

TEXTE

10/2012

Übertragbarkeit des Simulationsgegenstandes "Norddeutscher Tiefland- fluss in landwirtschaftlich genutzten Gebieten" auf Mesokosmen

im Hinblick auf Untersuchungen zu Verbleib und
Wirkung von Stoffen / Mikroorganismen auf Flora
und Fauna

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 203 63 200
UBA-FB 001594

**Übertragbarkeit des Simulationsgegenstandes
„Norddeutscher Tieflandfluss in
landwirtschaftlich genutzten Gebieten“ auf
Mesokosmen im Hinblick auf Untersuchungen
zu Verbleib und Wirkung von Stoffen/
Mikroorganismen auf Flora und Fauna**

von

Sonja Hensel

Ellen Kiel

Institut für Biologie und Umweltwissenschaften der Carl von
Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4269.html>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Institut für Biologie und Umweltwissenschaften der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11 26129 Oldenburg/Wechloy
Abschlussdatum:	April 2007
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet IV 2.5 Spurenanalytik , Fließ- und Stillgewässersimulation Rüdiger Berghahn

Dessau-Roßlau, März 2012

Kurzbeschreibung

Ziel dieses FuE-Vorhaben war es, Methoden für die Simulation fließgewässertypischer Bedingungen in bis zu 8 Hallen-Mesokosmen der FSA im Umweltbundesamt Berlin zu entwickeln. Die angestrebten ökologischen Startbedingungen für neue Effektversuche sollten vergleichbar sein und effektiv und reproduzierbar erzielt werden können. Nach der Auswahl geeigneter Referenzbäche wurde durch die identische Ausstattung aller 8 Mesokosmen mit Totholz und Makrophyten sowie Einstellen der abiotischen Parameter eine möglichst weitgehende Annäherung an die Freilandsituation angestrebt. Zur Etablierung einer möglichst gewässertypischen Fauna wurde die Methode der substratgebundenen Besiedlung entwickelt. Sie beinhaltete die Exposition von standardisierten Besiedlungsangeboten (BA) aus natürlichen Substraten (Laub, Makrophyten, Sand), die über Drift oder Migration von Makroinvertebraten besiedelt werden konnten. Nach der standardisierten Exposition im Referenzgewässer wurden die BA unter kontrollierten Bedingungen in die Mesokosmen überführt. Die BA wiesen hohe Besiedlungsdichten auf. Die Mortalität der Fauna durch Transport und Übertragung war minimal. Der Besatz konnte sich zumindest kurz- und mittelfristig sehr gut etablieren. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die hier entwickelte Methodik geeignet ist, typische benthische Makroinvertebraten (resp. Nahrungs- und Substratpräferenden) der Tieflandgewässer kurz- und mittelfristig in den Mesokosmen anzusiedeln und ihre Entwicklung zu kontrollieren.

Abstract

In this research project, methods were developed, which are suitable to establish lowland stream conditions in the 8 artificial indoor stream mesocosms of the Umweltbundesamt in Berlin and to provide identical and reproducible ecological conditions in all 8 systems for studies on toxicological effects. After selection of the most suitable reference streams a maximum approximation to the reference streams was attempted by fitting the sandy stream bottom of the mesocosms with woody CPOM and macrophytes. Concurrently, the abiotic parameters recorded in the reference stream were established. For stocking macroinvertebrate species a method was developed by which fauna was established together with preferred stream habitats. Natural substrata (leaf litter, macrophytes, sand) in bags and trays (BA), which can be colonised by the macroinvertebrate fauna via drift or migration were placed in the reference stream. After certain time of exposure, BA were removed and placed in the mesocosms by a specific and constant study protocol. High colonisation densities were recorded on BA along with close to none transport mortality. During short-term and intermediate experimental runs, stream fauna established well in the mesocosms. The methods developed are suited to establish typical benthic invertebrates in stream mesocosms and to record their development during short termed or intermediate experiments.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

Einleitung	1
1 Festlegung des Simulationsgegenstandes und Auswahl der Referenzgewässer	5
1.1 Vorarbeiten	5
1.2 Auswahl und Festlegung der Referenzgewässer	8
2 Charakterisierung des Simulationsgegenstandes	13
2.1 Grobcharakterisierung der Gewässer und allgemeine Vorarbeiten	14
2.2 Gewässerstrukturkartierung.....	14
2.2.1 Methode.....	14
2.2.2 Ergebnisse.....	15
2.3 Differenzierte Erfassung der Habitatfaktoren.....	21
2.3.1 Methoden	22
2.3.2 Ergebnisse.....	27
3 Methodenentwicklung zur Ausstattung und Besatz der Mesokosmen	33
3.1 Theoretische Grundlage und Ziele des Methodenkonzeptes	33
3.2 Entwicklung von Besiedlungsangeboten (BA) und aktive Habitatgestaltung.....	34
3.2.1 Totholz	34
3.2.2 Makrophyten.....	35
3.2.3 Laub.....	37
3.2.4 Sand.....	37
3.3 Ansiedlung der Fauna in den Mesokosmen.....	38
3.3.1 Material & Methoden	38
3.4 Eingrenzung des Methodenfehlers.....	46
3.4.1 Methoden	46
3.4.2 Ergebnisse.....	48
3.4.3 Fazit.....	50
3.5 Überprüfung des Repräsentativitätsgrades der angesiedelten Fauna	51
3.5.1 Substratspezifische Besiedlung natürlicher Substrate im Barolder Fließ	53
3.5.2 Besiedlung der Besiedlungsangebote (BA).....	57
3.5.3 Vergleich der Fauna natürlicher Substrate und der Besiedlungsangebote	61

3.5.4	Fazit.....	73
3.6	Optimierung des Einsatzes von Besiedlungsangeboten	74
3.6.1	Expositionsdauer	74
3.6.2	Fazit.....	78
3.6.3	Expositionszeitpunkt.....	78
3.6.4	Fazit.....	85
3.7	Zusammenfassende Bewertung der unterschiedlichen BA-Typen und technisch-methodischen Aspekten.....	86
4	Etablierung reproduzierbarer Simulationssituationen in den Mesokosmen	87
4.1	Sohlsubstrat und Wasserkörper	88
4.2	Etablierung von Totholz	89
4.3	Etablierung von Makrophyten.....	90
4.4	Kontrolle der Etablierung und Strukturentwicklung in den Mesokosmen.....	94
4.4.1	Methoden	94
4.4.2	Ergebnisse.....	98
4.4.3	Fazit.....	136
5	Besatz.....	138
5.1	Hochrechnung der eingesetzten Individuenzahlen.....	138
5.2	Besatzdichten	142
6	Kontrolle der Besiedlung und Annäherung an das Referenzgewässer durch aktive Habitatgestaltung	145
6.1	Mittelfristige Besiedlungssituation	145
6.1.1	Methode.....	146
6.1.2	Ergebnisse.....	149
6.1.3	Fazit.....	165
6.2	Dispersion der eingesetzten Fauna	166
6.2.1	Methode.....	166
6.2.2	Ergebnisse.....	168
6.2.3	Fazit.....	171
6.3	Langfristige Besiedlungssituation.....	171
6.3.1	Methode.....	171
6.3.2	Ergebnisse.....	172
6.3.3	Fazit.....	174
6.4	Entwicklung der Mesokosmen im Vergleich zum Referenzgewässer.....	175

7	Ermittlung stabiler Versuchszeiträume	175
7.1	Physiko-chemische Parameter.....	176
7.2	Struktur- und Substratverteilung	176
7.3	Zusammenfassende Auswertung.....	180
7.4	Faunistische Besiedlung.....	185
7.5	Vergleich der Besiedlungs- und Substratsituation.....	194
8	Folgerungen und Empfehlungen.....	203
8.1	Besatzmethode	203
8.2	Möglichkeiten der verbesserten Standardisierbarkeit und zur Optimierung des Einsatzes.....	204
8.3	Angleichung der physiko-chemischen Faktoren, Gleichtakt zwischen den Mesokosmen und Sicherstellung stabiler Versuchszeiträume	205
8.4	Besonderheiten der Strömungs- und Substratverhältnisse und Sicherstellung stabiler Versuchszeiträume	207
8.5	Besatzerfolg, Kontrolle und Steuerung der Mesokosmenbesiedlung und Empfehlungen für Versuchszeiträume	209
8.6	Wiederbesiedlung und direkte Besiedlung der Mesokosmen aus Gewässern im Umfeld	211
9	Zusammenfassung	212
10	Quellenverzeichnis.....	215
11	Anhang.....	223

Abbildungsverzeichnis

Abb. 0.1: Ziele des Vorhabens sowie bauliche und betriebliche Voraussetzungen in der Mesokosmen-Anlage mit prioritärer Bedeutung für das Gesamtkonzept.....	3
Abb. 1.1: Kriterien für die Bewertung der Sensibilität Brandenburgischer Fließgewässer nach Braasch et al. (1993). A) Klassengrenzen für die Einstufung der Schutzwürdigkeit. B) Definitionen der Sensibilitäts- und Schutzwertstufen	7
Abb. 1.2: Bardenitzer Fließ (Treuenbritzen, Landkreis Potsdam Mittelmark), Frühsommeraspekt.....	8
Abb. 1.3: Lage des Untersuchungsgebietes am Bardenitzer Fließ	9
Abb. 1.4: Barolder Fließ (Lamsfeld/Lieberose, Landkreis Dahme-Spreewald, Frühjahrsaspekt).....	10
Abb. 1.5: Lage des Untersuchungsgebietes am Barolder Fließ.....	11
Abb. 1.6: Konzept zur Übertragung von Strukturen, Substraten und Fauna abhängig von den Referenzsituationen	12
Abb. 2.1: Arbeitsschritte zur Charakterisierung der abiotischen und biotischen Bedingungen des Referenzgewässers	13
Abb. 2.2: Lage aller Untersuchungsstellen am Barolder Fließ.....	17
Abb. 2.3: Frühjahrsaspekte des Barolder Fließ im Beobachtungsabschnitt 1 (linke Reihe) und 2 (rechte Reihe).....	18
Abb. 2.4: Winter- und Frühjahrsaspekt des Barolder Fließ im Beobachtungsabschnitt.....	19
Abb. 2.5: Lage aller Untersuchungsstellen am Bardenitzer Fließ	21
Abb. 2.6: Probennehmer, Messgeräte und deren Exposition (a) und (b) Multiparameter-Sonde im Barolder Fließ, (c) Technischer Aufbau der Sonden und Datalogger zum Einsatz im Bardenitzer Fließ, (d) Bsp. für Probennehmer (hier am Bardenitzer, (e) Temperatur-Datalogger für Barolder und Bardenitzer Fließ.....	25
Abb. 2.7: Pegelstände des Barolder und des Bardenitzer Fließ im Zeitraum Juli 2004 bis November 2006. Lücken in den Messreihen sind auf Geräteausfälle zurück zu führen	28
Abb. 2.8: Strömungs- und Sohlprofile im Barolder Fließ (a) Sommer, (b) Herbst, (c) Frühjahr	29
Abb. 2.9: Anteile der Substrate und Strukturen im Bardenitzer Fließ im saisonalen Vergleich.....	31
Abb. 2.10: Anteile der Substrate und Strukturen im Barolder Fließ im saisonalen Vergleich.....	32
Abb. 3.1: Schematische Darstellung der Methode zur substratgebundenen Ansiedlung der Fauna (BA = Besiedlungsangebote).....	38
Abb. 3.2: Laub-BA.....	39
Abb. 3.3: Entnahme der BA mit schnell wechselbaren Keschernetzen.....	41

Abb. 3.4: <i>Elodea</i> -BA.....	42
Abb. 3.5: Sand-BA und entsprechender Siebaufsatz mit schwarzer Schaumstoffdichtung.....	43
Abb. 3.6: Plan der Mesokosmenausstattung mit Strukturen	45
Abb. 3.7: Prinzip der Ermittlung des Methodenfehlers und der dazu verwendeten Stichproben	47
Abb. 3.8: Relative Anteile der Taxa in natürlichen Bachsubstraten. Datengrundlage: Probennahmen im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (<i>Elodea</i> , Sand).....	55
Abb. 3.9: Relative Anteile der Taxa (ohne Chironomidae) in natürlichen Bachsubstraten. Datengrundlage: Proben-nahmen im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (<i>Elodea</i> , Sand).....	56
Abb. 3.10: Anzahl der Taxa je Substrat. Datengrundlage: Bachproben (AQEM) im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (<i>Elodea</i> , Sand)	56
Abb. 3.11: Durchschnittliche Besiedlung auf BA (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, <i>Elodea</i> -BA 19.08.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²).....	58
Abb. 3.12: Durchschnittliche Besiedlung auf BA ohne Chironomidae (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, <i>Elodea</i> -BA 19.08.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²).....	59
Abb. 3.13: Anzahl der Taxa auf BA (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, <i>Elodea</i> -BA 19.08.2005)	60
Abb. 3.14: Individuendichten der Taxa Großgruppen auf BA (Laub und <i>Elodea</i> 1 g Frischgewicht, Sand 1 cm ² , Pro-bennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, <i>Elodea</i> -BA 19.08.2005)	60
Abb. 3.15: Taxazahlen in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, <i>Elodea</i> : August 2005).....	61
Abb. 3.16: Besiedlungsdichten auf Laub: AQEM-Proben und BA im November und Dezember 2004 (Bezug: 1 g Trockengewicht)	62
Abb. 3.17: Besiedlungsdichten auf Sand: AQEM-Proben und BA im März und Mai 2005 (Flächenbezug: 1 cm ²).....	63
Abb. 3.18: Relative Anteile der einzelnen Taxa in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, <i>Elodea</i> : August 2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm ² ; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, <i>Elodea</i> -BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm ²)	64
Abb. 3.19: Relative Anteile der Gastropoda in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, <i>Elodea</i> : August 2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225	

cm ² ; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, <i>Elodea</i> -BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm ²).....	65
Abb. 3.20: Relative Anteile der Trichoptera in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, <i>Elodea</i> : August 2005): Relative Anteile der Trichoptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm ² ; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, <i>Elodea</i> -BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm ²).....	66
Abb. 3.21: Relative Anteile der Chironomidae in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, <i>Elodea</i> : August 2005): Relative Anteile der Chironomidae und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm ² ; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, <i>Elodea</i> -BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm ²).....	67
Abb. 3.22: Besiedlung (Taxazahlen) auf natürlichen Substraten und BA: Clusteranalyse (Bray-Curtis: presence/absence (p-/a-)).....	68
Abb. 3.23: Besiedlungsdichten auf natürlichen Substraten und BA: Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa).....	68
Abb. 3.24: Relative Anteile der Ernährungstypen auf natürlichen Substraten und BA.....	69
Abb. 3.25: Relative Anteile der Substratpräferenzverteilung auf natürlichen Substraten und BA.....	69
Abb. 3.26: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Laub-Substraten (AQEM, n = 13, 12.11.2004) und Laub-BA (n = 28, 09.12.2004): AQEM Fläche = 225 cm ² , BA Frischgewicht 20 g.....	70
Abb. 3.27: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Laub-Substraten (AQEM, n = 13, 12.11.2004) und Laub-BA (n = 28, 09.12.2004): AQEM Fläche = 225 cm ² , BA Frischgewicht 20 g.....	71
Abb. 3.28: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf <i>Elodea</i> -Substraten (AQEM, n = 6, 08.06.2005) und <i>Elodea</i> -BA (n = 15, 18.08.2005): AQEM Fläche 225 cm ² , BA Frischgewicht 30 g.....	71
Abb. 3.29: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf <i>Elodea</i> -Substraten (AQEM, n = 6, 08.06.2005) und <i>Elodea</i> -BA (n = 15, 18.08.2005): AQEM Fläche 225 cm ² , BA Frischgewicht 30 g.....	72
Abb. 3.30: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Sand-Substraten (AQEM, n = 11, 08.06.2005) und Sand-BA (n = 8, 02.05.2005): AQEM Fläche 225 cm ² , BA Fläche 214 cm ²	72
Abb. 3.31: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-Substraten (AQEM, n = 11, 08.06.2005) und Sand-BA (n = 8, 02.05.2005): AQEM Fläche 225 cm ² , BA Fläche 214 cm ²	73
Abb. 3.32 : Individuendichten auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	75

Abb. 3.33: Individuendichten der Trichoptera auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	76
Abb. 3.34: Individuendichten der Chironomidae auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	77
Abb. 3.35: Relative Anteile der Ernährungstypen auf Laub-Kontrollen und -BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	77
Abb. 3.36: Relative Anteile der Substratpräferenden auf Laub-Kontrollen und -BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	78
Abb. 3.37 : Saisonaler Vergleich der Individuendichten auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	79
Abb. 3.38: Saisonaler Vergleich. Individuendichten der Trichoptera auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	80
Abb. 3.39: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Chironomidae auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	81
Abb. 3.40 und 3.41: Saisonaler Vergleich der relativen Anteile der Ernährungstypen (links) und Substratpräferenden (rechts) auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht).....	81
Abb. 3.42 : Saisonaler Vergleich der Individuendichten auf <i>Elodea</i> -BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht).....	83
Abb. 3.43: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Trichoptera auf <i>Elodea</i> -BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht).....	84
Abb. 3.44: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Chironomidae auf <i>Elodea</i> -BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht).....	84
Abb. 3.45 und 3.46: Saisonaler Vergleich der relativen Anteile der Ernährungstypen (links) und Substratpräferenden (rechts) auf <i>Elodea</i> -BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht).....	85
Abb. 4.1: Etappen der Methodenentwicklung zur Etablierung von Strukturen und zum Besatz der Mesokosmen mit gewässertypischer Fauna	88
Abb. 4.2: Lage der Totholzelemente in den Mesokosmen (schematische Darstellung; gelb: Zweige, braun: Stammstücke, blauer Pfeil: Strömungsrichtung)	89
Abb. 4.3: <i>Sparganium erectum</i> im Beruhigungsbecken (BB 3) des Mesokosmos HR 3.....	90
Abb. 4.4: Pflanzung und Verteilung der <i>Elodea canadensis</i> im Beruhigungsbecken (BB 4) des Mesokosmos HR 3.....	90
Abb. 4.5: Verteilung von <i>Myriophyllum spicatum</i> im Abschnitt M des Mesokosmos HR 3.....	91

Abb. 4.6: Mesokosmos HR 3 mit Verdunkelung über Teilstrecken der Abschnitte M (links) und T (rechts).....	91
Abb. 4.7: Frisch eingepflanzte <i>Elodea</i> -Büschel in Abschnitt M (Beispiel HR 3).....	92
Abb. 4.8: Beispiel der Ausstattung eines Mesokosmen mit Totholz und Makrophyten (blauer Pfeil: Strömungsrichtung)	93
Abb. 4.9: Sohl-Substrattypen: (a) Sand (stabil), (b) Sand (Rippel), (c) Kolmation, (d) Fadenalgen auf Kolmation, (e) Blaualgen und FPOM auf Kolmation, (f) FPOM auf Kolmation, (g) FPOM (dick), (h) FPOM auf Sand	97
Abb. 4.10: Strömungsverhältnisse und Sohlstruktur im Staudruckbereich von Totholz (oben: schmales Segment, unten: breites Segment (Beruhigungsbecken)).....	100
Abb. 4.11: Sohlstrukturen zweier analog eingerichteter Abschnitte in je zwei Mesokosmen (grün: Ablagerungen von Feinfraktionen; rot: Sohlenerosion und Auskolkungen mit groben Sandfraktionen; blau: Riffelbildung)	101
Abb. 4.12: Strömungsverhältnisse im Staudruckbereich von Totholz (a, b) und Makrophytenpolstern (c, d)	102
Abb. 4.13: Strömungsverhältnisse und Sohlstruktur in breiten Rinnensegmenten mit emersen Makrophyten	103
Abb. 4.14: Gegenüberstellung der Strömungsverhältnisse im (a) Barolder Fließ (Frühjahr) und in schmalen Rinnensegmenten mit (b) Sandsohle, (c) Makrophyten und (d) Totholz	105
Abb. 4.15: Gegenüberstellung der Strömungsverhältnisse im (a) Barolder Fließ (Sommer), (b) in breiten Rinnensegmenten mit Makrophyten, (c) Barolder Fließ (Herbst) und (d) in breiten Rinnensegmenten mit Totholz.....	107
Abb. 4.16: Temperatur im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen.....	108
Abb. 4.17: Streuung der Temperaturdaten in den Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis Sep-tember 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum).....	109
Abb. 4.18: Sauerstoffsättigung im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	110
Abb. 4.19: Streuung der Sauerstoffwerte (% Sättigung) in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)	110
Abb. 4.20: pH-Werte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen.....	111
Abb. 4.21: Streuung der pH-Werte in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)	112
Abb. 4.22: Leitfähigkeit im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen.....	113
Abb. 4.23: Streuung der Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum).....	113

Abb. 4.24: Nitratgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	115
Abb. 4.25: Phosphatgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	115
Abb. 4.26: Siliziumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen.....	116
Abb. 4.27: Natriumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen.....	116
Abb. 4.28: Kaliumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	117
Abb. 4.29: Nitrat- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer- Mesokosmen. (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,747)	117
Abb. 4.30: Natrium- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,885).....	118
Abb. 4.31: Kalium- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,891)	119
Abb. 4.32: TOC-Werte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	120
Abb. 4.33: Sestonergehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	120
Abb. 4.34: Alkalinität im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen	121
Abb. 4.35: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen vom 06.05.06 bis 13.05.06 (Messrhythmus 60 Minuten)	122
Abb. 4.36: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen vom 31.07.06 bis 05.08.06 (Messrhythmus 60 Minuten)	122
Abb. 4.37: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und im Barolder Fließ vom 21.02.07 bis 28.02.07 (Messrhythmus 60 Minuten).....	123
Abb. 4.38: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in Fließgewässer-Mesokosmen (HR 1) und Bächen vom 06.05.06 bis 13.05.06 (Messrhythmus 60 Minuten).	124
Abb. 4.39: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in Fließgewässer- Mesokosmen (HR 1) und Bächen vom 31.07.06 bis 05.08.06 (Messrhythmus 60 Minuten). Fehlende Daten im Barolder Fließ sind darauf zurückzuführen, dass keine Werte über dem Kalibrationsbereich erfasst/extrapoliert wurden.	124
Abb. 4.40: Sohl- und Substratstrukturen im Verlauf des Bearbeitungszeitraumes im Abschnitt T. Datengrundlage: Mittelwerte 8 Mesokosmen je Saison.....	125
Abb. 4.41: Sohl- und Substratstrukturen im Verlauf des Bearbeitungszeitraumes im Abschnitt M. Datengrundlage: Mittelwerte aller 8 Mesokosmen je Saison	127
Abb. 4.42: Saisonale Aspekte der Substratverteilung im Bardenitzer Fließ und im Abschnitt T der Mesokosmen.....	129
Abb. 4.43: Saisonale Aspekte der Substratverteilung im Barolder Fließ und im Abschnitt M der Mesokosmen	130
Abb. 4.44: (a) Relativ kräftiges Wachstum von Elodea in 2004 mit geringer Entwicklung fädiger Grünalgen (HR 3), (b) Schütteres Wachstum von Elodea bei starkem Wachstum fädiger Grünalgen in 2005 (HR 3).	131
Abb. 4.45: Algenwachstum in (a) HR 1 und (b) HR 7 in 2005.....	132

Abb. 4.46: (a) Igelkolben (<i>Sparganium erectum</i>) und (b) Tausendblatt (<i>Myriophyllum spicatum</i>) in 2005	133
Abb. 4.47: Flutender Igelkolben (<i>Sparganium emersum</i> subsp. <i>emersum</i>) (a) gut gewachsen in HR 7 (2005) und (b) nach Umpflanzung in andere Mesokosmen	133
Abb. 4.48: Darstellung des Frischgewichts der fädigen Grünalgen in den Mesokosmen.....	134
Abb. 4.49: Individuendichte der Gastropoda in den acht Mesokosmen (Mittelwerte pro Rinne, n = 4)	135
Abb. 4.50: Individuendichte der Gastropoda und Algenbiomasse in den acht Mesokosmen.....	135
Abb. 4.51: Dichte der Gastropoda und der Algenbiomasse (g/Rinne).....	136
Abb. 6.1: Mittelfristige Besiedlungskontrolle: Einsatz frischer unbesiedelter MBA in die Mesokosmen.....	147
Abb. 6.2: Chronologische Abfolge der Besatz- und Kontrolltermine (Vorabbeprobungen, Besatz -BA, Kontrolle -MBA).....	148
Abb. 6.3 : Durchschnittliche Besiedlung auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²)	156
Abb. 6.4: Durchschnittliche Besiedlung der Chironomidae auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005): Relative Anteile der Chi-ronomidae und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²).....	157
Abb. 6.5: Durchschnittliche Besiedlung der Trichoptera auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005): Relative Anteile der Tri-choptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²).....	158
Abb. 6.6: Durchschnittliche Besiedlung der Gastropoda auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm ²).....	159
Abb. 6.7: Relative Anteile der Ernährungstypen auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005).....	160
Abb. 6.8: Relative Anteile der Substratpräferenden auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, <i>Elodea</i> → August - November 2005).....	161

Abb. 6.9: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Laub-MBA (n = 54, Februar 2005) und Laub-BA (n = 28, 09.12.04): Frischgewicht 20 g	162
Abb. 6.10: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Laub-MBA (n = 54, Februar 2005) und Laub-BA (n = 28, 09.12.04): Frischgewicht 20 g	162
Abb. 6.11: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf <i>Elodea</i> -MBA (n = 63, November 2005) und <i>Elodea</i> -BA (n = 15, 18.08.05): Frischgewicht 30 g	163
Abb. 6.12: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf <i>Elodea</i> -MBA in HR 7 (n = 8, November 2005) und <i>Elodea</i> -BA (n = 15, 18.08.05): Frischgewicht 30 g	163
Abb. 6.13: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-MBA (n = 160, April 2005) und Sand-BA (n = 15, 25.05.05): Oberfläche 57 cm ²	164
Abb. 6.14: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-MBA in HR 3 (n = 40, April. 2005) und Sand-BA (n = 15, 25.05.05): Oberfläche 57 cm ²	164
Abb. 6.15: Räumliche Verteilung der Laub-BA und -MBA in den Mesokosmen. Rote Beschriftung: Positionskürzel des jeweiligen MBA. Blauer Pfeil bezeichnet die Strömungsrichtung.....	167
Abb. 6.16 : Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (vgl. Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Taxa auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht)	168
Abb. 6.17: Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Amphipoda auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht).....	170
Abb. 6.18: Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Trichoptera auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht).....	170
Abb. 6.19: Kescher zur Beprobung der Mesokosmenwand mit angepasstem Rahmen (rechts gebogen = rote Markierung) und Bodenplatte	172
Abb. 6.20 : Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf Laub-MBA am 25.02.05 und 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (20 g Frischgewicht).....	173
Abb. 6.21 : Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf dem Sediment und der Wandung am 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (Bezug = 225 cm ²)	174
Abb. 7.1: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (stabil)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8).....	177
Abb. 7.2: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (Kolmation)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)	177
Abb. 7.3: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (Kolmation)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)	178
Abb. 7.4: Flächenveränderungen der Struktur „Makrophyten (submers)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8).....	179

Abb. 7.5: Präsenz und Absenz der fädigen Grünalgen und Blaualgen im Jahresverlauf in den Mesokosmen HR 1-8.....	179
Abb. 7.6: Vergleich der Mesokosmen anhand des Nitrat-, Ammonium-, Phosphat-, Silikat- und Sestongehalts im Sommer 2005 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Menge (mg/l) der genannten Parameter).....	180
Abb. 7.7: Vergleich der Mesokosmen anhand des Nitrat-, Ammonium-, Phosphat-, Silikat- und Sestongehalts im Sommer 2006 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Menge (mg/l) der genannten Parameter).....	181
Abb. 7.8: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2004 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	181
Abb. 7.9: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2005 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	182
Abb. 7.10: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2006 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	182
Abb. 7.11 : Besiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm ²)	186
Abb. 7.12: Besiedlung auf Sand vor und nach dem Besatz in den Mesokosmen (Vorabbeprobung 04.05.2005, Sand-MBA 25.05.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Oberfläche = 57 cm ²).....	187
Abb. 7.13: Trichopterenbesiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005): Relative Anteile der Trichoptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm ²)	188
Abb. 7.14: Chironomidenbesiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005): Relative Anteile der Chironomidae und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm ²)	189
Abb. 7.15: Besiedlung der Gastropoda auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, <i>Elodea</i> = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm ²)	190
Abb. 7.16: Anteile der Ernährungstypen auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005)	191
Abb. 7.17: Anteile der Substratpräferenden auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, <i>Elodea</i> 19.11.2005).....	192
Abb. 7.18: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf Laub-MBA (25.02.2005): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa)	193
Abb. 7.19: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf <i>Elodea</i> -MBA (19.11.2005): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa)	194

Abb. 7.20 : Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf Laub-MBA am 25.02.05 und 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (20 g Frischgewicht).....	195
Abb. 7.21: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Frühjahr 2005 und Sommer 2006 und Präsenz-Absenz von Algen	196
Abb. 7.22: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Frühjahr 2005 und Sommer 2006 und Präsenz-Absenz von Algen.....	196
Abb. 7.23 : Besiedlungsdichten im Sediment der Mesokosmen am 25.05.05 und 21.07.06 - Mittelwerte der Taxa auf 225 cm ²	197
Abb. 7.24: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Sommer 2005 und 2006 und Präsenz-Absenz von Algen.....	198
Abb. 7.25: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Sommer 2005 und 2006 und Präsenz-Absenz von Algen.....	198
Abb. 7.26 : Besiedlungsdichten in den Mesokosmen am 17.11.05 - Mittelwerte der Taxa je <i>Elodea</i> -MBA (30 g Frischgewicht)	199
Abb. 7.27 : Besiedlungsdichten in den Mesokosmen am 17.11.05 - Mittelwerte der Taxa je <i>Elodea</i> -MBA ohne Gastropoda und Acari (30 g Frischgewicht).....	200
Abb. 7.28: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Herbst 2005	201
Abb. 7.29: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Herbst 2005	201
Abb. 7.30: Relative Anteile der Substratpräferenzen auf <i>Elodea</i> -MBA am 17.11.05 (30 g Frischgewicht)	202
Abb. a: Temperaturverläufe in den Referenzgewässern.....	223
Abb. b: Streuung der Temperaturdaten in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum).....	223
Abb. c: Jahresverläufe der O ₂ -Sättigung in den Referenzgewässern.....	224
Abb. d: Streuung der Sauerstoffwerte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extreme Einzelwerte: H, ○)	224
Abb. e: Jahresverläufe der Leitfähigkeit in den Referenzgewässern	225
Abb. f: Streuung der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extreme Einzelwerte: H, ○)	225
Abb. g: Jahresverläufe des pH-Wertes in den Referenzgewässern.....	226
Abb. h: Streuung der pH-Werte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extremer Einzelwert: ○)	226
Abb. i: Tagesgänge der Temperaturwerte in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten).....	227

Abb. j: Tagesgänge der Temperaturwerte in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Messrhythmus 60 Minuten).....	227
Abb. k: Tagesgänge der Temperaturwerte im Barolder Fließ vom 21.02.2007 bis 28.02.2007 (Messrhythmus 60 Minuten).....	228
Abb. l: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Messrhythmus 60 Minuten).....	228
Abb. m: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Messrhythmus 60 Minuten) (fehlende Werte: nicht erfolgte Extrapolation bei Sauerstoffsättigung > 102%).....	229
Abb. n: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Messrhythmus 60 Minuten).....	229
Abb. o: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Messrhythmus 60 Minuten).....	230
Abb. p: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte im Barolder Fließ vom 21.02.2007 bis 28.02.2007 (Messrhythmus 60 Minuten).....	230

Tabellenverzeichnis

Tab. 0.1: Abfolge und Dauer der Arbeitsphasen sowie Ziele und Methoden der Untersuchung.....	4
Tab. 1.1: Vorgaben und Kriterien für die Auswahl der Referenzgewässer	6
Tab. 1.2: Ablauf, Datengrundlage und Ergebnisse der Referenzgewässerauswahl.....	7
Tab. 2.1: Ergebnisse der Strukturkartierung am Barolder Fließ.....	16
Tab. 2.2: Ergebnisse der Strukturkartierung am Bardenitzer Fließ	20
Tab. 2.3: Parameter, Erfassungszeiträume, Messgeräte und -methoden für die saisonalen Messungen.....	23
Tab. 2.4: Parameter, Messzeiträume, -geräte und -methoden für die Messungen der Tagesgänge (Markierungen: Zeiträume deren Ergebnisse dargestellt werden).....	24
Tab. 2.5: Liste der Substrate und Habitatstrukturen der Substratkartierung. Differenzierung in Anlehnung an das AQEM-site-protocol (AQEM Consortium, 2002, Annex 2, Site-protocol, Page -2-, veränderte tabellarische Darstellung)	26
Tab. 2.6: Gegenüberstellung der Faktoren Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung, Leitfähigkeit und pH-Wert in den Referenzgewässern.....	30
Tab. 3.1: Beschaffenheit, Expositionsform und Vorbehandlung der Substratexponate als Besiedlungsangebote (BA)	39
Tab. 3.2: Verteilung und Anzahl der Laub-BA.....	40
Tab. 3.3: Verteilung und Anzahl der <i>Elodea</i> -BA.....	42
Tab. 3.4: Verteilung und Anzahl der Sand-BA.....	44
Tab. 3.5: Arbeitsschritte und -aufwand (d/p = Tag/Person).....	45
Tab. 3.6: Mortalität pro Probe bezogen auf Eingangsgröße (Besatz).....	49
Tab. 3.7: Kurzfristiger Ansiedlungserfolg mit Laub- und <i>Elodea</i> -BA (= Besatz minus Mortalität nach 1 & 6 Tagen).....	50
Tab. 3.8: Beschreibung der Einteilung nach Substratpräferenzen (Schmedtje & Colling, 1996, Seite 17).....	51
Tab. 3.9: Beschreibung der Einteilung nach Ernährungstypen (gekürzt, Schmedtje & Colling, 1996, Seite 21)	53
Tab. 3.10: Durchschnittliche Individuenzahlen auf BA und relative Anteile der Taxa.....	57
Tab. 3.11: Besiedlung (Taxazahlen) auf natürlichen Substraten und BA: Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein.....	68
Tab. 3.12: Bewertung der BA („Noten“ der vergleichenden Bewertung: 1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, ¹ Anfälligkeit für Störungen des Substrates / BA durch Strömung und Zersetzung, ² Anfälligkeit für eine höhere Sterberate aufgrund der Handhabbarkeit (Kapitel 3.4), ³ Vergleichbarkeit der Zusammensetzung der Fauna auf BA mit der auf natürlichen Substraten (Kapitel 3.5))	86
Tab. 4.1: Düngung: Datum und Menge	92

Tab. 4.2: Beschreibung der kartierten Sohlstrukturen	96
Tab. 4.3: Rangkorrelationen nach Spearman zur Dichte der Gastropoda und Biomasse der Fadenalgen (Juni 2005)	135
Tab. 4.4: Rangkorrelationen nach Pearson zur Dichte der Gastropoda und Biomasse der Fadenalgen (Juni 2005)	136
Tab. 5.1: Länge und chronologische Abfolge der Besatzphasen mit BA.....	139
Tab. 5.2 : Hochrechnung der insgesamt je Mesokosmos etablierten Individuenzahlen.....	140
Tab. 5.3: Hochrechnung der je Mesokosmos insgesamt etablierten Individuendichtzahlen aus den Gruppen Gastropoda, Trichoptera und Chironomidae	141
Tab. 5.4: Hochrechnung der Individuendichten (auf 225 cm ²), die mit den einzelnen Substrattypen je Mesokosmos etabliert wurden und Vergleich mit im Referenzgewässer ermittelten Dichten (AQEM-Beprobung, vgl. Kapitel 3).....	143
Tab. 5.5: Arbeitsschritte und Aufwand (Tag/Person = d/p) für den Besatz mit einer hochgerechneten Individuenzahl auf unterschiedlichen BA-Typen (aufgeteilte Tabelle).....	144
Tab. 6.1: Zeitphasen des Besatzes und der Kontrollversuche	146
Tab. 6.2 : Individuendichten auf MBA an unterschiedlichen Zeitpunkten bezogen auf 1 g Frischgewicht (Laub und <i>Elodea</i>) und 1 cm ² (Sand)	150
Tab. 6.3 : Individuendichten der Gastropoda, Trichoptera und Chironomidae auf MBA an unterschiedlichen Zeitpunkten bezogen auf 1 g Frischgewicht (Laub und <i>Elodea</i>) und 1 cm ² (Sand).....	151
Tab. 6.4 : Substrat- und taxonspezifische quantitative Darstellung der Mesokosmenbesiedlung nach 3-10 Wochen: Prozentuales Verhältnis von Besatz (=100%) und Stichprobenerhebung mit Hilfe der MBA	152
Tab. 6.5: Substrat- und taxonspezifische quantitative Darstellung der Mesokosmenbesiedlung für Gastropoda, Tri-choptera und Chironomidae nach 3-10 Wochen: Prozentuales Verhältnis von Besatz (=100%) und Stich- probenerhebung mit Hilfe der MBA	154
Tab. 6.6: Erläuterung der Positionskürzel für Laub-BA und -MBA.....	167
Tab. 6.7: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Test: Dichten der Individuen (Taxa gesamt) an den unterschiedlichen Positionen auf Laub-MBA	169
Tab. 6.8: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Test: Dichten der Individuen (Gastropoda, Acari, Amphipoda, Trichoptera) an den unterschiedlichen Positionen auf Laub-MBA	169
Tab. 7.1: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen HR 1- HR 8 im Sommer 2004: (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	183
Tab. 7.2: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen HR 1- HR 8 im Sommer 2005: (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	183
Tab. 7.3: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen HR 1- HR 8 im Sommer 2006 (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)	183

Tab. 7.4: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf Laub-MBA (25.02.2005):	
Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein.....	192
Tab. 7.5: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf Elodea-MBA (19.11.2005):	
Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein.....	193

Abkürzungen

BA	Besiedlungsangebot
BB	Brandenburg
CPOM	Coarse Particulate Organic Matter - grobes partikuläres organisches Material
d/p	Arbeitsaufwand in Tag/Person
(F)	Messung physiko-chemischer Parameter vor Ort / im Feld
FFG	Functional Feeding Groups (Ernährungstypen)
FPOM	Fine Particulate Organic Matter - feines partikuläres organisches Material
FSA	Fließ- und Stillgewässer-Simulationsanlage
Gen. sp.	Genus species – nicht weiter bestimmte Individuen einer Familie aufgrund von sehr jungem Larvalstadium oder Erfordernis spezialisierter taxonomischer Kenntnisse
GK	Güteklasse
HR	Hallenrinne
HQ	Mittlerer Hochwasserabfluss
Ind.	Individuen
indet.	indeterminata - nicht weiter bestimmte Individuen einer Ordnung
juv.	juvenil
L	Larven
(L)	Analyse physiko-chemischer Parameter im Labor
LF	Leitfähigkeit
LUA	Landesumweltamt
MBA	Mesokosmen-Besiedlungsangebot
MQ	Mittlerer Wasserabfluss
MZB	Makrozoobenthos
MZB T1...	Transekt zur Beprobung von Makrozoobenthos im Referenzgewässer
N oder n	Anzahl der betrachteten Fälle oder Probenanzahl
P	Puppen
P 1, P 2...	Punkt der Erfassung physiko-chemischer Parameter im Referenzgewässer
p-/a-	presence-/absence-
POM	Particulate Organic Matter - partikuläres organisches Material
Sig.	Signifikanz
sp.	species – nicht weiter bestimmte Individuen einer Gattung, einer Art zugehörig

spp.	Nicht weiter bestimmte Individuen einer Gattung, mehr als einer Art zugehörig
T 1, T2 ...	Transekt zur Substratkartierung im Referenzgewässer
ThO	Taxa höherer Ordnung
TOC	Total Organic Carbon – gesamter organischer Kohlenstoff
Z	Punkt zur Erfassung der Tagesgänge physiko-chemischer Parameter im Referenzgewässer
Ø	Durchschnittswert
ΔT	Temperaturdifferenz in Kelvin (K)

Einleitung

Das von der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg ¹ durchgeführte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

„Übertragbarkeit des Simulationsgegenstandes 'Norddeutscher Tieflandfluss in landwirtschaftlich genutzten Gebieten' auf Mesokosmen im Hinblick auf Untersuchungen zu Verbleib und Wirkung von Stoffen/Mikroorganismen auf Flora und Fauna“ (UFOPLAN FKZ 203 63 200)

hatte folgende Ziele:

1. Identifizierung der am ehesten als Referenz für die Fließ- und Stillgewässer-Simulationsanlage (FSA) des Umweltbundesamtes in Berlin Marienfelde geeigneten Fließgewässer im Raum Berlin-Brandenburg.
2. Entwicklung und Validierung von Methoden zur zeiteffizienten Etablierung gewässertypischer Struktur- bzw. Habitatbedingungen in den Mesokosmen der FSA.
3. Entwicklung und Validierung von Methoden zur zeiteffizienten Etablierung referenzgewässertypischer Faunenelemente des Makrozoobenthos (MZB) in den Mesokosmen der FSA.

In der FSA werden u. a. Studien zu den Effekten von Umweltchemikalien (z. B. Insektizide) durchgeführt (Mohr et al., 2005). Im Rahmen des Projektes waren Empfehlungen zu erarbeiten, wie in bis zu acht parallel betriebenen Mesokosmen möglichst schnell, effizient und reproduzierbar vergleichbare ökologische Startbedingungen für eine neue Studie erzielt werden können. Als Simulationsgegenstand wurden die Fließgewässer des Tieflandes festgelegt (Ökoregion 14, vgl. <http://www.fliessgewaesserbewertung.de/download/typologie/>).

Kernziele des Vorhabens waren:

- Die Annäherung an die Struktursituation ausgewählter Referenzgewässer.
- Eine möglichst weitgehende Kontrollierbarkeit, Standardisierbarkeit und Reproduzierbarkeit der wesentlichen abiotischen Faktoren (Qualität des Wasserkörpers, Dynamik der Strukturen).
- Eine gezielte Ansiedlung ausgewählter Faunenelemente und eine optimierte Kontrolle des Besiedlungsverlaufs.

Grundlage des methodischen Konzeptes bildete die Erkenntnis, dass gewässertypische Strukturen Substrat- und damit Habitatangebote darstellen, die wiederum entscheidend von morphodynamischen Prozessen abhängen. Bei gleicher bzw. konstanter Beschaffenheit des Wasserkörpers wirken die organischen und anorganischen Sohlsubstrate einschließlich des Phytobenthos, d.h. der darauf wachsenden Makrophyten und Mikrophyten, als selektive Habitatfaktoren für das Makrozoobenthos (MZB).

¹ Das Vorhaben wurde mit dem Hochschulwechsel von Frau Prof. Kiel von der Hochschule Vechta nach Oldenburg übertragen

Die zum Teil spezifische Substratbindung vieler Makrozoobenthostaxa bildet den gedanklichen Ansatz für die anschließende Ansiedlung der Fauna in den Fließgewässer-Mesokosmen des Umweltbundesamtes. Auf Abschnitte eines Gewässertyps bezogen ergeben sich daraus spezifische ‚Besiedlungsmuster‘, d.h. Unterschiede der Artenzahl, Dichte und Biomasse des Makrozoobenthos abhängig vom jeweiligen Substratangebot (siehe auch Zusammenfassung in Allan 1997, Cushing & Allan 2001, Giller & Malmqvist 1998). Vor diesem Hintergrund gliederte sich das Projekt in 2 Phasen:

Im ersten Schritt erfolgte die Ausstattung der Mesokosmen mit gewässertypischen Substraten (Totholz, Makrophyten, Laub, Sand). Im zweiten Schritt geschah die Ansiedlung der an diese Strukturen gebundene Faunenelemente.

Die gewässertypische Ausstattung mit entsprechenden Strukturen wurde dabei als Voraussetzung für eine beschreibbare und reproduzierbare Ansiedlung typischer Taxa betrachtet. Der anschließende Besatz der Mesokosmen mit Makrozoobenthosbesiedlern der Referenzgewässer wurde vermittelt durch natürliche Substratexponate (Laub, Sand, Makrophyten). Sie wurden nach definierter Expositions- und Besiedlungsdauer aus dem Referenzgewässer unmittelbar in die Mesokosmen überführt, wo sie in ähnlicher Lagebeziehung zu den übrigen Substraten befestigt wurden, wie dies zuvor im Freiland der Fall gewesen war. Im Vordergrund stand der Besatz der Mesokosmen-Anlage mit Vertretern der wesentlichen funktionellen Gruppen und die sie bedingenden Strukturen. Voraussetzung für die Genauigkeit der angestrebten Übertragung von der Mesokosmen-Anlage auf die Freilandsituation war demnach eine Annäherung der strukturellen Gegebenheiten in den Mesokosmen an die Referenzgewässergegebenheiten sowie eine Abschätzung der Grenzen der Übertragbarkeit. Die baulichen und betrieblichen Bedingungen der Fließgewässer-Mesokosmen des Umweltbundesamtes sowie grundlegende Entscheidungen über den methodischen Ansatz machten vorab zwei entscheidende Einschränkungen bei der Auswahl der Referenzgewässer und dem Besatz der Mesokosmen erforderlich (Abb. 01):

- Für die Auswahl der Referenzgewässer und ihrer Fauna war entscheidend, dass in der Mesokosmen-Anlage Sommertemperaturen bis etwa 25 °C maximal und im Winter bis etwa 7 °C minimal auftreten können.
- Im Verlauf eines jeden Mesokosmos sollte der im Freiland übliche Wechsel vom beschatteten, totholzreichen zu einem besonnten, makrophytenreichen Fließgewässerabschnitt abgebildet werden.

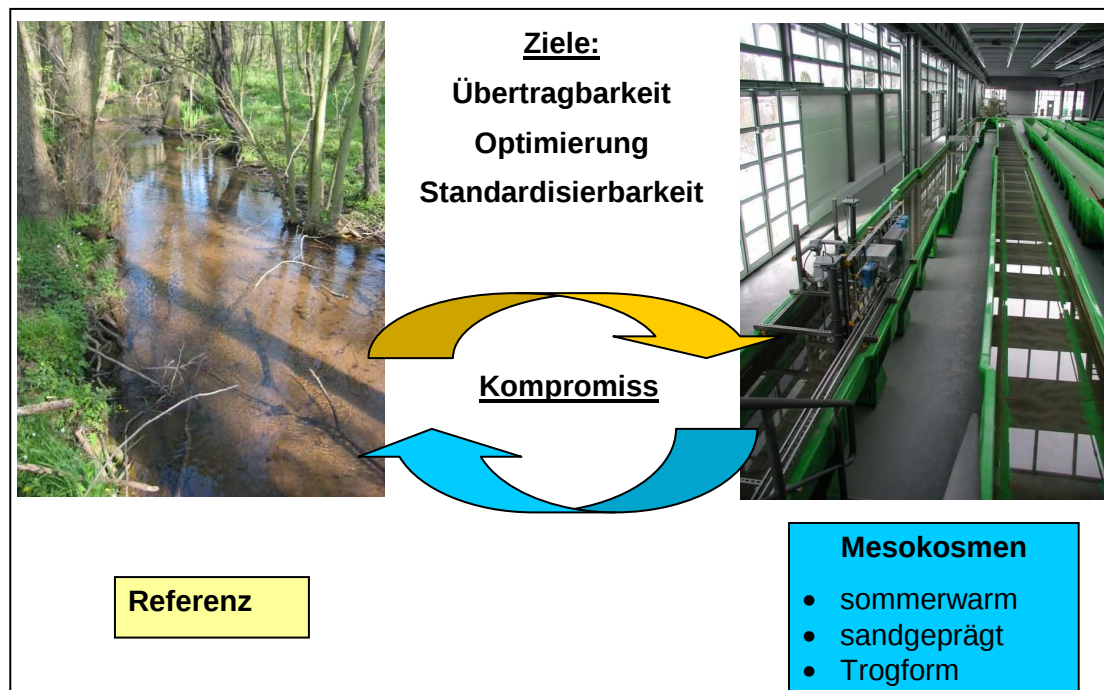


Abb. 0.1: Ziele des Vorhabens sowie bauliche und betriebliche Voraussetzungen in der Mesokosmen-Anlage mit prioritärer Bedeutung für das Gesamtkonzept

Da die einzelnen Fließgewässer-Mesokosmen bei Effektversuchen in der Regel im Kreislauf betrieben werden, ist es unmöglich, die Temperaturbedingungen für beide Simulationssituationen (beschattet und kühl, besonnt und relativ warm) im selben System zur gleichen Zeit abzubilden. Dieser Umstand sowie die geringen Möglichkeiten für eine Temperatursteuerung der Mesokosmen begrenzen die Auswahl der für die Besiedlungsreferenz möglichen Gewässer auf Seeabflusssysteme. Nur in diesen Systemen treten in der Ökoregion 14 natürlicherweise vergleichbare Sommertemperaturen wie in der FSA auf. Folglich ist auch nur in Seeabflusssystemen zu erwarten, dass die gewässertypische Fauna Sommermaxima der Temperatur um 25 °C toleriert.

In Tab. 0.1 sind die zeitliche Abfolge und Dauer der Arbeitsphasen dargestellt. Zudem sind deren Ziele und Methoden kurz beschrieben. Die Gliederung dieses Berichtes lehnt an die thematische Abfolge der Arbeitsphasen an. Die Ergebniskapitel werden jeweils mit einem Fazit abgeschlossen, in denen wichtige Ergebnisse und Folgerungen enthalten sind. Diese Folgerungen werden in Kapitel 8 aufgegriffen. Separat wird weiterführende Literatur benannt, die bei späteren Versuchsplanungen Bedeutung haben könnte (vgl. Kapitel 10).

Tab. 0.1: Abfolge und Dauer der Arbeitsphasen sowie Ziele und Methoden der Untersuchung

Arbeitsphasen	2004				2005				2006			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Auswahl der Referenzgewässer												
Charakterisierung der Referenzgewässer Ziel: Beschreibung der Zielgrößen (physiko-chemische, strukturelle, faunistische) für die Entwicklung in den Mesokosmen Methoden: - Erfassung physiko-chemischer Parameter: saisonale Veränderungen, Tagesgänge - Strukturkartierung: Festlegung der Transekte und Messpunkte Substratkartierung: saisonale Veränderungen der Strukturen Beprobung des MZB: substratspezifische saisonale Besiedlung												
Methodenentwicklung zur Ausstattung und Besiedlung der Mesokosmen Ziele: - Minimierung des Verlustes bei der Ansiedlung des MZB - Maximierung der faunistischen Ähnlichkeit mit der Referenzsituation - Maximierung der etablierten Individuendichten Methoden: - Überprüfung des Methodenfehlers: Mortalitätsraten - Kontrolle des Repräsentativitätsgrades: Vergleich der Besiedlung auf natürlichen Substraten und Besiedlungsangeboten - Möglichkeiten zur Optimierung der Ansiedlungsmethoden												
Etablierung reproduzierbarer Simulationssituationen Methode: - Ausstattung mit Totholz und Makrophyten zur Etablierung von Sohlstrukturen und Substraten												
Kontrolle der Etablierung der Strukturelemente Ziele: - Beschreibung der Annäherung an die Referenzsituation - Charakterisierung der Mesokosmen im Hinblick auf einen „Gleichtakt„ und Stabilität während der Versuchszeiträume Methoden: - Erfassung physiko-chemischer Parameter: saisonale Veränderungen, Tagesgänge - Charakterisierung der Sohlstrukturen: saisonale Veränderungen - Charakterisierung der Substrate: saisonale Veränderungen												
Kontrolle der Ansiedlung und Etablierung des MZB Ziele: - Beschreibung der mittel- und langfristigen substratspezifischen Besiedlung in Abhängigkeit von der Dispersion in den Mesokosmen - Beschreibung des Gleichtakts im Hinblick auf stabile Versuchszeiträume Methode: - Erfassung der Besiedlung der Mesokosmen mit Besiedlungsangeboten												

1 Festlegung des Simulationsgegenstandes und Auswahl der Referenzgewässer

1.1 Vorarbeiten

Ausgangspunkt der Etablierung gewässertypischer Fauneelemente in den Mesokosmen des Umweltbundesamtes bildete eine Analyse des sog. „Simulationsgegenstandes“. Gemäß Ausschreibung und darauf bezogenem Arbeitskonzept wurde als Simulationsgegenstand ein typisches Tieflandgewässer (Ökoregion 14) festgelegt.

Der Referenzbachfindung ging die Entwicklung eines Kriterienkataloges (Tab. 1.1) voran, der als Such- und Bewertungsmatrix die Basis der Gewässerauswahl bildete. Der Suchraum (Umfeld Berlin) und die Kriterienfindung hingen wesentlich von Beschlüssen ab, die im Vorfeld getroffenen wurden. Sie betrafen zum einen den konkreten Gewässertyp, der als Simulationsgegenstand betrachtet werden sollte (sublacustrische Systeme). Zum anderen wurde die Zahl der zu simulierenden Ausprägungsformen festgelegt, deren Realisierung in der Mesokosmen-Anlage angestrebt werden sollte (je Mesokosmos Simulation sowohl einer beschatteten als auch einer unbeschatteten Situation).

Die festgelegten Kriterien nehmen im Weiteren Bezug auf die Projektziele sowie die unmittelbaren Vorgaben durch bauliche und betriebliche Eigenschaften der Mesokosmen-Anlagen (Tab. 1.1). Daraus ergab sich die Notwendigkeit, ausschließlich Fließgewässer mit sanddominierter Sohle in diese Vorauswahl einzubeziehen. Gemäß der aktuellen Typisierung von Fließgewässern entsprach dies dem Typ Sandgeprägter Bach der Sander und sandigen Aufschüttungen (Sommerhäuser & Schuhmacher 2001)

Ausgehend von den in Tab. 1.1 zusammengestellten Kriterien wurde eine Recherche behördlich verfügbarer Daten und Karten durchgeführt (vgl. LUA Brandenburg 1996). Weitere Publikationen und gutachterlicher Materialien zur Charakterisierung der Beschaffenheit der Gewässer Brandenburgs ergänzten die Datengrundlage (LUA Brandenburg 2001, LUA Brandenburg 2002, Scharf & Braasch 1997a, Scharf & Braasch 1997b, Scharf & Braasch 1998, Scharf & Braasch 1999, Scharf & Braasch 2000 Tab. 1.2). Diese Recherche diente als Basis für eine Vorauswahl potenziell geeigneter Gewässer. Daten zur Umfeldnutzung sowie zur Gewässer- und zur Strukturgüte lieferten Hinweise auf eventuelle Belastungsfaktoren (z.B. Pestizide aus landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Intensivnutzung, Einleitung organisch belasteten Wassers oder morphologische Veränderungen). Gewässer mit Strukturgüte schlechter als GK III, Gewässergüte schlechter GK I-II und Schutzwürdigkeitsgraden schlechter als III wurden in dieser Vorauswahl nicht berücksichtigt.

Tab. 1.1: Vorgaben und Kriterien für die Auswahl der Referenzgewässer

	Kriterien für 1. Referenzbach	Kriterien für 2. Referenzbach
Vorgaben durch Mesokosmen-Charakter	sandgeprägt beschattet ("Wald") sommerkalt (14 – 16 °C)	sandgeprägt unbeschattet ("Wiese") sommerwarm - Seeabfluss
Strukturgüte	II (III)	III
Gewässergüte	I-II, keine toxischen Belastungen, Sauerstoffsättigung niemals < 60%	I-II, keine toxischen Belastungen, Sauerstoffsättigung niemals < 60%
Schutzwürdigkeit	I-II	III
Gewässertyp	sandgeprägt 2-3 m breit, permanent, 0,3 m Wasserstand MQ, 0,5-1 m Wasserstand MHQ Ufer flach bis steilwandig Bereich fluviatiler Ablagerungen flaches Muldental sandig (ggf. Niedermoorauflage) ursprüngl. Erlenbrüche mögl. Naturnaher Totholzanteil lokale temporäre Feinmaterialablagerungen	sandgeprägt 2-3 m breit, permanent, 0,3 m Wasserstand MQ, 0,5-1 m Wasserstand MHQ Ufer flach bis steilwandig Bereich fluviatiler Ablagerungen flaches Muldental sandig (ggf. Niedermoorauflage) ursprüngl. Erlenbrüche lokale temporäre Feinmaterialablagerungen
Umfeldnutzung	Wald (evtl. auch mit kleinen Flächen Grünlandwirtschaft) Siedlungen und Gehöfte diffuse Belastungsquellen keine industrielle oder kommunale Klärswasser-einleitungen möglichst naturnaher Verlauf keine Mahd / Räumung keine Querbauwerke	Ackerbau oder Grünlandwirtschaft (evtl. auch mit Erlenbruchresten oder kleinen Flächen extensiver Umfeldnutzung) Siedlungen und Gehöfte diffuse Belastungsquellen keine industrielle oder kommunale Klärswassereinleitungen begradigte und eingetieftete Strecken intensive Mahd / Räumung Querbauwerke
Logistik	Anfahrtszeit ca. 1 ± Stunden Motorisiert mindestens teilweise gute Erreichbarkeit	Anfahrtszeit ca. 1 ± Stunden Motorisiert mindestens teilweise gute Erreichbarkeit

Die als eine Bewertungsgrundlage herangezogene Kategorie Schutzwürdigkeit basiert auf den Einstufungskriterien des LUA Brandenburg (Abb. 1.1). Bei den vom LUA Brandenburg zur Verfügung gestellten Daten handelte es sich um eine Datenbank der sensiblen Fließgewässer Brandenburgs. Darin enthalten waren eine Liste aller erfassten Gewässer, Angaben zur Lage der untersuchten Abschnitte, die jeweilige Bewertung und die zu Grunde liegenden Artenlisten. Die Bewertungskriterien und damit die Erläuterungen zu den Bewertungsstufen werden in Abb. 1.1 dargestellt (Braasch, Scharf und Knuth 1993). Tab. 1.2 gibt eine Übersicht über die nachfolgenden Arbeitsphasen bis zur Referenzgewässerfindung, der jeweiligen Datengrundlage und den Ergebnissen der einzelnen Arbeitsschritte.

a) Repräsentanz des Biotoptyps (R/Bt)	b) Sensibilitätsstufen (S)
Stufe 1 - sehr selten <10 Fließgewässer (Str, Epot, FHRh) 2 - selten >10 Fließgewässer (FPot) 3 - nicht häufig < 50 Fließgewässer (BMRh) 4 - häufig < 100 Fließgewässer (BMRh) 5 - sehr häufig > 100 Fließgewässer (Kr, BPot) Kriterien der Sensibilität (S) 1. Artenvielfalt rheotypischer Arten (R/D) Stufe 1 - sehr groß > 30 Arten 2 - groß 15 - 30 Arten 3 - mäßig 10 - 15 Arten 4 - gering 5 - 9 Arten 5 - sehr gering 1 - 4 Arten 2. Repräsentanz gefährdeter Arten (R/A) Stufe 1 - Art/Arten in < 10 Fließgewässern 2 - Art/Arten in 11 - 20 Fließgewässern 3 - Art/Arten in 21 - 50 Fließgewässern 4 - Art/Arten in 51 - 100 Fließgewässern 5 - Art/Arten in > 100 Fließgewässern	3 (Str, Epot) und 1 (FHRh); Fischwanderstraßen 1. Ranges; Biotop-Verbundsystem 1. Ranges 5 - Fließgewässer mit eingeschränktem Schutzwert; der Biotoptyp ist häufig bis sehr häufig (R/Bt = 4 - 5); es sind nur wenige, nicht gefährdete rheotypische Arten vorhanden; das Fließgewässer ist in einem kritischen Belastungszustand und/oder die Strömungsgeschwindigkeit ist minimal 2 - Fließgewässer unterschiedlichen Biotoptyps mit hohem Schutzwert; die Artenvielfalt ist hoch (R/D = 2), die Sensibilitätswerte (S) liegen zwischen 1 - 2; als Fischwanderweg bedeutsam; die Repräsentanz gefährdeter/seltener Arten liegt zwischen 1 - 2; Fließgewässer (R/A) mit dieser Merkmalskombination sind unersetzbar. 3 - Fließgewässer mit erhöhtem Schutzwert; der Biotoptyp ist zerstreut bis sehr häufig (R/Bt = 3 - 5); die Biozönose (Zoozönose) weist eine mittlere Artenvielfalt (R/D = 3), gefährdete Arten kommen vor [R/A = 2 - (4)]. Im Biotop-Verbundsystem durch gleichrangige Fließgewässer bei Eingriffen ersetzbar. 4 - Fließgewässer mit Schutzwert; der Biotoptyp ist zerstreut bis sehr häufig (R/Bt = 3 - 5); die Biozönose (Zoozönose) weist eine geringe Artenvielfalt auf (R/D = 4); gefährdete Arten treten nur vereinzelt auf (R/A = In der Regel sind aktuelle Störfaktoren wirksam und/oder die Fließgeschwindigkeit ist gering. Schutzwert (SchW) Stufe 1 - Fließgewässer mit höchstem Schutzwert; Biotoptypen (Str, Epot, FHRh) sind nur in wenigen Beispielen im Land Brandenburg vorhanden; sie sind unersetzbar; die Sensibilitätswerte (S) liegen zwischen 2 - Legende: R/Bt = Repräsentanz des Biotoptyps R/D = Artenvielfalt rheotypischer Arten R/A = Repräsentanz gefährdeter Arten S = Sensibilität SchW = Schutzwert Kr = Krenal (Quelle, Quellbachbereich) BMRh = Bach-Metarrhithral (mittlere Forellenregion) BHRh = Bach-Hyporhithral (untere Forellen-, Äschenregion) BPot = Bach-Potamal (Brassenregion, sommerwarmer Bach) FPot = Fluß-Potamal (Brassenregion, sommerwarmer Fluß) FHRh = Fluß-Hyporhithral (Fluß-Äschenregion) EPot = Epipotamal (Barbenregion) Str = Strom

Abb. 1.1: Kriterien für die Bewertung der Sensibilität Brandenburgischer Fließgewässer nach Braasch et al. (1993). A) Klassengrenzen für die Einstufung der Schutzwürdigkeit. B) Definitionen der Sensibilitäts- und Schutzwertstufen

Tab. 1.2: Ablauf, Datengrundlage und Ergebnisse der Referenzgewässerauswahl

Arbeitsschritt	Material	Resultat → Erkenntnis
1 Vorauswahl der Gewässer auf Basis der in Tab 1.1 dargestellten Kriterien	Gewässergütekarte Brandenburg, Daten zu den „sensiblen Gewässern Brandenburgs“ (LUA BB)	Eingrenzung auf 13 Gewässer (Landkreise: Potsdam Mittelmark, Oberhavel, Barnim, Dahme-Spreewald)
2 Begehung und Bewertung der Gewässer, Datenerhebung/Überblick	Bereisung, Begehung, Fotodokumentation, Erfassung der Gewässersituation Wichtiges Kriterium: Wassertemperatur in der FSA im Sommer >25 °C	Bestandserfassung auf Basis des Kriterienkatalogs: → Mehrzahl der Gewässer sommerkalt → Besiedlung durch kaltstenotherme Organismen → nur im Sommer wären Populationen in der FSA gefährdet → Gewässer der Vorauswahl als Referenz ungeeignet
3 Eingrenzung der Vorauswahl auf Seeabflüsse	Daten zu den „sensiblen Gewässern Brandenburgs“ (LUA BB)	Eingrenzung auf 13 Gewässer (Landkreise: Barnim, Dahme-Spreewald, Oder-Spree, Märkisch Oderland)
4 Begehung und Bewertung der Gewässer, Datenerhebung/Überblick	Bereisung, Begehung, Fotodokumentation, Erfassung der Grundsituation	Bestandserfassung mit geringen Abweichungen vom Kriterienkatalog

1.2 Auswahl und Festlegung der Referenzgewässer

Ausgangspunkt für das methodische Konzept, die Auswahl der Referenzgewässer und die dortigen Bearbeitungsabschnitte war die detaillierte Definition des Simulationsgegenstandes (vgl. Einleitung). Unter dem im Projekttitel als ‚Norddeutscher Tieflandfluss in landwirtschaftlich genutzten Gebieten‘ bezeichneten Gewässertyp wurde ein Tieflandbach 1. oder 2. Ordnung festgelegt. Es ist davon auszugehen, dass sowohl die Charakterisierung dieser Gewässer als auch die Übertragung der typischen Strukturen und Zönosen auf die Mesokosmen hier die größte Effizienz aufweisen wird. Entscheidend sind dabei die Eckwerte der Mesokosmen, insbesondere

- Größe,
- Abflussverhältnisse (simulierbare Amplituden und Extremsituationen),
- Quantitatives Verhältnis der beiden Lebensräume Benthos und fließende Welle im Querschnitt.

Diese abiotischen und biotischen Faktoren sind den Gewässern 1. oder 2. Ordnung am ähnlichsten. Entsprechend ist anzunehmen, dass die mögliche Besiedlung der Mesokosmen und deren saisonale und interannuelle Dynamik den Bedingungen in diesen Gewässern nahe kommen können.

Nach der ersten Begehung von 13 Gewässern der Vorauswahl wurde das Bardenitzer Fließ (Zufluss der Nieplitz östlich Treuenbritzen, Landkreis Potsdam Mittelmark) als Struktur-Referenz für die Simulationssituation „beschattet und reich an Totholz“ ausgewählt (Abb. 1.2 und 1.6).



Abb. 1.2: Bardenitzer Fließ (Treuenbritzen, Landkreis Potsdam Mittelmark), Frühsommeraspekt

Das Bardenitzer Fließ liegt in einem altglazialen Moränengebiet und fließt über große Strecken in einem naturnahen, bewaldeten oder extensiv genutztem Umfeld. Im hier relevanten Abschnitt des Oberlaufs ist es nicht begradigt, nicht eingetieft, reich an Totholz und weist kein Ausbau- oder Unterhaltungsprofil auf. Das ursprüngliche Quellgebiet ist heute durch extensive

Mähwiesennutzung und teilweise durch Ackerbau gekennzeichnet. Der gesamte Verlauf oberhalb der Referenzstrecke wird von einem sumpfig-quelligen Mischwald gesäumt, bevor der Bach zu einem stark beschatteten Mühlenteich aufgestaut wird.

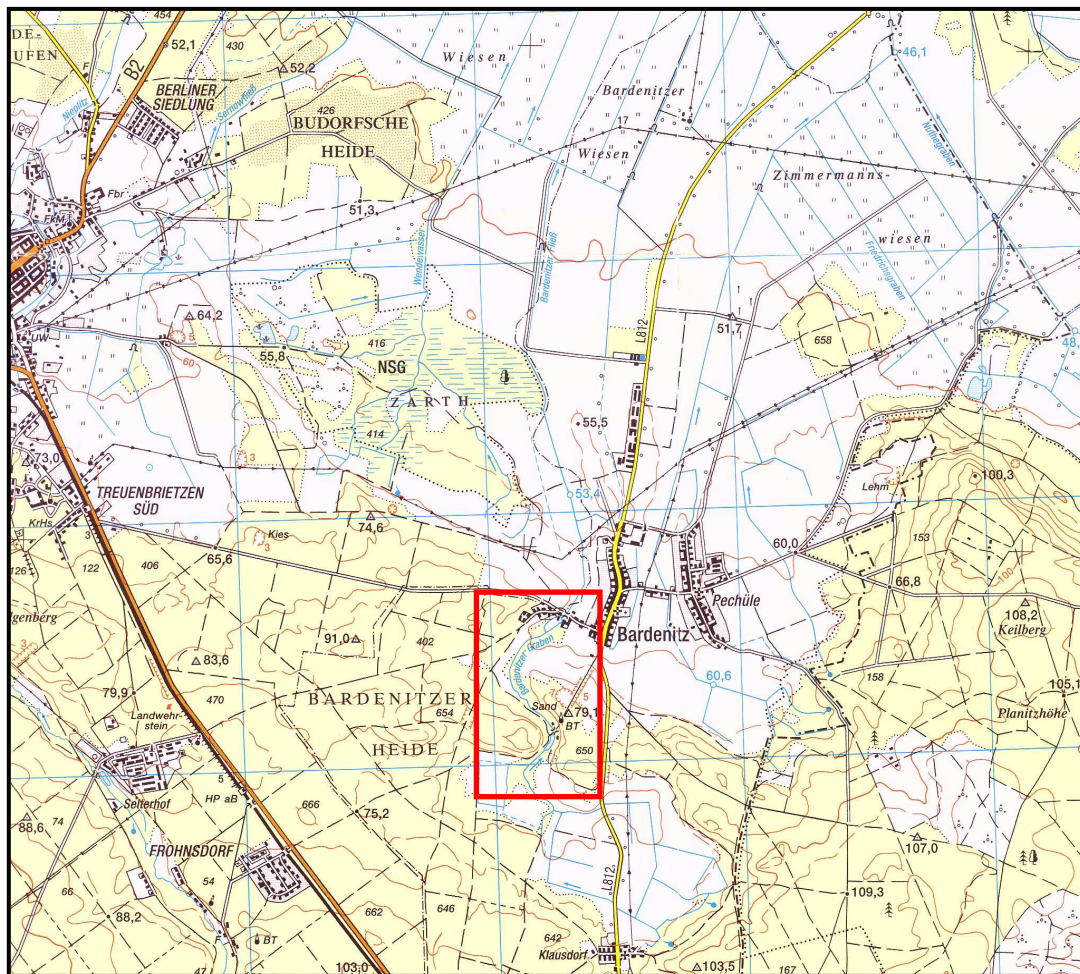


Abb. 1.3: Lage des Untersuchungsgebietes am Bardenitz Fließ

Etwa 200 m unterhalb des Teichabflusses beginnt die ca. 800 m lange Referenzstrecke (Abb. 1.3). Scharf und Braasch (1999) ordnen das Bardenitz Fließ in diesem Abschnitt der Schutzwertstufe 2 zu (Abb. 1.1). Zur Gewässergüte lagen keine Angaben vor. Da die Nieplitz in die Gewässergüteklasse II eingestuft war und die Analyse der Wasserqualität und die vom LUA BB zur Verfügung gestellte Taxaliste auf eine vergleichbare Einstufung hinwiesen, wurde das Kriterium der Gewässergüte als erfüllt angesehen.

Allerdings wurde für das Bardenitz Fließ bereits nach ersten Einschätzungen der Umfeldgegebenheiten angenommen, dass es sich um ein sommerkaltes Gewässer handelte. Diese Annahme wurde durch spätere Messungen bestätigt (vgl. Kapitel 2.3.2). Da in der Hallenanlage im Sommer Wassertemperaturen von ca. 25 °C regelmäßig auftreten können (vgl. Einleitung), musste berücksichtigt werden, dass der im Bardenitz Fließ zu erwartende hohe Anteil kaltstenothermer Organismen bei Ansiedlung in den Mesokosmen im Sommer stark gefährdet wäre. Das Bardenitz Fließ diente deshalb im Weiteren ausschließlich als Strukturreferenz für die Ausstattung der Fließgewässer-Mesokosmen mit Totholz und weiteren Sohlstruktu-

ren im beschatteten Abschnitt der Rinnen. Von einer Übertragung der Fauna aus dem Bardenitzer Fließ in die Mesokosmen-Anlage wurde abgesehen.

Die Ansiedlung der Fauna in den Mesokosmen konnte mit Blick auf mögliche Temperaturmaxima folglich nur aus einem unbeschatteten, sommerwarmen sublacustrischen Gewässer heraus erfolgen. Es sollte zugleich als Referenz für die strukturellen Gegebenheiten einer unbeschatteten, makrophytenreichen Bachsituation dienen (vgl. Einleitung und Abb. 1.6). Für die zweite Vorauswahl der Gewässer wurden deshalb ausschließlich sommerwarme Seeabflüsse in Betracht gezogen.

Bei den Begehungen weiterer 13 Gewässer wurde deutlich, dass alle in der Datenbank vorhandenen Seeabflüsse von den Kriterien ‚Schutzwertstufe 1-2‘ und ‚Strukturgüte II (III)‘ abwichen. Schließlich wurde das Barolder Fließ (bei Lamsfeld/Lieberose, Landkreis Dahme-Spreewald) als Referenzgewässer (Simulationssituation „unbeschattet und makrophytenreich“ Abb. 1.4) ausgewählt. Obwohl Scharf und Braasch (2000) diesen Seeabfluss lediglich der Schutzwertstufe 3 zuordnen (Grundlage Abb. 1.1), bildete dieser Bach einen tolerablen Kompromiss. Für die Auswahl als Referenzgewässer spricht zudem die Einstufung in die Gewässergüteklasse II im Rahmen der Bestandsaufnahme zur WRRL (http://luaplms01.brandenburg.de/wrrl_c_www). Das flache Muldental zwischen Schwielochsee, Lieberose und Spreewald liegt im Wald- und Seengebiet und entwässert den Großen Mochowsee nach Nordosten (Abb. 1.5). Nach Zusammenfluss mit dem Lieberoser oder Doberburger Fließ speist es den Schwielochsee. Das ehemalige Niedermoortal des Barolder Fließ durchfließt jungglaziale Moränengebiete und wird heute durch zahlreiche Drainagegräben entwässert. Es wird extensiv genutzt (überwiegend Mähwiesennutzung, teilweise Ackerbau) und ist im weiteren Umfeld durch waldwirtschaftliche Nutzung (Kiefernforste), kleine Ortschaften und Gehöfte geprägt. Aufgrund der vergleichsweise geringen Grundwasserbeeinflussung und der weiträumig offenen Landschaftsstruktur wurde angenommen, dass hier im Sommer deutlich höhere Wassertemperaturen auftreten, als im Bardenitzer Fließ und somit die Fauna an sommerwarme Gewässerbedingungen adaptiert ist.



Abb. 1.4: Barolder Fließ (Lamsfeld/Lieberose, Landkreis Dahme-Spreewald, Frühjahrsaspekt)

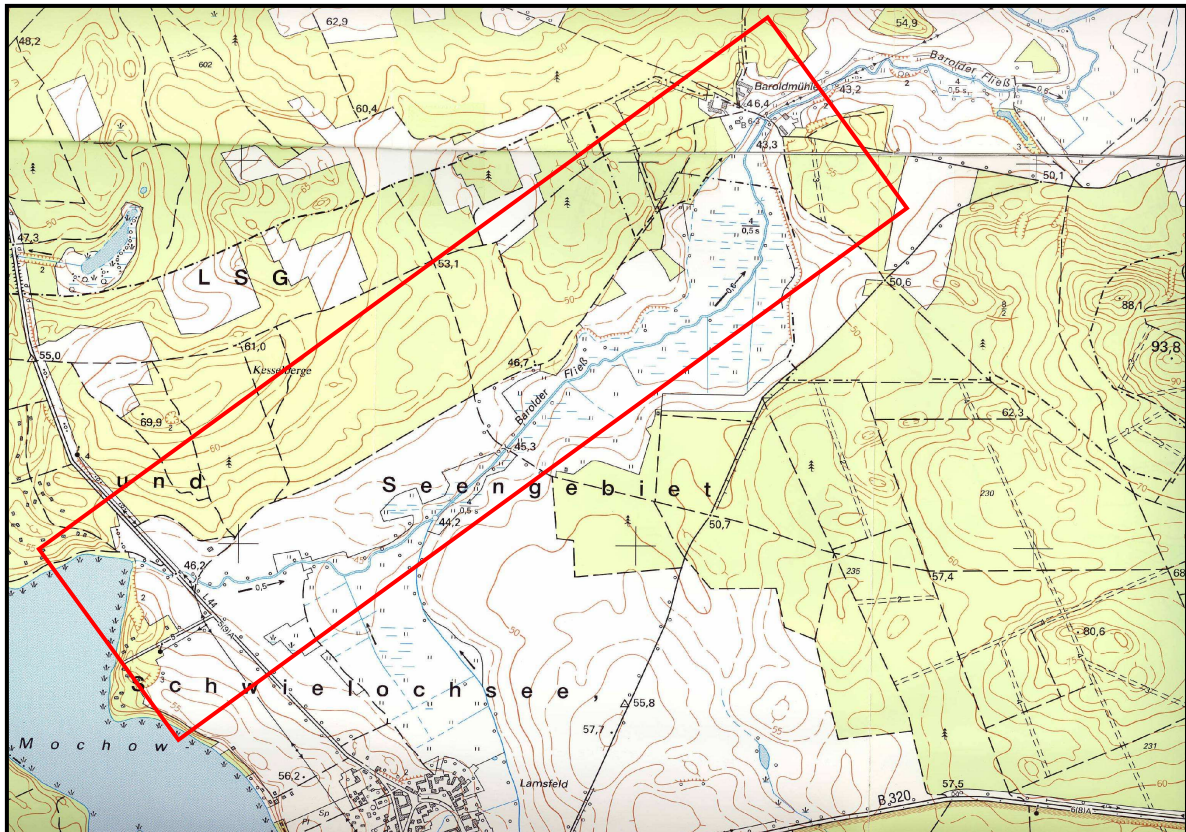


Abb. 1.5: Lage des Untersuchungsgebietes am Barolder Fließ

Abb. 1.6 stellt dar, welche Kompromisse aufgrund der baulichen und betrieblichen Voraussetzungen der Mesokosmen gefunden wurden. Die Abbildung zeigt schematisch das Prinzip der Etablierung von Struktur, Totholz, Makrophyten und Fauna in beiden Abschnitten der Mesokosmen (hellblau: der beschattete, totholzreiche Mesokosmen-Abschnitt T in Anlehnung an das Bardenitzer Fließ; gelb: der unbeschattete, makrophytenreiche Mesokosmen-Abschnitt M (hier künstlich beleuchtet), dessen Ausstattung an das Barolder Fließ anlehnt).

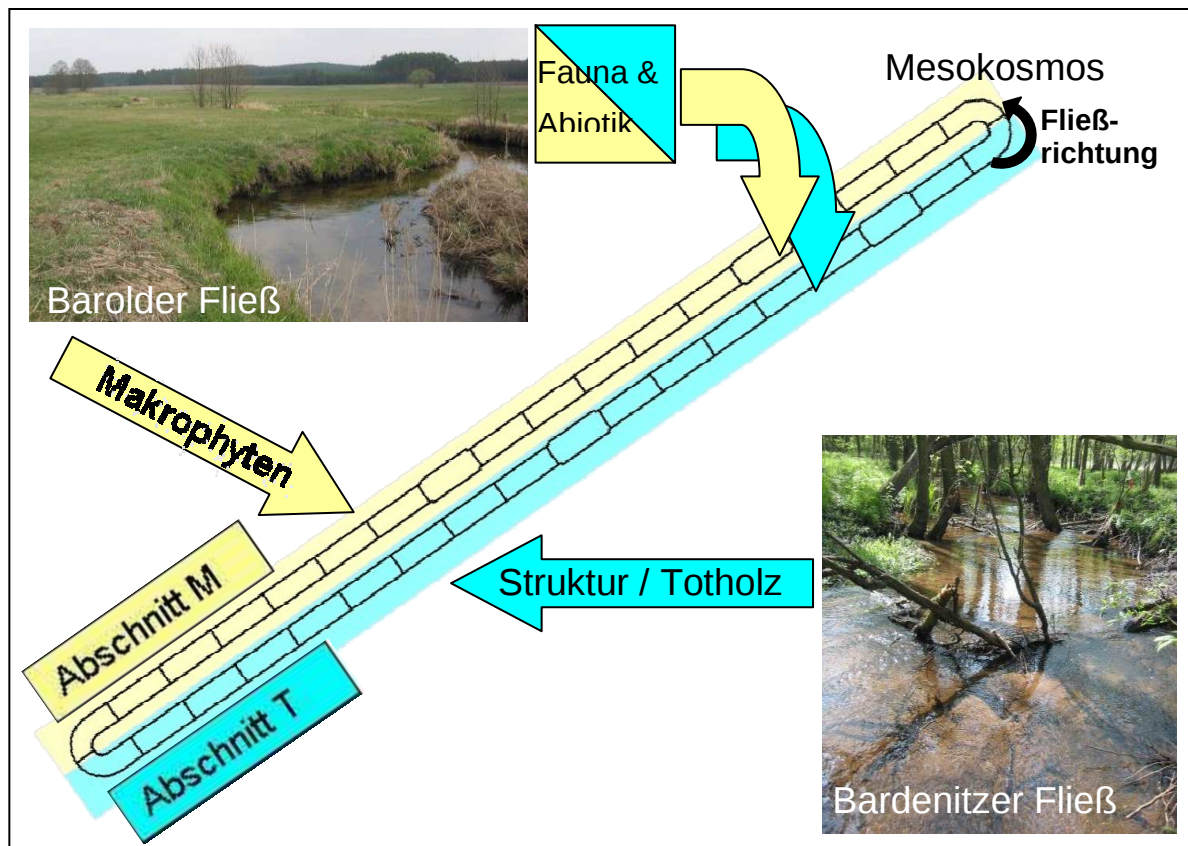


Abb. 1.6: Konzept zur Übertragung von Strukturen, Substraten und Fauna abhängig von den Referenzsituationen

2 Charakterisierung des Simulationsgegenstandes

Das primäre Ziel dieser Arbeitsphase bestand in der möglichst genauen Beschreibung der strukturellen und abiotischen Gegebenheiten in ausgewählten Referenzgewässerabschnitten. Diese teilweise GIS-gestützte Datenerfassung und -analyse bildete die Basis für die Methodentwicklung der folgenden Arbeitsschritte:

- Etablierung gewässertypischer Strukturelemente in den Mesokosmen
- Erfassung der substratspezifischen Besiedlung
- repräsentative Entnahme der Makroinvertebratenfauna aus dem Referenzgewässer
- Überprüfung des Besatzerfolges

Aufbauend auf einer Grobcharakterisierung der Gewässer erfolgte eine einmalige Strukturkartierung in Anlehnung an das Standardverfahren zur Bewertung der Gewässerstrukturgüte (Verfahren: LUA NRW, 1998). Die Vorgehensweise sollte eine sachlich begründete Auswahl repräsentativer Abschnitte für die Einrichtung der Dauermessstellen und Transekte ermöglichen. Ihr folgte eine detaillierte Erfassung der biotischen und abiotischen Bedingungen (physiko-chemische Parameter, Substrat- und Sohlstrukturen, Makrozoobenthos) und ihrer saisonalen Dynamik in den ausgewählten Transekten der Referenzgewässer. Die Kartierung der in den Gewässern vorkommenden Substrat- und Sohlstrukturen wird im Weiteren als Substratkartierung bezeichnet und bildet mit den Beprobungen des Makrozoobenthos den Abschluss dieser Arbeitsphase (Abb. 2.1).

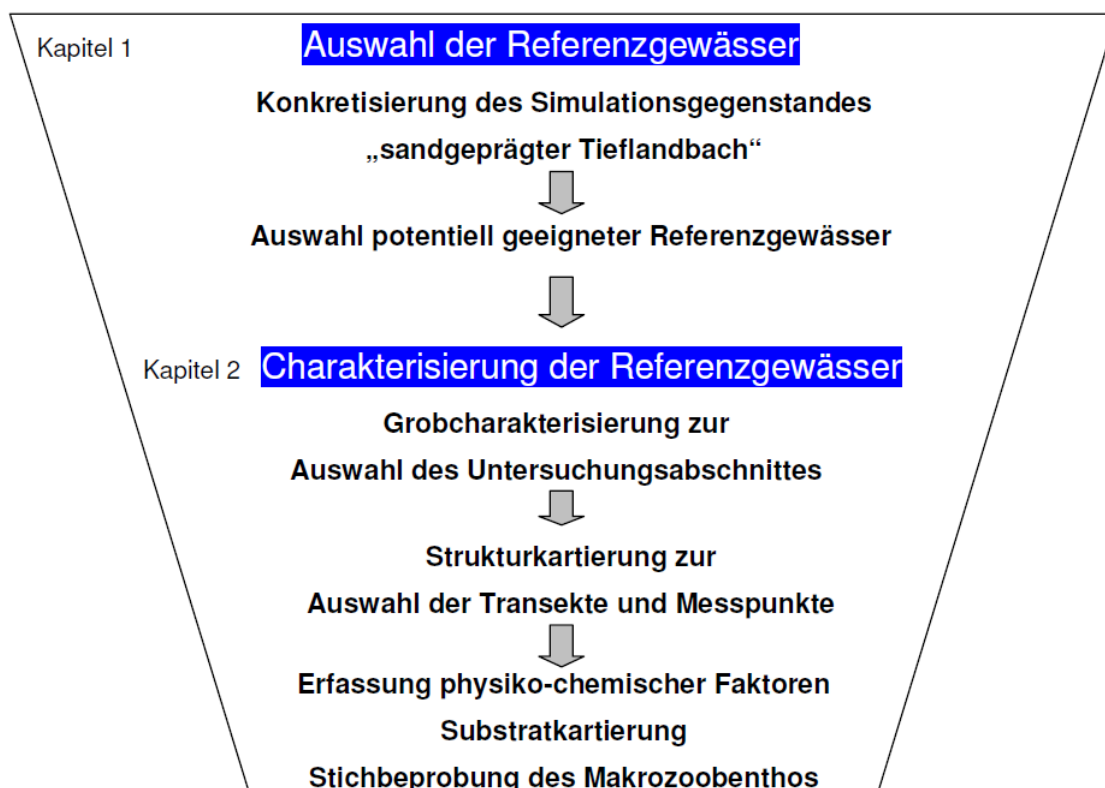


Abb. 2.1: Arbeitsschritte zur Charakterisierung der abiotischen und biotischen Bedingungen des Referenzgewässers

2.1 Grobcharakterisierung der Gewässer und allgemeine Vorarbeiten

Für die beiden Referenzgewässer wurde vom Landesumweltamt Brandenburg (LUA) eine artenschutzrechtliche Ausnahmegenehmigung nach § 43 (8) Bundesnaturschutzgesetz zur Erfassung (Fang) von Makroinvertebraten eingeholt. Auf Basis der behördlichen Daten, einzelner Publikationen sowie eigener Fotos und Notizen im Verlauf mehrerer Begehung erfolgte eine grobe Erfassung der Bedingungen im Längsverlauf der sublacustrischen Gewässerverläufe des Bardenitzer und des Barolder Fließ. Die zuständigen Ämter für Natur- und Umweltschutz, Fischereibehörden, Forstämter und Anglerverbände wurden vorab über die geplanten Aktivitäten am jeweiligen Gewässer in Kenntnis gesetzt. Mit den zuständigen Gewässerunterhaltungsverbänden, insbesondere am Barolder Fließ, wurde vereinbart, die Unterhaltung in den Untersuchungsabschnitten zu unterlassen. Sie hätten die geplanten Experimente stören können.

2.2 Gewässerstrukturkartierung

2.2.1 Methode

Gemäß Projektantrag sollte der Festlegung geeigneter Daueruntersuchungsstellen in „homogenen Abschnitten“ des Referenzgewässers eine Strukturkartierung vorausgehen. Es sollten 2 Abschnitte festgelegt werden, die unterschiedliche Belastungsformen repräsentieren (zu den Typen siehe Projektantrag Seite 18). Diese Belastungsformen wurden schon in der Auswahl der Referenzgewässer berücksichtigt (siehe Kapitel 1). Da für das Land Brandenburg zum Zeitpunkt der Untersuchungen kein Verfahren zur Detailkartierung der Gewässerstruktur etabliert war, wurde das für Nordrhein-Westfalen entwickelte Verfahren (LUA NRW, 1998) verwendet. Eine Übertragung dieses Verfahrens auf die Gewässer in Brandenburg wurde für diesen Zweck als möglich erachtet, da Tieflandgewässer in Nordrhein-Westfalen häufig sind und dementsprechend detailliert berücksichtigt werden.

Mit Hilfe dieser Strukturkartierung erfolgt eine standardisierte Erhebung im Gewässer und in seinem Umfeld. Anhand eines vorgegebenen Parametersystems kann darauf eine Bewertung aufgebaut werden. Es wird festgestellt, welche der definierten Zustandsmerkmale an dem kartierten Gewässer vorhanden sind. Die Abschnittslänge beträgt gemäß Kartiervorgabe 100 m oder ein ganzzahliges Vielfaches davon, jedoch nicht mehr als 1 km (LUA NRW, 1998). Das Leitbild für die Bewertung stellt der heutige potentiell natürliche Gewässerzustand (hpnG) dar (Zustand, der sich nach Aufgabe der Nutzungen in und am Gewässer und seiner Aue sowie nach Entnahme sämtlicher Verbauungen einstellen würde). Der Bewertungsmaßstab dieses Verfahrens orientiert sich am gewässertypspezifischen Leitbild, das vor Beginn der Analyse festzulegen ist. Die Klassen der Strukturgüte ergeben sich aus dem Grad der Entfernung vom Leitbild und gliedern sich in eine siebenstufige Skala von naturnah (Klasse 1) bis übermäßig geschädigt (Klasse 7) (LUA NRW, 1998). Die Strukturgütekartierung wurde in beiden Referenzgewässern im April 2004 durchgeführt. Abweichend von den Vorgaben des Standardverfahrens wurden im Hinblick auf die Umsetzung der Projektziele nicht exakt 100 m lange Strecken kartiert, sondern in homogene Abschnitte unterteilt, in denen die Ausprägung von maximal 3 Parametern um höchstens 1 Klasse variierte (Angaben zu den Abschnitten vgl. Ergebnisteil).

2.2.2 Ergebnisse

Barolder Fließ

Die Strukturkartierung erfolgte wie oben beschrieben in 12 aufeinander folgenden Abschnitten zusammengefasst (Tab. 2.1). Darauf aufbauend wurden die unterschiedlichen Gewässerabschnitte zusammengefasst und die für eine Dauerbeobachtung geeigneten homogenen Einheiten ausgewählt (= „Aggregierte Abschnitte“).

Beobachtungsabschnitt 1 (Abb. 2.2, Abb. 2.3) am Barolder Fließ liegt direkt unterhalb des Sees (Abfluss bis zur Einmündung des von Süden kommenden Baches). Er ist durch Erlengalerien beidseitig beschattet, stark eingetieft und weist ein durch regelmäßige Unterhaltung geprägtes Kastenprofil (3-4 m Breite, 0,5 m Tiefe) auf. Das unmittelbare Umfeld ist durch Ackerbau geprägt. Die Sohle ist im Sommer durch Sand und FPOM-Ablagerungen gekennzeichnet. Der Abschnitt entspricht zwar nicht der Simulationssituation „beschatteter, totholzreicher Waldbach“, trotzdem erfolgte hier die Erfassung der physiko-chemischen Parameter (P 1, Abb. 2.2) und die Beprobung des MZB (MZB T 1, Abb. 2.2). Dieser Abschnitt kann für die Entnahme des in den Mesokosmen-Abschnitt T (totholzreich und beschattet) zu überführenden MZB dienen. Zudem ist ein Vergleich zum stromabwärts anschließenden Beobachtungsabschnitt 2 möglich (Abb. 2.2, Abb. 2.3).

Das Umfeld des Abschnitts 2 ist in erster Linie durch extensiv genutzte Mähwiesen geprägt. Wenige Einzelbäume liefern punktuelle Beschattung. Das Gewässer ist etwas weniger eingetieft, weist aber auch hier ein deutlich von Unterhaltungsmaßnahmen geprägtes Trapez- bis Kastenprofil (3-4 m Breite, 0,4 m Tiefe) auf. Die Sohle ist im Sommer durch starkes Makrophytenwachstum gekennzeichnet. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt hier im Mittelstrom durchschnittlich 0,25 m/s. Abschnitt 2 im Barolder Fließ entspricht der Simulationssituation „unbeschatteter, makrophytenreicher Wiesenbach“ (vgl. Kapitel 1). Deshalb erfolgte hier neben der stichprobenartigen Beprobung des Makrozoobenthos (MZB T 2) die Erfassung aller Habitatfaktoren (physiko-chemische Parameter (P 2), Pegel (P 2), Strömung, Substrat- und Sohlstrukturen (T 1-4)). Die Lage der jeweiligen Transekte ist in Abb. 2.2 dargestellt.

Tab. 2.1: Ergebnisse der Strukturkartierung am Barolder Fließ

Strukturparameter		Aggregierter Abschnitt 1	Aggregierter Abschnitt 2
Laufentwicklung	Laufkrümmung Längsbänke Besondere Laufstrukturen Krümmungserosion	gestreckt - schwach geschwungen keine eine je Detailabschnitt vereinzelt schwach	gestreckt - mäßig geschwungen keine keine vereinzelt schwach
Längs-profil	Querbänke Strömungsdiversität Tiefenvarianz Querbauwerke Verrohrung Rückstau Strömungsbild	keine gering - mäßig gering - mäßig Wehr mit Absturz bei Seeabfluss keine kein glatt - geripfelt	keine keine - gering keine - gering keine keine kein glatt - geripfelt
Sohl-struktur	Sohlensubstrat Substratdiversität Besondere Sohlenstrukturen Bes. Belastungen (Sohle) Sohlenverbau Makrophyten	Sand, Detritus gering zwei je Detailabschnitt (Wurzelfläche) keine Beton bei Durchlass unter Straße emerse Makrophyten (Randbereiche)	Sand, Detritus gering Ansätze keine keine submerse Makrophytenpolster
Querprofil	Profiltyp Profiltiefe Breitenerosion Breitenvarianz Durchlässe	Kastenprofil sehr tief schwach gering - mäßig unter Straße (strukturell nicht schädlich)	Kastenprofil tief schwach gering unter Brücke (nicht schädlich)
Ufer-struktur	Uferbewuchs Uferverbau Besondere Uferstrukturen Bes. Belastungen (Ufer)	bodenständige Galerie (Erlen) Beton unter Straßenbrücke zwei je Detailabschnitt (Prallbaum, Äste) keine	Krautflur kein keine keine
Gewässer-umfeld	Flächennutzung Schädliche Umfeldstrukturen Besondere Umfeldstrukturen Gewässerrandstreifen	Grünland befestigte Verkehrswege (Querung) keine Saumstreifen	Grünland unbefestigter Weg (Querung) 1 Weiher keine (direkt Mahdwiese)

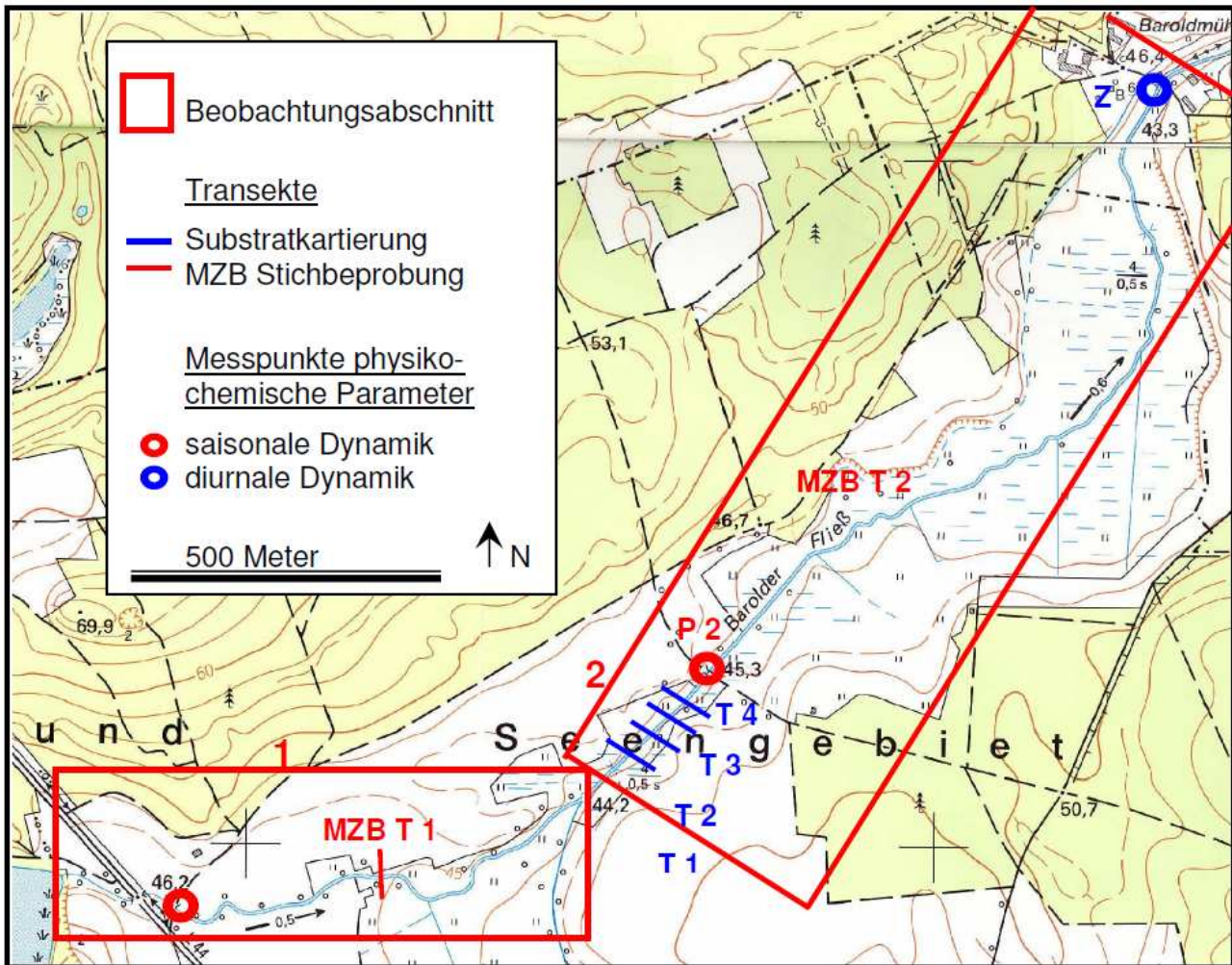


Abb. 2.2: Lage aller Untersuchungsstellen am Barolder Fließ

Entsprechend den für Brandenburg beschriebenen morphologischen Bachtypen (LUA Brandenburg, 2001) gilt für das Barolder Fließ als natürlicher Referenzzustand der „sanddominierte Bach der alt- und jungglazialen Mulden- und Sohlentäler“. Eine eindeutige Leitbilddefinition ist schwierig, da für diesen Gewässertyp in Brandenburg 12 morphologische Referenzzustände (LUA Brandenburg, 2001) beschrieben wurden. Das Barolder Fließ wird hier als mäßig bis deutlich verändert (Strukturgüteklasse III bis IV) eingestuft. Ausschlaggebend sind dabei das Fehlen von Laufstrukturen, Sohlenstrukturen und Totholz, die geringe Laufkrümmung, Strömungsdiversität, Breiten- und Tiefenvarianz, Substratdiversität und starke Eintiefung, die vermutlich durch die jährliche Mahd und Räumung im Gewässerbett hervorgerufen werden.



Abb. 2.3: Frühjahrsaspekte des Barolder Fließ im Beobachtungsabschnitt 1 (linke Reihe) und 2 (rechte Reihe)

Bardenitzer Fließ

Die Strukturkartierung am Bardenitzer Fließ erfolgte in 6 aufeinander folgenden Abschnitten (Tab. 2.2). Das sandgeprägte Gewässer hat flache und steilwandige Ufer, ist 3-4 m breit und mit einem durchschnittlichen Wasserstand von 0,3 m bei Mittelwasser permanent fließend (ca. 0,25 m/s Ø-Fließgeschwindigkeit im Mittelstrom). Den Verfahrensvorgaben entsprechend konnte am Bardenitzer Fließ zu einem Abschnitt aggregiert werden (Abb. 2.4). Dieser Beobachtungsabschnitt entspricht der Simulationssituation „beschatteter totholzreicher Waldbach“ (vgl. Kapitel 1). Deshalb erfolgte hier, neben der stichprobenartigen Beprobung des Makrozoobenthos (MZB), die Erfassung aller Habitatfaktoren (physiko-chemische Parameter, Pegel, Substrat- und Sohlstrukturen).



Abb. 2.4: Winter- und Frühjahrsaspekt des Barolder Fließ im Beobachtungsabschnitt

Auch das Bardenitzer Fließ entspricht dem Gewässertyp „sanddominierter Bach der alt- und jungglazialen Mulden- und Sohlentäler“. Das Gewässer wurde zwar anthropogen beeinflusst (Eintiefung nach Teichabfluss), jedoch scheint seine Eigendynamik lange unbeeinflusst. Trotz der nicht natürlichen Linienführung wirkt das Bardenitzer Fließ, auf Grund der Laufstrukturen und der erkennbaren Krümmungserosion, relativ wenig beeinträchtigt. Durch die besonderen Sohl- und Uferstrukturen und die gute Breiten- und Tiefenvarianz zeigt es in gewissem Rahmen Eigendynamik und diverse Ansätze zur Strukturbildung. Bewertungsrelevant ist außerdem der relativ naturnahe Totholzanteil, der maßgeblich zur Einstufung als nur „mäßig verändert“ (Strukturgüteklasse III bis gering verändert = II) beiträgt. In Abb. 2.5 sind die Lage der Transekte und die Messpunkte dargestellt.

Tab. 2.2: Ergebnisse der Strukturkartierung am Bardenitzer Fließ

Strukturparameter		Zusammenfassende Bewertung
Laufentwicklung	Laufkrümmung Längsbänke Besondere Laufstrukturen Krümmungserosion	mäßig geschwungen Ansätze - eine Mehrere häufig schwach
Längsprofil	Querbänke Strömungsdiversität Tiefenvarianz Querbauwerke Verrohrung Rückstau Strömungsbild	keine mäßig - groß mäßig 2 Wehre: 1. Seeabfluss, 2. Ortseingang eine (etwa 3 m unter Wanderweg) keiner geripfelt
Sohlenstruktur	Sohlensubstrat Substratdiversität Besondere Sohlenstrukturen Bes. Belastungen (Sohle) Sohlenverbau Makrophyten	Sand, Detritus gering - mäßig zwei - mehrere keine keine emerse Makrophyten (Randbereiche)
Querprofil	Profiltyp Profiltiefe Breitenerosion Breitenvarianz Durchlässe	Kastenprofil mäßig tief schwach mäßig in Verrohrung Lauf verengt
Uferstruktur	Uferbewuchs Uferverbau Besondere Uferstrukturen Bes. Belastungen (Ufer)	bodenständiger Wald und Galerie mit Krautflur keiner mehrere (Baumumlauf, Prallbaum, Holzansammlung) keine
Gewässerumfeld	Flächennutzung Schädliche Umfeldstrukturen Besondere Umfeldstrukturen Gewässerrandstreifen	bodenständiger Wald (dahinter Kiefernforste) Keine Quellen Wald/Sukzession bis Gewässerrandstreifen

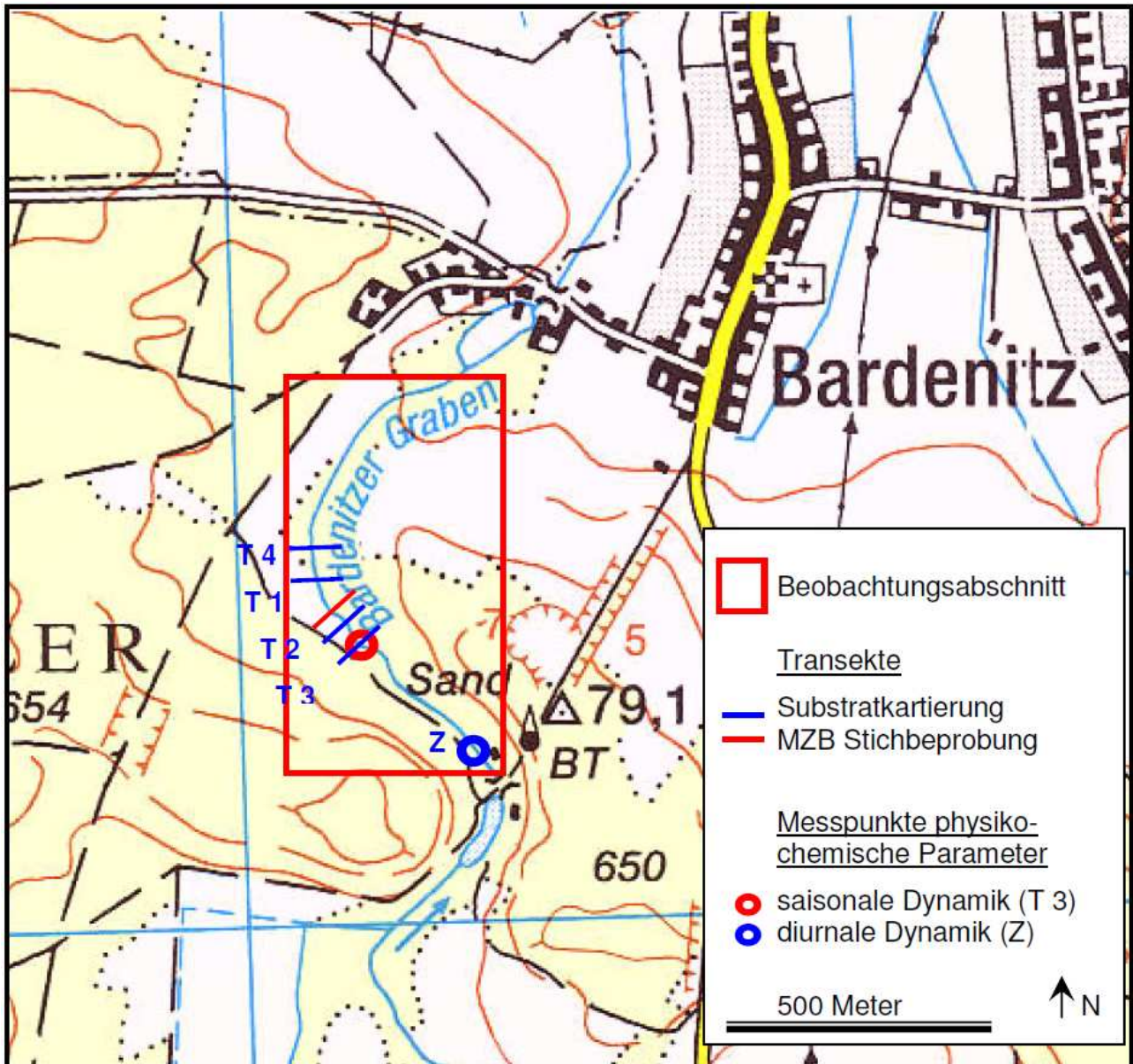


Abb. 2.5: Lage aller Untersuchungsstellen am Bardenitzer Fließ

2.3 Differenzierte Erfassung der Habitatfaktoren

Dieser Arbeitsschritt umfasste sowohl die differenzierte Erfassung der physiko-chemischen Faktoren (1) als auch eine detaillierte Kartierung der Substrat- und Sohlstrukturen (2). Die Methodik und die Zeitplanung zielten dabei auf die Erfassung saisonaler Effekte ab, die eine Beschreibung der für die Fauna wesentlichen Besiedlungsbedingungen leisten sollte.

