

Untersuchungen zum Abbau partikulärer organischer Substanzen  
in einem Langsandsfilter durch Metazoen am Beispiel von  
*Niphargus fontanus*

Vom Fachbereich Biologie, Geo- und Umweltwissenschaften  
der *Carl von Ossietzky* Universität Oldenburg  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
angenommene Dissertation

vorgelegt von

**Peter Rumm**

geboren am 20. 08. 1965, in Schäftersheim

Erstreferent: Prof. Dr. H. K. Schminke, *Carl von Ossietzky* Universität, Oldenburg

Korreferent: Prof. Dr. E. Vareschi, *Carl von Ossietzky* Universität, Oldenburg

Tag der Disputation: 3. 12. 1999

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inhaltsverzeichnis .....                                                     | I  |
| Abbildungsverzeichnis .....                                                  | IV |
| Tabellenverzeichnis .....                                                    | VI |
| 1 Einleitung .....                                                           | 1  |
| 2 Die Wassergewinnungsanlage Echthausen .....                                | 6  |
| 2.1 Geographische Lage, Geologie und Hydrogeologie .....                     | 6  |
| 2.2 Das Gelände des Wasserwerks .....                                        | 8  |
| 2.3 Betrieb der Trinkwassergewinnungsanlage Echthausen .....                 | 9  |
| 2.4 Der Langsamsandfilter Nr. 8 der Wassergewinnungsanlage Echthausen .....  | 10 |
| 3 Material und Methoden .....                                                | 12 |
| 3.1 Probennahme .....                                                        | 12 |
| 3.2 Biotische und abiotische Faktoren .....                                  | 13 |
| 3.3 Weiterverarbeitung der Proben im Labor .....                             | 14 |
| 3.4 Freßexperimente .....                                                    | 14 |
| 3.4.1 Hälterung und Futterwahlversuche .....                                 | 14 |
| 3.4.2 Vorbereitung des verwendeten Futters .....                             | 15 |
| 3.4.2.1 Blätter .....                                                        | 15 |
| 3.4.2.2 Algenmaterial und Detritus .....                                     | 16 |
| 3.4.2.3 Fischfutter .....                                                    | 17 |
| 3.4.2.4 Kotballen .....                                                      | 17 |
| 3.5 Durchführung der Freßexperimente .....                                   | 19 |
| 3.5.1 Auswahl der Tiere .....                                                | 20 |
| 3.5.2 Vermessen der Tiere und der Kotballen .....                            | 19 |
| 3.6 Respirationsmessungen .....                                              | 20 |
| 3.7 C/N – Analysen .....                                                     | 22 |
| 3.8 Rasterelektronenmikroskopie .....                                        | 22 |
| 3.9 Statistische Auswertung .....                                            | 22 |
| 4 Ergebnisse – Allgemeiner Teil .....                                        | 24 |
| 4.1 Abiotische Faktoren .....                                                | 24 |
| 4.1.1 Temperatur .....                                                       | 24 |
| 4.1.1.1 Temperatur im Langsamsandfilter .....                                | 24 |
| 4.1.1.2 Temperaturverlauf im Rohwasser und im Bodenfiltrat .....             | 24 |
| 4.1.2 Sauerstoff .....                                                       | 25 |
| 4.1.2.1 Sauerstoffgehalt im Langsamsandfilter .....                          | 25 |
| 4.1.2.2 Sauerstoffverhältnisse im Rohwasser und im Bodenfiltratschacht ..... | 26 |
| 4.1.3 pH-Wert .....                                                          | 27 |
| 4.1.4 Leitfähigkeit .....                                                    | 28 |
| 4.1.5 Grundwasserspiegel .....                                               | 28 |
| 4.2 Biotische Faktoren .....                                                 | 29 |
| 4.2.1 Partikuläre Fracht in den untersuchten Bereichen .....                 | 29 |

|         |                                                                                                        |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2   | Kohlenstoff- und Stickstoffanteile .....                                                               | 30 |
| 4.2.2.1 | Kohlenstoff- und Stickstoffanteile in der Biologisch aktiven Zone .....                                | 30 |
| 4.2.2.2 | PON- und POC-Gehalte im Langsamsandfilter und im Bodenfiltratschacht .....                             | 31 |
| 4.2.2.3 | C/N-Verhältnisse in der Biologisch aktiven Zone, im Langsamsandfilter und im Bodenfiltratschacht ..... | 32 |
| 4.2.3   | Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) .....                                                           | 33 |
| 4.2.4   | Phosphat .....                                                                                         | 35 |
| 4.2.5   | Ammonium .....                                                                                         | 36 |
| 4.3     | Die Fauna in Echthausen .....                                                                          | 37 |
| 4.3.1   | Das Faunenspektrum .....                                                                               | 37 |
| 4.3.2   | Quantitative Betrachtungen zur Fauna in den untersuchten Bereichen .....                               | 41 |
| 4.3.2.1 | Räumliche Verteilung .....                                                                             | 41 |
| 4.3.2.2 | Zeitliche Verteilung .....                                                                             | 45 |
| 4.4     | Zusammenfassung der biotischen, abiotischen und faunistischen Ergebnisse .....                         | 48 |
| 5       | Ergebnisse - Freßexperimente und Respirationsversuche .....                                            | 49 |
| 5.1     | Futterwahlexperimente .....                                                                            | 49 |
| 5.1.1   | Fadenalgen-Gemisch .....                                                                               | 49 |
| 5.1.2   | Detritus .....                                                                                         | 51 |
| 5.1.3   | Esche .....                                                                                            | 51 |
| 5.1.4   | Ahorn .....                                                                                            | 53 |
| 5.1.5   | Kotballen (faecal pellets) .....                                                                       | 53 |
| 5.1.6   | Fischfutter .....                                                                                      | 57 |
| 5.1.7   | Oligochaeta ( <i>Enchytraeus fragmentosus</i> ) .....                                                  | 57 |
| 5.1.8   | Zusammenfassung der Futterwahlexperimente .....                                                        | 59 |
| 5.2     | Charakterisierung der Eschenblätter .....                                                              | 60 |
| 5.2.1   | C/N-Verhältnis .....                                                                                   | 60 |
| 5.2.2   | Verhältnis von Frischgewicht und Trockengewicht .....                                                  | 60 |
| 5.2.3   | Leaching .....                                                                                         | 61 |
| 5.3     | Untersuchungen am Grundwasseramphipoden <i>Niphargus fontanus</i> .....                                | 62 |
| 5.3.1   | Hungerexperiment .....                                                                                 | 62 |
| 5.3.2   | Verhältnis von Länge und Trockengewicht bei <i>Niphargus fontanus</i> .....                            | 63 |
| 5.3.3   | Beziehung von Frisch- zu Trockengewicht bei <i>Niphargus fontanus</i> .....                            | 64 |
| 5.3.4   | Darmpassagezeiten von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                  | 65 |
| 5.4     | Konsum und Pelletproduktion von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                        | 67 |
| 5.4.1   | Effektivität der Freßexperimente – Verhältnis von eingesetzten und ausgewerteten Ansätzen .....        | 67 |
| 5.4.2   | Konsumierte Futtermenge .....                                                                          | 68 |
| 5.4.3   | Faecal pellets von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                     | 69 |
| 5.4.3.1 | Qualitative Beobachtungen .....                                                                        | 69 |
| 5.4.3.2 | Analyse der Längenverteilung .....                                                                     | 72 |
| 5.4.3.3 | Gewicht und Anzahl der produzierten Pellets .....                                                      | 73 |
| 5.4.4   | Assimilationseffizienz von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                             | 75 |
| 5.4.5   | Vergleich der Assimilationseffizienzen .....                                                           | 80 |
| 5.4.5.1 | Unterschiede zwischen den 10°C- und den 14°C Versuchen .....                                           | 80 |
| 5.4.5.2 | Unterschiede zwischen Männchen und Weibchen .....                                                      | 81 |



|       |                                                                                                                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.6 | Korrelation ausgewählter Variablen .....                                                                                                             | 82  |
| 5.5   | Respirationsversuche .....                                                                                                                           | 83  |
| 5.6   | Abschätzung der Umsatzleistung der <i>Niphargus fontanus</i> Population im<br>Langsamsandfilter auf der Basis der Resultate mit Eschenblättern ..... | 85  |
| 5.7   | Zusammenfassung der Freß- und Respirationsexperimente .....                                                                                          | 86  |
| 6     | Diskussion .....                                                                                                                                     | 89  |
| 6.1   | Einfluß ausgewählter Variablen auf die Organismenverteilung .....                                                                                    | 89  |
| 6.1.1 | Temperatur .....                                                                                                                                     | 90  |
| 6.1.2 | Sauerstoffgehalt .....                                                                                                                               | 91  |
| 6.1.3 | pH-Wert .....                                                                                                                                        | 92  |
| 6.1.4 | Leitfähigkeit .....                                                                                                                                  | 93  |
| 6.1.5 | Grundwasserstand .....                                                                                                                               | 93  |
| 6.1.6 | Phosphat .....                                                                                                                                       | 95  |
| 6.1.7 | Ammonium .....                                                                                                                                       | 96  |
| 6.1.8 | Gelöster organischer Kohlenstoff .....                                                                                                               | 97  |
| 6.1.9 | Partikulär gebundener Kohlenstoff, Stickstoff und C/N-Verhältnis .....                                                                               | 99  |
| 6.2   | Die Artenzusammensetzung und -verteilung in Echthausen .....                                                                                         | 100 |
| 6.3   | Nahrungspräferenzen der untersuchten Arten .....                                                                                                     | 105 |
| 6.3.1 | Auswahl des geeigneten Futters – warum Eschenblätter? .....                                                                                          | 107 |
| 6.3.2 | <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                                                                      | 107 |
| 6.3.3 | <i>Proasellus cavaticus</i> .....                                                                                                                    | 109 |
| 6.3.4 | <i>Chappuisius inopinus</i> .....                                                                                                                    | 110 |
| 6.3.5 | <i>Diacyclops languidoides</i> .....                                                                                                                 | 110 |
| 6.3.6 | <i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i> .....                                                                                                         | 111 |
| 6.3.7 | <i>Bythiospeum septentrionale</i> .....                                                                                                              | 111 |
| 6.3.8 | <i>Haplotaxis gordioides</i> .....                                                                                                                   | 111 |
| 6.4   | Koprophagie und Faecal Pellets .....                                                                                                                 | 112 |
| 6.5   | Darmpassagezeiten und Assimilationseffizienz von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                     | 113 |
| 6.6   | Respirationsraten von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                                                | 115 |
| 6.7   | Bewertung der durchgeführten Experimente .....                                                                                                       | 116 |
| 6.8   | Die Abbauleistung der interstitiellen Fauna im Langsamsandfilter .....                                                                               | 119 |
| 7     | Zusammenfassung .....                                                                                                                                | 123 |
| 8     | Anhang .....                                                                                                                                         | 126 |
| 8.1   | Liste der verwendeten Abkürzungen und Symbole .....                                                                                                  | 126 |
| 8.2   | Meßwerte und Tabellen .....                                                                                                                          | 127 |
| 8.3   | EDV-Geräte und eingesetzte Software .....                                                                                                            | 142 |
| 9     | Literaturverzeichnis .....                                                                                                                           | 143 |
| 10    | Danksagung .....                                                                                                                                     | 154 |
|       | Lebenslauf .....                                                                                                                                     | 155 |
|       | Eidesstattliche Erklärung .....                                                                                                                      | 156 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1: Vermutete Rolle der Grundwassertiere in ihrem Lebensraum .....                                                                                                                    | 3  |
| Abb. 2: Einzugsgebiet und Verlauf der Ruhr - der Punkt markiert die Lage Echthauses.....                                                                                                  | 7  |
| Abb. 3: Prinzip der Wasseraufbereitung im Ruhrtal (verändert nach Imhoff, 1988).....                                                                                                      | 9  |
| Abb. 4: Lage und Anordnung der Peilrohre im Langsamsandfilter (schematisch).....                                                                                                          | 12 |
| Abb. 5: Beprobungsausrüstung für Peilrohre. ....                                                                                                                                          | 13 |
| Abb. 6: Vor- und Nachbehandlungsschritte der Blattscheiben zur Durchführung der Freßversuche .....                                                                                        | 18 |
| Abb. 7: Zählen und Ausmessen der Kotballen mithilfe der digitalen Meßeinrichtung. ....                                                                                                    | 20 |
| Abb. 8: Schematische Darstellung des Durchflußmikrorespirometers (verändert nach Petersen 1997).....                                                                                      | 21 |
| Abb. 9: Temperaturverlauf von Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996 .....                                                                                      | 25 |
| Abb. 10: Sauerstoffgehalte im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996 .....                                                                                      | 26 |
| Abb. 11: Verlauf von Sauerstoff, Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit in den Bereichen Biologisch<br>aktive Zone, im Lückensystem des Langsamsandfilters und im Bodenfiltratschacht..... | 27 |
| Abb. 12: Abstände des Grundwasserspiegels in den einzelnen Peilrohren und Überstauhöhe im Filterbecken .....                                                                              | 29 |
| Abb. 13: Monatliche partikuläre Fracht aus den verschiedenen Tiefenbereichen des Langsamsandfilters<br>und dem Bodenfiltratschacht[TG mg/l] .....                                         | 30 |
| Abb. 14: POC-, PON-Gehalte und C/N-Verhältnisse in der Biologisch aktiven Zone [g/m <sup>2</sup> TG] .....                                                                                | 31 |
| Abb. 15: Gesamtstickstoff- (PON) und Gesamtkohlenstoff (POC) aus Langsamsandfilter und<br>Bodenfiltratschacht .....                                                                       | 32 |
| Abb. 16: Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis der Partikelfracht aus Langsamsandfilter, Bodenfiltrat-<br>schacht und Biologisch aktiver Zone .....                                           | 33 |
| Abb. 17: DOC-Gehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.....                                                                                              | 34 |
| Abb. 18: Phosphatgehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.....                                                                                          | 35 |
| Abb. 19: Ammoniumgehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.....                                                                                          | 36 |
| Abb. 20: Prozentuales Verhältnis von Stygobionten, Stygophilen und Stygoxen im Langsamsand-<br>filterbecken Nr. 8 Echthausen/Ruhr .....                                                   | 41 |
| Abb. 21: Prozentuale Häufigkeiten der Taxa in den 3 untersuchten Bereichen Biologisch aktive Zone<br>(BaZ), Langsamsandfilter (LSF) und Bodenfiltratschacht (BFS).....                    | 43 |
| Abb. 22: Zeitliche Verteilung der Taxa in der Biologisch aktiven Zone (Abundanzen in Prozent) .....                                                                                       | 46 |
| Abb. 23: Zeitliche Verteilung der Taxa im Langsamsandfilter (Abundanzen in Prozent) .....                                                                                                 | 47 |
| Abb. 24: Zeitliche Verteilung der Taxa im Bodenfiltratschacht (Abundanzen in Prozent).....                                                                                                | 47 |
| Abb. 25: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der<br>angebotenen Fadenalgen.....                                                               | 50 |
| Abb. 26: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz des<br>angebotenen Detritus.....                                                                 | 52 |
| Abb. 27: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der<br>angebotenen Eschenblätter .....                                                           | 54 |
| Abb. 28: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der<br>angebotenen Ahornblätter.....                                                             | 55 |
| Abb. 29: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der<br>angebotenen Kotballen.....                                                                | 56 |

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 30: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz des<br>angebotenen Fischfutters .....                                    | 58  |
| Abb. 31: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der<br>angebotenen Oligochaeta ( <i>Enchytraeus fragmentosus</i> ) ..... | 59  |
| Abb. 32: C/N-Verhältnis der Eschenblätter .....                                                                                                                   | 61  |
| Abb. 33: Verhältnis von Frischgewicht zu Trockengewicht bei Eschenblattscheiben .....                                                                             | 61  |
| Abb. 34: Gewichtsverlust von Eschenblattscheiben nach 50-tägiger Exposition in Wasser .....                                                                       | 62  |
| Abb. 35: Sterberate von <i>Niphargus fontanus</i> im Hungerexperiment .....                                                                                       | 63  |
| Abb. 36: Länge-Trockengewicht-Verhältnis von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                                      | 64  |
| Abb. 37: Frischgewicht-Trockengewicht Verhältnis von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                              | 65  |
| Abb. 38: Darmpassagezeiten 10 adulter Männchen von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                                | 66  |
| Abb. 39: Verhältnis von eingesetzten und ausgewerteten Ansätzen in den Freßexperimenten .....                                                                     | 67  |
| Abb. 40: Das Faecal Pellet von <i>Niphargus fontanus</i> (Aufnahmen am CRYO-REM) .....                                                                            | 71  |
| Abb. 41: Darstellung der klassifizierten Häufigkeiten der Pelletlängen von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                        | 72  |
| Abb. 42: Anzahl und Gewicht der täglich produzierten Pellets bei 10°C und bei 14°C .....                                                                          | 74  |
| Abb. 43: Verhältnis von Futterkonsum und Pelletproduktion bei <i>Niphargus fontanus</i> (10°C) .....                                                              | 76  |
| Abb. 44: Verhältnis von Futterkonsum und Pelletproduktion bei <i>Niphargus fontanus</i> (14°C) .....                                                              | 77  |
| Abb. 45: Prozentuale (A) und absolute (B) Assimilationseffizienz von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                              | 79  |
| Abb. 46: Respiration von <i>Niphargus fontanus</i> bei unterschiedlicher Temperatur- und Sauerstoffvorgabe .....                                                  | 85  |
| Abb. 47: Vergleich der Arten- und Individuenzahlen der stygobionten, stygophilen und stygoxenen<br>Vertreter aus Echthausen .....                                 | 102 |
| Abb. 48: Ordinationsplot der Stationen mithilfe des Cosinus-Ähnlichkeitsmaß .....                                                                                 | 104 |
| Abb. 49: Nahrungsbeziehungen (A) und summarischer Kohlenstofffluß (B) im Langsandsandfilter .....                                                                 | 121 |
| Abb. 50: Shepard-Diagramm Stationen, erste Iteration, Cosinus Ähnlichkeitsmaß .....                                                                               | 141 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 1: Auflistung der Arten und der Hälterungsbedingungen.....                                                                                                                   | 15  |
| Tab. 2: Höhe des Grundwasserspiegels in den einzelnen Peilrohren und Überstauhöhe im Filterbecken .....                                                                           | 28  |
| Tab. 3: Auflistung und Einteilung der in Echthausen gefundenen Fauna .....                                                                                                        | 37  |
| Tab. 4: Absolute und statistische Angaben der Abundanzen in den untersuchten Bereichen .....                                                                                      | 42  |
| Tab. 5: Abundanzen und relativer Anteil der Taxa in den 3 untersuchten Bereichen .....                                                                                            | 44  |
| Tab. 6: Zeitliche Verteilung der Taxa in den untersuchten Bereichen .....                                                                                                         | 45  |
| Tab. 7: Beurteilung der Akzeptanz der eingesetzten Futtersorten durch die untersuchten Arten .....                                                                                | 59  |
| Tab. 8: Durchschnittlicher Futterkonsum von <i>Niphargus fontanus</i> bei 10°C und 14°C .....                                                                                     | 68  |
| Tab. 9: Durchschnittliche Pelletproduktion von <i>Niphargus fontanus</i> bei 10°C und 14°C .....                                                                                  | 73  |
| Tab. 10: Assimilationseffizienz von <i>Niphargus fontanus</i> – ausgewählte statistische Kenngrößen.....                                                                          | 78  |
| Tab. 11: Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen ausgewählten Variablen .....                                                                                           | 83  |
| Tab. 12: Respiration von <i>Niphargus fontanus</i> in Abhängigkeit von Temperatur und Sauerstoffkonzentration .....                                                               | 84  |
| Tab. 13: Abschätzung des täglichen Konsums der adulten <i>Niphargus fontanus</i> im Langsamsandfilter<br>Becken 8 Echthausen / Ruhr.....                                          | 86  |
| Tab. 14: Vergleich der Respiration dreier <i>Niphargus</i> -Arten.....                                                                                                            | 116 |
| Tab. 15: Wassertemperaturen im Langsamsandfilter.....                                                                                                                             | 127 |
| Tab. 16: Sauerstoffkonzentrationen im Wasser des Langsamsandfilters .....                                                                                                         | 127 |
| Tab. 17: pH-Werte im Wasser des Langsamsandfilters.....                                                                                                                           | 128 |
| Tab. 18: Leitfähigkeitswerte [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] im Wasser des Langsamsandfilters.....                                                                                    | 128 |
| Tab. 19: Vergleich der abiotischen Faktoren im Rohwasser und Bodenfiltratschacht (1995) .....                                                                                     | 129 |
| Tab. 20: Vergleich der abiotischen Faktoren im Rohwasser und Bodenfiltratschacht (1996) .....                                                                                     | 130 |
| Tab. 21: Partikelfracht, C/N-Verhältnisse und berechnete Gesamtkohlenstoff- (POC) und Gesamt-<br>stickstoffgehalte (PON) aus verschiedenen Bereichen des Langsamsandfilters ..... | 131 |
| Tab. 22: Absolute und relative Anteile der Taxa in den Peilrohren R1-R9 im Langsamsandfilter .....                                                                                | 132 |
| Tab. 23: Darmpassagezeiten und Durchsatzraten von <i>Niphargus fontanus</i> .....                                                                                                 | 132 |
| Tab. 24: Ergebnisse der Freßexperimente mit <i>Niphargus fontanus</i> ♀♀ (10°C) .....                                                                                             | 134 |
| Tab. 25: Ergebnisse der Freßexperimente mit <i>Niphargus fontanus</i> ♂♂ (10°C) .....                                                                                             | 135 |
| Tab. 26: Ergebnisse der Freßexperimente mit <i>Niphargus fontanus</i> ♀♀ (14°C) .....                                                                                             | 136 |
| Tab. 27: Ergebnisse der Freßexperimente mit <i>Niphargus fontanus</i> ♂♂ (14°C) .....                                                                                             | 137 |
| Tab. 28: Klassifizierte Häufigkeiten und Summenhäufigkeiten der Pelletlängen von <i>Niphargus fontanus</i><br>[Angaben in mm] .....                                               | 138 |
| Tab. 29: Arten- und Individuenzahlen der Stygobionten, Stygophilen und Stygoxenon.....                                                                                            | 139 |
| Tab. 30: Arten-Stations-Matrix für Ordination MDS-Plot.....                                                                                                                       | 139 |
| Tab. 31: Q-Matrix "Alle Stationen"; Cosinus-Ähnlichkeitsmaß .....                                                                                                                 | 140 |
| Tab. 32: Q-Matrix "Lückensystem"; Cosinus Ähnlichkeits-Maß.....                                                                                                                   | 141 |

# 1 Einleitung

Die Langsamsandfiltration ist ein seit langem praktiziertes und heute noch gebräuchliches Verfahren zur Trinkwassererzeugung. Dabei wird Oberflächenwasser in besonderen Becken, den Langsamsandfiltern, versickert (BMI-Fachausschuß 1985). Das infiltrierte Wasser durchstößt eine Sandschicht und gelangt in den Untergrund. Im Zuge der Sandfiltration und der Untergrundpassage wird das versickernde Wasser gereinigt. Die Langsamsandfiltration ist kostengünstig und nicht sehr arbeitsintensiv, da sie die natürlichen Selbstreinigungsprozesse der Gewässer in zeitlich und räumlich komprimierter Form nachahmt.

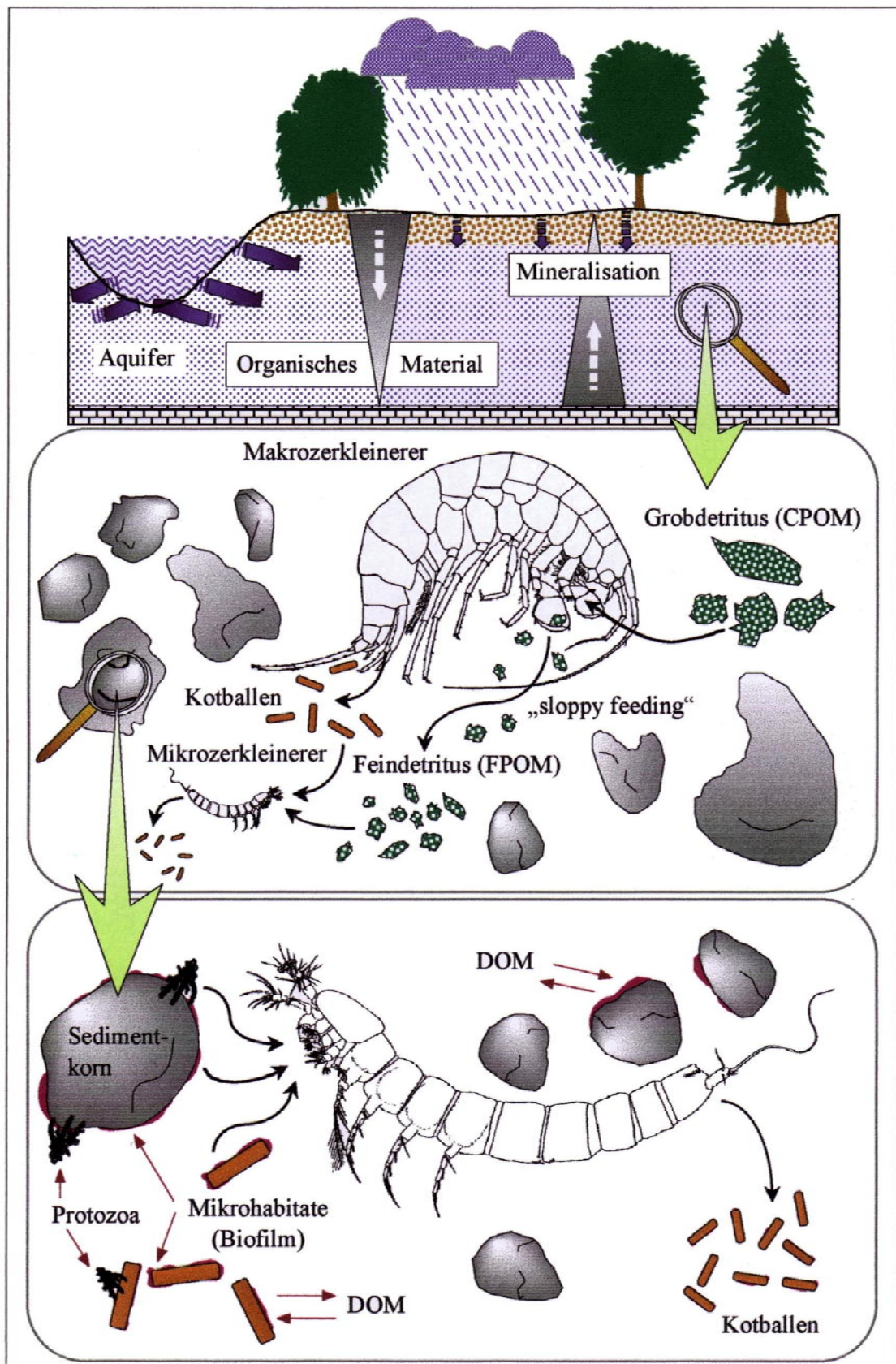
Langsamsandfilter sind biologisch arbeitende Systeme, die aufgrund ihrer betriebsbedingt hohen Nährstoffzufuhr pro Flächeneinheit (Schmidt 1966) von einer individuenreichen und komplexen Lebensgemeinschaft besiedelt werden (Brink 1967; Husmann 1974; Ritterbusch 1974; Duncan 1988; Wotton et al. 1996; Westphal & Rumm 1997).

In Langsamsandfiltern lassen sich vier Bereiche funktionell und räumlich voneinander unterscheiden: Der Überstau, die Biologisch aktive Zone, die Sandschicht und der natürliche Untergrund der Talaue. Das infiltrierte Wasser enthält Schwebstoffe, die zum Großteil auf der Filteroberfläche sedimentieren, wodurch es zu Kolmationsprozessen kommt, d.h. die oberflächennahen Lückenräume verstopfen zunehmend (Brunke & Gonser 1997c), und das infiltrierte Wasser beginnt sich aufzustauen. Der erste Bereich, der Überstau ermöglicht Algenwachstum und die Ausbildung einer Zooplanktongesellschaft. Auf der Filteroberfläche bildet sich der zweite Bereich, die Biologisch aktive Zone - eine biologische Matrix aus abgelagerter organischer Fracht, Fadenalgen und sedimentierten Algenzellen, Konsortien von Mikroorganismen und einer individuenreichen Fauna. Die Sandschicht, der dritte Bereich, besteht aus Mittel- bis Grobsand und ist durch sein kleinräumiges Lückensystem gekennzeichnet. Dieses wirkt als ökologische Barriere gegen Organismen, deren Körpergröße den Porenquerschnitt überschreiten (Glatzel 1994). Der vierte Bereich umfaßt die natürliche Schotterschicht der Talaue. Dort findet sich eine Mischfauna aus Grundwasser- und Oberflächenwasserorganismen.

Zwar herrscht Konsens darüber, daß alle Elemente dieser Biozönose am Abbau der infiltrierten, biologisch umsetzbaren Substanzen beteiligt sind, es ist aber unklar, wie groß die Abbauleistungen der Organismen im einzelnen sind. Während man zunächst davon ausging, daß die in Langsamsandfiltern wirksame Reinigungsleistung primär an der Filteroberfläche vollzogen wird (Kisskalt 1917; Dornedden 1930), erkannte Schmidt (1963), daß viele Reinigungsvorgänge auch in der Tiefe stattfinden. Der Hauptteil der biologischen Stoffumsetzung wird den Mikroorganismen zugesprochen (DVWK - Fachausschuß

Grundwasserbiologie 1988; Weber-Shirk & Dick 1997). Darüberhinaus tragen Algen zur Reinigungsleistung bei, indem sie dem Wasser Nährstoffe entziehen und es mit Sauerstoff anreichern, solange sie sich in ihrer aktiven Wachstumsphase befinden (Baars 1957; Nakamoto et al. 1996). Neben Mikroorganismen und Algen finden sich aber auch Metazoa in Langsamsandfiltern, deren ökologische Rolle nach wie vor unklar ist. Calaway (1957) vermutete, daß Metazoa Schleim, organische Partikel und Bakterien fressen und für die Langsamsandfiltration wichtig sind.

Pionierhafte Untersuchungen über die Metazoenbesiedlung in Langsamsandfiltern führte Husmann durch (Husmann 1958). Auf der Basis seiner Befunde entwickelte er eine Hypothese über die Rolle der Metazoa in Langsamsandfiltern (Husmann 1968; Husmann 1976; Husmann 1982). Demnach soll die mit dem Wasser infiltrierte organische Fracht von den Organismen (Metazoa, Protozoa und Mikroorganismen) konsumiert und schließlich mineralisiert werden. Ähnlich wie in Oberflächengewässern wird das grobe Material von Makrozerkleinerern aufgenommen und den nächsten Gliedern der Abaukette zugänglich gemacht (Cummins & Klug 1979). Durch sog. „sloppy feeding“ (unsauberes Fressen) wird zerkleinerte Nahrung für Mikrozerkleinerer verfügbar. Die Metazoa fressen Detritus inklusive der darauf befindlichen Mikroorganismen und produzieren Kotballen, wodurch sie permanent neue Besiedlungsg Grundlagen für Mikroorganismen schaffen. Dadurch werden diese in stoffwechselphysiologisch günstigen Wachstumsphasen gehalten (s. Abb. 1). Darüberhinaus sorgen die Metazoa durch ihre Fress- und Bewegungsaktivität dafür, daß die Lückenräume im Untergrund freigehalten werden und so neue Infiltrationswege für versickerndes Wasser entstehen (Danielopol 1983; Danielopol 1989), ähnlich wie dies von der Interaktion zwischen Mikroorganismen, Protozoa und Metazoa in Tropfkörperanlagen bekannt ist (Schwoerbel 1993). Nach Husmanns Hypothese soll sich in Langsamsandfiltern ein weitgehend selbst-regulierendes biologisches Gleichgewicht einstellen. Analog stellt man sich die Vorgänge im natürlichen Grundwasser vor wo bakterivore, herbivore und detritivore Protozoa und Metazoa die einzigen Konsumenten der Lebensgemeinschaft darstellen und so eine Schlüsselposition einnehmen sollen (Schminke & Glatzel 1988; Marmonier et al. 1993; Plenet et al. 1995; Schminke 1997). Demnach wären die Vorgänge in Langsamsandfiltern teilweise auch übertragbar auf natürliche Grundwassersysteme. Beide Systeme, Langsamsandfilter und das Grundwasser, sind abhängig von der allochthonen Nährstoffzufuhr (Madsen & Ghiorse 1993). Ein Überangebot an organischer Fracht kann allerdings zu Kolmationsprozessen führen und so die Durchlässigkeit des Lückensystems hemmen oder ganz unterbinden (Brunke et al. 1996; Brunke & Gonser 1997c). Dies ist ein Vorgang, der in Langsamsandfiltern regelmäßig zu beobachten ist.



Legende: C/FPOM – course/fine particulate organic matter; DOM – dissolved organic matter; schwarze Pfeile – Weg der Nahrung und der Kotballen; blaue Pfeile – Weg des Wassers

**Abb. 1: Vermutete Rolle der Grundwassertiere in ihrem Lebensraum**

Obwohl Husmanns Hypothese einleuchtend klingt, gibt es keine experimentelle Basis, die sie untermauern könnte. In Versuchen mit Labor-Filtersäulen wurde der Einfluß der Metazoa auf die Prozesse in Langsamsandfiltern und ihre Rolle bei der Interaktion mit Mikroorganismen untersucht (Ritterbusch 1974; Eder 1983; Torreiter et al. 1994). Die Ergebnisse aus diesen Experimenten sind widersprüchlich und bestätigen nur teilweise, daß den Metazoa eine regulierende Rolle zukommt.

Ein Blick auf andere aquatische Systeme zeigt, daß die Fauna dort maßgeblich am Stoffumsatz beteiligt ist. So ist von marinen benthisch lebenden Protozoa und Metazoa bekannt, daß sie bis zu 53% der anfallenden Bakterien- und Algenproduktion konsumieren (Epstein 1997). Auch aus limnischen Systemen weiß man, daß Protozoa und Metazoa immobilisierte Mikroorganismen fressen (Decho 1986; Decho & Castenholz 1986; Perlmutter & Meyer 1991; Montagna 1995). Von den Metazoa aus Langsamsandfiltern fehlen solche Daten. Allerdings ist aus eigenen Untersuchungen eines Langsamsandfilters bekannt, daß dort eine eigene, individuen- und artenreiche Fauna vorherrscht (Rumm 1993; Schmidt 1994; Westphal & Rumm 1997; Rumm et al. 1998).

Bestimmte Arten scheinen sich bevorzugt in spezifischen Bereichen des Langsamsandfilters aufzuhalten. Im Gegensatz zu den hohen Individuenzahlen (ca. 15.000 Ind./m<sup>3</sup>) im Lückensystem des Langsamsandfilters ist der Organismenauswurf aus dem Langsamsandfilter extrem gering (Rumm et al. 1997).

Aufgrund der hohen Individuendichten in Langsamsandfiltern und der Kenntnis über die ökologische Rolle der Metazoa im Meer und im natürlichen Süßwasser, stellt sich erneut die Frage, ob die Metazoa in Langsamsandfiltern nicht doch eine entscheidende Rolle bei der Mineralisierung biologisch abbaubarer Stoffe haben und damit zur Wasserreinigung beitragen. Da die erwähnten Laborsäulen-Experimente zu keinen eindeutigen Antworten führten, soll in der vorliegenden Arbeit ein Lösungsansatz auf der Basis autökologischer Untersuchungen angestrebt werden.

Wie im Oberflächenwasser, könnten auch im Grundwasser Tiere spezifischer Gilden bestimmte Aufgaben übernehmen. Für die Rolle der Zerkleinerer kämen große Vertreter wie der stygobionte Amphipode *Niphargus fontanus* in Frage. Das zerkleinerte Material und die anfallenden Kotballen können von den kleineren Vertretern genutzt und weiter abgebaut werden. Um zu prüfen, inwiefern diese Hypothesen sich auf den Langsamsandfilter anwenden lassen, werden zunächst die Randbedingungen (biotischen und abiotischen Variablen) im Langsamsandfilter untersucht. Um mögliche Korrelationen zu finden, sollen die räumliche und zeitliche Analyse der Variablen mit der Faunenzusammensetzung und -verteilung im Langsamsandfilter verglichen werden.



Im nächsten Schritt soll das Nahrungsspektrum einiger im Langsamsandfilter dominanter Grundwasserarten untersucht werden. Diese Untersuchungen sollen einerseits Aufschluß darüber geben, inwiefern die im Langsamsandfilter vorhandene Nahrung von den Stygobionten genutzt werden kann, und andererseits sollen grundlegende Daten über das Nahrungsspektrum der untersuchten Arten geliefert werden. Verschiedene Hälterungs- und Fütterungsregime sollen Aufschluß über bevorzugte Futtersorten und Hälterungsbedingungen geben.

Im dritten und letzten Schritt soll die Umsatzleistung von Grundwassertieren quantifiziert werden. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Untersuchung von *Niphargus fontanus* gelegt. In Freßexperimenten soll die Menge der aufgenommenen Nahrung und die Menge der produzierten Kotballen ermittelt werden. Aus der aufgenommenen Futtermenge, der Anzahl und dem Gewicht der produzierten Pellets kann die von den Tieren erbrachte Assimilationsleistung ermittelt werden. Durch die Anwendung digitaler Bildanalyseverfahren sollen die Darmpassagezeiten und die Menge der aufgenommenen Nahrung pro Zeiteinheit kalkuliert werden.

Ob die produzierten Pellets von anderen Tieren der Langsamsandfilter-Lebensgemeinschaft genutzt werden können, sollen rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen und weitere Freßexperimente klären.

Um einen abschließenden Eindruck von der Spannbreite der metabolischen Aktivität der untersuchten Tiere zu bekommen, soll in einem Durchfluß-Respirometer die Respirationsrate von *Niphargus fontanus* bei variablen Bedingungen (Temperatur, Sauerstoffgehalt) gemessen werden.

Die Synopse der Daten aus den Felduntersuchungen und der experimentellen Arbeit soll letztlich einen Eindruck von der Rolle ausgewählter Grundwassermetazoen bei der Langsamsandfiltration verschaffen.

## 2 Die Wassergewinnungsanlage Echthausen

Die Wasserwirtschaft im Ruhrgebiet ist eng mit der industriellen Entwicklung dieser Region verbunden. Die Kohleförderung und die Stahlerzeugung führten im 18. und 19. Jahrhundert zu stetig steigenden Einwohnerzahlen. Zwangsläufig kam es zu einem stark anwachsenden Wasserverbrauch in dieser Region. Die Wasserversorgung aus reiner Brunnenförderung erreichte schnell ihre Grenzen und machte den Bau von Wasserwerken erforderlich. Das erste Wasserwerk im Ruhrtal wurde 1864 in Essen erbaut (Thofern 1990). Neben reinem Grundwasser wurde auch Uferfiltrat gefördert, das ohne weitere hygienische Aufbereitungsmaßnahmen den Verbrauchern zugeleitet wurde. Aus der damals üblichen Doppelnutzung der Flüsse als Trinkwasserreservoir **und** als Abwasserkanal ergaben sich bald Konflikte, die ihren Niederschlag in großen Trinkwasserepidemien fanden. So erkrankten bspw. in Hamburg in den Jahren 1885/88 und 1892 fast 33.000 Menschen an Typhus und Cholera und im Jahre 1901 in Gelsenkirchen 3.200 Menschen an Typhus (Thofern 1990). Der direkte Zusammenhang zwischen dem Konsum von unzureichend aufbereitetem Trinkwasser und den zahlreichen Erkrankungen wurde evident und führte zu Gegenmaßnahmen. Dort, wo es die hydrogeologischen Bedingungen zuließen, wurden Langsandsandfilter gebaut, was vor allem die bakteriologische Trinkwasserqualität verbesserte (Koenig & Bruns 1930). Die Langsandsandfiltration etablierte sich im Ruhrgebiet als gängige Aufbereitungsmethode zur künstlichen Grundwasseranreicherung (Kötter 1991). Entlang der Ruhr entstanden so bis heute 27 Wassergewinnungsanlagen. Das Wasserwerk Echthausen, in den Jahren 1939 - 1941 durch die "Actien-Gesellschaft Gelsenkirchen-Schalker Gas- und Wasserwerke" erbaut, ist eines davon.

### 2.1 Geographische Lage, Geologie und Hydrogeologie

Mit einer Länge von 217 km, einer mittleren Wasserführung von  $79 \text{ m}^3/\text{s}$  und einem  $4.488 \text{ km}^2$  umfassenden Einzugsgebiet kann die Ruhr als kleiner Fluß angesehen werden (Imhoff 1989). Um die stark schwankende Wasserführung der Ruhr (Minimum:  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  - Maximum:  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mit den Interessen der Wasserversorgung in Einklang zu bringen, wurden schon sehr früh Talsperren errichtet. Zu Trink- und Brauchwasserzwecken werden der Ruhr jährlich rund 500 Mio.  $\text{m}^3$  Wasser entnommen.

Das Wasserwerk Echthausen liegt am Oberlauf der Ruhr, bei Ruhrkilometer 128,4 (AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr) 1988),  $7^\circ 50' 34''$  östlicher Länge und  $51^\circ 30' 57''$  nördlicher Breite ( s. Abb.2). Echthausen ist das erste in Fließrichtung der Ruhr

gelegene Wasserwerk dieser Art, da die Mächtigkeit der Ruhrkiese erst ab Neheim von wasserwirtschaftlicher Bedeutung sind.

Für die Trinkwasserversorgung im Ruhrtal sind die dort herrschenden geologischen Verhältnisse von besonderer Bedeutung (Imhoff 1988). Die wasserwirtschaftlich gesehen günstige Situation in Echthausen und im weiteren Ruhrverlauf ist geologisch durch den fluviatilen Einfluß des Ruhr-Urstromtals bedingt. Während der Inlandvereisungen im Pleistozän wurde das rheinische Faltengebirge starken Frostverwitterungen ausgesetzt, und das dabei anfallende Schuttgestein füllte die Ruhrhauptterrasse. Durch starke Niederschläge in den folgenden Zwischeneiszeiten wusch sich die stark wasserführende Ruhr durch das pleistozäne Schuttgestein und formte so das heutige Ruhrtal. Die Sohle der entstandenen Talaue bildete sich aus dem heterogenen Material der Flußgerölle (Gangquarze, Kieselschiefer, Quarzit, Sandstein u.a.). Während des Holozäns lagerten sich sandige und schluffige Sedimente, Verwitterungslehme und 1,5-3 m mächtige Schichten von alluvialem Auelehm ab.

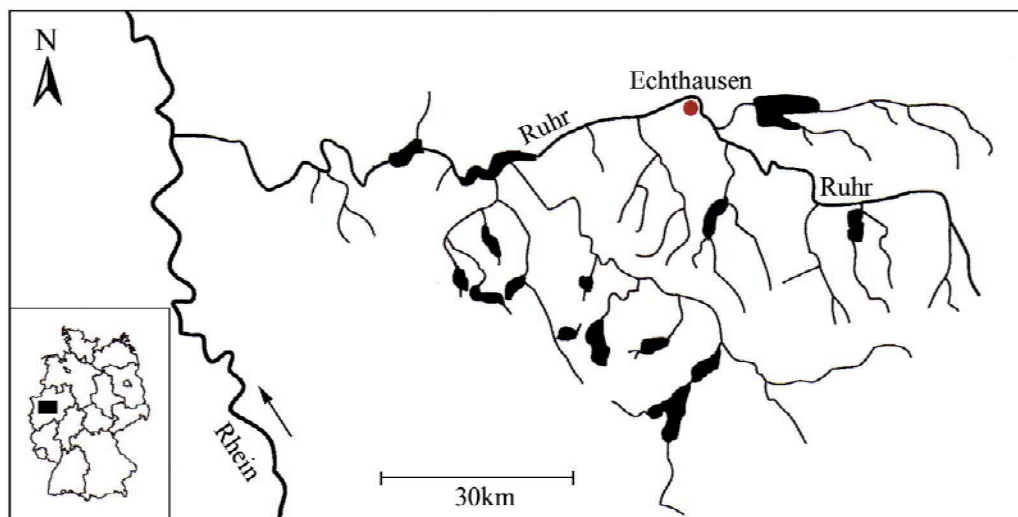


Abb. 2: Einzugsgebiet und Verlauf der Ruhr - der Punkt markiert die Lage Echthausens

Die pleistozänen Schotter sind aus wasserwirtschaftlicher Sicht günstig, da sie einen größtenteils aus sandigen Kiesen bestehenden Porengrundwasserleiter darstellen. Wasserwirtschaftlich ungünstig sind die Mangan- und Eiseneinlagerungen sowie die Einschlüsse von Tonlinsen, die dem Untergrund eine teilweise starke Inhomogenität verleihen und so Schwankungen der Wasserdurchlässigkeit bewirken können (Holtschulte 1966).

Im Bericht des BMI-Fachausschusses (1985) sind die folgenden hydrogeologischen und pedologischen Aspekte als vorteilhaft für die Grundwasseranreicherung genannt:

1. Durchlässige und ausreichend mächtige Schichten bis zur Bodenoberfläche ermöglichen eine gute Versickerung des Oberflächenwassers. Andererseits ist dadurch der Schadstoffeintrag von der Oberfläche ins Grundwasser begünstigt.

2. Die einheitliche Zusammensetzung des Grundwasserleiters begünstigt die Grundwasserneubildungsrate, d.h. es sollen keine undurchlässigen Schichten oder Trennzonen (z.B. aus Lehm, Ton, Feinsand) im Grundwasserleiter vorhanden sein, da sonst die Grundwasseranreicherung erschwert wird.

3. Die stoffliche Zusammensetzung des Gesteins ist entscheidend für die Qualitätsveränderung des im Grundwasserleiter fließenden Wassers. Besonders günstig sind hier quarzitisches Lockergestein, möglichst ohne Einschlüsse an Eisen- und Manganoxiden, sowie sorptionsfähige Tonminerale.

Für den Standort der Wassergewinnungsanlage Echthausen treffen diese günstigen Faktoren zusammen.

## **2.2 Das Gelände des Wasserwerks**

Das 35 Hektar umfassende Gelände des Wasserwerks, im Naturschutzgebiet „Ruhrstau bei Echthausen“, gelegen (Dalhoff 1998), wird von Norden her durch die Ruhr begrenzt, die es in einem Nordbogen von S-O- in S-W-Richtung durchfließt. Ihre Wasserführung wird durch 2 Wehre, die beide der Wassergewinnung dienen, reguliert. Dadurch wird die Ruhr bis über das Niveau der Talebene aufgestaut und ist deshalb im gesamten Rückstaubereich nach Süden hin eingedeicht. Ein Staugefälle von fast 6 m ermöglicht die Unterhaltung eines Wasserkraftwerks zur Stromerzeugung. Am S-O-Ende liegt zwischen der Wassergewinnungsanlage und der Ruhr ein Sumpfgebiet, in dem sich 2 kleinere Teiche befinden. Von Süden her wird das Gelände der Wassergewinnungsanlage durch einen Bahndamm (Strecke von Neheim nach Schwerte) begrenzt. Weiter südlich folgt nach einem 150 - 200 m breiten Geländestreifen, der ackerbaulich genutzt wird, die Ortschaft Echthausen. Am Westende befindet sich ein circa 200 m breiter Geländesaum. Hier befinden sich die Entsäuerungsanlage und das Pumpwerk. Außerhalb des Geländes der Wassergewinnungsanlage verläuft in N-S-Richtung ein befestigter Feldweg, der das hier landwirtschaftlich genutzte Gebiet bis zur Ruhr hin begrenzt.

Im unmittelbaren Bereich des Wasserwerks Echthausen fließen der Ruhr verschiedene Gewässer zu. Ein namenloser Bach, der von Osten parallel zur Bahnlinie in das Gebiet hineinfließt, mündet in die beiden im Sumpfgebiet liegenden Teiche. Auch der Riesbach mündet in diese Teiche, durchfließt sie und läuft weiter in Richtung Ruhr ab, bis er letztlich unterhalb des Echthausener Wehrs in die Ruhr mündet. Einen weiteren Zufluß stellt der Osterbach dar, der unterhalb des Osterbergs entspringt, in die Talebene gelangt, den östlichen Teil des Wasserwerksgeländes durchquert und in die Ruhr mündet.

### 2.3 Betrieb der Trinkwassergewinnungsanlage Echthausen

Die wichtigen Komponenten für die Trinkwassererzeugung in Echthausen sind die Rohwasserentnahme, das Sedimentationsbecken, die Versickerungsbecken, die Sammelgalerien, die Bodenfiltratschächte und das Pumpwerk mit Entsäuerungs- und Desinfektionsanlage.

Die Grundwasseranreicherung erfolgt über 10 Versickerungsbecken mit Filterflächen von jeweils 6.000 m<sup>2</sup> bis 17.000 m<sup>2</sup>. Insgesamt steht eine Filterfläche von 90.000 m<sup>2</sup> zur Verfügung, die eine maximale Förderkapazität von 95.000 m<sup>3</sup>/d Trinkwasser ermöglicht. Die Rohwasserentnahme und die Verteilung auf die Versickerungsbecken folgt durch den Aufstau der Ruhr einem natürlichem Gefälle. Bevor das Rohwasser auf die Langsamsandfilter gelangt wird es vorgereinigt. Ein Feinrechen hält bei der Rohwasserentnahme grobe Verunreinigungen zurück. Im Sedimentationsbecken werden große Flocken und Grobpartikel zurückgehalten. Ein Ölabscheider auf dem Sedimentationsbecken verhindert die Ausbreitung aufschwimmender Verunreinigungen. Durch diese Maßnahmen wird ein großer Teil von Schweb- und Trübstoffen aus dem Rohwasser entfernt, bevor es den Versickerungsbecken zugeleitet wird. Im Frühjahr und Herbst finden besonders einzellige Algen günstige Wachstumsbedingungen vor und können die Oberflächen der Langsamsandfilter rasch verdichten (Bernhardt et al. 1991). Weitere Faktoren, die auch zu einer Verdichtung führen können, sind die Ablagerung der im Rohwasser mitgeführten Schwebstoffe, die Ausfällung eingetragener gelöster Stoffe, sowie in den Filtersandschichten austretende Gase (BMI-Fachausschuß 1985).

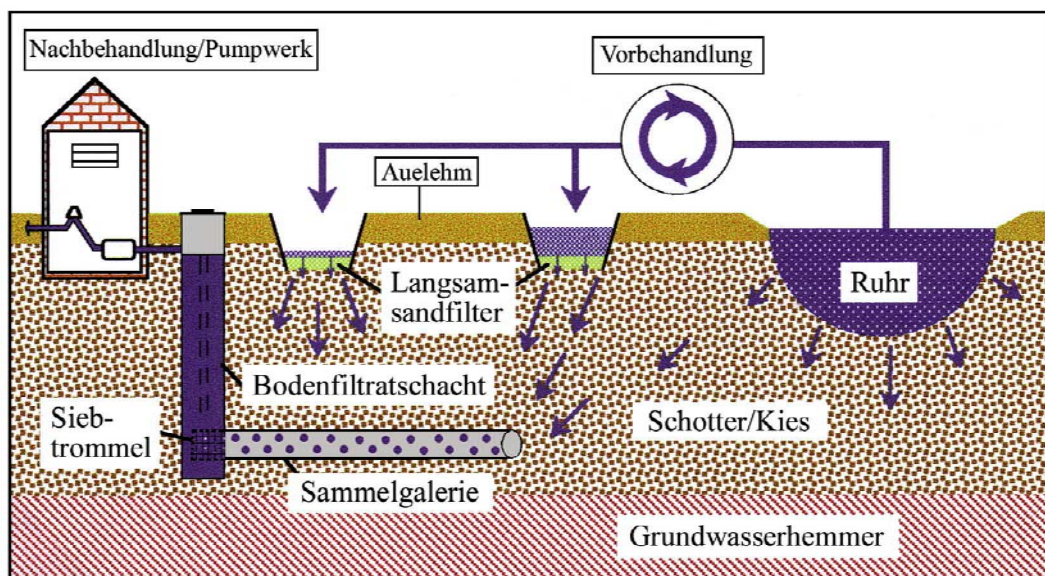


Abb. 3: Prinzip der Wasseraufbereitung im Ruhrtal (verändert nach Imhoff 1988)

Das auf die Langsamsandfilter auftreffende Rohwasser passiert die Filtersandschicht, gelangt in den Untergrund und reichert das hier vorhandene Grundwasser an. Das entstehende Boden-

filtrat, ein Gemisch aus natürlichem und künstlich angereichertem Grundwasser, sammelt sich im Untergrund in Sammelgalerien, die in Bodenfiltratschächte münden. Von diesen wird das Bodenfiltrat über Bodenfiltratleitungen dem Pumpwerk zugeleitet und aufbereitet. Seit 1996 ist in Echthausen als zusätzlicher Aufbereitungsschritt eine Siebtrommelanlage installiert (Westphal & Rumm 1997). Mit ihr werden Partikel  $>200\ \mu\text{m}$  zurückgehalten. Die anschließenden Aufbereitungsschritte bestehen in der Entsäuerung und Desinfektion. Das so aufbereitete Trinkwasser wird vom Pumpwerk in einen Sammelbehälter gepumpt und kann aus diesem dem Verbraucher zugeleitet werden (s. Abb. 3).

#### ***2.4 Der Langsamsandfilter Nr. 8 der Wassergewinnungsanlage Echthausen***

Bei Langsamsandfiltern zur Erzeugung von Trinkwasser lassen sich nach ihrer Funktion 2 Typen unterscheiden. Solche, die zur direkten Gewinnung von Trinkwasser dienen, haben eine wasserundurchlässige Sohle mit einem Gefälle zur Mitte hin, in der sich ein Filtratkanal zur Aufnahme des infiltrierten Wassers befindet. Sie stehen mit dem natürlichen Untergrund nicht in Verbindung. Als Filtermaterial dienen gesiebte Sand- und Kiesschichten mit zur Tiefe hin zunehmenden Korngrößen. Husmann (1958) beschreibt einen solchen Filtertyp aus den Bremer Wasserwerken. Der andere Langsamsandfiltertyp steht mit dem natürlich anstehenden Untergrund, bspw. einem Porengrundwasserleiter, in Verbindung. Das hier infiltrierte Wasser dient der Grundwasseranreicherung.

##### **Bau**

Bei den im Wasserwerk Echthausen verwendeten Langsamsandfiltern handelt es sich um typische Anreicherungsbecken zur künstlichen Grundwasseranreicherung. Das untersuchte Langsamsandfilterbecken Nr. 8 weist sich durch folgende Konstruktionsmerkmale aus:

Es hat am Boden eine Breite von 20 m, eine Länge von 350 m und verfügt über eine Filterfläche von  $7.000\ \text{m}^2$ . Die Böschungen sind durch Betonplatten befestigt, da sie sonst durch Wellenschlag unterspült und durch Regen abgetragen werden könnten. Der Langsamsandfilter wird über ein Einlaufbauwerk mit Rohwasser beschickt. An einer der Längsseiten befindet sich eine Rampe, die es Reinigungsfahrzeugen ermöglicht, auf die Filteroberfläche zu gelangen. Die Filteroberfläche selbst besteht aus einer 30 cm-50 cm starken Schicht aus Mittel- und Grobsand.

##### **Betrieb**

Die wichtigsten Betriebsparameter eines Langsamsandfilters sind die Überstauhöhe, die Laufzeit zwischen zwei Reinigungen, die Infiltrationsrate und der Abstand zwischen Beckensohle und Grundwasserspiegel. Sein Betriebsablauf kann in **zwei Phasen** unterteilt werden (BMI-Fachausschuss 1985):

Die **erste Phase** beginnt direkt nach der Inbetriebnahme eines frisch gereinigten Langsamsandfilters. Da die Durchlässigkeit der sauberen Filtersandschicht groß ist, versickert das infiltrierte Wasser sofort, und es bildet sich kein Überstau. Größere Partikel sowie Schwebstoffe, die sich im Infiltrat befinden, werden in den obersten Schichten des Sandes zurückgehalten. Der Langsamsandfilter fungiert fast ausschließlich als mechanisches "Raumsieb" (Husmann 1978) und kann daher nicht mit voller Leistung gefahren werden. Berücksichtigt man die gesamte zur Verfügung stehende Oberfläche aller Substratpartikel der Filtersandschicht, resultiert daraus ein Raumsieb mit mehreren tausend Hektar Oberfläche (Obst et al. 1990). Die anfängliche Durchlässigkeit verringert sich mit der Zeit und führt dazu, daß sich ein Überstau bildet, der sich nach und nach immer weiter auf der Filteroberfläche ausbreitet. Die erste Phase endet damit, daß die gesamte Filteroberfläche von einer dünnen Wasserschicht bedeckt ist (BMI-Fachausschuß 1985).

In der nun beginnenden **zweiten Phase** entwickelt der Langsamsandfilter seine volle Reinigungsleistung, so daß die Menge des zugeführten Wassers gesteigert und dem jeweiligen Wasserbedarf und dem Fassungsvermögen des Untergrunds angepasst werden kann. Die Dauer der zweiten Phase hängt von der Rohwasserqualität ab, die durch die oben beschriebenen Faktoren (Schwebstoffe, Algen) limitiert ist. Sind die oberflächennahen Lückenräume der Sandschicht verstopft wird die Förderleistung eines Anreicherungsbeckens unrentabel und man läßt es trocken fallen um es zu reinigen.

### **Reinigung**

Die Reinigung besteht darin, die obersten 2-3 cm der Sandschicht abzutragen. In Echthausen wird das "Räumgerät System Doppstadt" verwendet (Schmidt 1985).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Probennahme

Um die Interstitialfauna aus den verschiedenen Tiefen des Langsamsandfilters zu erhalten wurden 9 Peilrohre mit einem Innendurchmesser von jeweils 2 Zoll (53 mm) in den Langsamsandfilter eingesetzt. Der gesamte Tiefenbereich von der Filteroberfläche bis zum grundwasserhemmenden Deckgestein konnte faunistisch erfasst werden, da die Peilrohre in unterschiedliche Tiefen reichten. Ihre Lage und Anordnung im Langsamsandfilter ist in Abb. 4 dargestellt. Die Peilrohre 6, 7, 8 und 9 dienen dazu, Parallelproben aus den Tiefen 190 cm und 310 cm (R3 und R4) zu erhalten.

Die Peilrohre wurden in der Reihenfolge R1-R9 mithilfe eines druckstabilen Schlauchs beprobt. Am Ende des Schlauchs befindet sich ein Rückschlagventil, damit eine Wassersäule aufgebaut werden kann. Das andere Ende des Schlauchs wird an den Vorfilter angeschlossen. Der Aufbau und die Funktionsweise des Vorfilters ist bereits detailliert an anderer Stelle beschrieben worden (DVWK - Fachausschuß Grundwasserbiologie 1997). Aus jedem Peilrohr wurde ein Probenvolumen von 100 l durch ein Planktonnetz (Maschenweite 50 µm) filtriert. Alle Proben wurden bis zur Weiterverarbeitung im Labor in einer Kühlbox aufbewahrt. Die Ausrüstung für die Probennahme ist in Abb. 5 dargestellt.

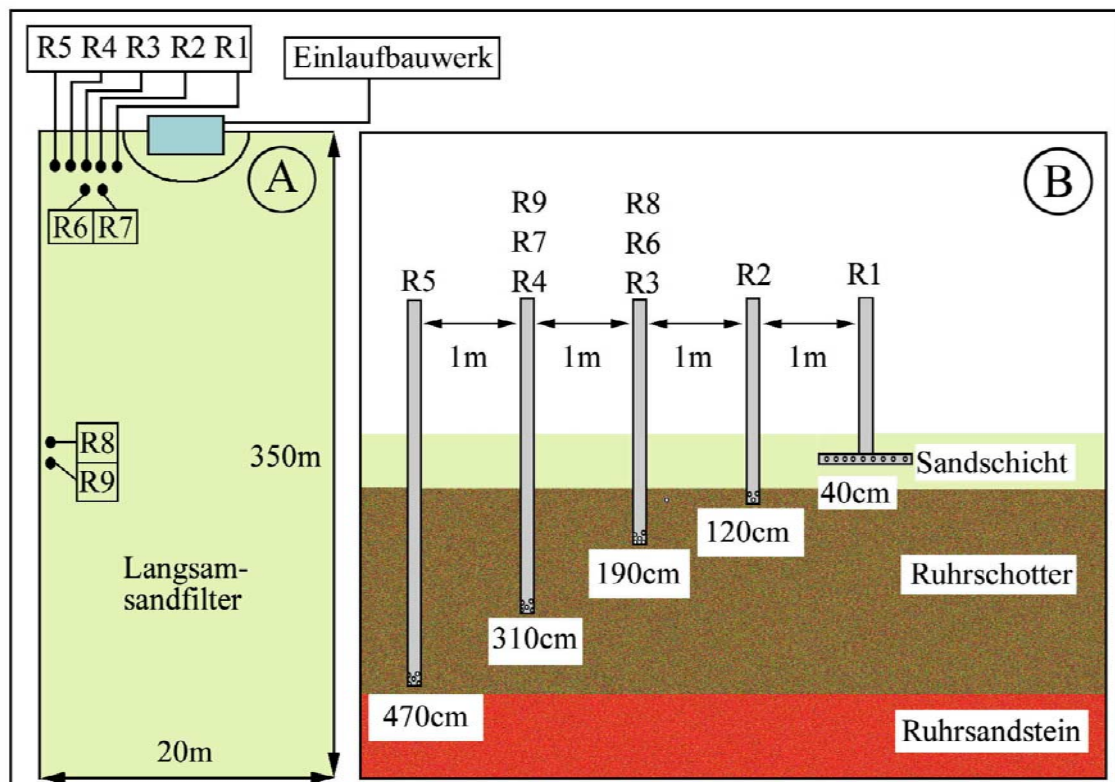
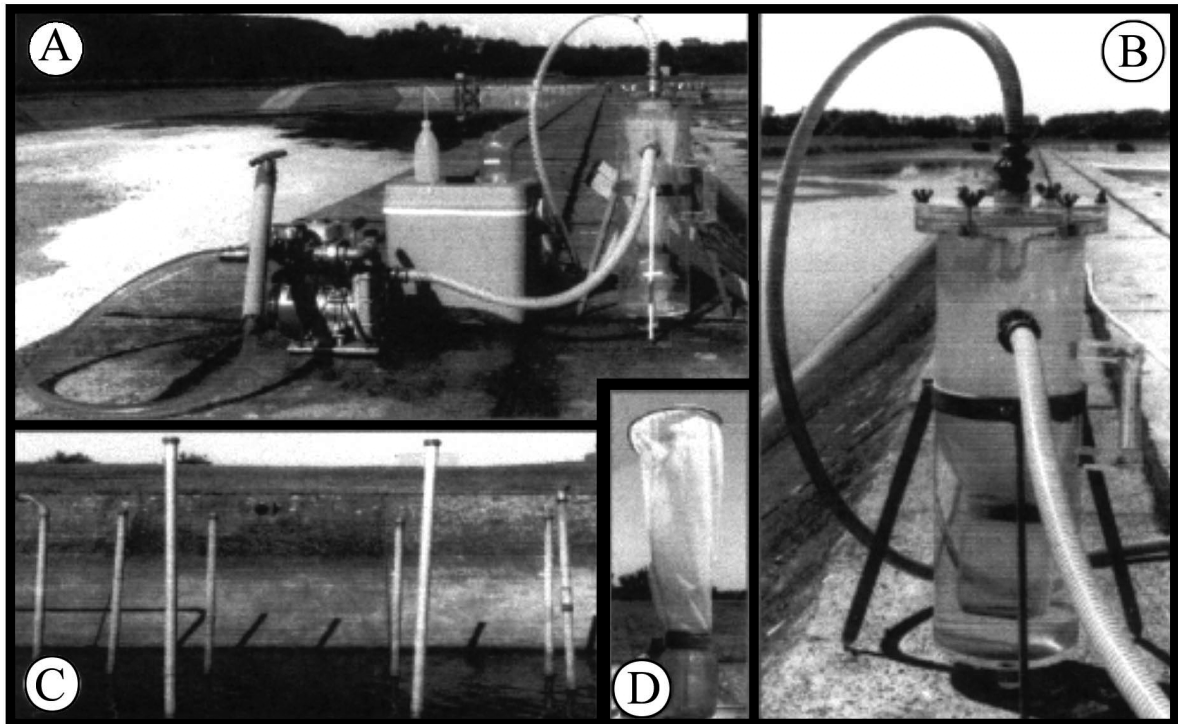


Abb. 4: Lage und Anordnung der Peilrohre im Langsamsandfilter (schematisch). A: Aufsicht; B: Querschnitt.



Nach den Peilrohren wurde der dem Langsamsandfilter nachgeschaltete Bodenfiltratschacht beprobt. Dafür wurde ein speziell konfektioniertes Netz (Länge: 2,5 m; Maschenweite 80 µm) eingesetzt (Westphal 1996). Dieses Netz konnte der Sammelgalerie, die in den Bodenfiltratschacht mündete, direkt vorgeschaltet werden. Es wurde für eine Stunde im Bodenfiltratschacht belassen, dann entnommen und abgespült. Der Inhalt wurde in einen Vierkant-Weithalsbehälter überführt und bis zur Weiterverarbeitung im Labor in einer Kühlbox aufbewahrt.



**Abb 5: Beprobungsausrüstung für Peilrohre. A: Vorfilter, Membranpumpe, Kühlbox. B: Vorfilter mit Planktonnetz. C: Peilrohre R1-R7. D: Planktonnetz mit Probenbehälter. (Abbildung digital überarbeitet)**

### **3.2 Biotische und abiotische Faktoren**

Der faunistischen Beprobung schloß sich die Aufnahme der biotischen und abiotischen Milieufaktoren an. Eingesetzt wurden dazu verschiedene Meßgeräte der Firma WTW, die vor jeder Probenentnahme kalibriert wurden. Gemessen wurden die Temperatur und der Sauerstoffgehalt (WTW Oximeter Oxi 191), der pH-Wert (WTW Microprocessor pH Meter pH 196T) und die elektrische Leitfähigkeit (Microprocessor Conductivity Meter LF 196). Die Ammonium-, Phosphat-, und DOC-Konzentrationen für Rohwasser und Bodenfiltrat wurden im Labor der Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen bestimmt und freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Analysen erfolgten nach den Vorgaben der DEV (Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-, und Schlamm-Untersuchung) ( $\text{PO}_4^{3-}$ : DIN

38405T11/D11, ISO 6878-1 (1986);  $\text{NH}_4^+$ : DIN 38406T5/E5 ISO 5664 7150/1 (1984); DOC: DIN 38409T3 ISO 7827 (1995)).

### **3.3 Weiterverarbeitung der Proben im Labor**

Um das Volumen der Proben zu reduzieren, wurden sie durch einen Netzbecher (Maschenweite 50  $\mu\text{m}$ ) filtriert und in eine Sortierschale überführt. Unter einer Stereolupe (Wild M5 6x-50x Vergrößerung) konnte die vorhandene Fauna ausgesucht werden. Die Sortierschalen wurden gekühlt, um die Organismen beim Aussortieren nicht durch Temperaturschwankungen zu belasten. Das Kühlsystem dafür besteht aus einem Haake D8 Umwälz- und Badthermostat und einem Haake GH Kältebad. In den Kühlkreislauf wurden eine Stahl- und 2 Glaskühlplatten (für Binokulare) integriert, auf die die Sortierschalen gelegt werden konnten. So war eine Kühlung während des gesamten Sortiervorgangs gewährleistet. Die gefundenen Tiere, die nicht für Hälterungszwecke und Freßexperimente vorgesehen waren, wurden aus der jeweiligen Probe sortiert und taxonspezifisch fixiert und konserviert (DVWK-Fachausschuß Grundwasserbiologie 1997). Tiere, die für weitere experimentelle Untersuchung vorgesehen waren, wurden bestimmt und in Hälterungsgefäße überführt.

### **3.4 Freßexperimente**

#### **3.4.1 Hälterung und Futterwahlversuche**

Grundwassertiere sind schwierig zu halten und zu züchten, da über ihre Lebensansprüche wenig bekannt ist. Die in Echthausen günstige Situation, echte Grundwasserarten in hohen Abundanzen erhalten zu können, ermöglichte es, Experimente zur Nahrungsbiologie dieser Arten durchzuführen. Ziel der Hälterung war es, die optimalen Temperaturbedingungen und geeignetes Futter für die Durchführung von Freßexperimenten herauszufinden. Außerdem sollte sich in den Hälterungsansätzen zeigen, welche der eingesetzten Arten für weiterführende detaillierte Untersuchungen geeignet sein könnten. Die Arten, die gehältert wurden, mußten zwei Kriterien erfüllen:

- Sie sollten abundanzstark im Langsamsandfilter vertreten sein.
- Sie sollten typische Vertreter des Lebensraums Grundwasser darstellen.

Da das Artenspektrum im Langsamsandfilter aus vorangegangenen Untersuchungen größtenteils bekannt war (Rumm 1993; Schmidt 1994; Egert 1998), konnte beim Aussortieren der Proben gezielt nach in Frage kommenden Vertretern gesucht werden.

Die Tiere wurden in Glasschälchen (Volumen 250 ml) gehältert, deren Boden ein 1-2 cm starkes künstliches Lückensystem aus Glaskugeln bedeckte. Beobachtungen aus Gefäßen ohne Substrat zeigten, daß die Tiere in permanenter Bewegung sind. Durch die Zugabe von

Glaskugeln entstand ein Lückensystem, das zu einer reduzierten Bewegungsaktivität der Tiere führte. Die Glaskugeln erhielten den Vorzug gegenüber natürlichem Substrat, da sie leicht zu reinigen sind, jeweils definierte Durchmesser haben (3-4 mm; 5 mm; 6 mm; 10 mm) und im Gegensatz zu natürlichem Substrat (Sand, Kieselsteine etc.) durchsichtig sind. Die Schälchen wurden mit Uhrgläsern abgedeckt und in Kühlschränken bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt. In Tab. 1 sind die Arten aufgelistet, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht worden sind.

**Tab. 1: Auflistung der Arten und der Hälterungsbedingungen**

Anmerkungen: F1-F4 = Fischfutter Typ 1-4 (siehe Punkt 3.4.2.3); Blattscheiben von: **A** = Ahorn; **E** = Esche behandelt. **Fa** = Fadenalgen aus Echthausen. **D** = Detritus, **P** = Pellets (Kotballen); **Ol** = Oligochaeta (*Enchytraeus fragmentosus*)

| <b>Taxon</b>                           | <b>Glaskugel<br/>Ø [mm]</b> | <b>Individuen<br/>pro Ansatz</b> | <b>Futter-<br/>Angebot</b> | <b>Kontrolle &amp;<br/>Wasserwechsel</b> |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| <i>Bythiospeum septentrionale</i>      | 6                           | 10                               | A; E; D; Fa; P             | Alle 2 Tage                              |
| <i>Haplotaxis gordioides</i>           | 3-4                         | 10                               | A; E; D; Fa                | Alle 2 Tage                              |
| <i>Chappuisius inopinus</i>            | 3-4                         | 10                               | A; E; D; P; Fa             | Alle 2 Tage                              |
| <i>Diacyclops languidoides</i>         | 3-4                         | 10                               | A; E; D; Fa; P             | Alle 2 Tage                              |
| <i>Niphargus fontanus</i>              | 10                          | 10                               | F1-F4; A; E; D; Fa; P; Ol  | Alle 2 Tage                              |
| <i>Proasellus cavaticus</i>            | 6                           | 10                               | F1-F4; A; E; D; Fa; P; Ol  | Alle 2 Tage                              |
| <i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i> | 3-4                         | 10                               | A; E; D; Fa; Ol            | Alle 2 Tage                              |

### 3.4.2 Vorbereitung des verwendeten Futters

Als Futter diente größtenteils Material, das Grundwassertieren in Langsamsandfiltern zur Verfügung steht. In Frage dafür kommen Algen, die arten- und individuenreich in Langsamsandfiltern des Ruhrtals zu finden sind (Noll 1974), und partikuläre Fracht, die in den Langsamsandfilter eingetragen wird. Dies kann bspw. Fallaub unterschiedlichster Herkunft sein, da sich in Flußtalauen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Fluß eine charakteristische Vegetationsfolge ausbildet (gehölzfreie Aue, Weichholz-Aue, Hartholz-Aue) (Sitte et al. 1991). Häufige Vertreter dieser Zone sind Ahorn (*Acer platanoides*) und Esche (*Fraxinus excelsior*).

#### 3.4.2.1 Blätter

Aus frisch geernteten Blättern wurden Scheiben mit einem Durchmesser von 1 cm ausgestochen, wobei Bereiche mit starken Blattrippen vermieden wurden. Die Blattscheiben

wurden bei 60°C (24h) getrocknet und anschließend auf einer Feinwaage (Cahn Electrobalance) gewogen. Eine der getrockneten Blattscheiben wurde zur Bestimmung des C/N-Verhältnisses aufbewahrt. Die anderen Blattscheiben lagen für 8-10 Tage in abgedunkelten und belüfteten Erlmeyerkolben bei Raumtemperatur in ultrafiltriertes Teichwasser (5 µm Filter-Porengröße), um eine bakterielle Besiedlung auf den Blattscheiben zu etablieren. Diese Porenweite hatte den Vorteil, daß sie die meisten Bakterien passieren läßt, andere Organismen (Meiofauna, Protozoa) jedoch zurückhält. Nach der Aufbereitung bekam jedes Versuchstier eine Blattscheibe (Zur Durchführung des Freßexperiments siehe Punkt 3.5). Zwei Blattscheiben dienten als Kontrolle, d.h. sie erfuhren während des gesamten Freßexperiments die gleiche Behandlung wie die Blattscheiben der Versuchstiere, jedoch befanden sich in diesen Schälchen keine Versuchstiere. Nach Beendigung der Freßexperimente wurden die Blattscheibenreste (sofern noch vorhanden) und die Kontrollen aus den Hälterungsschälchen entnommen, erneut getrocknet (60°C, 24 h) und gewogen. Aus den Gewichts differenzen der Kontroll-Blattscheiben vor und am Ende des Freßexperiments ergab sich der Gewichtsverlust, der dadurch entsteht, daß leicht lösliche organische Verbindungen aus der Matrix des Blattes ausgewaschen werden, wenn sich dieses über längere Zeit im Wasser befindet [in der englischsprachigen Literatur wird dieser Auswaschungsprozeß als „leaching“ bezeichnet (Begon et al. 1996)]. In Abb. 6 ist der Ablauf der Futterszubereitung und die Weiterverarbeitung der Blattscheiben grafisch zusammengefaßt.

#### 3.4.2.2 Algenmaterial und Detritus

Das Algenmaterial (ein Gemisch aus vielen verschiedenen Fadenalgen und einzelligen Algen) stammte aus dem Langsamsandfilter Becken 8 in Echthausen. Je nach Jahreszeit, Temperatur, Wasserstand der Becken, Nährstoffzufuhr (und vielen anderen Faktoren) werden die Langsamsandfilter von unterschiedlichsten Algengemeinschaften besiedelt (Westphal pers. Mitt.). In den Laborberichten der Gelsenwasser AG werden ca. 120 Algenarten für Echthausen aufgeführt. Bestandsbildend sind im Frühjahr vor allem Kieselalgen (*Fragillaria*, *Melosira*, *Nitzschia* u.a.), während im Herbst Blaualgen (*Oscillatoria*, *Anabaena*, u.a.) und Grünalgen (*Cladophora*, *Ulothrix*, u.a.) dominieren. Das Algenmaterial wurde getrocknet (60°C, 24 h) und in kleine Bruchstücke von 5-7 mm zerlegt. Diese wurden einzeln gewogen, das C/N-Verhältnis bestimmt und danach in den Freßexperimenten eingesetzt. Am Ende der Freßexperimente wurden die Algenstücke erneut getrocknet (60°C, 24 h) und nochmals gewogen.

In gleicher Weise wurde mit dem organischen, partikulären Zerreibselmaterial (Detritus) verfahren. Auch dieses wurde getrocknet, gewogen und nach Beendigung des Freßexperiments erneut getrocknet und gewogen.

#### 3.4.2.3 Fischfutter

Neben natürlicherweise vorkommendem Futter (Algen, Blätter) fand auch kommerziell angebotenes Futter (Aquarienbedarf) Verwendung, wie die Sorten a) Sera Veriformo, b) Sera Goldy, c) Sera San und d) Vitakraft. Die Namen der Herstellerfirmen sind unterstrichen. Zunächst sollte geprüft werden, ob das Fischfutter überhaupt als Nahrung für die untersuchten Arten geeignet ist. Aus diesem Grund wurden diese Versuche nur unter qualitativen Aspekten ausgeführt und die eingesetzten Futtermengen nicht gewogen. Da Fischfutter einen großen Nährwert hat und hohe Ammoniumfrachten in das System bringt (FISCHER pers. Mitt.), wurden nur geringe Mengen eingesetzt.

#### 3.4.2.4 Kotballen

Kotballen treten bei Grundwasserprobennahmen häufig in Erscheinung und machen einen Großteil der partikulären organischen Fracht aus (Danielopol 1983). Es ist bekannt, daß Koprophagie (Fressen der gesamten Kotballen) und Koprorexie (Fressen der peritrophischen Membran) für die Ernährung zahlreicher Organismen von Bedeutung ist (Brendelberger 1997). Die Besiedlung der Kotballen durch Mikroorganismen spielt eine Rolle bei der Beurteilung ihrer nutritiven Qualität (Peters 1992). Bisher ist nicht bekannt, ob *Proasellus cavaticus* und *Niphargus fontanus* koprophag sind. Des weiteren ist unklar ob deren Kotballen von anderen Vertretern aus der Gruppe der Meiofauna gefressen werden.

Um diese Aspekte zu untersuchen, wurden unterschiedlich alte Kotballen verwendet. Den Versuchstieren (*Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus*, *Chappuisius inopinus*, *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale*) wurden frische Kotballen (24-48 h alt) angeboten.

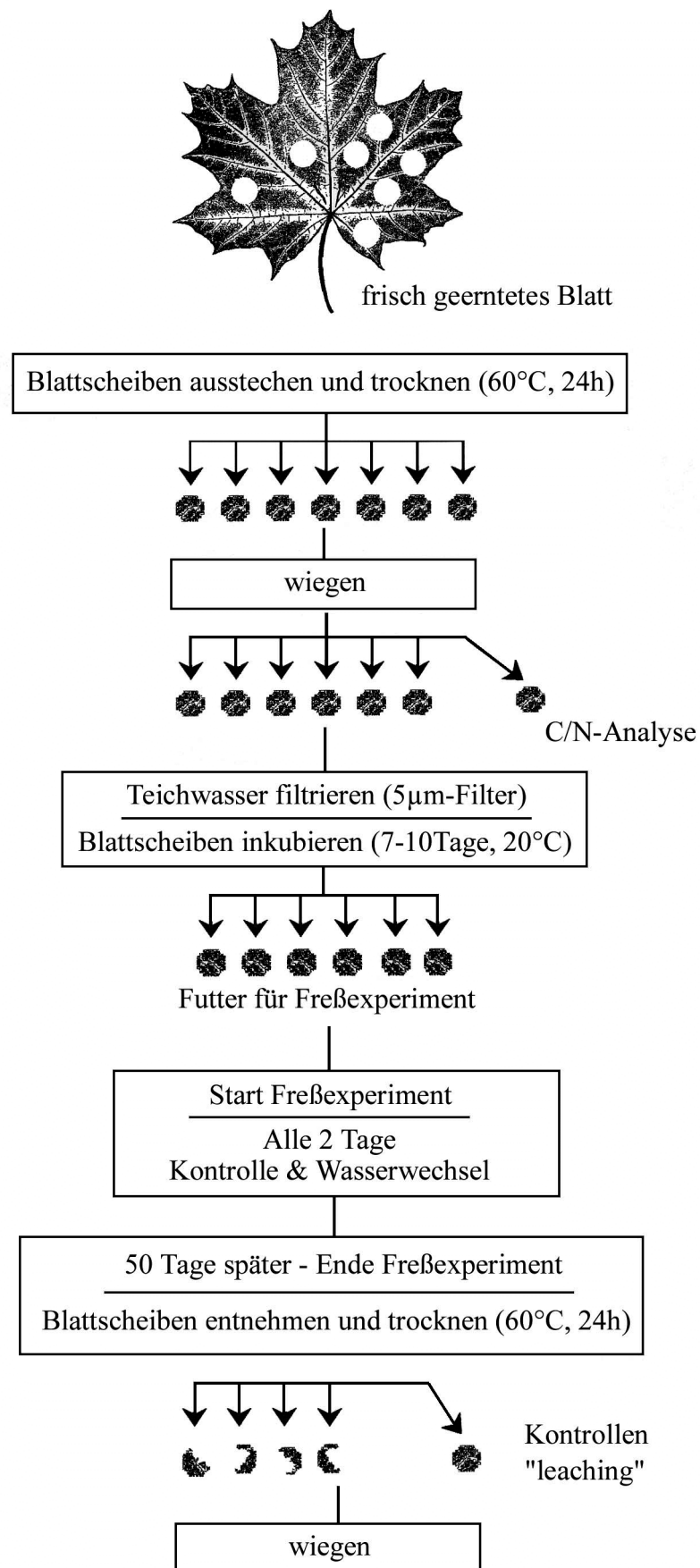


Abb. 6: Vor- und Nachbehandlungsschritte der Blattscheiben zur Durchführung der Freßversuche (nähere Erklärungen siehe Text)

### 3.5 Durchführung der Freßexperimente

Die Freßexperimente wurden mit den in Tab. 1 genannten Arten durchgeführt unter Verwendung des unter Punkt 3.4.2 beschriebenen vorbereiteten Futters.

