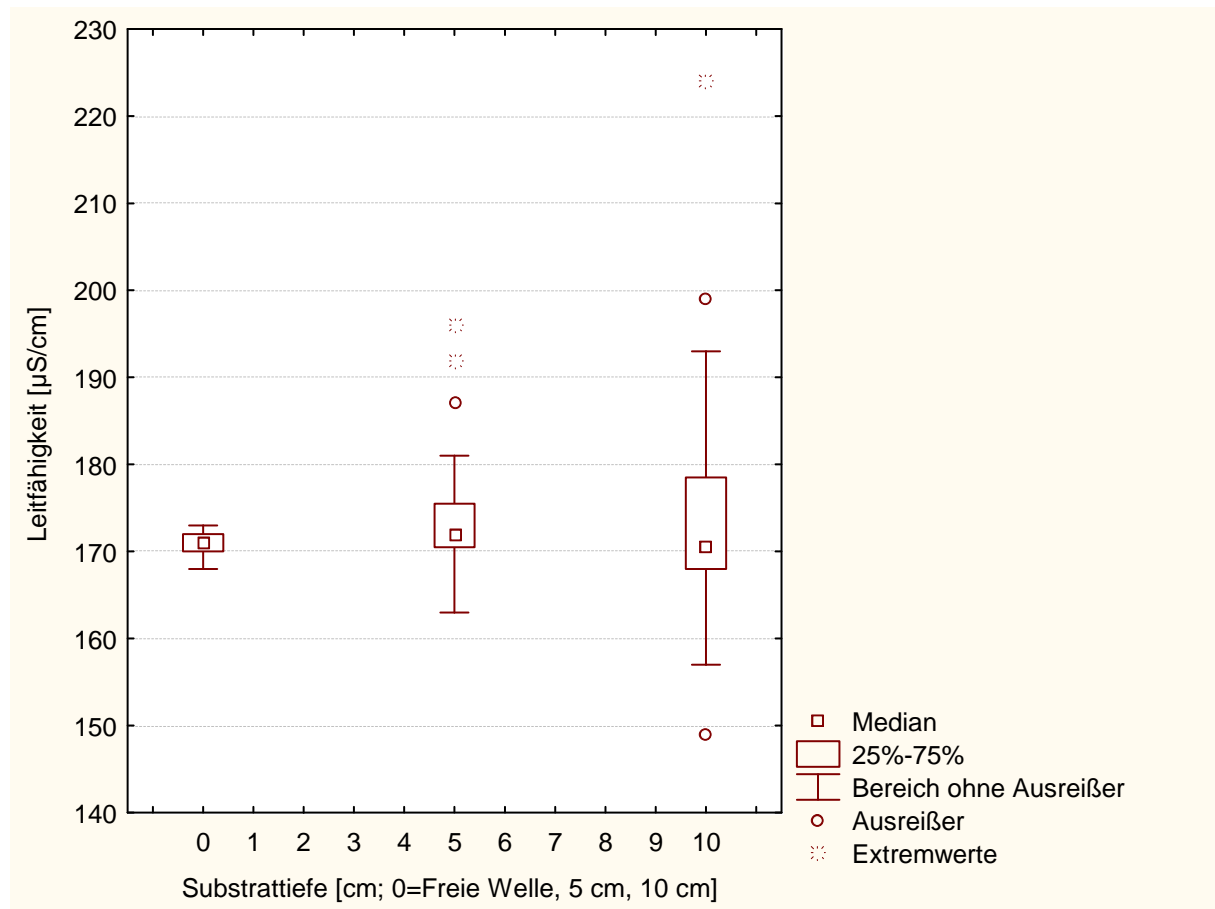


Abbildung 20: Leitfähigkeit im Freiwasser und in 5 und 10 cm Substrattiefe der Our über alle Messstellen (bezogen auf 25°C);  $n_{\text{ges}}=108$