2.3.1 Methoden

Erfassung physiko-chemischer Parameter

Entsprechend den Vorgaben des Projektantrags sollten in den Referenzgewässern die physiko-chemischen Eigenschaften des Wasserkörpers und dessen saisonale Änderungen beobachtet werden. Darauf hin war ein Vergleich mit den Bedingungen in den Mesokosmen möglich und sollten dort so weit wie möglich an die Geländebedingungen angepasst werden. Zu diesem Zweck wurden in jedem Referenzgewässer Dauermessstellen festgelegt und regelmäßig beprobt. Im Sommer und Herbst 2004 sowie im Frühjahr 2005 wurden im Barolder Fließ detaillierte Strömungsmessungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten exemplarisch im Transekt 1 (Substratkartierung, T 1, Abb. 2.2). Hier wurde die Strömungssituation in und über den Substraten und Strukturen bei unterschiedlichen saisonalen Bedingungen erfasst. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit Hilfe eines Flügelrades (Ø 1 cm, Typ FVA915WM1, Messgerät Almemo 2690-8, Fa. Ahlborn) an 14 Messpunkten über den Gewässerquerschnitt in Tiefen von 4 cm und 15 cm unter der Wasseroberfläche gemessen. Parallel dazu wurden an diesen Messpunkten die Profiltiefen erfasst.

Die in Tab. 2.3 aufgelisteten Parameter wurden an beiden Referenzgewässern an den Messpunkten Barolder Fließ P 1 und P 2 (Abb. 2.2), Bardenitzer Fließ Transekt 3 (T 3, Abb. 2.5) mit den genannten Geräten und Methoden erfasst. Die Messungen wurden 2 bis 4 mal wöchentlich zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Der Messrhythmus richtete sich nach dem Rhythmus der so genannten Standardprobennahme, die in der FSA durchgeführt wird. Die Standardprobennahme war angepasst an Versuchsphasen in der FSA, weshalb der Rhythmus innerhalb der hier über 26 Monate durchgeführten Erfassung zwischen einem zwei- und vierwöchentlichen Rhythmus schwankte. An jedem Mess- und Probennahmezeitpunkt wurden die aktuellen Pegelstände an den Referenzgewässern abgelesen und notiert.

Zusätzlich zur Erfassung der saisonalen Dynamik ausgewählter Parameter (s. o.) wurden in jeder Saison Tagesgänge aufgezeichnet (Tab. 2.4). Diese Messwerte erlauben über ein 7-tägiges Messintervall hinweg einen Vergleich der Tagesgänge im Gewässer mit den Amplituden der entsprechenden Parameter in den Mesokosmen. Hierzu wurden Online-Messsonden mit Dataloggern und automatische Probennehmer eingesetzt. Die Messungen erfolgten sowohl am Bardenitzer als auch Barolder Fließ an den Punkten Z (Abb. 2.2 & 2.5). Die Punkte deckten sich bei beiden Gewässern nicht mit den Messpunkten der oben beschriebenen Messung der saisonalen Dynamik. Die hochwertigen Geräte mussten geschützt vor mutwilliger Zerstörung oder Diebstahl an Positionen auf privaten Grundstücken aufgestellt werden.

Erfassungszeiträume und verwendetes Gerät sind in Tab. 2.4 aufgelistet. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus drei Zeiträumen dargestellt (Markierung in Tab. 2.3). Aufgrund von Geräteausfällen können die übrigen Freilandmessungen nicht unmittelbar mit den Daten der Mesokosmen verglichen werden.

Tab. 2.3: Parameter, Erfassungszeiträume, Messgeräte und –methoden für die saisonalen Messungen

Parameter	Erfassungszeitraum	Messgerät; Sensoren; Methode (F) = Messung vor Ort / im Feld (L) = Messung im Labor
Sauerstoffgehalt, -sättigung	Okt 2004 bis Dez 2006	(F) multi 340i (WTW); Cellox 325
pH-Wert	Okt 2004 bis Dez 2006	(F) multi 340i (WTW); SensoLyt 650-7
Leitfähigkeit	Okt 2004 bis Dez 2006	(F) cond 340i (WTW); TetraCon 325
Temperatur		
Nitrat (NO ₃ -N)	Feb 2005 bis Dez 2006	(L) Continuous Flow Analyzer SA62XX (Skalar); Fließanalytik und spektrometrische Detektion
Nitrit (NO ₂ -N)		
Ammonium (NH ₄ -N)		
Phosphat (PO ₄ -P)		
Silizium		
Kalium	Feb bis Sep 2005 und Mai bis Sep 2006	(L) Emissionsspektrometer IRIS Intrepid (Thermo Elemental); Atomemissionsspektrometrie im induktiv gekoppelten Plasma (ICP-OES)
Natrium		
TOC	Jan 2005 bis Dez 2006	(L) TOC Analyzer Typ TOC-600 (LFE)
Seston	Jan 2005 bis Nov 2006	(L) Bestimmung der Trockenmasse / Filtrationsrückstand; Filtrations- und Trocknungsverfahren nach DIN 38 409
Alkalinität	Jan 2005 bis Juli 2006	(L) automatisiertes Titrationsverfahren mit 0,02 m HCl-Lösung nach DIN EN ISO 9963-1

Tab. 2.4: Parameter, Messzeiträume, -geräte und -methoden für die Messungen der Tagesgänge (Markierungen: Zeiträume deren Ergebnisse dargestellt werden)

Gewässer und Erfassungszeiträume	Parameter	Messgerät; Sensoren; Methode (F) = Messung vor Ort / im Feld (L) = Messung im Labor
Barolder Fließ 02.05.06 bis 17.05.06 31.07.06 bis 15.08.06 21.02.07 bis 28.02.07	Sauerstoffsättigung	(F) Multiparameter-Sonde DKQL-2000 (Driessen + Kern GmbH) integrierter Datalogger (Abb. 2.6 a,b)
	pH-Wert	
	Leitfähigkeit	
	Temperatur	
	Sauerstoffsättigung	(F) Messelektroden MF 41 K/PG (O ₂), LTC 1/23 K/PG (LF.); Messverstärker MV 3020, MV 3030 (Sensortechnik Meinsberg GmbH); Datalogger HOB0 U12 (Onset Computer Corporation) technischer Aufbau siehe Abb. 2.6 c
	Temperatur	
	Leitfähigkeit	
Bardenitzer Fließ 22.08.05 bis 05.09.05 29.11.05 bis 06.12.05 02.05.06 bis 17.05.06 31.07.06 bis 15.08.06 13.11.06 bis 23.11.06	Sauerstoffsättigung	(F) Messelektroden MF 41 K/PG (O ₂), LTC 1/23 K/PG (LF.); Messverstärker MV 3020, MV 3030 (Sensortechnik Meinsberg GmbH); Datalogger HOB0 U12 (Onset Computer Corporation) technischer Aufbau siehe Abb. 2.6 c
	Temperatur	
	Leitfähigkeit	
Barolder Fließ 02.05.06 bis 07.05.06 31.07.06 bis 03.08.06 und Bardenitzer Fließ 22.08.05 bis 28.08.05 29.11.05 bis 03.12.05 02.05.06 bis 08.05.06 13.11.06 bis 18.11.06	Nitrat (NO ₃ -N)	(F) automatische Probennehmer PB-MOS-7 (Edmund Bühler GmbH)
	Nitrit (NO ₂ -N)	
	Ammonium (NH ₄ -N)	
	Phosphat (PO ₄ -P)	
	Silizium	(L) Continuous Flow Analyzer SA62XX (Skalar); Fließanalytik und spektrometrische Detektion

Alle Datalogger wurden auf ein 60-minütige Messintervall programmiert. Die automatischen Probennehmer (Abb. 2.6 d) enthielten vierundzwanzig Flaschen (1 l), die jeweils über sechs Stunden gefüllt werden. Jede Flasche enthielt eine Mischprobe aus sechs Einzelproben, die im 60-Minuten-Rhythmus gezogen wurden. Es ergab sich ein Probennahmezeitraum von sechs Tagen.

Zusätzlich zu diesen periodischen Messungen wurden seit April 2004 an beiden Gewässern mit Temperaturdataloggern (EBI-6) der Firma ebro (Abb. 2.6 e) kontinuierlich Messungen im 60-Minuten-Rhythmus durchgeführt.

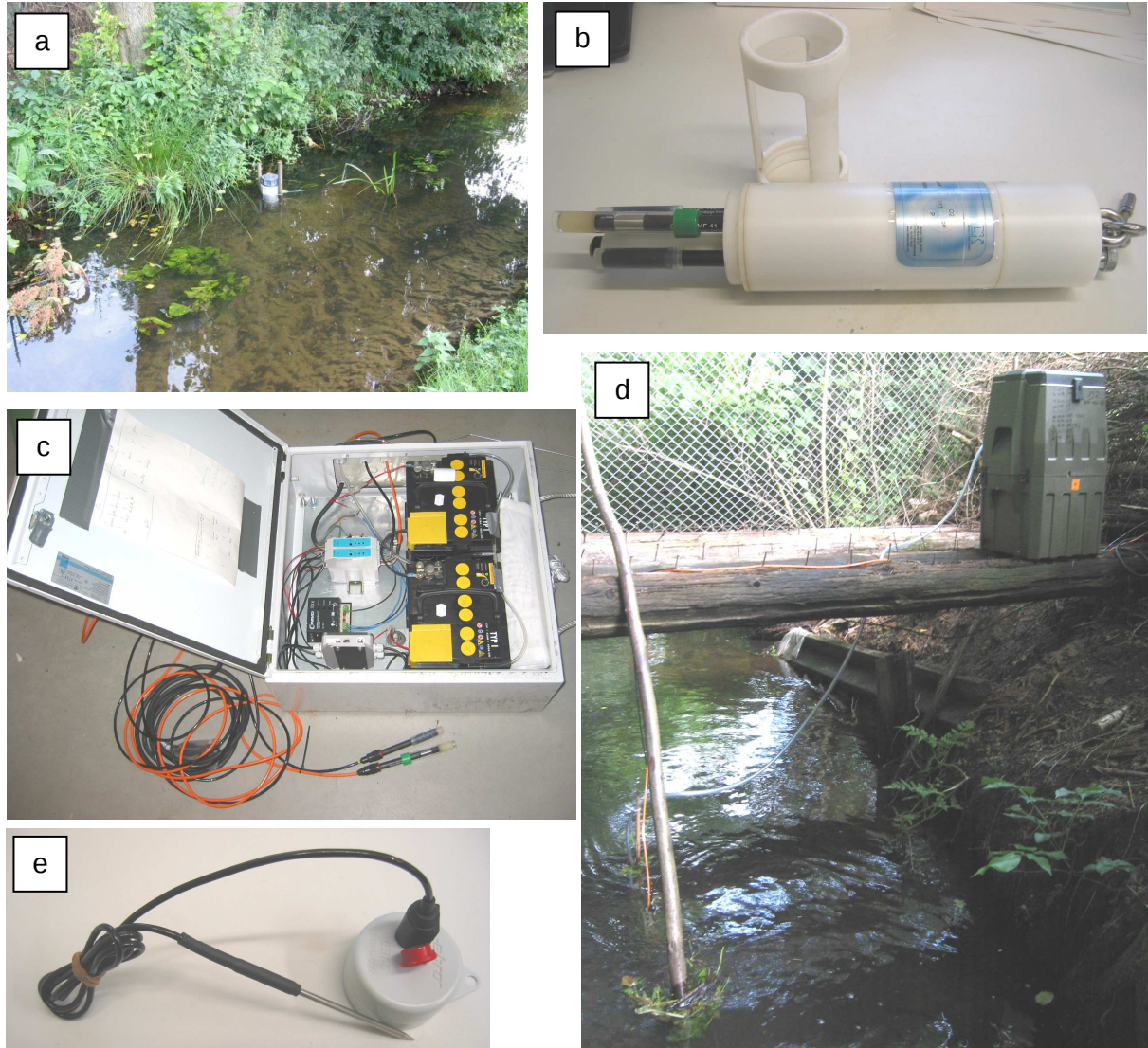


Abb. 2.6: Probennehmer, Messgeräte und deren Exposition (a) und (b) Multiparameter-Sonde im Barolder Fließ, (c) Technischer Aufbau der Sonden und Datalogger zum Einsatz im Bardenitzer Fließ, (d) Bsp. für Proben-nehmer (hier am Bardenitzer, (e) Temperatur-Datalogger für Barolder und Bardenitzer Fließ

Substratkartierung

Die Erfassung der Strukturen im Gelände und ihre möglichst weitgehende Etablierung in den Mesokosmen bildeten die methodische Voraussetzung für die weiteren Arbeitsschritte zur Ansiedlung der Fauna. Zur Erfassung der Ausprägung und Dynamik der Habitatfaktoren in den Referenzgewässern wurden in ausgewählten Teilstrecken der Beobachtungsabschnitte in jedem Gewässer 4 Transekte festgelegt, in denen jeweils detaillierte Substratkartierungen zur Erfassung saisonaler Unterschiede durchgeführt wurden. Diese Kartierungen erfolgten im August 2004, November 2004, März 2005 und Juni 2005. Die vier Transekte je Gewässer erstreckten sich über einen 5 m langen Bachabschnitt und erfassten somit eine Fläche von jeweils 5 m mal der Bachbreite. Über diese Fläche wurde ein Raster gelegt, welches 1 x 1 m große Teilflächen ergab. Entlang dieses Rasters wurde die Kartierung im Gewässer mit einem 1 x 1 m großen schwimmenden Holzrahmen durchgeführt. Dabei wurden in jedem Rasterrahmen die jeweiligen Substrattypen und deren Flächenanteil verzeichnet. Bei der Verarbeitung dieses Rasters in einem Geographischen Informationssystem (GIS) kann die Lage der einzelnen Substrate mit maximal 10 cm Abweichung dargestellt und deren saisonale Veränderung verglichen werden. Die Kartierung differenzierte bezüglich der in Tab. 2.5 aufgelisteten Substrate und Habitatstrukturen. Die Erfassungsweise lehnt an das AQEM-site-protocol an (AQEM Consortium, 2002).

Tab. 2.5: Liste der Substrate und Habitatstrukturen der Substratkartierung. Differenzierung in Anlehnung an das AQEM-site-protocol (AQEM Consortium, 2002, Annex 2, Site-protocol, Page -2-, veränderte tabellarische Darstellung)

Mineral substrates	Biotic microhabitats
Megalithal (>40 cm)	phytal
Macrolithal (>20 cm to 40 cm)	algae
Mesolithal (>6 cm to 20 cm)	submerged macrophytes
Microlithal (>2 cm to 6 cm)	emergent macrophytes
Akal (>0.2 cm to 2 cm)	living parts of terrestrial plants
Psammal/psammopelal (>6 mm to 2 mm)	xylal (wood)
Argyllal (< 6 mm)	CPOM (Coarse Particulate Organic Matter)
	FPOM (Fine Particulate Organic Matter)
	sewage bacteria and -fungi and saprobel
	organic mud
	debris

Erfassung der Fauna

Die Beprobung des Makrozoobenthos (MZB) erfolgte im November 2004, März 2005 und Juni 2005 und sollte zunächst eine Eingrenzung der Zielarten und später den Vergleich der Fauna des Barolder Fließ mit der der Mesokosmen ermöglichen. Die an das AQEM-Verfahren angelehnte substratrepräsentative Probennahmemethode erfolgte in zwei Transekten (MZB T 1 und T 2, Abb. 2.2) mit einem modifizierten Surber-Sampler (Grundfläche: 15 x 15 cm, Netz-Maschenweite 500 µm). Anders als bei der Beprobung nach dem AQEM-Verfahren (Stand 2002) wurde hier mit einer reduzierten Grundfläche gearbeitet. Diese Grundfläche wurde an die repräsentative Beprobung der kleinräumigen Substratverteilungen (Tab. 2.5) in den Referenzgewässern angepasst.

Jedem Bachabschnitt wurden 20 substratrepräsentative Proben entnommen. Dabei wurde das Substrat jeweils ca. 20 s lang aufgewühlt, sodass die dort lebenden Benthosorganismen mit der Strömung in das Netz getrieben wurden. Das Probenmaterial wurde anschließend in 80%igem Ethanol fixiert. Bei der Beprobung von submersen Makrophyten-Polstern wurden die in der Grundfläche befindlichen Pflanzenteile mit in das Netz überführt, um für die Auswertung sowohl den Flächenbezug zum Untergrund als auch zur Pflanzenoberfläche herstellen zu können.

2.3.2 Ergebnisse

Physiko-chemische Faktoren

Wasserstände

Ihrem Charakter als sublacustrische Systeme entsprechend, wiesen beide Referenzgewässer relativ ausgeglichene Wasserstände auf. Das Barolder Fließ kennzeichneten deutlich größere saisonale Pegelschwankungen als das Bardenitzer Fließ (Abb. 2.7). Maximale Wasserstände traten in beiden Gewässern im Spätsommer oder Herbst (August bis November) auf (Barolder Fließ: maximal 47 cm, Bardenitzer Fließ: maximal 27 cm). Sommerliche Minima lagen bei 18 cm im Barolder Fließ und 8 cm im Bardenitzer Fließ.

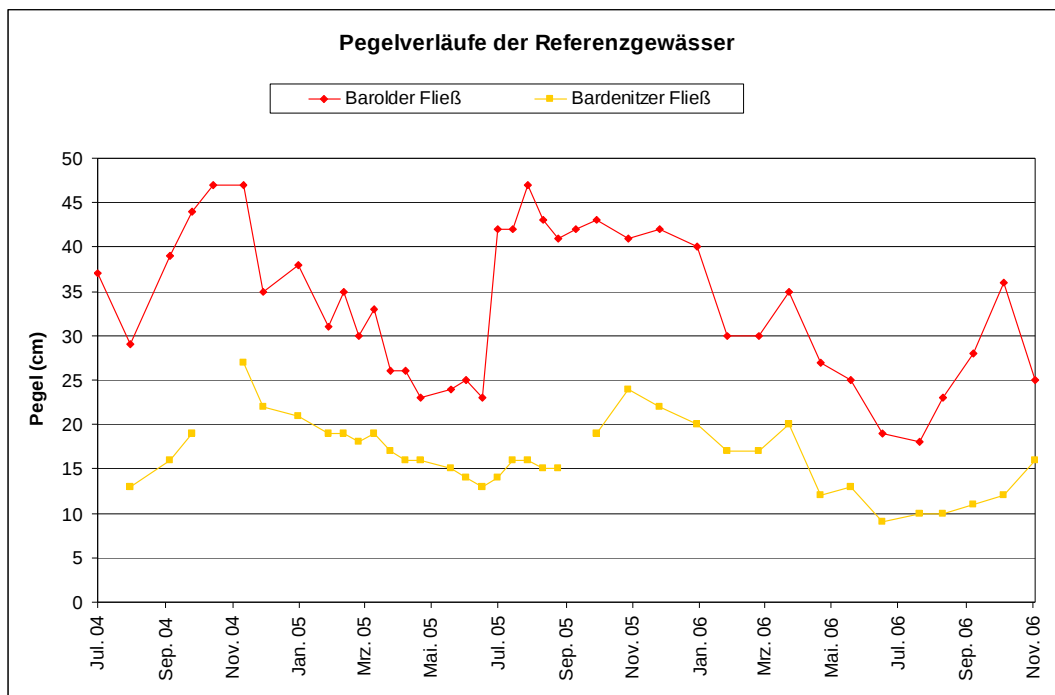


Abb. 2.7: Pegelstände des Barolder und des Bardenitzer Fließ im Zeitraum Juli 2004 bis November 2006. Lücken in den Messreihen sind auf Geräteausfälle zurück zu führen

Faktor Strömung

Das Barolder Fließ weist annähernd ein Kastenprofil auf. Beide Ufer sind relativ steil, lediglich im rechten Uferbereich befindet sich eine leichte Abflachung (Abb. 2.8). Im August (Abb. 2.8 a) waren die Makrophytenpolster (hier *Elodea canadensis*) relativ klein, im November (Abb. 2.8 b) dann stärker ausgeprägt und verengten den Querschnitt. Dadurch ergaben sich oberflächennah bei erhöhten Pegelständen Fließgeschwindigkeiten von 37 bis 40 cm/s⁻¹. Durch die veränderte Makrophytensituation verlagerte sich der Bereich höchster Strömungsgeschwindigkeiten von der rechten Gewässerseite hin zur Mitte (Abb. 2.8 b). Sohlernahe Fließgeschwindigkeiten lagen hier im Schnitt bei 5 cm/s⁻¹ und in Ufer- und Makrophytennähe bei 0 cm/s⁻¹. Im März (Abb. 2.8 c), nach dem Absterben der Makrophyten, erweiterte sich der Querschnitt und die Fließgeschwindigkeiten in den beiden Messtiefen waren bei niedrigeren Pegelständen (27 cm) ähnlich. Die maximalen oberflächennahen Fließgeschwindigkeiten lagen bei 26 cm/s⁻¹, wobei Peaks weniger stark ausgeprägt waren. Sohlernahe Fließgeschwindigkeiten betrugen auch im März 2-5 cm/s⁻¹.

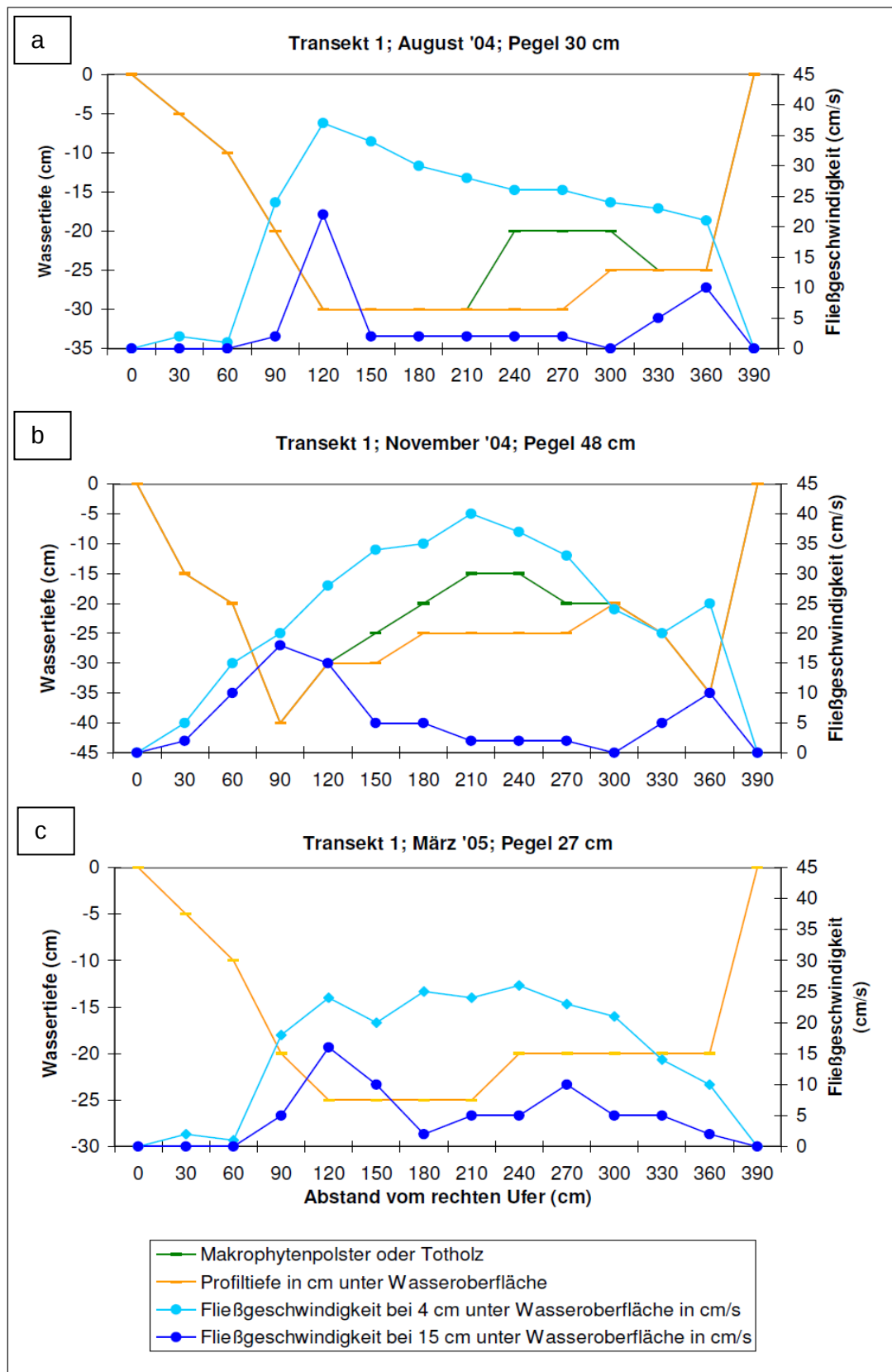


Abb. 2.8: Strömungs- und Sohlprofile im Barolder Fließ (a) Sommer, (b) Herbst, (c) Frühjahr

Faktoren Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung, Leitfähigkeit und pH-Wert

Der Vergleich von ausgewählten, auch die Fauna beeinflussenden Faktoren der beiden Referenzgewässer (Tab. 2.6) hatte zur Konsequenz, das Barolder Fließ als Referenzgewässer für die Übertragung bzw. Ansiedlung der Fauna auszuwählen. Das Bardenitzer stellte sich als sommerkühles Gewässer heraus. So war anzunehmen, dass sich die Fauna - aus dem Bardenitzer Fließ in die Mesokosmen übertragen – aufgrund der hohen Sommertemperaturen von ca. 25 °C nur sehr eingeschränkt in den Mesokosmen etablieren würde. Insbesondere die Faktoren Temperatur und Sauerstoffsättigung unterlagen im sommerwarmen Barolder Fließ stärkeren Schwankungen. Dies ließ darauf schließen, dass die an diese Bedingungen adaptierte Fauna sich besser etablieren würde.

Tab. 2.6: Gegenüberstellung der Faktoren Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung, Leitfähigkeit und pH-Wert in den Referenzgewässern

	Bardenitzer Fließ	Barolder Fließ
Wassertemperatur		
Jahresverlauf (vgl. Anhang Abb. a u. b)	sommerkühl (max. 15-16 °C, Ø 11 °C), geringere Schwankungen als Barolder	sommerwarm (max. 26 °C, Ø 15 °C), starke Schwankungen von 1 bis 26 °C
Tagesgänge (vgl. Anhang Abb. i - k)	Amplituden bis zu ΔT 3 K (im Mai), ausgeglichene Verläufe	mit bis zu ΔT 8 K (im Mai) größere Amplituden, Phasenverschiebung
Sauerstoffsättigung		
Jahresverlauf (vgl. Anhang Abb. c u. d)	ausgeglichener Sauerstoffhaushalt von 80-90 %	im Vergleich starke saisonale Schwankungen von 50-140 %, im Ø 100 %
Tagesgänge (vgl. Anhang Abb. l - m)	geringe Schwankungen von max. 4 %	starke Schwankungen von 50 %
Leitfähigkeit		
Jahresverlauf (vgl. Anhang Abb. e u. f)	geringe Schwankungen im Mittel um 400 $\mu S/cm$	geringe Schwankungen im Mittel um 300 $\mu S/cm$
Tagesgänge (vgl. Anhang Abb. n - p)	keine Schwankungen	keine bis geringe Schwankungen
pH-Wert		
Jahresverlauf (vgl. Anhang Abb. g u. h)	konstante pH-Werte zwischen pH 7,6 und pH 7,9	seenah (P 1) starke Schwankungen von pH 7,4 bis pH 9,2, im Mittel bei pH 8,4 (P 1) und pH 7,9 (P 2)

Struktur der Referenzgewässer und deren saisonale Dynamik

Bardenitzer Fließ

Das Substratangebot im Benthos des Bardenitzer Fließ war nahezu während des gesamten Jahres durch hohe Anteile (Abb. 2.9) stabiler Sandlagen (ohne Rippelbildung) gekennzeichnet. Sie stellten im Frühjahr, Sommer und Winter 41–55% der Sohlsubstrate. Zusammen mit den mobilen Sandanteilen (mit Rippelbildung) erreichte Sand insgesamt Anteile bis zu 90%. Lediglich im Herbst wurde der Sand von CPOM überlagert, welches in dieser Zeit nahezu 40% der Sohlsubstrate stellte (Abb. 2.9). Dabei handelte es sich primär um den Bestandsabfall, vorrangig Erlenlaub. Im Verlauf des Winters gewannen die FPOM-Fraktion (rd. 17%) oder Mischungen aus Sand und FPOM (11-22%) höhere Anteile, während CPOM auf 12% zurückging. Totholz hatte im Jahresverlauf einen quasi unveränderten Anteil von 3–5%.

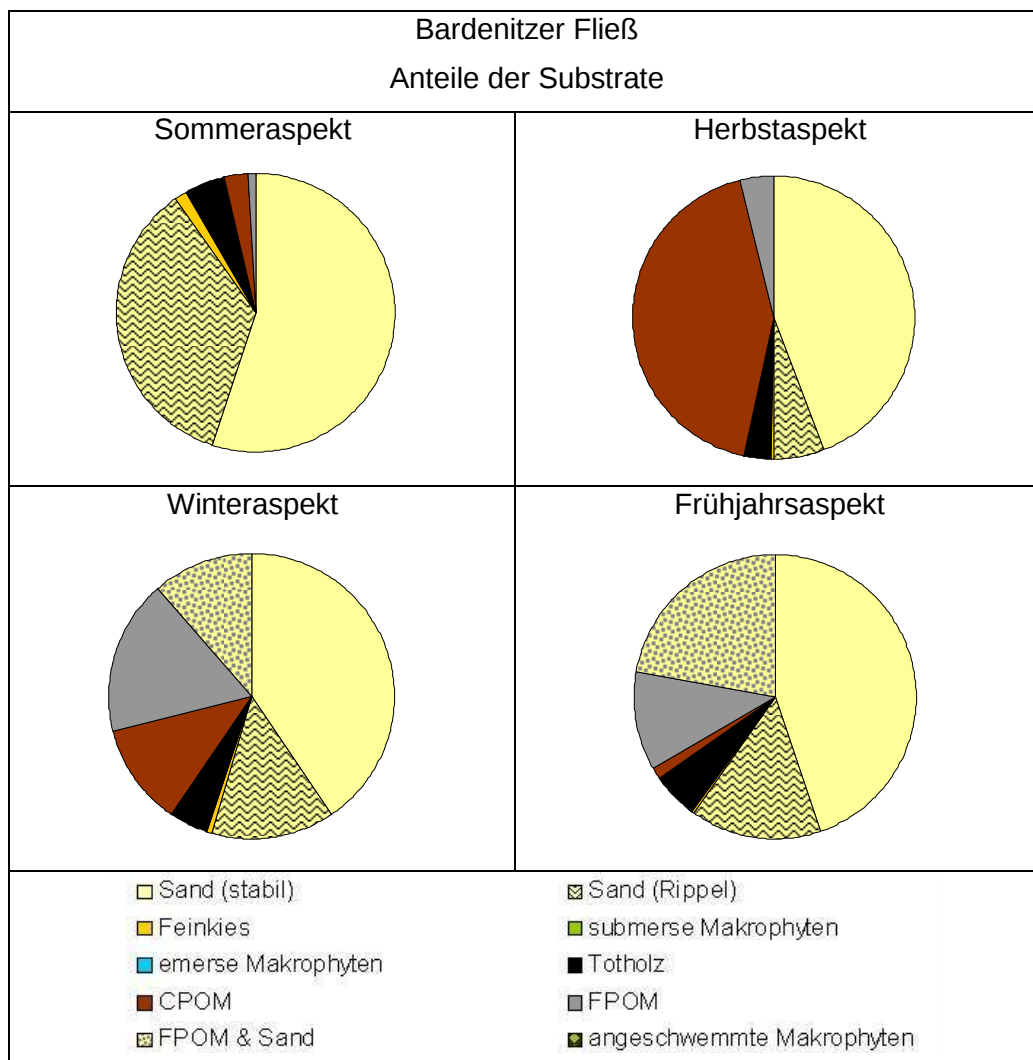


Abb. 2.9: Anteile der Substrate und Strukturen im Bardenitzer Fließ im saisonalen Vergleich

Barolder Fließ

Auch das Substratangebot im Barolder Fließ war deutlich von Sand dominiert (Abb. 2.10). Die Anteile der stabilen Sandflächen schwankten zwischen 52% im Sommer und rd. 25% im Herbst. Im Gegensatz zum Bardenitzer Fließ spielten mobile Sandlagen eine unbedeutende Rolle.

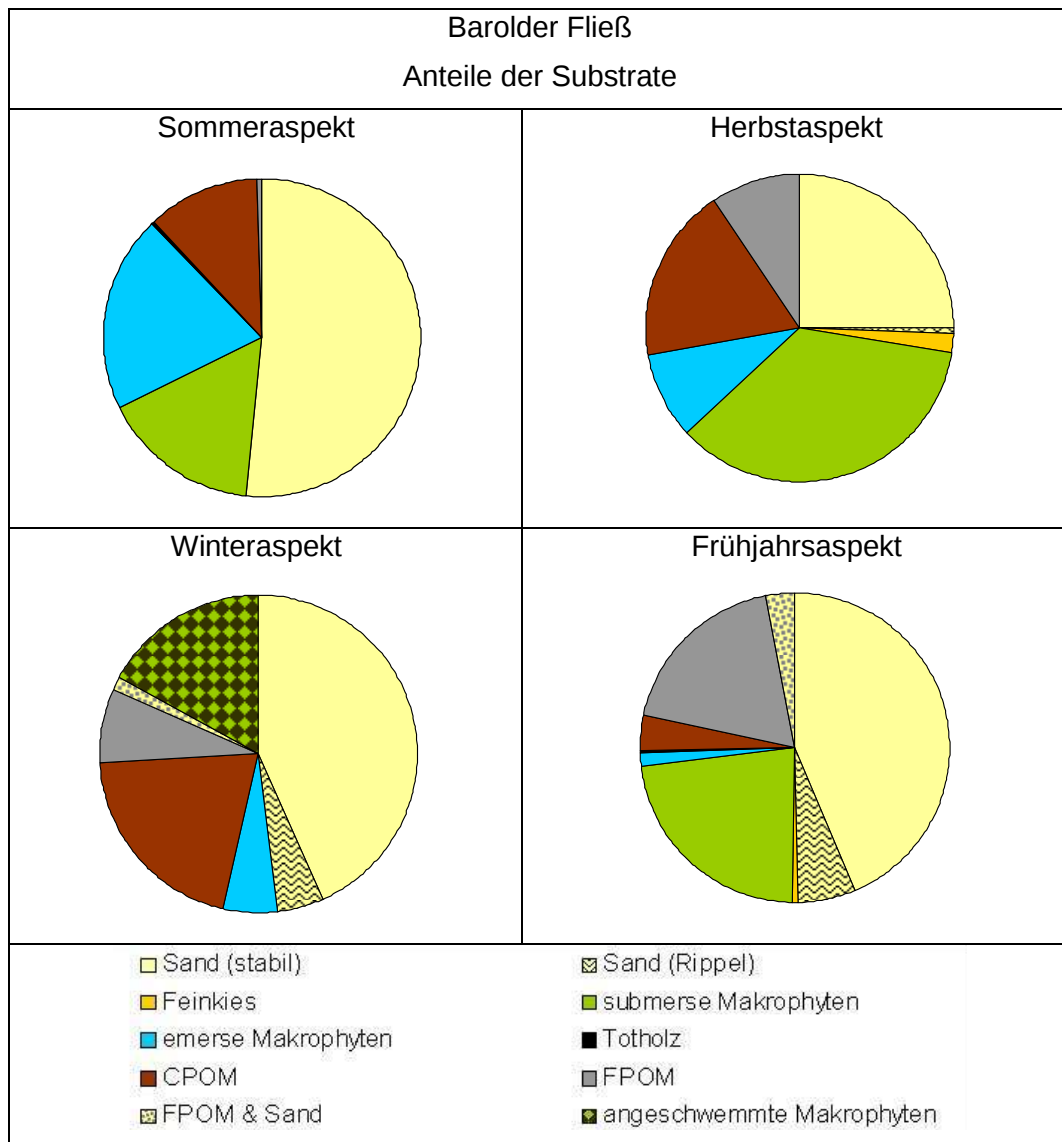


Abb. 2.10: Anteile der Substrate und Strukturen im Barolder Fließ im saisonalen Vergleich

Anders als im Bardenitzer Fließ veränderte der Bestand an submersen und emersen Makrophyten im Barolder Fließ die saisonalen Aspekte erheblich. Der Bestand der emersen Makrophyten setzte sich hauptsächlich aus Seggen und *Sparganium erectum* zusammen. Polster von *Elodea canadensis* und *Sparganium emersum* subsp. *emersum* bildeten die submersen Pflanzenbestände. Zusammen stellten diese Substrate im Herbst bis zu 45% der Sohlsubstrate (Abb. 2.10). Auch im Barolder Fließ stieg der Anteil von CPOM ebenfalls in Form von Erlenlaub zum Herbst bzw. Winter an, erreichte hier allerdings Werte von maximal 20%. Weiterhin stieg auch im

Barolder Fließ der Anteil an FPOM über Winter an und erreichte im Frühjahr Maxima von 19%. Im Winter und Frühjahr war das Barolder Fließ zudem durch größere Mengen (17 – 23%) angeschwemmter/abgestorbener Makrophyten (hier *Elodea canadensis*) geprägt.

3 Methodenentwicklung zur Ausstattung und Besatz der Mesokosmen

3.1 Theoretische Grundlage und Ziele des Methodenkonzeptes

Infolge der Ausstattung der Mesokosmen mit gewässertypischen Strukturelementen (Totholz, Makrophyten) wurde die Etablierung von Sohlstrukturen, Substratbeschaffenheit und Strömungsbildern erwartet, die eine Annäherung an den Zustand im Referenzgewässer gestatten würden. Insbesondere Totholz und Makrophyten-Polster sollten einerseits eine Modifikation der Strömung und eine Substratsortierung bedingen, andererseits direkt oder indirekt als Substrat zur Verfügung stehen.

Der Besatz der Mesokosmen mit fließgewässertypischer Makroinvertebraten-Fauna sollte mit Hilfe von Substratexponaten auf Basis von natürlichen Materialien (Laub, Sand, Makrophyten) erfolgen. Den gedanklichen Ansatz für diese Vorgehensweise bildeten Kenntnisse über die z. T. relativ enge Substratbindung vieler Makrozoobenthostaxa einerseits und ihr Driftverhalten bzw. ihre Besiedlungsdynamik andererseits (vgl. Einleitung und Projektantrag).

Im Hinblick auf eine reproduzierbare Versuchsgestaltung wurden definierte Substratangebote für ebenfalls definierte Zeiträume im Referenzgewässer exponiert und danach in standardisierter Form unmittelbar in die Mesokosmen überführt. Die zuvor in den Mesokosmen etablierte Substratausstattung und Sohlstrukturierung sollte eine Ansiedlung der Fauna in einem den Freilandbedingungen ähnlichen Umfeld gestatten. So wurden z.B. *Elodea*-Exponate in Mesokosmenbereichen exponiert, in denen ebenfalls *Elodea* wuchs. Zugleich wurden auf diese Weise Drift- oder Migrationszeiten bzw. -distanzen zu weiteren geeigneten Substraten möglichst gering gehalten.

Bei der Realisierung des wissenschaftlichen Konzeptes waren folgende methodischen Aspekte von besonderer Bedeutung:

- a) die standardisierbare Erfassung der Makroinvertebraten im Gelände;
- b) die standardisierbare, reproduzierbare und steuerbare Ansiedlung der Fauna in den Mesokosmen (vgl. Kap. 6);
- c) die standardisierbare und reproduzierbare Überprüfung des Besatzerfolges in den Mesokosmen bei minimaler Störung der zuvor etablierten Strukturen zu bedingen (vgl. Kap. 6).

3.2 Entwicklung von Besiedlungsangeboten (BA) und aktive Habitatgestaltung

Neben den gewässerökologischen Aspekten und einer maximalen Standardisierbarkeit der Herangehensweise musste die Methodenoptimierung zur Besiedlung der Fließgewässer-Mesokosmen Makrofauna auch logistische und technische Aspekte berücksichtigen.

Die Beschaffung der notwendigen Materialmengen, ihre Lagerung und Behandlung, die Dauer und Kosten der Vor- und Nachbereitung jedes Versuches sowie die Verfügbarkeit ausreichender Transportkapazitäten spielte für die Realisierbarkeit des Vorhabens eine wichtige Rolle. Diese Vorgänge mussten für die aktuelle Umsetzung des Vorhabens, aber auch mit Blick auf die Machbarkeit künftiger Forschungsvorhaben im Routinebetrieb der FSA optimiert werden. In Absprache mit der Projektleitung im UBA sollten in der Hallenanlage ausschließlich natürliche Materialien als Substratexponate verwendet werden. Die im Projektantrag vorgeschlagenen künstlichen Substratexponate als Besiedlungsangebote (BA) wurden im Rahmen einer Diplomarbeit in der Außenanlage der FSA getestet (vgl. Jähn 2005, 2006).

Nach Festlegung der Referenzgewässer und der Substraterfassung in den beiden sublacustrischen Systemen wurden als Substrattypen für die Grundausrüstung Holz, Bestandsabfall (Erlenlaub) sowie submerse und emerse Makrophyten als Substrattypen ausgewählt. Steine und Wurzeln spielen in beiden Referenzgewässern als Substratangebote keine oder eine höchstens temporäre, untergeordnete Rolle und blieben deshalb in dieser Phase unberücksichtigt. Der Einsatz von *Elodea*, Laub und Sand als BA und für die aktive Habitatgestaltung in den Mesokosmen ist in Kapiteln 3.3 und 4 beschrieben.

3.2.1 Totholz

Zahlreiche Arbeiten der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass Totholz in Fließgewässern entscheidende Funktion für die Ausprägung der Gewässerbettmorphologie und die Substratsortierung hat (u.a. Bilby 1984, Harmon et al. 1986, Carlson et al. 1990, Gregory & Davis 1992, Shields et al. 1992, Gerhard & Reich 2001). Insbesondere in flachen Gewässern modifiziert Totholz die Strömung in großen Teilen des Wasserkörpers. Nach neueren Erkenntnissen trägt Totholz zudem dazu bei, den vertikalen Flux in das und aus dem Interstitial zu verstärken (Mutz in UBA 2006 b). Damit sind zahlreiche indirekte Effekte verbunden. Die Verringerung der Kolmation des Sedimentes, die einem Austausch zwischen Oberflächenwasser und Interstitial entgegen wirkt, oder die Retention von POM, das als Nahrungsgrundlage für das Makrozoobenthos von entscheidender Bedeutung ist, sind nur zwei wichtige Beispiele für die Bedeutung von Totholz in Tieflandgewässern.

Diesem Projekt vorangehende Untersuchungen der Uni Cottbus (AG M. Mutz) haben gezeigt, dass in Mesokosmen ohne Totholz ungewöhnliche Verteilungen der internen Strömungskräfte vorliegen, die in der vorliegenden Form im Freiland keine Entsprechung haben (vgl. Kapitel 4). Kennzeichnend für die Mesokosmen mit reinem Sandbett war, dass die Turbulenzintensität nicht mit der in flachen Gewässern übereinstimmen, sondern vielmehr mit der in tiefen, ruhig fließenden Gewässern. Im Vergleich zu natürlichen Sandbächen waren die Turbulenz und die Schubspannungsgeschwindigkeiten in den Mesokosmen relativ gering (Mutz et al. 2007).

Mit dem Einsetzen von Totholz wurde die Erwartung verbunden, dass verstärkt Turbulenzen entstehen, die eine Substratsortierung bedingen. Infolge dessen wurde mit einer größeren Sub-

strat- und damit Habitatheterogenität gerechnet. Die abiotischen Faktorenkombinationen in den Mesokosmen sollten durch die Gesamtheit der totholzinduzierten Effekte an die Lebensraumbedingungen in natürlichen Sandbächen angenähert werden. Direkte und indirekte Folgen für den Besatz wurden erwartet. Die unmittelbare Funktion der frisch eingebrachten Holzelemente als Nahrungsquelle oder Lebensraum wurde dabei als sekundär betrachtet. Ihr Einfluss auf die Partikelretention und die Strömungsbedingungen in ihrem Umfeld hingegen wurden als wesentliche Einflussgrößen auf die Diversität der Fauna eingeschätzt.

Strukturgestaltung in den Mesokosmen

Die Menge und Größe der in die Mesokosmen eingebrachten Totholzstücke von *Alnus glutinosa* sollte typisch für Tieflandgewässer sein. Aufgrund der Rinnendimensionen wurden Längen und Breiten der Stämme im Bereich von 5 bis 20 cm gewählt. Zwar lagen im Bardenitzer Fließ primär dünnere Hölzer im Bachbett. Von diesen größeren Holzstärken wurde in den geradlinigen Mesokosmen eine größere Auswirkung auf die Sohlstruktur erwartet. Gleichwohl deckte sich der Gesamtanteil der Holzmasse in den Mesokosmen mit dem im Referenzgewässer kartierten Anteil. Hierdurch entsprach die Menge von Totholz als Besiedlungssubstrat dem im Referenzgewässer. Entsprechend dicke Stämme wurden ebenfalls in den Untersuchungen zum Einfluss von Totholz auf den vertikalen Wasseraustausch in Sandbächen der AG Mutz verwendet. Die Lage der Stämme und Äste orientierte sich an für holzreiche Bäche typischen natürlichen Positionen (Mutz in UBA 2006 b).

3.2.2 Makrophyten

Neben ihrer direkten Rolle als Nahrungs- und Besiedlungssubstrat kommt den in Fließgewässern wachsenden Pflanzen eine wichtige hydromorphologische Funktion zu. Generell wird in vielen früheren Arbeiten davon ausgegangen, dass Makrophyten eine Reduktion der durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit sowie eine erhöhte Retention und Sedimentation feinputikulären Materials bedingen können (u. a. Madsen & Warncke 1983, Watts & Watts 1990, Bohle 1995, Gillert & Malmqvist 1998).

Untersuchungen in der sogenannten Einfahrphase der Mesokosmen (vgl. UBA 2006 a) zeigten jedoch, dass von der emersen Vegetation tiefenabhängig unterschiedliche Effekte auf die Strömung ausgehen können. Während die Pflanzen offenbar oberflächennah zu einer Beschleunigung des Wassers beitragen, nimmt die Strömung zunächst mit zunehmender Tiefe ab, sohnah steigt sie zwischen den Halmen allerdings wieder messbar an (UBA 2006 a). Starke Ablagerungen feinputikulären Materials unter Polstern von *Elodea* (Bohle 1995) weisen darauf hin, dass diese hydromorphologischen Effekte pflanzen- und damit wuchsformspezifische Unterschiede aufweisen. Obwohl nur relativ wenige Makroinvertebraten direkte Nutzer der vitalen Pflanzenbiomasse sind, begünstigt die verstärkte Sedimentation häufig eine Ansiedlung von Sammlern und Filtrierern (Taniguchi et al. 2003, Gregg & Rose 1982, Brennan & McLachlan 1979). Weiterhin bieten Makrophyten in Gewässern mit instabiler Sohle oftmals das einzige relativ dauerhafte Hartsubstrat, das die Ansiedlung diverser functional feeding groups begünstigen kann (vgl. Darstellungen zu Substratpräferenzen in Kapitel 3. Eine wesentliche trophische Funktion entsteht nach dem Absterben der Pflanzenbiomasse und dem dadurch erhöhte Angebot an Detritus (Allan 1997). Darüber hinaus kann eine Zunahme an Makrophyten ggf. auch

eine Erhöhung des Angebotes an besiedelbaren Oberflächen bedingen (Gregg & Rose 1982). Diese Oberflächen werden i. d. R. von epiphytisch wachsenden Algen und anderem Aufwuchs genutzt und liefern dadurch insbesondere Weidegängern und Sammlern eine wesentliche Nahrungsgrundlage (Gregg & Rose 1982).

Bepflanzung

Die Bepflanzung der Mesokosmen mit submersen und emersen Makrophyten verfolgte zum einen das Ziel, eine naturnähere Gestaltung im Hinblick auf hydromorphologische Faktoren zu erreichen. Zum anderen sollte dadurch Einfluss auf die o. g. trophischen Faktoren genommen werden, um direkt und indirekt die Ansiedlung von Sammlern, Filtrierern und Weidegängern zu begünstigen. Für die Bepflanzung mit submersen Makrophyten wurden Büschel der in Tieflandgewässern typischen Arten *Elodea canadensis* und *Myriophyllum spicatum* verwendet. Vereinzelt wurden Pflanzen von *Potamogeton nitens* und *Potamogeton crispus* hinzugesetzt. *Elodea canadensis*, *Potamogeton nitens* und *Potamogeton crispus* wurden aus dem Barolder Fließ entnommen, *Myriophyllum spicatum* wurde aus Beständen in Nebenbecken der FSA entnommen. Diese Pflanzen wurden direkt in das Sediment der Mesokosmen-Abschnitte (M) eingesetzt (vgl. Kapitel 4.5.2). Entgegen der ursprünglichen Planungen wurde, aufgrund der geringen Sedimenttiefen (max. 20 cm) in den schmalen Mesokosmen-Abschnitten, auf die Verwendung von Topfpflanzen verzichtet. Lediglich in einem der Beruhigungsbecken, d.h. den verbreiterten und tieferen Mesokosmen-Segmenten, konnten emerse Makrophyten (*Sparganium erectum*) in Töpfen eingepflanzt werden.

Exposition von Besiedlungsangeboten mit Makrophyten

Das Wachstum einiger Pflanzen blieb hinter den Erwartungen zurück. Um den Entwicklungsprozess nicht zu stören und keine Biomasseverluste durch Direktbeprobung in Kauf nehmen zu müssen, wurden deshalb zur Ansiedlung und Kontrolle der Makrophyten besiedelnden Fauna ausschließlich Besiedlungsangebote (BA) verwendet. Im Barolder Fließ wies *Elodea canadensis* mit Abstand die dichtesten Bestände auf. Deshalb wurde für die Exposition, die Ansiedlung und die repräsentative Erfassung ausschließlich auf *Elodea* zurückgegriffen. Es wurde damit eine Ansiedlung von aktiven und passiven Filtrierern, Weidegängern und Sammlern erwartet.

3.2.3 Laub

Als Teil des Energieflusses und des ‚nutrient cycling‘ hat Falllaub eine entscheidende Funktion im Stoffhaushalt lotischer Systeme (Pascoal et al. 2003, Haapala & Muotka 2001, Allan 1979). Der aquatischen Fauna (insbesondere den shreddern) steht dieses Nahrungsangebot allerdings erst nach den Prozessen des ‚leaching‘, der mikrobiellen Besiedlung sowie der mechanischen und biologischen Zerkleinerung zur Verfügung (Allan 1997). Darüber hinaus bedingt Falllaub in Fließgewässern eine temporäre Modifikation der Substrat- und Strömungsbedingungen. Im Herbst sammeln sich Blätter insbesondere in strömungsberuhigten Bereichen (hinter Totholz, in langsam durchströmten Bettbereichen etc.). Oftmals sedimentieren bzw. akkumulieren dort nachfolgend große Mengen FPOM (Lemly 2000). Sie dienen im Allgemeinen Zerkleinerern und Sammlern (deposit feeder) als Nahrungsgrundlage (Hoffmann 2005, Dangles et al. 2001). Dieser allochthone Eintrag bildet in kleinen Gewässern die entscheidende natürliche Nahrungsbasis (speziell Vannote 1980). Aufgrund der bei der Referenzgewässerauswahl erfassten Ufer- und Auenvegetation wurde davon ausgegangen, dass im Norddeutschen Tiefland (hier im Besonderen das südliche Brandenburg) der Bestandabfall von Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) daran den wesentlichen Anteil stellt. Entsprechend wurde auch für die Bestückung der Mesokosmen mit Falllaub ausschließlich auf *Alnus glutinosa* zurückgegriffen. Allerdings bedeutet dies zumindest für die Simulationssituation „makrophytenreicher, unbeschatteter Seeabfluss (Mesokosmen-Abschnitt M, vgl. Kapitel 1, Abb. 1.6) einen Kompromiss. Es ist davon auszugehen, dass das trophische Gefüge im oberen Seeabfluss nicht oder zumindest weniger stark von Falllaub geprägt wird, als in einem nicht durch einen Seezufluss geprägten Fließgewässer. Neben den veränderten hydrodynamischen und thermischen Bedingungen liefert der See große Mengen von Plankton und Detritus (Habdija et al. 2006). Abiotische wie biotische Veränderungen durch den See geben der Entwicklung einer Zönose Vorschub. Üblicherweise ist diese durch niedrigere Diversität und höhere Besiedlungsdichten, insbesondere von Filtrierern und Sammlern bzw. von niedrigeren Dichten der Zerkleinerer gekennzeichnet (Habdija et al. 2006, Poepperl & Meyer 2005, Knöpp 1952).

3.2.4 Sand

Sand ist im Vergleich zu Laub weniger dicht besiedelt. In den sandgeprägten Referenzgewässern liegt Sand als Sohl-Substrat allerdings in großen Anteilen vor. Entsprechend war ein Besatz mit typischen Vertretern der Sandfauna des Referenzgewässers geplant.

Im Antrag war dazu die Verwendung von Sedimentkammern mit Einsätzen aus Gaze vorgesehen. Im Hinblick auf den erheblichen Zeit- und Kostenaufwand, die deren Fertigstellung gekostet hätte, wurde in Absprache mit der Projektleitung am UBA davon abgesehen. Stattdessen wurden für die Ansiedlung der Sandfauna Pflanztopfuntersetzer verwendet. Die Besiedlung dieser BA kann sowohl durch Drift als auch durch horizontale, nicht aber durch vertikale Wanderungen auf dem Gewässergrund erfolgen. Diese horizontalen Wanderungen wurden u. a. durch die Arbeit von Elser (2001) beschrieben. Die vertikale Besiedlung aus dem Interstitial heraus wird bei diesen Pflanztopfuntersetzern aufgrund des geschlossenen Bodens unterbunden.

3.3 Ansiedlung der Fauna in den Mesokosmen

3.3.1 Material & Methoden

Die Verwendung natürlicher, gewässertypischer Materialien (Sand, Laub und Makrophyten) zum Fang von Makrofauna im Gewässer wurde für die Ansiedlung der Zielgruppen in den Mesokosmen weiter entwickelt (vgl. Einleitung). Das hier gewählte Prinzip der substratgebundenen Etablierung der Referenzgewässerfauna in den Mesokosmen ist in Abb. 3.1 dargestellt. Die Abbildung zeigt die in Netzgaze portionierten organischen Substrate (Laub, *Elodea*) sowie das mit Hilfe von Pflanzenuntersetzer exponierte Sandsubstrat. Nach einer Expositions- bzw. Besiedlungszeit von 21-28 Tagen im Barolder Fließ wurden diese Exponate mit der Fauna in die Mesokosmen überführt. Jede Substratform wurde dort an Positionen befestigt, die den Freilandbedingungen vergleichbar waren (zur Ausstattung der Mesokosmen vgl. Kapitel 4). Die Expositionsformen und Konditionierung der Substrate sind in Tab. 3.1 aufgeführt.

Es wurde erwartet, dass auf den für definierte Zeiträume im Referenzgewässer ausgebrachten Exponaten eine substratspezifische (oder wenigstens substrattypische) Besiedlung durch die Faunenelemente des Gewässers erfolgt. Mit ihrer anschließenden, weitgehend verzögerungsfreien und standardisierten Überführung in die Mesokosmen (s. u.) wurde eine möglichst verlustfreie Ansiedlung der wesentlichen Faunenelemente und damit auch der gewässerökologischen functional feeding groups angestrebt.

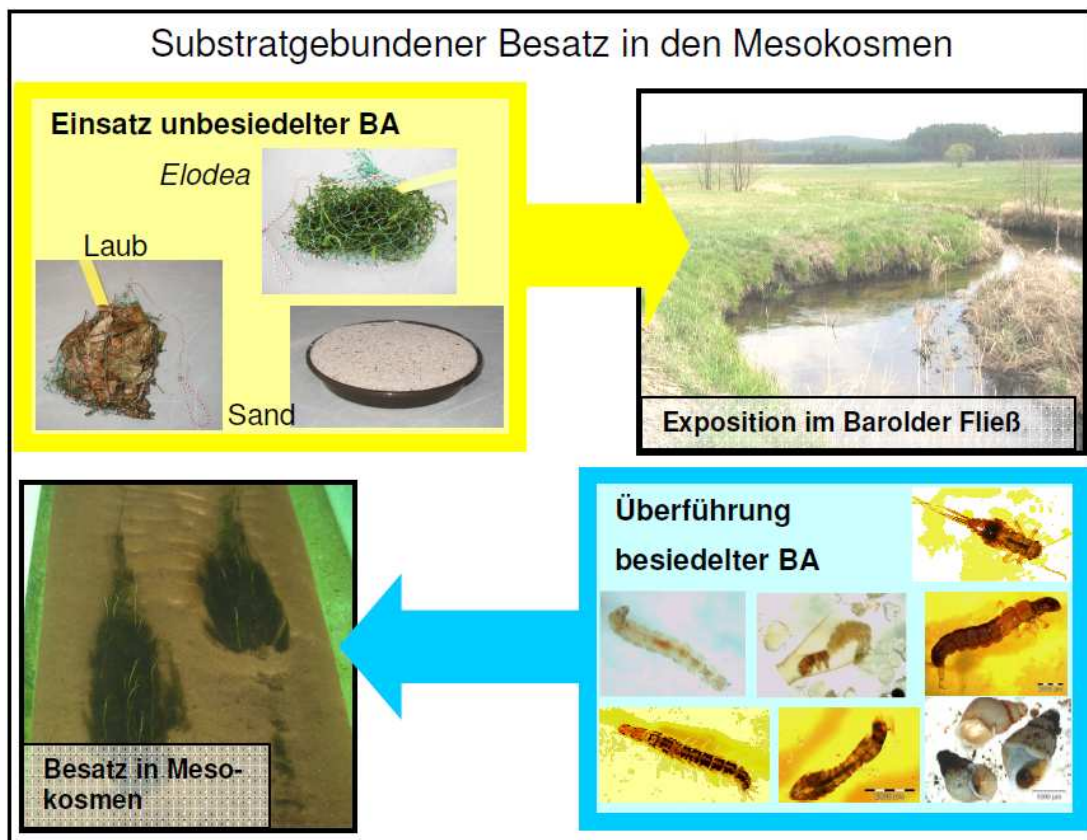


Abb. 3.1: Schematische Darstellung der Methode zur substratgebundenen Ansiedlung der Fauna (BA = Besiedlungsangebote)

Tab. 3.1: Beschaffenheit, Expositionsform und Vorbehandlung der Substratexponate als Besiedlungsangebote (BA)

Substratangebot	Material	Expositionsform	(Vor-) Behandlung
Laub	Bestandsabfall von <i>Alnus glutinosa</i>	Nylonsäckchen à 20 g, Maschenweite 1,5 x 2 cm, strömungsexponiert (s. o.) & sohnlah (beschwert)	Lagerung bei -23 °C, Lufttrocknung: 36 Stunden bei 12 °C
Makrophyten	<i>Elodea canadensis</i>	Nylonsäckchen à 30 g, Maschenweite 1,5 x 2 cm, strömungsexponiert (Schnur, Holzstab)	Entnahme aus Bach, spülen, schleudern (=Abtropfen), Stichproben zur Besiedlungskontrolle
Sand	Sandmischung (0,063mm ->2mm)	PP-Teller, 214 cm ³ Sandvolumen, grundschlüssig in Bachsohle	Herkunft: Sandgrube, auf Schadstoffe überprüft, trocken gelagert

Laub

Das Laub wurde in Form von Laubsäckchen im Barolder Fließ eingesetzt (Abb. 3.2). Es war zuvor von Erlenästen (*Alnus glutinosa*) kurz vor dem Blattwurf gepflückt und für 2 Tage luftgetrocknet worden. Jeweils 20 g Laub wurden dann in ein Nylonsäckchen (Vogelschutznetz aus Polyamid) mit 1,5 x 2 cm mittlerer Maschenweite gefüllt. Die Platzierung der Säckchen erfolgte an Positionen, an denen sich auch auf natürliche Weise Laub in größeren Mengen ansammelt. Dies sind Bereiche langsamer Strömung oder fängige Strukturen wie z.B. Ufersubstrate, submersen Wasserpflanze oder Totholzelemente. Die Kennzeichnung der Exponate erfolgte mit angebrachten Pflanzetiketten, auf denen mit wasserfester Beschriftung die Position, eine laufende Nummer pro Position und der vorgesehene Mesokosmos notiert waren. Laub-Exponate, die am Ufer (U), auf *Elodea*-Polstern (AE), vor *Elodea*-Polstern (VE) und auf Sand (AS) positioniert wurden, waren mit einer Schnur an einem Bambusstab verankert und lagen so leicht treibend auf den darunter liegenden Substraten auf. Laub-Exponate vor und hinter Totholzstämmen (VS und HS) lagen durch einen Stein im Säckchen beschwert locker auf dem Grund. Angaben zur Verteilung von Laubsäckchen auf die Positionen sind Tab. 3.2 zu entnehmen.



Abb. 3.2: Laub-BA

Tab. 3.2: Verteilung und Anzahl der Laub-BA

Verwendung Position	Kontrollen (nach 1 Woche Exposition im Bach)	Kontrollen (2 Wochen Exposition)	Parallelen (3 Wochen Exposition)	BA in Mesokosmen (3 Wochen Exposition)
vor <i>Elodea</i> -Polster (VE)	1	1	6	16
auf <i>Elodea</i> -Polster (AE)	2	2	42	160
auf Sand (AS)			20	80
vor Stamm (VS)	2	2	38	172
hinter Stamm (HS)	2	2	38	172
Uferbereich (U)	1	1	28	122
Summe	8	8	172	712

Die Exposition und die Überführung der Laub-BA in die Mesokosmen erfolgten in gestaffelter Form, wobei jeweils 100 Laubexponate zur selben Zeit exponiert bzw. in die Mesokosmen überführt wurden. Nach jeweils dreiwöchiger Expositionszeit wurden die besiedelten Laubsäcken aus dem Gewässer entnommen. Der im Antrag aufgeführte, in der Literatur beschriebene Netzgreifer (Marklund 2000) kam nach einer ersten Probephase nicht mehr zum Einsatz. Seine Handhabung im Barolder Fließ hatte sich als zeitaufwändig und unspezifisch erwiesen. Insbesondere bei Wassertrübung und/oder direkter Lage der Exponate auf Bachsubstraten konnte damit nicht vermieden werden, dass andere Substrate oder sogar Exponate ungewollt mit erfasst wurden. Durch den sperrigen Rahmen konnten Laub-Exponate, die z.B. nahe an Totholzstämmen lagen, nicht problemlos entnommen werden. Zudem war erkennbar, dass der zeitaufwändige Ausspülvorgang des Netzgreifers vor dem nächsten Einsatz erhöhte Mortalitäts- oder wenigsten Schädigungsraten bei den Faunenelementen zur Folge hatte. Der nach Delong et al. (1993) zur Erfassung von MZB auf Totholz in flachen Gewässern geeignete „snag-sampler“ kam aus denselben Gründen nicht zum Einsatz.

Für die Entnahme war deshalb eine schonendere und weniger zeitaufwändige Methode zu entwickeln. Es wurden, entsprechend der Zahl ausgebrachter Substrate, insgesamt 100 einfache Keschernetze (Polyester, Maschenweite: 100 µm) genäht, die mit Wäscheklammern schnell lösbar an einem Kescherrahmen (Maße: 27 x 17 cm) befestigt wurden (Abb. 3.3). Jedes Exponat wurde damit unter Wasser zügig und direkt in das unterhalb gehaltene Netz überführt. Dieses Netz wurde dann vom Kescherrahmen gelöst, mit einem Clipverschluss aus Kunststoff verschlossen und in großräumigen Transportbehältern (ohne Wasserfüllung) gelagert. Die Farbe der Verschlussclips codierte die Mesokosmen-Abschnitte, in die die Substrate später überführt werden sollten. Bei der Lagerung wurde darauf geachtet, dass die Netze locker nebeneinander lagen. Dies sollte die Druckbelastung auf das Exponatmaterial klein halten. Die Tiere konnten so bei ausreichender Sauerstoffversorgung und ohne gedrückt zu werden transportiert werden.



Abb. 3.3: Entnahme der BA mit schnell wechselbaren Keschernetzen

Die Handhabung und Sortierung gewährleistete zudem eine äußerst zügige Überführung der Exponate in die Mesokosmen. An der Beschriftung war das Exponat sofort eindeutig zu erkennen, konnte sofort in der FSA aus dem Netz genommen und an der festgelegten Position (Abb. 3.6) im Mesokosmos eingesetzt werden. Das Netz wurde anschließend im Wasser direkt über dem Exponat gründlich gespült.

Diese Form der laubgebundenen Ansiedlung von MZB erfolgte an 8 Terminen im Dezember 2004 und in der Zeit von Dezember 2005 bis März 2006. Dabei wurden in dieser Weise insgesamt 900 Laubexponate (inkl. Kontrollen und Parallelen, s. u.) verarbeitet. Durch ein Hochwasserereignis (im März 2006), das zur Versandung von BA führte, musste der Verlust von ca. 50 BA hingenommen werden. Diese Verluste wurden jedoch in der folgenden Expositionsserie wieder ausgeglichen.

Kontroll- und Parallelexponate Laub

Parallel zu den in die Mesokosmen überführten BA wurden in der ersten Expositionsserie auch so genannte ‚Kontrollen‘ im Referenzgewässer eingesetzt. Diese analog gestalteten BA mit Laub wurden nach 1 bzw. 2 Wochen entnommen und nach der Entnahme in 80%igem Ethanol fixiert und direkt untersucht. Sie sollten den Verlauf der Besiedlung im Referenzgewässer im zeitlichen Verlauf der Exposition dokumentieren und langfristig dazu beitragen, den Expositionszeitraum zu optimieren.

Weiterhin wurden parallel zu jeder Expositionsserie so genannte ‚Parallelen‘ im Gewässer exponiert. Diese Laub-BA wurden nach drei Wochen zusammen mit den BA entnommen. Sie wurden, wie die Kontrollen, direkt ausgewertet und dienten der quantitativen und qualitativen Abschätzung der im Referenzgewässer erfolgten Ansiedlung auf Laub. Ihre Auswertung lieferte die Datenbasis für die angestrebten Aussagen über die Anzahl und Zusammensetzung der in die Mesokosmen übertragenen Makrofauna.

In 4 der 8 Expositionsserien dienten die Parallelen außerdem als Mortalitätskontrollen. Diese Versuche wurden zur genauen Bestimmung des Methodenfehlers (= Verlust an Tieren durch Transport, Hälterung und Handhabung allg., vgl. Kapitel 3.4) durchgeführt. Diese umfassende Untersuchung der Parallelen lieferte die Gesamtanzahl der in die Mesokosmen eingebrachten

Individuen und die Mortalitätsdaten und damit eine Aussage über die effektive Eingangsgröße (Differenz = Besatz der Mesokosmen mit lebendigen Tieren).

Die Positionierung der Kontrollen und Parallelen im Bach und ihre Entnahme erfolgte in gleicher Weise wie die der in die Mesokosmen eingesetzten BA (Tab. 3.2).

Elodea

Zur Herstellung der normierten *Elodea*-BA wurden im Barolder Fließ größere Büschel von *Elodea canadensis* aus den oberen 30 cm der Pflanzenpolster entnommen, gründlich in Wasser gespült und anschließend über ein Netz per Hand geschleudert. Aus diesem Pflanzenmaterial wurden pro Expositionsserie 100 Besiedlungsangebote à 30 g Frischgewichteinwaage, in der gleichen Weise wie Laub-Exponate (Nylonsäckchen), hergestellt (Abb. 3.4).



Abb. 3.4: *Elodea*-BA

Alle BA wurden im Barolder Fließ an für *Elodea* typische Positionen gesetzt, d.h. im Bereich vorhandener Makrophytenpolster und auf Sand in Bachmitte (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Verteilung und Anzahl der *Elodea*-BA

Verwendung Position	Parallelen (3 Wochen Exposition)	BA in Mesokosmen (3 Wochen Exposition)
vor <i>Elodea</i> -Polster (VE)	30	140
auf Sand (AS)	30	100
Summe	60	240

Zur Kontrolle der Gründlichkeit des Spülvorgangs wurden 9 Stichproben des gespülten Materials zufällig entnommen und direkt in 80%igem Ethanol fixiert. Sie wurden später im Labor auf evtl. noch anhaftende Tiere untersucht. Dabei wurden 250 bis 300 Individuen pro 30 g Frischgewicht gezählt. Den größten Anteil der nicht entfernten Besiedler hatten dabei die

Chironomidae (ca. 98%). Vereinzelt wurden Trichoptera festgestellt. Eine 100%-ige Entfernung der Larven, Puppen und ggf. auch Eigelege konnte bei dieser Bearbeitungsweise nicht erwartet werden. Diese Vorgehensweise stellte vielmehr einen Kompromiss zwischen dem Arbeitsaufwand für die zeitnahe Fertigstellung von 100 *Elodea*-Exponaten (Frischmaterial) einerseits, dem Grad der mechanischen Schädigung von Biota durch die Spülvorgänge andererseits und der für die anschließende Exposition angestrebten Freiheit von Besiedelung dar.

Die Entnahme und Überführung der Besiedlungsangebote in die FSA erfolgte nach einer Expositionszeit von drei Wochen. In die Mesokosmen wurden sie analog der Positionen im Referenzgewässer eingesetzt (Abb. 3.6). Die Markierung, Exposition und Entnahme sowie der Transport und die Überführung erfolgten wie für die Laubexponaten beschrieben (s. o.). Allerdings wurden die Transportbottiche, die auch hier ebenfalls nicht mit Wasser befüllt waren, zur Verhinderung der Austrocknung mit Plastikfolien abgedeckt.

Diese Form der an Makrophyten gebundenen Ansiedlung von MZB erfolgte an drei Terminen in der Zeit von August bis Oktober 2005. Dabei wurden insgesamt 316 *Elodea*-Exponate verarbeitet.

Parallelexponate *Elodea*

Analog zur Vorgehensweise bei den Laub-Exponaten wurden auch hier zu jeder Expositionsserie Parallelen eingesetzt und nach 3 Wochen entnommen. Entsprechend dem Vorgehen bei Laub wurde in einer Expositionsserie eine Mortalitätskontrolle durchgeführt.

Sand

Die zur Exposition von Sand verwendeten Pflanztopfuntersetzer aus Polypropylen (Durchmesser: 16,5 cm, Oberfläche: 214 cm²) wurden jeweils mit 900 g Sand gestrichen gefüllt (Abb. 3.5). Die Korngrößenzusammensetzung entsprach der des Sedimentes in den Mesokosmen (vgl. Kapitel 4.1). Die grundschlüssige Exposition erfolgte in einen Bachabschnitt des Barolder Fließ mit leicht strukturierter Sohle (R = Rippel) und in einem Abschnitt mit stabiler Sohle, die leichte Ansätze zur Kolmation aufwiesen (S/K) (Tab. 3.4).



Abb. 3.5: Sand-BA und entsprechender Siebaufsatz mit schwarzer Schaumstoffdichtung

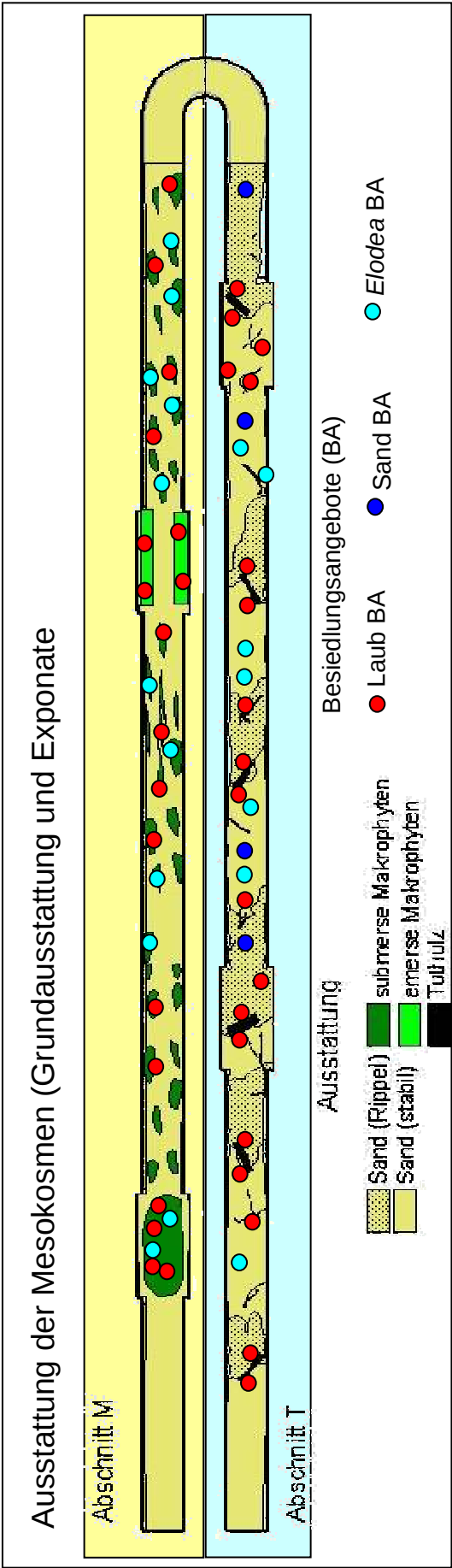
Tab. 3.4: Verteilung und Anzahl der Sand-BA

Verwendung Position	Parallelen (4 Wochen Exposition)	BA in Mesokosmen (4 Wochen Exposition)
Rippel (R)	6	8
stabil (S/K)	6	8
Summe	12	16

Nach einer Expositionsdauer von vier Wochen wurden alle Sand-BA entnommen. Hierzu wurde ein Siebaufsatz mit 500 µm Maschenweite und stabilem Rand auf den Rand des Exponates (Polypropylen-Teller) gesetzt. Das Sieb entsprach den Maßen des Exponates und wies eine fest angeklebte Schaumstoffpolsterung auf, mit der das Sieb bündig auf die Exponate gepresst werden konnte (Abb. 3.5). Das Exponat wurde mit dem Siebaufsatz zügig aus dem Sediment gehoben und das überschüssige Wasser ohne Verluste der Faunenelemente über das Sieb abgegossen. Die Exponate wurden dann in einzelne wieder verschließbare Gefrierbeutel überführt und in stabilen Kisten eben gelagert. Diese BA wurden in vier Mesokosmen ausgebracht, die ähnlich strukturierte Sedimentbereiche aufwiesen, wie sie im Freiland vorlagen (Abb. 3.6). Dabei wurde der Siebaufsatz noch im Beutel erneut auf den Rand der Sandexponate aufgepresst und so jedes BA sorgfältig in das Mesokosmen-Sediment eingesetzt, ohne dass Material aus den Exponaten herauspülte.

Parallelexponate Sand

Auch bei den Versuchen mit Sand kamen Parallel-Exponate zum Einsatz. In Tab. 3.5 sind die Arbeitsschritte und der Arbeitsaufwand (Tag/Person) für die Verwendung von Besiedlungsangeboten dargestellt. Alle Arbeitsschritte können sehr gut von zwei Personen erledigt werden. Dabei wird bei gleichem Arbeitsaufwand die Dauer der Arbeitsschritte halbiert.



BA-Anzahl pro Mesokosmos	Beschaffung und Konditionierung des Materials		Verarbeitung zu Exponaten		BA-Anzahl pro Mesokosmos	Einsatz im Referenzgewässer		Entnahme und Überführung in Mesokosmen		Summe/ Gesamt Aufwand d/p
	Arbeitsschritte	Aufwand d/p	Arbeitsschritte	Aufwand d/p		Aufwand d/p	Aufwand d/p	Aufwand d/p	Aufwand d/p	
Laub 100 BA	Aste holen	1	Netze knüpfen, beschriften	1,5	Laub 100 BA	1	1	1	1	7,5
	Blätter zupfen, befeuchten, einfrieren (vor Verarbeitung auftauen und trocknen)	2,5	Laub abwägen und abfüllen	0,5						
Elodea 100 BA	im Bach pflücken, spülen, Hand-Trockenschleudern	0,1	Netze knüpfen, beschriften	1,5	Elodea 100 BA	1	1	1	1	4,1
			Elodea abwägen und abfüllen	0,5						
Sand 50 BA			Teller beschriften	0,2	Sand 50 BA	1	1	1	1	2,7
			Sand abfüllen	0,5						
Gesamt		3,6		4,7		3	3	3	3	14,3

Tab. 3.5: Arbeitsschritte und -aufwand (d/p = Tag/Person)

Abb. 3.6: Plan der Mesokosmenausrüstung mit Strukturen

3.4 Eingrenzung des Methodenfehlers

Bei der Bestimmung des Methodenfehlers wurde zwischen der unmittelbaren Schädigung und der kurzfristigen Mortalität unterschieden.

Unmittelbare Schädigung

Ein separater Versuch diente der Überprüfung des möglichen Methodenfehlers durch Transport und Handhabung der Exponate bis zum Besatz der Mesokosmen. Geklärt werden sollte die Frage, in welchem Maße die dem Bach entnommenen Tiere durch den Transport letal geschädigt wurden.

Kurzfristige Mortalität

Ein weiterer Versuch sollte die kurzfristige Mortalität erfassen, denn es wurde angenommen, dass für einen Teil der in die Mesokosmen überführten Fauna, die dort vorliegenden Bedingungen Stressfaktoren gleichzusetzen sind. Zudem wurde erwartet, dass Transport und Entnahme auch subletale Schädigungen bedingen, die zusammen mit den anderen Stressoren insbesondere in den ersten Tagen einen Ausfall größerer Anteile der Besiedler bedingen könnten („kurzfristige Mortalität“). Der Erfassungszeitraum für die „kurzfristigen Mortalität“ wurde auf einen bzw. sechs Tage festgelegt.

3.4.1 Methoden

Erfassung der unmittelbaren Schädigung

Insgesamt wurden 80 Laub-Parallelen und 20 *Elodea*-Parallelen für diese Analyse ausgewertet. Wie oben beschrieben wurden zu jeder BA-Staffel 20 Parallelen im Barolder Fließ exponiert. Sie dienten der quantitativen und qualitativen Abschätzung der im Referenzgewässer erfolgten Ansiedlung und damit als Aussage über die Anzahl und Zusammensetzung der in die Mesokosmen übertragenen Makrofauna. Vor ihrer Fixierung in 80%igem Ethanol wurden sie für die Mortalitätskontrolle nach dem Transport noch am selben Tag bearbeitet (Abb. 3.7). Die Exponate wurden dem Keschernetz entnommen (Wechselnetz, Abb. 3.3) und das Netz über einer Photoschale gereinigt. Danach wurde das Exponat vorsichtig mit Wasser in eine Photoschale gespült. Das gespülte Exponat wurde in eine wieder verschließbare Gefriertüte (ZIP-LOC Brand®) überführt. Dann wurde der abgespülte Anteil des Exponates (organisches Material, Fauna) in der Photoschale makroskopisch auf das Vorhandensein toter Tiere untersucht. Die toten Tiere wurden aus der Schale genommen, gezählt und in ein Probenröhrchen (1 ml) überführt. Die Sofortzählung erfolgte hier zunächst auf dem Bestimmungsniveau der Ordnungen. Weiterhin wurden Schädigungen an lebenden Tieren notiert (z.B. fehlende Beine, Cerci oder Kiemen).

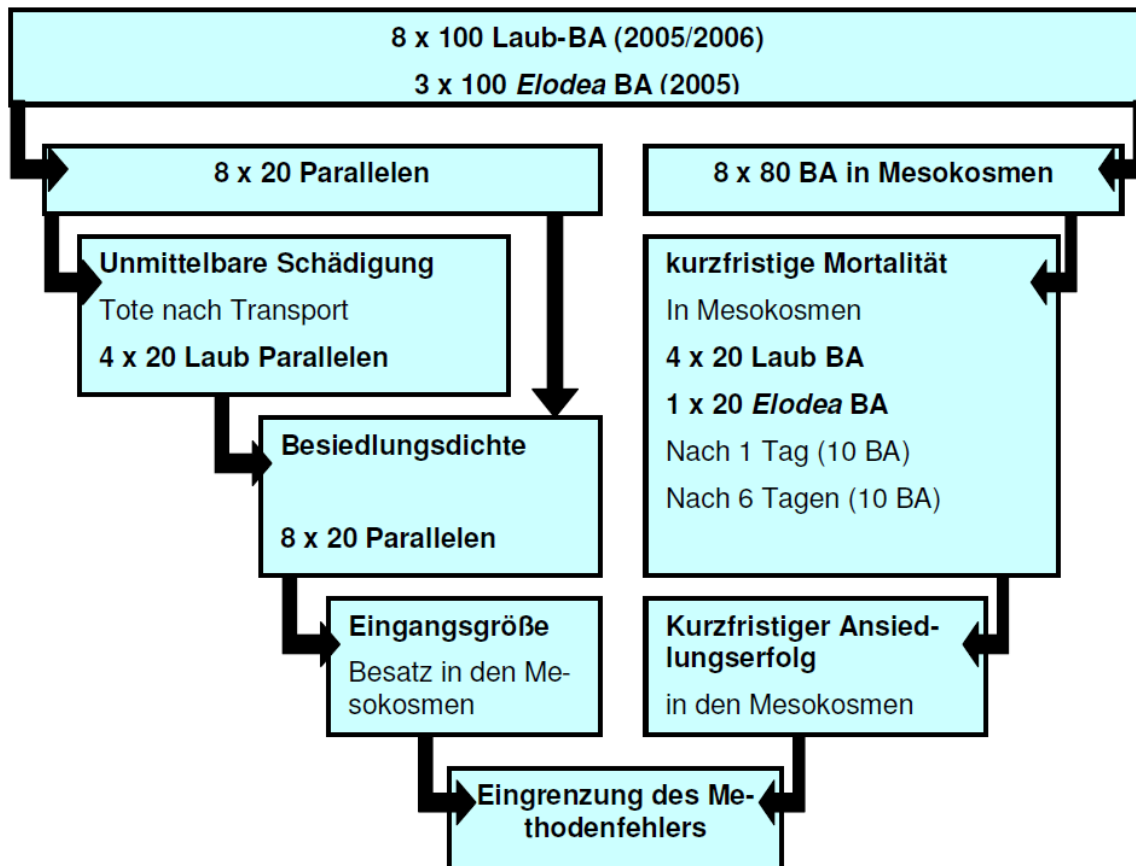


Abb. 3.7: Prinzip der Ermittlung des Methodenfehlers und der dazu verwendeten Stichproben

Das Material mit den lebenden Tieren in der Fotoschale wurde anschließend wieder dem jeweiligen Exponat (Gefriertüte) hinzugefügt und für die differenzierte Bearbeitung mit 80%igem Ethanol fixiert. Zur weitergehenden Bearbeitung wurde später jeweils die gesamte Probe unter dem Binokular (Zeiss Stemi 2000-C und Leica MZ-5) bei 6,5 bis 10facher Vergrößerung aussortiert, bestimmt und die Taxa ausgezählt. Die Auswertung dieser Stichproben ergab eine Aussage über den effektiven Besatz (Anzahl der dem Bach entnommenen Tiere abzüglich Anzahl der toten Tiere).

Erfassung der kurzfristigen Mortalität

Stichproben von vier Expositionsserien mit Laub (Termine 15.02.2006, 21.02.2006, 07.03.2006, 06.04.2006) und einer Expositionsserie mit *Elodea* (Termin 05.10.2005) dienten der Erfassung der kurzfristigen Mortalität. An diesen Terminen wurden jeweils 20 BA zufällig ausgewählt. Sie wurden nicht sofort nach der beschriebenen Methode (vgl. Kapitel 3) in die Mesokosmen überführt, sondern sofort nach dem Transport mit dem umgebenden Netzbeutel (Wechselnetz) in den Mesokosmen platziert. Nach einer Versuchsdauer von 1 und 6 Tagen wurden jeweils 10 BA entnommen und in derselben Weise untersucht, wie oben für die Ermittlung der unmittelbaren Schädigung beschrieben. Die toten Tiere wurden nach dem Spülen ausgezählt und in 80%igem Ethanol fixiert. Der lebende Teil der Fauna wurde wieder den jeweiligen Laub- oder

Elodea-BA zugeführt. Diese BA wurden danach in üblicher Weise an den vorgesehenen Positionen in den Mesokosmen exponiert. Zur Berechnung der Mortalitätsrate wurde die hier ermittelte Anzahl der toten Individuen nach 1 und 6 Tagen auf die, mit Hilfe der Parallelen erfasste, durchschnittliche Grundgesamtheit der eingesetzten Individuen pro BA bezogen (s. o. Abb. 3.7).

3.4.2 Ergebnisse

Unmittelbare Schädigung

Transportbedingte Mortalität trat bei Laub lediglich in acht von 22 Taxa und bei *Elodea* in fünf der 17 Taxa und jeweils nur in einzelnen Fällen auf. In allen Proben blieb die Zahl der zwischen Entnahme und Besatz gestorbenen Individuen minimal. Sie betrug bei Laub (rein rechnerisch) 3,5 Individuen pro Probe, bei *Elodea* 1,6 Individuen pro Probe. Der höchste Durchschnittswert toter Tiere lag in der Gruppe der Chironomidae bei durchschnittlich 1,68 Tieren (auf Laub) bzw. 1,3 Tieren (auf *Elodea*) (Tab. 3.6).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf jedes Substrat im Freiland möglicherweise auch tote Tiere zudriften oder während ihres Aufenthalts auf dem Substrat gestorben sein können. Aufgrund der im Promillebereich liegenden Mortalitätsrate (Tab. 3.6) ist davon auszugehen, dass die gewählte Form der Handhabung und des Transportes der BA äußerst schonende Prozesse sind. In deren Folge ist keine nennenswerte Schädigung bzw. Mortalität zu erwarten. Sofern nach Besatz der Mesokosmen erhöhte Mortalitätsraten auftreten, dürften sie nicht auf die Besatzmethode zurückzuführen sein.

Tab. 3.6: Mortalität pro Probe bezogen auf Eingangsgröße (Besatz)

Proben	Laub		<i>Elodea</i>	
N	80		20	
Durchschnittliche Taxa auf BA	19		19	
Taxazahlen mit Mortalität	8		5	
	Mittelwert pro Probe	Relative Anteile	Mittelwert pro Probe	Relative Anteile
Tote Individuen gesamt	3,50	0,5164%	1,60	0,0557%
Gastropoda				
Bivalvia				
Oligochaeta	0,03	0,15%	0,05	0,12%
Hirudinea				
Acari				
Amphipoda	1,50	1,49%	0,05	0,04%
Isopoda	0,03	0,40%	0,05	2,55%
Ephemeroptera				
Odonata	0,01	0,43%		
Plecoptera				
Megaloptera	0,01	28,57%		
Heteroptera				
Coleoptera				
Trichoptera	0,19	0,77%	0,15	0,45%
Diptera L				
Diptera P				
Tabanidae				
Ceratopogonidae				
Chironomidae	1,68	0,37%	1,30	0,05%
Ptychopteridae				
Simuliidae L	0,06	0,64%		
Simuliidae P				

Kurzfristige Mortalität / Kurzfristiger Ansiedlungserfolg

Weder auf Laub noch auf *Elodea* trat kurzfristig eine nennenswerte Mortalität auf (<2% der Besiedlungsdichte). Der kurzfristige Ansiedlungserfolg (1-6 Tage, Tab. 3.7) lag auf beiden Substraten für die meisten Taxa bei nahezu 100% des Besatzes. Lediglich bei den Megaloptera betrug der Ansiedlungserfolg rechnerisch nur 20%. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Megaloptera sowohl im Bach als auch auf den BA lediglich vereinzelt auftraten (vgl. folgende Kapitel).

Aus diesen Daten wird geschlossen, dass auch die subletale Schädigung der mit den BA in die Mesokosmen eingebrachten Tiere minimal ist. Weder Transport noch Übertragung in die Mesokosmen hatten kurzfristig gravierenden Einfluss auf die Vitalität der Fauna

Tab. 3.7: Kurzfristiger Ansiedlungserfolg mit Laub- und *Elodea*-BA (= Besatz minus Mortalität nach 1 & 6 Tagen)

Probe	Laub	<i>Elodea</i>
N	80	20
alle Taxa	98,60%	99,96%
Taxazahlen	22	17
Gastropoda	100,00%	100,00%
Bivalvia	100,00%	100,00%
Oligochaeta	99,71%	100,00%
Hirudinea	100,00%	
Acari	100,00%	100,00%
Amphipoda	95,68%	99,84%
Isopoda	98,38%	100,00%
Ephemeroptera	100,00%	100,00%
Odonata	97,39%	100,00%
Plecoptera	100,00%	
Megaloptera	20,00%	
Heteroptera		100,00%
Coleoptera	98,73%	100,00%
Trichoptera	98,34%	99,70%
Diptera L	100,00%	
Diptera P	100,00%	100,00%
Tabanidae	100,00%	
Ceratopogonidae	100,00%	100,00%
Chironomidae	99,14%	99,97%
Ptychopteridae	100,00%	
Simuliidae L	95,13%	100,00%
Simuliidae P	100,00%	100,00%

3.4.3 Fazit

Für den Betrieb der FSA bedeutet die geringe Mortalität, dass bei der hier entwickelten Form der Entnahme von Tieren aus dem Referenzgewässer und bei deren Ansiedlung in den Mesokosmen kurzfristig kaum Verluste auftreten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das hier als Referenzgewässer ausgewählte, sublacustrische Gewässer ein sehr spezielles System darstellt. Temperatur, Nahrungszusammensetzung und Sauerstoffhaushalt stellen Selektionsfaktoren dar, die unterhalb von Seen nur bestimmte, relativ euryöke Faunenelemente unter der typischen Fauna kleiner Bachläufe selektiert. Bei Besatz der Mesokosmen mit Faunenelementen anderer Gewässertypen sollten deshalb zukünftig vorab die Mortalitätsraten geprüft werden. Aufgrund

der relativ hohen Temperaturen in den Mesokosmen könnten eventuell höhere Verluste auftreten, wenn z. B. Faunenelemente quellgeprägter Gewässer angesiedelt werden sollen. Die hier durchgeführte Methode stellt dafür ein geeignetes Verfahren dar.

3.5 Überprüfung des Repräsentativitätsgrades der angesiedelten Fauna

Zentrales Ziel dieser Untersuchung war die Ansiedlung von typischen Makrozoobenthos-Arten der Tieflandgewässer in den Mesokosmen. Die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Fauna des Referenzgewässers und insbesondere die Etablierung wesentlicher funktioneller Ernährergilden bildeten Größen, anhand derer sich die Erfolgsaussichten der Simulation messbar machen sollten, dabei die Orientierungshilfe und den Gradmesser Simulation.

Hierzu wurde die Fauna der natürlichen Substrate in den Referenzgewässern mit der Besiedlung auf den Substratangeboten verglichen, die dem Besatz der Mesokosmen dienten. Ziel war es, eine Aussage über den Grad der Repräsentativität der mit den Besiedlungsangeboten (BA) in die Mesokosmen übertragenen Fauna zu erhalten.

Zwei Hypothesen bilden die Grundlagen der Auswertung.

1. Die Fauna der BA ähnelt qualitativ, quantitativ und in Bezug auf functional feeding groups (FFG) der Fauna in den entsprechenden Substrattypen im Referenzgewässer.
2. BA erfassen neben substratspezifischen Besiedlern auch zahlreiche euryöke bzw. eurytope Taxa, die in den Mesokosmen angesiedelt werden können.

Die Analyse umfasst die Differenzierung der Fauna auf höherem taxonomischem Niveau. Die weitere Bestimmung einiger ausgewählter Ordnungen (meist individuenreiche) auf Familien-, Gattungs- oder Artniveau erlaubt zudem eine Zuordnung der Ernährungstypen und weiterer ökologischer Präferenzen. Die Zuordnung zu den unterschiedlichen Präferenzen basiert auf der ökologischen Typisierung der aquatischen Makrofauna des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Schmedtje & Colling 1996). In Tab. 3.8 und 3.9 sind die Substratpräferenzen und Ernährungstypen beschrieben. Bei der Auswertung für diesen Bericht werden die hier als Lithalpräferenden bezeichneten Gruppen, entsprechend den langjährigen Erfahrungen verschiedener Forschergruppen an Tieflandgewässern, als Hartsubstratbesiedler allgemein gewertet.

Tab. 3.8: Beschreibung der Einteilung nach Substratpräferenzen (Schmedtje & Colling, 1996, Seite 17)

Abiotische Substrate	Erläuterung
Pelal:	unverfestigte Feinsedimente (Schlick, Schlamm; Korngröße < 0,063 mm)
Psammal:	Fein-Grobsand (Korngröße 0,063-2 mm)
Akal:	Feinkies, Mittelkies (Korngröße 0,2-2 cm)
Lithal:	Grobkies, Steine bis Felsblöcke (Korngröße > 2 cm)
Biotische Substrate	
Phytal:	aquatische Algen, Moose und höhere Wasserpflanzen einschl. lebender

Simulation eines Tieflandbaches in Fließgewässer-Mesokosmen im Hinblick auf ökotoxikologische Effektversuche

POM:	partikuläres organisches Material: u.a. Totholz, Äste, Zweige, Falllaub,
Sonstige	

Tab. 3.9: Beschreibung der Einteilung nach Ernährungstypen (gekürzt, Schmedtje & Colling, 1996, Seite 21)

Ernährungstyp	Nahrungsmaterial
Weidegänger:	Biofilme auf Hartsubstraten
Zellstecher:	Zellen von Algen und höheren Wasserpflanzen
Zerkleinerer:	Fallaub und weiteres CPOM (coarse particular organic mater)
Sedimentfresser:	sedimentiertes FPOM (fine POM) (Gemisch: Detritus, Bakterien, lebende Algen)
Filtrierer:	planktische Algen, kleine Beutetiere oder FPOM (aktiv oder passiv z.B. über Netze)
Räuber:	lebende Beutetiere
Parasiten:	Körpersubstanzen des Wirts
sonstige:	Sonstige Ernährungstypen (z. B. Aasfresser)

Statistische Auswertung

In diesem und einigen folgenden Ergebniskapiteln wurden zur multivariaten Klassifizierung der Daten Ähnlichkeitsmaße berechnet und Clusteranalysen durchgeführt. Auf Basis aller bestimmten Taxa (ThO und Unterfamilien, Gattungen und Arten der Trichoptera, Gastropoda und Chironomidae) und deren Häufigkeiten auf den MBA wurde das Ähnlichkeitsmaß nach Wainstein (Berechnung nach Mühlenberg, 1993, S. 346) berechnet. Auch die hierarchischen Clusteranalysen (Clusterbildung: group average, Distanzmaß: Chi-Quadrat, Berechnungen nach McCune & Mefford, 1999) basieren auf diesen Daten. Es wurden ausschließlich Distanzmaße gewählt, welche die Häufigkeiten der Taxa mit einbeziehen. Die Verwendung von Präsenz-Absenz-Daten wäre auf dem vorliegenden Bestimmungsniveau verfälschend gewesen.

3.5.1 Substratspezifische Besiedlung natürlicher Substrate im Barolder Fließ

Die nachfolgende Analyse der natürlichen Substrate bezieht sich auf die in Anlehnung an die AQEM-Methodik (AQEM Consortium 2002) erfasste Besiedlung im Barolder Fließ (Methode vgl. Kapitel 2). Diese Substrate wurden im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (*Elodea*, Sand) beprobt.

Kennzeichnend für die Besiedlung aller natürlichen Substrate im Barolder Fließ war ein hoher Anteil an Chironomidae. Er betrug im Durchschnitt aller Substrate 50%. Der Anteil der Chironomidae lag auf Laub bei mehr als 70% der insgesamt dort ansiedelnden Fauna. Auf den anderen Substraten lag der Anteil der Chironomidae bei 38 – 40% (Abb. 3.8).

Neben den Chironomidae gehörten Oligochaeta² und Amphipoda zu den Taxa mit größerer quantitativer Bedeutung. Oligochaeta hatten durchschnittlich rd. 25% Anteil an der Besiedlung, Amphipoda durchschnittlich rd. 10%. Während Oligochaeta weit höhere Anteile an der Sandbesiedlung stellten, traten Amphipoda vermehrt in Laub und *Elodea* auf (Abb. 3.9). Die je Substrattyp erfasste Zahl der Taxa höherer Ordnung war mit 17 bzw. 18 Gruppen auf beiden Substrattypen recht ähnlich (Abb. 3.10).

Auch die Gesamtzahl der Tiere je Probe war relativ ähnlich. Mit der AQEM-Technik wurden auf Sand im Durchschnitt aller Proben rd. 950 Tiere erfasst, auf Laub 800 und auf *Elodea* rd. 1.110 Individuen. Aufgrund der unterschiedlichen Materialien, und damit der betreffenden Bezugsgrößen, ist ein direkter Vergleich nur bedingt möglich. Die Daten geben aber einen Hinweis auf die Dichte der Tiere. Methodisch beziehen sich diese Daten nur auf die ersten Zentimeter des Sohlsubstrates.

² Bei der Bewertung der Daten zu den Oligochaeta ist zu berücksichtigen, dass methodisch bedingt vielfach nur Bruchstücke der Tiere vorlagen. Während bei ausgewachsenen Tieren durch Auszählung allein der Vorderenden verlässliche Daten ermittelt werden können, muss hier von einer nicht wertbaren Fehlerquote ausgegangen werden, wenn Anteile junger und jüngster Oligochaeta auftraten. Dies war im Gewässer im Frühjahr und in den Mesokosmen durchgängig der Fall.

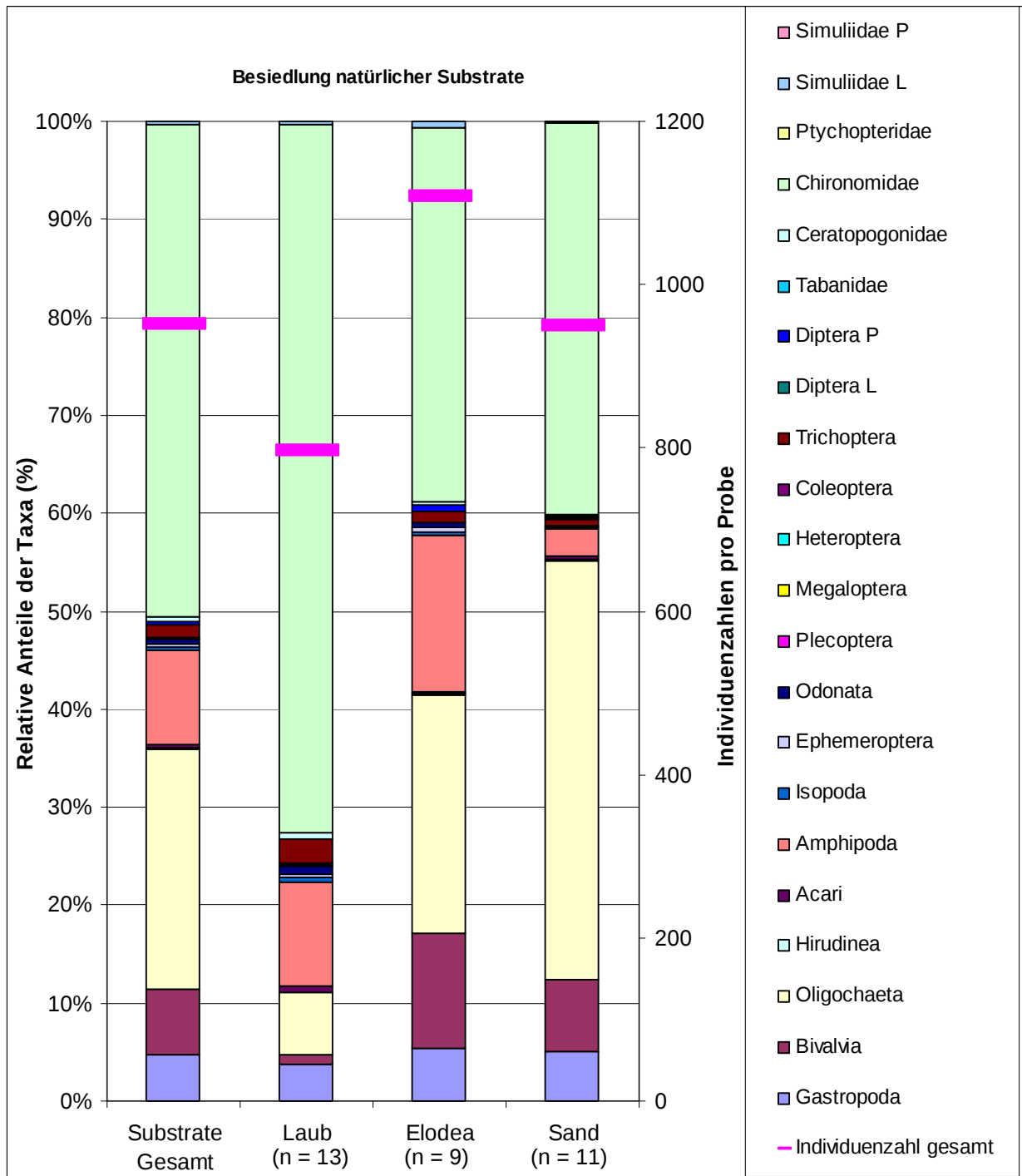


Abb. 3.8: Relative Anteile der Taxa in natürlichen Bachsubstraten. Datengrundlage: Probennahmen im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (Elodea, Sand)

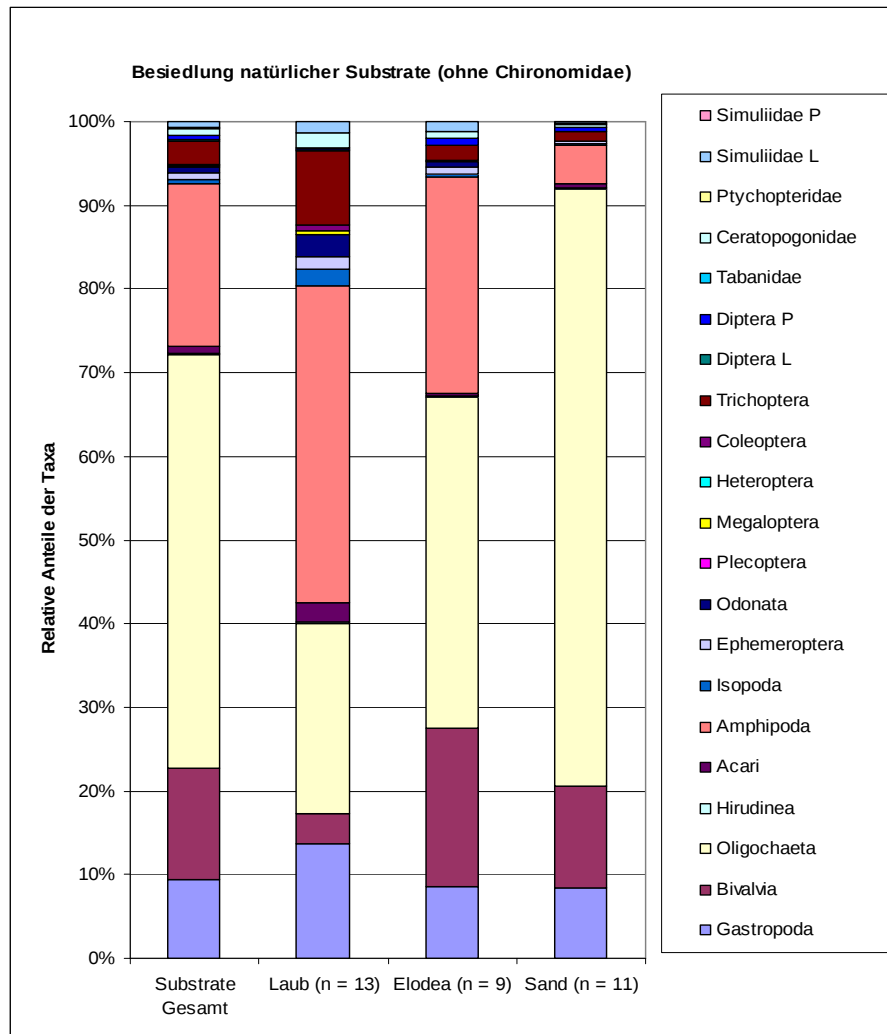


Abb. 3.9: Relative Anteile der Taxa (ohne Chironomidae) in natürlichen Bachsubstraten. Datengrundlage: Probennahmen im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (*Elodea*, Sand)

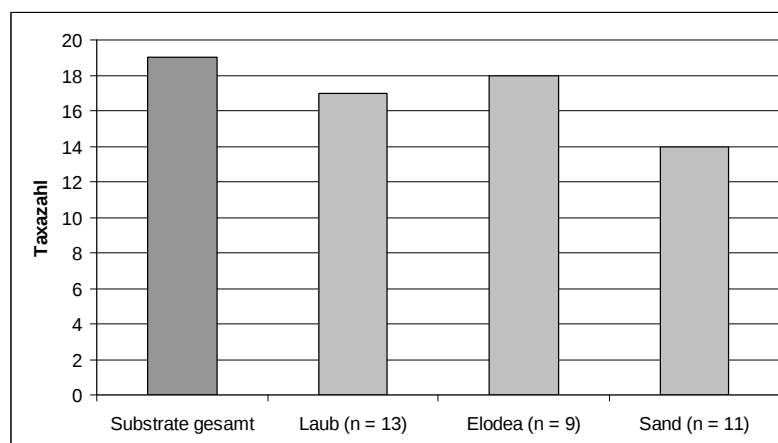


Abb. 3.10: Anzahl der Taxa je Substrat. Datengrundlage: Bachproben (AQEM) im November 2004 (Laub) und Juni 2005 (*Elodea*, Sand)

3.5.2 Besiedlung der Besiedlungsangebote (BA)

Datenbasis für diesen Vergleich bildet die Besiedlung jener ‚Parallelen‘, die im Dezember 2004 (Laub-BA), im April 2005 (Sand-BA) sowie im August und September 2005 (*Elodea*-BA) für 21-28 Tage im Barolder Fließ exponiert waren (Methode siehe Kapitel 3.3.1).