Aus den Proben wurden die für Freßexperimente in Frage kommenden Tieren aussortiert und in frisch gereinigte Petrischälchen (Durchmesser 3,5 cm und 5 cm) überführt. In den Petrischälchen befand sich ultrafiltriertes und permanent belüftetes Probenwasser. Vor Beginn der Freßexperimente sind alle Tiere für 7 Tage ohne Futter gehältert und beobachtet worden. Dies diente dazu,

- \* die Tiere an die Untersuchungsbedingungen zu akklimatisieren;
- \* geschwächte oder kranke Tiere zu erkennen und gegebenenfalls auszusortieren und
- \* abzuwarten, bis bei allen Tieren der Darm weitgehend entleert war.

Mit der Futterzugabe begann das Freßexperiment. Bei der Durchführung wurden alle relevanten Daten (Art und Geschlecht des Untersuchungstiers; Versuchsbeginn; Futtermenge, -zustand und -art; Anzahl und Längen der produzierten Kotballen; Darmfüllung; Zustand des Wassers und die Kontrolldaten) auf einem Formular eingetragen. Während der Experimentdurchführung wurden die Versuchsansätze alle 2 Tage mithilfe der Stereolupe (Wild M5) bei 12x-50x Vergrößerung kontrolliert, wobei auch Zufallsbeobachtungen wie z.B. Häutungen registriert wurden.

Produzierte Kotballen wurden gezählt und gemessen und danach mit einer an der Spitze dünn ausgezogenen Pasteurpipette aufgesogen und vorsichtig in ein zuvor gewogenes Zinnhütchen überführt. Nachdem alle Kotballen aussortiert waren, konnte das Wasser aus dem jeweiligen Petrischälchen abgesogen und durch frisch belüftetes und ultrafiltriertes Probenwasser ersetzt werden.

Während des gesamten Freßexperiments wurde auf verpilzte Blattscheiben geachtet. Dies war notwendig, da aus den Vorversuchen deutlich wurde, daß die Arten (*N. fontanus* und *P. cavaticus*) verpilztes Futter strikt verweigern. Verpilzte Blattscheiben mußten entfernt und durch frisch zubereitete ersetzt werden.

#### 3.5.1 Auswahl der Tiere

Bei getrenntgeschlechtlichen, ausgeprägt sexualdimorphen Arten erfolgte eine Geschlechtertrennung der untersuchten Arten vor Beginn der Freßexperimente. Dies war ohne Präparation, also am lebenden Tier, bei adulten *N. fontanus*, *D. languidoides* und *C. inopinus* möglich. Eine eindeutige Geschlechtsbestimmung bei *P. cavaticus* und *P. parviscutatus* war erst nach dem Experiment möglich. Die Arten *B. septentrionale* und *H. gordioides* sind hermaphroditisch. Bis auf wenige Ausnahmen fanden in allen Freßexperimenten nur Adulte

Einsatz. Eiertragende Weibchen traten bei *P. cavaticus* und *N. fontanus* auf. Diese wurden isoliert und täglich kontrolliert. Die geschlüpften fanden ebenfalls Einsatz in den Freßexperimenten. Wichtig war, daß nur gesunde Tiere verwendet wurden, denn besonders bei *N. fontanus* traten unter ungünstigen Hälterungsbedingungen schwarze Flecken auf der Cuticula auf, die sich binnen 6-8 Wochen über den gesamten Körper ausbreiteten und zum Tod der erkrankten Tiere führten (Gibert 1977).

### 3.5.2 Vermessen der Tiere und der Kotballen

Die Versuchstiere, ihre Darminhalte und die anfallenden Kotballen wurden am Computer ausgemessen. Das „Bild“ der Stereolupe wurde digitalisiert und in das Meßprogramm *Image Tool* (V. 1.27) eingefügt (technische Daten des Computers, der Hardware-Komponenten und der Programme zur Bildver- und bearbeitung siehe Anhang, Kap. 8.3). Die einzelnen Stereolupenvergrößerungen mußten im Meßprogramm unter Zuhilfenahme eines Okularmikrometers kalibriert werden. In Abb. 7 ist ein digitalisiertes und mit *Image Tool* bearbeitetes Bild exemplarisch dargestellt.

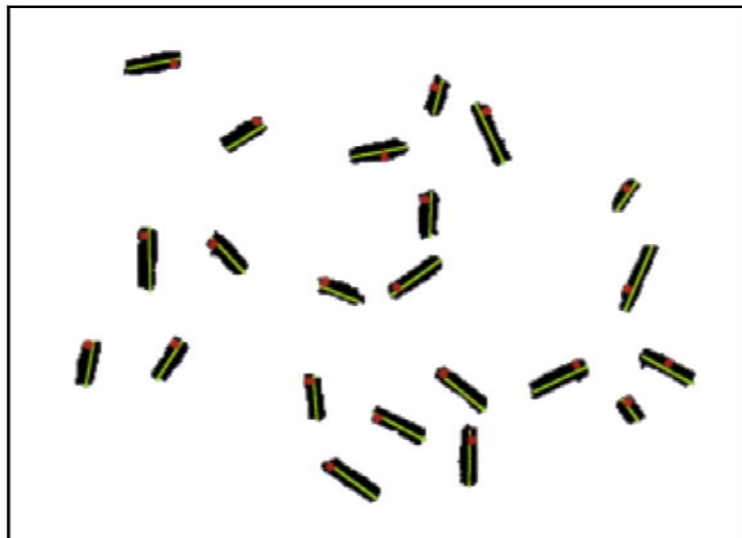


Abb. 7: Zählen (rote Punkte) und Ausmessen (gelbe Striche) der Kotballen mithilfe der digitalen Meßeinrichtung.

### 3.6 Respirationsmessungen

Die Respiration von *N. fontanus* wurde in einem Durchflußmikrorespirometer (Abb. 8) bestimmt (Petersen 1997). Die wesentlichen Bestandteile der Anlage sind a) die Vorratsflasche mit Inkubationswasser, b) die Tier- und die Referenzkammer c) die O<sub>2</sub>-Elektroden mit 2 Kanal PO<sub>2</sub>-Analyser (Fa. Eschweiler, Kiel) d) eine Pumpe zur konstanten Einstellung der Durchflußgeschwindigkeit e) ein Aquarium mit Temperaturregulation und f)



die kombinierte Steuerungseinheit, mit Datenaufnahme- und Auswertungssystem (Hardware: DAP, Keithley; Software: ASYST 3.0).

Vor jeder Messung wurden die Schläuche und Glasteile des Gerätes mit Ethanol 96% desinfiziert und mit *Aqua bidest* nachgespült. Um Störungen der Tiere (von außen und zwischen den Tieren) weitgehend zu minimieren, wurde die Tierkammer mit 8-16 Tieren besetzt und mit Aluminiumfolie verdunkelt. In die Tierkammer eingebrachte Glaskugeln (Durchmesser 5-6 mm) dienen zur Beruhigung der Tiere und erlaubten es ihnen sich während der Messungen in den Lückenräumen zwischen den Glaskugeln aufzuhalten. Die Referenzkammer, die als Kontrolle diente, wurde identisch wie die Tierkammer behandelt, jedoch wurden hier keine Tiere eingesetzt.

Zu Beginn der Messungen wurden die O<sub>2</sub>-Elektroden auf den in der Vorratsflasche eingestellten Sauerstoffwert abgeglichen, d.h. die Signale beider Sauerstoffelektroden wurden auf denselben Wert gesetzt. Nach dem Abgleich wurde der Durchfluß von der Referenzkammer auf die Tierkammer geschaltet. Aus dem respirationsabhängigen Signalunterschied der O<sub>2</sub>-Elektroden (vor und nach der Tierkammer) wurde die Respirationsrate der Tiere bestimmt.

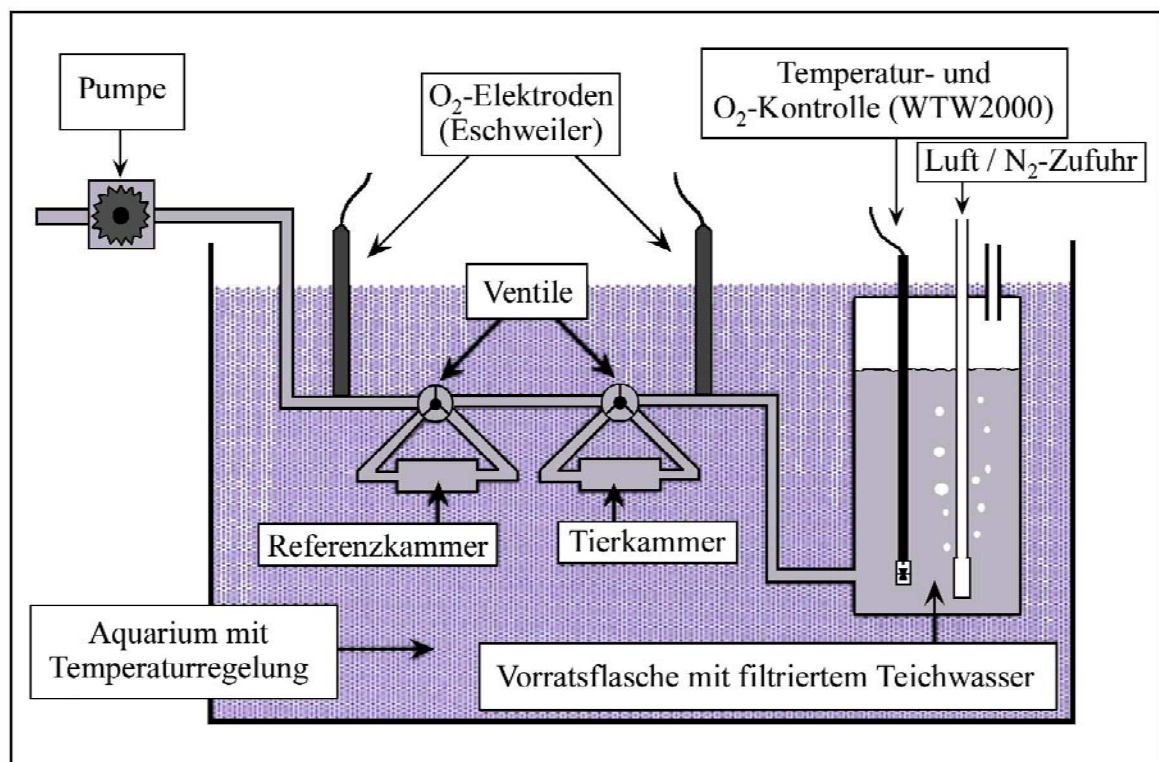


Abb. 8: Schematische Darstellung des Durchflußmikrorespirometers (verändert nach Petersen 1997).

Als Durchflußwasser diente ultrafiltriertes Teichwasser (Whatman GF-Filter, 0,2µm). Die Filtration des Teichwassers sollte die bakterielle Respiration reduzieren. Die vorgegebene Temperatur betrug 10, 11, 15 und 16°C. Der vorgegebene Sauerstoffgehalt betrug 15, 40 und

80% Sättigung. Die Durchflußgeschwindigkeit betrug zwischen 0,15 und 0,30 ml/Min. Die Tiere wurden jeweils 48h vor Versuchsbeginn an die jeweiligen Temperaturen adaptiert.

### 3.7 C/N - Analysen

Die Gesamtgehalte von Kohlenstoff und Stickstoff und die daraus resultierenden C/N-Verhältnisse wurden am C/N-Analyzer *NA 2000 N-Protein* (der Firma *Fisons Instruments*) bestimmt. Die Proben wurden in einer Kugelmühle fein gemahlen, bei 60°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und in Zinnhütchen eingewogen. Als Standard für die C/N-Bestimmung diente 1-2mg Acetanilid. Die Proben verbrannten bei 1020°C in einer mit Chrom und Kobalt gefüllten Quarzsäule vollständig. Das entstehende Gasgemisch passierte eine mit Kupferspänen gefüllte Säule, wo Stickoxide bei 600°C zu Stickstoff reduzierten. Es erfolgte eine Änderung der Wärmeleitfähigkeit des Gasgemisches, die mittels eines integrierten Gaschromatographen mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen wurde.

### 3.8 Rasterelektronenmikroskopie

In dieser Arbeit wurden rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen am REM und am Cryo-REM (*Hitachi S-3200 N*) durchgeführt. Die Präparation für das REM folgte der Standardmethode (Flegler et al. 1995). Sie beinhaltet das vollständige Dehydrieren, die Kritisch-Punkt-Trocknung und die Goldbeschichtung der untersuchten Proben. Das Cryo-REM stellt eine besondere Variante des REM dar und eignet sich gut für die Untersuchung wasserhaltiger oder fragiler Objekte. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß Präparationsartefakte weitgehend vermeidbar und Proben im nativen Zustand untersuchbar sind. Bei der Cryo-Präparation werden die unfixierten Proben in flüssigem Stickstoff schockgefroren (<-135°C) und sofort in eine evakuierte Präparationskammer (*Cryo Preparation System, CT 1500; Firma Oxford Instruments*) überführt, um die Bildung von Eiskristallen zu vermeiden. In der Präparationskammer können auf der Probenoberfläche entstandene Eiskristalle sublimieren, indem die Temperatur auf -80°C erhöht wird. Ist der Sublimationsprozeß abgeschlossen, werden die Proben mit Gold (oder Kohlenstoff) beschichtet und sind nun für die REM-Untersuchung einsatzbereit.

### 3.9 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit den Softwarepaketen *Systat Version 5.1*, *Statview Version 4.02* durchgeführt. Tabellen wurden mit dem Programm *Microsoft Excel 98* erstellt. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test, modifiziert

nach Kuiper (Lozan 1992). Die berechneten Korrelationen sind Rangkorrelationen nach Spearman. Die Nullhypothese  $H_0: r = 0$  wurde abgelehnt, wenn  $|r| > r_{(n; 1\text{-seitig})}$  war. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit  $\alpha = 0,05$  festgelegt, d.h. bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  wurde die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese  $H_a: r \neq 0$  angenommen (Sachs 1992). Die Mittelwerte unabhängiger Stichproben wurden auf Signifikanzunterschiede mit Hilfe des t-Tests geprüft. Die Nullhypothese  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  wurde abgelehnt, wenn  $|t| \geq t_{(n_1+n_2-2, 1\text{-seitig})}$  war. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit  $\alpha = 0,05$  festgelegt, d.h. bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  wurde die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese  $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$  angenommen (Sachs 1992). Die Nullhypothese  $H_0$  die  $n$  Paardifferenzen sind gleich Null, ( $\mu_d = 0$ ) wurde abgelehnt, wenn  $|t| \geq t_{(n-1, \alpha; 1\text{-seitig})}$  war. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit  $\alpha = 0,05$  festgelegt, d.h. bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  wurde die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese  $H_a: \mu_d \neq 0$  angenommen (Sachs 1992). Die Schranken der Klassenbreiten wurden nach der Faustregel von Sturges ermittelt (Köhler et al. 1996).

## 4 Ergebnisse – Allgemeiner Teil

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Variablen Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit während der Monate April-September 1996 monatlich im Langsamsandfilter Becken Nr. 8 des Wasserwerks Echthausen/Ruhr aufgenommen. Darüber hinaus wurde die bei der Beprobung jeweils mitgeführte partikuläre Fracht gewogen und deren Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt bestimmt. Das Rohwasser (entspricht dem Ruhrwasser vor der Infiltration) wurde mit dem Bodenfiltrat (das Wasser nach der Langsamsandfiltration und der Untergrundpassage) anhand der Variablen Phosphat (Mono-PO<sub>4</sub>), Ammonium (NH<sub>4</sub>) und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), verglichen (siehe Tab. 19, Anhang).

Die faunistische Besiedlung wurde erfaßt und deren räumliche und zeitliche Verteilung analysiert.

### 4.1 *Abiotische Faktoren*

#### 4.1.1 Temperatur

##### 4.1.1.1 Temperatur im Langsamsandfilter

Die Wassertemperaturen im Langsamsandfilter schwankten während des Untersuchungszeitraumes zwischen 8,9°C (April) und 20,7°C (Juni). Der Temperaturverlauf folgt dem natürlichen, saisonalen Verlauf mit höheren Temperaturen im Sommer und niedrigeren Temperaturen im Frühjahr und Herbst (siehe Abb. 11). Betrachtet man den vertikalen Temperaturgradienten innerhalb des Langsamsandfilters, läßt sich ausgehend von der Biologisch aktiven Zone, über die Sand- und Schotterschicht bis hin zu den Temperaturen im Bodenfiltratschacht nur eine geringe Abweichung während eines Probentermin feststellen. Dies spiegelt sich in der geringen Streuung der Werte bei den Beprobungen wider (siehe Schwankungsbereich in Abb. 11) und verdeutlicht die geringen Verweilzeiten des infiltrierten Wassers im Langsamsandfilters (s. Tab. 15, Anhang).

##### 4.1.1.2 Temperaturverlauf im Rohwasser und im Bodenfiltrat

Die sinusförmig verlaufende Kurve der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen für den Beobachtungszeitraum 1995 und 1996 im Rohwasser und Bodenfiltrat ist in Abb. 9 dargestellt. Im Rohwasser wurden Maximalwerte von 18,8°C (1995) und 21,3°C (1996) und Minimalwerte von 2,8°C (1995) und 1,0°C (1996) registriert (s. Tab. 19 u. Tab. 20, Anhang). Im Bodenfiltrat lagen die Maximalwerte bei 20,2°C (1995) und 19,0°C (1996) und die Minimalwerte bei 4,5°C (1995) und 1,9°C (1996). Die Pufferwirkung des Untergrundes, die bei der Untergrundpassage

wirksam wird (Schmidt 1985), ist in Echthausen nur teilweise zu beobachten. Aus Abb. 9 wird ersichtlich, daß sich die Temperaturverläufe für Rohwasser und für Bodenfiltrat nur gering unterscheiden. Am Frühjahrs- und Sommeranfang kreuzen sich die Temperaturkurven. Während des Frühjahrs liegt die durchschnittliche Temperatur des Rohwassers geringfügig über der des Bodenfiltrats, und ab Sommerbeginn (06/1995 und 07/1996) übersteigt die Temperaturkurve für das Bodenfiltrat die des Rohwassers. Dieser Effekt bleibt bis zum Frühjahrsbeginn bestehen und kehrt sich dann erst wieder um.

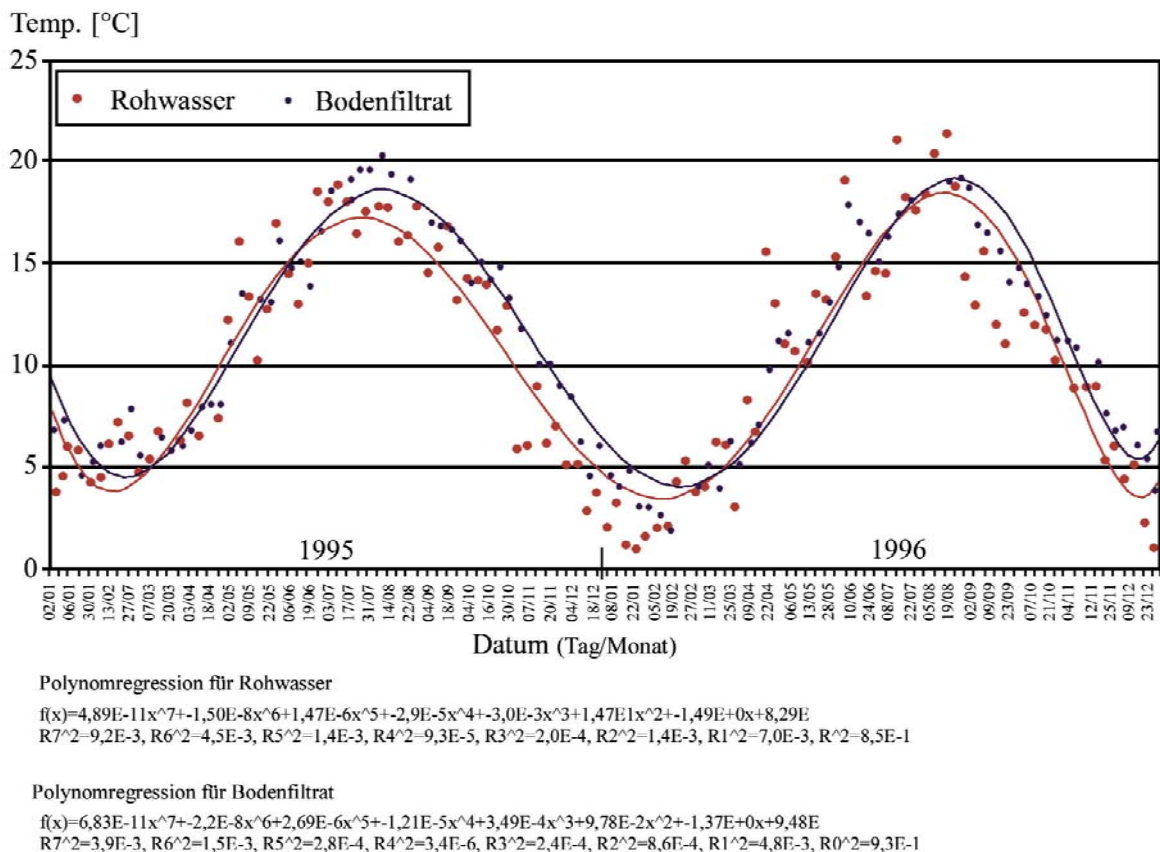


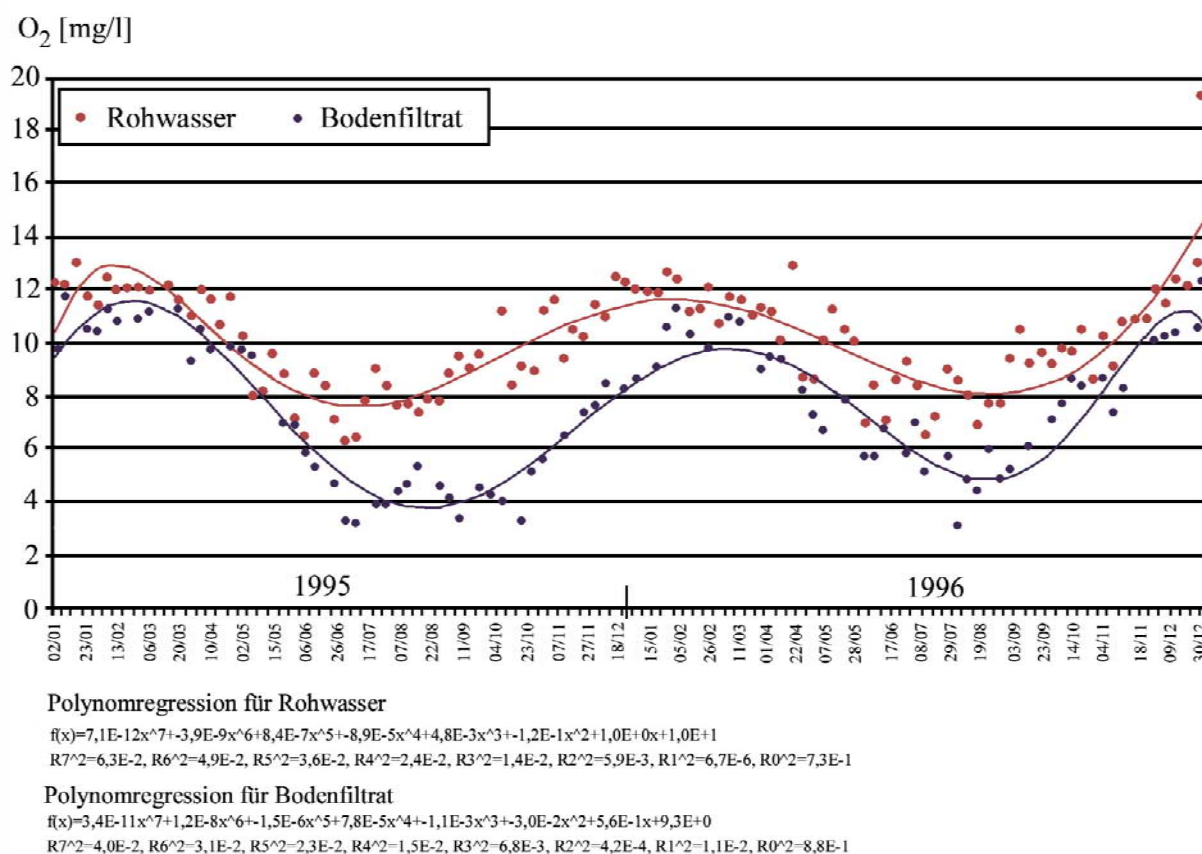
Abb. 9: Temperaturverlauf von Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996

## 4.1.2 Sauerstoff

### 4.1.2.1 Sauerstoffgehalt im Langsamsandfilter

Der Sauerstoffgehalt schwankt in allen untersuchten Bereichen deutlich. Im Überstau sind durchweg hohe Sauerstoffgehalte zu verzeichnen (9,1mg/l bzw. 96% Sättigung im Juli bis 12,2mg/l bzw. 10,9% Sättigung im April). Im Langsamsandfilter schwanken die Sauerstoffkonzentrationen sowohl jahreszeitlich bedingt, als auch tiefenabhängig (s. Tab. 16, Anhang). Während bspw. die Sauerstoffgehalte für alle Rohre betrachtet im April und Mai zwischen 13,6mg/l (R8) und 4,7mg/l (R9) schwanken, kann während der Monate Juni und Juli eine

starke Verminderung der Sauerstoffkonzentrationen innerhalb des Langsandsandfilters festgestellt werden. Die Konzentrationsverminderung korreliert einerseits mit den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen und andererseits mit der Tiefe, da niedrige Sauerstoffgehalte im Juni und Juli erst ab 120 cm Tiefe (R2) gemessen werden. Diese geringen Werte (0,2mg/l - 3,7mg/l) setzen sich über den gesamten Tiefenbereich des Langsandsandfilters fort und werden auch im Bodenfiltratschacht gemessen (s. Abb. 11). Die Fehlerbalken in Abb. 11 geben die Schwankungsbreite innerhalb der Rohre wieder.

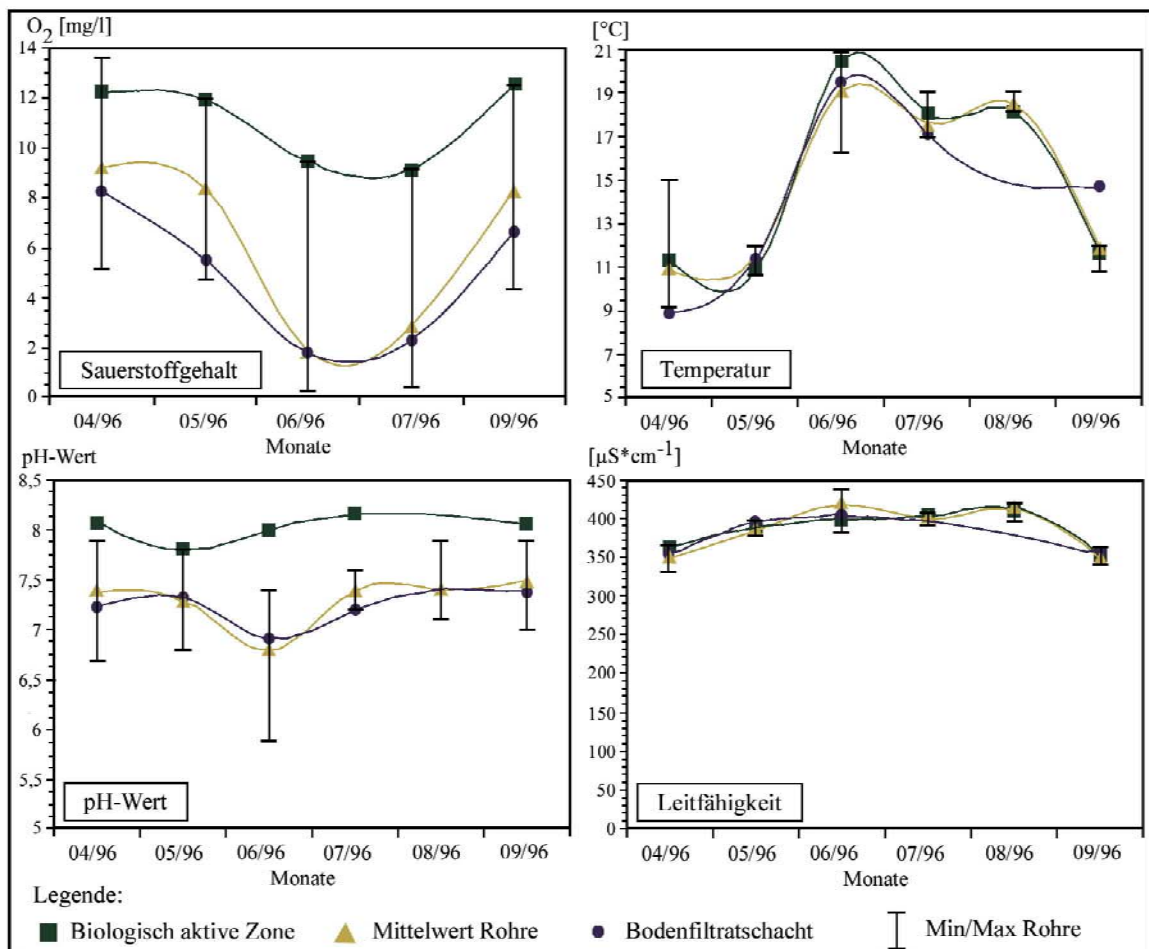


**Abb. 10: Sauerstoffgehalte im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996**

#### 4.1.2.2 Sauerstoffverhältnisse im Rohwasser und im Bodenfiltratschacht

Die Graphen (Polynomregressionen) der Sauerstoffgehalte im Rohwasser und Bodenfiltrat ergeben 2 sinusförmige Kurven (s. Abb. 10). Der Vergleich der Sauerstoffgehalte von Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996 zeigt, daß die durchschnittlichen Sauerstoffgehalte im Rohwasser (1995: 9,87 mg/l O<sub>2</sub>; 1996: 10,29 mg/l O<sub>2</sub>) ganzjährig über denen des Bodenfiltrats (1995: 7,23 mg/l O<sub>2</sub>; 1996: 7,92 mg/l O<sub>2</sub>) liegen. Im Rohwasser liegen die Minimalwerte bei 6,3 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 6,5 mg/l O<sub>2</sub> (1996) und die Maximalwerte bei 13,0 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 19,3 mg/l O<sub>2</sub> (1996). Im Bodenfiltrat liegen die

Minimalwerte bei 3,2 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 3,1 mg/l O<sub>2</sub> (1996) und die Maximalwerte bei 11,9 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 12,3 mg/l O<sub>2</sub> (1996). Die Spannweite (die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert) ergibt für das Rohwasser einen Wert von 6,7 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 12,8 mg/l O<sub>2</sub> (1996). Für das Bodenfiltrat ergibt sich eine Spannweite von 8,7 mg/l O<sub>2</sub> (1995) und 9,2 mg/l O<sub>2</sub> (1996), (s. Tab. 19 u. 20, Anhang). Die im Bodenfiltrat ganzjährig geringeren Sauerstoffgehalte verdeutlichen die biologische Aktivität im Lückensystem des Langsandsandfilters.



**Abb. 11:** Verlauf von Sauerstoff, Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit in den Bereichen Biologisch aktive Zone, im Lückensystem des Langsandsandfilters und im Bodenfiltratschacht

#### 4.1.3 pH-Wert

Anhand der pH-Werte lassen sich zwei voneinander abgrenzbare Bereiche erkennen. Die Werte für die Biologisch aktive Zone stehen denen des Lückensystems im Langsandsandfilter und denen des Bodenfiltratschachts gegenüber (s. Abb. 11). Der durchschnittliche pH-Wert der Biologisch aktiven Zone liegt bei 8,02 und schwankt nur geringfügig (Standardabweichung 0,13; s. Tab. 17, Anhang). Die pH-Werte im Langsandsandfilter und im Bodenfiltratschacht



liegen deutlich unter denen der Biologisch aktiven Zone. In den einzelnen Tiefen des Langsamsandfilters sind auch im Verlauf eines Probentermins ausgeprägte pH-Wert-Schwankungen erkennbar.

#### 4.1.4 Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeitswerte aller 3 Bereiche, Biologisch aktive Zone, Langsamsandfilter und Bodenfiltratschacht, erwiesen sich während des Untersuchungszeitraums als relativ konstant und schwankten nur geringfügig (s. Tab. 18, Anhang). Tendenziell ließ sich eine Zunahme der Leitfähigkeitswerte vom Frühjahr zum Sommer feststellen, auf die zum Herbst eine Abnahme der Werte folgte (s. Abb. 11).

#### 4.1.5 Grundwasserspiegel

Die Abstände des Grundwasserspiegels für die einzelnen Peilrohre sind in Tab. 2 dargestellt. Es läßt sich erkennen, daß der Grundwasserspiegel im Langsamsandfilter an keinem Probentermin einem eindeutigen Niveau innerhalb der Sand- und Schotterschicht zuzuordnen ist. Der Schwankungsbereich innerhalb der Schotterschicht ist durch Pfeile in Abb. 12 dargestellt. Die Schwankungen waren selbst während eines Probentermins teilweise beträchtlich, wie die Differenzen zwischen Maximal- und Minimalwert innerhalb der Tiefen 80cm – 470cm (R2-R9) zeigen. Die größte Differenz zwischen den Peilrohren trat im August auf und betrug 100cm. Auch wenn man berücksichtigt, daß die Durchlässigkeit der Sandschicht aufgrund des geringen Porenvolumens geringer ist als die der darunter befindlichen Schotterschicht, bietet sich dennoch ein heterogenes Bild mit großen Schwankungen. Selbst wenn der Langsamsandfilter komplett überstaut ist, ist kein einheitlicher Grundwasserspiegel erkennbar. Die extremen Schwankungen der Grundwasserstände sind mit den hydrogeologischen Gegebenheiten alleine nicht erklärbar und die Ursachen dafür werden zu diskutieren sein.

**Tab. 2: Höhe des Grundwasserspiegels in den einzelnen Peilrohren und Überstauhöhe im Filterbecken**

| Probe    | Monat      |       |       |       |       |       |       |
|----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | Tiefe [cm] | 04/96 | 05/96 | 06/96 | 07/96 | 08/96 | 09/96 |
| Überstau |            | 16    | 50    | 0     | 12    | 0     | 0     |
| R1       | 40         | -14   | -40   | 0     | -7    | -18   | 0     |
| R2       | 80         | -83   | -93   | -77   | -14   | -55   | -22   |
| R3       | 190        | -40   | -106  | -77   | -15   | -134  | -21   |
| R4       | 310        | -77   | -136  | -90   | -31   | -36   | -23   |
| R5       | 470        | -92   | -148  | -98   | -38   | -91   | -23   |
| R6       | 167        | -32   | -93   | -62   | -1    | -136  | -27   |
| R7       | 300        | -73   | -121  | -75   | -17   | -47   | -68   |
| R8       | 156        | -45   | -52   | -52   | -41   | -76   | -98   |
| R9       | 321        | -71   | -74   | -76   | -58   | -104  | -117  |



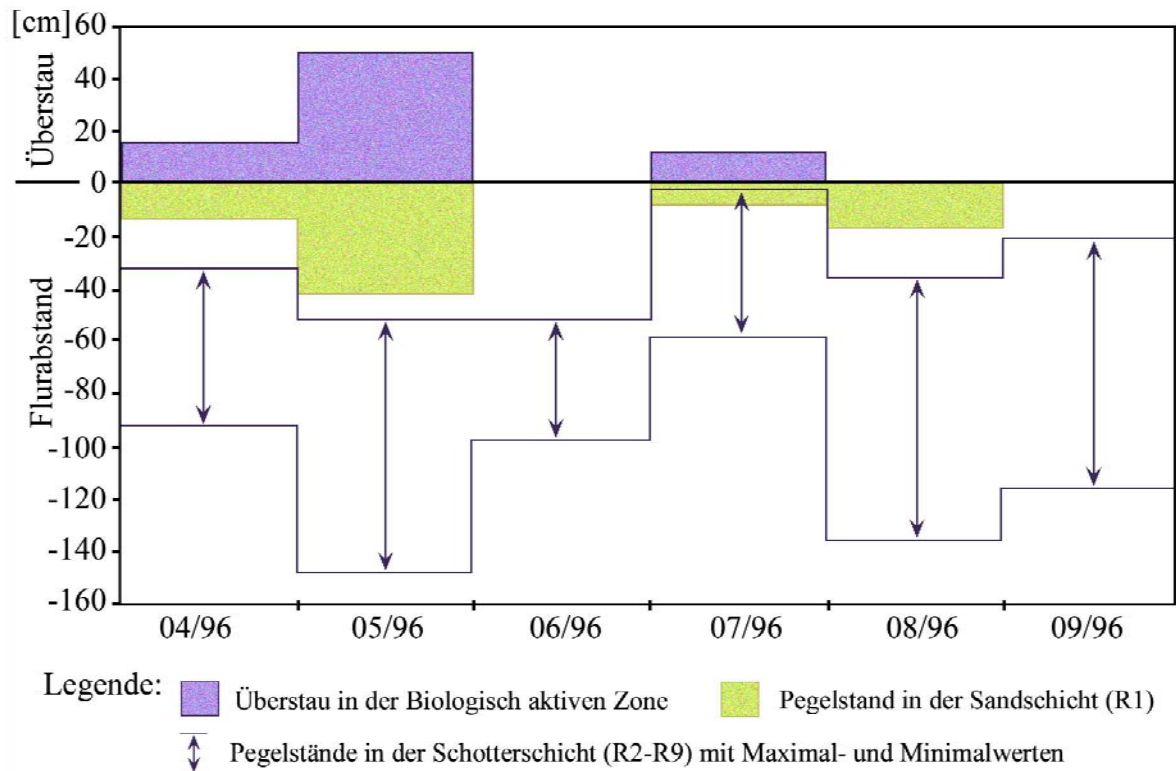


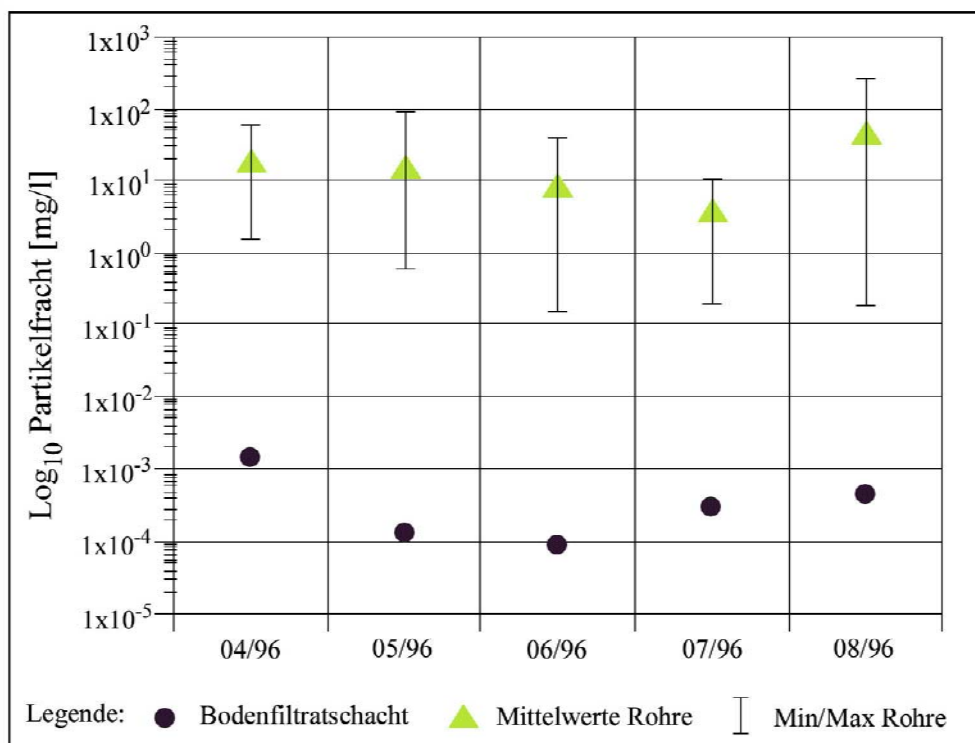
Abb. 12: Abstände des Grundwasserspiegels in den einzelnen Peilrohren und Überstauhöhe im Filterbecken

## 4.2 Biotische Faktoren

### 4.2.1 Partikuläre Fracht in den untersuchten Bereichen

In der folgenden Betrachtung wurden die Partikel  $>50\mu\text{m}$  ohne die Organismen berücksichtigt. Aus Abb. 13 wird ersichtlich, daß die Menge des partikulären Materials innerhalb der betrachteten Bereiche stark variierte (logarithmische Skalierung der Ordinate in Abb. 13).

Direkt in der Sandschicht (R1) akkumulierten relativ geringe Mengen (zwischen  $2,35\text{ mg/l TG}$  und  $0,33\text{ mg/l TG}$ ). Die höchsten Mengen sammelten sich in  $120\text{ cm}$  Tiefe (R2) an (s. Tab. 21, Anhang). Ab dieser Tiefe verringerte sich die Menge des partikulären Substrats tendenziell mit zunehmender Tiefe, allerdings konnten in den vom Einlaufbauwerk weiter entfernten Rohren (R8 und R9) wiederum hohe Mengen an partikulärem Material gefunden werden. Der Austrag an partikulärer Fracht pro Volumeneinheit aus dem Gesamtsystem Langsandsfilter war sehr gering, wie die im Bodenfiltratschacht gefundenen Mengen demonstrieren. Im Bodenfiltrat selbst schwankte die erhaltene Partikelmenge zwischen  $9,2 \cdot 10^{-5}\text{ mg/l}$  und  $4,6 \cdot 10^{-3}\text{ mg/l}$ . In Abb. 13 wurden die Daten für die Biologisch aktive Zone nicht aufgenommen, da diese mit einer anderen Methode (Benthoschaufel) als die Bereiche R1- R9 und der Bodenfiltratschacht beprobt wurde.



**Abb. 13:** Monatliche partikuläre Fracht aus den verschiedenen Tiefenbereichen des Langsandsandfilters und dem Bodenfiltratschacht [TG mg/l]

## 4.2.2 Kohlenstoff- und Stickstoffanteile

### 4.2.2.1 Kohlenstoff- und Stickstoffanteile in der Biologisch aktiven Zone

Beim Vergleich der Kohlenstoff- und Stickstoffanteile in den 3 unterschiedlichen Zonen Biologisch aktive Zone, Langsandsandfilter und Bodenfiltratschacht wird die Biologisch aktive Zone gesondert betrachtet, da sie methodisch anders beprobt wurde als die Peilrohre im Langsandsandfilter und der Bodenfiltratschacht. Die Daten für alle Bereiche sind in Tab. 21 (Anhang) dargestellt. Die Gesamtgehalte an organischem Kohlen- und Stickstoff lassen 3 deutlich voneinander abgrenzbare Bereiche erkennen. In der Biologisch aktiven Zone fanden sich die höchsten Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte mit Spitzenwerten von 170 g/m<sup>2</sup> TG POC und 21,2 g/m<sup>2</sup> TG PON (07/98) (s. Abb. 14). Es ließ sich tendenziell ein Anstieg der POC- und PON-Gehalte in den Sommermonaten (Juni, Juli) feststellen, denen niedrige Werte im Frühjahr und Herbst gegenüberstanden.

Zu berücksichtigen ist, daß die Daten für die Biologisch aktive Zone immer unter dem Aspekt des Filterbetriebs zu betrachten sind, da eine frisch gereinigte Filteroberfläche betriebsbedingt weitgehend frei von partikulärer organischer Fracht ist.

Die C/N-Verhältnisse in der Biologisch aktiven Zone variierten während des Untersuchungszeitraums innerhalb geringer Schwankungsbreiten und lagen zwischen 7 und 8.

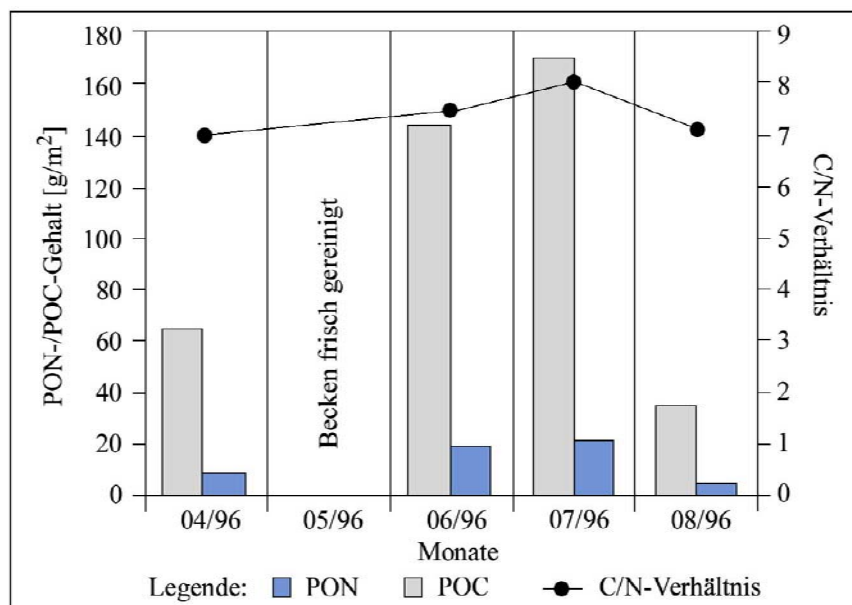


Abb. 14: POC-, PON-Gehalte und C/N-Verhältnisse in der Biologisch aktiven Zone [g/m² TG]

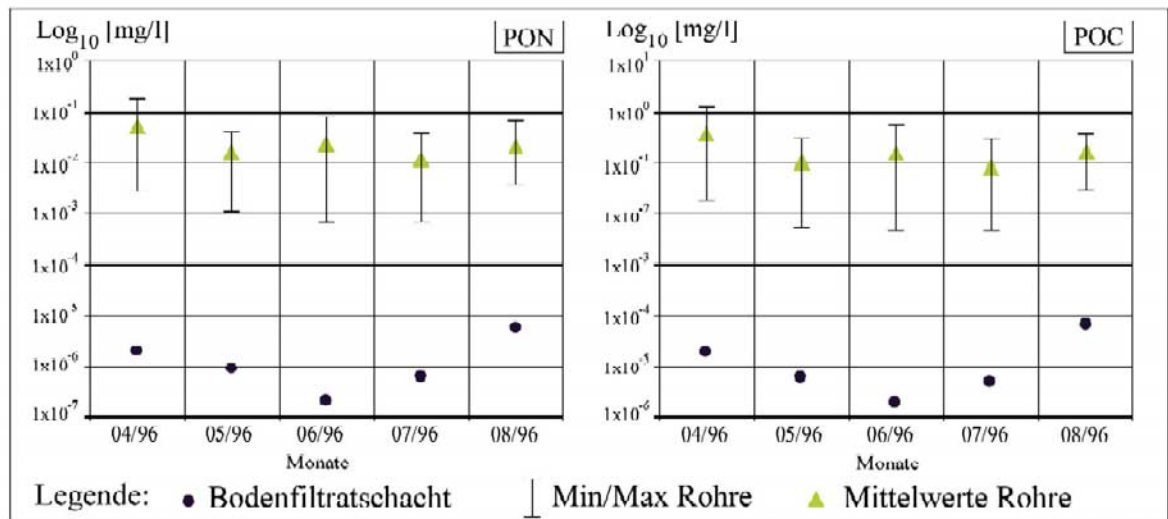
#### 4.2.2.2 PON- und POC-Gehalte im Langsamsandfilter und im Bodenfiltratschacht

Die POC- und PON-Gehalte in den unterschiedlichen Tiefen des Langsamsandfilters zeigten sowohl zwischen den verschiedenen Tiefen als auch an den Beprobungsterminen starke Schwankungen (s. Abb. 15).

Im Mittel schwankten die Werte für POC in den verschiedenen Tiefen des Langsamsandfilters zwischen 0,096 mg/l TG POC im Juli und 0,43 mg/l TG POC im April (s. Tab. 21). Die Maximalwerte für POC wurden im April erreicht (R3, 04/96: 1,29 mg/l und R5, 04/96: 1,32 mg/l TG POC). Die Minimalwerte lagen im Juni und Juli (R6, 06/96: 0,0045 mg/L und R7, 07/96: 0,0047 mg/l TG POC). Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die POC-Gehalte zwischen den untersuchten Tiefen im Langsamsandfilter starke Schwankungen aufwiesen, die sich im Bereich von 3 Zehnerpotenzen bewegten (s. Abb. 15).

Auch im Bodenfiltratschacht schwankten die POC-Gehalte stark, doch lagen sie deutlich unter denen der untersuchten Peilrohre und waren zwischen 3 und 4 Zehnerpotenzen niedriger als im Schotterbereich des Langsamsandfilters. Der niedrigste POC-Gehalt im Bodenfiltratschacht fand sich im Juni ( $2,06 \cdot 10^{-06}$  mg/l TG POC) und der höchste im August ( $6,67 \cdot 10^{-05}$  mg/l TG POC). Damit folgten die POC-Gehalte des Bodenfiltratschachts im Trend denen im Langsamsandfilter. Für die PON-Gehalte im Langsamsandfilter und im Bodenfiltratschacht bot sich eine ähnliche Situation, wie sie für die POC-Gehalte dargestellt wurde. Auch hier schwankten die Werte stark in den verschiedenen Tiefen im Langsamsandfilter (s. Abb. 15). Die mittleren PON-Gehalte lagen zwischen 0,012 mg/l TG PON (07/96) und 0,052 mg/l TG PON (04/96). Die höchsten Werte wurden im April in den Rohren R2 und R3 (120cm und 190cm Tiefe)

erreicht, die niedrigsten PON-Gehalte im Juni und Juli in R6 und R7 (190 cm und 310 cm Tiefe; s. Tab. 21, Anhang). Die PON-Gehalte, die im Bodenfiltratschacht gemessen wurden, waren um 3 – 4 Zehnerpotenzen niedriger als in den Peilrohren. Der niedrigste PON-Gehalt im Bodenfiltratschacht fand sich im Mai ( $2,11 \cdot 10^{-7}$  mg/l TG PON), der höchste Wert im August ( $6,01 \cdot 10^{-6}$  mg/l TG PON).



**Abb. 15:** Gesamtstickstoff- (PON) und Gesamtkohlenstoff (POC) aus Langsandsandfilter und Bodenfiltratschacht (Die Fehlerbalken geben die Schwankungsbreiten während der einzelnen Monaten wieder).

#### 4.2.2.3 C/N-Verhältnisse in der Biologisch aktiven Zone, im Langsandsandfilter und im Bodenfiltratschacht

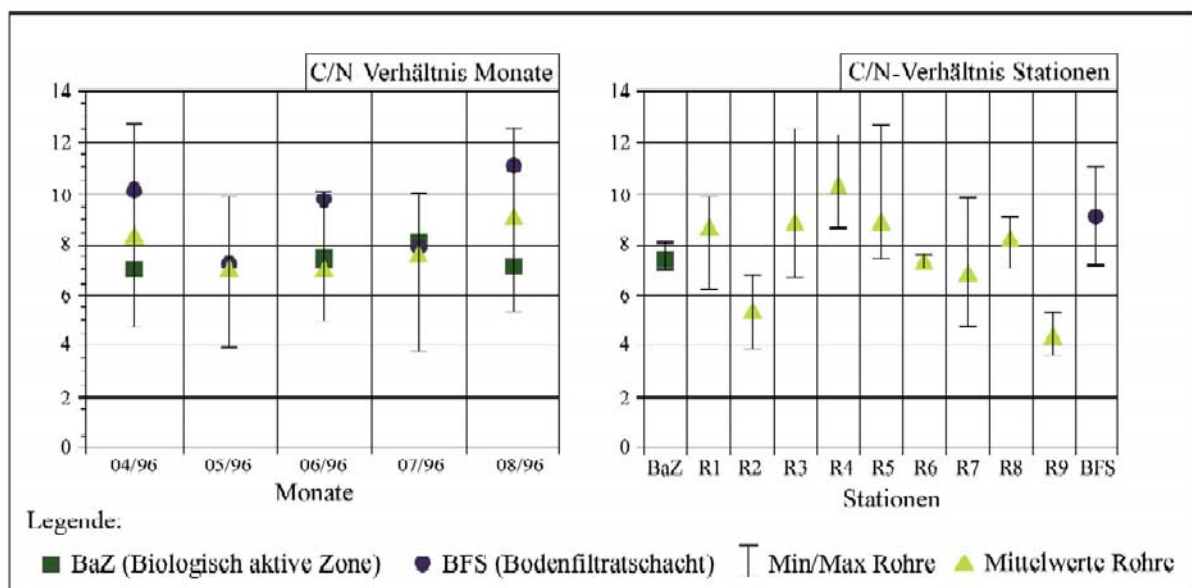
Aus den gemessenen Kohlenstoff- und Stickstoffwerten wurde das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis berechnet. Das C/N-Verhältnis stellt ein grobes Maß für die nutritive Qualität eines Stoffes dar. Dabei sind 2 Dinge relevant:

1. Die Höhe des C/N-Verhältnis-Wertes. Je geringer dieser ist, desto schlechter kann die Substanz als Nahrungsmittel genutzt werden, denn umso geringer ist ihre nutritive Qualität.
2. Die weitgehende Übereinstimmung des C/N-Verhältnisses von Organismus und konsumiertem Futter. Ist das C/N-Verhältnis des Futters genauso hoch oder sogar höher als das C/N-Verhältnis des Organismus, der gefüttert werden soll, ist die Ausgewogenheit der beiden Nahrungsbestandteile Kohlenstoff und Stickstoff für den zu fütternden Organismus gewährleistet.

In ist das C/N-Verhältnis für die Biologisch aktive Zone, den Langsamsandfilter und den Bodenfiltratschacht aufgetragen. Erwartungsgemäß spiegeln sich die Schwankungen des POC und des PON in ihren Verhältniswerten wider.

Tendenziell scheint es einen Unterschied zwischen der Biologisch aktiven Zone und dem Bodenfiltratschacht zu geben. Die C/N-Verhältnisse im Bodenfiltratschacht waren etwas höher als die in der Biologisch aktiven Zone. Während die Verhältniswerte in der Biologisch aktiven Zone im Untersuchungszeitraum nur innerhalb enger Grenzen schwankten (s. Abb. 14), zeigten sie dies in den verschiedenen Tiefen im Langsamsandfilter ausgeprägter. Betrachtet man die beiden Abbildungen, lassen sich zwei Tendenzen feststellen:

Zum einen nahmen die Amplituden der Schwankungen mit der Tiefe zu, zum anderen verringerten sich die Höhen der Amplituden im Verlauf der horizontalen Filterstrecke in den unterschiedenen Tiefenbereichen (s. Abb. 16, R8 und R9). Zu beachten ist, daß im Mai 96, keine Probe aus der Biologisch aktiven Zone genommen werden konnte. Im Juni lagen die C/N-Verhältniswerte aus der Biologisch aktiven Zone und dem Bodenfiltratschacht sehr nahe beieinander (Symbole in der Grafik sind beinahe überlagert).



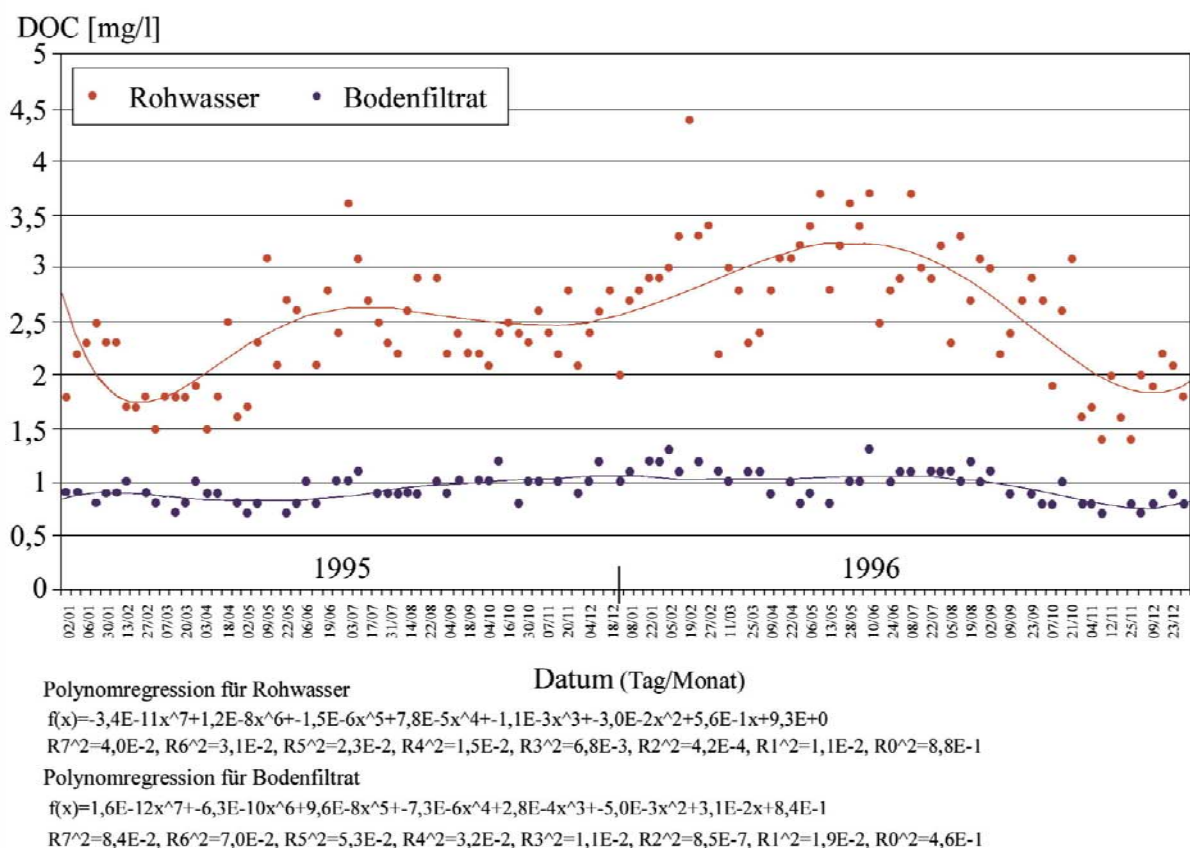
**Abb. 16:** Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis der Partikelfracht aus Langsamsandfilter, Bodenfiltratschacht und Biologisch aktiver Zone (die Fehlerbalken geben die Schwankungsbreiten während der einzelnen Monaten wieder).

#### 4.2.3 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Kohlenstoff spielt im Stoffwechsel der Organismen eine zentrale Rolle. Heterotrophe Organismen nehmen ihn in gelöster (DOC) oder partikulärer Form (POC) als komplexe Moleküle auf. Die Verringerung des Kohlenstoffgehalts in einem Ökosystem ist direkt mit der

biologischen Aktivität in diesem System korrelierbar, und die Nettoaufnahme einer Kohlenstoffquelle entspricht der Neubildung der Biomasse (Lampert & Sommer 1993).

In Echthausen wurden während des Beobachtungszeitraums 1995 und 1996 die DOC-Gehalte im Rohwasser und im Bodenfiltrat ermittelt (s. Abb. 17, sowie Tab. 19 u. 20, Anhang). Die mittleren DOC-Werte im Rohwasser lagen 1995 bei 2,3 mg/l und 1996 bei 2,7 mg/l. Die Maximalwerte im Rohwasser befanden sich bei 4,5 mg/l (1995) und 4,4 mg/l (1996) und die Minimalwerte bei 1,5 mg/l (1995) und 1,4 mg/l (1996). Im Bodenfiltrat lagen die Mittelwerte für DOC 1995 bei 0,91 mg/l und 0,98 mg/l (1996), die Maximalwerte bei 1,2 mg/l (1995) und 1,3 mg/l (1996) und die Minimalwerte bei 0,7 mg/l (1995 und 1996).



**Abb. 17: DOC-Gehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.**

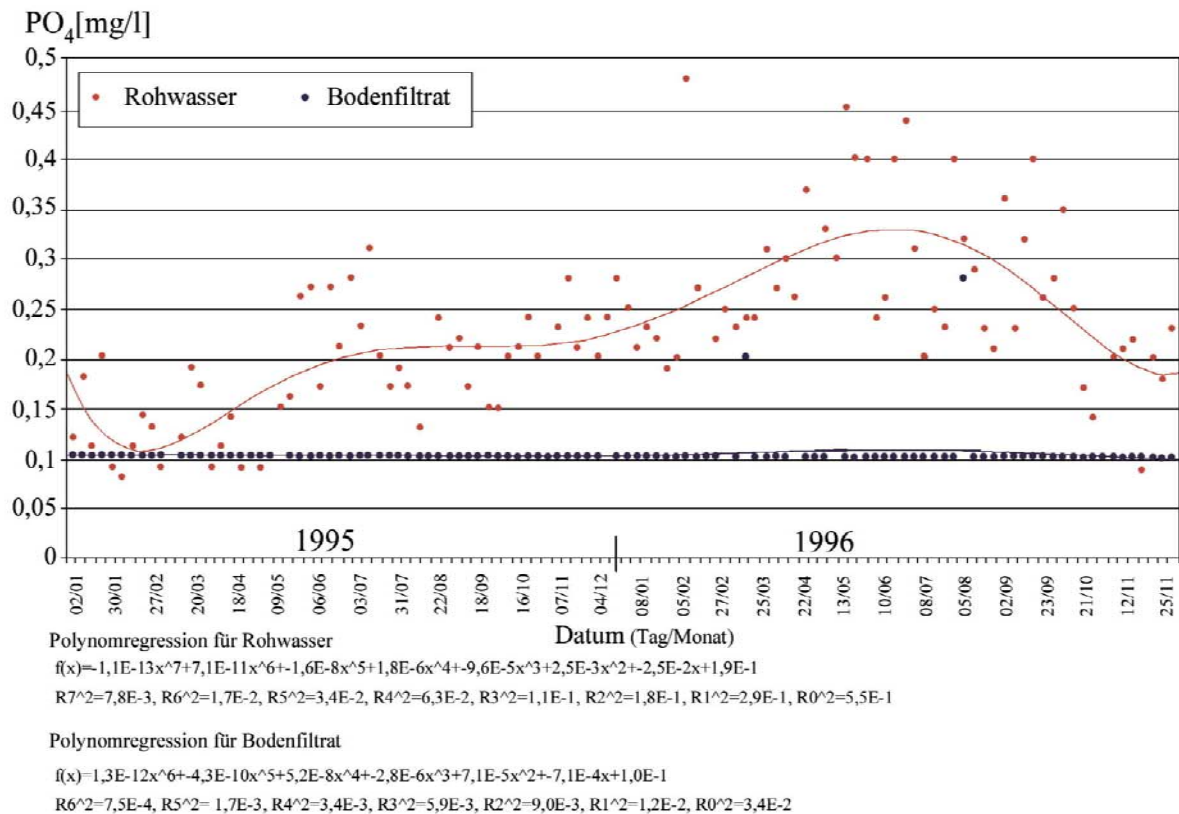
Aus diesen Daten wird ersichtlich, daß sich die Werte für DOC im Rohwasser und Bodenfiltrat signifikant voneinander unterscheiden. Diese Unterschiede können als Maß für die biologische Aktivität respektive die Abbauleistung der Organismengemeinschaft im Langsandsandfilter selbst gewertet werden. Die Polynomregression der Daten zeigt einen schwach sinusförmigen Verlauf des DOC-Gehalts im Rohwasser mit geringen Werten in den Wintermonaten und höheren Werten im Sommer. Dieser jahreszeitliche Trend ist aus dem Kurvenverlauf für das Bodenfiltrat nicht mehr erkennbar. Hier schwanken die Werte unabhängig vom DOC-Gehalt



des infiltrierten Wassers um 1 mg/l. Lediglich der Abwärtstrend im Kurvenverlauf Ende 1996 ist im Rohwasser und im Bodenfiltrat erkennbar.

#### 4.2.4 Phosphat

Phosphat ist als essentieller Nährstoff für Algen und Bakterien sehr häufig ein Minimumfaktor.



**Abb. 18: Phosphatgehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.**

Die Phosphatkonzentrationen in Echthausen wurden im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996 im Rohwasser und Bodenfiltrat gemessen. Es ließ sich feststellen, daß die Werte stark schwankten und es waren keine jahreszeitlichen Tendenzen erkennen (s. Abb. 18; Tab. 19 u. 20, Anhang). So stiegen die durchschnittlichen Werte von Mitte 1995 bis Mitte 1996 an und erst danach setzte ein erkennbarer Abwärtstrend ein. Die Mittelwerte für das Rohwasser lagen bei 0,18 mg/l (1995) und 0,27 mg/l (1996), die Minimalwerte im Rohwasser befanden sich 1995 bei 0,08 mg/l und 1996 bei 0,09 mg/l, die Maximalwerte bei 0,31 mg/l (1995) und 0,48 mg/l (1996). Im Bodenfiltrat war die Situation sehr einheitlich. Hier lagen die Phosphatgehalte bis auf zwei Ausnahmen (03/96 und 08/96) unterhalb von 0,1 mg/l. Im Rohwasser wurden diese Werte bis auf wenige Ausnahmen überschritten. Vernachlässigt man die beiden Spitzenwerte im Bodenfiltrat, läßt sich feststellen, daß die Variable Phosphat großen wöchentlichen Schwankungen unterlag und sich kein ausgeprägter jahreszeitlicher Trend

erkennen läßt. Die Differenz zwischen Rohwasser und Bodenfiltrat entspricht dem Beitrag der biologischen Abbauleistung der Organismen der Lebensgemeinschaft im Langsandsandfilter.

#### 4.2.5 Ammonium

In Gewässern gilt Ammonium neben Nitrat als wichtigste anorganische Stickstoffquelle für zahlreiche Algen, Makrophyten und für eine Reihe spezialisierter Mikroorganismen (Schwoerbel 1993).

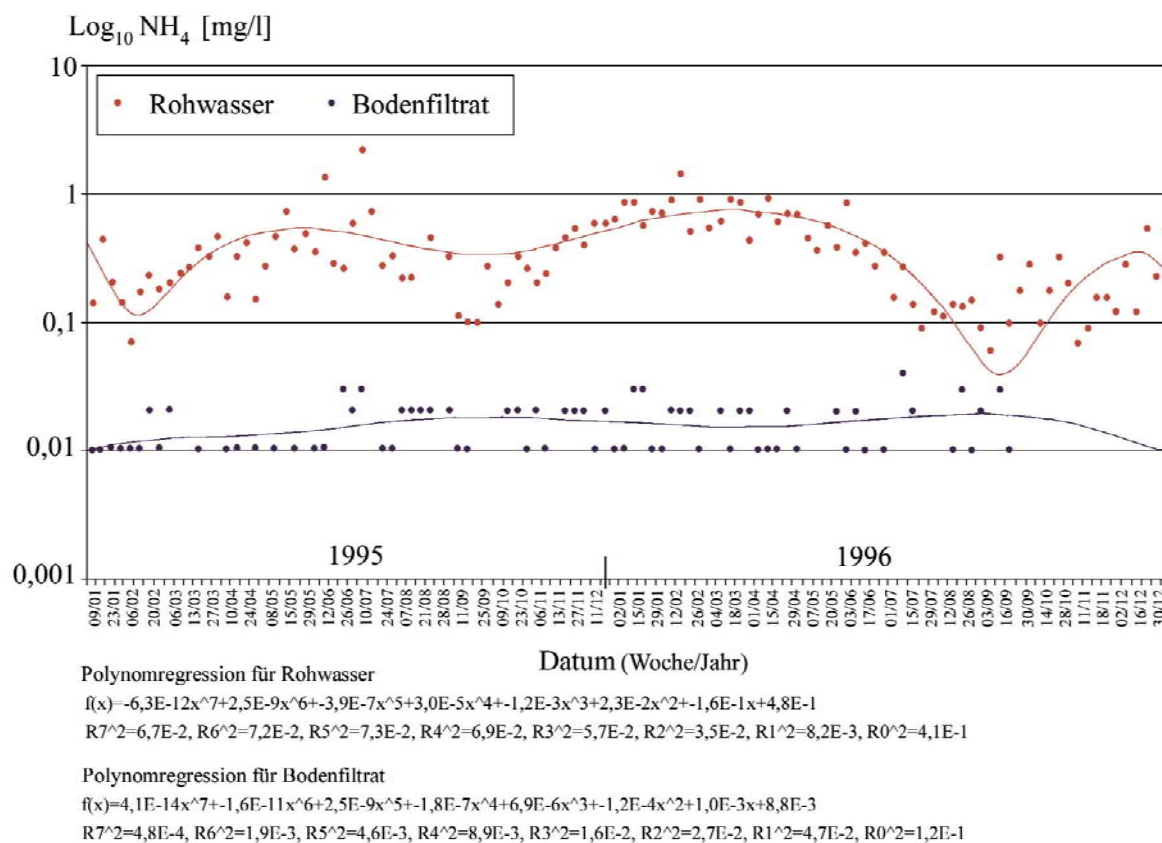


Abb. 19: Ammoniumgehalt im Rohwasser und Bodenfiltrat im Beobachtungszeitraum 1995 und 1996.

Die mittleren Ammoniumgehalte im Rohwasser lagen bei  $\sim 0,38$  mg/l (1995) und  $\sim 0,41$  mg/l (1996) (s. Abb. 19; Tab. 19 u. 20, Anhang), die Maximalwerte bei 2,19 mg/l (1995) und 1,43 mg/l (1996) und die Minimalwerte 1995 bei 0,07 mg/l und 1996 bei 0,06 mg/l. Die Amplitude der Schwankungsbreite für die Ammoniumgehalte im Langsandsandfilter erstreckte sich über 2 Zehnerpotenzen (beachte Log-Skalierung in Abb. 19). Im Bodenfiltrat war der mittlere Ammoniumgehalt weit unter dem des Rohwassers und betrug 0,015 mg/l (1995) und 0,017 mg/l (1996). Die Schwankungsbreite im Bodenfiltrat verlief innerhalb enger Grenzen. Für 1995 betrug die Differenz zwischen dem niedrigsten (0,01 mg/l) und dem höchsten Ammoniumgehalt (0,03 mg/l) nur 0,02 mg/l, und 1996 war die Differenz zwischen Minimal- (0,01 mg/l) und Maximalwert (0,04 mg/l) nur geringfügig größer (0,03 mg/l). Genauso wie



beim Phosphat ergab sich auch beim Ammonium ein klar ersichtlicher Unterschied zwischen dem Rohwasser und dem Bodenfiltrat.

### 4.3 Die Fauna in Echthausen

#### 4.3.1 Das Faunenspektrum

Die tierische Besiedlung des Langsamsandfilters Nr. 8 (Wasserwerk Echthausen/Ruhr) wurde bereits im Rahmen dreier Diplomarbeiten untersucht (Rumm 1993, Schmidt 1994, Egert 1998). Die systematische Bearbeitung bisher unberücksichtigter Tiergruppen führte zu einer erheblichen Erweiterung der Artenliste. Insgesamt sind bisher 135 Taxa aus Echthausen bekannt (s. Tab. 3). Auf Artniveau betrachtet stellen die Crustacea den größten Anteil der Fauna mit 56 Arten (44%). Es folgen die Nematoda (22%) mit 30 identifizierten Arten und die Rotatoria (11%) mit 2 auf Art- und 11 auf Gattungsniveau determinierten Taxa. Die Anteile der übrigen Taxa betragen weniger als 10%. Wegen der bisher unbearbeiteten Gruppen Chironomidae und Protozoa ist allerdings mit einer weiteren Zunahme der Gesamtartenzahl in Echthausen zu rechnen. In der nachfolgenden Tabelle sind alle in Echthausen gefundenen Taxa aufgeführt und mit Angaben über ihre Zugehörigkeit zur jeweiligen Größenklasse, zur ökologischen Einstufung und zur Präsenz versehen. Bemerkenswert ist, daß der limnische Grundwasserpolychaet *Troglochaetus beranecki* im Rahmen dieser Untersuchung erstmalig mit 4 Individuen im Langsamsandfilter nachgewiesen werden konnte, wohingegen die Art während des gesamten Untersuchungszeitraums 1992/1993 nicht gefunden wurde. Die Art ist daher für Echthausen als sehr selten einzustufen.