Die im Mittel geringsten Unterschiede zwischen der elektrischen Leitfähigkeit des Freiwassers und des Interstitials traten – wie auch in 2007 – im Bereich der Untersuchungsstellen OU-04, OU-05 und OU-06 auf, in dem auch der rezente Perlmuschelbestand konzentriert ist. Dieser Befund kann mit einem in diesen Bereichen guten Austausch zwischen Freiwasser und Interstitial oder mit einer geringen Mineralisationsrate im Interstitial interpretiert werden. Geringe Unterschiede zwischen der elektrischen Leitfähigkeit

von Freiwasser und Interstitial sind ein wichtiger Indikator zur Identifikation günstiger Jungmuschelhabitate (Geist & Auerswald, 2007), wenngleich das Redoxpotenzial meist eine stärkere Differenzierung erlaubt.

Auffällige Abweichungen in der elektrischen Leitfähigkeit wurden vor allem im Bereich der unteren Untersuchungsstellen OU-11 und OU-12 identifiziert, in denen die Leitfähigkeit im Interstitial im Vergleich zur freien Welle deutlich erhöht war (im Mittel um 6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bzw. 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Vergleich zwischen freier Welle zu 5 cm und um 19  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bzw. 14  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Vergleich zwischen freier Welle und 10 cm Substrattiefe). Als Maximalwert wurden 224  $\mu\text{S}/\text{cm}$  an der Stelle OU-11 in 10 cm Substrattiefe gemessen.

Geringere Leitfähigkeiten im Interstitial im Vergleich mit der freien Welle, die durch einströmendes Grundwasser erklärt werden können, traten besonders ausgeprägt an der Stelle OU-01 auf.

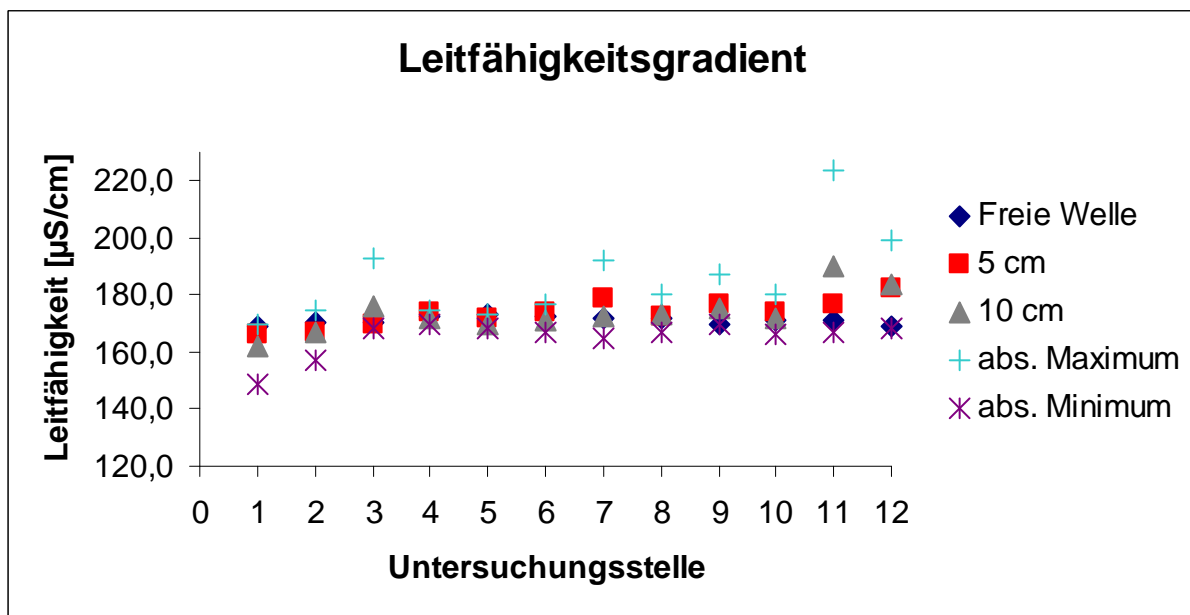


Abbildung 21: Mittlere Leitfähigkeit (bezogen auf 25°C Referenztemperatur) in der freien Welle, in 5 cm und in 10 cm Tiefe im Interstitial für die 12 Untersuchungsprofile der Our; Maxima und Minima geben die im jeweiligen Profil gemessenen Maximal- und Minimalwerte an

