©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Lauterbornia H. **21**: 1-38, Dinkelscherben, Oktober 1995

Vorkommen, Entwicklung und Populationsdynamik präimaginaler Kriebelmückenstadien (Simuliidae) in einem abwasserbelasteten Fließgewässer des Untermaingebietes

[Occurence, development and population dynamics of immature stages of black flies (Simuliidae) in a polluted tributary to the Lower Main River]

Uwe Krüger und Wolfgang Tobias

Mit 18 Abbildungen und 1 Tabelle

Schlagwörter: Simuliidae, Diptera, Insecta, Microsporidia, Sporozoa, Parasiten, Rodau, Main, Rhein, Hessen, Deutschland, Fließgewässer, Urbangewässer, Bach, Larve, Puppen, Methodik, Phänologie, Populationsdynamik, Autökologie, Ökologie, Saprobie

In der Region Untermain (Hessen) wurde die Simuliidenfauna eines begradigten, verschmutzten Fließgewässers untersucht. Von insgesamt 7 Taxa ist *Simulium latipes* der zweite Nachweis für Deutschland seit 1968. Die dominierernde Art sowohl in den gering als auch stark belasteten Bachstrecken war *S. ornatum*, gefolgt von. *S. angustipes* und *S. erythrocephalum*, die nur unterhalb von Kläranlagen auftraten. Die 3 Arten haben 7 Häutungsstadien bei 4-5 Generationen/Jahr. Es gibt artspezifische und saisonale Unterschiede in der vertikalen Besiedlung des Gewässers. Die Beziehung zwischen Populationsdichte der Larven und einigen abiotischen Parametern wurde statistisch geprüft und die saprobielle Einstufung wird diskutiert.

The blackfly fauna was examined in the drainage area of the Lower Main River (Hesse, Germany). The river stretch under consideration, one of the second-order Main tributaries, is regulated and in a large extent contaminated with municipal wastewaters. 7 taxa of blackflies were ascertained. One of them, *Simulium latipes,* represents the second proof for Germany since 1968. *S. ornatum* was the eudominant species both in the moderate as well as in the heavily polluted stretches. The next frequent species *S.angustipes* and *S.erythrocephalum* appeared only below the sewage treatment plants. Each of these 3 species has 7 larval moults of varying length and develops 4 to 5 generations per year. There have been observed specific and seasonal differences in the vertical colonization of the water body. The relation between population density of the larvae and some abiotic water parameters were examined, statistically prooved and the value of some simuliids is discussed as indicator organisms in the saprobicity system.

1 Einleitung

Zu den dringlichen Aufgaben der Wasserwirtschaft und des Naturschutzes gehören heute in dichtbevölkerten Regionen wie dem Untermaingebiet die Erhaltung und Pflege der wenigen naturnah belassenen Fließgewässer, optimierende Maßnahmen bei der Abwasserreinigung sowie in der Folge die ökotechnische Sanierung nutzungsabhängig veränderter Bachbiotope. Ökologische Defizite als Folge von Begradigung, Verrohrung oder Einbindung in das Kanalisationsnetz sind nicht allein bei kleinen Wasserläufen im urbanen Raum zu verzeichnen. Auch in stadtferneren Bächen sind Biotopschäden und biozönotische Veränderungen

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

überall dort besonders stark ausgeprägt, wo der Vorfluter Mehrfachbelastungen durch dezentrale Kläranlagenstandorte, Regenentlastungen, Wasserentnahmen, diffuse Düngemitteleinträge aus der Landwirtschaft und wasserbautechnische Veränderungen ausgesetzt ist.