Auch diese Besiedlungsangebote (BA) wurden von Chironomidae dominiert. Diese Gruppe stellte dort im Durchschnitt ca. 70%. Ihr Anteil erreichte auf Sand knapp 50%, auf Laub 53% und auf *Elodea*-Exponaten 80% (Tab. 3.10 und Abb. 3.11). Zu berücksichtigen ist, dass die *Elodea*-Exponate bereits beim Einsatz der BA in das Referenzgewässer mit Chironomidae besetzt waren, da sie nicht vollständig abgereinigt werden konnten (vgl. auch Abb. 3.12). Neben den Chironomiden gehörten Amphipoda (auf Laub rd. 25%, auf *Elodea* rd. 7%) bzw. Oligochaeta (auf Sand rd. 35%) zu den quantitativ bedeutenden Besiedlern (Abb. 3.11).

Tab. 3.10: Durchschnittliche Individuenzahlen auf BA und relative Anteile der Taxa

Proben	Laub-BA		<i>Elodea</i> -BA		Sand-BA	
N	28		25		8	
Individuen gesamt	630,21		1445,36		647,63	
Taxazahlen	18		18		13	
	Mittelwert pro BA	Relative Anteile	Mittelwert pro BA	Relative Anteile	Mittelwert pro BA	Relative Anteile
Gastropoda	44,2	7,0%	65,0	4,5%	13,5	2,1%
Bivalvia	7,3	1,2%	2,3	0,2%	40,1	6,2%
Oligochaeta	27,9	4,4%	27,0	1,9%	227,5	35,1%
Hirudinea	0,4	0,1%	0,9	0,1%	1,6	0,3%
Acari	1,7	0,3%	6,8	0,5%	8,9	1,4%
Amphipoda	159,4	25,3%	104,9	7,3%	14,9	2,3%
Isopoda	4,1	0,7%	3,6	0,2%	0,8	0,1%
Ephemeroptera	4,0	0,6%	8,8	0,6%	3,8	0,6%
Odonata	4,9	0,8%	15,3	1,1%		
Megaloptera	0,1	0,0%	0,2	0,0%		
Heteroptera	0,0	0,0%		0,0%	4,1	0,6%
Coleoptera	4,9	0,8%	4,6	0,3%	0,3	0,0%
Trichoptera	16,0	2,5%	10,8	0,7%	6,5	1,0%
Diptera L	0,2	0,0%	0,8	0,1%		
Diptera P	0,3	0,1%	4,4	0,3%		
Tabanidae	0,0	0,0%	0,0	0,0%		
Ceratopogonidae	0,6	0,1%	1,3	0,1%	6,6	1,0%
Chironomidae	335,3	53,2%	1161,4	80,4%	317,5	49,0%
Simuliidae L	18,4	2,9%	20,2	1,4%		
Simuliidae P			1,3	0,1%		

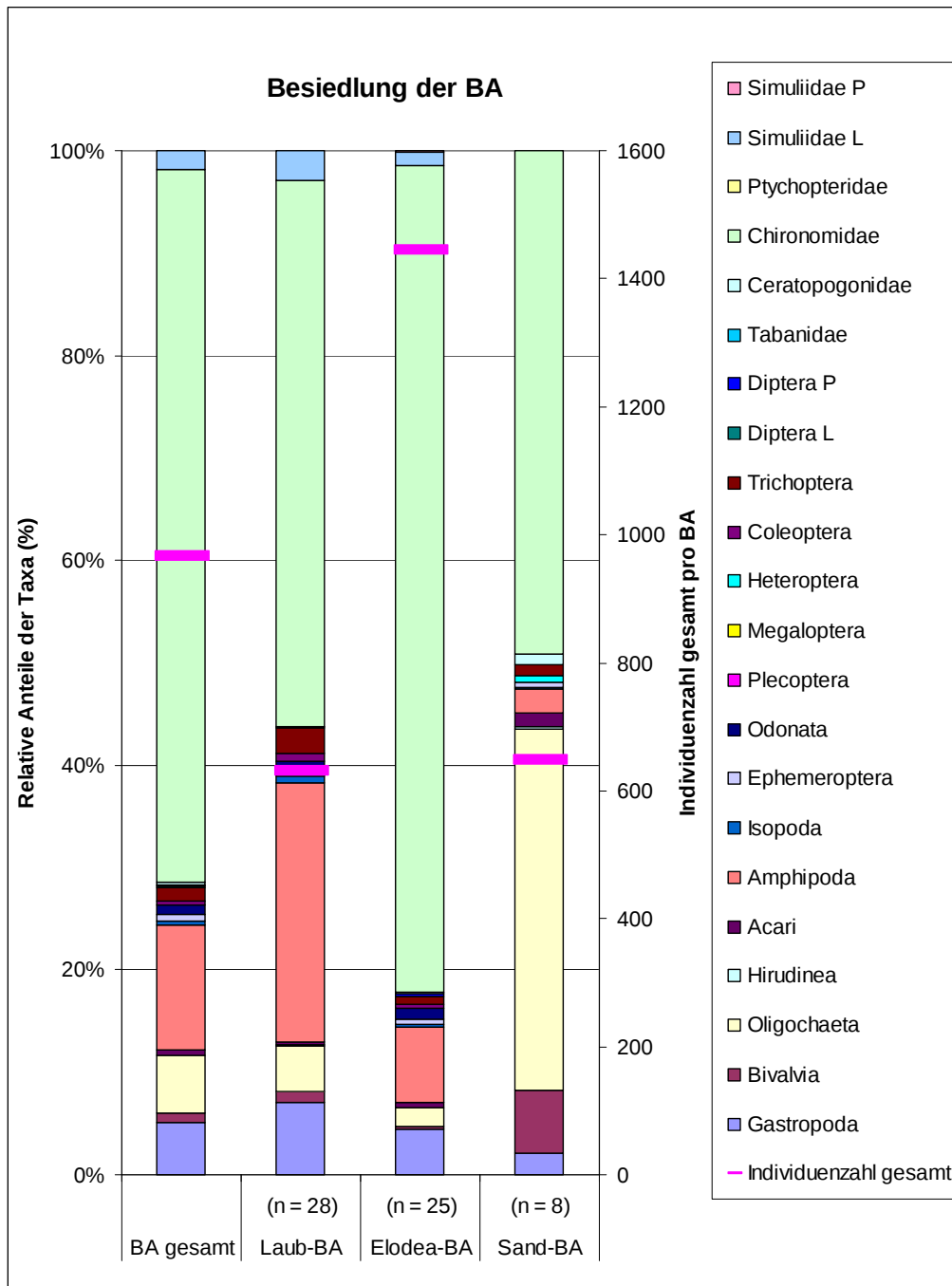


Abb. 3.11: Durchschnittliche Besiedlung auf BA (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, *Elodea*-BA 19.08.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

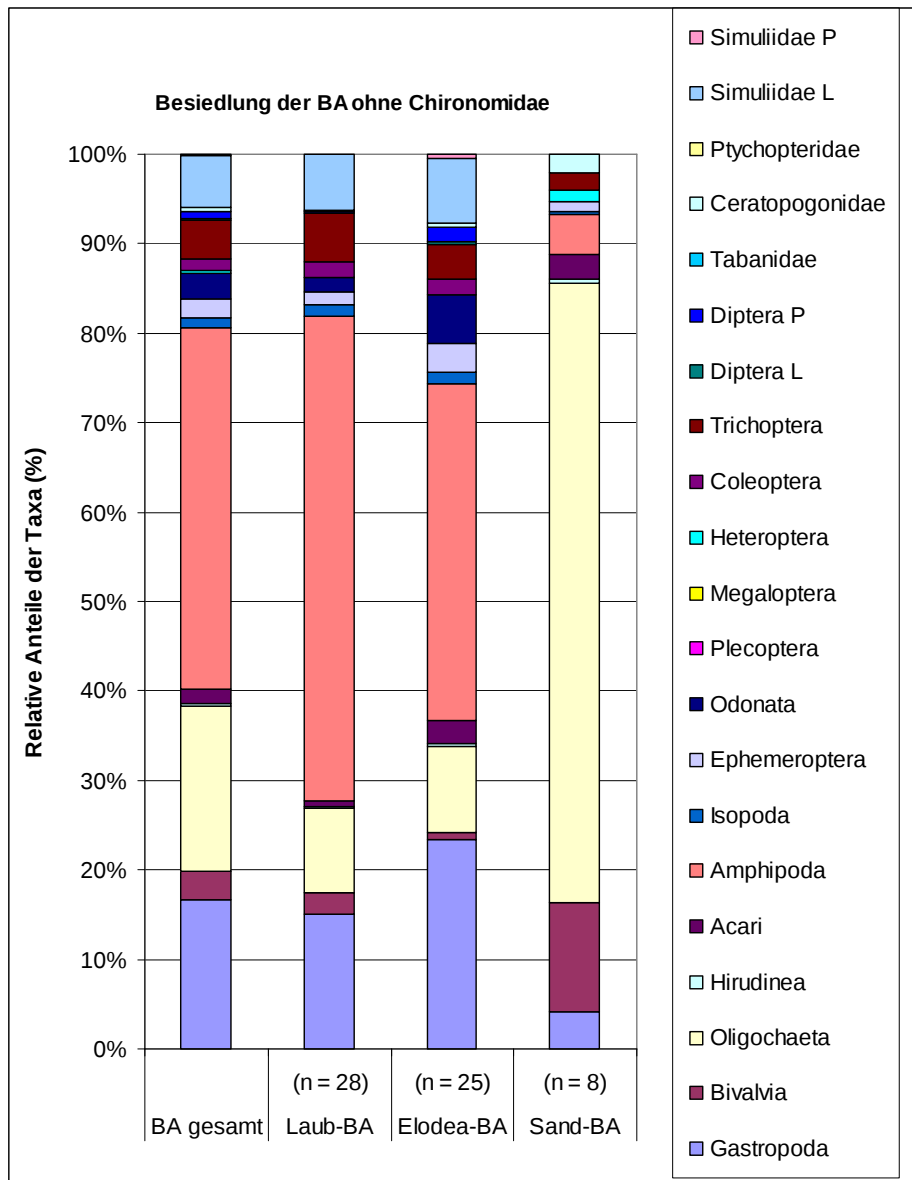


Abb. 3.12: Durchschnittliche Besiedlung auf BA ohne Chironomidae (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, *Elodea*-BA 19.08.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

Die Zahl der insgesamt mit Hilfe der BA in dieser Untersuchung erfassten Taxa lag zwischen 13 (Sand) und 18 (Laub, *Elodea*) (Abb. 3.13). Im Hinblick auf die Zahl der Taxa höherer Ordnung traten zwischen Laub- und *Elodea*-BA keine Unterschiede auf. Die Besiedlung je Gramm Frischgewicht waren für *Elodea* (48,2 Ind./g) deutlich höher als für Laub (31,5 Ind./g). Chironomidae dominierten auf Laub und *Elodea* (Abb. 3.14). Die Besiedlung der Sandflächen betrug rd. 11 Ind./cm² Oberfläche und wurde von Chironomidae und Oligochaeta dominiert.

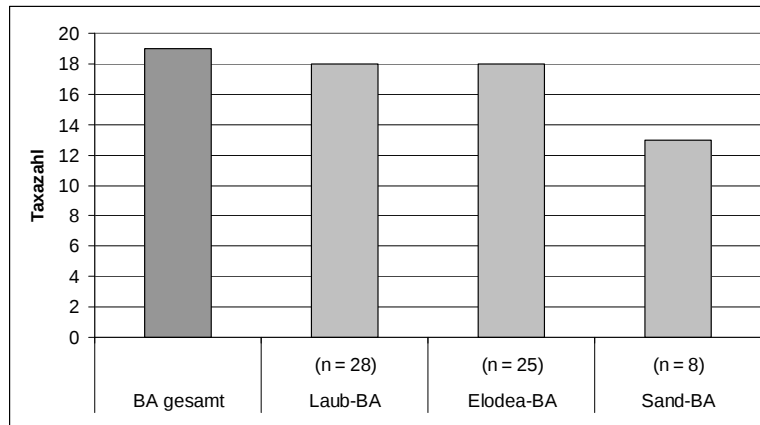


Abb. 3.13: Anzahl der Taxa auf BA (Probennahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, *Elodea*-BA 19.08.2005)

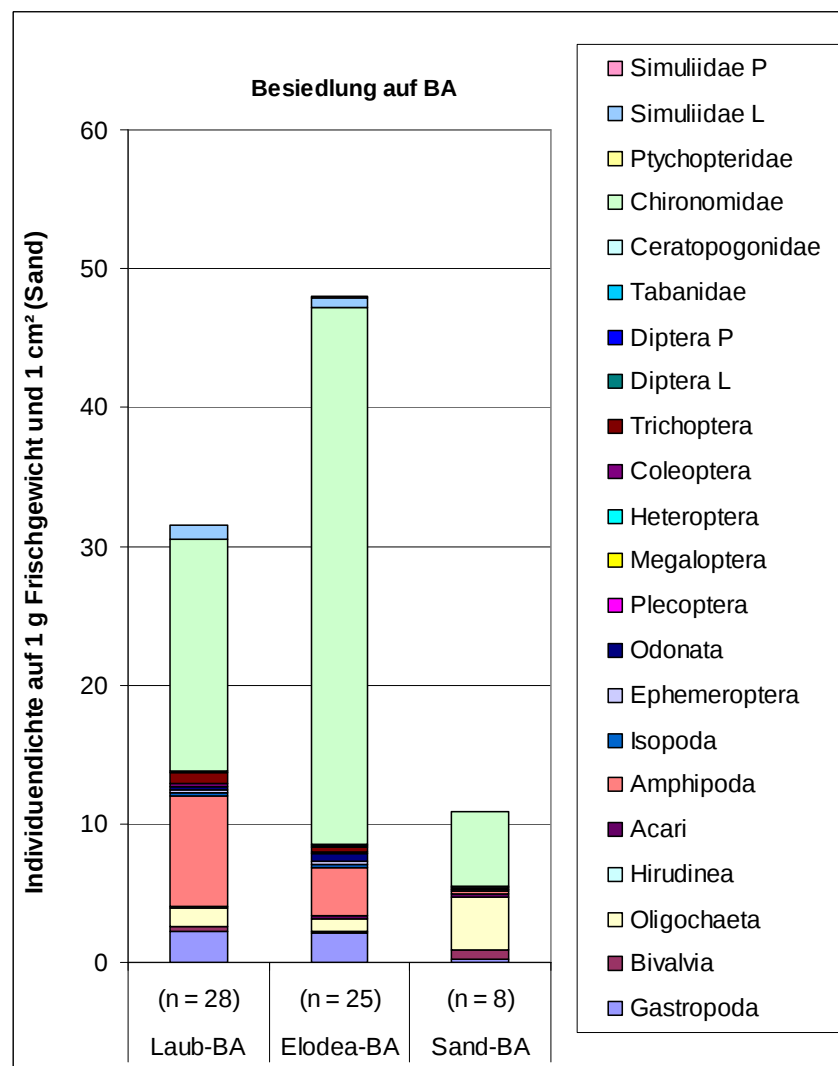


Abb. 3.14: Individuendichten der Taxa Großgruppen auf BA (Laub und *Elodea* 1 g Frischgewicht, Sand 1 cm², Probenahmen: Laub-BA 09.12.2004, Sand-BA 02.05.2005, *Elodea*-BA 19.08.2005)

3.5.3 Vergleich der Fauna natürlicher Substrate und der Besiedlungsangebote

Die Zahl der auf natürlichen Substraten und Besiedlungsexponaten siedelnden Taxa ist auf diesem Niveau der taxonomischen Bearbeitung für Laub und *Elodea* sehr ähnlich (17-18 Taxa je Substrat) (Abb. 3.15). Lediglich die Zahl der auf Sand siedelnden Gruppen war in den Exponaten um 4 niedriger als in den AQEM-Proben. Auf Sandexponaten fehlten, im Vergleich zu Sandflächen im Bach, verschiedene Großgruppen völlig: Odonata, Tabanidae, Ptychopteridae und Larven der Simuliidae. Diese 4 Gruppen hatten allerdings auch auf den natürlichen Sandflächen weniger als 0,1% Anteil an der Gesamtf fauna. Da seltene Taxa mit zunehmender Größe der Bearbeitungsfläche oder Anzahl der Proben mit größerer Chance erfasst werden, könnte das Fehlen dieser Taxa auf Sandexponaten die Folge der relativ geringen Substratmenge oder Substratoberflächen im Vergleich zu der durch die AQEM-Methode beprobten Fläche sein. Zumindest die Besiedlungsverhältnisse auf Laub- und *Elodea*-BA repräsentieren offenbar sehr weitgehend die qualitative Zusammensetzung im Referenzgewässer.

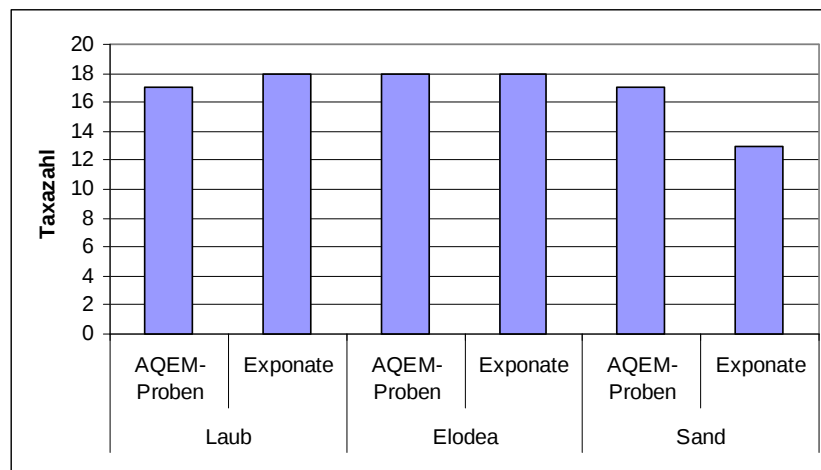


Abb. 3.15: Taxazahlen in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, *Elodea*: August 2005)

Auf quantitativer Ebene werden teilweise erhebliche Unterschiede deutlich. Die AQEM-Laubproben aus dem Bach weisen eine mehrfach so hohe Individuendichte je Gramm Trockengewicht auf (etwa 150 Ind./g) wie die Laubexponate auf (etwa 57 Ind./g) (Abb. 3.16). Dabei lag der entscheidende Unterschied in der Besiedlungsdichte der Chironomidae. Auf Sandsubstrat zeigte sich ein anderes Bild. Hier waren die Unterschiede weniger gravierend (AQEM ca. 4 Ind./cm² vs. ca. 3 Ind./cm² auf BA, Abb. 3.17).

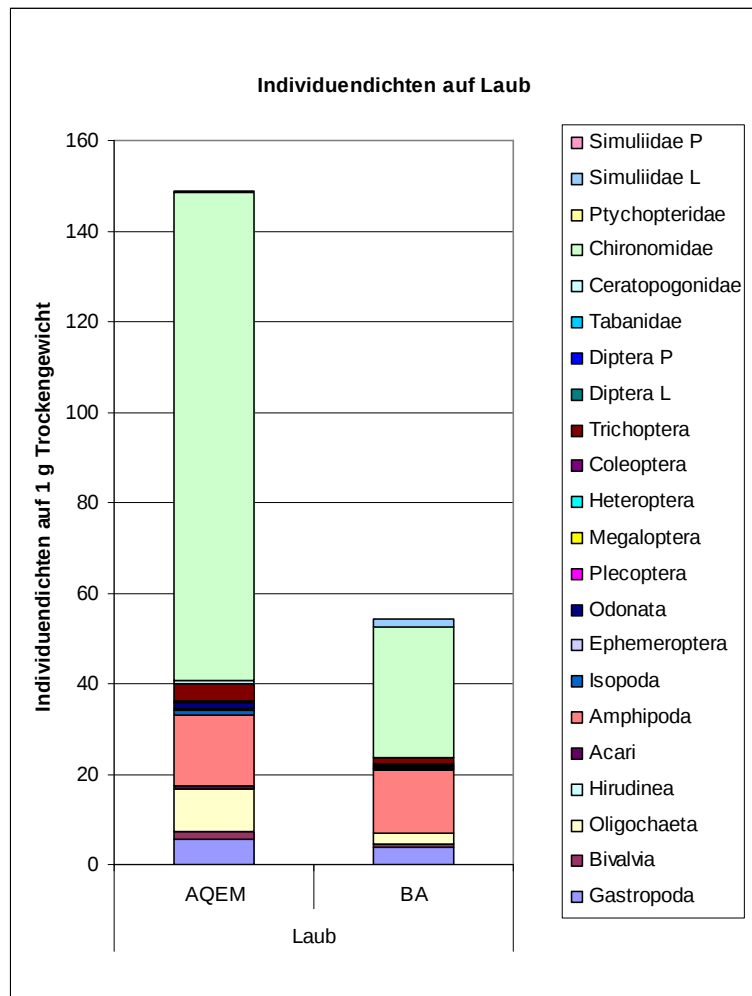


Abb. 3.16: Besiedlungsdichten auf Laub: AQEM-Proben und BA im November und Dezember 2004 (Bezug: 1 g Trockengewicht)

Bezogen auf die jeweilige Probengröße war die Gesamtzahl der Individuen auf Laub- wie auch auf Sand-BA deutlich niedriger als auf den natürlichen Substraten im Freiland (Abb. 3.16 und Abb. 3.17). Im Fall von *Elodea* hingegen wiesen die BA höhere Individuenzahlen auf. Die relativen Anteile der auf Sand siedelnden Großgruppen waren auf den natürlichen Sandflächen und den Sandexponaten sehr ähnlich (Abb. 3.18). Insbesondere die quantitativ bedeutenden Faunenelemente des Referenzgewässers waren auf den Laub- und *Elodea*-BA gut repräsentiert. Bei *Elodea* hatten Chironomidae auf den BA einen deutlich (rd. 40%) höheren relativen Anteil als auf den natürlichen Substraten. Dies ist möglicherweise darin begründet, dass die *Elodea*-BA nicht vollständig gereinigt werden konnten, und so bereits vor dem Einsatz in das Gewässer von Chironomiden besiedelt waren (vgl. Kapitel 3.3.1).

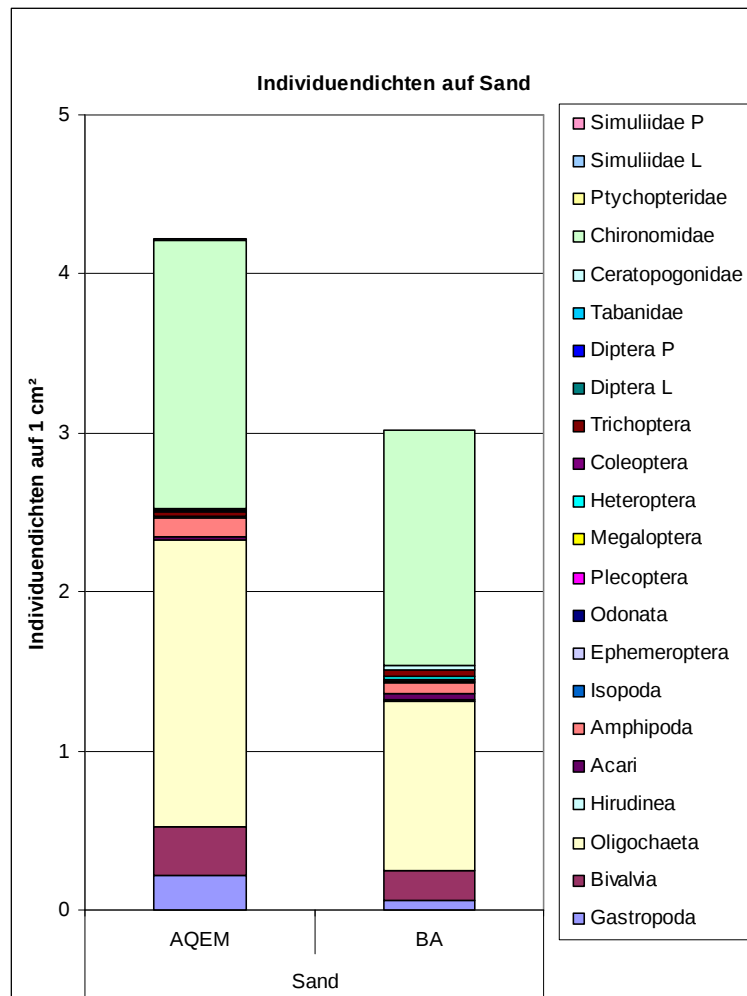


Abb. 3.17: Besiedlungsdichten auf Sand: AQEM-Proben und BA im März und Mai 2005 (Flächenbezug: 1 cm²)

Bei Laub war der Anteil der Chironomidae auf den natürlichen Substraten rd. 15% höher als auf den BA. Der Anteil der Gammaridae war hingegen auf den Laub-BA um etwa 15% höher als auf den natürlichen Substraten. Die relativen Anteile der übrigen Gruppen waren relativ ähnlich. Die Individuenzahlen der Gastropoda betrugen 15 (Sand-BA) bis 67 (*Elodea*-BA) Individuen pro Probe (Abb. 3.19). Sowohl auf Laub- als auch auf Sand-BA war die Anzahl nur etwa halb so hoch, wie auf den entsprechenden natürlichen Substraten. Auf *Elodea*-BA siedelten jedoch pro Probe etwa 15 Individuen mehr als auf dem natürlichen Substrat (Abb. 3.19). Auf allen Substraten dominierten die Hydrobiidae (*Potamopyrgus antipodarum* juv.). Auf den natürlichen Substraten und auf Laub-BA trat weiterhin die Art *Ferrissia wautieri* mit 5 bis 20 Individuen pro Probe auf.

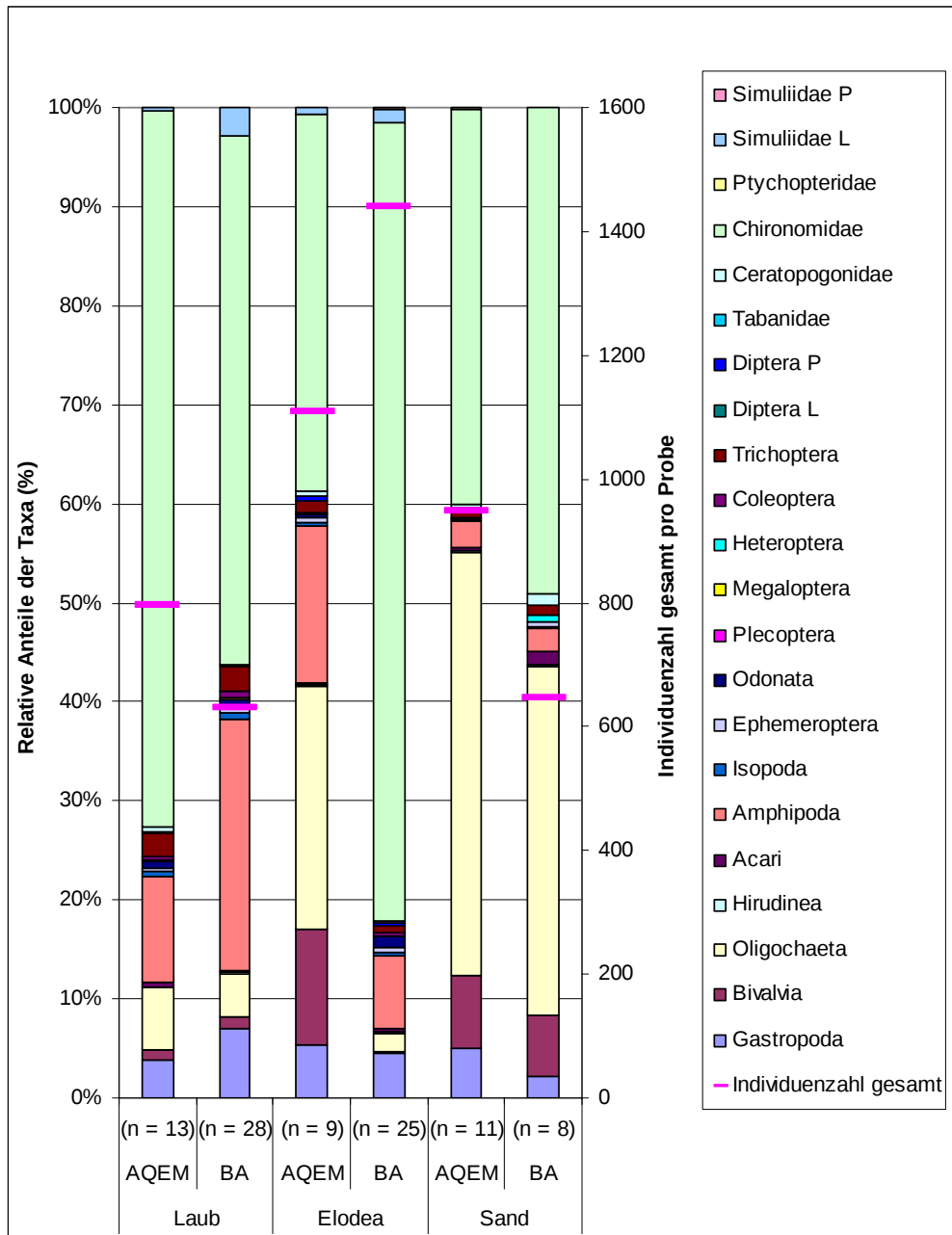


Abb. 3.18: Relative Anteile der einzelnen Taxa in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, *Elodea*: August 2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm²; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, *Elodea*-BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm²)

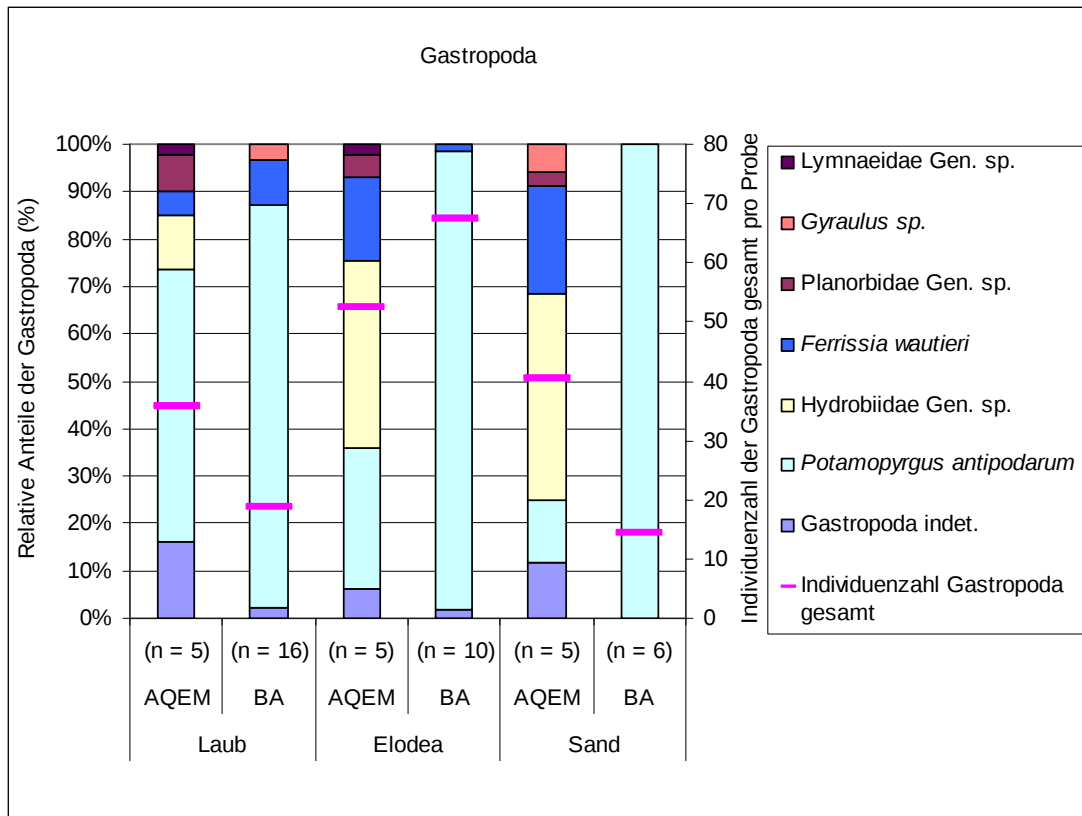


Abb. 3.19: Relative Anteile der Gastropoda in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, *Elodea*: August 2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm²; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, *Elodea*-BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm²)

Sowohl auf natürlichen Substraten als auch auf den BA siedelten kaum Trichopteren. Die Individuenzahl war auf Laub- und Sand-BA mit 2 und 7 Individuen pro Probe geringfügig höher als auf natürlichen Substraten (Abb. 3.20). Auf *Elodea* traten Unterschiede zwischen natürlichen Substraten und BA von 20 Individuen pro Probe auf. Laub- wie auch *Elodea*-BA waren durch das Auftreten von Taxa gekennzeichnet, die auf diesen Substrattypen im Referenzgewässer fehlten. Auf Laub-BA betraf dies *Plectrocnemia* sp., die etwa 15% der Laub-BA-Besiedler ausmachten (Abb. 3.20). Gravierender war der Unterschied auf den *Elodea*-Substraten. Die Besiedlung der natürlichen *Elodea*-Substrate wurde von Leptoceridae dominiert (rd. 95% der Trichopterenbesiedlung). Demgegenüber wiesen auf *Elodea*-BA Polycentropodidae die größten Individuendichten auf, wobei auf *Elodea*-BA insgesamt viermal so hohe Taxazahlen und wesentlich höhere Besiedlungsdichten erreicht wurden.

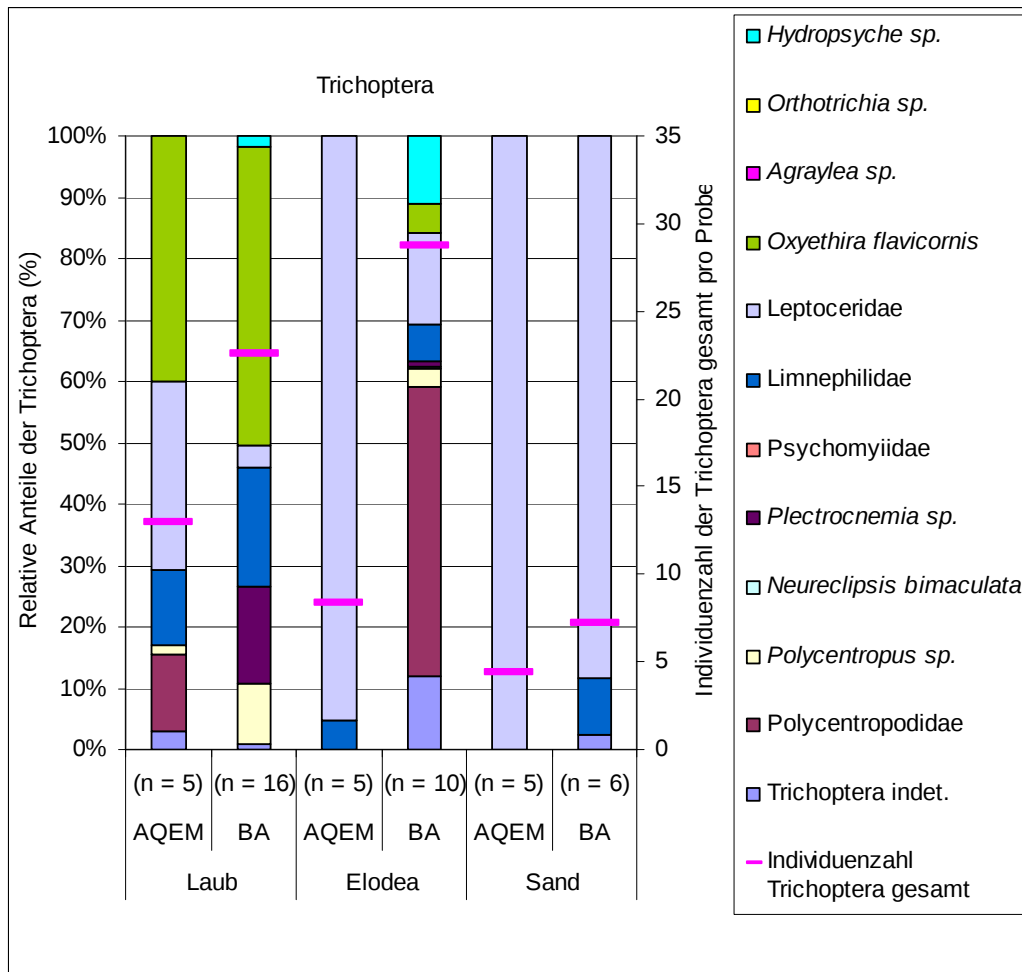


Abb. 3.20: Relative Anteile der Trichoptera in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, *Elodea*: August 2005): Relative Anteile der Trichoptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grundfläche 225 cm²; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, *Elodea*-BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm²)

Laub- und Sand-Exponate wurden von vergleichbaren Individuenzahlen der Chironomidae besiedelt, wie die entsprechenden Laub- und Sand-Flächen im Bach (Abb. 3.21). Anders war hingegen die Situation auf *Elodea*. Die Individuenzahlen auf *Elodea*-BA waren etwa 6-mal so hoch wie auf den *Elodea*-Pflanzen im Gewässer. Kennzeichnend war darüber hinaus, dass die Zusammensetzung der auf *Elodea*-BA siedelnden Chironomidenfauna erheblich von der Referenzsituation abwich. Demgegenüber traten auf den anderen BA zwar Unterschiede in den relativen Anteilen aber nicht in der taxonomischen Zusammensetzung auf.

Die auf natürlichen *Elodea*-Substraten häufigen Individuen der Unterfamilie der Prodiamesinae fehlten auf den BA völlig. Umgekehrt stellten Tanytarsini, die auf natürlichen Substraten selten waren, auf den BA rd. 30% der Chironomiden (Abb. 3.21). Diese Unterschiede könnten auf die bereits beschriebene „Vorbesiedlung“ der BA zurückzuführen sein. Laub-BA unterschieden sich hingegen von den natürlichen Substraten im Wesentlichen durch einen etwa doppelt so hohen

Anteil der Tanypodinae (Abb. 3.21). Sand-BA wiesen geringfügig niedrigeren Anteil der Prodiamesinae und geringfügig höhere Anteile der Tanytarsini auf.

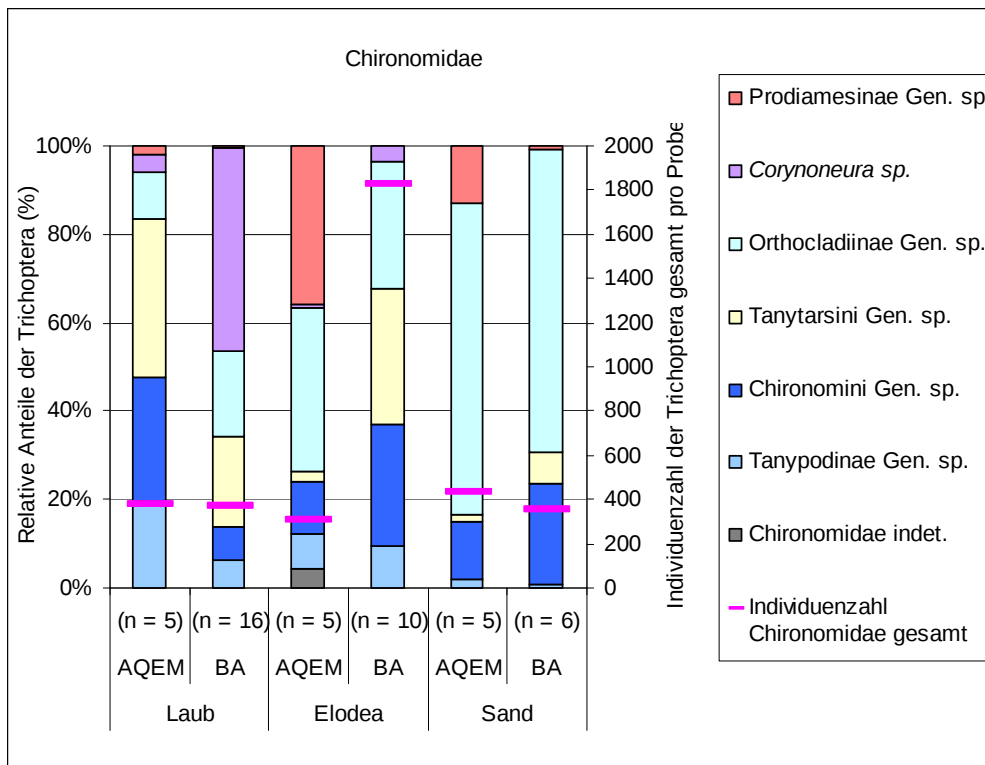


Abb. 3.21: Relative Anteile der Chironomidae in AQEM-Proben (November 2004, März 2005, Juni 2005) und BA je Substrat (Laub: November und Dezember 2004, Sand: Mai 2005, *Elodea*: August 2005): Relative Anteile der Chironomidae und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Probe (AQEM-Proben: Grund-fläche 225 cm²; Frischgewicht Laub-BA = 20 g, *Elodea*-BA = 30 g, Oberfläche Sand-BA = 214 cm²)

Der ausschließlich auf presence/absence-Daten (p-/a-Daten) bezogene Vergleich bestätigt eine relativ hohe Ähnlichkeit der Besiedlung von BA und natürlichen Substraten. Sowohl die Daten der BA- und AQEM-Proben für Laub als auch für Sand-Substrate bilden in der Clusteranalyse nach Bray-Curtis gemeinsame Gruppen mit hoher Ähnlichkeit, aber relativ großen Unterschieden zu den anderen Substraten (Abb. 3.22). Lediglich die Besiedlung auf *Elodea* wich davon ab. Während *Elodea*-BA eine geringe Ähnlichkeit zu den Laubsubstraten aufwiesen, stand die Besiedlung natürlicher *Elodea*-Polster Sandsubstraten näher.

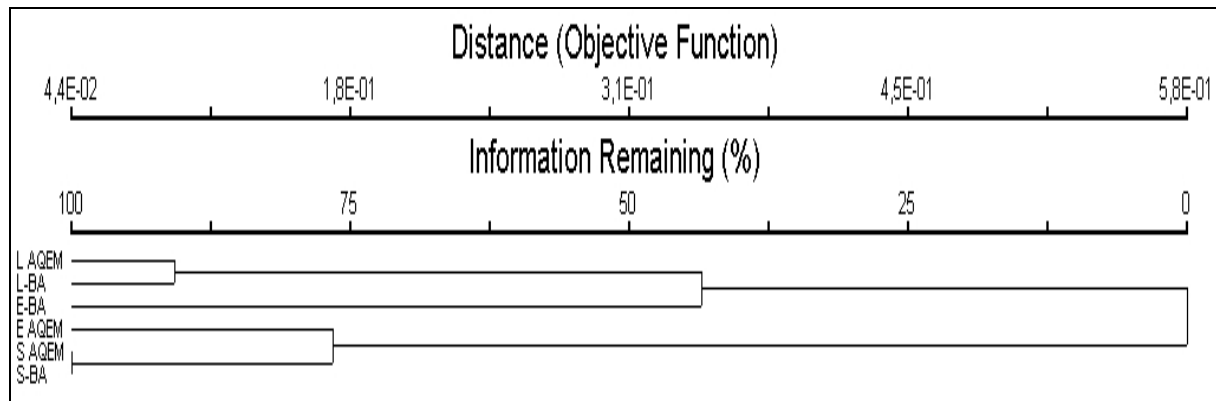


Abb. 3.22: Besiedlung (Taxazahlen) auf natürlichen Substraten und BA: Clusteranalyse (Bray-Curtis: presence/absence (p/a-))

Aber auch bei Berücksichtigung der Individuendichten (Wainstein-Index und Chi-Quadrat-Distanz) wird deutlich, dass die auf Laub und Sand siedelnde Fauna sehr ähnlich war (Tab. 3.11 und Abb. 3.23). Zwischen den natürlichen *Elodea*-Substraten und *Elodea*-BA hingegen bestanden erhebliche Unterschiede.

Tab. 3.11: Besiedlung (Taxazahlen) auf natürlichen Substraten und BA: Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein

Ähnlichkeitsmaß nach Wainstein	Laub AQEM	Laub-BA	<i>Elodea</i> AQEM	<i>Elodea</i> -BA	Sand AQEM	Sand-BA
Laub AQEM		47,2%	32,3%	46,7%	17,5%	21,4%
Laub-BA			20,2%	46,3%	11,4%	17,0%
<i>Elodea</i> AQEM				16,0%	41,5%	28,5%
<i>Elodea</i>-BA					17,1%	22,0%
Sand AQEM						40,6%
Sand-BA						
Klassen	0 - 25 %		26 - 50 %		51 - 75 %	

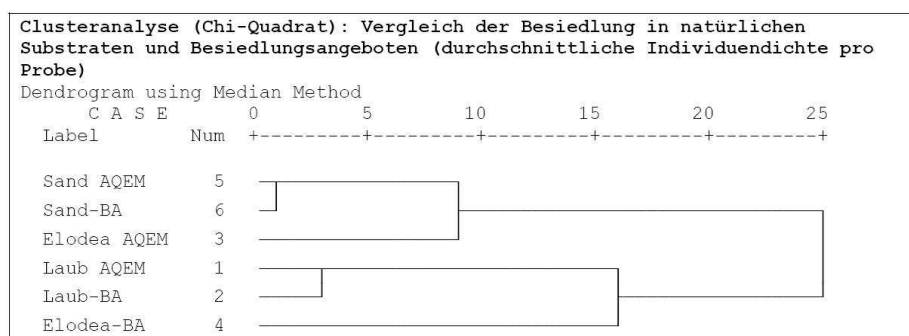


Abb. 3.23: Besiedlungsdichten auf natürlichen Substraten und BA: Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa)

Auf allen BA waren sämtliche functional feeding groups in Anteilen vertreten, die den natürlichen Substraten vergleichbar waren. Auf Laub- und *Elodea*-BA waren geringfügig höhere Anteile

le an Räubern (Abb. 3.24). Auf den natürlichen *Elodea*-Polstern fehlten die Zellstecher (*Oxyethira flavicornis*). Diese traten aber auch auf den anderen Substraten in geringen Anteilen auf oder fehlten. Auf Sand-BA waren die Sedimentfresser in höheren Anteilen vertreten als auf natürlichen Sand-Substraten (Abb. 3.24).

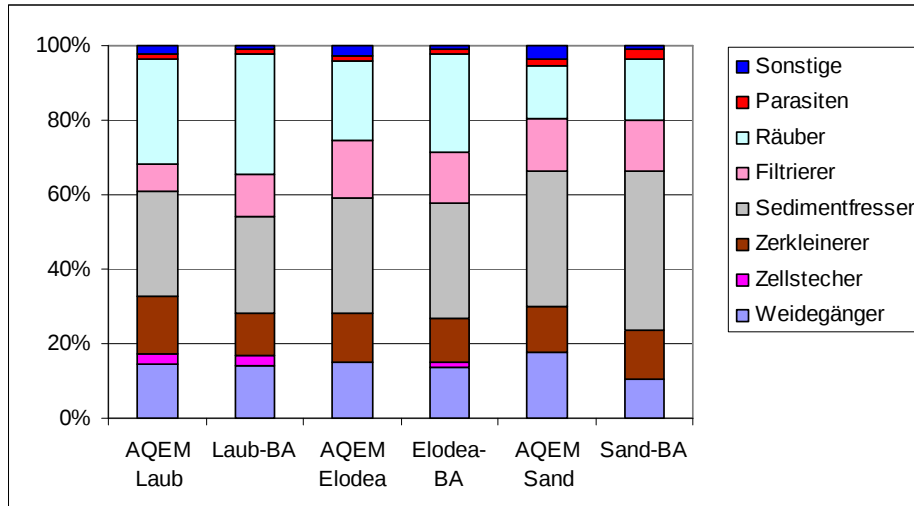


Abb. 3.24: Relative Anteile der Ernährungstypen auf natürlichen Substraten und BA

Auch die Verteilung der unterschiedlichen Substratpräferierenden entsprach auf den 3 Wochen lang exponierten BA weitgehend der Verteilung auf natürlichen Substraten (Abb. 3.25). Auf *Elodea*-BA waren die Anteile der Phytal- und Hartsubstratbesiedler geringfügig höher als auf natürlichen Substraten, auf den Laub-BA nur die Anteile der Phytalbesiedler. Auf Sand-BA hingegen hatten die Hartsubstratbesiedler geringfügig höhere Anteile als auf Sand am Gewässergrund (Abb. 3.25).

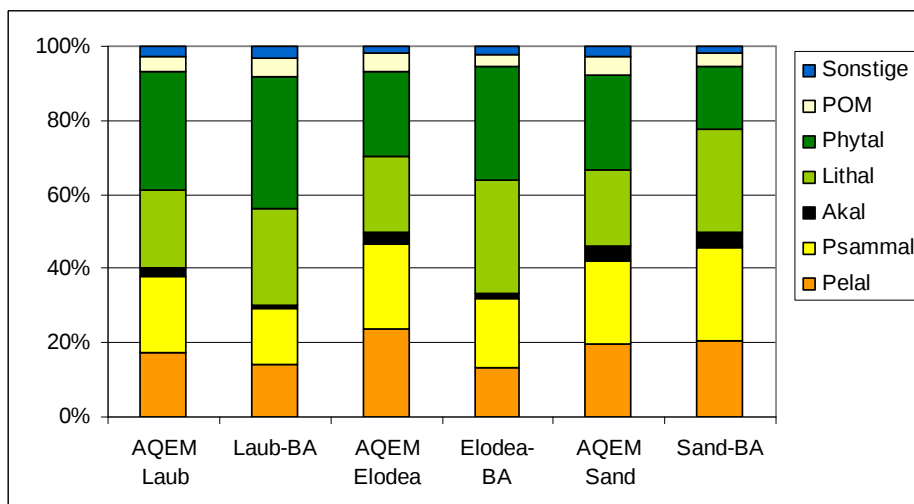


Abb. 3.25: Relative Anteile der Substratpräferenzverteilung auf natürlichen Substraten und BA

Für die nachfolgenden Vergleiche der taxaspezifischen Besiedlungsdichten wurden lediglich Daten zu jenen Taxa herangezogen, die im Referenzgewässer und in den Mesokosmen hohe Individuenzahlen aufwiesen, d.h. die Gruppen Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Acari, Amphipoda, Trichoptera und z. T. Chironomidae.

Auf Laub- wie auch auf *Elodea*-BA traten die größeren Streuungen nur bei den Amphipoda und den Chironomidae (Abb. 3.26-3.29) bzw. auf *Elodea*-BA bei den Gastropoda auf. Auf Sand-BA streute die Besiedlung der Chironomidae und der Oligochaeta erheblich (Abb. 3.30 und 3.31). Vergleicht man die Streuungen auf den BA mit denen im Referenzgewässer, wird deutlich, dass zumindest auf Sand-BA und den natürlichen Sandsubstrate (AQEM-beprobt) vergleichbare Streuungen vorlagen (Abb. 3.30 und 3.31). Auf natürlichen Laub-Substraten wiesen lediglich die Amphipoda etwas höhere Schwankungen auf. Bei *Elodea* traten in allen Tiergruppen sowohl auf natürlichen Substraten als auch auf Exponaten relativ große Unterschiede auf.

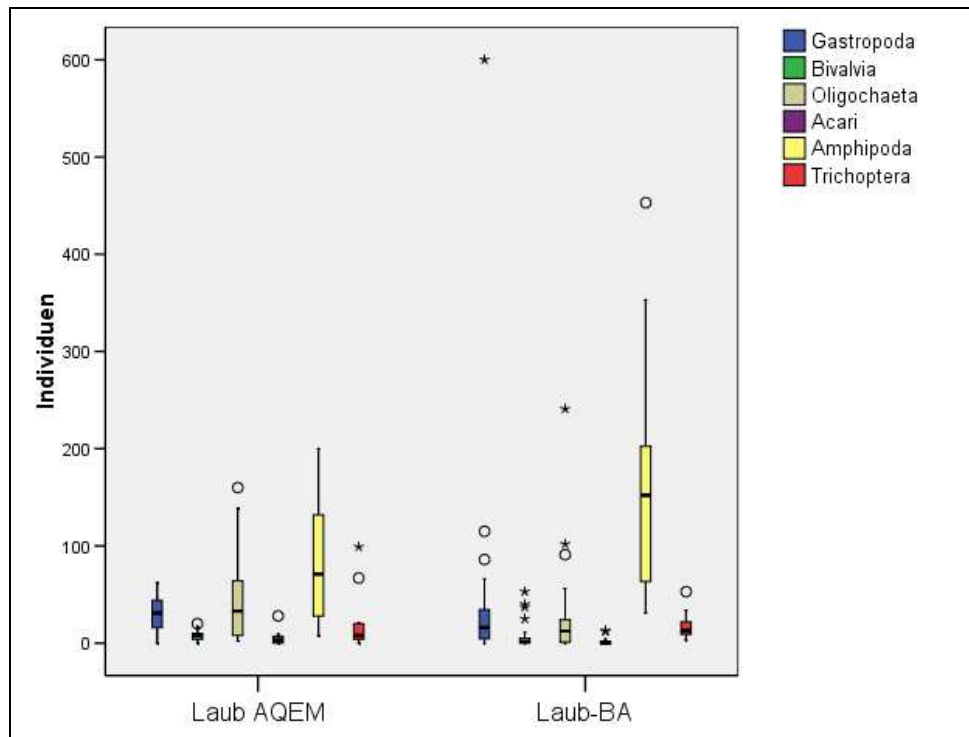


Abb. 3.26: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Laub-Substraten (AQEM, n = 13, 12.11.2004) und Laub-BA (n = 28, 09.12.2004): AQEM Fläche = 225 cm², BA Frischgewicht 20 g

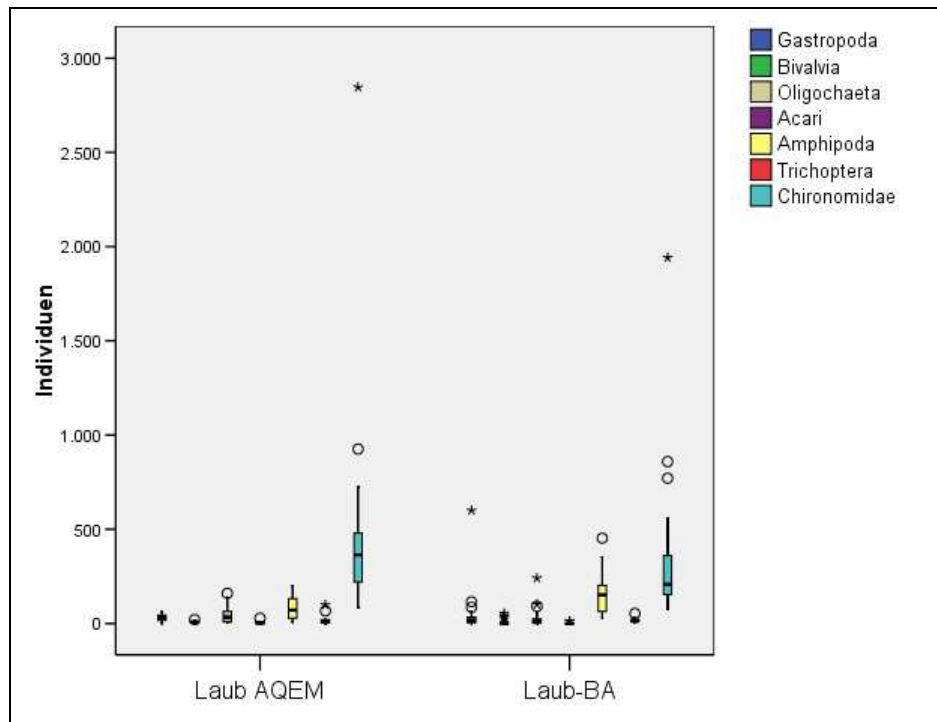


Abb. 3.27: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Laub-Substraten (AQEM, n = 13, 12.11.2004) und Laub-BA (n = 28, 09.12.2004): AQEM Fläche = 225 cm², BA Frischgewicht 20 g

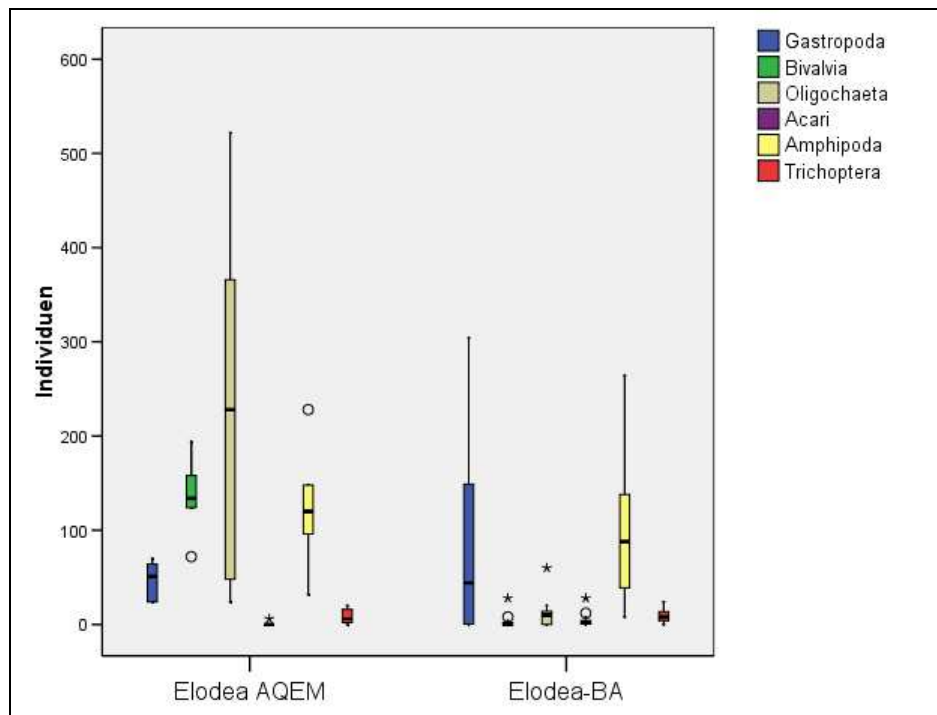


Abb. 3.28: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf *Elodea*-Substraten (AQEM, n = 6, 08.06.2005) und *Elodea*-BA (n = 15, 18.08.2005): AQEM Fläche 225 cm², BA Frischgewicht 30 g

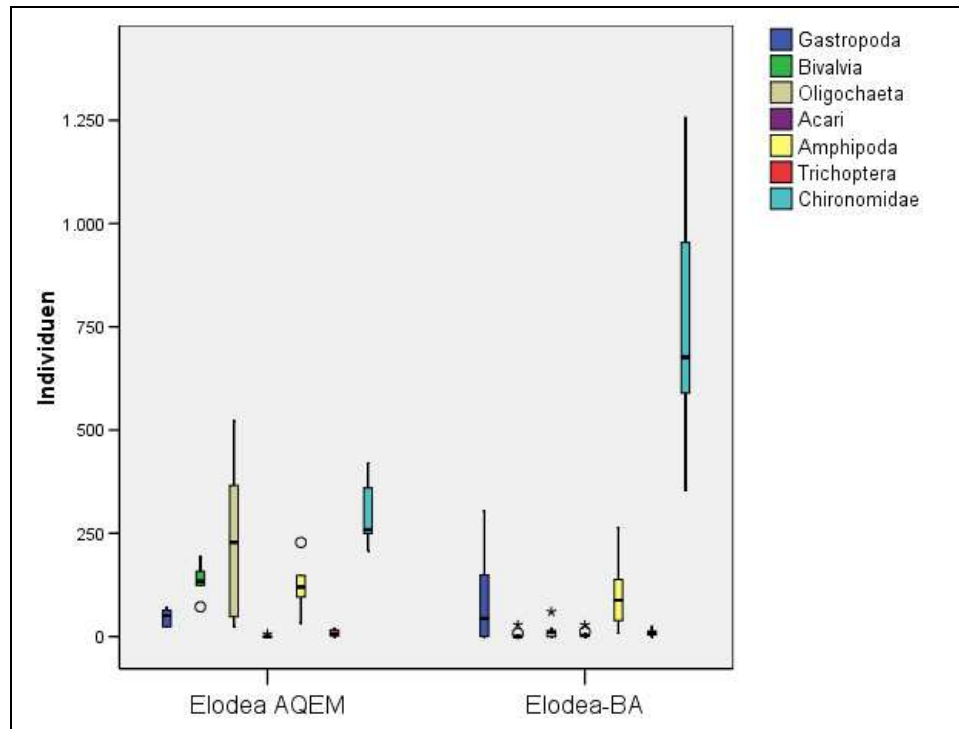


Abb. 3.29: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf *Elodea*-Substraten (AQEM, n = 6, 08.06.2005) und *Elodea*-BA (n = 15, 18.08.2005): AQEM Fläche 225 cm², BA Frischgewicht 30 g

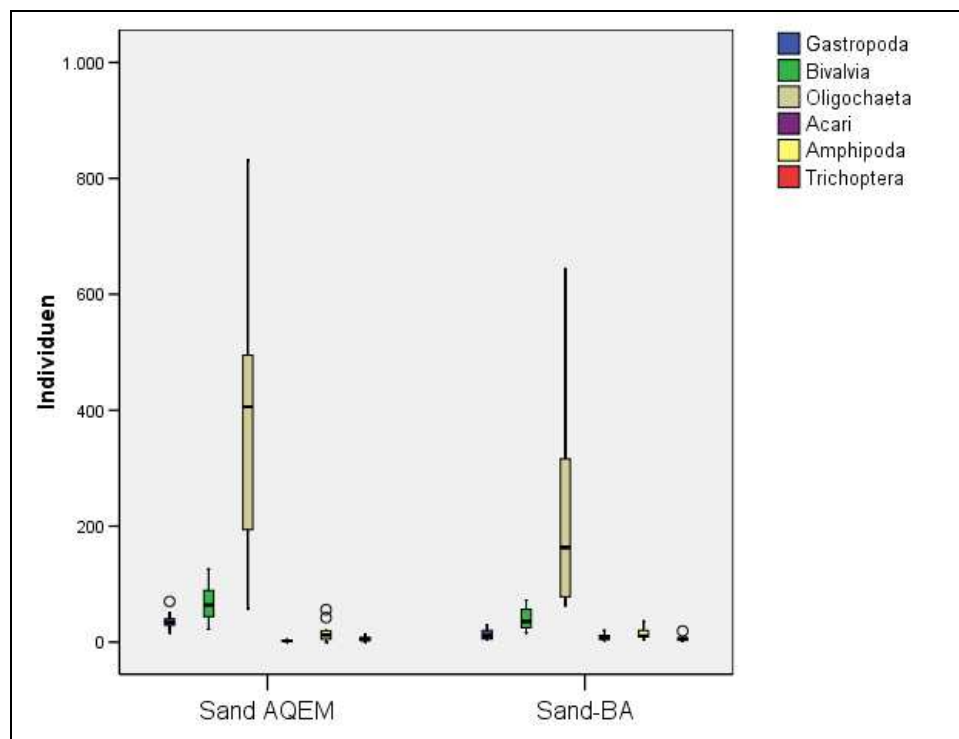


Abb. 3.30: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Sand-Substraten (AQEM, n = 11, 08.06.2005) und Sand-BA (n = 8, 02.05.2005): AQEM Fläche 225 cm², BA Fläche 214 cm²

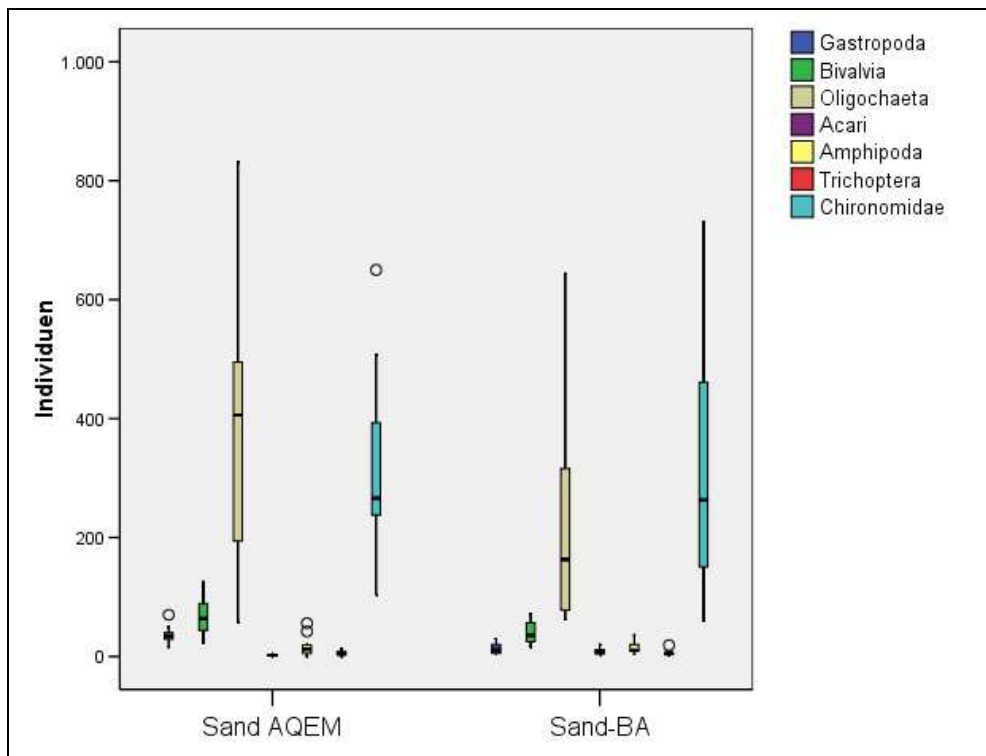


Abb. 3.31: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-Substraten (AQEM, n = 11, 08.06.2005) und Sand-BA (n = 8, 02.05.2005): AQEM Fläche 225 cm², BA Fläche 214 cm²

3.5.4 Fazit

Die Daten zeigen, dass trotz der unterschiedlichen Probenahmezeiträume und trotz der z. T. deutlichen Unterschiede in den Individuenzahlen mit der gewählten Methode der Exposition von Besiedlungsangeboten (BA) eine hohe Repräsentativität in Bezug auf die Laub- und Sandfauna erreicht werden kann. Die grundsätzlichen biozönotischen Aspekte die Präsenz und die Anteile der wesentlichen taxonomischen Gruppen, die Anteile der functional feeding groups und der Substratpräferenzen stimmten mit denen im Referenzgewässer überein.

Eine relativ geringe Repräsentativität musste hingegen für *Elodea*-BA statuiert werden. Dies betraf sowohl die quantitativen Besiedlungsverhältnisse (Individuendichten, Dichten einzelner Taxa) als auch die qualitativen ökologischen Kenngrößen (Ernährungstypen, Substratpräferenzen, sowie die Präsenz und Absenz einzelner Taxa).

Wird zukünftig eine Annäherung der Fauna in den Mesokosmen an die Situation eines Baches gewünscht, so kann dafür die hier gewählte Methode der Laub- und Sand-Exposition empfohlen werden. Wenn im Rahmen zukünftiger Versuche allerdings vorrangig Wert auf hohe Individuendichten der Chironomidae gelegt werden soll, kann die Verwendung von *Elodea* zielführend sein. Vorteilhaft ist, dass *Elodea*-BA noch bis in den Winter hinein zur Verfügung steht und schon bei ersten Versuchen im Jahr eingesetzt werden kann, ohne besondere Lagerungskapazitäten zu binden, wie dies bei Verwendung von Laub nötig wäre.

3.6 Optimierung des Einsatzes von Besiedlungsangeboten

Für die Optimierung der verwendeten Besiedlungsangebote werden im Folgenden zwei Fragen bearbeitet:

1. In wie weit ändert sich die Besiedlung auf Laub-Exponaten quantitativ und qualitativ, bei unterschiedlicher Expositionsdauer?
2. Welche Unterschiede ergeben sich bei der Besiedlung von Laub- und *Elodea*-BA zu unterschiedlichen Expositionszeitpunkten?

Als Grundlage der Bearbeitung von Fragestellung 1 dienten die Daten zur Besiedlung der Laub-Kontrollen (identische Handhabung wie bei BA, Methodik vgl. Kapitel 3.3.1) nach einer Woche (25.11.04) und nach zwei Wochen (02.12.04) Expositionsdauer sowie die drei Wochen lang exponierten Laub-BA (09.12.04).

Die 2. Fragestellung wurde anhand der am 21.02.06 und 06.04.06 entnommenen Laub-BA und den am 18.08.05 und 05.10.05 entnommenen *Elodea*-BA untersucht.

Statistische Auswertung

In diesem und einigen folgenden Ergebniskapiteln kommen bei den Berechnungen zur Verteilung einzelner Taxa zwei der nicht parametrischen Tests zur Anwendung: der Mann-Whitney-Test (U-Test) und der Kruskal-Wallis-Test (H-Test). Die Rechenwege der beiden Tests sind z.B. in Köhler et al. (1984, S. 101 ff. und S. 178 ff.) nachzuvollziehen.

3.6.1 Expositionsdauer

Im Vergleich der ein- bis dreiwöchigen Expositionsdauer ergaben sich auf den Laubexponaten nicht signifikante Besiedlungsunterschiede von rd. 100 bis 180 Individuen pro 20 g eingesetztem Frischgewicht (Kruskal-Wallis, Mittelwert der Individuenzahl, Abb. 3.32). Höchste Dichten wurden nach der längsten Expositionsdauer ermittelt. Die Differenzen betreffen weitgehend alle Gruppen gleichermaßen. Amphipoda und Chironomidae stellten nach jeder Expositionsdauer höchste Anteile an der Gesamtbesiedlung (Abb. 3.32). Lediglich die Oligochaeta fehlten in den ersten zwei Wochen nahezu vollständig, während ihr Anteil zur dritten Woche hin angestiegen war (Abb. 3.32).

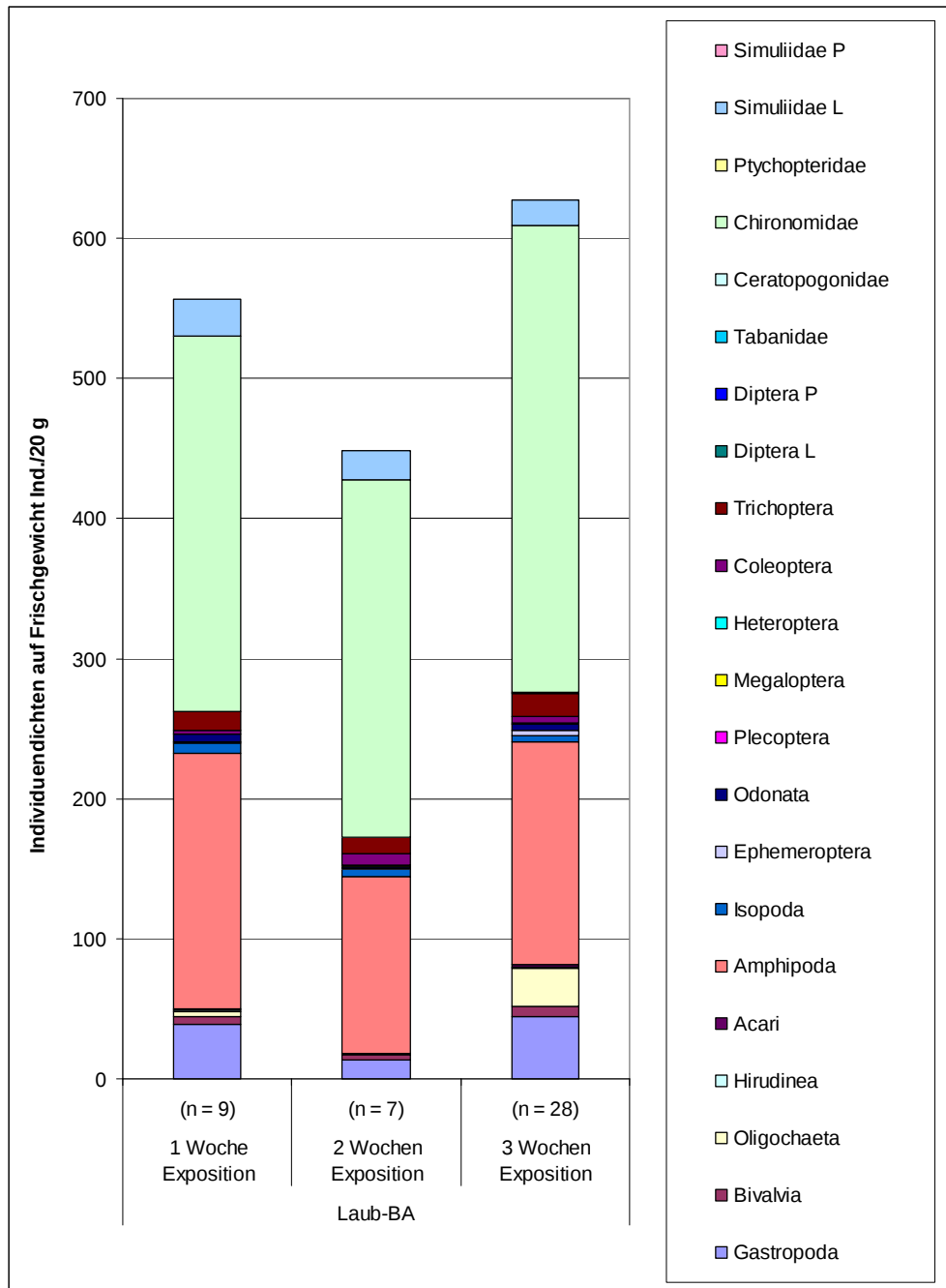


Abb. 3.32³: Individuendichten auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

³ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

Zumindest für einzelne Taxa führten unterschiedliche Expositionszeiten zu qualitativen und quantitativen Unterschieden. Innerhalb der Trichoptera lag die Besiedlungsdichte insgesamt nach 3 Wochen zwar nicht signifikant höher als bei kürzerer Expositionsdauer (Abb. 3.33), allerdings trat eine deutliche Zunahme von *Oxyethira flavicornis* sowie eine Zunahme der Polycentropodidae auf. Relativ konstant blieb der Anteil der Limnephilidae.

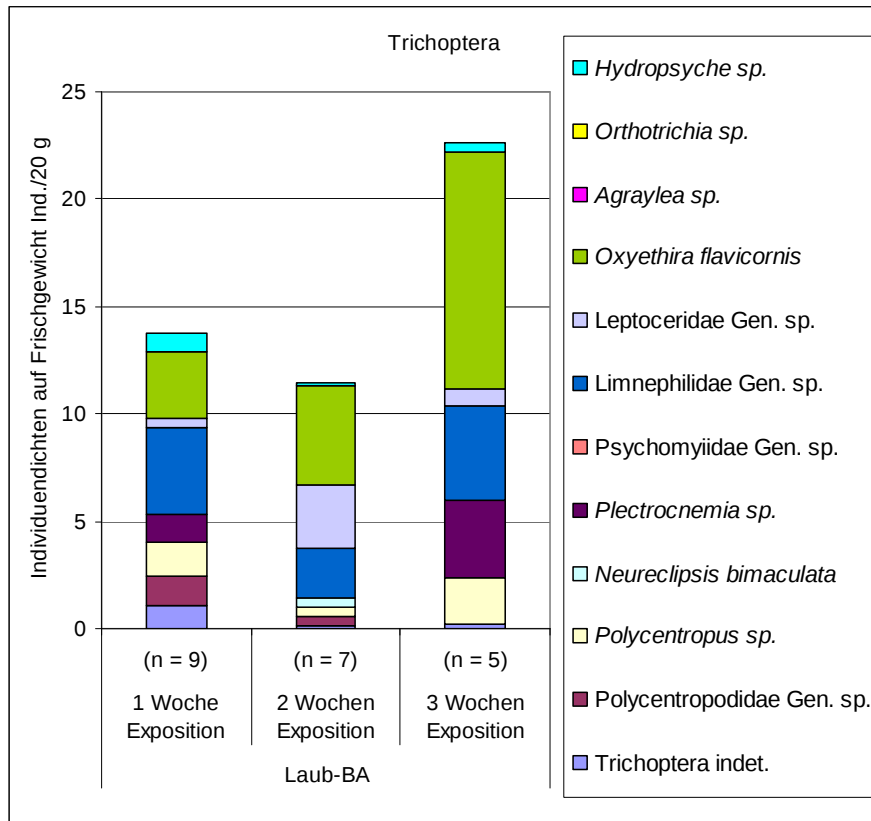


Abb. 3.33: Individuendichten der Trichoptera auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

Innerhalb der Chironomidae wurde ebenfalls die höchste Abundanz nach 3 Wochen Expositionsdauer festgestellt. Während im Verlauf der Exposition die Besiedlungsdichte der Gattung *Corynoneura* sp. von <10 auf 170 Individuen signifikant anstieg (Kruskal-Wallis-Test, Signifikanz 0,018), gingen die Dichten der Tanytarsini zurück (Abb. 3.34). Weder die relativen Anteile der Substrat- noch der Ernährungspräferenzen unterschieden sich im Verlauf ein- bis dreiwöchiger Expositionszeiten (3.35 und 3.36).

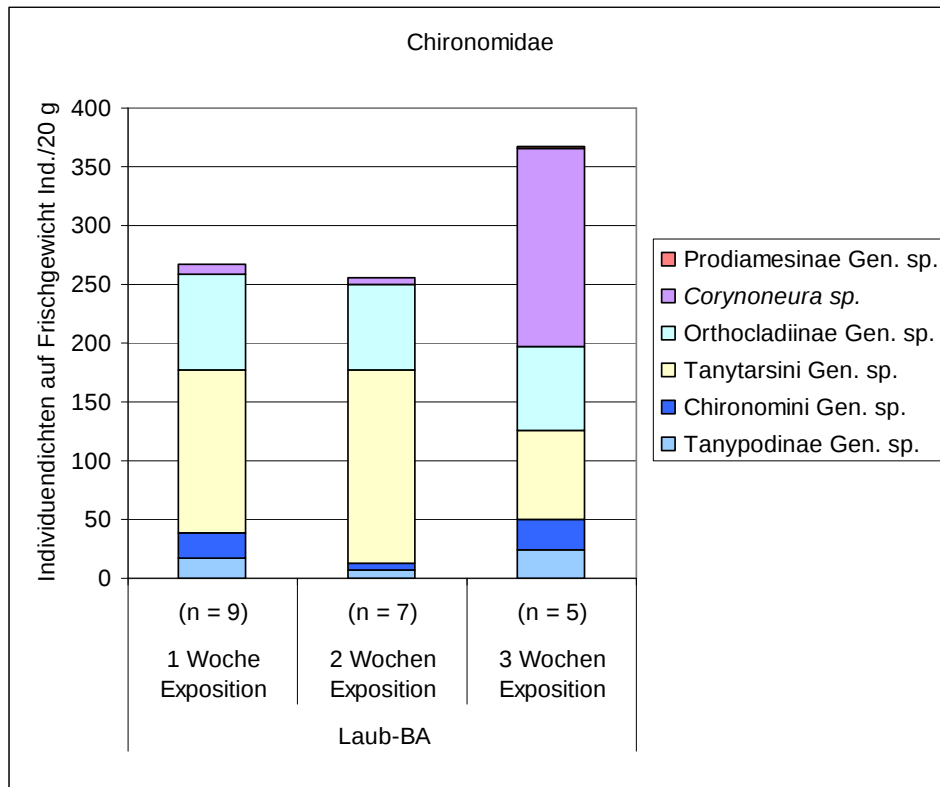


Abb. 3.34: Individuendichten der Chironomidae auf Laub-BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

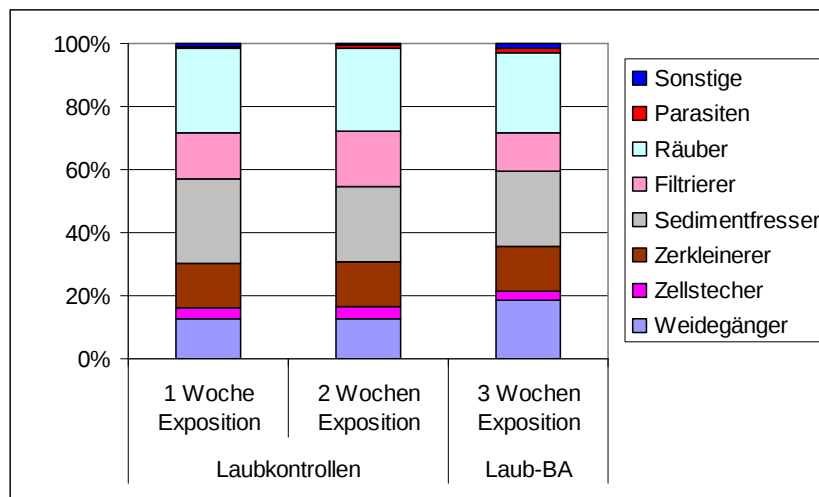


Abb. 3.35: Relative Anteile der Ernährungstypen auf Laub-Kontrollen und -BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probennahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

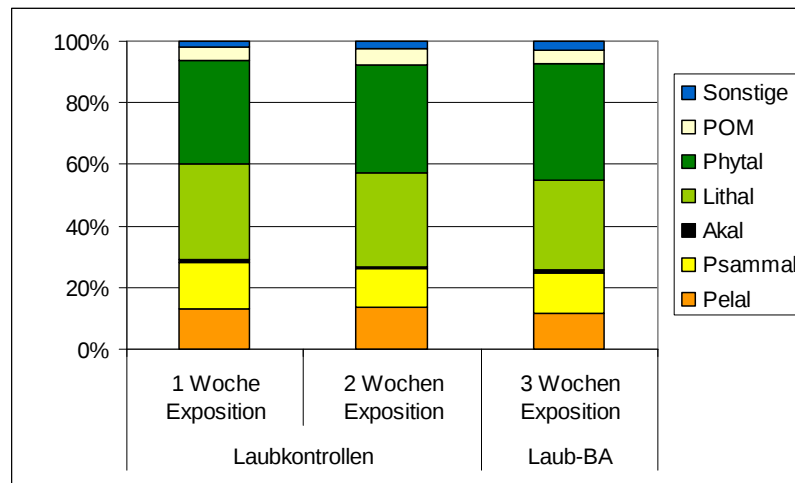


Abb. 3.36: Relative Anteile der Substratpräferenzen auf Laub-Kontrollen und -BA nach 1, 2 und 3 Wochen Expositionszeit (Probenahmen: 25.11.2004, 02.12.2004 und 09.12.2004, Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

3.6.2 Fazit

Über die Expositionsdauer der Laub-BA ist eine gewisse Steuerung der qualitativen Besatzbedingungen möglich. Unter Berücksichtigung der Unwägbarkeiten der Freilandarbeit wäre eine Expositionsdauer von weniger als drei Wochen zwar weniger riskant, würde allerdings mit geringeren Besiedlungsdichten je BA einhergehen.

Soll in den zukünftigen Versuchen allerdings ein Fokus auf die gezielte Ansiedlung bestimmter Taxa liegen, kann deren Anteil im Besatz durch die Expositionsdauer in gewissem Rahmen gesteuert werden (z.B. geringe Dichten der Oligochaeta nach kurzer Expositionsdauer, höchste Dichten von *Corynoneura* sp. nach dreiwöchiger Exposition).

3.6.3 Expositionszeitpunkt

Nachfolgend werden Proben unterschiedlicher Jahreszeiten verglichen. Dieser saisonale Vergleich geschieht im Hinblick auf die Frage nach optimalen oder suboptimalen Expositionszeiten. Für die Exposition der Laub-BA wurden Expositionsserien im Winter (Februar 2006) und Frühjahr (April 2006) miteinander verglichen. Die Besiedlung der *Elodea*-BA wird für die Sommer- und Herbstsaison (August und Oktober 2005) gegenübergestellt.

Höchste Besiedlungsdichten traten bei den im Februar exponierten Laub-BA auf. Die Besiedlungsdichten im April lagen unter 50% der vorherigen Dichten (Abb. 3.37). Bei $p=0,017$ (Kruskal-Wallis-Test) waren diese Besiedlungsunterschiede hoch signifikant. Die Besiedlung der zu unterschiedlichen Zeiten exponierten Laubsubstrate wurde stets von Chironomidae dominiert (350 bis 590 Ind./20 g).

Auch die Dichten anderer Taxa unterschieden sich z. T. signifikant (Signifikanz 0,016). Im Februar war *Gammarus roeseli* (Amphipoda vgl. Fußnote) in relativ hohen Dichten vertreten (171 Ind./20 g) (Abb. 3.37). Dessen Anteil war im April mit 37 Ind./20 g signifikant (Signifikanz 0,01) niedriger als im Winter. Im April fehlten außerdem Oligochaeta und Gastropoda völlig.

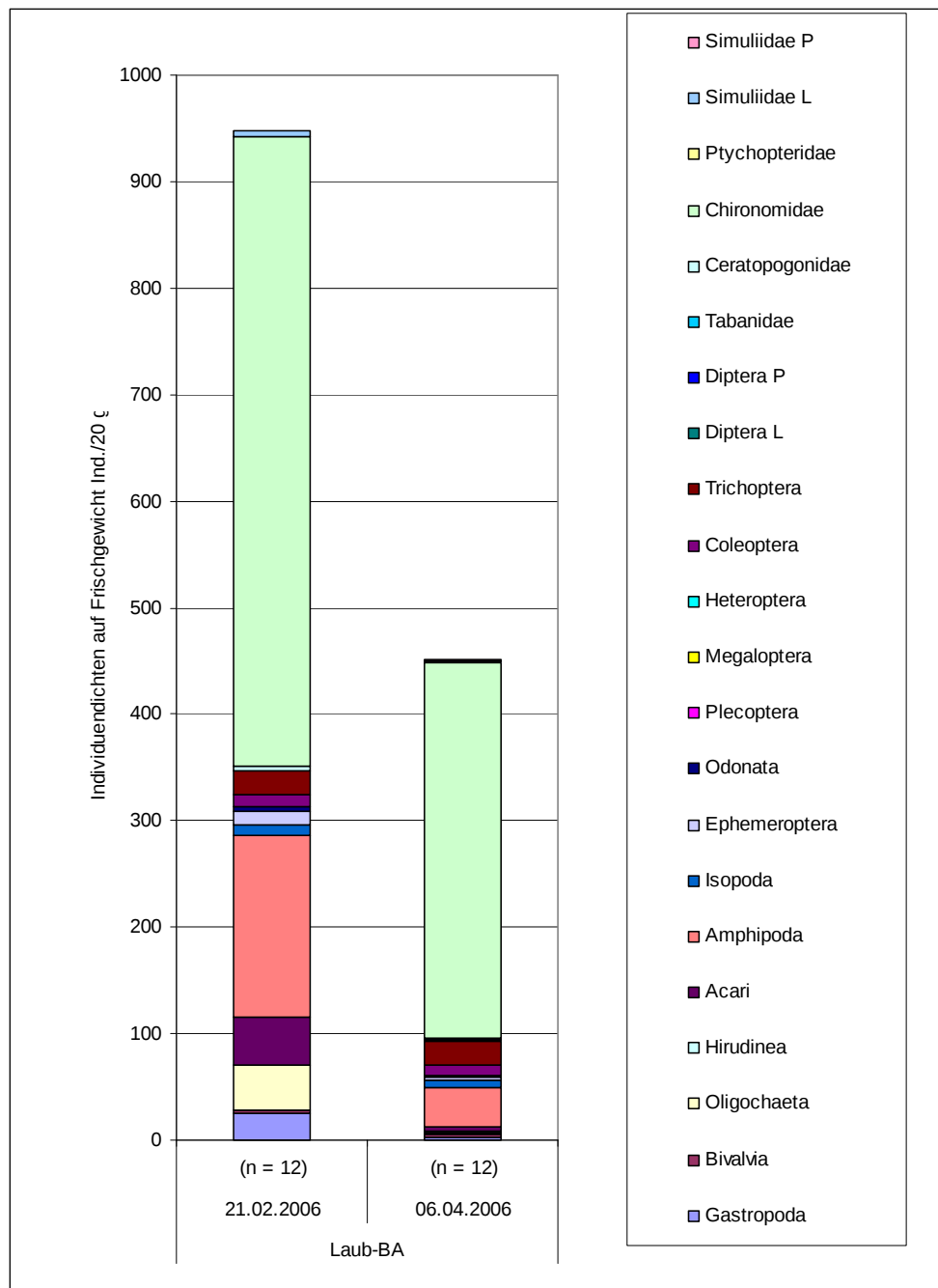


Abb. 3.37⁴: Saisonaler Vergleich der Individuendichten auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

⁴ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

Die Anteile der auf Laub-BA siedelnden Trichoptera unterlagen ebenfalls saisonaler Schankung. Im Februar hatten Limnephilidae, gefolgt von Polycentropodidae (und *Plectrocnemia* sp.) höchste Dichten (Abb. 3.38). Niedrigste Dichten der Trichoptera wurden auf Laub im April ermittelt (14 Ind./20 g). In diesem Zeitraum dominierten Polycentropodidae mit ca. 50%.

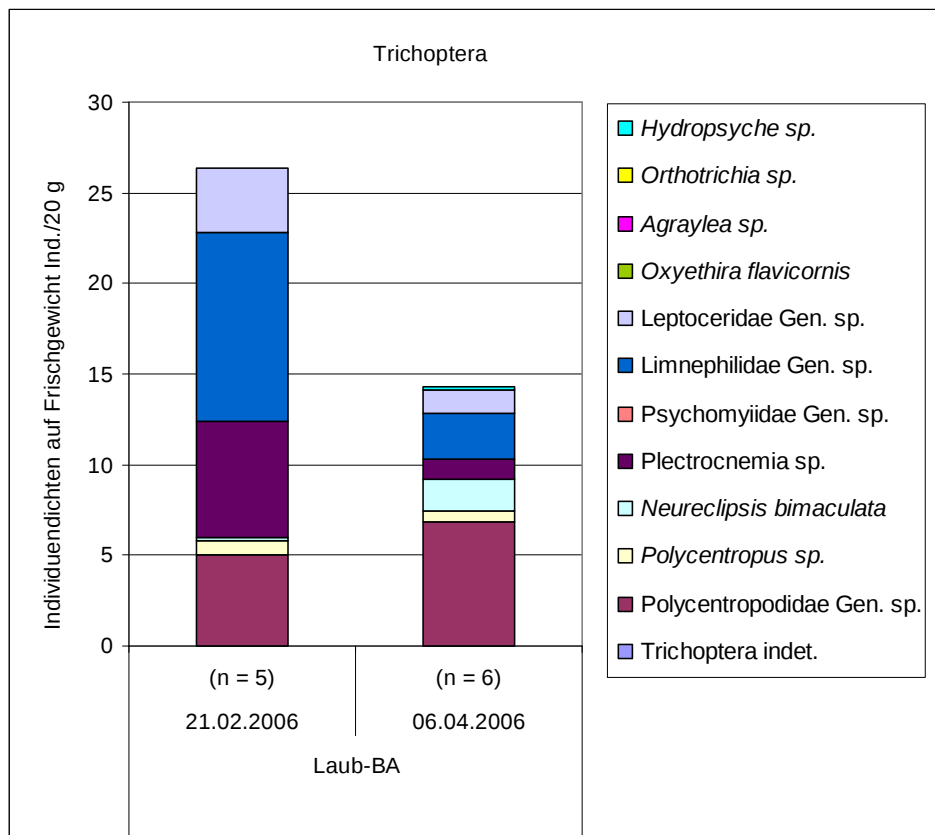


Abb. 3.38: Saisonaler Vergleich. Individuendichten der Trichoptera auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

Auch innerhalb der Chironomidae traten saisonale Unterschiede auf. Zwar dominierten sowohl im Februar als auch im April die Tanypodinae mit 50-55%, allerdings ging ihre Dichte von 340 im Februar auf 170 Ind./20 g im April zurück (Abb. 3.39). Chironomini traten ebenfalls im Februar in höchsten Dichten von 180 Ind./20 g auf (30 %). Ihre Dichten gingen jedoch im April auf 30 Ind./20 g zurück.

Die Ernährungstypen zeigten im saisonalen Vergleich kaum Unterschiede (Abb. 3.40). Auffällig war der im Laub gleichbleibend niedrige Anteil an Zerkleinerern (10-15%). Ebenso wiesen die auf Laub siedelnden Substratpräferenden im saisonalen Vergleich kaum Unterschiede auf (Abb. 3.41). Nur im April war ein geringfügig größerer Anteil der Hartsubstratbesiedler von 30% (Februar = 19%) zu erkennen.

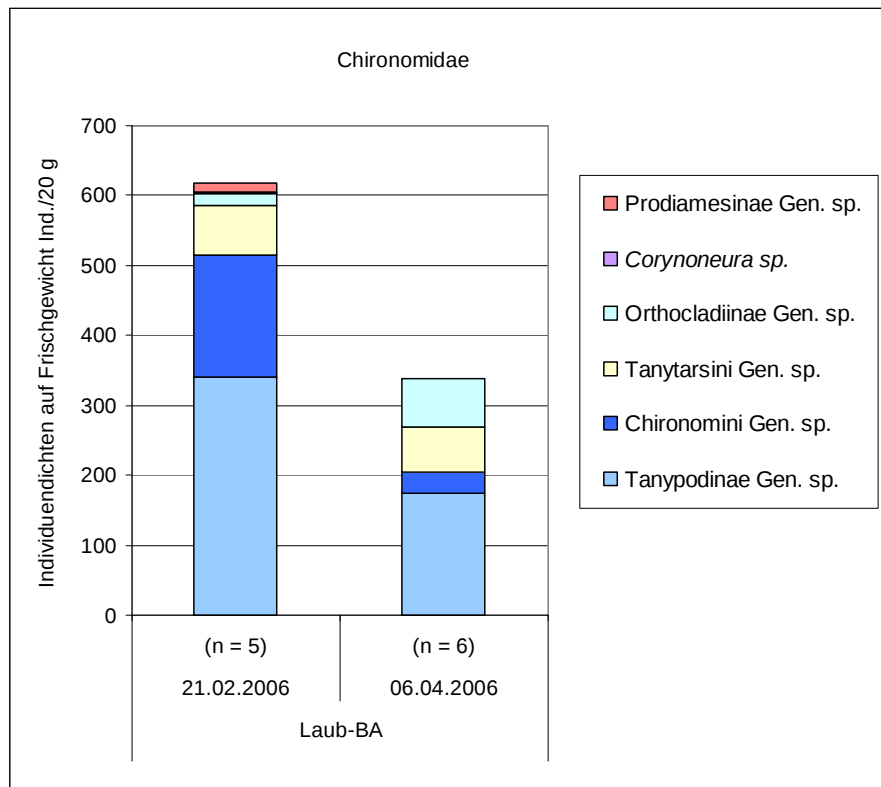


Abb. 3.39: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Chironomidae auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

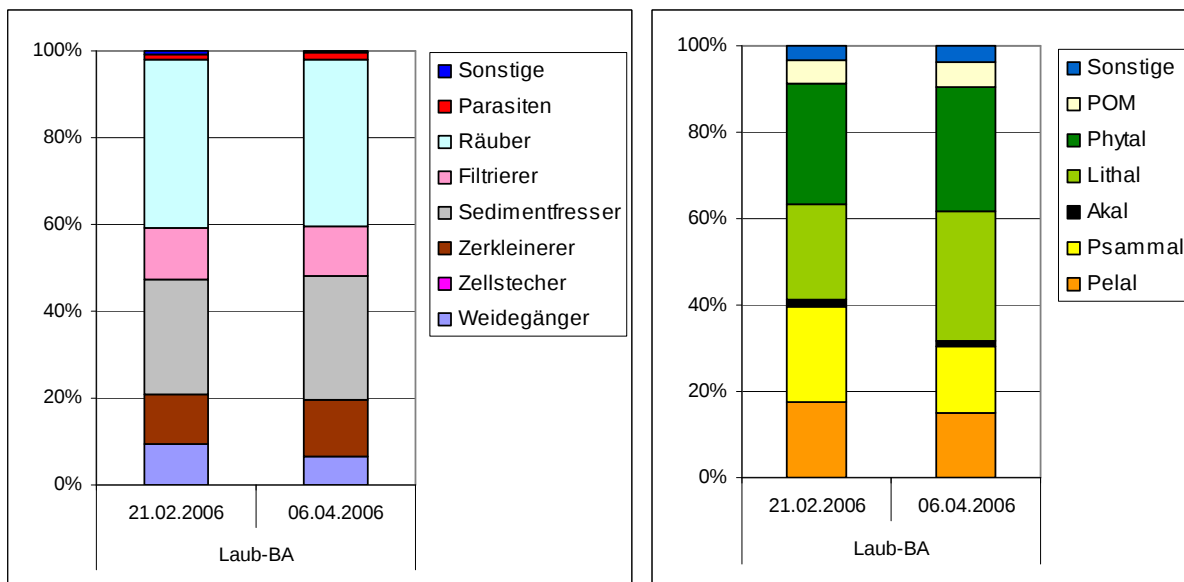


Abb. 3.40 und 3.41: Saisonaler Vergleich der relativen Anteile der Ernährungstypen (links) und Substratpräferenzen (rechts) auf Laub-BA (Bezugsgröße: 20 g eingesetztes Frischgewicht)

*Elodea*BA wiesen im Oktober signifikant (Mann-Whitney-Test, $p < 0,001$) höhere Dichten als im Sommer auf (2800 vs. 1070 Ind./30 g Frischgewicht). An beiden Expositionsterminen dominierten die Chironomidae. Sie wiesen mit 780 Ind./30 g (ca. 75 %) im Sommer allerdings signifikant (Mann-Whitney-Test, $p < 0,001$) niedrigere Besiedlungsdichten auf als im Herbst (2430 Ind./30 g, ca. 85 %) (Abb. 3.42). Im Oktober war zudem der Anteil der Amphipoda (ausschließlich *Gammarus roeseli*) leicht, jedoch nicht signifikant gestiegen.

Auch die Dichten der Trichoptera stiegen im Winter signifikant an (Mann-Whitney-Test, $p = 0,024$) (Abb. 3.43). Zudem änderten sich die Anteile wesentlicher Besiedler. Im August traten zunächst *Hydropsyche* sp., Limnephilidae und Polycentropodidae zu etwa gleichen Anteilen auf (3-5 Ind./30 g), im Oktober dominierten Polycentropodidae mit 25 Ind./30 g (55%) und sowohl die Leptoceridae und als auch *Oxyethira flavicornis* kamen neu hinzu (8 und 3 Ind./30 g).

Innerhalb der Chironomidae erhöhte sich die Zahl der Individuen von August zum Oktober in allen Gruppen (Orthoclaadiinae und Chironomini; Abb. 3.44). Besonders deutlich stieg der Anteil der Tanytarsini (100 auf 1020 Ind./30 g Frischgewicht). Sowohl für die Anteile der Ernährungstypen als auch für die Anteile der Substratpräferierenden ergaben sich aus diesen saisonalen Unterschieden der *Elodea*-Besiedlung kaum Konsequenzen (Abb. 3.45 und 3.46).