## 4.5 pH-Gradienten

Ein verminderter Austausch zwischen Freiwasser und Interstitial lässt sich auch anhand von Unterschieden der pH-Werte nachweisen. Allerdings unterliegt der pH-Wert in Abhängigkeit der Photosyntheseaktivität starken tageszeitlichen Schwankungen, die bei der Interpretation berücksichtigt werden müssen. Im Mittel betrug der pH-Wert in der freien Welle der Our über alle Untersuchungsstellen 7,9 (SD=0,5) und liegt damit deutlich über dem für Perlmuschelgewässer üblichen Spektrum im neutralen bis leicht sauren Bereich (vgl. Sachteleben et al. 2004). Mit zunehmender Substrattiefe sinkt der pH-Wert bei gleichzeitig abnehmender Standardabweichung auf 7,6 (SD=0,4) in 5 cm und 7,3 (SD=0,3) in 10 cm Substrattiefe. Besonders hohe pH-Werte wurden an den oberen Untersuchungsstellen der Our gemessen (Abb. 22), während im Bereich zwischen OU-04 und OU-10 die Unterschiede weniger ausgeprägt waren.

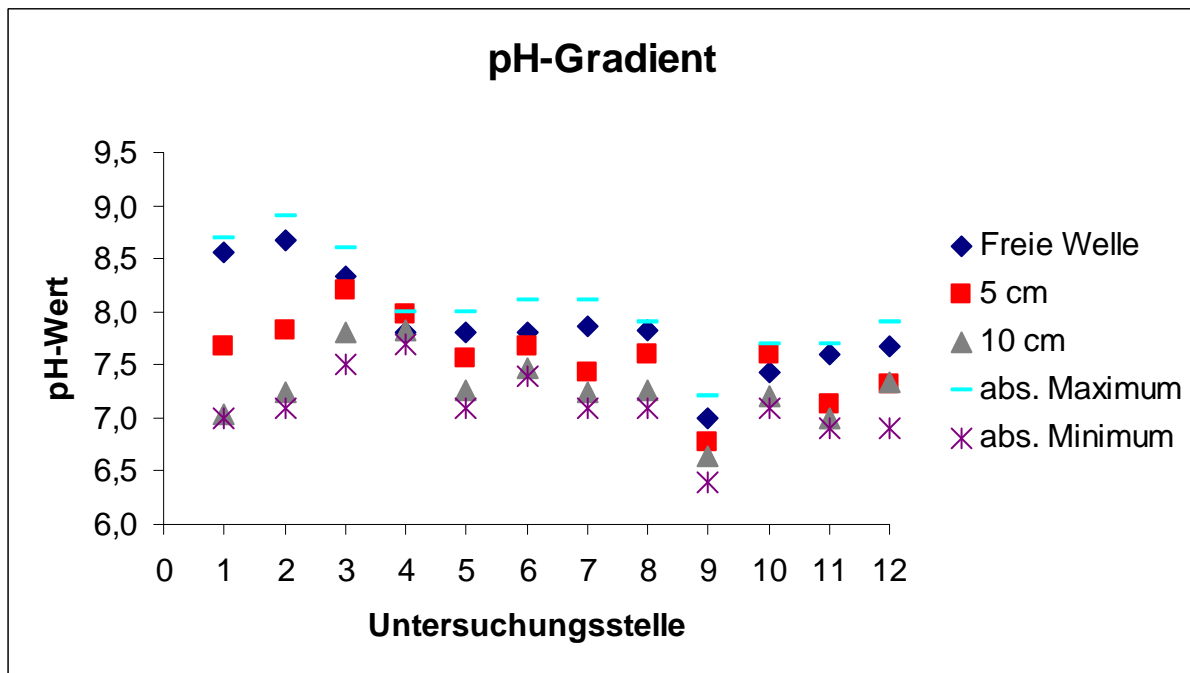


Abbildung 22: Mittlere pH-Werte in der freien Welle, in 5 cm und in 10 cm Tiefe im Interstitial für die 12 Untersuchungsprofile der Our; Maxima und Minima geben die im jeweiligen Profil gemessenen Maximal- und Minimalwerte an