Ein besonders anschauliches Beispiel für die übermäßige anthropogene Inanspruchnahme eines Fließgewässers mit seiner angrenzenden Aue bildet die Rodau im Landkreis Offenbach. An ihr lassen sich gut die komplexen ökologischen Wechselwirkungen zwischen Belastungseinflüssen und Gewässerbiozönose aufzeigen. Simuliidae gehören hier neben Chironomidae zur beherrschenden Komponente der Insektenfauna. Die vorliegenden Untersuchungen zielten darauf ab, vor dem Hintergrund der speziellen Biotopverhältnisse in der Rodau Aufschluß über Artenbestand, Habitatpräferenz und populationsdynamische Prozesse der Simuliidae zu gewinnen, auch im Hinblick auf saprobiologische Aspekte. Da Verbreitungsnachweise für das verstädterte, dicht besiedelte Rhein-Main-Gebiet und autökologische Beschreibungen der einheimischen Arten weitgehend fehlen, sollte diese Arbeit auch zur erweiterten Kenntnis dieser Dipterengruppe beitragen. So sind Studien über Vorkommen und Biologie hessischer Simuliidae weitgehend auf Mittelgebirgsarten ländlicher Gegenden beschränkt geblieben (ZWICK 1974, MARCUS 1975, RÜHM 1986). Ihre weite Verbreitung und die unterschiedliche ökologische Valenz einzelner Arten legen die verstärkte Berücksichtigung der Simuliidae in der biologischen Untersuchung der Gewässergüte nahe; z. B. sind in der DIN 38410 zur Bestimmung des Saprobienindex bisher nur zwei Spezies aufgenommen worden.

Die Arbeit stand im Zusammenhang mit ökotechnischen Planungen für ein Renaturierungsvorhaben der Stadt Obertshausen an der Rodau.

2 Untersuchungsgebiet

Die Rodau entwässert zuammen mit der Bieber die linksseitige Untermainebene oberhalb von Offenbach und mündet nach 27,3 km bei Mühlheim in den Main (Abb. 1). Das Niederschlagsgebiet von Rodau und Bieber beträgt 163,64 km², in Nord-Süd-Richtung 19,35 km, in Ost-West-Richtung 12,85 km. In nassen Jahren fallen hier bis zu 1500 mm Niederschlag, im Mittel jedoch nur 650-700 mm. Das Gesamtgefälle beträgt 117,8 m, es ist schon nach etwa 7 km Fließstrecke mit 1 bis 2 ‰ gering, nur in der Nähe der Quelle im Messeler Hügelland ist es etwas höher, so daß hier von einem Mittelgebirgsbach gesprochen werden kann. Der größte Teil des Laufes entwickelt sich im Rhein-Main-Tiefland, hier ist die Rodau ein Gewässer 2. Ordnung und fließt fast durchgängig durch urbanes Gebiet. Der Bach ist begradigt bei trapezförmigem Bett, so daß Hochwasserwellen schnell abgeführt werden. Das ursprüngliche Bachbett wurde schon seit dem 16. Jahrhundert verändert und ist heute kaum noch rekonstruierbar, der jetzige Fließverlauf ist auf den Ausbau von 1963 zurückzuführen.

Die Geologie des Untersuchungsgebietes wird durch quartäre Schotterterrassen des Mains mit sandigen und sandig-tonigen Ablagerungen bestimmt. Vor allem pleistozäne fluviatile Hoch- und Mittelterrassen mit Flugsanden und Dünen sind verbreitet. Aufgrund der Durchlässigkeit der alluvialen Ablagerungen ist die Flußdichte des Gebietes sehr gering, so daß ein natürlicher Mangel an Vorflutern besteht, um die anfallende Abwasserlast aufzunehmen. Gebietsweise kommt es zur Versickerung von Rodauwasser. Im oberflächennahen Grundwasser können Kontaminationen durch Eisen-, Mangan-, Chlorid- und Nitratverbindungen nachgewiesen werden.

Die angegliederten Gemeinden führen ihr Abwasser über zwei Kläranlagen in die Rodau. Nach nur 6 km Fließstrecke erfolgt die Einleitung durch die KA Rödermark-Ober-Roden (EW 38.000) nach weiteren 11,5 km durch die KA Rodgau-Weiskirchen (EW: 63.500). Die Weiskirchener Anlage wurde 1992 mit einer Nitrifikations-Denitrifikationsanlage und Phosphatfällung ausgerüstet. Für