**Tab. 3: Auflistung und Einteilung der in Echthausen gefundenen Fauna**

|    |              |                                                                                     |
|----|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Spalte Taxon | Angabe der jeweils determinierten Art (Gattung, Familie, etc.)                      |
| 2. | Spalte G     | Einteilung in Größenklassen nach folgenden Kriterien:                               |
|    |              | <b>0</b> ( $\leq 0,5\text{mm}$ ) nicht mit bloßem Auge sichtbar                     |
|    |              | <b>1</b> ( $>0,5\text{mm} < 1\text{mm}$ ) gerade noch mit bloßem Auge sichtbar      |
|    |              | <b>2</b> ( $\geq 1\text{mm}$ ) mit bloßem Auge gut sichtbar                         |
| 3. | Spalte B     | Einteilung nach Stärke der Bindung an den jeweiligen Lebensraum Grundwasser:        |
|    |              | <b>S</b> Stygobiont - Tier lebt ausschließlich im Grundwasser                       |
|    |              | <b>P</b> Stygophil - Tier lebt im Grund- und Oberflächenwasser                      |
|    |              | <b>X</b> Stygoxen - zufällig ins Grundwasser geraten und dort eine Zeit lebensfähig |
|    |              | <b>?</b> Keine Zuordnung möglich bzw. unbekannt                                     |
| 4. | Spalte P     | Präsenz der Taxa während des Jahresverlaufs                                         |
|    |              | <b>I</b> ' selten <b>II</b> ' vereinzelt <b>III</b> ' häufig ~ ' keine Angabe       |

| Taxon                            |                                      | G   | B | P   |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----|---|-----|
| Coelenterata (Hohltiere)         |                                      |     |   |     |
| Hydrozoa (Polypen)               |                                      |     |   |     |
| 1.                               | <i>Hydra spec.</i>                   | 1-2 | X | I   |
| Plathelminthes (Plattwürmer)     |                                      |     |   |     |
| Turbellaria (Strudelwürmer)      |                                      |     |   |     |
| 2.                               | <i>Microstomum spec.</i>             | 1-2 | X | I   |
| 3.                               | Prorhynchidae                        | 1-2 | X | I   |
| 4.                               | Typhloplanida                        | 1-2 | X | ~   |
| Nemathelminthes (Schlauchwürmer) |                                      |     |   |     |
| Nematoda (Fadenwürmer)           |                                      |     |   |     |
| 5.                               | <i>Achromadorida ruricola</i>        | 1   | X | II  |
| 6.                               | <i>Achromadorida cf. terricola</i>   | 1   | S | I   |
| 7.                               | <i>Aphanolaimus aquaticus</i>        | 2   | X | I   |
| 8.                               | <i>Chromadorita leuckarti</i>        | 1   | X | III |
| 9.                               | <i>Chrysonemoides cf. holsaticus</i> | 2   | X | I   |
| 10.                              | <i>Cylindrolaimus communis</i>       | 0   | X | II  |
| 11.                              | <i>Dorylaimus spec.</i>              | 1   | X | III |
| 12.                              | <i>Dorylaimus stagnalis</i>          | 2   | X | III |
| 13.                              | <i>Epidorylaimus spec.</i>           | 1   | X | I   |
| 14.                              | <i>Ethmolaimus pratensis</i>         | 1   | X | III |
| 15.                              | <i>Eumonhystera dispar</i>           | 0   | X | III |
| 16.                              | <i>Eumonhystera similis</i>          | 0   | X | II  |
| 17.                              | <i>Eumonhystera simplex</i>          | 0   | X | II  |
| 18.                              | <i>Eumonhystera vulgaris</i>         | 0   | X | II  |
| 19.                              | <i>Eumonhystera spec.</i>            | 0   | X | II  |
| 20.                              | <i>Fictor fictor</i>                 | 2   | X | I   |
| 21.                              | <i>Geomonhystera vilosa</i>          | 1   | X | I   |
| 22.                              | <i>Monhystera paludicola</i>         | 0   | X | I   |
| 23.                              | <i>Monhystera paramacramphis</i>     | 0   | X | II  |
| 24.                              | <i>Monhystera spec.</i>              | 0   | X | II  |
| 25.                              | <i>Mononchus aquaticus</i>           | 2   | P | II  |
| 26.                              | <i>Mononchus truncatus</i>           | 1   | P | III |
| 27.                              | <i>Paractinolaimus macrolaimus</i>   | 2   | X | III |
| 28.                              | <i>Plectus armatus</i>               | 0   | X | I   |
| 29.                              | <i>Plectus elegans</i>               | 0   | X | I   |
| 30.                              | <i>Plectus indicus</i>               | 0   | X | I   |
| 31.                              | <i>Plectus makrodemas</i>            | 0   | X | I   |
| 32.                              | <i>Plectus varians</i>               | 0   | X | I   |
| 33.                              | <i>Plectus spec.</i>                 | 0   | X | I   |
| 34.                              | <i>Prismatolaimus dolichurus</i>     | 0   | P | III |
| 35.                              | <i>Theristus agilis</i>              | 1   | P | I   |
| 36.                              | <i>Tobrilus cf. stefanski</i>        | 0   | X | II  |
| 37.                              | <i>Tobrilus spec. 1</i>              | 0   | X | III |
| 38.                              | <i>Tobrilus spec. 2</i>              | 0   | X | III |
| 39.                              | <i>Tobrilus spec. 3</i>              | 0   | X | III |
| 40.                              | <i>Tripyla affinis</i>               | 0   | X | II  |
| 41.                              | <i>Tripyla spec.</i>                 | 0   | X | II  |
| 42.                              | <i>Trischistoma monohystera</i>      | 0   | X | II  |
| 43.                              | <i>Trischistoma spec.</i>            | 0   | X | II  |
| 44.                              | <i>Tylenchus elegans</i>             | 0   | X | I   |

|                             |                                        |   |     |    |
|-----------------------------|----------------------------------------|---|-----|----|
| Rotatoria (Rädertiere)      |                                        |   |     |    |
| Digononta                   |                                        |   |     |    |
| 45.                         | <i>Rotatoria spec.</i>                 | 0 | P   | I  |
| 46.                         | <i>Philodina spec.</i>                 | 0 | X   | I  |
| Monogononta                 |                                        |   |     |    |
| 47.                         | <i>Asplanchna spec.</i>                | 1 | X   | I  |
| 48.                         | <i>Brachionus spec.</i>                | 0 | X   | I  |
| 49.                         | <i>Cephalodella spec.</i>              | 0 | X   | I  |
| 50.                         | <i>Filinia longiseta</i>               | 0 | X   | I  |
| 51.                         | <i>Kellicottia longispina</i>          | 0 | X   | I  |
| 52.                         | <i>Keratella spec.</i>                 | 0 | X   | I  |
| 53.                         | <i>Notholca spec.</i>                  | 0 | X   | I  |
| 54.                         | <i>Polyarthra spec.</i>                | 0 | X   | I  |
| 55.                         | <i>Pompholyx spec.</i>                 | 0 | X   | I  |
| 56.                         | <i>Synchaeta spec.</i>                 | 0 | X   | I  |
| 57.                         | <i>Trichocerca spec.</i>               | 0 | X   | I  |
| Mollusca (Weichtiere)       |                                        |   |     |    |
| Gastropoda (Schnecken)      |                                        |   |     |    |
| 58.                         | <i>Bythiospeum septentrionale</i>      | 2 | S   | II |
| Bivalvia (Muscheln)         |                                        |   |     |    |
| 59.                         | <i>Pisidium spec.</i>                  | 1 | P/X | I  |
| Annelida (Ringelwürmer)     |                                        |   |     |    |
| Aelosomatidae               |                                        |   |     |    |
| 60.                         | <i>Aelosoma variegatum</i>             | 1 | X   | II |
| Clitellata (Gürtelwürmer)   |                                        |   |     |    |
| Oligochaeta (Wenigborster)  |                                        |   |     |    |
| 61.                         | Naididae                               | 2 | X   | ~  |
| 62.                         | Enchytraeidae                          | 2 | X   | ~  |
| 63.                         | <i>Stylaria lacustris</i>              | 2 | X   | ~  |
| 64.                         | <i>Pristina aequisetia</i>             | 2 | X   | ~  |
| 65.                         | <i>Pristinella jenkiniae</i>           | 2 | X   | ~  |
| 66.                         | Lumbriculidae                          | 2 | X   | ~  |
| 67.                         | <i>Rhynchelmis limnosella</i>          | 2 | X   | ~  |
| 68.                         | <i>Haplotaxis gordioides</i>           | 2 | S   | I  |
| Polychaeta (Vielborster)    |                                        |   |     |    |
| 69.                         | <i>Troglochaetus beranecki</i>         | 0 | S   | I  |
| Tardigrada (Bärtierchen)    |                                        |   |     |    |
| 70.                         | <i>Macrobotus spec.</i>                | 1 | ?   | I  |
| Arthropoda (Gliederfüßer)   |                                        |   |     |    |
| Insecta (Insekten)          |                                        |   |     |    |
| Collembola (Springschwänze) |                                        |   |     |    |
| 71.                         | Collembola                             | 2 | X   | I  |
| Diptera (Zweiflügler)       |                                        |   |     |    |
| 72.                         | Chironomidae                           | 2 | X   | I  |
| Arachnida (Spinnentiere)    |                                        |   |     |    |
| Acari (Milben)              |                                        |   |     |    |
| 73.                         | <i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i> | 1 | S   | I  |
| 74.                         | <i>Soldanellonyx monardi</i>           | 1 | S   | I  |
| 75.                         | <i>Lobohalacarus weberi</i>            | 0 | S   | I  |
| 76.                         | <i>Hygrobatas nicromacelatus</i>       | 1 | X   | I  |
| 77.                         | <i>Lebertia porosa</i>                 | 1 | X   | I  |

|                             |                                   |     |     |     |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| 78.                         | <i>Lebertia fimbriata</i>         | 1   | X   | I   |
| 79.                         | <i>Forelia variegator</i>         | 1   | X   | I   |
| Crustacea (Krebstiere)      |                                   |     |     |     |
| Copepoda (Ruderfußkrebse)   |                                   |     |     |     |
| Cyclopoida                  |                                   |     |     |     |
| 80.                         | <i>Diacyclops bicuspidatus</i>    | 1-2 | P   | II  |
| 81.                         | <i>Diacyclops bisetosus</i>       | 1   | P   | III |
| 82.                         | <i>Diacyclops languidus</i>       | 1   | P   | II  |
| 83.                         | <i>Diacyclops languidoides</i>    | 0-1 | S   | III |
| 84.                         | <i>Acanthocyclops robustus</i>    | 1   | X   | I   |
| 85.                         | <i>Eucyclops serrulatus</i>       | 1-2 | P/X | I   |
| 86.                         | <i>Paracyclops fimbriatus</i>     | 1-2 | P   | I   |
| 87.                         | <i>Graeterialla unisetigera</i>   | 0   | S   | II  |
| Harpacticoida               |                                   |     |     |     |
| 88.                         | <i>Phyllognathopus vigiueri</i>   | 0   | P   | III |
| 89.                         | <i>Chappuisius singeri</i>        | 1   | S   | I   |
| 90.                         | <i>Chappuisius inopinus</i>       | 1   | S   | I   |
| 91.                         | <i>Parastenocaris glacialis</i>   | 0   | S   | I   |
| 92.                         | <i>Canthocamptus staphylinus</i>  | 1   | X   | I   |
| 93.                         | <i>Bryocamptus echinatus</i>      | 1   | S/P | II  |
| 94.                         | <i>Brycamptus pygmaeus</i>        | 0-1 | P   | II  |
| 95.                         | <i>Byrocamptus minutus</i>        | 0-1 | X   | II  |
| 96.                         | <i>Epactophanes richardi</i>      | 0   | P   | III |
| 97.                         | <i>Nitocra hibernica</i>          | 1   | ?   | I   |
| Ostracoda (Muschelkrebse)   |                                   |     |     |     |
| 98.                         | <i>Pseudocandona zschokkei</i>    | 1   | S   | III |
| 99.                         | <i>Pseudocandona triquetra</i>    | 0   | S   | I   |
| 100.                        | <i>Mixtocandona laisi</i>         | 1   | S   | I   |
| 101.                        | <i>Candona candida</i>            | 2   | ?   | I   |
| 102.                        | <i>Candona neglecta</i> -(Gruppe) | 1-2 | ?   | I   |
| 103.                        | <i>Isocypris beauchampi</i>       | 2   | ?   | I   |
| 104.                        | <i>Heterocypris incongruens</i>   | 2   | X   | I   |
| 105.                        | <i>Heterocypris reptans</i>       | 2   | X   | I   |
| 106.                        | <i>Cypria ophtalmica</i>          | 1   | ?   | III |
| 107.                        | <i>Cypridopsis vidua</i>          | 1   | ?   | II  |
| 108.                        | <i>Cyclocypris serena</i>         | 1   | ?   | I   |
| 109.                        | <i>Chlamydotheca spec.</i>        | 2   | X   | I   |
| Phyllopoda (Blattfußkrebse) |                                   |     |     |     |
| 110.                        | <i>Acroperus harpae</i>           | 1   | X   | I   |
| 111.                        | <i>Alona affinis</i>              | 1-2 | X   | II  |
| 112.                        | <i>Alona costata</i>              | 0-1 | X   | I   |
| 113.                        | <i>Alona guttata</i>              | 0   | P/X | I   |
| 114.                        | <i>Alona quadrangularis</i>       | 1   | X   | I   |
| 115.                        | <i>Alona rectangula</i>           | 0   | X   | III |
| 116.                        | <i>Alonella nana</i>              | 0   | X   | I   |
| 117.                        | <i>Bosmina longirostris</i>       | 0-1 | X   | I   |
| 118.                        | <i>Camptocercus rectirostris</i>  | 1-2 | X   | I   |
| 119.                        | <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>   | 1   | X   | I   |
| 120.                        | <i>Chydorus piger</i>             | 0   | X   | I   |
| 121.                        | <i>Chydorus sphaericus</i>        | 0   | X   | II  |
| 122.                        | <i>Drepanothrix dentata</i>       | 0-1 | X   | I   |

|                              |                                   |     |     |     |
|------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| 123.                         | <i>Eurycercus lamellatus</i>      | 2   | X   | I   |
| 124.                         | <i>Graptoleberis testudinaria</i> | 0-1 | X   | I   |
| 125.                         | <i>Macrothrix hirsuticornis</i>   | 0-2 | X   | I   |
| 126.                         | <i>Pleuroxus aduncus</i>          | 0-1 | X   | I   |
| 127.                         | <i>Pleuroxus denticulatus</i>     | 1   | X   | I   |
| 128.                         | <i>Simocephalus vetulus</i>       | 2   | X   | I   |
| Malacostraca (Höhere Krebse) |                                   |     |     |     |
| Isopoda (Asseln)             |                                   |     |     |     |
| 129.                         | <i>Asellus aquaticus</i>          | 2   | P/X | II  |
| 130.                         | <i>Proasellus cavaticus</i>       | 2   | S   | II  |
| Amphipoda (Flohkrebse)       |                                   |     |     |     |
| 131.                         | <i>Niphargus fontanus</i>         | 2   | S   | III |
| 132.                         | <i>Niphargus puteanus</i>         | 2   | S   | I   |
| 133.                         | <i>Niphargus kochianus</i>        | 2   | S   | I   |
| 134.                         | <i>Niphargopsis caspary</i>       | 2   | S   | I   |
| 135.                         | <i>Eucrangonyx subterraneus</i>   | 2   | S   | I   |

Die Fauna im untersuchten Langsamsandfilter Echthausen umfaßt neben den typischen, limnischen Oberflächenwasser- und Benthosformen auch Vertreter echter Grundwassertiere, der Stygobionten. Betrachtet man die Artenzusammensetzung rein qualitativ nach dem Kriterium der ökologischen Zuordnung zum Lebensraum Grundwasser, betragen die Anteile der Stygoxen (98 Taxa), Stygophilen (15 Taxa) und Stygobionten (22 Taxa). Diese Verhältniswerte sind prozentual in Abb. 20 dargestellt.

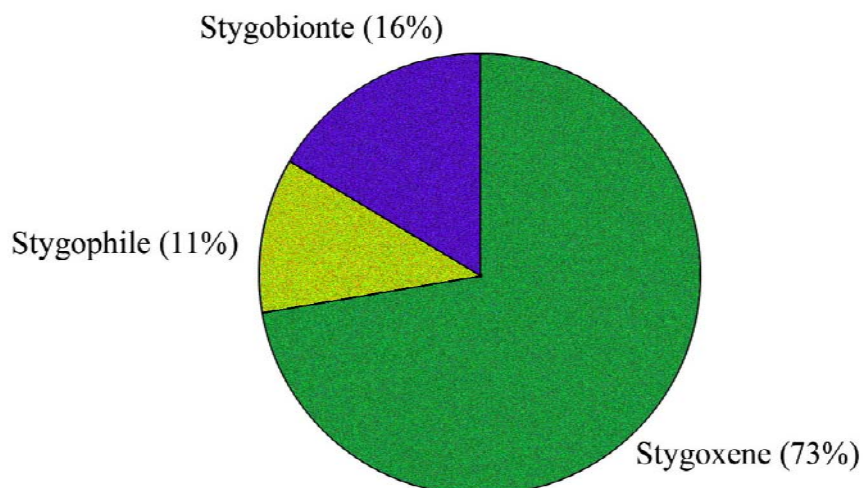


Abb. 20: Prozentuales Verhältnis von Stygobionten, Stygophilen und Stygoxen im Langsamsandfilterbecken Nr. 8 Echthausen/Ruhr

#### 4.1.2 Quantitative Betrachtungen zur Fauna in den untersuchten Bereichen

##### 4.1.2.1 Räumliche Verteilung

Im Untersuchungszeitraum wurden von in den Bereichen Biologisch aktive Zone, Sand- und Schottererschicht des Langsamsandfilters und im Bodenfiltratschacht 61.193 Organismen

gefunden. In Tab. 4 sind die Abundanzen der einzelnen Bereiche aufgeführt. Es war ein abnehmender Gradient von oben nach unten zu beobachten.

Die meisten Individuen wurden in der Biologisch aktiven Zone gefunden. Hier wurden in einem Liter Sediment durchschnittlich mehr als 100.000 Organismen gefunden. Mit zunehmender Tiefe sanken die Individuendichten. In den Sedimentkörpern der Sand- und Schotterschicht wurden um den Faktor  $10^5$  weniger Individuen gefunden als in der Biologisch aktiven Zone. Die mittleren Individuenzahlen lagen in diesem Bereich zwischen 0 und 2 Tieren pro Liter (0,4-2,4). Noch deutlicher fiel der Unterschied zwischen dem Bodenfiltratschacht und der Biologisch aktiven Zone aus. Im Bodenfiltratschacht wurden um den Faktor  $10^8$  weniger Individuen gefunden als in der Biologisch aktiven Zone. Der berechnete Wert liegt bei 0,0022 Tieren pro Liter, was einer tatsächlichen Individuendichte von ungefähr 1 Tier pro 450 l Bodenfiltrat entspricht. Betrachtet man die einzelnen Standorte getrennt, ergibt sich ein differenziertes Bild.

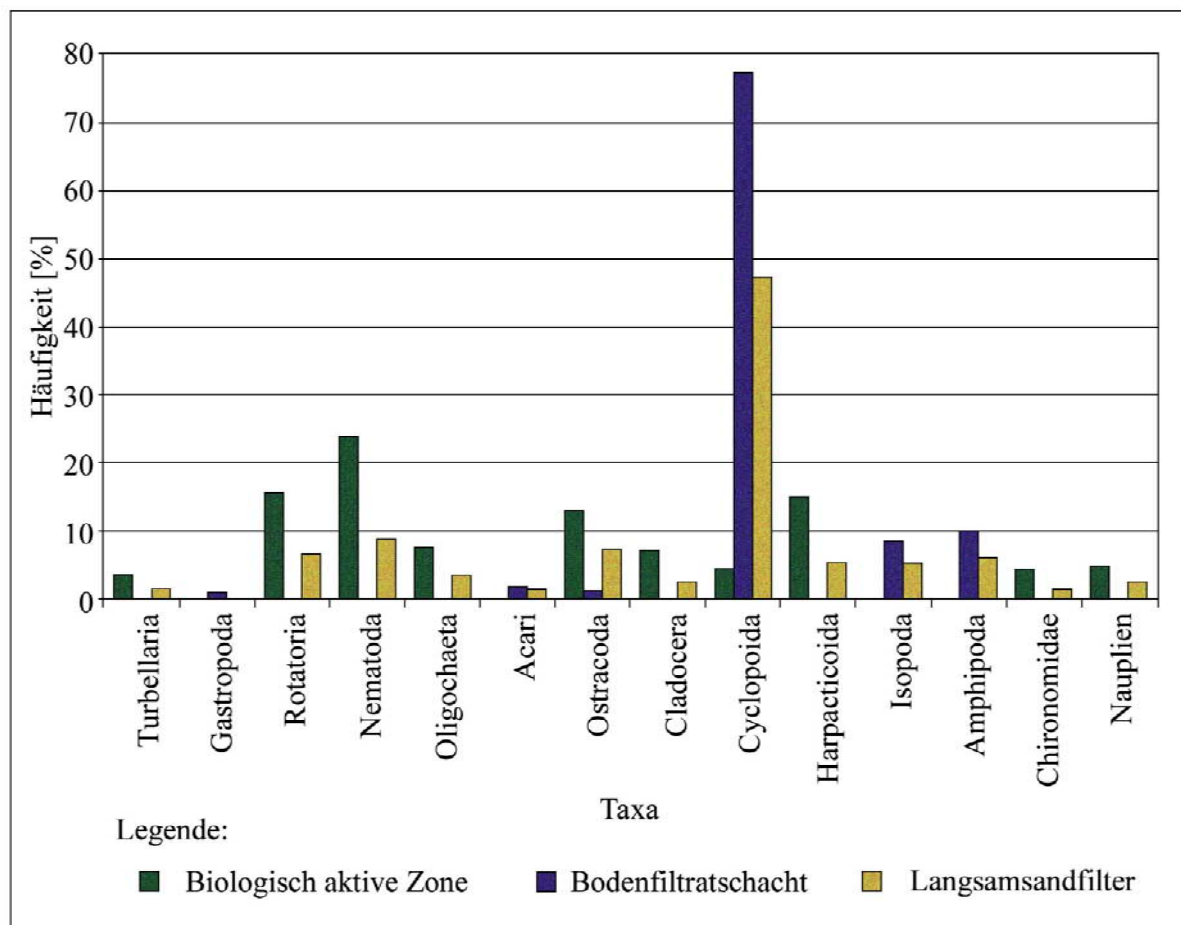
**Tab. 4: Absolute und statistische Angaben der Abundanzen in den untersuchten Bereichen**

BaZ = Biologisch aktive Zone; R1- R9 = Peilrohre 1-9; BFS = Bodenfiltratschacht; Pv = Probenvolumen

| Monat/Probe  | BaZ     | R1   | R2  | R3  | R4  | R5    | R6  | R7  | R8  | R9  | BFS               |
|--------------|---------|------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| 04/96        | -       | 235  | 205 | 88  | 106 | 45    | 55  | 10  | 55  | 21  | 5.935             |
| 05/96        | -       | 419  | 91  | 70  | 361 | 128   | 37  | 8   | 109 | 46  | 2.954             |
| 06/96        | 4.928   | 211  | 140 | 238 | 40  | 28    | 30  | 131 | 256 | 101 | 552               |
| 07/96        | 1.376   | 221  | 149 | 91  | 69  | 106   | 27  | 12  | 27  | 11  | 961               |
| 08/96        | 902     | 3    | 16  | 56  | 30  | 153   | 62  | 7   | 17  | 64  | -                 |
| 09/96        | 12.952  | 336  | 33  | 148 | 97  | 990   | 194 | 56  | 256 | 42  | 24.096            |
| Summe        | 20.158  | 1425 | 634 | 691 | 703 | 1.450 | 405 | 224 | 720 | 285 | 34.498            |
| Median       | 3.152   | 228  | 116 | 90  | 83  | 117   | 46  | 11  | 82  | 44  | 2.954             |
| Minimum      | 902     | 3    | 16  | 56  | 30  | 28    | 27  | 7   | 17  | 11  | 552               |
| Maximum      | 12.952  | 419  | 205 | 238 | 361 | 990   | 194 | 131 | 256 | 101 | 24.096            |
| Spannweite   | 12.050  | 416  | 189 | 182 | 331 | 962   | 167 | 124 | 239 | 90  | 23.544            |
| Pv [l]       | 0,2     | 600  | 600 | 600 | 600 | 600   | 600 | 600 | 600 | 600 | $1,57 \cdot 10^7$ |
| Ind. / Liter | 100.790 | 2,4  | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 2,4   | 0,7 | 0,4 | 1,2 | 0,5 | 0,0022            |

In Tab. 4 sind die absoluten Abundanzen der gefundenen Taxa und ausgewählte statistische Kenngrößen aufgeführt. Betrachtet man die statistischen Werte für die einzelnen Probenstellen, wird deutlich, daß die Organismenverteilung in allen untersuchten Bereichen von Probenstermin zu Probenstermin starken Schwankungen unterlag und ungleichmäßig war. Die Spannweiten aller untersuchten Bereiche befanden sich in den gleichen Größenordnungen wie die jeweiligen dazugehörigen Maximalwerte. Der Median aus der Biologisch aktiven Zone betrug bspw. 3.152 und die dazugehörige Spannweite 12.050.

Besonders starken Abundanzschwankungen fanden sich im Bodenfiltratschacht. Hier war der Median um den Faktor 8 größer als die Spannweite. Das verdeutlicht, daß die Organismenverteilung in Größenordnungen fluktuierte, die teilweise größer als die erhaltenen mittleren Abundanzen waren. Für die anderen untersuchten Bereiche (R1-R9) ließen sich die gleichen Feststellungen treffen. Die Organismenverteilung im gesamten Langsamsandfiltersystem erwies sich somit als dynamisch und heterogen. Die Betrachtung der Minimal- und Maximalwerte von R1-R9 bestätigten diesen Befund.



**Abb. 21: Prozentuale Häufigkeiten der Taxa in den 3 untersuchten Bereichen Biologisch aktive Zone (BaZ), Langsamsandfilter (LSF) und Bodenfiltratschacht (BFS)**

Betrachtet man zunächst die 3 Bereiche Biologisch aktive Zone, Langsamsandfilter und Bodenfiltratschacht fällt auf, daß sich kein Bereich auf dem hier betrachteten taxonomischen Niveau durch eine spezifische Gruppe auszeichnete. Dennoch gibt es dominante Vertreter in den einzelnen Bereichen. In Abb. 21 ist die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Taxa in dem jeweiligen Bereich dargestellt. In Tab. 5 ist die Organismenverteilung für die Bereiche Biologisch aktive Zone, R1-R9 und Bodenfiltratschacht aufgeführt. In der Biologisch aktiven Zone wurden 12 Taxa, in der Sand- und Schotterschicht des Langsamsandfilters 20 und im Bodenfiltratschacht 11 Taxa gefunden. Die 3 häufigsten Vertreter in der Biologisch aktiven

Zone stammten aus den Gruppen Rotatoria (15,6%), Nematoda (23,9%) und Harpacticoida (15,0%). Auf diese folgten die Ostracoda mit 13,0%. Alle anderen Taxa waren in der Biologisch aktiven Zone mit weniger als 10% oder gar nicht vertreten. In der Sand- und Schotterschicht des Langsamsandfilters wurden Vertreter aus 20 Taxa gefunden (s. Tab. 5). Die 3 häufigsten Taxa waren die Ostracoda (22,0%), die Cyclopoida (20,1%) und die Rotatoria (13,2%). Alle anderen Taxa, die in diesem Bereich gefunden wurden, sind mit weniger als 10% am Faunenspektrum beteiligt. Den Bereich Bodenfiltratschacht besiedelten hauptsächlich die Cyclopoida, die mehr als  $\frac{3}{4}$  der gesamten Fauna stellten. Bis auf die Isopoda (8,5%) und Amphipoda (9,8%) traten die Abundanzen aller anderen Gruppen im Bodenfiltratschacht deutlich in den Hintergrund. Aus Tab. 5 und Abb. 21 geht hervor, daß die Crustacea die dominanten Vertreter in allen 3 Bereichen darstellten. Im Bodenfiltratschacht umfaßten sie 98,7% der gesamten hier vorgefundenen Fauna. Die dominierende Gruppe waren die Cyclopoida mit 77,4%. Im Lückensystem des Langsamsandfilters repräsentierten die Crustacea 53,7% der Fauna und in der Biologisch aktiven Zone 39,6%. Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß die bedeutendste Gruppe in der Biologisch aktiven Zone die Nematoda und in der Sand- und Schotterschicht des Langsamsandfilters sowie im Bodenfiltratschacht die Crustacea, insbesondere die Cyclopoida, waren.

**Tab. 5: Abundanzen und relativer Anteil der Taxa in den 3 untersuchten Bereichen**

Anm.: n = Individuenzahlen; % = Prozentualer Anteil)

| Standort /<br>Taxon | Biologisch aktive Zone |            | Bodenfiltratschacht |            | Langsamsandfilter |            |
|---------------------|------------------------|------------|---------------------|------------|-------------------|------------|
|                     | n                      | %          | n                   | %          | n                 | %          |
| Protozoa            | .                      | .          | .                   | .          | 9                 | <1         |
| Hydrozoa            | .                      | .          | 2                   | <1         | 5                 | <1         |
| Turbellaria         | 722                    | 3,6        | 3                   | <1         | 163               | 2,5        |
| Gastropoda          | 32                     | <1         | 343                 | 1,0        | 17                | <1         |
| Rotatoria           | 3.154                  | 15,6       | .                   | .          | 862               | 13,2       |
| Nematoda            | 4.813                  | 23,9       | 14                  | <1         | 580               | 8,9        |
| Polychaeta          | .                      | .          | .                   | .          | 4                 | <1         |
| Aelosomatidae       | .                      | .          | .                   | .          | 28                | <1         |
| Oligochaeta         | 1.528                  | 7,6        | 14                  | <1         | 541               | 8,3        |
| Tardigrada          | .                      | .          | .                   | .          | 3                 | <1         |
| Acari               | 14                     | <1         | 627                 | 1,8        | 234               | 3,6        |
| Ostracoda           | 2.615                  | 13,0       | 424                 | 1,2        | 1.440             | 22,0       |
| Cladocera           | 1.427                  | 7,1        | .                   | .          | 70                | 1,1        |
| Cyclopoida          | 904                    | 4,5        | 26.688              | 77,4       | 1.312             | 20,1       |
| Harpacticoida       | 3.026                  | 15,0       | .                   | .          | 246               | 3,8        |
| Isopoda             | 83                     | <1         | 2.944               | 8,5        | 188               | 2,8        |
| Amphipoda           | .                      | .          | 3.394               | 9,8        | 248               | 3,8        |
| Collembola          | .                      | .          | 1                   | <1         | 33                | <1         |
| Coleoptera-Larven   | .                      | .          | .                   | .          | 4                 | <1         |
| Chironomidae        | 868                    | 4,3        | .                   | .          | 8                 | <1         |
| <b>Summen</b>       | <b>20.158</b>          | <b>100</b> | <b>34.498</b>       | <b>100</b> | <b>6.537</b>      | <b>100</b> |



#### 4.1.2.2 Zeitliche Verteilung

In der Biologisch aktiven Zone wurden die größten Abundanzen (12.864 Ind. aus 12 Taxa) im September gefunden. Von Juni bis August nahmen die Individuenzahlen ab (s. Tab. 6). Die einzelnen Taxa verteilten sich zeitlich in diesem Bereich sehr heterogen, und es traten große Abundanzschwankungen auf. Die Individuenzahlen der Nematoda zeigten während des Untersuchungszeitraums einen stark ansteigenden Trend, ebenso die Rotatoria. Die Crustacea, insbesondere die Ostracoda, Cladocera und Cyclopoida, waren mit Ausnahme des Augusts durchweg abundanzstark vertreten (s. Abb. 22).

**Tab. 6: Zeitliche Verteilung der Taxa in den untersuchten Bereichen**

Anm.: BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht; LFS = Langsamsandfilter

| Datum<br>/Probenort   | 04/96      |              | 05/96        |              | 06/96        |              |            | 07/96      |              |            | 08/96      |            | 09/96        |               |               |
|-----------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|
| Taxon                 | LSF        | BFS          | LSF          | BFS          | LSF          | BaZ          | BFS        | LSF        | BaZ          | BFS        | LSF        | BaZ        | LSF          | BaZ           | BFS           |
| Protozoa              | 1          | 0            | 1            | 0            | 1            | 0            | 0          | 4          | 0            | 0          | 1          | 0          | 1            | 0             | 0             |
| Hydrozoa              | 0          | 0            | 3            | 0            | 1            | 0            | 2          | 0          | 0            | 0          | 0          | 0          | 1            | 0             | 0             |
| Turbellaria           | 49         | 1            | 32           | 1            | 34           | 66           | 0          | 46         | 248          | 1          | 1          | 0          | 1            | 408           | 0             |
| Gastropoda            | 1          | 9            | 2            | 12           | 2            | 0            | 54         | 5          | 0            | 156        | 1          | 0          | 6            | 32            | 112           |
| Rotatoria             | 85         | 0            | 7            | 0            | 105          | 0            | 0          | 79         | 168          | 0          | 72         | 2          | 514          | 2.984         | 0             |
| Nematoda              | 125        | 0            | 140          | 0            | 59           | 33           | 0          | 129        | 168          | 14         | 27         | 676        | 100          | 3.936         | 0             |
| Aelosomatidae         | 0          | 0            | 28           | 0            | 0            | 0            | 0          | 0          | 0            | 0          | 0          | 0          | 0            | 0             | 0             |
| Polychaeta            | 0          | 0            | 0            | 0            | 4            | 0            | 0          | 0          | 0            | 0          | 0          | 0          | 0            | 0             | 0             |
| Oligochaeta           | 23         | 1            | 280          | 2            | 27           | 433          | 1          | 59         | 168          | 2          | 8          | 47         | 144          | 880           | 8             |
| Tardigrada            | 0          | 0            | 2            | 0            | 1            | 0            | 0          | 0          | 0            | 0          | 0          | 0          | 0            | 0             | 0             |
| Acari                 | 29         | 405          | 44           | 23           | 88           | 0            | 52         | 20         | 0            | 59         | 20         | 6          | 33           | 8             | 88            |
| Ostracoda             | 211        | 251          | 325          | 0            | 394          | 1.630        | 95         | 149        | 224          | 6          | 41         | 65         | 320          | 696           | 72            |
| Cladocera             | 0          | 0            | 46           | 0            | 1            | 800          | 0          | 0          | 104          | 0          | 2          | 3          | 21           | 520           | 0             |
| Cyclopoida            | 146        | 5.200        | 243          | 951          | 185          | 800          | 23         | 81         | 32           | 34         | 163        | 16         | 494          | 56            | 20.480        |
| Harpacticoida         | 39         | 0            | 9            | 0            | 18           | 0            | 0          | 41         | 16           | 0          | 1          | 2          | 138          | 3.008         | 0             |
| Isopoda               | 3          | 0            | 13           | 424          | 64           | 0            | 0          | 8          | 0            | 0          | 9          | 83         | 91           | 0             | 2.520         |
| Amphipoda             | 38         | 68           | 23           | 1.505        | 20           | 0            | 318        | 31         | 0            | 687        | 51         | 0          | 85           | 0             | 816           |
| Collembola            | 0          | 0            | 0            | 0            | 30           | 0            | 0          | 2          | 0            | 0          | 0          | 0          | 1            | 0             | 0             |
| Coleoptera-<br>Larven | 0          | 0            | 0            | 0            | 4            | 0            | 0          | 0          | 0            | 1          | 0          | 0          | 0            | 0             | 0             |
| Chironomidae          | 0          | 0            | 0            | 0            | 3            | 300          | 0          | 0          | 232          | 0          | 2          | 0          | 3            | 336           | 0             |
| Nauplien              | 70         | 0            | 71           | 36           | 134          | 866          | 7          | 59         | 16           | 1          | 9          | 2          | 199          | 88            | 0             |
| <b>Summen</b>         | <b>820</b> | <b>5.935</b> | <b>1.269</b> | <b>2.954</b> | <b>1.175</b> | <b>4.928</b> | <b>552</b> | <b>713</b> | <b>1.360</b> | <b>961</b> | <b>408</b> | <b>900</b> | <b>2.152</b> | <b>12.864</b> | <b>24.096</b> |

Die Harpacticoida wurden von Juni bis August lediglich in Abundanzen von 0-16 Individuen gefunden und erreichten im September ein Maximum von mehr als 3000 Individuen. Gleichmäßig vertreten waren die Chironomidae-Larven mit Abundanzen von 232-336 Individuen. Auch bei der Betrachtung der relativen Häufigkeiten (prozentuale Skalierung), wie sie in den Abb. 22-24 dargestellt sind, fällt auf, daß die Verteilung während des

Untersuchungszeitraums ungleichmäßig war. Deutlich wird dies bspw. im August, wo 676 Nematoda 218 Individuen aus allen anderen Taxa gegenüberstanden.

In der Sand- und Schotterschicht des Langsamsandfilters traten während des Untersuchungszeitraums 20 Taxa auf. Die höchsten Abundanzen wurden im September gefunden, die niedrigsten im August.

Wie in der Biologisch aktiven Zone war auch im Langsamsandfilter kein erkennbarer Trend in der zeitlichen Verteilung zu verzeichnen. Die dominierenden Taxa waren die Nematoda, Ostracoda und Cyclopoida. Auch diese Taxa ließen keinen jahreszeitlich bedingten Trend erkennen. Die relativen Häufigkeiten der Abundanzen im Langsamsandfilter zeigten während der untersuchten Monate (s. Abb. 23) kein einheitliches Bild. Auch hier zeichnete sich der August durch extrem ungleichmäßige Verteilungsmuster aus.

Im Bodenfiltratschacht wurden 11 Taxa gefunden. Die Abundanzen variierten von 552 Ind. (Juni) bis 24.096 Ind. (Sept.). Die monatliche Verteilung der Taxa im Bodenfiltratschacht war uneinheitlich. Im April und im September nahmen die Cyclopoida die größten Anteile ein. Von Mai bis Juli stellten die Amphipoda das dominierende Taxon, und im September waren die Isopoda mit einem Maximum von 2.520 Ind. die abundanzstärkste Gruppe. In Abb. 24 ist die zeitliche Verteilung der Taxa für den Bodenfiltratschacht dargestellt.

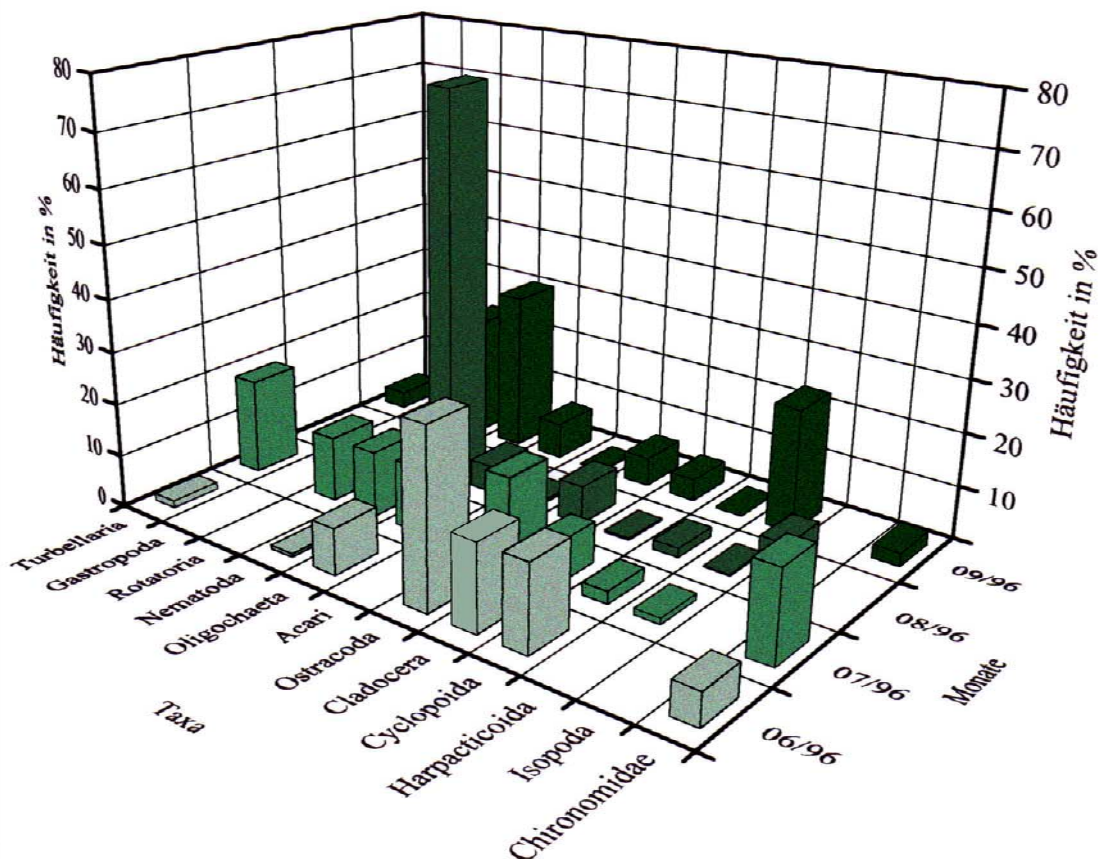


Abb. 22: Zeitliche Verteilung der Taxa in der Biologisch aktiven Zone (Abundanzen in Prozent)

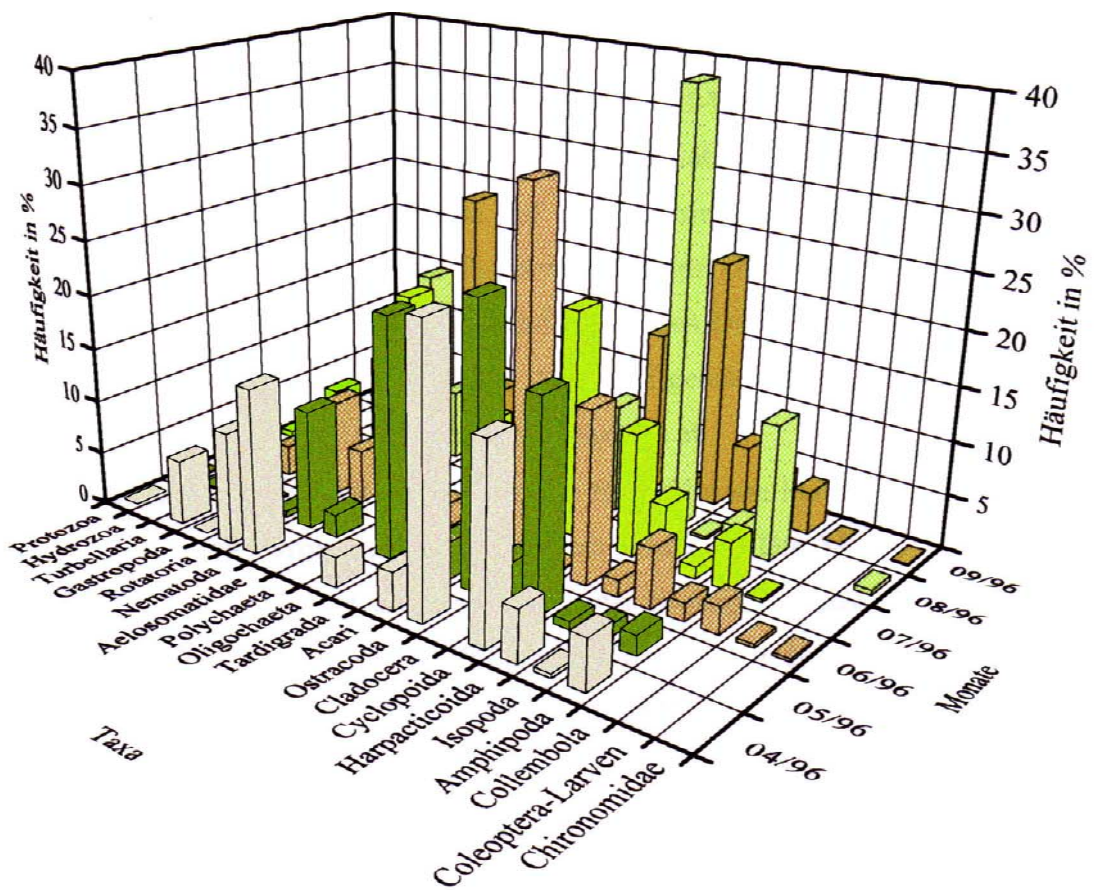


Abb. 23: Zeitliche Verteilung der Taxa im Langsamsandfilter (Abundanzen in Prozent)

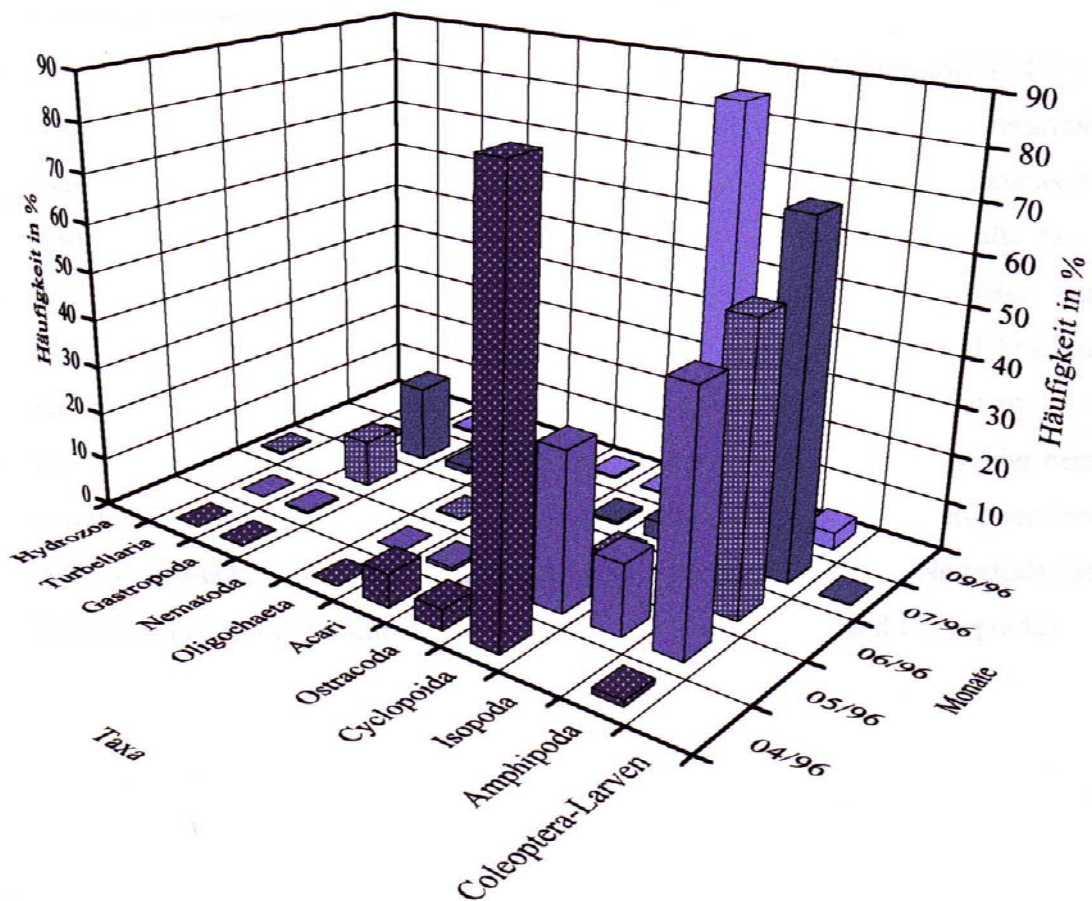


Abb. 24: Zeitliche Verteilung der Taxa im Bodenfiltratschacht (Abundanzen in Prozent)

#### **4.4 Zusammenfassung der biotischen, abiotischen und faunistischen Ergebnisse**

- Die abiotischen Variablen Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert und Leitfähigkeit wurden im Langsamsandfilter Becken Nr. 8 erfaßt. Für die Variablen Temperatur und Leitfähigkeit ließen sich keine deutlichen Effekte auf das infiltrierte Oberflächenwasser durch die Untergrundpassage erkennen. Die Pufferwirkung des Untergrundes im Bezug auf die Temperatur wurde in Echthausen aufgrund der kurzen Dauer der Untergrundpassage (ca. 24h) nicht wirksam. Die Variablen Sauerstoffgehalt und pH-Wert nahmen mit zunehmender Tiefe im Laufe der Untergrundpassage ab.
- Obwohl der Langsamsandfilter als Raumsieb für infiltrierte Partikel optimal geeignet ist, gelangten dennoch Partikel durch das System hindurch. Die Menge der hier erfassten Partikel ( $>50\mu\text{m}$ ) nahm mit der Tiefe ab. In der Biologisch aktiven Zone fand sich die höchste Partikelmenge (zwischen  $460\text{g/m}^2$ - $1550\text{g/m}^2$ ), im Bodenfiltratschacht war die Menge am geringsten (zwischen  $9,2 \cdot 10^{-5} \text{ mg/l}$ - $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/l}$ ).
- Der Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalt und das sich daraus ergebende C/N-Verhältnis korrelierte nicht mit den Partikelfrachten. Die Verhältniswerte im Bodenfiltratschacht waren durchschnittlich höher als die in der Biologisch aktiven Zone. Die nutritive Qualität der transportierten Partikel nahm auf dem Wege der Untergrundpassage ab.
- Im Rohwasser war der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) deutlich höher als im Bodenfiltrat. Die DOC-Abnahme im Zuge der Untergrundpassage demonstriert die biologische Abbauleistung der Organismengemeinschaft im Langsamsandfilter. Dies trifft auch für die Phosphat- und Ammoniumgehalte zu.
- Das Faunenspektrum im Langsamsandfilter Echthausen umfaßt beim derzeitigen Bearbeitungsstand 135 Taxa, von denen 112 auf Artniveau bestimmt sind. Die Fauna setzt sich aus 98 stygoxenen, 15 stygophilen und 22 stygobionten Taxa zusammen.
- Die räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster erwiesen sich auf dem hier betrachteten taxonomischen Niveau als heterogen. Dennoch waren bei einigen Gruppen bevorzugte Aufenthaltsbereiche erkennbar. (Biologisch aktive Zone: Rotatoria, Nematoda; Sand- und Schotterschicht und Bodenfiltratschacht: Isopoda, Amphipoda und Cyclopoida).

## 5 Ergebnisse - Freßexperimente und Respirationsversuche

### 5.1 Futterwahlexperimente

Freßexperimente durchzuführen ist nur dann sinnvoll, wenn für die zu untersuchenden Organismen geeignetes Futter zur Verfügung steht. Von den meisten Grundwasserorganismen ist jedoch unbekannt, was sie fressen. Aus diesem Grund sind Vorversuche notwendig, um geeignetes Futter für Freßexperimente zu ermitteln. Dies war das Ziel der im folgenden dargestellten Futterwahlversuche.

Als Futter wurden Detritus, ein Gemisch aus Fadenalgen, Eschen- und Ahornblätter, Oligochaeta (als Beute für Räuber), arteigene Kotballen (Faecal Pellets) und verschiedene Fischfuttersorten ausgewählt. Der eingesetzte Detritus und das Fadenalgengemisch stammten aus dem untersuchten Langsandsandfilter, dem Infiltrationsbecken Nr. 8 des Wasserwerks Echthausen/Ruhr. Die Blätter und Kotballen wurden vor dem Experiment wie in Kap. 3.4.2 beschrieben vorbehandelt.

Das Futter wurde als geeignet angesehen, wenn es von den Untersuchungsorganismen aufgenommen wurde und über den gesamten Experimentzeitraum kontinuierlich im Darm zu erkennen war. In den Abb. 25-31 sind die Ergebnisse aus diesen Vorversuchen grafisch dargestellt.

#### 5.1.1 Fadenalgen-Gemisch

Die Fadenalgen, die aus dem Langsandsandfilter in Echthausen stammten, wurden unterschiedlich gut von den Arten angenommen. Während die Arten *Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus*, *Chappuisius inopinus*, *Diacyclops languidoides* und *Haplotaxis gordioides* die Fadenalgen fraßen, wurden sie von *Parasoldanellonyx parviscutatus* und *Bythiospeum septentrionale* nicht akzeptiert. Betrachtet man, wie häufig der Darm gefüllt und geleert wurde und wie der individuelle Füllungszustand des Darms der Tiere variierte, kann die Akzeptanz des Algengemisches bei allen Arten als gering eingestuft werden (s. Abb. 25). Obwohl die Individuen von *Proasellus cavaticus* häufig halb und drei viertel gefüllte Därme hatten, scheint sich das Fadenalgen-Gemisch auf die Arten *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* negativ auszuwirken, denn im Verlauf des Experiments sind einige Tiere gestorben: 2 Individuen von *Proasellus cavaticus* nach 18 und 24 Tagen und 1 Individuum von *Niphargus fontanus* nach 28 Tagen. Die Copepoden *Chappuisius inopinus* und *Diacyclops languidoides* zeigten keine Ausfälle während des Experiments, allerdings war der Darm bei den untersuchten Copepoden nie mehr als halb gefüllt. Tendenziell akzeptiert *Chappuisius inopinus* dieses Futter am besten.



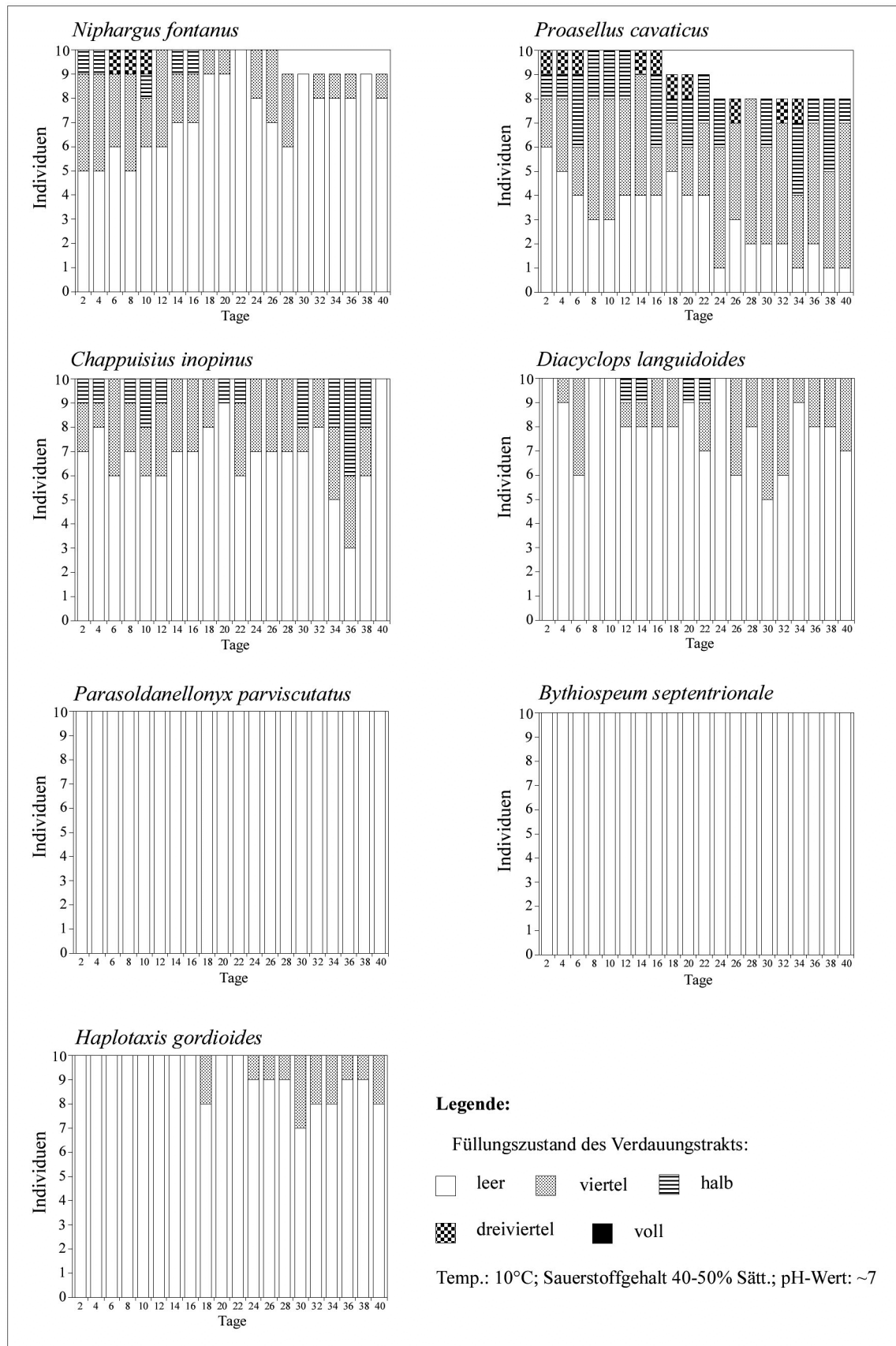


Abb. 25: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der angebotenen Fadenalgen

### 5.1.2 Detritus

Detritus wird als zusammenfassender Begriff für die Gesamtheit abgestorbener organischer Substanz pflanzlichen und tierischen Ursprungs aus allen trophischen Ebenen eines Ökosystems angesehen (Schaefer 1992). Je nach dem Grad des Zerfalls und fortgeschrittenem Abbau durch Mikroorganismen und anderen Destruenten ist das Ausgangsmaterial des Detritus nur schwer oder nicht mehr bestimmbar. Der in diesem Vorversuch eingesetzte Detritus stammte aus dem Langsandsfilter in Echthausen, wobei vereinzelt noch Bruchstücke von Fadenalgen und kompaktiertes Algenmaterial erkennbar waren. Insgesamt handelte es sich dabei um flockiges, langsam sedimentierendes Material von grünlicher bis brauner Farbe.

Detritus wurde von allen untersuchten Arten aufgenommen. Am deutlichsten ist dies bei den Arten *Proasellus cavaticus*, *Diacyclops languidoides*, *Bythiospeum septentrionale* und *Niphargus fontanus* erkennbar. Bei diesen treten stets Individuen mit viertel bis ganz gefüllten Därmen auf. Allerdings sind auch immer Individuen darunter, deren Darm leer ist. Am besten wird Detritus von *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale* akzeptiert, von denen stets einige mit vollständig gefüllten Därmen zu finden waren. Dies traf mit geringfügiger Einschränkung auch für *Diacyclops languidoides* zu. Die geringste Akzeptanz zeigte *Parasoldanellonyx parviscutatus*. Es waren nie mehr als 2 Individuen mit erkennbar gefülltem Darm zu finden. (s. Abb. 26) Die Aufnahme des Detritusmaterials schien bei *Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus* und *Chappuisius inopinus* schädlich zu sein, denn bei allen Arten starben Versuchstiere im Laufe des Experiments. Am deutlichsten trat dies bei *Proasellus cavaticus* auf. Von den hier eingesetzten 10 Individuen blieben am Ende des Experiments noch 2 übrig. Von *Niphargus fontanus* überlebten 8 Individuen und von *Chappuisius inopinus* 7 Individuen. Die anderen Arten zeigten keine Ausfälle.

### 5.1.3 Esche

Die Eschenblätter wurden wie in Kap. 3.4.2. beschrieben vorbehandelt. Sie erwiesen sich als optimales Futter, das von den untersuchten Arten gut gefressen wurde. Lediglich bei *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* starben 1 bzw. 2 Tiere im Verlauf des Experiments. Von den anderen Arten starben keine Tiere. Im 40-tägigen Experimentverlauf wurden bei *Niphargus fontanus* an 2 Terminen 2 Individuen und bei *Proasellus cavaticus* an 5 Terminen jeweils 1 Tier mit leerem Darm beobachtet.

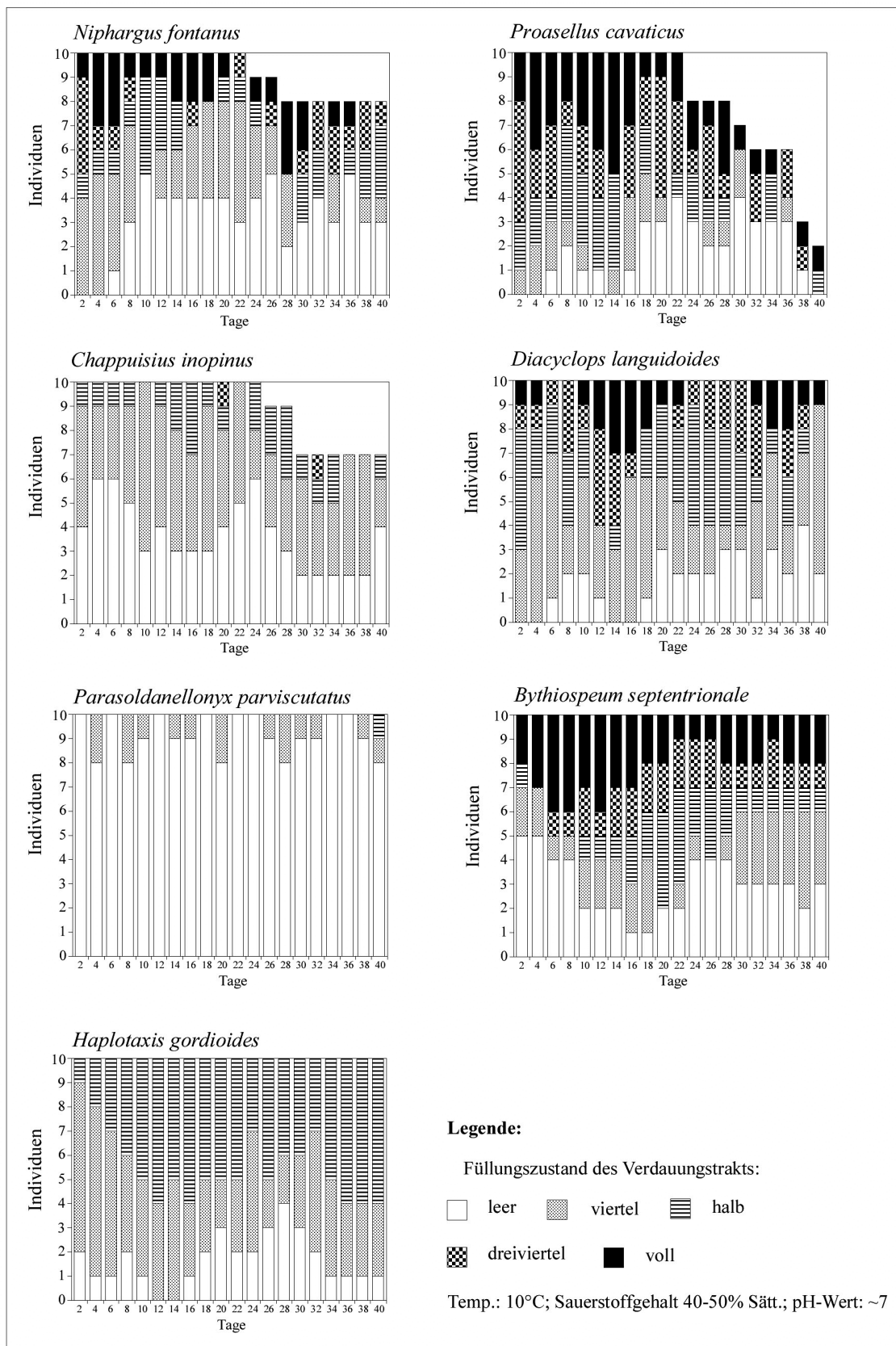


Abb. 26: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz des angebotenen Detritus



Alle anderen Individuen hatten vollständig bis viertel gefüllte Därme. Die Ergebnisse der Freßversuche mit Eschenblättern sind grafisch in Abb. 27 dargestellt. Gemessen am Füllungszustand des Darms zeigte sich bei *Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus*, *Chappuisius inopinus* und etwas schwächer noch bei *Diacyclops languidoides*, daß Eschenblätter als Futter sehr gut geeignet sind. Selbst *Parasoldanellonyx parviscutatus*, *Haplotaxis gordioides* und *Bythiospeum septentrionale* fraßen in geringem Umfang an den Eschenblättern.

#### 5.1.4 Ahorn

Obwohl die Ahornblätter in gleicher Weise wie die Eschenblätter zubereitet wurden, sind die Resultate im Vergleich dazu völlig verschieden. Von keiner der untersuchten Arten wurden die Ahornblätter gut aufgenommen. Lediglich 2 Individuen von *Niphargus fontanus* hatten an 3 Terminen jeweils gefüllte Därme. Viel häufiger traten jedoch Tiere mit leeren Därmen auf. Völlig verweigert wurde Ahorn von *Parasoldanellonyx parviscutatus*. Nur geringfügig gefressen haben *Diacyclops languidoides*, *Chappuisius inopinus*, *Bythiospeum septentrionale* und *Haplotaxis gordioides*. Auf die beiden Crustaceen *Chappuisius inopinus* und *Proasellus cavaticus* scheint sich der Verzehr von Ahorn sogar negativ auszuwirken, denn bei beiden Arten starben innerhalb von 32 Tagen jeweils 8 der 10 eingesetzten Individuen. Die Ergebnisse der Futterwahlversuche mit Ahorn sind in Abb. 28 grafisch dargestellt.

#### 5.1.5 Kotballen (Faecal Pellets)

Den 4 Krebsarten *Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus*, *Chappuisius inopinus* und *Diacyclops languidoides* und der Schnecke *Bythiospeum septentrionale* wurden Kotballen, die von *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* stammten verabreicht. Es sollte geklärt werden, ob deren Pellets von ihnen selbst und von anderen, kleineren Arten gefressen werden können. Die Ergebnisse sind in Abb. 29 dargestellt.

Die deutlichste Präferenz für die eigenen Kotballen zeigt *Proasellus cavaticus*. Obwohl während des gesamten Experimentzeitraums bis zu 8 Individuen mit leerem Darm zu finden waren, wurden andererseits an 11 Terminen bis zu 3 Tiere mit vollständig gefülltem Darm gefunden. Bis auf eine Ausnahme hatten alle Tiere immer neu aufgenommene Pellets im Darm. Koprophagie scheint im Falle der Grundwasserassel *Proasellus cavaticus* eine zusätzliche Ernährungstrategie zu sein.

Bei *Niphargus fontanus* scheint dies nicht zuzutreffen. Die eigenen Pellets wurden vereinzelt zwar aufgenommen, aber nie wurden Tiere mit vollständig gefülltem Darm beobachtet. Lediglich einmal wurde ein Tier mit halbgefülltem Darm angetroffen, ansonsten während des gesamten Versuchs 6-9 von 10 Individuen mit leeren Därmen.

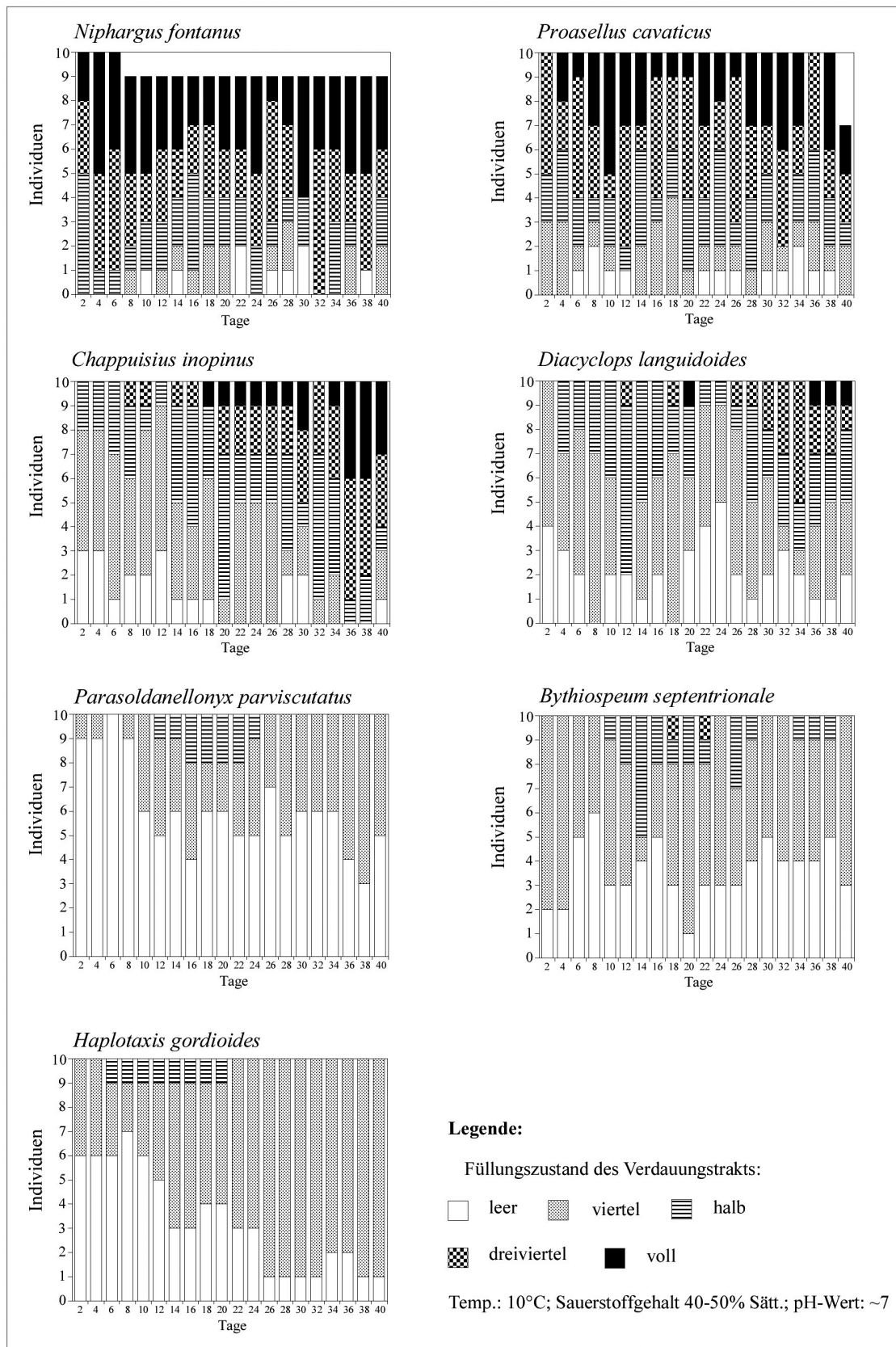
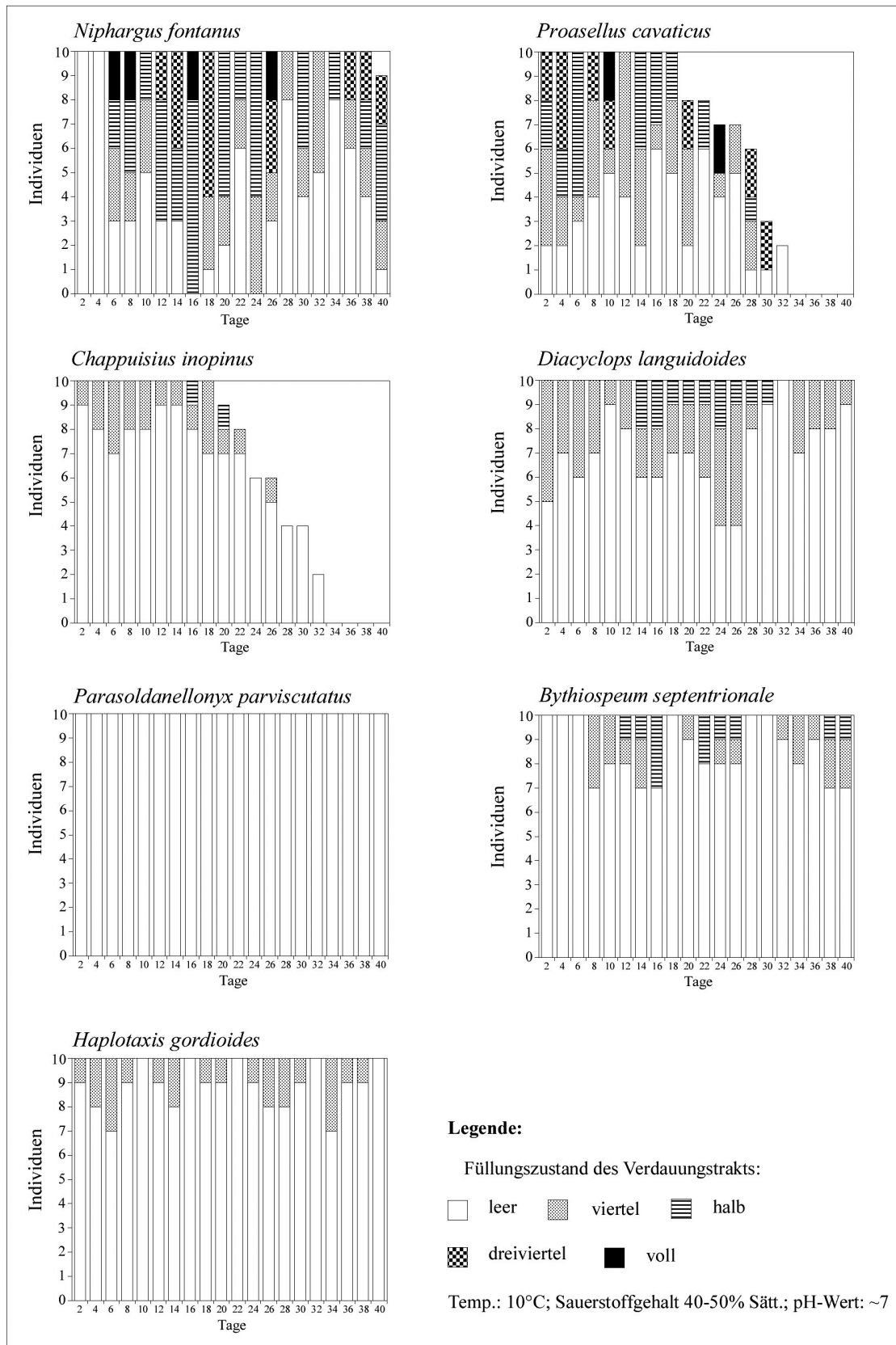
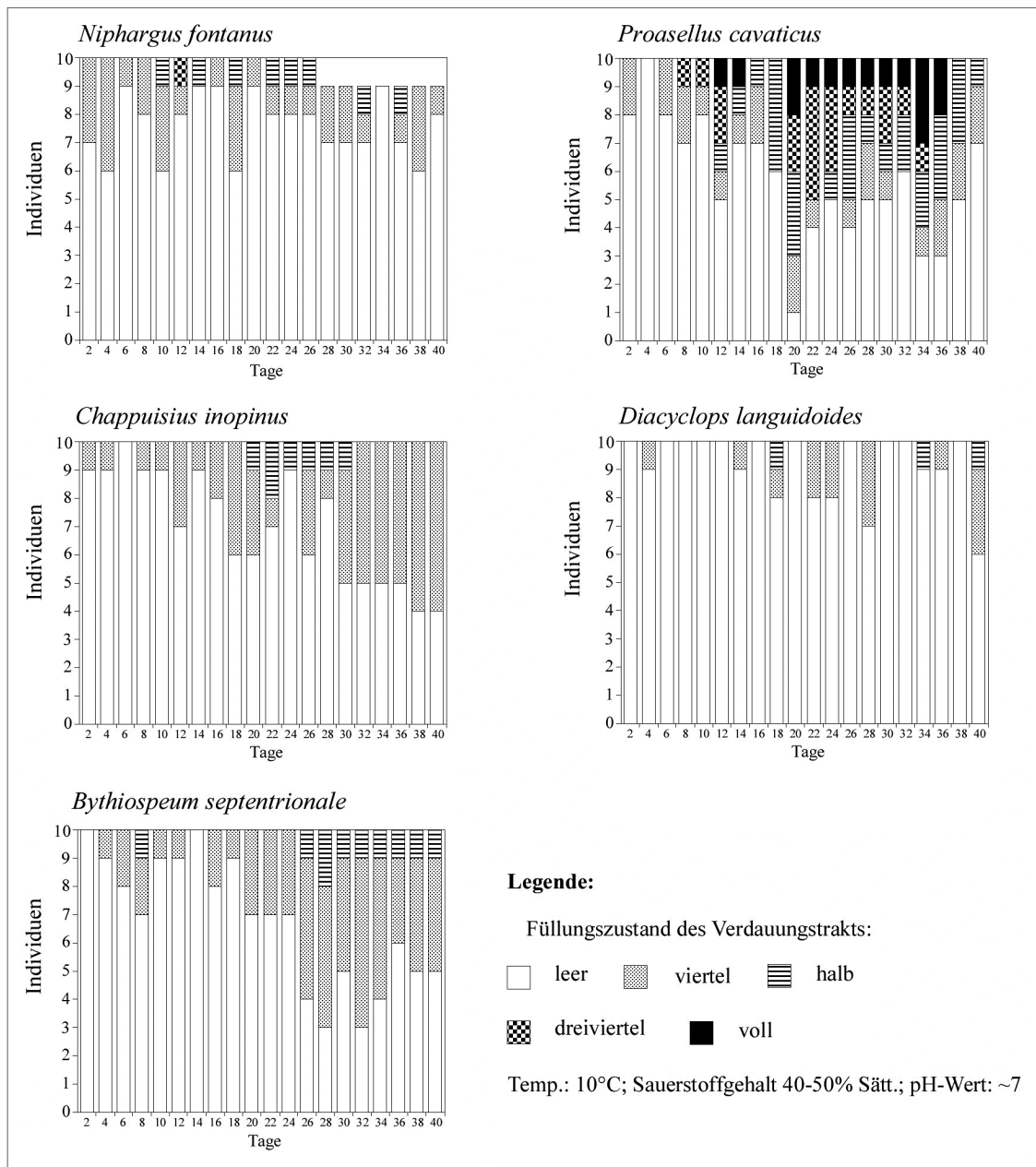


Abb. 27: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der angebotenen Eschenblätter



**Abb. 28:** Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der angebotenen Ahornblätter



**Abb. 29:** Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der angebotenen Kotballen

Den beiden Copepoda-Arten *Chappuisius inopinus* und *Diacyclops languidoides* und der Grundwasserschnecke *Bythiospeum septentrionale* wurde ein Pelletgemisch angeboten, das von *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* stammte. Als Ergebnis läßt sich festhalten, daß alle 3 Arten Pellets fraßen. *Diacyclops languidoides* zeigte die geringste Neigung, während die meisten Individuen der beiden anderen Arten viertel- bis halb gefüllte Därme aufwiesen. Es traten bei beiden Arten während des gesamten Experiments aber auch Individuen mit leeren Därmen auf: 4-10 Individuen bei *Chappuisius inopinus* und 3-10 Individuen bei *Bythiospeum septentrionale*.

### 5.1.6 Fischfutter

Um herauszufinden, ob handelsübliches Fischfutter eine geeignete Nahrung darstellt, wurden Vorversuche mit *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* durchgeführt. Es wurden 4 verschiedene Fischfuttersorten angeboten (s. Abb. 30). Die Ergebnisse zeigen, daß keine der angebotenen Futtersorten geeignet war, da die meisten Individuen beider Krebsarten während des Experiments starben. Nach 36 Tagen waren alle Tiere tot. Lediglich in 3 Fällen wurde überhaupt von den Fischfuttersorten gefressen: Sera veriformo und Sera goldy von *Niphargus fontanus* und Vitakraft von *Proasellus cavaticus*. Vermutlich sind alle angebotenen Fischfuttersorten zu nährstoffreich für die an oligotrophe Verhältnisse adaptierten Grundwasserkrebse. Die Futtersorte Sera san schien sich sogar toxisch auf die Krebse auszuwirken, denn nach 8-10 Tagen waren 50% der Tiere tot. Fischfutter erwies sich als völlig ungeeignete Nahrungsquelle für *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus*.

### 5.1.7 Oligochaeta (*Enchytraeus fragmentosus*)

Viele Grundwassertiere sind vermutlich omnivor, d.h. sie fressen neben Pflanzen und Detritus auch Beuteorganismen. Um herauszufinden, ob die Arten *Niphargus fontanus*, *Proasellus cavaticus* und *Parasoldanellonyx parviscutatus* räuberisch sind, wurden ihnen als potentielle Beuteorganismen Exemplare des bis zu 1,2cm großen Oligochaeten *Enchytraeus fragmentosus* angeboten. Während *Niphargus fontanus* eine deutliche Vorliebe für die Würmer zeigte, wurden sie von *Proasellus cavaticus* nur sporadisch und von *Parasoldanellonyx parviscutatus* überhaupt nicht gefressen (s. Abb. 31). Während des Experiments fraßen die 10 Individuen von *Niphargus fontanus* 287 Enchytraeidae, die 10 Individuen von *Proasellus cavaticus* lediglich 16 Würmer.

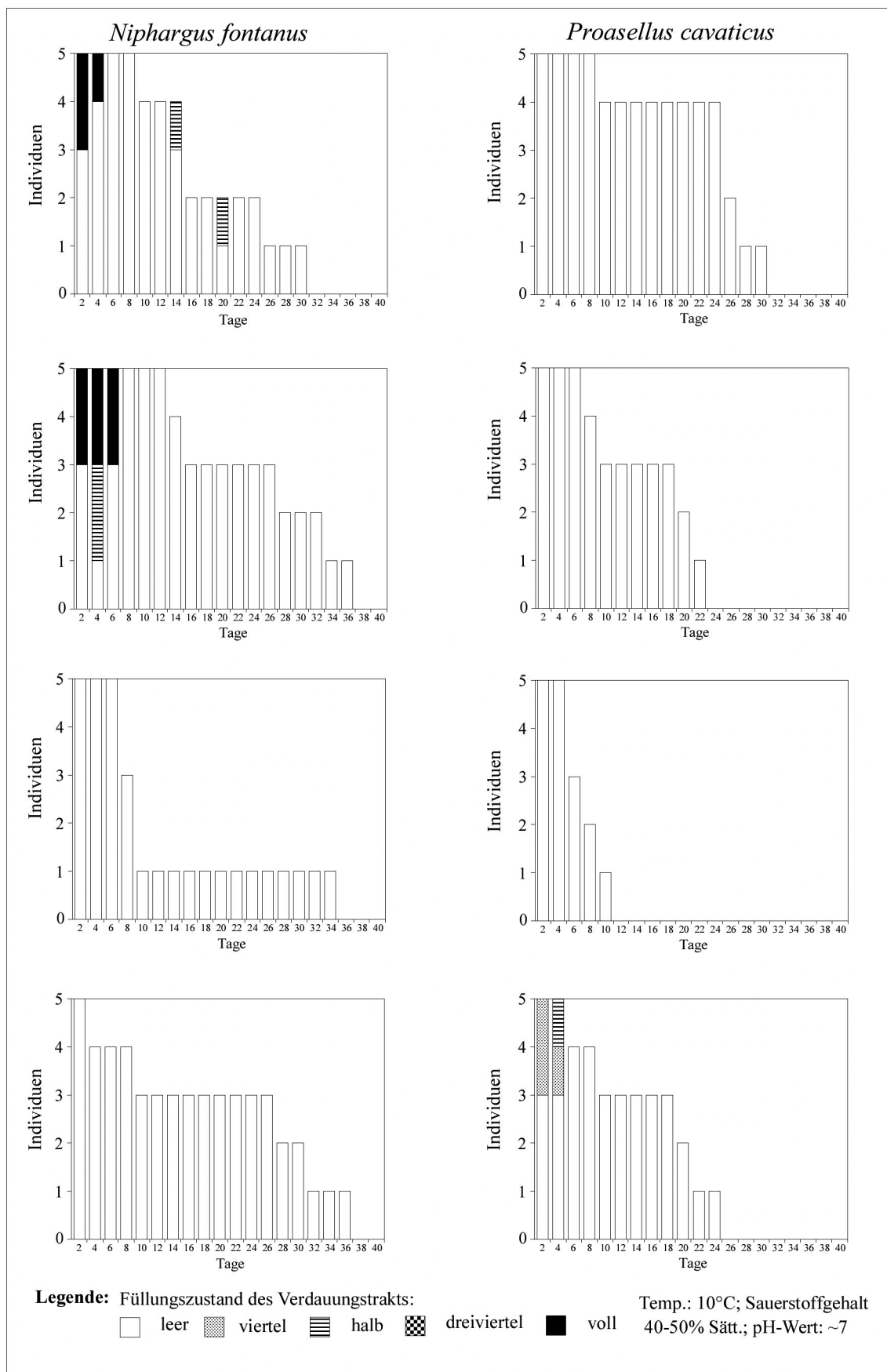


Abb. 30: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz des angebotenen Fischfutters

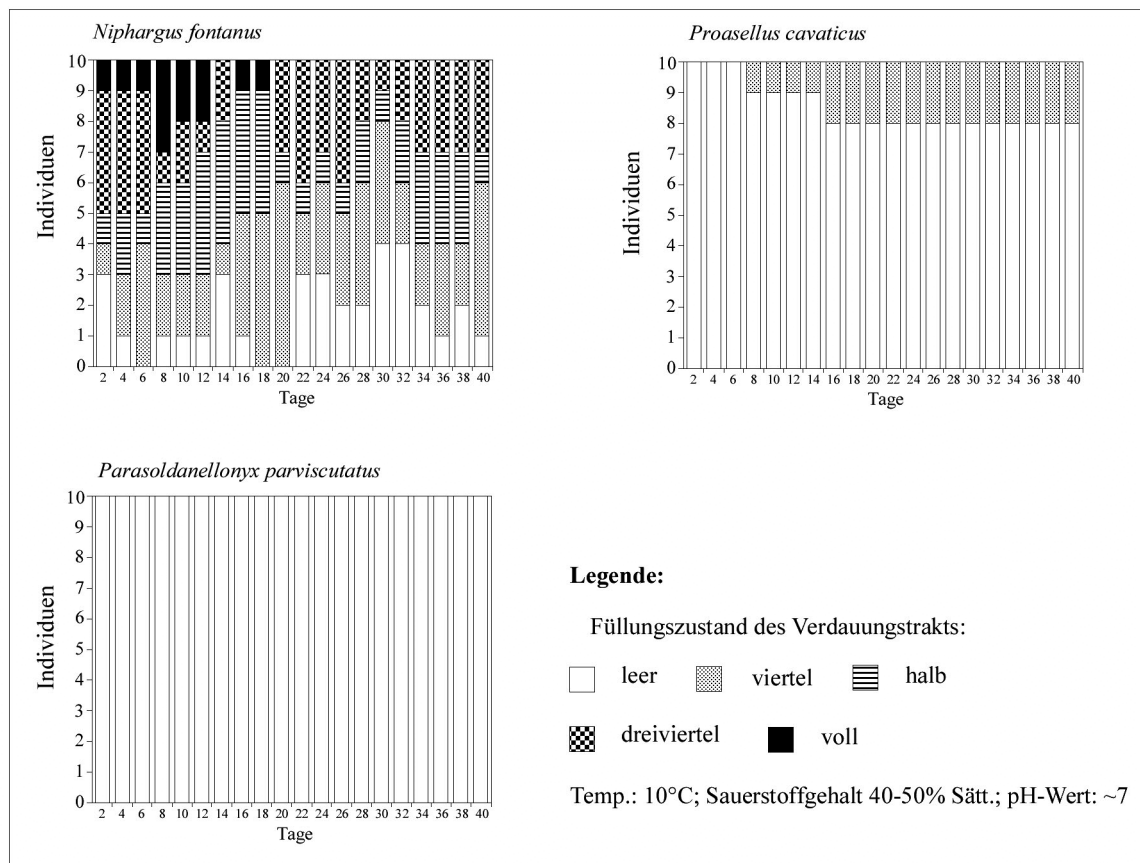


Abb. 31: Füllungszustand des Darms der Untersuchungsorganismen als Maß für die Akzeptanz der angebotenen Oligochaeta (*Enchytraeus fragmentosus*)

### 5.1.8 Zusammenfassung der Futterwahlexperimente

Die Ergebnisse der Futterwahlexperimente sind in Tab. 7 zusammengefaßt. Sie zeigt, daß vorbehandelte Eschenblätter gut geeignet waren, um sie in Freßexperimenten einzusetzen. Besonders die Crustaceen nahmen die Eschenblätter gut auf.