## 5 Zusammenfassung

Die Eigenschaften des Gewässersubstrates sind für die Funktionalität von Fließgewässern und für das Aufwachsen juveniler Flussperlmuscheln von besonderer Bedeutung. Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Bewertung der Substratqualität der Our an 12 repräsentativen Transekten zwischen dem Dreiländereck Luxemburg-Belgien-Deutschland und der Ortschaft Dasburg im August 2009. Durch den Vergleich mit Erhebungen nach gleicher Methodik im September 2007 sollte zudem die zeitlich-räumliche Verteilung und Stabilität günstiger und ungünstiger Substratbereiche dokumentiert werden.

Messungen der Strömungsgeschwindigkeit, der oberflächlichen Substratverfestigung und Tiefengradienten des Redoxpotenzials, der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes deuten auf deutliche Defizite des Gewässersubstrates in der Our hin, die vor allem durch einen hohen Anteil von Feinsediment bedingt sind und durch Eutrophierungseffekte zusätzlich verstärkt werden. Im Vergleich mit den Ergebnissen von 2007 wurde eine verstärkte Trennung zwischen dem Freiwasser und dem Interstitial nachgewiesen, was vor allem durch wetterbedingte Einflüsse des trockeneren und abflussärmeren Sommers 2009 im Vergleich zum regnerischen und abflussreicheren Sommer 2007 erklärt werden kann.

Bemerkenswert ist der hohe Grad der Übereinstimmung der räumlichen Verteilung günstiger bzw. ungünstiger Substratbereiche an der Our im Vergleich mit den Untersuchungen in 2007. So scheinen sich an der Our vor allem strömungsberuhigte Bereiche, in denen sich Feinsedimente absetzen können (oberhalb von OU-03 und oberhalb von OU-10) nachhaltig positiv auf die Substratqualität der flussabwärts liegenden Bereiche auszuwirken, was sich u.a. in einem geringeren Verschlammungsgrad, einem schwächeren Abfallen des Redoxpotenzials mit zunehmender Substrattiefe und der Ähnlichkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Freiwasser und Interstitial äußert. Die Chancen für ein natürliches Aufwachsen von Jungmuscheln sind insgesamt niedrig, dürften aber im Bereich zwischen Kalbornmühle und Tintesmühle höher als in den anderen Bereichen der Our sein.

## 6 Schlussfolgerungen

Die hohe Übereinstimmung der Untersuchungsergebnisse der Jahre 2007 und 2009 lässt den Schluss zu, dass die Substratbedingungen der Our über diesen Zeitraum offenbar nur geringen Schwankungen unterliegen und damit eine Konzentration der Artenschutzmaßnahmen auf bestimmte Bereiche sinnvoll erscheint. Aufgrund der Ähnlichkeit der Untersuchungsergebnisse werden die bereits im Jahr 2007 gezogenen Schlussfolgerungen (Geist, 2007) bestätigt.

Die im Vergleich mit funktionalen Perlmuschelgewässern deutlich ungünstigeren Substrat- und Wasserqualitätseigenschaften in der Our lassen sich vermutlich nur langfristig und mittels länderübergreifender Kooperation nachhaltig verbessern. Zur umfassenden Wiederherstellung eines über weite Strecken günstigen Habitats, das die Reproduktion und Bestandserholung der Perlmuschel in der Our auf natürlichem Wege sichern würde, bleibt bei realistischer Betrachtung der Gegebenheiten nicht genügend Zeit.