O.Ö. LANDESMUSEUM
BIBLIOTHEK
Inv.Nr. 1656/1999

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

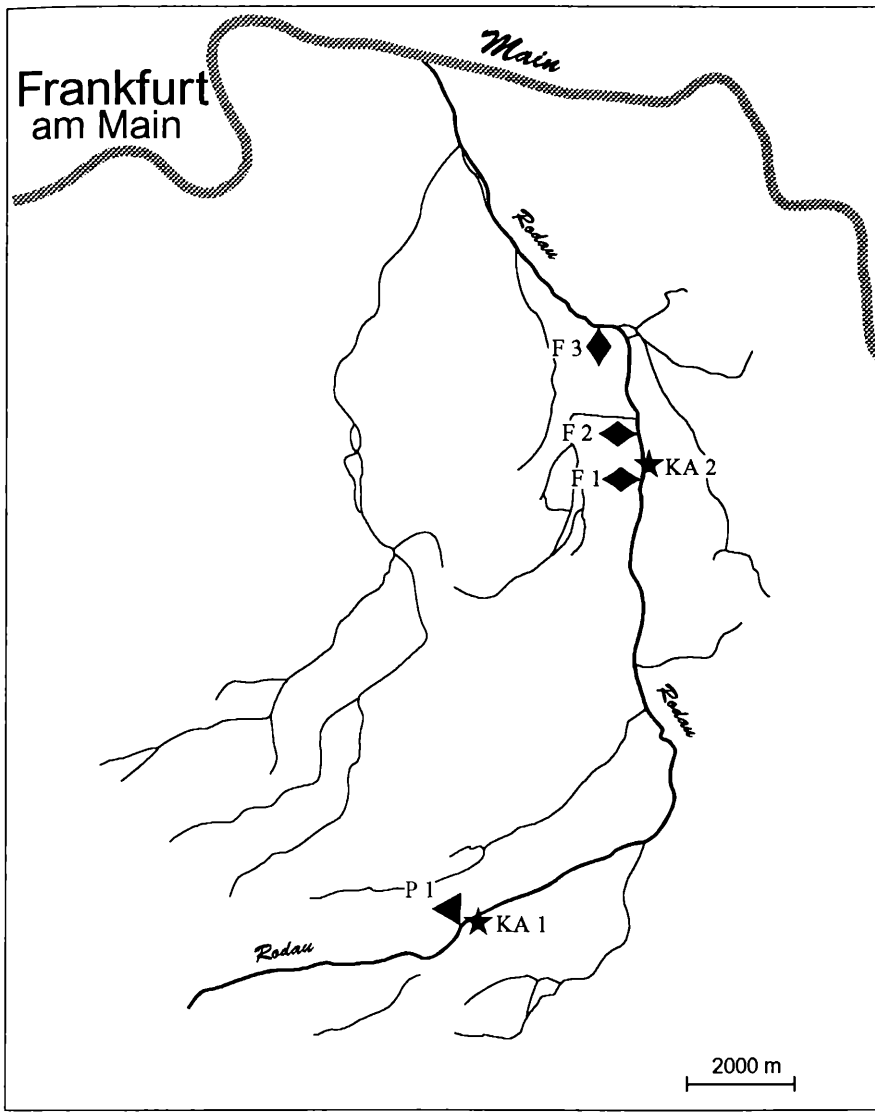


Abb. 1: Gewässersystem der Rodau. - KA 1 = Kläranlage Rödermark-Ober-Roden; KA 2 = Kläranlage Rodgau-Weiskirchen; P 1 und F 1 - F3 = Probenentnahmestellen

die Ober-Rodener Anlage sind zur Zeit entsprechende Ausbaumaßnahmen im Gange, so daß im Untersuchungszeitraum die Klärleistung stark eingeschränkt war.

An den Stationen P1, F1, F2 und F3 wurden Wasserproben entnommen und biologische Aufsammlungen durchgeführt (Abb. 1, Tab. 1). Die Auswahl der Stellen wurde neben der guten Zugänglichkeit von der Entfernung zur Kläranlageneinleitung bestimmt. An den Stationen F1 bis F3 wurden künstliche Substrate exponiert (F = Flottierende Streifen).