Tab. 7: Beurteilung der Akzeptanz der eingesetzten Futtersorten durch die untersuchten Arten

++ - Futter wird gut bis sehr gut akzeptiert; ÷ - Futter wird gefressen; – - Futter wird kaum oder nicht gefressen; k. A. - keine Angabe möglich

| Futter/ Art                            | Faden-algen | Detritus | Esche | Ahorn | Kot-ballen | Fisch-futter | Oligochaeta ( <i>E. fragmentosus</i> ) |
|----------------------------------------|-------------|----------|-------|-------|------------|--------------|----------------------------------------|
| <i>Niphargus fontanus</i>              | ÷           | ÷        | ++    | ÷     | ÷          | –            | ++                                     |
| <i>Proasellus cavaticus</i>            | ÷           | ÷        | ++    | ÷     | ++         | –            | ÷                                      |
| <i>Chappuisius inopinus</i>            | ÷           | ÷        | ++    | ÷     | ÷          | k. A.        | k. A.                                  |
| <i>Diacyclops languidoides</i>         | ÷           | ++       | ++    | ÷     | –          | k. A.        | k. A.                                  |
| <i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i> | –           | –        | ÷     | –     | ?          | k. A.        | –                                      |
| <i>Bythiospeum septentrionale</i>      | –           | ++       | ÷     | –     | ÷          | k. A.        | k. A.                                  |
| <i>Haplotaxis gordioides</i>           | ÷           | ÷        | ÷     | –     | k. A.      | k. A.        | k. A.                                  |

Ferner zeigte *Niphargus fontanus* eine große Vorliebe für tierische Nahrung. *Proasellus cavaticus* erwies sich als bedingt räuberisch und *Parasoldanellonyx parviscutatus* verweigert die angebotenen Oligochaeta. *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale* zeigten eine eindeutige Präferenz für Detritus. Das Fadenalgengemisch, die vorbehandelten Ahornblätter und das Fischfutter erwiesen sich für die hier untersuchten Arten als ungeeignetes Futter.

## **5.2 Charakterisierung der Eschenblätter**

Im weiteren Verlauf wurden Freßexperimente durchgeführt, um die Umsatzrate von *Niphargus fontanus* zu charakterisieren. Die Experimente wurden mit Eschenblättern als Futter durchgeführt. Damit eine anschließende Bilanzierung des Stoffumsatzes erfolgen kann, wurden zunächst die Eschenblätter näher untersucht. Dazu wurde das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N) und das Verhältnis von Frischgewicht zu Trockengewicht (FG/TG) bestimmt. Fallen Blätter oder andere Bestandteile der Vegetation ins Wasser, wird ein Teil ihrer wasserlöslichen, organischen Substanz ausgewaschen. Dieser Effekt wird in der Literatur als „leaching“ bezeichnet. Für quantitative Betrachtungen, die auf Gewichtsunterschieden beruhen, ist es wichtig, die Menge der ausgewaschenen Substanz zu quantifizieren.

### **5.2.1 C/N-Verhältnis**

Die C- und N-Anteile und das daraus resultierende C/N-Verhältnis der eingesetzten Eschenblätter sind in Abb. 32 dargestellt. Die Kohlenstoffanteile der Eschenblätter lagen zwischen 37,64 und 58,04. Im Mittel betrugen sie 45,54. Die Stickstoffanteile schwankten zwischen 3,16 und 5,04 und befanden sich im Mittel bei 4,0. Daraus resultierte ein mittleres C/N-Verhältnis von 11,38. Die Verhältniswerte schwankten zwischen 10,52 und 11,90.

### **5.2.2 Verhältnis von Frischgewicht und Trockengewicht**

Die Eschenblattscheiben (Durchmesser 10mm) wiesen ein mittleres Frischgewicht von 17,94mg pro Scheibe auf. Die Werte reichten von minimal 15,9mg bis maximal 21,5mg pro Blattscheibe. Die Trockengewichte lagen im Mittel bei 4,08mg pro Blattscheibe. Der kleinste erhaltene Wert betrug 3,27mg, der größte 5,58mg pro Blattscheibe. Der mittlere prozentuale Anteil des Trockengewichts am Frischgewicht beträgt 22,7%. Die in Abb. 33 dargestellte lineare Regression wies ein Bestimmtheitsmaß von 0,5462 auf und deutete so einen schwachen Zusammenhang zwischen Frisch- und Trockengewicht bei den Blattscheiben an.



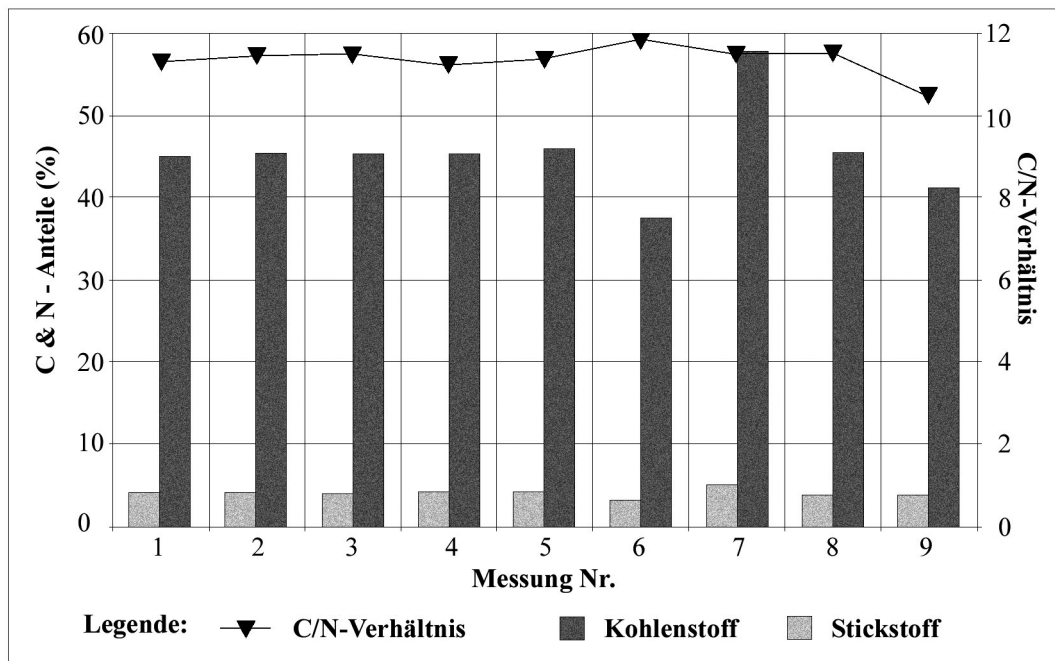


Abb. 32: C/N-Verhältnis der Eschenblätter

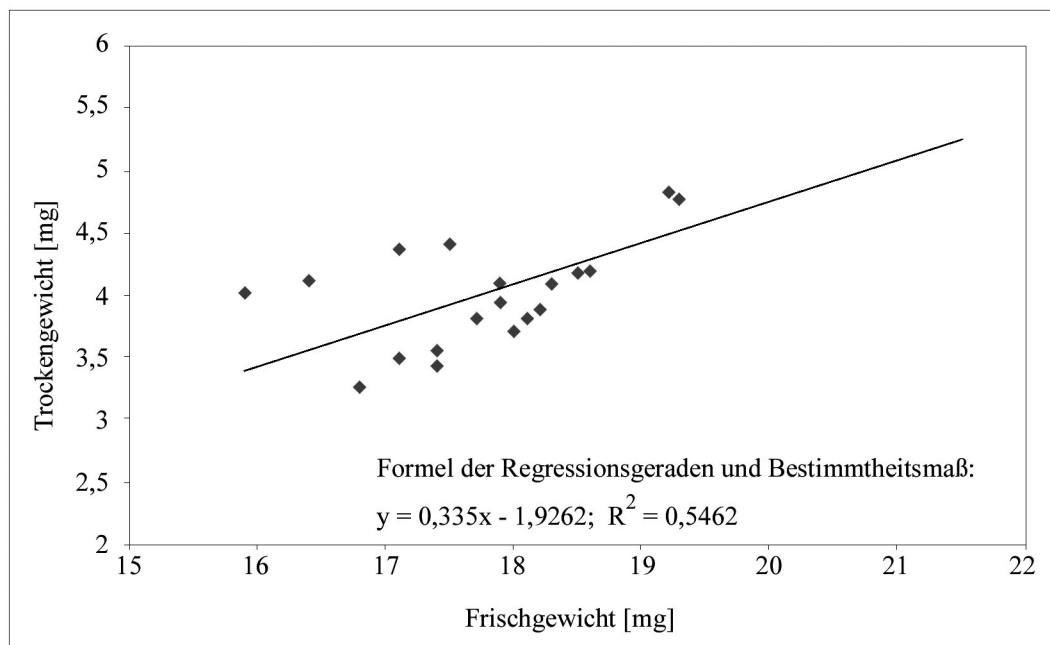


Abb. 33: Verhältnis von Frischgewicht zu Trockengewicht bei Eschenblattscheiben

### 5.2.3 Leaching

In 16 Versuchsansätzen wurden getrocknete Blattscheiben in Wasser gelegt und dort für 50 Tage belassen. Die Versuchsansätze wurde genauso behandelt, wie diejenigen aus den Freßexperimenten. Nach Ablauf der 50 Tage wurden die Blattscheiben erneut getrocknet und gewogen. Die Gewichts differenzen der 16 Blattscheiben vor und nach dem Experiment sind in

Abb. 34 dargestellt. Der Auswaschungsgrad betrug zwischen 0,01mg und 0,102mg bzw. 0,024% und 2,38% ausgehend von der Masse der Blattscheiben bei Experimentbeginn. Der Mittelwert für die Gewichtseinheiten lag bei 0,055mg resp. 1,20%. Als Fazit läßt sich festhalten, daß die untersuchten Eschenblattscheiben sehr wenig organische Substanz unter den gegebenen Experimentbedingungen freisetzten (10°C; 40-50% Sauerstoffsättigung; pH ~7).

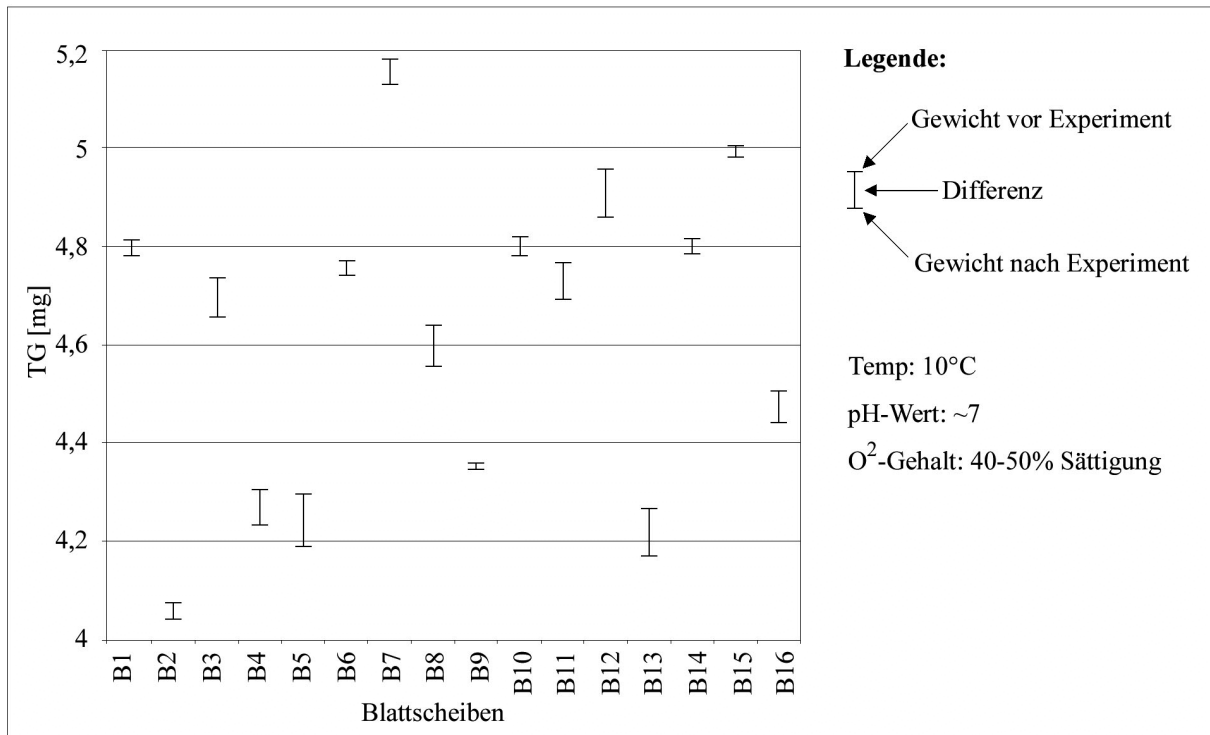


Abb. 34: Gewichtsverlust von Eschenblattscheiben nach 50-tägiger Exposition in Wasser

### 5.3 Untersuchungen am Grundwasseramphipoden *Niphargus fontanus*

Vor der Ermittlung der Freß- und Pelletproduktionsraten wurde eine Reihe grundlegender Daten von der untersuchten Art *Niphargus fontanus* erhoben. Es wurde jeweils das Verhältnis von Länge zu Trockengewicht und von Frischgewicht zu Trockengewicht bestimmt. Die mittleren Darmpassagezeiten bei der Ernährung mit Eschenblättern und die Überlebensdauer von *Niphargus fontanus* im Hungerexperiment wurden ermittelt.

#### 5.3.1 Hungerexperiment

Der Versuch sollte einen Eindruck davon verschaffen, wie lange *Niphargus fontanus* ohne Nahrungsaufnahme überlebensfähig ist. Dazu wurden 30 Individuen unter standardisierten Versuchsbedingungen (s. Abb. 35) beobachtet. Die Tiere wurden alle 2-3 Tage kontrolliert. Während der Kontrollen wurde das Hälterungswasser gewechselt und der Zustand der Individuen protokolliert. Bei 4 Tieren traten während des Experimentverlaufs schwarze Flecken auf der Cuticula auf. Diese Flecken stellen eine Erkrankung der Tiere dar, die vorzugsweise an den distalen Bereichen der Extremitäten auftrat und sich nach proximal

ausbreitete. Sie ist auch von anderen Niphargen (z.B. *Niphargus virei*) bekannt (Gibert 1977). Erkrankte Tiere wurden bei der Auswertung nicht weiter berücksichtigt, da bei ihnen nicht mehr von unbeeinflussten, natürlichen Verhältnissen ausgegangen werden konnte. In die Auswertung der Hungerexperimente flossen somit 26 Individuen ein. Nach 115 Tagen waren 50% der Tiere gestorben und nach 202 Tagen 100% (s. Abb. 35).

Es ließen sich grob 3 Phasen unterteilen: In der ersten Phase vom Tag 1-24 starben die ersten 7 Individuen (27% der Versuchstiere). In der 2. Phase, die 162 Tage andauerte, ist eine kontinuierliche Sterberate zu verzeichnen, die bei Tag 186 endet. In dieser Phase starben 46% der Tiere. Die längste Phase, in der kein Tier starb, dauert insgesamt 35 Tage und liegt zwischen dem 24. und 59. Tag. Die verbleibenden 7 Individuen (27%) starben in den letzten 16 Tagen, 6 davon in den Tagen 192 bis 202.

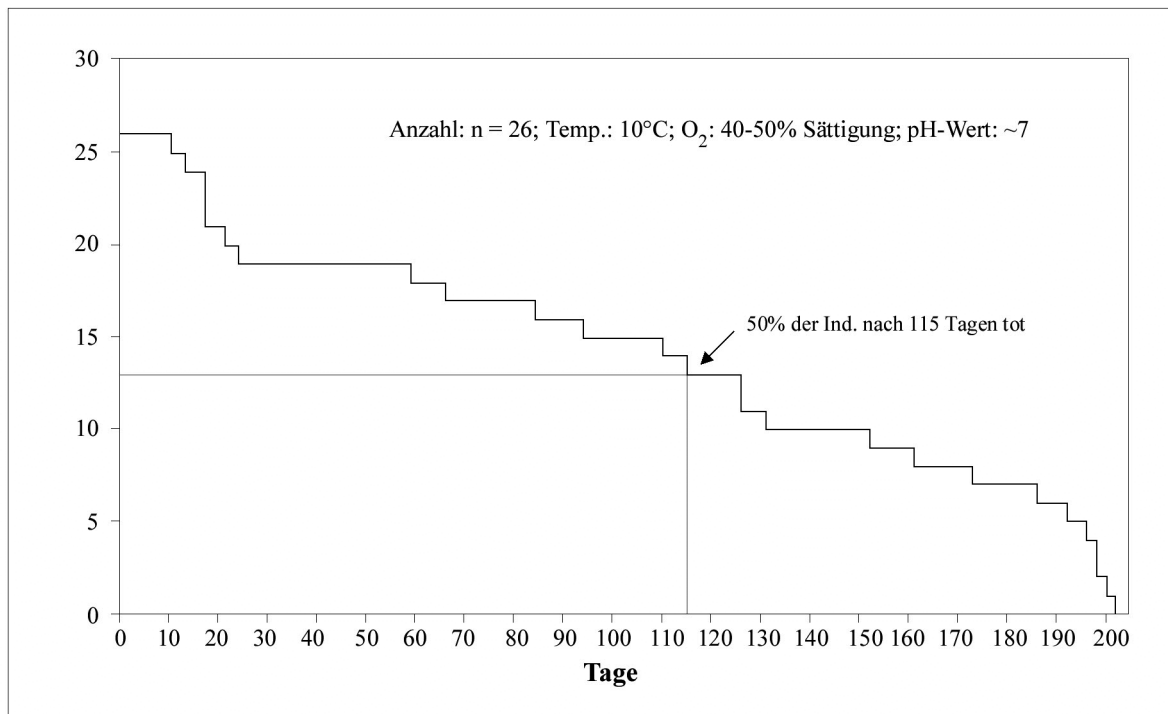
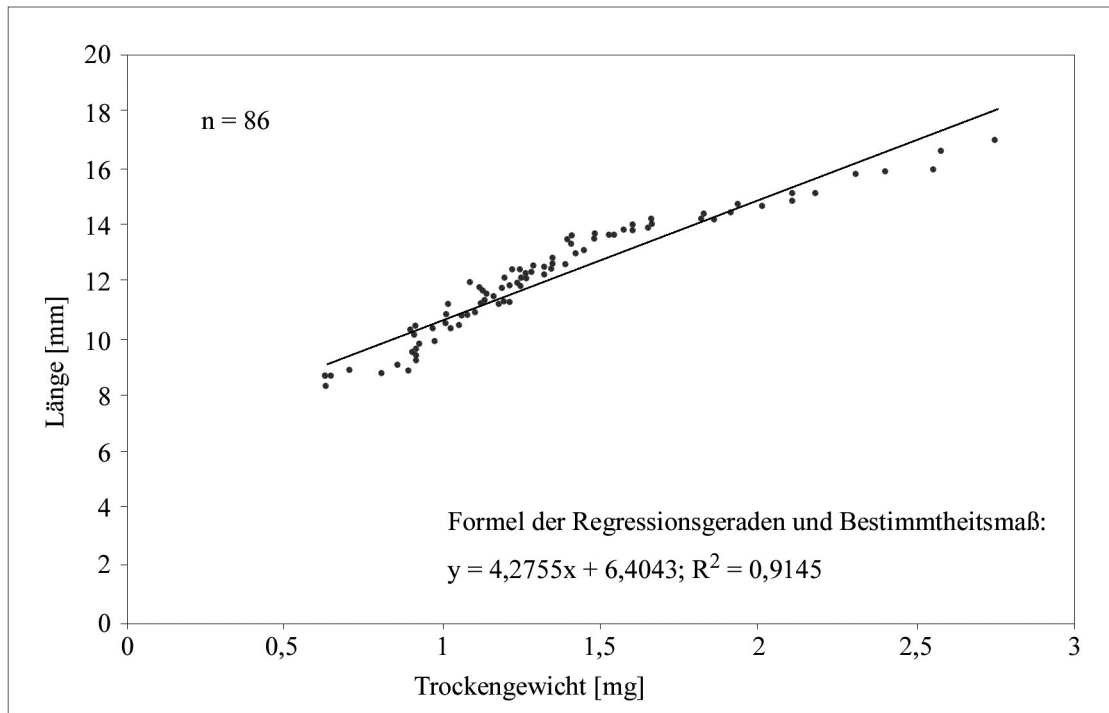


Abb. 35: Sterberate von *Niphargus fontanus* im Hungerexperiment

### 5.1.2 Verhältnis von Länge und Trockengewicht bei *Niphargus fontanus*

Das Länge/Trockengewicht-Verhältnis von 86 Individuen der Art *Niphargus fontanus* (29 ♀♀ und 57 ♂♂) ist in Abb. 36 dargestellt. Aus der Formel der Regressionsgeraden und dem berechneten Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 0,915$ ) läßt sich erkennen, daß Länge und Trockengewicht bei *Niphargus fontanus* in einem engen Zusammenhang standen. Dies traf für beide Geschlechter zu. Das mittlere Trockengewicht betrug 1,65mg (Median), die Werte streuten zwischen 0,63mg (Minimum) und 2,75mg (Maximum). Die Längen schwankten zwischen 8,28mm (Minimum) und 17,04mm (Maximum) und betrugen im Mittel 12,14mm (Median).



Anm: (n=86 – Anzahl der untersuchten Individuen)

**Abb. 36: Länge-Trockengewicht-Verhältnis von *Niphargus fontanus***

### 5.1.3 Beziehung von Frisch- zu Trockengewicht bei *Niphargus fontanus*

Die Beziehung von Frischgewicht zu Trockengewicht wurde bei 25 Individuen von *Niphargus fontanus* untersucht. Dazu wurden die Tiere betäubt (2 Min. in kohlensäurehaltigem Mineralwasser), danach für 10 Min. auf Löschpapier gelegt und anschließend gewogen. Nach 24h im Trockenschrank (60°C) wurden die Tiere erneut gewogen. Aus den erhaltenen Daten wurden die Verhältniswerte berechnet und in Abb. 37 dargestellt. Die Tiere wiesen ein mittleres Frischgewicht von 7,57mg auf. Die Extremwerte betrugen 4,35mg (Minimum) und 10,66mg (Maximum). Betrachtet man den prozentualen Anteil des Trockengewichts am Frischgewicht, ergaben sich folgende Verhältniswerte: Im Mittel (Median) belief sich die Trockenmasse auf 14,38% des Frischgewichts. Die Werte schwankten zwischen 19,67% (Maximum) und 11,89% (Minimum).

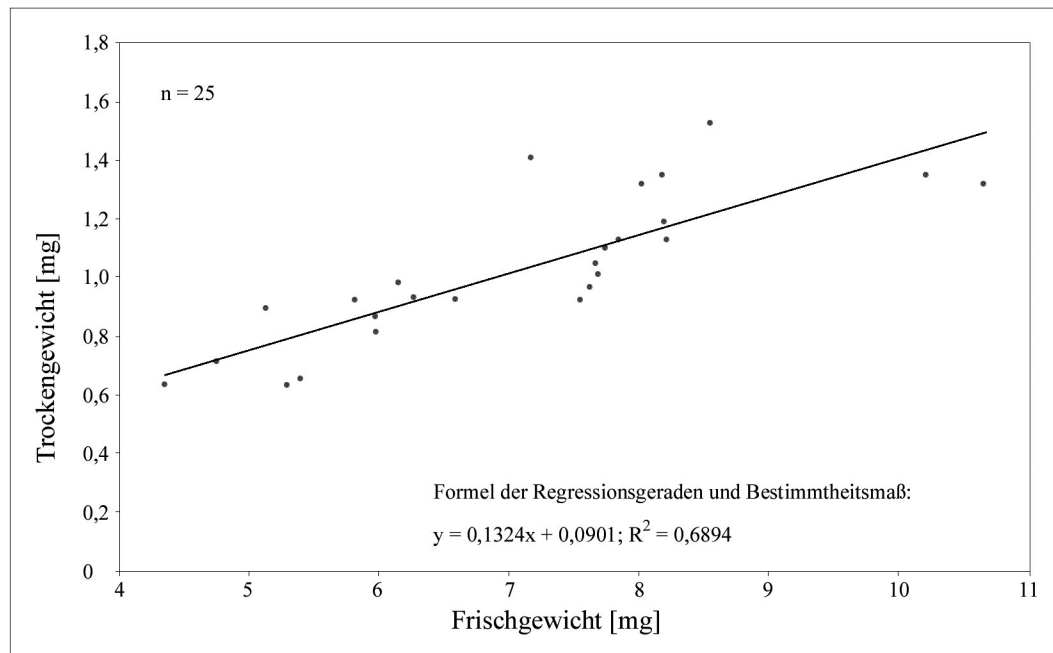
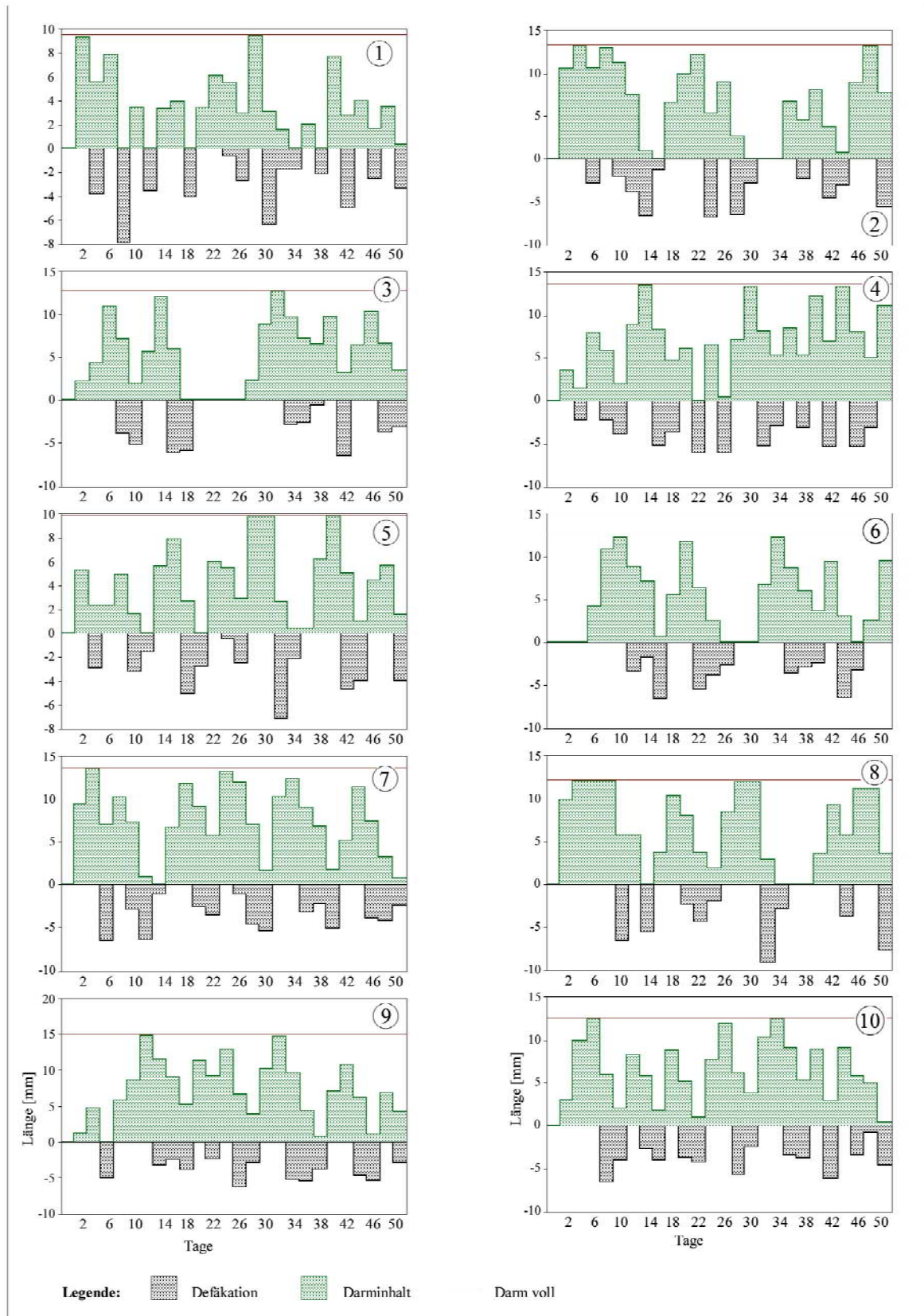


Abb. 37: Frischgewicht-Trockengewicht Verhältnis von *Niphargus fontanus*

#### 5.1.4 Darmpassagezeiten von *Niphargus fontanus*

Die Darmpassagezeiten von 10 adulten Männchen wurden im 50-tägigen Versuch ermittelt. Dazu wurden der Darminhalt und die Längen der produzierten Kotballen ausgemessen. Vor dem Experiment wurde darauf geachtet, daß die Därme der Versuchstiere vollständig entleert waren. Als Futter dienten Eschenblattscheiben. Die Ergebnisse sind in Tab. 23 (Anhang) und in Abb. 38 dargestellt. Die Aufnahme der Nahrung und die Abgabe der Pellets erfolgten unregelmäßig. Phasen, in denen der Darm gefüllt war, wechselten mit solchen, in denen er leer war. Komplett gefüllte und vollständig geleerte Därme waren selten (siehe dazu die roten Linien in Abb. 38). Im Mittel waren die Därme der Tiere stets halb gefüllt. Vom Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme bis zum Tag der Pelletabgabe vergingen 2-6 Tage. Länger als 6 Tage wurde die Nahrung nicht im Darm behalten. Aus Tab. 23 läßt sich entnehmen, das die maximale Durchsatzrate individuell verschieden und unabhängig von der Größe der Tiere war. Die höchste Durchsatzrate (Aufnahme: 65,05mm ↔ Abgabe: 53,88mm) wies Tier Nr. 4 auf, daß 15,5mm lang war. Im Vergleich dazu setzte das längste Tier (Nr. 9; 17,3mm) weniger um (Aufnahme: 56,81 ↔ Abgabe: 52,26).



Anmerkung: Die Defäkationsrate wurde durch Ausmessen der Kotballen bestimmt und als Negativbilanz den Darminhaltswerten gegenübergestellt. Die rote Linie markiert den maximalen Füllungszustand des Verdauungstrakts

**Abb. 38:** *Darmpassagezeiten 10 adulter Männchen von Niphargus fontanus*

## 5.4 Konsum und Pelletproduktion von *Niphargus fontanus*

Die Ergebnisse der Freßexperimente für alle Einzeltiere sind im Anhang in den Tabellen 24-27 aufgeführt. Dort finden sich auch alle individuenbezogenen Daten wie z.B. Länge oder Körpergewicht und die wichtigsten statistischen Angaben wie arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Median, Varianz und Standardfehler. Die Berechnung des arithmetischen Mittels ist nur zulässig, wenn die zugrundeliegenden Daten normalverteilt sind, was mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test (Lozan 1992) geprüft wurde.

### 5.4.1 Effektivität der Freßexperimente – Verhältnis von eingesetzten und ausgewerteten Ansätzen

Die Freßexperimente mit *Niphargus fontanus* wurden in 2 Experimentansätzen mit 200 Individuen bei 10°C und mit 100 Individuen bei 14°C durchgeführt.

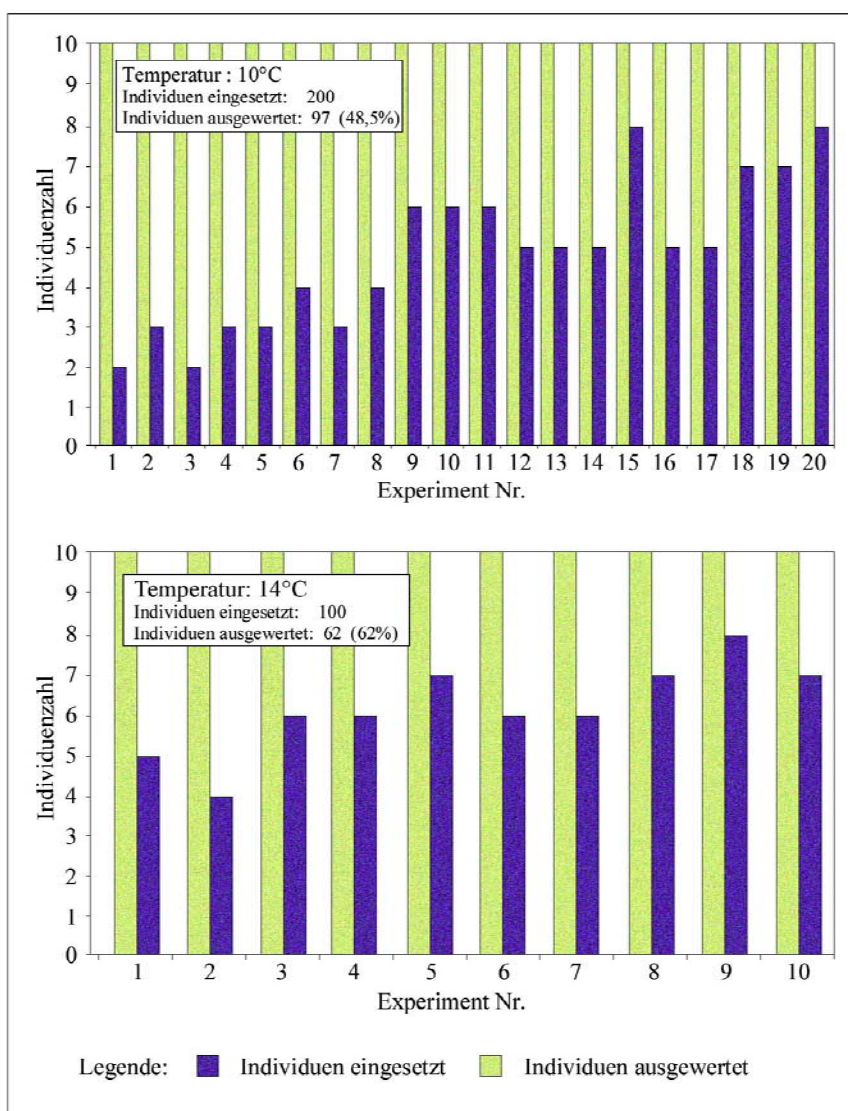


Abb. 39: Verhältnis von eingesetzten und ausgewerteten Ansätzen in den Freßexperimenten



Von den eingesetzten Individuen konnten für die Auswertung nur 97 Individuen (bei 10°C) resp. 62 Individuen (bei 14°C) berücksichtigt werden. Das Verhältnis von eingesetzten zu ausgewerteten Individuen beider Experimentreihen ist in Abb. 39 dargestellt. Es stellt sich die Frage, warum das Verhältnis von eingesetzten und auswertbaren Versuchstieren differiert?

Als erster Punkt ist zu nennen, daß einige der eingesetzten Tiere im Verlauf des Experiments starben. Da unklar ist, inwiefern sich prämortale Veränderungen auf das Freßverhalten der Tiere auswirken, wurden die Daten dieser gestorbenen Tieren nicht ausgewertet. Andere Tiere erkrankten im Verlauf des Experiments (s. a. Kap. 5.3.1). Dies bedeutete eine weitere, nicht kalkulierbare Störgröße. Aus diesem Grund wurden auch die Daten dieser Individuen nicht berücksichtigt.

Zum Dritten ist anzufügen, daß einige Individuen während des gesamten Experimentverlaufs nicht fraßen. Trotz intensiver Ursachenforschung und dem stetigen Bemühen, die Experimentbedingungen zu optimieren, kann keine durch die Versuchsbedingungen begründete Erklärung gefunden werden. Auf diese Problematik wird in der Diskussion einzugehen sein. Für eine Auswertung blieben demnach die unbeeinflussten Individuen übrig. Diese lieferten die Datengrundlage für die folgenden Ausführungen.

#### 5.4.2 Konsumierte Futtermenge

In Tab. 8 sind die konsumierten Futtermengen der Männchen und Weibchen für 10°C und 14°C aufgeführt. Die 29 untersuchten Weibchen konsumierten im 50-tägigen Experiment bei 10°C insgesamt 32,441mg der angebotenen Eschenblätter.

Tab. 8: Durchschnittlicher Futterkonsum von *Niphargus fontanus* bei 10°C und 14°C

| Temperatur<br>Geschlecht           | 10°C  |        | 14°C  |       |
|------------------------------------|-------|--------|-------|-------|
|                                    | ♀♀    | ♂♂     | ♀♀    | ♂♂    |
| Individuenzahl                     | 29    | 68     | 21    | 41    |
| Σ Futter konsumiert [mg TG]        | 32,44 | 79,98  | 24,60 | 56,97 |
| Σ TG Tiere [mg TG]                 | 47,87 | 121,32 | 34,56 | 66,26 |
| Futterkonsum / Tier [mg TG]        | 1,12  | 1,18   | 1,17  | 1,39  |
| Futterkonsum / mg TG (Tier) [mg]   | 0,68  | 0,66   | 0,71  | 0,90  |
| Futterkonsum / Tier*Tag [µg]       | 22,4  | 23,6   | 23,4  | 27,8  |
| Futterkonsum / mgTG(Tier)*Tag [µg] | 13,6  | 13,2   | 14,24 | 18,1  |

Dies ergab eine durchschnittlich konsumierte Menge von 1,12mg Futter pro Tier bzw. 0,68mg pro mg TG (Tiere) während der gesamten Experimentdauer. Der Futterkonsum pro Tier und Tag ergab für die Weibchen bei 10°C eine durchschnittliche gefressene Menge von 22,4µg\*d<sup>-1</sup> TG pro Tier bzw. 13,6µg\*d<sup>-1</sup> TG pro mg Tier. Im Vergleich dazu fraßen daß die 68 Männchen



bei 10°C insgesamt 79,98mg, was einer durchschnittlich konsumierten Menge von 1,18mg pro Männchen im 50-tägigen Experiment. Bezogen auf die Biomasse der Männchen zeigt sich, daß die sie 0,66mg TG in 50 Tagen gefressen haben, also etwas weniger als die Weibchen.

Bei 14°C konsumierten die 21 Weibchen insgesamt 24,59 mg Futter, durchschnittlich 1,17mg pro Tier bzw. 0,71mg TG. Der Futterkonsum der Weibchen pro Tag und Tier beträgt 23,4µg bzw. 14,24µg\*d<sup>-1</sup> TG pro Tier. Die Männchen verbrauchten durchschnittlich 1,39mg Futter pro Tier bzw. 0,90mg TG. Der durchschnittliche Konsum pro Tier und Tag beträgt hier 27,8µg\*d<sup>-1</sup> TG pro Tier bzw. 18,1µg \*d<sup>-1</sup> TG pro mg Tier.

Vergleicht man den Konsum von Männchen und Weibchen bei 10°, zeigt sich, daß es keinen Unterschied zwischen der täglich konsumierten Futtermenge bei den Geschlechtern gab. Bei 14°C war die täglich konsumierte Menge der Männchen etwas höher als die der Weibchen (14,24µg ↔ 18,1µg). Vergleicht man die konsumierte Futtermenge der Tiere bei 10°C mit der bei 14°C zeigt sich, daß bei 14°C mehr Material konsumiert wurde als bei 10°C. Dieser Unterschied fiel bei den Weibchen nur leicht aus (10°C: 13,6µg ↔ 14,24µg), trat bei den Männchen aber deutlicher hervor (13,2µg ↔ 18,1µg).

Betrachtet man die individuellen Schwankungen der konsumierten Mengen, zeigten sich beträchtliche Spannweiten (Tab. 24-27, Anhang). Die von einem Weibchen maximal aufgenommene Futtermenge betrug bei 10°C 2,27mg (bzw. 45,4µg\*d<sup>-1</sup>) und bei 14°C 2,01mg (bzw. 40,2µg\*d<sup>-1</sup>). Die Minimalwerte der Weibchen bei 10°C betrugen 0,177mg (3,54µg\*d<sup>-1</sup>) bzw. bei 14°C 0,182mg (3,64µg\*d<sup>-1</sup>). Auch bei den Männchen zeigten sich individuelle Unterschiede. Im 10°C Experiment war die größte konsumierte Menge pro Individuum 2,86mg (57,1µg\*d<sup>-1</sup>) und im 14°C Experiment liegt sie bei 2,41mg (48,22µg\*d<sup>-1</sup>). Die geringsten von den Männchen aufgenommenen Mengen bei 10°C betragen 0,083mg (1,66µg\*d<sup>-1</sup>) und bei 14°C 0,327mg (6,54µg\*d<sup>-1</sup>).

Der Betrachtungen der aufgenommenen Futtermengen schließt sich nun eine qualitative und quantitative Analyse der Kotballen an.

### **5.1.3 Faecal Pellets von *Niphargus fontanus***

#### **5.1.3.1 Qualitative Beobachtungen**

Faecal Pellets (Kotballen) sind keine bloßen Abfallprodukte der Verdauung sondern für eine Vielzahl von Lebenwesen von größtem Wert. Koprophagie ist ein in der Natur weitverbreitetes Phänomen. Neben der Autokoprophagie (Fressen der arteigenen Kotballen) ist noch die Koprorexie (Fressen der peritrophischen Membran) bekannt (Peters 1992). Die peritrophische Membran ist eine Besonderheit der ArthropodenPellets. Sie wird von spezialisierten Zellen

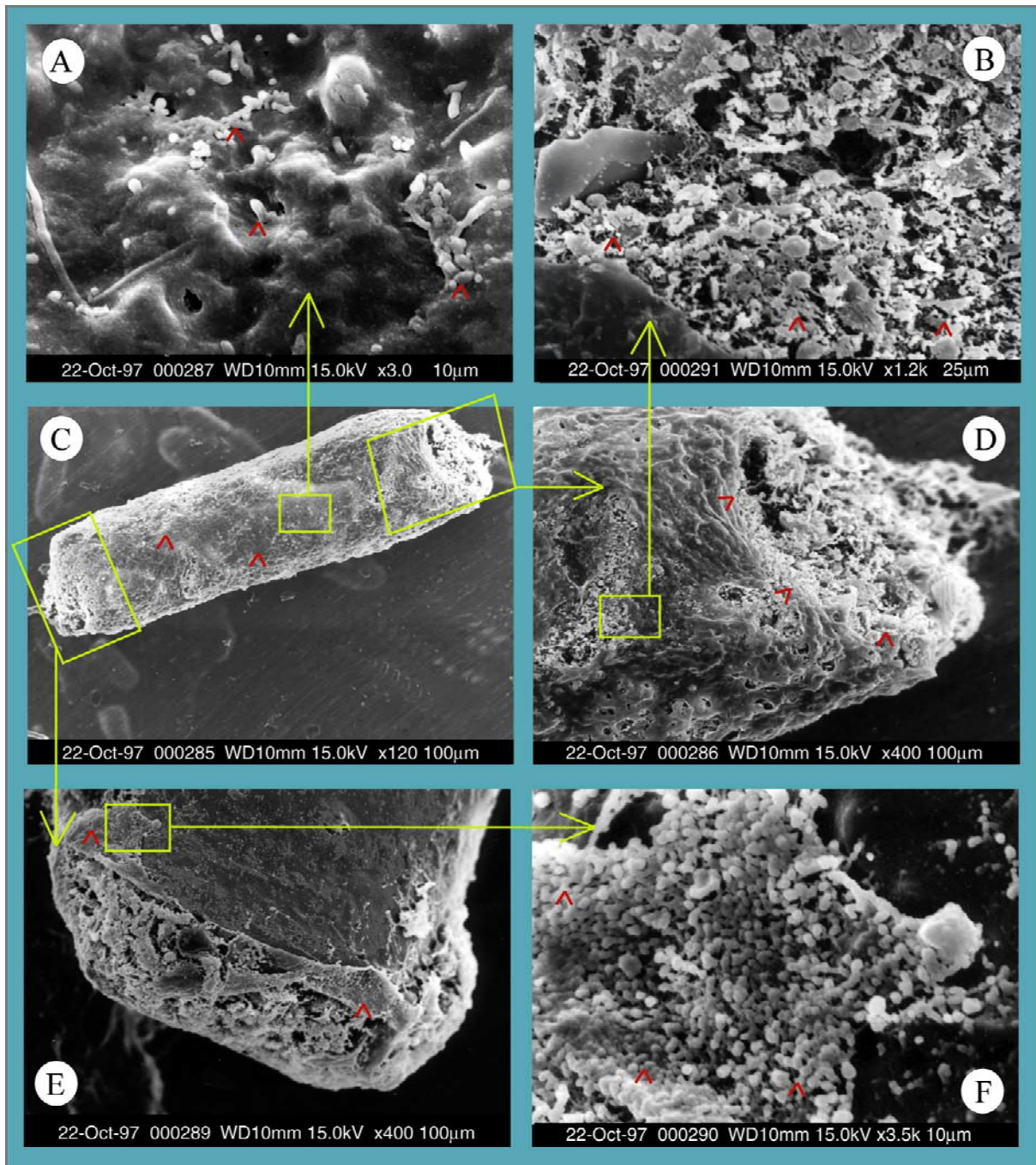
gebildet, die sich am Anfang des Mitteldarms befinden. Vermutlich schützt die peritrophische Membran das Darmepithels vor mechanischer Beeinträchtigung durch die aufgenommene Nahrung. Die peritrophische Membran wird zusammen mit den Faecal Pellets ausgeschieden und verleiht ihnen bei einigen Crustaceen eine charakteristische, artspezifische Form.

Die Pellets von *Niphargus fontanus* sind ebenfalls von einer peritrophischen Membran umgeben (s. Abb. 40 A und C). Diese ist dünn und zeigte selbst bei frisch produzierten Pellets (nicht älter als 10 Min.) „löchrige“ Bereiche (s. Abb. 40 B). Die standardisierten REM-Präparationsschritte (entwässern über eine steigende Alkoholreihe, Kritisch-Punkt-Trocknung, etc) erwiesen sich als ungeeignet, um die peritrophische Membran sichtbar zu machen. Erst am Cryo-REM wurden optimale Ergebnisse erzielt. Da die Pellets hier im nativen Zustand betrachtet werden können, gibt es auch keine durch Vorbehandlungen bedingten Präparationsartefakte.

Die peritrophische Membran umschloß die Pellets von *Niphargus fontanus* nicht völlig, sondern zeigte an deren Enden offene, unverhüllte Bereiche. Dies erklärt sich aus den Lebendbeobachtungen der Tiere. Bei der Defäkation setzt *Niphargus fontanus* keine Pellets von einheitlicher Form ab, denn der Darminhalt wird als Strang herausgepreßt und die so entstehenden Pellets brechen an beliebiger Stelle vom Exkrementstrang ab. Dies erklärt die offenen Enden der Pellets (s. Abb. 40 D & E).

Wie bei vielen anderen meiofaunistischen Organismen war auch die peritrophische Membran von *Niphargus fontanus* mit Mikroorganismen besiedelt (s. Abb. 40 A). Auf der Außenseite der peritrophischen Membran traten die Mikroorganismen vereinzelt und in Gruppen von wenigen Zellen auf. Bereiche, die nicht von einer peritrophischen Membran bedeckt waren, zeigten keine Mikroorganismen.

Völlig anders sahen die Verhältnisse auf der Innenseite der peritrophischen Membran aus. An den unverhüllten Enden der Pellets war die Innenseite der peritrophischen Membran umgeklappt und nach außen zu liegen gekommen (s. Abb. 40 E & F). Bei genauerer Betrachtung der umgeschlagenen Innenseite wurde erkennbar, daß diese dicht mit Mikroorganismen besetzt war (deutlich in Abb. 40 F sichtbar). Ob die hier gefundenen Mikroorganismen als Endosymbionten von *Niphargus fontanus* leben und ein gewisser Anteil regelmäßig mit dem Kot ausgeschieden wird, oder ob mit der Nahrung aufgenommene Mikroorganismen hier besonders günstige Lebensbedingungen finden, sich vielleicht sogar vermehren können und dann ausgeschieden werden, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt unklar.



- A: Detailansicht der Oberfläche mit peritrophischer Membran und Mikroorganismen (rote Pfeile).  
 B: Degradierte Bereiche (rote Pfeile) der peritrophischen Membran.  
 C: Übersicht; erkennbar sind die offenen Enden und die umhüllende peritrophische Membran.  
 D: Offenes Ende des Pellets mit Abruchkante (rote Pfeile).  
 E: Offenes Ende des Pellets mit teilweise umgeklappter peritrophischer Membran (rote Pfeile).  
 F: Dichte mikrobielle Besiedlung (rote Pfeile) auf der Innenseite der peritrophischen Membran.

Abb. 40: Das Faecal Pellet von *Niphargus fontanus* (Aufnahmen am CRYO-REM)

### 5.1.3.2 Analyse der Längenverteilung

Die Daten für die Längen und Mengen der produzierten Pellets der untersuchten Einzeltiere befinden sich im Anhang in den Tabellen 24-27.

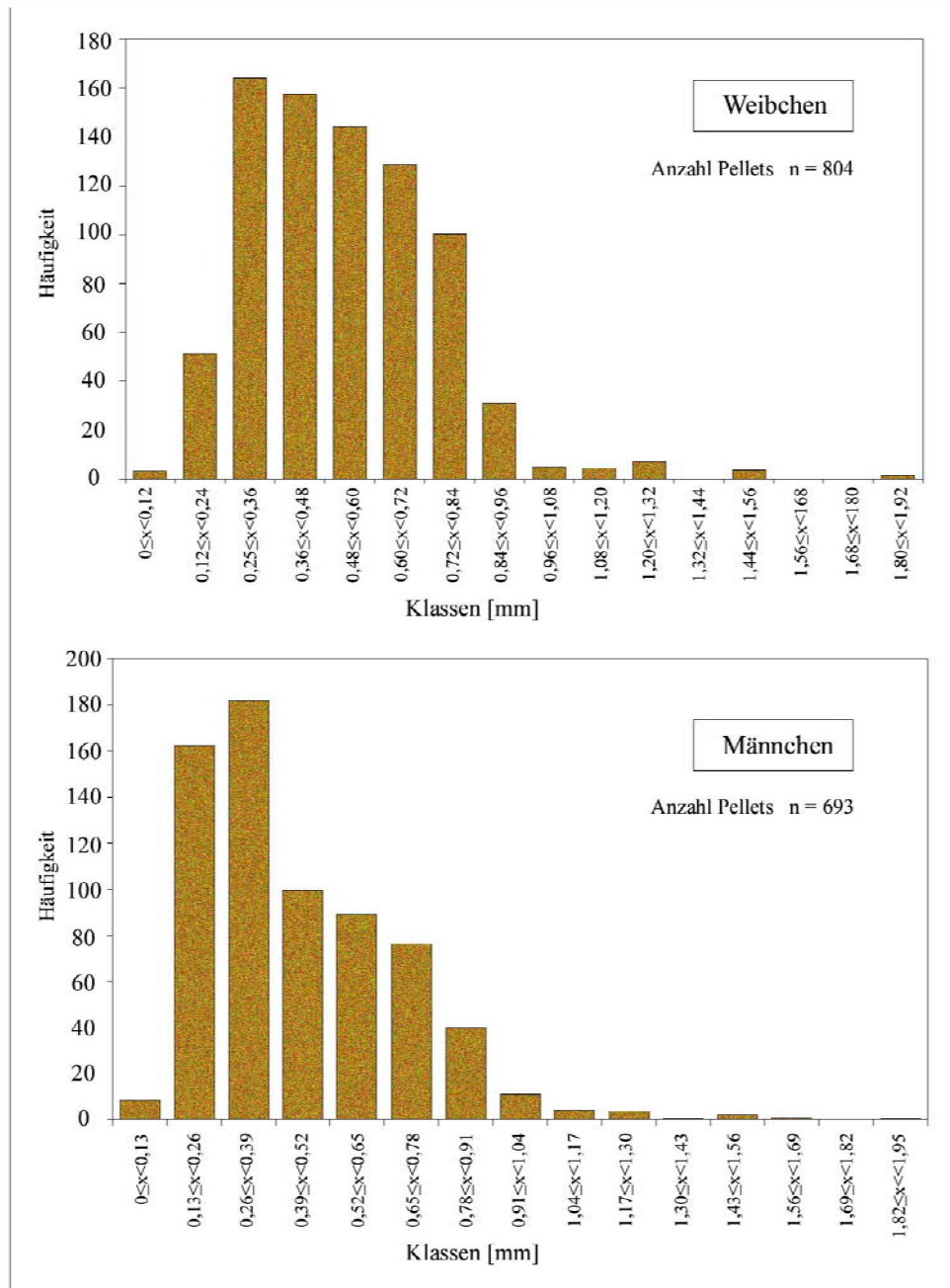


Abb. 41: Darstellung der klassifizierten Häufigkeiten der Pelletlängen von *Niphargus fontanus*

Da die Längen der gemessenen Pellets nicht normalverteilt waren und so die Bildung des arithmetischen Mittels nicht zulässig war, wurden Klassen gebildet. Die klassifizierten Häufigkeiten und Summenhäufigkeiten der Pellet-Längen finden sich in Tab 28 (Anhang). Sowohl bei den Männchen als auch bei den Weibchen lag eine linksschiefe Verteilung vor. Die Minima lagen bei 0,09mm (♂♂) und 0,06mm (♀♀), die Maxima bei 1,84mm in beiden Geschlechtern. Das Gros der Pellets lag zwischen 0,13mm und 1,17mm (mehr als 95% der

Pellets der ♂♂) und 0,24mm und 1,08mm (mehr als 95% der Pellets der ♀♀). Die Analyse der Längenverteilung bestätigte die Erkenntnisse aus den Lebendbeobachtungen und zeigte, daß die Längenverteilung der Pellets eine Zufallsgröße ist. Um also Stoffumsatzraten von *Niphargus fontanus* zu quantifizieren, ist die bloße Längenangabe (resp. die Anzahl) der Faecal Pellets alleine demnach nicht aussagekräftig. Da zusätzliche Kriterien gefunden werden mußten, wurden im weiteren Verlauf die Massen der Faecal Pellets von *Niphargus fontanus* analysiert.

### 5.1.1.3 Gewicht und Anzahl der produzierten Pellets

In Tab. 9 und in Abb. 42 sind die pellet-Gewichte pro Tier und Tag und pro mg Tier TG und Tag dargestellt. Aus den Daten ergab sich eine durchschnittliche tägliche Pelletproduktion pro Tier von  $20,4\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei den  $10^{\circ}\text{C}$  Weibchen,  $21,0\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei den  $10^{\circ}\text{C}$  Männchen, bzw.  $20,8\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei den  $14^{\circ}\text{C}$  Weibchen und  $24,8\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei den  $14^{\circ}\text{C}$  Männchen.

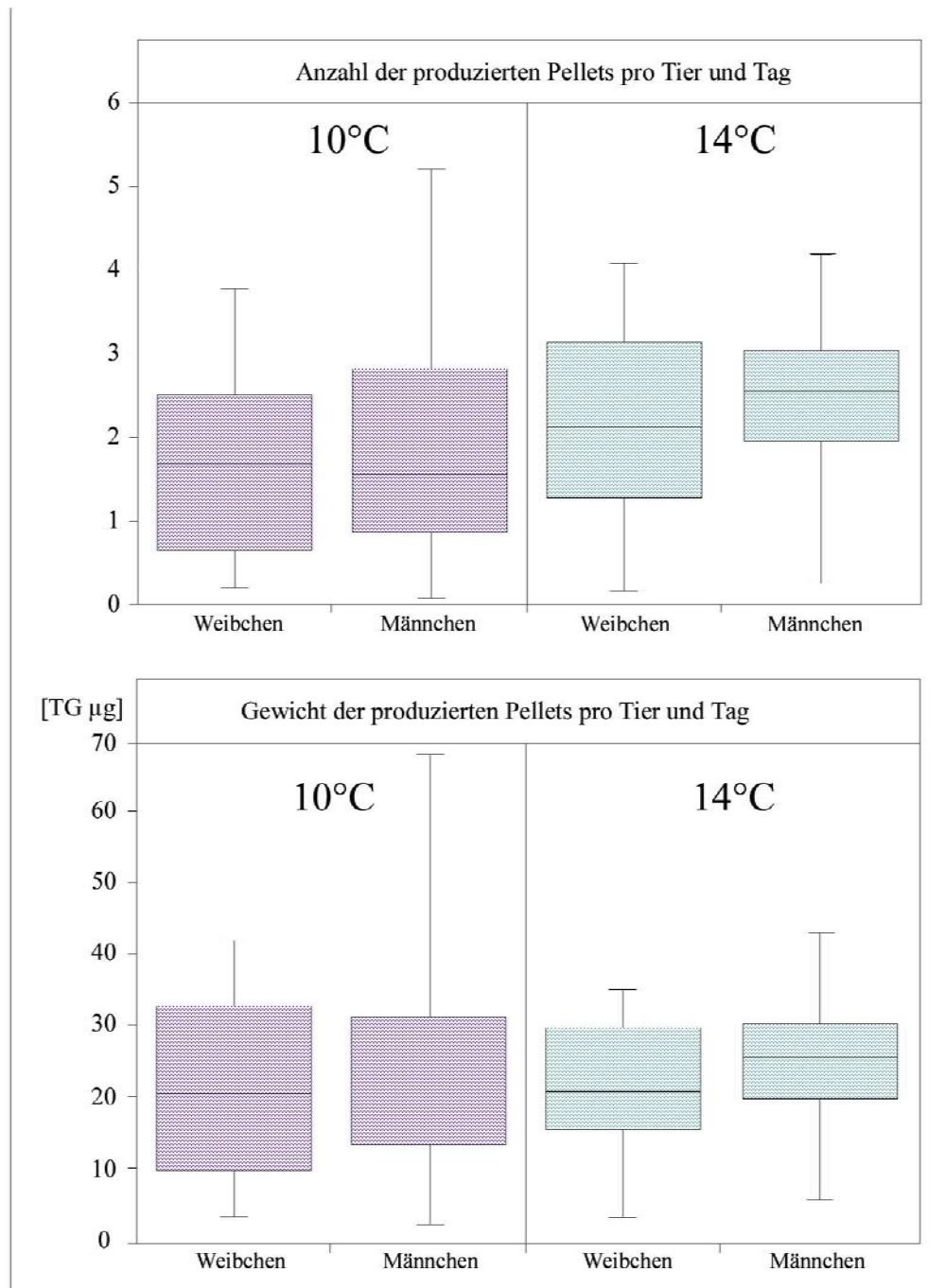
Tab. 9: Durchschnittliche Pelletproduktion von *Niphargus fontanus* bei  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$

| Temperatur                                              | $10^{\circ}\text{C}$ |        | $14^{\circ}\text{C}$ |       |
|---------------------------------------------------------|----------------------|--------|----------------------|-------|
| Geschlecht                                              | ♀♀                   | ♂♂     | ♀♀                   | ♂♂    |
| Individuenzahl                                          | 29                   | 68     | 21                   | 41    |
| $\Sigma$ Pellets produziert [mg TG]                     | 29,45                | 71,33  | 21,93                | 50,75 |
| $\Sigma$ TG Tiere [mg]                                  | 47,87                | 121,32 | 34,56                | 66,26 |
| Pellets [mg TG] / Tier                                  | 1,02                 | 1,05   | 1,04                 | 1,24  |
| Pellets [mg TG] / mg Tier                               | 0,62                 | 0,59   | 0,63                 | 0,77  |
| Pellets [ $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ TG] / Tier    | 20,4                 | 21,0   | 20,8                 | 24,8  |
| Pellets [ $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ TG] / mg Tier | 12,4                 | 11,8   | 12,6                 | 15,4  |

Bezogen auf das Trockengewicht der Tiere ergab sich bei  $10^{\circ}\text{C}$  eine durchschnittliche, tägliche Pelletproduktion von  $12,4\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei den Weibchen und bei den Männchen  $11,8\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Bei  $14^{\circ}\text{C}$  produzierten die Weibchen etwas mehr als die Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$ , nämlich  $12,6\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die Männchen bei  $14^{\circ}\text{C}$  zeigten die größte Pelletproduktion von  $15,4\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Der Unterschied zwischen  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$  bei den Weibchen fiel sehr gering und der zwischen den Männchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$  deutlicher aus. Die Spannweite der täglich produzierten Pelletgewichte war bei den Männchen im  $10^{\circ}\text{C}$  Experiment am größten (s. Abb. 42) und betrug  $65,98\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Maximum:  $68,9\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG  $\leftrightarrow$  Minimum:  $2,11\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG). Die Pelletgewichte der Weibchen aus dem  $10^{\circ}$  Experiment schwankten zwischen minimal  $3,16\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und maximal  $41,80\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Spannweite:  $38,64\mu\text{g}$ ). Bei den Männchen aus dem  $14^{\circ}\text{C}$  Experiment betrug die maximale, täglich produzierte Pelletmenge  $43,2\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und minimal  $5,86\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Spannweite:  $37,34\mu\text{g}$ ). Die geringste Spannweite, also die geringste Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert, fand sich bei den Weibchen aus



dem 14°C Experiment. Bei ihnen betrugen die Werte  $34,96\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Maximum) und  $3,13\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Minimum). Die Spannweite belief sich auf  $31,78\mu\text{g}$ .



Anmerkung: Die Abweichungsbalken der Box-Plots geben die Maxima und Minima wieder

**Abb. 42: Anzahl und Gewicht der täglich produzierten Pellets bei 10°C und bei 14°C**

Die individuell produzierten Pelletzahlen schwankten stark. Am wenigsten produzierten die Männchen im 10°C Experiment, insgesamt (0,04 Pellets/Tag), gefolgt von den Weibchen im 14°C Experiment (0,14 Pellets/Tag). Der niedrigste Wert, der bei den Weibchen aus dem 10°C Experiment erzielt wurde, belief sich auf 0,18 Pellets/Tag, und bei den Männchen im 14°C Experiment auf 0,24 Pellets/Tag. Betrachtet man welches Geschlecht aus den untersuchten

Gruppen die größte Anzahl Pellets pro Tier und Tag produzierte, waren es die Männchen, die hier die ersten beiden Plätze belegten. Das Tier mit der größten Anzahl produzierter Pellets stammte aus dem Experiment bei 10°C und erreichte im Schnitt 5,20 Pellets/Tag. Die 14°C Männchen erzeugten maximal 4,18 Pellets/Tag. Die Weibchen erreichten maximale Pelletzahlen von 4,08 Pellets/Tag (14°C) bzw. 3,76 Pellets/Tag (10°C).

Betrachtet man die Gewichte und die Anzahl der produzierten Pellets von *Niphargus fontanus*, fällt auf, daß beide Variablen großen individuellen Schwankungen unterlagen. Die zuvor beschriebene Art und Weise der Defäkation von *Niphargus fontanus* zeigt, daß die Länge eines Pellets zufällig ist. Ob Korrelationen zwischen einer möglichen Variablen (bspw. TG Tiere, Länge Tiere etc.) und den Pelletgewichten bestehen, soll in Kap. 5.4.6 geprüft werden.

#### 5.1.4 Assimilationseffizienz von *Niphargus fontanus*

Die Assimilationseffizienz beschreibt bei heterotrophen Organismen das Verhältnis der assimilierten Energie zu der (konsumierten) aufgenommenen Energie. Im vorliegenden Fall wurde das Verhältnis der aufgenommenen Biomasse zu der assimilierten Biomasse betrachtet. Die assimilierte Biomasse kann direkt aus der Differenz von aufgenommener Nahrung und abgegebenen Pellets kalkuliert werden (Naylor et al. 1989):

$$\text{BIOMASSE}_{(\text{ASSIMILIERT})} = \text{BIOMASSE}_{(\text{AUFGENOMMEN})} - \text{BIOMASSE}_{(\text{ABGEGEBEN})}$$

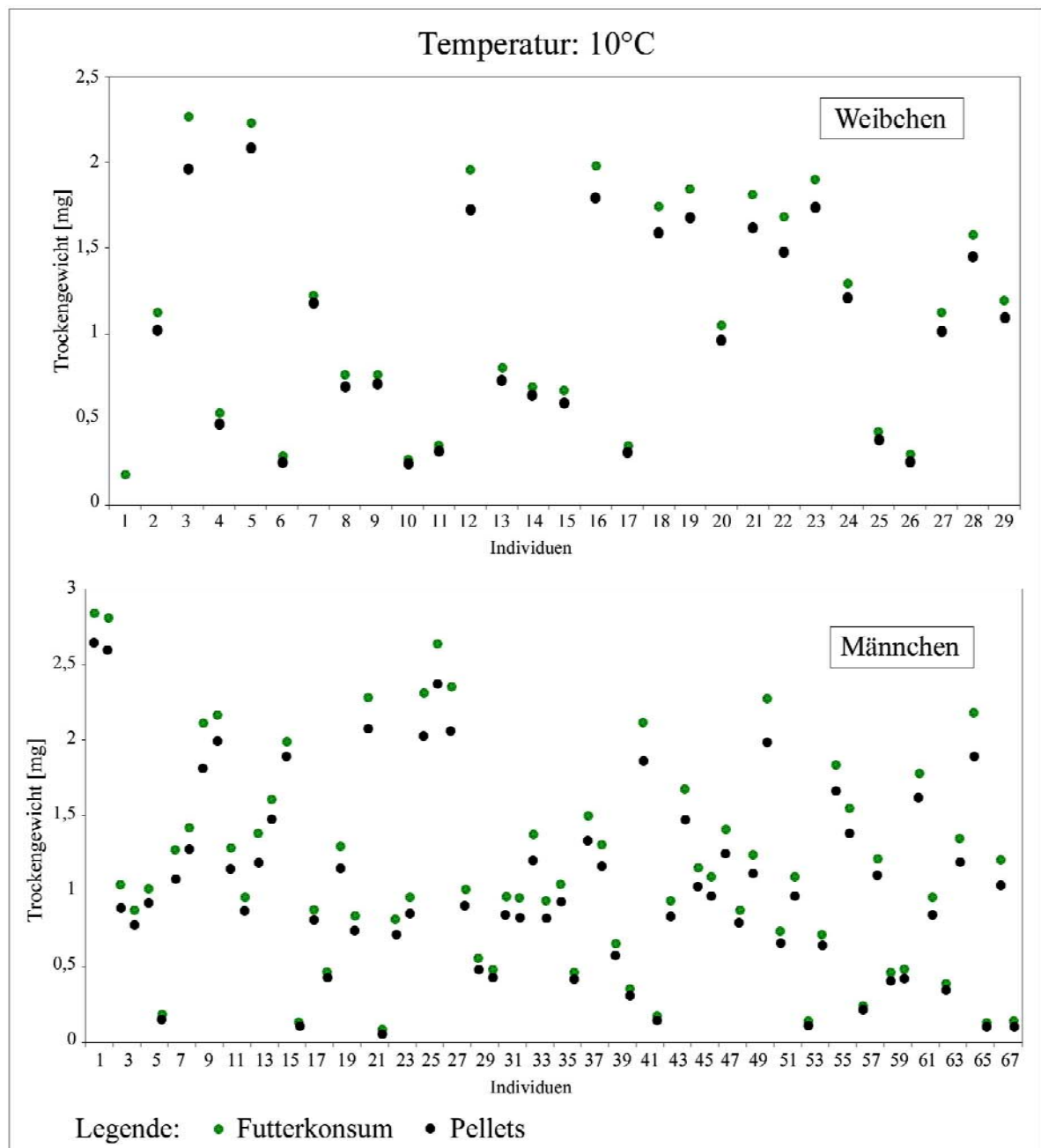
Die Werte für die aufgenommene Nahrungsmenge und abgegebenen Pellets pro Tier finden sich in Tab. 24-27 und sind in den Abb. 43 (für 10°C) und Abb. 44 (für 14°C) dargestellt.

Aus den Abbildungen geht hervor, daß die Menge der abgegebenen Pellets (schwarze Punkte) stets niedriger war, als die Menge der aufgenommenen Nahrung (grüne Punkte). Der Abstand zwischen den beiden Punkten (grüner Punkt – schwarzer Punkt) gibt die Menge der assimilierten Substanz wieder.

Die Menge der assimilierten Nahrung schwankte bei den Tieren teilweise beträchtlich, und es ergaben sich deutliche individuelle Unterschiede. Um die erhaltenen Werte miteinander vergleichbar zu machen, wurde die Menge assimilierten Futters von jedem Tier, umgerechnet in

$$\text{Menge}_{\text{Assimiliertes Futter}} \text{ pro mg TG (Tier) * Tag ; Einheit: } [\mu\text{g} * (\text{mgTG} * \text{d})^{-1}].$$

Die wichtigsten statistischen Kenngrößen der umgerechneten Daten wurden in 10 zusammengefaßt.



Anmerkung zum Verständnis des Diagramms: Für jedes untersuchte Tier sind 2 Punkte dargestellt: Ein grüner Punkt, der die Menge der aufgenommenen Nahrung repräsentiert und ein direkt darunter befindlicher schwarzer Punkt, der die Menge der abgegebenen Pellets darstellt.

**Abb. 43:** Verhältnis von Futterkonsum und Pelletproduktion bei *Niphargus fontanus* (10°C)



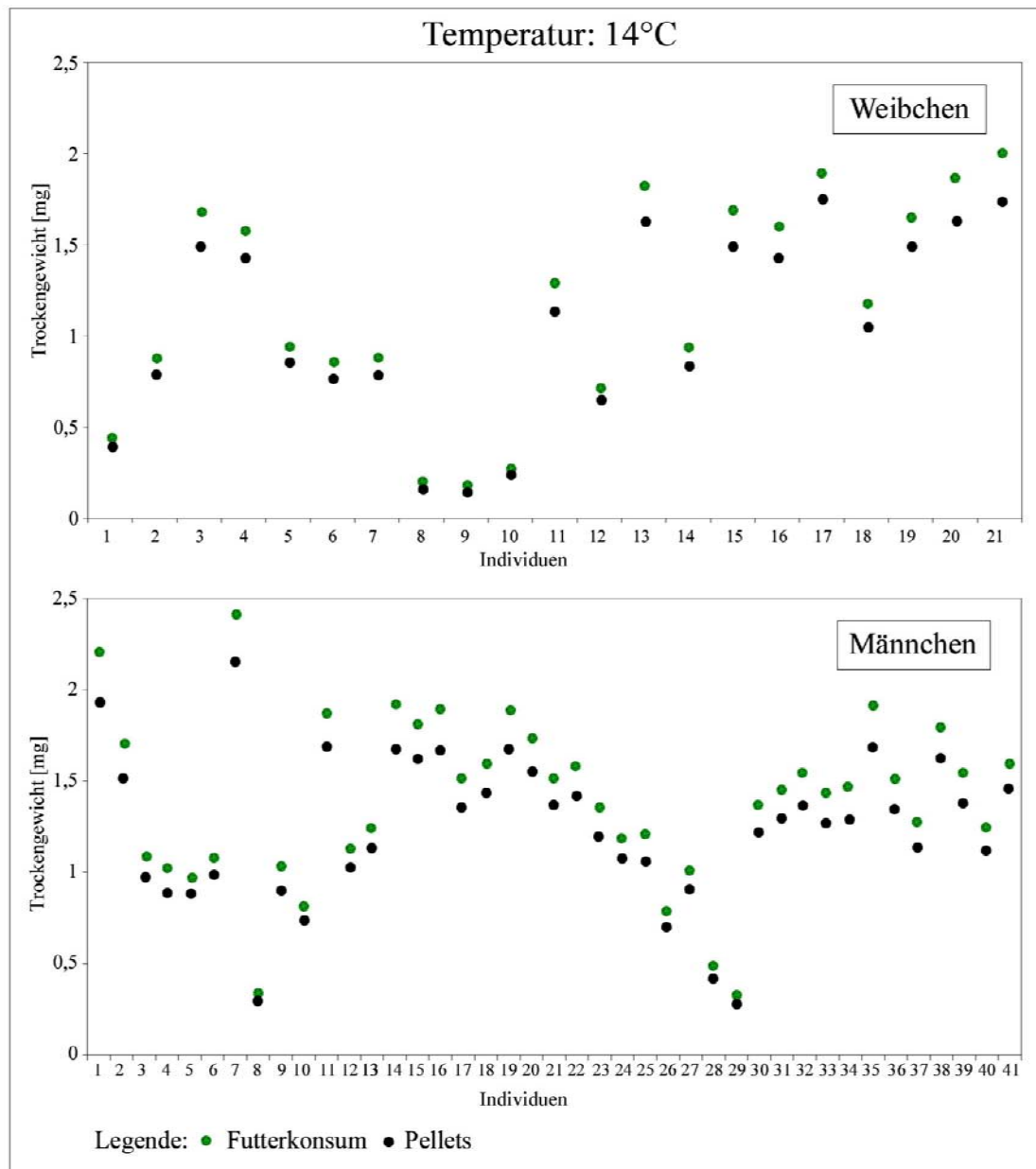


Abb. 44: Verhältnis von Futterkonsum und Pelletproduktion bei *Niphargus fontanus* (14°C)

Aus Tab. 10 wird ersichtlich, daß die höchste Assimilationseffizienz von den Männchen bei 14°C erzielt wurde. Insgesamt verbrauchten sie 6,22mg und erzielten eine durchschnittliche Assimilationseffizienz von  $2,20\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die individuellen Schwankungen bewegten sich zwischen  $6,1\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Maximum) und  $0,33\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Minimum). Die durchschnittliche prozentuale Assimilationseffizienz betrug bei den Männchen im 14°C Experiment 10,84%. Die Weibchen im 14°C Experiment erzielten die zweithöchste durchschnittliche Assimilationseffizienz von  $1,58\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die individuellen Schwankungen bewegten sich zwischen  $3,21\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG (Maximum) und  $0,35\mu\text{g}[\text{mgTG}\cdot\text{d}]^{-1}$  (Minimum). Ihre durchschnittliche

prozentuale Assimilationseffizienz betrug 10,76% und ist damit nur unwesentlich niedriger als die der Männchen bei gleicher Versuchstemperatur.

**Tab. 10: Assimilationseffizienz von *Niphargus fontanus* – ausgewählte statistische Kenngrößen**

Anm.: Die Werte in der Tabelle stellen die assimilierten Mengen in den jeweils angegebenen Einheiten dar. Dk-Wert – Berechneter Wert aus dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test (Normalverteilung). Die Signifikanzschranke wurde bei 10% festgelegt.

| Einheiten:     | Weibchen 10°C (n=29) |        |                        |                          | Männchen 10°C (n=68) |        |                        |                          |
|----------------|----------------------|--------|------------------------|--------------------------|----------------------|--------|------------------------|--------------------------|
|                | Σ TG[mg]             | %      | [µg] TG<br>in 50 Tagen | [µg*d <sup>-1</sup> ] TG | Σ TG[mg]             | %      | [µg] TG<br>in 50 Tagen | [µg*d <sup>-1</sup> ] TG |
| Summe          | 2,984                | -      |                        |                          | 3,144                | -      |                        |                          |
| Maximum        | 0,298                | 13,128 | 173,83                 | 3,48                     | 0,297                | 15,753 | 224,81                 | 4,50                     |
| Minimum        | 0,018                | 3,601  | 9,09                   | 0,18                     | 0,009                | 5,145  | 5,81                   | 0,12                     |
| Median         | 0,084                | 8,842  | 58,16                  | 1,16                     | 0,123                | 11,147 | 64,37                  | 1,29                     |
| Mittelwert     | 0,103                | 9,109  | 67,68                  | 1,35                     | 0,127                | 11,136 | 72,92                  | 1,46                     |
| Standardabw.   | 0,072                | 1,963  | 46,75                  | 0,93                     | 0,075                | 2,085  | 45,92                  | 0,92                     |
| Varianz        | 0,005                | 3,854  | 2185,56                | 0,87                     | 0,006                | 4,346  | 2108,56                | 0,84                     |
| Dk-Wert        | 0,220                | 0,140  | 0,22                   | 0,22                     | 0,113                | 0,083  | 0,12                   | 0,12                     |
| Signifk. 10%   | 0,250                | 0,250  | 0,25                   | 0,25                     | 0,163                | 0,163  | 0,16                   | 0,16                     |
| Normalverteilt | Ja                   | ja     | Ja                     | ja                       | ja                   | ja     | Ja                     | Ja                       |

| Einheiten:     | Weibchen 14°C (n=21) |        |                           |              | Männchen 14°C (n=41) |        |                           |              |
|----------------|----------------------|--------|---------------------------|--------------|----------------------|--------|---------------------------|--------------|
|                | Σ TG[mg]             | in %   | [µg/mg TG]<br>in 50 Tagen | [µg/mg TG*d] | Σ TG[mg]             | in %   | [µg/mg TG]<br>in 50 Tagen | [µg/mg TG*d] |
| Summe          | 2,660                | -      |                           |              | 6,224                | -      |                           |              |
| Maximum        | 0,271                | 13,509 | 160,355                   | 3,207        | 0,279                | 13,124 | 305,000                   | 6,100        |
| Minimum        | 0,022                | 7,562  | 17,293                    | 0,346        | 0,029                | 8,555  | 16,292                    | 0,326        |
| Median         | 0,126                | 10,892 | 68,559                    | 1,371        | 0,154                | 10,730 | 91,429                    | 1,829        |
| Mittelwert     | 0,127                | 10,758 | 79,016                    | 1,580        | 0,152                | 10,842 | 110,213                   | 2,204        |
| Standardabw.   | 0,070                | 1,341  | 47,182                    | 0,944        | 0,056                | 1,210  | 66,421                    | 1,328        |
| Varianz        | 0,005                | 1,798  | 2226,094                  | 0,890        | 0,003                | 1,465  | 4411,740                  | 1,765        |
| Dk-Wert        | 0,123                | 0,192  | 0,181                     | 0,181        | 0,135                | 0,142  | 0,177                     | 0,177        |
| Signifk. 10%   | 0,29                 | 0,29   | 0,29                      | 0,29         | 0,211                | 0,211  | 0,211                     | 0,211        |
| Normalverteilt | Ja                   | ja     | Ja                        | ja           | ja                   | ja     | Ja                        | Ja           |

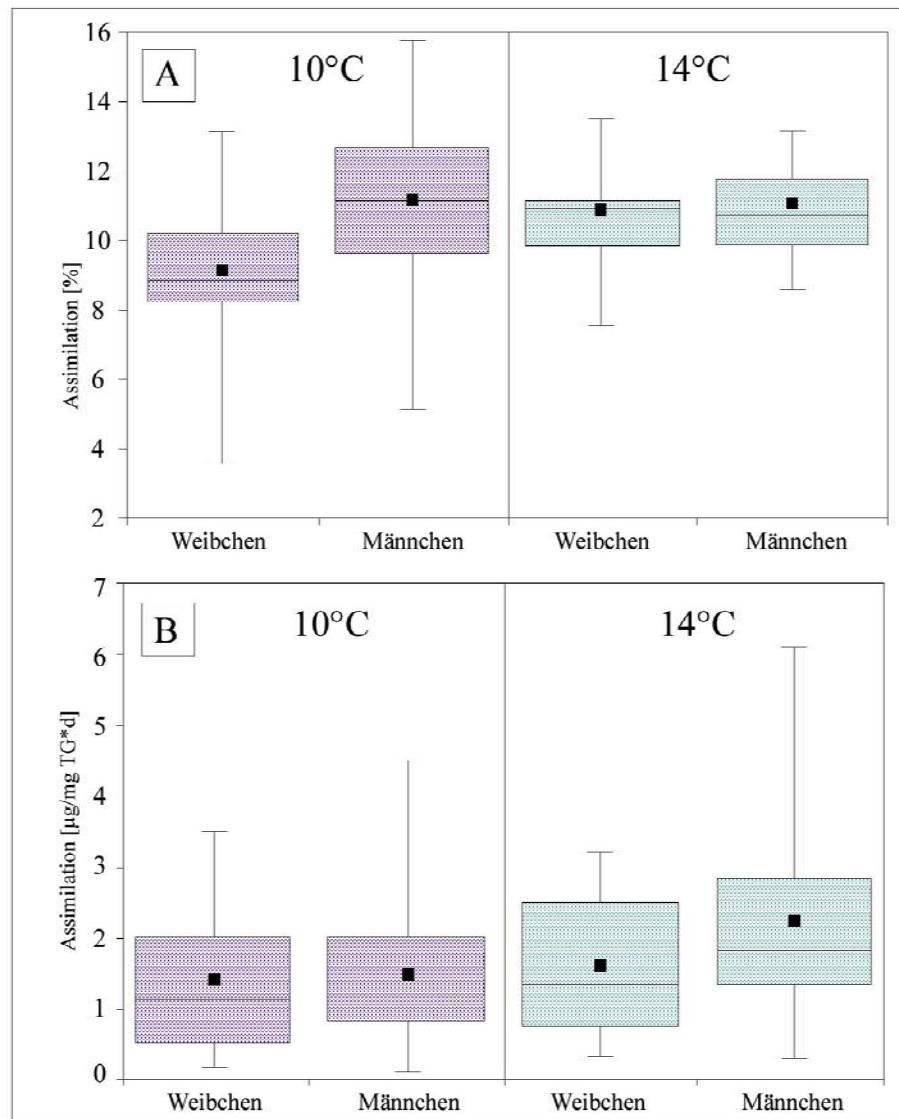


Abb. 45: Prozentuale (A) und absolute (B) Assimilationseffizienz von *Niphargus fontanus*

Die dritt höchste Assimilationseffizienz zeigten die Männchen im 10°C Experiment. Ihre mittlere Assimilationseffizienz betrug  $1,46 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$ ; sie schwankte zwischen  $4,5 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$  (Maximum) und  $0,12 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$  (Minimum). Die durchschnittliche prozentuale Assimilationsrate betrug hier 11,14%. Dies war die höchste prozentuale Assimilationseffizienz. Sie lag auch über der der Tiere aus dem 14°C Experiment. Die geringste Assimilationseffizienz erzielten die Weibchen aus dem 10°C Experiment. Sie erreichten eine mittlere Assimilationseffizienz von  $1,35 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$ . Die Extremwerte schwankten zwischen  $3,48 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$  (Maximum) und  $0,18 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \text{ TG}$  (Minimum). Die durchschnittliche prozentuale Assimilationseffizienz betrug bei den Weibchen aus dem 10°C Experiment 9,11%. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind grafisch in Abb. 45 zusammengefaßt.