Soll das genetisch-evolutive Potenzial der Perlmuscheln in der Our erhalten werden, so kann dies kurz- bis mittelfristig nur über den eingeschlagenen Weg der halbnatürlichen Muschelaufzucht erfolgen. Aufgrund der vielerorts defizitären Substratbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Verluste deutlich minimiert werden können, wenn die Jungmuscheln zunächst in Lochplatten und dann in Kiesboxen eingebracht und im Gewässer verankert werden, da so künstlich gut durchströmte, aber gleichzeitig stabile Mikrohabitate geschaffen werden. Zur Risikostreuung erscheint es empfehlenswert, diese Boxen möglichst weitläufig im Einzugsgebiet zu verteilen.

Dennoch sollte als langfristiges Ziel verfolgt werden, eine auf natürlichem Weg und vom Menschen unabhängige Reproduktion der Perlmuschel in der Our wieder herzustellen. Als vergleichsweise günstig (z.B. für die Ausbringung von Jungmuscheln und für die Infektion autochthoner Bachforellen) erscheint die Gewässerstrecke zwischen Kalbornmühle und Tintesmühle, in der in 2007 und 2009 die günstigsten Substratbedingungen gemessen wurden und in der auch der rezente Muschelbestand der Our konzentriert ist.

Daneben liegen aber auch an anderen Stellen der Our kleinräumig potenziell geeignete Jungmuschelhabitate vor, die allerdings aufgrund der geringen Populationsgröße und des konzentrierten Vorkommens der Perlmuscheln in der Our und der Entfernung zu diesen Bereichen auf natürlichem Weg (Abfallen der Glochidien von infizierten Wirtsfischen) wahrscheinlich nicht besiedelt werden können. Wenngleich der geringe Anteil solcher

Bereiche aufwändige Maßnahmen in Frage stellen mag, so erscheint ein Versuch des Nutzens dieser Chance bei geringem Aufwand dennoch sinnvoll. Idealerweise könnten hierbei zum Zeitpunkt der Glochidiengewinnung Elektrobefischungen an den im Rahmen dieser Untersuchung als günstig identifizierten Stellen durchgeführt werden und diese Wirtfische vor Ort infiziert und anschließend in ihr angestammtes Habitat zurückgesetzt werden. Neben der höheren Konkurrenzstärke und der höheren Wahrscheinlichkeit eines Verbleibs und der Dominanz der Wirtfische an diesen Stellen würde damit auch der Aufwand für das Haltern und Ausbringen von weniger adaptierten Bachforellen aus der Fischzucht entfallen. Sinnvoll erscheint es, die im Rahmen der vorliegenden Studie identifizierten Bereiche mit günstigerer Substratqualität zu berücksichtigen, darüber hinaus aber die Erfolgchancen durch ein „Streuen“ der Infektionen auf verschiedene Gewässerbereiche zu erhöhen. Sofern als „Notlösung“ auf die Infektion und den Besatz mit nicht-autochthonen glochidientragenden Bachforellen aus der Fischzucht zurückgegriffen werden muss, sollte besonders darauf geachtet werden, den Besatz erst kurz vor Abfallen der Glochidien zu tätigen, um so den Abwurf der Glochidien in den hierfür ausgewählten Bereichen sicherzustellen.

Aufgrund der Größe der Our, ihrer Strömungsgeschwindigkeit und ihrer ausgeprägten Hochwässer ist es voraussichtlich sehr schwierig, über direkte, das Habitat verbessernde Maßnahmen kiesige, lockere und gleichzeitig stabile Substratbereiche zu schaffen, die für Jungmuscheln besonders geeignet sind. Am ehesten sind solche Maßnahmen durch das Einbringen größerer, stabilisierender Steine möglich, in deren Lücken kiesiges Material eingebracht werden kann. Bei der Durchführung solcher Maßnahmen unmittelbar unterhalb des bestehenden Muschelbestandes kann das Risiko einer Beeinträchtigung der bestehenden Population minimiert werden.