I 93423/21

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Wichtige Strukturparameter und hydrochemische Meßdaten der Rodau 1993 bis 1994 (Minimum-, Median- und Maximalwerte)

Probestelle	P1			F1			F2			F3		
Bach-km	5,8			17,5			18			20,6		
	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Wasser-temperatur (°C)	0	10,6	16,1	0,2	12,5	18,4	3,9	14,65	21,2	3,5	14,7	22,3
Leitfähigkeit (µS)	465	547,5	575	189	1054	1403	218	1082	1407	224	1051	1392
pH-Wert	7,3	8,05	8,89	7,3	7,72	8,15	7,2	7,8	8,03	7,05	7,63	7,94
Sauerstoff-gehalt (mg/l)	7,7	10,95	15,1	1,5	7	12,7	4,5	8,45	11,5	3,5	7,4	11
Sauerstoff-sättigung (%)	76	97,5	119	16	63	88	47	78	92	38	71	86
BSB_5	2,5	4,85	15,5	7,6	20,4	59,5	5,3	14,55	39	6,1	16,2	29,2
Ammonium-Stickstoff (mg/l)	0,018	0,06	0,34	4,8	24	40	1,29	12	21,9	1,38	11,5	22,9
Nitrat (mg/l)	9,02	11,55	14,01	0,85	1,91	7,29	3,15	6,34	12,25	2,67	5,18	12,16
ortho-Phosphat (mg/l)	0,034	0,063	0,084	0,076	0,205	0,412	0,043	0,187	0,599	0,062	0,166	0,437
Abfluß (l/s)	20	42	98	70	91	412	139	228	582	183	246	677
Fließgeschw.(m/s) bei mittlerem Abfluß	0,3			0,25			0,45			0,3		
Bachbreite (m) bei mittlerem Abfluß	1,0			2,0			2,6			2,6		
Wassertiefe (m) bei mittlerem Abfluß	0,1			0,35			0,3			0,35		
Beschattung im Tagesverlauf (%)	20			30			5			20		
Bodensubstrat	Sand, Kies, Steine			Sand, Schlamm			Sand, Kies, Steine			Sand		

Die Stelle P1 liegt etwa 100 m oberhalb der ersten Kläranlageneinleitung. Die Rodau ist auch hier schon begradigt, die Ufer sind aber naturnah und beschatten während der Vegetationsperiode das schmale Gerinne. Die Umgebung besteht hier hauptsächlich aus Wiesen und Brachland sowie Ackerland. Unterhalb der Kläranlage Ober-Roden ist das Bachbett künstlich erweitert und eine nitrophile Pflanzengesellschaft dominiert im Uferbereich, die Substratverhältnisse gleichen der Stelle P1. Bis zur nächsten Probestelle durchfließt die Rodau mehrere aneinandergrenzende Orte mit hoher Versiegelung; erst unterhalb von Weiskirchen tritt nach etwa 10 km Fließstrecke die dichte Bebauung wieder zurück und wird durch land- bzw. forstwirtschaftliche Monokulturen ersetzt. An der Stelle F1 kurz oberhalb der zweiten Kläranlage ist die Fließgeschwindigkeit verringert, entsprechend der Schlammanteil im Gewässer erhöht. Hier sorgen Weiden und Pappeln streckenweise für eine Beschattung. Die Einleitungen der Kläranlage Weiskirchen führen zu einer Vervielfachung des Abflusses, so daß an der Probestelle F2 teilweise turbulente Abschnitte auftreten. Das Substrat ist hier gröber und besteht neben Sand aus Kies und Steinen. Hier traten außer *Cladophora rivularis* auch *Callitriche palustris*, *Potamogeton nodosus* und *Elodea canadensis* auf. Im weiteren Verlauf unterhalb der Einleitungsstelle ist das Ufer trapezförmig ausgebaut mit Stangenbeschlächt.

3 Methodik

Die Untersuchung erstreckte sich vom 16.03.1993 bis zum 06.04.1994. Zur Charakterisierung der Wasserqualität sowie für Korrelationsvergleiche wurden folgende physikalisch-chemische Parameter wöchentlich gemessen: Wassertemperatur, elektrolytische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt. In monatlichen Abständen wurden BSB_5, NH_4-N, NO_3-N und PO_4-P nach den DEV im Labor bestimmt sowie die Abflußmenge ermittelt. An den Probestellen F1-F3 wurden außerdem in unregel-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

mäßigen Zeitabständen mit einem Meßflügel die Fließgeschwindigkeit und nephelometrisch die Trübung bestimmt.