### 5.1.5 Vergleich der Assimilationseffizienzen

Es sollte geklärt werden, ob es signifikante Unterschiede gab

a) zwischen den Assimilationseffizienzen der Tiere bei 10°C und bei 14°C?

und

b) in den Assimilationseffizienzen zwischen Männchen und Weibchen?

Die Hypothesen wurden durch die Anwendung des t-Tests überprüft. Die zugrundeliegenden Werte (Mittelwerte, Varianzen) sind Tab. 10 zu entnehmen. Die Berechnung des t-Tests erfolgte nach der Formel (Köhler et al. 1996):

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(s_1^2 * (n_1 - 1)) + (s_2^2 * (n_2 - 1))}{(n_1 + n_2) - 2}}} * \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 + n_2}}$$

Die Berechnung der Freiheitsgrade erfolgte nach der Formel:

$$FG = (n_1 + n_2) - 2$$

Wobei

t = errechneter Wahrscheinlichkeitswert;

$\bar{x}_{1,2}$  = Mittelwerte der Datensätze;

$s_{1,2}^2$  = Varianzen der Datensätze

$n_{1,2}$  = Anzahl der Meßwerte pro Datensatz

ist.

Die Nullhypothese wurde zugunsten der Alternativhypothese abgelehnt, wenn der berechnete t-Wert die Signifikanzschranke aus der Student-Verteilung überschritt. Die Tabellenwerte der Student-Verteilung wurden aus Lozan (1992) entnommen.

#### 5.1.5.1 Unterschiede zwischen den 10°C- und den 14°C Versuchen

Zunächst sollte die Frage geklärt werden, ob es einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen den Weibchen bei 10°C und den Weibchen bei 14°C gab?

Die Nullhypothese lautete:

H<sub>0</sub>: Es bestand kein Unterschied zwischen den Assimilationseffizienzen der Weibchen bei 10°C und 14°C.

Die Alternativhypothese lautete:

H<sub>a</sub>: Es bestand ein Unterschied zwischen den Assimilationseffizienzen der Weibchen bei 10°C und 14°C.

Die Berechnung von  $t$  ergab  $t = 0,856$ ;  $FG = 48$ ; Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$

➔ Da  $t = 0,856 < t_{(48/0,05)} = 2,01$  war, wurde die Nullhypothese beibehalten, d.h. es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der Assimilationseffizienz der Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und der bei  $14^{\circ}\text{C}$ .

Im nächsten Schritt sollte geklärt werden, ob es einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen den Männchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und bei  $14^{\circ}\text{C}$  gab?

Die Nullhypothese lautete:

$H_0$ : Es bestand kein Unterschied zwischen den Assimilationseffizienzen der Männchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$ .

Die Alternativhypothese lautete:

$H_a$ : Es bestand ein Unterschied zwischen den Assimilationseffizienzen der Männchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$ .

Die Berechnung von  $t$  ergab  $t = 3,460$ ;  $FG = 107$ ; Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$

➔ Da  $t = 3,460 > t_{(107/0,05)} = 1,98$  war, wurde die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese abgelehnt, d.h. es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen der Assimilationseffizienz der Männchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  und der der Männchen bei  $14^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.1.5.2 Unterschiede zwischen Männchen und Weibchen

Im weiteren sollte untersucht werden, ob sich Männchen und Weibchen in Bezug auf ihre Assimilationseffizienz unterschieden.

Die zu formulierenden Hypothesen lauteten:

1. Es sollte geprüft werden, ob es einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$  gab.

$H_0$ : Es gab keinen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$ .

$H_a$ : Es gab einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$ .

Die Berechnung von  $t$  ergab:  $t = 0,538$ ;  $FG = 95$ ; Irrtumswahrscheinlichkeit,  $\alpha = 0,05$

➔ Da  $t = 0,538 < t_{(95/0,05)} = 1,98$  war, wurde die Nullhypothese beibehalten, d.h. es gab keinen signifikanten Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $10^{\circ}\text{C}$ .

2. Es sollte geprüft werden, ob es einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $14^{\circ}\text{C}$  gab.

$H_0$ : Es gab keinen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei  $14^{\circ}\text{C}$ .

$H_a$ : Es gab einen Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei 14°C.

Die Berechnung von  $t$  ergab:  $t = 1,917$ .  $FG = 60$ ; Irrtumswahrscheinlichkeit,  $\alpha = 0,05$

➔ Da  $t = 1,917 < t_{(60/0,05)} = 1,98$  war, wurde die Nullhypothese beibehalten, d.h. es gab keinen signifikanten Unterschied in der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei 14°C.

### 5.1.6 Korrelation ausgewählter Variablen

Um die Assimilationsergebnisse interpretieren zu können wurde untersucht, ob es Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Variablen (z.B. Versuchstemperatur, Gewicht der Tiere, Pelletproduktion etc.) gibt. Dazu wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen den Variablen berechnet. Die Berechnungen erfolgten mit der Spearman-Rangkorrelation und sind in Tab. 11 zusammengefaßt.

Es lassen sich folgende Feststellungen treffen: Es bestand eine starke Korrelation zwischen Trockengewicht und Länge (TG) der Tiere (Korrelationskoeffizient: 0,800-0,976). Da die Tiere sich teilweise stark krümmen und ist die herkömmliche Längenmessung am Binokular mit Mikrometer und Meßokular schwierig bzw. fehlerbehaftet. Die Längenmessung am Computer hat sich in diesem Zusammenhang als sehr vorteilhaft erwiesen, da über beliebig gekrümmte Strecken Polygonzüge gelegt werden konnten. Eine zuverlässige Längenmessung führt demnach zu einer guten Abschätzung des Trockengewichts (siehe auch Kap. 5.3.2).

Zwischen dem TG der Tiere und dem Futterkonsum besteht keine Korrelation (Korrkoef: 0,054-0,144). Dies bedeutet, daß die Menge des aufgenommenen Futters offensichtlich nicht von der Biomasse des Tieres abhängt. Darüberhinaus gab es keine signifikante Korrelation zwischen dem TG der Tiere und der Anzahl der produzierten Pellets (Korrkoef: 0,059-0,166). Wie in Kap. 5.4.3.2 gezeigt wurde, sind sowohl die Anzahl als auch die Länge der Pellets der einzelnen Individuen zufällig. Die Biomasse eines Tieres und die Menge der Pellets, die es produzierte, standen in keiner Beziehung zueinander. Anders verhielt sich die Korrelation zwischen der Menge der aufgenommenen Nahrung und der Menge der abgegebenen Pellets. Es zeigte sich, daß Tiere mit hohen Assimilationswerten entsprechend hohe Mengen an Pellets produzierten (Korrkoef: 0,887-0,998). Somit stehen die Variablen Futterkonsum, Pelletproduktion und letztendlich auch die Assimilation in einem engen Zusammenhang.

**Tab. 11: Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen ausgewählten Variablen**

Berechnet wurde die Spearman-Rang-Korrelation (Lozan 1992); TG = Trockengewicht

| <b><i>Niphargus fontanus</i> ♀; 10°C; n = 29</b> |          |              |            |
|--------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
|                                                  | TG Tiere | Futterkonsum | TG Pellets |
| Tierlänge                                        | 0,983    | -            | -          |
| Futterkonsum                                     | -0,127   | -            | 0,887      |
| Anzahl Pellets                                   | -0,130   | 0,887        | 0,895      |
| Assimilation                                     | -0,142   | 0,930        | 0,841      |
| <b><i>Niphargus fontanus</i> ♂; 10°C; n = 68</b> |          |              |            |
|                                                  | TG Tiere | Futterkonsum | TG Pellets |
| Tierlänge                                        | 0,972    | -            | -          |
| Futterkonsum                                     | 0,054    | -            | 0,998      |
| Anzahl Pellets                                   | 0,059    | 0,922        | 0,924      |
| Assimilation                                     | 0,047    | 0,939        | 0,926      |
| <b><i>Niphargus fontanus</i> ♀; 14°C; n = 21</b> |          |              |            |
|                                                  | TG Tiere | Futterkonsum | TG Pellets |
| Tierlänge                                        | 0,800    | -            | -          |
| Futterkonsum                                     | 0,144    | -            | 0,996      |
| Anzahl Pellets                                   | 0,166    | 0,992        | 0,985      |
| Assimilation                                     | 0,139    | 0,944        | 0,926      |
| <b><i>Niphargus fontanus</i> ♂; 14°C; n = 41</b> |          |              |            |
|                                                  | TG Tiere | Futterkonsum | TG Pellets |
| Tierlänge                                        | 0,987    | -            | -          |
| Futterkonsum                                     | -0,081   | -            | 0,996      |
| Anzahl Pellets                                   | -0,155   | 0,787        | 0,760      |
| Assimilation                                     | 0,111    | 0,936        | 0,917      |

## 5.5 Respirationsversuche

Die Respiration stellt ein integratives Maß für die metabolische Aktivität eines Tieres dar. Hohe Respirationsraten bedeuten eine hohe metabolische Aktivität und umgekehrt. Zur Beurteilung der metabolischen Aktivität von *Niphargus fontanus* wurde daher ihre Respirationsrate bestimmt. Dabei wurde der Einfluß von Sauerstoffkonzentration und Temperatur auf die Respiration der Tiere untersucht. Die Durchflußgeschwindigkeit wurde konstant bei 0,25ml/Min gehalten, mußte allerdings in 3 Messungen geringfügig verändert werden.

Insgesamt wurden 10 Messungen mit unterschiedlichen Vorgaben durchgeführt. Die Variation der Vorgaben und die Ergebnisse der Messungen sind in Tab. 12 und Abb. 46 zusammengefaßt.

Tab. 12: Respiration von *Niphargus fontanus* in Abhängigkeit von Temperatur und Sauerstoffkonzentration

| Versuch Nr.                                  |                            |  | I     | II     | III    | IV     | V     |
|----------------------------------------------|----------------------------|--|-------|--------|--------|--------|-------|
| Vorgaben                                     | Sauerstoffgehalt [% Sätt.] |  | 40    | 40     | 40     | 40     | 80    |
|                                              | Temperatur [°C]            |  | 15    | 10     | 11     | 5      | 16    |
|                                              | Durchfluß [ml/Min.]        |  | 0,3   | 0,25   | 0,4    | 0,25   | 0,25  |
|                                              | Organismenanzahl n =       |  | 16    | 20     | 16     | 18     | 20    |
| Sauerstoff-<br>Verbrauch<br>[µl*h] pro mg TG | Mittelwert                 |  | 77,9  | 393,6  | 411,7  | 299,2  | 103,7 |
|                                              | Median                     |  | 78,0  | 402,5  | 411,5  | 297,7  | 104,2 |
|                                              | Minimum                    |  | 75,6  | 297,8  | 382,9  | 287,5  | 83,0  |
|                                              | Maximum                    |  | 79,3  | 500,0  | 439,9  | 316,1  | 123,4 |
|                                              | Standardabweichung         |  | 6,3   | 11,3   | 11,0   | 7,4    | 9,3   |
| Versuch Nr.                                  |                            |  | VI    | VII    | VIII   | IX     | X     |
| Vorgaben                                     | Sauerstoffgehalt [% Sätt.] |  | 80    | 80     | 80     | 80     | 15    |
|                                              | Temperatur [°C]            |  | 15    | 10     | 10     | 5      | 16    |
|                                              | Durchfluß [ml/Min.]        |  | 0,25  | 0,15   | 0,25   | 0,25   | 0,25  |
|                                              | Organismenanzahl n =       |  | 18    | 15     | 20     | 18     | 20    |
| Sauerstoff-<br>Verbrauch<br>[µl*h] pro mg TG | Mittelwert                 |  | 103,3 | 1036,2 | 1170,4 | 994,9  | 49,8  |
|                                              | Median                     |  | 102,8 | 1034,9 | 1181,2 | 992,8  | 48,4  |
|                                              | Minimum                    |  | 93,6  | 891,0  | 919,4  | 722,0  | 35,6  |
|                                              | Maximum                    |  | 118,5 | 1074,7 | 1441,0 | 1083,2 | 65,9  |
|                                              | Standardabweichung         |  | 4,4   | 49,0   | 46,3   | 50,1   | 7,5   |

Aus Tab. 12 und Abb. 46 lassen sich 2 generelle Tendenzen ableiten: Die Respiration war abhängig von der Temperatur und von der vorgegebenen Sauerstoffsättigung des Durchflußwassers.

Betrachtete man die Respiration der Tiere in Abhängigkeit von der Sauerstoffvorgabe des Durchflußwassers, wurde deutlich, daß bei höheren Sauerstoffvorgaben auch höhere Respirationsraten erzielt wurden. Vor allem bei Temperaturen um 10°C lagen die mittleren Respirationsraten von *Niphargus fontanus* bei 80% Sauerstoffvorgabe zwischen 1036µl\*h<sup>-1</sup> und 1170µl\*h<sup>-1</sup>, während die Respiration bei 40% Sauerstoffvorgabe weniger als halb so groß war (Sauerstoffverbrauch bei 10°C: 402µl\*h<sup>-1</sup>; bei 11°C: 411µl\*h<sup>-1</sup>. Der gleiche Trend zeigte sich bei höheren Temperaturen. Bei 15°C unterschied sich die Respiration bei 40% Sauerstoffvorgabe von der mit 80% Sauerstoffvorgabe: 40% (40% Sauerstoffvorgabe: Mittlerer Sauerstoffverbrauch: 78µl\*h<sup>-1</sup>; Min.: 76µl\*h<sup>-1</sup>; Max.: 79µl\*h<sup>-1</sup> ↔ 80% Sauerstoffvorgabe: Mittlerer Sauerstoffverbrauch: 103µl\*h<sup>-1</sup>; Min.: 94µl\*h<sup>-1</sup>; Max.: 118µl\*h<sup>-1</sup>.



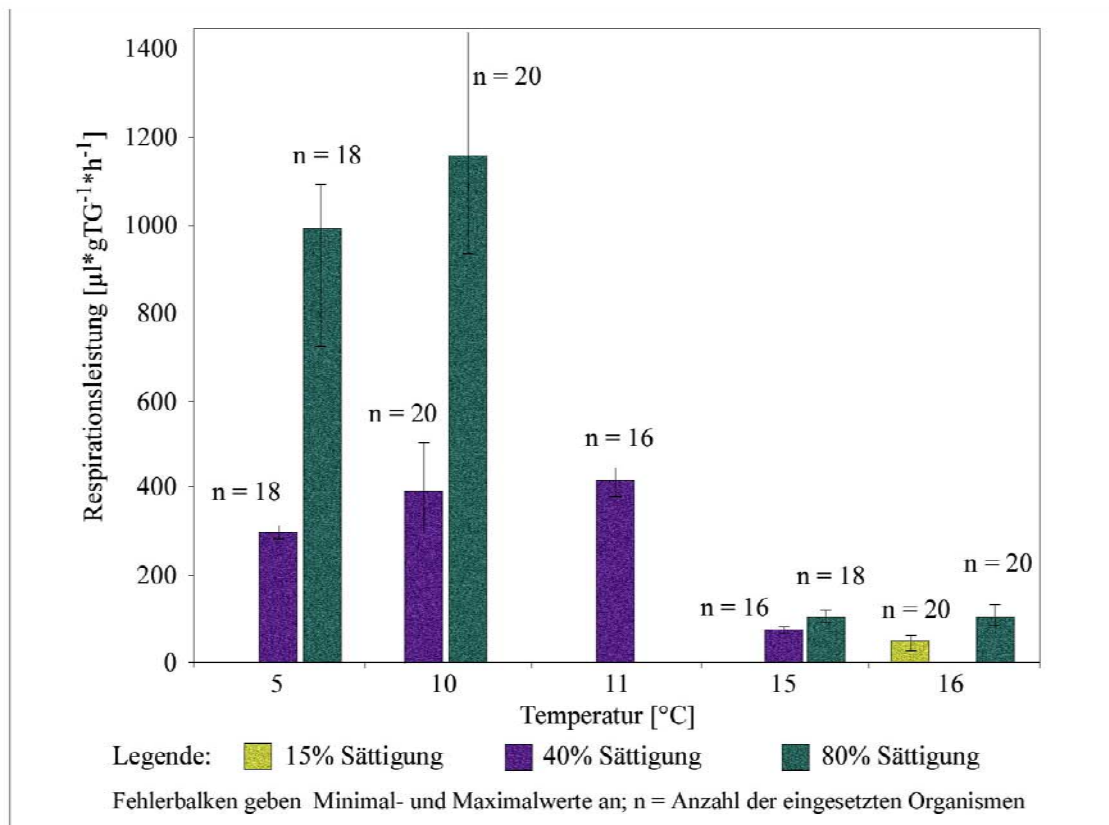


Abb. 46: Respiration von *Niphargus fontanus* bei unterschiedlicher Temperatur- und Sauerstoffvorgabe

Als zweiten, generellen Trend ließ die eindeutige Abhängigkeit der Respiration von der Temperatur erkennen. Dabei schienen die Tiere besonders im unteren Temperaturbereich (von 5°C – 11°C) gut zu respirieren. In Verbindung mit hohen Sauerstoffkonzentrationen wurden dabei mehr als 1400 µl\*h<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> verbraucht. Erhöhte man die Temperatur auf 15°C (und mehr), sank der Sauerstoffverbrauch jedoch rapide ab. So erreichte die Respiration bei 15°C und 40% (Sauerstoffvorgabe) nur noch 1/5 des Wertes bei 10°C, und bei 80% Sauerstoffvorgabe wurde 1/11 der Respiration bei 10°C erreicht (s. Abb. 46).

### 5.6 Abschätzung der Umsatzleistung der *Niphargus fontanus* Population im Langsamsandfilter auf der Basis der Resultate mit Eschenblättern

Auf der Basis der Resultate aus den Freßexperimenten ließen sich, wenn auch nur sehr grob und mit Einschränkungen, die Umsatzleistung einer geschätzten *Niphargus fontanus*-Population in einem Langsamsandfilter ermitteln (s. Tab. 13).

Aus den Freßexperimenten mit Eschenblattscheiben ging hervor, daß *Niphargus fontanus* zwischen 22,4 µg\*d<sup>-1</sup> TG und 27,8 µg\*d<sup>-1</sup> TG aufnahm. Aus den Arbeiten von Rumm (1993), Schmidt (1994) und Egert (1998) ließ sich aufgrund der erzielten Fangergebnisse und unter der Annahme, daß die Tiere gleichmäßig im gesamten Langsamsandfilter (Porenvolumen von 2100 m<sup>3</sup>) verteilt wären, die *Niphargus fontanus*-Population auf ca. 2.562.000 Individuen

schätzen. Davon entfallen 65% auf die Weibchen, 13% auf die Männchen und 22% auf Juvenile (Egert 1998).

Da in dieser Arbeit nur Adulte untersucht wurden, konnten auch nur diese berücksichtigt werden. Es ergibt sich somit für die 1.665.300 Weibchen eine täglich konsumierte Menge von ca.  $37\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und für die ca. 334.000 Männchen von ca.  $8\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bei  $10^{\circ}\text{C}$ . Für die gleiche Anzahl der Tiere ergeben sich bei  $14^{\circ}\text{C}$  ca.  $39\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG für die Weibchen und ca.  $9\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG für die Männchen.

**Tab. 13: Abschätzung des täglichen Konsums der adulten *Niphargus fontanus* im Langsandsfilter Becken 8 Echthausen / Ruhr**

Anm.: Den Berechnungen lagen Angaben aus Rumm et al. (1997) <sup>1</sup> und aus Egert (1998) <sup>2</sup> zugrunde.

\* Berechnet aus den individuellen Schwankungsbreiten der Tiere

|                                                                                    |                      |         |                |         |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|----------------|---------|
| Temperatur                                                                         | 10°C                 |         | 14°C           |         |
| Geschlecht                                                                         | ♀♀                   | ♂♂      | ♀♀             | ♂♂      |
| Futterkonsum [µg*d <sup>-1</sup> ]                                                 | 22,4                 | 23,6    | 23,4           | 27,8    |
| Poremvolumen im LSF <sup>1</sup>                                                   | 21.000m <sup>3</sup> |         |                |         |
| Individuenzahl pro l (kalkuliert) <sup>2</sup>                                     | 0,122 Individuen     |         |                |         |
| ♀♀ und ♂♂ pro l (kalkuliert) <sup>2</sup>                                          | 0,0793               | 0,0159  | 0,0793         | 0,0159  |
| Geschätzte Individuenzahl von <i>Niphargus fontanus</i> im LSF                     | 1.665.300            | 333.900 | 1.665.300      | 333.900 |
| Konsum der ♀♀ und ♂♂ im LSF [g*d <sup>-1</sup> ]                                   | 37,30                | 7,88    | 38,97          | 9,28    |
| Summe ♀♀ und ♂♂ [g*d <sup>-1</sup> ]                                               | 45,18 ± 36,14 *      |         | 48,25 ± 38,6 * |         |
|                                                                                    |                      |         |                |         |
| Verhältnis der Entwicklungsstadien von <i>Niphargus fontanus</i> nach Egert (1998) |                      |         |                |         |
| Die Angabe betrifft alle Stadien <sup>2</sup>                                      | ♀♀                   | ♂♂      | Juvenile       |         |
| Prozentuale Verteilung der Stadien                                                 | 65%                  | 13%     | 22%            |         |
| Anzahl der Ind. pro Stadium                                                        | 0,0793               | 0,0159  | 0,0268         |         |

Die täglich konsumierte Menge der adulten *Niphargus fontanus* beliefe sich dann auf  $45\text{g} \pm 36\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  bzw.  $48\text{g} \pm 39\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  belaufen.

Es muß klar sein, daß diese Angaben nur grobe Abschätzungen darstellen. Unter Realbedingungen steht *Niphargus fontanus* ein wesentlich breiteres Nahrungsspektrum zur Verfügung und die Tiere haben es mit einer Vielzahl von im Tages- und Jahresverlauf ständig schwankenden Variablen zu tun (Temperatur; Sauerstoffgehalt, Nahrungsangebot, etc.).

## 5.7 Zusammenfassung der Freß- und Respirationsexperimente

- Die Futterwahlversuche zeigten, daß Eschenblätter besonders gut als Futter für *Niphargus fontanus* und *Chappuisius inopinus* geeignet waren. *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale* bevorzugten Detritus als Nahrung.
- Die Eschenblätter wiesen eine Reihe von Vorteilen für die Freßexperimente auf:
  - gute Akzeptanz durch *Niphargus fontanus*

- günstiges C/N-Verhältnis
  - geringe Auswaschungsrate wasserlöslicher organischer Substanzen
  - gute Handhabbarkeit während der Experimentdurchführung
- Die Untersuchungen von *Niphargus fontanus* zeigten, daß die Tiere maximal über 200 Tage ohne Nahrungsaufnahme leben konnten.
  - Die Darmpassagezeiten von *Niphargus fontanus* lagen vom Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme bis zum Zeitpunkt der Pelletabgabe zwischen 2-6 Tagen. Der Darm ist überwiegend halb gefüllt.
  - Im Verlauf der Laborexperimente traten große individuelle Schwankungen auf, wodurch nur 48% - 62% der Experimentansätze auswertbar waren.
  - Die konsumierte Futtermenge der Tiere lag zwischen  $13,2\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und  $18,1\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die individuellen Schwankungen waren teilweise beträchtlich.
  - Die von *Niphargus fontanus* produzierten Kotballen waren in Länge, Gewicht und Anzahl sehr unterschiedlich und hatten große individuelle Schwankungen auf. Die raster-elektronenmikroskopische Untersuchung (Cryo-REM) zeigte, daß die Kotballen von einer peritrophischen Membran umgeben waren, allerdings waren Anfang und Ende der Pellets nicht von ihr umhüllt. Die peritrophische Membran war außen gering, auf der Innenseite jedoch dicht mit Mikroorganismen besiedelt.
  - *Niphargus fontanus* produzierte täglich Pellets mit einer Trockenmasse von  $11,8\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bis  $15,4\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG.
  - Die Assimilationseffizienz der Tiere betrug zwischen  $1,35\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und  $2,2\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die Unterschiede der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei gleichen Versuchstemperaturen waren bei 10°C und bei 14°C nicht signifikant. Betrachtete man die Unterschiede in der Assimilationseffizienz zwischen gleichgeschlechtlichen Tieren bei unterschiedlicher Temperatur zeigte sich, daß zwischen den Weibchen keine signifikanten, bei den Männchen dagegen signifikante Unterschiede beim Vergleich zwischen 10°C und 14°C bestanden.
  - Die Korrelationsanalyse ergab, daß zwischen den Variablen Futterkonsum und Pelletproduktion auf der einen Seite und Assimilationseffizienz der Tiere auf der anderen Seite ein enger Zusammenhang bestand (Korrelationskoeffizient: 0,93).
  - Die Respirationmessungen ergaben, daß die Tiere im unteren Temperaturbereich (zwischen 5°C und 10°C) hohe Respirationraten aufwiesen (mehr als  $1400\mu\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$  O<sub>2</sub>). Steigt die Temperatur an, fällt die Respirationsleistung rapide bis auf Werte von  $1/5 - 1/11$  des Sauerstoffverbrauchs bei 10°C ab. Als wichtige Randbedingungen für den Sauerstoffverbrauch der Tiere erwiesen sich der Sauerstoffgehalt und die Temperatur.

- Die täglich konsumierte Menge der adulten *Niphargus fontanus* Population im Langsandsandfilter würde sich auf der Basis der mit Eschenblättern erzielten Experimente auf  $45\text{g} \pm 36\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bzw.  $48\text{g} \pm 39\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG belaufen.

## 6 Diskussion

### *6.1 Einfluß ausgewählter Variablen auf die Organismenverteilung*

Abiotische und biotische Variablen regulieren die Zusammensetzung und die Verteilung der interstitiellen Lebensgemeinschaften, gleich ob sie die Lückenräume von Langsamsandfiltern oder anthropogen unbeeinflusstes Grundwasser besiedeln (Coineau & Boutin 1992; Gibert et al. 1994; Gibert et al. 1997). Eine wichtige abiotische Variable ist die Korngrößenzusammensetzung des Substrats und die daraus resultierende Porengröße. Korn- und Porengröße bedingen weitere Variablen wie die hydrologische Situation, die Strömungsgeschwindigkeit (Brunke & Gonser 1997a), den Grundwasserspiegel, den Sauerstoffgehalt, den pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Temperatur (Brunke & Gonser 1997b). Wichtige biotische Variablen sind die trophische Situation (Angebot und Verteilung organischer und anorganischer Nährstoffe) sowie inter- und intraspezifische Wechselwirkungen zwischen den Organismen (Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen, Parasitismus, mikrobielle Besiedlung etc.) (Ward & Palmer 1994).

Wie in natürlichen Grundwassersystemen stellen sich auch in Langsamsandfiltern eine Reihe von Gradienten ein, die sich aus der Vermischung des versickernden Oberflächenwasser und dem bereits vorhandenen Grundwasser ergeben. Der wesentliche Unterschied zwischen Langsamsandfiltern und dem Grundwasser der Flußtalauen besteht in der einseitigen Fließrichtung. In Langsamsandfiltern herrscht ein permanent nach unten gerichteter Wasserstrom vor. Zwar kann in Langsamsandfiltern das Wasser samt seiner Inhaltsstoffe auch über gewisse Strecken horizontal transportiert werden (Heath 1988), es findet aber keine Exfiltration in Oberflächengewässer statt. Darin besteht ein Unterschied zwischen dem natürlichen Oberflächenwasser/Grundwasser-Kontaktbereich und dem in Langsamsandfiltern. Grundwasser, das in Fließgewässer exfiltriert stellt in natürlichen Grundwassersystemen ein Charakteristikum der hyporheischen Zone dar (Triska et al. 1993a; Triska et al. 1993b), die wegen ihrer physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften häufig als Ökoton bezeichnet wird (Malard et al. 1994; Lafont et al. 1996; Gibert et al. 1997). Viele Fließgewässer fungieren als Drainagesystem für Aquifere und sind in ihrer ökologischen Ausprägung stark von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des exfiltrierenden Grundwassers geprägt (Sear et al. 1999). Das Oberflächenwasser/Grundwasser-Ökoton stellt eine wichtige Schaltstelle für die Interaktion zwischen den Organismen beider Bereiche und für den Nährstofffluß zwischen ihnen dar (Gibert et al. 1997; Dahm et al. 1998).

### 6.1.1 Temperatur

In Abb. 9 ist der Temperaturverlauf im Bodenfiltratschacht und im Oberflächenwasser dargestellt. Die Werte schwanken im Oberflächenwasser zwischen 1,0°C und 21,3°C und im Bodenfiltrat zwischen 20,2°C und 1,9°C. Damit spiegeln sich die jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen in beiden Bereichen wider. Die Untergrundpassage des infiltrierten Wassers ist in Echthausen im Vergleich zu anderen Systemen sehr kurz (ca. 24h, Westphal pers. Mitt.) Für die Trinkwasseranreicherung im Ruhrtal werden Untergrundpassagezeiten für das angereicherte Wassers von 1-4 Tagen angegeben. In anderen Grundwasseranreicherungsgebieten sind sie länger. Für die Halterner Sande sind es bspw. 50 Tage und mehr, für die Region in Ostwestfalen sind es 80 Tage und mehr (Schmidt 1985). Ein Charakteristikum der Untergrundpassage ist die temperaturpuffernde Wirkung des Untergrunds auf das infiltrierte Wasser, d.h. niedrige Temperaturen des Oberflächenwassers in den Wintermonaten steigen bei der Untergrundpassage an und hohe Temperaturen sinken in den Sommermonaten ab. Die Temperatur anthropogen unbeeinflussten, phreatischen Grundwassers entspricht der Lufttemperatur im Jahresmittel, und es treten kaum Schwankungen auf (DVWK - Fachausschuß Grundwasserbiologie 1988; DVWK - Fachausschuß Grundwasserbiologie 1997).

Obwohl die Untergrundpassagezeiten in Echthausen nur kurz sind und deswegen nur kaum mit einer Temperaturpufferung gerechnet werden kann, zeigen die Temperaturkurven des Oberflächenwassers und Bodenfiltrats einen völlig unerwarteten Verlauf. In den Wintermonaten liegen die Temperaturen des Bodenfiltrats erwartungsgemäß geringfügig über denen des infiltrierten Rohwassers, aber im Mai 1995 und desgleichen im Juni 1996 kehrt sich dieser Trend um, und nun übersteigt die Temperatur des Bodenfiltrats die des Oberflächenwassers. Zu erwarten wäre jedoch der umgekehrte Verlauf (Temperatur Oberflächenwasser > Temperatur Bodenfiltrat).

Eine Erklärung dieses Phänomens bietet sich an, wenn man den Weg des Wassers von der Rohwasserentnahme aus der Ruhr bis zur Versickerung im Langsandsandfilter genau verfolgt. Die Temperaturmessung des Oberflächenwassers erfolgt direkt an der Entnahmestelle in der Ruhr (Westphal pers. Mitt.). Nach der Entnahme aus der Ruhr fließt das Wasser durch das Sedimentationsbecken und gelangt dann auf die Langsandsandfilter, wo es versickert. Von der Wasserentnahme bis zur Versickerung in den Untergrund können mehrere Stunden vergehen. Gerade im Sommer kann sich das Wasser währenddessen beträchtlich erwärmen. Eine Temperaturmessung in der fließenden Welle der Ruhr ist daher ungeeignet, wenn man den temperaturpuffernden Effekt bei der Untergrundpassage zeigen will. Dieser Effekt wird nur dann deutlich, wenn man die Temperatur direkt im Überstau ermittelt. Auch aus natürlichen Systemen ist bekannt, daß es in extrem sonnenexponierten Uferbereichen zu höheren

Temperaturen im oberflächennahen Grundwasser als im Oberflächenwasser kommen kann (Valett et al. 1990).

Eine Korrelation der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Organismen mit der Temperatur läßt sich nicht feststellen. Aus vorangegangenen Untersuchungen (Rumm 1993; Schmidt 1994; Egert 1998) wurde deutlich, daß mit der Temperatur verbundene, jahreszeitliche Fluktuationen im Artengefüge zu beobachten sind (bspw. fehlen die Cladocera im Winter), es aber sonst keinen temperaturabhängigen Zusammenhang zwischen der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Taxa und dem Temperaturverlauf gibt (s. Abb. 21-Abb. 24)

Das ganzjährig Grundwassertiere im Langsamsandfilter gefunden wurden (Rumm 1993, Schmidt 1994) zeigt, daß sie die Temperaturamplitude von 18°C (und mehr) im Jahresverlauf gut ertragen können. Demnach sind die Stygobionten nicht per se kaltstenotherm wie dies bspw. Strayer (1994) vermutete. Die Temperaturvariabilität im Langsamsandfilter limitiert nicht zwangsläufig die Verbreitung der Stygobionten darin.

Es ist bekannt, daß die Temperatur einen entscheidenden Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit aller biochemischen und physiologischen Prozesse hat und damit auch auf die Freß- und Respirationsleistung der Organismen. Für biologisch relevante Temperaturen läßt sich dieser Zusammenhang mit der *Van't Hoff'schen Regel* beschreiben, nach der eine Temperaturerhöhung um 10°C eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit um den Faktor ( $Q_{10}$ ) von 1,5 - 4 nach sich zieht (Lampert & Sommer 1993).

Im experimentellen Teil der vorliegenden Arbeit wurde die Temperatur sowohl bei den Respirationsmessungen (5°C; 10°-11°C; 16°C) als auch bei den Freßversuchen (10°C; 14°C) mit *Niphargus fontanus* variiert. Aus den Respirationsmessungen deutet sich an, daß dieser Temperaturbereich dem physiologischen Optimum der Art entspricht und sowohl höhere als auch niedrigere Temperaturen zu reduzierten metabolischen Leistungen führen.

### 6.1.2 Sauerstoffgehalt

Während des Beobachtungszeitraums in den Jahren 1995 und 1996 schwankte der Sauerstoffgehalt im Rohwasser und im Bodenfiltratschacht zwischen 19,3 mg/l O<sub>2</sub> und 3,1 mg/l O<sub>2</sub>. Geringere Werte sind in dieser Zeit nicht festgestellt worden. Obwohl sich im kleinskaligen Bereich gelegentlich geringe Sauerstoffgehalte feststellen ließen, kann aufgrund der permanenten Sauerstoffzufuhr davon ausgegangen werden, daß Bereiche mit zeitweilig suboxischen Bedingungen (O<sub>2</sub>-Gehalt <0,3mg/l; (Malard & Hervant 1999) nur kurzzeitig zu finden sind. Demnach müßte im gesamten Langsamsandfilter eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Organismen gewährleistet sein. Im Grundwasser wird häufig ein enges räumliches und zeitliches Nebeneinander von oxischen (O<sub>2</sub>-Gehalt >3mg/l) und

suboxischen ( $O_2$ -Gehalt zwischen 0,1-3mg/l) Bereichen angetroffen (Danielopol 1983; Danielopol 1989). Bei geringen Sauerstoffkonzentrationen scheint die Meiofauna (insbesondere die Copepoda) aktiv Bereiche mit günstigeren Bedingungen aufzusuchen (Pospisil et al. 1994).

Im infiltrierten Oberflächenwasser ist der Sauerstoffgehalt während des gesamten Beobachtungszeitraums (1995 und 1996) höher als im Bodenfiltrat (s. Abb. 10, Tab. 19, Tab. 20). Dies verdeutlicht, daß während des gesamten Jahres ein intensiver Sauerstoffverbrauch im Lückensystem des Langsandsandfilters stattfindet. Im Sommer sind die Differenzen zwischen Bodenfiltrat und Rohwasser größer als im Winter, und es findet eine stärkere Sauerstoffzehrung statt. Die Abnahme des Sauerstoffgehalts im Grundwasser mit zunehmender Tiefe und Entfernung vom Infiltrationsort ist ein natürliches Phänomen (Schwoerbel 1967; Pennak & Ward 1986; Triska et al. 1993b; Findlay 1995), das mit der biologischen Aktivität im Untergrund, mit der reduzierten Fließgeschwindigkeit des Wassers im Lückensystem und mit der Verweilzeit des Wassers im Untergrund zusammenhängt (Brunke & Gonser 1997b; Malard & Hervant 1999). Ein hoher Sauerstoffgehalt im Rohwasser begünstigt die Eliminierung schwer abbaubarer organischer Mikroverunreinigungen (Drews & Haberer 1986). Die Sauerstoffverhältnisse im Langsandsandfilter sind günstig für die darin befindlichen Stygobionten, die selbst gegenüber gelegentlich auftretenden suboxischen Bedingungen tolerant sind (Malard & Hervant 1999).

### 6.1.3 PH-Wert

Anhand der pH-Werte ließen sich in Echthausen zwei Bereiche voneinander unterscheiden. Der Überstau mit der Biologisch aktiven Zone grenzte sich vom Lückensystem des Langsandsandfilters ab (s. Abb. 11). Die absoluten Unterschiede zwischen beiden Bereichen waren allerdings gering und betrugen im Überstau und in der Biologisch aktiven Zone  $pH = 8,0$  und im Lückensystem durchschnittlich  $pH = 7,3$ . In aquatischen Systemen ist der pH-Wert eng mit der  $CO_2$ -Konzentration verbunden, die ihrerseits stark mit der respiratorischen Aktivität der Lebensgemeinschaft im Lückensystem (Pusch 1993; Pusch & Schwoerbel 1994) und der photoautotrophen Aktivität der Algen korreliert (Schwoerbel 1967). Vergleiche zwischen Oberflächenwasser und dem direkt darunter befindlichen Porenwasser zeigen, daß der pH-Wert im Porenwasser niedriger ist (Husmann 1971; Williams & Hynes 1974). In hydraulisch eng verzahnten Systemen können sich in Abhängigkeit von der Durchflußgeschwindigkeit und der Verweildauer des Wassers im Untergrund tagesabhängige pH-Wert-Änderungen des Oberflächenwassers im Porenwasser wiederfinden (Schwoerbel 1961). Eine Korrelation zwischen dem pH-Wert und dem Verteilungsmuster der Fauna läßt



sich nicht finden. Bezogen auf die metabolische Aktivität der Lückenfauna im Langsamsandfilter kann der pH-Wert nicht als limitierender Faktor angesehen werden.

#### **6.1.4 Leitfähigkeit**

Die Leitfähigkeitswerte bewegen sich während des Untersuchungszeitraums (1996) in allen Bereichen innerhalb enger Grenzen zwischen  $298\mu\text{S}/\text{cm}$  und  $437\mu\text{S}/\text{cm}$ , und es treten nur geringfügige Unterschiede zwischen der Biologisch aktiven Zone, dem Langsamsandfilter und dem Bodenfiltratschacht auf. Die Leitfähigkeit, die als unspezifische Meßgröße einen Anhaltspunkt für die Summe der im Wasser gelösten Ionen liefert, scheint in Echthausen keinen bedeutenden Einfluß auf die Verteilung der Organismen zu haben. Dies deckt sich mit vorangegangenen Untersuchungen in diesem System (Rumm, 1993; Schmidt 1994; Egert 1998).

#### **6.1.5 Grundwasserstand**

Der Grundwasserspiegel schwankte im Zeitraum der vorliegenden Untersuchung so stark, daß es nicht möglich war, auch nur an einem der Beobachtungstage einen einheitlichen Grundwasserspiegel in allen Rohren zu ermitteln (s. Abb. 12). Der Grundwasserstand eines Langsamsandfilters ist abhängig von der Durchlässigkeit des Sediments, der hydraulischen Belastung (Menge des zugeführten Wassers und Höhe des Überstaus) und der Speicherkapazität des Untergrunds. Außerdem beeinflusst die Wassermenge, die über die Sickergalerien dem Untergrund entnommen wird, den Grundwasserspiegel in Langsamsandfiltern. Zusätzlich beeinflusst die Temperatur die Viskosität des Wasser und damit die Durchflußgeschwindigkeit durch den Untergrund (Lampert & Sommer 1993). In diesen Punkten sind Langsamsandfilter mit der hyporheischen Zone natürlicher Gewässer vergleichbar (Brunke & Gonser 1997b). Doch zeichnen sich Langsamsandfilter aber durch eine Reihe weiterer, den Grundwasserspiegel beeinflussender Faktoren aus. Der Untergrund des untersuchten Langsamsandfilters besteht aus zwei Phasen: Erstens aus der 40-50cm starken, homogenen Sandschicht und zweitens aus der darunter befindlichen, heterogenen Schotterschicht der Ruhrtalaue.

Die Summe dieser komplexen Gegebenheiten führt zu hydraulisch schwer erfassbaren Verhältnissen im Langsamsandfilter, und es ist schwierig einen einheitlichen Grundwasserspiegel zu ermitteln. Dies spiegelt sich in den Daten wider. So ergaben bspw. die Messungen am Probestern 08/96 in zwei unmittelbar benachbarten (1m horizontaler Abstand) Peilrohren einen Pegelstand von -36cm (R4) unter Flur und -136cm unter Flur (R6) (s. Abb. 4). Obwohl beide Peilrohre dicht nebeneinander stehen, beträgt die Differenz zwischen den beiden Pegelständen genau 1m. Es entsteht der Eindruck, daß die Grundwasserstände chaotisch verlaufen und keinem einheitlichen Niveau zuzuordnen sind. Demzufolge kann die

Organismenverteilung, insofern sie vom Grundwasserstand abhängt, in diesem System ebenfalls nur chaotisch sein. Es fällt allerdings schwer zu glauben, daß der Grundwasserspiegel tatsächlich einen treppenartigen, abrupt wechselnden Verlauf haben soll. Stattdessen wird auch im Langsamsandfilter ein einheitlicher Grundwasserspiegel erwartet. Was könnte dann die beträchtlichen Niveauunterschiede erklären?

Eine Antwort ergibt sich aus der Betriebsweise der Langsamsandfilter. Im Lückensystem eines frisch gereinigten Langsamsandfilters befindet sich neben dem Kapillarwasser auch Luft. Wird der Langsamsandfilter „angefahren“, gelangt viel Wasser in kurzer Zeit auf den Filter. Die Kapillarluft kann nicht schnell genug entweichen und wird im Untergrund eingeschlossen, wodurch unterirdische Luftblasen entstehen. Befindet man sich mit dem Lichtlot bei der Messung des Grundwasserstands über einer Luftblase, ermittelt man einen „falschen“ Wert und kommt so zu vermeintlich stark schwankenden Grundwasserständen.

Vor diesem Hintergrund wird die Zuordnung faunistischer Verteilungsmuster in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel schwierig. Vorangegangene Untersuchungen (Schmidt 1994) deuten auf eine Korrelation zwischen Grundwasserstand und räumlicher Besiedlung einzelner Arten hin. So zeigen bspw. *Phyllognathopus viguieri* und *Epactophanes richardi* hohe Abundanzen, wenn der Grundwasserspiegel sehr hoch liegt. Es könnte sich dabei aber auch um ein methodisch bedingtes Artefakt handeln. Aus Peilrohren kann nur dann eine Wasserprobe entnommen werden, wenn sich der Grundwasserspiegel über den Entnahmелöchern des Peilrohrs befindet. Liegt ein Rohr „trocken“ ist keine Wasserentnahme möglich. Von *Phyllognathopus viguieri* ist bekannt, daß er auch in der feuchten ungesättigten Zone leben kann (Chappuis 1916). Es liegt die Vermutung nahe, daß hohe Abundanzen dieser Art immer dann festgestellt werden, wenn eine Probe aus der entsprechenden Tiefe entnehmbar ist. Somit wäre der Wasserstand zwar entscheidend dafür, ob überhaupt eine Probenentnahme aus dem jeweiligen Peilrohr möglich ist, aber nicht der entscheidende Faktor für die Verteilung der beiden Harpacticoida-Arten.

Für viele Arten ist bekannt, daß sie nur in wassergesättigtem Milieu vorkommen, also die feuchte Bodenzone nicht bewohnen können. Dies trifft bspw. für *Pseudocandona zschokkei* zu (Rogulj et al. 1994), der als stygobionter Ostracode phreatische, wassergesättigte Bereiche bevorzugt. Betrachtet man den Verbreitungsschwerpunkt der jeweiligen Taxa in Echthausen, läßt sich feststellen, daß alle denkbaren Verbreitungsmuster erkennbar sind: Bestimmte Gruppen kommen ausschließlich in den wassergefüllten Bereichen des Langsamsandfilters vor. Es handelt sich hierbei um die Vertreter der Hydrozoa, der Gastropoda (hauptsächlich *Bythiospeum septentrionale*), der Polychaeta (*Troglochaetus beranecki*), der Aeolosomatidae, der Tardigrada, der Ostracoda, der Amphipoda und der Isopoda. Gledhill (1977), der die

Populationsstruktur von 4 Grundwasseramphipoden (*N. aquilex*, *N. kochianus*, *N. fontanus* und *C. subterraneus*) in einer 5-jährigen Studie untersuchte, kam zu dem Ergebnis, daß die Tiere in der Lage sind, mit dem schwankenden Wasserspiegel zu wandern und relativ konstante Populationen im untersuchten Grundwasserlebensraum aufzubauen.

Eine zweite Gruppe hat ihren Verbreitungsschwerpunkt in der Sandschicht und erweist sich als robust gegenüber den wasserungesättigten Mikrokavernen in diesem Bereich. Zu dieser Gruppe gehören die Turbellaria, die Oligochaeta, die Harpacticoida und die Collembola.

Eine dritte Gruppe läßt sich nicht eindeutig zuordnen und zeigt ein heterogenes Verbreitungsmuster über den gesamten Tiefenbereich des Langsamsandfilters. Dazu gehören die Protozoa, die Rotatoria, die Nematoda, die Acari und die Cyclopoida. Das Verbreitungsmuster der dritten Gruppe erlaubt zwei Schlußfolgerungen: Entweder handelt es sich um Arten, die gegenüber den schwankenden, hydraulischen Bedingungen in der Sandschicht indifferent und nicht an permanent wassergefüllte Lückenräume gebunden sind, wie das bspw. für Nematoden gezeigt wurde (Eder 1983), oder aber eine genauere taxonomische Zuordnung ist erforderlich, um zu genaueren Aussagen zu gelangen. Das Problem der taxonomischen Zuordnung sei am Beispiel der Cyclopoida verdeutlicht. Auf Ordnungsniveau betrachtet, findet man Cyclopoida in allen Bereichen des Langsamsandfilters, in der Biologisch aktiven Zone und im Bodenfiltratschacht. Analysiert man die Verteilung der Gruppe auf Artniveau, lassen sich für die einzelnen Arten eindeutige Verbreitungsschwerpunkte im Langsamsandfilter feststellen. So bevorzugen mehr als 90% der Individuen von *Eucyclops serrulatus* und *Paracyclops fimbriatus* die Biologisch aktive Zone, während *Diacyclops languidoides* und *Graeteriella unisetigera* die Sandschicht bevorzugen und sich *Diacyclops bicuspidatus*, *D. bisetosus*, *D. languidus* und *Acanthocyclops robustus* hauptsächlich in den wassergefüllten Bereichen des Langsamsandfilters aufhalten (Rumm 1993).

Der Grundwasserstand erweist sich vor diesem Hintergrund für einige Taxa als limitierender Faktor für die Besiedlung oberflächennaher Bereiche, wenn diese zeitweise wasserungesättigt sind. Eine große Gruppe von Arten stört es jedoch nicht, wenn der Grundwasserspiegel schwankt und die Sandschicht zeitweise trockenfällt.

#### **6.1.6 Phosphat**

Phosphat ist als essentieller Nährstoff für Algen und Bakterien sehr häufig ein Minimumfaktor, d.h. es wirkt auf diese Organismengruppen wachstumslimitierend, wenn es nicht in ausreichender Menge vorhanden ist (Lampert & Sommer 1993). Für die Vertreter der Meio- und Makrofauna ist das freie, gelöste Phosphat (das i.d.R. als Orthophosphat auftritt) nicht direkt nutzbar. Hohe Phosphatmengen bedingen allerdings ein erhöhtes Mikro-

organismenwachstum, was sich indirekt auf bakterivore Tiere auswirken kann. Der hohe Konkurrenzdruck um freies bioverfügbares Phosphat sorgt dafür, daß freigewordenes Phosphat innerhalb kurzer Zeit (10 min.) von den Organismen wieder aufgenommen wird (Lampert & Sommer 1993).

Die Phosphatkonzentrationen Oberflächenwasser und im Bodenfiltrat unterschieden sich in Echthausen deutlich. Die deutliche Abnahme während der Untergrundpassage kann verschiedene Ursachen haben. Mikroorganismen nehmen Phosphat auf und fixieren es in Form von Biomasse. Das Orthophosphat-Ion adsorbiert an Tonminerale und kann so im Untergrund festgelegt werden. Die Phosphatfestlegung im Sediment ist von der Sauerstoffkonzentration und den Redoxbedingungen im Untergrund abhängig. Bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen ( $<0,1\text{mg/l O}_2$ ) und geringem Redoxpotential (0,2-0,3mV) bildet Phosphat mit Eisen einen unlöslichen Komplex und wird ausgefällt (Lampert & Sommer 1993; Boulton et al. 1998). Da aber im Lückensystem des Langsandsandfilters Sauerstoffkonzentrationen von über 0,1mg/l herrschen, ist der Großteil der Phosphatreduktion der biologischen Aktivität in diesem System zuzurechnen. Die hohe Bakteriendichte und günstige Lebensbedingungen machen es wahrscheinlich, daß effiziente Bakterienfresser im Langsandsandfilter zu finden sind. In Frage dafür kommen besonders die Bewohner der Biologisch aktiven Zone und der Sandschicht, da hier die höchsten Bakteriendichten zu finden sind (Schmidt 1966). Brink (1967), der die verschiedenen Prozesse der Phosphorreduktion in biologischen Filtern untersuchte, kommt zu dem Ergebnis, daß die Adsorption an Tonminerale die größte Bedeutung bei der Phosphatentfernung hat. Darüberhinaus schreibt er der „Zwischenschicht im Filtermaterial“ („...the interlayer in filtering material...“ Brink 1967) eine zentrale Rolle bei der Phosphatumsatzung zu. Bei dieser „Zwischenschicht“ handelt es sich möglicherweise um die an Sedimentoberflächen haftenden Biofilme.

#### **6.1.7 Ammonium**

Ammonium und Nitrat sind wichtige anorganische Stickstoffquellen für zahlreiche Algen, für Makrophyten und für eine Reihe spezialisierter Mikroorganismen (Schwoerbel 1993). Unter aeroben Bedingungen kann Ammonium über die Zwischenstufen Nitrit und Nitrat zu organischem Stickstoff nitrifiziert werden (Drews & Haberer 1986). Hohe Nitrifikationsraten sind daher mit großer biologischer Aktivität gleichzusetzen, allerdings ist zu berücksichtigen, daß der Prozeß stark temperaturabhängig ist, wodurch besonders im Winter eine Beeinträchtigung des Ammoniumabbaus entsteht.

Wie beim Phosphat ergab sich auch beim Ammonium ein klar ersichtlicher Unterschied zwischen dem Rohwasser und dem Bodenfiltrat. Verantwortlich für die Stickstoffelimination

sind die nitrifizierenden Bakterien, da ausreichend Sauerstoff im Langsamsandfilter vorhanden ist. Sauerstoff und ausreichende Kohlenstoffquellen sind die entscheidenden Regulative der Nitrifikation. In diesem Zusammenhang weisen Drews & Haberer (1986) auf die Vorteile eines intermittierenden Filterbetriebs hin. Besonders intensive Stickstoffumsetzungen finden im hyporheischen Interstitial an der Grenze zwischen sauerstoffhaltigen und sauerstofffreien Bereichen statt (Triska et al. 1993a). Ob diese Prozesse im Mikrohabitatbereich auch in Echthausen stattfinden, konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht festgestellt werden, jedoch zeigen die Daten, daß der Abbau der Stickstoffkomponenten während der Untergrundpassage effizient ist.

Ammonium ist für die Trinkwassererzeugung im Ruhrtal ein problematischer Stoff, da es in hohen Konzentrationen im Untergrund festgelegte Metalle mobilisiert und mit Chlor zu Chloramin reagiert, wodurch nicht nur Geruchsprobleme sondern auch Konflikte mit der Trinkwasserverordnung entstehen können.

Daß sich die Anwesenheit der Meiofauna positiv auf die Denitrifikationsraten der Mikroorganismen auswirkt, zeigte Merle (1994, cit. in Ward 1998), die feststellte, daß sich die Abbauleistungen der Mikroorganismen in Anwesenheit von Tubificidae (*Tubifex tubifex*, *Limnodrillus hofmeister*, *L. udekemianus*) erhöhten. Es liegt nahe, daß auch in Echthausen Tiere zu finden sind, die nitrifizierende Mikroorganismen konsumieren. Da auch Echthausen ist von einer reichhaltigen Meiofauna besiedelt ist, ist davon auszugehen, daß die auch einen positiven Effekt auf die Denitrifizierer hat. Der synergistische Effekt könnte einerseits in der Beweidung der Mikroorganismen durch die Meiofauna sein und / oder durch die Bewegungsaktivität der Meiofauna hervorgerufen werden, die so ständig neue Infiltrationswege für die angehefteten Mikroorganismen schafft.

#### **6.1.8 Gelöster organischer Kohlenstoff**

In Echthausen lagen die mittleren DOC-Werte im Bodenfiltrat 1995 und 1996 bei 0,91mg/l bzw. 0,98mg/l und damit deutlich unter denen des Rohwassers. Drews & Haberer (1986) fanden im Rohwasser des Main DOC-Gehalte von durchschnittlich 4,2mg/l.

DOC ist ein Gemisch aus verschiedenartigen Substanzen, wie Mono- und Oligosacchariden, freien Aminosäuren etc., „dessen Zusammensetzung wohl kaum vollständig aufgeklärt werden kann“ (Lampert & Sommer 1993). DOC-Quellen stellen die Exkretionsprodukte lebender Organismen, die Autolyse und der mikrobielle Abbau abgestorbener Organismen und der allochthone Eintrag dar. Verantwortlich für den Abbau des DOC sind in erster Linie die Mikroorganismen, aber auch Protozoa und Metazoa sind in der Lage, DOC aufzunehmen (Montagna 1984; Lampert & Sommer 1993; Petersen 1997). DOC wird im Untergrund durch

Adsorption an das Sediment und an Biofilmen sowie durch mikrobiellen Abbau reduziert (Claret et al. 1997).

Durch die Betriebsweise des Langsandsandfilters wechseln sich Perioden mit hoher hydraulischer Belastung und keiner Belastung während der Reinigungsphasen ab. Diese Veränderungen wirken auf das interstitielle Fließregime und beeinflussen die Menge und die Zufuhr der organischen Nährstoffe und des verfügbaren Sauerstoffs (Dahm et al. 1998). Gibert et al. (1998) untersuchten, wie sich DOC bei der Uferfiltration auf die Mikroorganismen-Gemeinschaften und die Interstitialfauna auswirkt. Sie unterschieden zwischen bioverfügbarem DOC (BDOC) und refraktärem DOC (RDOC), das nicht biologisch abgebaut werden kann und nur adsorptiv an Sediment gebunden wird. Die beiden Fraktionen erreichten im Oberflächenwasser jeweils Werte von ca. 2-4mg/l DOC. Im Zuge der Uferfiltration stellten Gibert et al. (1998) einen Abbau des BDOC auf unter 1mg/l fest. Interessant ist, daß die von Gibert et al. (1998) gefundene Interstitialfauna sowohl im ufernahen als auch im uferfernen Bereich nur aus epigäischen Elementen (Oberflächenwassertieren) bestand, hauptsächlich Oligochaeta, Mollusca und Chironimidae, die als robust gegenüber Verschmutzungen angesehen werden (Gibert et al. 1998). Eine zweite Gruppe von epigäischen Formen, bestehend aus Cyclopoida und Cladocera, ist aufgrund ihres kurzen Lebenszyklus unempfindlicher gegenüber organischer Belastung, denn sie sind ihr zu kurz ausgesetzt, um durch sie geschädigt zu werden.

Gibert et al. (1998) vermuten, daß sich ein Überangebot an DOC negativ auf die Grundwasserfauna auswirkt. Die niedrigen DOC-Konzentrationen in Echthausen und die 22 stygobionten Arten scheinen dies zunächst zu bestätigen. Doch ist es unwahrscheinlich, daß die organische Fracht alleine als Ausschlußfaktor für die Grundwasserfauna anzusehen ist. Dies spiegeln auch die Ergebnisse von Steenken (1998) wider. Sie konnte für 7 Meßstellen im Quartär durchschnittliche DOC-Gehalte von 1,45mg/l - 7,83mg/l und für 5 Quellen aus dem Kristallin durchschnittliche DOC-Gehalte von 0 (bzw. nicht nachweisbar) - 0,48mg/l DOC ermitteln. Dabei ergab sich keine eindeutige Korrelation zwischen DOC-Gehalt und Zusammensetzung der Interstitialfauna. So fanden sich in den DOC-armen quartären Quellen zwischen 17%-44% stygoxene Vertreter, während bspw. im stärksten DOC-belasteten Standort des Kristallin 66% der Fauna zu den Stygobionten zählte. An zwei schwach DOC-belasteten Standorten (durchschnittlich 1,69mg/l und 1,78mg/l DOC) traten nur Stygobionte auf (Steenken 1998).

Das in Echthausen DOC biologisch abgebaut wird ist unstrittig. Dies geht aus den Daten eindeutig hervor. Unklar ist jedoch der Anteil, den die Meiofauna daran hat. Ob es Vertreter gibt, die DOC direkt aufnehmen können bleibt für Echthausen spekulativ, allerdings deuten

Ergebnisse aus anderen Versuchen an, daß bspw. Oligochaeta durchaus in der Lage sind, DOC aufzunehmen (Petersen 1997). Vermutlich können dies auch die Oligochaeta in Echthausen. Das wichtigste verbindende Glied zwischen DOC und Meiofauna sind die Mikroorganismen. Diese sind in der Lage, DOC aufzunehmen und in Biomasse umzuwandeln, die ihrerseits wieder von der Meiofauna aufgenommen werden kann (Borchardt & Bott 1995; Montagna 1995). Der mikrobielle Bewuchs auf den konditionierten Eschenblättern, zeigt, daß erst die Mikroorganismen das Futter für *Niphargus fontanus* und andere Vertreter aus dem Lückensystem attraktiv machte.

#### **6.1.9 Partikulär gebundener Kohlenstoff, Stickstoff und C/N-Verhältnis**

Aufgrund der unterschiedlichen Beprobungsweise der Biologisch aktiver Zone und den Peilrohren im Langsamsandfilter ist ein direkter Vergleich der Daten nur bedingt möglich. Es läßt sich feststellen, daß die absoluten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in der Biologisch aktiven Zone am größten sind. Aus den Daten wird die Tendenz erkennbar, daß der POC- und PON-Gehalt im Laufe der Untergrundpassage abnimmt und im System zurückgehalten und metabolisiert wird. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen von Husmann (1968) und Duncan (1988), die mit zunehmender Tiefe eine Reduktion des POC feststellten. Dieser Sachverhalt erklärt sich aus den in Langsamsandfiltern herrschenden Verhältnissen. Das infiltrierte Wasser enthält organische Schwebstoffe, die zum Großteil auf der Filteroberfläche sedimentieren, wodurch es zu Kolmationsprozessen kommt, d.h. die oberflächennahen Lückenräume verstopfen zunehmend (Brunke & Gonser 1997c) und das infiltrierte Wasser beginnt sich aufzustauen. Der entstehende Überstau ermöglicht Algenwachstum und auf der Filteroberfläche bildet sich die Biologisch aktive Zone. Nur ein Bruchteil der infiltrierten partikulären organischen Fracht gelangt in das Lückensystem des Langsamsandfilters. Vergleicht man, wieviel organische Fracht sich im Lückensystem des Langsamsandfilters befindet und wieviel davon aus dem System ausgetragen wird, ergeben sich Unterschiede in der Größenordnung von 2-4 Zehnerpotenzen (s. Abb. 15). Der Langsamsandfilter erweist sich somit nicht nur im Hinblick auf die Organismen, sondern auch für die eingetragene organische Fracht als effizientes Rückhalte- und Abbausystem.

Die größte Menge der mit dem Rohwasser eingetragenen partikulären organischen Fracht bleibt auf der Sandschicht liegen. Die extreme Abnahme der POC-Werte von der Filteroberfläche bis in die Tiefe deutet dies an. Dole-Olivier & Marmonier (1992) stellten in der Infiltrationszone eines Seitenarms der Rhône POC-Werte von 30,5mg/l – 47,0mg/l in einer Tiefe von 50 – 200cm fest und in der Exfiltrationszone (nach ca. 1200m Untergrundpassage)

ermittelten sie POC-Werte von 0,7mg/l – 4,9mg/l. Diese Ergebnisse verdeutlichen wie effizient der Rückhalt organischer Fracht im Lückensystem sein kann.

Vergleicht man die räumliche und zeitliche Verteilung des POC-Gehalts im Langsamsandfilter, ergibt sich keine Tendenz in Abhängigkeit von der Tiefe oder der Zeit. Weder ist ein vertikaler Gradient erkennbar, noch gibt es eine zeitliche Tendenz im Verlauf der POC-Gehalte. Die Peilrohre mit hohen POC-Gehalten verfügen i.d.R. auch über hohe PON-Gehalte.

Vergleicht man die C/N-Werte mit der Organismenverteilung, lassen sich keine Korrelationen finden. Die C/N-Werte liegen in der Biologisch aktive Zone zwischen 7 und 8, und die absoluten Werte für POC und PON zeichneten sich durch hohe Anteile im Juni (145g/m<sup>2</sup>) und Juli (170g/m<sup>2</sup>) und geringe Werte im August (35g/m<sup>2</sup>) aus (s. Abb. 14). Diesem Verlauf folgen die faunistischen Daten nicht. Vergleicht man den Verlauf der C/N-Werte mit dem der faunistischen Daten, ergeben sich keine erkennbaren Ähnlichkeiten. Dies liegt vermutlich in der großen Streuung sowohl der faunistischen als auch der C/N-Werte begründet (s. Abb. 16 und Tab. 22). Vergleicht man das C/N-Verhältnis der partikulären Fracht aus dem Langsamsandfilter mit dem C/N-Verhältnis der inkubierten Eschenblattscheiben, ergeben sich keine gravierenden Unterschiede. Im Langsamsandfilter streuen die Werte sehr stark zwischen 3,7 und 12,8. Die C/N-Verhältnisse im Langsamsandfilter sind durchschnittlich höher, als in den von Gounot (1960) untersuchten Sedimenten französischer Höhlen. Dort stellte sie C/N-Werte von 3,6-5 fest.

Die C/N-Verhältnisse der Eschenblattscheiben liegen zwischen 8 und 10. Möglicherweise repräsentieren die Eschenblätter für die meisten der untersuchten Organismen ein Futter von ausreichend hoher und konstanter trophischer Beschaffenheit, so daß sie deswegen gut akzeptiert werden.

Für die Beurteilung der nutritiven Qualität einer Nahrungsressource stellt ihr C/N-Verhältnis eine gutes Maß dar. Beispielsweise enthalten bei Phytoplanktonblüten die Faecal Pellets von Zooplanktern große Mengen unverdauten Materials, bestehend aus Proteinen, Kohlenhydraten und Chlorophyll (Peters 1992). Das C/N-Verhältnis solcher Pellets nähert sich dem lebender Phytoplanktonorganismen an und beträgt durchschnittlich  $106 \text{ C} : 16 \text{ N} = 6,6$ . Verknappen die Nahrungsressourcen, werden besonders die stickstoffhaltigen Bestandteile der aufgenommenen Nahrung von den Zooplanktern besser ausgenutzt, und folglich nehmen die C/N-Verhältnisse der dann produzierten Faecal Pellets zu (Knauer et al. 1979).

## **6.2 Die Artenzusammensetzung und -verteilung in Echthausen**

Ähnlich umfassende Bestandsaufnahmen der Arten wie in Echthausen sind aus anderen Langsamsandfiltern nicht bekannt. In vergleichbaren Untersuchungen werden nur wenige Taxa



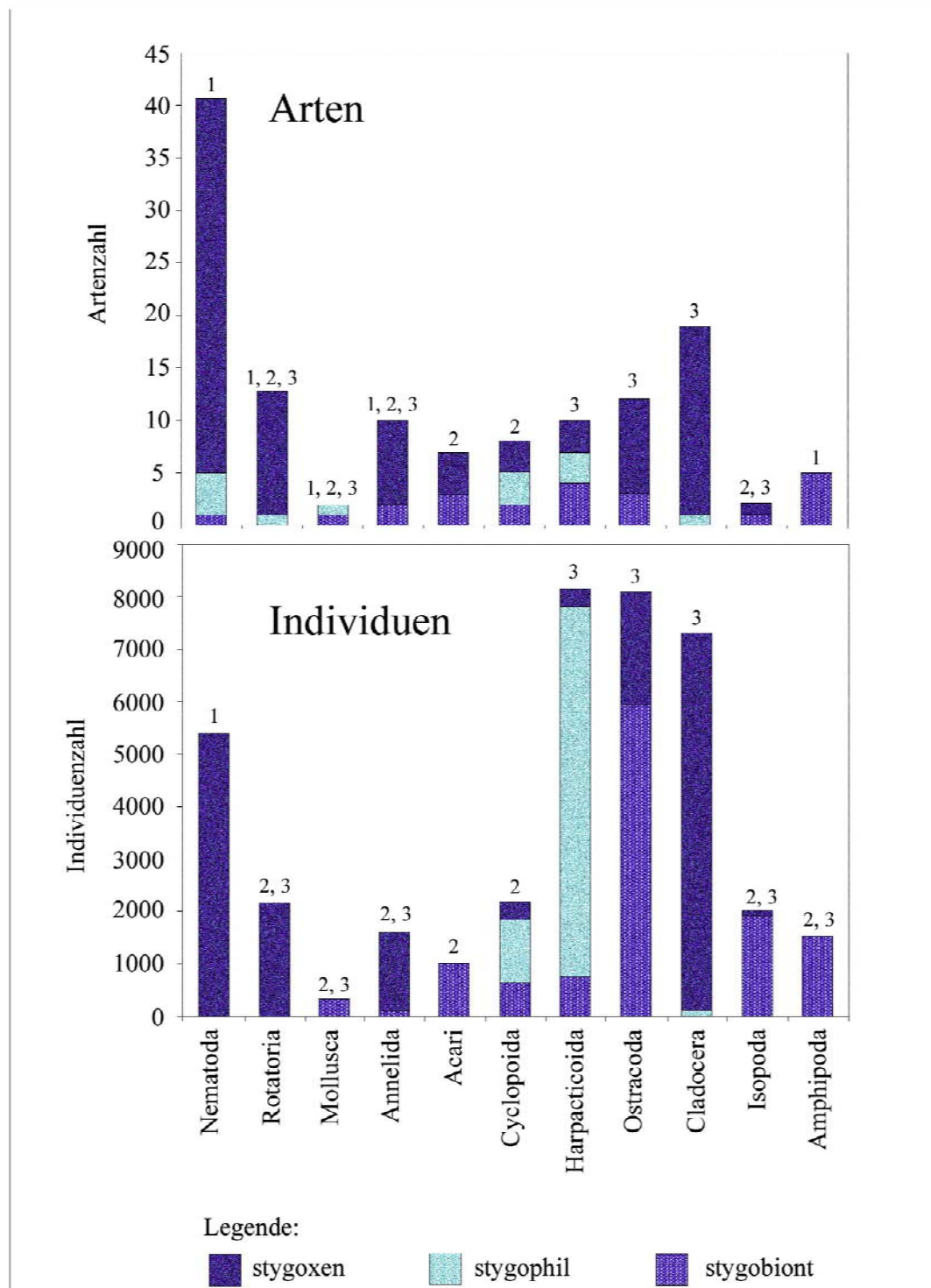
erwähnt. Echthausen erweist sich demnach als artenreich, obwohl eine vollständige Analyse aller Taxa bis auf Artniveau auch hier noch nicht abgeschlossen ist. Die tatsächliche Artenzahl in Echthausen ist sogar noch höher als hier angegeben, da artenreiche Gruppen wie die Chironomidae und Protozoa noch nicht bis zur Art bestimmt worden sind. Bei Untersuchungen von Wasseraufbereitungsanlagen in Bremen nennt Husmann (1958) 20 Arten, und in einer Untersuchung im Rheintal (Wiesbaden/Schierstein) berichtet er von 6 stygobionten Arten, erwähnt aber keine weiteren Arten. Noll (1974) nennt 23 Arten aus Langsamsandfiltern der Dortmunder Wasserwerke. Duncan (1988) faßt Untersuchungen aus verschiedenen Doktorarbeiten zusammen und erwähnt 26 Arten (davon 12 Protozoa). Wotten et al. (1996) untersuchten die Chironomidae-Besiedlung eines Langsamsandfilters und fanden 23 Arten. Bei den genannten Untersuchungen ist anzunehmen, daß die Autoren zu höheren Artenzahlen gekommen wären, wenn das gesamte Arteninventar taxonomisch bearbeitet worden wäre. Die Besonderheit der Untersuchungen in Echthausen ist, daß sie den bisher umfassendsten Versuch einer vollständigen faunistischen Erfassung einer Langsamsandfilterbesiedlung darstellt.

Betrachtet man die Individuenzahlen der gefundenen Taxa, läßt sich feststellen, daß die Stygobionten, obwohl sie nur mit 22 Arten vertreten sind, in einigen Gruppen den Großteil der Individuen und damit auch die bedeutendste Biomasse ausmachen (Abb.47). Dies wird bei den gefundenen Amphipoda offensichtlich, die allesamt stygobiont sind. Bei den Mollusca, den Acari, den Copepoda, den Ostracoda und bei den Isopoda stellen die Stygobionten und Stygophilen den größten Teil der Individuen. Bei den Nematoda, den Rotatoria und den Cladocera sind es jedoch die Stygoxenien, die den größten Individuenanteil bezogen auf die Gesamtabundanz ausmachen. Aus diesem Vergleich läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß die stygobionten und stygophilen Invertebraten in diesem System eine bedeutende Rolle spielen, zumindest was das Verhältnis von Artenzahl zu Individuendichte betrifft. In dieser Hinsicht erweisen sich Langsamsandfilter ganz im Husmannschen Sinne als „Grundwasserlebensräume eigener Prägung“ (Husmann 1968; Husmann 1976).

Sehr schwierig zu interpretieren bleiben die räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster der Organismen, vor allem die der Stygobionten, insbesondere wenn dies in Abhängigkeit von einer (oder mehreren) biotischen oder abiotischen Variablen geschehen soll. Es ist bekannt, daß die Verteilungsmuster der interstitiellen Fauna entlang eines Gradienten von gut vorhersagbar (bspw. entlang eines biotischen bzw. abiotischen Trends) bis hin zu chaotisch und nicht vorhersagbar reichen (Fleeger & Decho 1987).

Da im Langsamsandfilter eine Vielzahl von Faktoren wirksam werden (Fließregime, Sedimentcharakteristik, chemisch-physikalisches Milieu, mikrobielle Besiedlung und Aktivität, interspezifische Wechselwirkungen der Arten) und sich betriebsbedingt durch die

Filterreinigungen eine ganze Reihe von Variablen schlagartig ändern, scheint es unwahrscheinlich, daß ein einzelner Faktor für die kleinskalige Einnischung der Organismen im Langsandsfilter verantwortlich ist.



Anm.: Daten zusammengestellt aus Rumm<sup>2</sup> (1993), Schmidt<sup>3</sup> (1994) und Egert<sup>1</sup> (1998)

**Abb. 47: Vergleich der Arten- und Individuenzahlen der stygobionten, stygophilen und stygoxenen Vertreter aus Echthausen**

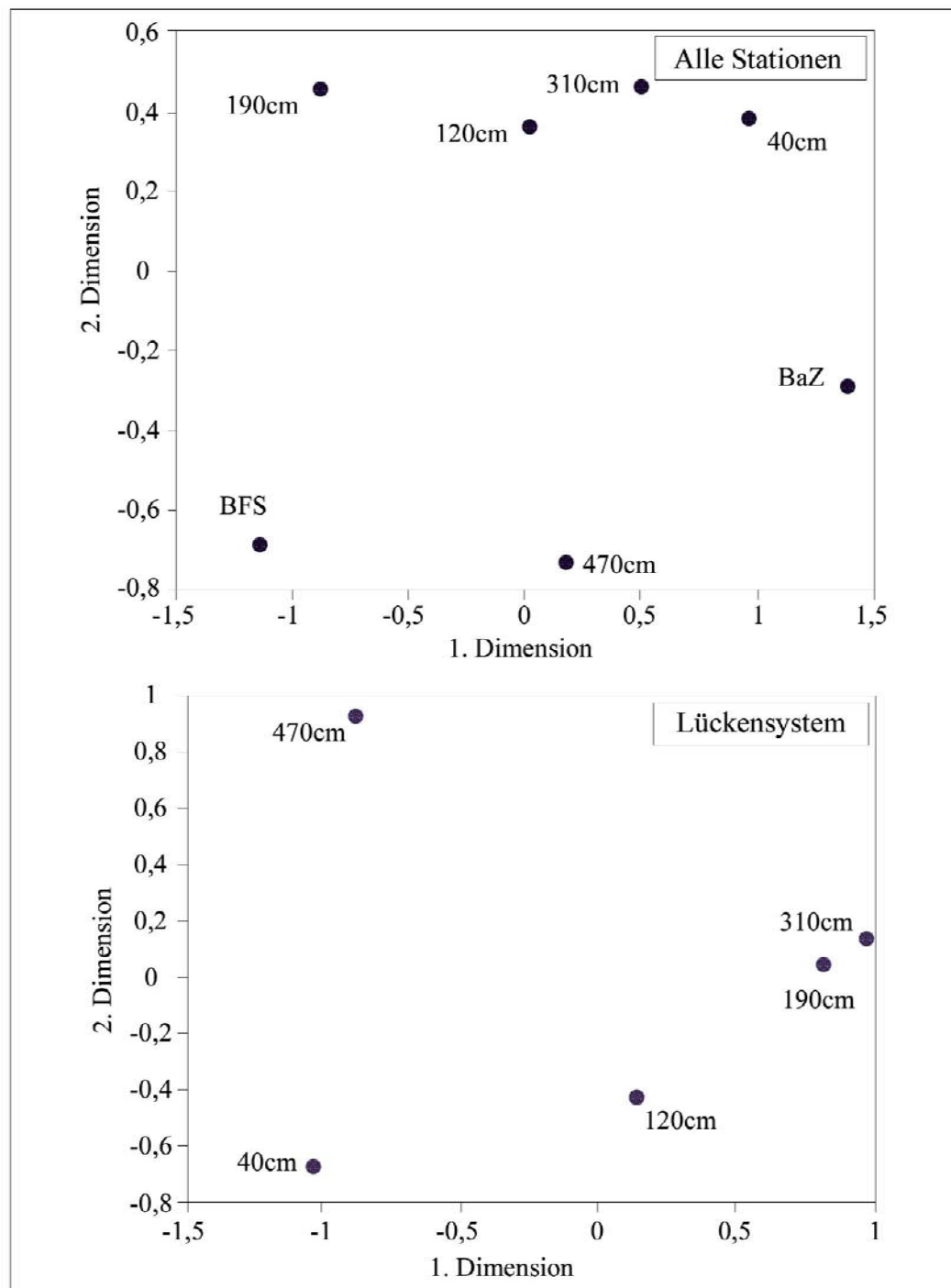
Es stellt sich aufgrund dieser Überlegung erneut die Frage, ob sich tatsächlich bestimmte Artenkombinationen in bestimmten Bereichen finden lassen, oder ob die Verhältnisse in Langsamsandfiltern nicht eher zu einer weitgehend einheitlich durchmischten Besiedlung führen.

In den Arbeiten von Schmidt (1994) und Egert (1998) wurden clusteranalytische Verfahren angewendet um festzustellen, ob spezifische Artenkombinationen in bestimmten Bereichen zu finden sind. Beide kommen zu dem Ergebnis, daß sich bestimmte Artenkombinationen für bestimmte Bereiche erkennen lassen und diese gut voneinander abgrenzen. In dieser Arbeit sollte nun der Versuch einer Synthese aller verfügbaren Daten unternommen werden. Das zentrale Anliegen in diesem Punkt war es herauszufinden, ob die verschiedenen Stationen (Biologisch aktive Zone, R1 – R5 (40cm-470cm Tiefe) und Bodenfiltratschacht sich anhand ihrer Artenzusammensetzung voneinander unterscheiden lassen oder ob einige der Stationen sich ähnlicher sind als andere. Ein geeignetes und sehr gebräuchliches Verfahren zur Durchführung dieser Untersuchung ist die Gemeinschaftsanalyse. Die unreflektierte Anwendung dieses Verfahrens birgt allerdings große Gefahren. Damit verbunden sind häufig Fehlinterpretationen der tatsächlichen Datenlage. Hilfreich ist die Lektüre der Arbeit von George (1999), der sich kritisch mit den verschiedenen gemeinschaftsanalytischen Verfahren und ihren Vor- und Nachteilen bei der Anwendung und Interpretation auseinandergesetzt hat.