An dieser Stelle soll besonders betont werden, dass auch bei einer Entscheidung für die kurzfristigen Arterhaltungsmaßnahmen im Rahmen einer Rettungszucht das langfristige Ziel in einer Gewässer- und Einzugsgebietsrenaturierung liegen muss, um langfristig eine natürliche, vom Menschen unabhängige Reproduktion der Perlmuschel sicherzustellen.

## 7 Literatur

Altmüller R, Dettmer R (1996) Unnatürliche Sandfracht in Geestbächen – Ursachen, Probleme und Ansätze für Lösungsmöglichkeiten am Beispiel der Lutter; *Inform. D. Naturschutz Niedersachs.* **16** (5); 222-237

Buddensiek V (1995) The culture of juvenile pearl mussels *Margaritifera margaritifera* in cages: a contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements; *Biological Conservation* **99**; 183-190

Buddensiek V, Engel H, Fleischauer-Rossing S, Wächtler K (1993) Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments of bivalve habitats in several North German lowland waters II: microhabitats of *Margaritifera margaritifera* L.; *Archiv für Hydrobiologie* **127**; 151-166

Geist J (1999a) Schadwirkungen von Feinsedimenten in Flussperlmuschelgewässern; *die Flussmeister; Zeitschrift für Wasserwirtschaft*; 43-46

Geist J (1999b) Ist die Flussperlmuschel noch zu retten? Geoökologische Aspekte im Gewässerschutz; *junge wissenschaft* **55**; 18-24

Geist J (2002a) Entwicklung molekulargenetischer Marker bei der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera* L.); Diplomarbeit im Fach Biotechnologie der Tiere an der Technischen Universität München

Geist J (2005) Conservation Genetics and Ecology of European Freshwater Pearl Mussels (*Margaritifera margaritifera* L.); Dissertation TU München

Geist J, Rottmann O, Schröder W, Kühn R (2003) Development of microsatellite markers for the endangered freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. (Bivalvia: Unionoidea); *Molecular Ecology Notes* **3**; 444-446

Geist J, Kuehn R (2005) Genetic diversity and differentiation of central European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) populations: implications for conservation and management; *Molecular Ecology* **14**; 425-239

Geist J, Porkka M, Kuehn R (2006) The status of host fish populations and fish species richness in European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) streams; *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **16**; 251-266

Geist J, Auerswald K (2007) Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*); *Freshwater Biology* **52**; 2299-2316

Geist J (2007) Untersuchungen zur Substratqualität in der Our (Luxemburg); Gutachten im Rahmen des EU-Projektes LIFE05Nat/L/000116 “Restauration des populations des moules perlières en Ardennes“

Sachteleben J, Schmidt C, Vandr  R, Wenz G (2004) Leitfaden Flussperlmuschelschutz; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.); Augsburg

Schlesinger (1991) Biogeochemistry. Academic Press, San Diego

Schmid P.E. (1994) Limnologische Untersuchungen der Bettsedimente des Alfbaches und der Our; Endbericht; Biologische Station Lunz, 61 S.



## **8 Anhang**

Fotonachweise der einzelnen Untersuchungsstellen OU-1 bis OU-12 von flussaufwärts nach flussabwärts



**Abbildung 23: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-1**



**Abbildung 24: Our im Bereich der Stelle OU-2 kurz unterhalb des Campingplatzes**





**Abbildung 25: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-3 unterhalb des Wehrs an der Kalbornmühle**



**Abbildung 26: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-4**





**Abbildung 27: Untersuchungsstelle OU-5 auf Höhe des rezenten Muschelbestandes**



**Abbildung 28: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-6 auf Höhe des rezenten Muschelbestandes**





**Abbildung 29: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-7**



**Abbildung 30: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-8**





**Abbildung 31: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-9 (oberhalb einer Rausche)**



**Abbildung 32: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-10 im Rauschebereich ca. 20 m unterhalb Stelle OU-09**





**Abbildung 33: Our im Bereich der Untersuchungsstelle OU-11**



**Abbildung 34: Our im Bereich der untersten Untersuchungsstelle im Projektgebiet OU-12**