3.1 Die Streifen-am-Draht-Methode

Unterschiede in der Artenzusammensetzung an verschiedenen Stellen können substratbezogene Ursachen haben. Das Einbringen künstlicher, identischer Substrate war ein Versuch, diesen Aspekt zu nivellieren. Ein geeignetes künstliches Besiedlungssubstrat für die Rodau sollte folgende Voraussetzungen erfüllen:
- Die Oberfläche darf wegen der zu erwartenden hohen Besiedlungsdichte nicht zu groß, sollte aber auch nicht zu klein sein, um gesicherte Ergebnisse zu erhalten.
- Es sollte den natürlichen Besiedlungssubstraten möglichst ähnlich sein.
- Auch die Erstlarven der Simuliidae sollten sicher erfaßt werden.
- Die Strömungsverhältnisse an den Probenstellen sollten sich durch das künstliche Substrat möglichst wenig verändern.
- Das wiederholte Einbringen sollte exakt an der gleichen Stelle möglich und die Entnahme schnell und ohne Verlust an abdriftenden Tieren durchführbar sein.
- Eine hochwassersichere Befestigung muß gewährleistet sein.

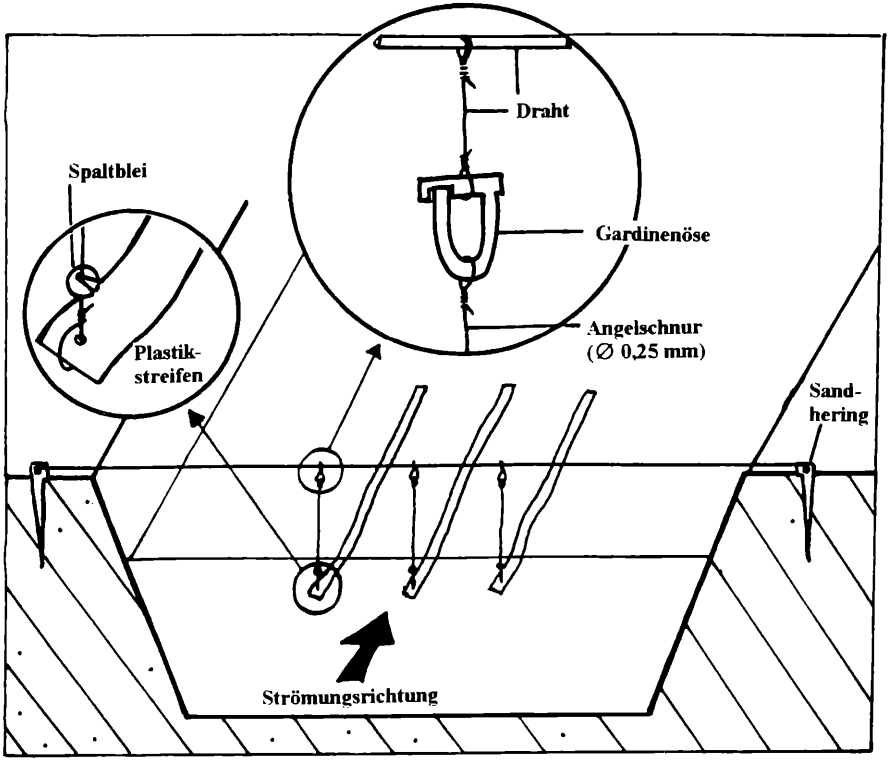


Abb. 2: Versuchsanordnung der "Streifen-am-Draht-Methode"

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Neben der Exposition von perforierten Ziegelsteinen im Bachbett, die an einem Gewindestab höhenverschiebbar montiert wurden, eigneten sich für die Untersuchungen am besten schmale Plastikstreifen, die entsprechend der Abbildung 2 verwendet wurden (vgl. CARLSSON & al. 1981, PEGEL & RÜHM 1976, RÜHM & PEGEL 1986). Dabei wurde an den Stellen F1, F2 und F3 ein 3 mm starker Draht quer über das Bachbett gespannt und mit starken Sandheringen etwa 1 m über der Mittelwasserlinie in der Uferböschung befestigt. Das Besiedlungssubstrat bestand aus graufarbener Polyethylenfolie mit einer Oberfläche von 100 cm² (1 cm breit, 15 cm lang), die an einer Gardinenhalteöse austauschbar befestigt war. Die Farbe des künstlichen Substrates spielt nach LEWIS & BENNETT (1975) bei der Besiedlung durch Larven der Simuliidae keine Rolle. Kurz oberhalb der Streifen wurden Bleikügelchen angebracht, um diese auch bei starker Strömung unter Wasser zu halten.