Bei der Analyse der Ähnlichkeit von Stationen sollten die beiden Informationen Abundanzen und Artenzusammensetzung berücksichtigt werden. Deshalb wurde das Cosinus-Ähnlichkeitsmaß als Similaritätskoeffizient gewählt. In Abb. 48 sind die MDS-Plots „alle Stationen“ und „Lückensystem“ dargestellt. Im Plot „alle Stationen“ wurden die Biologisch aktive Zone, die Peilrohre R1-R5 (40cm-470cmTiefe) und der Bodenfiltratschacht berücksichtigt. Wie aus diesem Plot ersichtlich wird, ergeben sich keine Gruppierungen der Stationen aufgrund ihres Arteninventars.

Der Bodenfiltratschacht und die Biologisch aktive Zone sind einander sehr unähnlich, allerdings ist der Unterschied zwischen dem Bodenfiltratschacht und 190cm Tiefe und dem Bodenfiltratschacht und der Sandschicht (40cm Tiefe) mindestens ebenso groß. Die Artenkombination in 470cm Tiefe ist dem Bodenfiltratschacht näher als allen anderen Tiefen im Lückensystem des Langsamsandfilters, was auf eine intermediäre Stellung zwischen Oberfläche und Grundwasser hinweisen könnte. Berücksichtigt man aber die Ähnlichkeit der Station „470cm Tiefe“ mit der Biologisch aktiven Zone, die mindestens ebenso groß ist wie die zwischen 470cm und dem Bodenfiltratschacht, kann die oben formulierte Vermutung nicht aufrecht erhalten werden. Alles in allem läßt sich im MDS-Plot „Alle Stationen“ keine Gruppierung der Stationen aufgrund bestimmter Artenkombinationen bilden. Ein Blick auf die

Arten-Stations-Matrix (s. Tab. 30) zeigt, daß auf allen Stationen einige exklusive Arten in geringen Abundanzen zu finden sind. Diese Merkmalsunterschiede fallen bei der Ordination mit dem Cosinus-Ähnlichkeitsmaß nicht schwer genug ins Gewicht.



Anm.: Die Ordination erfolgt in 2 Dimensionen (monotone nicht parametrische Regression). Streßmaß für „alle Stationen“: 0,061; Streßmaß für „Lückensystem“: 0,00. (Shepard-Diagramme und die Similaritätsmatrizes s. Anhang); BFS = Bodenfiltratschacht; BaZ = Biologisch aktive Zone.

**Abb. 48: Ordinationsplot der Stationen mithilfe des Cosinus-Ähnlichkeitsmaß**

In einem 2. Schritt wurden nur die Bereiche im Lückensystem, also ohne Biologisch aktive Zone und auch ohne den Bodenfiltratschacht, berücksichtigt und im MDS-Plot

„Lückensystem“ dargestellt. Hier fällt sofort eine Gruppe auf, die sich erkennbar von den anderen abgrenzt. Sie umfaßt die Stationen 310cm und 190cm Tiefe. Zwar wäre der Einwand berechtigt, daß das willkürliche Weglassen einzelner Stationen im Stationsvergleich zu einer verzerrten Betrachtung des gesamten Langsamsandfilter - Lebensraums führt, dennoch erscheint es sinnvoll, eine Auswahl zu treffen, wenn sie, wie hier, begründbar ist, denn die Stationen 40cm-470cm Tiefe befinden sich allesamt im Lückensystem und können so dem hyporheischen Interstitial und dem Grundwasserlebensraum zugerechnet werden.

Außer für die Stationen 310cm-190cm lassen sich keine anderen Gruppierungen finden. In natürlichen Gewässern ist der Unterschied zwischen dem Benthos und dem Interstitial evident (Danielopol et al. 1994). Daß die Biologisch aktive Zone in der Gesamtbetrachtung den anderen Stationen noch relativ ähnlich ist, liegt u. a. daran, daß eine typische Benthos-Gruppe wie die Chironomidae noch nicht näher aufgeschlüsselt wurde und so für diesen Vergleich nicht herangezogen werden konnte.

Für das MDS-Plot „Lückensystem“ läßt sich demnach feststellen, daß eine große Heterogenität in der Artenverteilung im Lückensystem existiert, daß aber die Gruppe „190cm-310cm“ durchaus den 3 anderen Tiefen gegenübergestellt werden kann. Diese Gruppierung findet sich auch in der Clusteranalyse von Schmidt (1994), die auf einem 87% Ähnlichkeitsniveau den anderen Gruppen gegenübersteht. Mit den anderen Gruppierungen bestehen jedoch keine Übereinstimmungen. Der untersuchte Langsamsandfilter erweist sich demnach nicht nur bei den abiotischen Variablen als extrem heterogen, sondern auch die Artenverteilung ist heterogen und scheint weitgehend chaotisch oder sogar zufällig zu sein.

### **6.3 *Nahrungspräferenzen der untersuchten Arten***

Über die trophischen Beziehungen in interstitiellen Habitaten wie dem Grundwasser ist wenig bekannt (Hendricks 1993; Culver 1994). Ein grundsätzlicher Unterschied zu Oberflächen-Ökosystemen besteht darin, daß im Grundwasser keine Primärproduktion stattfindet und chemoautotrophe Produktion untergeordnet ist (Ginet & Decou 1977). Demzufolge sind Grundwasserorganismen weitgehend auf eine allochthone Nährstoffzufuhr angewiesen (Madsen & Ghiorse 1993). Neben dem infiltrierten partikulären organischen Material stellen die in Biofilmen aggregierten Mikroorganismen, inklusive ihrer extrazellulären polymeren Matrix eine wichtige Ressource in hyporheischen Nahrungsnetzen (Wissmar et al. 1997; Maamri et al. 1999). Auch Pilze sind für einige aquatische Formen von Bedeutung (Graca et al. 1993; Maamri et al. 1998). Mikroorganismen sind in der Lage, DOC und andere komplexe Moleküle aufzunehmen und in Biomasse umzuwandeln (Gounot 1994), was sie zu einer wichtigen Schaltstelle zwischen den gelösten Stoffen und deren Verfügbarmachung für die

Glieder übergeordneter trophischer Ebenen wie bspw. der Meiofauna macht. Neben Mikroorganismen spielen auch Protozoa eine wichtige Rolle für die Meiofauna. Aus Planktongesellschaften ist bekannt, daß Crustacea und Rotatoria die Protozoengemeinschaft deutlich meßbar reduzieren (Bereczky & Nosek 1994). In Grundwassersystemen nehmen Protozoa im Bezug auf die Trophie eine intermediäre Stellung zwischen Mikroorganismen und Meiofauna ein (Stanford et al. 1994), aber es ist unbekannt inwieweit Protozoa von der Grundwassermeiofauna konsumiert werden.

Eine wichtige Ressource für die interstitielle Fauna ist die partikuläre organische Fracht, die unter dem Begriff „Detritus“ zusammengefaßt wird (Wetzel 1995). Es wird davon ausgegangen, daß die Menge der verfügbaren Nahrung in natürlichen Grundwasserökosystemen im Vergleich zu Oberflächensystemen gering ist und die Grundwasserfauna an diese permanente Nahrungsknappheit adaptiert ist (Ginet & Decou 1977; Hüppop 1985).

Calow (1977) postuliert, daß die Bewohner von Habitaten mit ständiger Nahrungsknappheit eine generalistische Freßstrategie besitzen müßten. Demzufolge wäre zu erwarten, daß Grundwassertiere omnivor sind und jede verfügbare Ressource nutzen. Dies trifft für *Niphargus fontanus* zu, der Blattmaterial ebenso akzeptiert wie Aas (z. B. tote Oligochaeta) und sowohl räuberisch (Oligochaeta und Nematoda) als auch kannibalisch ist.

Die Nahrungsknappheit auf der einen und die Notwendigkeit auf der anderen Seite, möglichst alles Freßbare auch finden und fressen zu können, übt auf Grundwasserorganismen einen Selektionsdruck aus, in dem sie sich mit zwei widerstreitenden evolutiven Prozessen konfrontiert finden. Die Nahrungsknappheit macht es erforderlich, omnivor zu sein und das Spektrum nutzbarer Nahrungsressourcen so breitgefächert wie nur möglich zu halten. Das setzt voraus, daß keine Spezialisierung auf eine bestimmte Ressource bzw. Freßstrategie stattfindet, bspw. nur Jäger oder nur Detritusfresser zu sein. Bestimmte Ressourcen verlangen aber ganz bestimmte Eigenschaften, die durch Spezialisierung erworben werden, bspw. unterscheiden sich die Greif- und Mundwerkzeuge oder Verhaltensweisen eines Jägers von den morphologischen und ethologischen Anpassungen, die einen Detritusfresser auszeichnen. Es herrscht demnach ein Selektionsdruck, sich an die Nutzung bestimmter Ressourcen optimal anzupassen. Diese Notwendigkeit kann jedoch bedeuten, eine ganz spezielle Ressource gerade nicht nutzen zu können, weil die spezifische Anpassung daran nicht gegeben ist. Grundwassertiere befinden sich also in einem Dilemma, daß von Racovitza (1950) aphoristisch in der Formulierung „carnassier par prédilection, mais un saprophage par nécessité“ zusammenfaßt wird.

Ein Beispiel für die Fähigkeit der Grundwassertiere effizient Nahrung zu finden, geben Bechler & Fernandez (1981), die das Nahrungssuchverhalten von *Bactrurus brachycaudus*

(stygobionter Amphipode) mit *Gammarus troglophilus* (stygophiler Amphipode) verglichen. Sie fanden, daß *B. brachycaudus* effizienter angebotenes Futter aufspürt als *G. troglophilus*, indem er weniger Strecke zurücklegt und weniger Überkreuzungen bzw. Abweichungen auf dem Weg zur Nahrungsquelle aufwies als *Gammarus troglophilus*.

### 6.3.1 Auswahl des geeigneten Futters – warum Eschenblätter?

Die untersuchten Tiere reagierten unterschiedlich auf die Futtersorten. Die besten Ergebnisse wurden mit den inkubierten Eschenblättern erzielt. In den weiteren Experimenten wurden sie aus den folgenden Gründen eingesetzt.

Erstens wurden sie von fast allen Untersuchungstieren am besten akzeptiert. Zweitens lieferten die Eschenblätter in den Experimenten mit *Niphargus fontanus* die besten Resultate, d.h. sie wurden deutlich sichtbar gefressen, sie waren im Darm der Tiere gut erkennbar und die daraus resultierenden Pellets waren deutlich zu sehen und stabil, denn sie erwiesen sich als robust gegenüber den Pipetierarbeiten und Messungen am Binokular. Drittens verloren die Eschenblattscheiben lediglich 1-2% ihrer Trockenmasse durch „leaching“, wodurch ein zuverlässig kalkulierbarer, fast zu vernachlässigender systematischer Experimentierfehler vorlag. Viertens befand sich das C/N-Verhältnis der Eschenblätter offensichtlich für die meisten der hier untersuchten Grundwassertiere in einem günstigen Bereich nutritiver Qualität. Die Inkubation der Eschenblätter in filtriertem Teichwasser hatte zur Folge, daß sie mit einer biologischen Matrix aus Mikroorganismen und Pilzen bewachsen wurden. Diese Matrix konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht näher analysiert werden. Klar ist jedoch, daß sie maßgeblich zur Akzeptanz des Futters beitrug. Der mikrobielle Bewuchs kann entscheidend für die Ernährung einiger Makrozerkleinerer sein. Kostalos & Seymour (1976) zeigten, daß der Konsum von pilzbewachsenen Ulmenblättern bei *Gammarus minus* zu einer signifikant höheren Überlebensrate führte als sterilisierte Blätter. Pilze und Bakterien machen die Blätter für Zerkleinerer akzeptabel, indem sie diese aufweichen und den Proteingehalt der besiedelten Blätter erhöhen (Marchant & Hynes 1981; Bärlocher & Murdoch 1989; Bärlocher 1990).

### 6.3.2 *Niphargus fontanus*

*Niphargus fontanus* erweist sich als omnivores Grundwassertier. Interessant ist, daß die Art sogar Nahrungspartikel von 1mm Größe (und noch kleiner) greifen und fressen kann. Dies trifft sowohl für zerkleinerte Eschenblattstückchen, als auch für kleine Beutetiere wie z.B. kleine Nematoden der Art *Caenorhabditis elegans* (Größe zwischen 0,7 – 1,8 mm) zu.

Beim Einbringen der Beute in die Versuchsgefäße zeigte *Niphargus fontanus* ein Appetenzverhalten. Die Tiere reagieren auf die Störung und beginnen nach kurzer Zeit mit einer ungerichteten Suche nach der Reizquelle. Das Erkennen und Ergreifen der Beute läuft

nach keinem festgelegten Schema ab. Wird ein Beutetier mit den 1. Antennen wahrgenommen, verharret *Niphargus fontanus* für 1-2 Sekunden vor der Beute und greift dann schlagartig zu. Dabei werden größere Beutetiere (<2mm) mit dem 1. Gnathopoden ergriffen und gehalten. Der Freßvorgang wird durch die 2. Antennen und die Mandibularpalpi unterstützt, indem darauf geachtet wird, die Nahrungsstücke und auch die Beutetiere möglichst vollständig zu fressen. Kleine Beutetiere werden zwischen den Dactyli und Propodi eingeklemmt und dann gefressen. *Niphargus fontanus* ist nicht nur omnivor, sondern auch kannibalisch. Hungrige Tiere ergreifen alles, was als Nahrung dienen könnte. Dabei werden auch kleinere oder schwächere Artgenossen nicht verschont. Können diese sich nicht wehren, werden sie gefressen und zwar immer vom Kopf her. Sind mehrere Tiere in einem Gefäß, übt ein frisch angefressener Artgenosse einen starken Reiz auf die anderen Niphargen aus. Sie suchen gezielt nach dem gerade fressenden Tier und sind bestrebt etwas abzubekommen. Das fressende Tier versucht seine Beute zu verteidigen, was jedoch nicht immer gelingt. Ginet (1960) beobachtete kannibalisches Verhalten auch bei anderen Grundwasseramphipoden (*N. rhenorhodanensis*; *N. virei*) und Dick (1995) untersuchte es bei *Gammarus duebeni* und *G. pulex*. Übereinstimmend mit den hier gemachten Beobachtungen, ergreifen kannibalische Gammariden nur kleinere Artgenossen und wie *Niphargus fontanus* treffen sie keine sexuelle Differenzierung, sondern Männchen fressen Weibchen und umgekehrt.

Die Untersuchungen mit *Niphargus fontanus* zeigten, daß die Art zur Gilde der Zerkleinerer zu rechnen ist. Von dieser Gilde wird angenommen, daß ihre Vertreter wichtig für die Aufbereitung von grob- (CPOM) zu feinputikulärem Material (FPOM) sind. Durch die Zerkleinerung des Materials ermöglichen sie, daß es besser im Lückensystem transportiert werden kann und für kleinere Formen (Meiofauna) in einer verwertbaren Größe vorliegt. Zerkleinerer spielen demnach eine wichtige Rolle beim Transport partikulärer Stoffe durch das Gewässer (Cummins et al. 1973; Petersen et al. 1989). Typische Vertreter dieser Gruppe sind die Amphipoden *Gammarus pulex* und *G. fossarum*, die in der Lage sind, verschiedensten Fallaubsorten (Buche, Eiche, Erle, Koniferen etc.) zu zerkleinern (Koch 1989). Berechnungen der Aufnahmeraten der Zerkleinerer und der daraus resultierenden Produktion ergaben, daß die Zerkleinerer nur einen kleinen Teil der aufgenommenen Energie assimilieren (Cummins & Klug 1979). In Gewässern, die durch Wälder fließen, sorgen sie für die Umsetzung von 32-80% des jährlich anfallenden Laubeintrags, wodurch sie den Energietransfer in diesen Gewässern nachhaltig beeinflussen (Cuffney et al. 1990). Die Art und Weise in der die meisten Zerkleinerer fressen ist dabei entscheidend. Beim sog. unsauberen Fressen (sloppy feeding) (Lampert 1978) geraten kleine Teile aus dem Bereich der Mundwerkzeuge und werden achtlos zurückgelassen. Das verschafft nicht nur kleineren Detritusfressern geeignete



Nahrungspartikel, sondern durch die Zerkleinerung wird die Oberfläche der Partikel vergrößert, was dazu führt, daß verstärkt wasserlösliche organische Stoffe aus ihrer festen Matrix entweichen können. Dies wirkt sich zumindest für die Mikroorganismen positiv aus.

Beobachtungen an *Niphargus fontanus* zeigen allerdings, daß es sich bei dieser Art nicht um einen „sloppy feeder“ handelt, denn obwohl er grobe Partikel zerkleinert, werden auch aus großen Nahrungsbrocken immer nur so große Stücke herausgerissen, wie sofort aufgenommen werden können. Bei Kontrollen der Hälterungsschälchen fiel auf, daß nur sehr wenig zerkleinertes Material von *Niphargus fontanus* unbeachtet fallen gelassen wird. Das Nahrungsspektrum reicht von Detritus, Pflanzenresten, Kadavern, tierischen Exkrementen bis zu Lehm, und sogar Papier soll gefressen werden (Ginet 1960). In Bezug auf das Nahrungsspektrum läßt sich festhalten, daß auch *Niphargus fontanus* diesem Bild entspricht, wie Vorversuche bestätigt haben. Auf die Bedeutung des autochthonen Sediments für die Ernährung von *Niphargus orcinus virei* geht Gounot (1960) ein. Es ist zwar für die Hälterung notwendig, reicht aber nicht für die komplette Ernährung der Tiere aus. Auch *N. o. virei* ist omnivor und frißt neben Sediment auch Bakterien, Artgenossen (tot oder lebend) und weitere, assoziierte Fauna (Gounot 1960). Daß die mikrobielle Besiedlung von Bedeutung für die Ernährung mit Laub ist, deuten Untersuchungen mit *Gammarus pulex* an, die mit Pilzen bewachsenes Fallaub lieber fressen als steriles. Darüberhinaus ist *G. pulex* in der Lage, zwischen unterschiedlich besiedelten Laubsorten zu unterscheiden und zeigt dabei Vorlieben für bestimmte Pilze (*Heliscus lugdenensis* >> *Anguillospora longissima* >> *Lemoniera aquatica*) (Graca et al. 1993; Graca et al. 1994).

### 6.3.3 *Proasellus cavaticus*

Angaben über die Nahrung von *Proasellus cavaticus* sind spärlich und unspezifisch. Es werden Sediment und faulendes Holz (Husson & Daum 1955) sowie Detritus und Erde (Karaman 1955) als Futter an den Fundorten aufgeführt. Von der höhlenbewohnenden Assel *Asellus aquaticus cavernicolus* ist bekannt, daß sie ein Gemisch aus Lehm, faulendem Holz und zerkleinerten Ulmen- und Hainbuchenblättern frißt (Lattinger-Penko 1979). Die Untersuchungen an *Proasellus cavaticus* haben gezeigt, daß die inkubierten Eschenblätter und die arteigenen Kotballen gefressen werden. Fischfutter hatte die gleichen negativen Auswirkungen (Tod der Tiere) wie bei *Niphargus fontanus*. Die anderen Futtersorten (Fadenalgen, Detritus, Ahornblätter) wurden zwar gefressen, aber die relativ kurzen Darmpassagezeiten lassen den Schluß zu, daß dieses Futter keine ausreichend hohe Qualität besitzt. Karaman (1955) weist auf die guten Hälterungserfolge mit Detritus hin, den er vom Fundort mitbrachte. Interessant ist, daß *Proasellus cavaticus* auch räuberisch ist. Dabei zeigt

die Art allerdings kein gezieltes Verhalten wie *Niphargus fontanus*, sondern frißt Beutetiere nur, wenn diese zufällig gefunden werden. Jede Beute, die Abwehrbewegungen vollführt, wird sofort losgelassen. *Proasellus cavaticus* ist kein typischer Beutegreifer sondern fakultativ räuberisch. Obwohl die arteigenen Kotballen in nennenswertem Umfang gefressen werden und *Proasellus cavaticus* als koprophag zu bezeichnen ist, ist unklar, worin die nutritive Qualität der Kotballen besteht (siehe dazu auch Kap. 6.4).

Unter den Grundwasserbewohnern stellt *Proasellus cavaticus* eine der euryöken Formen dar. Die Art wird vereinzelt in Brunnen, im Uferinterstitial, in Quellen und in Höhlengewässern gefunden (Tattersall 1928, Pust 1990). Aus Langsamsandfiltern wurden sie bisher jedoch noch nicht gemeldet. Pust (1990) führt die sporadischen Einzelfunde in Westfalen darauf zurück, daß die Tiere ständige Sauerstoffzufuhr benötigen und deswegen häufig in der Filterzone der Höhlen angetroffen werden.

#### 6.3.4 *Chappuisius inopinus*

*Chappuisius inopinus* ist ein stygobionter Harpacticoide, dessen Morphologie bestens bekannt ist (Glatzel 1989), über dessen Lebensweise aber keinerlei Angaben vorliegen. Kulturversuche scheiterten bisher daran, daß völlig unklar war, was die Tiere fressen. Detritus wird von den Tieren zwar aufgenommen, aber nur in geringem Umfang und mit dem Resultat, daß die Tiere nach wenigen Wochen im Labor sterben. Der Versuch mit inkubierten und zerkleinerten Eschenblattstückchen zeigte, daß die Tiere sich noch nach 40 Tagen in gutem Zustand befanden und weder geschwächt noch lethargisch wirkten. Sie wiesen häufig teilweise gefüllte Därme auf, was den Schluß zuläßt, daß sie mit diesem Futter auch über längere Zeit in Kultur genommen werden können.

#### 6.3.5 *Diacyclops languidoides*

Von den untersuchten Crustacea war *Diacyclops languidoides* die einzige Art, die den angebotenen Detritus in nennenswertem Umfang fraß. Der Darm der untersuchten Tiere war häufig gut gefüllt. Das gleiche Resultat wurde mit den angebotenen Eschenblättern erzielt. Die angebotenen Kotballen fraß *Diacyclops languidoides* kaum. Die Art scheint von den hier untersuchten Crustaceen der Vorstellung von einem typischen Detritusfresser am ehesten zu entsprechen. Lebendbeobachtungen ergaben, daß die Tiere auch Oberflächen von kleinen Sedimentpartikeln absuchen und vermutlich den bakteriellen Belag beweiden. Von den meisten adulten Cyclopoida wird angenommen, daß sie räuberisch leben (Einsle 1993). Für einige der in Echthausen gefundenen Arten (*Eucyclops serrulatus* und *Paracyclops fimbriatus*) konnte dies durch Zufallsbeobachtungen mit Nematoden als Beute (*Caenorhabditis elegans*) auch bestätigt und filmisch dokumentiert werden. In Hälterungsgefäßen mit *Diacyclops*

*languidoides* wurde dies nie beobachtet. Auch nach mehreren Tagen waren noch alle angebotenen Nematoden in den Hälterungsgefäßen zu finden. Obwohl darauf geachtet wurde, besonders kleine und für die Cyclopoida freßbare Nematoden auszuwählen, konnte keine Prädation festgestellt werden.

### **6.3.6 *Parasoldanellonyx parviscutatus***

Die zu den Halacaridae zählende Grundwassermilbe *Parasoldanellonyx parviscutatus*, die in mittleren Abundanzen im Langsamsandfilter gefunden wurde, fraß praktisch keine der angebotenen Futtersorten. Von den meisten Halacaridae wird angenommen, daß sie carnivor sind, jedoch liegen experimentelle Beobachtungen nur von wenigen Arten vor (Bartsch & Sepasgosarion 1977). Eine schwache Reaktion auf das angebotene Futter wurde von den Eschenblättern ausgelöst. Im Darm einiger Untersuchungstiere konnte Nahrung festgestellt werden. Die Freßexperimente mit *Enchytraeus fragmentosus* als Beute blieben genauso erfolglos wie die mit dem Nematoden (*Caenorhabditis elegans*). Weder wurden lebende Tiere gegriffen, noch wurden tote Tiere angefressen. Bartsch (1989) versuchte ebenfalls, *Parasoldanellonyx parviscutatus* mit Turbellaria, Nematoda, Oligochaeta und kleinen Crustacea zu füttern, aber auch ihre Versuche schlugen fehl. Über das Nahrungsspektrum von *Parasoldanellonyx parviscutatus* kann nur spekuliert werden. Vermutlich ist die Art aasfressend, und es sind möglicherweise nur die Laborbedingungen nicht für die Tiere geeignet.

### **6.3.7 *Bythiospeum septentrionale***

Die Grundwasserschnecke *Bythiospeum septentrionale* reagierte positiv auf Detritus als Futter. Alle anderen Futtersorten wurden nicht oder nur spärlich gefressen. Über die Arten dieser Gattung ist außer den Fundorten nichts bekannt (Boeters 1998). Auch die taxonomische Bearbeitung der Gattung liegt im argen, so daß keine zuverlässigen Angaben aus der Literatur verfügbar sind. Grundwasserschnecken scheinen selten zu sein, denn sie fehlen häufig in den Artenlisten grundwasserfaunistischer Publikationen.

Die eigenen Beobachtungen der Art zeigen, daß Detritus bevorzugt gefressen wird. Ungewöhnlich dabei ist, daß die Schnecke nicht wie erwartet einen Oberflächenbelag abweidet, sondern ganze Teile von den Detritusflocken abreißt und zu sich nimmt. Wurden die Tiere im 48h-Rhythmus zur Kontrolle aus dem Kühlschrank geholt, wirkten sie oft lethargisch, und einige waren sogar vollständig in ihr Schneckenhaus zurückgezogen, doch wurden sie kurz danach wieder munter und aktiv. Offensichtlich sind die Bedingungen im Kühlschrank (10°C und Dunkelheit) für *Bythiospeum septentrionale* nicht wie für andere Grundwassertiere

geeignet, so daß sich die Frage stellt, ob es sich bei ihr möglicherweise gar nicht um eine stygobionte, sondern um eine krenobionte Art handelt.

#### **6.3.8 *Haplotaxis gordioides***

Der in Echthausen gefundene Brunnendrahtwurm *Haplotaxis gordioides* kann den Literaturangaben zufolge bis zu 20cm lang werden (Brinkhurst & Jamieson 1971). Die längsten in dieser Untersuchung bearbeiteten Exemplare erreichten ca. 16cm  $\pm$  2cm. Die Freßversuche ergaben keine eindeutigen Präferenzen für eine der angebotenen Futtersorten. Tiere, die in Kultur genommen wurden, konnten in rechteckigen Schälchen mit einer 1,5-2cm Sedimentlage aus Glaskugeln ( $\varnothing$  3-4mm) länger als 1 Jahr gehältert werden. Als „Futter“ wurden ca. 30-40ml Blumenerde dazugegeben. Ein Wasserwechsel wurde lediglich alle 6-8 Wochen durchgeführt. Das Wasser im Hälterungsgefäß roch stets erdig-frisch, und die Tiere wirkten gesund. Möglicherweise handelt es sich bei *Haplotaxis gordioides* um einen reinen Bakterienfresser.

#### **6.4 *Koprophagie und Faecal Pellets***

Koprophagie, das Fressen von tierischen Exkrementen, kommt bei Organismen vor, bei denen die im Kot befindlichen Nahrungsbestandteile von den dort lebenden Mikroorganismen aufgeschlossen und erneut nutzbar gemacht werden. Dies ist von vielen terrestrischen Streufressern wie Isopoda (Ullrich et al. 1991) und Diplopoda bekannt, aber auch von aquatischen Organismen wie Gastropoda (Brendelberger 1997), Fliegenlarven [(Pleskot 1953) cit. in Brendelberger 1997)], calanoiden Copepoda (Paffenhöfer 1985).

Bei dem Versuch herauszufinden, ob die beiden Arten *Niphargus fontanus* und *Proasellus cavaticus* koprophag sind, zeigte sich, daß nur *Proasellus cavaticus* die arteigenen Pellets in nennenswertem Umfang akzeptiert. *Niphargus fontanus* frißt die eigenen Pellets zwar auch, aber sie reichen nicht zur vollständigen Ernährung aus und scheinen nur aus Ermangelung einer Alternative aufgenommen zu werden.

Die rasterelektronische Untersuchung frisch produzierter Pellets von *Niphargus fontanus* ergab, daß die Innenseite der peritrophischen Membran dicht von Bakterien besetzt ist. Von verschiedenen Autoren (Ferrante & Parker 1977; Turner & Ferrante 1979) wird auf den Zusammenhang der bakteriellen Besiedlung von Faecal Pellets und die damit verbundene Zunahme ihrer nutritiven Qualität hingewiesen. Die bakterielle Besiedlung von Faecal Pellets verbessert ihre Nahrungsqualität und erklärt die Phänomene der Koprorhexie (es wird nur die peritrophische Membran der Pellets gefressen) und Koprophagie, bei der das gesamte Faecal Pellet gefressen wird (Lampitt et al. 1990; Peters 1992). Es ist unklar, woher diese Bakterien kommen. Graf (1984) berichtet von endosymbiontischen Darmbakterien bei *Niphargus virei*,

die vermutlich bei der Verwertung cellulosehaltiger Nahrung eine entscheidende Rolle spielen. Die Bakterien von *Niphargus fontanus* könnten eine ähnliche Funktion haben, was auch die gute Verwertung der Eschenblattscheiben durch *Niphargus fontanus* erklären würde. Es ist auch denkbar, daß die Bakterien mit der Nahrung aufgenommen und mit den Fäzes wieder ausgeschieden werden und für die Nahrungsverwertung unbedeutend sind. Andererseits können sie durchaus relevant sein, indem sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Futterqualität (Erhöhung des Proteingehalts) leisten. Faecal Pellets werden häufig von Mikroorganismen besiedelt, da sie auf ihnen günstige Wachstumsbedingungen vorfinden. Durch die mikrobielle Besiedlung werden Vitamine, Aminosäuren und andere Substanzen auf den Pellets angereichert, was sie wieder als Nahrung für Invertebraten attraktiv macht (Delille & Razouls 1994; Brendelberger 1997). Die Arten *Chappuisius inopinus*, *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale* wurden mit einem Gemisch aus Niphargen- und Asselpellets gefüttert. Es sollte die Hypothese geprüft werden, ob die kleineren Vertreter der Meiofauna in der Lage sind, die Pellets der größeren zu verwerten und so zu einem stufenweisen Abbau der grobpartikulären Substanz zu immer kleineren Bestandteilen beizutragen, was letztendlich zum vollständigen Abbau des infiltrierten organischen Materials führen würde. Alle drei Arten haben von den Pellets gefressen, wobei *Diacyclops languidoides* dies jedoch nur sporadisch und nicht in großen Mengen tat. *Chappuisius inopinus* und *Bythiospeum septentrionale* fraßen auch von den Pellets, wiesen jedoch nie völlig gefüllte Därme auf. Bei beiden Arten ließ sich allerdings im Verlauf des Experiments die Tendenz feststellen, Pellets zunehmend zu akzeptieren. Es könnte sein, daß die Pellets erst reifen, d.h. erst ausreichend dicht bakteriell besiedelt werden müssen, bevor sie als Futter attraktiv werden. Der Beweis, daß es eine „meiofaunistische Abbaukette“ gibt, in der große Organismen die Rolle der Zerkleinerer übernehmen und deren Pellets von den kleineren weiterverarbeitet werden, konnte nicht erbracht werden. Allerdings konnte dies auch nicht widerlegt werden, da es den kleineren Tieren grundsätzlich möglich ist, die Pellets der Zerkleinerer zu fressen. Freilanduntersuchungen, bei denen das gleichzeitige Vorhandensein zahlreicher Niphargenpellets und hoher Abundanzen der Meiofauna auffiel, ergaben, daß es keine signifikante Korrelation zwischen beiden Variablen gibt (Danielopol et al. 1997).

#### **6.5 Darmpassagezeiten und Assimilationseffizienz von *Niphargus fontanus***

Die Messungen der Darmpassagezeiten bei 11°C ergaben, daß *Niphargus fontanus* vom Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme bis zum Zeitpunkt der Defäkation zwischen 2 und 6 Tage (48h-144h) benötigt. Im Vergleich dazu betragen die Darmpassagezeiten von *Gammarus pseudolimnaeus* bei 17°C zwischen 45-120 min. (Bärlocher & Kendrick 1975) und die des

sedimentfressenden Süßwasseramphipoden *Hyaletta azteca* bei 15°C ca. 30 min. (Hargrave 1972). Zur Kalkulation der Darmpassagezeiten ist es wichtig, die Darmlänge und die Länge der produzierten Pellets zu kennen. Die Pelletlängen von *Niphargus fontanus* erwiesen sich jedoch als sehr uneinheitlich und zeigten beachtliche Schwankungen bei beiden Geschlechtern. Hargrave (1972) der ebenfalls die Pelletlängen von *Hyaletta azteca* vermaß, fand Pellets einheitlicher Länge und Masse und eine gute Korrelation zwischen Masse der Einzeltiere und der jeweils individuell produzierten Pellets. In einem solchen Fall ist es möglich, alleine aus der Anzahl der produzierten Pellets verlässliche Berechnungen der Pelletmengen pro Tier zu erhalten. Bekannt sein muß das Gewicht pro Pellet und das des jew. Tieres. Bei *Niphargus fontanus* schwanken sowohl die Anzahl als auch die Massen der produzierten Pellets beträchtlich und machen verlässliche Berechnungen der Pelletmengen, die nur auf der Länge einzelner (und nicht aller) Pelletlängen basieren, unmöglich. Es müssen alle Pellets während des gesamten Versuchs gewogen werden, um zu aussagekräftigen Daten zu gelangen.

Die quantitativen Ergebnisse aus den Freßexperimenten haben gezeigt, daß von der aufgenommenen Nahrungsmenge durchschnittlich zwischen  $9,1\% \pm 1,96$  (10°C) und  $11,1\% \pm 2,08$  (14°C) assimiliert wurden. Die täglich assimilierte Menge von *Niphargus fontanus* ist sehr gering, denn die Tiere verbrauchten weniger als  $2,5\mu\text{g}/\text{d}$  für die Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels, was zwischen 0,075% und 0,13% ihres Trockengewichts entspricht. Die Tiere weisen eine äußerst variable Freßrate auf, was kennzeichnend für den gesamten Freßexperimente-Komplex dieser Arbeit ist. Im Vergleich dazu beträgt die Assimilationseffizienz von *Gammarus pulex* bei Temperaturen zwischen 5 und 15°C ca. 30-40% (Nilsson 1974). Interessant ist, daß die Temperatur innerhalb eines bestimmten Bereichs sowohl bei *Niphargus fontanus* als auch bei *Gammarus pulex* einen untergeordneten Einfluß auf die Assimilationseffizienz hat. Zwar zeigen sich temperaturbedingte Schwankungen, aber die Größenordnungen der Werte bewegen sich innerhalb enger Grenzen. Daß Darmpassagezeiten und Assimilationseffizienz in engem Zusammenhang mit der nutritiven Qualität der aufgenommenen Nahrung stehen, zeigen Marchant & Hynes (1981) an *Gammarus pseudolimnaeus*. Aus den Daten ihrer Felduntersuchungen kalkultierten sie für *G. pseudolimnaeus* eine Assimilationseffizienz von ca. 10%, bemerken aber ausdrücklich, daß der Darminhalt zu 52% aus Sand besteht. Füttert man *Gammarus pseudolimnaeus* mit qualitativ hochwertigem Futter (pilzbewachsene Blätter), steigert sich die Assimilationseffizienz auf 43-76% (Bärlocher & Kendrick 1975). Demnach muß je nach Qualität der Nahrung mehr oder weniger Nahrung aufgenommen und wieder ausgeschieden werden, um den Grundstoffwechsel aufrechtzuerhalten. Die gute Akzeptanz und das günstige C/N-Verhältnis der inkubierten Eschenblattscheiben lassen vermuten, daß ihre Qualität ausreichend gut für *Niphargus fontanus*

ist. Daß *Niphargus fontanus* dennoch geringere Assimilationseffizienzen als seine im Oberflächenwasser wohnenden Verwandten aufweist, wird als Anpassung an seinen Lebensraum interpretiert.

### 6.6 Respirationsraten von *Niphargus fontanus*

Das Grundwasser stellt nicht per se einen sauerstoffarmen Lebensraum dar, sondern ist vielmehr durch große Heterogenität gekennzeichnet, die durch kleinskalige Variablen (wie z.B. Sedimentstruktur, Hydraulik, Nährstoffe, Organismen) beeinflusst wird (Malard & Hervant 1999). Der Sauerstoffverbrauch eines Tieres ist ein gutes Maß für seine aerobe metabolische Aktivität. Grundwassertiere verfügen unter Normalbedingungen über eine geringe metabolische Aktivität und sind an die häufig wechselnden und meist geringen Sauerstoffkonzentrationen ihrer Umwelt angepaßt (Vandel 1965; Hüppop 1985). Gesteigerte metabolische Aktivität korreliert mit hoher Nahrungsaufnahme und/oder großer Mobilität (Culver & Poulson 1971; Mösslacher & Creuzé des Châtelliers 1996). Im Gegensatz zu ihren oberflächenbewohnenden Verwandten zeichnen sich Grundwassertiere dadurch aus, daß sie lange Phasen niedriger Sauerstoffkonzentrationen in ihrer Umgebung ertragen können. Danielopol (1989) erwähnt, daß *Niphargus* sp. zwei Monate in Wasser mit einer Sauerstoffkonzentration von 0,5mg/l überlebte, während *Gammarus* sp. dies nur wenige Tage ertrug. *Niphargus rhenorhodanensis* kann bei einer Sauerstoffkonzentration von 0,01mg/l O<sub>2</sub> 72h, *Niphargus virei* 78h und die Grundwasserassel *Stenasellus virei* 102h überleben. Im Vergleich dazu sind die Oberflächenwassertiere *Gammarus fossarum* und *Asellus aquaticus* unter diesen O<sub>2</sub>-Bedingungen nur 10h bzw. 46h lebensfähig (Hervant & Mathieu 1995; Hervant et al. 1996; Hervant et al. 1997). Während Oberflächenwassertiere wie bspw. *Gammarus roeseli* hypoxische Bereiche meiden und aktiv günstigere Sauerstoffbedingungen aufsuchen (Henry & Danielopol 1999), verfolgen Grundwasserkrebse eine „sit-and-wait-Strategie“ ohne Fluchtreaktion, aber deutlich geringerer Ventilationsrate als unter Normalbedingungen (Malard & Hervant 1999).

In dieser Arbeit wurde der Sauerstoffverbrauch von *Niphargus fontanus* unter verschiedenen O<sub>2</sub>-Bedingungen untersucht. Es konnte gezeigt werden, daß die Respirationsleistung der Tiere von der Temperatur und vom Sauerstoffgehalt des Wassers abhängig ist. Diese Ergebnisse fügen sich gut in den Vergleich mit anderen Niphargen ein (s. Tab. 14).

**Tab. 14: Vergleich der Respiration dreier *Niphargus*-Arten**

| Art                               | Temperatur | Sauerstoffverbrauch                                                 | Quelle              |
|-----------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <i>Niphargus rhenorhodanensis</i> | 11°C       | 605 $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ TG        | Hervant et al. 1998 |
| <i>Niphargus virei</i>            | 11°C       | 305 $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ TG        | Hervant et al. 1998 |
| <i>Niphargus fontanus</i>         | 10-11°C    | 394-411 $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ TG    | diese Arbeit        |
| <i>Niphargus fontanus</i>         | 15°C       | ~50 - ~103 $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ TG | diese Arbeit        |

Unter Normalbedingungen ( $>3\text{mg/l O}_2$  und 11°C Wassertemperatur) verbrauchen *Niphargus rhenorhodanensis* 605  $\mu\text{l/gTG} \cdot \text{h O}_2$  und *Niphargus virei* 305  $\mu\text{l/gTG} \cdot \text{h O}_2$  (Hervant et al. 1998). Der Sauerstoffverbrauch von *Niphargus fontanus* liegt dazwischen und beträgt 394-411  $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2$ . Werden die Sauerstoffverhältnisse ungünstiger und fallen unter einen kritischen Wert, wird der Sauerstoffverbrauch drastisch reduziert. Die Respirationmessungen mit *Niphargus fontanus* liefern auch einen Beleg für die „sit-and-wait-Strategie“ der Grundwassertiere, denn bei einer Sauerstoffgehalt von 15% und bei 16°C Wassertemperatur (bzw. 80% und 15°C) fiel der Sauerstoffverbrauch auf 49,9  $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2$  (bzw. 103,3  $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  TG  $\text{O}_2$ ). Interessant ist, daß auch bei steigender Temperatur ein Schwellenwert erreicht wird, von dem an die Tiere mit reduziertem Metabolismus reagieren. Eine vergleichbare Reaktion ist von *Tubifex sp.* bekannt, dessen Defäkationsrate zwischen 3°C und 12°C linear und bis 15°C rapide ansteigt und ab 18°C tritt ein hemmender Effekt mit reduzierter metabolischer Aktivität ein (Haase 1994).

Die Fähigkeit, auch Phasen mit geringen Sauerstoffkonzentrationen zu überdauern, wird als Anpassung an das Leben im Grundwasser interpretiert, die es den Tieren ermöglicht, auch in sauerstoffarme Bereiche vorzudringen, in denen häufig größere Mengen organischer Substanz als in sauerstoffreichen zu finden sind (Danielopol et al. 1992).

### 6.7 Bewertung der durchgeführten Experimente

In den Futterwahlexperimenten (Kap. 5.1) wurden verschiedene Futtersorten angeboten, deren Akzeptanz danach beurteilt wurde, wie häufig das Futter gefressen und wie lange der Darm damit gefüllt war.

Grundsätzlich ist das Kriterium „vollständig gefüllter Darm“ nicht zwingend damit gleichzusetzen, daß das angebotene Futter auch gerne gefressen wird. Desweiteren ist es bei einigen Gruppen (Mollusca, Oligochaeta) sehr schwierig die Darmfüllung zu erkennen, bzw. zu quantifizieren. Bei den langgestreckten, nahezu durchsichtigen Grundwasserkrebsen bereitet es keine Schwierigkeiten, die Nahrungspartikel im Darm zu erkennen. Den Füllungszustand des gewundenen Darms bei der opak erscheinenden, gehäusetragenden Grundwasserschnecke



*Bythiospeum septentrionale* zu erkennen und zu quantifizieren, ist dagegen sehr schwierig. Hier hätte sich ein anderes Kriterium besser bewährt, wie z.B. zählen der Pellets, die bei 12x-25x Vergrößerung im Binokular gut zu sehen sind.

Trotz der in Kap. 6.3 ausgeführten Überlegungen, daß Grundwassertiere als Anpassung an ihren nahrungsarmen Lebensraum eine generalistische Nahrungstrategie verfolgen müßten, zeigen die Schwierigkeiten geeignetes Futter für Kultur- und Zuchtzwecke zu finden, wie wenig generalistisch viele Grundwassertiere doch zu sein scheinen. Erfahrungen aus Kulturversuchen bestätigen, daß viele Grundwasserarten schwierig zu halten sind. Die Ernährung spielt häufig eine wichtige Rolle. Bei der Hälterung von *Antrobathynella stammeri* wurde bspw. klar, daß ein reichhaltiges aber einseitiges Nahrungsangebot nicht genügt, um die Tiere für längere Zeit am Leben zu erhalten. *A. stammeri* muß neben Detritus gelegentlich auch tierische Nahrung (z.B. Nematoda) angeboten werden. Von *Phyllognathopus viguieri*, einem stygophilen Vertreter der Harpacticoida, ist bekannt, daß er Nematoden in großen Mengen frißt (Lehman & J.W. Reid 1993; Lehman 1994). Doch auch wenn eine ausgewogene Ernährung gewährleistet ist, erweist sich die Zucht und auch die Hälterung von Grundwassertieren als schwierig und zeitaufwendig, da für die meisten von ihnen noch keine geeigneten Kulturbedingungen gefunden worden sind (Dole-Olivier & Marmonier 1992). Auf der Basis dieser Erfahrungen läßt sich vermuten, daß Grundwassertiere zwar eine generalistische Ernährungsstrategie verfolgen, aber auch eine ausreichende Nahrungsvielfalt benötigen, um überleben zu können.

Desweiteren ist es sehr schwierig, in Labor-Mikro- oder Mesokosmen Bedingungen zu schaffen, die denen des Grundwassers nahe kommen. Vergegenwärtigt man sich, daß im Grundwasser, besonders im Mikrohabitatbereich, häufig wechselnde und heterogene Gegebenheiten vorherrschen (Ward et al. 1998; Brunke et al. 1998), sind dies gerade Bedingungen, die man im experimentellen Ansatz zu vermeiden sucht. Dies verdeutlicht auch, daß grundwasserökologische Laborexperimente nur mit aller größter Vorsicht ins Freiland übertragbar sind.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Freß- und Respirationsexperimente mit *Niphargus fontanus* bilden dabei keine Ausnahme. Alleine die zweitägigen Kontrollen bedeuten eine massive Störung der lichtsensitiven Arten (Kureck 1964). Die Tiere bekamen außerdem nur eine Futtersorte zur Zeit angeboten und hatten somit keine wirkliche Auswahl. Während der Experimente wurden definierte, konstante Bedingungen geschaffen. Dies betrifft insbesondere die Faktoren Temperatur, Sauerstoffgehalt, Nährstoffangebot. Die permanent vorhandene Strömung im Grundwasser fehlte im Experiment. Daß aber im natürlichen Grundwasser besonders die Nährstoff- und Sauerstoffsituation im Mikrohabitatbereich rasch wechseln kann,

wurde außer acht gelassen. Auch die Einflüsse aus den Interaktionen mit anderen Organismen blieben während der Experimente unberücksichtigt. Zu guter Letzt sind auch die ermittelten Umsatzraten nur in Bezug zum verabreichten Futter zu setzen und auf anderes Futter (bzw. ein anderes Futtergemisch) nur eingeschränkt übertragbar. Hargrave (1972) zeigte an dem benthischen Amphipoden *Hyaletta azteca*, daß die Ingestions- und Egestionsrate stark von der Zusammensetzung und der Struktur des Futters abhängt.

Neben den experimentellen Unwegbarkeiten bestanden weitere Probleme, die sich erst im Laufe der Untersuchung ergaben und sich methodisch nicht eingrenzen ließen. Von den insgesamt 300 Versuchstieren wurden 159 (53%) ausgewertet und der Rest (141, bzw. 47%) konnte für die Betrachtungen der Umsatzraten nicht herangezogen werden. Dies lag daran, daß die Eschenblattscheiben gelegentlich von Pilzen besiedelt wurden. Die Pilze waren bei 50x Vergrößerung im Binokular gerade erkennbar. Nahm der Pilzbewuchs überhand (mehr als ca. 10% der Fläche), wurde das befallene Blatt nicht weiter gefressen. Warum *Niphargus fontanus* pilzbefallene Blattscheiben verschmäht, ist unklar. Denkbar ist, daß der Pilz toxische oder ungenießbare Substanzen produziert. Der Pilzbefall trat in ca. 20% - 25% der Ansätze auf. Pilzwachstumhemmende Stoffe (Fungizide) wurden nicht eingesetzt, so daß diese Ausfallsrate in Kauf genommen werden mußte. Aber auch Tiere, deren Weiterfressen nicht durch erkennbaren Pilzbefall ihres Futters gestört wurde, legten längere Pausen (z.T. >35 Tage) bei der Nahrungsaufnahme ein. Außerdem erkrankten einige Tiere und konnten deshalb nicht für die Auswertung berücksichtigt werden. Wären diese Individuen in die Kalkulation der Umsatzraten eingeflossen, hätte dies zu extrem großen Schwankungen geführt. Die Daten dieser Individuen wurden als „Ausreißer“ betrachtet und nicht weiter berücksichtigt. Dies bedeutet, daß die Daten von 47% der Untersuchungsorganismen eine so große Variabilität während der Freßexperimente aufwiesen, daß sie für die Berechnung der Umsatzraten nicht herangezogen werden konnten. Nach Köhler et al. (1996) sollte die Ausreißermenge jedoch nicht mehr als 5% der Daten betreffen.

Legte man diesen Maßstab bei den hier diskutierten Experimenten an, könnten die Ergebnisse nicht als repräsentativ angesehen werden und müßten, rein statistisch betrachtet, verworfen werden. Zu fordern wäre dann ein anderes, „besseres“ Experimentdesign. Dies würde bedeuten, ein pilzresistentes Futter zu verwenden, das genau so gut wie die Eschenblätter gefressen wird. Weiter wäre zu fordern, die Dauer der Experimente auszudehnen, um die langen „Fastenzeiten“ der Niphargen mit in die Betrachtung einbeziehen zu können. Aus den Hungerexperimenten ist bekannt, daß die Tiere in der Lage sind, bis maximal 200 Tage ohne Nahrung auszukommen. Damit können sie 3-4 mal so lange ohne Nahrung auszukommen wie ihre Verwandten *G. pulex* und *G. fossarum*, die maximal 75 bzw. 55 Tage hungern können

(Koch 1989). Ob sich die Tiere aber über so lange Zeit unter experimentellen Bedingungen überhaupt natürlich verhalten, und die dann erzielten Daten Rückschlüsse auf die natürlichen Verhältnisse zulassen, muß angezweifelt werden.

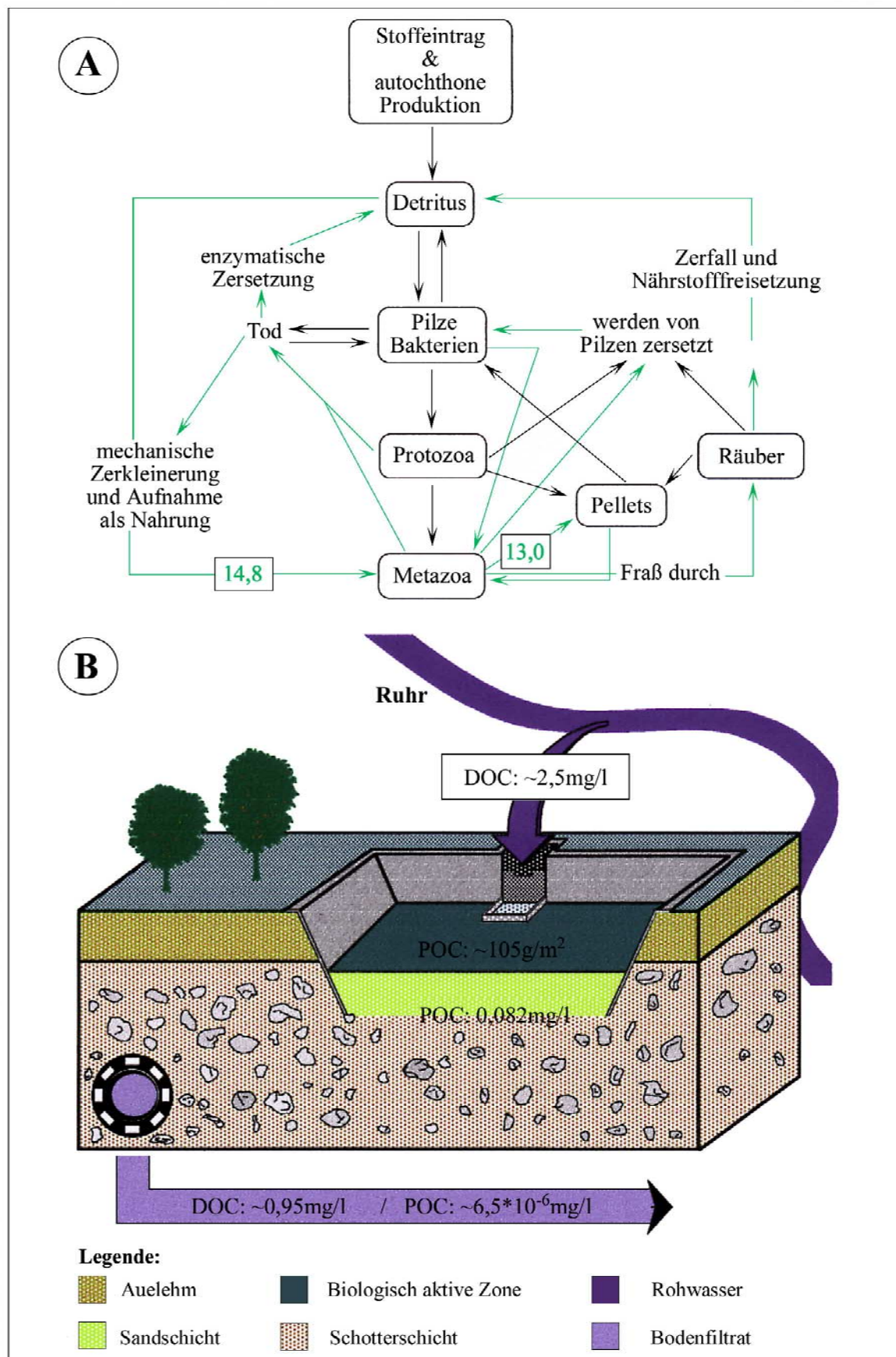
In zwei Experimentansätzen mit *Niphargus rhenorhodanensis*, einem Verwandten von *Niphargus fontanus*, wurden die Veränderungen des Protein-, Fett- und Kohlenhydratgehalts der Tiere unter Hunger- (1. Ansatz) und Fütterungsbedingungen (2. Ansatz) mit natürlichem Futter (Sediment, verwitterte Pflanzenreste und assoziierte Fauna) über 6 Monate beobachtet (Mathieu & Gibert 1980). In beiden Ansätzen nahmen die Gehalte der tiereigenen Grundnährstoffe (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) ab. *N. rhenorhodanensis* verbrauchte während dieser Zeit besonders seine Fett- und Proteinreserven, die sich bis auf ein Viertel und auf die Hälfte der Ausgangsmenge reduzierten. Dies traf sowohl auf die Hungertiere als auch auf gefütterte Tiere zu und deutet eine Mangelsituation unter Laborbedingungen an. Daraus läßt sich folgern, daß länger andauernde Experimente zu Problemen führen können, die im kurzen Experiment möglicherweise nicht ins Gewicht fallen. Grundwassertiere sind an Phasen mangelnder Nahrungsversorgung angepaßt und verfügen über Fettreserven, die es ihnen ermöglichen, lange zu hungern (Gibert & Mathieu 1980). Ob sie dies nur unter den eventuell ungünstigen Laborbedingungen tun, oder ob es sich um eine Anpassung handelt, die an bestimmte physiologische Zustände gekoppelt ist, ist unklar. Eine Erklärung warum die Tiere zeitweise keine Nahrung aufnehmen bietet Hargrave (1972) an, der berichtet, daß *Hyaella azteca* ca. 24h vor seiner Häutung keine Nahrung mehr zu sich nimmt. Erst wenn die Häutung komplett vollzogen ist, können die Tiere wieder fressen. Die Häutungszyklen adulter *Niphargus fontanus* sind unbekannt, jedoch dürften sie in einer ähnlichen Frequenz wie bei *N. virei* stattfinden. Dessen Adulte häuten sich zwischen 1,5 und 1,7 ( $\pm 0,2$ ) mal pro Jahr (Ginet 1960). Leider ist unbekannt, ob *N. virei* vor der Häutung Phasen einlegt, in denen er keine Nahrung zu sich nimmt. Unter Berücksichtigung aller Faktoren läßt sich festhalten, daß als Optimum nur eine Kompromißlösung bei der Durchführung von Freßexperimenten mit Grundwassertieren realisierbar scheint. Im konkreten Fall bedeutet dies, mit einer Unschärfe zu arbeiten, die weit über dem statistisch zulässigen Maß liegt.

### **6.8 Die Abbauleistung der interstitiellen Fauna im Langsamsandfilter**

Die Rolle der Meiofauna in Langsamsandfiltern war lange Zeit umstritten. Kisskalt (1917) postulierte, daß die Organismen in Langsamsandfilter, vor allem die Mikroorganismen maßgeblich zur Wasserreinigung beitragen. Er konnte seine Hypothese jedoch nicht belegen und so galten lange Zeit lediglich die chemisch-physikalischen Vorgänge (Redox-Reaktionen, Sedimentation der Partikel, Adsorption, Adsorption u.a.) als maßgeblich für die Wasserauf-

bereitung (Dornedden 1930). Erst die Untersuchungen von Gundel & Stundl (1937), Baars (1957), Schmidt (1963) und Brink (1967) u.a. lieferten zuverlässige Belege, daß die Aufbereitung des infiltrierten Wassers in Langsamsandfiltern auf biologische Vorgänge zurückzuführen sind. Nach und nach erkannte man, daß die Wasseraufbereitung auf vielschichtigen und komplexen Vorgängen beruht, die sich in allen Bereichen eines Langsamsandfilters vollziehen und an denen alle Elemente der Biozönose beteiligt sind: Von den Mikroorganismen (Weber-Shirk 1997), über die Algen (Nakamoto et al. 1996), bis hin zu den Metazoa (Calaway, 1957; Ritterbusch 1974; Husmann 1982).

Die Hypothese Husmanns, daß Metazoa an der Wasseraufbereitung in Langsamsandfiltern beteiligt sind war Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung. Schematisch lag das Detritus-Nahrungsnetz (DVWK- Fachausschuß 1988) zugrunde, das die Nahrungsbeziehungen im Grundwasser vereinfacht wiedergibt. Um die Husmannsche Hypothese zu prüfen, wurde anhand ausgewählter Variablen (Phosphat, Ammonium, DOC, POC) bilanziert, wie groß ihre Anteile vor der Versickerung im Langsamsandfilter sind und welche Mengen davon noch im Bodenfiltrat zu finden sind. Aus vorangegangenen Untersuchungen im Wasserwerk Echthausen Ruhr war die Menge und Artenzusammensetzung der Meiofauna bekannt (Rumm et al. 1997; Westphal & Rumm 1997; Egert 1998; Rumm et al. 1998). So konnten gezielt dominante Vertreter untersucht werden. Dabei konnten die in Abb. 49 (A) durch die grünen Pfeile dargestellten Beziehungen belegt werden. Exemplarisch wurde an adulten Exemplaren von *Niphargus fontanus* bilanziert, wie groß deren Stoffumsetzungen sind. Es zeigte sich, daß die Art zur Gilde der Zerkleinerer zu stellen ist, die durch hohe Durchsatz- und niedrige Assimilationsraten gekennzeichnet sind (Cummins & Klug 1979). Die Art spielt somit eine untergeordnete Rolle für die Metabolisierung der organischen Fracht in Langsamsandfiltern, aber sie sorgt durch ihre Freß- und Bewegungsaktivität für die Zerkleinerung des groben Materials und bewirkt die Umschichtung des Substrats (Bioturbation). Aus Abb. 49 (A) geht auch hervor, daß *Niphargus fontanus* als ein Vertreter der Metazoa in vielfältigen Beziehungen zu den anderen Organismen im Langsamsandfilter steht. Die Art ist omnivor und fungiert nicht nur als Zerkleinerer, sondern auch als Prädator für Artgenossen und andere Tiere im Langsamsandfilter. Daß Mikroorganismen bei der Ernährung von *Niphargus fontanus* eine Rolle spielen ist evident, denn die Tiere nahmen bevorzugt inkubierte, mit Mikroorganismen besiedelte Eschenblätter auf. Hargrave (1972) zeigte am Bsp. von *Hyaella azteca*, daß die Assimilationsraten von Adulten und Juvenilen deutlich verschieden sind. Adulte Tiere investieren wenig Energie in den Aufbau von Biomasse und den größten Teil der aufgenommenen Energie in die Aufrechterhaltung ihres Grundstoffwechsels und in die Reproduktion.



Anm.: Die Beziehungen, die durch die grünen Pfeile in (A) dargestellt sind, wurden im Laufe dieser Untersuchung beobachtet. Die Zahlen geben den Anteil des Futterkonsums und die Menge der produzierten Pellets am Beispiel von *Niphargus fontanus*, gefüttert mit Eschenblättern wieder [ $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$  pro mg TG]. (A) verändert nach DVWK-Fachausschuß 1988.

Abb. 49: Nahrungsbeziehungen (A) und summarischer Kohlenstofffluß (B) im Langsandsfilter.

Juvenile assimilieren mehr, denn sie benötigen einen Großteil der aufgenommenen Nahrung für den Aufbau von Biomasse. Dies trifft mit großer Wahrscheinlichkeit auch für *Niphargus fontanus* zu.

Aufgrund der durchgeführten Experimente läßt sich die Hypothese Husmanns stützen, die besagt, daß die Metazoen in Langsamsandfilter bei der Metablisierung der organischen Fracht beteiligt sind. Erwartungsgemäß ist die metabolische Aktivität der untersuchten Grundwassertiere gering, was sich gut in der niedrigen Respirationsrate von *Niphargus fontanus* widerspiegelt. Wie aus Abb. 49 (B) hervorgeht spielt sich die größte Reduktion des infiltrierten Kohlenstoffs in der Biologisch aktiven Zone ab. Die Metabolisierung des Anteils, der in den Untergrund versickert wird jedoch ausschließlich von den interstitiell lebenden Mikroorganismen und von der Lückenfauna bewerkstelligt.

Der Anteil des täglich in den Untergrund transportierten partikulären Kohlenstoffs ist nicht zu unterschätzen. Legt man die hier erhobenen Daten von  $\sim 0,082 \text{ mg/l POC}$  (ohne Organismen) zugrunde, bedeutet dies in Echthausen bei einer maximalen Förderkapazität von  $95.000 \text{ m}^3/\text{Tag}$ , daß täglich ca.  $7,8 \text{ kg}$  partikulärer Kohlenstoff in den Untergrund des Wasserwerks verfrachtet werden. Davon werden letztendlich nur noch ca.  $62 \text{ mg}$  (ohne Organismen) aus dem System in die Bodenfiltratleitungen ausgetragen. Dies zeigt, daß auch im Untergrund von Langsamsandfiltern ein effektiver Abbau der infiltrierten Substanzen stattfindet.

Pflanzen und Tiere unterscheiden nicht zwischen natürlich entstandenen oder anthropogen geschaffenen Lebensräumen, sondern einzig danach, ob sie geeignet oder ungeeignet sind. Das Ruhrtal zeichnet sich durch ein kleinkammeriges Nebeneinander von Flächen sehr unterschiedlicher Natürlichkeitsgrade aus. Diese Vielfalt der unterschiedlichen Biotope bedingen den Artenreichtum des Ruhrtals (Feldmann 1998). Dazu tragen auch Langsamsandfilter bei, die sich in mehrfacher Hinsicht gut für die Studien an Grundwasserorganismen eignen. Sie sind von einer individuen- und artenreichen Lebensgemeinschaft besiedelt und stellen ein permanentes Reservoir an stygobionten Organismen dar. Betriebsbedingt werden eine Reihe von wasserrelevanten, chemischen und physikalischen Variablen registriert, die für biologische Untersuchungen genutzt werden können. Langsamsandfilter befinden sich in hydrogeologischen Formationen, i.d.R. in Flußtalauen, die ohnehin die natürlichen Biotope der Grundwassertiere darstellen. Informationen über die hydrogeologischen Gegebenheiten sind für die Gebiete, in denen Langsamsandfilter-Anlagen installiert wurden bekannt und daher jederzeit verfügbar. Aufgrund der vielen Vorteile, die Langsamsandfilter für die Erforschung der Grundwassertiere bieten, können sie durchaus als „experimental-ökologische Grundwasser-modelsysteme“ im Husmannschen Sinne angesehen werden und weitere Untersuchungen in Langsamsandfiltern sind empfehlenswert.

## 7 Zusammenfassung

Langsamsandfilter sind biologisch arbeitende Systeme zur Trinkwassererzeugung, die von einer arten- und individuenreichen Fauna besiedelt werden. In der vorliegenden Arbeit sollte auf der Basis von Freilanduntersuchungen und experimentellen Untersuchungen an ausgewählten Grundwasserorganismen, die aus einem Langsamsandfilter des Ruhrtals stammen versucht werden, deren Rolle beim Abbau der infiltrierten Substanzen in Langsamsandfiltern zu klären.

Im Langsamsandfilter wurden die abiotischen Variablen Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert und Leitfähigkeit erfaßt. Die Variablen Temperatur und Leitfähigkeit zeigen im Verlauf der Untergrundpassage kaum eine Veränderung. Die Pufferwirkung des Untergrunds auf die Temperatur wurde in Echthausen aufgrund der kurzen Dauer der Untergrundpassage (ca. 24h) kaum wirksam. Die Variablen Sauerstoffgehalt und pH-Wert nahmen mit zunehmender Tiefe ab.

Obwohl der Langsamsandfilter als Raumsieb für infiltrierte Partikel geeignet ist, gelangen dennoch Partikel durch das System hindurch. Die Menge der hier erfassten Partikel ( $>50\mu\text{m}$ ) nahm mit der Tiefe ab. In der Biologisch aktiven Zone fand sich die höchste Partikelmenge ( $460\text{g/m}^2$ - $1550\text{g/m}^2$ ), im Bodenfiltratschacht war die Menge am geringsten ( $9,2 \cdot 10^{-6} \text{ mg/l}$ - $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/l}$ ).

Der Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalt und das sich daraus ergebende C/N-Verhältnis korrelierte nicht mit den Partikelfrachten. Die nutritive Qualität der transportierten Partikel nahm auf dem Wege der Untergrundpassage ab. Im Rohwasser war der DOC-Gehalt deutlich höher als im Bodenfiltrat. Die Abnahme von DOC, Phosphat und Ammonium bei der Untergrundpassage demonstriert die biologische Abbauleistung der Organismen im Langsamsandfilter.

Das Faunenspektrum im Langsamsandfilter Echthausen umfasste 135 Taxa, von denen 112 auf Artniveau bestimmt wurden. Die Fauna setzte sich aus 98 stygoxenen, 15 stygophilen und 22 stygobionten Taxa zusammen.

Mithilfe der MDS konnte die große Heterogenität in den untersuchten Bereichen (Biologisch aktive Zone, Sand- und Schotterschicht des Langsamsandfilters und Bodenfiltratschacht) in Bezug auf ihr Arteninventar gezeigt werden. Eine Detailanalyse der Sand- und Schotterschicht zeigte, daß sich ein Stationscluster „190cm-310cm Tiefe“ von den 5 untersuchten Tiefenbereichen abhob.

Die Futterwahlversuche ergaben, daß vorbehandelte Eschenblätter besonders gut als Futter für *Niphargus fontanus* und *Chappuisius inopinus* geeignet waren. *Diacyclops languidoides* und *Bythiospeum septentrionale* bevorzugten Detritus als Nahrung.

Die Eschenblätter wiesen eine Reihe von Vorteilen für die Freßexperimente auf: günstiges C/N-Verhältnis; geringe Auswaschungsrate wasserlöslicher Substanzen; gute Handhabbarkeit; gute Akzeptanz durch *Niphargus fontanus*.

Untersuchungen an *Niphargus fontanus* zeigten, daß die Tiere über 200 Tage ohne Nahrungsaufnahme leben konnten. Die Darmpassagezeiten von *Niphargus fontanus* lagen vom Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme bis zur Pelletabgabe zwischen 2-6 Tagen. Der Darm war überwiegend halb gefüllt. Während der Freßexperimente ergaben sich extrem große Schwankungsbreiten bezüglich der Aufnahmeraten von *Niphargus fontanus*.

Die konsumierte Futtermenge der Tiere betrug zwischen  $13,2\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG und  $18,1\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG. Die individuellen Schwankungen waren teilweise beträchtlich.

Die von *Niphargus fontanus* produzierten Kotballen waren in Länge, Gewicht und Anzahl selbst bei ein und demselben Individuum sehr unterschiedlich. Die REM-Untersuchung (Cryo-REM) zeigten, daß die Kotballen von *Niphargus fontanus* bis auf die Enden von einer peritrophischen Membran umgeben waren. Auf der peritrophischen Membran siedelten auf ihrer Außenseite nur wenige, auf der Innenseite aber viele Mikroorganismen.

*Niphargus fontanus* produzierte täglich Pellets mit einer Trockenmasse von  $11,8\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  bis  $15,4\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ .

Die Assimilationseffizienz von *Niphargus fontanus* lag zwischen  $1,35\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  und  $2,2\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ . Die Unterschiede der Assimilationseffizienz zwischen Männchen und Weibchen bei gleichen Versuchstemperaturen ( $10^{\circ}\text{C}$ ;  $14^{\circ}\text{C}$ ) waren nicht signifikant. Zwischen den Weibchen gab es keine, zwischen den Männchen dagegen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Assimilationseffizienz zwischen  $10^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$ .

Die Korrelationsanalyse zeigte, daß zwischen den Variablen Futterkonsum und Pelletproduktion auf der einen Seite und Assimilationseffizienz der Tiere auf der anderen Seite ein enger Zusammenhang bestand (Korrelationskoeffizient:  $\sim 0,93$ ).

Die Respirationmessungen ergaben, daß die Tiere bei niedrigen Temperaturen ( $5^{\circ}\text{C}$  -  $10^{\circ}\text{C}$ ) hohe Respirationraten aufwiesen (mehr als  $1400\mu\text{l}$  Sauerstoff pro  $\text{g}\cdot\text{TG}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Stieg die Temperatur, fiel die Respirationsleistung rapide auf  $1/5 - 1/11$  des Sauerstoffverbrauchs bei  $10^{\circ}\text{C}$ . Als wichtige Variablen für den Sauerstoffverbrauch der Tiere erwiesen sich der Sauerstoffgehalt und die Temperatur des Wassers.

Die täglich konsumierte Menge der adulten *Niphargus fontanus* Population im Langsamsandfilter würde sich auf der Basis der mit Eschenblättern erzielten Experimente auf



$45\text{g}\cdot\text{d}^{-1} \pm 36\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG bzw.  $48\text{g}\cdot\text{d}^{-1} \pm 39\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  TG belaufen. Die geringen Umsatzraten und die niedrige Respirationaleistung von *Niphargus fontanus* wird als Anpassung an den Lebensraum Grundwasser interpretiert. *Niphargus fontanus* nimmt im Grundwasser vermutlich die Rolle eines omnivoren Zerkleinerers ein und ist auf vielfältige Weise in das Nahrungsnetz verwoben.

Langsamsandfilter eignen sich hervorragend für die Bearbeitung grundwasser-ökologischer Fragestellungen, da sie von einer vielfältigen Grundwasserfauna besiedelt werden und auf vielen Ebenen des Gesamtsystems transparent sind.