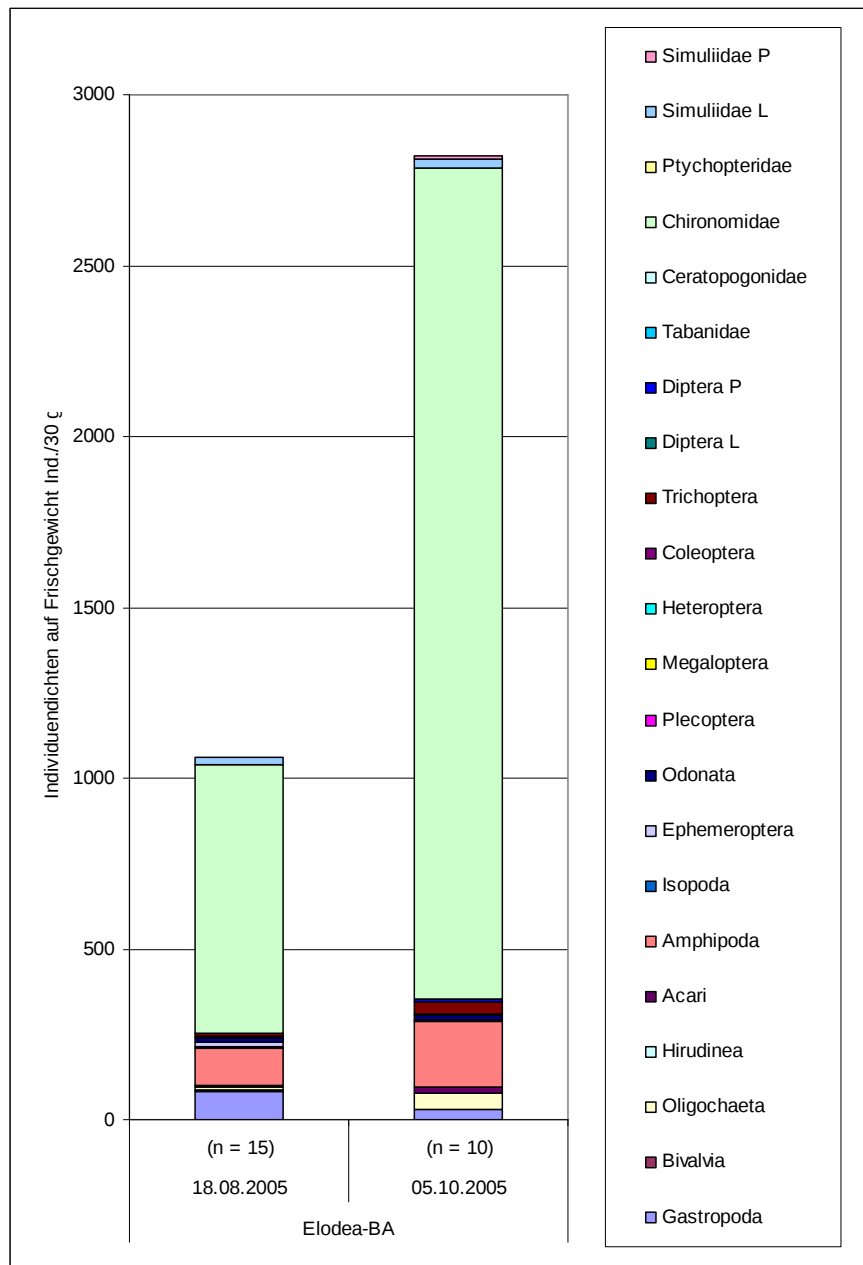


Abb. 3.42⁵: Saisonaler Vergleich der Individuendichten auf *Elodea*-BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht)

⁵ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

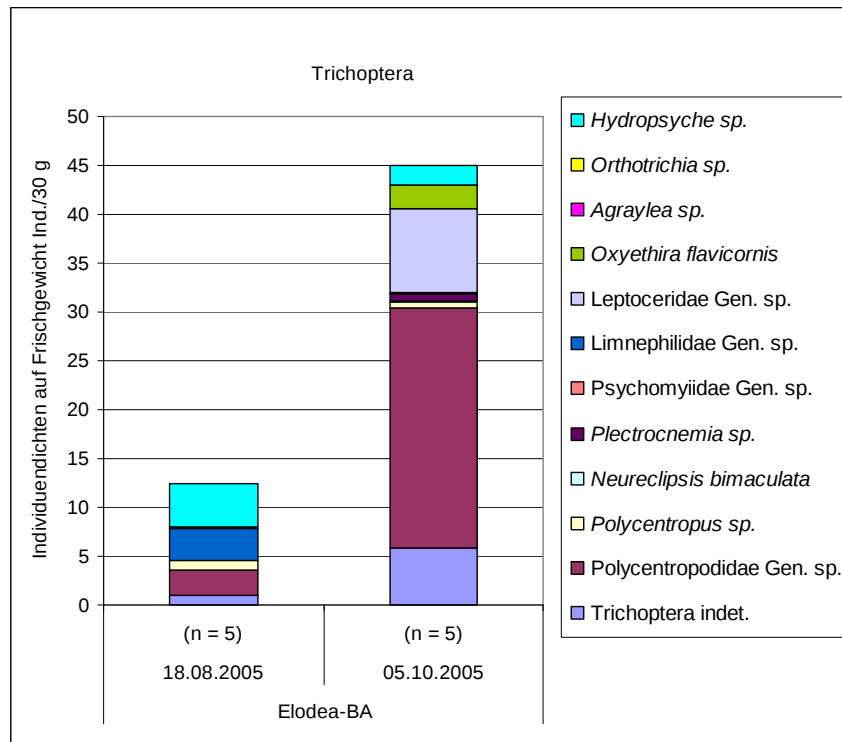


Abb. 3.43: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Trichoptera auf *Elodea*-BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht)

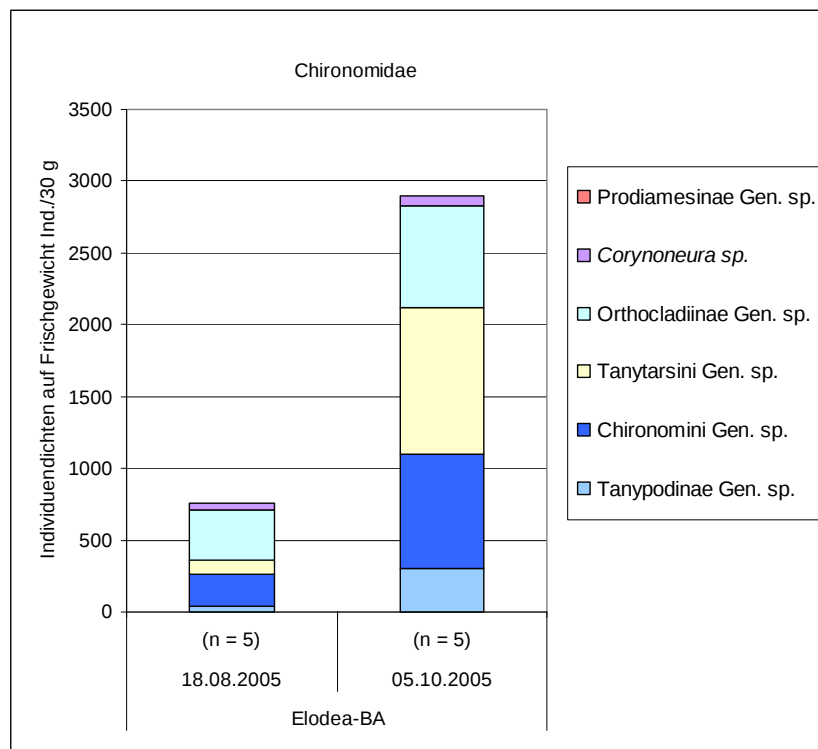


Abb. 3.44: Saisonaler Vergleich der Individuendichten der Chironomidae auf *Elodea*-BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht)

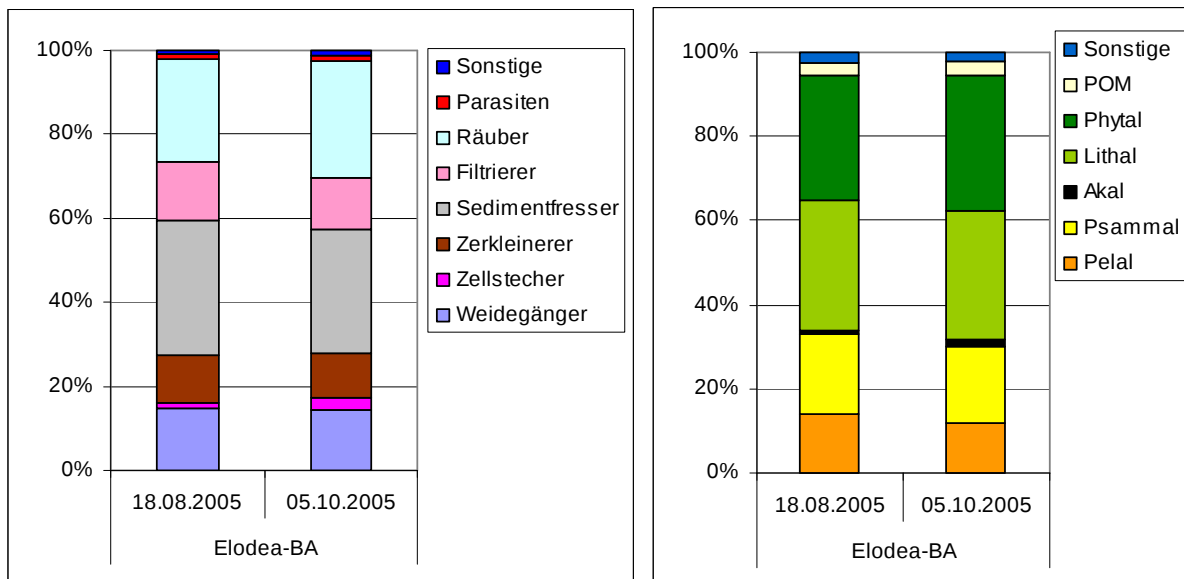


Abb. 3.45 und 3.46: Saisonaler Vergleich der relativen Anteile der Ernährungstypen (links) und Substratpräferenzen (rechts) auf *Elodea*-BA (Bezugsgröße: 30 g eingesetztes Frischgewicht)

3.6.4 Fazit

Während die Expositionsdauer insgesamt relativ wenig Einfluss auf den Besatz hatte, waren die saisonalen Effekte und damit die Expositionszeitpunkte qualitativ und quantitativ von Bedeutung. Die Besiedlungsdichten auf Laub-BA waren z.B. im Winter (Februar) deutlich höher als im Frühjahr (April). Unter quantitativem Aspekt ist deshalb eher ein Besatz mit Laub in der Winterperiode empfehlenswert. In dieser Zeit erreichten auch die meisten Taxa relativ hohe Dichten, insbesondere Trichoptera und Chironomidae. Der Einsatz von *Elodea*-BA kann aufgrund der hohen Individuendichten hingegen eher für die Herbst- als die Sommerperiode empfohlen werden. Auch die Dichten der Chironomidae und – unter den Trichoptera – der Polycentropodidae waren im Herbst deutlich höher.

3.7 Zusammenfassende Bewertung der unterschiedlichen BA-Typen und technisch-methodischen Aspekten

Auf Basis der bisher dargestellten Ergebnisse soll die Eignungen der BA-Typen miteinander verglichen werden. Hauptkriterien sind dabei die Fertigung und die Handhabung im Verlauf der Exposition der BA sowie deren Effizienz. Im Hinblick auf den Betrieb der Mesokosmen werden neben dem Grad der Repräsentativität dabei auch die zu erzielenden Besatzdichten und der hier ermittelte Besatzerfolg als Kriterien herangezogen. Die Bewertung erfolgt anhand einer dreistufigen Klassifizierung (Tab. 3.12). Die zusammenfassende Bewertung entspricht dem Mittel der vergebenen Noten pro Klasse (resp. Kriterium).

Danach sind Sand-BA relativ schlecht bewertet. Diese Beurteilung ergibt sich in erster Linie aufgrund der aufwändigen Handhabung bei gleichzeitig wenig beständiger Exposition

Laub-BA eigneten sich unter den hier gegebenen Rahmenbedingungen deutlich besser (Tab. 3.12). Eine weitere Optimierung des Materialaufwands könnte ihre Effizienz verbessern. Die *Elodea*-BA sind unter methodisch-technischen Aspekten und im Hinblick auf die zu erzielende Besatzdichte am besten zu bewerten (Tab. 3.12). Allerdings bestehen deutliche Abstriche hinsichtlich der Repräsentativität, da die mit Hilfe der *Elodea*-BA in die Mesokosmen übertragene Fauna nur eingeschränkt dem Referenzgewässer ähnelte.

Tab. 3.12: Vergleichende Bewertung von Laub-, *Elodea*- und Sand-BA. 1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, ¹ Anfälligkeit für Störungen des Substrates / BA durch Strömung und Zersetzung, ² Anfälligkeit für eine höhere Sterberate aufgrund der Handhabbarkeit (Kapitel 3.4), ³ Vergleichbarkeit der Zusammensetzung der Fauna auf BA mit der auf natürlichen Substraten (Kapitel 3.5)

Kriterienkatalog für BA		Laub-BA	<i>Elodea</i> -BA	Sand-BA
Fertigung	Materialaufwand/Kosten	3	1	2
	Zeitaufwand	2	1	2
Exposition	Zeitaufwand	1	1	3
	Beständigkeit ¹	2	1	3
Effizienz/Fauna	Mortalität ²	1	1	
	Repräsentativität ³	1	3	1
	Individuendichten	2	1	2
Zusammengefasste Bewertung		1,7	1,3	2,2

4 Etablierung reproduzierbarer Simulationssituationen in den Mesokosmen

Die Entwicklung geeigneter Methoden zur Etablierung gewässertypischer Sohlsubstrate und Faunenelemente in den Fließgewässer-Mesokosmen der Hallenanlage bildeten das Kernziel dieser Arbeitsphase. Diese Methoden sollten geeignet sein, reproduzierbare Versuchsbedingungen zu erreichen. Die Methodenentwicklung zielte darauf ab, den Bedingungen im Referenzgewässer möglichst nahe zu kommen.

Die Basis dafür lieferten die in den Referenzgewässern nachgewiesenen mineralischen und organischen Substrate, die im Barolder Fließ erfasste Dynamik der physiko-chemischen Faktoren sowie die substratspezifische Verteilung vieler Makroinvertebraten im Referenzgewässer. Sie können zunächst allerdings nur als Orientierung dienen (vgl. Kapitel 2). Wichtige und bindende Faktoren für eine möglichst gute Annäherung bildeten die verschiedenen baulichen und betrieblichen Eckwerte der Mesokosmen-Anlage (u.a. Form der Mesokosmen, Temperaturgegebenheiten in der Halle; vgl. Einleitung). Auch der zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeitraum und die Personalkapazität innerhalb dieses Projektes spielten eine Rolle. Dabei konnte keine vollständige Simulation aller Bedingungen des Referenzgewässers erreicht werden. Verschiedene grundsätzliche Abweichungen von der Freilandsituation mussten im Verlauf dieses Projektes von vornherein in Kauf genommen werden und wurden mit dem Auftraggeber abgesprochen:

Laub

Die im Herbst im Referenzgewässer stark ansteigende Laubmenge konnte in den Mesokosmen nicht realisiert werden. Dafür hätten mindestens 280 kg (Frischgewicht!) Laub, (≈ 20 Gefriertruhen à 500 Liter) im Herbst beschafft und nach Vorbehandlung bis zur Verwendung standardisiert (tiefgekühlt bei konstanter Luftfeuchtigkeit) gelagert werden müssen. Im Projektverlauf standen die notwendigen Lager- und Personalkapazitäten in einer solchen Größenordnung nicht zur Verfügung.

Fließgeschwindigkeit/Abflussverhältnisse

Die im Freiland gemessenen, über den Erfassungszeitraum schwankenden Abflussverhältnisse (Pegel/Wasserstände) und damit einhergehende Hoch- bzw. Niedrigwasserphasen sollten in Absprache mit dem Auftraggeber in den Mesokosmen nicht simuliert werden. Dies hätte die Komplexität der Simulationsfaktoren während der Besatz- und Kontrollphasen zu stark erhöht. Die Ausstattung der Mesokosmen folgte dem in Abb. 4.1 dargestellten Ablauf.

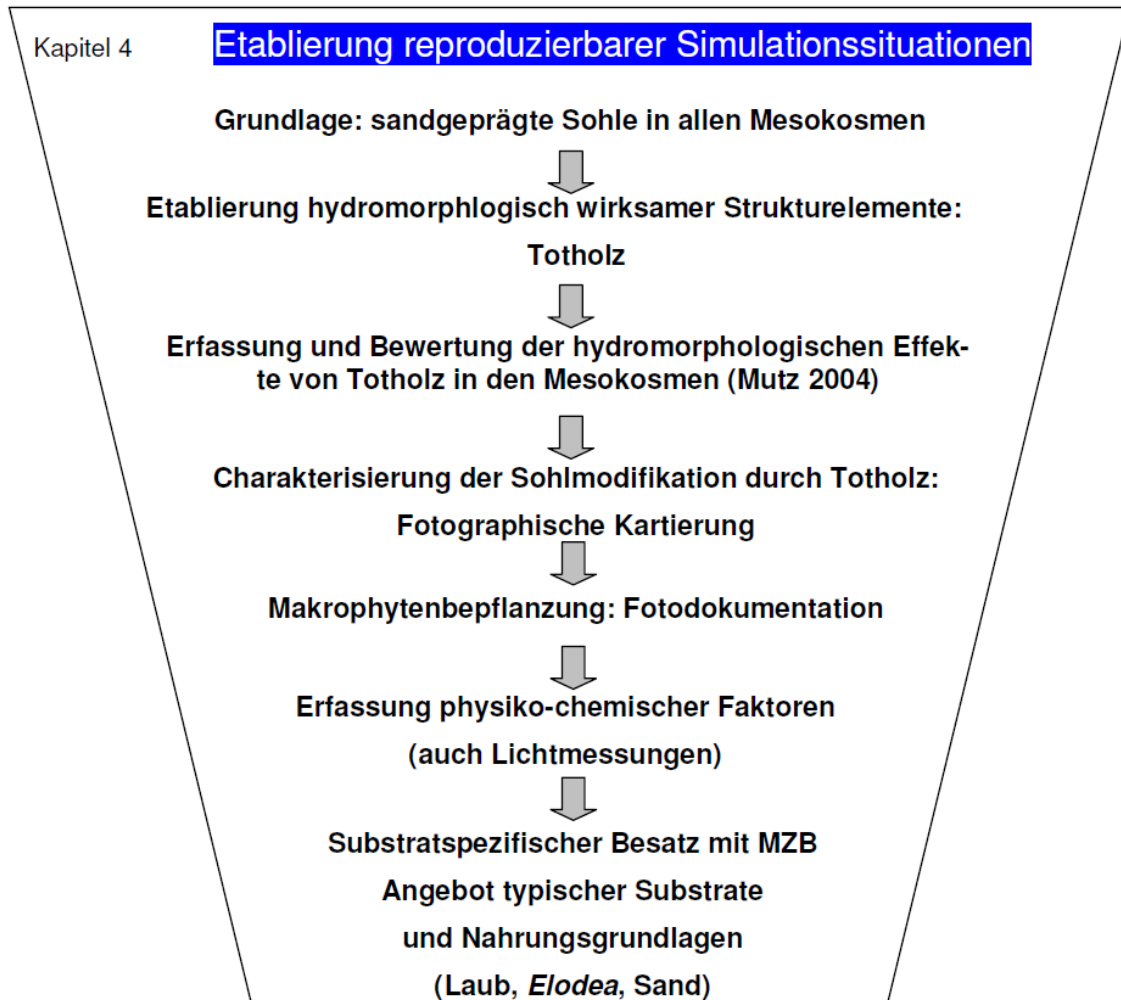


Abb. 4.1: Etappen der Methodenentwicklung zur Etablierung von Strukturen und zum Besatz der Mesokosmen mit gewässertypischer Fauna

4.1 Sohlsubstrat und Wasserkörper

Alle Mesokosmen der Hallenanlage waren vor Projektbeginn im April 2004 mit Sohlsubstrat ausgestattet worden. Dabei wurde eine maximale Sedimenthöhe von 20 cm (tiefster Punkt des Rinnenbodens bis Sedimentoberfläche) eingehalten. Dem Simulationsziel (sandgeprägter Tieflandbach) entsprechend, wurde Sand folgender Korngrößenzusammensetzung verwendet:

- max. 10 Masse%: >2 <4 mm
- ~ 35%: >0,5 <2 mm
- ~ 35%: >0,25 <0,5 mm
- ~ 20%: >0,063 <0,25 mm
- max. 4%: <0,063 mm

Das Sediment wurde in zwei Schichten eingebracht. Über die erste Sandschicht wurde eine wässrige Mischung aus organischen und mineralischen Feinsedimenten verteilt, die in die erste

Sandschicht einsickerte. Das Feinsediment stammte aus einer See-Entschlammung. Es wurde weitestgehend von groben Pflanzen- und Wurzelresten befreit. Feine organische Bestandteile sollten enthalten bleiben. Mit dieser organischen Anreicherung des sonst mineralischen Sedimentes in den Mesokosmen wurde eine Konditionierung angestrebt, die als Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Etablierung von Makrophyten betrachtet wurde. Die Mesokosmen wurden nachfolgend bis zu einem Wasserstand von 20 cm über dem Sediment (= 40 cm über Rinnenboden) befüllt. Das Wasser wies eine Leitfähigkeit von 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf, die Leistung der Pumpen wurde zunächst entsprechend einer Fließgeschwindigkeit von 10 cm/s eingestellt.

4.2 Etablierung von Totholz

Vereinbarungsgemäß wurde angestrebt, in jeder Fließrinne die Situation in beide Referenzgewässern zu gleichen Teilen (50/50) abzubilden. Der erste Abschnitt nach der Schneckenpumpe sollte die Waldbachsituation repräsentieren (Abschnitt T = Referenzbach Bardenitzer Fließ, beschattet und reich an Totholz, Abb. 4.8). Dementsprechend blieb die künstliche Beleuchtung über den Mesokosmen ausgeschaltet und die Sandsohle mit Totholzanteilen ausgestattet. Als langfristige, lagestabile Substrate wurden dort große Totholzelemente (s. o.) eingebracht und durch Ast- bzw. Zweigmaterial ergänzt.

Mit der Einbringung des Totholzes wurde im Juli 2004 begonnen. Je Mesokosmos wurden 6 *Alnus glutinosa*-Stammstücke ($\varnothing$ 12-20 cm, Länge ca. 80 cm) und 11 Zweige ($\varnothing$ 5-10 cm) an jeweils identischen Positionen auf den Sand gelegt (Abb. 4.2) Die Totholzelemente wurden wegen ihres spezifischen Eigengewichtes vorsorglich beschwert und durch Stäbe in ihrer Position gesichert. Die Steine zur Beschwerung wurden so positioniert, dass sie keinen zusätzlichen und wenn zumindest einen sehr geringen und in jedem Mesokosmos gleichmäßigen Einfluss auf die Strömung hatten.

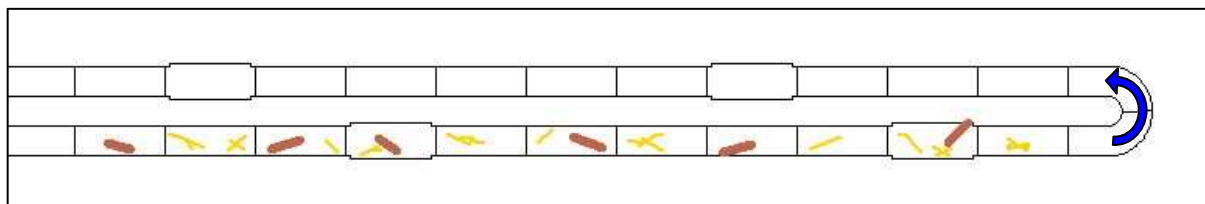


Abb. 4.2: Lage der Totholzelemente in den Mesokosmen (schematische Darstellung; gelb: Zweige, braun: Stammstücke, blauer Pfeil: Strömungsrichtung)

Von Mai bis Ende Juli 2004 wurden in Zusammenarbeit mit der TU Cottbus in zwei Fließgewässermesokosmen Tracer-Versuche zum Einfluss der Totholzelemente auf den vertikalen Wasseraustausch durchgeführt. Der Versuchsaufbau, die Methoden und Ergebnisse sind im Tätigkeitsbericht des UBA (2006b) und in Mutz et al. (2006) dargestellt.

4.3 Etablierung von Makrophyten

Im Juni 2004 wurde im zweiten Abschnitt der Mesokosmen (Abschnitt M = Referenzbach Barolder Fließ, besonnt und reich an Makrophyten, Abb. 4.8) jeweils ein Beruhigungsbecken (BB 3) mit aufrechtem Igelkolben (*Sparganium erectum*) bestückt. In diesem Bereich wurden auf jeder Seite 6 Einzelpflanzen eingesetzt (Abb. 4.3), um so typische Pflanzen der Uferzone zu etablieren. Das folgende Beruhigungsbecken (BB 4) wurde in jedem Mesokosmos mit submersen, Polster bildenden Pflanzen (*Elodea canadensis*) ausgestattet. Dazu wurden über die gesamte Fläche 28 Büschel (insgesamt ca. 1900 g Abtropfgewicht) direkt in das Sediment eingesetzt (Abb. 4.4). In einen Bereich zwischen den beiden Beruhigungsbecken wurden kurz gewachsene flutende Igelkolben *Sparganium emersum* subsp. *emersum* exponiert. Im September 2004 wurden jeweils 8 Büschel (à 40 g) von *Myriophyllum spicatum* jeweils in das Segment unterhalb BB 3 positioniert (Abb. 4.5).



Abb. 4.3: *Sparganium erectum* im Beruhigungsbecken (BB 3) des Mesokosmos (HR 3)



Abb. 4.4: Pflanzung und Verteilung der *Elodea canadensis* im Beruhigungsbecken (BB 4) des Mesokosmos HR 3

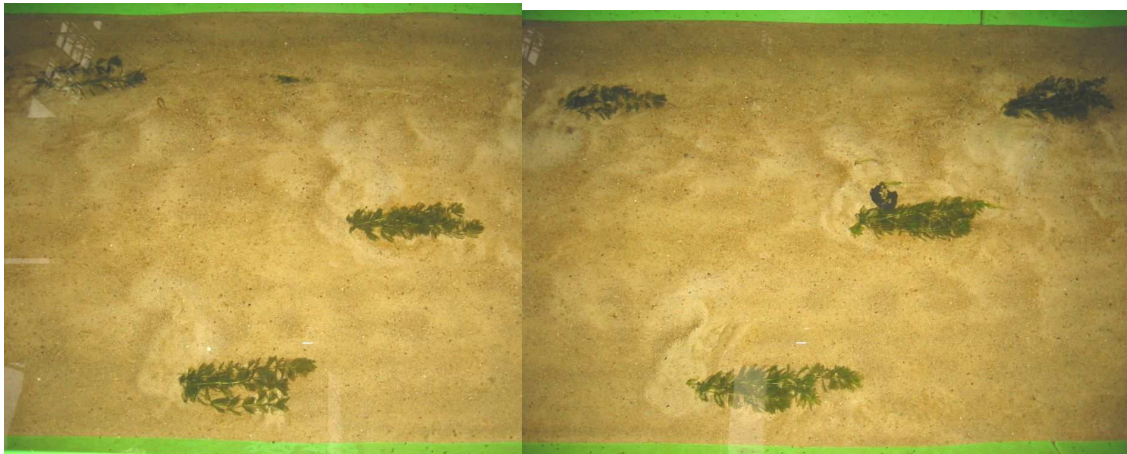


Abb. 4.5: Verteilung von *Myriophyllum spicatum* im Abschnitt M des Mesokosmos HR 3.

Der Abschnitt M wurde beleuchtet. Lückenlos über die Gesamtlänge der jeweiligen Abschnitte angebrachte Leuchtstoffröhren (Lichtfarbe LF72) erreichten Werte der aktiven Strahlung (PhAR), die Werten in der Größenordnung der Strahlung in den Referenzgewässern an bewölkten Sommertagen entsprachen (UBA 2006 a). Die Schaltzeiten der Beleuchtung wurden (entsprechend der Routine und Erfahrung der FSA Mitarbeiter) an den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus der jeweiligen Jahreszeit angepasst. In der Absicht, einer starken Vermehrung von fädigen Grünalgen und Cyanobakterien vorzubeugen, wurden etwa 70% jedes Mesokosmos mit Folien abgedunkelt. Nur die bis zu diesem Zeitpunkt mit Makrophyten bepflanzten Bereiche wurden dem künstlichen Licht ausgesetzt (Abb. 4.6).



Abb. 4.6: Mesokosmos HR 3 mit Verdunkelung über Teilstrecken der Abschnitte M (links) und T (rechts)

Diese starke Abdunkelung musste jedoch nach 12 Monaten im Mai 2005 wieder entfernt werden, da nun alle Bereiche des Abschnittes M bepflanzt und somit beleuchtet werden sollten. Im

August 2005 wurden weitere submerse Makrophyten eingepflanzt. Zunächst wurden die *Elodea*-Bestände in den Beruhigungsbecken 4 aufgestockt, so dass in allen Mesokosmen wieder die annähernd gleiche Menge an Biomasse vorhanden war. Weiterhin wurden über die gesamte Länge des Abschnitt M 29 *Elodea*-Büschel (insgesamt ca. 4000 g Abtropfgewicht) eingesetzt (Abb. 4.7). Zur Unterstützung des Wachstums der Makrophyten wurde ein allochthoner Eintrag mit einer kontinuierlichen Düngung mit NaNO_3 (Natriumnitrat), K_2HPO_4 (Dikaliumhydrogenphosphat) und Na_2SiO_3 (Natronwasserglas) simuliert. Zielkonzentrationen waren dabei die in den Referenzgewässern gemessenen Werte. In Tab. 4.1 sind die Zeitpunkte und Zugabemengen der Düngung aufgelistet.



Abb. 4.7: Frisch eingepflanzte *Elodea*-Büschel in Abschnitt M (Beispiel HR 3)

Tab. 4.1: Düngung: Datum und Menge

Datum	K_2HPO_4 (g)	Na_2SiO_3 (l)	NaNO_3 (g)	Datum	K_2HPO_4 (g)	Na_2SiO_3 (l)	NaNO_3 (g)
17.09.04	1,9	120,0	0,0	26.08.05	40,0	1250,0	300,0
21.10.04	7,5	600,0	0,0	27.09.05	20,0	937,5	150,0
11.11.04	15,0	625,0	0,0	28.11.05	20,0	937,5	150,0
02.12.04	22,5	625,0	0,0	14.12.05	15,0	937,5	200,0
05.01.005	22,5	625,0	0,0	17.01.06	20,0	1562,5	250,0
27.01.05	3,8	312,5	100,0	20.02.06	40,0	2187,5	300,0
08.02.05	0,0	321,5	0,0	17.03.06	60,0	2500,0	400,0
03.03.05	0,0	321,5	100,0	11.04.06	60,0	3125,0	725,0
07.04.05	10,0	625,0	150,0	08.05.06	40,0	3125,0	400,0
10.04.05	0,0	312,5	0,0	12.06.06	0,0	3125,0	200,0
21.04.05	20,0	1250,0	75,0	06.10.06	0,0	0,0	200,0
19.05.05	20,0	1500,0	150,0	20.10.06	0,0	500,0	0,0
02.06.05	40,0	2500,0	300,0	17.11.06	0,0	1000,0	100,0
14.07.05	20,0	1500,0	200,0	20.12.06	0,0	1562,5	300,0

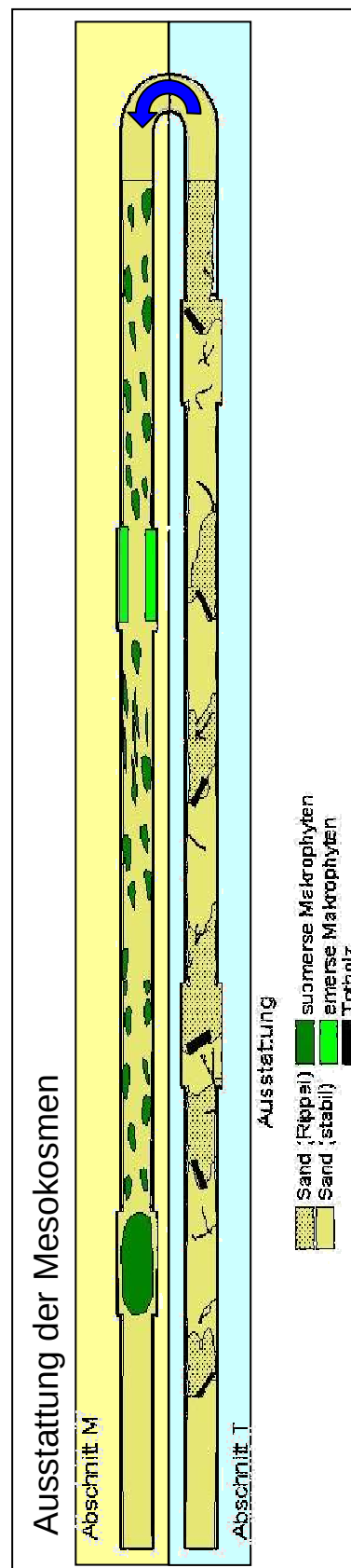


Abb. 4.8: Beispiel der Ausstattung eines Mesokosmen mit Totholz und Makrophyten (blauer Pfeil: Strömungsrichtung)

4.4 Kontrolle der Etablierung und Strukturentwicklung in den Mesokosmen

Folgende Untersuchungen wurden zur Dokumentation bzw. zur Kontrolle der Entwicklungen in den Mesokosmen durchgeführt:

- a) Strömungsmessungen zur Darstellung der hydrodynamischen Situation in den Mesokosmen und Vergleich mit den Referenzgewässern,
- b) Erfassung weiterer physiko-chemischer Parameter (Temperatur, Sauerstoffsättigung, pH-Wert, Leitfähigkeit, Nitrat, Phosphat, Silizium, Natrium, Kalium, TOC, Seston, Alkalinität)
- c) vergleichende Erfassung der Lichtexposition der Mesokosmen,
- d) Dokumentation und Kontrolle der Substratstruktur in den Mesokosmen,
- e) Probenahmen zur Charakterisierung der Algenentwicklung,
- f) Erfassung der in Mesokosmen vor Projektbeginn vorhandenen Besiedlung.

4.4.1 Methoden

Strömungsmessungen

Zur Erfassung der Strömung in den Mesokosmen wurde die gleiche Gerätekombination wie im Referenzgewässer genutzt (vgl. Kapitel 2.3). Die Messungen erfolgten exemplarisch im September 2005 an folgenden sechs Positionen in einem Mesokosmos

- schmales Mesokosmen-Segment mit reinem Sandbett
- breites Segment mit reinem Sandbett
- schmales Segment mit Totholz
- schmales Segment mit Makrophyten
- breites Segment mit Totholz
- breites Segment mit Makrophyten

Die Messungen im Umfeld der Strukturen Totholz und Makrophyten erfolgten entlang eines Transekts direkt über einem Totholzelement oder einem Makrophytenpolster. Vom rechten Mesokosmenrand wurden jeweils in 4 und 15 cm Wassertiefe in Abständen von 20 cm 6 Messungen in schmalen bzw. 7 Messungen in breiten Segmenten (Beruhigungsbecken) durchgeführt.

Ziele dieser Messungen waren:

- a) Erfassung der Effekte von Totholz und Makrophyten auf die hydrodynamischen Bedingungen durch presence/absence (p/a) Vergleich.
- b) Vergleich der hydrodynamischen Bedingungen in Mesokosmen und Referenzgewässern.

In diese Auswertungen wurden auch die Untersuchungen von PD. Dr. M. Mutz (Bad Saarow) zum Einfluss von Totholz auf den vertikalen Wassertransport in den Fließgewässer-Mesokosmen einbezogen.

Erfassung weiterer physiko-chemischer Parameter

Zur Erfassung der weiteren abiotischen Faktoren wurde in den Mesokosmen die gleichen Geräte verwendet und der gleiche Messrhythmus eingehalten wie in den Referenzgewässern (vgl. Kapitel 2.3.1).

Dokumentation und Kontrolle der Substratstruktur in den Mesokosmen

Nach dem Einsetzen der Stammstücke erfolgte im Abschnitt T jedes Mesokosmos eine sehr genaue Fotokartierung zur Erfassung der Sohlstrukturen, die durch die Stämme induziert wurden. Zu diesem Zweck wurde eine Kamera (Canon S-40) an einem Gestell parallel zur Sohle so ausgerichtet, dass digitale Bilder in konstanter Höhe über der Sohle und in regelmäßigen Abständen aufgenommen werden konnten. Zur Minderung von Reflektionen auf der Wasseroberfläche wurde ein großer, an einem Kran befestigter Fotoschirm über dem Gestell mitbewegt. Die Bilder wurden im Bildbearbeitungsprogramm PhotoStitch 3.1 (Canon Utilities) zusammengefügt und in das GIS ArcView importiert. Nach einer Digitalisierung der einzelnen Sohlstrukturen konnten die jeweiligen Flächenanteile berechnet und verglichen werden. Die weitere Entwicklung der eingesetzten Makrophyten und der durch Pflanzen und Totholz initiierten Veränderungen der Sohlsubstrate in den Abschnitten M und T wurde ebenfalls durch Fotoserien dokumentiert und GIS-tauglich verarbeitet. Allerdings wurden diese Bildserien nicht senkrecht von oben aufgenommen, sondern seitlich mit zugeschaltetem Blitz. Die Periphytonentwicklung bedingte einen dunklen Hintergrund, die ein Arbeiten mit dem zusätzlich abdunkelndem Fotoschirm nicht mehr möglich machte.

Parallel zu dieser Fotodokumentation wurde die Substratbeschaffenheit der einzelnen Flächenstrukturen erfasst, da allein mit den Fotos die Qualität aller Strukturen nicht eindeutig hätte bestimmt werden können. Tabelle 4.2 beinhaltet eine Auflistung und Erläuterungen (mit Verweisen auf Beispielphotos) der kartierten Flächenstrukturen. Die Flächenberechnungen aus diesen Dokumentationen für die Mesokosmen können mit den Resultaten der detaillierten Strukturkartierung im Bardenitzer und Barolder Fließ verglichen werden.

Tab. 4.2: Beschreibung der kartierten Sohlstrukturen

Struktur	Beschreibung
Sand (stabil)	Ebene Sandsohle (vgl. Abb. 4.9 a)
Sand (Rippel)	Morphodynamisch veränderte Sandsohle (vgl. Abb. 4.9 b)
Sand (Kolmation)	Verfestigung der oberen Sandschicht (0,5-1 cm), mit einer Periphytonentwicklung einhergehend (vgl. Abb. 4.9 c).
Sand (Kolmation), Algen	Verfestigung der oberen Sandschicht (0,5-1 cm), mit einer makroskopisch sichtbaren Entwicklung von fädigen Grünalgen oder Blaualgen einhergehend (vgl. Abb. 4.9 d und e).
Sand (Kolmation), FPOM	Verfestigung der oberen Sandschicht (0,5-1 cm), mit dünnen FPOM-Auflagen (0,5-1,5 cm) (vgl. Abb. 4.9 e und f)
FPOM	Dicke organische Schichten (ab 1,5 cm) aus feinputikulärem Material (vgl. Abb. 4.9 g)
FPOM, Sand	Dünne FPOM- Lagen (0,5-1,5 cm) auf der Sandsohle (vgl. Abb. 4.9 h)

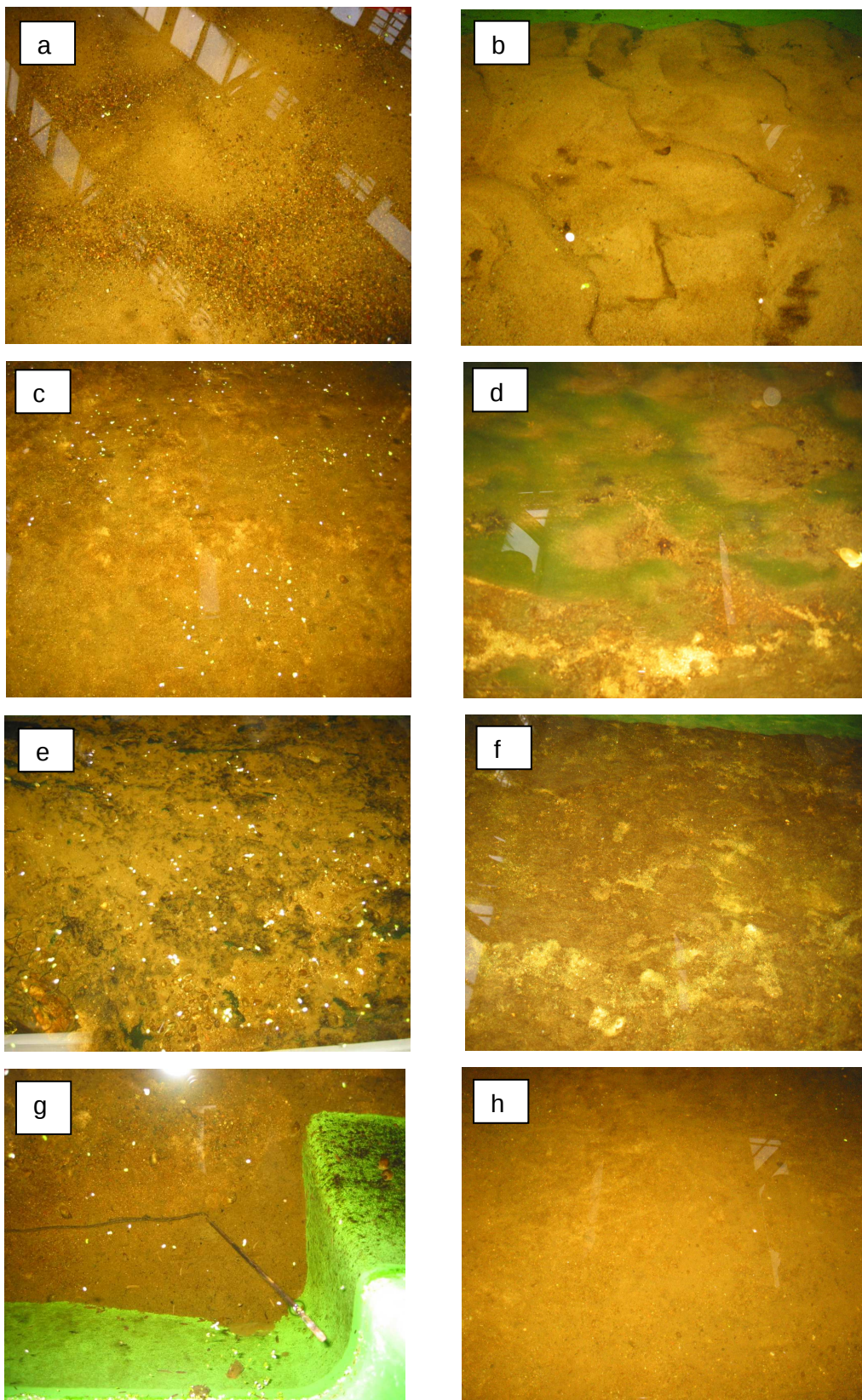


Abb. 4.9: Sohl-Substrattypen: (a) Sand (stabil), (b) Sand (Rippel), (c) Kolmation, (d) Fadenalgen auf Kolmation, (e) Blaualgen und FPOM auf Kolmation, (f) FPOM auf Kolmation, (g) FPOM (dick), (h) FPOM auf Sand

Probenahmen zur Charakterisierung der Algenentwicklung

Zur Quantifizierung der Biomasseentwicklung der fädigen Grünalgen in den unterschiedlichen Mesokosmen wurden am 09. Juni und 18. August 2005 Beprobungen durchgeführt. Hierzu wurden sämtliche Grünalgen nach dem Abspülen der Fauna aus den Mesokosmen entnommen, in einer Schleuder von anhaftendem Wasser befreit und gewogen (vgl. Mohr et al. 2007). Die Erfassung dieser Entwicklung beschränkt sich auf diese zwei Termine, da durch ein fortwährendes Absammeln der Algen zu häufig Störungen aufgetreten wären.

Erfassung der in den Mesokosmen vor Projektbeginn vorhandenen Besiedlung

Vor der ersten Ansiedelung von Makroinvertebraten aus dem Referenzgewässer wurde eine faunistische Beprobung in den Mesokosmen durchgeführt (29.11.2004). Für diese Bestandsaufnahme wurden mit einem modifiziertem Surber-Sampler (15 x 15 cm Grundfläche) in jeder Fließrinne die folgenden 5 Sedimentbereiche untersucht:

- nicht künstlich beleuchtete Bereiche mit nicht strukturierter Sohle,
- nicht künstlich beleuchtete Bereiche mit strukturierter Sohle vor Totholz,
- nicht künstlich beleuchtete Bereiche mit strukturierter Sohle hinter Totholz,
- durch Folien abgedunkelte Bereiche mit nicht strukturierter Sohle,
- künstlich beleuchtete Bereiche im BB 3 (Mischprobe aus Strommitte und *Sparganium*-Zwischenräumen).

Am 29. April 2005 erfolgte eine weitere Direktbeprobung (Vorabbeprobung) des Sediments. Mit einem Stechzylinder wurden insgesamt 8 Sedimentkerne (je 1,5 cm dick, Oberfläche: 50 cm²) pro Mesokosmos entnommen und in 80%igem Ethanol fixiert. Die 8 Proben verteilten sich auf 4 Positionen (2 x Sand stabil, 2 x Sand mobil) in den Mesokosmen. Nach Siebung über 200 µm wurden die Besiedler aussortiert (Zeiss Stemi 2000-C und Leica MZ-5: Vergrößerung 6,5x-10x) und bestimmt (Zeiss Stemi 2000-C: Vergrößerung 6,5x-50x). Die Ergebnisse dieser Beprobung werden in Kapitel 6 dargestellt.

Am 20. Juni 2005 erfolgte außerdem eine stichprobenartige Erfassung der Gastropoda an den Wänden der Mesokosmen. In acht Abschnitten von jeweils 50 cm Länge wurde in jedem Mesokosmos die Individuendichte der Gastropoda durch Direktzählung erfasst. Während der Auszählung wurde eine Größenklassendifferenzierung vorgenommen (<1 cm; 1-2,5 cm; >2,5 cm), von der Aussagen über die Altersstruktur der Gastropoda erwartet wurden.

4.4.2 Ergebnisse

Einfluss der Totholzelemente auf den vertikalen Wassertransport

Die Versuche der AG von PD Dr. Mutz (TU Cottbus) ergaben, dass der vertikale Wasseraustausch zwischen fließender Welle und hyporheischem Interstitial durch Holzeintrag in Sandbächen gesteigert wird. Durch Holz ausgelöste Sohlstrukturen als auch die direkte hydraulische Wir-

kung des Holzes verursachen die verbesserte Koppelung von Freiwasser und Porenraum. (vgl. Mutz et al. 2006 und UBA 2006 b).

Strömungsmessungen

Die Fließgewässer-Mesokosmen wiesen in den ausschließlich durch Sand geprägten, strukturfreien Bereichen ein reines Trapezprofil mit ebener Sohle auf. Die sohl-nahen und die oberflächennahen Strömungsgeschwindigkeiten waren über den gesamten Querschnitt ähnlich (Abb. 4.10, oben). Sie erreichten maximal rd. 17 cm s^{-1} am Gleithang und rd. 21 cm s^{-1} am Prallhang. In unmittelbarer Nähe der Wände sank die Strömung auf $11\text{-}13 \text{ cm s}^{-1}$. In den breiten Segmenten (BB) mit reinem Sandbett bildeten sich größere Unterschiede zwischen sohl- und oberflächennahen Fließgeschwindigkeiten aus (Differenz: ca. $1\text{-}6 \text{ cm s}^{-1}$) (Abb. 4.10, unten). An den senkrecht abfallenden Wänden sank die Strömung auf $0\text{-}4 \text{ cm s}^{-1}$.

Trotz relativ geringer Menge an Totholz in den Mesokosmen wurde sofort nach deren Exposition in allen Systemen eine vergleichbare Veränderung der Sohlstruktur deutlich (Abb. 4.11). Vor den Totholzstämmen manifestierte sich der Staudruck. Neben und über den Stämmen entstanden Bereiche deutlich erhöhter Fließgeschwindigkeit (Abb. 4.12 a). Neben dem Totholz bildeten sich kleine Sohlkolke, unmittelbar hinter den Stämmen entstanden Aufsandungen (Abb. 4.11 rot und grün). Die Auskolkung betrug jeweils rd. $5\text{-}7 \text{ cm}$. Diese Entwicklung war in den breiteren und schmalen Rinnenabschnitten zu beobachten (Abb. 4.12 a und b).

In geringer Entfernung unterhalb der Totholzstämmen bildeten sich kleinräumig wechselnde Strömungsmosaike. Sie waren mit Sohlerosionen, Rippelbildung und Ablagerungen (Bänke) der feineren Sandfraktionen verbunden (Abb. 4.11 rot, blau, grün). Insgesamt erfolgte durch das Totholz induziert eine markante Sortierung der Sedimentgrößenfraktionen. Diese betraf je Mesokosmos etwa $1/6$ bis $1/5$ der Sohlfläche.

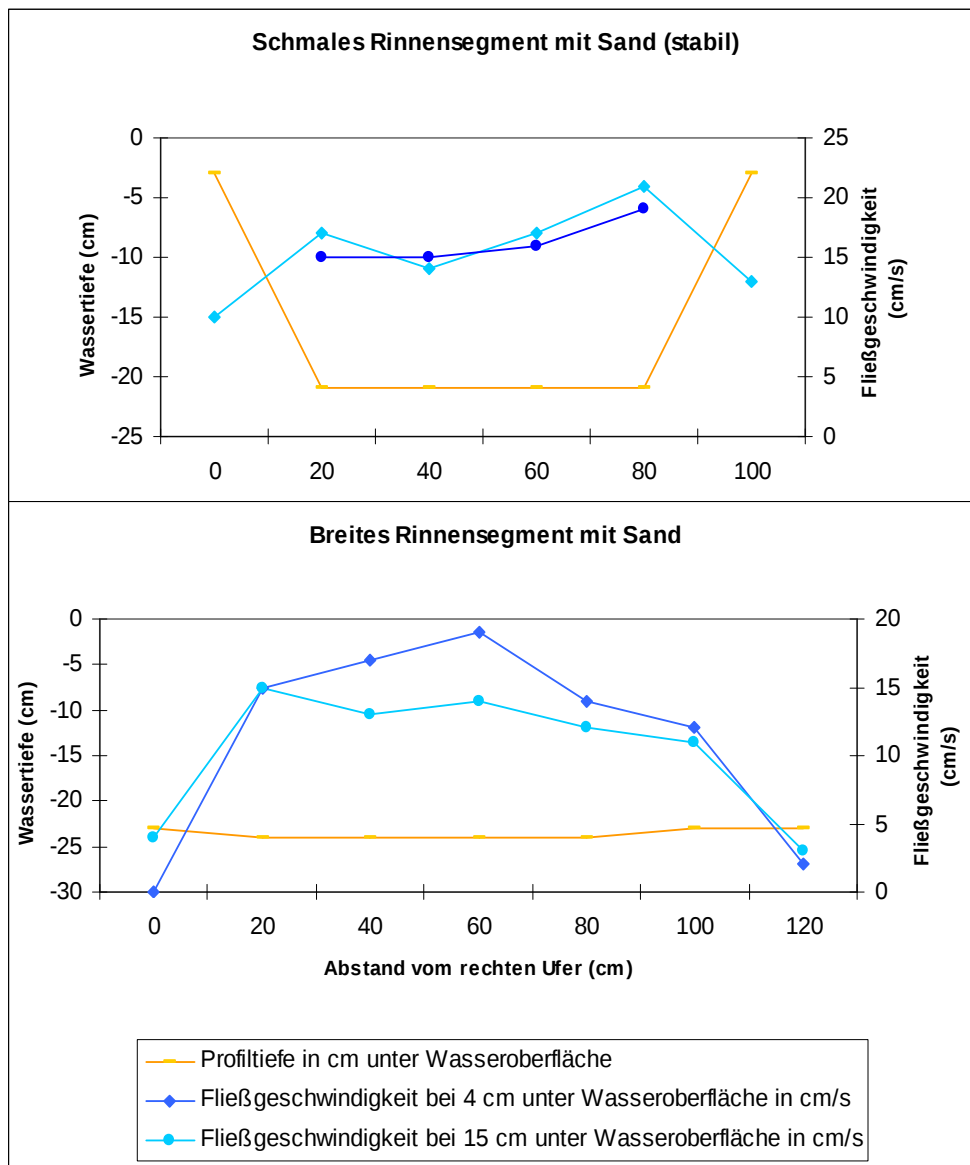


Abb. 4.10: Strömungsverhältnisse und Sohlstruktur im Staudruckbereich von Totholz (oben: schmales Segment, unten: breites Segment (Beruhigungsbecken))

Die Effekte der Totholzelemente drückten sich in messbaren Veränderungen der sohnlichen Strömung wie auch der oberflächennahen Strömungsgeschwindigkeiten aus (Abb. 4.12). Im Sohlenbereich bewirkte das einzelne Totholzelement eine Verstärkung der Strömungsdiversität. Während die Fließgeschwindigkeit im Bereich der Stämme auf null sank, traten unmittelbar daneben andere Geschwindigkeiten auf. Sie waren etwa 5-8 cm höher als in den Bereichen ohne Totholzexponate. Die oberflächennahe Strömung war im Staudruckbereich höher und gleichmäßiger als in den vergleichbaren Abschnitten ohne Totholzexponate.

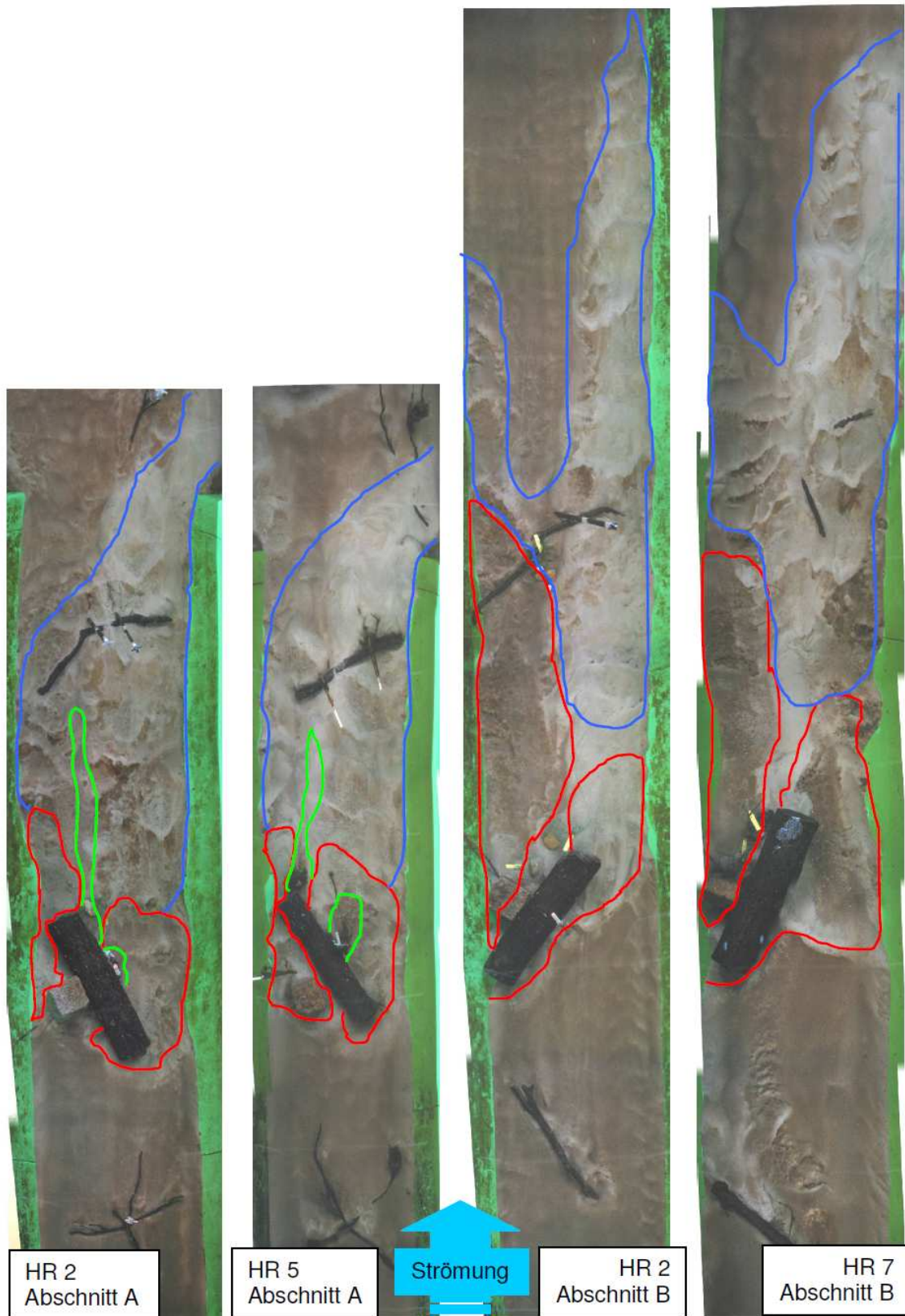


Abb. 4.11: Sohlstrukturen zweier analog eingerichteter Abschnitte in je zwei Mesokosmen (grün: Ablagerungen von Feinfraktionen; rot: Sohlenerosion und Auskolkungen mit groben Sandfraktionen; blau: Riffelbildung)

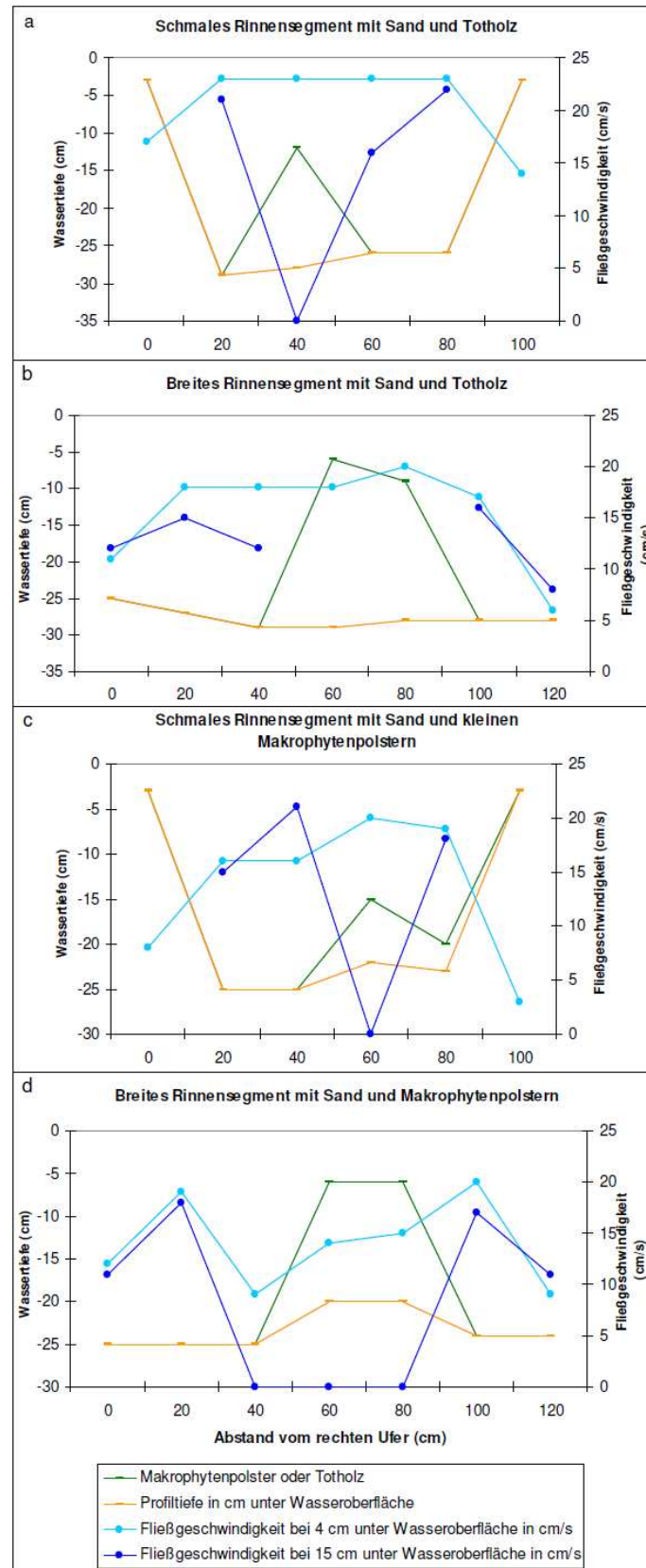


Abb. 4.12: Strömungsverhältnisse im Staudruckbereich von Totholz (a, b) und Makrophytenpolstern (c, d)

Die durch kleine Makrophytenpolster induzierten Veränderungen der Sohle und der sohl nahen Strömung ähnelten den Effekten von Totholz (Abb. 4.12 a-d). Hier wechselten Bereiche leichter Sohlerosionen und erhöhter Erosionsgeschwindigkeiten neben den Pflanzenpolstern mit Bereichen reduzierter Strömung über den Pflanzen (Abb. 4.12 c). Die Makrophytenpolster bedingten auch in den breiten Rinnenabschnitten (Abb. 4.12 d) eine Modellierung der Sohle. Seitlich der Polster bildeten sich tiefere Bereiche. Über und dicht neben den Pflanzen war keine Strömung messbar. Im Gegensatz zu den schmalen Rinnenbereichen war hier allerdings die oberflächen-nahe Strömung gegenüber der Ausgangssituation stark verändert. Sie lag im flachen Bereich der Gerinnemitte um ca. 10 cm niedriger als an den Rändern.

Ein ganz anderes Bild ergab sich im Bereich der randlich bepflanzten breiten Rinnenabschnitte (Abb. 4.13). Durch die Querschnittsverkleinerung verbunden mit einer Strömungserhöhung entstand dort, besonders im sohl nahen Bereich der Rinnenmitte eine Eintiefung von 3 cm. Zu beiden Rändern hin nahm die Strömung sohl- und oberflächennah stark ab.

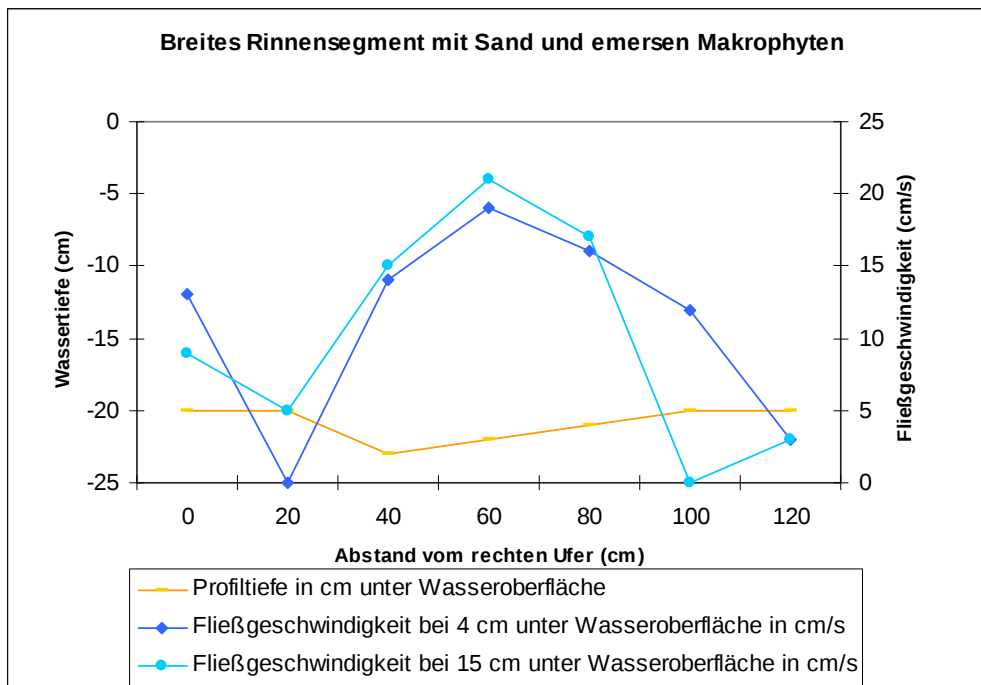


Abb. 4.13: Strömungsverhältnisse und Sohlstruktur in breiten Rinnensegmenten mit emersen Makrophyten

Vergleich der hydrodynamischen Faktoren in den Referenzgewässern und in den Mesokosmen

Nachfolgend wird geprüft, ob typische saisonale Ausprägungen hydromorphologischer Parameter der Referenzgewässer in einzelnen Abschnitten der Mesokosmen etabliert werden konnten. Keine der Sohl- und Strömungsbedingungen in den Fließgewässer-Mesokosmen stimmte vollständig mit den Bedingungen im Referenzgewässer überein.

Das annähernd kastenförmige Bachbett des Barolder Fließ war im Frühjahr durch ein geringes Aufkommen submerser und das weitgehende Fehlen emerger Makrophyten (Kapitel 2) gekennzeichnet. Es wurde angenommen, dass die Gegebenheiten im Frühjahr deshalb jenen Rinnenabschnitten am ähnlichsten wären, in denen keine oder nur wenige Makrophytenpolster wach-

sen. Der Vergleich mit diesen Rinnenabschnitten (Abb. 4.14 a-d) bestätigte diese Annahme. Auch in den schmalen Abschnitten mit kleinen Makrophyten-Polstern hatte sich ein Wechsel von flachen und eingetieften Sohlbereichen entwickelt (Abb. 4.14 c). In reinen Sandabschnitten der Mesokosmen prägte sich hingegen keine den Freilandbedingungen ähnliche Sohlmorphologie aus (Abb. 4.14 b).

Die oberflächennahe Strömung schwankte im Referenzgewässer relativ wenig. An den meisten Messpunkten im Gewässerquerschnitt betrug sie $20\text{--}25\text{ cm s}^{-1}$. Sie trat in vergleichbarer Form in den schmalen Rinnensegmenten mit kleinen Makrophytenpolstern (Abb. 4.14 c) sowie in den mit Totholz ausgestatteten Abschnitten (Abb. 4.14 d) auf. Während im Totholzbereich der Mesokosmen auch die absoluten Strömungsgeschwindigkeiten ähnlich hoch waren wie im Referenzgewässer, lag die oberflächennahe Strömung in den Rinnenabschnitten mit kleinen Makrophytenpolstern durchschnittlich um 5 cm s^{-1} niedriger.

Die sohlnahen Strömungsbedingungen im Freiland unterschieden sich im Frühjahr deutlich von allen Messdaten in den Mesokosmen. Im Referenzgewässer herrschten sohlnah relativ niedrige Strömungsgeschwindigkeiten. Höchste Werte lagen bei rd. 15 cm s^{-1} und traten typischerweise im Bereich der Sohlvertiefungen auf. Demgegenüber waren die Mesokosmen entweder durch ein dichtes Nebeneinander von strömungsfreien und schnell strömenden Bereichen gekennzeichnet (Abschnitte mit Totholz und Makrophyten Abb. 4.14 c, d) oder wiesen gleichmäßig hohe Werte im Bereich der Oberflächenströmung auf (reine Sandabschnitte; Abb. 4.14 b).

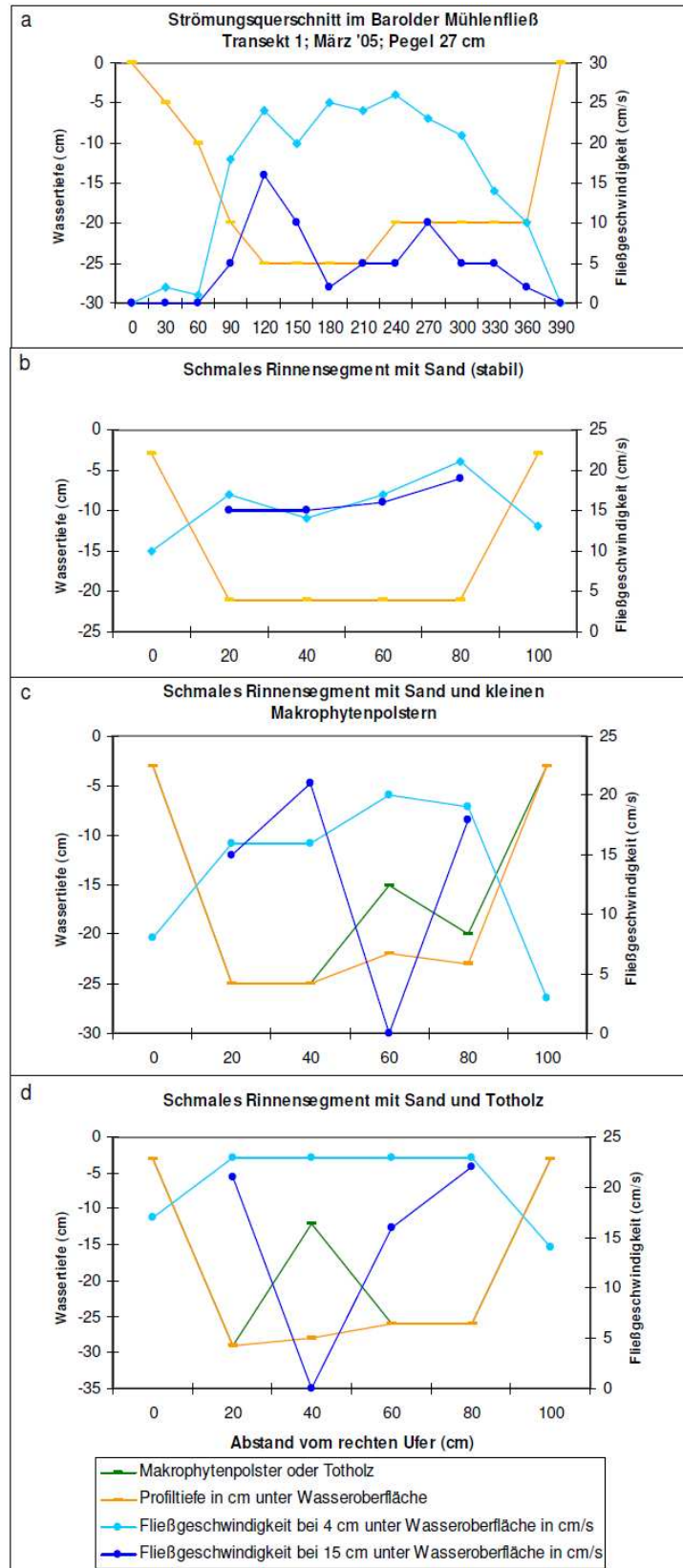


Abb. 4.14: Gegenüberstellung der Strömungsverhältnisse im (a) Barolder Fließ (Frühjahr) und in schmalen Rinnensegmenten mit (b) Sandsohle, (c) Makrophyten und (d) Totholz

Im Sommer entwickelten sich im Barolder Fließ verstärkt submerse und emerse Makrophyten (Abb. 4.15 a). Zum Zeitpunkt der Messungen wichen allerdings weder die Sohlmorphologie noch die sohl- und oberflächennahen Strömungsmuster wesentlich von der Frühjahrssituation ab (Abb. 4.15 a). Ähnlichkeiten zu den schmalen Rinnenabschnitten waren nicht evident. Zu den breiten Rinnenabschnitten mit Makrophytenpolstern bestand insofern eine gewisse Ähnlichkeit, als auch dort die höchsten sohlnahen Strömungsgeschwindigkeiten im Randbereich auftraten (Abb. 4.15 a und b).

Im Herbst traten im Referenzgewässer deutliche Veränderung der Sohlmorphologie und der Strömungsverhältnisse auf (Abb. 4.15 c). Zu diesem Zeitpunkt hatte das Wachstum der submersen Makrophyten und die dadurch induzierte Sohlerhöhung ihr Maximum erreicht. In der Nähe des Böschungsfußes wirkte auf beiden Seiten Sohlerosion, während die Gewässermitte von deutlicher Aufhöhung gekennzeichnet war. Eine gewisse Ähnlichkeit zur Herbstsituation im Freiland hatte in den Fließgewässer-Mesokosmen die Sohlstruktur schmaler Rinneabschnitte mit Totholz (Abb. 4.15 d). Dort traten, ähnlich den Verhältnissen im Barolder Fließ, stärkere Sohlerosionen im Randbereiche auf, während in der Mitte Aufhöhung stattfand und sohlnah ein Strömungsrückgang kennzeichnend war. Ähnliche Sohlstrukturen und grundnahe Strömungsbedingungen, wie sie für die Herbstsituation im Freiland typisch waren, traten auch in den mit Totholz ausgestatteten breiten Rinnenabschnitten auf (Abb. 4.15 d). Wenngleich mit anderen absoluten Werten, wurden auch in diesen Gewässerquerschnitten die relativ höchsten sohlnahen Strömungsgeschwindigkeiten im Randbereich gemessen, während in der Mitte der Mesokosmen verminderte Strömungsgeschwindigkeiten vorlagen.

Die vom Barolder Fließ abweichende Situation, besonders in den totholzfreen Abschnitten, deckt sich mit früheren Untersuchungen in den Mesokosmen. Dabei wurden „eine nicht erklärbare Verteilung der internen Strömungskräfte festgestellt (vermutlich verursacht durch Form des Gerinnes, Wandwiderstand, geringe Rauigkeit oder den Drall der Pumpe)“. Im Vergleich zu natürlichen Sandbächen sind demnach die Turbulenzen zu gering und ähneln eher tiefen, ruhig fließenden Gewässern (mündlich Mutz, Vortrag 2003).

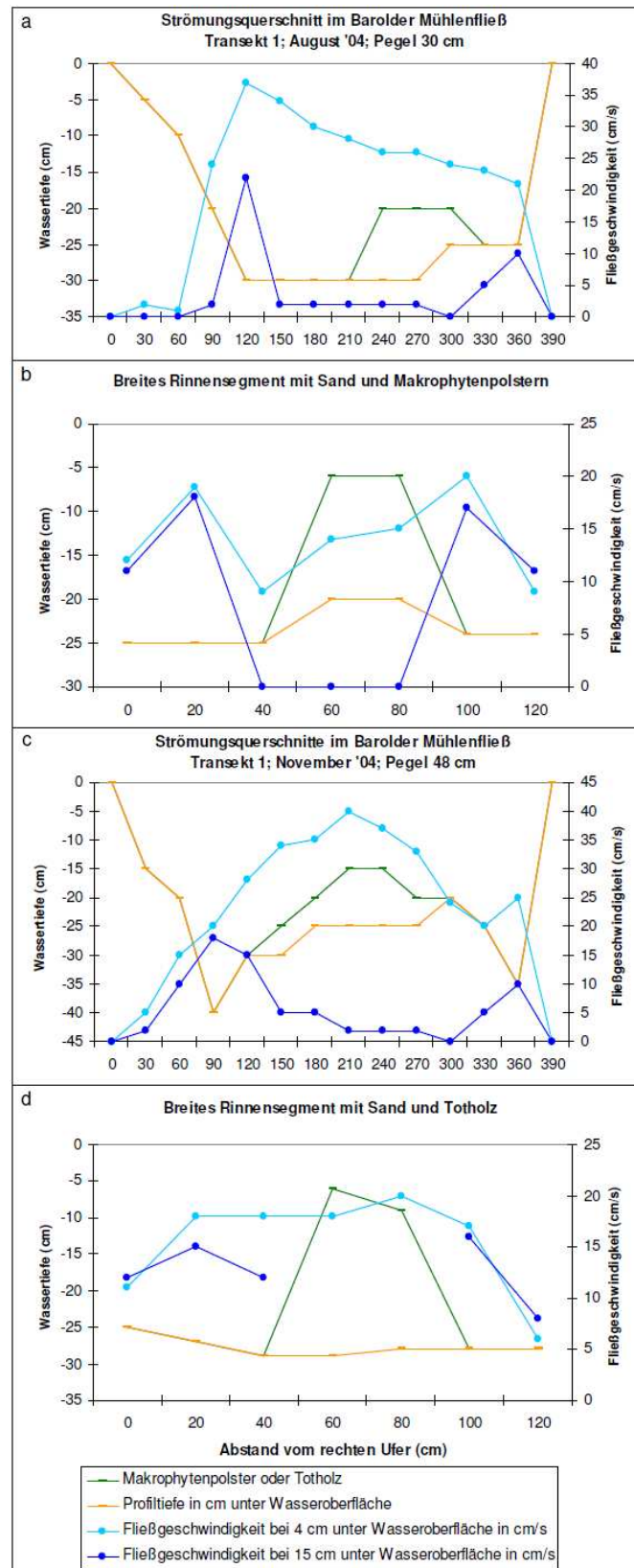


Abb. 4.15: Gegenüberstellung der Strömungsverhältnisse im (a) Barolder Fließ (Sommer), (b) in breiten Rinnensegmenten mit Makrophyten, (c) Barolder Fließ (Herbst) und (d) in breiten Rinnensegmenten mit Totholz

Vergleich weiterer abiotischer Faktoren in den Mesokosmen und in den Referenzgewässern

Im Folgenden werden von den erfassten abiotischen Faktoren diejenigen beschrieben, welche einen relevanten Einfluss auf den Besiedlungserfolg in den Mesokosmen haben könnten.

Faktor Temperatur

Alle Mesokosmen wiesen über den gesamten Beobachtungszeitraum (Oktober 2004 - Dezember 2006) sehr ähnliche Temperaturverläufe auf. Unterschiede zwischen den Mesokosmen sind minimal. Temperaturminima um 4 °C traten im Winter (Januar 2005) auf. Maxima lagen bei 23 °C und wurden jeweils im Juli (2005) oder im Zeitraum Mai - Juli (2006) gemessen (Abb. 4.16). Es wurde die Erwartung bestätigt, dass die Mesokosmen deutlich höhere Sommertemperaturmaxima erreichen als im Bardenitzer Fließ. Dort betrugen die Sommermaxima höchstens 15–16 °C (Mai - Juli). Unterschiede zeigten sich auch in Bezug auf die Wintertemperaturen. Mit minimal 1 °C (Januar) lagen die Werte im Bardenitzer Fließ deutlich niedriger als in den Mesokosmen.

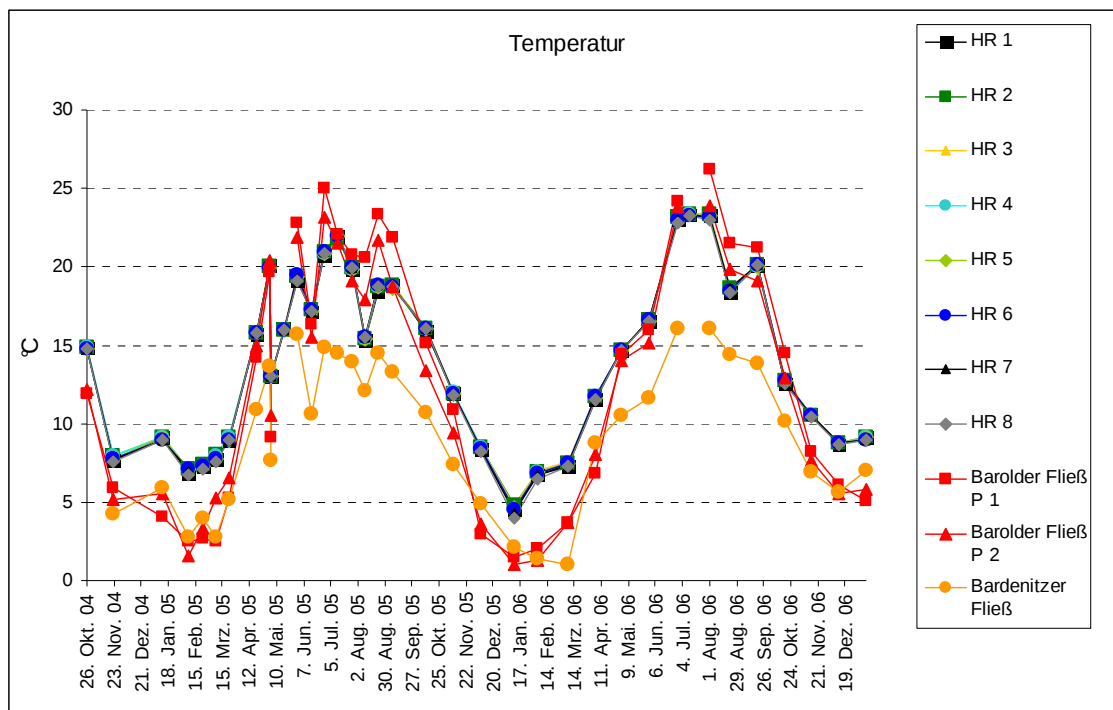


Abb. 4.16: Temperatur im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

Demgegenüber ähnelten die Temperaturverläufe im Barolder Fließ erwartungsgemäß eher den Verläufen in der Mesokosmenanlage (Abb. 4.17). Im Barolder Fließ wurden um 3–4 °C höhere Sommer-, allerdings auch 3–5 °C niedrigere Wintertemperaturen, festgestellt als in den Mesokosmen. Zwischen den Mesokosmen zeigten sich keine Unterschiede.

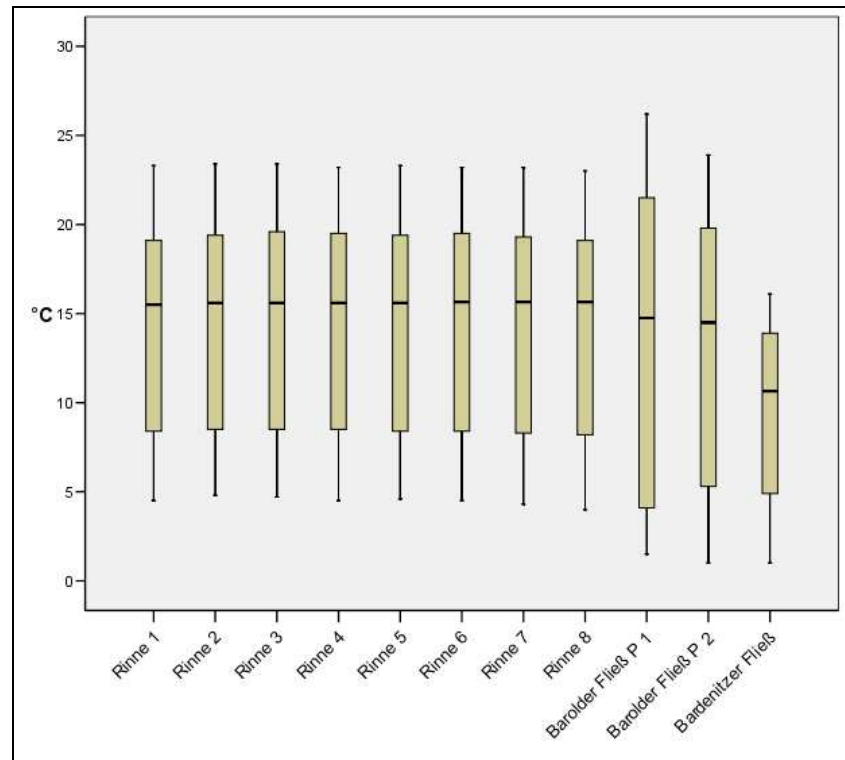


Abb. 4.17: Streuung der Temperaturdaten in den Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis Sep-tember 2006
(Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)

Faktor Sauerstoffsättigung

Mit Werten um 90% der Sättigung im Winter und bis 125% der Sättigung im Sommer (Abb. 4.18) wiesen alle Mesokosmen nahezu identische Sauerstoffverhältnisse auf. Beide Referenzgewässer ergaben demgegenüber durchschnittlich niedrigere Sauerstoffsättigungswerte (Abb. 4.19). Die Verläufe in den Mesokosmen ähnelten weitgehend den Verhältnissen im Bardenitzer, nicht aber denen des Barolder Fließ. Während im Bardenitzer Fließ höchstens temporäre Unterschiede von etwa 20% Sättigung auftraten, waren die Verhältnisse am Barolder Fließ durch starke Schwankungen gekennzeichnet. Die diese Saisonalität war direkt unterhalb des Sees (P 1) stärker ausgeprägt als im weiteren Verlauf an P 2. Im Beobachtungszeitraum traten Sauerstoffminima von z. T. unter 50% der Sättigung auf (November 2005) und Maxima von z. T. >170% auf. Dieses durch den Stillwassereinfluss geprägte Bild der abiotischen Bedingungen weicht von den Bedingungen in den Fließgewässer-Mesokosmen der Halle deutlich ab. Wie bei der Temperatur zeigten sich auch bei der Sauerstoffsättigung keine Unterschiede zwischen den Mesokosmen.

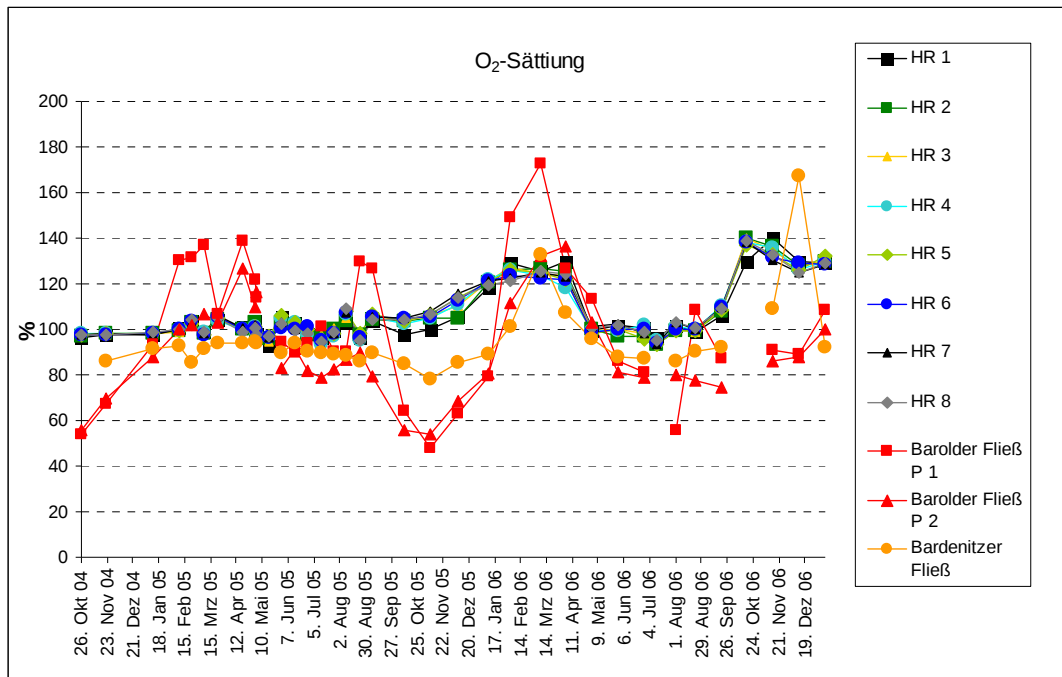


Abb. 4.18: Sauerstoffsättigung im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

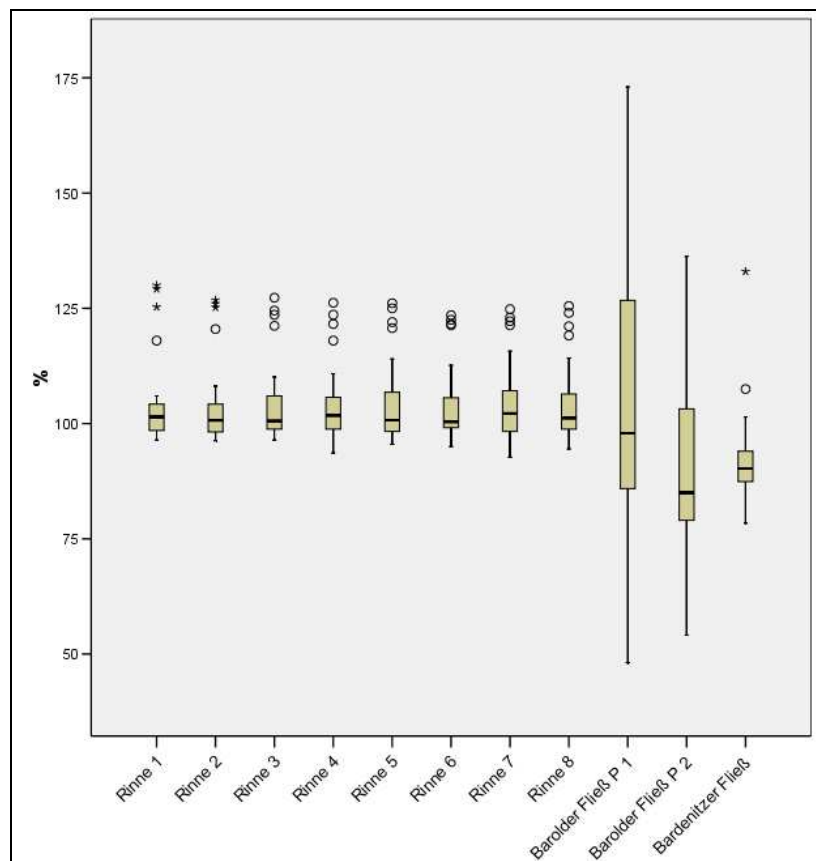


Abb. 4.19: Streuung der Sauerstoffwerte (% Sättigung) in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)

Faktor pH-Wert

Die pH-Werte schwankten in den Hallenrinnen im Messzeitraum zwischen pH 7,9 und pH 8,9 (Abb. 4.20). Geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Mesokosmen traten immer wieder auf, betrugen aber nur im Einzelfall (Januar 2005) mehr als pH 0,4 (Abb. 4.20). Der durchschnittliche pH-Wert von 8,5 in den Mesokosmen liegt damit um 0,7 höher als im Bardenitzer Fließ, dass nur geringfügige Schwankungen zwischen pH 7,6 und 7,9 aufwies (Abb. 4.21).

Das Barolder Fließ hingegen war insbesondere im oberen (seenahen) Untersuchungsabschnitt (P 1) durch starke Schwankungen des pH-Wertes gekennzeichnet. Zwar sind die durchschnittlichen Werte hier denen in den Mesokosmen am ähnlichsten, jedoch weichen die Freilandbedingungen mit Maxima bis pH 9,2 und Minima bei pH 7,4 in den absoluten Werte als auch hinsichtlich der saisonalen Veränderungen stark von den Bedingungen in den Mesokosmen ab. Diese saisonalen Schwankungen im Frühjahr und Spätsommer sind möglicherweise auf die erhöhte Algenproduktion im See zurück zu führen. Zwischen den Mesokosmen bestanden keine Unterschiede.

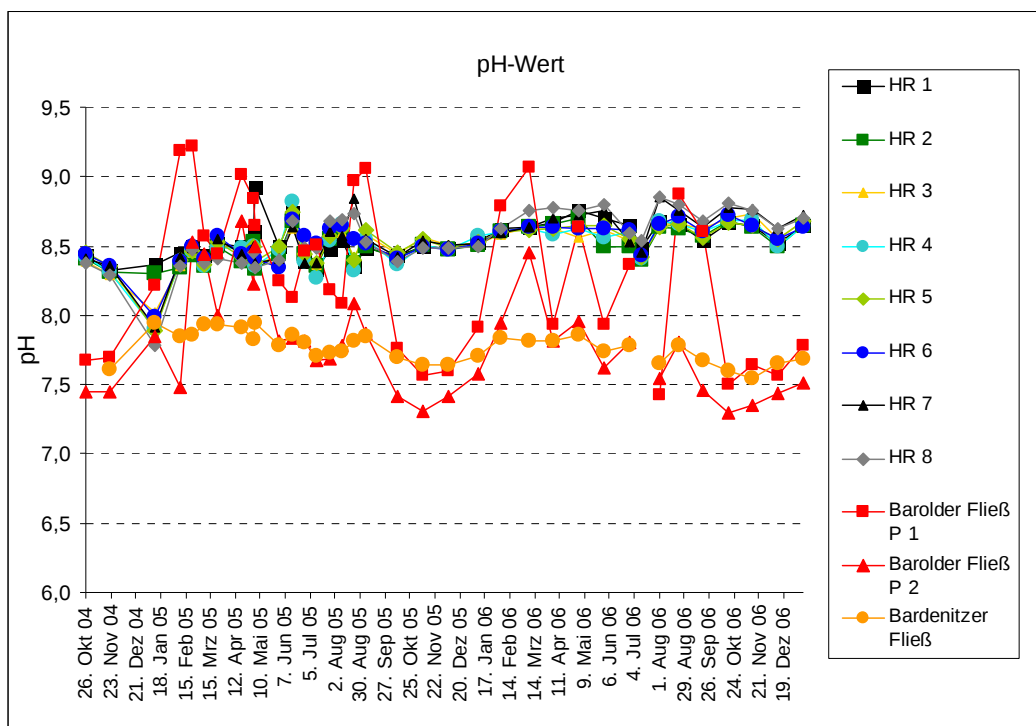


Abb. 4.20: pH-Werte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

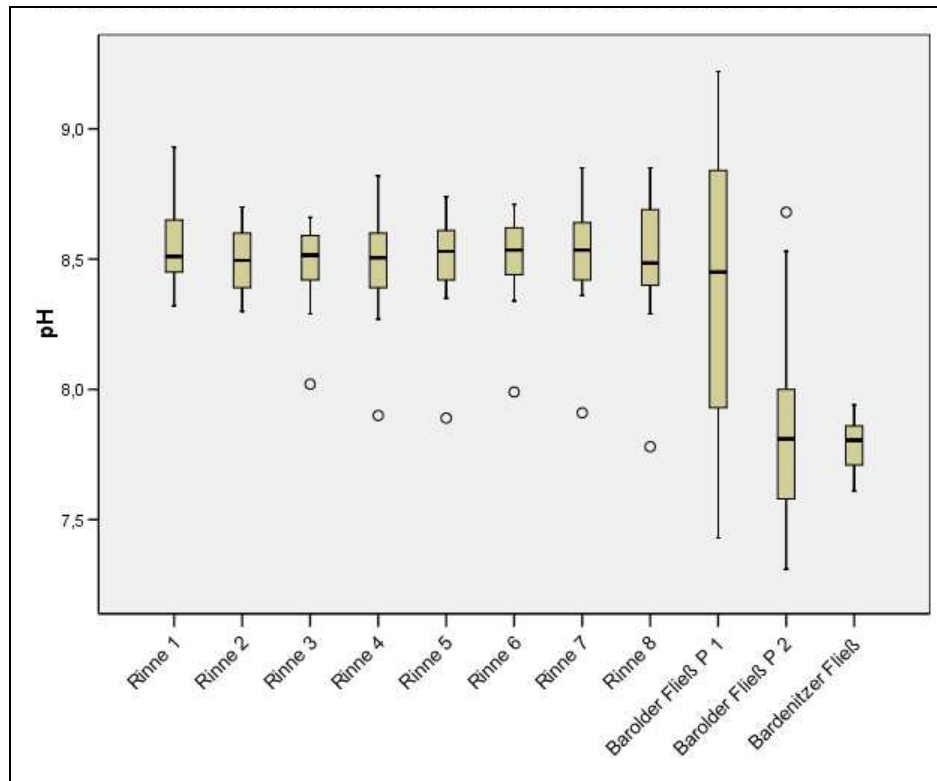


Abb. 4.21: Streuung der pH-Werte in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)

Faktor Leitfähigkeit

Auch hinsichtlich der Leitfähigkeit wiesen die Mesokosmen weitgehend ähnliche Verläufe auf. Im Verlauf der einjährigen Messdauer war allerdings in allen Mesokosmen ein signifikanter Anstieg der Leitfähigkeit von etwa 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf $>950 \mu\text{S}/\text{cm}$ festzustellen (Abb. 4.22). Leitfähigkeitswerte in dieser Größenordnung treten in basenreichen Gewässern der Sander und sandigen Aufschüttungen durchaus auf, insbesondere in landwirtschaftlich genutztem Umfeld. Allerdings lagen die LF-Werte in den Mesokosmen zum Ende des Beobachtungszeitraumes mehr als 3 x so hoch wie in den Referenzgewässern. Beide wiesen relativ ähnliche Schwankungen im Bereich um 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Barolder Fließ) bis 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Bardenitzer Fließ) auf (Abb. 4.23). Es wird angenommen, dass dieser Anstieg im Wesentlichen durch die Düngung mit NaNO_3 (Natriumnitrat), K_2HPO_4 (Dikaliumhydrogenphosphat) und Na_2SiO_3 (Natronwasserglas) verursacht wurde. Die Leitfähigkeitswerte der Mesokosmen unterschieden sich kaum voneinander.

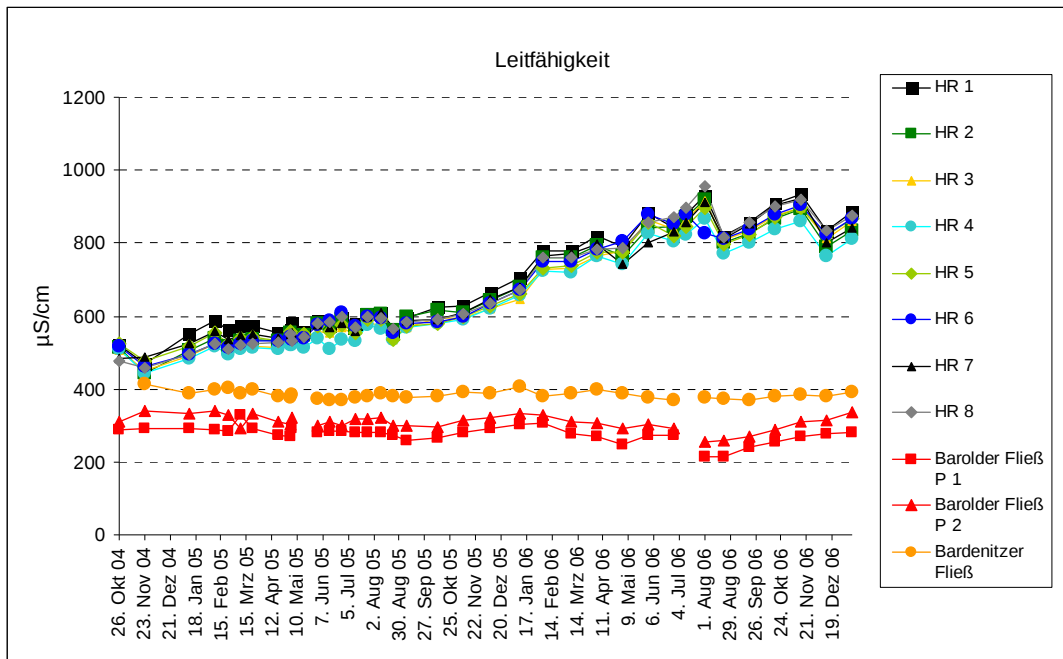


Abb. 4.22: Leitfähigkeit im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

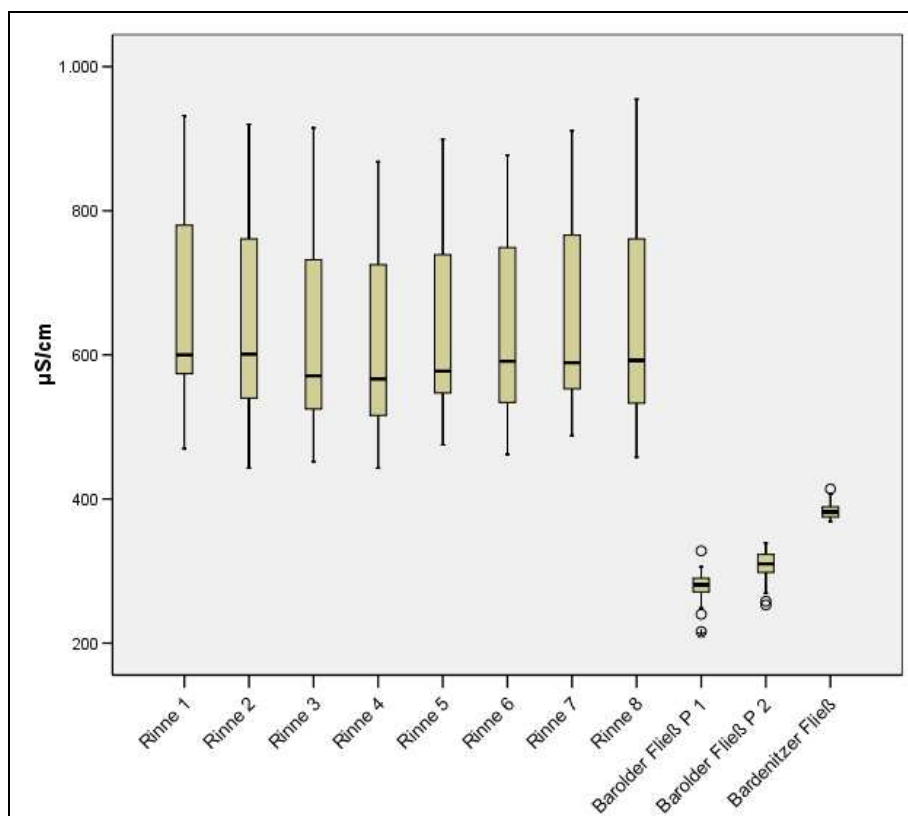


Abb. 4.23: Streuung der Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen: Oktober 2004 bis September 2006
(Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)

Faktoren Nitrat, Phosphat, Silikat, Kalium und Natrium

Die Werte für Nitrat, Phosphat und Silikat stiegen in der zweiten Jahreshälfte 2006 plötzlich signifikant an. Die Gehalte an Kalium und Natrium stiegen sogar schon im Jahr 2005 kontinuierlich bis auf das Doppelte an (Abb. 4.24, 4.25). Im Zeitraum Mai bis September 2006 lagen die Werte dann bei mehr als dem Doppelten der Gehalte im August 2005. Die Leitfähigkeits- und die Nitratgehalte wiesen eine signifikante Korrelation auf (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizienten von 0,747). Dieser Zusammenhang lässt sich im Streudiagramm nachvollziehen (Abb. 4.29). Diese Werte überschritten dabei die im Barolder Fließ auftretenden Maxima erheblich (Abb. 4.24, 4.25, 4.26).

Die Nitratgehalte unterschieden sich zwischen den Mesokosmen (Abb. 4.24), sie waren in 2005 in HR 2, 7, 1 und 4 mit 0,70 bis 0,83 mg/l am höchsten. Im Juli 2006 hingegen wiesen die HR 4, 6, 2 und 3 (2,46 bis 4,874 mg/l) die höchsten Gehalte auf, HR 1 und 7 wiesen hingegen relativ niedrige Werte auf (1,62 und 1,68 mg/l). Für den Phosphatgehalt (Abb. 4.25) zeigte sich ein ähnliches Bild. Auch hier lagen die HR 7 und 1 im Jahr 2005 mit 0,09 und 0,07 mg/l in der oberen Hälfte des Wertebereichs. HR 6, 3 und 5 wiesen mit 0,02, 0,02 und 0,03 geringste Gehalte auf. Im Juli 2006 war die Situation in Bezug auf die Phosphatgehalte ähnlich wie bei den Nitratgehalten. HR 2 und 3 lagen mit 0,66 und 0,56 mg/l am höchsten während HR 1 und 7 (0,36 und 0,40 mg/l) die geringsten Werte aufwiesen. Der Silicatgehalt war im Juli 2005 (Abb. 4.26) in HR 6, 1 und 8 mit 8,29, 7,89 und 7,17 mg/l am höchsten wobei HR 3 und 2 niedrigere Werte aufwiesen (4,34 und 4,41 mg/l). Im Juli 2006 hingegen zeigte sich ein völlig anderes Bild. Die Wertespanne war hier deutlich größer. HR 4 lag mit 21,33 mg/l klar an der Spitze wohingegen HR 7 mit 3,29 mg/l einen wesentlich niedrigeren Gehalt aufwies.

Allerdings wird auch der Verbrauch des Nährstoffs in den Mesokosmen erkennbar. Die Silikat- und Phosphat-Kurven sind durch ein Absinken (Verbrauch/Turnover durch Makrophyten und Algen) nach den Applikationen gekennzeichnet. Die Kalium- und Natrium-Werte stiegen hingegen kontinuierlichen an (Abb. 4.27 und Abb. 4.28).

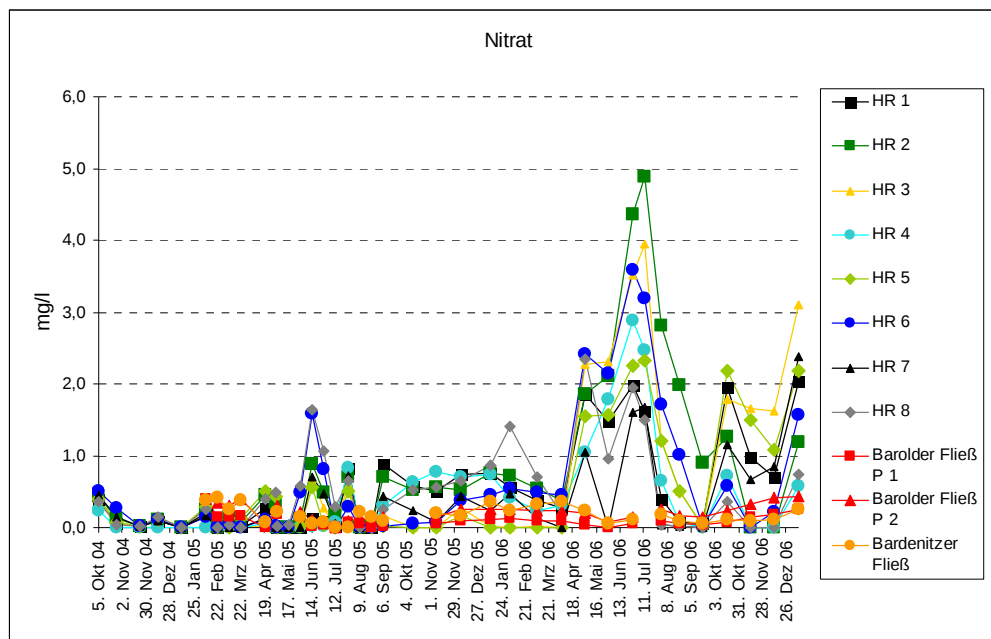


Abb. 4.24: Nitratgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

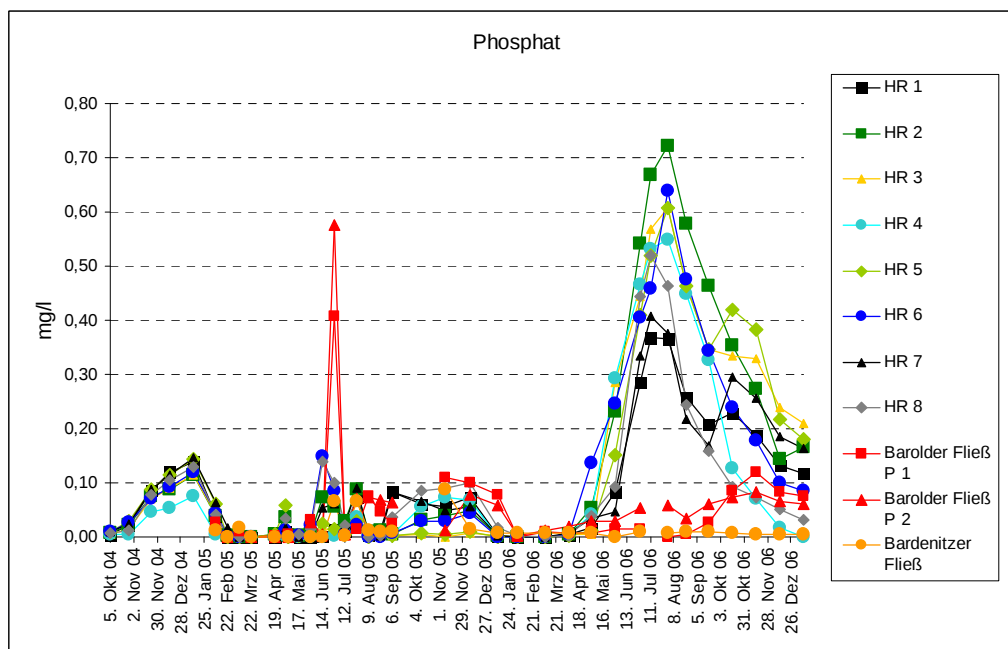


Abb. 4.25: Phosphatgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

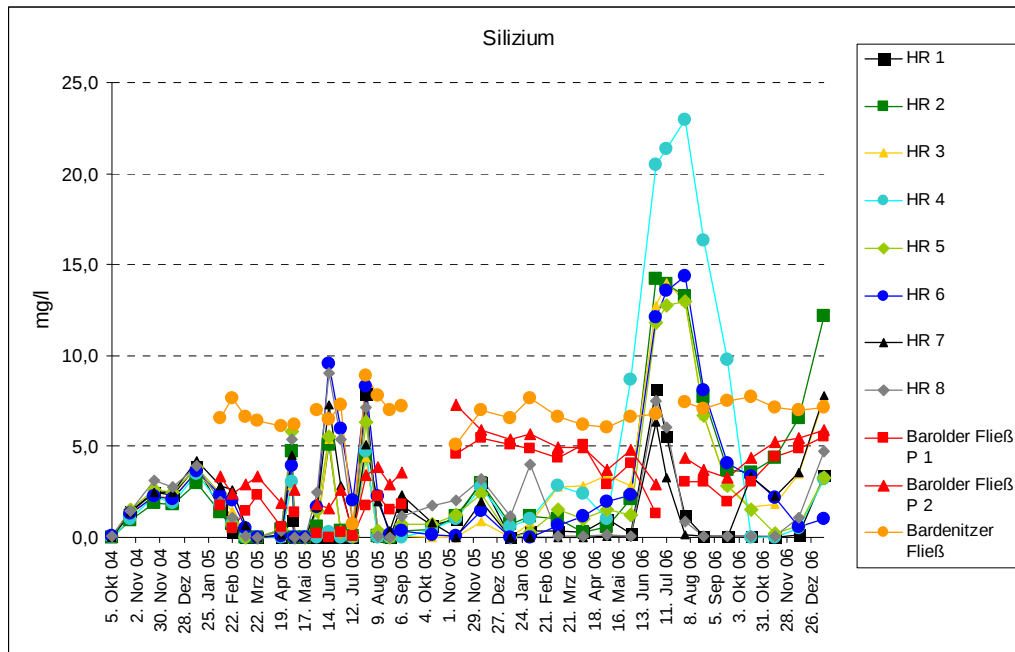


Abb. 4.26: Siliziumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

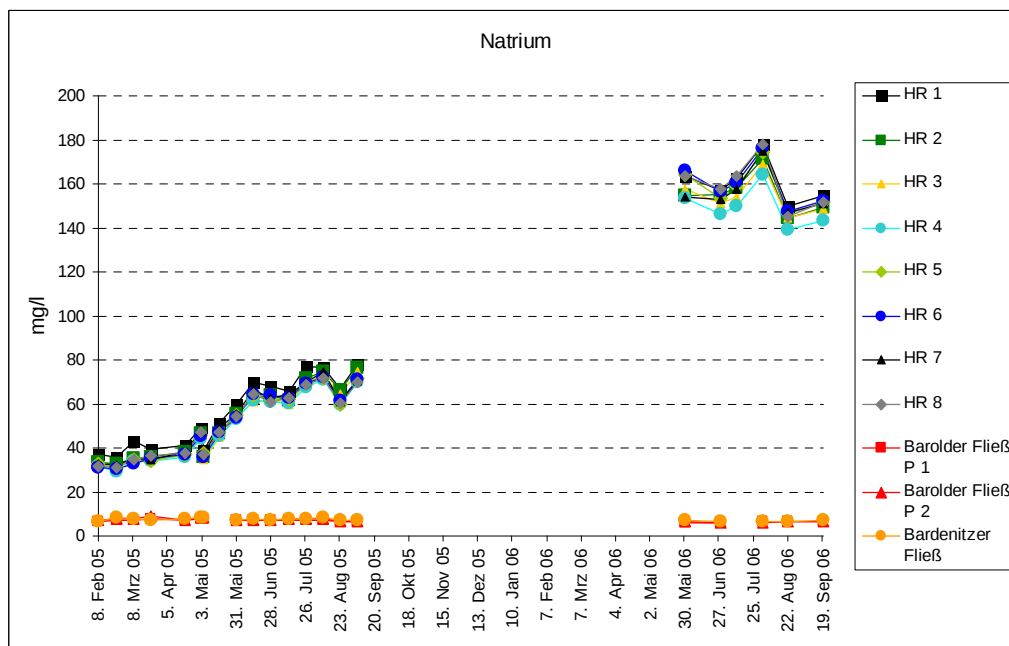


Abb. 4.27: Natriumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

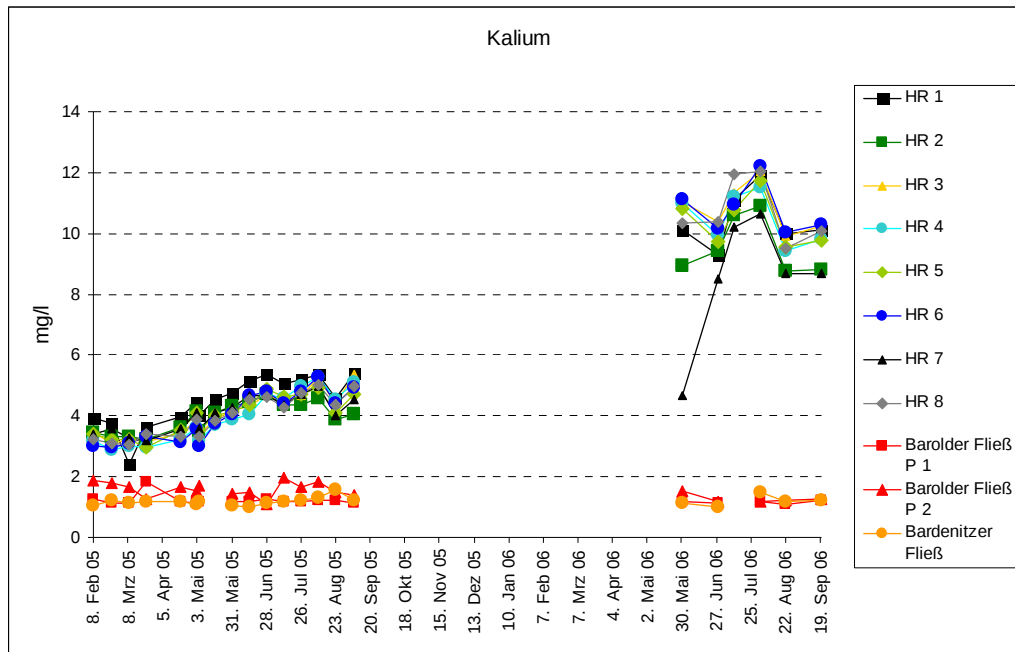


Abb. 4.28: Kaliumgehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

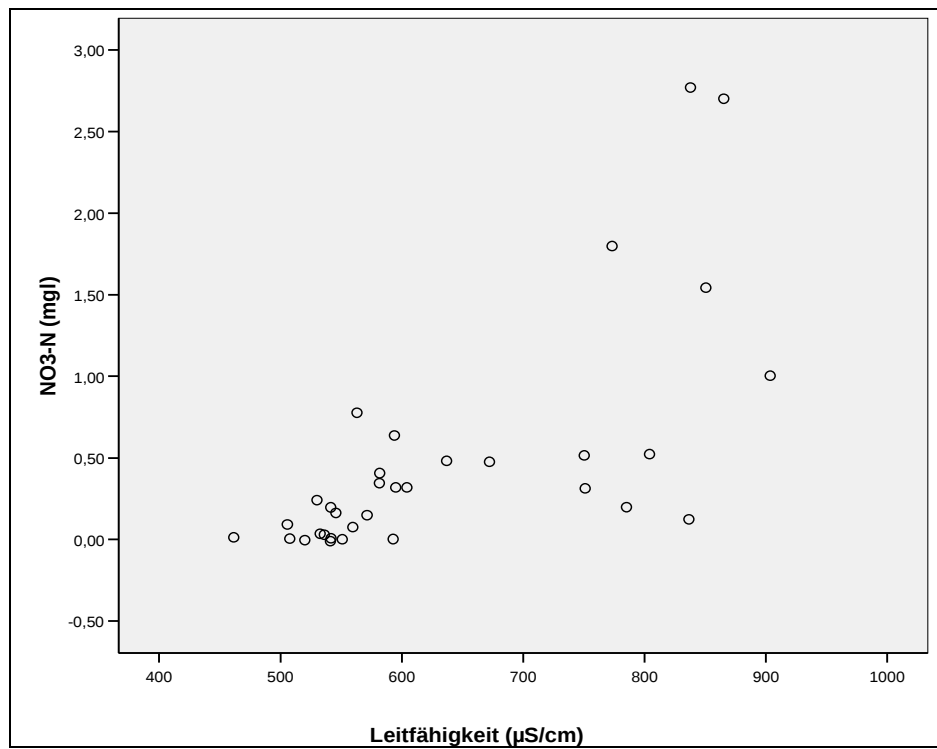


Abb. 4.29: Nitrat- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer- Mesokosmen. (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,747)

In den Referenzgewässern werden diese Salze alsbald ausgewaschen, abgeschwemmt und sammeln sich nicht an. Anstiege können hier nur durch anthropogene Verunreinigungen entstehen. In den Mesokosmen scheinen sich Kalium und Natrium durch das Kreislaufsystem jedoch stark anzureichern. Die Spearman-Rank-Korrelationen der Leitfähigkeitsdaten mit Natrium und Kalium wiesen höhere Koeffizienten von 0,885 (Natrium) und 0,891 (Kalium) auf als mit Nitrat (0,747). Auch die Streudiagramme (Abb. 4.30 und 4.31) geben Hinweise auf diesen Zusammenhang.

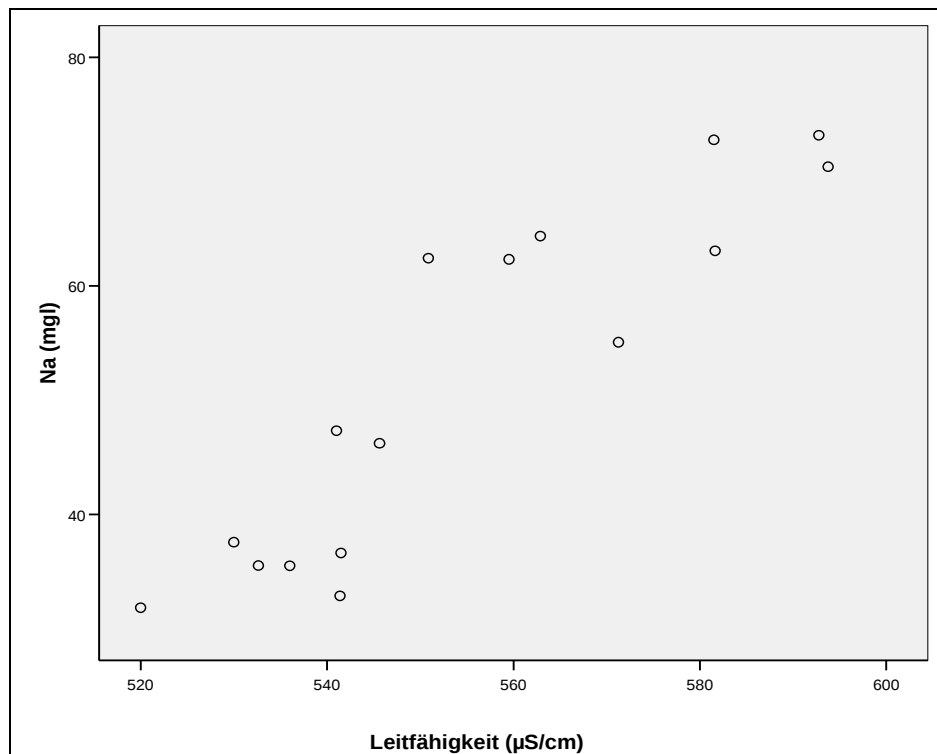


Abb. 4.30: Natrium- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,885).

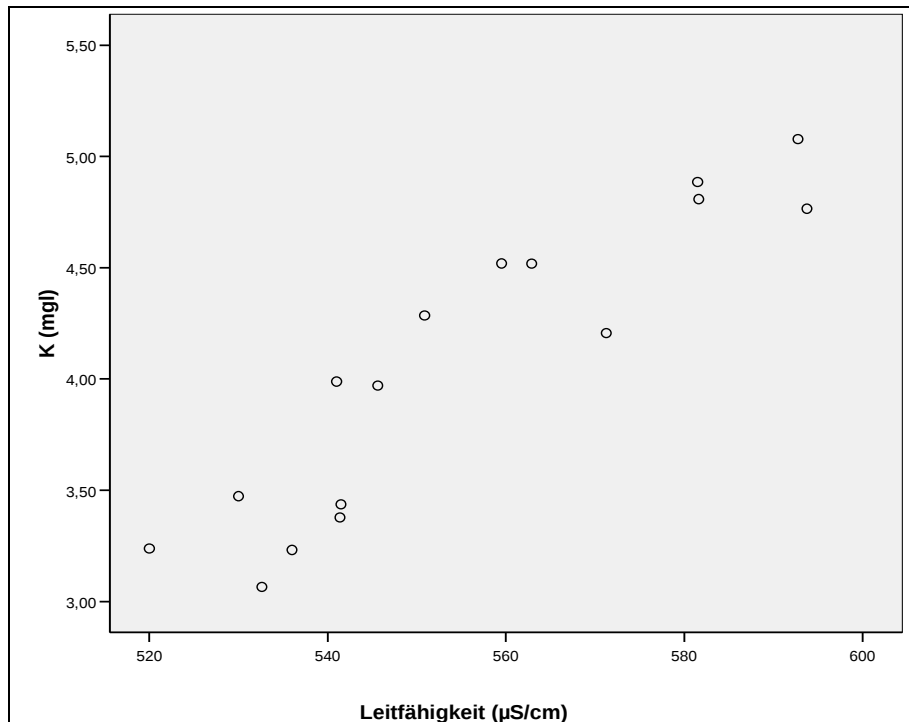


Abb. 4.31: Kalium- und Leitfähigkeitswerte in Fließgewässer-Mesokosmen (Spearman-Rank-Correlation: Koeffizient von 0,891)

Faktor TOC

Der Vergleich der in allen Mesokosmen nahezu identischen TOC-Gehalte mit denen der Referenzgewässer zeigt, dass die im Jahr 2005 ermittelten Werte (rd. 3-5 mg/l) etwa denen des Bardenitzer Fließ entsprachen (Abb. 4.32). In 2006 hingegen näherten sie sich mit rd. 5-9 mg/l den Werten im Barolder Fließ an.

Faktor Seston

Der Sestongehalt war im gesamten Jahresverlauf im Barolder Fließ am höchsten und zeigte unterhalb des Seeabflusses die größten Schwankungen (3,5 bis 10 mg/l). Im Bardenitzer Fließ betrug der Sestongehalt durchschnittlich 2,5 mg/l (Abb. 4.33). Die Mesokosmen lagen mit durchschnittlich 1 mg/l deutlich unter den Werten im Barolder Fließ. Lediglich im Mai/Juni 2005 war der Gehalt mit bis zu 13,5 mg/l in HR 4, 6 und 8 stark erhöht. Der Gehalt an Seston (Abb. 4.33) lag in allen Mesokosmen in der Mehrzahl der Monate zwischen 0,5 und 1 mg/l. Im Sommer 2005 zeigten sich jedoch deutliche Differenzen zwischen den Systemen. Dabei wurden Wertespannen von 8,9 mg/l (HR 8) bis zu 13,4 mg/l (HR 4) ermittelt. Im Juli 2006 waren die Spannweiten der Werte geringer. HR 7 und HR 2 wiesen in dieser Zeit mit 6,1 und 3,7 mg/l die höchsten Werte auf, HR 8 lag lediglich bei 1 mg/l.

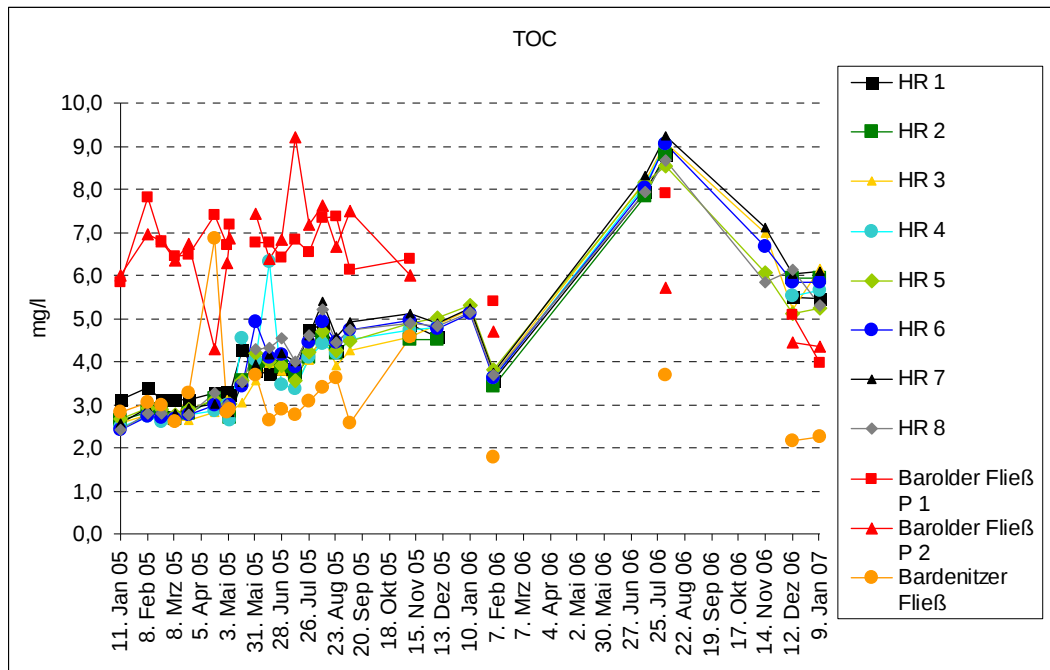


Abb. 4.32: TOC-Werte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

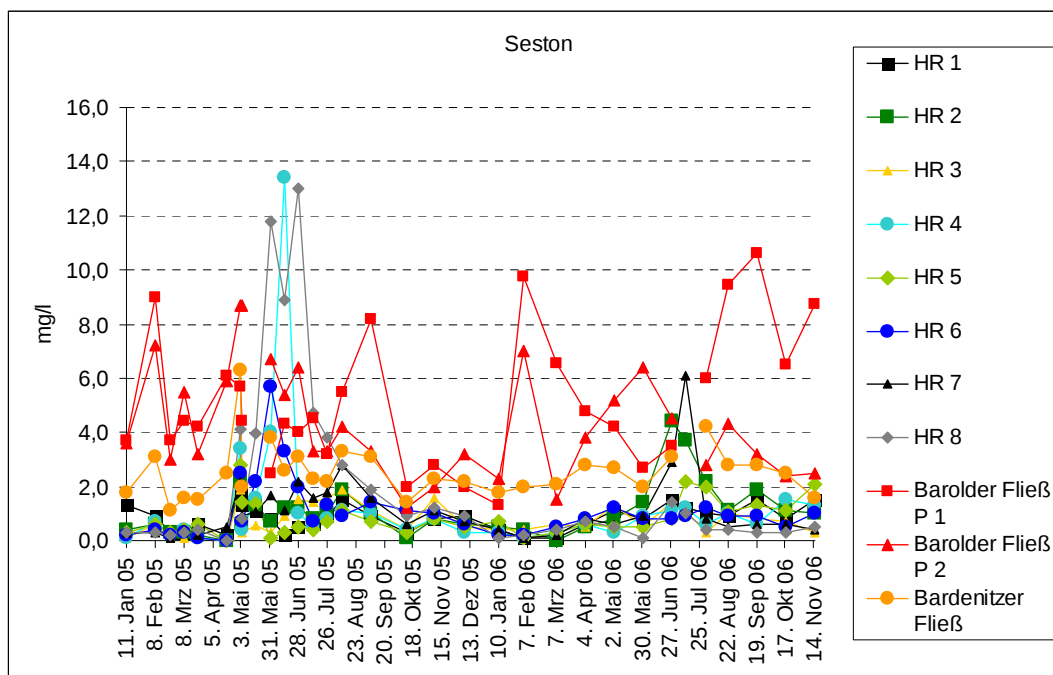


Abb. 4.33: Sestongehalte im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

Faktor Alkalinität

Zu Beginn des Erfassungszeitraums lagen die Alkalinitätswerte der Mesokosmen mit 1,8 bis 2,9 mol/l noch im Wertebereich der Referenzgewässer (Abb. 4.34). Im Jahresverlauf stiegen die Werte in den Mesokosmen jedoch kontinuierlich an und erreichten im Juli 2006 mit durchschnittlich 5 mol/l Werte, die mehr als das Doppelte der Werte im Referenzgewässer (2 mol/l) betrugen. Die Alkalinität unterschieden sich kaum zwischen den Mesokosmen.

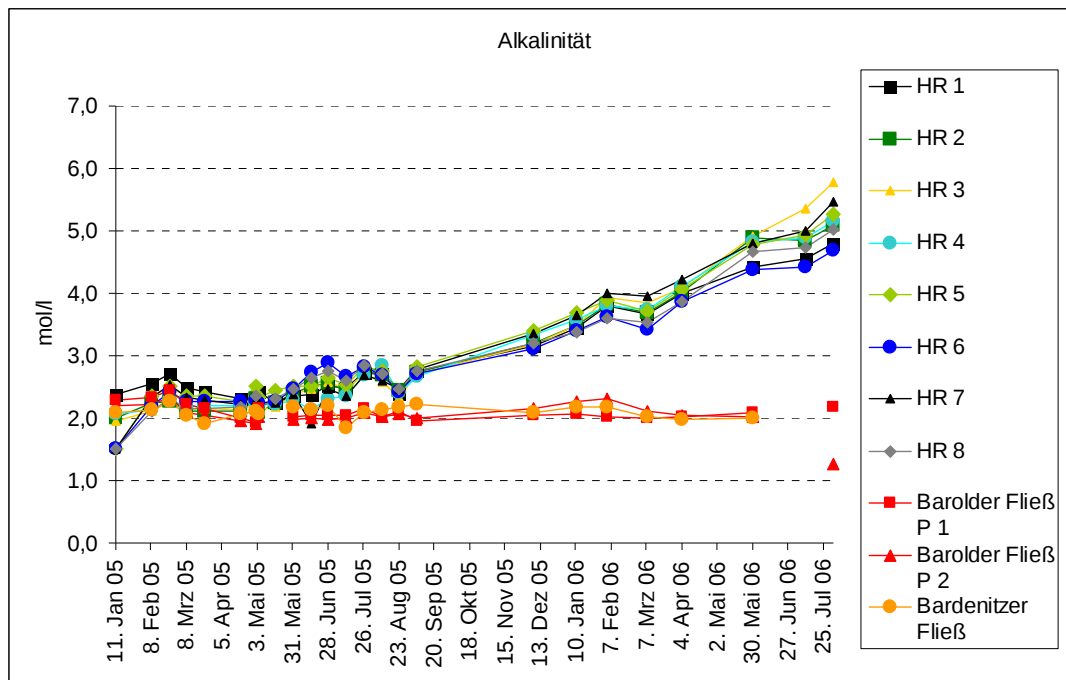


Abb. 4.34: Alkalinität im Jahresverlauf in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen

Vergleich der Tagesgänge

Temperatur

Die Tagesgänge der Temperaturwerte zeigten in allen Systemen im Mai 2006 die größten Amplituden (Abb. 4.35). Im Barolder Fließ wurden deutlich höhere Temperaturmaxima erreicht als im Bardenitzer und in den Mesokosmen. Gegenüber den Freilandwerten im Barolder Fließ waren die Temperaturkurven der Mesokosmen deutlich phasenverschoben. Tagesmaxima wurden im Barolder Fließ früher, d.h. im Allgemeinen am frühen Nachmittag erreicht. In der Halle hingegen traten die Maxima in den frühen Abendstunden bzw. nachts auf.

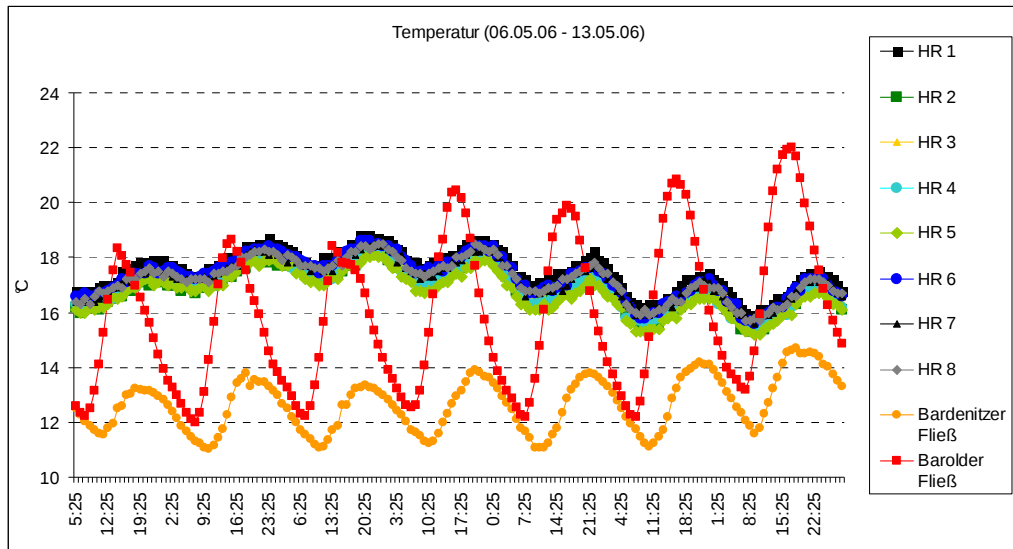


Abb. 4.35: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen vom 06.05.06 bis 13.05.06 (Messrhythmus 60 Minuten)

Im August 2006 waren die Schwankungen im Freiland und in den Mesokosmen insgesamt geringer (Abb. 4.36). Die Unterschiede zwischen den Freilandgewässern, aber auch zwischen Freiland und Mesokosmen blieben deutlich. Während im Bardenitzer Fließ die täglichen Amplituden etwa 1 °C betrugen, traten im Barolder Fließ Wertespanssen von 2-4 °C auf. Zwischen Barolder Fließ und Mesokosmen fand eine gewisse Annäherung statt. Die Temperaturmaxima wiesen in dieser Zeit nur noch geringfügige Unterschiede auf. Allerdings blieben die Temperaturkurven der Mesokosmen gegenüber denen im Freiland nach wie vor phasenverschoben und aufgrund geringerer Temperaturminima deutlich gedämpfter als im Barolder Fließ.

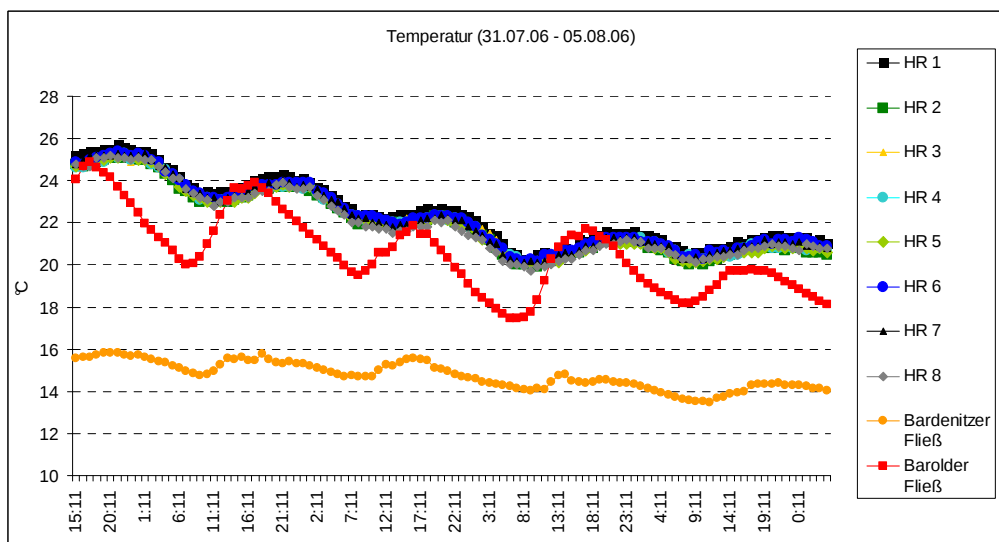


Abb. 4.36: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und Bächen vom 31.07.06 bis 05.08.06 (Messrhythmus 60 Minuten)

Im Februar 2007 wichen die Verläufe im Barolder Fließ und in den Mesokosmen erneut deutlich voneinander ab (Abb. 4.37). Während in den Mesokosmen im Tagesverlauf minimale Schwankungen auftraten, prägte sich im Freiland deutliche Tagesgänge mit Minima bei 2° C und Maxima bei 6,5° C aus.

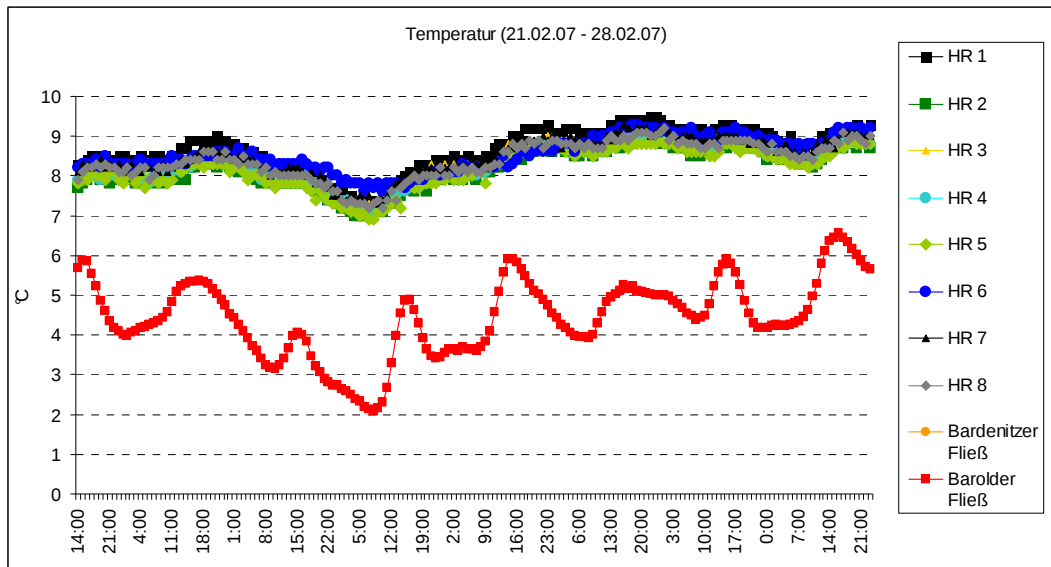


Abb. 4.37: Tagesgänge der Wassertemperatur in Fließgewässer-Mesokosmen und im Barolder Fließ vom 21.02.07 bis 28.02.07 (Messrhythmus 60 Minuten)

Sauerstoff

Bei Auswertung der nachfolgend dargestellten Sauerstoffwerte (Abb. 4.38) ist zu berücksichtigen, dass im Barolder Fließ im August keine Werte oberhalb 102% Sauerstoffsättigung (Grenze des Kalibrationsbereichs) aufgezeichnet werden konnten (vgl. Kapitel 2). Dies war offenbar entweder Folge eines Gerätedefektes oder einer fehlerhaften Werkseinstellung, denn Werte außerhalb des Kalibrationsbereichs werden üblicherweise extrapoliert.

Die Tagesgänge der Sauerstoffsättigung wurden für die Mesokosmen exemplarisch in HR 1 erfasst. Zwischen Mai und August 2006 traten hier im Tagesverlauf Unterschiede von maximal 15 bis 20% auf (Abb. 4.38 und 4.39). Die Minima lagen bei 70% Sättigung, Maxima bei 100%. Die Sauerstoffverhältnisse im Bardenitzer Fließ waren demgegenüber im gesamten Untersuchungszeitraum deutlich ausgeglichener. Die maximalen Schwankungen betrugen dort im Tagesverlauf etwa 5%. Das Barolder Fließ wies hingegen deutlich stärkere Schwankungen auf. Die Minima betrugen dort in den späten Nachtstunden z. T. weniger als 50 % Sättigung, die Sauerstoffmaxima etwa 100%.

Ähnlich den Temperaturkurven, waren auch die Sauerstoffkurven in den Mesokosmen gegenüber denen der Freilandgewässer deutlich phasenverschoben. Die Amplituden blieben in den Mesokosmen gegenüber dem Barolder Fließ insofern deutlich gedämpft, als durch nächtliche Sauerstoffzehrunen im Barolder Fließ Minima bis < 50% Sättigung erreicht wurden, während in den Mesokosmen stets Sauerstoffsättigungen > 70% vorlagen.

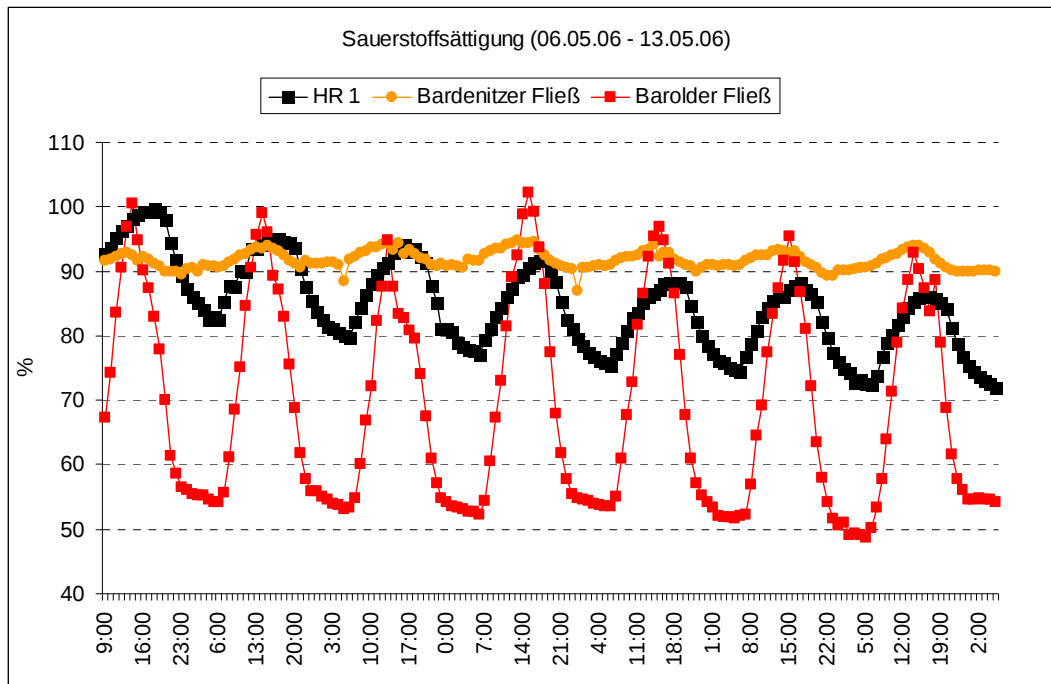


Abb. 4.38: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in Fließgewässer-Mesokosmen (HR 1) und Bächen vom 06.05.06 bis 13.05.06 (Messrhythmus 60 Minuten).

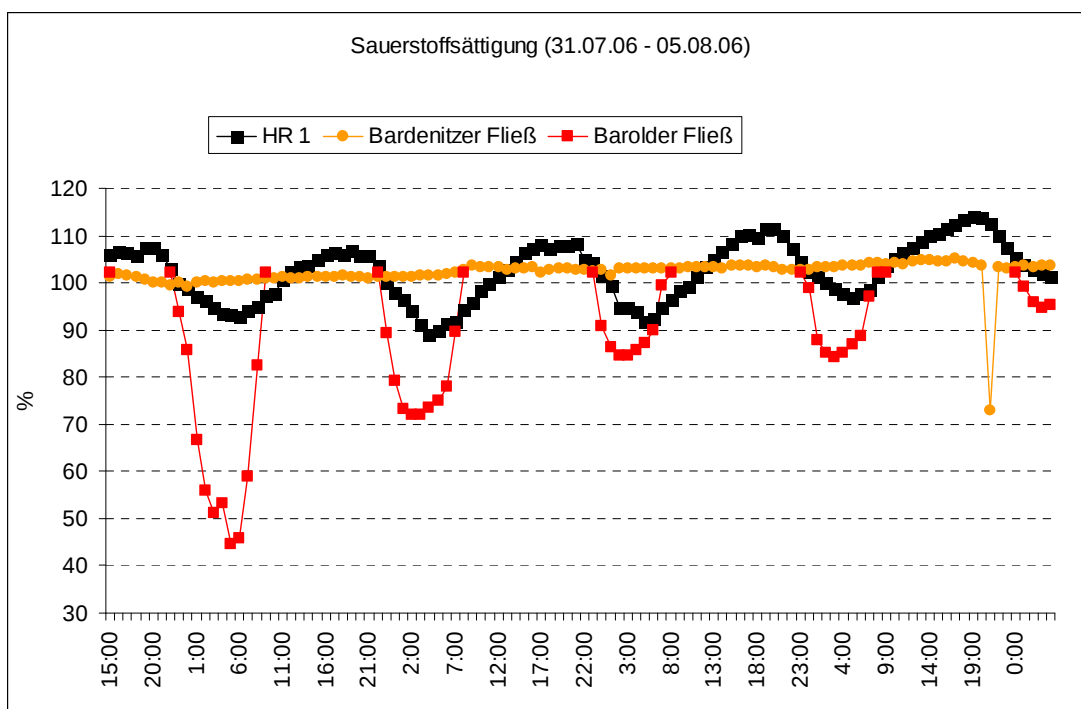


Abb. 4.39: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in Fließgewässer- Mesokosmen (HR 1) und Bächen vom 31.07.06 bis 05.08.06 (Messrhythmus 60 Minuten). Fehlende Daten im Barolder Fließ sind darauf zurückzuführen, dass keine Werte über dem Kalibrationsbereich erfasst/extrapoliert wurden.

Die im Februar 2007 erfassten Werte der Sauerstoffsättigung werden hier nicht dargestellt und besprochen, da ein Gerätefehler angenommen werden muss. Sowohl tagsüber, als auch nachts zeichnete der Datalogger Werte über 150% auf. Diese Werte waren unplausibel und wurden deshalb nicht einbezogen.

Einfluss der Mesokosmenausstattung auf die Substratstruktur

Veränderung der Sedimentstruktur in den beschatteten/nicht beleuchteten Abschnitten (T) nach Beginn der Ausstattung

Die GIS-basierte Auswertung der Substratkartierung und der Fotodokumentation (Abb. 4.40) zeigte, dass kurz nach Exposition der Totholzelemente (Juli 2004) bis zum Frühjahr 2005 im beschatteten Abschnitt T (Abb. 4.40 a-d) der Mesokosmen kaum strukturelle Veränderungen festzustellen waren. Das Sohlsubstrat bestand – vom Totholz abgesehen – zu rd. 44% aus mobilem Sand, der durch Rippel gekennzeichnet war. Weitere rd. 53% der Sandsohle schienen relativ stabil. Bereits im Sommer 2005, also etwa ein Jahr nach Exposition der Totholzelemente, fand eine erkennbare Substratveränderung statt (Abb. 4.40 e).

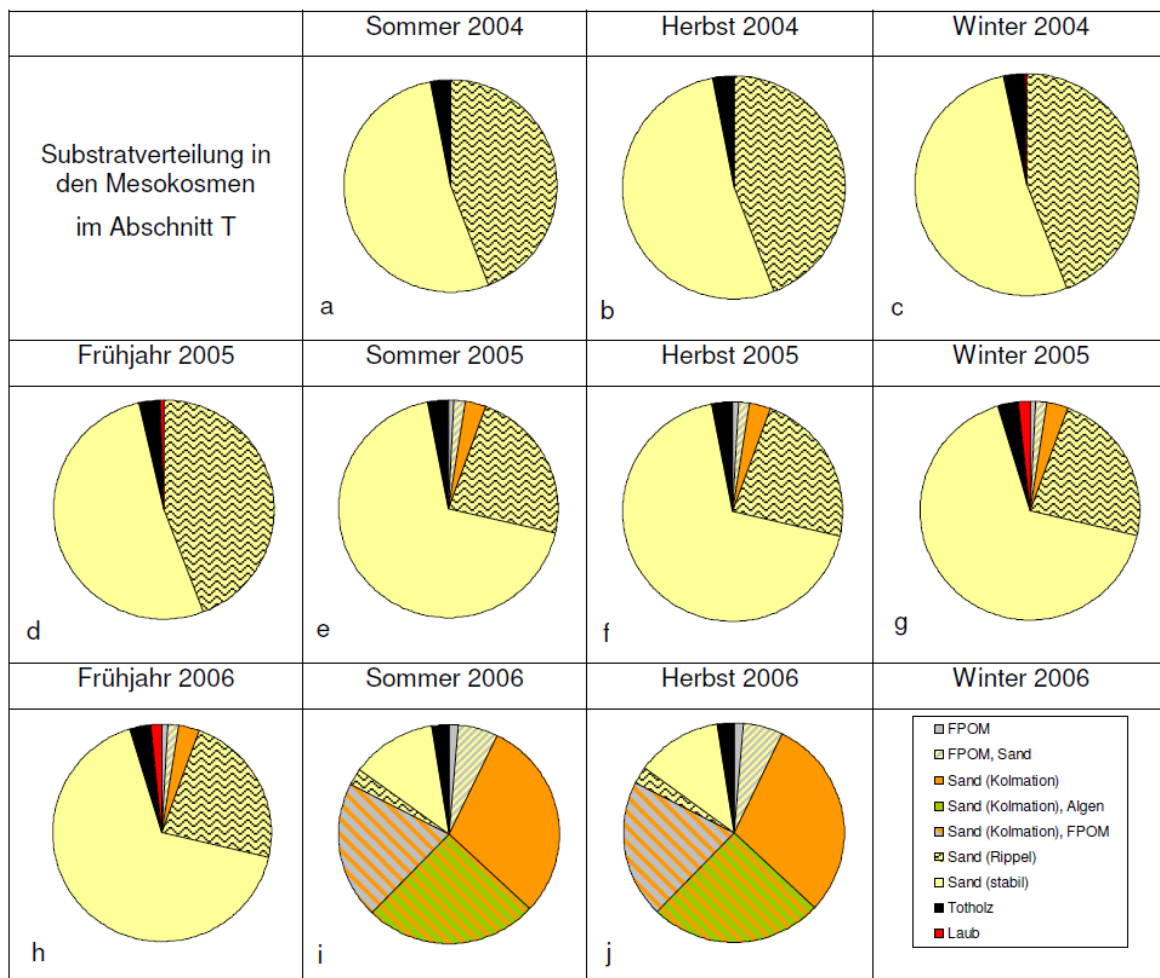


Abb. 4.40: Sohl- und Substratstrukturen im Verlauf des Bearbeitungszeitraumes im Abschnitt T. Datengrundlage: Mittelwerte 8 Mesokosmen je Saison.

Der Anteil mobiler Sandflächen sank auf knapp 25%, während der Anteil stabiler Sandflächen auf rd. 68% angestiegen war. Hinzu kamen geringe Anteile von Sandflächen, FPOM-Ablagerungen und Bereiche, die deutliche Anzeichen von Kolmation aufwiesen. Das Laub hatte zu diesem Zeitpunkt noch einen zu vernachlässigenden Anteil an der gesamten Sohlstruktur. Im Folgejahr (2006) veränderte sich die Substratsituation deutlich. Kennzeichnend war die großflächige Kolmation des Sandsubstrates. Bis zum Herbst 2006 waren rd. 75% der Flächen davon betroffen. Auf diesen hatten sich mit einem Flächenanteil von jeweils rd. 30% entweder fädige Algen entwickelt (Abb. 4.40 i) oder eine FPOM-Schicht abgelagert (Abb. 4.40 j). Der Anteil mobiler Sandflächen ging entsprechend auf rd. 12% zurück, der Anteil von FPOM stieg auf rd. 6%.

Veränderung der Sedimentstruktur im unbeschatteten/beleuchteten Abschnitt (M) nach Beginn der Ausstattung

Die GIS-basierte Auswertung der Strukturkartierung und Fotodokumentation zur Entwicklung der Sohlstruktur nach Etablierung natürlicher Substrate zeigte für den unbeschatteten (künstlich beleuchteten) Abschnitt M zunächst eine ähnliche Entwicklung wie für den Abschnitt T der Mesokosmen (Abb. 4.41). Trotz Etablierung submerser und emerser Makrophyten im Juli 2004 traten im Abschnitt M bis zum Frühjahr 2005 kaum Veränderungen der Sohlstruktur auf. In diesen Rinnenabschnitten dominierte stabiler Sand. Die eingesetzten Makrophyten hatten Flächenanteile von 2 – 6% (submerse Makrophyten) bzw. 0 – 4% (emerse Makrophyten). Die emersen Makrophyten gingen bis zum folgenden Winter nahezu vollständig zurück. Dies war teilweise Effekt der natürlichen Saisonalität, wurde aber dadurch verstärkt, dass nach einem Blattlausbefall alle nekrotisierten Blätter entfernt werden mussten.

Mit Beginn des Sommers 2005 (Abb. 4.41 e) setzte eine Veränderung der Sohlstruktur ein, die bis zum Frühjahr 2006 annähernd konstant blieb. Stabile Sandbereiche wechselten mit mobilen, Rippel bildenden Sandbereichen und durch Kolmation gekennzeichnete Flächen. Diese drei Substrattypen hatten jeweils rd. 30% Anteil an der gesamten Sohlstruktur.

Im Verlauf des Sommers 2006 (Abb. 4.41 i) ging der Anteil instabiler Sandbereiche nahezu vollständig zurück (3%). Die Sohle war bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes durch stabilen Sand (45%) und Bereiche mit Kolmation (46%) geprägt. Die Anteile der Makrophyten blieben im Gesamtzeitraum <10%. Wie in Abschnitt T hatte sich auch in Abschnitt M über den gesamten Versuchszeitraum FPOM angesammelt. Dies bedingte eine Veränderung der Zusammensetzung und Qualität der Sohlsubstrate. Dieser Effekt konnte jedoch nicht gesondert kartiert werden. FPOM-Ablagerungen traten hauptsächlich zwischen den dichten submersen und emersen Makrophyten auf und waren durch die Fotos nicht angemessen darstellbar.

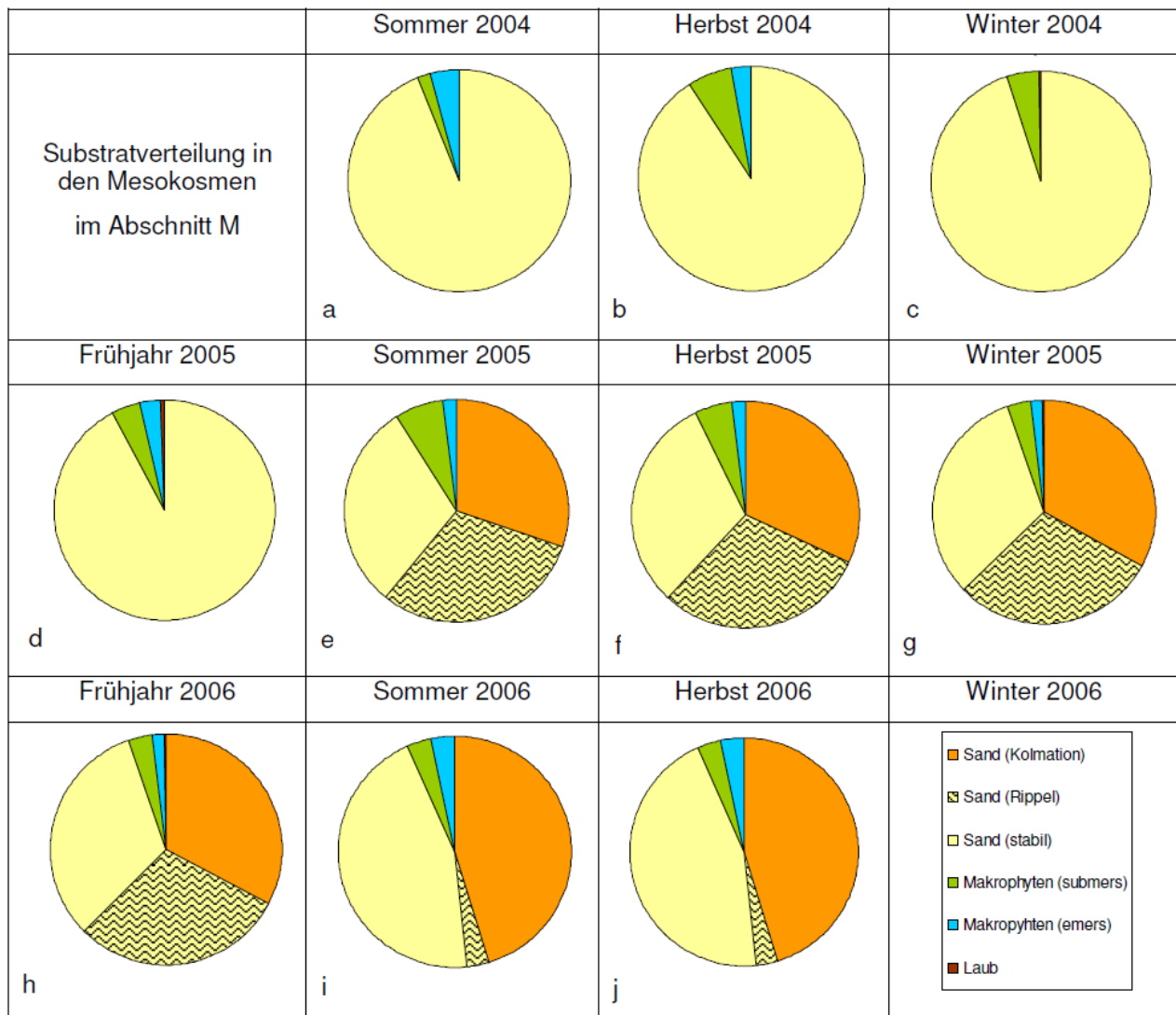


Abb. 4.41: Sohl- und Substratstrukturen im Verlauf des Bearbeitungszeitraumes im Abschnitt M. Datengrundlage: Mittelwerte aller 8 Mesokosmen je Saison

Vergleich der Mesokosmen-Abschnitte

Qualitative Substratveränderungen

Es wird deutlich, dass bei der konstanten Strömungsgeschwindigkeit von 13 cm s^{-1} in beiden Rinnenabschnitten nach etwa einem Jahr eine Stabilisierung der Sohle einsetzte. Das anfänglich zu relativ hohen Anteilen mobile (= Rippel bildende) Sandsubstrat war nach 2 1/4 Jahren zu 40% (Abschnitt M) bis 75% (Abschnitt T) verfestigt bzw. durch Kolmation geprägt. Die Sohlstabilität, gemessen an den durch Rippelbildung gekennzeichneten Substratanteilen, war in beiden Abschnitten ähnlich. Im Abschnitt T hatte Kolmation durch Algen und FPOM (bis Herbst 2006) hohe Anteile an der Substratmodifikation. In den Abschnitten M der Mesokosmen waren diese Anteile unbedeutend oder fehlten.

Substratheterogenität

Abschnitt M und T unterschieden sich hinsichtlich ihrer Substratheterogenität. Am Ende des Beobachtungszeitraumes lagen im Abschnitt T acht Substrattypen vor, von denen vier in etwa gleichen Anteilen vertreten waren. In Abschnitt M dominierten zum Schluss zwei der insgesamt fünf Substrattypen.

Vergleich der Substratstrukturen in Referenzgewässern und Mesokosmen

Im Folgenden werden die Substratstrukturen in Referenzgewässern und Mesokosmen verglichen. Gegenübergestellt werden:

- Bardenitzer Fließ (beschattet, Totholz) Abschnitt T (nicht beleuchtet, Totholz)
- Barolder Fließ (unbeschattet, Makrophyten) Abschnitt M (beleuchtet, Makrophyten)

Die Gegenüberstellung in Abb. 4.42 zeigt, dass die im Bardenitzer Fließ typischen Muster der Substratstruktur deutlich von den Bedingungen in den Mesokosmen abwichen. Lediglich die Frühljahrsaspekte wiesen ähnliche Verteilungsmuster auf. In diesem Zeitraum dominierten auch im Bardenitzer Fließ die Sandsubstrate. Im Unterschied zu den Bedingungen im Referenzgewässer konnten in den Mesokosmen bis 2006 keine ausreichenden FPOM-Anteile aufgebaut werden. Die Sommeraspekte 2004 und 2005 in den Mesokosmen schienen sich der Situation im Bardenitzer Fließ anzunähern. Allerdings fehlte der CPOM/Laub-Anteil. In 2006 hatte sich in den Mesokosmen zwar mehr FPOM abgelagert, allerdings trat auch vermehrt Kolmation auf. Dies wurde im Bardenitzer Fließ nicht beobachtet. Die Herbstaspekte im Bardenitzer Fließ wiesen aufgrund der Dominanz an CPOM-Ablagerungen keine Ähnlichkeiten zur Mesokosmen-Situation auf. Zwar dominierten im Bardenitzer Fließ im Winter wieder die Sandsubstrate, Ähnlichkeiten zwischen dem Referenzgewässer und den Mesokosmen waren sonst allerdings nicht zu erkennen.

Auch im Vergleich zum Barolder Fließ wiesen die Mesokosmen erhebliche Unterschiede der Substratstruktur (Abb. 4.43) auf. Lediglich die Anteile stabiler Sandflächen an der Gesamtzusammensetzung der Sohlsubstrate ähnelten sich relativ häufig. Während das Referenzgewässer in den Sommer- und Herbstmonaten hohe Anteile an Makrophyten und CPOM/Laub aufwies, blieb der Makrophyten- und Laubanteil in den Mesokosmen vergleichsweise niedrig. Die für das Frühjahr im Barolder Fließ typischen, relativ hohen Anteile an FPOM traten in den Mesokosmen nicht auf. Ebenso wenig kam es auch in diesem Referenzgewässer zu der für die Mesokosmen typischen, großflächigen Kolmation der oberen Sandschicht.

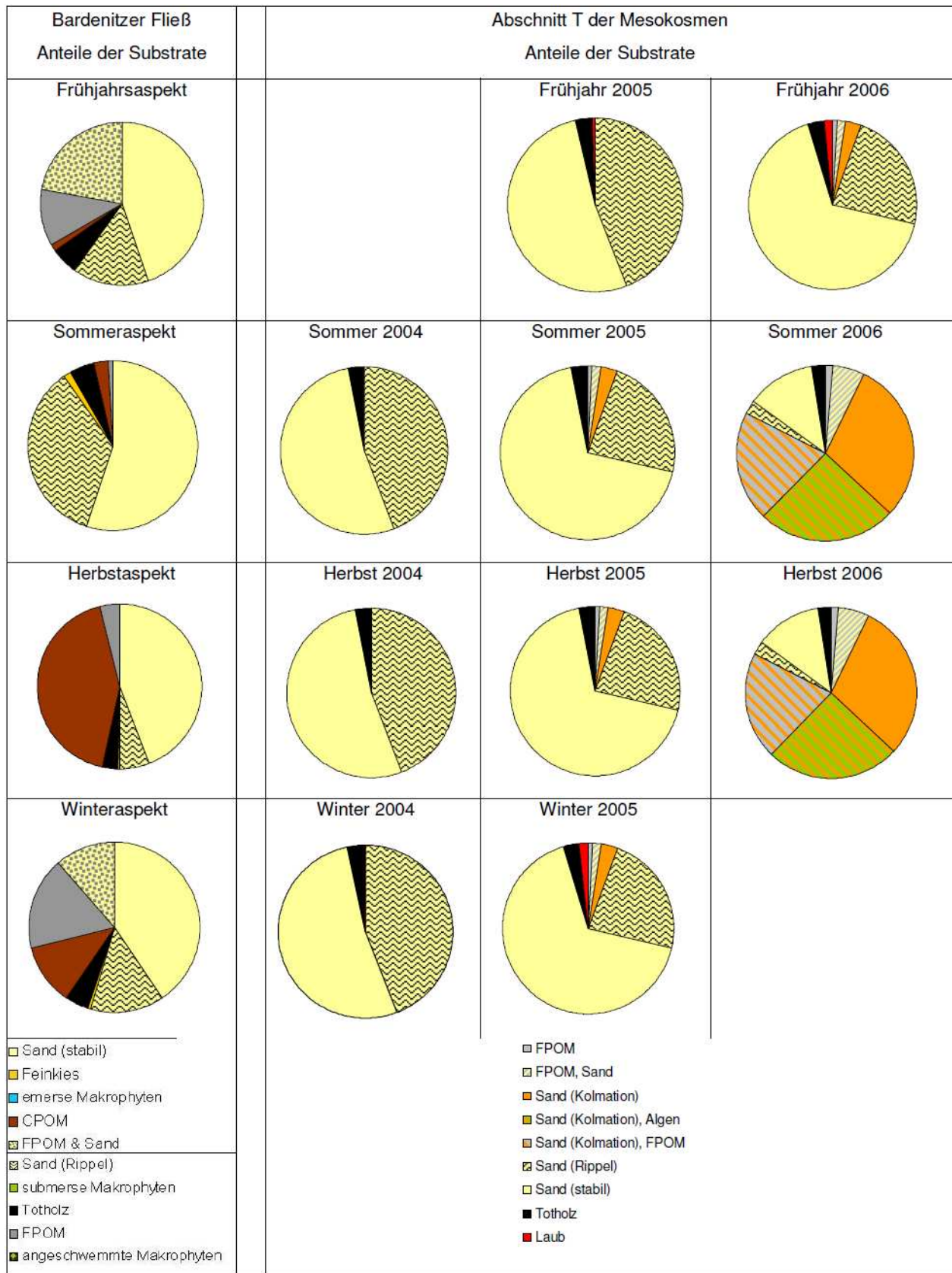


Abb. 4.42: Saisonale Aspekte der Substratverteilung im Bardenitzer Fließ und im Abschnitt T der Mesokosmen

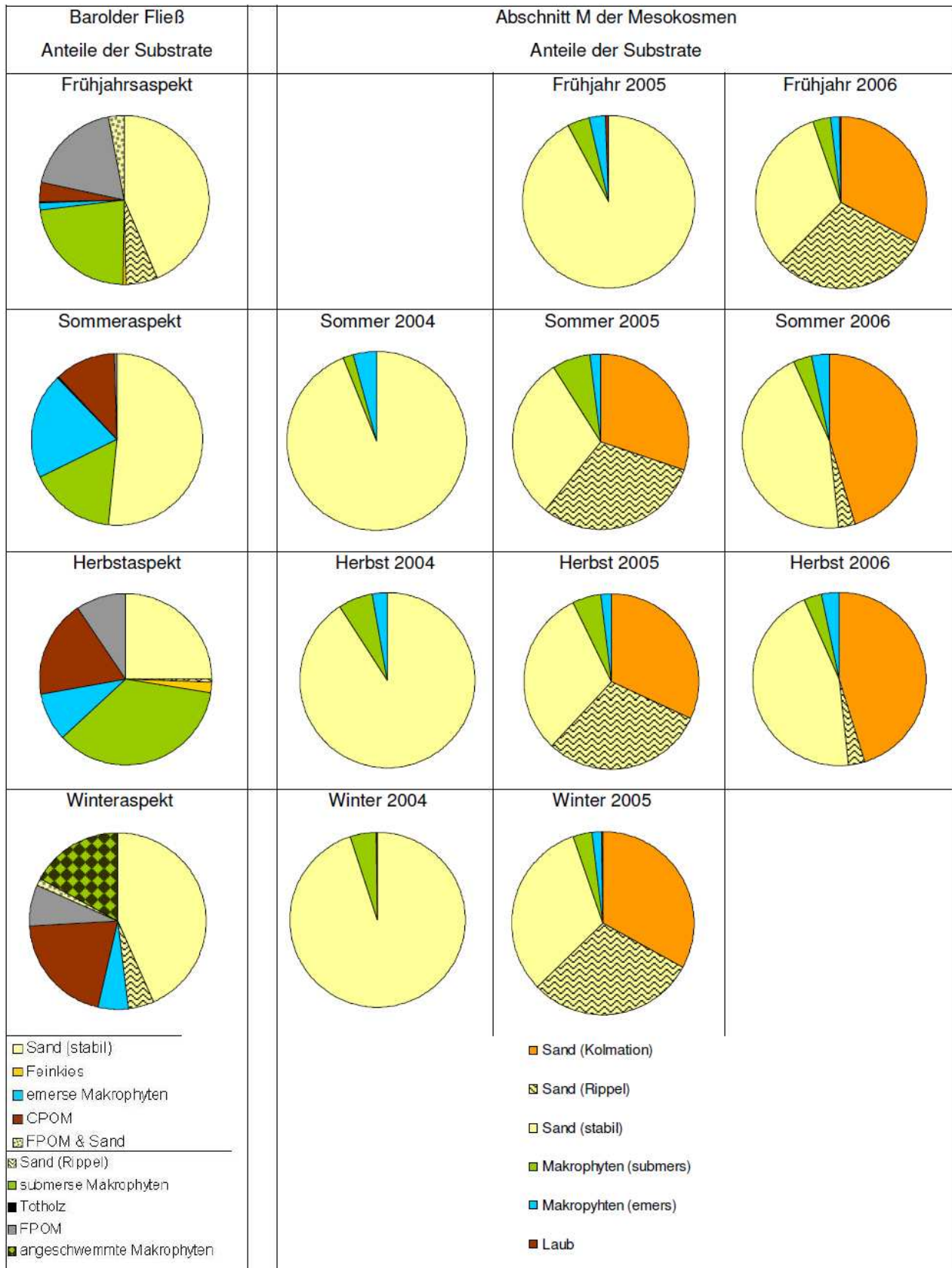


Abb. 4.43: Saisonale Aspekte der Substratverteilung im Barolder Fließ und im Abschnitt M der Mesokosmen

Makrophytenentwicklung

Die Bilddokumentation des Wachstums der eingesetzten *Elodea*-Pflanzen belegte in 2005 eine Zunahme der Makrophytendichte. Der Zuwachs blieb jedoch geringer als im Jahr 2004 (4.44 bis 4.47). Trotz der kontinuierlichen Düngung und der in 2005 zusätzlich eingepflanzten *Elodea*-Polster (vgl. Kap 4.3) konnten sich die Pflanzen langfristig nicht etablieren. Beeinträchtigt wurde das Wachstum offenbar durch das wiederholte Auftreten von fädigen Grünalgen (Abb. 4.45). Deren Wachstum war in 2005 stärker als zuvor. Licht- und Nährstoffkonkurrenz werden als wesentliche Ursachen für die verminderte Wuchsleistung von *Elodea* betrachtet. Zusätzlich schien der durch die langen Algenfäden hervorgerufene hohe Strömungswiderstand bei den zunehmend geschwächten Pflanzen abrasive Effekte zu bedingen.

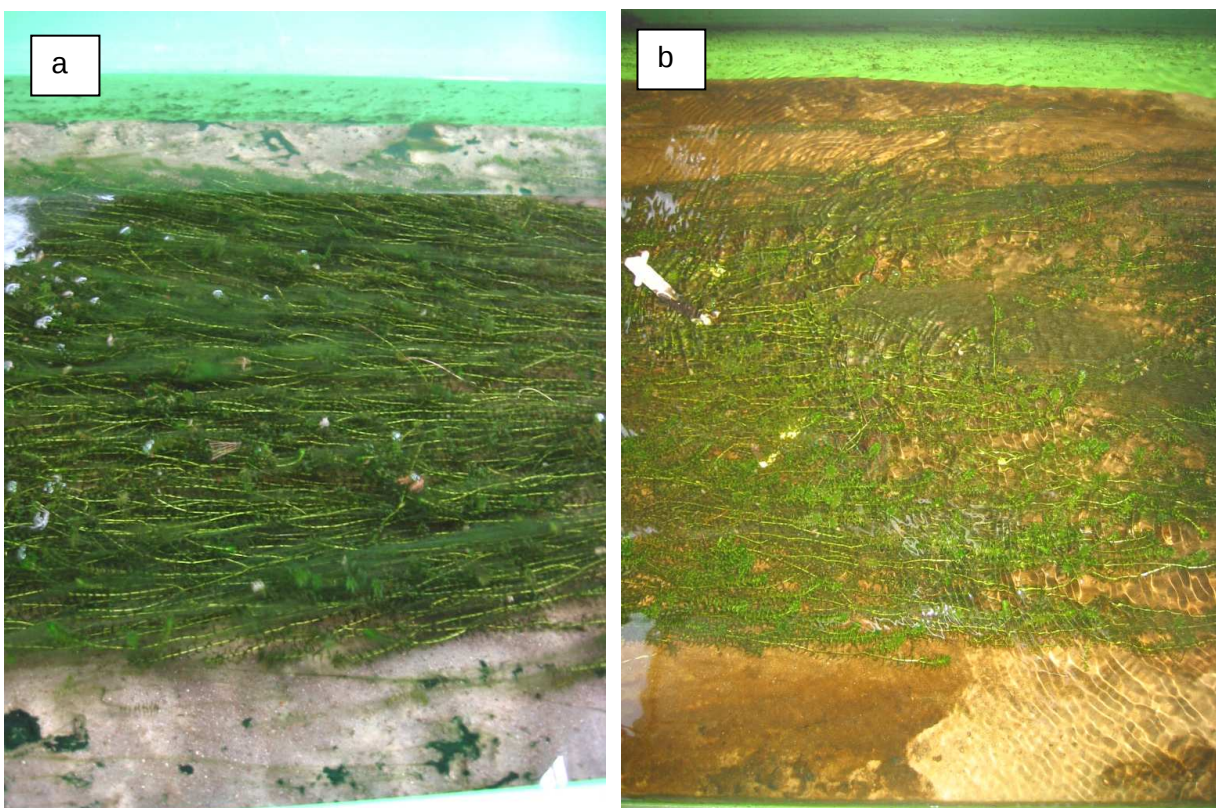


Abb. 4.44: (a) Relativ kräftiges Wachstum von *Elodea* in 2004 mit geringer Entwicklung fädiger Grünalgen (HR 3), (b) schütteres Wachstum von *Elodea* bei starkem Wachstum fädiger Grünalgen in 2005 (HR 3).

Die Igelkolben (*Sparganium erectum*) wiesen eine typische saisonale Dynamik auf. Sie trieben im Frühjahr 2005 stark aus und wuchsen bis zum Herbst 2006 offenbar unbeeinträchtigt und gut (Abb. 4.46 a). Auch das Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) zeigte über den gesamten Versuchszeitraum ein deutliches Längenwachstum (Abb. 4.46 b). Es wurde durch eine stärkere Algenentwicklung offenbar kaum beeinträchtigt. Die Etablierung der flutenden Igelkolben (*Sparganium emersum* subsp. *emersum*) erwies sich als schwieriger. Die in 2004 eingesetzten Pflanzen wuchsen nur in einigen Mesokosmen (HR 3, 5, 7, 8) gut (Abb. 4.47 a) und wurden von dort aus im August 2005 gleichmäßig auf die anderen Mesokosmen verteilt. Insgesamt konnten

sie sich aber auch danach nicht gut etablieren (Abb. 4.47 b). Dieses schlechte Wachstum kann jedoch nicht auf das Algenwachstum zurückgeführt werden, da in HR 7 sowohl das Wachstum von Algen als auch die Entwicklung von *Sparganium emersum* subsp. *emersum* sehr gut war.

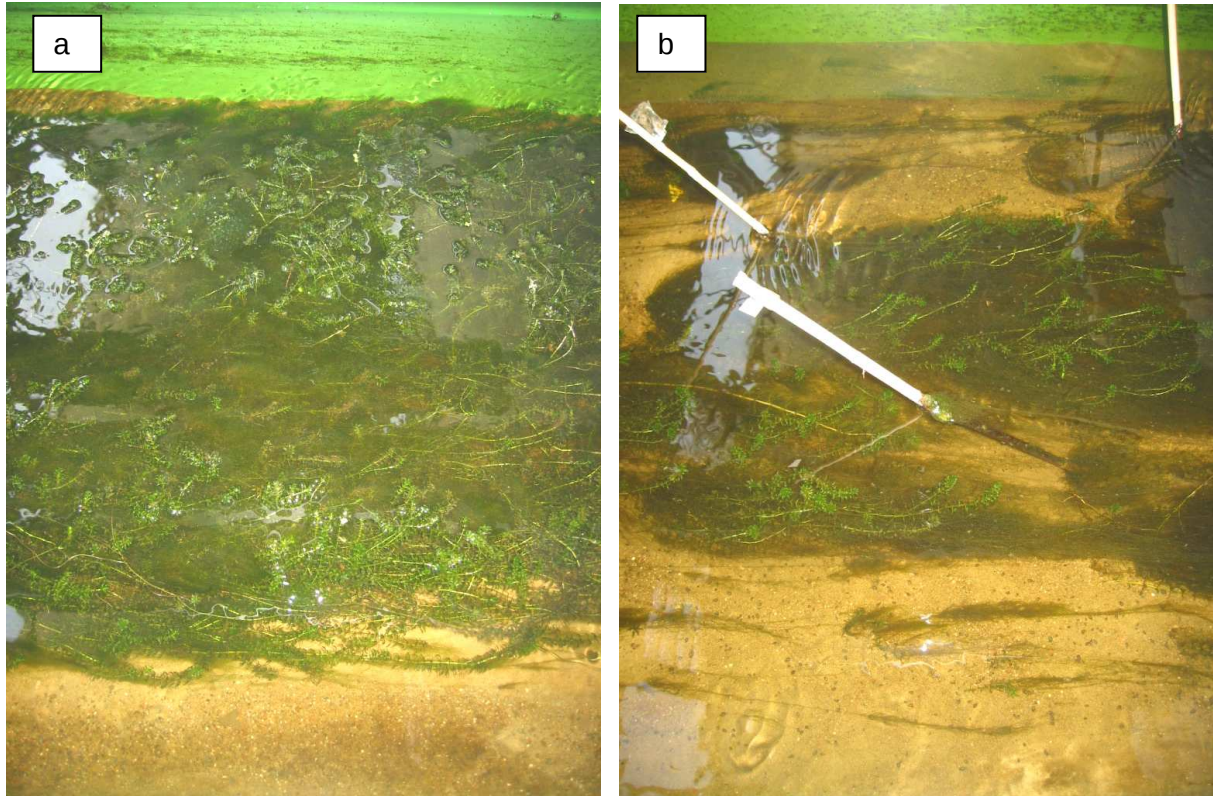


Abb. 4.45: Algenwachstum in (a) HR 1 und (b) HR 7 in 2005

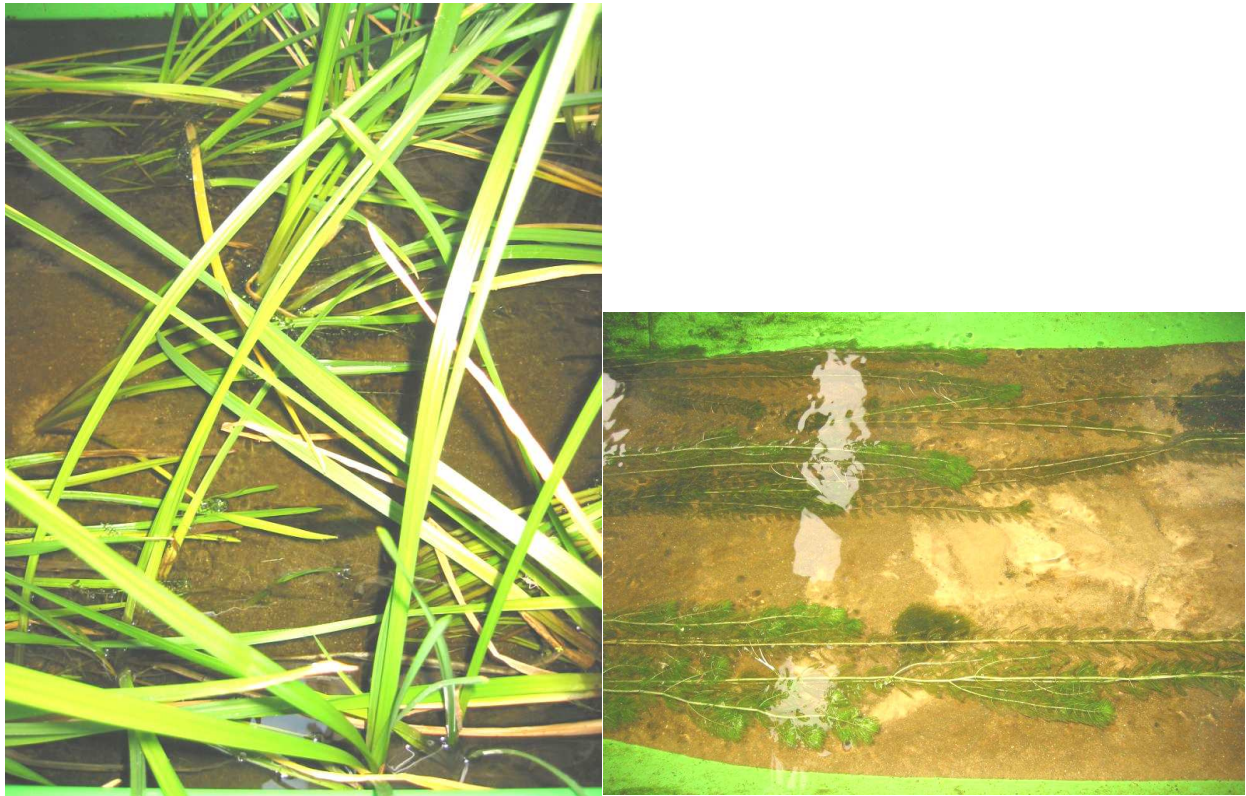


Abb. 4.46: (a) Igelkolben (*Sparganium erectum*) und (b) Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) in 2005

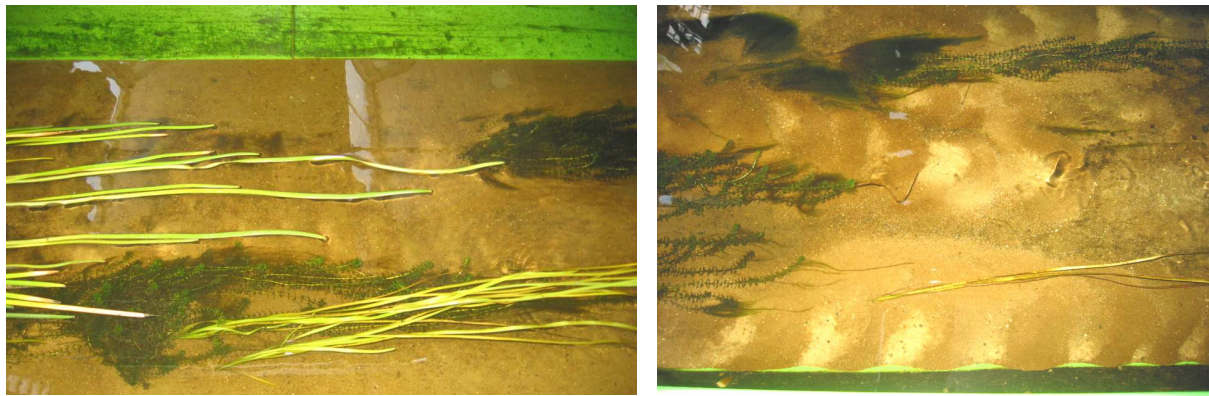


Abb. 4.47: Flutender Igelkolben (*Sparganium emersum* subsp. *emersum*) (a) gut gewachsen in HR 7 (2005) und (b) nach Umpflanzung in andere Mesokosmen

Entwicklung fädiger Algen

Unterschiede in der Algenentwicklung der acht Mesokosmen lassen sich anhand des Algenfrischgewichtes (nach dem Schleudern, vgl. Mohr et al. 2007) darstellen. Abb. 4.48 zeigt, dass zum Zeitpunkt beider Probennahmen die HR 1 eine relativ hohe Algenbiomasse aufwies (um 600 g Frischgewicht pro Rinne). Demgegenüber waren die Algenmengen in den HR 3, 4, 6 und 8 niedrig. In allen Fällen blieben die Werte bei max. 100 g Frischgewicht pro Mesokosmos. Die Resultate für die beiden Beprobungen ergaben für die HR 2, 5 und 7 erhebliche Unterschiede

in der Gesamttendenz. Während die Algenmengen der ersten Probenahme in diesen drei Mesokosmen bei Werten zwischen rd. 100-200 g Frischgewicht pro Rinne lagen, wurden hier im Verlauf der zweiten Beprobung mit Abstand die höchsten Werte ermittelt. Das Frischgewicht der fädigen Algen war im August in den Mesokosmen 1, 2, 5 und 7 am größten (Abb. 4.48).

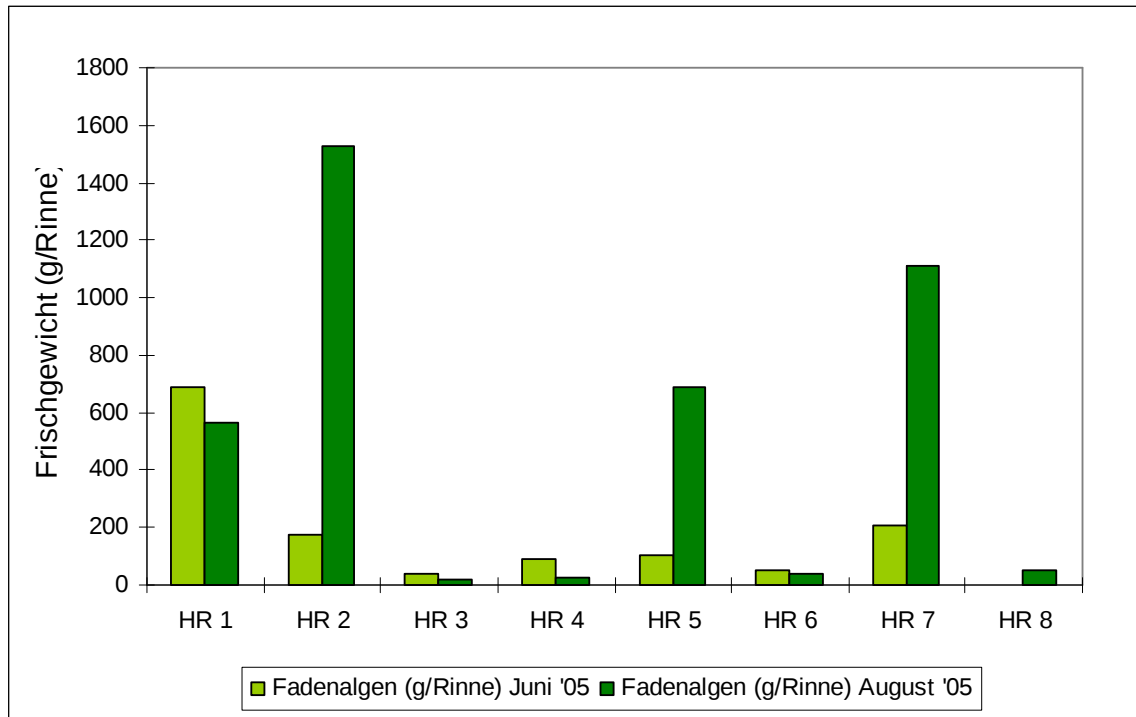


Abb. 4.48: Darstellung des Frischgewichts der fädigen Grünalgen in den Mesokosmen

Schneckenentwicklung

Bereits vor Beginn der Etablierung von Faunenelementen aus dem Barolder Fließ traten in den Mesokosmen der Hallenanlage zahlreiche Schnecken (Gastropoda: *Lymnea stagnalis*) auf. Als Ursache dieser ungewollten Entwicklung kommt nur der Eintrag durch überdauernde Eigelege schon vor dem Einsetzen der ersten Pflanzen in Betracht, die offenbar im Restsediment verblieben waren. Die Zahl der Schnecken stieg in der Folgezeit kontinuierlich an, wobei ein zusätzlicher Fremdeintrag durch die eingesetzten Pflanzen (möglw. *Radix balthica*) nicht ausgeschlossen werden kann. Durch den im Herbst 2004 beginnenden Besatz mit Laubexponaten wurden im Wesentlichen *Potamopyrgus antipodarum* und *Ferrissia wautieri* eingebracht. Stichproben (Juni 2006) wiesen auf unterschiedliche Besiedlungsdichten der Gastropoda in den Mesokosmen hin (Abb. 4.49 und 4.50). In HR 1, 2, 7 u. 8 wurden die höchsten Dichten ermittelt.

Ein statistischer Zusammenhang zwischen der Schneckendichte und der Algenbiomasse ließ sich nicht signifikant belegen (Tab. 4.3). Nur der Korrelations-Koeffizient nach Pearson ließ für die Juni-Daten einen möglichen Zusammenhang annehmen (Tab. 4.4). Allerdings zeigt Abb. 4.50 und 4.51, dass diese Korrelation durch einen Ausreißer geprägt ist.

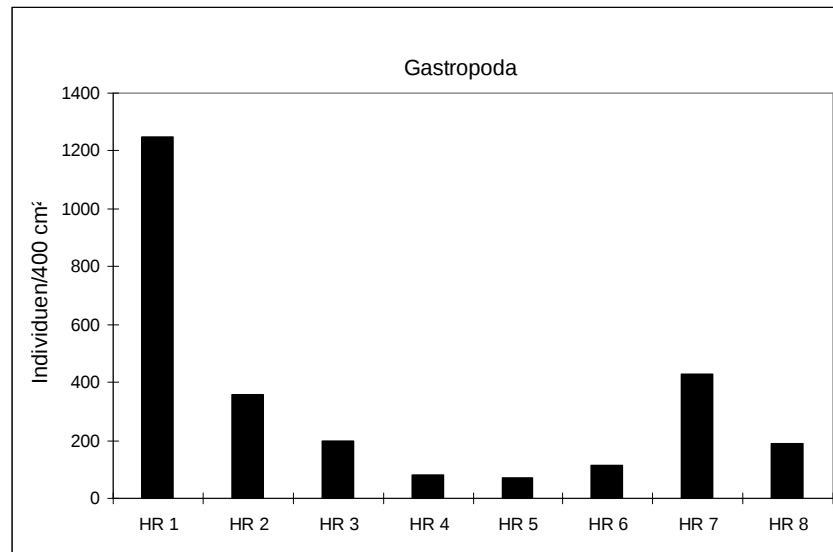


Abb. 4.49: Individuendichte der Gastropoda in den acht Mesokosmen (Mittelwerte pro Rinne, n = 4)

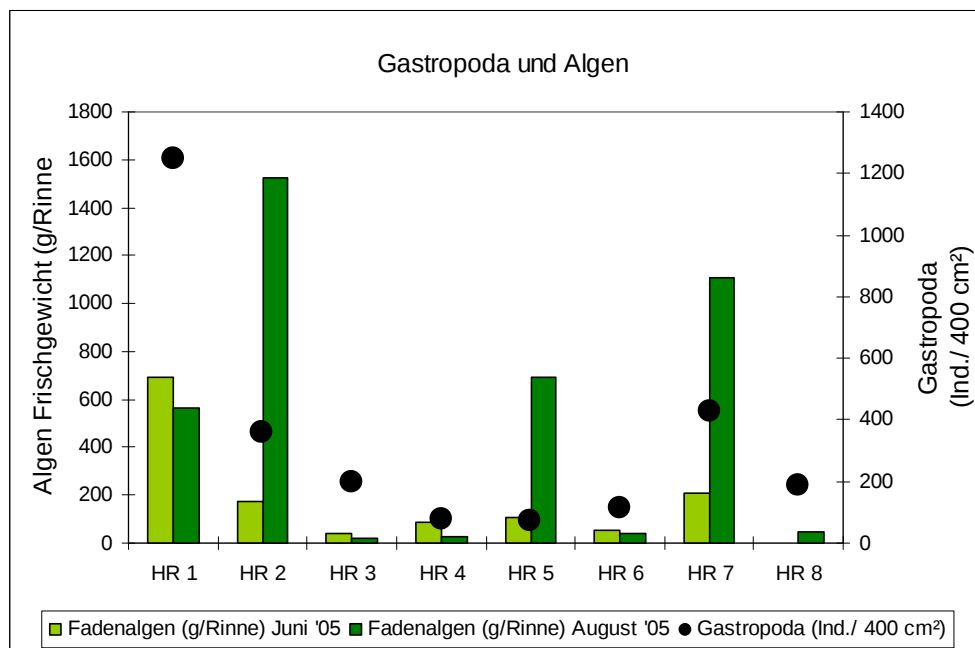


Abb. 4.50: Individuendichte der Gastropoda und Algenbiomasse in den acht Mesokosmen

Tab. 4.3: Rangkorrelationen nach Spearman zur Dichte der Gastropoda und Biomasse der Fadenalgen (Juni 2005)

Spearman		Gastropoda (Ind./ 400 cm²)	Fadenalgen (g/Rinne) Juni '05
Gastropoda (Ind./ 400 cm²)	Korrelationskoeffizient	1,000	0,548
	Sig. (2-seitig)	.	0,160
	N	8	8
Fadenalgen (g/Rinne) Juni '05	Korrelationskoeffizient	0,548	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,160	.
	N	8	8

Tab. 4.4: Rangkorrelationen nach Pearson zur Dichte der Gastropoda und Biomasse der Fadenalgen (Juni 2005)

Pearson		Gastropoda (Ind./ 400 cm ²)	Fadenalgen (g/Rinne) Juni '05
Gastropoda (Ind./ 400 cm ²)	Korrelation nach Pearson	1	0,968(**)
	Signifikanz (2-seitig)		0,000
	N	8	8
Fadenalgen (g/Rinne) Juni '05	Korrelation nach Pearson	0,968(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	
	N	8	8

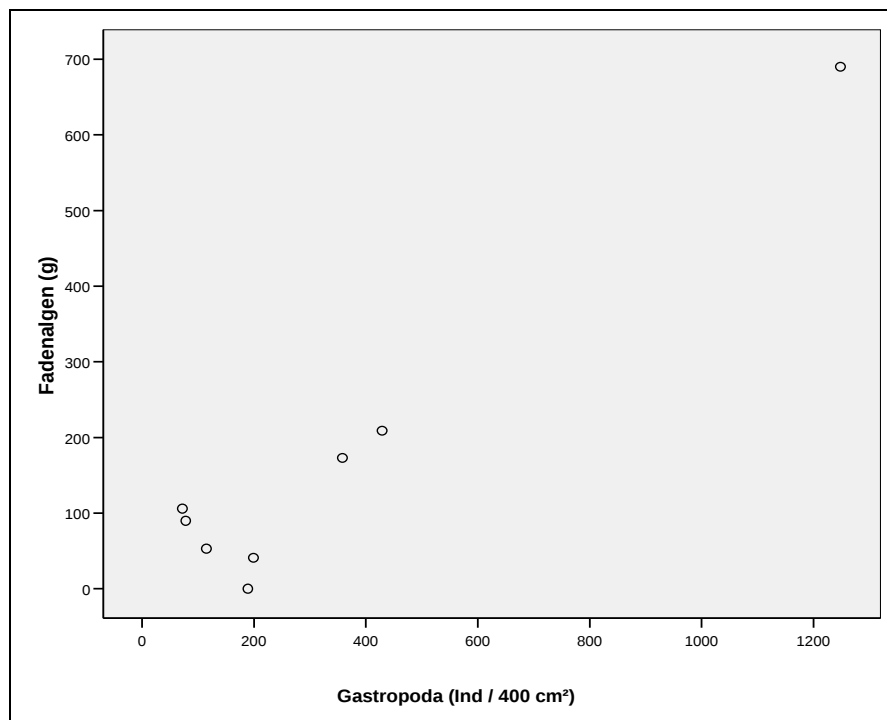


Abb. 4.51: Dichte der Gastropoda und der Algenbiomasse (g/Rinne)

4.4.3 Fazit

Die durch das Totholz induzierten Sohlstrukturen konnten zu Beginn der Versuchsphase in allen Mesokosmen vergleichbar etabliert werden. Die Substratbedingungen in den Mesokosmen wiesen Ähnlichkeit zu den Bedingungen in den Referenzgewässern auf. Die Strömungsverhältnisse in den Mesokosmen ähnelten allerdings nur teilweise denen im Referenzgewässer.

Der chemische Charakter des Wasserkörpers kam den Bedingungen in den Referenzgewässern insgesamt recht nah. Die Mesokosmen wiesen aufgrund der konstanten Umfeldbedingungen allerdings eine geringere Dynamik auf. Insbesondere die abiotischen Parameter schwankten in den künstlichen Systemen weit weniger als im Freiland.

Die Anpassung der Nährstoffverhältnisse in den Mesokosmen war problematisch. Die stoßweise Zugabe von hochkonzentrierten Düngemitteln könnte zu schlecht kontrollierbaren Bedingungen führen. Zudem trägt die Menge und Zusammensetzung der Düngemittel offenbar zur langfristigen Erhöhung der Leitfähigkeit bei. Die Effekte einer weniger stoßweisen Düngung und die Wahl anderer Düngemittel (weniger natrium- bzw. kaliumhaltig) sollten zukünftig geprüft werden.

Die nach 1 Jahr Versuchszeit insgesamt starke Kolmation, der Sohlsubstrate in den Mesokosmen bedingte grundsätzliche Unterschiede zu den Referenzgewässern. Ursache war eine starke Aufwuchsentwicklung und die vermehrte Ablagerung von feinputikulärem Material. Die Kolmation führte üblicherweise zu einer Reduktion des vertikalen Wasseraustausches im Sediment (Wroblecky et al. 1998) und begünstigte das Periphytonwachstum. Sie dürfte wesentlich durch die spezielle hydrodynamische Situation – d.h. die Konstanz der Strömung – hervorgerufen worden sein. In den Untersuchungen von PD Dr. M. Mutz (Mutz et al. 2006b) wurden die relativ geringen Schubspannungsgeschwindigkeiten bereits als Besonderheit der Mesokosmen benannt. Werden Versuchszeiträume von 1 Jahr oder länger angestrebt, kann zur Minderung dieser Entwicklung eine Erhöhung der Strömungsdynamik beitragen. Durch zeitlich begrenzte Erhöhungen der Fließgeschwindigkeit können die Sohlstrukturen und das Periphytonwachstum z. T. umgelagert und modifiziert und eine Annäherung an die natürliche Abflussdynamik in Fließgewässern erreicht werden kann.

Eine Annäherung der CPOM-, FPOM- und Makrophytenbestände an die Gegebenheiten im Referenzgewässer erfordern kurz und langfristig erhöhten Arbeitsaufwand. Eine vermehrte Laubzugabe erscheint notwenidg und lässt langfristig die Anreicherung von FPOM erwarten. Zudem sollten vermehrt submerse Makrophyten-Polster eingesetzt werden. Zum einen bedingen diese eine Erhöhung der Strömungsvielfalt. Zum anderen resultiert daraus eine verstärkte Konkurrenz für die fädigen Grünalgen um Nährstoffe und Licht.

5 Besatz

In diesem Kapitel wird versucht, die Zahl der insgesamt eingebrachten Makroinvertebraten zu quantifizieren. Diese Hochrechnung des „Besatzes“ berücksichtigt alle Substrat-Parallelen (vgl. Kapitel 3.3.1) und die Gesamtzahl der BA, die in den verschiedenen Arbeitsphasen (Tab. 5.1) aus dem Referenzgewässer in die Mesokosmen überführt wurden.

Weiterhin werden Besatzdichten errechnet. Für die zuvor hochgerechneten Gesamt-Individuenzahlen, die während der einzelnen Besatzphasen eingesetzt wurden, bestand dabei die Annahme, dass sich die Tiere auf die Gesamtfläche in den Mesokosmen verteilen („ausdünnen“) könnten. Daher werden die Individuenzahlen durch die Gesamt-Besiedlungsfläche (cm²) geteilt. Als Oberfläche der Mesokosmen wurde, die durch alle Substrattypen insgesamt gebildete Fläche (Sand, Makrophyten, Totholz und Mesokosmen-Wand) betrachtet. Dabei wurden die in der Fotodokumentation durch zweidimensionale Aufsicht kartierten Flächen sowie Flächen unterhalb der Arbeitbühne und in den Kurven vor der Pumpe („sonstige Flächen“) einbezogen, da auch diese von einem Teil des Makrozoobenthos besiedelt werden konnten. Allerdings konnte keine Annäherung an die reale Oberfläche der organischen Substrate (z.B. Pflanzenpolster, Algen) erreicht werden. Die reale Besiedlungsfläche ist (z.B. in einem *Elodea*-Polster) weit größer, als ihre hier rechnerisch zugrunde gelegte zweidimensionale Ausdehnung. Deshalb können die im Folgenden dargestellten Individuendichten nur eine Tendenz aufzeigen. Zudem muss die Berechnung auf einer theoretischen Gleichverteilung basieren und kann die normalerweise auftretende geklumpfte Verteilung der Fauna nicht berücksichtigen.

Die Besatzdichten werden anschließend mit den Besiedlungsdichten im Referenzgewässer (AQEM-Beprobung) verglichen. Dies ermöglicht eine Einschätzung, welche Dichten in den Mesokosmen bei Eintrag der BA erzielt werden können. Am Ende des Kapitels wird eine Bilanzierung des Material- und Arbeitsaufwands vorgestellt, der für den Besatz mit den berechneten Individuenzahlen angesetzt werden muss.

5.1 Hochrechnung der eingesetzten Individuenzahlen

Länge und chronologische Abfolge der Besatzphasen mit Laub-, Sand- und *Elodea*-BA sind in Tab. 5.1 dargestellt. Zudem ist die Anzahl der in diesen Phasen pro Mesokosmos eingesetzten BA eingetragen. Im Dezember 2004 wurden mit 14 Laub-BA pro Mesokosmos etwa 8.780 Individuen eingebracht (Tab. 5.2). Den Hauptanteil hatten mit etwa 4.600 Larven die Chironomidae und mit 2.200 Individuen die Gammariden. Gastropoda (600 Ind.), Oligochaeta (400), Larven der Simuliidae (250) und Trichoptera (200) konnten ebenfalls in relativ hoher Zahl vom Referenzgewässer in die Mesokosmen übertragen werden (Tab. 5.2). Im Rahmen des kleiner dimensionierten „Dispersionsversuch“ (vgl. Kapitel 6.2.2) wurden mit 4 Sand-BA 1.200 Chironomiden und 900 Oligochaeta eingebracht (Tab. 5.2). Die Individuenzahl aller übrigen Taxa lag unter 200.

Tab. 5.1: Länge und chronologische Abfolge der Besatzphasen mit BA

Substrattyp	Jahr	2004	2005												2006
	Monat	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 2 3 4 5
Laub-BA		14													70
<i>Elodea</i> -BA											30				
Sand-BA						4									

Ziffern in farbig unterlegten Besatzphasen = Anzahl der pro Mesokosmos eingesetzten BA

Der Besatz mit Hilfe von *Elodea*-BA im Sommer 2005 war wesentlich umfangreicher. Insgesamt wurden 30 BA pro Mesokosmos und pro System damit 59.100 Individuen eingebracht (Tab. 5.2). Davon waren die überwiegende Mehrzahl (rd. 49.700) Chironomidae. Weiterhin wurden die Mesokosmen in großer Zahl mit Gammaridae (3.900 Ind.), Gastropoda (1.500) und Oligochaeta (1.000) besetzt.

Der Besatz mit Laub-BA im Frühjahr 2006 lieferte mit den 70 BA pro Mesokosmos insgesamt 48.000 Individuen (Tab. 5.2). Darunter waren 33.200 Chironomidae, 6.800 Gammaridae, 1.700 Trichoptera und 1.100 Oligochaeta. Die Höhe des Besatzes je Taxon ist für die wesentlichen Gruppen (Gastropoda, Trichoptera, Chironomidae) Tab. 5.3 zu entnehmen.

Tab. 5.2 ⁶ : Hochrechnung der insgesamt je Mesokosmos etablierten Individuenzahlen

	Laub-BA 2004	Sand-BA 2005	<i>Elodea</i> -BA 2005	Laub-BA 2006
Berechnungsgrundlage (Parallelen)	n = 28	n = 8	n = 35	n = 33
Exponate pro Mesokosmos	14	4	30	70
Gastropoda	619	54	1.530	736
Bivalvia	102	161	45	145
Oligochaeta	390	910	1.090	1.179
Hirudinea	5	7	22	41
Acari	24	36	338	1.146
Amphipoda	2.232	60	3.982	6.815
Isopoda	58	3	76	568
Ephemeroptera	56	11	210	574
Odonata	68	0	435	205
Plecoptera	0	0	0	2
Megaloptera	1	0	4	2
Heteroptera	1	17	0	8
Coleoptera	69	1	134	582
Trichoptera	227	26	558	1.799
Diptera L	3	0	21	21
Diptera P	5	0	189	56
Tabanidae	0	0	0	4
Ceratopogonidae	9	27	31	89
Chironomidae	4.663	1.270	49.745	33.200
Ptychopteridae	0	0	0	8
Simuliidae L	257	0	679	766
Simuliidae P	0	0	82	64
Individuenzahl gesamt	8.785	2.580	59.171	48.011

⁶ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

Tab. 5.3: Hochrechnung der je Mesokosmos insgesamt etablierten Individuendichtzahlen aus den Gruppen Gastropoda, Trichoptera und Chironomidae

	Laub-BA 2004	Sand-BA 2005	<i>Elodea</i> -BA 2005	Laub-BA 2006
Berechnungsgrundlage (Parallelen)	n = 28	n = 8	n = 35	n = 33
Exponate pro Mesokosmos	14	4	30	70
Gastropoda indet.	6	0	39	1.064
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	256	57	1.959	778
<i>Ferrissia wautieri</i>	29	0	27	0
<i>Gyraulus</i> sp.	10	0	0	28
Trichoptera indet.	3	1	102	0
Polycentropodidae Gen. sp.	0	0	408	414
<i>Polycentropus</i> sp.	35	0	24	51
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	0	0	3	65
<i>Plectrocnemia</i> sp.	58	0	9	265
Psychomyiidae Gen. sp.	0	0	0	0
Limnephilidae Gen. sp.	70	3	51	452
Leptoceridae Gen. sp.	13	25	129	173
<i>Oxyethira flavicornis</i>	176	0	39	0
<i>Hydropsyche</i> sp.	6	0	96	6
Tanypodinae Gen. sp.	381	9	5.136	17.998
Chironomini Gen. sp.	429	323	15.195	7.131
Tanytarsini Gen. sp.	1.197	105	16.776	4.817
Orthocladiinae Gen. sp.	1.152	967	15.900	2.998
<i>Corynoneura</i> sp.	2.704	0	1.908	119
Prodiamesinae Gen. sp.	16	11	0	404

5.2 Besatzdichten

Die Berechnung der Besatzdichten bezieht sich auf eine Fläche von 120 m² pro Mesokosmos. Die Größe der nicht mit Sediment (wenig bis kein Sand, keine Makrophyten, kein Laub etc.) ausgestatteten Flächen (unter der Brücke und vor der Pumpe) wurde mit < 30% der Gesamtfläche geschätzt. In Tab. 5.4 wird auf Basis der bereits dargestellten Hochrechnung deutlich, dass mit einem Besatz der Mesokosmen von insgesamt rd. 5-111 Ind./225 cm² je Substrattyp ausgegangen werden kann. Im Vergleich zum Referenzgewässer, d.h. den nach AQEM ermittelten Besiedlungsdichten je Substrattyp, war der Besatz der Mesokosmen relativ niedrig. Mit Hilfe der BA wurden 0,5 bis 12 % der im Freiland ermittelten Besiedlungsdichten erreicht (Tab. 5.4). Bei *Elodea*-BA wurden für Chironomidae bis zu 20% der natürlichen Besatzdichten erreicht.

Diese Bilanz zeigt, dass die in die Mesokosmen eingebrachten Tiere sich dort offenbar stark verteilten. Sie führt zu dem Schluss, dass ein weit höherer Material- und Zeitaufwand notwendig ist, sofern in den Mesokosmen Besiedlungsdichten erreicht werden sollen, die denen im Referenzgewässer entsprechen. Je nach Substrattyp und Tiergruppe müssten 5-200% mehr BA in die Mesokosmen eingebracht werden.

Tab. 5.4: Hochrechnung der Individuendichten (auf 225 cm²), die mit den einzelnen Substrattypen je Mesokosmos etabliert wurden und Vergleich mit im Referenzgewässer ermittelten Dichten (AQEM-Beprobung, vgl. Kapitel 3)

	Laub-BA 2004	Sand-BA 2005	<i>Elodea</i> -BA 2005	Laub-BA 2006	Mittelwert im Referenzgewässer (AQEM)
Berechnungsgrundlage (Parallelen)	n = 28	n = 8	n = 35	n = 33	n = 33
	Individuen auf 225 cm²				
Gastropoda	1,17	0,10	2,89	1,39	45,71
Bivalvia	0,19	0,30	0,09	0,27	69,22
Oligochaeta	0,74	1,72	2,06	2,23	242,33
Hirudinea	0,01	0,01	0,04	0,08	0,97
Acari	0,04	0,07	0,64	2,17	3,45
Amphipoda	4,22	0,11	7,53	12,88	95,68
Isopoda	0,11	0,01	0,14	1,07	2,38
Ephemeroptera	0,10	0,02	0,40	1,09	3,79
Odonata	0,13	0,00	0,82	0,39	3,55
Plecoptera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Megaloptera	0,00	0,00	0,01	0,00	0,74
Heteroptera	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Coleoptera	0,13	0,00	0,25	1,10	0,66
Trichoptera	0,43	0,05	1,05	3,40	12,72
Diptera L	0,00	0,00	0,04	0,04	0,32
Diptera P	0,01	0,00	0,36	0,11	2,75
Tabanidae	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12
Ceratopogonidae	0,02	0,05	0,06	0,17	3,74
Chironomidae	8,81	2,40	94,04	62,76	459,12
Ptychopteridae	0,00	0,00	0,00	0,01	0,39
Simuliidae L	0,49	0,00	1,28	1,45	3,72
Simuliidae P	0,00	0,00	0,16	0,12	0,00
Individuenzahl gesamt	16,61	4,88	111,85	90,76	951,37
Individuendichte im Verhältnis zur Besiedlung im Referenzge- wässer	1,75%	0,51%	11,76%	9,54%	100%

5.3 Bilanzierung des Aufwands

Nachfolgend wird auf den in Kapitel 3 bilanzierten Aufwand für die Verarbeitung und Exposition der BA Bezug genommen. In Tab. 5.5 wird deutlich, dass mit einem zeitlichen Aufwand von 7,5 Tagen pro Person (zuzüglich einer Expositionszeit von 21 Tagen), 100 Laub-BA und damit 66.000 Individuen in einen Mesokosmos eingebracht werden können. Mit Hilfe von 100 Elodea-BA und einem Arbeitsaufwand von 4,1 Tagen pro Person (exkl. der dazwischen liegenden Expositionszeit von 21 Tagen) können sogar 197.000 Individuen (meistenteils Chironomidae) in einen Mesokosmos übertragen werden (Tab. 5.5).