## 8 Anhang

### 8.1 Liste der verwendeten Abkürzungen und Symbole

|       |   |                                                                           |
|-------|---|---------------------------------------------------------------------------|
| BaZ   | - | Biologisch aktive Zone (oberste Schicht des Langsamsandfilters)           |
| BFS   | - | Bodenfiltratschacht                                                       |
| C / N | - | Kohlenstoff-/Stickstoffverhältnis                                         |
| CPOM  | - | coarse particulate organic matter (grobpartikuläres organisches Material) |
| DOC   | - | dissolved organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)               |
| FG    | - | Frischgewicht                                                             |
| FPOM  | - | fine particulate organic matter (feinpartikuläres organisches Material)   |
| POM   | - | particulate organic matter (partikuläres organisches Material)            |
| R1    | - | Peilrohr 1 - 40 cm Tiefe                                                  |
| R2    | - | Peilrohr 2 - 120 cm Tiefe                                                 |
| R3    | - | Peilrohr 3 - 190 cm Tiefe                                                 |
| R4    | - | Peilrohr 4 - 310 cm Tiefe                                                 |
| R5    | - | Peilrohr 5 - 470 cm Tiefe                                                 |
| R6    | - | Peilrohr 6 - 190 cm Tiefe                                                 |
| R7    | - | Peilrohr 7 - 310 cm Tiefe                                                 |
| R8    | - | Peilrohr 8 - 190 cm Tiefe                                                 |
| R9    | - | Peilrohr 9 - 310 cm Tiefe                                                 |
| TG    | - | Trockengewicht                                                            |
| POC   | - | particulate organic carbon (partikulärer organischer Kohlenstoff)         |
| PON   | - | particulate organic nitrogen (partikulärer organischer Stickstoff)        |
| ♂♂    | - | Männchen                                                                  |
| ♀♀    | - | Weibchen                                                                  |
| Ø     | - | Durchschnitt                                                              |
| Σ     | - | Summe                                                                     |
| σ     | - | Standardabweichung                                                        |

## 8.2 Meßwerte und Tabellen

Tab. 15: Wassertemperaturen im Langsandsandfilter

BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht;  $\bar{\sigma}$  = Mittelwert  $\sigma$  = Standardabweichung; Angaben in °C

| Probe          | Monate |       |       |       |       |       | $\bar{\sigma}$ | $\sigma$ |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------|
|                | 04/96  | 05/96 | 06/96 | 07/96 | 08/96 | 09/96 |                |          |
| BaZ            | 11,3   | 10,8  | 20,5  | 18,0  | 18,1  | 11,7  | 15,07          | 4,27     |
| R1             | 11,7   | 10,8  | 20,7  | 17,2  | 18,1  | 11,7  | 15,03          | 4,16     |
| R2             | 11,1   | 10,7  | 20,1  | 17,6  | 18,2  | 11,7  | 14,90          | 4,18     |
| R3             | 10,6   | 11,0  | 19,3  | 17,6  | 18,7  | 11,9  | 14,85          | 4,09     |
| R4             | 10,3   | 11,9  | 17,3  | 17,1  | 18,1  | 12,2  | 14,48          | 3,38     |
| R5             | 10,6   | 11,4  | 16,2  | 17,7  | 18,3  | 11,9  | 14,35          | 3,44     |
| R6             | 10,0   | 11,3  | 19,3  | 17,7  | 18,6  | 12,1  | 14,83          | 4,14     |
| R7             | 9,2    | 11,3  | 18,5  | 17,7  | 18,2  | 12,2  | 14,52          | 4,09     |
| R8             | 14,9   | 12,1  | 20,3  | 17,3  | 19,0  | 10,8  | 15,73          | 3,80     |
| R9             | 9,4    | 12,3  | 19,9  | 18,5  | 19,0  | 12,1  | 15,20          | 4,45     |
| BFS            | 8,9    | 11,3  | 19,5  | 17,1  |       | 14,7  | 14,30          | 4,28     |
| $\bar{\sigma}$ | 10,73  | 11,35 | 19,24 | 17,59 | 18,43 | 12,09 |                |          |
| $\sigma$       | 1,64   | 0,54  | 1,40  | 0,42  | 0,37  | 0,95  |                |          |

Tab. 16: Sauerstoffkonzentrationen im Wasser des Langsandsandfilters

Weiß – Angaben in mg/l; schraffiert – Angaben in % Sättigung; BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht;  $\bar{\sigma}$  = Mittelwert  $\sigma$  = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum

| Monat          | BaZ   | R1   | R2   | R3   | R4   | R5    | R6   | R7   | R8    | R9    | BFS  | $\bar{\sigma}$ | Min  | Max  | $\sigma$ |
|----------------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|----------------|------|------|----------|
| 04/96          | 12,2  | 7,0  | 8,6  | 8,1  | 5,1  | 8,2   | 9,5  | 8,3  | 13,6  | 12,3  | 8,2  | 9,2            | 5,1  | 13,6 | 2,5      |
| 05/96          | 11,9  | 10,0 | 8,3  | 8,8  | 7,6  | 8,7   | 7,4  | 7,4  | 11,5  | 4,7   | 5,5  | 8,3            | 4,7  | 11,9 | 2,2      |
| 06/96          | 9,4   | 4,0  | 1,6  | 1,2  | 0,2  | 0,2   | 0,3  | 0,2  | 1,1   | 0,4   | 1,8  | 1,9            | 0,2  | 9,4  | 2,7      |
| 07/96          | 9,1   | 6,6  | 3,7  | 0,7  | 0,7  | 3,2   | 1,5  | 2,3  | 0,8   | 0,4   | 2,3  | 2,8            | 0,4  | 9,1  | 2,8      |
| 09/96          | 12,5  | 10,5 | 10,1 | 8,5  | 4,7  | 4,3   | 7,9  | 5,2  | 11,5  | 9,1   | 6,6  | 8,3            | 4,3  | 12,5 | 2,8      |
| $\bar{\sigma}$ | 11,0  | 7,6  | 6,5  | 5,5  | 3,7  | 4,9   | 5,3  | 4,7  | 7,7   | 5,4   | 4,9  | [mg/L]         |      |      |          |
| Min            | 9,1   | 4,0  | 1,6  | 0,7  | 0,2  | 0,2   | 0,3  | 0,2  | 0,8   | 0,4   | 1,8  |                |      |      |          |
| Max            | 12,5  | 10,5 | 10,1 | 8,8  | 7,6  | 8,7   | 9,5  | 8,3  | 13,6  | 12,3  | 8,2  |                |      |      |          |
| $\sigma$       | 1,6   | 2,7  | 3,6  | 4,1  | 3,1  | 3,6   | 4,1  | 3,4  | 6,2   | 5,3   | 2,8  |                |      |      |          |
| Monat          | BaZ   | R1   | R2   | R3   | R4   | R5    | R6   | R7   | R8    | R9    | BFS  | $\bar{\sigma}$ | Min  | Max  | $\sigma$ |
| 04/96          | 109   | 63   | 77   | 72   | 46   | 73    | 85   | 72   | 131   | 109   | 71   | 83             | 46,0 | 131  | 24,4     |
| 05/96          | 106   | 90   | 76   | 80   | 70   | 79    | 67   | 68   | 106   | 44    | 50   | 76,0           | 44,0 | 106  | 19,8     |
| 06/96          | 98    | 38   | 17   | 13   | 3    | 2     | 4    | 2    | 14    | 4     | 19   | 21,1           | 2,0  | 98   | 29,2     |
| 07/96          | 96    | 69   | 40   | 8    | 8    | 34    | 16   | 24   | 8     | 4     | 24   | 30,1           | 4,0  | 96   | 29,0     |
| 09/96          | 100   | 98   | 94   | 75   | 42   | 100   | 69   | 46   | 98    | 79    | 60   | 78,2           | 42,0 | 100  | 23,0     |
| $\bar{\sigma}$ | 101,8 | 71,6 | 60,8 | 49,6 | 41,5 | 57,6  | 48,2 | 42,4 | 71,4  | 40,3  | 44,8 | [% Sättigung]  |      |      |          |
| Min            | 96,0  | 38,0 | 17,0 | 8,0  | 8,0  | 2,0   | 0,2  | 2,0  | 8,0   | 4,0   | 19,0 |                |      |      |          |
| Max            | 109,0 | 98,0 | 94,0 | 80,0 | 70,0 | 100,0 | 85,0 | 72,0 | 131,0 | 109,0 | 71,0 |                |      |      |          |
| $\sigma$       | 5,5   | 23,7 | 31,4 | 35,9 | 25,5 | 39,2  | 35,8 | 29,6 | 56,5  | 49,6  | 22,6 |                |      |      |          |

Tab. 17: pH-Werte im Wasser des Langsamsandfilters

BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht;  $\bar{\sigma}$  = Mittelwert;  $\sigma$  = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum

| Probe          | Monat |       |       |       |       |       | Min  | Max  | $\bar{\sigma}$ | $\sigma$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------------|----------|
|                | 04/96 | 05/96 | 06/96 | 07/96 | 08/96 | 09/96 |      |      |                |          |
| BaZ            | 8,06  | 7,80  | 8,00  | 8,16  |       | 8,06  | 7,80 | 8,16 | 8,02           | 0,13     |
| R1             | 7,19  | 7,81  | 6,66  | 7,27  | 7,66  | 7,49  | 6,66 | 7,81 | 7,35           | 0,41     |
| R2             | 7,68  | 7,05  | 5,91  | 7,48  | 7,85  | 7,02  | 5,91 | 7,85 | 7,17           | 0,70     |
| R3             | 6,70  | 6,87  | 6,62  | 7,40  | 7,79  | 7,55  | 6,62 | 7,79 | 7,16           | 0,49     |
| R4             | 7,89  | 6,80  | 6,88  | 7,56  | 7,10  | 7,42  | 6,80 | 7,89 | 7,28           | 0,42     |
| R5             | 7,23  | 7,74  | 7,35  | 7,45  | 7,41  | 7,71  | 7,23 | 7,74 | 7,48           | 0,20     |
| R6             | 7,43  | 7,21  | 6,71  | 7,16  | 7,26  | 7,52  | 6,71 | 7,52 | 7,22           | 0,28     |
| R7             | 7,15  | 7,13  | 6,81  | 7,15  | 7,24  | 7,42  | 6,81 | 7,42 | 7,15           | 0,20     |
| R8             | 7,65  | 7,43  | 7,01  | 7,48  | 7,30  | 7,86  | 7,01 | 7,86 | 7,46           | 0,29     |
| R9             | 7,29  | 7,31  | 6,81  | 7,49  | 7,27  | 7,36  | 6,81 | 7,49 | 7,26           | 0,23     |
| BFS            | 7,24  | 7,32  | 6,92  | 7,20  |       | 7,38  | 6,92 | 7,38 | 7,21           | 0,18     |
| Min            | 6,70  | 6,80  | 5,91  | 7,15  | 7,10  | 7,02  |      |      |                |          |
| Max            | 8,06  | 7,81  | 8,00  | 8,16  | 7,85  | 8,06  |      |      |                |          |
| $\bar{\sigma}$ | 7,41  | 7,32  | 6,88  | 7,44  | 7,43  | 7,53  |      |      |                |          |
| $\sigma$       | 0,38  | 0,35  | 0,51  | 0,28  | 0,27  | 0,28  |      |      |                |          |

Tab. 18: Leitfähigkeitswerte [ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ] im Wasser des Langsamsandfilters

BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht;  $\bar{\sigma}$  = Mittelwert;  $\sigma$  = Standardabweichung; Min = Minimum; Max = Maximum

| Probe          | Monat |       |       |       |       |       | Min   | Max   | $\bar{\sigma}$ | $\sigma$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------|
|                | 04/96 | 05/96 | 06/96 | 07/96 | 08/96 | 09/96 |       |       |                |          |
| BaZ            | 361   | 387   | 398   | 402   | 412   | 355   | 355,0 | 412,0 | 385,8          | 23,1     |
| R1             | 351   | 384   | 381   | 404   | 412   | 339   | 339,0 | 412,0 | 378,5          | 28,7     |
| R2             | 353   | 382   | 401   | 401   | 413   | 342   | 342,0 | 413,0 | 382,0          | 28,7     |
| R3             | 364   | 384   | 436   | 390   | 415   | 347   | 347,0 | 436,0 | 389,3          | 32,6     |
| R4             | 356   | 386   | 431   | 395   | 407   | 361   | 356,0 | 431,0 | 389,3          | 28,3     |
| R5             | 355   | 377   | 433   | 402   | 417   | 340   | 340,0 | 433,0 | 387,3          | 36,3     |
| R6             | 345   | 379   | 437   | 393   | 410   | 350   | 345,0 | 437,0 | 385,7          | 35,4     |
| R7             | 345   | 389   | 432   | 392   | 395   | 361   | 345,0 | 432,0 | 385,7          | 30,2     |
| R8             | 330   | 381   | 405   | 405   | 417   | 349   | 330,0 | 417,0 | 381,2          | 34,9     |
| R9             | 337   | 396   | 401   | 402   | 416   | 348   | 337,0 | 416,0 | 383,3          | 32,5     |
| BFS            | 353   | 393   | 401   | 395   | -     | 353   | 353,0 | 401,0 | 379,0          | 23,9     |
| Min            | 330,0 | 377,0 | 298,0 | 390,0 | 395,0 | 339,0 |       |       |                |          |
| Max            | 364,0 | 396,0 | 437,0 | 405,0 | 417,0 | 361,0 |       |       |                |          |
| $\bar{\sigma}$ | 350,0 | 385,3 | 405,1 | 398,3 | 411,4 | 349,5 |       |       |                |          |
| $\sigma$       | 10,1  | 5,8   | 40,3  | 5,3   | 6,6   | 7,6   |       |       |                |          |

Tab. 19: Vergleich der abiotischen Faktoren im Rohwasser und Bodenfiltratschacht (1995)

Anm.: O<sub>2</sub> = Sauerstoff; Temp. = Temperatur; DOC = gelöster org. Kohlenstoff; PO<sub>4</sub> = Phosphat; NH<sub>4</sub> = Ammonium.

| Datum      | Ruhr Rohwasser           |               |               |                           |                           | Bodenfiltrat             |               |               |                           |                           |
|------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|            | O <sub>2</sub><br>[mg/l] | Temp.<br>[°C] | DOC<br>[mg/l] | PO <sub>4</sub><br>[mg/l] | NH <sub>4</sub><br>[mg/l] | O <sub>2</sub><br>[mg/l] | Temp.<br>[°C] | DOC<br>[mg/l] | PO <sub>4</sub><br>[mg/l] | NH <sub>4</sub><br>[mg/l] |
| 02.01.95   | 12,30                    | 4,0           | 1,8           | 0,12                      | 0,14                      | 9,9                      | 6,8           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 09.01.95   | 12,20                    | 4,5           | 2,2           | 0,18                      | 0,44                      | 11,7                     | 7,2           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 16.01.95   | 13,00                    | 6,0           | 2,3           | 0,11                      | 0,20                      |                          |               |               | 0,1                       | 0,01                      |
| 23.01.95   | 11,70                    | 6,0           | 2,5           | 0,20                      | 0,14                      | 10,5                     | 4,5           | 0,8           | 0,1                       | 0,01                      |
| 30.01.95   | 11,40                    | 4,2           | 2,3           | 0,09                      | 0,07                      | 10,4                     | 5,2           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 06.02.95   | 12,50                    | 4,5           | 2,3           | 0,08                      | 0,17                      | 11,3                     | 6,0           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 13.02.95   | 12,00                    | 6,2           | 1,7           | 0,11                      | 0,23                      | 10,8                     |               | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 20.02.95   | 12,10                    | 7,2           | 1,7           | 0,14                      | 0,18                      |                          | 6,2           |               | 0,1                       | 0,01                      |
| 27.02.95   | 12,10                    | 6,5           | 1,8           | 0,13                      | 0,20                      | 10,9                     | 7,8           | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 06.03.95   | 12,00                    | 4,8           | 1,5           | 0,09                      | 0,24                      | 11,2                     | 5,5           | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 07.03.95   |                          | 5,4           | 1,8           |                           | 0,26                      |                          |               |               |                           |                           |
| 13.03.95   | 12,10                    | 6,8           | 1,8           | 0,12                      | 0,38                      | 11,9                     | 6,4           | 0,7           | 0,1                       | 0,01                      |
| 20.03.95   | 11,60                    | 5,8           | 1,8           | 0,19                      | 0,32                      | 11,3                     | 5,8           | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 27.03.95   | 11,00                    | 6,3           | 1,9           | 0,17                      | 0,47                      | 9,3                      | 6,0           | 1             | 0,1                       | <0,01                     |
| 03.04.95   | 12,00                    | 8,2           | 1,5           | 0,09                      | 0,16                      | 10,5                     | 6,8           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 10.04.95   | 11,60                    | 6,5           | 1,8           | 0,11                      | 0,32                      | 9,8                      | 7,9           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 18.04.95   | 10,70                    | 8,0           | 2,5           | 0,14                      | 0,42                      |                          | 8,0           |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 24.04.95   | 11,70                    | 7,5           | 1,6           | 0,09                      | 0,15                      | 9,9                      | 8,0           | 0,8           | 0,1                       | 0,01                      |
| 02.05.95   | 10,20                    | 12,2          | 1,7           | 0,10                      | 0,27                      | 9,8                      | 11,0          | 0,7           | 0,1                       | <0,01                     |
| 08.05.95   | 8,00                     | 16,0          | 2,3           | 0,09                      | 0,47                      | 9,5                      | 13,5          | 0,8           | 0,1                       | 0,01                      |
| 09.05.95   | 8,10                     | 13,4          | 3,1           |                           | 0,72                      |                          |               |               | 0,1                       |                           |
| 15.05.95   | 9,60                     | 10,2          | 2,1           | 0,15                      | 0,37                      |                          | 13,2          |               |                           | 0,01                      |
| 22.05.95   | 8,80                     | 12,8          | 2,7           | 0,16                      | 0,49                      | 7                        | 13,0          | 0,7           | 0,1                       | <0,01                     |
| 29.05.95   | 7,10                     | 17,0          | 2,6           | 0,26                      | 0,36                      | 7                        | 16,0          | 0,8           | 0,1                       | 0,01                      |
| 06.06.95   | 6,40                     | 14,5          | 4,5           | 0,27                      | 1,36                      | 5,9                      | 14,8          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 12.06.95   | 8,80                     | 13,0          | 2,1           | 0,17                      | 0,29                      | 5,3                      | 15,0          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 19.06.95   | 8,40                     | 15,0          | 2,8           | 0,27                      | 0,26                      |                          | 13,8          |               | 0,1                       | 0,03                      |
| 26.06.95   | 7,10                     | 18,5          | 2,4           | 0,21                      | 0,58                      | 4,7                      | 16,5          | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 03.07.95   | 6,30                     | 18,0          | 3,6           | 0,28                      | 2,19                      | 3,3                      | 18,5          | 1             | 0,1                       | 0,03                      |
| 10.07.95   | 6,40                     | 18,8          | 3,1           | 0,23                      | 0,72                      | 3,2                      |               | 1,1           | 0,1                       | <0,01                     |
| 17.07.95   | 7,80                     | 18,0          | 2,7           | 0,31                      | 0,27                      |                          | 19,0          |               | 0,1                       | 0,01                      |
| 24.07.95   | 9,00                     | 16,5          | 2,5           | 0,20                      | 0,33                      | 3,9                      | 19,5          | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 31.07.95   | 8,40                     | 17,5          | 2,3           | 0,17                      | 0,22                      | 3,9                      | 19,5          | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 07.08.95   | 7,60                     | 17,8          | 2,2           | 0,19                      | 0,22                      | 4,4                      | 20,2          | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 14.08.95   | 7,60                     | 17,8          | 2,6           | 0,17                      | 0,38                      | 4,7                      | 19,3          | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 21.08.95   | 7,40                     | 16,0          | 2,9           | 0,13                      | 0,46                      | 5,3                      | 18,7          | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 22.08.95   | 7,90                     | 16,4          |               |                           |                           |                          | 19,0          |               | 0,1                       |                           |
| 28.08.95   | 7,80                     | 17,8          | 2,9           | 0,24                      | 0,32                      | 4,6                      |               | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 04.09.95   | 8,80                     | 14,5          | 2,2           | 0,21                      | 0,11                      | 4,1                      | 17,0          | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 11.09.95   | 9,50                     | 15,8          | 2,4           | 0,22                      | 0,10                      | 3,4                      | 16,8          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 18.09.95   | 9,00                     | 16,8          | 2,2           | 0,17                      | 0,10                      |                          | 16,6          |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 25.09.95   | 9,60                     | 13,2          | 2,2           | 0,21                      | 0,27                      | 4,6                      | 16,0          | 1             | 0,1                       | <0,01                     |
| 04.10.95   |                          | 14,2          | 2,1           | 0,15                      | 0,14                      | 4,3                      | 14,0          | 1             | 0,1                       | <0,01                     |
| 09.10.95   | 11,20                    | 14,2          | 2,4           | 0,15                      | 0,20                      | 4                        | 15,0          | 1,2           | 0,1                       | 0,02                      |
| 16.10.95   | 8,40                     | 14,0          | 2,5           | 0,20                      | 0,33                      |                          | 14,2          |               | 0,1                       | 0,02                      |
| 23.10.95   | 9,10                     | 11,8          | 2,4           | 0,21                      | 0,26                      | 3,3                      | 14,8          | 0,8           | 0,1                       | 0,01                      |
| 30.10.95   | 8,90                     | 12,9          | 2,3           | 0,24                      | 0,20                      | 5,1                      | 13,3          | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 06.11.95   | 11,30                    | 5,9           | 2,6           | 0,20                      | 0,24                      | 5,6                      | 11,7          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 07.11.95   | 11,60                    | 6,0           | 2,4           |                           | 0,38                      |                          |               |               | 0,1                       |                           |
| 13.11.95   | 9,40                     | 9,0           | 2,2           | 0,23                      | 0,46                      | 6,5                      | 10,0          | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 20.11.95   | 10,50                    | 6,2           | 2,8           | 0,28                      | 0,54                      |                          | 10,0          |               | 0,1                       | 0,02                      |
| 27.11.95   | 10,20                    | 7,0           | 2,1           | 0,21                      | 0,40                      | 7,4                      | 9,0           | 0,9           | 0,1                       | 0,02                      |
| 04.12.95   | 11,40                    | 5,0           | 2,4           | 0,24                      | 0,58                      | 7,6                      | 8,4           | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 11.12.95   | 11,00                    | 5,0           | 2,6           | 0,20                      | 0,59                      | 8,5                      | 6,2           | 1,2           | 0,1                       | 0,02                      |
| 18.12.95   | 12,50                    | 2,8           | 2,8           | 0,24                      | 0,63                      |                          | 4,5           |               |                           | 0,01                      |
| n          | 53                       | 55            | 54            | 51                        | 54                        | 41                       | 48            | 41            | 52                        | 51                        |
| Stdabw.    | 1,92                     | 5,09          | 0,53          | 0,06                      | 0,33                      | 2,96                     | 5,00          | 0,12          | 0,00                      | 0,01                      |
| Minimum    | 6,30                     | 2,80          | 1,50          | 0,08                      | 0,07                      | 3,20                     | 4,50          | 0,70          | 0,10                      | 0,01                      |
| Maximum    | 13,00                    | 18,80         | 4,50          | 0,31                      | 2,19                      | 11,90                    | 20,20         | 1,20          | 0,10                      | 0,03                      |
| Median     | 9,60                     | 11,80         | 2,30          | 0,18                      | 0,31                      | 7,00                     | 13,10         | 0,90          | 0,10                      | 0,01                      |
| Mittelwert | 9,87                     | 10,91         | 2,34          | 0,18                      | 0,38                      | 7,23                     | 12,00         | 0,92          | 0,10                      | 0,01                      |

Tab. 20: Vergleich der abiotischen Faktoren im Rohwasser und Bodenfiltratschicht (1996)

Anm.: O<sub>2</sub> = Sauerstoff; Temp. = Temperatur; DOC = gelöster org. Kohlenstoff; PO<sub>4</sub> = Phosphat; NH<sub>4</sub> = Ammonium.

| Datum      | Rohr Rohwasser           |               |               |                           |                           | Bodenfiltrat             |               |               |                           |                           |
|------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|            | O <sub>2</sub><br>[mg/l] | Temp.<br>[°C] | DOC<br>[mg/l] | PO <sub>4</sub><br>[mg/l] | NH <sub>4</sub><br>[mg/l] | O <sub>2</sub><br>[mg/l] | Temp.<br>[°C] | DOC<br>[mg/l] | PO <sub>4</sub><br>[mg/l] | NH <sub>4</sub><br>[mg/l] |
| 02.01.96   | 12,30                    | 3,8           | 2             | 0,28                      | 0,88                      | 8,3                      | 6,0           | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 08.01.96   | 12,00                    | 2,0           | 2,7           | 0,25                      | 0,85                      | 8,7                      | 4,5           | 1,1           | 0,1                       | 0,03                      |
| 15.01.96   | 11,90                    | 3,3           | 2,8           | 0,21                      | 0,56                      |                          | 4,0           |               | 0,1                       | 0,03                      |
| 22.01.96   | 11,90                    | 1,2           | 2,9           | 0,23                      | 0,74                      | 9,1                      | 4,8           | 1,2           | 0,1                       | 0,01                      |
| 29.01.96   | 12,60                    | 1,0           | 2,9           | 0,22                      | 0,70                      | 10,6                     | 3,0           | 1,2           | 0,1                       | 0,01                      |
| 05.02.96   | 12,40                    | 1,5           | 3             | 0,19                      | 0,92                      | 11,3                     | 3,0           | 1,3           | 0,1                       | 0,02                      |
| 12.02.96   | 11,20                    | 2,0           | 3,3           | 0,20                      | 1,43                      | 10,3                     | 2,6           | 1,1           | 0,1                       | 0,02                      |
| 19.02.96   | 11,30                    | 2,0           | 4,4           | 0,48                      | 0,51                      |                          | 1,9           |               | 0,1                       | 0,02                      |
| 26.02.96   | 12,10                    | 4,2           | 3,3           | 0,27                      | 0,91                      | 9,8                      | 2,7           | 1,2           | 0,1                       | 0,01                      |
| 27.02.96   | 10,70                    | 5,3           | 3,4           |                           | 0,54                      |                          |               |               | 0,1                       |                           |
| 04.03.96   | 11,70                    | 3,8           | 2,2           | 0,22                      | 0,61                      | 11                       | 4,0           | 1,1           | 0,1                       | 0,02                      |
| 11.03.96   | 11,60                    | 4,0           | 3             | 0,25                      | 0,91                      | 10,8                     | 5,0           | 1             |                           | 0,01                      |
| 18.03.96   | 11,10                    | 6,2           | 2,8           | 0,23                      | 0,88                      |                          | 3,9           |               | 0,1                       | 0,02                      |
| 25.03.96   | 11,30                    | 6,0           | 2,3           | 0,24                      | 0,44                      | 9                        | 6,2           | 1,1           | 0,2                       | 0,02                      |
| 01.04.96   | 11,20                    | 3,0           | 2,4           | 0,24                      | 0,69                      | 9,5                      | 5,0           | 1,1           | 0,1                       | 0,01                      |
| 09.04.96   | 10,10                    | 8,3           | 2,8           | 0,31                      | 0,94                      | 9,4                      | 6,2           | 0,9           | 0,1                       | 0,01                      |
| 15.04.96   | 12,90                    | 6,8           | 3,1           | 0,27                      | 0,61                      |                          | 7,0           |               | 0,1                       | 0,01                      |
| 22.04.96   | 8,70                     | 15,5          | 3,1           | 0,30                      | 0,69                      | 8,2                      | 9,8           | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 29.04.96   | 8,70                     | 13,0          | 3,2           | 0,26                      | 0,69                      | 7,3                      | 11,2          | 0,8           |                           | 0,01                      |
| 06.05.96   | 10,10                    | 11,0          | 3,4           | 0,37                      | 0,45                      | 6,7                      | 11,5          | 0,9           | 0,1                       | <0,01                     |
| 07.05.96   | 11,30                    | 10,7          | 3,7           |                           | 0,37                      |                          |               |               | 0,1                       |                           |
| 13.05.96   | 10,50                    | 10,1          | 2,8           | 0,33                      | 0,57                      | 7,9                      | 11,0          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 20.05.96   | 10,10                    | 13,5          | 3,2           | 0,30                      | 0,39                      |                          | 11,5          |               |                           | 0,02                      |
| 28.05.96   | 7,00                     | 13,1          | 3,6           | 0,45                      | 0,86                      | 5,7                      | 13,0          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 03.06.96   | 8,40                     | 15,2          | 3,4           | 0,40                      | 0,36                      | 5,7                      | 14,8          | 1             | 0,1                       | 0,02                      |
| 10.06.96   | 7,00                     | 19,1          | 3,7           | 0,40                      | 0,42                      | 6,8                      | 17,8          | 1,3           | 0,1                       | 0,01                      |
| 17.06.96   | 8,60                     | 17,0          | 2,5           | 0,24                      | 0,27                      |                          | 17,0          |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 24.06.96   | 9,30                     | 13,4          | 2,8           | 0,26                      | 0,36                      | 5,8                      | 16,4          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 01.07.96   | 8,40                     | 14,6          | 2,9           | 0,40                      | 0,16                      | 7                        | 15,0          | 1,1           | 0,1                       | <0,01                     |
| 08.07.96   | 6,50                     | 14,5          | 3,7           | 0,44                      | 0,27                      | 5,1                      | 16,2          | 1,1           | 0,1                       | 0,04                      |
| 15.07.96   | 7,20                     | 21,0          | 3             | 0,31                      | 0,14                      |                          | 17,3          |               | 0,1                       | 0,02                      |
| 22.07.96   | 9,00                     | 18,1          | 2,9           | 0,20                      | 0,09                      | 5,7                      | 18,0          | 1,1           | 0,1                       | <0,01                     |
| 29.07.96   | 8,60                     | 17,6          | 3,2           | 0,25                      | 0,12                      | 3,1                      |               | 1,1           | 0,1                       | <0,01                     |
| 05.08.96   | 8,00                     | 18,4          | 2,3           | 0,23                      | 0,11                      | 4,9                      |               | 1,1           | 0,1                       | <0,01                     |
| 12.08.96   | 6,90                     | 20,3          | 3,3           | 0,40                      | 0,14                      | 4,4                      |               | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 19.08.96   | 7,70                     | 21,3          | 2,7           | 0,32                      | 0,13                      | 6                        | 18,8          | 1,2           | 0,28                      | 0,03                      |
| 26.08.96   | 7,70                     | 18,7          | 3,1           | 0,29                      | 0,15                      | 4,9                      | 19,0          | 1             | 0,1                       | 0,01                      |
| 02.09.96   | 9,40                     | 14,3          | 3             | 0,23                      | 0,09                      | 5,2                      | 18,6          | 1,1           | 0,1                       | 0,02                      |
| 03.09.96   | 10,50                    | 12,9          | 2,2           | 0,21                      | 0,06                      |                          | 16,8          |               | 0,1                       |                           |
| 09.09.96   | 9,20                     | 15,6          | 2,4           | 0,36                      | 0,33                      | 6,1                      | 16,4          | 0,9           | 0,1                       | 0,03                      |
| 16.09.96   | 9,60                     | 12,0          | 2,7           | 0,23                      | 0,10                      |                          | 15,5          |               | 0,1                       | 0,01                      |
| 23.09.96   | 9,20                     | 11,0          | 2,9           | 0,32                      | 0,18                      | 7,1                      | 14,0          | 0,9           | 0,1                       | <0,01                     |
| 30.09.96   | 9,80                     | 14,6          | 2,7           | 0,40                      | 0,29                      | 7,7                      | 14,8          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 07.10.96   | 9,70                     | 12,5          | 1,9           | 0,26                      | 0,10                      | 8,7                      | 13,9          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 14.10.96   | 10,50                    | 12,0          | 2,6           | 0,28                      | 0,18                      | 8,4                      | 13,3          | 1             | 0,1                       | <0,01                     |
| 21.10.96   | 8,70                     | 11,8          | 3,1           | 0,35                      | 0,33                      |                          | 12,4          |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 28.10.96   | 10,20                    | 10,2          | 1,6           | 0,25                      | 0,20                      | 8,7                      | 11,2          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 04.11.96   | 9,10                     | 11,1          | 1,7           | 0,17                      | 0,07                      | 7,4                      | 11,2          | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 11.11.96   | 10,80                    | 8,9           | 1,4           | 0,14                      | 0,09                      | 8,3                      | 10,8          | 0,7           | 0,1                       | <0,01                     |
| 12.11.96   | 10,90                    | 9,0           | 2             |                           | 0,16                      |                          |               |               | 0,1                       |                           |
| 18.11.96   | 10,90                    | 9,0           | 1,6           | 0,20                      | 0,16                      |                          | 10,0          |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 25.11.96   | 12,00                    | 5,3           | 1,4           | 0,21                      | 0,12                      | 10                       | 7,6           | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 02.12.96   | 11,40                    | 6,0           | 2             | 0,22                      | 0,28                      | 10,2                     | 6,8           | 0,7           | 0,1                       | <0,01                     |
| 09.12.96   | 12,40                    | 4,4           | 1,9           | 0,09                      | 0,12                      | 10,4                     | 7,0           | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| 16.12.96   | 12,10                    | 5,0           | 2,2           | 0,20                      | 0,54                      |                          | 6,0           |               | 0,1                       | <0,01                     |
| 23.12.96   | 13,00                    | 2,3           | 2,1           | 0,18                      | 0,23                      | 10,5                     | 5,3           | 0,9           | 0,1                       | <0,01                     |
| 30.12.96   | 19,30                    | 1,0           | 1,8           | 0,23                      | 0,54                      | 12,3                     | 3,9           | 0,8           | 0,1                       | <0,01                     |
| n          | 57                       | 55            | 55            | 52                        | 55                        | 40                       | 49            | 40            | 52                        | 51                        |
| Stdabw.    | 2,10                     | 5,87          | 0,65          | 0,08                      | 0,30                      | 2,24                     | 5,36          | 0,16          | 0,03                      | 0,01                      |
| Minimum    | 6,50                     | 1,00          | 1,40          | 0,09                      | 0,06                      | 3,10                     | 1,90          | 0,70          | 0,10                      | 0,01                      |
| Maximum    | 19,30                    | 21,30         | 4,40          | 0,48                      | 1,43                      | 12,30                    | 19,00         | 1,30          | 0,28                      | 0,04                      |
| Median     | 10,50                    | 11,00         | 2,80          | 0,25                      | 0,33                      | 8,05                     | 11,20         | 1,00          | 0,10                      | 0,02                      |
| Mittelwert | 10,29                    | 10,25         | 2,73          | 0,27                      | 0,41                      | 7,93                     | 10,47         | 0,99          | 0,11                      | 0,02                      |

Tab. 21: Partikelfracht, C/N-Verhältnisse und berechnete Gesamtkohlenstoff- (POC) und Gesamtstickstoffgehalte (PON) aus verschiedenen Bereichen des Langsandsfilters

Anm.: BaZ = Biologisch aktive Zone; BFS = Bodenfiltratschacht; R1-R9 = Peilrohr 1-9

| Nr. | Probe | Datum | Proben-<br>Fläche [m²] | Ges.-gew.<br>[g TG] | Einwaage<br>[mg TG] | Fracht<br>[g/m²] | N [%] | C [%] | C/N-<br>Ratio | POC<br>[g/m² TG] | PON<br>[g/m² TG] |
|-----|-------|-------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------|-------|---------------|------------------|------------------|
| 1   | BaZ   | 04/96 | 0,05                   | 2,32                | 4,12                | 463,25           | 2,00  | 14,04 | 7,01          | 65,04            | 9,27             |
| 2   | BaZ   | 06/96 | 0,05                   | 7,49                | 9,17                | 1498,52          | 1,30  | 9,68  | 7,46          | 145,04           | 19,45            |
| 3   | BaZ   | 07/96 | 0,05                   | 6,68                | 6,24                | 1336,12          | 1,58  | 12,74 | 8,04          | 170,20           | 21,17            |
| 4   | BaZ   | 08/96 | 0,05                   | 7,76                | 17,14               | 1551,24          | 0,32  | 2,27  | 7,12          | 35,14            | 4,93             |
| Nr. | Probe | Datum | Probe-<br>Volumen [L]  | Ges.-gew.<br>[mg/l] | Einwaage<br>[mg TG] | Fracht<br>[mg/l] | N [%] | C [%] | C/N-<br>Ratio | POC<br>[mg/l]    | PON<br>[mg/l]    |
| 5   | R1    | 04/96 | 100                    | 2,35E+02            | 4,52                | 2,35E+00         | 0,44  | 3,93  | 8,92          | 9,23E-02         | 1,03E-02         |
| 6   | R1    | 05/96 | 100                    | 6,68E+01            | 3,82                | 6,68E-01         | 0,36  | 3,54  | 9,89          | 2,37E-02         | 2,39E-03         |
| 7   | R1    | 06/96 | 100                    | 5,73E+02            | 2,07                | 5,73E+00         | 0,34  | 2,16  | 6,36          | 1,24E-01         | 1,95E-02         |
| 8   | R1    | 07/96 | 100                    | 3,30E+01            | 2,99                | 3,30E-01         | 0,59  | 5,70  | 9,67          | 1,88E-02         | 1,94E-03         |
| 9   | R2    | 04/96 | 100                    | 6,12E+03            | 2,79                | 6,12E+01         | 0,23  | 1,09  | 4,76          | 6,65E-01         | 1,40E-01         |
| 10  | R2    | 05/96 | 100                    | 1,05E+04            | 29,44               | 1,05E+02         | 0,03  | 0,12  | 3,90          | 1,29E-01         | 3,31E-02         |
| 11  | R2    | 06/96 | 100                    | 4,22E+03            | 41,40               | 4,22E+01         | 0,03  | 0,19  | 5,65          | 8,04E-02         | 1,42E-02         |
| 12  | R2    | 07/96 | 100                    | 2,10E+02            | 10,14               | 2,10E+00         | 0,26  | 1,80  | 6,81          | 3,78E-02         | 5,54E-03         |
| 13  | R2    | 08/96 | 100                    | 2,92E+04            | 42,98               | 2,92E+02         | 0,02  | 0,14  | 5,94          | 3,98E-01         | 6,70E-02         |
| 14  | R3    | 04/96 | 100                    | 6,60E+03            | 17,13               | 6,60E+01         | 0,22  | 1,96  | 8,75          | 1,29E+00         | 1,48E-01         |
| 15  | R3    | 05/96 | 100                    | 7,00E+02            | 7,75                | 7,00E+00         | 0,26  | 2,22  | 8,61          | 1,55E-01         | 1,80E-02         |
| 16  | R3    | 06/96 | 100                    | 6,20E+02            | 3,13                | 6,20E+00         | 1,43  | 9,52  | 6,67          | 5,90E-01         | 8,85E-02         |
| 17  | R3    | 07/96 | 100                    | 7,75E+02            | 8,57                | 7,75E+00         | 0,42  | 3,33  | 7,97          | 2,58E-01         | 3,24E-02         |
| 18  | R3    | 08/96 | 100                    | 2,47E+02            | 11,82               | 2,47E+00         | 0,40  | 5,03  | 12,65         | 1,24E-01         | 9,82E-03         |
| 19  | R4    | 04/96 | 100                    | 3,99E+02            | 10,97               | 3,99E+00         | 0,20  | 2,04  | 10,34         | 8,15E-02         | 7,88E-03         |
| 20  | R4    | 05/96 | 100                    | 7,89E+02            | 8,25                | 7,89E+00         | 0,34  | 2,98  | 8,69          | 2,35E-01         | 2,70E-02         |
| 21  | R4    | 06/96 | 100                    | 6,85E+01            | 10,47               | 6,85E-01         | 0,32  | 3,25  | 10,19         | 2,22E-02         | 2,18E-03         |
| 22  | R4    | 07/96 | 100                    | 4,20E+02            | 9,36                | 4,20E+00         | 0,23  | 2,35  | 10,01         | 9,87E-02         | 9,86E-03         |
| 23  | R4    | 08/96 | 100                    | 1,57E+02            | 5,37                | 1,57E+00         | 0,36  | 4,50  | 12,38         | 7,08E-02         | 5,72E-03         |
| 24  | R5    | 04/96 | 100                    | 1,19E+03            | 2,27                | 1,19E+01         | 0,87  | 11,18 | 12,81         | 1,33E+00         | 1,03E-01         |
| 25  | R5    | 05/96 | 100                    | 1,84E+02            | 3,89                | 1,84E+00         | 0,65  | 4,88  | 7,52          | 8,96E-02         | 1,19E-02         |
| 26  | R5    | 06/96 | 100                    | 5,86E+01            | 3,52                | 5,86E-01         | 0,68  | 5,30  | 7,76          | 3,11E-02         | 4,01E-03         |
| 27  | R5    | 07/96 | 100                    | 9,35E+01            | 4,96                | 9,35E-01         | 0,48  | 3,58  | 7,49          | 3,34E-02         | 4,46E-03         |
| 28  | R5    | 08/96 | 100                    | 1,87E+01            | 3,67                | 1,87E-01         | 1,91  | 17,40 | 9,10          | 3,25E-02         | 3,57E-03         |
| 29  | R6    | 04/96 | 100                    | 1,59E+02            | 9,97                | 1,59E+00         | 0,18  | 1,27  | 7,18          | 2,02E-02         | 2,81E-03         |
| 30  | R6    | 05/96 | 100                    | 6,01E+01            | 10,64               | 6,01E-01         | 0,24  | 1,72  | 7,29          | 1,03E-02         | 1,42E-03         |
| 31  | R6    | 06/96 | 100                    | 1,74E+01            | 6,11                | 1,74E-01         | 0,34  | 2,59  | 7,56          | 4,51E-03         | 5,96E-04         |
| 32  | R6    | 07/96 | 100                    | 1,48E+02            | 7,10                | 1,48E+00         | 0,32  | 2,42  | 7,51          | 3,57E-02         | 4,75E-03         |
| 33  | R7    | 04/96 | 100                    | 1,90E+02            | 11,01               | 1,90E+00         | 0,13  | 1,27  | 9,94          | 2,41E-02         | 2,43E-03         |
| 34  | R7    | 05/96 | 100                    | 1,24E+02            | 16,28               | 1,24E+00         | 0,09  | 0,50  | 5,37          | 6,24E-03         | 1,16E-03         |
| 35  | R7    | 06/96 | 100                    | 2,02E+02            | 11,68               | 2,02E+00         | 0,14  | 0,69  | 4,85          | 1,39E-02         | 2,87E-03         |
| 36  | R7    | 07/96 | 100                    | 1,91E+01            | 5,29                | 1,91E-01         | 0,34  | 2,49  | 7,37          | 4,75E-03         | 6,45E-04         |
| 37  | R8    | 04/96 | 100                    | 4,18E+02            | 12,98               | 4,18E+00         | 0,61  | 4,98  | 8,15          | 2,08E-01         | 2,55E-02         |
| 38  | R8    | 05/96 | 100                    | 4,87E+02            | 6,56                | 4,87E+00         | 0,79  | 6,75  | 8,53          | 3,29E-01         | 3,85E-02         |
| 39  | R8    | 06/96 | 100                    | 1,86E+03            | 11,74               | 1,86E+01         | 0,35  | 2,48  | 7,15          | 4,61E-01         | 6,45E-02         |
| 40  | R8    | 07/96 | 100                    | 8,07E+02            | 10,27               | 8,07E+00         | 0,48  | 3,96  | 8,27          | 3,20E-01         | 3,86E-02         |
| 41  | R8    | 08/96 | 100                    | 9,78E+02            | 6,45                | 9,78E+00         | 0,34  | 3,12  | 9,15          | 3,06E-01         | 3,34E-02         |
| 42  | R9    | 04/96 | 100                    | 2,86E+03            | 13,73               | 2,86E+01         | 0,12  | 0,56  | 4,68          | 1,60E-01         | 3,42E-02         |
| 43  | R9    | 05/96 | 100                    | 1,48E+03            | 9,37                | 1,48E+01         | 0,11  | 0,44  | 4,04          | 6,46E-02         | 1,60E-02         |
| 44  | R9    | 07/96 | 100                    | 1,12E+03            | –                   | 1,12E+01         | 0,13  | 0,47  | 3,71          | 5,29E-02         | 1,43E-02         |
| 45  | R9    | 08/96 | 100                    | 9,99E+02            | 15,14               | 9,99E+00         | 0,11  | 0,59  | 5,36          | 5,85E-02         | 1,09E-02         |
| 46  | BFS   | 04/96 | 1,45E+06               | 2,01E+03            | 10,49               | 1,39E-03         | 0,14  | 1,44  | 10,10         | 2,01E-05         | 1,99E-06         |
| 47  | BFS   | 05/96 | 7,50E+06               | 1,02E+03            | 13,70               | 1,36E-04         | 0,66  | 4,75  | 7,22          | 6,47E-06         | 8,97E-07         |
| 48  | BFS   | 06/96 | 5,48E+06               | 5,05E+02            | 14,05               | 9,21E-05         | 0,23  | 2,23  | 9,77          | 2,06E-06         | 2,11E-07         |
| 49  | BFS   | 07/96 | 5,00E+06               | 1,54E+03            | 9,13                | 3,08E-04         | 0,21  | 1,63  | 7,88          | 5,02E-06         | 6,37E-07         |
| 50  | BFS   | 08/96 | 3,65E+05               | 1,67E+03            | 12,85               | 4,57E-03         | 0,13  | 1,46  | 11,10         | 6,67E-05         | 6,01E-06         |

Tab. 22: Absolute und relative Anteile der Taxa in den Peilrohren R1-R9 im Langsandsfilter

R1-R9 = Peilrohr 1-9; abs. = absolute Abundanzen; % = Relativer Anteil;  $\Sigma$  = Summe

| Peilrohr / Taxon | R1   |      | R2   |      | R3   |      | R4   |      | R5   |      | R6   |      | R7   |      | R8   |      | R9   |      | $\Sigma$ |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|
|                  | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs. | %    | abs.     | %    |
| Protozoa         | 4    | 0,3  | 5    | 0,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 9        | 0,1  |
| Hydrozoa         |      | 0,0  |      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1    | 0,4  | 1    | 0,1  | 3    | 1,1  | 5        | 0,1  |
| Turbellaria      | 119  | 8,4  | 29   | 4,6  | 1    | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 6    | 0,4  | 1    | 0,2  | 5    | 2,2  | 1    | 0,1  | 1    | 0,4  | 163      | 2,5  |
| Gastropoda       |      | 0,0  | 2    | 0,3  | 5    | 0,7  | 2    | 0,3  | 1    | 0,1  | 3    | 0,7  |      | 0,0  | 4    | 0,6  |      | 0,0  | 17       | 0,3  |
| Rotatoria        | 118  | 8,3  | 55   | 8,7  | 9    | 1,3  | 7    | 1,0  | 614  | 42,3 | 31   | 7,7  | 8    | 3,6  | 14   | 1,9  | 6    | 2,1  | 862      | 13,2 |
| Nematoda         | 222  | 15,6 | 90   | 14,2 | 89   | 12,9 | 9    | 1,3  | 62   | 4,3  | 25   | 6,2  | 5    | 2,2  | 52   | 7,2  | 26   | 9,1  | 580      | 8,9  |
| Polychaeta       |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 4    | 0,6  |      | 0,0  | 4        | 0,1  |
| Aelosomatidae    |      | 0,0  | 22   | 3,5  | 5    | 0,7  |      | 0,0  | 1    | 0,1  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 28       | 0,4  |
| Oligochaeta      | 473  | 33,2 | 1    | 0,2  |      | 0,0  | 15   | 2,1  | 13   | 0,9  | 14   | 3,5  | 1    | 0,4  | 19   | 2,6  | 5    | 1,8  | 541      | 8,3  |
| Tardigrada       |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 1    | 0,1  | 2    | 0,7  | 3        | 0,0  |
| Acari            | 107  | 7,5  | 4    | 0,6  | 42   | 6,1  | 26   | 3,7  |      | 0,0  | 11   | 2,7  | 8    | 3,6  | 12   | 1,7  | 24   | 8,4  | 234      | 3,6  |
| Ostracoda        | 2    | 0,1  | 192  | 30,3 | 284  | 41,1 | 492  | 70,0 | 3    | 0,2  | 36   | 8,9  | 2    | 0,9  | 404  | 56,1 | 25   | 8,8  | 1440     | 22,0 |
| Cladocera        | 3    | 0,2  |      | 0,0  | 1    | 0,1  | 1    | 0,1  |      | 0,0  |      | 0,0  | 1    | 0,4  | 63   | 8,8  | 1    | 0,4  | 70       | 1,1  |
| Cyclopoida       | 96   | 6,7  | 73   | 11,5 | 127  | 18,4 | 105  | 14,9 | 455  | 31,4 | 193  | 47,7 | 62   | 27,7 | 96   | 13,3 | 105  | 36,8 | 1312     | 20,1 |
| Harpacticoida    | 168  | 11,8 | 31   | 4,9  | 3    | 0,4  | 10   | 1,4  | 13   | 0,9  | 3    | 0,7  | 12   | 5,4  | 4    | 0,6  | 2    | 0,7  | 246      | 3,8  |
| Isopoda          |      | 0,0  |      | 0,0  | 30   | 4,3  | 16   | 2,3  | 34   | 2,3  | 7    | 1,7  | 75   | 33,5 | 1    | 0,1  | 25   | 8,8  | 188      | 2,9  |
| Amphipoda        | 21   | 1,5  | 34   | 5,4  | 13   | 1,9  | 13   | 1,8  | 106  | 7,3  | 18   | 4,4  | 8    | 3,6  | 16   | 2,2  | 19   | 6,7  | 248      | 3,8  |
| Collembola       | 33   | 2,3  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 33       | 0,5  |
| Coleop.-Larven   |      | 0,0  |      | 0,0  | 4    | 0,6  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 4        | 0,1  |
| Chironomidae     |      | 0,0  |      | 0,0  | 3    | 0,4  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  | 3    | 0,4  | 2    | 0,7  | 8        | 0,1  |
| Nauplien         | 59   | 4,1  | 96   | 15,1 | 75   | 10,9 | 7    | 1,0  | 142  | 9,8  | 63   | 15,6 | 36   | 16,1 | 25   | 3,5  | 39   | 13,7 | 542      | 8,3  |
| Summen           | 1425 | 100  | 634  | 100  | 691  | 100  | 703  | 100  | 1450 | 100  | 405  | 100  | 224  | 100  | 720  | 100  | 285  | 100  | 6537     | 100  |

Tab. 23: Darmpassagezeiten und Durchsatzraten von *Niphargus fontanus*

Anmerkung: Untersucht wurden 10 adulte Männchen; Angaben in mm; I = Ingestion; E = Egestion; D = Darminhalt

| Tier Nr. 1       |      |       |      | Tier Nr. 2       |       |       |       | Tier Nr. 3       |      |       |       | Tier Nr. 4       |      |       |       |
|------------------|------|-------|------|------------------|-------|-------|-------|------------------|------|-------|-------|------------------|------|-------|-------|
| Zeit [d]         | I    | E     | D    | Zeit [d]         | I     | E     | D     | Zeit [d]         | I    | E     | D     | Zeit [d]         | I    | E     | D     |
| 0                | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0                | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0                | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 2                | 9,24 | 0,00  | 9,24 | 2                | 10,66 | 0,00  | 10,66 | 2                | 2,21 | 0,00  | 2,21  | 2                | 3,55 | 0,00  | 3,55  |
| 4                | 0,00 | -3,68 | 5,56 | 4                | 2,55  | 0,00  | 13,21 | 4                | 2,11 | 0,00  | 4,32  | 4                | 0,00 | -2,10 | 1,45  |
| 6                | 2,29 | 0,00  | 7,85 | 6                | 0,00  | -2,62 | 10,59 | 6                | 6,70 | 0,00  | 11,02 | 6                | 6,54 | 0,00  | 7,99  |
| 8                | 0,00 | -7,85 | 0,00 | 8                | 2,64  | 0,00  | 13,23 | 8                | 0,00 | -3,88 | 7,14  | 8                | 0,00 | -2,13 | 5,86  |
| 10               | 3,45 | 0,00  | 3,45 | 10               | 0,00  | -1,98 | 11,25 | 10               | 0,00 | -5,17 | 1,97  | 10               | 0,00 | -3,83 | 2,03  |
| 12               | 0,00 | -3,45 | 0,00 | 12               | 0,00  | -3,66 | 7,59  | 12               | 3,65 | 0,00  | 5,62  | 12               | 6,97 | 0,00  | 9,00  |
| 14               | 3,31 | 0,00  | 3,31 | 14               | 0,00  | -6,47 | 1,12  | 14               | 6,46 | 0,00  | 12,08 | 14               | 4,55 | 0,00  | 13,55 |
| 16               | 0,61 | 0,00  | 3,92 | 16               | 0,00  | -1,12 | 0,00  | 16               | 0,00 | -6,14 | 5,94  | 16               | 0,00 | -5,14 | 8,41  |
| 18               | 0,00 | -3,92 | 0,00 | 18               | 6,64  | 0,00  | 6,64  | 18               | 0,00 | -5,94 | 0,00  | 18               | 0,00 | -3,59 | 4,82  |
| 20               | 3,36 | 0,00  | 3,36 | 20               | 3,38  | 0,00  | 10,02 | 20               | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 20               | 1,28 | 0,00  | 6,10  |
| 22               | 2,73 | 0,00  | 6,09 | 22               | 2,15  | 0,00  | 12,17 | 22               | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 22               | 0,00 | -6,10 | 0,00  |
| 24               | 0,00 | -0,59 | 5,50 | 24               | 0,00  | -6,73 | 5,44  | 24               | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 24               | 6,58 | 0,00  | 6,58  |
| 26               | 0,00 | -2,57 | 2,93 | 26               | 3,55  | 0,00  | 8,99  | 26               | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 26               | 0,00 | -6,11 | 0,47  |
| 28               | 6,52 | 0,00  | 9,45 | 28               | 0,00  | -6,28 | 2,71  | 28               | 2,33 | 0,00  | 2,33  | 28               | 6,74 | 0,00  | 7,21  |
| 30               | 0,00 | -6,33 | 3,12 | 30               | 0,00  | -2,71 | 0,00  | 30               | 6,55 | 0,00  | 8,88  | 30               | 6,21 | 0,00  | 13,42 |
| 32               | 0,00 | -1,51 | 1,61 | 32               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 32               | 3,82 | 0,00  | 12,70 | 32               | 0,00 | -5,27 | 8,15  |
| 34               | 0,00 | -1,61 | 0,00 | 34               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 34               | 0,00 | -2,88 | 9,82  | 34               | 0,00 | -2,77 | 5,38  |
| 36               | 2,00 | 0,00  | 2,00 | 36               | 6,80  | 0,00  | 6,80  | 36               | 0,00 | -2,64 | 7,18  | 36               | 3,14 | 0,00  | 8,52  |
| 38               | 0,00 | -2,00 | 0,00 | 38               | 0,00  | -2,15 | 4,65  | 38               | 0,00 | -0,54 | 6,64  | 38               | 0,00 | -3,11 | 5,41  |
| 40               | 7,66 | 0,00  | 7,66 | 40               | 3,54  | 0,00  | 8,19  | 40               | 3,18 | 0,00  | 9,82  | 40               | 6,89 | 0,00  | 12,30 |
| 42               | 0,00 | -4,83 | 2,83 | 42               | 0,00  | -4,38 | 3,81  | 42               | 0,00 | -6,55 | 3,27  | 42               | 0,00 | -5,33 | 6,97  |
| 44               | 1,22 | 0,00  | 4,05 | 44               | 0,00  | -2,97 | 0,84  | 44               | 3,14 | 0,00  | 6,41  | 44               | 6,49 | 0,00  | 13,46 |
| 46               | 0,00 | -2,35 | 1,70 | 46               | 8,11  | 0,00  | 8,95  | 46               | 3,93 | 0,00  | 10,34 | 46               | 0,00 | -5,27 | 8,19  |
| 48               | 1,80 | 0,00  | 3,50 | 48               | 4,25  | 0,00  | 13,20 | 48               | 0,00 | -3,72 | 6,62  | 48               | 0,00 | -3,13 | 5,06  |
| 50               | 0,00 | -3,20 | 0,30 | 50               | 0,00  | -5,51 | 7,69  | 50               | 0,00 | -3,19 | 3,43  | 50               | 6,11 | 0,00  | 11,17 |
| $\Sigma$ : 44,19 |      |       |      | $\Sigma$ : 54,27 |       |       |       | $\Sigma$ : 44,08 |      |       |       | $\Sigma$ : 65,05 |      |       |       |
| -43,89           |      |       |      | -46,58           |       |       |       | -40,65           |      |       |       | -53,88           |      |       |       |

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite



| Fortsetzung Tab. 23     |      |       |       |                         |      |       |       |                         |      |       |       |
|-------------------------|------|-------|-------|-------------------------|------|-------|-------|-------------------------|------|-------|-------|
| Tier Nr. 5              |      |       |       | Tier Nr. 6              |      |       |       | Tier Nr. 7              |      |       |       |
| Zeit [d]                | I    | E     | D     | Zeit [d]                | I    | E     | D     | Zeit [d]                | I    | E     | D     |
| 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 2                       | 5,33 | 0,00  | 5,33  | 2                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 2                       | 9,57 | 0,00  | 9,57  |
| 4                       | 0,00 | -2,98 | 2,35  | 4                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 4                       | 4,18 | 0,00  | 13,75 |
| 6                       | 0,00 | 0,00  | 2,35  | 6                       | 4,22 | 0,00  | 4,22  | 6                       | 0,00 | -6,55 | 7,20  |
| 8                       | 2,57 | 0,00  | 4,92  | 8                       | 6,73 | 0,00  | 10,95 | 8                       | 3,19 | 0,00  | 10,39 |
| 10                      | 0,00 | -3,31 | 1,61  | 10                      | 1,42 | 0,00  | 12,37 | 10                      | 0,00 | -2,88 | 7,51  |
| 12                      | 0,00 | -1,61 | 0,00  | 12                      | 0,00 | -3,42 | 8,95  | 12                      | 0,00 | -6,43 | 1,08  |
| 14                      | 5,64 | 0,00  | 5,64  | 14                      | 0,00 | -1,77 | 7,18  | 14                      | 0,00 | -1,08 | 0,00  |
| 16                      | 2,31 | 0,00  | 7,95  | 16                      | 0,00 | -6,48 | 0,70  | 16                      | 6,87 | 0,00  | 6,87  |
| 18                      | 0,00 | -5,22 | 2,73  | 18                      | 4,94 | 0,00  | 5,64  | 18                      | 5,15 | 0,00  | 12,02 |
| 20                      | 0,00 | -2,73 | 0,00  | 20                      | 6,18 | 0,00  | 11,82 | 20                      | 0,00 | -2,66 | 9,36  |
| 22                      | 6,11 | 0,00  | 6,11  | 22                      | 0,00 | -5,43 | 6,39  | 22                      | 0,00 | -3,43 | 5,93  |
| 24                      | 0,00 | -0,61 | 5,50  | 24                      | 0,00 | -3,79 | 2,60  | 24                      | 7,43 | 0,00  | 13,36 |
| 26                      | 0,00 | -2,57 | 2,93  | 26                      | 0,00 | -2,60 | 0,00  | 26                      | 0,00 | -1,25 | 12,11 |
| 28                      | 6,99 | 0,00  | 9,92  | 28                      | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 28                      | 0,00 | -4,81 | 7,30  |
| 30                      | 0,00 | 0,00  | 9,92  | 30                      | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 30                      | 0,00 | -5,43 | 1,87  |
| 32                      | 0,00 | -7,25 | 2,67  | 32                      | 6,88 | 0,00  | 6,88  | 32                      | 8,59 | 0,00  | 10,46 |
| 34                      | 0,00 | -2,26 | 0,41  | 34                      | 5,47 | 0,00  | 12,35 | 34                      | 2,11 | 0,00  | 12,57 |
| 36                      | 0,00 | 0,00  | 0,41  | 36                      | 0,00 | -3,56 | 8,79  | 36                      | 0,00 | -3,31 | 9,26  |
| 38                      | 5,93 | 0,00  | 6,34  | 38                      | 0,00 | -2,73 | 6,06  | 38                      | 0,00 | -2,26 | 7,00  |
| 40                      | 3,58 | 0,00  | 9,92  | 40                      | 0,00 | -2,28 | 3,78  | 40                      | 0,00 | -5,11 | 1,89  |
| 42                      | 0,00 | -4,82 | 5,10  | 42                      | 5,79 | 0,00  | 9,57  | 42                      | 3,47 | 0,00  | 5,36  |
| 44                      | 0,00 | -4,10 | 1,00  | 44                      | 0,00 | -6,41 | 3,16  | 44                      | 6,18 | 0,00  | 11,54 |
| 46                      | 3,44 | 0,00  | 4,44  | 46                      | 0,00 | -3,16 | 0,00  | 46                      | 0,00 | -3,95 | 7,59  |
| 48                      | 1,25 | 0,00  | 5,69  | 48                      | 2,64 | 0,00  | 2,64  | 48                      | 0,00 | -4,16 | 3,43  |
| 50                      | 0,00 | -4,10 | 1,59  | 50                      | 6,94 | 0,00  | 9,58  | 50                      | 0,00 | -2,41 | 1,02  |
| $\Sigma$ : 43,15 -41,56 |      |       |       | $\Sigma$ : 51,21 -41,63 |      |       |       | $\Sigma$ : 56,74 -55,72 |      |       |       |
| Tier Nr. 9              |      |       |       | Tier Nr. 10             |      |       |       | Tier Nr. 8              |      |       |       |
| Zeit [d]                | I    | E     | D     | Zeit [d]                | I    | E     | D     | Zeit [d]                | I    | E     | D     |
| 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0                       | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 2                       | 1,55 | 0,00  | 1,55  | 2                       | 3,11 | 0,00  | 3,11  | 2                       | 9,88 | 0,00  | 9,88  |
| 4                       | 3,56 | 0,00  | 5,11  | 4                       | 6,89 | 0,00  | 10,00 | 4                       | 2,16 | 0,00  | 12,04 |
| 6                       | 0,00 | -5,11 | 0,00  | 6                       | 2,65 | 0,00  | 12,65 | 6                       | 0,00 | 0,00  | 12,04 |
| 8                       | 6,14 | 0,00  | 6,14  | 8                       | 0,00 | -6,54 | 6,11  | 8                       | 0,00 | 0,00  | 12,04 |
| 10                      | 2,83 | 0,00  | 8,97  | 10                      | 0,00 | -3,86 | 2,25  | 10                      | 0,00 | -6,47 | 5,57  |
| 12                      | 6,17 | 0,00  | 15,14 | 12                      | 6,19 | 0,00  | 8,44  | 12                      | 0,00 | 0,00  | 5,57  |
| 14                      | 0,00 | -3,22 | 11,92 | 14                      | 0,00 | -2,54 | 5,90  | 14                      | 0,00 | -5,57 | 0,00  |
| 16                      | 0,00 | -2,55 | 9,37  | 16                      | 0,00 | -3,87 | 2,03  | 16                      | 3,69 | 0,00  | 3,69  |
| 18                      | 0,00 | -3,85 | 5,52  | 18                      | 6,93 | 0,00  | 8,96  | 18                      | 6,59 | 0,00  | 10,28 |
| 20                      | 6,16 | 0,00  | 11,68 | 20                      | 0,00 | -3,56 | 5,40  | 20                      | 0,00 | -2,33 | 7,95  |
| 22                      | 0,00 | -2,14 | 9,54  | 22                      | 0,00 | -4,16 | 1,24  | 22                      | 0,00 | -4,29 | 3,66  |
| 24                      | 3,59 | 0,00  | 13,13 | 24                      | 6,72 | 0,00  | 7,96  | 24                      | 0,00 | -1,88 | 1,78  |
| 26                      | 0,00 | -6,15 | 6,98  | 26                      | 3,98 | 0,00  | 11,94 | 26                      | 6,67 | 0,00  | 8,45  |
| 28                      | 0,00 | -2,81 | 4,17  | 28                      | 0,00 | -5,61 | 6,33  | 28                      | 3,50 | 0,00  | 11,95 |
| 30                      | 6,44 | 0,00  | 10,61 | 30                      | 0,00 | -2,33 | 4,00  | 30                      | 0,00 | 0,00  | 11,95 |
| 32                      | 4,50 | 0,00  | 15,11 | 32                      | 6,48 | 0,00  | 10,48 | 32                      | 0,00 | -9,10 | 2,85  |
| 34                      | 0,00 | -5,12 | 9,99  | 34                      | 2,10 | 0,00  | 12,58 | 34                      | 0,00 | -2,85 | 0,00  |
| 36                      | 0,00 | -5,33 | 4,66  | 36                      | 0,00 | -3,31 | 9,27  | 36                      | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 38                      | 0,00 | -3,64 | 1,02  | 38                      | 0,00 | -3,72 | 5,55  | 38                      | 0,00 | 0,00  | 0,00  |
| 40                      | 6,32 | 0,00  | 7,34  | 40                      | 3,63 | 0,00  | 9,18  | 40                      | 3,58 | 0,00  | 3,58  |
| 42                      | 3,73 | 0,00  | 11,07 | 42                      | 0,00 | -6,13 | 3,05  | 42                      | 5,70 | 0,00  | 9,28  |
| 44                      | 0,00 | -4,47 | 6,60  | 44                      | 6,19 | 0,00  | 9,24  | 44                      | 0,00 | -3,60 | 5,68  |
| 46                      | 0,00 | -5,23 | 1,37  | 46                      | 0,00 | -3,26 | 5,98  | 46                      | 5,50 | 0,00  | 11,18 |
| 48                      | 5,82 | 0,00  | 7,19  | 48                      | 0,00 | -0,77 | 5,21  | 48                      | 0,00 | 0,00  | 11,18 |
| 50                      | 0,00 | -2,64 | 4,55  | 50                      | 0,00 | -4,57 | 0,64  | 50                      | 0,00 | -7,65 | 3,53  |
| $\Sigma$ : 56,81 -52,26 |      |       |       | $\Sigma$ : 54,87 -54,23 |      |       |       | $\Sigma$ : 47,27 -43,74 |      |       |       |

Tab. 24: Ergebnisse der Freßexperimente mit *Niphargus fontanus* ♀♀ (10°C)

TG – Trockengewicht; Fk – Futter konsumiert; GP Gewicht Pellets; DK-Wert – Errechneter Wert aus dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test; Signifik. 10% - Signifikanzschränke bei 10%.

Anmerkung:

Prüfung auf Normalverteilung erfolgt mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test (s. Lozan 1992). Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% werden im K-S-Test die Datensätze, deren Daten tatsächlich normalverteilt sind, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% als nicht normal verteilt angenommen. Legt man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% zugrunde, trifft die Wahrscheinlichkeit, tatsächlich normal verteilte Daten abzulehnen, auch nur in 1% der Fälle zu. Die Signifikanzschränke bei 10% ist somit kritischer (konservativer) als die bei 1%.

| Lauf.<br>Nr.    | Exp.-<br>Dauer<br>Tage | Tier          |            | Futter<br>konsumiert<br>TG[mg] | Futter<br>Fk/Tag<br>TG[mg] | Pellets    |        |                           |                        |                       | Assimilation       |       |
|-----------------|------------------------|---------------|------------|--------------------------------|----------------------------|------------|--------|---------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-------|
|                 |                        | Länge<br>[mm] | TG<br>[mg] |                                |                            | TG<br>[mg] | Anzahl | Gewicht/Pellet<br>TG [mg] | Pellets/Tag<br>TG [µg] | Anzahl<br>Pellets/Tag | Fk – GP<br>absolut | %     |
| 1               | 50                     | 14,57         | 1,98       | 0,177                          | 0,0035                     | 0,158      | 9      | 0,018                     | 3,16                   | 0,18                  | 0,018              | 10,17 |
| 2               | 50                     | 12,45         | 1,35       | 1,127                          | 0,0225                     | 1,018      | 38     | 0,027                     | 20,36                  | 0,76                  | 0,109              | 9,67  |
| 3               | 50                     | 14,07         | 1,88       | 2,27                           | 0,0454                     | 1,972      | 89     | 0,022                     | 39,44                  | 1,78                  | 0,298              | 13,13 |
| 4               | 50                     | 12,72         | 1,40       | 0,532                          | 0,0106                     | 0,473      | 13     | 0,036                     | 9,46                   | 0,26                  | 0,059              | 11,09 |
| 5               | 50                     | 12,90         | 1,59       | 2,238                          | 0,0448                     | 2,090      | 165    | 0,013                     | 41,80                  | 3,30                  | 0,148              | 6,61  |
| 6               | 50                     | 13,66         | 1,78       | 0,277                          | 0,0055                     | 0,244      | 13     | 0,019                     | 6,97                   | 0,26                  | 0,033              | 11,91 |
| 7               | 50                     | 13,69         | 1,71       | 1,222                          | 0,0244                     | 1,178      | 71     | 0,017                     | 33,66                  | 1,42                  | 0,044              | 3,60  |
| 8               | 50                     | 12,91         | 1,52       | 0,761                          | 0,0152                     | 0,693      | 53     | 0,013                     | 19,80                  | 1,06                  | 0,067              | 8,80  |
| 9               | 50                     | 14,67         | 1,94       | 0,759                          | 0,0152                     | 0,704      | 84     | 0,008                     | 20,11                  | 1,68                  | 0,055              | 7,25  |
| 10              | 50                     | 14,38         | 1,87       | 0,269                          | 0,0054                     | 0,245      | 10     | 0,025                     | 7,00                   | 0,20                  | 0,023              | 8,55  |
| 11              | 50                     | 16,54         | 2,45       | 0,345                          | 0,0069                     | 0,320      | 34     | 0,009                     | 9,14                   | 0,68                  | 0,025              | 7,25  |
| 12              | 50                     | 15,28         | 2,20       | 1,963                          | 0,0393                     | 1,733      | 137    | 0,013                     | 34,66                  | 2,74                  | 0,230              | 11,72 |
| 13              | 50                     | 12,87         | 1,41       | 0,805                          | 0,0161                     | 0,723      | 41     | 0,018                     | 14,46                  | 0,82                  | 0,082              | 10,19 |
| 14              | 50                     | 9,11          | 0,65       | 0,688                          | 0,0138                     | 0,638      | 31     | 0,021                     | 12,76                  | 0,62                  | 0,050              | 7,27  |
| 15              | 50                     | 10,54         | 0,95       | 0,666                          | 0,0133                     | 0,596      | 40     | 0,015                     | 11,92                  | 0,80                  | 0,070              | 10,51 |
| 16              | 50                     | 10,97         | 1,07       | 1,985                          | 0,0397                     | 1,799      | 124    | 0,015                     | 35,98                  | 2,48                  | 0,186              | 9,37  |
| 17              | 50                     | 12,66         | 1,49       | 0,341                          | 0,0068                     | 0,312      | 10     | 0,031                     | 6,24                   | 0,20                  | 0,029              | 8,50  |
| 18              | 50                     | 12,98         | 1,55       | 1,753                          | 0,0351                     | 1,598      | 102    | 0,016                     | 31,96                  | 2,04                  | 0,155              | 8,84  |
| 19              | 50                     | 14,34         | 1,86       | 1,851                          | 0,0370                     | 1,684      | 137    | 0,012                     | 33,68                  | 2,74                  | 0,167              | 9,02  |
| 20              | 50                     | 14,91         | 1,99       | 1,052                          | 0,0210                     | 0,967      | 113    | 0,009                     | 19,34                  | 2,26                  | 0,084              | 7,98  |
| 21              | 50                     | 13,55         | 1,60       | 1,819                          | 0,0364                     | 1,628      | 135    | 0,012                     | 32,56                  | 2,70                  | 0,191              | 10,50 |
| 22              | 50                     | 14,32         | 1,79       | 1,69                           | 0,0338                     | 1,487      | 141    | 0,011                     | 29,74                  | 2,82                  | 0,203              | 12,01 |
| 23              | 50                     | 13,13         | 1,52       | 1,911                          | 0,0382                     | 1,748      | 188    | 0,009                     | 34,96                  | 3,76                  | 0,163              | 8,53  |
| 24              | 50                     | 14,52         | 1,85       | 1,3                            | 0,0260                     | 1,213      | 124    | 0,010                     | 24,26                  | 2,48                  | 0,087              | 6,69  |
| 25              | 50                     | 14,38         | 1,81       | 0,426                          | 0,0085                     | 0,390      | 27     | 0,014                     | 7,80                   | 0,54                  | 0,036              | 8,45  |
| 26              | 50                     | 15,68         | 2,21       | 0,293                          | 0,0059                     | 0,263      | 18     | 0,015                     | 5,26                   | 0,36                  | 0,030              | 10,24 |
| 27              | 50                     | 16,22         | 2,37       | 1,13                           | 0,0226                     | 1,022      | 105    | 0,010                     | 20,44                  | 2,10                  | 0,108              | 9,56  |
| 28              | 50                     | 12,33         | 1,34       | 1,587                          | 0,0317                     | 1,453      | 141    | 0,010                     | 29,06                  | 2,82                  | 0,134              | 8,44  |
| 29              | 50                     | 9,67          | 0,74       | 1,204                          | 0,0241                     | 1,104      | 115    | 0,010                     | 22,08                  | 2,30                  | 0,100              | 8,31  |
| Summe           |                        | -             | -          | 32,441                         | 0,649                      | 29,45      | 2308   | 0,455                     | 618,07                 | 46,16                 | 2,98               | -     |
| Maximum         |                        | 16,54         | 2,45       | 2,270                          | 0,045                      | 2,090      | 188    | 0,036                     | 41,80                  | 3,76                  | 0,30               | 13,13 |
| Minimum         |                        | 9,11          | 0,65       | 0,177                          | 0,004                      | 0,158      | 9      | 0,008                     | 3,16                   | 0,18                  | 0,02               | 3,60  |
| Median          |                        | 13,66         | 1,71       | 1,127                          | 0,023                      | 1,018      | 84     | 0,014                     | 20,36                  | 1,68                  | 0,08               | 8,84  |
| Mittelwert      |                        | 13,45         | 1,65       | 1,119                          | 0,022                      | 1,016      | 79,6   | -                         | -                      | 1,59                  | 0,10               | 9,11  |
| Standardabw.    |                        | 1,77          | 0,44       | 0,667                          | 0,013                      | 0,602      | 54,7   | -                         | -                      | 1,09                  | 0,07               | 1,96  |
| Varianz         |                        | 3,13          | 0,19       | 0,445                          | 0,000                      | 0,362      | 2997,3 | -                         | -                      | 1,20                  | 0,01               | 3,85  |
| Standardfehler  |                        | 0,33          | 0,08       | 0,124                          | 0,002                      | 0,112      | 10,2   | -                         | -                      | 0,20                  | 0,01               | 0,36  |
| Dk-Wert         |                        | 0,164         | 0,15       | 0,21                           | 0,21                       | 0,21       | 0,247  | 0,28                      | 0,27                   | 0,106                 | 0,22               | 0,14  |
| Signifik. 10%   |                        | 0,25          | 0,25       | 0,25                           | 0,25                       | 0,25       | 0,25   | 0,25                      | 0,25                   | 0,25                  | 0,25               | 0,25  |
| normalverteilt? |                        | ja            | ja         | ja                             | ja                         | ja         | ja     | nein                      | nein                   | ja                    | ja                 | ja    |

Tab. 25: Ergebnisse der Freßexperimente mit *Niphargus fontanus* ♂♂ (10°C)

TG – Trockengewicht; Fk – Futter konsumiert; GP Gewicht Pellets; DK-Wert – Errechneter Wert aus dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test; Signifik. 10% - Signifikanzschranke bei 10%.

| Lauf.<br>Nr. | Exp.-<br>Dauer<br>Tage | Tier          |            | Futter<br>konsumiert<br>TG[mg] | Futter<br>Fk/Tag<br>TG[mg] | Pellets    |        |                           |                        |                       | Assimilation       |       |
|--------------|------------------------|---------------|------------|--------------------------------|----------------------------|------------|--------|---------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-------|
|              |                        | Länge<br>[mm] | TG<br>[mg] |                                |                            | TG<br>[mg] | Anzahl | Gewicht/Pellet<br>TG [mg] | Pellets/Tag<br>TG [µg] | Anzahl<br>Pellets/Tag | Fk – GP<br>absolut | %     |
| 1            | 50                     | 13,59         | 1,70       | 2,855                          | 0,0571                     | 2,657      | 154    | 0,017                     | 53,140                 | 3,08                  | 0,198              | 6,94  |
| 2            | 50                     | 12,94         | 1,48       | 2,82                           | 0,0564                     | 2,607      | 170    | 0,015                     | 52,140                 | 3,40                  | 0,213              | 7,55  |
| 3            | 50                     | 15,4          | 2,19       | 1,053                          | 0,0211                     | 0,896      | 55     | 0,016                     | 17,920                 | 1,10                  | 0,157              | 14,91 |
| 4            | 50                     | 14,93         | 2,10       | 0,888                          | 0,0178                     | 0,788      | 44     | 0,018                     | 15,760                 | 0,88                  | 0,100              | 11,26 |
| 5            | 50                     | 15,32         | 1,91       | 1,028                          | 0,0206                     | 0,933      | 34     | 0,027                     | 18,660                 | 0,68                  | 0,095              | 9,24  |
| 6            | 50                     | 15,57         | 2,16       | 0,182                          | 0,0036                     | 0,163      | 2      | 0,082                     | 3,260                  | 0,04                  | 0,019              | 10,44 |
| 7            | 64                     | 12,56         | 1,39       | 1,291                          | 0,0202                     | 1,092      | 54     | 0,020                     | 17,063                 | 0,84                  | 0,199              | 15,41 |
| 8            | 64                     | 12,8          | 1,47       | 1,435                          | 0,0224                     | 1,288      | 91     | 0,014                     | 20,125                 | 1,42                  | 0,147              | 10,24 |
| 9            | 64                     | 13,29         | 1,69       | 2,121                          | 0,0331                     | 1,824      | 166    | 0,011                     | 28,500                 | 2,59                  | 0,297              | 14,00 |
| 10           | 64                     | 13,8          | 1,68       | 2,171                          | 0,0339                     | 2,002      | 182    | 0,011                     | 31,281                 | 2,84                  | 0,169              | 7,78  |
| 11           | 64                     | 14,3          | 1,86       | 1,292                          | 0,0202                     | 1,155      | 179    | 0,006                     | 18,047                 | 2,80                  | 0,137              | 10,57 |
| 12           | 64                     | 14,82         | 1,89       | 0,971                          | 0,0152                     | 0,884      | 93     | 0,010                     | 13,813                 | 1,45                  | 0,087              | 8,96  |
| 13           | 35                     | 12,65         | 1,40       | 1,395                          | 0,0399                     | 1,203      | 88     | 0,014                     | 34,371                 | 2,51                  | 0,192              | 13,76 |
| 14           | 35                     | 13,52         | 1,63       | 1,617                          | 0,0462                     | 1,489      | 154    | 0,010                     | 42,543                 | 4,40                  | 0,128              | 7,92  |
| 15           | 35                     | 13,58         | 1,60       | 2,002                          | 0,0572                     | 1,899      | 145    | 0,013                     | 54,257                 | 4,14                  | 0,103              | 5,14  |
| 16           | 35                     | 12,94         | 1,45       | 0,13                           | 0,0037                     | 0,113      | 9      | 0,013                     | 3,229                  | 0,26                  | 0,016              | 12,31 |
| 17           | 35                     | 16,1          | 2,21       | 0,89                           | 0,0254                     | 0,821      | 55     | 0,015                     | 23,457                 | 1,57                  | 0,068              | 7,64  |
| 18           | 35                     | 12,45         | 1,35       | 0,482                          | 0,0138                     | 0,442      | 38     | 0,012                     | 12,629                 | 1,09                  | 0,040              | 8,30  |
| 19           | 35                     | 14,7          | 2,01       | 1,315                          | 0,0376                     | 1,162      | 89     | 0,013                     | 33,200                 | 2,54                  | 0,153              | 11,63 |
| 20           | 35                     | 15,09         | 2,10       | 0,843                          | 0,0241                     | 0,754      | 44     | 0,017                     | 21,543                 | 1,26                  | 0,089              | 10,56 |
| 21           | 35                     | 14,37         | 1,87       | 2,292                          | 0,0655                     | 2,087      | 165    | 0,013                     | 59,629                 | 4,71                  | 0,205              | 8,94  |
| 22           | 35                     | 12,99         | 1,55       | 0,083                          | 0,0024                     | 0,074      | 2      | 0,037                     | 2,114                  | 0,06                  | 0,009              | 10,84 |
| 23           | 35                     | 13,28         | 1,60       | 0,83                           | 0,0237                     | 0,727      | 54     | 0,013                     | 20,771                 | 1,54                  | 0,103              | 12,41 |
| 24           | 35                     | 16,14         | 2,21       | 0,97                           | 0,0277                     | 0,866      | 91     | 0,010                     | 24,743                 | 2,60                  | 0,104              | 10,72 |
| 25           | 35                     | 17,11         | 2,45       | 2,325                          | 0,0664                     | 2,029      | 166    | 0,012                     | 57,971                 | 4,74                  | 0,296              | 12,73 |
| 26           | 35                     | 14,82         | 1,99       | 2,653                          | 0,0758                     | 2,383      | 182    | 0,013                     | 68,086                 | 5,20                  | 0,270              | 10,18 |
| 27           | 35                     | 12,28         | 1,29       | 2,365                          | 0,0676                     | 2,075      | 179    | 0,012                     | 59,286                 | 5,11                  | 0,290              | 12,26 |
| 28           | 35                     | 13,64         | 1,81       | 1,025                          | 0,0293                     | 0,916      | 93     | 0,010                     | 26,171                 | 2,66                  | 0,109              | 10,63 |
| 29           | 35                     | 12,99         | 1,64       | 0,553                          | 0,0158                     | 0,497      | 41     | 0,012                     | 14,200                 | 1,17                  | 0,055              | 9,95  |
| 30           | 35                     | 13,28         | 1,75       | 0,489                          | 0,0140                     | 0,440      | 39     | 0,011                     | 12,571                 | 1,11                  | 0,049              | 10,02 |
| 31           | 35                     | 16,14         | 2,18       | 0,982                          | 0,0281                     | 0,857      | 85     | 0,010                     | 24,486                 | 2,43                  | 0,125              | 12,73 |
| 32           | 35                     | 17,11         | 2,61       | 0,971                          | 0,0277                     | 0,839      | 94     | 0,009                     | 23,971                 | 2,69                  | 0,132              | 13,59 |
| 33           | 35                     | 14,82         | 1,88       | 1,391                          | 0,0397                     | 1,214      | 101    | 0,012                     | 34,686                 | 2,89                  | 0,177              | 12,72 |
| 34           | 35                     | 12,28         | 1,35       | 0,948                          | 0,0271                     | 0,833      | 83     | 0,010                     | 23,800                 | 2,37                  | 0,115              | 12,13 |
| 35           | 35                     | 13,64         | 1,80       | 1,062                          | 0,0303                     | 0,940      | 99     | 0,009                     | 26,857                 | 2,83                  | 0,122              | 11,49 |
| 36           | 50                     | 13,66         | 1,65       | 0,465                          | 0,0093                     | 0,422      | 43     | 0,010                     | 8,440                  | 0,86                  | 0,043              | 9,25  |
| 37           | 50                     | 14,25         | 1,92       | 1,513                          | 0,0303                     | 1,348      | 105    | 0,013                     | 26,960                 | 2,10                  | 0,165              | 10,91 |
| 38           | 50                     | 15,66         | 2,17       | 1,324                          | 0,0265                     | 1,177      | 131    | 0,009                     | 23,540                 | 2,62                  | 0,147              | 11,10 |
| 39           | 50                     | 14,32         | 1,82       | 0,666                          | 0,0133                     | 0,587      | 50     | 0,012                     | 11,740                 | 1,00                  | 0,079              | 11,86 |
| 40           | 50                     | 14,53         | 1,88       | 0,366                          | 0,0073                     | 0,315      | 17     | 0,019                     | 6,300                  | 0,34                  | 0,051              | 13,93 |
| 41           | 50                     | 13,87         | 1,70       | 2,124                          | 0,0425                     | 1,879      | 175    | 0,011                     | 37,580                 | 3,50                  | 0,245              | 11,53 |
| 42           | 50                     | 15,22         | 2,16       | 0,179                          | 0,0036                     | 0,159      | 5      | 0,032                     | 3,180                  | 0,10                  | 0,020              | 11,17 |
| 43           | 50                     | 13,81         | 1,70       | 0,954                          | 0,0191                     | 0,845      | 42     | 0,020                     | 16,900                 | 0,84                  | 0,109              | 11,43 |
| 44           | 50                     | 13,61         | 1,79       | 1,691                          | 0,0338                     | 1,480      | 132    | 0,011                     | 29,600                 | 2,64                  | 0,211              | 12,48 |
| 45           | 50                     | 13,23         | 1,51       | 1,175                          | 0,0235                     | 1,048      | 71     | 0,015                     | 20,960                 | 1,42                  | 0,127              | 10,81 |
| 46           | 50                     | 15,74         | 2,07       | 1,106                          | 0,0221                     | 0,983      | 71     | 0,014                     | 19,660                 | 1,42                  | 0,123              | 11,12 |
| 47           | 50                     | 15,62         | 2,12       | 1,422                          | 0,0284                     | 1,262      | 73     | 0,017                     | 25,240                 | 1,46                  | 0,160              | 11,25 |
| 48           | 50                     | 12,81         | 1,55       | 0,891                          | 0,0178                     | 0,803      | 23     | 0,035                     | 16,060                 | 0,46                  | 0,088              | 9,88  |
| 49           | 50                     | 14,96         | 2,10       | 1,251                          | 0,0250                     | 1,131      | 96     | 0,012                     | 22,620                 | 1,92                  | 0,120              | 9,59  |
| 50           | 50                     | 13,72         | 1,73       | 2,284                          | 0,0457                     | 2,000      | 172    | 0,012                     | 40,000                 | 3,44                  | 0,284              | 12,43 |
| 51           | 50                     | 15,22         | 2,12       | 0,749                          | 0,0150                     | 0,667      | 23     | 0,029                     | 13,340                 | 0,46                  | 0,082              | 10,95 |
| 52           | 50                     | 13,82         | 1,79       | 1,11                           | 0,0222                     | 0,969      | 49     | 0,020                     | 19,380                 | 0,98                  | 0,141              | 12,70 |
| 53           | 50                     | 12,49         | 1,42       | 0,15                           | 0,0030                     | 0,129      | 4      | 0,032                     | 2,580                  | 0,08                  | 0,020              | 13,33 |
| 54           | 50                     | 15,64         | 2,19       | 0,723                          | 0,0145                     | 0,654      | 34     | 0,019                     | 13,080                 | 0,68                  | 0,069              | 9,54  |
| 55           | 50                     | 16,11         | 2,19       | 1,847                          | 0,0369                     | 1,683      | 162    | 0,010                     | 33,660                 | 3,24                  | 0,164              | 8,88  |
| 56           | 50                     | 15,16         | 2,09       | 1,562                          | 0,0312                     | 1,396      | 94     | 0,015                     | 27,920                 | 1,88                  | 0,166              | 10,63 |
| 57           | 50                     | 14,75         | 1,99       | 0,248                          | 0,0050                     | 0,224      | 9      | 0,025                     | 4,480                  | 0,18                  | 0,024              | 9,68  |
| 58           | 50                     | 13,98         | 1,79       | 1,234                          | 0,0247                     | 1,122      | 101    | 0,011                     | 22,440                 | 2,02                  | 0,112              | 9,08  |
| 59           | 50                     | 10,66         | 1,02       | 0,479                          | 0,0096                     | 0,422      | 30     | 0,014                     | 8,440                  | 0,60                  | 0,057              | 11,90 |
| 60           | 50                     | 11,43         | 1,10       | 0,493                          | 0,0099                     | 0,431      | 45     | 0,010                     | 8,620                  | 0,90                  | 0,061              | 12,37 |
| 61           | 50                     | 12,54         | 1,40       | 1,794                          | 0,0359                     | 1,632      | 145    | 0,011                     | 32,640                 | 2,90                  | 0,162              | 9,03  |

Fortsetzung der Tabelle auf der folgenden Seite

| Fortsetzung 25                |       |       |      |        |        |       |       |       |        |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 62                            | 50    | 13,59 | 1,62 | 0,982  | 0,0196 | 0,854 | 74    | 0,012 | 17,080 | 1,48  | 0,127 | 12,93 |
| 63                            | 50    | 11,54 | 1,25 | 0,401  | 0,0080 | 0,350 | 23    | 0,015 | 7,000  | 0,46  | 0,051 | 12,72 |
| 64                            | 50    | 13,64 | 1,74 | 1,366  | 0,0273 | 1,204 | 114   | 0,011 | 24,080 | 2,28  | 0,162 | 11,86 |
| 65                            | 50    | 13,68 | 1,76 | 2,19   | 0,0438 | 1,905 | 198   | 0,010 | 38,100 | 3,96  | 0,285 | 13,01 |
| 66                            | 50    | 13,54 | 1,61 | 0,146  | 0,0029 | 0,123 | 9     | 0,014 | 2,460  | 0,18  | 0,023 | 15,75 |
| 67                            | 50    | 12,41 | 1,41 | 1,228  | 0,0246 | 1,052 | 132   | 0,008 | 21,040 | 2,64  | 0,176 | 14,33 |
| 68                            | 50    | 13,65 | 1,71 | 0,144  | 0,0029 | 0,124 | 8     | 0,016 | 2,480  | 0,16  | 0,020 | 13,89 |
| Summe                         | -     | -     |      | 79,977 | 0,556  | 71,33 | 1939  | 0,448 | 493,04 | 38,78 | 3,14  | -     |
| Maximum                       | 17,11 | 2,61  |      | 2,855  | 0,076  | 2,657 | 198   | 0,082 | 68,09  | 5,20  | 0,30  | 15,75 |
| Minimum                       | 10,66 | 1,02  |      | 0,083  | 0,002  | 0,074 | 2     | 0,006 | 2,11   | 0,04  | 0,01  | 5,14  |
| Median                        | 13,76 | 1,78  |      | 1,058  | 0,024  | 0,937 | 84    | 0,013 | 21,29  | 1,56  | 0,12  | 11,15 |
| Mittelwert                    | 14,03 | 1,78  |      | 1,176  | -      | 1,049 | -     | -     | -      | 1,91  | 0,13  | 11,14 |
| Standardabw.                  | 1,34  | 0,32  |      | 0,704  | -      | 0,636 | -     | -     | -      | 1,35  | 0,08  | 2,08  |
| Varianz                       | 1,79  | 0,10  |      | 0,495  | -      | 0,405 | -     | -     | -      | 1,83  | 0,01  | 4,35  |
| Standardfehler                | 0,16  | 0,04  |      | 0,085  | -      | 0,077 | -     | -     | -      | 0,16  | 0,01  | 0,25  |
| Dk-Wert                       | 0,143 | 0,13  |      | 0,149  | 0,179  | 0,155 | 0,203 | 0,455 | 0,183  | 0,131 | 0,113 | 0,083 |
| Signifik. 10% normalverteilt? | 0,163 | 0,16  |      | 0,163  | 0,163  | 0,163 | 0,163 | 0,163 | 0,163  | 0,163 | 0,163 | 0,163 |
|                               | ja    | ja    |      | ja     | nein   | ja    | nein  | nein  | nein   | ja    | ja    | ja    |