Tab. 5.5: Arbeitsschritte und Aufwand (Tag/Person = d/p) für den Besatz mit einer hochgerechneten Individuenzahl auf unterschiedlichen BA-Typen (aufgeteilte Tabelle)

BA-Anzahl pro Mesokosmos	Beschaffung und Konditionierung des Materials		Verarbeitung zu Exponaten	
	Arbeitsschritte	Aufwand d/p	Arbeitsschritte	Aufwand d/p
Laub 100 BA	Äste holen	1	Netze knüpfen, beschriften	1,5
	Blätter zupfen, befeuchten, einfrieren (vor Verarbeitung auftauen und trocknen)	2,5	Laub abwägen und abfüllen	0,5
Elodea 100 BA	im Bach pflücken, spülen, Hand-Trockenschleudern	0,1	Netze knüpfen, beschriften	1,5
			Elodea abwägen und abfüllen	0,5
Sand 50 BA			Teller beschriften	0,2
			Sand abfüllen	0,5

BA-Anzahl pro Mesokosmos	Einsatz im Referenzgewässer	Entnahme und Überführung in Mesokosmen	Summe/ Gesamt	Besatz: Individuenzahl pro Mesokosmos
	Aufwand d/p	Aufwand d/p	Aufwand d/p	
Laub 100 BA	1	1	7,5	66.000
Elodea 100 BA	1	1	4,1	197.000
Sand 50 BA	1	1	2,7	32.000

6 Kontrolle der Besiedlung und Annäherung an das Referenzgewässer durch aktive Habitatgestaltung

Da die weitere Entwicklung der in den Fließgewässer-Mesokosmen angesiedelten Fauna nicht durch Direktbeprobungen erfasst werden konnte (vgl. Kap 3), wurden erneut indirekte Verfahren entwickelt. Ziel war es, Aussagen über die Besiedlungsverhältnisse in den Mesokosmen nach mehreren Wochen („mittelfristige Besiedlungssituation“) und Monaten („langfristige Besiedlung“) zu gewinnen.

Die gedankliche Grundlage der hier entwickelten Methode der aktiven Habitatgestaltung resultiert aus Erkenntnissen der fließgewässerökologischen Grundlagenforschung. Sie beziehen sich auf Drift sowie auf benthostypischen Besiedlungs- und Migrationsaktivitäten in Verbindung mit Erfahrungen über die substratspezifische Ansiedlung der Fauna.

Die Migrations- resp. Driftaktivität der Fließgewässerfauna ist im Freiland bereits dadurch erkennbar, dass unbesiedelte Substrate oder Flächen der Stromsohle in relativ kurzer Zeit neu besiedelt werden (Matthaei et al. 1996, Matthaei & Townsend, 2000; Matthaei et al. 2003). Eine wesentliche Rolle dabei spielt der Prozess der Drift. Hinzu kommt die artspezifische Migrationsaktivität. Nur wenige Arten sind dauerhaft bzw. in allen Lebensphasen sessil. Die Migration der nicht sessilen Taxa kann stromaufwärts, aber auch quer zur Strömung gerichtet oder (seltener) stromabwärts sein (z.B. Elser 2001).

6.1 Mittelfristige Besiedlungssituation

In gewisser Weise vergleichbar den in der terrestrischen Ökologie eingesetzten Bodenfallen, erfassen die hier verwendeten BA eine Aktivitätsdichte. Da die verschiedenen Makroinvertebraten unterschiedlich stark driften, stellen die durch BA erfassten Daten ein relatives Maß dar. Dieses liefert in erster Linie Aussagen über die art- und ggf. stadienspezifische Drift- bzw. Migrationsaktivität. Darüber hinaus könnten dort Eier oder Junglarven auftreten, die als Anzeichen erfolgreicher Reproduktion direkt abgelegt wurden. Ein Rückschluss auf absolute Dichten aller Gruppen im System ist hingegen kaum möglich. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Driftrate der Tiere, und damit die erfasste Drift- und Migrationsdichte, proportional zur Abundanz der Organismen ist. Bei gleicher Ausstattung der Mesokosmen ermöglicht dies z.B. einen Vergleich des Besiedlungserfolges in den einzelnen Mesokosmen.

In einer Zeitreihe lassen Besiedlungsunterschiede gleicher Substratangebote Rückschlüsse auf Änderungen der Drift- und Migrationsaktivität (und ggf. der Eiablage) zu. Sie werden als indirektes Maß der Änderungen der Populationsdichte im System gewertet. Die hier gewählte Vorgehensweise erlaubt allerdings keine Berechnung der Erfolgsquote. Auf Basis der oben vorgestellten Hochrechnung muss davon ausgegangen werden, dass die Besiedlungs- und deshalb auch die dazu proportionale Driftdichte in den Mesokosmen weitaus niedriger ist, als in den Referenzgewässern.

6.1.1 Methode

Zur indirekten Erfassung der Drift wurden „baugleiche“, d.h. hinsichtlich Material, Menge und Behandlung den zur Ansiedlung genutzten BA entsprechende, unbesiedelte Substratangebote (Laub, Sand, *Elodea*) als Driftfangstrukturen (Abb. 6.1) verwendet (= MBA). Für die Laub- und *Elodea*-MBA wurden gleiche Mengen an Biomasse verwendet wie für die BA. Mit der Exposition der Sand-Substrate sollten zugleich Untersuchungen zur Dispersion im Sand lebender Taxa verbunden werden. Diese Versuche setzten die Verwendung vieler kleiner Exponate voraus. Die Sand-MBA wiesen deshalb mit 57 cm² eine kleinere Oberfläche auf als die Sand-BA (214 cm²).

Die MBA wurden nach einer substratspezifischen Etablierungsphase der Fauna (Tab. 6.1) in die Mesokosmen eingesetzt. Es wurde erwartet, dass auch in den Mesokosmen stets ein Teil der Fauna mobil, also drift- bzw. migrationsaktiv sein würde. Entsprechend der jeweiligen Substratspezifität des Besatzes sollte sich dadurch ein repräsentativer Anteil der Mesokosmenfauna in den unbesiedelten Exponaten ansiedeln und somit erfasst werden.

Die hier gewählten organischen Substrattypen treten im Freiland zu unterschiedlichen Zeiträumen in unterschiedlichen Anteilen auf (Laub im Winterhalbjahr, *Elodea* im Sommer). Dem entsprechend wurde im Rahmen dieses Projekts Laub ausschließlich im Winter beprobt und Laub-BA auch nur im Winter in die Mesokosmen eingebracht. *Elodea* hingegen wurde im Sommer (August 2005) und Sand im Frühjahr (April 2005) exponiert (Abb. 6.2). Aufgrund dieser phänologischen Differenzierung sind hier die Besiedlungsergebnisse für verschiedene Substrattypen nicht direkt miteinander vergleichbar.

Tab. 6.1: Zeitphasen des Besatzes und der Kontrollversuche

Substrattyp	Besatzzeitraum mit BA	Etablierungsphase der Bachfauna	Kontrolle des mittelfristigen Besatzerfolges (Expositionsduer der MBA)
Laub	3 Wochen; 1 Exp.-Serie à 140 BA	7 Wochen	3 Wochen
<i>Elodea</i>	10 Wochen; 3 Exp.-Serie à 236 BA	3 Wochen	3 Wochen
Sand	4 Wochen; 1 Exp.-Serie à 16 BA	keine	3 Wochen

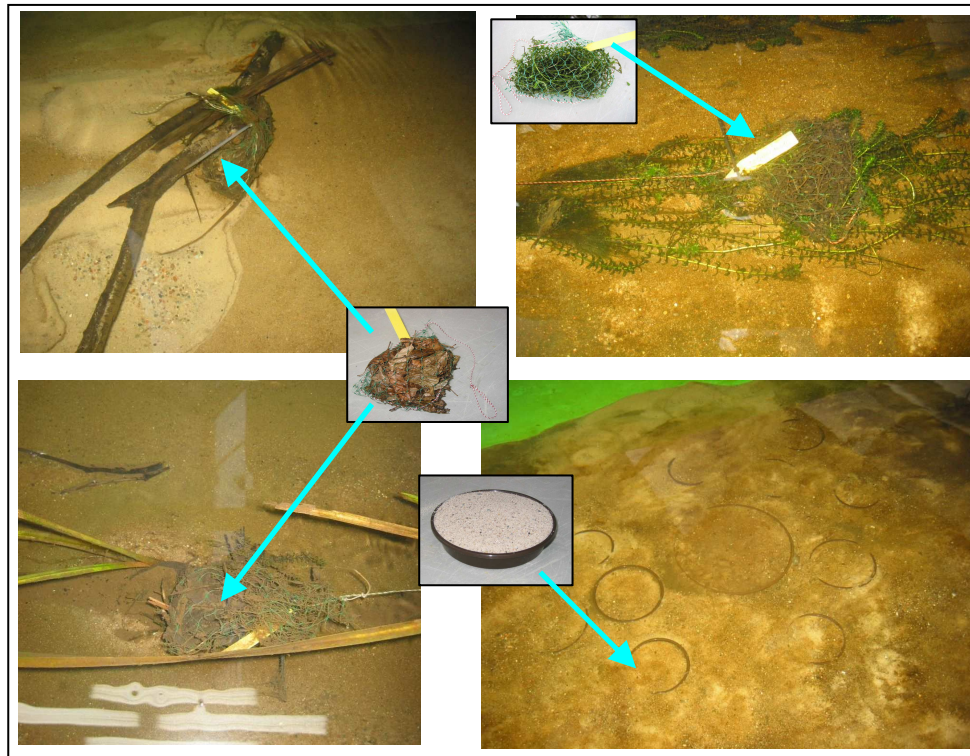


Abb. 6.1: Mittelfristige Besiedlungskontrolle: Einsatz frischer unbesiedelter MBA in die Mesokosmen

Nach einer Expositionszeit von 3 Wochen wurden die MBA mit der gleichen Technik aus den Mesokosmen entnommen wie die BA aus dem Referenzgewässer. Sie wurden in 80%igem Ethanol fixiert und später bei 6,5 bis 10facher Vergrößerung ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Kontrollversuche lieferten Aussagen über die Besiedlungssituation in einem Zeitraum von 6 Wochen nach Beginn der Etablierung von *Elodea*, 10 Wochen nach Etablierung von Laub und 3 Wochen nach Etablierung von Sand-BA. Die genannten Zeiträume umfassten die Etablierungsphase und die Expositionsdauer der MBA (Abb. 6.2 und Tab. 6.1). Bei der Bewertung der Resultate ist zu berücksichtigen, dass zum Zeitpunkt der jeweiligen Kontrolle (MBA, Abb. 6.2) unterschiedliche Mengen an zuvor eingebrachten BA in den Mesokosmen vorlagen (Kapitel 5).

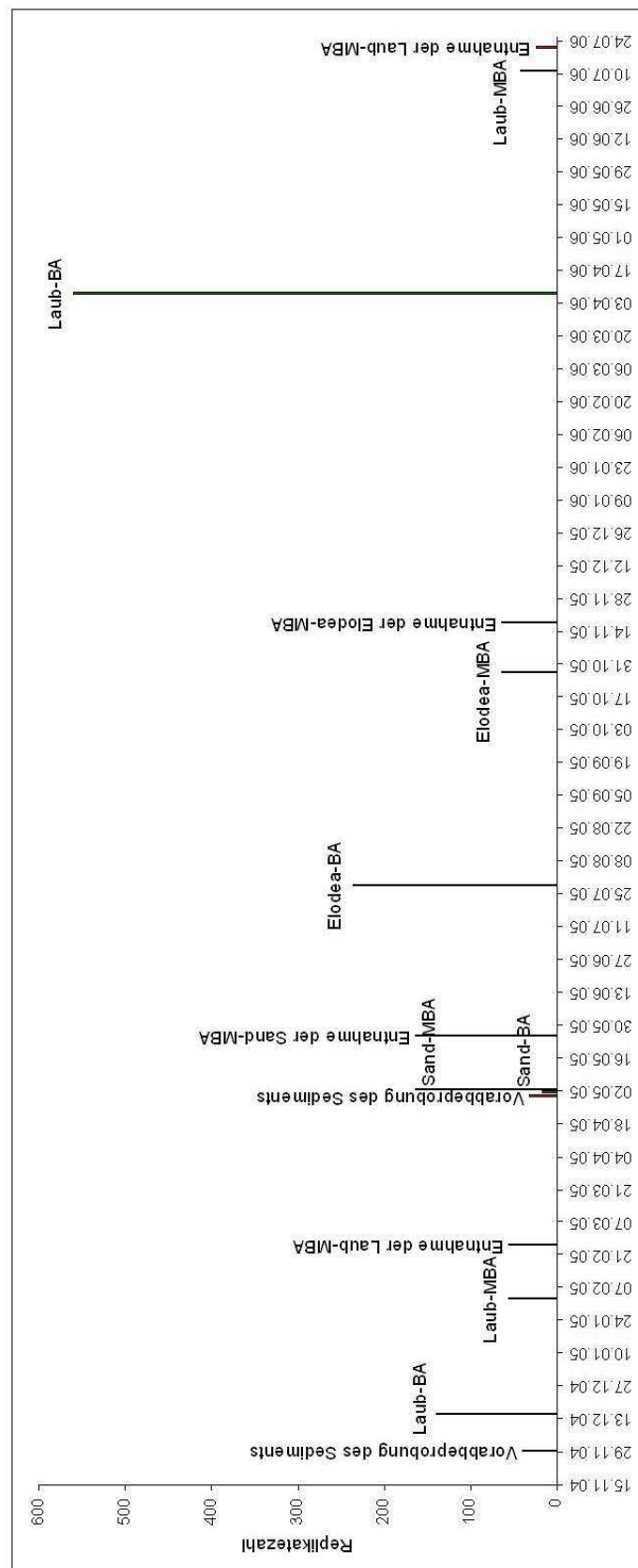


Abb. 6.2: Chronologische Abfolge der Besatz- und Kontrolltermine (Vorabbeprobungen, Besatz -BA, Kontrolle -MBA)

6.1.2 Ergebnisse

Besiedlung auf MBA nach 3, 6 und 10 Wochen

Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsgrößen (Frischgewicht (g) bzw. Fläche (cm²)) sind lediglich die organischen Substrate direkt miteinander vergleichbar. Ihr Vergleich zeigt, dass höchste Besiedlungsdichten auf den Laubsubstraten auftraten. Auch die Zahl der Großgruppen war auf beiden Substraten ähnlich hoch. Sand wies eine niedrigere Taxazahl und Dichte von rd. einem Individuum pro Quadratzentimeter auf (Tab. 6.2). Die Betrachtung auf Ebene der Taxa höherer Ordnung zeigt, dass zumindest mit den beiden organischen Substraten saisonal unabhängig vergleichbare Taxazahlen nachgewiesen werden können (Tab. 6.2). Die mit den jeweiligen Substrattypen erfasst Dichten der Taxa unterschieden sich hingegen stark. Beispielsweise wurden mit Laub knapp dreimal so viele Individuen nachgewiesen wie mit *Elodea*.

Größte Dichten einzelner Taxa wurden bei *Corynoneura* sp. festgestellt (Tab. 6.3). Auf Laub erreichte diese Chironomidae rd. 17 Ind./ g Frischgewicht. Von *Potamopyrgus antipodarum* abgesehen (*Elodea*: 2,11 Ind./g), traten alle weiteren Taxa auf allen Substrattypen in Dichten von rechnerisch <1 Ind. pro Gewichts- oder Flächeneinheit auf. Gastropoda und Acari siedelten offenbar zum Jahresende in höheren Dichten auf *Elodea*. Die größten Individuendichten der Oligochaeta und Chironomidae wurden hingegen zu Beginn des Jahres auf Laub nachgewiesen.

Tab. 6.2 ⁷ : Individuendichten auf MBA an unterschiedlichen Zeitpunkten bezogen auf 1 g Frischgewicht (Laub und *Elodea*) und 1 cm² (Sand)

	Laub-MBA	Sand-MBA	<i>Elodea</i> -MBA
Zeitpunkt nach Besatz	25.02.2005 10 Wochen	25.05.2005 3 Wochen	19.11.2005 6 Wochen
N	56	160	63
Gesamtindividuen (Mittelwert)	24,03	1,17	8,50
Taxazahlen	18	9	15
Gastropoda	0,83	0,09	4,05
Bivalvia	0,01	0,01	
Hirudinea	0,02		
Acari	0,12		3,16
Amphipoda	0,75	0,01	0,11
Isopoda	0,04		
Ephemeroptera			
Odonata	0,01		0,01
Plecoptera			
Megaloptera			
Heteroptera			
Coleoptera	0,03		
Trichoptera	0,18		0,10
Diptera			
Tabanidae			
Ceratopogonidae			
Chironomidae	16,45	0,77	0,16
Ptychopteridae			
Simuliidae	0,03		0,05

⁷ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

Tab. 6.3: Individuendichten der Gastropoda, Trichoptera und Chironomidae auf MBA an unterschiedlichen Zeitpunkten bezogen auf 1 g Frischgewicht (Laub und *Elodea*) und 1 cm² (Sand)

Zeitpunkt nach Besatz N	Laub-MBA 25.02.2005 10 Wochen 47	Sand-MBA 19.11.2005 6 Wochen 160	<i>Elodea</i> -MBA 25.05.2005 3 Wochen 49
Gastropoda indet.	0,12	0,09	0,55
Planorbidae Gen. sp.	0,02		0,01
Hydrobiidae Gen. sp.	0,16		
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	0,06		2,11
Lymnaeidae Gen. sp.	0,05		0,01
<i>Stagnicola</i> sp.	0,03		
<i>Radix balthica</i>	0,01		0,10
<i>Ferrissia wautieri</i>			
<i>Physella</i> sp.	0,16		0,09
Trichoptera indet.	0,03		0,02
Polycentropodidae Gen. sp.			
<i>Polycentropus</i> sp.	0,01		
<i>Neureclipsis bimaculata</i>			
<i>Plectrocnemia</i> sp.			
Psychomyiidae Gen. sp.			
Limnephilidae Gen. sp.	0,03		
Leptoceridae Gen. sp.			
<i>Oxyethira</i> sp.	0,10		0,07
<i>Agraylea</i> sp.	0,02		
<i>Orthotrichia</i> sp.			
<i>Hydropsyche</i> sp.			
Chironomidae indet.			
Tanypodinae Gen. sp.	0,04		
Chironomini Gen. sp.	0,01		0,02
Tanytarsini Gen. sp.	0,01		0,05
Orthoclaadiinae Gen. sp.			0,08
<i>Corynoneura</i> sp.	17,10	0,77	
Prodiamesinae Gen. sp.			

Vergleich der kurz- und mittelfristigen Besiedlungssituation

Eine Gegenüberstellung der Besiedlungsdichten der BA (nach sechs Tagen in den Mesokosmen, vgl. Kapitel 3.4.2) und der MBA (substratbezogen nach 3, 6 und 10 Wochen) gibt Hinweise darauf, dass nach Besatz der Mesokosmen qualitative und quantitative Veränderungen stattfanden. Während niedrigere Dichten auf MBA als auf den eingebrachten BA lediglich Ausdruck

der Dispersion in den Mesokosmen sein können, deuten extreme Anstiege der Dichten auf den MBA auf eine mögliche Vermehrung oder substratspezifische Konzentration unter den Bedingungen der Mesokosmen hin. Von 17 ThO (Taxa höherer Ordnung), die mit den BA in die Mesokosmen eingebracht wurden, konnte in der Stichprobenerhebung nach 3-6 Wochen bei 15 ThO ein Ansiedlungserfolg festgestellt werden (Tab. 6.4). Keine Ansiedlungsnachweise lagen bei Megaloptera und Heteroptera vor. Beide Gruppen waren bereits auf den BA selten aufgetreten und offenbar nur in einzelnen Exemplaren resp. in relativ geringer Dichte in die Mesokosmen eingebracht worden.

Tab. 6.4⁸: Substrat- und taxonspezifische quantitative Darstellung der Mesokosmenbesiedlung nach 3-10 Wochen: Prozentuales Verhältnis von Besatz (=100%) und Stichprobenerhebung mit Hilfe der MBA

	relative Besiedlung der		
	Laub-MBA (25.02.2005)	Sand-MBA (25.05.2005)	Elodea-MBA (19.11.2005)
Taxa	Besatzerfolg nach 10 Wochen	Besatzerfolg nach 3 Wochen	Besatzerfolg nach 6 Wochen
Gastropoda	36,8%	137,3%	219,0%
Bivalvia	2,0%	3,2%	0,9%
Hirudinea	90,0%	4,3%	15,2%
Acari	139,4%	4,0%	915,1%
Amphipoda	9,2%	16,9%	2,6%
Isopoda	19,0%	0,0%	0,5%
Ephemeroptera	1,8%	0,0%	0,0%
Odonata	2,2%		1,8%
Megaloptera	0,0%		0,0%
Heteroptera	0,0%	0,0%	0,0%
Coleoptera	10,6%	0,0%	0,0%
Trichoptera	22,2%	10,5%	18,0%
Diptera	21,4%		0,5%
Ceratopogonidae	2,9%	0,4%	1,4%
Chironomidae	97,0%	51,6%	0,3%
Simuliidae	3,2%		5,4%
Erläuterungen	Taxa deren Dichten sich in den Mesokosmen erhöht haben		

⁸ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

Weitere 3 der 17 ThO wurden in den Besiedlungskontrollversuchen auf MBA in weit höherer Dichte erfasst, als ursprünglich auf den Besatzsubstraten (BA) ermittelt wurden. Die Gastropoda und Acari wiesen auf bestimmten MBA weitaus höhere Dichten auf als auf den BA (Tab. 6.4). Dies betraf Gastropoda auf Sand und *Elodea* (>130-200%) sowie Acari auf *Elodea* (> 900%) und auf Laub (rd. 140%). Bei diesen Gruppen ist zu berücksichtigen, dass sie sehr wahrscheinlich nicht nur mit Hilfe der BA in die Mesokosmen eingebracht wurden. Die Gastropoda entwickelten sich offenbar bereits im alten Restsediment der Mesokosmen und sehr wahrscheinlich wurden beide Gruppen zusätzlich mit Pflanzmaterial eingeschleppt.

Hirudinea und Chironomidae wurden zumindest auf Laub in annähernd denselben Dichten erfasst, wie diese auch auf den Laub-BA vorlagen (90% bzw. 97%). Beide Gruppen schienen relativ substratspezifisch. Von den Hirudinea wurde auf *Elodea*- und auf Sand-MBA lediglich rd. 4-25% des Besatzes festgestellt (Tab. 6.4). Bei Chironomidae wurde auf Sand-MBA rd. 52%, auf *Elodea*-MBA hingegen weniger als 1% der Eingangsgröße erfasst.

Innerhalb der Gastropoda konnte für Planorbidae auf Laub und für *Potamopyrgus antipodarum* auf *Elodea* ein hoher Ansiedlungserfolg festgestellt werden (78-97%). Für *Ferrissia wautieri* wurden auf Laub- und *Elodea*-MBA Ansiedlungserfolge <5% ermittelt (Tab. 6.5). Obwohl Lymnaeidae, Stagnicola sp., *Radix balthica* und *Physella* sp. (Tab. 6.5) nicht mit Exponaten aktiv in die Mesokosmen eingebracht wurden, entwickelten sie sich dort gut. Auch bei diesen Gruppen wird von Einschleppung mit Sediment oder Makrophyten ausgegangen. Entsprechend kann für sie kein prozentuales Verhältnis zum Besatz angegeben werden.

Innerhalb der Trichoptera wurde nur für *Oxyethira flavicornis* ein Dichteanstieg auf den *Elodea*-MBA ermittelt (Tab. 6.5). Diese Art scheint sich in den Mesokosmen und insbesondere auf *Elodea* erfolgreich zu entwickeln. Zudem war regelmäßig zu beobachten, dass sich diese Zellstecher auch zahlreich an fädigen Grünalgen und an den Wandungen der Mesokosmen ansiedelten. Der Entwicklungserfolg konnte durch Imaginalschlupf belegt werden. Alle weiteren Trichoptera wurden auf den jeweiligen Substrattypen nach 6-10 Wochen in geringerer Dichte angetroffen (Tab. 6.5). *Polycentropus* sp. und die Familien der Limnephilidae und Hydropsychidae wiesen daneben auf Laub-MBA hohe Wiederfangquoten auf (rd. 14-21%). Die Menge von Netzfunden der Polycentropodidae an den Wandungen der Mesokosmen belegte deren zahlreiche Präsenz. Abgesehen von *Oxyethira flavicornis* lag die Wiederfangquote der Trichoptera mit Hilfe der *Elodea*-BA maximal bei rd. 4% (Tab. 6.5). Verschiedene, durch *Elodea* eingebrachte Taxa konnten auf diesem Substrat nicht wieder nachgewiesen werden.

Chironomidae wurden mit allen Substrattypen in die Mesokosmen eingebracht. Die auf Sand eingebrachten Taxa der Chironomidae wurden dort nach 3 Wochen nicht mehr nachgewiesen (Tab. 6.5). Jedoch wurde hier die vorher mit den Laub-BA eingebrachte Gattung *Corynoneura* sp. gefunden. Innerhalb der Chironomidae trat sie quantitativ besonders hervor. Ihre Dichten lagen auf Laub-BA bei >200% der mit diesem Substrattyp erzielten Besatzzahl. Bei allen anderen Taxa der Chironomidae wurden auch auf Laub und *Elodea* niedrige Ansiedlungserfolge festgestellt (Tab. 6.5).

Tab. 6.5: Substrat- und taxonspezifische quantitative Darstellung der Mesokosmenbesiedlung für Gastropoda, Trichoptera und Chironomidae nach 3-10 Wochen: Prozentuales Verhältnis von Besatz (=100%) und Stich-probenerhebung mit Hilfe der MBA

	relative Besiedlung der		
	Laub-MBA (25.02.2005)	Sand-MBA (25.05.2005)	Elodea-MBA (19.11.2005)
	Besatzerfolg nach 10 Wochen	Besatzerfolg nach 3 Wochen	Besatzerfolg nach 6 Wochen
Gastropoda		nicht bestimmt	
Planorbidae Gen. sp.	78,0%		
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	8,1%		97,2%
Lymnaeidae Gen. sp.			
<i>Stagnicola</i> sp.			
<i>Radix balthica</i>			
<i>Ferrissia wautieri</i>	1,2%		4,5%
<i>Physella</i> sp.			
Trichoptera		nicht bestimmt	
Polycentropodidae Gen. sp.			0,3%
<i>Polycentropus</i> sp.	13,5%		2,6%
<i>Neureclipsis bimaculata</i>			0,0%
<i>Plectrocnemia</i> sp.	0,6%		0,0%
Psychomyiidae Gen. sp.			
Limnephilidae Gen. sp.	15,5%		0,0%
Leptoceridae Gen. sp.	0,0%		0,0%
<i>Oxyethira flavicornis</i>	19,0%		150,7%
<i>Agraylea</i> sp.			
<i>Hydropsyche</i> sp.	21,3%		3,8%
Chironomidae			
Tanypodinae Gen. sp.	3,8%	0,0%	0,1%
Chironomini Gen. sp.	0,7%	0,0%	0,1%
Tanytarsini Gen. sp.	0,3%	0,0%	0,3%
Orthocladiinae Gen. sp.	0,1%	0,0%	0,4%
<i>Corynoneura</i> sp.	202,3%		0,1%
Prodiamesinae Gen. sp.	0,0%	0,0%	
Erläuterungen	Taxa die nicht mit Hilfe des markierten Substrats eingesetzt wurden (Besatz = 0), aber in den Mesokosmen mit diesem Substrat nachgewiesen wurden (genauer Wert nicht errechenbar da Besatz/Bezug = 0)		
	Taxa deren Dichten sich in den Mesokosmen erhöht haben		

Die Individuenzahlen der Taxa insgesamt waren auf allen drei MBA-Substraten deutlich niedriger als auf dem jeweiligen BA (Abb. 6.3). Der Unterschied in der Besiedlung war auf *Elodea* am größten. Mit Hilfe der *Elodea*-BA (30 g Frischgewicht) wurden >1.800 Individuen je Exponat in die Mesokosmen eingebracht, weniger als 250 Individuen wurden im Durchschnitt je MBA erfasst. Die Anzahl der mit den anderen Substraten eingebrachten Tiere betrug zwar nur rd. 1/3 der *Elodea*-Besiedlung (Abb. 6.3), die Wiederfangquoten waren auf den MBA aber vergleichsweise hoch. Sand-MBA (auf 214 cm² Fläche hochgerechnet) wiesen ähnlich niedrige Individuenzahlen auf, wie *Elodea*-BA. Auf Laub-MBA (20 g Frischgewicht) lag die Gesamtzahl der Besiedler höher als auf *Elodea*-MBA. Im Detail betrachtet ergeben sich also in den Mesokosmen vollständig andere Besiedlungsverhältnisse.

Auf Laub, auffallender aber noch auf *Elodea*, unterschied sich die taxonomische Zusammensetzung der entsprechenden BA und MBA erheblich. Abb. 6.3 zeigt, dass auf *Elodea*-MBA signifikant niedrigere Dichten der Chironomidae und Amphipoda vorlagen (Mann-Whitney, alpha = 0,05). Die Veränderungen auf Laub betrafen in erster Linie die Amphipoda. Deren Dichte war auf den MBA signifikant (Mann-Whitney, alpha = 0,05) niedriger. Auf Sand-MBA lag die Besiedlungsdichte insgesamt zwar bei ca. 1/3 der Besatzdichte, grundsätzliche Änderungen der taxonomischen Zusammensetzung traten allerdings nicht auf.

Die taxonomische Zusammensetzung innerhalb der auf Besatzsubstraten (BA) siedelnden Chironomidae unterschied sich quantitativ erheblich. Während Laub- und *Elodea*-BA aber zumindest eine ähnliche taxonomische Zusammensetzung aufwiesen, fehlten auf den Sand-BA die Gruppe der räuberischen Tanypodinae und die Gattung *Corynoneura* sp. fast völlig (Abb. 6.4). Die Besiedlungssituation in den Mesokosmen (Mittelwerte der MBA) wich von der Ausgangssituation sehr weit ab. *Corynoneura* sp. schien die einzige Gattung, die in den HR sowohl auf Laub als auch auf Sand erfolgreich siedelte. Allerdings wurde sie im November 2005 nicht mehr nachgewiesen (Abb. 6.4). Dies ist auf die zwischenzeitliche Emergenz zurück zu führen. Alle weiteren Chironomiden-Arten traten auf den Laub-MBA lediglich vereinzelt auf. Orthocladiinae und Tanypodinae besiedelten *Elodea*-MBA in etwas höheren Anteilen aber ebenfalls in geringen Dichten.

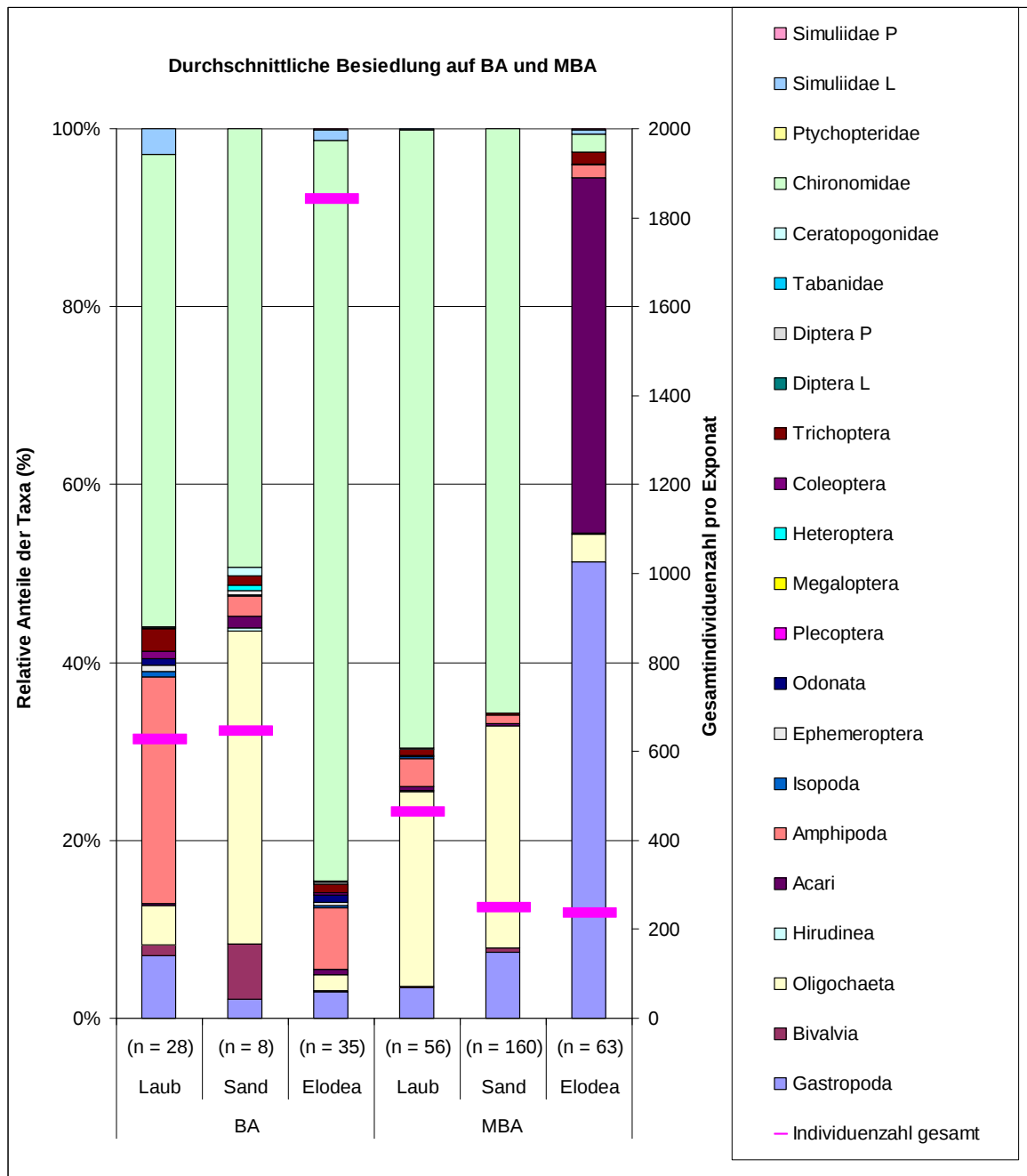


Abb. 6.3 ⁹: Durchschnittliche Besiedlung auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, Elodea → August - November 2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, Elodea = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

⁹ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

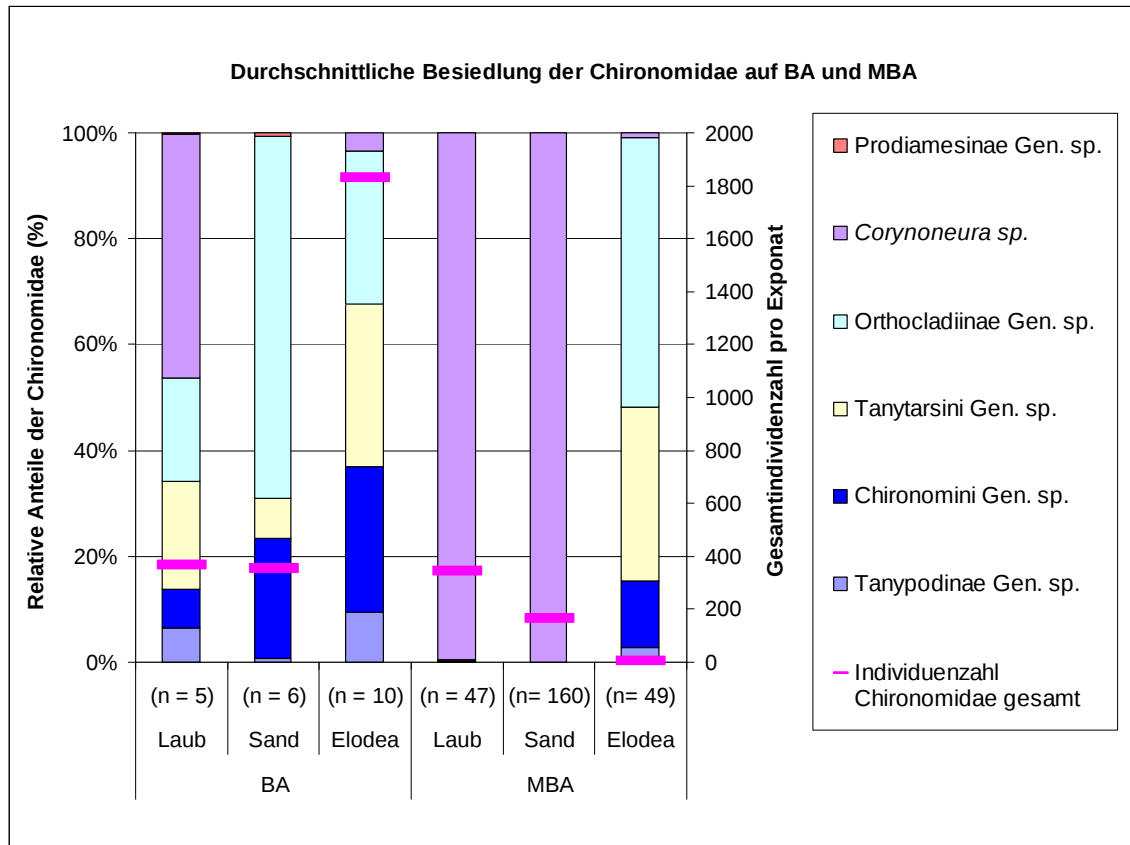


Abb. 6.4: Durchschnittliche Besiedlung der Chironomidae auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, *Elodea* → August - November 2005): Relative Anteile der Chi-ronomidae und mittlere Gesamtindivuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

Mit den BA-Substraten wurden insgesamt 9 Taxa der Trichoptera in die Mesokosmen eingebracht. Die Besiedlung der Trichopteren wies substratspezifische Unterschiede auf (Abb. 6.5). Mit Hilfe der Sand-BA erfolgte ein geringer Besatz von durchschnittlich <10 Individuen pro Exponat und lediglich 3 Taxa (Trichoptera indet., Limnephilidae indet. und Leptoceridae indet.). Mit *Elodea* und Laub wurden 9 bzw. 7 Taxa eingebracht (Abb. 6.5). Höchste Anteile hatten daran auf *Elodea*-BA die Polycentropodidae, auf Laub-BA die Art *Oxyethira flavicornis*. Die Besiedlungsdichten auf den MBA waren erheblich niedriger und unterschieden sich z.T. in der taxonomischen Zusammensetzung. In den Mesokosmen hatte *Oxyethira flavicornis* sowohl auf Laub als auch auf *Elodea*-MBA die höchsten Anteile, alle anderen Taxa traten insbesondere auf *Elodea*-MBA deutlich zurück (Abb. 6.5). Mit *Agraylea* sp. trat in den Mesokosmen eine Art auf, die auf den Besatzsubstraten nicht nachgewiesen worden war.

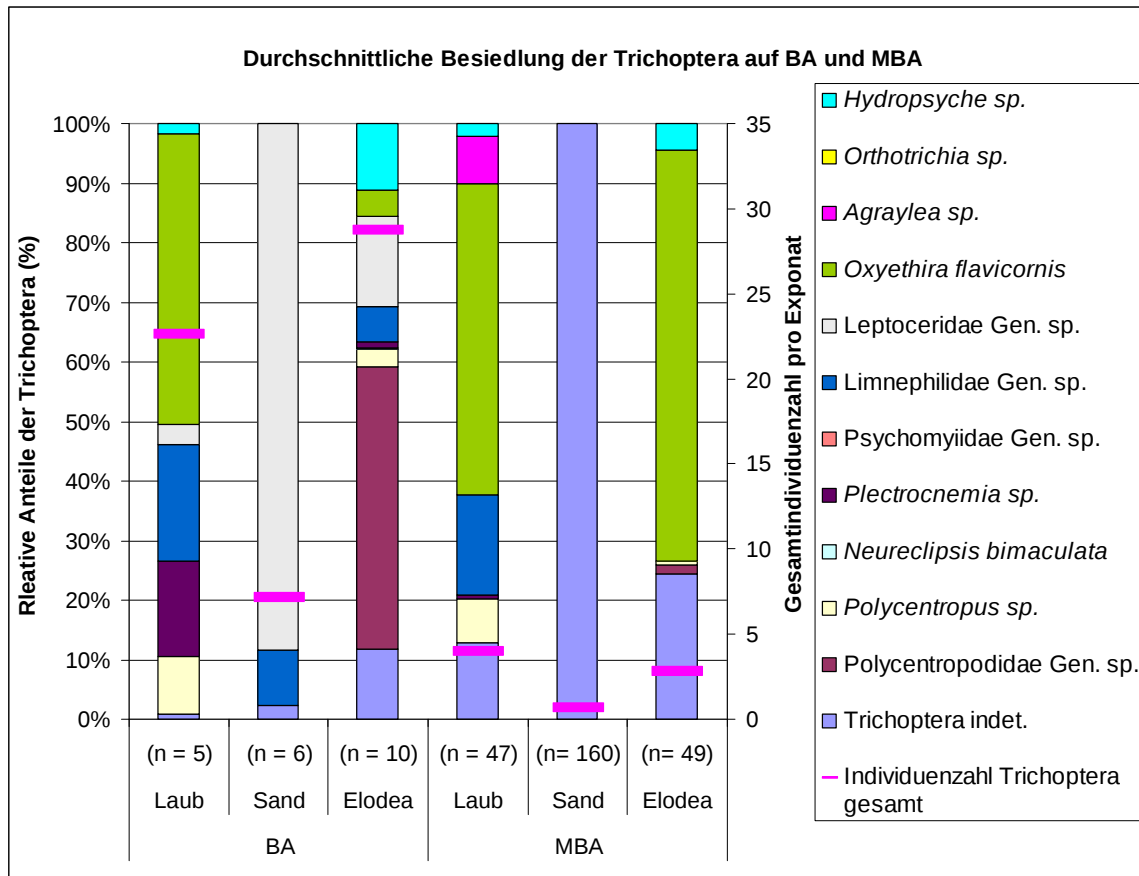


Abb. 6.5: Durchschnittliche Besiedlung der Trichoptera auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, *Elodea* → August - November 2005): Relative Anteile der Trichoptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

Mit Hilfe der BA wurden insgesamt 3 Taxa der Gastropoda in die Mesokosmen eingebracht (Abb. 6.6). Mit 85 bis 100% war hier *Potamopyrgus antipodarum* dominant. Mit den Laub-BA wurden zudem Lymnaeidae und Planorbidae etabliert. Bei der ersten Beprobung mit Laub-MBA zeigte sich jedoch ein sehr heterogenes Bild (Abb. 6.6). Die Hydrobiidae bzw. *Potamopyrgus antipodarum* hatten lediglich 35% der Anteile. Mit Anteilen von >35% und 5-10% traten zudem *Physella* sp. und *Radix balthica* auf, die vermutlich schon vorher in den Mesokosmen etabliert waren. Bei der späteren Stichbeprobung mit *Elodea*-MBA war *Potamopyrgus antipodarum* dann dominant (70%, Abb. 6.6).

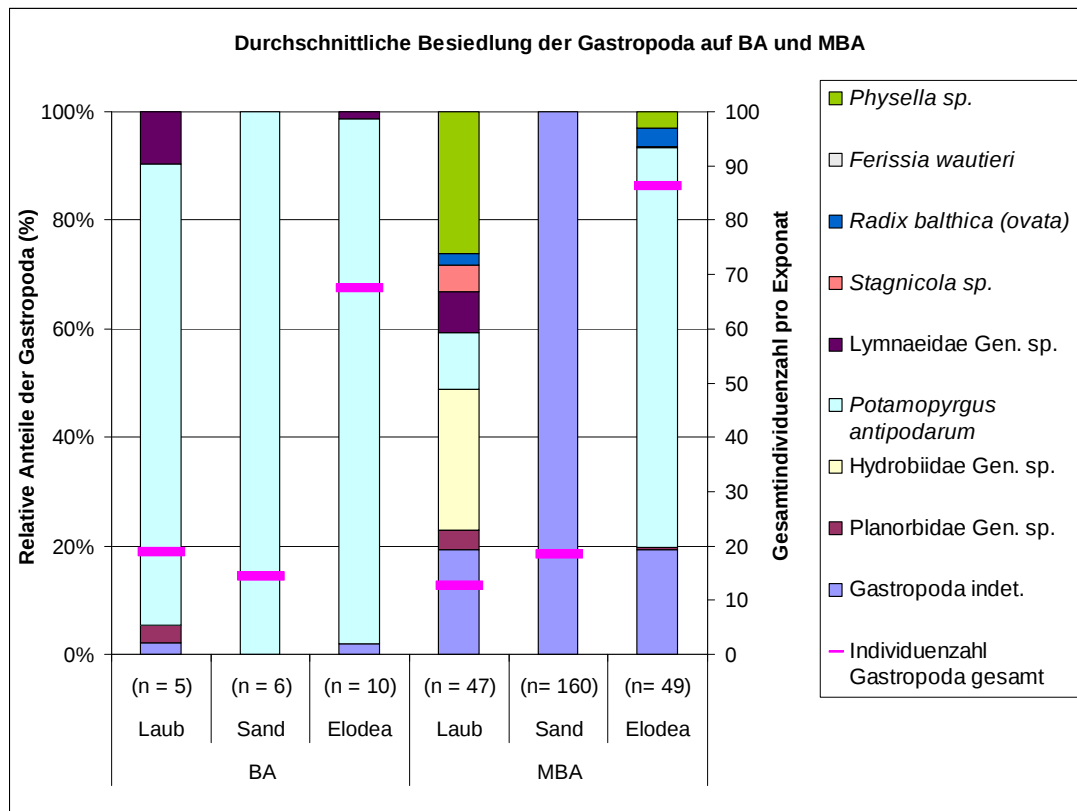


Abb. 6.6: Durchschnittliche Besiedlung der Gastropoda auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, Elodea → August - November 2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, Elodea = 30 g, Oberfläche Sand = 214 cm²)

Die Differenzierung der Ernährungstypen zeigt, dass mit jedem der drei Substrattypen (BA) alle wesentlichen Ernährungstypen unter den Makroinvertebraten in die Mesokosmen eingebracht wurden (Abb. 6.7). Höchste Anteile hatten auf allen BA-Typen die Sedimentfresser (rd. 20-40%) und die Räuber (15-25%). Lediglich Zellstecher fehlten auf den Sand-BA. Zerkleinerer, Weidegänger und Filtrierer hatten Anteile zwischen 10% und knapp 20%. Die Stichprobenerhebungen (MBA-Proben) zur Erfassung der Etablierung dieser Faunenelemente (Ansiedlungserfolg) zeigten, dass alle Ernährungstypen auch nach 3-10 Wochen in den Mesokosmen nachgewiesen werden konnten.

Die Zellstecher fehlten auch auf den Sand-MBA, hatten jedoch auf Laub und Elodea größere Anteile erreicht (Abb. 6.7). Im Vergleich zum Besatz (BA) verschoben sich die relativen Anteile der Ernährungspräferenzen zugunsten der Weidegänger. Ihr Anteil stieg auf rd. 30-40%. Die Rückgänge bei den anderen Ernährungstypen verteilten sich relativ gleichmäßig.

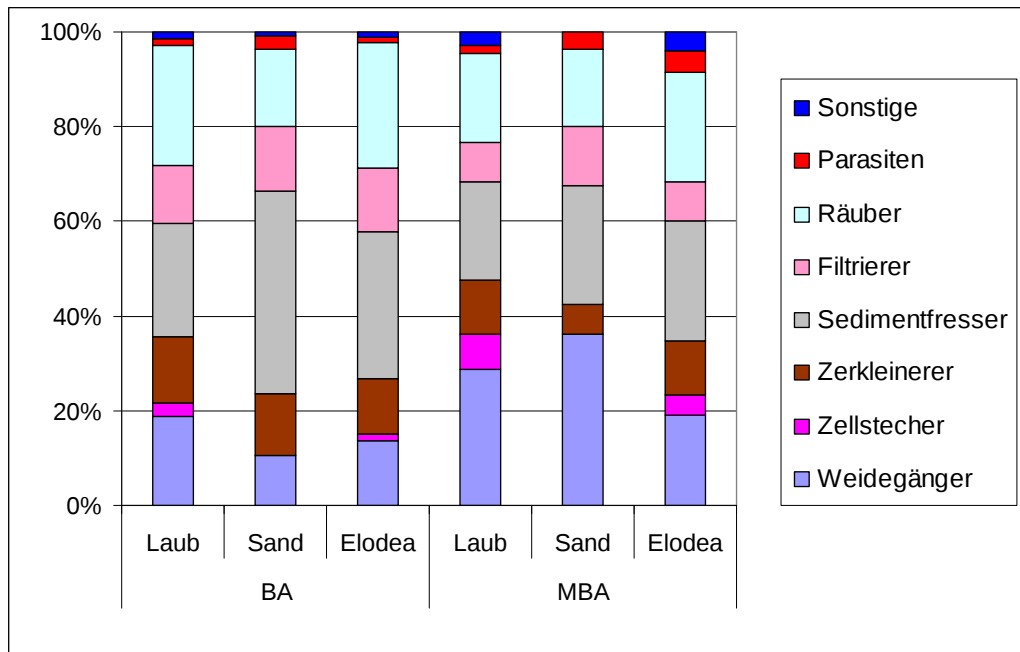


Abb. 6.7: Relative Anteile der Ernährungstypen auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, *Elodea* → August - November 2005)

Auf allen drei Substrattypen, die in die Mesokosmen eingebracht wurden (BA), waren grundsätzlich Pelal- bis Lithal- und POM-Besiedler (Abb. 6.8) vertreten. Die Einstufung als Lithalbesiedler ist allerdings für die Gewässer des Tieflandes im Sinne „Hartsubstratbesiedler“ zu verstehen. Geringste Anteile an der Besiedlung der Substratangebote hatten die Akal- und POM-Präferenden sowie die der Kategorie „Sonstige“ subsummierten Taxa (Abb. 6.8). Während auf den Sandsubstraten die wesentlichen Präferenden in etwa gleichen Anteilen zwischen 17 und rd. 25 % vertreten waren, wiesen die unterschiedlichen relativen Anteile der einzelnen Präferenden auf Laub und *Elodea* auf eine gewisse Substratspezifität hin. Auf Laub hatten Phytal- und Hartsubstratpräferenden höchste Anteile (>35% und 30%), auf *Elodea* hatten diese jeweils rd. 30% Anteil (Abb. 6.8). Psammal- und Pelalpräferenden stellten an der Besiedlung dieser beiden organischen Substratangebote etwa gleiche Anteile (10 % bzw. 20%). Nach der Etablierungsdauer von 3-10 Wochen waren zu den jeweiligen Zeiträumen in den Mesokosmen nach wie vor alle Substratpräferenden auf den Substratangeboten (MBA) vertreten. Ihre relativen Anteile unterschieden sich auf den MBA graduell von der Ausgangssituation. Auf *Elodea* und Laub war der Anteil der Phytal- und Psammalbesiedler leicht angestiegen. Auf Sand gingen die Anteile der Hartsubstrat- und Phytalbesiedler zugunsten der Pelalbesiedler zurück (Abb. 6.8). Zudem war der Anteil der Akalbesiedler auf Laub- und Sand-MBA größer, als auf den jeweiligen BA. Alle skizzierten Unterschiede zwischen den verschiedenen Substrattypen stehen unter den Vorbehalten hier nicht bewertbarer Einflüsse durch die unterschiedlichen saisonalen und phänologischen Effekte.

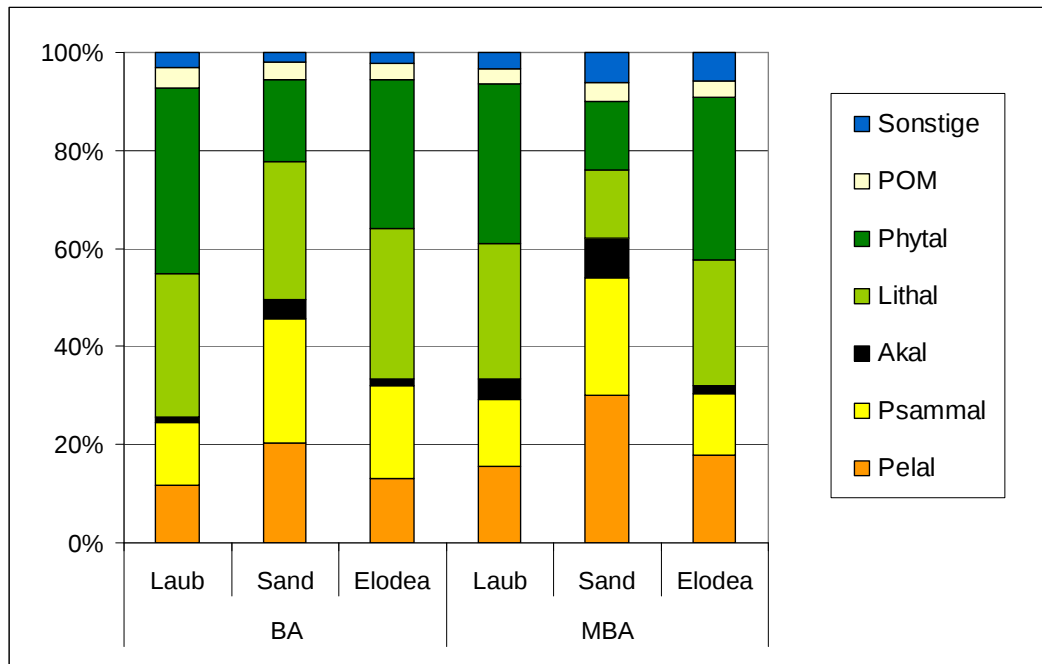


Abb. 6.8: Relative Anteile der Substratpräferenzen auf BA und MBA (Zeiträume: Laub → Dezember 2004 - Februar 2005, Sand → April - Mai 2005, Elodea → August - November 2005)

Entsprechend der in Kapitel 3.5.3 dargestellten Betrachtung der Besiedlungsvarianz auf den jeweiligen BA, erfolgt hier ein Vergleich der Varianzen auf MBA und BA. Auf den Laub-MBA und BA ergaben sich auf BA und MBA größere Schwankungen der Chironomidendichte (Abb. 6.10). Noch größere Unterschiede traten jedoch bei Oligochaeta und Amphipoda auf. Sie wiesen auf BA und MBA erhebliche Dichteunterschiede und große Spannweiten auf (Abb. 6.9). Ein Vergleich der Besatzsituation (BA) mit der mittelfristigen Besiedlungssituation belegt für *Elodea* und Sand-Exponate, dass die Besiedlung aller MBA in den Mesokosmen von extremen Spannweiten und Einzelwerten innerhalb der Stichprobe gekennzeichnet war (Abb. 6.11 und 6.13). Dies könnte ein Hinweis auf eine hohe Patchiness in den Mesokosmen sein. Allerdings könnte dieses Resultat auch auf unterschiedliche Besiedlungs- oder Driftdichte in den einzelnen Mesokosmen zurückgehen. Vergleicht man jeweils eine HR mit dem Referenzgewässer, so ergeben sich (bei geringerer Replikatezahl) geringere Schwankungen (Abb. 6.12 und 6.14). Trotzdem sind noch deutliche Unterschiede zu erkennen. Lediglich die auf Sand-BA und -MBA individuenreichen Chironomidae zeigen ähnliche Spannweiten.

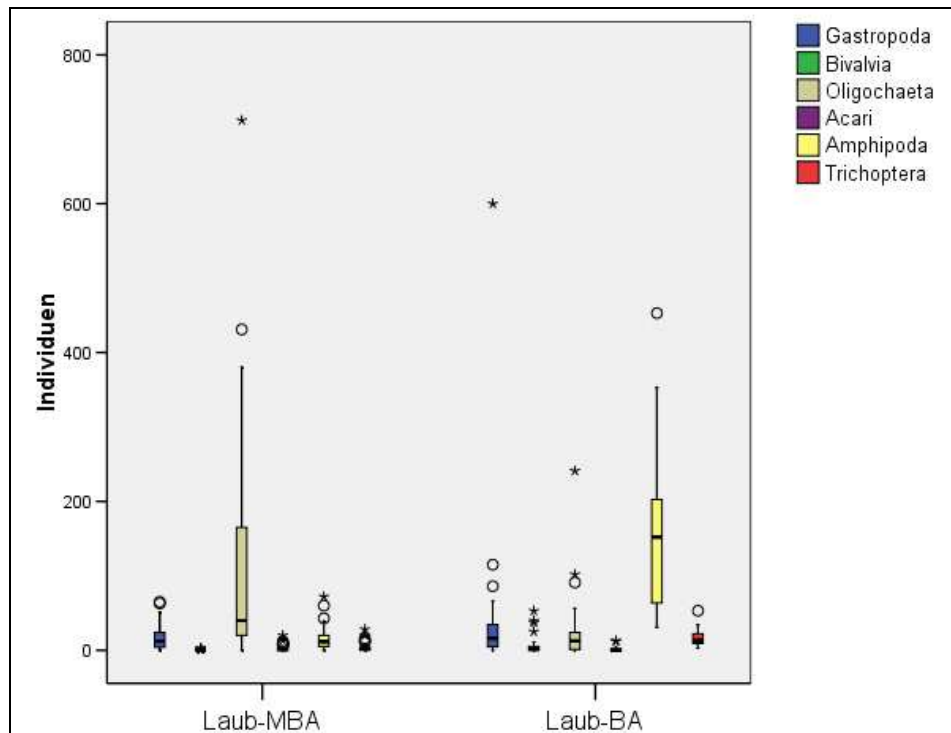


Abb. 6.9: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa (ohne Chironomidae) auf Laub-MBA (n = 54, Februar 2005) und Laub-BA (n = 28, 09.12.04): Frischgewicht 20 g

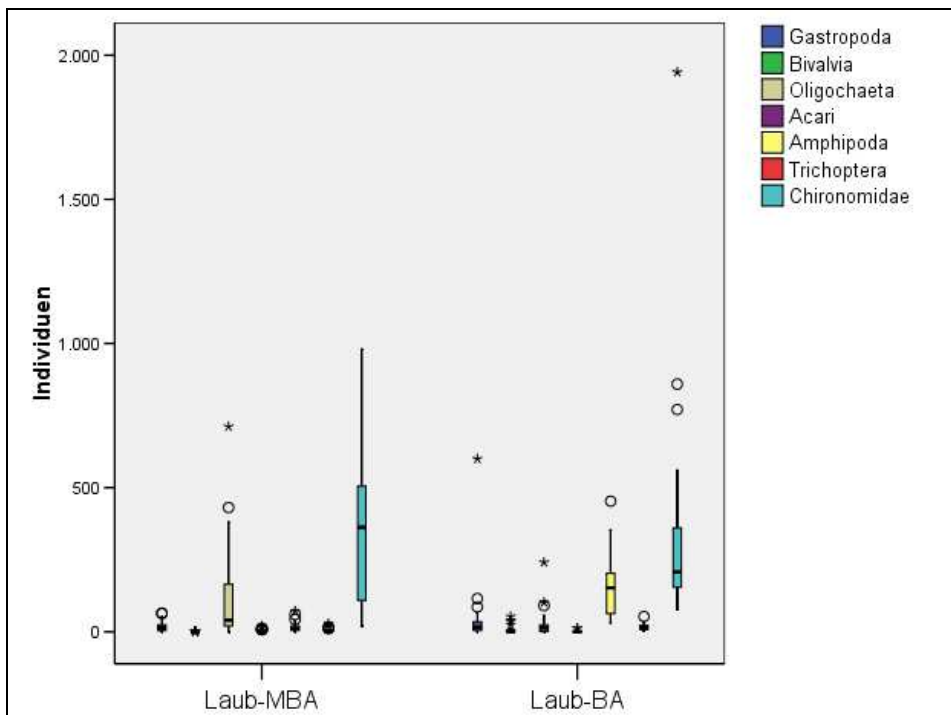


Abb. 6.10: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Laub-MBA (n = 54, Februar 2005) und Laub-BA (n = 28, 09.12.04): Frischgewicht 20 g

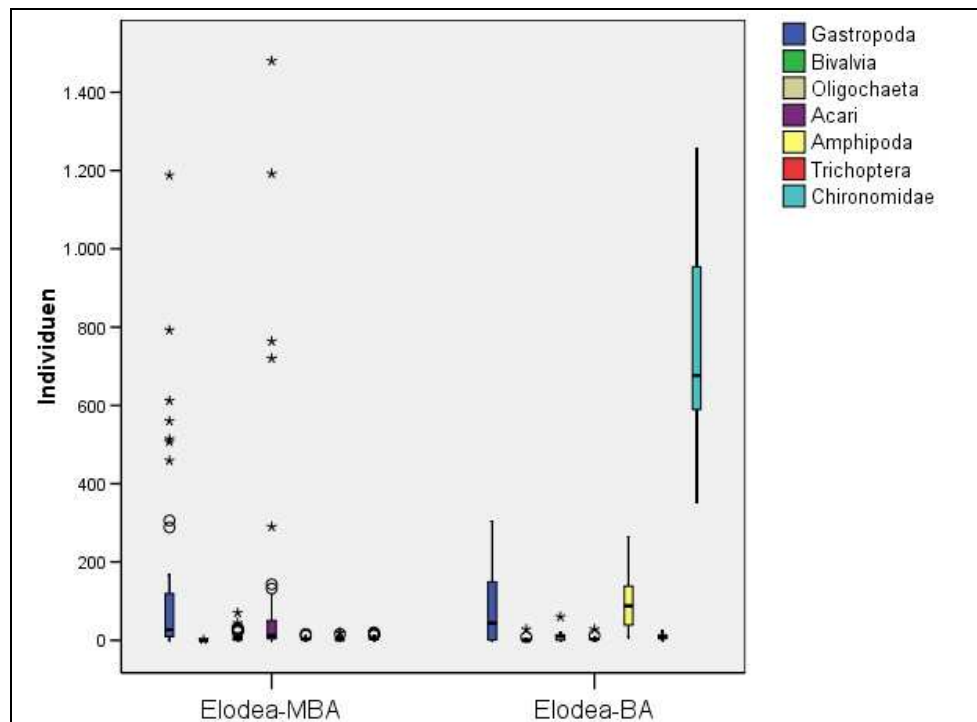


Abb. 6.11: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf *Elodea*-MBA (n = 63, November 2005) und *Elodea*-BA (n = 15, 18.08.05): Frischgewicht 30 g

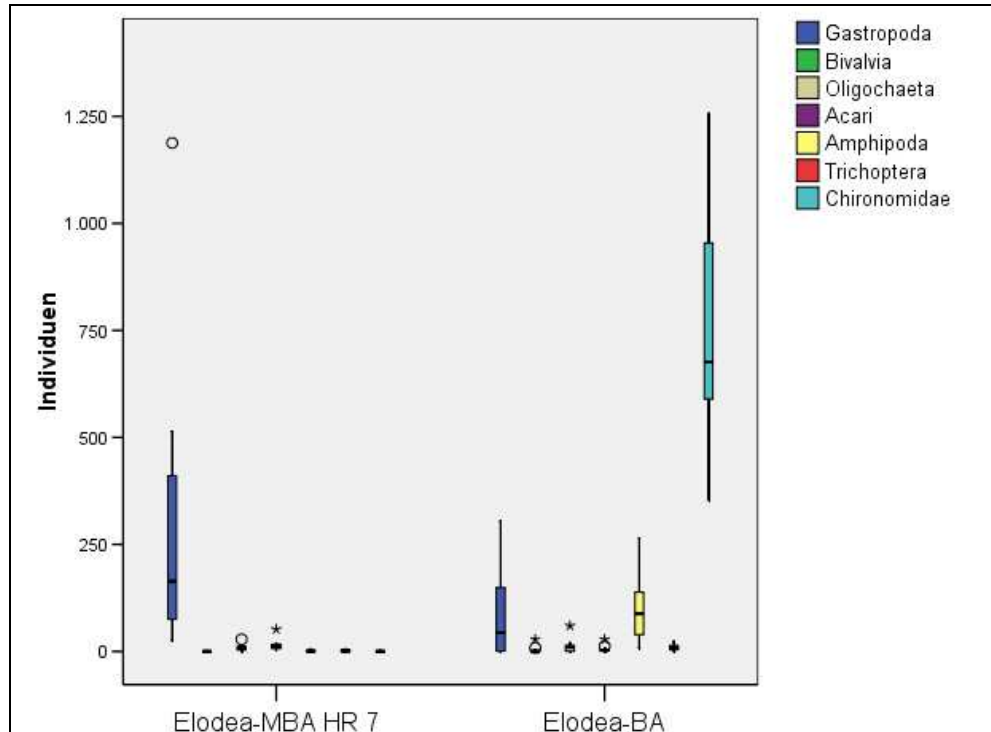


Abb. 6.12: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf *Elodea*-MBA in HR 7 (n = 8, November 2005) und *Elodea*-BA (n = 15, 18.08.05): Frischgewicht 30 g

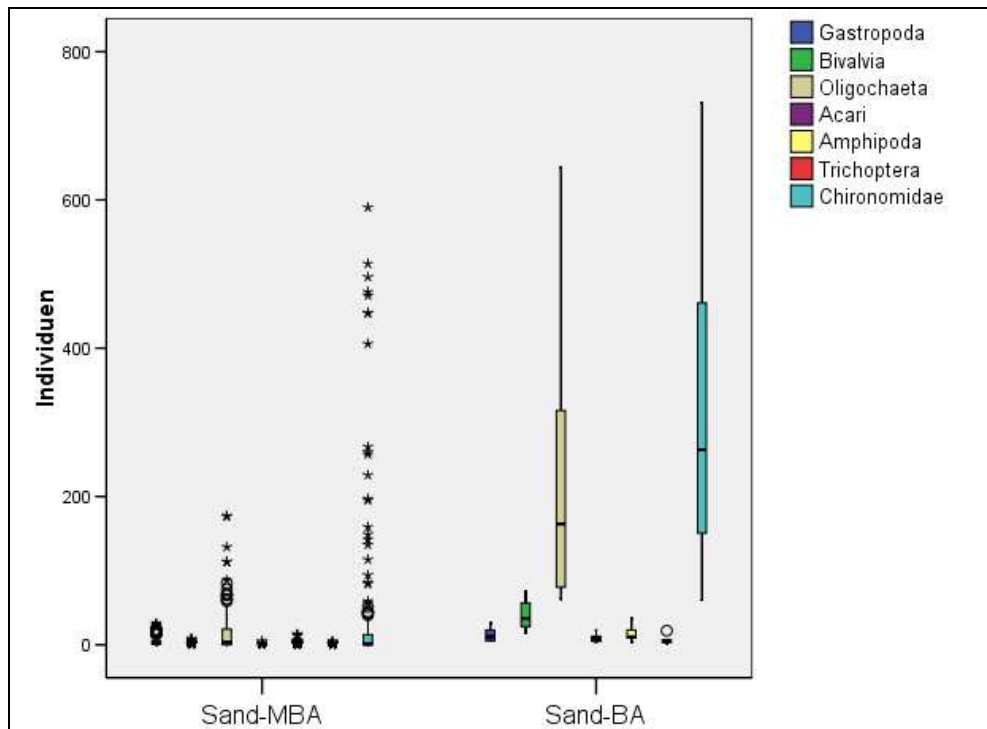


Abb. 6.13: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-MBA (n = 160, April 2005) und Sand-BA (n = 15, 25.05.05): Oberfläche 57 cm²

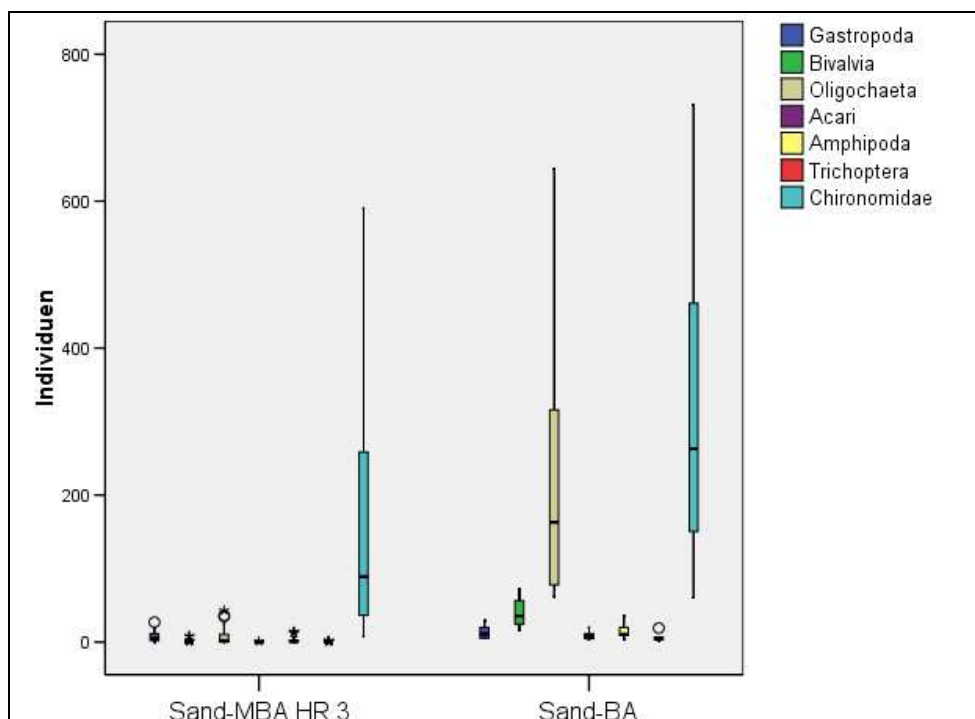


Abb. 6.14: Streuung der Individuenzahlen ausgewählter Taxa auf Sand-MBA in HR 3 (n = 40, April. 2005) und Sand-BA (n = 15, 25.05.05): Oberfläche 57 cm²

6.1.3 Fazit

Mit den unterschiedlichen Substrattypen wurde die Mehrzahl der für das Referenzgewässer typischen Makroinvertebraten-Gruppen in relativ hoher Dichte in die Mesokosmen eingebracht. Nur einzelne ThO konnten mit den Substraten in geringer Dichte eingetragen werden. Alle relativ häufigen Arten oder ThO ließen sich auch noch nach 3-10 Wochen und zu allen Beprobungsterminen in den Mesokosmen nachweisen. Daraus wird auf eine Etablierung und Weiterentwicklung geschlossen.

Die Weiterentwicklung lässt sich bei zahlreichen Gruppen auch durch das Auftreten späterer Entwicklungsstadien belegen. Es wurde u. a. ein erhöhter Anteil an Puppen diverser Diptera festgestellt. Zudem wurde für Odonata, Trichoptera und Chironomidae Imaginalschlupf beobachtet und mit den MBA wurden Jungtiere von Gastropoda und Gammaridae erfasst. Aufgrund der Zeitspannen zwischen Besatz und Kontrolle kann gefolgert werden, dass der Nachwuchs nicht eingeschleppt wurde. Allerdings fand offenbar trotzdem kein deutliches Populationswachstum der Gammaridae statt.

In den Mesokosmen wurden zudem Taxa nachgewiesen, die nicht allein mit den BA angesiedelt worden waren. Ursache ihres Auftretens kann Einschleppung (Sediment, Pflanzmaterial) oder Zuflug sein. *Agraylea* sp. wurde z.B. in anderen Gewässertypen auf dem FSA-Gelände (Jähn 2005) und in Stichproben in den Hallen-Teichen erfasst (eigene Aufnahme). Eiablagen in den Mesokosmen können daher nicht ausgeschlossen werden. Der Besatz mit den BA lieferte jedoch eine taxareiche Fauna, die nicht durch Zuflug erreicht werden kann. Dies trifft insbesondere für Chironomidae zu. Sie konnten insbesondere anhand und auf *Elodea* etabliert werden (MBA-Nachweis nach einigen Wochen). Auch auf Laub-MBA wurden die meisten Taxa erfolgreich angesiedelt, allerdings verschob sich hier das Dominanzverhältnis zu *Corynoneura* sp. Auf Sand-MBA war mittelfristig ausschließlich *Corynoneura* sp. präsent.

Nach dem Besatz der Mesokosmen erfolgte offenbar Migration und/oder Drift. Daraus resultierte die Besiedlung der MBA. Allerdings blieben die Besiedlungsdichten auf allen MBA relativ niedrig. Unter den Bedingungen in den HR stellte sich zudem in allen Fällen eine andere taxonomische Zusammensetzung ein, als sie auf den BA aus dem Referenzgewässer vorlag. Die Besiedlung der in den HR angebotenen Laub- und *Elodea*-Substrate scheint in gewissem Rahmen spezifisch. Durch die Ausstattung der Mesokosmen mit unterschiedlichen organischen Substrattypen kann also Einfluss auf die Qualität und Quantität der Fauna und deren Verteilung genommen werden. Unter den hier erfassten Arten oder ThO finden sich allerdings kaum absolute Substratspezialisten. Lediglich die quantitativen Verhältnisse auf Laub könnten darauf hinweisen, dass z.B. *Corynoneura* sp. in diese Kategorie fällt.

Soll zukünftig Wert auf kurze Laufzeiten und Ausstattung mit hohen Individuendichten gelegt werden, kann die Ausstattung mit *Elodea*-(M)BA empfohlen werden. Soll Besiedlungskonstanz bei zukünftigen Versuchen im Vordergrund stehen, ist Laub zu präferieren. Sollen wiederum bestimmte taxonomische Gruppen in den Systemen allgemein oder in bestimmten Abschnitten etabliert werden, kann durch die Ausstattung resp. das Angebot an Substraten eine Steuerung erreicht werden. Insbesondere die Menge an Laub in den Mesokosmen müsste dann deutlich erhöht werden. Dies würde sehr wahrscheinlich nicht nur die Entwicklung der Gammaridae

begünstigen sondern auch die Bildung von FPOM und dadurch die positive Entwicklung weiterer Ernährungstypen.

Die gewählten Substrattypen und der methodische Ansatz zur Ausstattung der Mesokosmen mit den gewässertypischen Substraten und Faunenelementen eignen sich für den Besatz der Mesokosmen mit allen typischen Ernährergruppen unter den Makroinvertebraten. Alle functional feeding groups lassen sich mittelfristig etablieren. Größte Anteile haben nach mehreren Wochen auf allen Substraten die Weidegänger.

Die Methode eignet sich außerdem, um alle wesentlichen Substratpräferenzen der Referenzgewässerfauna in den Mesokosmen zu etablieren. Nach den Etablierungsphasen wurden sie auf den jeweiligen Substrattypen wieder angetroffen. Die graduellen Unterschiede in den relativen Anteilen der Präferenzen weisen auf zwischenzeitlich abgelaufene, dynamische Prozesse hin. Die neu eingebrachten Substrate (MBA) werden offenbar durch Drift und Migration besiedelt. Bezogen auf die quantitativ bedeutenden Substratpräferenzen ergeben sich dabei nur geringe Unterschiede zum Referenzgewässer.

6.2 Dispersion der eingesetzten Fauna

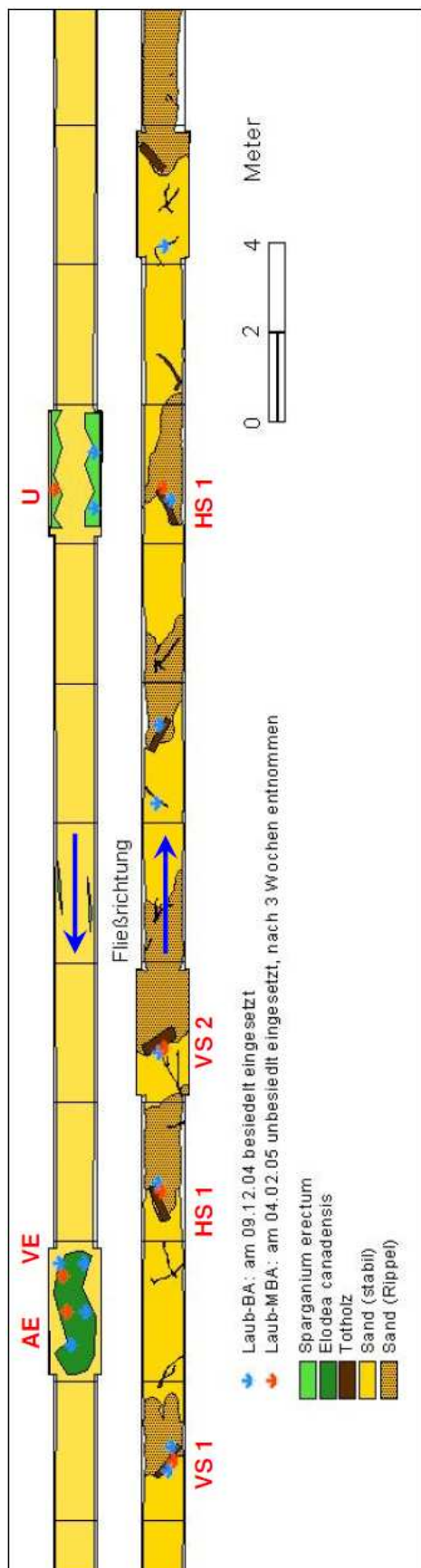
In diesem Kapitel wird auf Basis der Daten zur Besiedlungskontrolle mit Laub-MBA untersucht, wie sich die in die Mesokosmen eingesetzte Fauna verteilte. Die Positionen dieser MBA waren in allen Mesokosmen identisch und können somit als Replikate dienen.

6.2.1 Methode

Am 09.12.2004 wurde mit der Exposition von jeweils 14 Laub-BA in jeden Mesokosmos die gezielte Ansiedlung von Makrozoobenthos aus dem Referenzgewässer begonnen. Nach einer Etablierungsphase von sieben Wochen wurden am 04.02.2005 sieben Laub-MBA in jede HR eingesetzt. Die Verteilung der Laub-BA und Laub-MBA auf die Positionen in den Mesokosmen ist in Abb. 6.15 dargestellt. Die nachfolgend verwendeten Positionskürzel der sieben MBA pro Mesokosmos sind in Tab. 6.6 erläutert.

Nach drei Wochen wurden die MBA am 25.02.2005 wieder entnommen. Auf Basis der Daten sollten folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

1. Unterscheiden sich die Besiedlungsdichten an den einzelnen Positionen (vor Stamm, hinter Stamm, auf Makrophyten oder am Ufer) voneinander?
2. Ist die Verteilung der Fauna durch die Strömungsrichtung beeinflusst?



Tab. 6.6: Erläuterung der Positionskürzel für Laub-BA und -MBA

Positionskürzel	Bedeutung
VS 1 und 2	Vor Stamm, fängige Struktur
HS 1 und 2	Hinter Stamm, Strömungsschatten
U	Ufer, strömungsberuhigter Bereich
VE	Vor <i>Elodea</i> , fängige Struktur
AE	Auf <i>Elodea</i> , fängige Struktur
Ziffern = laufende Nummer in Fließrichtung (Abb. 6.14)	

Abb. 6.15: Räumliche Verteilung der Laub-BA und -MBA in den Mesokosmen. Rote Beschriftung: Positionskürzel des jeweiligen MBA. Blauer Pfeil bezeichnet die Strömungsrichtung

6.2.2 Ergebnisse

Abb. 6.15 zeigt die Individuendichten der Taxa an den unterschiedlichen Positionen (Mittelwerte pro Position über alle Mesokosmen). Die Gesamtindividuumdichten je Laub-MBA (20 g Frischgewicht) schwankten zwischen 386 und 630 Individuen. Dominant waren die Chironomidae (zu ca. 98 % *Corynoneura* sp.) mit 257 (Position: HS 2) bis 434 (AE) Individuen. Weitere zahlreich vertretene Gruppen waren die Oligochaeta (64 bis 154), Gastropoda (6 bis 24) und Amphipoda (*Gammarus roeseli*) mit 4 bis 24 Individuen.

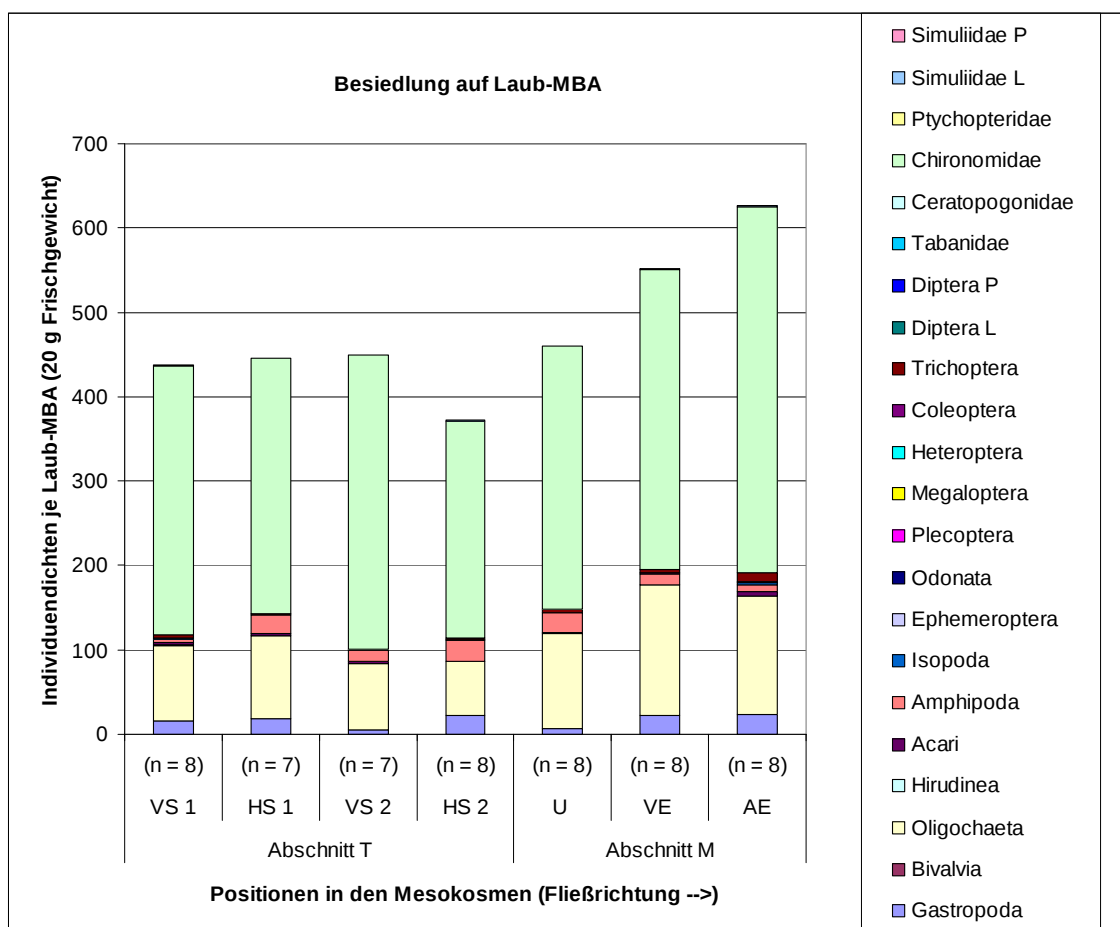


Abb. 6.16 ¹⁰: Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (vgl. Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Taxa auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht)

¹⁰ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

In dem bepflanzten Abschnitt M der Mesokosmen schien die Gesamtindividuumdichte in Fließrichtung zuzunehmen. Allerdings sind diese Unterschiede nicht signifikant ($p > 0,05$, Tab. 6.7). Auch die Datenanalyse zur Verteilungen der Individuumdichten von Gastropoda, Acari und Chironomidae ergaben keine signifikanten Hinweise auf Positionsunterschiede (Tab. 6.8).

Tab. 6.7: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Test: Dichten der Individuen (Taxa gesamt) an den unterschiedlichen Positionen auf Laub-MBA

Kruskal-Wallis-Test	Individuen gesamt
Chi-Quadrat	0,605
df	2
Asymptotische Signifikanz	0,739

Tab. 6.8: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Test: Dichten der Individuen (Gastropoda, Acari, Amphipoda, Trichoptera) an den unterschiedlichen Positionen auf Laub-MBA

Kruskal-Wallis-Test	Gastropoda	Acari	Amphipoda (<i>Gammarus roeselii</i>)	Trichoptera	Chironomidae
Chi-Quadrat	8,388	3,369	17,563	18,801	2,173
df	6	6	6	6	6
Asymptotische Signifikanz	0,211	0,761	0,007	0,005	0,903

Lediglich die Amphipoda und Trichoptera zeigten signifikante Unterschiede in ihrer Besiedlungsdichte (Tab. 6.8). Bei den Amphipoda bestanden Unterschiede zwischen den strömungsberuhigten (HS und U) und stärker durchströmten Positionen (VS, VE, AE) (Abb. 6.17). Bei den Trichoptera lag eine andere Verteilung vor. Die größten Dichten fanden sich in dieser Gruppe auf den Makrophytenpolstern (AE) in Strömungsrichtung am unteren Ende des Abschnitt M (Abb. 6.18).

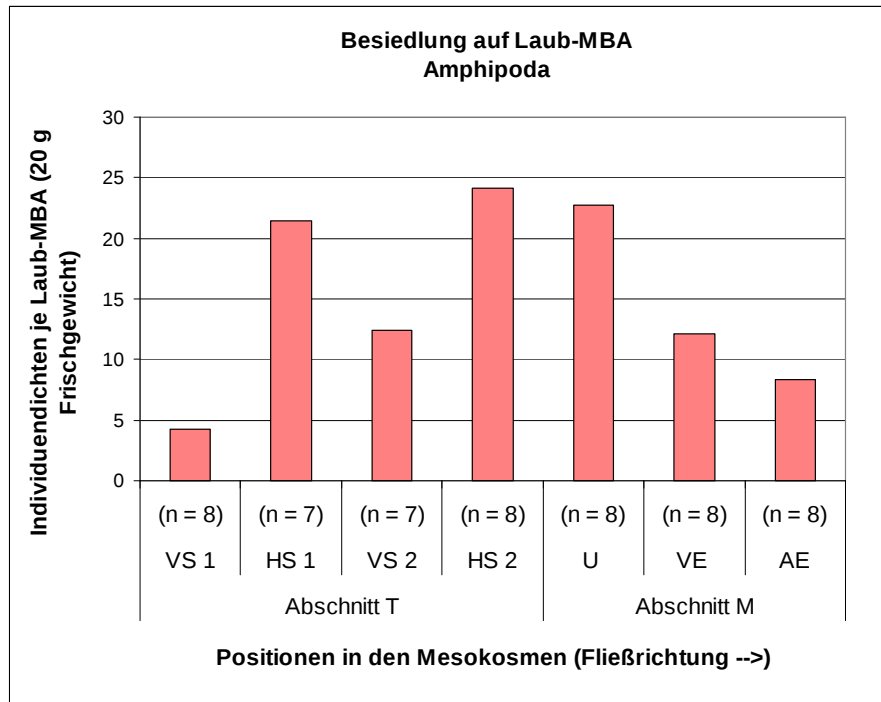


Abb. 6.17: Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Amphipoda auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht)

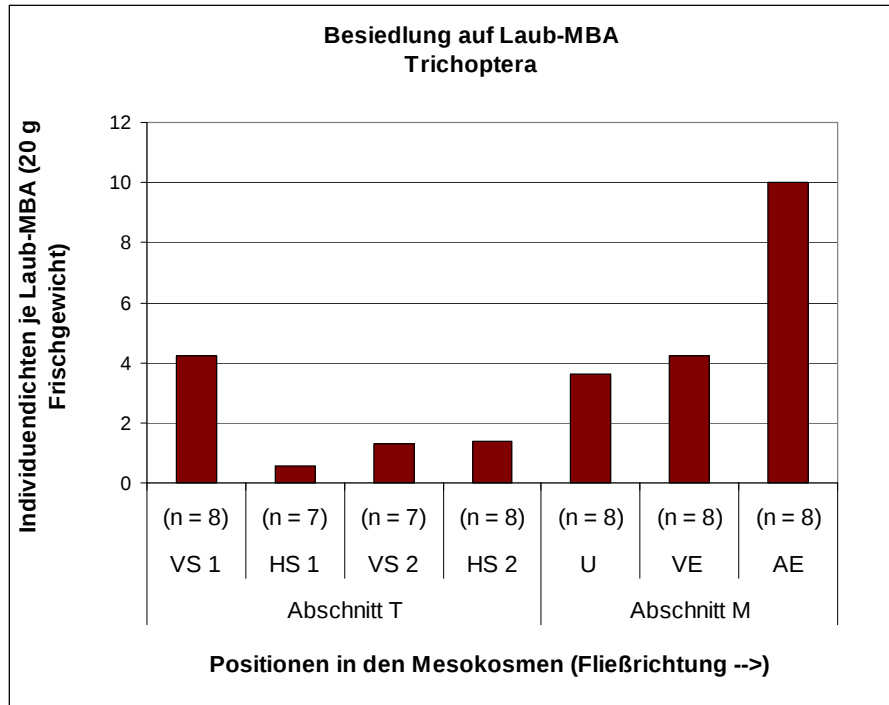


Abb. 6.18: Besiedlungsdichten an einzelnen Positionen (Tab. 6.6) in den Mesokosmen am 25.02.2005 – Mittelwerte der Trichoptera auf Laub-MBA pro Position in den 8 HR (20 g Frischgewicht)

6.2.3 Fazit

Anhand der vorliegenden Daten zur Dispersion der Fauna in den Mesokosmen konnten nur einzelne eindeutige Hinweise auf eine gerichtete Ausbreitung ermittelt werden. So wurden bei den Amphipoda und Trichoptera folgende signifikante Muster deutlich: Gammaridae (*Gammarus. roeselii*) scheinen in allen Mesokosmen eher auf den in strömungsberuhigten Bereichen exponierten Laub-MBA zu siedeln. Die Trichoptera (vorrangig *Oxyethira flavicornis*) sammeln sich hingegen eher am unteren Ende des Versuchsabschnitts auf den *Elodea*-Polstern.

6.3 Langfristige Besiedlungssituation

Zur Einschätzung der langfristigen Besiedlungssituation wurden am Ende des 3 jährigen Versuchszeitraums zwei Mesokosmen (HR 3 und 6) ausgewählt und beprobt. Diese Mesokosmen wiesen nach makroskopischer Einschätzung ähnliche strukturelle Ausgangsbedingungen auf. Die Erfassung der langfristigen Besiedlungssituation wurde erneut mit Hilfe von Laub-MBA durchgeführt. Zudem wurden das Sediment und die Wandung der Mesokosmen direkt beprobt. Die Störung, die durch diese Beprobung in den Systemen möglicherweise ausgelöst wurde, konnte zu einem früheren Zeitpunkt nicht hingenommen werden. Die Beprobungen erfolgten am 20. und 21. Juli 2006, mithin 15 Wochen nach der letzten Ansiedlungsphase mit Laub-BA, die wiederum im Dezember 2005 begonnen und im April 2006 beendet wurde. Über diesen 18-wöchigen Zeitraum war ein intensiver Besatz von insgesamt 70 Laub-BA je Mesokosmos exponiert worden.

6.3.1 Methode

Sediment

Für die Beprobung des Sedimentes wurde entsprechend dem Vorgehen im Referenzgewässer ein Surber-Sampler (Grundfläche 225 cm²) verwendet. Die Probenahmetechnik entsprach der im Gelände (vgl. Kapitel 2.3.1). In beiden Mesokosmen wurden in jedem zweiten Segment bei der Mesokosmen-Abschnitte Proben entnommen (N=11 je HR).

Mesokosmenwand

Die Beprobung der Mesokosmenwand erfolgte analog der Sedimentuntersuchung mit 11 Proben je HR in denselben Segmenten. Die Wandung wurde zu diesem Zweck auf einer Fläche von 225 cm² von der Wasseroberfläche bis zum Sediment mit einem Spatel abgeschabt. In Strömungsrichtung unterhalb wurde ein Kescher gehalten, der abdriftendes Material aufnahm. Dieser Kescher konnte aufgrund seiner angepassten Form schlüssig an die Wandung angepresst werden (Abb. 6.19). Zudem war an seiner Unterkante eine Platte montiert, welche das herabsinkende Material auffing.

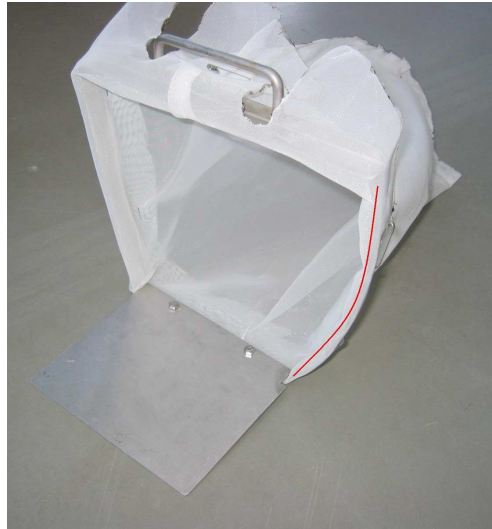


Abb. 6.19: Kescher zur Beprobung der Mesokosmenwand mit angepasstem Rahmen (rechts gebogen = rote Markierung) und Bodenplatte

6.3.2 Ergebnisse

Mit Hilfe der Laub-MBA konnten nach 18 Wochen (20.07.05) in den Mesokosmen 9 Taxa nachgewiesen werden. Dominant waren dabei die Acari mit 1160 Ind./ 20 g (Abb. 6.20). Die Chironomidae wiesen mit 44 Ind./20 g eher geringe Dichten auf. Die Dichten der Gastropoda lagen bei 70 Ind.. Deren Dichte war im Vergleich zur mittelfristigen Beprobung angestiegen (Abb. 6.20). Der größte Dichteanstieg hatte bei den Acari von 4 auf 1160 Ind./20 g stattgefunden. Auffällig ist das Fehlen der Amphipoda am 20.07.06 und der Rückgang der Chironomidae. Während letzteres mit Imaginalschlupf (Beobachtung einer Massenemergenz Ende Mai 2006) zu erklären ist, scheinen für Gammaridae trotz relativ hohem Besatz langfristig relativ schlechte Entwicklungsvoraussetzungen zu bestehen. Insgesamt konnten im Juli 2006 nur noch 4 Ind./20 g nachgewiesen werden. Im Februar 2005 zählten sie noch 14 Ind./20 g (Abb. 6.20).

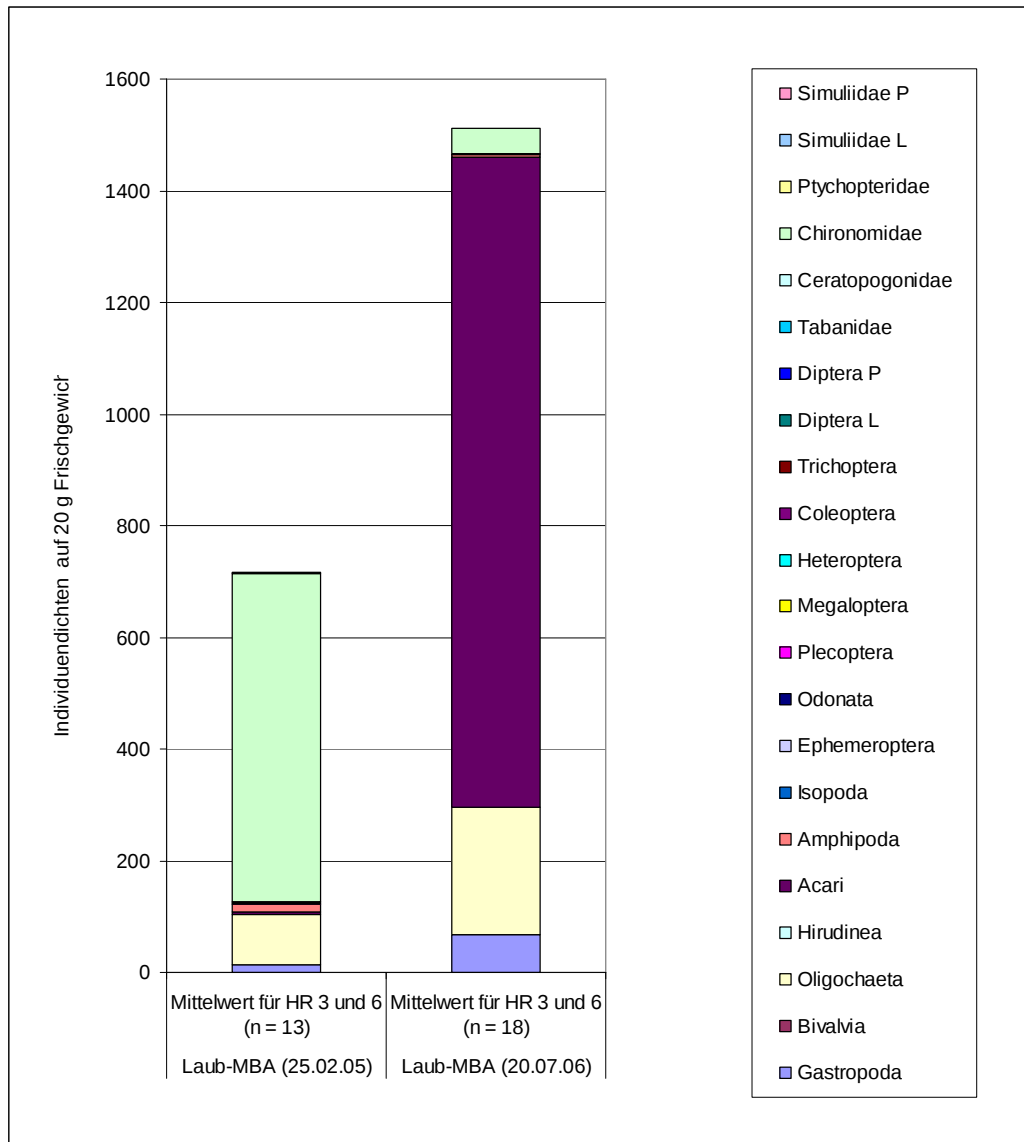


Abb. 6.20 ¹¹: Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf Laub-MBA am 25.02.05 und 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (20 g Frischgewicht)

Die Gastropoda wiesen Dichten von 10 Ind./ 225 cm² auf. Deutlich höhere Dichten hatten sie jedoch auf der Mesokosmenwand (23 Ind./225 cm², Abb. 6.21). Auch die Acari (13 Ind.), Trichoptera (2 Ind.) und Chironomidae (3 Ind.) wiesen dort höhere Dichten auf.

¹¹ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

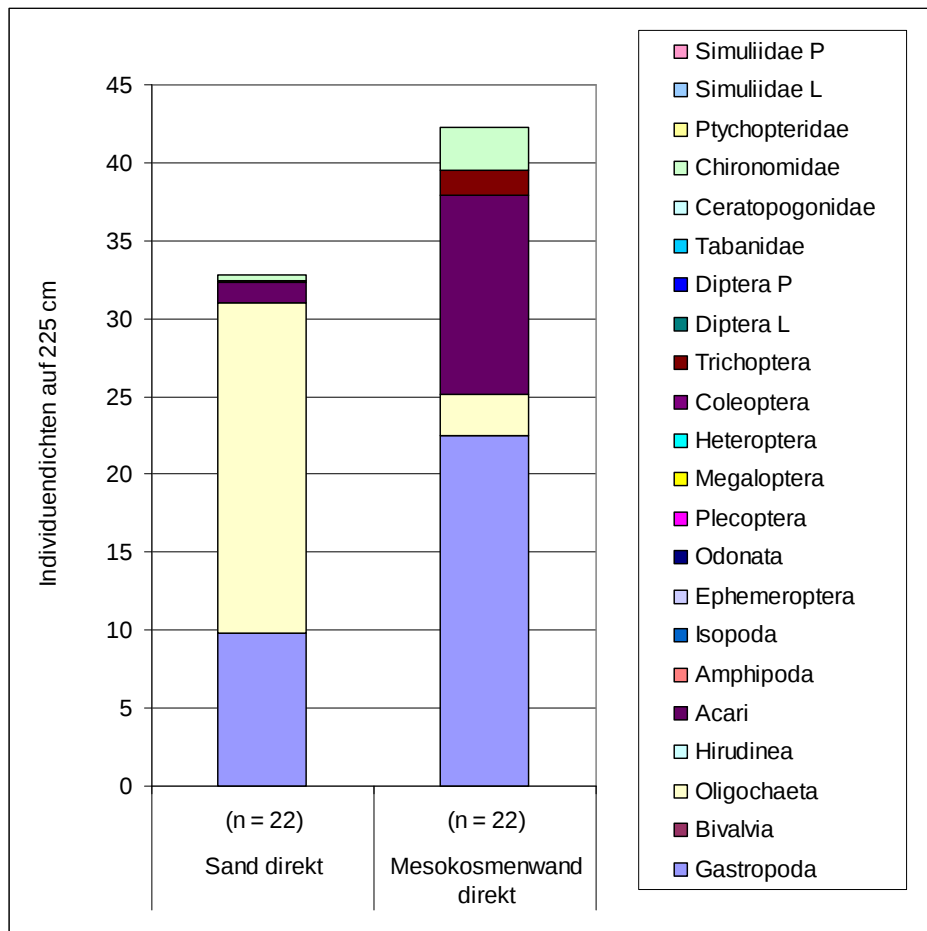


Abb. 6.21¹²: Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf dem Sediment und der Wandung am 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (Bezug = 225 cm²)

6.3.3 Fazit

Während kurzfristig und mittelfristig mehrere Taxa erfolgreich in den Mesokosmen angesiedelt werden konnten, scheint der Langzeitbetrieb limitiert. Bei einer, wie hier auf >3 Jahre festgesetzten Laufzeit, ist in den Mesokosmen mit einer starken Verarmung der Fauna zu rechnen. Dabei spielt u.a. der Imaginalschlupf merolimnischer Taxa eine Rolle (Chironomidae, Trichoptera oder Odonata). Allerdings scheinen unter den gewählten Versuchsbedingungen auch andere Arten (insbesondere Amphipoda) langfristig durch Populationsrückgänge gekennzeichnet. Gastropoda und Acari zeigten hingegen eine positive Entwicklung.

Die Besiedlungsverläufe in den Mesokosmen hängen wesentlich von der artspezifischen Phänologie ab. Versuchszeiträume von maximal 3 Monaten dürften in jeder Saison geeignet sein. Ge-

¹² Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

nerell kann davon ausgegangen werden, dass bei längerer Versuchsdauer höchstens im Herbst und Winter mit relativ konstanten Versuchsbedingungen zu rechnen ist. Alternativ sollte die Durchführbarkeit eines regelmäßigen und in geringeren Abständen durchgeführten Besatzes abgewogen werden.

6.4 Entwicklung der Mesokosmen im Vergleich zum Referenzgewässer

Die vorgestellten Ergebnisse führen zu folgender zusammenfassenden Bewertung der Annäherung der Mesokosmen an die Referenzgewässer.

Physiko-chemische Parameter

In Kapitel 4.6.2 kann die Entwicklung der abiotischen Situation in den Mesokosmen im Detail nachvollzogen werden. Mit Ausnahme der Strömungsbedingungen (vgl. Kapitel 4.4.2) entwickelten sich die meisten Parameter in den Mesokosmen annähernd parallel zu den Verhältnissen im Referenzgewässer. Sauerstoffsättigung und pH-Wert wiesen bei vergleichbaren Durchschnittswerten in den Mesokosmen allerdings weit aus geringere Schwankungen auf. Schwer zu kontrollieren waren hingegen in den Mesokosmen insbesondere die Schwankungen der Nährstoffgehalte (Nitrat, Phosphat) im dritten Versuchsjahr (2006). Möglicherweise wurden punktuell zu große Düngemittelzugaben gewählt.

Struktur- und Substratverteilung

Die trogförmige Konstruktion der Mesokosmen bedingt grundsätzliche Unterschiede zu den Referenzgewässern (vgl. Kapitel 4.4.2). Im Verlauf des Projektes konnten diese durch die Ausstattung mit natürlichen Substraten nicht aufgewogen werden. Das schlechte Wachstum der Makrophyten und die zunehmende Kolmation der Sandsohle trugen hauptsächlich dazu bei.

Faunistische Besiedlung

Die Entwicklung der Makroinvertebraten in den Mesokosmen unterlag einer erheblichen Dynamik. Die Ausbreitung der eingesetzten Tiere in den Mesokosmen, aber auch Imaginalschlupf und Mortalität einzelner Taxa bedingten relativ niedrigere und z.T. über den Gesamtzeitraum abnehmende Besiedlungsdichten.