Tab. 26: Ergebnisse der Freßexperimente mit *Niphargus fontanus* ♀♀ (14°C)

TG – Trockengewicht; Fk – Futter konsumiert; GP Gewicht Pellets; DK-Wert – Errechneter Wert aus dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test; Signifik. 10% - Signifikanzschränke bei 10%.

| Ild. Nr.                      | Exp.-Dauer Tage | Tier       |         | Futter konsumiert TG[mg] | Futter Fk/Tag TG[mg] | Pellets         |        |                        |                     |                    | Assimilation Fk - GP |        |
|-------------------------------|-----------------|------------|---------|--------------------------|----------------------|-----------------|--------|------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------|
|                               |                 | Länge [mm] | TG [mg] |                          |                      | Gewicht TG [mg] | Anzahl | Gewicht/Pellet TG [mg] | Pellets/Tag TG [µg] | Anzahl Pellets/Tag | TG[mg]               | %      |
| 1                             | 50              | 13,44      | 1,61    | 0,448                    | 0,0090               | 0,398           | 45     | 0,0088                 | 7,96                | 0,90               | 0,05                 | 11,161 |
| 2                             | 50              | 15,37      | 2,18    | 0,872                    | 0,0174               | 0,791           | 63     | 0,0126                 | 15,82               | 1,26               | 0,081                | 9,289  |
| 3                             | 50              | 12,32      | 1,48    | 1,678                    | 0,0336               | 1,494           | 156    | 0,0096                 | 29,88               | 3,12               | 0,184                | 10,965 |
| 4                             | 50              | 16,66      | 2,29    | 1,582                    | 0,0316               | 1,425           | 146    | 0,0098                 | 28,50               | 2,92               | 0,157                | 9,924  |
| 5                             | 50              | 15,23      | 2,16    | 0,95                     | 0,0190               | 0,856           | 103    | 0,0083                 | 17,12               | 2,06               | 0,094                | 9,895  |
| 6                             | 50              | 14,23      | 1,71    | 0,862                    | 0,0172               | 0,773           | 80     | 0,0097                 | 15,46               | 1,60               | 0,089                | 10,325 |
| 7                             | 50              | 12,87      | 1,45    | 0,887                    | 0,0177               | 0,79            | 72     | 0,0110                 | 15,80               | 1,44               | 0,097                | 10,936 |
| 8                             | 50              | 14,37      | 1,21    | 0,198                    | 0,0040               | 0,176           | 19     | 0,0093                 | 3,52                | 0,38               | 0,022                | 11,111 |
| 9                             | 50              | 12,58      | 1,33    | 0,182                    | 0,0036               | 0,159           | 7      | 0,0227                 | 3,18                | 0,14               | 0,023                | 12,637 |
| 10                            | 50              | 12,54      | 1,44    | 0,271                    | 0,0054               | 0,246           | 8      | 0,0308                 | 4,92                | 0,16               | 0,025                | 9,225  |
| 11                            | 50              | 10,44      | 0,96    | 1,289                    | 0,0258               | 1,138           | 112    | 0,0102                 | 22,76               | 2,24               | 0,151                | 11,715 |
| 12                            | 50              | 14,68      | 1,98    | 0,723                    | 0,0145               | 0,652           | 55     | 0,0119                 | 13,04               | 1,10               | 0,071                | 9,820  |
| 13                            | 50              | 12,54      | 1,39    | 1,827                    | 0,0365               | 1,628           | 163    | 0,0100                 | 32,56               | 3,26               | 0,199                | 10,892 |
| 14                            | 50              | 13,41      | 1,71    | 0,941                    | 0,0188               | 0,837           | 82     | 0,0102                 | 16,74               | 1,64               | 0,104                | 11,052 |
| 15                            | 50              | 13,61      | 1,61    | 1,697                    | 0,0339               | 1,493           | 166    | 0,0090                 | 29,86               | 3,32               | 0,204                | 12,021 |
| 16                            | 50              | 13,72      | 1,60    | 1,598                    | 0,0320               | 1,428           | 153    | 0,0093                 | 28,56               | 3,06               | 0,17                 | 10,638 |
| 17                            | 50              | 12,63      | 1,58    | 1,891                    | 0,0378               | 1,748           | 167    | 0,0105                 | 34,96               | 3,34               | 0,143                | 7,562  |
| 18                            | 50              | 12,95      | 1,43    | 1,173                    | 0,0235               | 1,047           | 106    | 0,0099                 | 20,94               | 2,12               | 0,126                | 10,742 |
| 19                            | 50              | 14,39      | 1,92    | 1,652                    | 0,0330               | 1,49            | 156    | 0,0096                 | 29,80               | 3,12               | 0,162                | 9,806  |
| 20                            | 50              | 14,22      | 1,83    | 1,868                    | 0,0374               | 1,631           | 182    | 0,0090                 | 32,62               | 3,64               | 0,237                | 12,687 |
| 21                            | 50              | 13,64      | 1,69    | 2,006                    | 0,0401               | 1,735           | 204    | 0,0085                 | 34,70               | 4,08               | 0,271                | 13,509 |
| Summe                         |                 | -          | -       | 24,595                   | 0,4919               | 21,935          | 2245   | 0,2403                 | 438,70              | 44,90              | 2,660                | -      |
| Maximum                       |                 | 16,66      | 2,29    | 2,006                    | 0,0401               | 1,748           | 204    | 0,0308                 | 34,96               | 4,08               | 0,271                | 13,509 |
| Minimum                       |                 | 10,44      | 0,96    | 0,182                    | 0,0036               | 0,159           | 7      | 0,0083                 | 3,18                | 0,14               | 0,022                | 7,562  |
| Median                        |                 | 13,61      | 1,61    | 1,173                    | 0,0235               | 1,047           | 106    | 0,0098                 | 20,94               | 2,12               | 0,126                | 10,892 |
| Mittelwert                    |                 | 13,61      | 1,65    | 1,171                    | 0,0234               | 1,045           | 106,9  | -                      | 20,89               | 2,14               | 0,127                | 10,758 |
| Standardabw.                  |                 | 1,33       | 0,33    | 0,595                    | 0,0119               | 0,529           | 60,1   | -                      | 10,57               | 1,20               | 0,070                | 1,341  |
| Varianz                       |                 | 1,76       | 0,11    | 0,354                    | 0,0001               | 0,279           | 3617,0 | -                      | 111,76              | 1,45               | 0,005                | 1,798  |
| Standardfehler                |                 | 0,29       | 0,07    | 0,130                    | 0,0026               | 0,115           | 13,1   | -                      | 2,31                | 0,26               | 0,015                | 0,293  |
| Dk-Wert                       |                 | 0,158      | 0,17    | 0,257                    | 0,257                | 0,261           | 0,212  | 0,575                  | 0,212               | 0,212              | 0,123                | 0,192  |
| Signifik. 10% normalverteilt? |                 | 0,29       | 0,29    | 0,29                     | 0,29                 | 0,29            | 0,29   | 0,29                   | 0,29                | 0,29               | 0,29                 | 0,29   |
|                               |                 | ja         | ja      | ja                       | ja                   | ja              | ja     | nein                   | Ja                  | ja                 | ja                   | ja     |

Tab. 27: Ergebnisse der Freßexperimente mit *Niphargus fontanus* ♂♂ (14°C)

TG – Trockengewicht; Fk – Futter konsumiert; GP Gewicht Pellets; DK-Wert – Errechneter Wert aus dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test; Signifik. 10% - Signifikanzschranke bei 10%.

| Ild.<br>Nr.     | Exp.-<br>Dauer<br>Tage | Tier          |            | Futter<br>konsumiert<br>TG[mg] | Futter<br>Fk/Tag<br>TG[mg] | Pellets            |         |                           |                        |                       | Assimilation<br>Fk - GP |        |
|-----------------|------------------------|---------------|------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|---------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|
|                 |                        | Länge<br>[mm] | TG<br>[mg] |                                |                            | Gewicht<br>TG [mg] | Anzahl  | Gewicht/Pellet<br>TG [mg] | Pellets/Tag<br>TG [µg] | Anzahl<br>Pellets/Tag | TG[mg]                  | %      |
| 1               | 50                     | 13,54         | 1,73       | 2,212                          | 0,044                      | 1,933              | 209     | 0,0092                    | 38,66                  | 4,18                  | 0,279                   | 12,613 |
| 2               | 50                     | 14,97         | 2,10       | 1,709                          | 0,034                      | 1,517              | 163     | 0,0093                    | 30,34                  | 3,26                  | 0,192                   | 11,235 |
| 3               | 50                     | 14,98         | 1,95       | 1,085                          | 0,022                      | 0,974              | 89      | 0,0109                    | 19,48                  | 1,78                  | 0,111                   | 10,230 |
| 4               | 50                     | 9,66          | 0,79       | 1,021                          | 0,020                      | 0,887              | 97      | 0,0091                    | 17,74                  | 1,94                  | 0,134                   | 13,124 |
| 5               | 50                     | 16,24         | 2,20       | 0,978                          | 0,020                      | 0,887              | 88      | 0,0101                    | 17,74                  | 1,76                  | 0,091                   | 9,305  |
| 6               | 50                     | 15,29         | 2,14       | 1,086                          | 0,022                      | 0,988              | 106     | 0,0093                    | 19,76                  | 2,12                  | 0,098                   | 9,024  |
| 7               | 50                     | 16,03         | 2,28       | 2,411                          | 0,048                      | 2,16               | 49      | 0,0441                    | 43,20                  | 0,98                  | 0,251                   | 10,411 |
| 8               | 50                     | 14,22         | 1,78       | 0,339                          | 0,007                      | 0,31               | 33      | 0,0094                    | 6,20                   | 0,66                  | 0,029                   | 8,555  |
| 9               | 50                     | 9,76          | 0,69       | 1,035                          | 0,021                      | 0,904              | 103     | 0,0088                    | 18,08                  | 2,06                  | 0,131                   | 12,657 |
| 10              | 50                     | 15,85         | 2,29       | 0,812                          | 0,016                      | 0,738              | 57      | 0,0129                    | 14,76                  | 1,14                  | 0,074                   | 9,113  |
| 11              | 50                     | 12,46         | 1,42       | 1,869                          | 0,037                      | 1,693              | 49      | 0,0346                    | 33,86                  | 0,98                  | 0,176                   | 9,417  |
| 12              | 50                     | 14,52         | 1,91       | 1,136                          | 0,023                      | 1,028              | 107     | 0,0096                    | 20,56                  | 2,14                  | 0,108                   | 9,507  |
| 13              | 50                     | 14,08         | 1,79       | 1,248                          | 0,025                      | 1,128              | 109     | 0,0103                    | 22,56                  | 2,18                  | 0,12                    | 9,615  |
| 14              | 50                     | 15,64         | 2,22       | 1,926                          | 0,039                      | 1,677              | 199     | 0,0084                    | 33,54                  | 3,98                  | 0,249                   | 12,928 |
| 15              | 50                     | 13,18         | 1,55       | 1,812                          | 0,036                      | 1,623              | 167     | 0,0097                    | 32,46                  | 3,34                  | 0,189                   | 10,430 |
| 16              | 50                     | 17,01         | 2,35       | 1,889                          | 0,038                      | 1,669              | 168     | 0,0099                    | 33,38                  | 3,36                  | 0,22                    | 11,646 |
| 17              | 50                     | 14,1          | 1,89       | 1,509                          | 0,030                      | 1,3555             | 133     | 0,0102                    | 27,11                  | 2,66                  | 0,1535                  | 10,172 |
| 18              | 50                     | 12,82         | 1,58       | 1,599                          | 0,032                      | 1,433              | 149     | 0,0096                    | 28,66                  | 2,98                  | 0,166                   | 10,381 |
| 19              | 50                     | 10,64         | 0,92       | 1,897                          | 0,038                      | 1,679              | 167     | 0,0101                    | 33,58                  | 3,34                  | 0,218                   | 11,492 |
| 20              | 50                     | 14,48         | 1,91       | 1,737                          | 0,035                      | 1,553              | 166     | 0,0094                    | 31,06                  | 3,32                  | 0,184                   | 10,593 |
| 21              | 50                     | 13,42         | 1,61       | 1,512                          | 0,030                      | 1,368              | 137     | 0,0100                    | 27,36                  | 2,74                  | 0,144                   | 9,524  |
| 22              | 50                     | 14,18         | 1,85       | 1,58                           | 0,032                      | 1,42               | 145     | 0,0098                    | 28,40                  | 2,9                   | 0,16                    | 10,127 |
| 23              | 50                     | 15,35         | 2,01       | 1,361                          | 0,027                      | 1,195              | 122     | 0,0098                    | 23,90                  | 2,44                  | 0,166                   | 12,197 |
| 24              | 50                     | 14,28         | 1,85       | 1,191                          | 0,024                      | 1,074              | 107     | 0,0100                    | 21,48                  | 2,14                  | 0,117                   | 9,824  |
| 25              | 50                     | 10,66         | 0,65       | 1,203                          | 0,024                      | 1,059              | 110     | 0,0096                    | 21,18                  | 2,2                   | 0,144                   | 11,970 |
| 26              | 50                     | 14,32         | 1,86       | 0,788                          | 0,016                      | 0,697              | 66      | 0,0106                    | 13,94                  | 1,32                  | 0,091                   | 11,548 |
| 27              | 50                     | 12,62         | 1,51       | 1,016                          | 0,020                      | 0,903              | 94      | 0,0096                    | 18,06                  | 1,88                  | 0,113                   | 11,122 |
| 28              | 50                     | 14,61         | 1,89       | 0,485                          | 0,010                      | 0,427              | 18      | 0,0237                    | 8,54                   | 0,36                  | 0,058                   | 11,959 |
| 29              | 50                     | 12,45         | 1,38       | 0,327                          | 0,007                      | 0,293              | 12      | 0,0244                    | 5,86                   | 0,24                  | 0,034                   | 10,398 |
| 30              | 50                     | 15,55         | 2,21       | 1,372                          | 0,027                      | 1,224              | 132     | 0,0093                    | 24,48                  | 2,64                  | 0,148                   | 10,787 |
| 31              | 50                     | 11,02         | 1,14       | 1,454                          | 0,029                      | 1,293              | 128     | 0,0101                    | 25,86                  | 2,56                  | 0,161                   | 11,073 |
| 32              | 50                     | 11,2          | 1,06       | 1,545                          | 0,031                      | 1,363              | 154     | 0,0089                    | 27,26                  | 3,08                  | 0,182                   | 11,780 |
| 33              | 50                     | 14,69         | 1,89       | 1,437                          | 0,029                      | 1,269              | 127     | 0,0100                    | 25,38                  | 2,54                  | 0,168                   | 11,691 |
| 34              | 50                     | 13,82         | 1,81       | 1,471                          | 0,029                      | 1,287              | 132     | 0,0098                    | 25,74                  | 2,64                  | 0,184                   | 12,508 |
| 35              | 50                     | 10,64         | 0,91       | 1,918                          | 0,038                      | 1,682              | 174     | 0,0097                    | 33,64                  | 3,48                  | 0,236                   | 12,304 |
| 36              | 50                     | 9,41          | 0,60       | 1,520                          | 0,030                      | 1,337              | 133     | 0,0101                    | 26,74                  | 2,66                  | 0,183                   | 12,039 |
| 37              | 50                     | 9,23          | 0,77       | 1,278                          | 0,026                      | 1,135              | 115     | 0,0099                    | 22,70                  | 2,3                   | 0,143                   | 11,189 |
| 38              | 50                     | 10,73         | 1,05       | 1,804                          | 0,036                      | 1,626              | 166     | 0,0098                    | 32,52                  | 3,32                  | 0,178                   | 9,867  |
| 39              | 50                     | 11,91         | 1,20       | 1,547                          | 0,031                      | 1,381              | 142     | 0,0097                    | 27,62                  | 2,84                  | 0,166                   | 10,730 |
| 40              | 50                     | 14,89         | 1,91       | 1,251                          | 0,025                      | 1,122              | 117     | 0,0096                    | 22,44                  | 2,34                  | 0,129                   | 10,312 |
| 41              | 50                     | 13,27         | 1,61       | 1,600                          | 0,032                      | 1,454              | 151     | 0,0096                    | 29,08                  | 3,02                  | 0,146                   | 9,125  |
| Summe           |                        | -             | -          | 56,970                         | 1,1394                     | 50,746             | 4890    | 0,4889                    | 1014,91                | 97,80                 | 6,22                    | -      |
| Maximum         |                        | 17,01         | 2,35       | 2,411                          | 0,0482                     | 2,160              | 209     | 0,0441                    | 43,20                  | 4,18                  | 0,28                    | 13,12  |
| Minimum         |                        | 9,23          | 0,60       | 0,327                          | 0,0065                     | 0,293              | 12      | 0,0084                    | 5,86                   | 0,24                  | 0,03                    | 8,55   |
| Median          |                        | 14,08         | 1,79       | 1,454                          | 0,0291                     | 1,287              | 127     | 0,0098                    | 25,74                  | 2,54                  | 0,15                    | 10,73  |
| Mittelwert      |                        | -             | -          | 1,390                          | 0,0278                     | 1,238              | 119,27  | 0,0119                    | 24,75                  | 2,39                  | 0,15                    | 10,84  |
| Standardabw.    |                        | -             | -          | 0,462                          | 0,0092                     | 0,409              | 46,32   | 0,0071                    | 8,18                   | 0,93                  | 0,06                    | 1,21   |
| Varianz         |                        | -             | -          | 0,213                          | 0,0001                     | 0,167              | 2145,75 | 0,0001                    | 66,85                  | 0,86                  | 0,00                    | 1,47   |
| Standardfehler  |                        | -             | -          | 0,072                          | 0,0014                     | 0,064              | 7,23    | 0,0011                    | 1,28                   | 0,14                  | 0,01                    | 0,19   |
| Dk-Wert         |                        | 0,217         | 0,223      | 0,127                          | 0,127                      | 0,133              | 0,143   | 0,72                      | 0,143                  | 0,143                 | 0,135                   | 0,142  |
| Signifik. 10%   |                        | 0,211         | 0,211      | 0,211                          | 0,211                      | 0,211              | 0,211   | 0,211                     | 0,211                  | 0,211                 | 0,211                   | 0,211  |
| normalverteilt? |                        | nein          | nein       | ja                             | ja                         | Ja                 | ja      | ja                        | ja                     | ja                    | ja                      | ja     |

Tab. 28: Klassifizierte Häufigkeiten und Summenhäufigkeiten der Pelletlängen von *Niphargus fontanus* [Angaben in mm]

Anm.: Die Berechnung der Klassenbreiten erfolgte nach der Faustregel von Sturges (Köhler et al. 1992)

| <b>Männchen</b> (Anzahl Pellets n = 693) |                      |            |                  |       |
|------------------------------------------|----------------------|------------|------------------|-------|
| Nr                                       | Klassenbreite        | Häufigkeit | Summenhäufigkeit |       |
|                                          |                      |            | absolut          | %     |
| 1                                        | $0 \leq x < 0,13$    | 8          | 8                | 1,2   |
| 2                                        | $1,3 \leq x < 0,26$  | 165        | 173              | 25,0  |
| 3                                        | $0,26 \leq x < 0,39$ | 184        | 357              | 51,5  |
| 4                                        | $0,39 \leq x < 0,52$ | 101        | 458              | 66,1  |
| 5                                        | $0,52 \leq x < 0,65$ | 90         | 548              | 79,1  |
| 6                                        | $0,65 \leq x < 0,78$ | 77         | 625              | 90,2  |
| 7                                        | $0,78 \leq x < 0,91$ | 41         | 666              | 96,1  |
| 8                                        | $0,91 \leq x < 1,04$ | 11         | 677              | 97,7  |
| 9                                        | $1,04 \leq x < 1,17$ | 5          | 682              | 98,4  |
| 10                                       | $1,17 \leq x < 1,30$ | 5          | 687              | 99,1  |
| 11                                       | $1,30 \leq x < 1,43$ | 1          | 688              | 99,3  |
| 12                                       | $1,43 \leq x < 1,56$ | 2          | 690              | 99,6  |
| 13                                       | $1,56 \leq x < 1,69$ | 2          | 692              | 99,9  |
| 14                                       | $1,69 \leq x < 1,82$ | 0          | 692              | 99,9  |
| 15                                       | $1,82 \leq x < 1,95$ | 1          | 693              | 100,0 |
| <b>Weibchen</b> (Anzahl Pellets n = 804) |                      |            |                  |       |
| Nr                                       | Klassenbreite        | Häufigkeit | Summenhäufigkeit |       |
|                                          |                      |            | absolut          | %     |
| 1                                        | $0 \leq x < 0,12$    | 3          | 3                | 0,4   |
| 2                                        | $0,12 \leq x < 0,24$ | 52         | 55               | 6,8   |
| 3                                        | $0,24 \leq x < 0,36$ | 165        | 220              | 27,4  |
| 4                                        | $0,36 \leq x < 0,48$ | 158        | 378              | 47,0  |
| 5                                        | $0,48 \leq x < 0,60$ | 145        | 523              | 65,0  |
| 6                                        | $0,60 \leq x < 0,72$ | 129        | 652              | 81,1  |
| 7                                        | $0,72 \leq x < 0,84$ | 101        | 753              | 93,7  |
| 8                                        | $0,84 \leq x < 0,96$ | 31         | 784              | 97,5  |
| 9                                        | $0,96 \leq x < 1,08$ | 5          | 789              | 98,1  |
| 10                                       | $1,08 \leq x < 1,20$ | 4          | 793              | 98,6  |
| 11                                       | $1,20 \leq x < 1,32$ | 7          | 800              | 99,5  |
| 12                                       | $1,32 \leq x < 1,44$ | 0          | 800              | 99,5  |
| 13                                       | $1,44 \leq x < 1,56$ | 3          | 803              | 99,9  |
| 14                                       | $1,56 \leq x < 1,68$ | 0          | 803              | 99,9  |
| 15                                       | $1,68 \leq x < 1,80$ | 0          | 803              | 99,9  |
| 16                                       | $1,80 \leq x < 1,92$ | 1          | 804              | 100,0 |

Tab. 29: Arten- und Individuenzahlen der Stygobionten, Stygophilen und Stygoxen

Anm.: Berücksichtigt wurden 129 der 135 Taxa; Daten zusammengestellt aus Rumm (1993), Schmidt (1994) und Egert (1998).

| Taxon         | Arten      |           |           | Individuenzahlen |             |              |
|---------------|------------|-----------|-----------|------------------|-------------|--------------|
|               | stygobiont | stygophil | stygoxen  | stygobiont       | stygophil   | Stygoxen     |
| Nematoda      | 1          | 4         | 36        | 1                | 1           | 5428         |
| Rotatoria     | 0          | 1         | 12        | 0                | 0           | 2176         |
| Mollusca      | 1          | 1         | 0         | 339              | 11          | 0            |
| Annelida      | 2          | 0         | 8         | 88               | 0           | 1508         |
| Acari         | 3          | 0         | 4         | 996              | 0           | 24           |
| Cyclopoida    | 2          | 3         | 3         | 613              | 1230        | 324          |
| Harpacticoida | 4          | 3         | 3         | 774              | 7079        | 370          |
| Ostracoda     | 3          | 0         | 9         | 5934             | 0           | 2192         |
| Cladocera     | 0          | 1         | 18        | 0                | 131         | 7206         |
| Isopoda       | 1          | 0         | 1         | 1924             | 0           | 60           |
| Amphipoda     | 5          | 0         | 0         | 1537             | 0           | 0            |
| <b>Summe</b>  | <b>22</b>  | <b>13</b> | <b>94</b> | <b>12206</b>     | <b>8452</b> | <b>19288</b> |

Tab. 30: Arten-Stations-Matrix für Ordination MDS-Plot

Anm.: BaZ = Biologisch aktive Zone; 40...470 = jew. Tiefe im Langsandsandfilter; BFS = Bodenfiltratschacht; Berücksichtigt wurden alle identifizierten Arten aus Rumm (1993), Schmidt (1994) und Egert (1998), die in den Röhren R1-R5 gefunden wurden

| Art / Station                    | BaZ  | 40  | 120 | 190 | 310 | 470 | BFS  |
|----------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| <i>Acanthocyclops robustus</i>   |      |     |     | 10  | 15  | 3   | 48   |
| <i>Achromadora ruricola</i>      | 35   |     | 3   | 1   |     | 1   |      |
| <i>Acroperus harpae</i>          | 18   |     |     |     |     |     |      |
| <i>Alona affinis</i>             | 627  | 1   | 2   | 2   |     |     | 5    |
| <i>Alona costata</i>             | 1    |     |     |     |     |     | 6    |
| <i>Alona guttata</i>             | 131  |     |     |     |     |     |      |
| <i>Alona quadrangularis</i>      | 11   |     |     |     |     |     |      |
| <i>Alona rectangula</i>          | 59   |     | 6   | 7   | 1   | 3   | 6231 |
| <i>Alonella nana</i>             |      |     |     | 1   |     |     |      |
| <i>Aphanolaimus aquaticus</i>    |      | 1   |     |     |     |     |      |
| <i>Bosmina longirostris</i>      |      | 2   |     |     |     |     | 1    |
| <i>Bryocamptus echinatus</i>     | 6    |     |     | 2   | 1   |     | 416  |
| <i>Bryocamptus minutus</i>       | 196  | 55  | 6   |     |     | 3   | 2    |
| <i>Bryocamptus pygmaeus</i>      | 1004 | 20  | 4   |     |     |     |      |
| <i>Camptocercus rectirostris</i> | 1    |     |     |     |     |     |      |
| <i>Candona candida</i>           | 30   |     |     |     |     |     | 1    |
| <i>Candona neglecta</i>          | 76   |     |     |     |     |     |      |
| <i>Canthocamptus staphylinus</i> | 31   |     |     |     |     |     |      |
| <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>  |      |     |     |     |     |     | 1    |
| <i>Chappuisius inopinus</i>      |      |     | 1   |     | 11  | 73  | 82   |
| <i>Chappuisius singeri</i>       |      | 1   |     |     | 3   | 40  | 108  |
| <i>Chlamydotheca spec.</i>       | 2    |     |     |     |     |     |      |
| <i>Chromadorita leuckarti</i>    | 167  | 128 | 15  |     | 5   | 6   |      |
| <i>Chydorus piger</i>            | 1    |     |     |     |     |     |      |
| <i>Chydorus sphaericus</i>       | 131  | 1   | 1   | 1   |     |     | 13   |
| <i>Crangonyx subterraneus</i>    |      |     |     |     |     |     | 85   |
| <i>Cylindrolaimus spec.</i>      |      | 1   |     |     |     |     |      |
| <i>Cypria ophtalmica</i>         | 1167 |     | 1   | 4   | 1   | 2   | 23   |
| <i>Cypridopsis vidua</i>         | 821  |     |     | 7   |     |     |      |
| <i>Diacyclops bicuspidatus</i>   | 5    | 2   | 12  | 23  | 26  | 14  | 68   |
| <i>Diacyclops bisetosus</i>      |      | 57  | 34  | 160 | 203 | 104 | 558  |
| <i>Diacyclops languidoides</i>   | 2    | 22  | 8   | 58  | 91  | 91  | 152  |
| <i>Diacyclops languidus</i>      |      | 14  | 14  | 110 | 46  | 17  | 200  |
| <i>Dorylaimus stagnalis</i>      | 15   | 2   | 1   |     |     | 1   |      |
| <i>Drepanothrix dentata</i>      |      |     |     |     |     |     | 2    |

Fortsetzung auf folgender Seite

| Fortsetzung Tab. 30                    |     |      |     |      |      |    |      |
|----------------------------------------|-----|------|-----|------|------|----|------|
| <i>Epactophanes richardi</i>           | 144 | 655  | 136 | 21   | 156  | 16 | 56   |
| <i>Ethmolaimus pratensis</i>           |     |      | 1   | 1    |      |    |      |
| <i>Eucyclops serrulatus</i>            | 89  | 1    |     | 9    | 5    | 2  | 31   |
| <i>Eumonhystera dispar</i>             | 103 |      | 1   |      |      |    |      |
| <i>Eumonhystera simplex</i>            | 12  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Eumonhystera spec.</i>              |     |      |     | 4    |      |    |      |
| <i>Eumonhystera vulgaris</i>           | 228 |      |     |      |      |    |      |
| <i>Eurycerus lamellatus</i>            | 15  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Forelia variegator</i>              | 1   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Geomonhystera villosa</i>           |     |      |     |      |      | 2  |      |
| <i>Graeteriella unisetigera</i>        |     | 38   | 47  | 2    |      |    | 102  |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i>      | 30  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Herpetocypris reptans</i>           | 21  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Heterocypris incongruens</i>        | 2   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Hygrobates nicromaculatus</i>       | 3   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Isocypris beauchampi</i>            | 29  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Lebertia fimbriata</i>              | 7   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Lebertia porosa</i>                 | 5   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Lobohalacarus weberi</i>            |     | 10   | 7   | 9    | 14   |    | 65   |
| <i>Macrothrix hirsuticornis</i>        |     |      |     |      |      |    | 1    |
| <i>Mixtacandona laisi</i>              |     | 1    |     | 1    |      |    | 218  |
| <i>Monhystera paramacramphis</i>       |     |      |     | 2    |      |    |      |
| <i>Monhystera spec.</i>                |     |      |     | 1    |      |    |      |
| <i>Mononchus aquaticus</i>             | 7   |      | 1   |      |      |    |      |
| <i>Mononchus truncatus</i>             | 30  | 1    |     |      |      |    |      |
| <i>Niphargopsis caspary</i>            |     |      |     | 1    | 2    | 6  | 133  |
| <i>Niphargus fontanus</i>              | 2   |      | 4   | 2    | 23   | 1  | 3561 |
| <i>Niphargus kochianus</i>             |     | 5    |     |      | 1    | 83 | 227  |
| <i>Niphargus puteanus</i>              | 14  | 34   | 65  | 1    |      |    | 42   |
| <i>Nitocra hibernica</i>               | 38  |      |     |      |      |    |      |
| <i>Paractinolaimus macrolaimus</i>     | 10  | 40   | 5   | 18   |      | 21 | 1    |
| <i>Paracyclops fimbriatus</i>          | 90  |      |     |      |      |    | 21   |
| <i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i> |     |      | 2   | 41   | 28   |    | 214  |
| <i>Parastenocaris c.f. glacialis</i>   |     | 2    | 7   |      | 9    | 1  | 4    |
| <i>Phyllognathopus viguieri</i>        | 643 | 3674 | 209 | 51   | 206  | 55 | 21   |
| <i>Plectus spec.</i>                   |     | 1    |     |      |      | 2  |      |
| <i>Pleuroxus aduncus</i>               | 16  |      |     |      |      |    | 5    |
| <i>Pleuroxus denticulatus</i>          | 6   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Prismatolaimus dolichurus</i>       |     |      | 1   | 8    | 2    |    |      |
| <i>Pseudocandona triquetra</i>         |     |      |     |      |      |    | 51   |
| <i>Pseudocandona zschokkei</i>         | 27  |      | 261 | 1720 | 1822 | 6  | 1822 |
| <i>Simocephalus vetulus</i>            | 2   |      |     |      |      |    |      |
| <i>Soldanellonyx monardi</i>           |     | 2    |     | 9    | 4    | 1  | 63   |
| <i>Theristus agilis</i>                |     |      | 1   |      |      |    |      |
| <i>Tobrilus spec.</i>                  |     | 9    | 2   |      |      |    |      |
| <i>Tripyla affinis</i>                 |     |      | 1   |      |      |    |      |
| <i>Trischistoma monhystera</i>         |     |      | 2   |      |      |    |      |
| <i>Trischistoma spec.</i>              |     | 1    | 1   |      |      |    |      |

Tab. 31: Q-Matrix „Alle Stationen“; Cosinus-Ähnlichkeitsmaß

Anm.: BaZ = Biologisch aktive Zone; 40...470 = jeweilige Tiefe im Langsandsandfilter in cm; BFS = Bodenfiltratschacht

|     | BaZ    | 40     | 120    | 190    | 310    | 470    | BFS |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| BaZ | 1      |        |        |        |        |        |     |
| 40  | 0,3332 | 1      |        |        |        |        |     |
| 120 | 0,2301 | 0,6222 | 1      |        |        |        |     |
| 190 | 0,0274 | 0,0331 | 0,7287 | 1      |        |        |     |
| 310 | 0,0553 | 0,1261 | 0,7942 | 0,9928 | 1      |        |     |
| 470 | 0,1094 | 0,3092 | 0,2812 | 0,1137 | 0,1576 | 1      |     |
| BFS | 0,0323 | 0,0057 | 0,2058 | 0,2569 | 0,2581 | 0,0985 | 1   |



Tab. 32: Q-Matrix „Lückensystem“; Cosinus Ähnlichkeits-Maß

Anm.: 40...470 = jeweilige Tiefe im Langsandsfilter in cm

|     | 40     | 120    | 190    | 310    | 470 |
|-----|--------|--------|--------|--------|-----|
| 40  | 1      |        |        |        |     |
| 120 | 0,6222 | 1      |        |        |     |
| 190 | 0,0331 | 0,7287 | 1      |        |     |
| 310 | 0,1261 | 0,7942 | 0,9928 | 1      |     |
| 470 | 0,3092 | 0,2812 | 0,1137 | 0,1576 | 1   |

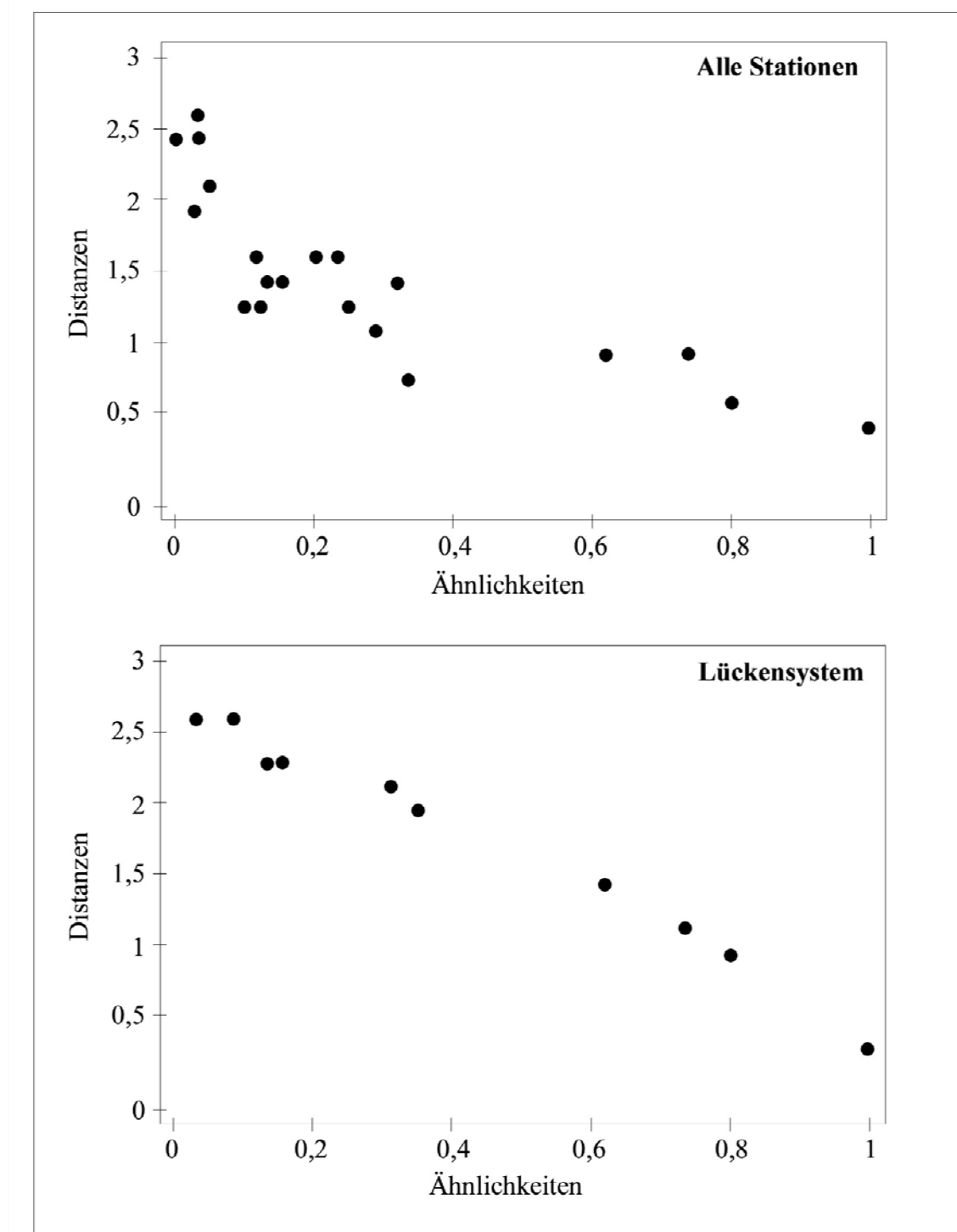


Abb. 50: Shepard-Diagramm Stationen, erste Iteration, Cosinus Ähnlichkeitsmaß

### ***8.3 EDV-Geräte und eingesetzte Software:***

#### 1. Hardware:

- Computer mit - ASUS Mainboard mit Intel Pentium Prozessor (MMX 166 Mhz).
- 64 MB RAM, 2 IDE Festplatten á 6,5 GB.
- Videoschnittkarte AV-Master (FAST-Multimedia AG).
- Samsung SyncMaster 700p, 17“-Monitor.
- Digitale Kamera -1/2 Chip Farbkamera, Panasonic GP-KR222.
- Apple Power Macintosh G3/233 (G3/233MHZ Prozessorkarte, 64MB RAM).

#### 2. Software:

- VideoCapture Ver. 5.01, Ulead Systems, Inc. 1997.
- Microsoft VidCap mit AV Master Video Treiber Ver. 2.01, 1997.
- UTHSCSA ImageTool Ver. 1.27, (entwickelt an der University of Texas Health Science Center at San Antonio, Texas), 1997.
- Bildbearbeitung mit Color It Ver. 3.2.1 (1996) für Apple Macintosh.
- SysStat 5.1 (1991) für Apple Macintosh.
- Statview 5.0 (1992-1998) für Apple Macintosh.

## 9 Literaturverzeichnis

### A

Appleby, A. G. and Brinkhurst, R. O. (1970): Defecation rate of three tubificid oligochaetes found in the sediment of Toronto Harbour, Ontario. *Journal of Fisheries Research Board Canada*, 27: 1971-1982.

AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr) (1988): *Ruhrwassergüte 1988*, 149S.

### B

Baars, J. K. (1957): Artificial groundwater production by biofiltration in fine sandy soils. *Journal of the science of food and agriculture*, (8): 610-616.

Bärlocher, F. (1990): Factors that delay colonization of fresh alder leaves by aquatic hypomacetes. *Archiv für Hydrobiologie*, 119(3): 249-255.

Bärlocher, F. & Kendrick, B. (1975): Assimilation efficiency of *Gammarus pseudolimnaeus* (Amphipoda) feeding on fungal mycelium or autumn-shed leaves. *Oikos*, 26: 55-59.

Bärlocher, F. & Murdoch, H.J. (1989): Hyporheic biofilms - a potential food source for interstitial animals. *Hydrobiologica*, 184: 61-67.

Bartsch, I. (1989): Havskvalster (Acari, Halacaridae) i mellersta och norra Sverige (Marine mites (Acari, Halacaridae) from central and northern Sweden). *Entomologisk Tidskrift*, 110: 127-138.

Bartsch, I. & Sepasgosarion, H. (1977): Einführung in die Morphologie, Anatomie, Biologie und Verarbeitung der Halacaridae (Acari). Publication of the Razi University, Iran, 2: 1-29.

Bechler, D. L. & Fernandez, A.G. (1981): Preliminary observations on foraging behavior in a hypogean crustacean community. *Proceedings of the International Congress on Speleology*, 8(1): 66-67.

Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1996): *Ecology. Individuals, populations and ecology*. Blackwell Science, Ltd. 3<sup>rd</sup> Ed. Oxford, London, Edinburgh (u. a. O.). 1068 S.

Berezky, M. C. & Nosek, J.N. (1994): Composition and feeding spectrum of protozoa in the River Danube with particular reference to planktonic ciliata. *Limnologica*, 24(1): 23-28.

Bernhardt, H., Engels, C., Klein, G. & Schmidt, K. H. (1991): Anforderungen an die Gewässerbeschaffenheit hinsichtlich N- und P-Verbindungen aus der Sicht der Trinkwassernutzung. In: Hamm, A. [Hrsg.]: *Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern*. Academia Verlag. Sankt Augustin. 276-328.

BMI-Fachausschuß (1985): Bundesminister des Innern. Bearbeitet vom BMI-Fachausschuß "Wasserversorgung und Uferfiltrat". [Hrsg.]: *Künstliche Grundwasseranreicherung - Stand des Wissens und der Technik in der Bundesrepublik Deutschland*. 559 S. Erich Schmidt Verlag. Berlin.

Boeters, H. D. (1998): Mollusca: Gastropoda: Rissooidea. in: Schwoerbel, J. & Zwick, P. [Hrsg.]: *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm. Bd. 5/1-2. 76 S.

Borchardt, M. A. & Bott, T. L. (1995): Meiofaunal grazing of bacteria and algae in a piedmont stream. *Journal of North American Benthological Society*, 14(2): 278-298.

Boulton, A. J., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, A.H. & Valett, H.M. (1998): The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 59-81.

Brendelberger, H. (1997): Coprophagy: a supplementary food source for two freshwater gastropods? *Freshwater Biology*, 38: 145-157.

Brink, N. (1967): Ecological Studies in Biological Filters. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*,

52(1): 51-122.

(1971): Brinkhurst, R. O. & Jamieson, B. G. M. [Eds.]: *Aquatic Oligochaeta of the world*. 860 S. Oliver and Boyd. Edinburgh.

Brunke, M. & Gonser, T. (1997a): Biodiversität in Sedimenten von Fließgewässern. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), 5 S.

--- (1997b): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*, 37: 1-33.

--- (1997c): Kolmationsprozesse und Tiefenfiltration im Interstitial. In: *Tagungsband zum DFG-Rundgespräch: Retention von suspendiertem partikulärem organischem Material in Fließgewässern*. Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik. 51-60.

Brunke, M., Gonser, T. & Grieder, E. (1998): Environmental gradient patterns in hyporheic interstices: A model based on hydrologic exchange processes. in Bretschko, G. & Helesic, J. [Eds.]: *Advances in River Bottom Ecology*. Backhuys Publishers. Leiden, The Netherlands. 23-30.

Brunke, M., Gonser, T., Grieder, E., Höhn, E. & Huggenberger, P. (1996): Der Einfluß von Infiltration und Exfiltration auf die Ausbildung physikochemischer Gradienten im Hyporheal. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) - Tagungsbericht 1995 (Berlin), : 317-321.

## C

Calow, P. (1977): Ecology, evolution and energetics: a study in metabolic adaptation. *Advances in ecological research*, 10: 1-62.

Chappuis, P. A. (1916): *Viguiereella coeca* Maupas - Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Crustaceen. *Revue Suisse de Zoologie*, 24: 521-564.

Claret, C., Marmonier, P., Boissier, J.-M., Fontvielle, D. & Blanc, P. (1997): Nutrient transfer between parafluvial interstitial water and river water: influence of gravel bar heterogeneity. *Freshwater Biology*, 37: 657-670.

Coineau, N. & Boutin, C. (1992): Biological processes in space and time: colonization, evolution and speciation in interstitial stygobionts. In: Camacho, A. I. [Ed.]: *The natural history of biospeleology*. Monografías Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. 423-451.

Cuffney, T. F., Wallace, J.B. & Lugthart, G.J. (1990): Experimental evidence quantifying the role of benthic invertebrates in organic matter dynamics of a headwater stream. *Freshwater Biology*, 23: 281-299.

Culver, D. C. (1994): Species interactions. In: Gibert, J., Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.]: *Groundwater ecology*. Aquatic Biology Series. 572 S. Academic Press. San Diego, New York, Boston, 271-285.

Culver, D. C. & Poulson, T. L. (1971): Oxygen consumption and activity in closely related amphipod populations from cave and surface habitats. *American Midland Naturalist*, 85(1): 74-84.

Cummins, K. W. & Klug, M. J. (1979): Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10: 147-172.

Cummins, K. W., Petersen, R.C., Howard, F.O., Wuycheck, J.C. & Holt, V.I. (1973): The utilization of leaf litter by stream detritivores. *Ecology*, 54: 336-345.

## D

Dahm, C. N., Grimm, N.B., Marmonier, P., Valett, H.M. & Vervier, P. (1998): Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. *Freshwater Biology*, 40: 427-451.

Dalhoff, B. (1998): Das Naturschutzgebiet "Ruhrstau bei Echthausen". In: Naturschutzzentrum Märkischer Kreis e.V. [Hrsg.]: *Die Ruhr - Elbflußbiologische Exkursionen*. 312 S. Martina Galunda Verlag. Wiehl. 110-128.

- Danielopol, D. L. (1983): Der Einfluß organischer Verschmutzung auf das Grundwasser-Ökosystem der Donau im Raum Wien und Niederösterreich. Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Umweltschutz und Gewässerökologie, 160 S.
- (1989): Groundwater fauna associated with riverine aquifers. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1): 18-35.
- Danielopol, D. L., Creuzé des Châtelliers, M., Mösslacher, F., Pospisil, P. & Popa, R. (1994): Adaptation of Crustacea to interstitial habitats: A practical agenda for ecological studies. In: Gibert, J.; Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.]: *Groundwater Ecology*. Academic Press. San Diego, New York, Boston. 217-243.
- Danielopol, D. L.; Dreher, J.; Gunatilaka, G.; Kaiser, M.; Niederreiter, R.; Pospisil, P.; Creuzé des Châtelliers, M. & Richter, A. (1992): Ecology of organisms living in a hypoxic groundwater environment at Vienna (Austria); Methodological questions and preliminary results. In: Stanford, J. A. & Simons, J. J. [Eds.]: *Proceedings of the First International Conference on Ground Water Ecology*. 1992 Bethesda, Maryland (USA) American Water Resources Association. 79-90.
- Danielopol, D. L., Rouch, R., Pospisil, P., Torreiter, P. & Mösslacher, F. (1997): Ecotonal animal assemblages: their interest for groundwater studies. In: Gibert, J.; Mathieu, J. & Fournier, F. [Eds.]: *Groundwater/Surface Water Ecotones*. Cambridge University Press. Cambridge. 11-20.
- Decho, A. W. (1986): Water-cover influences on diatom ingestion rates by meiobenthic copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 33: 139-146.
- Decho, A. W. & Castenholz, R. W. (1986): Spatial patterns and feeding of meiobenthic harpacticoid copepods to resident microbial flora. *Hydrobiologia*, 131: 87-96.
- Delille, D. & Razouls, S. (1994): Community structures of heterotrophic bacteria of copepod fecal pellets. *Journal of Plankton Research*, 16(6): 603-615.
- Dick, J. T. A. (1995): The cannibalistic behaviour of two *Gammarus* species (Crustacea: Amphipoda). *Journal of Zoology, London*, 236: 697-706.
- Dole-Olivier, M.-J. & Marmonier, P. (1992): Ecological requirements of stygofauna in an active channel of the Rhône river. *Stygologia*, 7(2): 65-75.
- Dornedden, H. (1930): Beiträge zur Trinkwasserreinigung durch die langsame Sandfiltration. *Das Gas- und Wasserfach*, 73(13, 3 Teile): 289-294; 319-325; 340-443.
- Drews, M. & Haberer, K. (1986): Wirksamkeit verschieden betriebener Langsamsandfilter zur Entfernung organischer Wasserinhaltsstoffe. *Vom Wasser*, 66: 255-275.
- Duncan, A. (1988): The ecology of slow sand filters. Graham, N. J. D. [Ed.]: *Slow Sand Filtration: Recent Developments in Water Treatment Technology*. Ellis Horwood Ltd. Chichester. 163-180.
- DVWK - Fachausschuß Grundwasserbiologie (1988): Bedeutung biologischer Vorgänge für die Beschaffenheit des Grundwassers. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. [Hrsg.]: *DVWK Schriften Heft 80*. 332 S. Verlag Paul Parey. Hamburg, Berlin.
- DVWK - Fachausschuß Grundwasserbiologie (1997): Parameter und Methoden der biologischen Charakterisierung des Untergrundes - Feststoffe und Wasser. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. [Hrsg.]: *DVWK Schriften Heft 120*. 274 S. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser. Bonn.
- E**
- Eder, R. (1983): Nematoden aus dem Interstitial der Donau bei Fischamend (Niederösterreich). *Archiv für Hydrobiologie/Supplement*, 68(1): 100-113.

- Egert, E. (1998): Untersuchungen zum Artenspektrum, zur Besiedlungsdichte und zur vertikalen Verteilung von Organismen in einem Langsandsfilter unter besonderer Berücksichtigung der Amphipoda und Nematoda. Diplomarbeit, 115 S. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg.
- Einsle, U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. In: Schwoerbel, J. & Zwick, P. [Hrsg.]: *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena, New York. Bd. 8/ 4-1. 208 S.
- Epstein, S. S. (1997): Microbial food webs in marine sediments. I. Trophic interactions and grazing rates in two tidal flat communities. *Microbial Ecology*, 34: 188-198.

**F**

- Ferrante, J. G. & Parker, J.I. (1977): Transport of diatom frustules by copepod faecal pellets to the sediments of Lake Michigan. *Limnology and Oceanography*, 22(1): 92-98.
- Findlay, S. (1995): Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: The hyporheic zone. *Limnology and Oceanography*, 40(1): 159-164.
- Fleeger, J. W. & Decho, A.W. (1987): Spatial variability of interstitial meiofauna: a review. *Stygologia*, 3(1): 35-54.
- Flegler, S. L., Heckman, J. W. Jr. & Klomparens, K. L. (1995): Elektronenmikroskopie. Grundlagen - Methoden - Anwendungen. 279 S. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.

**G**

- George, K. H. (1999): Gemeinschaftsanalytische Untersuchungen der Harpacticoidenfauna der Magellanregion, sowie erste similaritätsanalytische Vergleiche mit Assoziationen aus der Antarktis. Dissertation, 172 S. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg.
- Gibert, J. (1977): Recherches sur la pigmentation de *Niphargus virei* Chevreux 1896. *Crustaceana / Supplement*, 4: 45-57.
- Gibert, J., Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.] (1994): *Groundwater Ecology*. Aquatic Biology Series. 571S. Academic Press. San Diego, New York, Boston.
- Gibert, J., Marmonier, P. & Plenet, S. (1998): Efficiency of bank filtration: biotic processes. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 26: 1027-1031.
- Gibert, J. & Mathieu, J. (1980): Relations entre les teneurs en protéines, glucides et lipides au cours du jeûne expérimental, chez deux espèces de *Niphargus* peuplant des biotopes différents. *Crustaceana / Supplement*, 6: 137-147.
- Gibert, J., Mathieu, J. & Fournier, F. [Eds.] (1997): Groundwater/surface water ecotones: Biological and hydrological interactions and management. *International Hydrology Series*. 246 S. Press Syndicate of the Cambridge University. Cambridge U.K.
- Ginet, R. (1960): Ecologie, éthologie et biologie de *Niphargus* (Amphipodes Gammaridés hypogés) (Suite). *Annales de Spéléologie*, 15(2): 129-376.
- Ginet, R. & Decou, V. (1977): Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines. 345 S. Delarge. Paris.
- Glatzel, Th. (1989): Comparative morphology of *Chappuisius inopinus* Kiefer and *C. singeri* Chappuis (Copepoda, Harpacticoida). *Zoologica Scripta*, 18(3): 411-422.
- Glatzel, Th. (1994): Bioindikation im Grundwasser. In: Gunkel, G. [Hrsg.]: Bioindikation in aquatischen Ökosystemen. 540 S. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena. 255-261.
- Gledhill, T. (1977): Numerical fluctuations of four species of subterranean amphipods during a five year period. *Crustaceana / Supplement*, 4: 144-152.

- Gounot, A.-M. (1960): Recherches sur le limon argileux souterrain et sur son rôle nutritif pour les *Niphargus* (Amphipodes Gammaridés). *Annales de Spéléologie*, 15(3): 501-526.
- Gounot, A. M. (1994): Microbial ecology of groundwaters. In: Gibert, J.; Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.]: *Groundwater ecology*. Aquatic Biology Series. 572 S. Academic Press. San Diego, New York, Boston. 189-215.
- Graca, M. A. S., Maltby, L. & Calow, P. (1993): Importance of fungi in the diet of *Gammarus pulex* and *Asellus aquaticus* II. Effects on growth, reproduction and physiology. *Oecologia*, 96: 304-309.
- (1994): Comparative ecology of *Gammarus pulex* (L.) and *Asellus aquaticus* (L.) II. fungal preference. *Hydrobiologia*, 281: 163-170.
- Graf, F. (1984): Présence de bactéries dans les caecums postérieurs de l'intestin moyen du Crustacé hypogé *Niphargus virei* (Gammaridae: Amphipoda). *Canadian Journal of Zoology*, 62: 1829-1833.
- Gundel, M. & Stundl, K. (1939): Biologische Vorgänge in den Sandfiltern von Wassergewinnungsanlagen. *Zentralblatt für Bakterien- und Parasitenkunde und Infektionskrankheiten*, 144: 286-290.
- ## H
- Haase, M. (1994): Differentiation of selected species of *Belgrandiella* and the redefined genus *Graziana*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 111: 219-246.
- Hargrave, B.T. (1972): Prediction of egestion by the deposit feeding amphipod *Hyaletta azteca*. *Oikos*, 23: 116-124.
- Heath, R. C. (1988): Einführung in die Grundwasserhydrologie, 164 S. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Hendricks, S. P. (1993): Microbial ecology of the hyporheic zone: a perspective integrating hydrology and biology. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1): 70-78.
- Henry, K. S. & Danielopol, D.L. (1999): Oxygen dependent habitat selection in surface and hyporheic environments by *Gammarus roeseli* (Crustacea, Amphipoda): experimental evidence. *Hydrobiologia*, 390: 51-6.
- Hervant, F. & Mathieu, J. (1995): Ventilatory and locomotory activities in anoxia and subsequent recovery of epigean and hypogean crustaceans. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 318: 585-592.
- Hervant, F., Mathieu, J., Garin, D. & Freminet, A. (1996): Behavioral, ventilatory, and metabolic responses of the hypogean amphipod *Niphargus virei* and the epigean Isopod *Asellus aquaticus* to severe hypoxia and subsequent recovery. *Physiological Zoology*, 69(6): 1277-1300.
- Hervant, F., Mathieu, J. & Messana, G. (1997): Locomotory, ventilatory and metabolic responses of the subterranean *Stenasellus virei* (Crustacea, Isopoda) to severe hypoxia and subsequent recovery. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 320(2): 139-148.
- (1998): Oxygen consumption and ventilation in declining oxygen tension and posthypoxic recovery in epigean and hypogean crustaceans. *Journal of crustacean biology*, 18(4): 717-727.
- Holtshulte, H. (1966): Praktische Gesichtspunkte und Erfahrungen beim Bau von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung und Wasserfassung im Ruhrtal. In: Frank, W. H. [Hrsg.]: *Die künstliche Grundwasseranreicherung*. Veröffentlichungen der Hydrologischen Forschungsabteilung der Dortmunder Stadtwerke AG. Nr. 9: 141-152.
- Hüppop, K. (1985): The role of metabolism in the evolution of cave animals. *National Speleological Society Bulletin*, 47(2): 136-146.
- Husmann, S. (1958): Sand- und Schotterufer als Grenzbereiche limnologischer und bodenbiologischer Forschung. *Gewässer und Abwässer*, 22: 66-69.

- (1960): Über einige blinde Arthropoden aus dem Mesopsammal bremischer Langsamfilter. Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Vereinigung zu Bremen, 35(3): 421-437.
- (1968): Langsamfilter als Biotopmodelle der experimentalökologischen Grundwasserforschung. Gewässer und Abwässer, 46: 20-49.
- (1971): Ecological studies on freshwater meiobenthon in layers of sand and gravel. Smithsonian Contribution to Zoology, 76: 161-169.
- (1974): Die ökologische Bedeutung der Mehrzellenfauna bei der natürlichen und künstlichen Sandfiltration. Wiss. Ber. Unters. Plan. Stadtwerke Wiesbaden AG, 2: 173-183.
- (1976): Langsamsandfilter als Lebensräume von Grundwassertieren mit Befunden aus Wiesbaden-Schierstein. Forschung und Entwicklung in der Wasserwerkspraxis Stadtwerke Wiesbaden AG, 3: 83-92.
- (1978): Die Bedeutung der Grundwasserfauna für biologische Reinigungsvorgänge im Interstitial von Lockergesteinen. gwf Wasser/Abwasser, 119(6): 293-302.
- (1982): Aktivkohlefilter als künstliche Biotope stygophiler und stygobionter Grundwassertiere Archiv für Hydrobiologie, 95(1/4): 139-155.
- Husson, R. & Daum, J. (1955): Über Haltung, Zucht und Biologie von *Asellus cavaticus* Leydig. Annales Universitatis Saraviensis Saarbrücken, 4(1/2): 137-144.

## I

- Imhoff, K. R. (1989): Water quality management in the Ruhr area. Regulated Rivers: Research & Management, 4(2): 119-128.

## K

- Karaman, S. L. (1955): *Asellus cavaticus* Schiödte und seine Nächstverwandten. Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium, 2(12/23): 1-40.
- Kisskalt, K. (1917): Störungen bei der Sandfiltration und ihre Erklärung durch die biologische Theorie. Zeitschrift für Hygiene, 83: 509-547.
- Knauer, G. A., Martin, J.H. & Bruland, K.W. (1979): Fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the upper water column of the northeast pacific. Deep Sea Research, 26: 97-108.
- Koch, K. D. (1989): Ernährungsökologische Untersuchungen an *Gammarus pulex* L. und *Gammarus fossarum* Koch, 1835 (Crustacea, Amphipoda) in einem Wiesenbach und einem Waldbach. Dissertation, 194 S. Justus Liebig Universität. Gießen.
- Koenig, A. & Bruns, H. (1930): Künstliche Grundwasseranreicherung unter Berücksichtigung der Verhältnisse des Ruhrkohlengebietes. Gesundheitsingenieur, 53: 662-673.
- Köhler, W., Schachtel, G. & Voleske, P. (1996): Biostatistik. Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler. 2. Aufl., 285 S. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- Kostaslos, M. & Seymour, R.L. (1976): Role of microbial enriched detritus in the nutrition of *Gammarus minus* (Amphipoda). Oikos, 27: 512-516.
- Kötter, K. (1991): Qualitätsziele für Oberflächengewässer zur Sicherung der Trinkwassergewinnung am Beispiel der Ruhr. Gewässerschutz Wasser Abwasser, 119: 151-185.
- Kureck, A. (1964): Light sensitivity in the amphipod *Niphargus aquilex schellenbergi* Karaman. Experientia, 20: 523-525.

## L

- Lafont, M., Camus, J.C. & Rosso, A. (1996): Superficial and hyporheic oligochaete communities as indicators of



- pollution and water exchange in the River Moselle, France. *Hydrobiologia*, 334(1-3): 147-156.
- Lampert, W. (1978): Release of dissolved organic carbon by grazing zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 23: 831-834.
- Lampert, W. & Sommer, U. (1993): *Limnoökologie*. 440S. Georg Thieme Verlag. Stuttgart.
- Lampitt, R. S., Noji, T. & von Bodungen, B. (1990): What happens to zooplankton faecal pellets? Implications for material flux. *Marine Biology*, 104: 15-23.
- Lattinger-Penko, R. (1979): Data on the biology of an underground crustacean, *Asellus aquaticus cavernicolus* Racovitza (Crustacea, Isopoda). *Ekologija*, 14(1): 83-95.
- Lehman, P. S. (1994): Predation of phytoparasitic, entomopathogenic and free-living nematods by a copepod. *Journal of Nematology*, 26(1): p. 108.
- Lehman, P. S. & J.W. Reid (1993): *Phyllognathopus viguieri* (Crustacea:Harpacticoida), a predaceous copepod of phytoparasitic, entomopathogenic, and free-living nematodes. *Proceedings of the Soil and Crop Science Society, Florida*, 52: 78-82.
- Lozan, J. L. (1992): *Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler*. Pareys Studentexte. (Nr. 74.) 237 S. Verlag Paul Parey. Berlin, Hamburg.

## M

- Maamri, A., Chauvet, E., Chergui, H., Gourbière, F. & Pattee, E. (1998): Microbial dynamics on decaying leaves in a temporary Moroccan river. I: Fungi. *Archiv für Hydrobiologie*, 144(1): 41-59.
- Maamri, A., Pattee, E. & Chergui, H. (1999): Microbial dynamics on decaying leaves in a temporary Moroccan river. II: Bacteria. *Archiv für Hydrobiologie*, 144(2): 157-175.
- Madsen, E. L. & Ghiorse, W. C. (1993): Groundwater microbiology: subsurface ecosystem processes. In: Ford, T. E. [Ed.]: *Aquatic microbiology*. Blackwell Scientific Press. Cambridge. 167-213.
- Malard, F. & Hervant, F. (1999): Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater. *Freshwater Biology*, 41: 1-30.
- Malard, F., Reygrobellet, J. L., Mathieu, J. & Lafont, M. (1994): The use of invertebrate communities to describe groundwater flow and contaminant transport in a fractured rock aquifer. *Archiv für Hydrobiologie*, 131(1): 93-110.
- Marchant, R. & Hynes, H.B.N. (1981): Field estimates of feeding rate for *Gammarus pseudolimnaeus* (Crustacea: Amphipoda) in the Credit River, Ontario. *Freshwater Biology*, 11: 27-36.
- Marmonier, P.; Bodergat, A. M.; Fontvieille, D. & Gibert, J. (1993): Ecological consequences of anthropic perturbation on groundwater-surface water interfaces. *International Workshop on Groundwater/Surface water Ecotones*. 5.-9. July, 1993 Lyon, France
- Mathieu, J. & Gibert, J. (1980): Évolution des teneurs en protéines, glucides et lipides de *Niphargus rhenorhodanensis* Schellenberg comparée entre l'élevage en milieu naturel reconstitué et le Jeûne expérimental. *Crustaceana / Supplement*, 6: 126-136.
- Merle, C. (1994): Etude expérimentale de l'activité des Oligochaetes Tubificidae sur les écoulements d'eau et les flux d'oxygène et de nitrate au niveau de l'interface eau X sédiment. Thesis, University of Lyon. Lyon.
- Montagna, P. A. (1984): Competition for dissolved glucose between meiobenthos and sediment microbes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 76: 177-190.
- (1995): Rates of metazoan meiofaunal microbivory: A review. *Vie et Milieu*, 45(1): 1-9.
- Mösslacher, F. & Creuzé des Châtelliers, M. (1996): Physiological and behavioural adaptations of an epigeal and

a hypogean dwelling population of *Asellus aquaticus* (L.) (Crustacea, Isopoda). Archiv für Hydrobiologie, 138: 187-198.

## N

Nakamoto, N., Yamamoto, M., Sakai, M., Nozaki, K., Iwase, N., Yasuda, M. & Kitada, T. (1996): Role of filamentous diatoms as an automatic purifier in a slow sand filter. In: Graham, N. & Collins, R. [Eds.]: *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. J. Wiley & Sons. Chichester. 139-148.

Naylor, C., Maltby, L. & Calow, P. (1989): Scope for growth in *Gammarus pulex*, a freshwater benthic detritivore. Hydrobiologia, 188/189: 517-523.

Nilsson, L. M. (1974): Energy budget of laboratory population of *Gammarus pulex* (Amphipoda). Oikos, 25: 35-42.

Noll, M. (1974): Die Besiedlung von Langsandsfiltern und ihre Beeinflussung durch Pestizide.

Veröffentlichungen des Institut für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Stadtwerke AG, Nr.19: 179 S.

## O

Obst, U., Alexander, I., and Mevius, W. (1990): Biotechnologie in der Wasseraufbereitung. 179 S. R. Oldenbourg Verlag. München, Wien.

## P

Paffenhöfer, G.-A. (1985): Calanoid Copepod feeding: grazing on small and large particles. In: Meyers, D. G. & Strickler, J. R. [Eds.]: *Trophic interactions within aquatic ecosystems*. 75-95.

Pennak, R. W. & Ward, J. V. (1986): Interstitial faunal communities of the hyporheic and adjacent groundwater biotopes of a Colorado mountain stream. Archiv für Hydrobiologie / Supplement, 74(3): 356-396.

Perlmutter, D. G. & Meyer, J.L. (1991): The impact of stream-dwelling harpacticoid copepod upon detrital associated bacteria. Ecology, 72: 2170-2180.

Peters, W. (1992): Peritrophic membranes. *Zoophysiology*. No.30, 239 S. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

Petersen, R. C., Cummins, K.W. & Ward, G.M. (1989): Microbial and animal processing of detritus in a woodland stream. Ecological Monographs, 59(1): 21-39.

Petersen, S. (1997): Untersuchungen zur Aufnahme gelöster freier Aminosäuren durch *Nais elinguis* Müller, 1774 (Oligochaeta, Naididae). Dissertation. 101 S. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock. Rostock.

Plenet, S., Gibert, J. & Marmonier, P. (1995): Biotic and abiotic interactions between surface and interstitial systems in rivers. Ecography, 18: 296-309.

Pleskot, G. (1953): Zur Ökologie der Leptophlebiiden (Insecta Ephemeroptera). Österreichische Zoologische Zeitschrift, 4: 45-107.

Pospisil, P., Danielopol, D. L. & Dreher, J. E. (1994): Measuring dissolved oxygen in simple and multi-level wells. In Stanford, J. A. and Valett, H. M. [Eds.]: *Proceedings of the Second International Conference on Groundwater Ecology*. Atlanta, USA. American Water Resources Association. 57-66.

Pusch, M. (1993): Community respiration in the hyporheic zone of riffles and pools. *International Workshop on Groundwater/Surface water Ecotones*. 5.-9. July, 1993 Lyon, France

Pusch, M. & Schwoerbel, J. (1994): Community respiration in hyporheic sediments of a mountain stream (Steina, Black Forest). Archiv für Hydrobiologie, 130(1): 35-52.

Pust, J. (1990): Untersuchungen zur Systematik, Morphologie und Ökologie der in westfälischen Höhlen aquatischen Höhlentiere. In: Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde 52. Jahrgang, Heft 4, 188 S. Westfälisches Museum für Naturkunde Landschaftsverband Westfalen-Lippe [Hrsg.].

## R

Racovitza, E.-G. (1950): Asellides: 1ère série: *Stenasellus*. Archives de Zoologie expérimentale et générale, 87: 1-94.

Ritterbusch, B. (1974): Zur Ökologie des tierischen Psammons in einem Sickerbecken der Berliner Wasserwerke und seine Bedeutung für die Reinigung von infiltriertem Oberflächenwasser (Teil II). Zeitschrift für angewandte Zoologie, 61(4): 463-494.

Rogulj, B., Marmonier, P., Lattinger, R. & Danielopol, D.L. (1994): Fine-scale distribution of hypogean Ostracoda in the interstitial habitats of the Rivers Sava and Rhône. Hydrobiologia, 287: 19-28.

Rumm, P. (1993): Untersuchungen zum Artenspektrum, zur Besiedlungsdichte und zur vertikalen Verteilung von Organismen in einem Langsamsandfilter unter besonderer Berücksichtigung der Cyclopoida und Acari. Diplomarbeit. 138 S. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg.

Rumm, P., Schmidt, H. & Hollwedel, W. (1998): Temporal and spatial distribution patterns of crustaceans inhabiting a slow sand filter. In: Peters, J. H. [Ed.]: *Artificial Recharge of groundwater*. 474 S. A.A. Balkema. Rotterdam, Brookfield. 135-139.

Rumm, P., Schmidt, H. & Schminke, H.K. (1997): Organismenaustrag aus Langsamsandfiltern. gwf-Wasser/Abwasser, 138(7): 355-361.

## S

Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik (7. Aufl.). Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

Schaefer, M. (1992): Wörterbücher der Biologie - Ökologie. (3. Aufl.) 433S. Gustav Fischer Verlag. Jena.

Schmidt, H. (1994): Untersuchungen zum Artenspektrum, zur Besiedlungsdichte und zur vertikalen Verteilung von Organismen in einem Langsamsandfilter unter besonderer Berücksichtigung der Harpacticoida, Ostracoda und Cladocera. Diplomarbeit. 135 S. Carl von Osietzky Universität, Oldenburg.

Schmidt, Kh. (1966): Das Langsamfilter als offenes biologisches System. In: Frank, W. H. [Hrsg.]: *Die künstliche Grundwasseranreicherung*. Veröffentlichungen der Hydrologischen Forschungsabteilung der Dortmunder Stadtwerke AG. (Nr. 9): 85-92.

Schmidt, W. D. (1985): Erfahrungen mit der Grundwasseranreicherung in der Bundesrepublik Deutschland. Gewässerschutz Wasser Abwasser, 69: 839-868.

Schminke, H. K. (1997): Heizelmännchen im Grundwasser. Biologie in unserer Zeit, 27(3): 182-188.

Schminke, H. K. & Glatzel, Th. (1988): Besonderheiten und ökologische Rolle der Grundwassertiere. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 139: 383-392.

Schwoerbel, J. (1961): Über die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebensraumes. Archiv für Hydrobiologie / Supplement, 25: 182-214.

--- (1967): Das hyporheische Interstitial als Grenzbiotop zwischen oberirdischen und subterranean Ökosystem und seine Bedeutung für die Primär-Evolution von Kleinsthöhlenbewohnern. Archiv für Hydrobiologie / Supplement, 33(1): 1-62.

--- (1993): Einführung in die Limnologie. (7. Aufl.), 387 S. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena.

Sear, D. A., Armitage, P.D. & Dawson, F.H. (1999): Groundwater dominated rivers. Hydrological Processes, 13: 255-376.

- Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F. & Bresinsky, A. (1991): Strasburger - Lehrbuch der Botanik. (33. Aufl.), 1033 S. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, New York.
- Stanford, J. A., Ward, J. V. & Ellis, B. K. (1994): Ecology of the alluvial aquifers of the Flathead River, Montana. In: Gibert, J.; Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.]: *Groundwater Ecology*. Aquatic Biology Series. Academic Press. San Diego, New York, Boston: 367-390.
- Strayer, D.L. (1994): Limits to biological distributions in groundwater. In: Gibert, J.; Danielopol, D. L. & Stanford, J. A. [Eds.]: *Groundwater Ecology*. Aquatic Biology Series. Academic Press. San Diego, New York, Boston: 287-310.
- Steenken, B. (1998): Die Grundwasserfauna - Ein Vergleich zweier Grundwasserlandschaften in Baden-Württemberg. Ecomed Verlagsgesellschaft. 160S. Umweltforschung in Baden-Württemberg.

## T

- Tattersall, W. M. (1928): On *Asellus cavaticus* Schiödte, a blind isopod new to the British fauna, from a well in Hampshire. Linnean Journal of Zoology, 37: 79-91.
- Thofern, E. (1990): Die Entwicklung der Wasserversorgung und der Trinkwasserhygiene in europäischen Städten vom 16. Jahrhundert bis heute, unter besonderer Berücksichtigung der Bochumer Verhältnisse. Festvortrag in Bochum aus Anlaß des 20jährigen Bestehens der Wasserbeschaffung Mittlere Ruhr GmbH, Bochum, 44 S.
- Torreiter, P.; Pitaksintorn Watanamahart, P. & Danielopol, D. L. (1994): The activity of oligochaetes in relation to their ecological role in slow filtration columns. In: Stanford, J. A. & Valett, H. M. [Eds.]: *Proceedings of the Second International Conference on Groundwater Ecology*. Atlanta, USA. American Water Resources Association, 85-94.
- Triska, F. J., Duff, J.H. & Avanzino, R.J. (1993): Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of a gravel-bottom stream: examining terrestrial-aquatic linkages. *Freshwater Biology*, 29: 259-274.
- (1993): The role of water exchange between a stream channel and its hyporheic zone in nitrogen cycling at the terrestrial-aquatic interface. *Hydrobiologia*, 251: 167-184.
- Turner, J. T. & Ferrante, J.G. (1979): Zooplankton fecal pellets in aquatic ecosystems. *Bioscience*, 29(11): 670-677.

## U

- Ullrich, B., Storch, V. & Schairer, H. (1991): Bacteria in the food, in the intestine and on the faeces of the woodlouse, *Oniscus asellus* (Crustacea, Isopoda). *Pedobiologia*, 35: 41-51.

## V

- Valett, H. M., Fisher, S.G. & Stanley, E.H. (1990): Physical and chemical characteristics of the hyporheic zone of a Sonoran Desert stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 9: 201-215.
- Vandel, A. (1965): *Biospeology. The Biology of cavernicolous animals*. 525 S. Pergamon Press. Oxford.

## W

- Ward, J. V., Bretschko, G., Brunke, M., Danielopol, D. L., Gibert, J., Gonser, T., Hildrew, A.G. (1998): The boundaries of river systems: the metazoan perspective. *Freshwater Biology*, 40: 351-569.
- Ward, J. V. & Palmer, M.A. (1994): Distribution patterns of interstitial freshwater meiofauna over a range of spatial scales, with emphasis on alluvial-aquifer systems. *Hydrobiologia*, 287: 147-156.
- Weber-Shirk, M. L. & Dick, R.I. (1997): Biological mechanisms in slow sand filters. *Journal of the American Water Works Association*, 89(2): 72-83.

- Westphal, B. (1996): Planktonalgen und Metazoen in Trinkwasserversorgungsanlagen. *gwf / Wasser Abwasser*, 137(5): 271-275.
- Westphal, B. & Rumm, P. (1997): Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung als Lebensraum für Metazoen. *DVGW-Schriftenreihe Wasser*, 90: 73-86.
- Wetzel, R. G. (1995): Death, detritus, and energy flow in aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 33: 83-89.
- Williams, D. D. & Hynes, H.B.N. (1974): The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream. *Freshwater Biology*, 4: 233-256.
- Wissmar, R. C., Stanford, J. A. & Ellis, B. K. (1997): Stable nitrogen isotope tracing of trophic relations in food webs of river and hyporheic habitats. In: Gibert, J.; Mathieu, J. & Fournier, F. [Eds.]: *Groundwater/surface water ecotones: biological and hydrological interactions and management options*. International Hydrology Series. Press Syndicate of the University of Cambridge. Cambridge, U.K. 166-171.
- Wotton, R. S., Chaloner, D. T. & Armitage, P. D. (1996): The colonisation, role in filtration and potential nuisance value of midges in slow sand filter beds. In: Graham, N. & Collins, R. [Eds.]: *Advances in slow sand filters and alternative biological filtrations*. J. Wiley & Sons. Chichester. 149-157.

## 10 Danksagung

Vorne steht nur ein Name, doch haben viele dazu beigetragen, daß diese Arbeit zustande gekommen ist. Allen gebührt mein herzlichster und aufrichtiger Dank.

Herrn Prof. Dr. H.K. Schminke danke ich nicht nur für den obligatorischen Arbeitsplatz, sondern vielmehr noch für seine Geduld, für zahlreiche konstruktive Anregungen und besonders für seine ansteckende Begeisterung in Sachen Grundwasserbiologie.

Herrn Prof. Dr. E. Vareschi danke ich für die spontane Übernahme des Zweitgutachtens.

Herrn Prof. Dr. A. Faubel, IHF Hamburg, danke ich für die freundliche Aufnahme in seinem Labor und für die Benutzung der genialen Respirationsanlage. Für die Hilfe bei der Einarbeitung daran danke ich Herrn Dr. Sven Petersen.

Der Firma Gelsenwasser AG danke ich für die finanzielle und logistische Unterstützung. Herrn Dr. B. Westphal, Gelsenwasser AG, danke ich für viele konstruktive Hinweise in trinkwasserbiologischen Belangen.

Den Herren Günther Nesch und Willi Henke, Wasserwerk Echthausen/Ruhr danke ich für die technische Unterstützung und die vielen Einblicke in die Praxis der Wassergewinnung.

Meinen lieben Kollegen aus der Grundwasserabteilung, Thomas Glatzel, James B. Enright, Edgar Egert, Hagen Schmidt und meiner „Exkollegin“ Beate Steenzen danke ich für ihre logistische und technische Hilfe – vor allem aber für fruchtbare Diskussionen, für ihre Ermunterungen und ihren Humor.

Den „Hiwis“ Annette Bär, Jessica Lange und Stefan Wolff danke ich für ihre Hilfe und ihre Bereitschaft auch noch das 5000. Pellet akkurat zu vermessen.

Kai Horst George danke ich dafür, daß er mir während der vergangenen Jahre nicht nur als statistisch versierter Kollege, sondern vor allem als Freund zur Seite stand und in manchem Sturmtief als Fels in der Brandung Halt und Orientierung bot.

Den „Ex- und Noch-Oldenburgern“ Angela Wischnewski, Andrea Mann, Ilva George, Andra Schromm,, Sven Günther, Andreas Rabenstein, Armin Rose, Peter Nickel und Anant Patel danke ich für ihre Ermunterungen und für ihr offenes Ohr zu allen Tages- und Nachtzeiten.

Thorsten Keim und Ingo Pommer, Hamburg, danke ich für das spontane Asyl und dafür, daß sie mir wochenlang ihr bequemes Sofa überließen.

Von ganzem Herzen und mit aller Liebe danke ich meiner Frau Barbara, meinen Eltern Anneliese und Artur und meinen Schwiegereltern Fritz und Gretel für ihre endlose Geduld, ihr Vertrauen, ihren ansteckenden hohenlohischen Humor und für zahlreiche Fahrten zum Würzburger Hauptbahnhof.

Wie ihr alle bin auch ich froh, daß es überstanden ist!

Hiermit versichere ich, daß ich diese Arbeit selbständig verfaßt und nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Oldenburg, 09. August 1999

Peter Rumm

## Lebenslauf

### Persönliche Daten:

Name: Peter Rumm  
 Geburtsdatum: 20. August 1965  
 Geburtsort: Schäftersheim  
 Familienstand: verheiratet

### Schulischer Werdegang:

1972 - 1973 Grundschule Oberstetten  
 1973 - 1976 Grundschule Bildungszentrum Niederstetten  
 1976 - 1985 Gymnasium Weikersheim  
 05. 1985 Allgemeine Hochschulreife

### Wissenschaftlicher Werdegang:

10. 1987 - 10. 1993 Studium der Biologie (Diplom) an der *Carl von Ossietzky Universität* Oldenburg. Haupt- und Nebenfächer: Zoologie, Ökologie (Limnologie), Botanik (Bodenkunde), Pädagogik (Erwachsenenbildung). Anfertigung einer Diplomarbeit mit dem Titel: „*Untersuchungen zum Faunenspektrum, zur Besiedlungsdichte und zur Vertikalverteilung der Metazoen in einem Langsandsandfilter unter besonderer Berücksichtigung der Cyclopoida und Acari*“.

10. 1993 Biologie Diplom

10. 1993 - 03. 1994 Wissenschaftliche Hilfskraft zur Betreuung des Zoologischen Grundpraktikums an der *C. v. O. Universität* Oldenburg.

05. 1994 - 12. 1999 Promotionsstudium und Anfertigen der vorliegenden Dissertation an der *C. v. O. Universität* Oldenburg in der Arbeitsgruppe Zoosystematik und Morphologie unter der Leitung von Prof. Dr. H. K. Schminke.

05. 1994 - 10. 1997 Wissenschaftlicher Angestellter in Forschung (*Nahrungsökologie von Grundwasserorganismen*) und Lehre (Praktika, Seminare, Exkursionen).

seit 07. 1998 Wissenschaftlicher Angestellter im Forschungsprojekt: *Bestimmungswerk für die deutsche Grundwasserfauna*.