7 Ermittlung stabiler Versuchszeiträume

Im Folgenden wird die Entwicklungen der einzelnen Mesokosmen über den Projektzeitraum (Sommer 2004 bis Herbst 2006) auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Daten miteinander verglichen. Im Hinblick auf die Planung und Durchführung von ökotoxikologischen Effektversuchen steht folgende Fragestellung im Vordergrund: Über welchen Zeitraum hinweg laufen die Mesokosmen in einer vergleichbaren Entwicklung, d.h. sind stabile Versuchszeiträume gewährleistet.

7.1 Physiko-chemische Parameter

Wie in Kapitel 4.4.2 dargestellt, unterschieden sich die Mesokosmen in der Mehrzahl der Parameter während des gesamten Versuchszeitraums nicht merklich voneinander. Auffällig war allerdings die divergierende Entwicklungen der Ammonium-, Nitrat- und Phosphatwerte sowie die des Silicat- und Sestongehalts. Bei maximalen Gehalten in den Frühsommer- und Sommermonaten (Mai bis Juli) unterschieden sich die Mesokosmen jeweils im Sommer der Jahre 2005 und 2006 recht deutlich. Deshalb werden diese Daten in die folgenden Clusteranalysen und Berechnung der Ähnlichkeitsindices einbezogen.

7.2 Struktur- und Substratverteilung

Nachfolgend wird die strukturelle Entwicklung der Mesokosmen mit Bezug auf Strukturen und Substrate mit dominanten Flächenanteilen verglichen. Die Struktur „Sand (stabil)“ (Abb. 7.1) charakterisierte zu Beginn mit ca. 50 m² alle Mesokosmen. Ab Sommer 2005 wiesen lediglich HR 3, 6 und 8 diese Struktur in so hohen Flächenanteilen auf. In den anderen Mesokosmen lagen dann lediglich 20 bis 25 m² vor. Bis zum Sommer 2006 trat eine weitere Veränderung ein. Die Struktur „Sand (stabil)“ war in HR 3, 6 und 8 nahezu verschwunden, wohingegen sie in den restlichen Mesokosmen geringfügig angestiegen war (30 bis 40 m²). Die Struktur „Sand (Kolmation)“ (Abb. 7.2) entwickelte sich mit Flächengrößen um 17 m² erst im Sommer 2005 in den HR 1, 2, 4, 5 und 7. In den Mesokosmen 3 und 6 verblieb die Struktur „Sand (stabil)“ in den entsprechenden Bereichen. Bis zum Sommer 2006 trat eine Veränderung ein. HR 3, 6 und 8 waren zu diesem Zeitpunkt auf einer Fläche von ca. 35 bis 55 m² von Kolmationen betroffen. Die Flächenanteile der Struktur „Sand (Rippel)“ (Abb. 7.3) waren bis zum Frühjahr 2005 in fast allen Mesokosmen ähnlich groß (13-16 m²). Danach stieg ihr Anteil in 7 Mesokosmen auf 35 bis 38 m² an. Lediglich HR 8 wies weiterhin die niedrigsten Anteile dieser Struktur auf (um 10 m²). Bis zum Sommer 2006 verringerte sich der Anteil der Flächen mit Rippelstruktur in allen Mesokosmen auf <10 m² und blieb bis zum Herbst 2006 in allen Systemen etwa gleich.

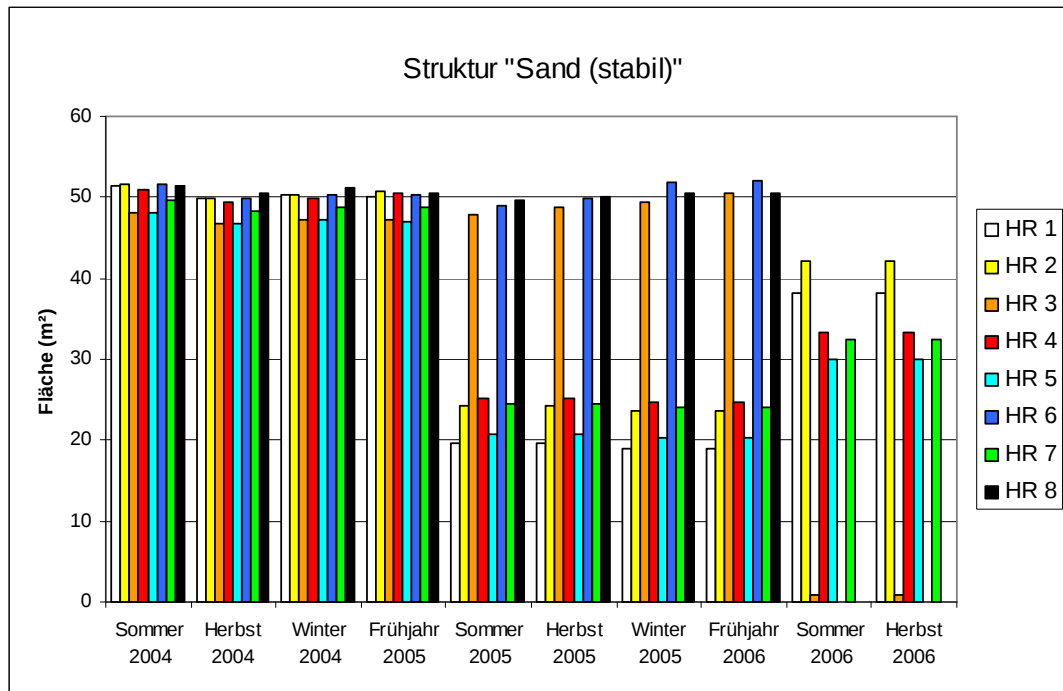


Abb. 7.1: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (stabil)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)

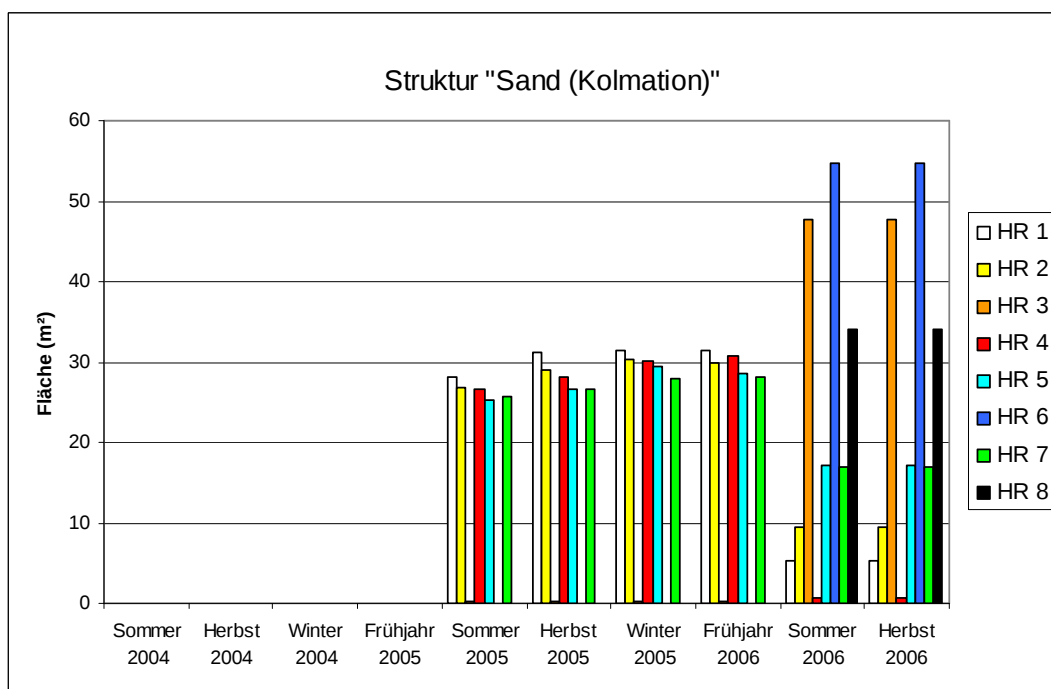


Abb. 7.2: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (Kolmation)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)

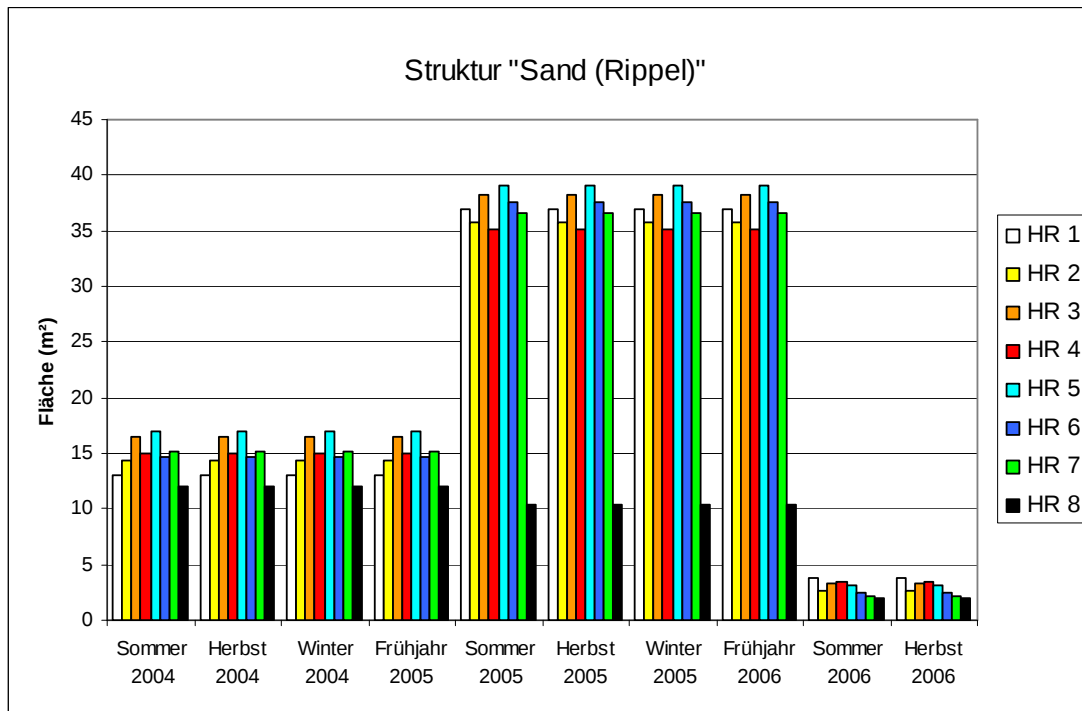


Abb. 7.3: Flächenveränderungen der Struktur „Sand (Kolmation)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)

Die Entwicklung der submersen Makrophyten (Abb. 7.4) war bis zum Sommer 2005 in allen Mesokosmen relativ ähnlich. Nach Pflanzungen im Sommer und Herbst 2004 ging ihre Dichte stark zurück, wobei HR 1 und 6 durchgängig die größten Dichten aufwiesen, während in HR 8 stets die geringste Dichte festgestellt wurde. Im Sommer 2005 wurde durch erneutes Bepflanzen die Fläche der submersen Makrophyten auf ca. 6 m² erhöht. Allerdings ging die Makrophytenfläche erneut in allen Mesokosmen kontinuierlich zurück. In HR 1 und 2 verringerte sie sich bereits im Herbst 2005 stark auf 3 bis 4 m², während die restlichen Mesokosmen noch Flächen von 4,5 bis 5,5 m² aufwiesen. In HR 1 und 2 konnten sich die Makrophyten im restlichen Versuchszeitraum auf diesen Flächen halten. Besonders die Flächen in HR 3, 4 und 8 gingen am stärksten zurück (1-1,5 m²).

Die Entwicklung der Algen konnte aufgrund der schwer messbaren Ausbreitungsfläche nicht quantifiziert werden. Eine Abschätzung der Algenmengen durch Absammeln war nur an 2 Terminen in 2006 möglich, da mit dem Entfernen der Biomasse die angesiedelte Fauna gestört oder mit entfernt worden wäre. Deshalb wird in Abb. 7.5 lediglich das Auftreten von fädigen Grünalgen oder Blaualgen (Cyanobakterien) in den einzelnen Mesokosmen dargestellt. Bis zum Frühjahr 2005 entwickelten sich Algen in HR 5, 6, 7 und 8. Im Sommer waren dann HR 2 und 7 vom Algenwachstum betroffen. Ab Herbst und bis zum Ende des Beobachtungszeitraums hielten sich die Algen dann besonders in HR 4, 7 und 8.

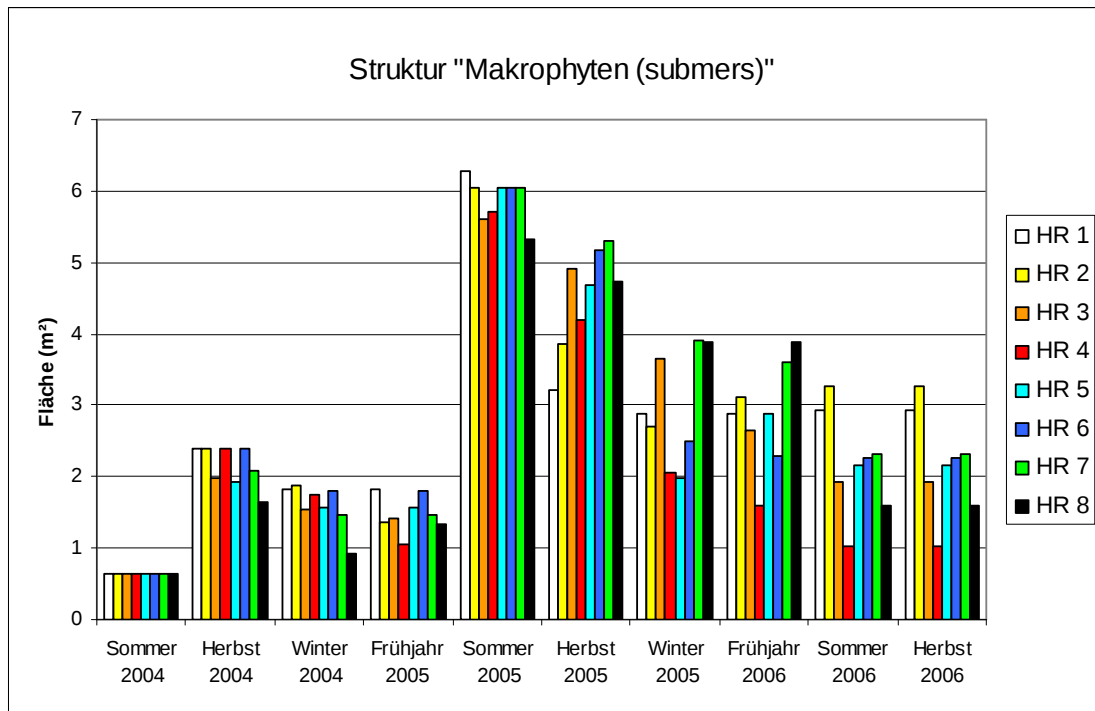


Abb. 7.4: Flächenveränderungen der Struktur „Makrophyten (submers)“ im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)

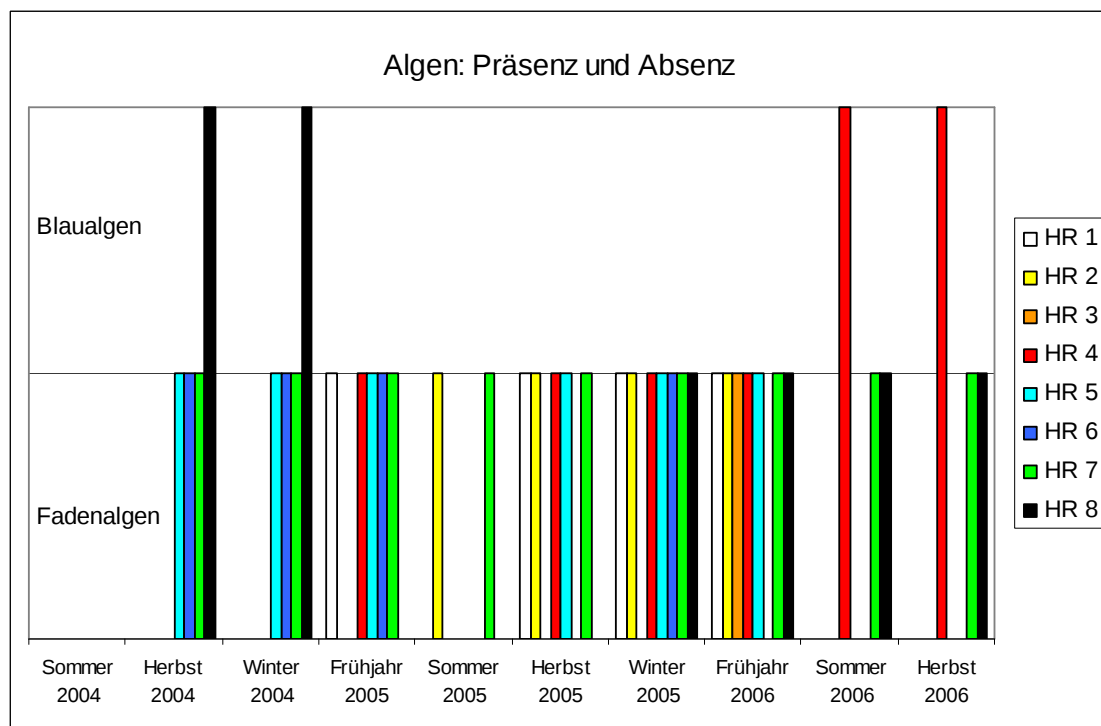


Abb. 7.5: Präsenz und Absenz der fädigen Grünalgen und Blaualgen im Jahresverlauf in den Mesokosmen (HR 1-8)

7.3 Zusammenfassende Auswertung

Es wurde deutlich, dass gerade in den Sommermonaten Veränderungen der Nährstoffverhältnisse und der strukturellen Ausstattung der Mesokosmen auftreten (Kapitel 4.4.2 und 7.2.2).

Im Folgenden sollen mit Hilfe von Clusteranalysen (Medianmethode) und Ähnlichkeitsindices (Chi-Quadrat) die Bedingungen in den Mesokosmen verglichen werden. Dies geschieht zunächst unter Bezug auf die chemischen Parameter, dann im Hinblick auf die strukturelle Situation. Berechnungsgrundlage bilden die jeweils im Juli 2005 und 2006 erfassten Daten zum Nährstoffgehalt sowie zu Silikat und Seston bzw. die an drei Terminen (Sommer 2004, 2005 und 2006) durchgeführte Strukturkartierung. In die Analysen wurden quantitativen Daten, also die absoluten Flächen der Strukturen (m^2) und die absoluten Gehalte der chemischen Parameter (mg/l) verwendet. Wie auch bei Abundanzdaten der Fauna können so quantitative multivariate Analysen erfolgen.

Chemische Daten

Die Clusteranalysen der Parameter Nitrat, Ammonium, Phosphat, Silikat und Seston geben für den Sommer 2005 (Abb. 7.6) ebenfalls einen Hinweis auf die besondere Entwicklung in HR 8. Sie wies hinsichtlich der chemischen Parameter offenbar erheblich größere Unterschiede auf, als zwischen den übrigen Mesokosmen bestanden.

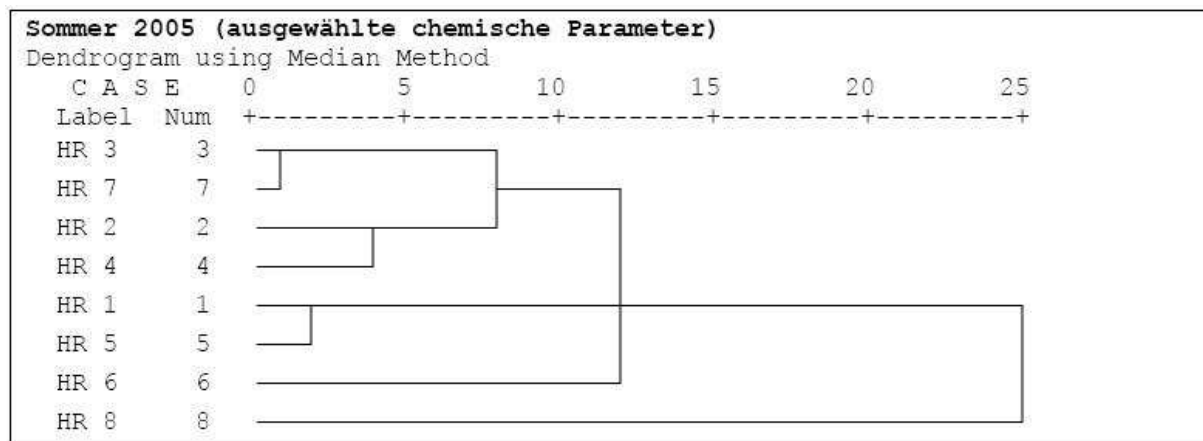


Abb. 7.6: Vergleich der Mesokosmen anhand des Nitrat-, Ammonium-, Phosphat-, Silikat- und Sestongehalts im Sommer 2005 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Menge (mg/l) der genannten Parameter)

Die zum Sommer 2006 eingetretenen Veränderungen weisen auf größere Unterschiede zwischen HR 7 und den übrigen Systemen hin (Abb. 7.7). Die Bedingungen in letzteren scheinen weitgehend ähnlich.

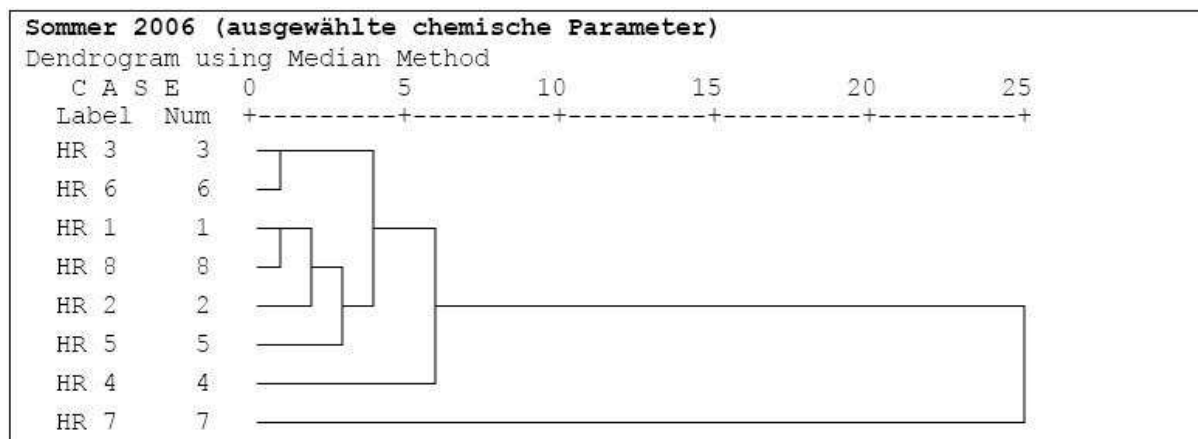


Abb. 7.7: Vergleich der Mesokosmen anhand des Nitrat-, Ammonium-, Phosphat-, Silikat- und Sestongehalts im Sommer 2006 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Menge (mg/l) der genannten Parameter)

Strukturparameter

Die Clusteranalyse auf Basis der Strukturparameter zeigt für den Sommer 2004 (Abb. 7.8), dass HR 3 und HR 5 sich am deutlichsten von den restlichen Mesokosmen unterschieden. Weiterhin wiesen HR 1 und HR 8 zum Untersuchungszeitpunkt erhebliche Differenzen zu HR 2, 4, 6 und 7 auf.

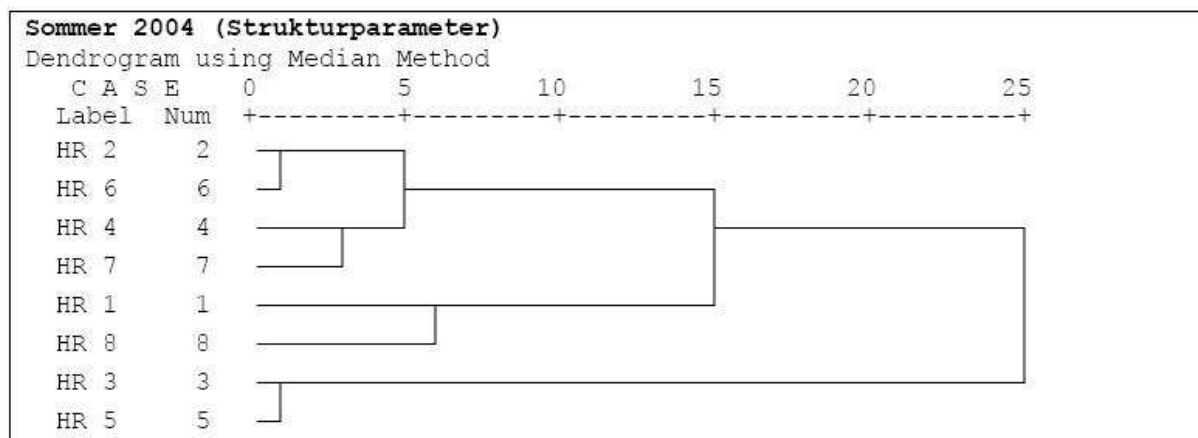


Abb. 7.8: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2004 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

Bis zum Sommer 2005 trat eine deutliche Veränderung ein. Die strukturelle Situation in HR 3, 6 und 8 wich zu dieser Zeit offenbar erheblich von der in den übrigen Mesokosmen ab (Abb. 7.9), während zwischen den übrigen Mesokosmen kaum Unterschiede festzustellen waren (vgl. auch Kapitel 7.2.2.).

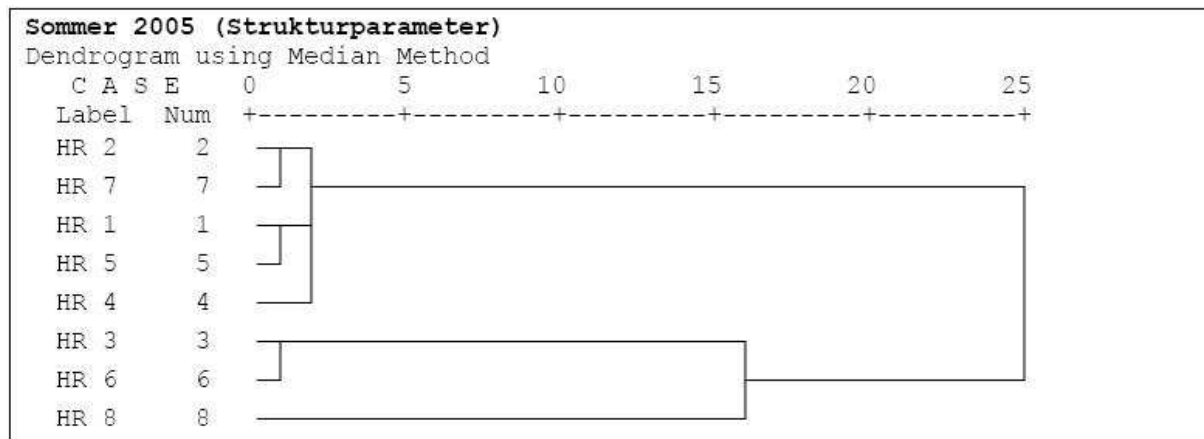


Abb. 7.9: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2005 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

Das Clusterdendrogramm weist für den Sommer 2006 weitgehend dieselben Paarungen aus (Abb. 7.10). Allerdings lassen die höheren Distanzmaße bereits auf eine größere Variation zwischen den Mesokosmen schließen, als sie im Sommer 2005 vorlag.

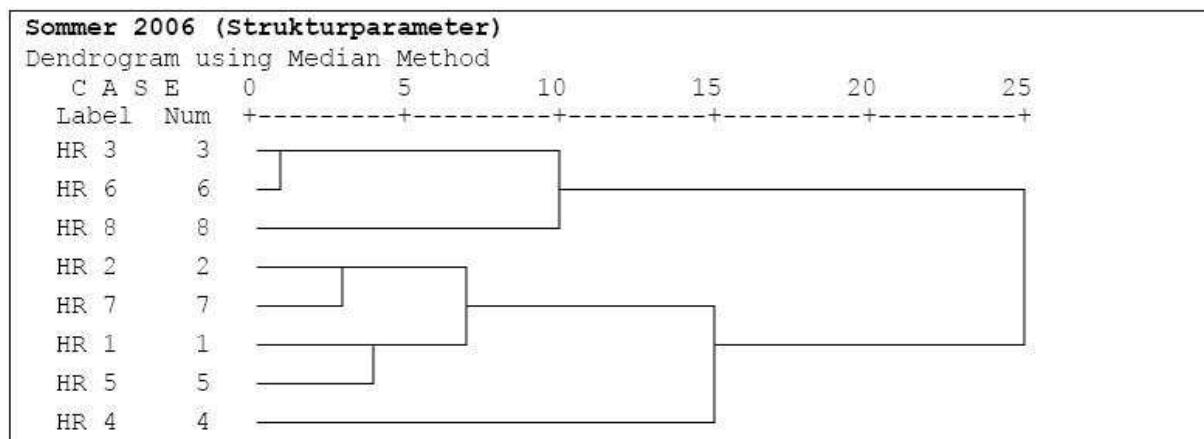


Abb. 7.10: Vergleich der Struktursituation in den Mesokosmen im Sommer 2006 (HR 1- HR 8): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

Für die Fragestellung wie lang von einem Gleichtakt der Mesokosmen ausgegangen werden kann, ist die Betrachtung der durchschnittlichen Ähnlichkeitsindices hilfreich. Tatsächlich zeigen die Indices, dass die Mesokosmen in Bezug auf die Strukturparameter von 2004 bis 2006 zunehmend geringe Übereinstimmungen aufwiesen (0 = größte Ähnlichkeit). Die Werte im Sommer 2004 (Tab. 7.1) lagen im Durchschnitt bei 0,41, im Sommer 2005 bei 4,02, während sie im Sommer 2006 (Tab. 7.3) im Mittel 6,72 aufwiesen.

Tab. 7.1: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen (HR 1- HR 8) im Sommer 2004: (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

	HR 1	HR 2	HR 3	HR 4	HR 5	HR 6	HR 7	HR 8
HR 1	0,000	0,227	0,735	0,357	0,812	0,286	0,451	0,162
HR 2		0,000	0,520	0,163	0,596	0,060	0,256	0,386
HR 3			0,000	0,393	0,076	0,461	0,302	0,893
HR 4				0,000	0,468	0,119	0,100	0,517
HR 5					0,000	0,538	0,375	0,969
HR 6						0,000	0,205	0,446
HR 7							0,000	0,610
HR 8								0,000

Tab. 7.2: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen (HR 1- HR 8) im Sommer 2005: (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

	HR 1	HR 2	HR 3	HR 4	HR 5	HR 6	HR 7	HR 8
HR 1	0,000	1,350	6,314	0,930	0,565	6,382	1,276	7,350
HR 2		0,000	5,951	1,124	1,278	6,038	0,483	6,876
HR 3			0,000	5,795	5,985	0,564	5,843	3,525
HR 4				0,000	0,819	5,860	1,048	6,724
HR 5					0,000	6,064	1,184	7,173
HR 6						0,000	5,911	3,441
HR 7							0,000	6,852
HR 8								0,000

Tab. 7.3: Vergleich der strukturellen Situation der Mesokosmen (HR 1- HR 8) im Sommer 2006 (Chi-Quadrat-Distanz: Flächengröße der Strukturen)

	HR 1	HR 2	HR 3	HR 4	HR 5	HR 6	HR 7	HR 8
HR 1	0,000	4,162	9,582	6,735	3,062	9,598	5,779	10,068
HR 2		0,000	8,189	5,017	4,410	8,718	2,894	8,503
HR 3			0,000	9,237	7,853	2,605	6,810	3,526
HR 4				0,000	7,317	10,430	4,571	8,142
HR 5					0,000	7,821	4,896	8,636
HR 6						0,000	7,809	5,278
HR 7							0,000	6,633
HR 8								0,000

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass nach etwa einem Jahr Laufzeit Unterschiede zwischen den Mesokosmen entstanden und sich im weiteren Verlauf verstärkten. Sie betrafen insbesondere die Entwicklung von Kolmationsbereichen, Pflanzen und Algen. Die Sandstrukturen zeigten in ihrer Entwicklung über die 3 Versuchsjahre stark stufenweise Veränderungen im zeitlichen Verlauf. Dies könnte darauf zurück zu führen sein, dass bei gleichbleibender Fließgeschwindigkeit in den Mesokosmen Strömungsveränderungen und damit auch Sohlveränderungen (Rippel,

stabil und Kolmation) lediglich durch erhöhte Makrophytendichten im Sommer hervorgerufen wurden. Die Kolmationen bildeten sich durch die gleichmäßige Fließgeschwindigkeit, FPOM-Ablagerungen und unterschiedliches Periphytonwachstum. Da das Periphytonwachstum nicht mit erfasst wurde, ist dessen Einfluss auf den Gleichtakt der Systeme kaum nachzuvollziehen. Der oft abrupte Wechsel zwischen Kolmationsbereichen und stabilen Sandbereichen scheint nach eigenen Beobachtungen mit dem Längenwachstum der Algen in Verbindung zu stehen. Mit zunehmendem Längenwachstum wurden immer wieder Algen los gerissen. Es verblieb eine periphytonfreie, stabile Sandlage.

Schwankungen der Maximalwerte für Nitrat und Silicat deuten an, dass die in jedem Mesokosmos identische Zugabe von Dünger nicht in gleichem Maße umgesetzt wurde. Hinzu könnten aber auch ein verstärkter Abbau von z.B. Algen und die Rücklösung aus dem Sediment kommen. Es scheint empfehlenswert, die Düngegaben auf Zeiten besonders hoher Produktion (z.B. Frühjahr) abzustimmen.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der chemischen und strukturellen Entwicklung kann davon ausgegangen werden, dass bei vergleichbarer Vorgehensweise stabile Versuchszeiträume von etwa 10 bis 12 Monaten erreicht werden können. Längerfristig entwickeln sich die Mesokosmen offenbar unter den hier gewählten Bedingungen schnell und markant auseinander.

Nach bisherigem Kenntnisstand könnten folgende Veränderungen zur Verbesserung des Gleichtakts führen:

1. Kurzfristige Strömungserhöhungen: Es ist davon auszugehen, dass die Umlagerung des Sedimentes bei erhöhter Sohlschubspannung den Prozess der Kolmation unterbindet und eine heterogenere Sohlstruktur bedingt.
2. Etablierung größerer Mengen Laub: Die Funktion von Laub als Substrat und Lebensraum zahlreicher Arten im Referenzgewässer und in den Mesokosmen wurde eindeutig belegt. Es wird erwartet, dass der Eintrag größerer Laub-Mengen der Entwicklung des Besatzes förderlich ist. Allerdings können an dieser Stelle noch keine Aussagen über Obergrenzen gemacht werden. Leaching-Prozesse und Laubabbau sollten zukünftig unter den Bedingungen des Kreislaufbetriebes getestet werden.
3. Bepflanzung: Auch die Makrophytenentwicklung kann unter den Bedingungen der Mesokosmen offenbar nur exogen gesteuert werden. Ihre hydromorphologische und trophische Funktion wurde ebenso deutlich, wie ihre Rolle als Besiedlungsstruktur. Eine stärkere Annäherung an die Substratsituation im Referenzgewässer setzt hier, wie beim Laub, die Etablierung größerer Mengen fließgewässertypische Vegetation voraus.
4. Eine an den Bedarf der Makrophytenarten angepasste Düngung, wäre eine Möglichkeit das Makrophytenwachstum in Bezug auf die Konkurrenz zu den Algen mehr zu forcieren. Die Orientierung an den im Referenzgewässer gemessenen Werten ist dabei möglicherweise wenig zielführend. In makrophytenreichen Gewässern ist der Turnover der Pflanzen häufig so hoch, dass die tatsächlich ins Gewässer eingegangenen Mengen an z.B. Nitrat und Phosphat nicht erfasst werden können. Jedoch besteht auch bei angepasster Düngung die Möglichkeit, dass sich kein zufrieden stellender Gleichtakt einstellt, da weitere Ursachen hinzukommen können (s.o.).

7.4 Faunistische Besiedlung

Die vergleichende Betrachtung der Fauna zeigt, dass an allen Probennahmeterminen erhebliche Unterschiede zwischen den Mesokosmen bestehen (Abb. 7.11). Dies betrifft sowohl die Individuenzahl insgesamt als auch die Anteile einzelner Taxa. Während bei den Laub-MBA lediglich die HR 1, 5 und 7 durch niedrige Gesamtindividuenzahlen auffielen, hatten bei den *Elodea*-MBA die HR 1, 4 und 7 die höchsten Individuenzahlen.

Unabhängig von den Unterschieden in der Gesamtindividuenzahl, belegen die Daten für Laub und *Elodea* in allen Mesokosmen die Substratspezifität der eingesetzten Taxa (Abb. 7.11). Während Chironomidae in fast allen HR als quantitativ herausragende Besiedler auf Laub-MBA auftraten, waren auf *Elodea* in den meisten HR Gastropoda dominant oder hatten Gastropoda zusammen mit den Acari die höchsten Anteile. Beide Gruppen wiesen zu diesem Zeitpunkt signifikant (Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$) unterschiedliche Dichten in den Mesokosmen auf. Die Dichten der Chironomidae waren dabei in jedem Mesokosmos auf Laub-MBA signifikant (Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$) unterschiedlich. Für Sand ergab sich kein einheitliches Bild. Während in einigen HR Chironomidae die Fauna der Sand-MBA dominierten, hatten in anderen Oligochaeta größte Anteile oder waren beide Gruppen in etwa gleich stark vertreten.

Anders als bei Laub und *Elodea* musste bei der Bewertung der Sand-MBA berücksichtigt werden, dass bereits vor Beginn dieses Projektes Sand in den Mesokosmen vorlag und somit als Besiedlungsraum zur Verfügung stand. Nach erstem optischem Eindruck bestanden allerdings Unterschiede in der Besiedlung des Sandes zwischen den Mesokosmen. Eine vorab durchgeführte Direktbeprobung sollte mögliche Unterschiede in Qualität und Quantität der Besiedlung aufzeigen.

Die in Abb. 7.12 dargestellten Ergebnisse bestätigen den optischen Eindruck, denn in den Mesokosmen siedelten bereits Oligochaeta, Gastropoda und teilweise Chironomidae. HR 1, 3, 5 und 7 unterschieden sich zu diesem Zeitpunkt sowohl in den Besiedlungsdichten als auch in den Großgruppenanteilen an der jeweiligen Fauna. Oligochaeta wiesen die höchsten Anteile an dieser Ausgangsbesiedlung auf. Die Dichten der Oligochaeta waren in den HR 1 und 7 am höchsten (Abb. 7.12). Gastropoda waren in 3 Mesokosmen nur vereinzelt in den Proben, lediglich in HR 3 traten sie in Dichten von durchschnittlich 10 Ind./57 cm² auf. In den HR 1 und 3 wurden zudem Chironomidae erfasst, die in HR 3 vergleichsweise hohe Dichten erreichten.

Die taxonomische Zusammensetzung unterschied sich 3 Wochen nach Besatz der HR nur wenig von der Ausgangssituation. Weiterhin waren höchste Dichten in HR 3 zu verzeichnen (Abb. 7.12). Diese ergaben sich primär durch die hohen Anteile der Chironomidae, die zu diesem Zeitpunkt nur in HR 3 auftraten. Selbst die relativen Anteile der Großgruppen an der jeweiligen Substratbesiedlung waren für die Daten der Vorabbeprobung und der Sandexponate ähnlich (Abb. 7.12). Dieser Vergleich zeigt allerdings auch, dass bei Auswertung der Sand-MBA verschiedene Taxa erfasst wurden, die zuvor fehlten (Bivalvia, Hirudinea, Acari, Amphipoda, Trichoptera).

Bei der Interpretation dieser Daten ist zu berücksichtigen, dass die Vorabbeprobung nur in geringem Stichprobenumfang durchgeführt werden konnte (Maßgabe der minimalen Störung der Mesokosmen → vgl. Kapitel 3.1). Insbesondere bei seltenen oder stark geklumpt vorkommenden Arten steigt die Chance auf Erfassung mit der Bearbeitungsintensität (z.B. Stichpro-

bengröße oder Größe der bearbeiteten Fläche). Es ist denkbar, dass diese Taxa bei der geringen Stichprobengröße ($n = 4$) z. T. nicht erfasst wurden.

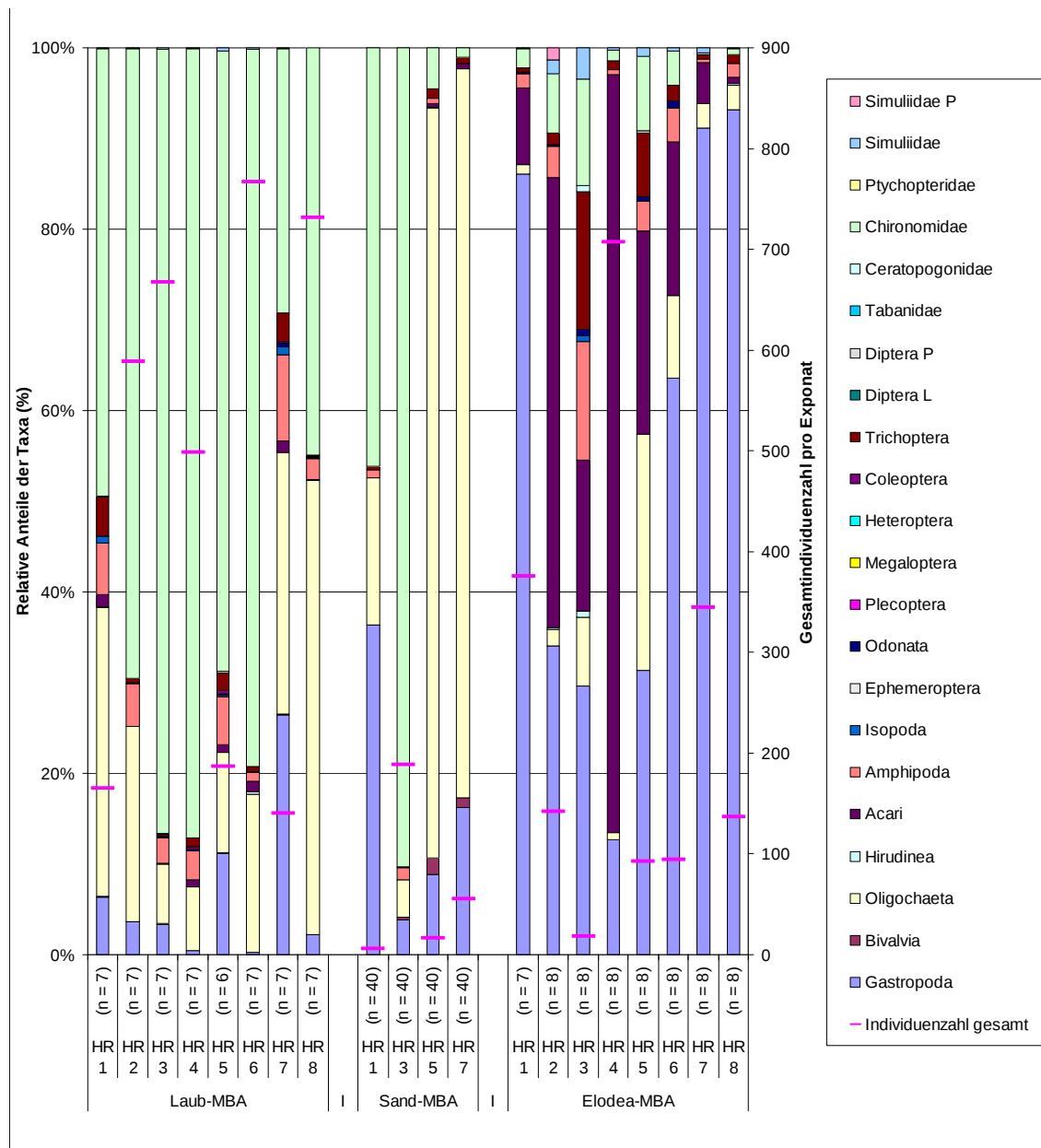


Abb. 7.11¹³: Besiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm²)

¹³ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

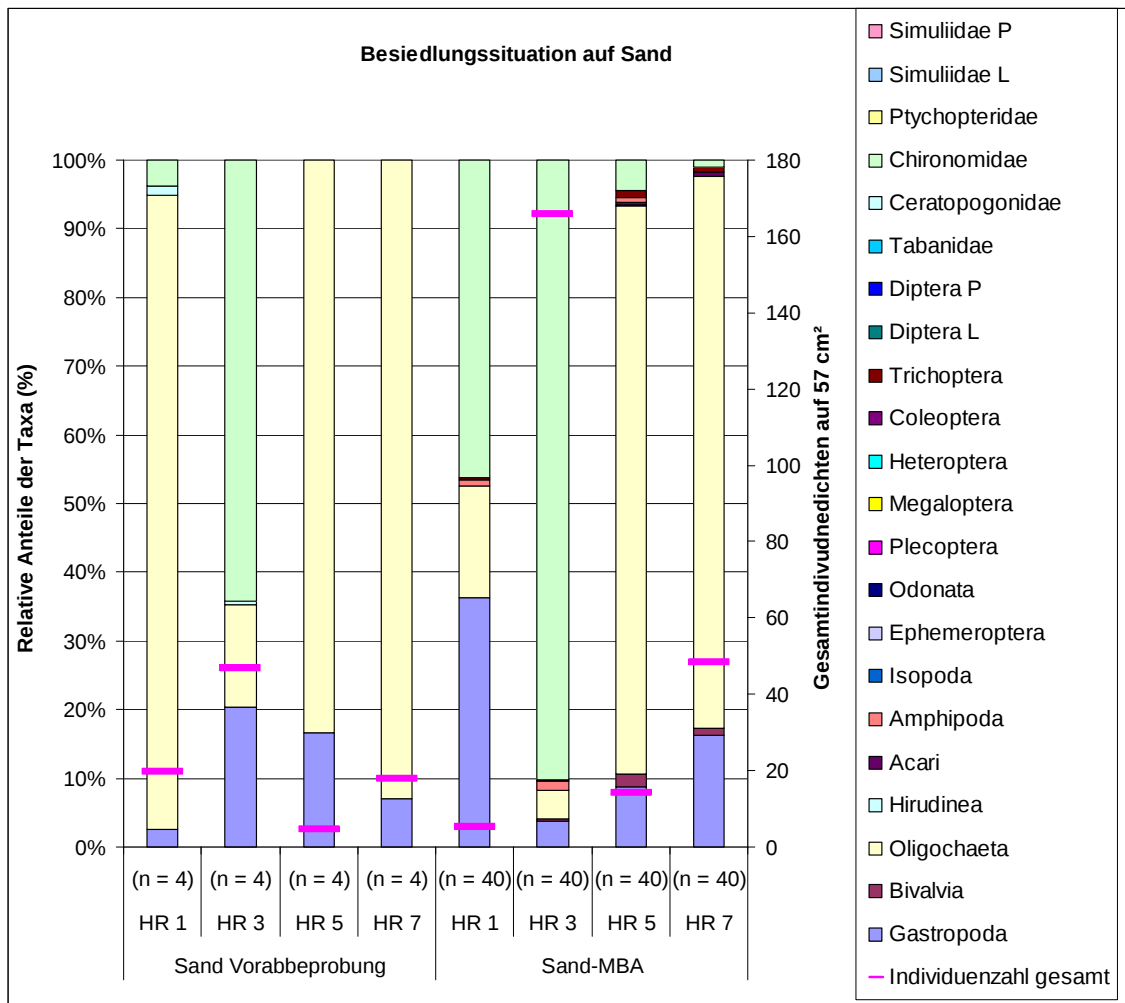


Abb. 7.12: Besiedlung auf Sand vor und nach dem Besatz in den Mesokosmen (Vorabbeprobung 04.05.2005, Sand-MBA 25.05.2005): Relative Anteile der Taxa und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Oberfläche = 57 cm²)

Die Zahl der Trichoptera war stets auf allen MBA und in allen Mesokosmen recht gering (Abb. 7.13). Sowohl auf Laub als auch auf Elodea war in der Mehrzahl der Fälle *Oxyethira flavicornis* dominant. Auf den Laub-MBA ergaben sich die größten Unterschiede zwischen den Mesokosmen. Hier hatten ebenfalls die Limnephilidae und *Agraylea* sp. größere Anteile (Abb. 7.13). HR 1 und 8 unterschieden sich bei den Laub-MBA am stärksten von den anderen Mesokosmen, da *Oxyethira flavicornis* hier fehlte.

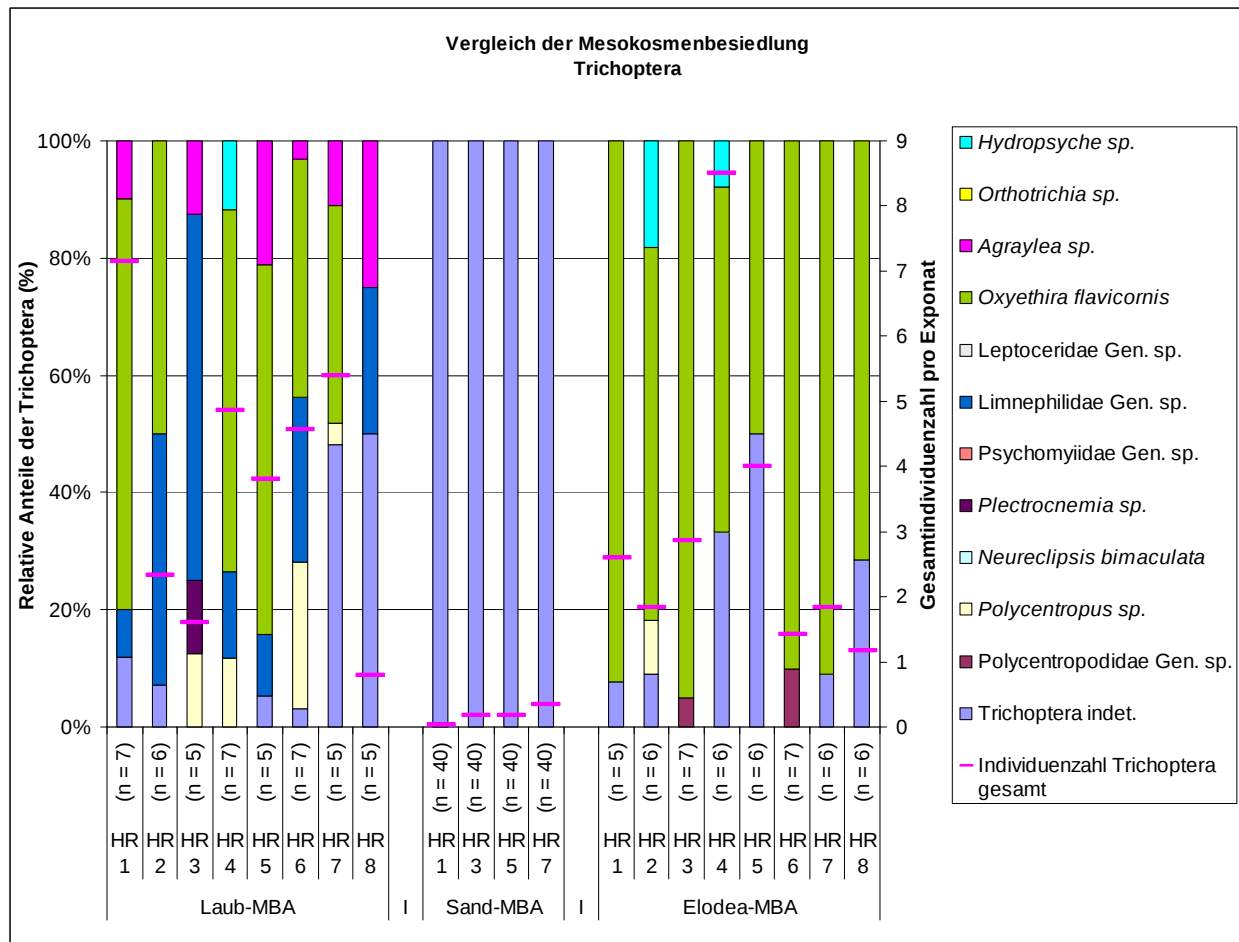


Abb. 7.13: Trichopterenbesiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005): Relative Anteile der Trichoptera und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm²)

Abgesehen von den stark unterschiedlichen Dichten der Chironomidae auf den Laub-MBA lagen in Bezug auf die taxonomische Zusammensetzung bei Laub und Sand keine Unterschiede vor (Abb. 7.14). *Corynoneura* sp. dominierte hier das Bild. Auf den *Elodea*-MBA hatten die Orthocladiinae und Tanytarsini hohe Anteile. In HR1 und 8 waren zudem Chironomini und *Corynoneura* sp. dominant (Abb. 7.14). Allerdings sollten diese Unterschiede aufgrund der sehr geringen Individuendichten auf *Elodea* nicht überbewertet werden.

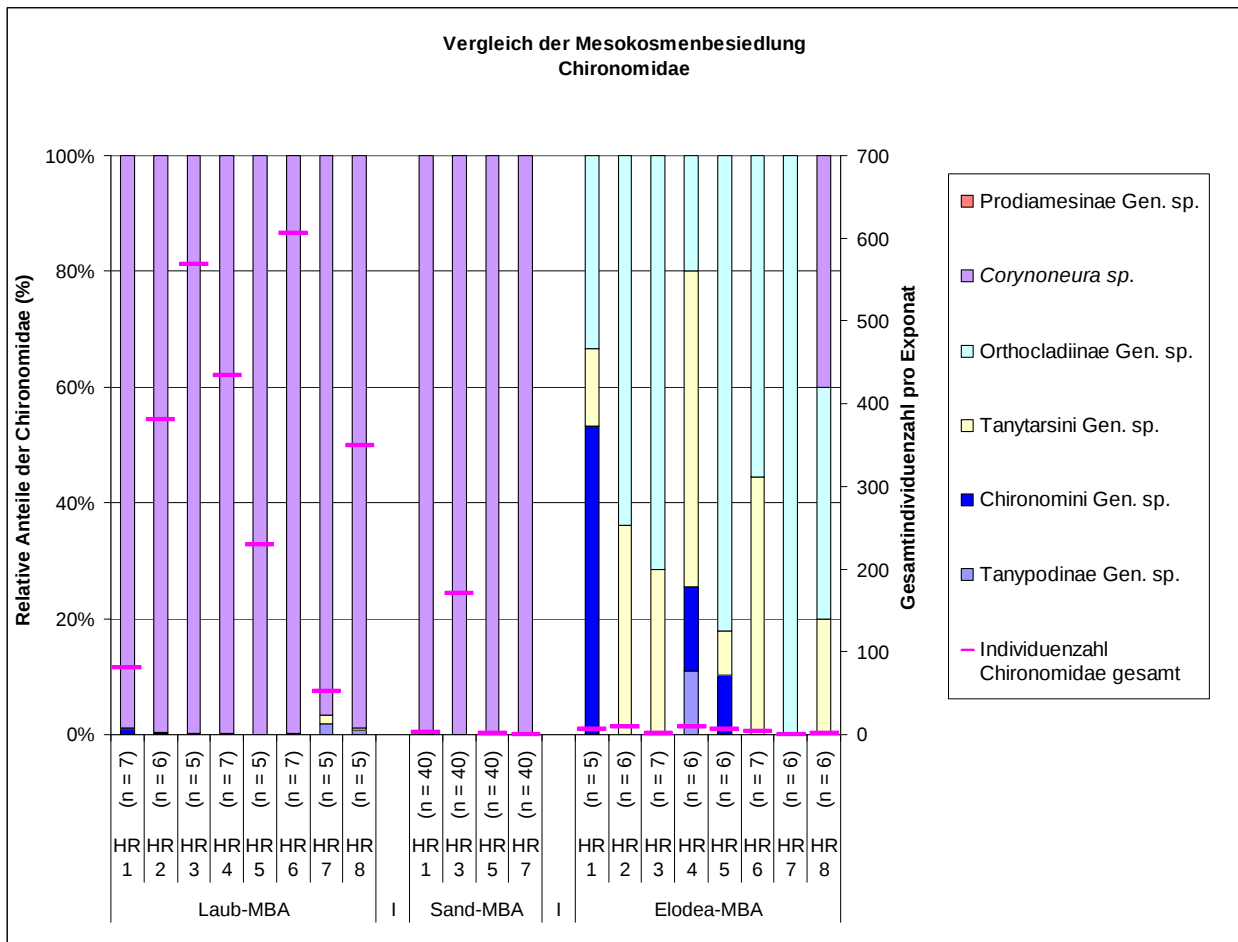


Abb. 7.14: Chironomidenbesiedlung auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005): Relative Anteile der Chironomidae und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm²)

Die Verteilung der Gastropoda auf den Laub-MBA ergibt ebenfalls ein heterogenes Bild (Abb. 7.15). Obwohl die Dichten der Gastropoda auf dem Ordnungsniveau betrachtet keine gravierenden Unterschiede zwischen den Mesokosmen aufwiesen, war ihre taxonomische Zusammensetzung in den Mesokosmen deutlich verschieden. *Physella* sp. z.B. trat nur in HR 5 und 7 auf und war dort mit 60 und 70% dominant (Abb. 7.15). Auch andere Taxa traten in unterschiedlichen Dichten in den einzelnen Mesokosmen auf. Auf *Elodea* war die Verteilung in den Mesokosmen weniger heterogen. HR 1 und 7 fielen zwar aufgrund hoher Individuendichten auf, jedoch war nur in HR 3 *Radix balhica* in größerer Dichte vertreten als *Potamopyrgus antipodarum* (Abb. 7.15).

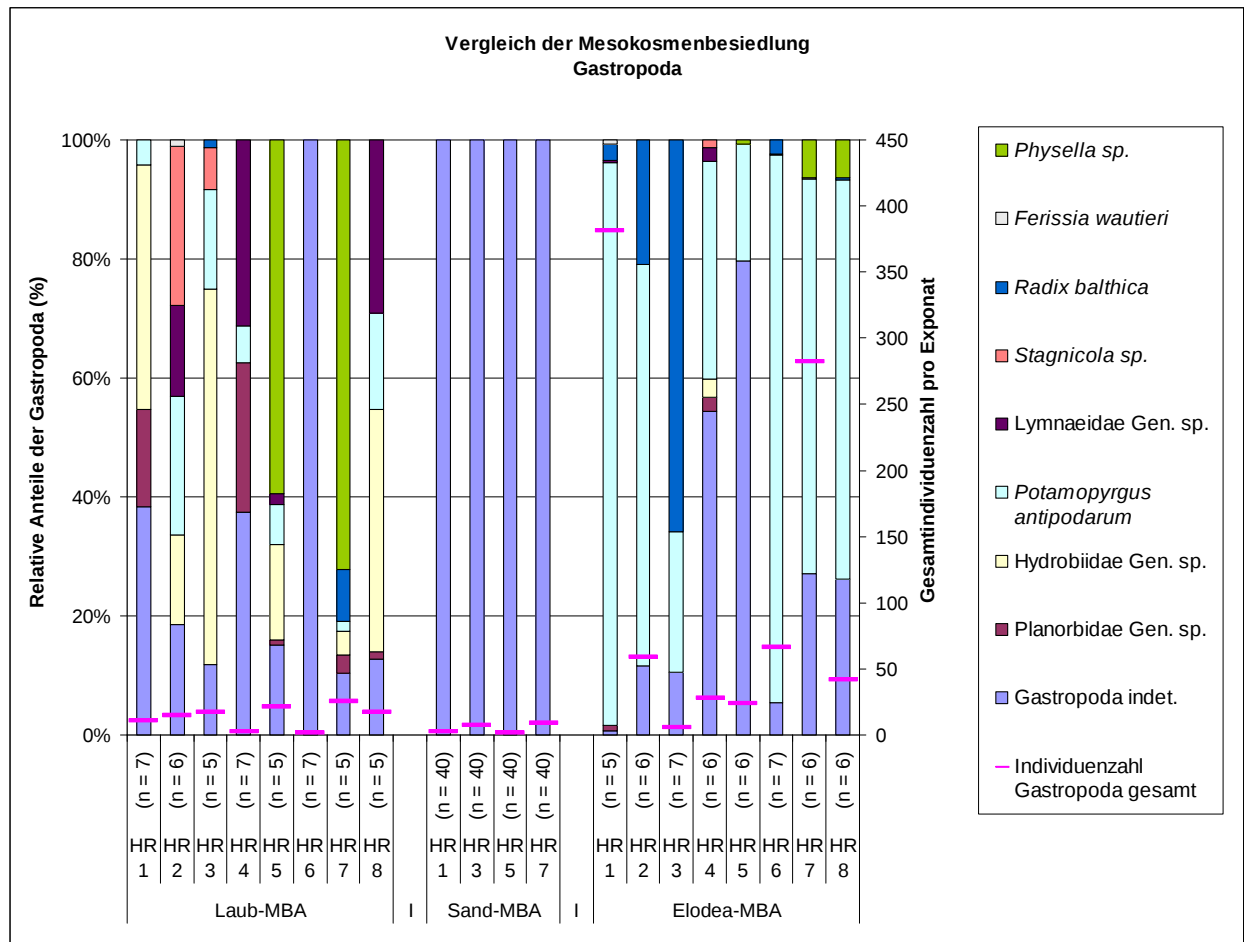


Abb. 7.15: Besiedlung der Gastropoda auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005): Relative Anteile der Gastropoda und mittlere Gesamtindividuenzahl pro Exponat (Frischgewicht Laub = 20 g, *Elodea* = 30 g, Oberfläche Sand = 57 cm²)

Die relative Verteilung der auf Laub und *Elodea*-MBA festgestellten Ernährertypen wies vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen den Mesokosmen auf. Weidegänger und Sedimentfresser hatten in allen Mesokosmen die höchsten Anteile, gefolgt von Zerkleinerern, Räubern und Filtrierern (Abb. 7.16). Auf Sand dominierten entweder Weidegänger und Sedimentfresser (HR 1 und 3) oder waren alle Gruppen in ähnlichen Anteilen vertreten (Abb. 7.16). Dabei müssen jedoch die geringen Gesamtindividuenzahlen auf Sand-MBA berücksichtigt werden.

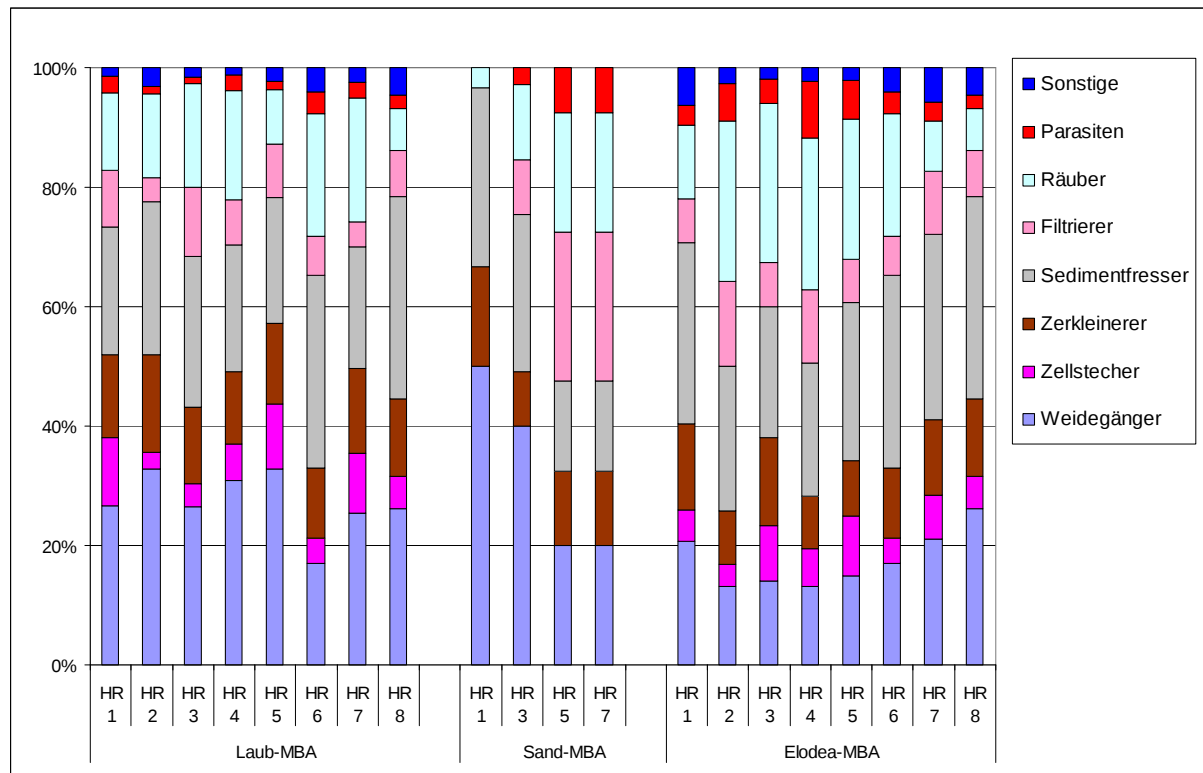


Abb. 7.16: Anteile der Ernährungstypen auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005)

Die Auswertung unter dem Aspekt „Substratpräferenz der Fauna“ weist darauf hin, dass in allen HR Phytalpräferenzen auf Laub- und *Elodea*-MBA die höchsten Anteile stellten (Abb. 7.17). Die unterschiedliche Präsenz der Phytalpräferenzen bestätigt den z.T. makroskopisch erkennbaren Mangel an Gleichtakt. Insbesondere der Anteil der Phytal- und Hartsubstratpräferenzen schwankt. Dabei haben HR 4 und 7 jeweils die höchsten Anteile an Phytal- und Hartsubstratbesiedlern auf Laub (Abb. 7.17), während die Mesokosmen 3 und 7 durch relativ hohe Anteile an Phytalpräferenzen auf *Elodea* auffallen. Auf Sandsubstraten bildet HR 1 eine Ausnahme. Dort fehlen Phytalpräferenzen ebenso wie POM-Präferenzen und unter Sonstige subsummierte Taxa.

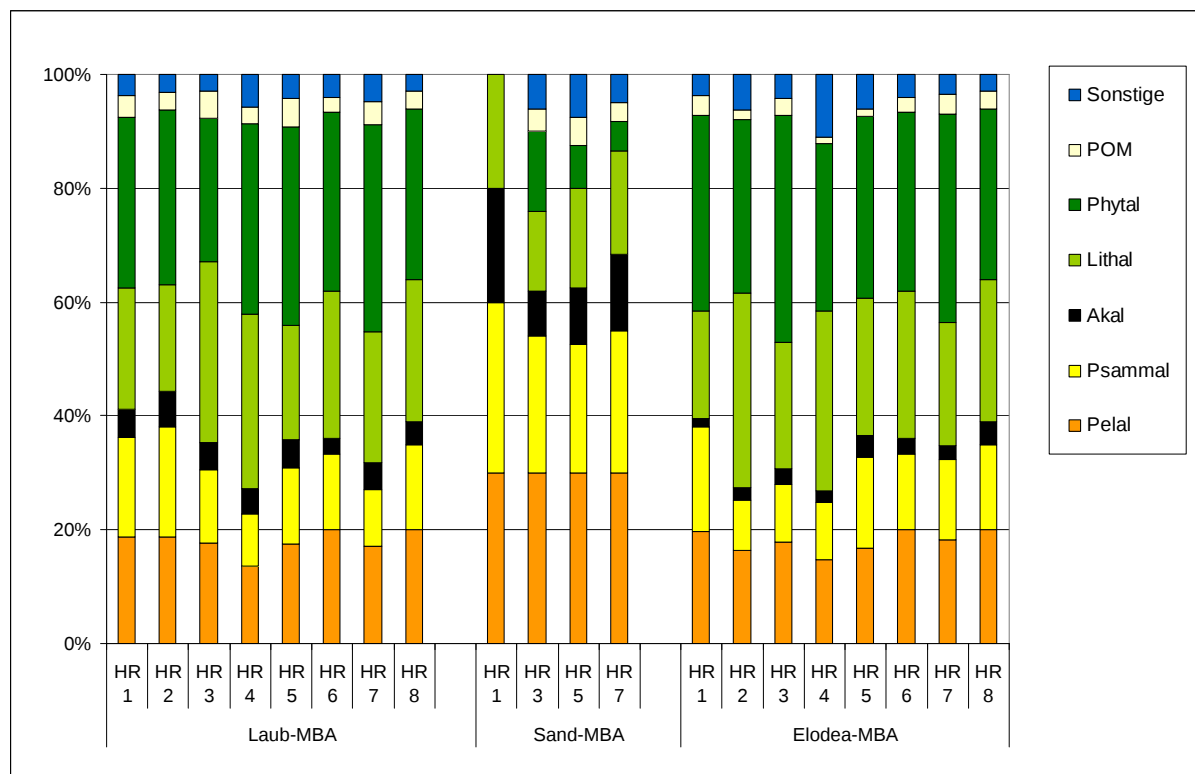


Abb. 7.17: Anteile der Substratpräferenzen auf MBA in den Mesokosmen (Zeiträume: Laub 25.02.2005, Sand 25.05.2005, *Elodea* 19.11.2005)

Der multivariate Vergleich der Mesokosmenbesiedlung auf Basis des vorliegenden Bestimmungsniveaus bestätigt das insgesamt heterogene Bild der Besiedlung. Die Mesokosmen ähnelten sich in Bezug am 25.02.2005 nur bedingt. Die Ähnlichkeiten der Laub-MBA lag mehrheitlich zwischen 26 und 50% (Tab. 7.4). Eine größere faunistische Übereinstimmung wiesen nach Wainstein zu diesem Zeitpunkt nur HR 3, 4 und 5 auf. Die geringsten Ähnlichkeiten zu allen anderen Mesokosmen zeigte HR 7.

Tab. 7.4: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf Laub-MBA (25.02.2005): Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein

Mesokosmen	HR 1	HR 2	HR 3	HR 4	HR 5	HR 6	HR 7	HR 8
HR 1		45,5%	29,3%	27,0%	39,5%	36,4%	42,1%	44,7%
HR 2			38,2%	45,9%	45,2%	41,1%	36,4%	42,4%
HR 3				46,2%	53,3%	39,1%	23,8%	27,0%
HR 4					51,1%	48,9%	25,8%	28,2%
HR 5						41,0%	32,0%	35,7%
HR 6							27,9%	30,2%
HR 7								40,6%
HR 8								
Mittelwerte pro HR	37,8%	42,1%	36,7%	39,0%	42,6%	37,8%	32,7%	35,6%
Klassen	0 - 25 %		26 - 50 %		51 - 75 %		76 - 100 %	

Auch die auf Laub-MBA bezogene Clusteranalyse weist auf die Sonderstellung von HR 7 hin ebenso wie auf Unterschiede zwischen HR 1 bzw. HR 8 und den übrigen Mesokosmen (Abb. 7.18).

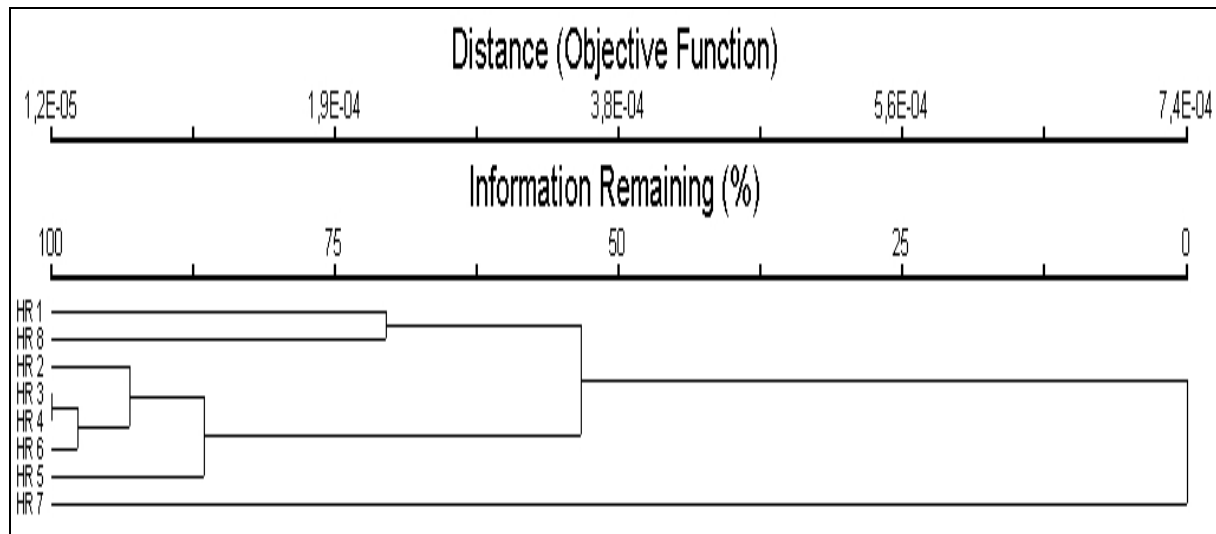


Abb. 7.18: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf Laub-MBA (25.02.2005): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa)

Für die Besiedlung der *Elodea*-MBA lieferte sowohl der Index nach Wainstein (Tab. 7.5) als auch die Clusteranalyse (Abb. 7.19) Hinweise darauf, dass die Besiedlung in HR 4, 3 und 5 sich von der Fauna anderer Mesokosmen unterschied. Augenfällig war, dass – im Gegensatz zu Laub – auf *Elodea* deutlich weniger Ähnlichkeitsindices in den Bereichen 26 bis 50% und >50% auftraten. Betrug die durchschnittliche Ähnlichkeit auf Laub im Februar 2005 noch 38%, lag sie im November 2005 auf *Elodea* nur noch bei 29,9%. Saisonale Effekte dürften diese Ergebnisse allerdings stark beeinflusst haben. Dies wird u.a. daran deutlich, dass jene Mesokosmen, welche am 25.02.2005 die größten Ähnlichkeiten aufwiesen (HR 3, 4 und 5), am 19.11.2005 die geringsten Übereinstimmungen zeigten. Insgesamt verdeutlicht die Abnahme an Ähnlichkeit auch anhand der faunistischen Daten den geringen Gleichtakt nach mehr als 1 Jahr Versuchszeitraum.

Tab. 7.5: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf *Elodea*-MBA (19.11.2005): Ähnlichkeitsmatrix nach Wainstein

Mesokosmen	HR 1	HR 2	HR 3	HR 4	HR 5	HR 6	HR 7	HR 8
HR 1		21,8%	10,3%	6,7%	10,7%	47,8%	41,5%	33,2%
HR 2			31,4%	28,8%	29,2%	35,5%	21,2%	25,4%
HR 3				10,8%	25,7%	35,6%	10,3%	17,7%
HR 4					21,4%	13,2%	5,4%	4,4%
HR 5						25,9%	24,1%	29,4%
HR 6							41,2%	43,2%
HR 7								63,4%
HR 8								
Mittelwerte pro HR	24,6%	27,6%	20,3%	13,0%	23,8%	34,6%	29,6%	31,0%
Klassen	0 - 25 %		26 - 50 %		51 - 75 %		76 - 100 %	

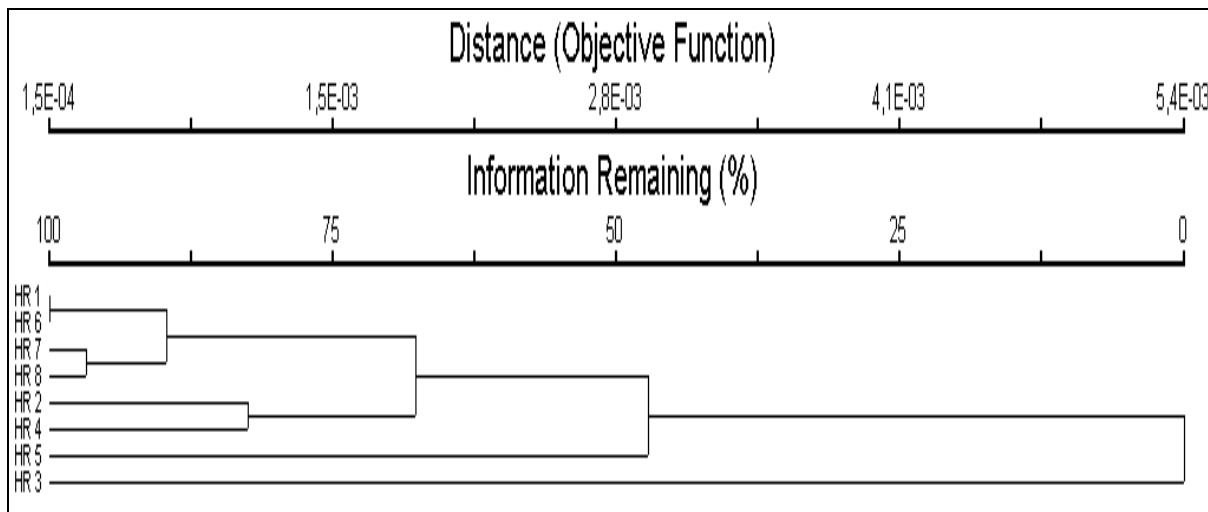


Abb. 7.19: Mesokosmenbesiedlung (HR 1- HR 8) auf *Elodea*-MBA (19.11.2005): Clusteranalyse (Chi-Quadrat-Distanz: Häufigkeiten der Taxa)

Fazit

Sowohl der qualitative, als auch der quantitative Vergleich der faunistischen Besiedlung der einzelnen Mesokosmen zeigte, dass zu keinem Beprobungszeitpunkt ein völliger Gleichtakt herrschte. Trotz maximal möglicher Konstanz der wesentlichen abiotischen und biotischer Faktoren stellten sich unterschiedliche Besiedlungsbedingungen ein.

Saisonale Effekte, ebenso wie die Unterschiede im Drift-, Migrations- und Ansiedlungsverhalten der Taxa könnten dabei eine Rolle spielen (vgl. Kapitel 6). Allerdings kann die Wirkung der einzelnen Faktoren und ihr Wechselwirken aktuell nicht differenziert dargestellt werden. Besonders die Erfassung der patchiness ist abhängig von der Stichprobengröße pro System. Die umfangreiche Beprobung der jeweiligen Substrattypen stellt allerdings gleichzeitig eine Störung der Mesokosmen dar, die beim hier zugrunde liegenden Versuchsansatz nicht toleriert werden konnte.

Wie in Kapitel 6.1.3 ausgeführt, konnten auch nach 10 Wochen alle ThO in allen Mesokosmen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund ist diese Probenahmemethode für die Beprobung während ökotoxikologischer Versuche zu empfehlen. Die gewählte Methode zur Ausstattung der Mesokosmen und zur Etablierung der Faunenelemente resultierte sowohl bei Verwendung von Laub als auch von *Elodea* in einem relativen Gleichtakt der Mesokosmen in Bezug auf die wesentlichen Ernährertypen. So eignen sich nach dem aktuellen Kenntnisstand offenbar die gewählten Laub- wie auch *Elodea*-Exponate, um befristet eine dem Referenzgewässer ähnliche substratspezifische Besiedlungssituation zu erzielen.

7.5 Vergleich der Besiedlungs- und Substratsituation

Den in Kapitel 7.4 erörterten Ergebnissen zufolge, unterschieden sich die Mesokosmen an den zwei Beprobungsterminen (25.02.05 und 20.07.06) deutlich in Bezug auf die Besiedlung der

Laub-MBA (Abb. 7.20). Diese faunistischen Unterschiede scheinen nicht durchgehend auf Differenzen in der strukturellen Situation zurückzuführen sein. Im Februar dominierte in allen Mesokosmen gleichmäßig die Struktur „Sand (stabil)“. Alle anderen Substrattypen hatten in allen Mesokosmen geringe, aber etwa gleich große Anteile (Abb. 7.21). Trotzdem ergaben sich Unterschiede insbesondere in der Individuendichte der Chironomidae von 50-600 Individuen pro MBA zwischen den Mesokosmen (Abb. 7.20). Bis zum Juli hatte sich die Substratsituation deutlich verändert. Bereiche mit Kolmation dominierten und der Anteil organischer Substrate, Makrophyten, Algen und FPOM-Ablagerungen auf Sand hatte zugenommen (Abb. 7.21 und 7.22). Dementsprechend war die Fläche der durchweg mineralischen Substrate zurückgegangen. Zu diesem Zeitpunkt dominierten in beiden Mesokosmen auf Laub-MBA die Acari.

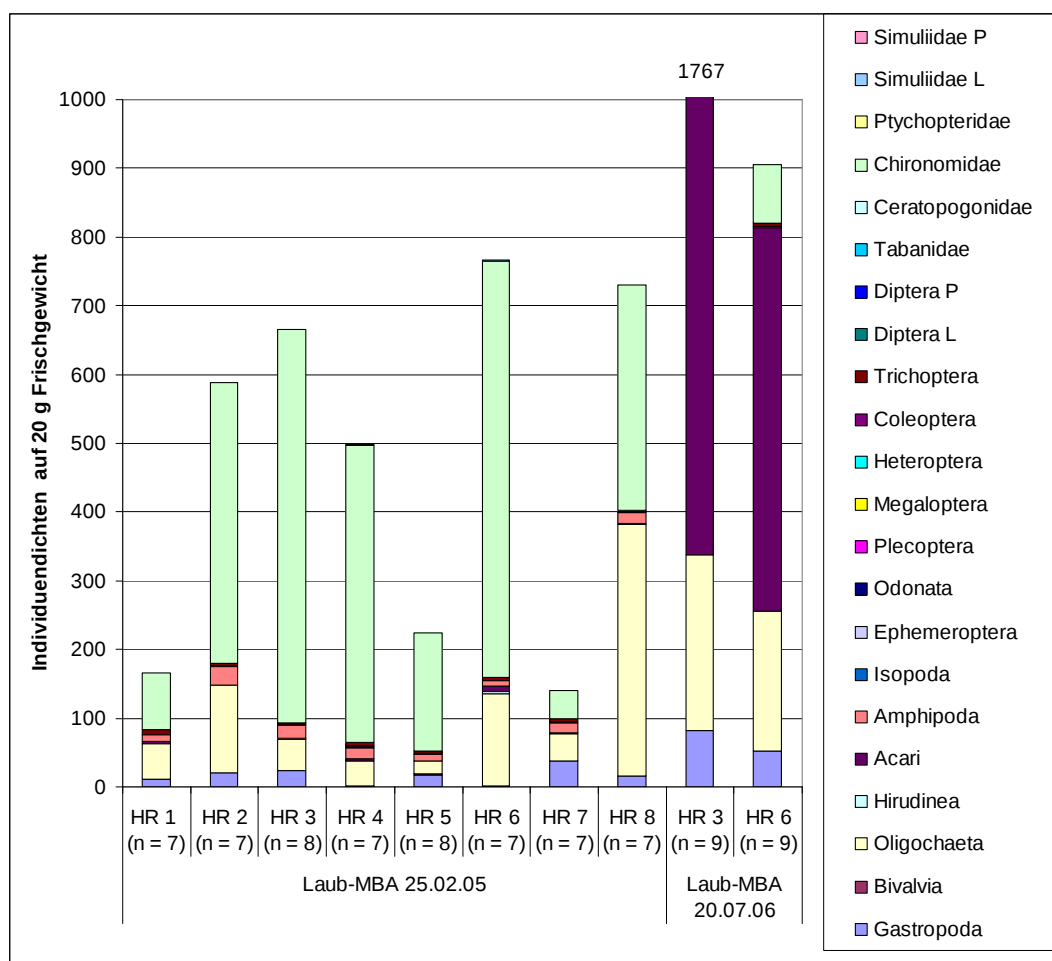


Abb. 7.20 ¹⁴: Besiedlungsdichten in den Mesokosmen auf Laub-MBA am 25.02.05 und 20.07.06 - Mittelwerte der Taxa pro Probe (20 g Frischgewicht)

¹⁴ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

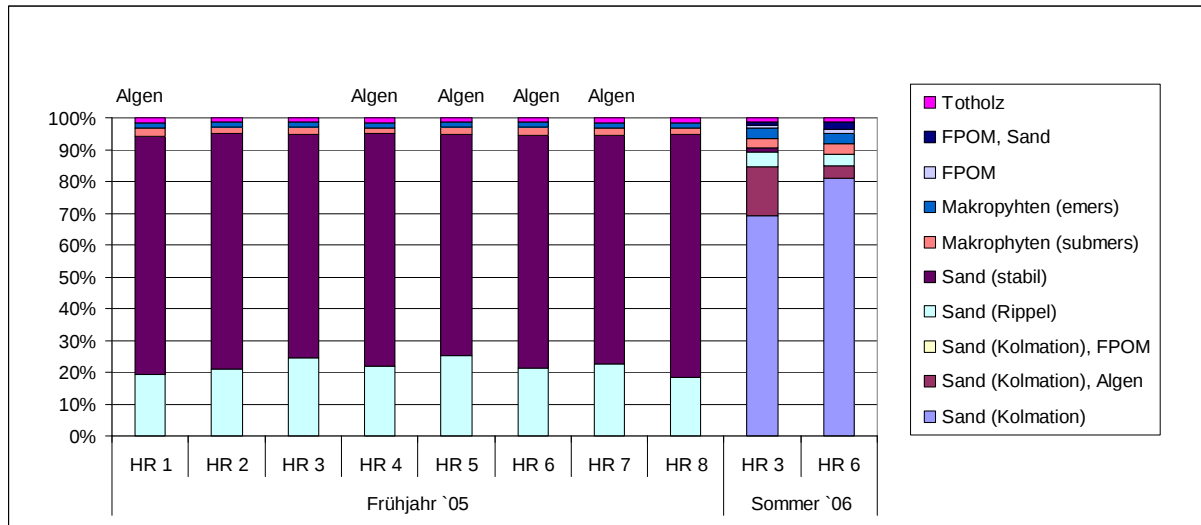


Abb. 7.21: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Frühjahr 2005 und Sommer 2006 und Präsenz-Absenz von Algen

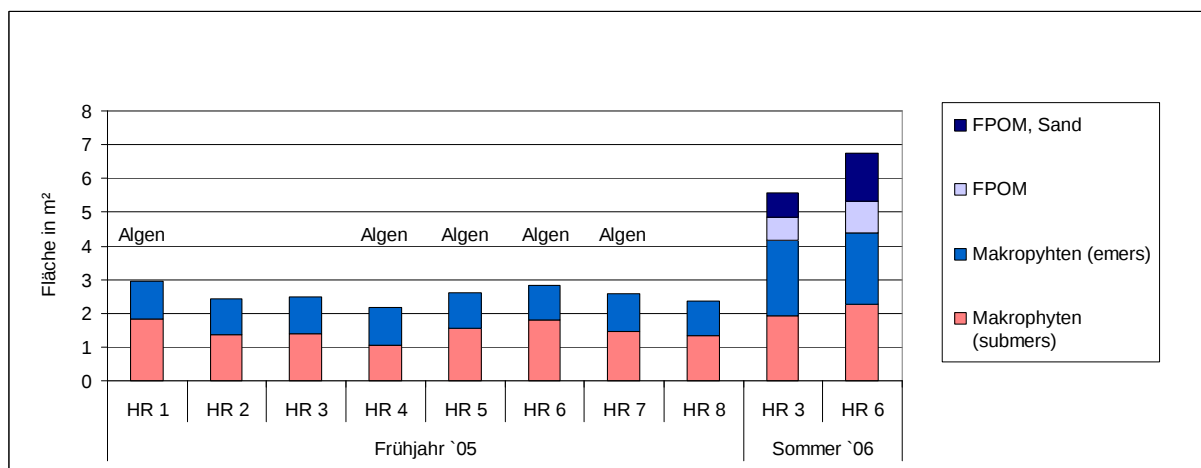


Abb. 7.22: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Frühjahr 2005 und Sommer 2006 und Präsenz-Absenz von Algen

Die Gegenüberstellung der Besiedlungs- und Struktursituation (Abb. 7.23 und 7.24) weist für Sand-MBA auf Besonderheiten in HR 3 hin. Sie war die einzige von 4 Rinnen die einerseits durch extrem hohe Dichten der Chironomidae, andererseits durch das Fehlen von Kolmation gekennzeichnet war. Dieser vermeintliche Zusammenhang wurde bisher nur einmalig beobachtet und kann nicht sicher bestätigt werden. Allerdings sollte bei weiteren Untersuchungen Wert auf die Beobachtung vergleichbare Situationen gelegt werden. Weitere Unterschiede zeigten die Anteile der organischen Substrate (Abb. 7.25). In 2006 waren die submersen Makrophyten gegenüber 2005 zurückgegangen.

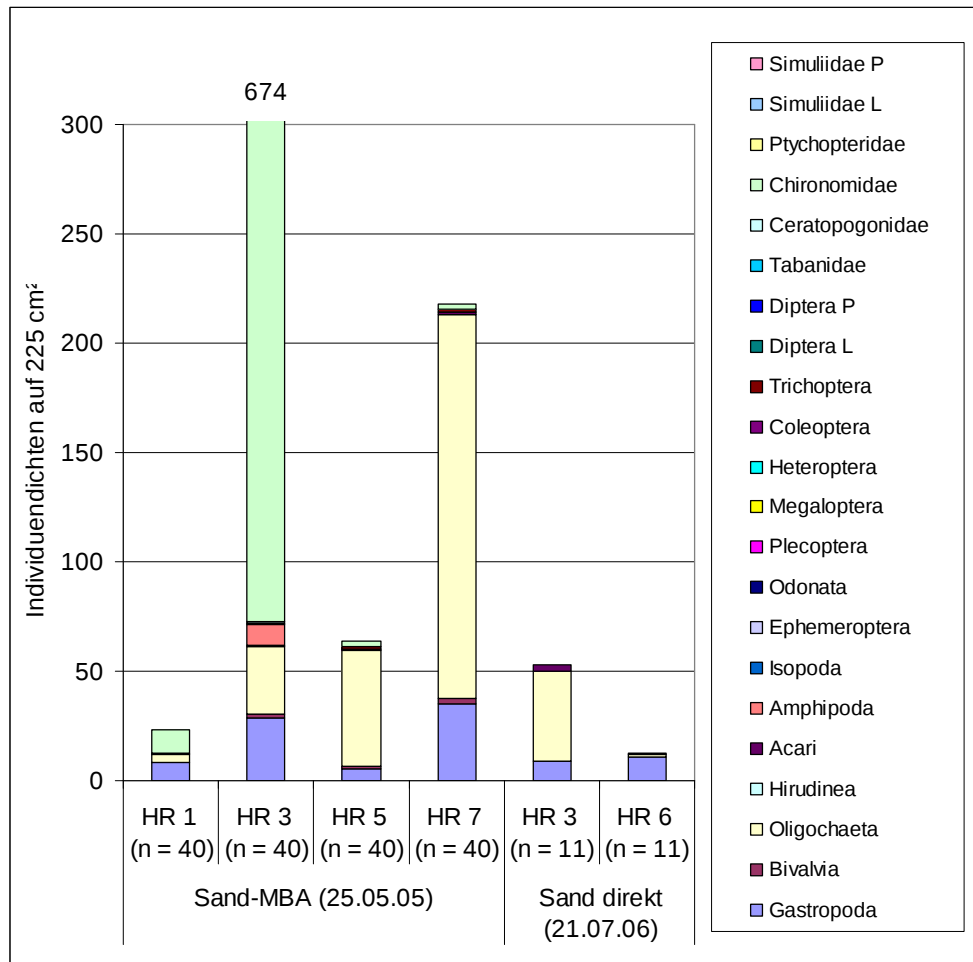


Abb. 7.23 ¹⁵: Besiedlungsdichten im Sediment der Mesokosmen am 25.05.05 und 21.07.06 - Mittelwerte der Taxa auf 225 cm²

¹⁵ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

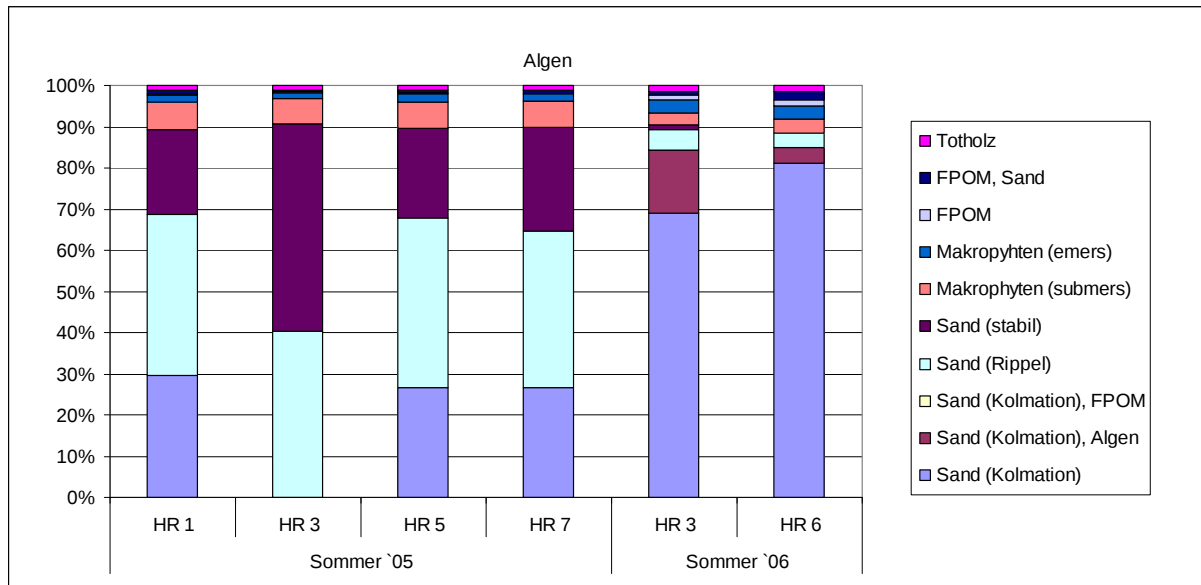


Abb. 7.24: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Sommer 2005 und 2006 und Präsenz-Absenz von Algen

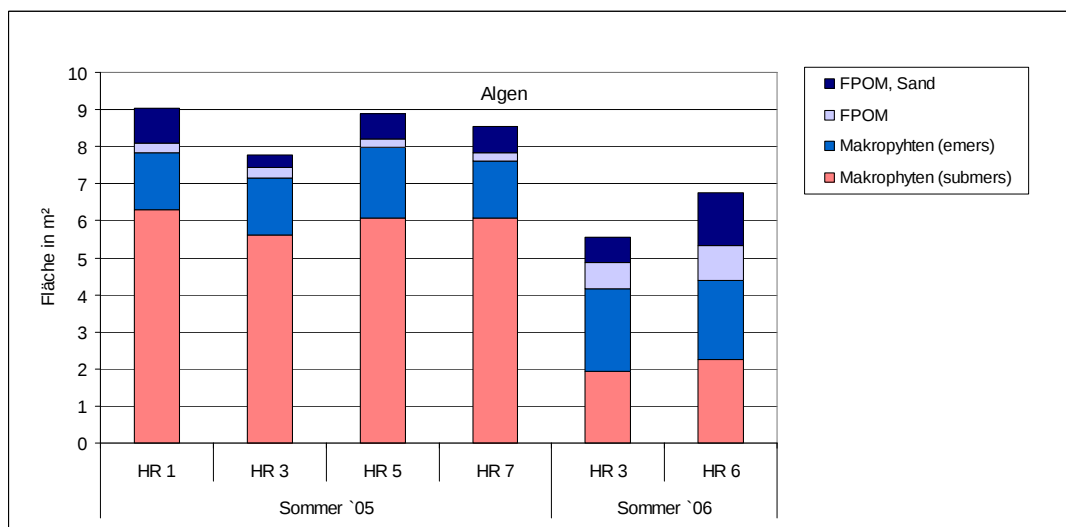


Abb. 7.25: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Sommer 2005 und 2006 und Präsenz-Absenz von Algen

Die vergleichende Bewertung der *Elodea*-Besiedlung und der Struktur- bzw. Substratsituation in den Mesokosmen im November 2005 ist unauffällig (Abb. 7.26 bis 7.29). Die deutlichen Dichteunterschiede der Chironomidae, Oligochaeta, Trichoptera und Amphipoda zeigte keine Beziehungen zur Ausprägung von Kolmationsbereichen, Algenpräsenz oder zur Menge der organischen Substrate.

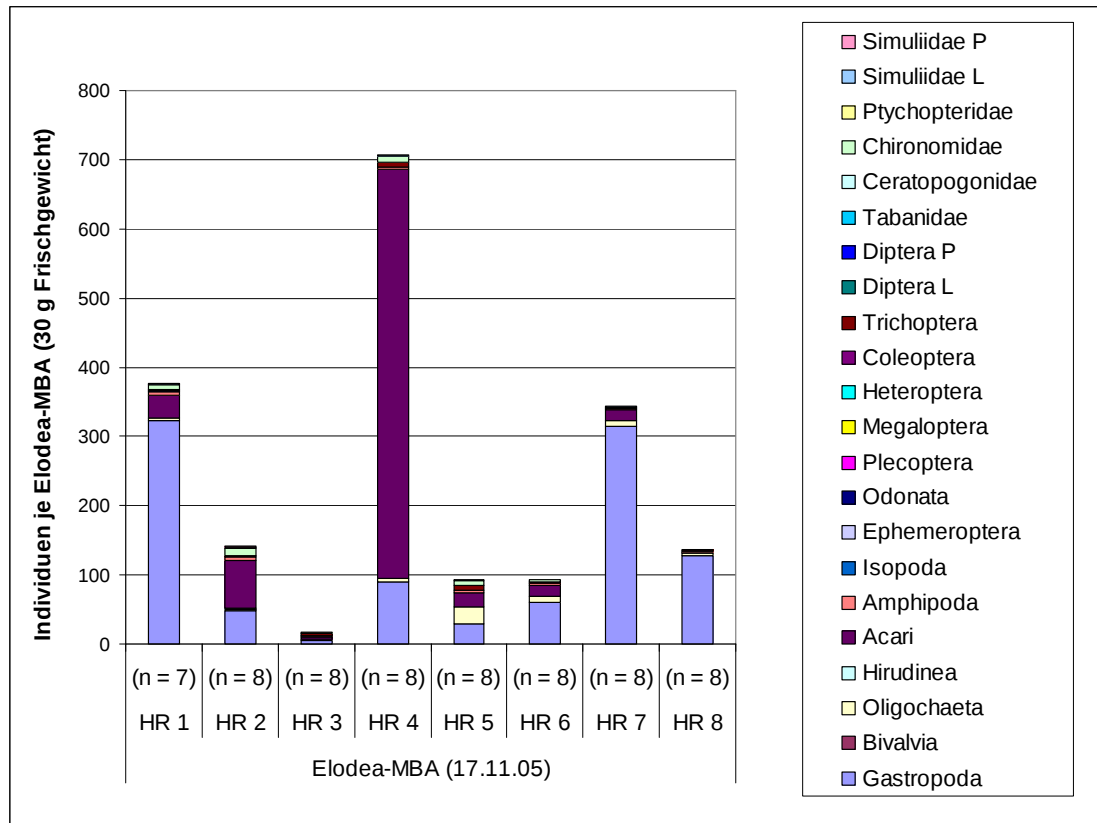


Abb. 7.26¹⁶: Besiedlungsdichten in den Mesokosmen am 17.11.05 - Mittelwerte der Taxa je *Elodea*-MBA (30 g Frischgewicht)

¹⁶ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

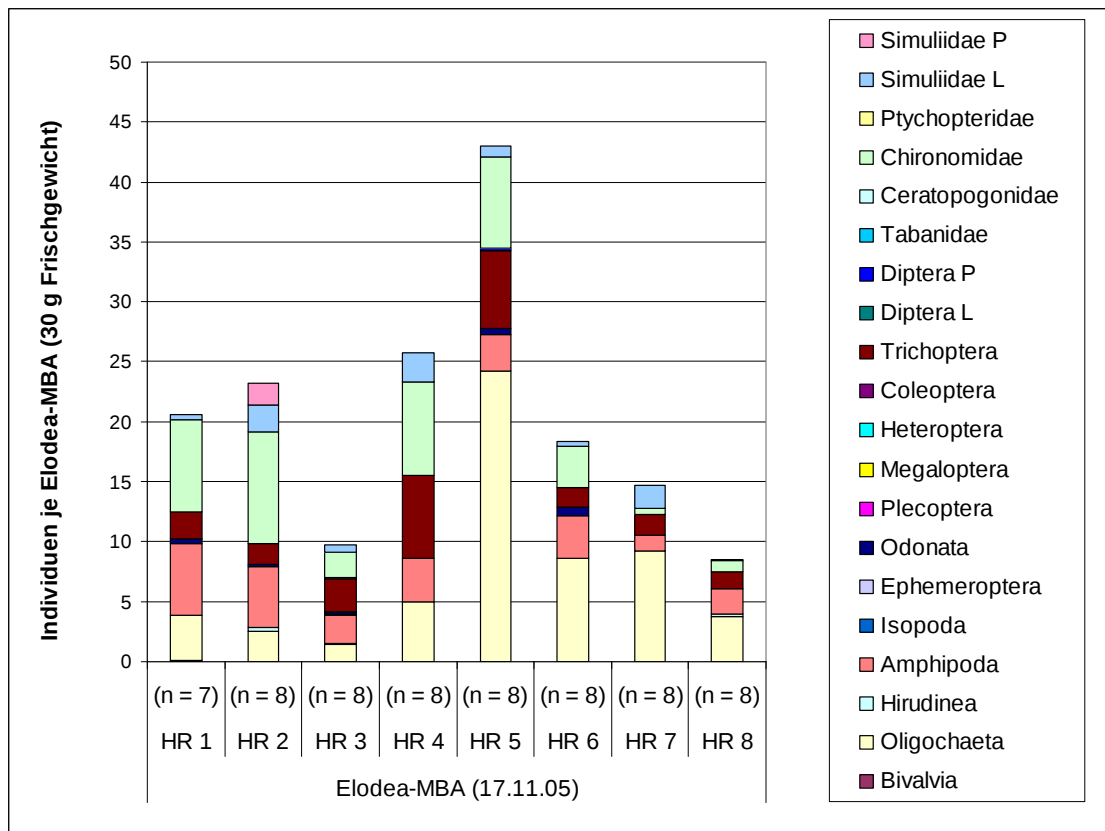


Abb. 7.27¹⁷: Besiedlungsdichten in den Mesokosmen am 17.11.05 - Mittelwerte der Taxa je *Elodea*-MBA ohne Gastropoda und Acari (30 g Frischgewicht)

¹⁷ Folgende Taxa höherer Ordnung wurden nahezu zu jeweils 100 % von einer Art repräsentiert: Gastropoda – *Potamopyrgus antipodarum*, Bivalvia – *Pisidium* spp., Amphipoda – *Gammarus roeseli*, Isopoda – *Asellus aquaticus*, Odonata – *Calopteryx splendens*, Megaloptera – *Sialis lutaria*, Coleoptera – *Orectochilus villosus*

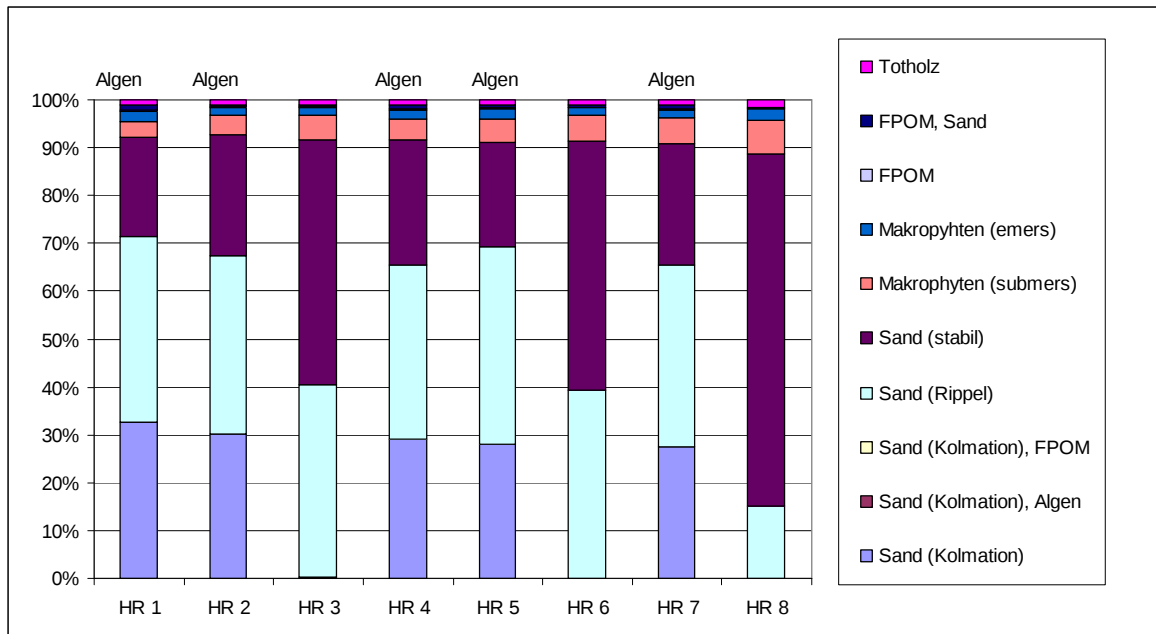


Abb. 7.28: Struktursituation in den Mesokosmen - Relative Anteile der Flächen im Herbst 2005

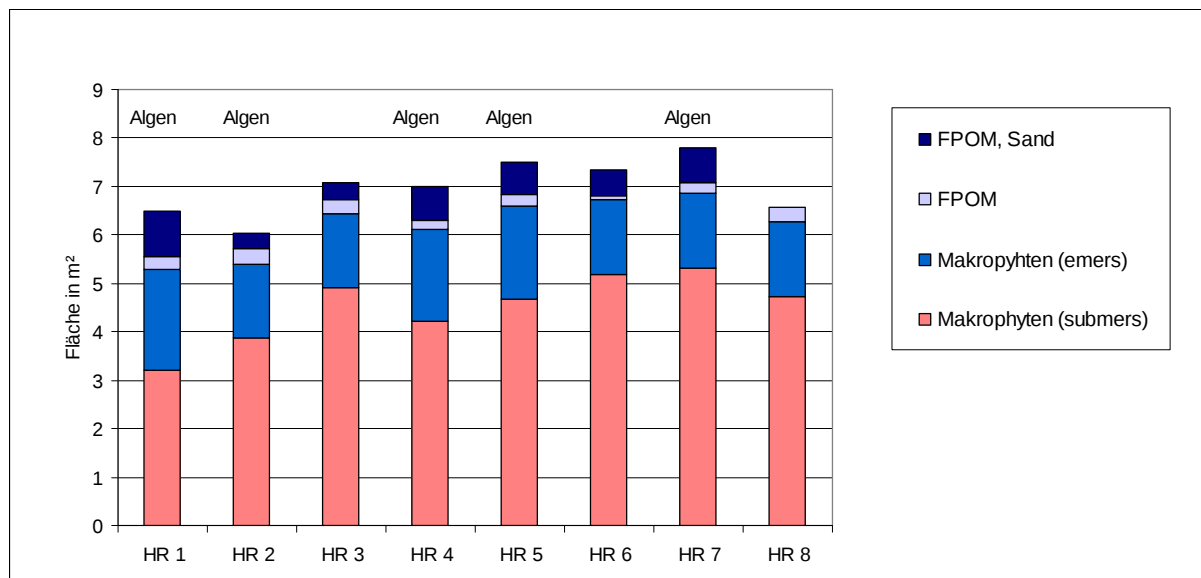


Abb. 7.29: Struktursituation in den Mesokosmen - Flächengröße der organischen Substrate im Herbst 2005

Auch die Verteilung der Substratpräferenzen zeigt keinen deutlichen Zusammenhang mit der strukturellen Situation (Abb. 7.30)

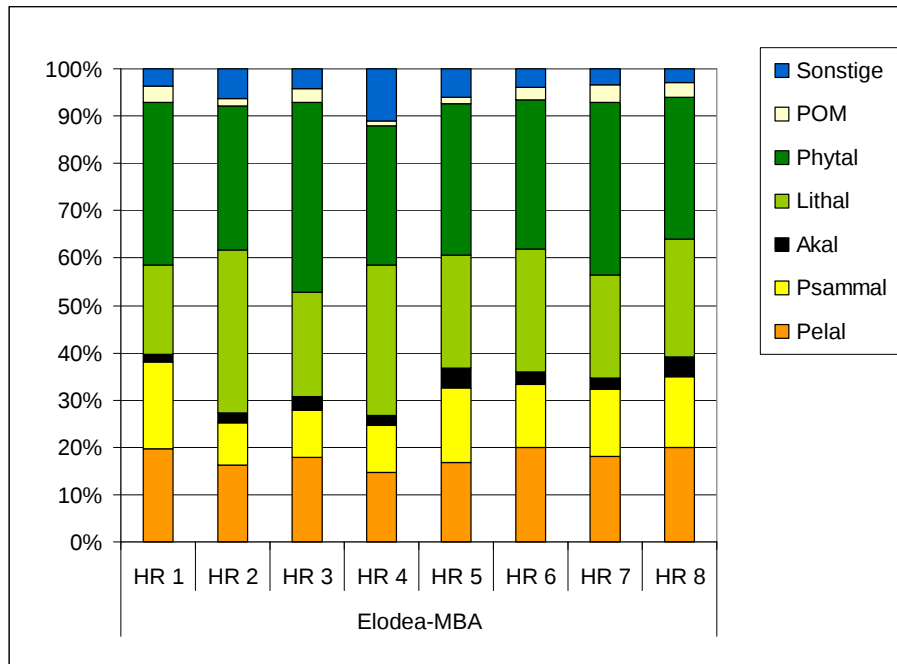


Abb. 7.30: Relative Anteile der Substratpräferenzen auf Elodea-MBA am 17.11.05 (30 g Frischgewicht)

Fazit

Die vergleichende Betrachtung der Besiedlung in den acht Mesokosmen ließ nur wenige Rückschlüsse auf die möglichen Ursachen der ermittelten Unterschiede in der Besiedlungsdichte der Fauna zu. Nur in Einzelfällen ergaben sich Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den Besiedlungsunterschieden und Veränderungen der Sediment- bzw. Substratsituation. Aufgrund der teilweise geringen Replikatezahl, wurde auf eine weitergehende statistische Auswertung verzichtet.

Sofern angestrebt wird bei mehreren oder allen Mesokosmen einen Gleichtakt zu erzielen, sollten diese Zusammenhänge mit gezielten Versuchen und höherer Replikatezahl geprüft werden.

8 Folgerungen und Empfehlungen

8.1 Besatzmethode

Grundsätzliche Aspekte

Die geringen Mortalitätsraten und der hohe Repräsentativitätsgrad des Besatzes belegen die grundsätzliche Eignung der in diesem Projekt gewählten Methoden. Die Fauna typischer, sommerwarmer Seeabflusssysteme kann in dieser Weise sowohl für kurz- als auch mittelfristige Versuchszeiträume schonend und effizient in den Mesokosmen etabliert werden. Die zu vernachlässigend geringen Mortalitätsraten unmittelbar nach dem Transport und in den ersten sechs Tagen nach Besatz der Mesokosmen belegen die besondere Eignung der Laub- und *Elodea*-Exponate (BA) und die durchgeführte Handhabung. Sollten zukünftig jedoch Faunenelemente anderer, ggf. sommerkalter Tieflandgewässer für die Übertragung der Fauna ausgewählt werden, wird die Prüfung der Mortalität entsprechend der hier vorgestellten Methode empfohlen.

Im Verlauf der Freilandphase können Störungen auftreten. Nach Strömungsänderungen waren einmalig 40% der Exponate versandet oder abgedriftet. Bei gestaffelter, relativ kurzer Exposition (ca. 3 Wochen) stehen aber Aufwand, Risiko und Resultat in einem vertretbaren Verhältnis. Die Substrate weisen dann vergleichbare Dichten und Besiedler auf.

Qualitative und quantitative Aspekte des Besatzes

Erwartungsgemäß unterschied sich die taxonomische Zusammensetzung der Besiedler unterschiedlicher Substratangebote. Auf Laub- und Sand-Exponaten bestand eine sehr hohe Ähnlichkeit zu den natürlichen Substraten im Bach. Diese bezog sich sowohl auf die Präsenz und die Anteile der taxonomischen Gruppen als auch auf die Anteile der Ernährungstypen und Substratpräferenzen. Unter diesen Aspekten wiesen *Elodea*-BA allerdings erhebliche Unterschiede zur Fauna der im Bach flutenden *Elodea*-Polster auf, d.h. waren durch außergewöhnlich hohe Dichten der Chironomidae gekennzeichnet.

Unter qualitativen Aspekten, d.h. dem Ziel der Annäherung an eine dem Freiland ähnliche biozönotische Situation, wird deshalb der Einsatz von Laub-, nur bedingt von Sand-BA empfohlen. Unter quantitativen Aspekten hingegen, d.h. dem Ziel der Ansiedlung hoher Individuendichten der Chironomidae, wäre ein Besatz mit Hilfe von *Elodea*-BA zweckmäßig. Der Einsatz von *Elodea*-BA kann zu bestimmter Zeit auch mit Laub-BA kombiniert werden. Beide Substrate stehen vom Herbst bis in den frühen Winter zur Verfügung.

Technische Vorschläge zur Verbesserung der BA-Besiedlung

Der Grad an Repräsentativität der Fauna auf Sand-BA und deren Besiedlungsdichte könnten durch eine Modifizierung der Exponate optimiert werden. Die hier verwendete Expositionsform (Teller) ermöglichte lediglich eine horizontale Besiedlung über die Sandoberfläche. Vertikale und horizontale Ansiedlung aus dem Lückenraum heraus wurden durch Boden und Wandung des Exponates unterbunden. Etwa 50% des geschlossenen Bodens der Exponate könnte aber perforiert oder durch Gaze ersetzt werden. Sofern die Maschenweite der Gaze oder die Loch-

größe die Korngrößen des Sediments im Exponat nicht überschreitet, ist Sedimentbesiedlern die Passage möglich.

Überlegungen zum Einsatz anderer Materialien

Die Verwendung artifizieller Materialien (z.B. Folien, Stroh, Metall, Steine, Kies etc.) ist grundsätzlich möglich. Sie bilden z.T. effektive Fangstrukturen und könnten insbesondere kurzfristig unterstützend wirken. Diese Substrate liefern Strömungsschutz, fangen Detritus und werden von driftenden Tieren und von Detritivoren zahlreich genutzt.

Die detaillierte Methodenentwicklung könnte auf der hier gewählten Vorgehensweisen und Erfahrungen aufbauen. Insbesondere im Verhältnis zum Besatz mit Laub-BA dürfte dadurch eine Reduktion des Arbeitsaufwandes bei hoher Standardisierbarkeit zu erzielen sein.

Allerdings besteht für alle AS (artificial substrates) das Risiko der Fangselektivität. Qualitative und quantitative Unterschiede zur Fauna der natürlichen Substrate können resultieren. Die Wahl geeigneter AS und deren Expositionsdauer müsste auf die Versuchsziele zugeschnitten werden. Die Effekte einer mittel- oder langfristigen Exposition dieser Fangstruktur in den Mesokosmen sollte zudem in Vorversuchen überprüft werden. Die abweichenden C:N-Verhältnisse, andere Abbauraten und Abbauprodukte sowie das von natürlichen Substraten abweichende hydraulische Verhalten müssten aus Sicht der Autorinnen kritisch beobachtet werden.

Der Besatz mit künstlichen Substraten anstelle von *Elodea* (oder anderer Makrophyten) ließe sich möglicherweise besser standardisieren, erscheint aber zumindest unter dem Aspekt der Simulation wenig sinnvoll. Zwar konnte weder aus Fachliteratur noch durch eigene Beobachtungen Hinweise auf absolut spezifische Besiedler bzw. Präferenzen für *Elodea* gewonnen werden. Trotzdem sollte daraus nicht gefolgert werden, dass der Ersatz dieses Substrats durch beliebige Pflanzen unbedenklich ist. *Elodea* ist über lange Zeiträume im Jahr, bis in den Winter verfügbar und kann vorab gut gehältert werden. Sie liefert zudem – auch als BA – eine Ausstattung der Mesokosmen mit organischen Substraten, die als Lieferanten allochthonen Materials in jedem Fall notwendig sind. Der Einsatz von AS, auch von Heu- oder Strohexponaten kann diese Funktion nicht oder höchstens eingeschränkt ersetzen. Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass Pflanzen Verwendung finden, die als Besiedlungssubstrat ähnliche Funktionen erfüllen, wie sie im natürlichen Lebensraum gegeben sind.

8.2 Möglichkeiten der verbesserten Standardisierbarkeit und zur Optimierung des Einsatzes

Generell

Im Vergleich zur Besiedlung natürlicher Substrate im Bach wiesen zeitgleich exponierte BA eine relativ hohe Varianz der Besiedlungsdichten auf. Dies wiederum kann auch bei randomisierter Verteilung der BA auf die Mesokosmen zu unterschiedlichen Besatzdichten führen. Dem kann nicht entgegen gewirkt werden, indem der Besatz mit wenigen größeren BA durchgeführt wird. Auch wenn die Verwendung größerer BA vordergründig weniger aufwendig erscheint und zugleich größere Detritusmengen liefern würde, ist der Besatz mit möglichst vielen, höchstens doppelt so großen BA zu empfehlen.

Expositionsdauer im Freiland

Eine Steuerung des Besatzes über die Expositionsdauer der BA im Gewässer erscheint nur eingeschränkt möglich. Expositionszeiten von 1-3 Wochen Expositionsdauer ergaben keine klaren qualitativen und quantitativen Unterschiede.

Expositionszeitpunkt – saisonale Aspekte

Die natürliche Saisonalität des Referenzgewässers bildet ein grundlegendes Kriterium für die qualitative und quantitative Zusammensetzung der in den Mesokosmen anzusiedelnden Fauna. Höchste Besiedlungsdichten insgesamt wurden auf *Elodea*-BA im Herbst erzielt, höchste Dichten bei gleichzeitig hoher Repräsentativität der Fauna ergaben sich im Winter auf Laub-BA. Da *Elodea*-Polster im Referenzgewässer noch bis in den Spätherbst in ausreichender Qualität und Menge zur Verfügung stehen, ist die Verwendung der daraus gefertigten BA auch in der Herbst-Winter-Saison möglich.

Die Festlegung der Expositions- und Besatzzeiträume hängt im Einzelfall allerdings wesentlich von der Wahl der Zielorganismen und deren spezifischer Phänologie ab (Sommerarten, Winterarten). Beispielsweise spiegelte die signifikant geringere Dichte von *Gammarus roeseli* auf Laub-BA im April 2006 im Vergleich zum Februar 2006 die typische Populationsdynamik der Gammaridae wider. Deren Dichten nehmen im Winter i.d.R. stark ab (z.B. Brehm & Meijering 1990). Winterversuche in den Mesokosmen mit Gammaridae als Zielorganismen erfordern also bei der hier gewählten Vorgehensweisen deutlich höheren Aufwand (=Anzahl BA). Fällt die Wahl auf merolimnische Insekten, kann während des Winters mit hohen Individuendichten gerechnet werden, da hier die Dichten der Larvalstadien einiger Taxa hoch ist.

Elodea (und auch andere Makrophyten), die als Substratangebot (BA) verwendet werden, müssen vor der Exposition gereinigt werden. Kontrollen zur Überprüfung der Effektivität des Spülvorgangs zeigten, dass etwa 10-15 % der nach dreiwöchiger Exposition auf *Elodea*-BA angebotenen Besiedlung als „Methodenfehler“ zu bezeichnen wären. Eingelegte, fest haftende Arten oder winzige juvenile Tiere waren durch den Spülvorgang nicht vollständig entfernt worden. Dieser „Rückstand“ sollte parallel zu jeder Exposition berechnet werden. Sofern allerdings die Ansiedlung großer Zahlen referenzgewässertypischer Faunenelemente in den Mesokosmen das primäre Ziel ist, erscheint ein Verbleib gewisser Mengen haftender Organismen oder Eingelege unproblematisch. Dies gilt besonders dann, wenn das für die *Elodea*-BA verwendete Material aus demselben Gewässer entnommen wird, aus dem heraus der Besatz erfolgen soll.

8.3 Angleichung der physiko-chemischen Faktoren, Gleichtakt zwischen den Mesokosmen und Sicherstellung stabiler Versuchszeiträume

Die Temperaturen in den Mesokosmen können im Sommer die üblichen Temperaturen sommerkalter Bäche deutlich überschreiten. Für eine längerfristige Simulation, die auch die Sommerphase einbeziehen soll, sind deshalb solche Systeme als Referenzgewässer am besten geeignet, die – z.B. als sublacustrische oder interlacustrische Systeme – durch typische sommerliche Erwärmung auf > 25°C gekennzeichnet sind. Die Temperaturverläufe in diesen Systemen ähneln sehr weitgehend den Bedingungen in den Mesokosmen der Hallenanlage.

Unter Berücksichtigung der besonderen Temperaturbedingungen ist die Annäherung der abiotischen Faktoren an die Situationen im Freiland sehr weitgehend möglich. Durch gezielte Düngung kann eine Angleichung auch der Nitrat-, Phosphat und Silikatverhältnisse erreicht werden. Allerdings scheinen die oft hochkonzentrierten Dosierungen nicht in allen Mesokosmen gleiche Wirkung zu erzielen. Zudem führte die Zugabe der mineralischen Verbindungen zu einer Zunahme der Natrium- und Kaliumgehalte und damit zur Erhöhung der Leitfähigkeit. Eine weniger stoßweise Düngung und die Effekte anderer Düngemittel sollten zukünftig geprüft werden.

Die saisonalen Schwankungen der chemischen Parameter in den Mesokosmen ähneln den Verläufen der Referenzgewässer. Dies bot zunächst die Basis für eine Etablierung gewässertypischer Substrate und die Überlebenschance zahlreicher Faunenelemente.

Trotz gleicher Grundausrüstung (Sediment, Totholz und Makrophyten), Abiotik (inkl. Düngung) und weiterer Etablierung der jeweiligen Substrattypen (Laub, *Elodea*, Sand), entwickelten sich die Mesokosmen auseinander. Die Veränderungen der Sohlstruktur sowie das Ausmaß der Algenentwicklung verliefen innerhalb der 8 HR nicht synchron. Sowohl die Fotodokumentation der Sohlstrukturen und der Makrophytenentwicklung als auch die Daten zur Algenentwicklung gaben darüber hinaus Hinweise darauf, dass eine hohe saisonale Variation bestand. Wendepunkte in der Entwicklung traten vorrangig in den Sommermonaten ein, nachdem im Frühjahr bei verstärkter Primärproduktion unterschiedliche Entwicklungen einsetzten.

Auch der Vergleich der Besiedlung der einzelnen Mesokosmen zeigte deutliche, mit der Zeit größer werdende Unterschiede. Dies ließ sich durch die Clusteranalysen und Ähnlichkeitsindizes nachweisen. Unterschiedliche Drift-, Migrations- und Ansiedlungsverhalten waren möglicherweise ausschlaggebend und führten offenbar zu einer relativ stark geklumpten Verteilung. Diese konnte allerdings bei der hier bearbeiteten Stichprobenmenge nicht ausreichend dokumentiert werden.

Ein wesentlicher Faktor für die auseinander driftende Entwicklung der Mesokosmen könnte das unterschiedlich starke Auftreten fädiger Grünalgen sein. Sie bilden ein zusätzliches sehr fängiges Substrat, welches von einigen Taxa besiedelt wird. Die in den HR stark entwickelnden Cladophorales bieten zwar den Invertebraten nicht direkt als Nahrung, liefern aber eine wichtige Struktur für epiphytische Diatomeen. Diese wiederum dienen zahlreichen aquatischen Invertebraten als Nahrungsressource (Stevens et al., 1997). Die unterschiedliche Algenentwicklung könnte deshalb indirekt, d.h. über die Wirkung trophischer Faktoren, unterschiedliche Dichten und Verteilungen der aquatischen Makroinvertebraten gesteuert haben.

Eine stärkere Annäherung der Algen-, Strömungs- und FPOM-Bedingungen an die Gegebenheiten im natürlichen Gewässer wird als Lösungsansatz gegen die zunehmende Divergenz der Mesokosmen betrachtet (s.u.).

8.4 Besonderheiten der Strömungs- und Substratverhältnisse und Sicherstellung stabiler Versuchszeiträume

Die Annäherung der Strömungsbedingungen war baulich bedingt in den Mesokosmen limitiert. Dies wurde bereits vorab durch Untersuchungen von PD Dr. Mutz gezeigt. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass das Referenzgewässer etwa 3 m breiter ist, als die Mesokosmen der Simulationsanlage. Diese Verengung des hydraulischen Querschnitts wirkt zwangsläufig auf die Strömungs- und damit auf Sohlverhältnisse. Entsprechend konnte keine der im Freiland vorliegenden Strömungsmuster in identischer Form in den Mesokosmen etabliert werden.

Die Entwicklung der Struktur- und Substratsituation gestaltete sich außerdem schon zu Beginn problematisch. Ursache war die Degeneration der submersen Makrophyten. Mit fortschreitender Versuchsdauer unterschied sich deshalb die Situationen in den Mesokosmen zunehmend. Grundsätzliche Ähnlichkeiten bestanden allerdings zwischen verschiedenen Strecken in den Mesokosmen und saisonalen Aspekten der hydromorphologischen Situation im Freiland. Die größten Übereinstimmungen ergaben sich zwischen der Frühjahrssituation im Barolder Fließ und den schmalen Mesokosmen-Abschnitten. Die starke Makrophytenentwicklung im Gewässer, die keine Entsprechung in den Mesokosmen hatte, wird als ein wesentlicher Grund für die später im Jahr auftretenden Unterschiede betrachtet.

Solange bei zukünftigen Versuchen spezifische Substratbedingungen Bedeutung haben, kann schon aus diesen Gründen nur eine befristete Annäherung an das Referenzgewässer erwartet werden, sofern die bisher gegebenen Betriebsvoraussetzungen unverändert bleiben.

Wesentlich scheint den Autorinnen zukünftig die Berücksichtigung des Faktors Strömung. Bereits im ersten Jahr nach der Substratexposition wurde eine markante Stabilisierung der Sandsohle festgestellt. Vergleichsweise große Flächen waren von Kolmation betroffen. Trotz Totholz- und Makrophytenausstattung der Mesokosmen näherten sich die Sohlstrukturen in den Mesokosmen auch im Folgejahr nicht der Freilandsituation an.

Als Ursache der Kolmation und Homogenität der Sohle wird die relativ niedrige und langfristig (2 Jahre) stabile Strömungsgeschwindigkeit betrachtet. Sie war in beiden Referenzgewässern im Durchschnitt um mindestens 10 cm s^{-1} höher als in den Mesokosmen, wies dort weit größere saisonale Schwankungen und eine erheblich höhere Strömungsdiversität im Quer- und Längsschnitt auf. Durch die Kolmation wird der Wasseraustausch zwischen Porenraum und Wassersäule reduziert. Im verengten Porenraum geht die Sauerstoffsättigung zurück, ggf. entstehen anaerobe Verhältnisse. Bei günstigen Lichtverhältnissen entwickelt sich ein Biofilm, der den Wasseraustausch noch weiter reduziert (Battin & Sengschoff 1999 und Woodruff et al. 1999).

Kolmationen können durch räumliche und zeitliche Veränderungen der Fließgeschwindigkeit in den Mesokosmen reduziert oder verhindert werden. Moderate Hochwasserereignisse bzw. Phasen stärkerer Strömung tragen in Verbindung mit Sohlstrukturierung durch Totholz zu einer verbesserten bzw. natürlichen Dynamik bei (Rehg et al. 2005 und Marmonier et al. 2004). Die relativ geringe Totholzausstattung der Mesokosmen und die unzureichende Entwicklung der Polster bildenden Pflanzen werden als zusätzlich Ursachen der unerwünschten Homogenität der Sohlstruktur in den Mesokosmen betrachtet.

Die längerfristige Annäherung an die Sohlstruktur des Referenzgewässers setzt nach Einschätzung der Autorinnen aber primär die Annäherung an die natürliche Strömungsdynamik voraus. Sie muss mit erhöhter Sohlschubspannung und mit Umlagerungsprozessen einhergehen (vgl. u.a. Brunke 1999).

Aspekte der Makrophytenausstattung

Eigene Kartierungen und Studien anderer Autoren zeigten, dass submersen Makrophytenpolstern in Fließgewässern eine besondere Funktion als Donator und Akkumulationsbereich für POM zukommt (u.a. Sand-Jensen 1998). Zudem erhöht ihr Auftreten die Strömungs- und damit auch die Habitatdiversität. Da zahlreiche Taxa Pflanzen als Habitat und Strukturgeber nutzen, wird empfohlen den Anteil an submersen Makrophyten in den Mesokosmen zu erhöhen.

Trotz der Düngung und Anpassung der Nährstoffsituation an die Referenzbedingungen war das schlechte Wachstum von *Elodea canadensis* ab dem zweiten Jahr in allen Mesokosmen deutlich. Zahlreiche Gründe kommen in Betracht. Herbivorie der zahlreich vorhandenen Schnecken dürfte dafür allerdings nicht verantwortlich sein. Zwar wurden Biomasseverluste in Laborversuchen von Pieczynska (2003) und Pinowska (2002) nachgewiesen, jedoch wurde das Wachstum der Pflanzen dadurch teilweise eher angeregt.

Die drei Jahre währenden Beobachtungen im Rahmen dieses Projektes legten vielmehr die Hypothese nahe, dass die Entwicklung der fädigen Grünalgen primär für das Schwinden der Makrophyten verantwortlich war. Algen hafteten in großer Dichte den jungen *Elodea*-Büschelein. Sie führten zu deren Beschattung, bedingten Konkurrenz um Nährstoffe und erhöhten den Strömungswiderstand. *Elodea canadensis* zeigte in Versuchen im Vergleich zu *Elodea nuttallii* und *Myriophyllum spicatum* unterschiedliche Beeinträchtigungen durch Beschattung (Abernethy et. al. 1996 und Barrat-Segretain 2004). In Konkurrenz zur fädigen Grünalge *Cladophora glomerata* konnte jedoch eine eindeutige Limitation nachgewiesen werden (Ozimek et al. 1991). Diese Erkenntnis findet sich auch in anderen Studien von Simpson & Eaton (1986) und Philips et al. (1978). Zudem wird hier der stark erhöhte Strömungswiderstand als eine wesentliche Ursache für abrasive Prozesse der *Elodea* betrachtet. Da Makrophyten als Strukturgeber und Habitat von erheblicher Bedeutung für die Fauna sind, sollte zukünftig eine deutliche Erhöhung des Makrophytenbestandes angestrebt werden.

Bei Bepflanzung oder Exposition von Makrophyten muss allerdings der Aspekt „Einschleppung“ berücksichtigt werden. Pflanzen können nur bis zu einem gewissen Grad gereinigt werden, da sie durch zu kräftiges Spülen oder Schleudern geschädigt werden. Gelege und Jugendstadien haften sowohl den Ballenpflanzen als auch den für BA verwendeten Blättern an und können durch einfache Waschvorgänge nicht entfernt werden. Mit dem Einsetzen von Pflanzmaterial wird die Einschleppung nicht erwünschter Faunenelemente in gewissem Rahmen unvermeidbar. Trotzdem scheint zur Erhöhung des Makrophytenbestandes das Nachpflanzen dringend notwendig.

8.5 Besatzerfolg, Kontrolle und Steuerung der Mesokosmenbesiedlung und Empfehlungen für Versuchszeiträume

Mit der gewählten Exponat-Methode wurden nicht allein alle wichtigen taxonomischen Gruppen in den Mesokosmen etabliert, sondern auch die gewässertypischen Substratpräferierenden und die im Referenzgewässer vorkommenden Ernährertypen. Während die relativen Anteile der Substratpräferierenden weitgehend die Situation im Referenzgewässer widerspiegeln, unterschied sich die quantitative Verteilung der Ernährergilden deutlich. Im Vergleich zum Freiland wurde mit Hilfe der MBA in den Mesokosmen ein relativ hoher Anteil an Weidegängern erfasst, während der Anteil an Sedimentfresser deutlich niedriger lag.

Es ist anzunehmen, dass die Faktoren Strömung, Nahrungsverfügbarkeit und Substratbeschaffenheit die Präsenz einzelner Ernährertypen wesentlich beeinflussen. Algenentwicklung, Kolonisation und die Präsenz von FPOM könnten das aktuelle Ergebnis bedingt haben. Sofern zukünftig Wert darauf gelegt wird, bestimmte Anteile einzelner Ernährertypen in den Mesokosmen anzusiedeln, müsste durch weitere Versuche zuvor getestet werden, welche Möglichkeiten der Steuerung durch die Veränderung einzelner oder mehrerer Faktoren erreicht werden kann. Es wird angenommen, dass bereits die Verhinderung der starken Algenentwicklung die Ernährertypenverteilung wesentlich beeinflussen dürfte.

Die Besiedlung der MBA zeigte, dass nach dem Besatz der Mesokosmen Drift und Migration einsetzten. Die Methode der indirekten Beprobung des Besiedlungserfolges mit Hilfe der MBA, nutzt diese ökologischen Prozesse. Bei entsprechendem experimentellem Design kann diese Methode genutzt werden, die Populationsentwicklung verschiedener Taxa nachzuzeichnen. Die hier durchgeführte Zeitreihenanalyse, in deren Verlauf dann viele Wochen nach dem Besatz erstmals schlupffreie oder juvenile Stadien einzelner Taxa auftraten, lieferte bereits den Beleg für die Weiterentwicklung oder sogar die Reproduktion.

Die Bedingungen in den Mesokosmen (Nahrungsangebot und Substratausstattung) scheinen für die Entwicklung einiger Gruppen besonders geeignet. Gastropoda und einzelne Taxa der Chironomidae scheinen besonders zu profitieren. *Potamopyrgus antipodarum* und Hydrobiidae hatten besonders hohe Anteile. Sie präferierten in den Mesokosmen hauptsächlich das Phytal, wurden jedoch auch zahlreich auf dem Mesokosmensediment und den Wandungen beobachtet. Obwohl *Physella* sp., *Ferrissia wautieri* und *Radix balthica* mit *Elodea*-MBA später nicht oder nur in geringen Dichten nachgewiesen wurden, waren sie in den Mesokosmen zahlreich auf anderen Substraten vertreten. *Ferrissia wautieri* bevorzugte die Wandungen der Mesokosmen. Sie driftete offenbar nicht auf MBA zu. *Physella* sp. und *Radix balthica* waren auf Sand und Wandungen zu finden und drifteten offenbar stärker als *Ferrissia wautieri*.

Für zukünftige Versuche in den Mesokosmen könnten aber auch andere Taxa ausgewählt werden. Genauere Kenntnisse über deren Verhalten und ihre Verteilung in den Mesokosmen sollte dann vorab ermittelt werden, um die Versuchsbedingungen zu optimieren. Für Gammaridae, Trichoptera und einzelne Chironomidae wurden im Verlauf dieses Projektes bereits klare Muster erkannt. *Gammarus roeselii* hielt sich beispielsweise stets hinter Stämmen und am Ufer auf, die vermutlich aufgrund des FPOM-Gehaltes und der geringen Strömung zur Regeneration genutzt werden (vgl. Elliott 2005).

Die Trichoptera (hauptsächlich) *Oxyethira flavicornis* sammelten sich hingegen vermehrt auf den *Elodea*-Polstern am unteren Ende des Versuchsabschnittes. Simuliidae saßen erwartungsgemäß auf den flutenden Blättern von *Sparganium* bzw. gehäuft außerhalb des eigentlichen Versuchsaufschnittes, d.h. auf den glatten Wänden sowie den am Ende der Versuchsstrecke exponierten Gestängen der Messgeräte. Auch die niedrigeren Dichten der Polycentropodidae auf *Elodea*-MBA dürften darauf hinweisen, dass ein anderes Substrat in den Mesokosmen bessere Bedingungen für den Netzbau aufwies, als die vorliegende Ausstattung während der Versuche. Sowohl *Polycentropus* sp. als auch *Plectrocnemia* sp. und *Neureclipsis bimaculata* bevorzugten gut angeströmte Oberflächen die ausreichend Stabilität für den Netzbau bieten (Schmedtje & Colling 1996). Diese Bedingungen scheinen an den Wandungen der Mesokosmen eher gewährleistet als auf den MBA.

Insbesondere die Überprüfung des langfristigen Besatzerfolges zeigte allerdings, dass die Individuendichte in den Mesokosmen nicht stabil bleibt. Innerhalb des dreijährigen Versuchszeitraumes trat eine starke Verarmung der Besiedlung ein. Natürlich spielt dabei der Imaginalschlupf merolimnischer Insekten eine Rolle. Allerdings zeigten z.B. auch Gammaridae deutliche Populationsrückgänge. Die Ursachen können nicht genau benannt werden. Anzunehmen ist, dass sich der Rückgang durch das limitierte Nahrungsangebot (POM) erklären lässt. Diese Hypothese könnte zukünftig durch gezielte Versuche mit unterschiedlichem Nahrungsangebot, unterschiedlichen Besiedlungsdichten und gezielter Kontrolle der Populationsentwicklung überprüft werden. Auch hier ist die MBA-Methode geeignet, durch gestaffelte Expositionszeitreihen und Entnahmen, Drift- und Migrationsdynamik sowie die Populationsentwicklung der Gammaridae über kürzere oder längere Zeiträume hinweg zu erfassen. Allerdings muss geprüft werden, in wieweit ein stark erhöhter Laubeintrag auf andere biotische und abiotische Prozesse in den Mesokosmen wirkt.

Diese Strukturentwicklungen und Besiedlungszahlen im Vergleich zum Gewässer und im Vergleich der Mesokosmen untereinander zeigten, dass die optimalsten Bedingungen für Effektversuche in den Mesokosmen etwa 2-6 Monate nach Etablierung der Substrate und etwa 3 Monate nach Besatz der Fauna liegen. In dieser Zeit können sich die Bedingungen stabilisieren und es kann noch mit dem Wachstum der Pflanzen gerechnet werden. Zudem sind die Populationsbeeinflussungen in einem Zeitraum von 3 Monaten (je nach Saison) noch relativ gering. Ausgehend von diesen Erfahrungen erscheinen Versuchszeiträume von etwa 3 Monaten ein vernünftiger Kompromiss. Dabei sollte der Herbst und Wintersaison der Vorzug gegeben werden, da sie die Chance auf längere Zeiträume mit stabilen Bedingungen bieten, als im Frühjahr und Sommer.

Es wird auch angenommen, dass sich durch vermehrten Einsatz frisch besiedelter BA zumindest kurz- und mittelfristig eine erhöhte Dichte des Makrozoobenthos erzielen ließe. Für längerfristige Versuche wäre allerdings eine deutliche Erhöhung bzw. eine sukzessive Aufstockung des Besatzes notwendig. Insbesondere Laub sollte der Vorzug gegeben und dessen Anteil erhöht werden. Es dient in natürlichen Fließgewässern den Zerkleinerern als hauptsächliche Nahrung. Um den Arbeitsaufwand zu reduzieren, kann mit bereits getrocknetem Laub gearbeitet werden. Es muss nicht direkt vor Abwurf von den Bäumen gepflückt werden. Der Zersetzungsprozess könnte zudem durch das vorherige Zerkleinern eines gewissen Anteils beschleunigt werden. Bei anfänglich geringer Laubmenge stünde den Zerkleinerern in den Mesokosmen bald ein größerer Anteil FPOM zur Verfügung.

Wissenschaftliche Untersuchungen und Modelle zur Besiedlung von Substratexponaten zeigten in der Vergangenheit unter anderen Bedingungen, dass sich auf zuvor unbesiedelten Substraten die Ansiedlung häufig mit der Zeit stabilisiert (Minshall & Petersen, 1985). Allerdings kann die Dauer der von Invasion (Zudrift, Zuwanderung) und Extinktion bzw. Abwanderung oder Abdrift gekennzeichneten Phase erheblich variieren. Im Allgemeinen haben Substratbeschaffenheit, saisonale Aspekte, der Anteil an POM oder die Entwicklung von Biofilm und Aufwuchs sehr unterschiedliche Wirkungen auf die einzelnen Taxa. Entsprechend wird eine relative Stabilität der Besiedlung auf frisch exponierten Substraten teilweise schon nach wenigen Tagen, teilweise aber auch erst nach vielen Wochen erreicht. Bis dahin kann der Besiedlungsverlauf von erheblicher Dynamik geprägt sein (u.a. Meier et al. 1979 und Baer et al. 2001, Elliott 2003).

Die hier gewählte Etablierungsphase von maximal 10 Wochen stellt einen Kompromiss an die verschiedenen Projektziele dar. Kurz- wie langfristige Prozesse konnten damit nicht abgebildet werden. Sofern andere Versuchszeiten, ggf. zu anderen Jahreszeiten oder mit anderer faunistischer Zusammensetzung geplant werden, sollte durch entsprechende Vorversuche die jeweilige Dynamik ermittelt werden. Dies kann analog mit der hier genutzten MBA-Methode über entsprechende Zeitreihen erfolgen.

8.6 Wiederbesiedlung und direkte Besiedlung der Mesokosmen aus Gewässern im Umfeld

Die Besiedlungskapazität der Mesokosmen von einmalig eingebrachten Organismen oder aus dem Umfeld ist schwer zu beurteilen. Beides scheint unter den aktuellen Bedingungen nur in geringem Umfang möglich. Während der Hauptflugzeit der merolimnischen Insekten wurden regelmäßig Beobachtungen durchgeführt. Dabei wurde im Frühjahr 2006 eine individuenreiche Emergenz von Diptera (vermutlich Chironomidae) festgestellt. Allerdings konnte keine Eiablage in den Fließgewässer-Mesokosmen beobachtet werden. Die Diptera flogen vermutlich nach dem Schlupf direkt, in Richtung der Tore an Nord- und Südseite und verendeten dort. Phototaktisches Verhalten wird als Ursache dafür betrachtet.

Auch Odonata schlüpften in relativ großer Zahl während des gesamten Sommer 2006. Allerdings starben auch sie innerhalb der ersten 2 Tage. Informationen über die Verhaltensökologie der Odonata lassen annehmen, dass sich die Imagines auf dem Weg ins Freie verletzt oder starkem Stress ausgesetzt waren. Auch bei Odonata war deshalb kaum eine regelmäßige Eiablage zu erwarten. Während der Reife- und Nahrungsflüge benötigen die Tiere diverse Strukturen und Signale, die in der Halle nicht vorliegen und in der Gesamtheit kaum standardisiert zu simulieren sind.

Der Schlupf von Trichoptera konnte anhand zahlreicher und regelmäßiger Funde von Exuvien an den Wandungen der Mesokosmen bestätigt werden. Allerdings wurden keine Imagines beobachtet oder erfasst. Lediglich die Imagines von *Oxyethira flavicornis* zeigten einen längeren Aufenthalt an den Mesokosmen.

Katrin Jähn (2005) konnte in ihrer Arbeit an Gewässern im näheren Umfeld der Mesokosmen-Anlage, dem UBA-Gelände und seinem Umfeld ein gewisses Besiedlungspotential durch flugfähige aquatische Insekten feststellen. Dabei schrieb sie den nahe gelegenen Gewässern das stärkste Potential zu. Taxa welche in diesen Gewässern siedelten wurden von ihr ebenfalls in den Mesokosmen der Freilandanlage nachgewiesen. Diese Taxa waren jedoch entsprechend der

Stillgewässercharakters der möglichen Quellgewässer überwiegend limnophil. Regelmäßige Eiablagen dieser Taxa in den Fließgewässer-Mesokosmen werden für viele Arten nicht erwartet. Andererseits zeigten die relativ hohen Dichten verschiedener Chironomidae und Ephemeroptera (*Cloeon* spp.), dass für diese Taxa keine spezielle Ausgestaltung der Fließgewässer-Mesokosmen notwendig ist, um eine Eiablage zu begünstigen.

Norma Nitschke (2007) stellte bei Emergenzfängen in verschiedenen Gewässern des Versuchsgeländes ebenfalls ein starkes Besiedlungspotential durch Chironomidae und Ceratopogonidae fest. Während kleiner Versuchsreihen zur Untersuchung des Anflugs in die Halle (von 2 bis 7 Uhr morgens) konnten jedoch nur sehr vereinzelt Individuen auf den an den Toren platzierten Kleb-Flug-Fallen erfasst werden. Die Fangzahlen lieferten keine eindeutige Aussage dazu, ob und wie viele Insekten während der Flugzeit in die Halle gelangen. Hierzu sollten unter Verwendung derselben Methodik (vgl. Nitschke 2007) Versuche zu anderen Tageszeiten (geöffnete Tore also auch in der Abenddämmerung) und mit weiteren unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien durchgeführt werden.

Separat wird im Literaturverzeichnis weiterführende Literatur benannt, die bei späteren Versuchsplanungen in Bezug auf einige genannte Empfehlungen oder Konsequenzen Bedeutung haben könnte.

9 Zusammenfassung

Ziel dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhaben war es, Empfehlungen für die Simulation fließgewässertypischer Bedingungen in bis zu acht parallel in einer Halle betriebenen Fließgewässer-Mesokosmen der FSA im Umweltbundesamt Berlin zu erarbeiten. Die angestrebten ökologischen Startbedingungen für neue Effektversuche sollten vergleichbar sein und effektiv, schnell und reproduzierbar erzielt werden können. Im Vordergrund standen die Etablierung von Strukturen und die Ansiedlung von Arten bzw. funktionalen Gruppen, die für Tieflandgewässer typisch sind. Als Voraussetzung dafür wurde die Annäherung an den physiko-chemischen Charakter ausgewählter Referenzgewässer betrachtet, die als Donatoren für die Fauna dienen sollten.

Zunächst wurden in einer umfassenden Bestandaufnahme die als Referenz geeigneten Gewässer im weiteren Umfeld Berlin identifiziert. Anschließend erfolgte die Aufnahme der zu simulierenden Geländesituation. Dazu wurde in repräsentativen Gewässerabschnitten an zwei ausgewählten Referenzgewässern ein umfassendes Monitoring durchgeführt. Die saisonale Dynamik und Tagesgänge wesentlicher physiko-chemischer Faktoren und die saisonalen Substratveränderungen wurden detailliert erfasst. Zeitgleich zur Kartierung der abiotischen und strukturellen Faktoren in jeder Saison erfolgte jeweils eine Beprobung der Fauna in Anlehnung an das `multi-habitat-sampling` (AQEM Consortium 2002).

Aufbauend auf den Kartierungen und Messungen wurden in den Mesokosmen die Simulationssituationen geschaffen. Durch identische Ausstattung aller 8 Hallen-Mesokosmen mit Totholz und Makrophyten sowie durch Einstellen der physiko-chemischen Parameter wurde eine möglichst weitgehende Annäherung an die Freilandsituation erreicht.

Zur Übertragung einer möglichst gewässertypischen Fauna wurde die Methode der substratgebundenen Besiedlung entwickelt. Sie beinhaltete die Exposition von Besiedlungsangeboten (BA) aus natürlichen Substraten (Laub, Makrophyten und Sand), die in Netzen oder Plastikschaalen angeboten wurden. Diese Substrate wurden im Referenzgewässer an ausgewählten Stellen ausgebracht und nach festgelegten Zeiträumen unter kontrollierten Bedingungen in die Mesokosmen überführt.

Da regelmäßige Direktbeprobungen in den Mesokosmen zu starke Störungen verursacht hätten, wurde der Ansiedlungserfolg indirekt ermittelt. Dies geschah unter Verwendung baugleicher unbesiedelter Substratangebote (MBA), die nur durch Drift und Migration besiedelt werden konnten.

Die physiko-chemische Entwicklung der Mesokosmen verlief weitgehend erfolgreich. Die Mesokosmen wiesen in Bezug auf die saisonalen Verläufe und Tagesgänge verschiedener Parameter große Ähnlichkeit zum Referenzgewässer auf. Allerdings waren die Dynamik und die Schwankungsbereiche im Freiland oftmals weit größer als in den Mesokosmen.

Die Angleichung an die Nährstoffbedingungen der Referenzgewässer sowie die Parallelentwicklung der Gewässerstrukturen in 8 Mesokosmen gestaltete sich hingegen schwieriger. Nicht alle Strukturen bzw. Substrate konnten in den entsprechenden Anteilen in den Mesokosmen etabliert werden. Zwar wurde dort durch das Totholz und die Makrophyten ein ähnlich hoher Anteil an unterschiedlichen morphologischen Strukturen induziert. Die submersen Makrophyten wuchsen allerdings recht schlecht – offenbar ein Effekt der Konkurrenz mit teilweise massenhaft entwickelnden fädigen Grünalgen. Zudem bildeten sich relativ große, in natürlichen Fließgewässern untypische Kolmationsflächen. Dies wird auf die niedrigen und langfristig zu konstanten Abflussverhältnisse zurückgeführt.

Die Überprüfung der Repräsentativität der substratgebunden übertragenen Fauna ergab für die einzelnen Substrate unterschiedliche Resultate. Die mit Laub- und Sand-Exponaten übertragene und mit Hilfe der MBA erfasste Fauna ähnelte der Besiedlung entsprechender Substrate im Referenzgewässer. Die Fauna der Makrophyten-Exponate wich hingegen stark von der auf Pflanzenpolstern im Bach ab. Ausschlaggebend dafür waren die extrem hohen Dichten und relativen Anteile der Chironomidae, die sich im Bach, aber nicht in den Mesokosmen auf den Exponaten angesiedelt hatten.

Von Winter 2004 bis Frühjahr 2006 wurde der Besatz der Mesokosmen mit BA in festgelegten Abständen wiederholt. Die Methode erwies sich als äußerst schonend. Die Mortalität durch Transport und Behandlung war minimal. Trotz der zu vernachlässigenden Mortalitätsrate und der relativ hohen Individuendichten je Besatzsubstrat, wurde in den Mesokosmen nur eine relativ niedrige Besiedlungsdichte erzielt. Es bedarf offenbar weit größerer Materialmengen, für eine der Freilandsituation entsprechenden Besatz- resp. Besiedlungsdichte. Die langfristige Entwicklung der 8 Hallen-Mesokosmen war in den 3 Untersuchungsjahren divergent und wurde sowohl den Struktur- als auch den Besiedlungsbedingungen der Referenzgewässer zunehmend unähnlicher.

Unabhängig von dieser langfristigen Divergenz und der relativ geringen Tierdichten in den Mesokosmen konnte aber gezeigt werden, dass sich der Besatz dort zumindest kurz- und mittelfristig sehr gut etablierte. Zahlreiche Taxa entwickelten sich erfolgreich weiter, gelegentlich wurde Imaginalschlupf festgestellt, in Einzelfällen auch Reproduktion.

Die räumlich-zeitlichen Veränderungen dieser Besiedlung wurden mit Hilfe der analog gebauten MBA erfasst. Deren Auswertung zeigte, dass sich in den Mesokosmen eine geklumpfte Verteilung einstellt, wobei einige Taxa allerdings andere Substrate bevorzugten, als dies im Referenzgewässer der Fall war.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die hier entwickelte Methodik geeignet ist, typische benthische Makroinvertebraten in den Fließgewässermesokosmen anzusiedeln. Diese Vorgehensweise bietet die Möglichkeit, charakteristische Nahrungs- und Substratpräferenzen der Tieflandgewässer kurz- und mittelfristig zu etablieren und ihre Entwicklung zu kontrollieren und liefert somit die Basis für die befristete Simulation gewässerökologischer Prozesse.

10 Quellenverzeichnis

Zitierte Literatur

- Abernethy, V. J.; Sabbatini, M. R. & Murphy, K. J. (1996): Response of *Elodea canadensis* Michx. and *Myriophyllum spicatum* L. to shade, cutting and competition in experimental culture. *Hydrobiologia*, 340, 219-224.
- Allan, J. D. (1997): *Stream Ecology, Structure and function of running waters*. Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, London.
- AQEM Consortium (2002): *Manual for the application of the AQEM system, A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive, Version 1.0*.
- Baer, S.; G.; Siler, E. R.; Eggert, S. L. & Wallace, J. B. (2001): Colonization and production of macroinvertebrates on artificial substrata: upstream – downstream responses to leaf litter exclusion manipulation. *Freshwater Biology*, 46, 347-365.
- Barrat-Segretain, M.-H. (2004): Growth of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* in monocultures and mixture under different light and nutrient conditions. *Archiv für. Hydrobiologie*, 1961 (1), 133-144.
- Battin, T. J. & Sengschmitt, D. (1999): Linking sediment biofilms, hydrodynamics, and river bed clogging: Evidence from a large river. *Microbial Ecology*, 37, 185-196.
- Bilby, R.E. (1984): Removal of woody debris may affect stream channel stability, *Journal of Forestry*, 609-613,
- Bohle, H. W. (1995): *Limnische Systeme*. Springer-Verlag, Berlin.
- Braasch, D.; Scharf, R. & Knuth, D. (1993): Zur Erfassung und Bewertung sensibler Fließgewässer im Land Brandenburg. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Heft 2, 31 –36.
- Braasch, D. (1995): Zur Bewertung rheotypischer Arten in Fließgewässern des Landes Brandenburg. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Heft 3, 4 –15.
- Brehm, J. & Meijering, M. P. D. (1990): *Fließgewässerkunde, Einführung in die Limnologie der Quellen, Bäche und Flüsse*. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, Wiesbaden, 2. überarb. Aufl.
- Brennan, A. & McLachlan, A. J. (1979): Tubes and tube-building in a lotic Chironomid (Diptera) community. *Hydrobiologia*, 67, 173-178.
- Brunke, M. (1999): Colmation and depth filtration within streambeds: Retention of particles in hyporheic interstices. *International Review of Hydrobiology*, 84 (2), 99-117.
- Carlson, Y., J.; Andrus, W. C. & Fröhlich, A. H. (1990): Woody debris, channel features, and macroinvertebrates of streams with logged and undisturbed riparian timber in northeastern Oregon, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47, 1103-1111.
- Cushing, C.E. & Allan, J.D. (2001): *Streams: their ecology and life*. Academic Press, San Diego.
- Dangles, O.; Guerold, F. & Usseglio-Polatera, P. (2001): Role of transported particulate organic matter in the macroinvertebrate colonization of litter bags in streams. *Freshwater Biology*, 46, 575-586.

- Delong, M. D.; Thorp, J. H. & Haag, K. H. (1993): A New Device for Sampling Macroinvertebrates from Woody Debris (Snags) in Nearshore Areas of Aquatic Systems. *American Midland Naturalist*, 130 (2), 413-417.
- Elliott, J. M. (2005): Day-night changes in the spatial distribution and habitat preferences of freshwater shrimps, *Gammarus pulex*, in a stony stream. *Freshwater Biology*, 50, 552-566.
- Elliott, J. M. (2003): A comparative study of the dispersal of 10 species of stream invertebrates. *Freshwater Biology*, 48, 1652-1668.
- Elser, P. (2001): Untersuchungen zur Besiedlungsdynamik benthischer Evertibraten in einem Fließgewässer unter dem Einfluss von Störungen. Dissertation, Jena,
- Gerhard, M. & Reich, M. (2001): Totholz in Fließgewässern - Empfehlungen zur Gewässerentwicklung, Hrsg.: GFGmbH & WBWmbH, Mainz - Heidelberg.
- Giller, P. S.; Malmqvist, B. (1998): The biology of streams and rivers. Oxford University Press.
- Glozier, E. N. & Culp M. J. (1989): Experimental investigations of diel vertical movements by lotic mayflies over substrate surfaces, *Freshwater Biology*, 21, 253-260.
- Gregg, W. W. & Rose, F. L. (1982): The effects of aquatic macrophytes on the stream microenvironment. *Aquatic Botany*, 14, 309-324.
- Gregory, J. K. & Davis, J. R. (1992): Coarse woody debris in stream channels in relation to river channel management in woodland areas. *Regulated Rivers: Research and Management*, 7, 117-136.
- Haapala, A. & Muotka, T. (2001): Breakdown and macroinvertebrate and fungal colonization of alder, birch, and willow leaves in a boreal forest stream. *Journal of the Northamerican Benthological Society*, 20 (3), 395-407
- Habdija, I.; Primc-Habdija, I. & Belini, M. S. (2006): Functional community organization of macroinvertebrates in lotic habitats of the Plitvice Lakes. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 22 (2), 85-92
- Harmon, E. M.; Franklin, F. J.; Swanson, J. F.; Sillins, P.; Gregory, S. V.; Lattin, D. & Anderson, J. (1986): Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15, 133-302.
- Hoffmann, A. (2005): Dynamics of fine particulate organic matter (FPOM) and macroinvertebrates in natural and artificial leaf packs. *Hydrobiologia*, 549, 167-178.
- Jähn, K. (2005): Untersuchungen zur Primärbesiedlung künstlicher Fließgewässer-Mesokosmen und gezielte Ansiedlung ausgewählter Makroinvertebraten. Diplomarbeit, Potsdam.
- Jähn, K.; Kiel, E. & Berghahn, R. (2005): Untersuchungen zur Primärbesiedlung künstlicher Fließgewässer-Mesokosmen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2005, Werder.
- Knöpp, H. (1952): Studie zur Statik und Dynamik der Biozönose eines Teichabflusses. *Archiv für Hydrobiologie*, 46, 15-102.
- Lemly, A. D. & Hilderbrand R. H. (2000): Influence of large woody debris on stream insect communities and benthic detritus. *Hydrobiologia*, 421, 179-185.
- LUA Brandenburg (1996): Karte der Gewässergüte BRB. Maßstab 1:300 000, Kartenserie zur Umweltsituation im Land Brandenburg.

- LUA Brandenburg (Hrsg.) (2001): Morphologische Referenzzustände für Bäche im Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Band 33, Potsdam.
- LUA Brandenburg (2002): Strukturgüte von Fließgewässern Brandenburgs, Studien und Tagungsberichte. Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg, Band 37.
- LUA Nordrhein-Westfalen (1998): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen, Kartieranleitung. LUA Merkblätter, Heft 14, Essen.
- Madsen, V. T. & Warncke, E. (1983): Velocities of currents around and within submerged aquatic vegetation. *Archiv für Hydrobiologie*, 97, 389-394.
- Marklund, O. (2000): A new sampler for collecting invertebrates in submerged vegetation. *Hydrobiologia*, 432, 229-231.
- Marmonier, P.; Delettre, Y.; Lefebvre, S.; Guyon, J. & Boulton, A. J. (2004): A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation in the beds of rivers. *Archiv für Hydrobiologie*, 16 (1), 133-143.
- Matthaei, C. D.; Guggelberger, C. & Huber, H. (2003): Local disturbance history affects patchiness of benthic river algae. *Freshwater Biology*, 48, 1514-1526.
- Matthaei, C. D. & Townsend, C. R (2000): Long-termed effects of local disturbance history. *Oecologia*, 125: 119-126.
- Matthaei, C. D.; Uehlinger, U.; Meyer, E. & Frutiger, A. (1996): Recolonization by benthic invertebrates after experimental disturbance in a Swiss prealpine river. *Freshwater Biology*, 35, 233-248.
- McCune, B. & Mefford, M. J. (199): PC-Ord, Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4, MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Meier, P. G.; Penrose, D. L. & Polak, L. (1979): The rate of colonization by macroinvertebrates on artificial substrate samplers. *Freshwater Biology*, 9, 381-392.
- Minshall, G. W. & Petersen, R. C. (1985): Towards a theory of macroinvertebrate community structure in stream ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie*, 104, 49-76.
- Mohr, S.; Feibicke, N.; Ottenströer, T.; Meinecke, S.; Berghahn, R. & Schmidt, R. (2005): Enhanced experimental flexibility and control in ecotoxicological mesocosm experiments – A new outdoor and indoor pond and stream system. *Environmental Science and Pollution Research*, 12 (1), 5-7.
- Mutz, M., Kalbus, E. & Meinecke, S. (2006): Effect of instream wood on vertical water flux in low-energy sand-bed streams. submitted.
- Nitschke, N. (2007): Vergleichende Studie zur Erfassung der Emergenz aus ausgewählten Gewässern im Umfeld der Mesokosmenanlage des Umweltbundesamtes und methodische Ansätze zur Abschätzung des Anflugpotentials auf die Hallenmesokosmen. Diplomarbeit, Berlin.
- Ozimek, T.; Pieczynska, E. & Hankiewicz, A. (1991): Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth: a laboratory experiment. *Aquatic Botany*, 41, 309-315.
- Pascoal, C.; Pinho, M.; Cássio, F. & Gomes, P. (2003): Assessing structural and functional ecosystem condition using leaf breakdown: studies on a polluted river. *Freshwater Biology*, 48, 2033-2044.

- Philips, G. L.; Eminson, D. & Moss, B. (1978): A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated fresh waters. *Aquatic Botany*, 4, 103-126.
- Poepperl, R. & Meyer, E. I. (2005): Trophic interactions and matter fluxes within the macroinvertebrate communities of a Central European mountain and lowland stream. - *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 29, 163-166.
- Rehg, K. J.; Packman, A. I. & Ren, J. (2005): Effects of suspended sediment characteristics and bed sediment transport on streambed clogging. *Hydrological Processes*, 19, 413-427.
- Sand-Jensen, K. (1998): Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland streams. *Freshwater Biology*, 39, 663-679.
- Scharf, R. & Braasch, D. (1997): Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg – Kreis Elbe-Elster. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Heft 2, 49 – 58.
- Scharf, R., Braasch, D. (1997): Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg – Kreise Havelland und Oberhavel, *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Heft 4, 116 – 124.
- Scharf, R. & Braasch, D. (1998): Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg – Kreise Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz, kreisfreie Stadt Cottbus. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Heft 2, 133 – 141.
- Scharf, R. & Braasch, D. (1999): Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg – 4. Beitrag zu ihrer Erfassung und Bewertung, Kreise Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming, Landeshauptstadt Potsdam und kreisfreie Stadt Brandenburg, *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Band 8 (2), 44 – 53.
- Scharf, R. & Braasch, D. (2000): Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg – 5. Beitrag zu ihrer Erfassung und Bewertung, Kreise Dahme-Spreewald und Oder-Spree, kreisfreie Stadt Frankfurt (Oder), *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, Band 9 (2), 62 – 72
- Schmedtje, U. & Colling, M. (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. – *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*, München, Heft 4.
- Sommerhäuser, M. & Schuhmacher, H. (2003): *Handbuch der Fließgewässer Norddeutschlands, Typologie – Bewertung – Management, Atlas für die Limnologische Praxis*. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- Shields, D. F. & Smith, H. R. (1992): Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river. *Aquatic Conservation*, 2, 145-163.
- Simpson, P. S. & Eaton, J. W. (1986): Comparative studies of the photosynthesis of the sub-merged macrophyte *Elodea canadensis* and the filamentous algae *Cladophora glomerata* and *Spirogyra* sp. *Aquatic Botany*, 24, 1-12.
- Stevens, L. E.; Shannon, J. P. & Blinn, D. W. (1997): Colorado River benthic ecology in Grand Canyon, Arizona, USA: dam, tributary and geomorphological influences. – *Regulated Rivers*, 13, 129-149.
- Taniguchi, H.; Nakano, S. & Tokeshi, M. (2003): Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology*, 48, 718-728.
- UBA (Umweltbundesamt) (2006a): Einfahrphase Fließgewässer-Simulationsanlage (FSA). Abschlußbericht. UBA-Texte 12/06.

UBA (Umweltbundesamt) (2006b): Fließ- und Stillgewässer-Simulationsanlage (FSA). Tätigkeitsbericht. UBA-Texte 13/06.

Vannote, R.L.; Minshall, G.W.; Cummins, K.W.; Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.

Watts, F. J. & Watts, D. G. (1990): Seasonal change in aquatic vegetation and its effect on river channel flow, in: Thomas J. B. (Hrsg.). *Vegetation and erosion*. Wiley, Chichester, 257-267.

Woodruff, S. L.; House, W. A.; Callow, M. E. & Leadbeater, B. S. C. (1999): The effects of a developing biofilm on chemical changes across the sediment-water interface in a freshwater environment. *International Review of Hydrobiology*, 84 (5), 509-532.

Wroblicky, G. J.; Campana, M. E.; Valett H. M. & Dahm, C. N (1998): Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems, *Water Resources Research*, 34(3), 317-328.

www-Adressen

www.fliessgewaesserbewertung.de (AQEM Consortium)

Weiterführende Literatur

Ambühl, H. (1959): Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 21, 133- 264.

Armitage, P.; Cranston, P. S. & Pinder, L. C. V. (1995): *The Chironomidae. The biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall, London.

Axmanová, S. & Rulík, M. (2005): DOC release from alder leaves and catkins during Decomposition in a small lowland stream. *International Review of Hydrobiology*, 90 (1), 33-41.

Boerger, H. (1981): Species composition, abundance and emergence phenology of midges (Diptera: Chironomidae) in a brown-water stream of West-Central Alberta, Canada. *Hydrobiologia*, 80, 7-30.

Brunke, M. & Gonser, T. (1999): Hyporheic invertebrates –the clinal nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradients. *Journal of the North American Benthological Society*, 18 (3), 344-362.

Edington, J. M. & Hildrew, A. G. (1995): A revised key to the caseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology. *Freshwater Biological Association, Scientific Publication*, 43, Ambleside.

Elliott, J. M. (2002): The drift distances and time spent in the drift by freshwater shrimps, *Gammarus pulex*, in a small stony stream, and their implications for the interpretation of down-stream dispersal. *Freshwater Biology*, 47, 1403-1417.

Entrekin, S. A.; Wallace, J. B. & Eggert, S. L. (2007): The response of Chironomidae (Diptera) to a long-term exclusion of terrestrial organic matter. *Hydrobiologia*, 575, 401-413.

Ferrington, L. C. (1984): Drift dynamics of Chironomidae larvae: I: Preliminary results and discussion of importance of mesh size and level of taxonomic identification in resolving Chironomidae diel drift patterns. *Hydrobiologia*, 114, 215-227.

- Galas, J. & Dumnicka, E. (2003): Organic matter dynamics and invertebrate functional groups in a mountain stream in the West Tatra Mountains, Poland. *International Review of Hydro-biology*, 88 (3-4), 362-371.
- Gayraud, S. & Philippe, M. (2003): Influence of bed-sediment features on the interstitial habitat available for macroinvertebrates in 15 French streams. *International Review of Hydrobiology*, 88 (1), 77-93.
- Glöer, P. (2002): Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. in: *Die Tierwelt Deutschlands*, 73. Teil, ConchBooks, Hackenheim.
- González, J. M. & Graca, M. A. S. (2005): Influence of detritus on the structure of the invertebrate community in a small portuguese stream. *International Review of Hydrobiology*, 90, (5-6), 534-545.
- González, J. M. & Graca, M. A. S. (2003): Conversion of leaf litter to secondary production by a shredding caddis-fly. *Freshwater Biology*, 48, 1578-1592.
- Graca, M. A. S. (2001): The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *International Review of Hydrobiology*, 86, (4-5), 383-393.
- Kern-Hansen, U. & Dawson, F. H. (1978): The standing crop of aquatic plants of lowland streams in Denmark and the inter-relationship of nutrients in plant, sediment and water. *Proceedings of the European Weed Research Society Fifth Symposium on Aquatic Weeds*, Amsterdam, 143-150.
- Köhler, W.; Schachtel, G. & Voleske, P. (1984): *Biometrie: Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Lampert, W. & Sommer, U. (1993): *Limnoökologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1993.
- Mackay, R. J. (1992): Colonization by lotic macroinvertebrates: A review of processes and patterns, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49, 617-628.
- Madsen, T. V. & Cedergreen, N. (2002): Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream. *Freshwater Biology*, 47, 283-291.
- Marklund, O.; Blindow, I. & Hargeby, A. (2001): Distribution and diel migration of macroinvertebrates within dense submerged vegetation. *Freshwater Biology*, 46, 913-924.
- Moog, O. (Hrsg.) (2002): *Fauna Aquatica Austriaca*. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs. 2. - Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- Mühlenberg, M. (1993): *Freilandökologie*. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, Wiesbaden.
- Oliver, D. R. (1971): Life history of the Chironomidae. *Annual Review of Entomology*, 16, 211-230.
- Pieczynska, E. (2003): Effect of damage by snail *Lymnea (Lymnaea) stagnalis* (L.) on the growth of *Elodea canadensis* Michx. *Aquatic Botany*, 75, 137-145.
- Pinder, L. C. V. (1986): Biology of freshwater Chironomidae. *Annual Review of Entomology*, 31, 1-23.
- Pinowska, A. (2002): Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum* and *Elodea canadensis* and the filamentous green alga *Cladophora* sp. *Hydrobiologia*, 479, 83-94.
- Royer, T. V. & Minshall, G. W. (2001): Effects of nutrient enrichment and leaf quality on the breakdown of leaves in a hardwater stream. *Freshwater Biology*, 46, 603-610.

- Schönborn, W. (2003): Lehrbuch der Limnologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Shannon, J. P.; Blinn, D. W. & Stevens, L. E. (1994): Trophic interactions and benthic animal community structure in Colorado River, Arizona, U.S.A. *Freshwater Biology*, 31, 213–220.
- Strayer, D. L.; May, S. E.; Nielsen, P.; Wollheim, W. & Hausam, S. (1997): Oxygen, organic matter, and sediment granulometry as controls on hyporheic animal communities. *Archiv für Hydrobiologie*, 140 (1), 131-144.
- Tobias, W. & Tobias, T. (1981): Trichoptera Germanica. Bestimmungstabellen für die deutschen Köcherfliegen. Teil 1, Imagines. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, Frankfurt a. M.
- Tuchman, N. C.; Wahtera, K. A.; Wetzel, R. G.; Russo, N. M.; Kilbane, G. M.; Sasso, L. M. & Teeri, J. A. (2003): Nutritional quality of leaf detritus altered by elevated atmospheric CO₂: effects on development of mosquito larvae. *Freshwater Biology*, 48, 1432-1439.
- Waringer, J. & Graf, W. (1997, inkl. der Ergänzungen 2000): Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Facultas Universitätsverlag, Wien.
- Webster, J. R.; Benfield, E. F.; Ehrman, T. P.; Schaeffer, M. A.; Tank, J. L.; Hutchens, J. J. & D'Angelo, D. J. (1999): What happens to allochthonous material that falls into streams? A synthesis of new and published information from Coweeta. *Freshwater Biology*, 41, 687-705.
- Weigelhofer, G. & Waringer, J. A. (1999): Woody debris accumulations: Important ecological components in a low order forest stream (Weidlingbach, Lower Austria). *International Review of Hydrobiology*, 84 (5), 427-437.

Verwendete Bestimmungsliteratur

Gastropoda

- Glöer, P. (2002): Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. In: Die Tierwelt Deutschlands, 73. Teil, Conch Books. Hackenheim.

Bivalvia

- Glöer, P. & Meier-Brook, C. (2003): Süßwassermollusken. 13. Aufl., Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, Hamburg.

Amphipoda

- Eggers, T.O. & Martens, A. (2001): Bestimmungsschlüssel der Süßwasser-Amphipoda (Crustacea) Deutschlands. *Lauterbornia*, 42, 1-68, Dinkelscherben.

Isopoda

- Gruner, H.E. (1965): Krebstiere oder Crustacea. V. Isopoda. In: Dahl, M. & Peus, F. (Hrsg.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile 51: I-VIII, 1-149.

Odonata

- Bellmann, H. (1993): Libellen beobachten und bestimmen. Naturbuch-Verlag., Augsburg.
- Nilsson, A. N. (Hrsg.) (1997): Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic handbook. Volume 2: Odonata, Diptera, Apollo Books, Stenstrup.

Megaloptera

Hölzel, H. (2002): Insecta: Megaloptera. In: Schwörbel, J. & Zwick, P.: Süßwasserfauna von Mitteleuropa, 15-16-17: 1-30, Heidelberg.

Coleoptera

Klausnitzer, B. (1996): Käfer im und am Wasser. Die Neue Brehm Bücherei, Magdeburg.

Trichoptera

Waringer, J. & Graf, W. (1997, inkl. der Ergänzungen 2000): Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Facultas Universitätsverlag, Wien.

Edington, J. M. & Hildrew, A. G. (1995): A revised key to the caseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology. Freshwater Biological Association, Scientific Publication, 43, Ambleside.

Chironomidae

Sundermann, A. & Lohse, S. (2006): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland.
<http://www.fliessgewaesserbewertung.de> [Stand Mai 2006].

Nilsson, A. N. (Hrsg.) (1997): Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic handbook. Volume 2: Odonata, Diptera, Apollo Books, Stenstrup.

11 Anhang

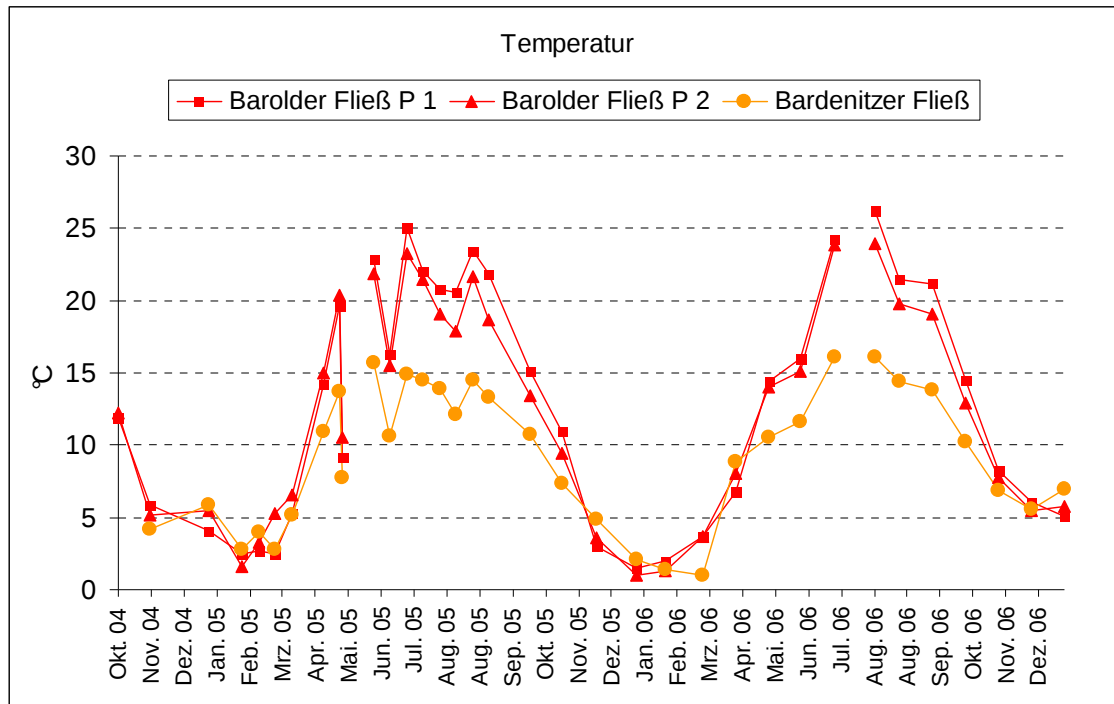


Abb. a: Temperaturverläufe in den Referenzgewässern

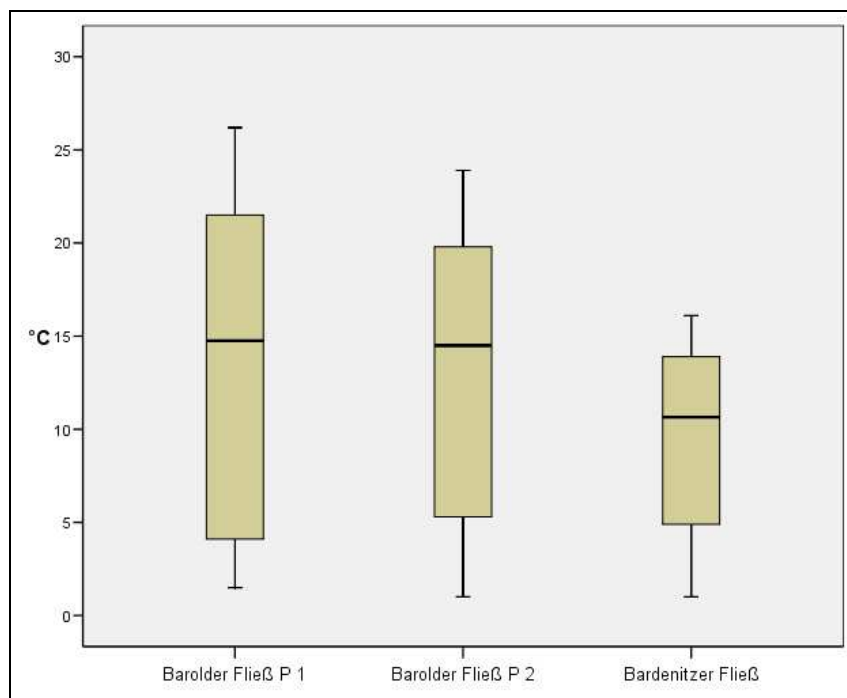


Abb. b: Streuung der Temperaturdaten in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum)

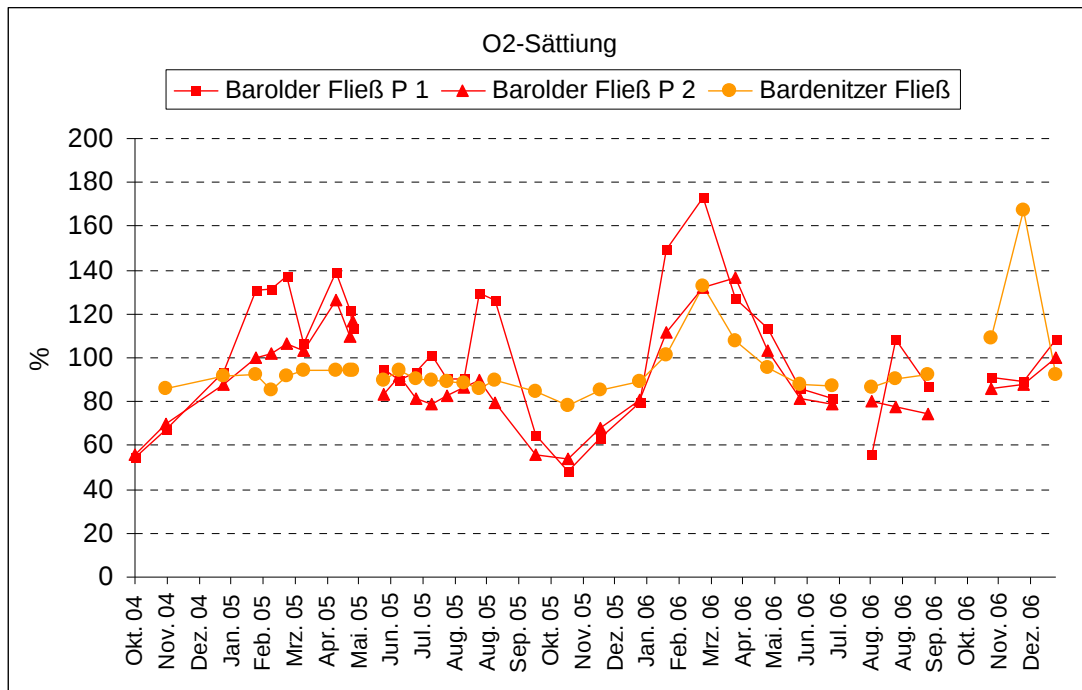


Abb. c: Jahresverläufe der O2-Sättigung in den Referenzgewässern

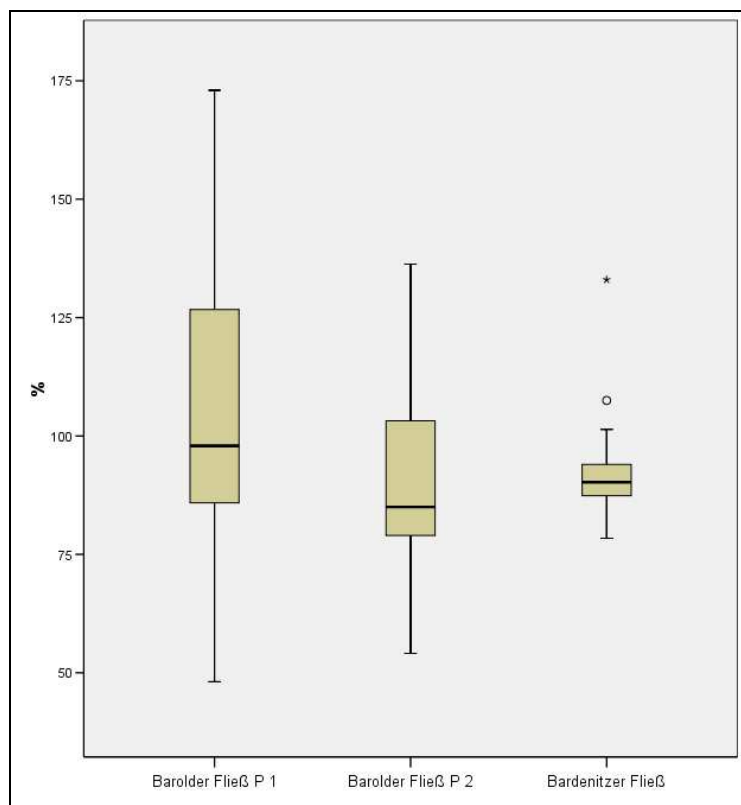


Abb. d: Streuung der Sauerstoffwerte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extreme Einzelwerte: H, ○)

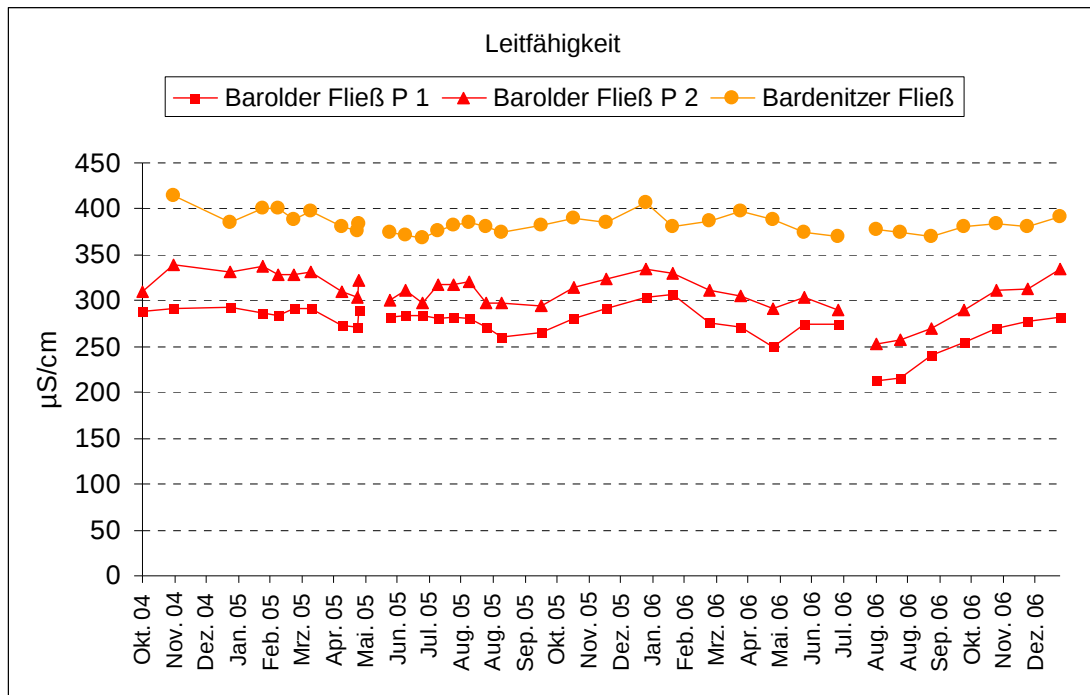


Abb. e: Jahresverläufe der Leitfähigkeit in den Referenzgewässern

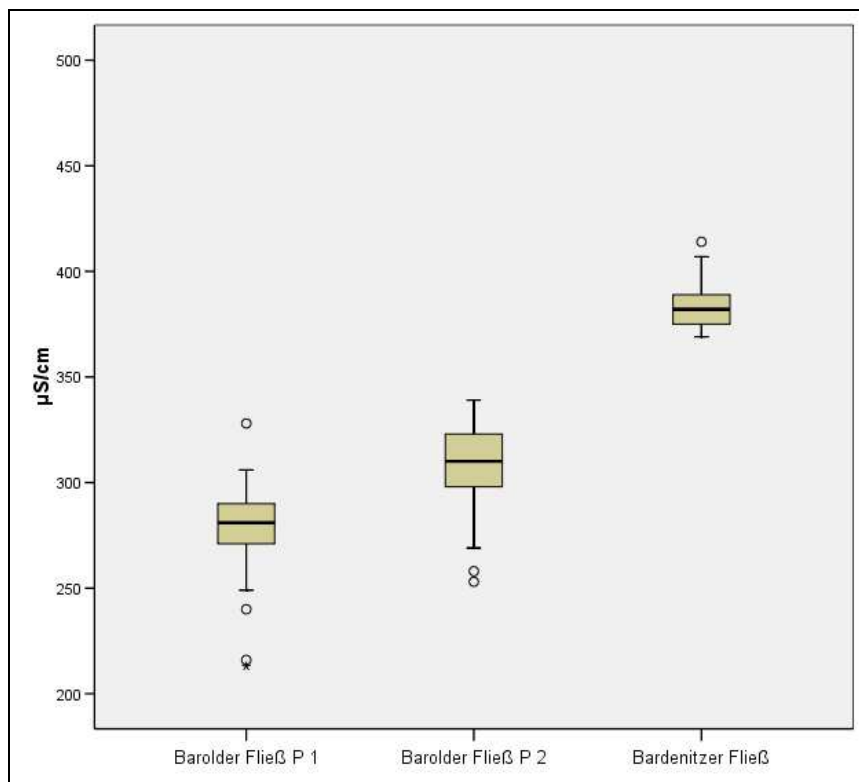


Abb. f: Streuung der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extreme Einzelwerte: H, ○)

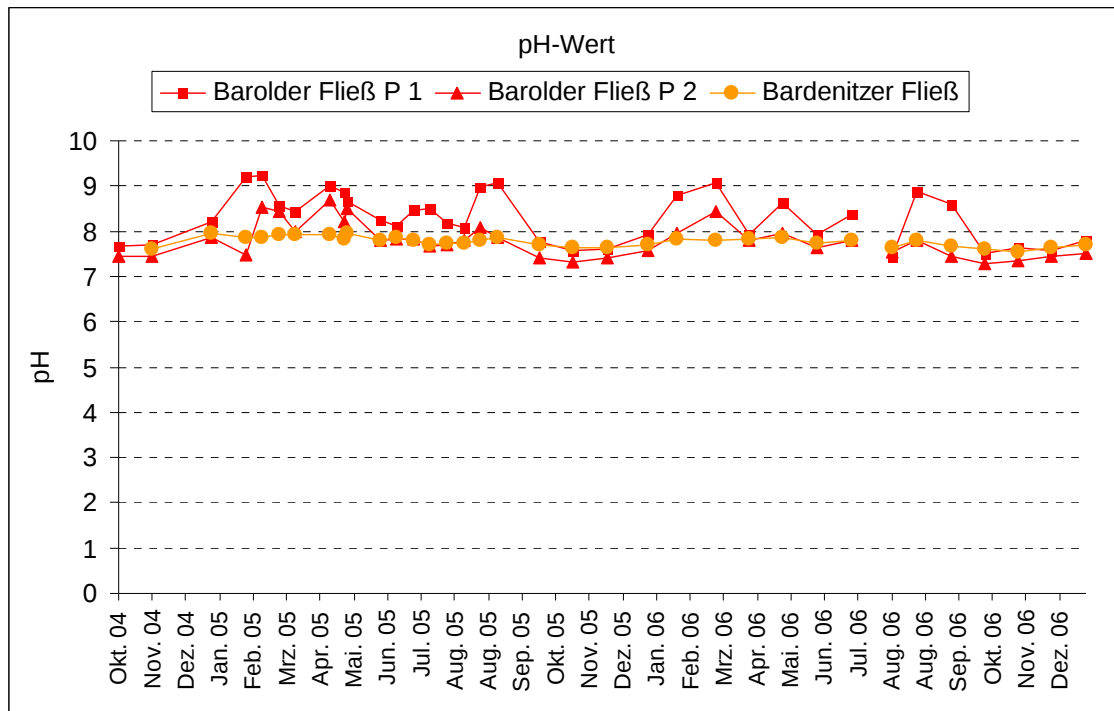


Abb. g: Jahresverläufe des pH-Wertes in den Referenzgewässern

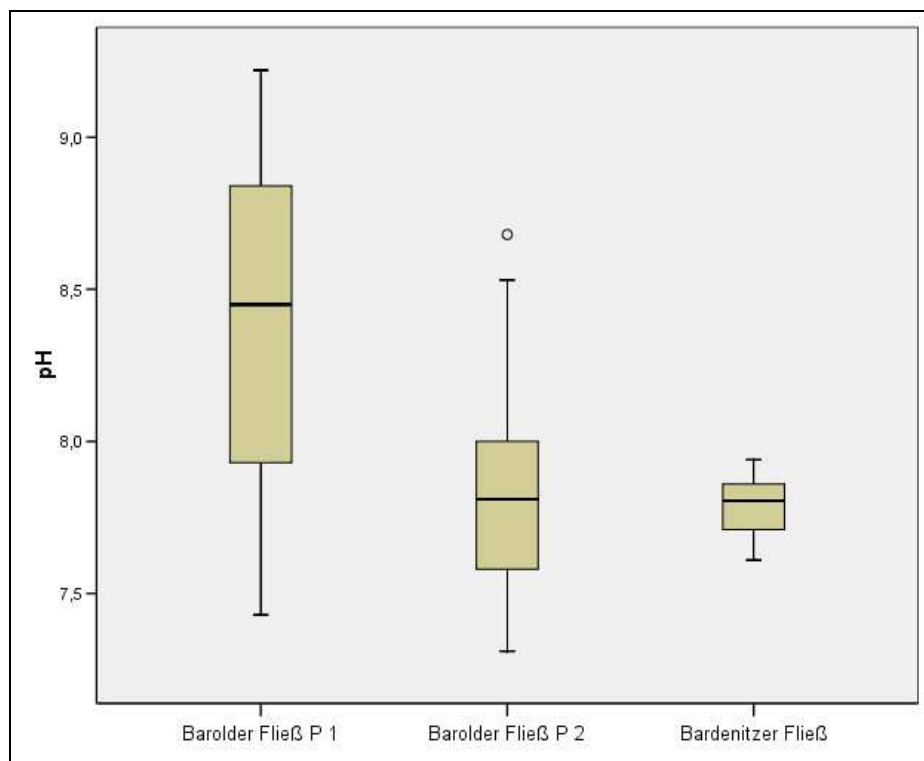


Abb. h: Streuung der pH-Werte in den Referenzgewässern: Oktober 2004 bis September 2006 (Boxplots: Maximum, 75. Perzentil, Median, 25. Perzentil, Minimum, extremer Einzelwert: ○)

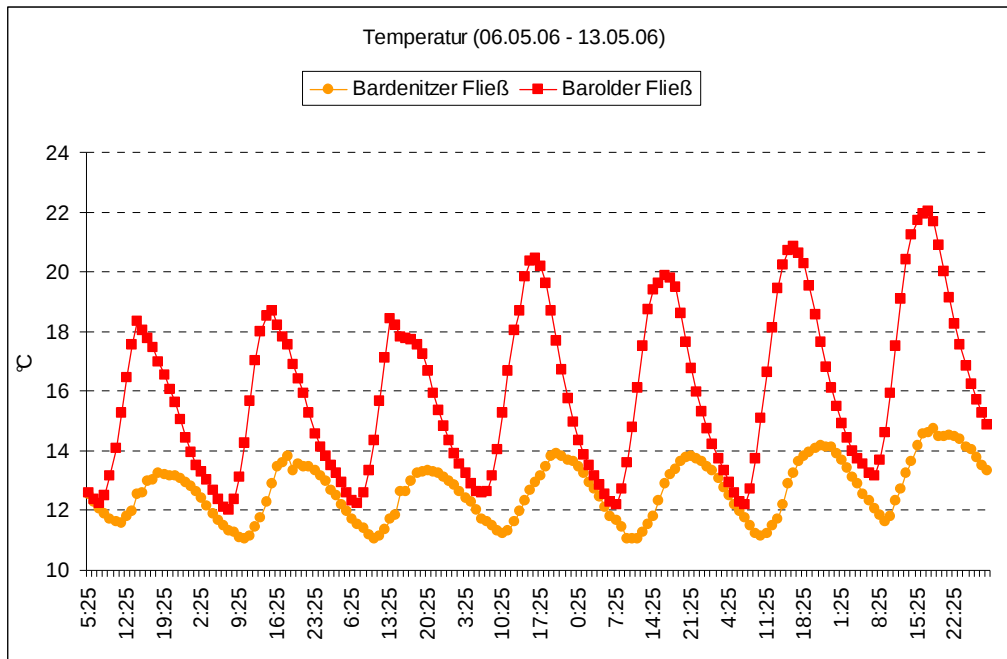


Abb. i: Tagesgänge der Temperaturwerte in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten)

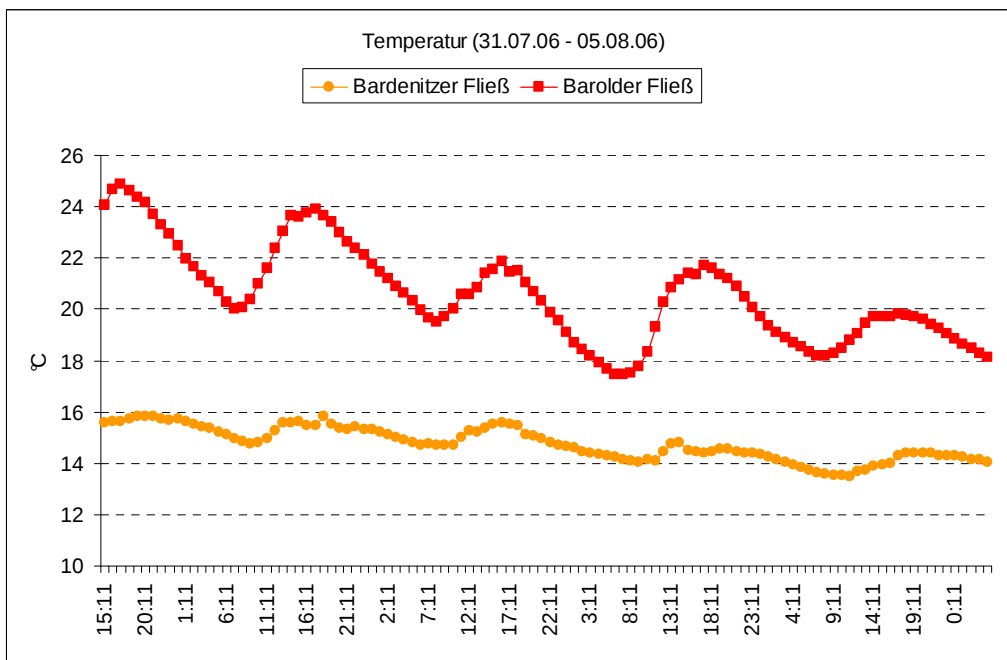


Abb. j: Tagesgänge der Temperaturwerte in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten)

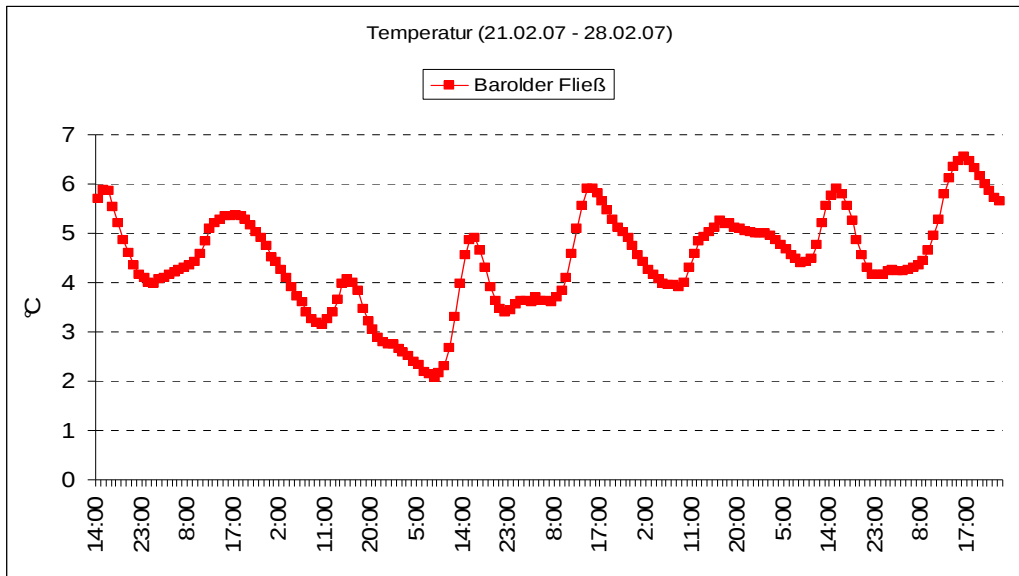


Abb. k: Tagesgänge der Temperaturwerte im Barolder Fließ vom 21.02.2007 bis 28.02.2007 (Messrhythmus 60 Minuten)

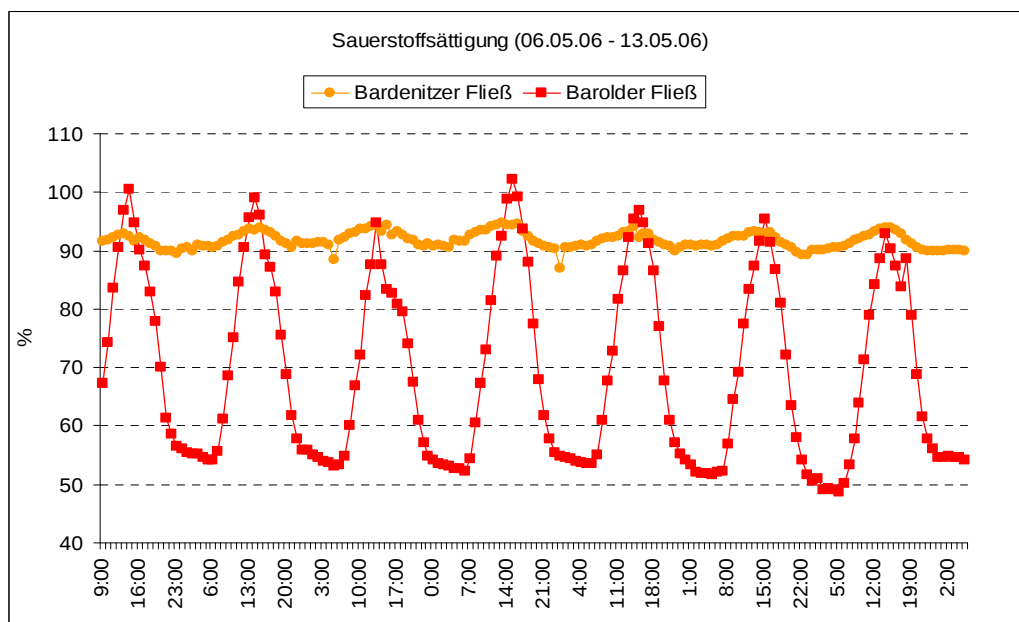


Abb. l: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten)

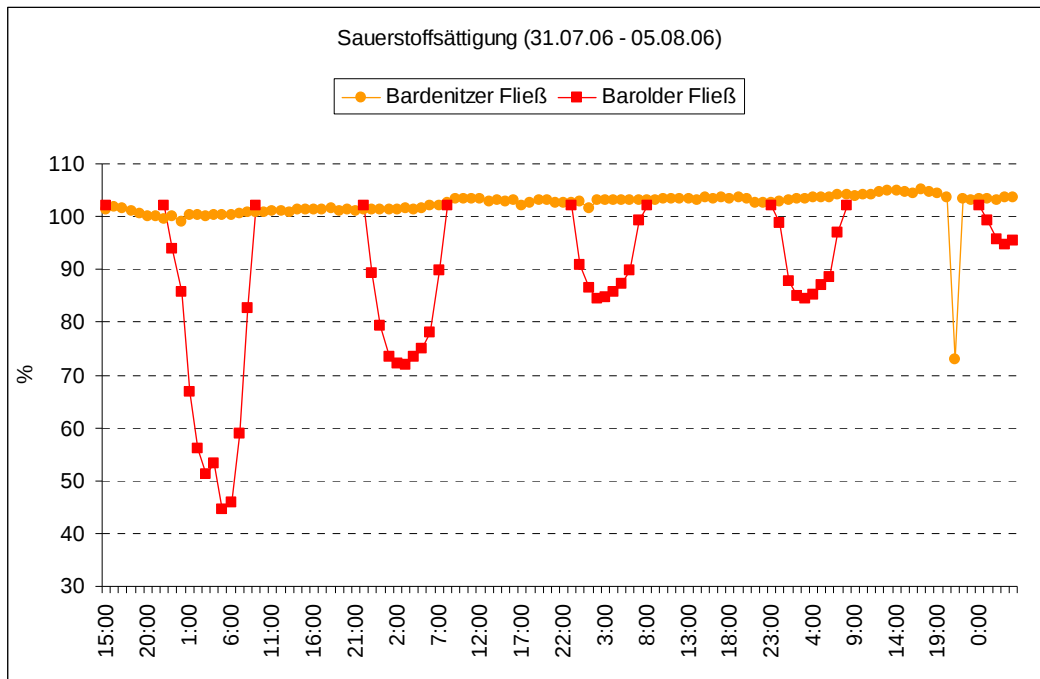


Abb. m: Tagesgänge der Sauerstoffsättigung in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Messrhythmus 60 Minuten) (fehlende Werte: nicht erfolgte Extrapolation bei Sauerstoffsättigung > 102%)

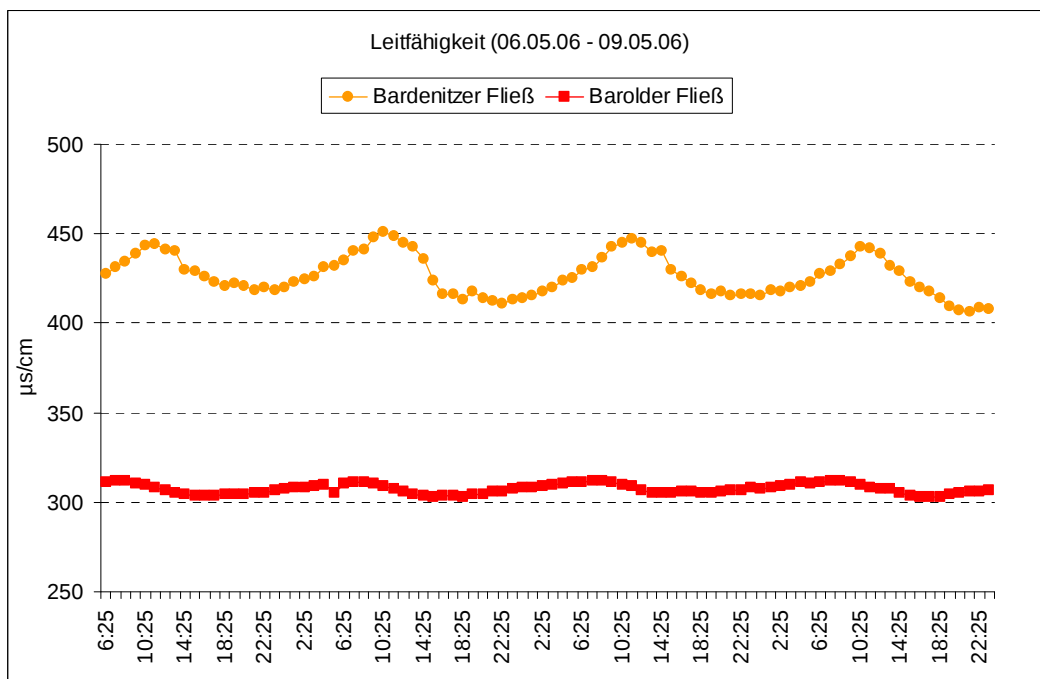


Abb. n: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern vom 06.05.2006 bis 13.05.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten)

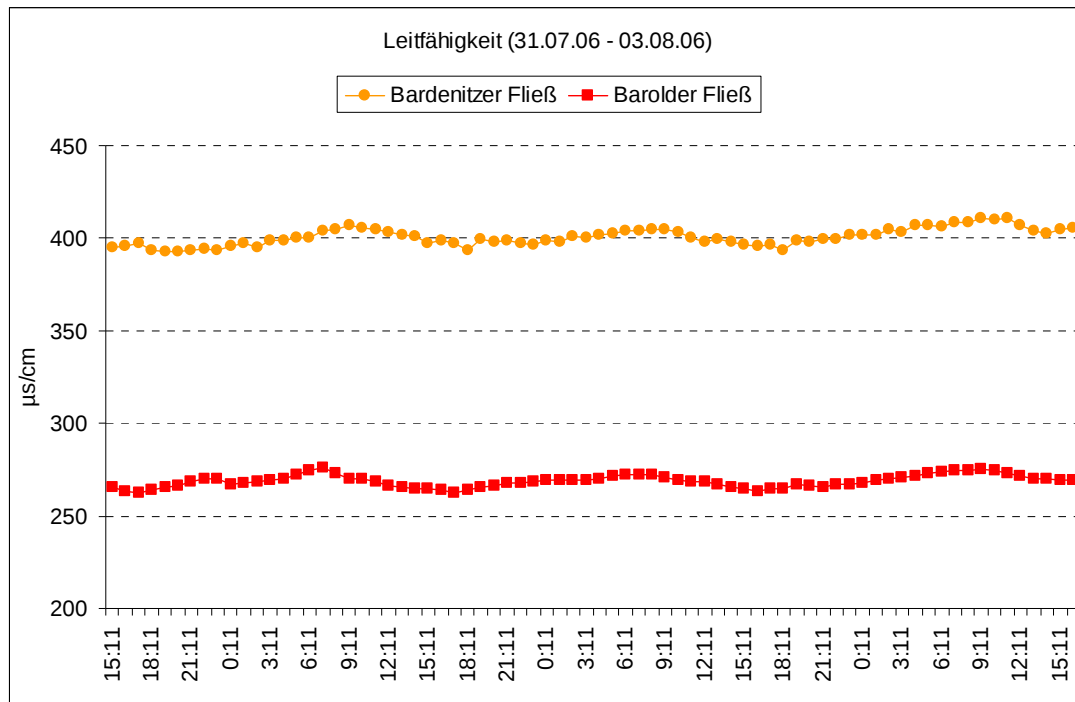


Abb. o: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte in den Referenzgewässern vom 31.07.2006 bis 03.08.2006 (Mess-rhythmus 60 Minuten)

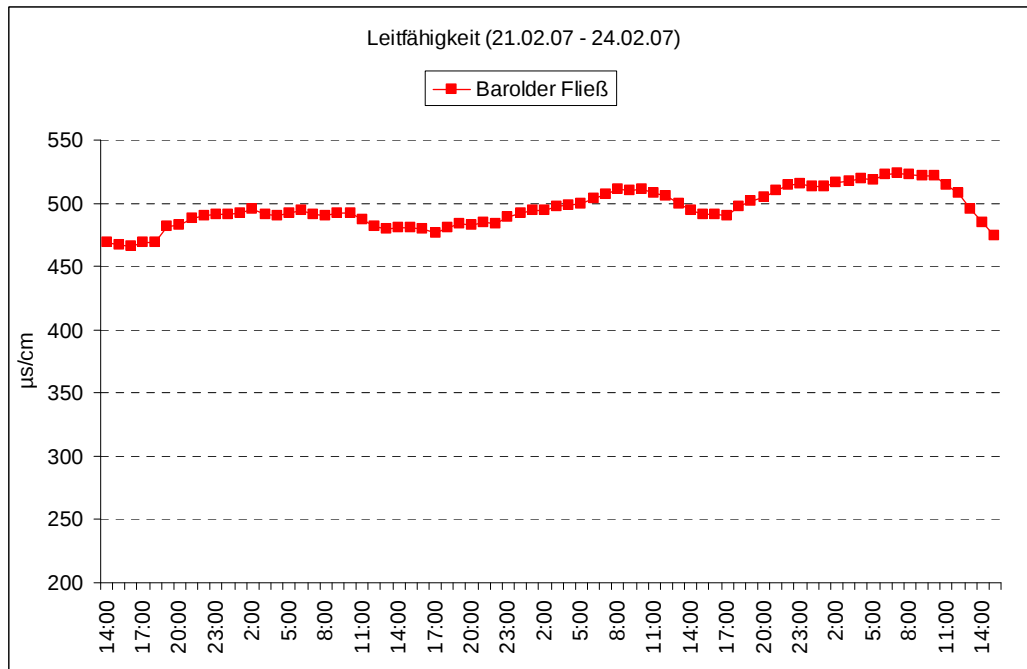


Abb. p: Tagesgänge der Leitfähigkeitswerte im Barolder Fließ vom 21.02.2007 bis 28.02.2007 (Messrhythmus 60 Minuten)