An jeder Probenstelle wurden drei Plastikstreifen bis 08.12.93 ein- und zweiwöchig exponiert. Danach nur noch alle 14 Tage, da sich die Entwicklungsdynamik der Larven im Winter verlangsamt. Die Streifen wurden zusammen mit den Larven in bereitgestellte Weithalsflaschen mit 70 % Alkohol gegeben, im Labor bestimmt und das jeweilige Larvenstadium ermittelt. Weil ab Januar 1994 nur noch wenige Larven auf den Streifen gefunden werden konnten, wurden bis April 94 alle natürlichen Substrate an den Untersuchungsstellen nach der Zeitsammelmethode (catch per effort) abgesucht.

3.2 Determination

Da eine exakte Artdiagnose in manchen Fällen nur mit Genitalpräparaten der Adulttiere möglich ist, wurden Larven und Puppen zusätzlich im Labor bis zu den Imagines aufgezogen. ZWICK (1974) folgend wurden die Fliegen erst etwa 24 Stunden nach dem Schlüpfen dem Aufzuchtbehälter entnommen, um ein vollständiges Aushärten der zur Artbestimmung wichtigen Genitalanhänge zu ermöglichen.

Als Bestimmungsliteratur wurde benutzt: DAVIES (1966), DAVIES (1968), JENSEN (1984), KNOZ (1965), RUBTSOV (1962), RUBZOW (1964) und SMART(1944). Die Taxonomie und Nomenklatur der einheimischen Simuliidae wurde von ZWICK (1993) aktualisiert, so daß die dort aufgestellte "Checklist" bei der Benennung der Arten verwendet werden konnte.

3.3 Ermittlung der Kopfkapsellänge bei Kriebelmückenlarven

Populationsdynamik und Larvalentwicklung mitteleuropäischer Kriebelmückenarten sind noch unzureichend bekannt, teilweise widersprechen sich die Ergebnisse (HARROD 1964, KACANSKI 1966, POST 1983, RÜHM & SANDER 1975, SCHRÖDER 1980 b, ZWICK 1974). Es erschien deshalb sinnvoll, die Alterszusammensetzung der Larven anhand morphometrischer Kriterien und die zeitliche Dynamik ihres Auftretens in der Rodau mit den bisherigen Befunden zu vergleichen. Eine dafür geeignete Methode ist die Bestimmung der Kopfkapsellänge. Dazu wurde die kürzeste Entfernung zwischen der dorsalen Diaphragma-Ecke einer Mandibel und dem Kaudalrand der Kopfkapsel mit Hilfe eines Okularmikrometers gemessen (vgl. ZWICK 1974). Diese Strecke konnte bei 50facher Vergrößerung mit einer Genauigkeit von $\pm 12{,}5$ μm unter der Stereolupe direkt in Skalenteilen abgelesen werden. Die Zuordnung des Larvenalters konnte durch morphologische Besonderheiten einzelner Stadien abgesichert und überprüft werden. So besitzen alle Erstlarven der Simuliidae einen Eizahn auf dem Clypeus, mit dem sie beim Schlüpfen das Chorion aufreißen. Das letzte Stadium ist an den dann deutlich entwickelten Atemfäden ebenfalls gut erkennbar. Für die Artbestimmung der jüngsten Kriebelmückenlarven mußten mikroskopische Präparate angefertigt und Spezialliteratur hinzugezogen werden (KACANSKI 1966, PODSZUHN 1967, RÜHM & SANDER 1975).

Larven, die verletzt, mit Parasiten befallen oder nicht eindeutig bestimmbar waren, wurden nicht berücksichtigt. Der Anteil dieser Larven betrug im Höchstfall 16,6 % der Individuen eines Streifens in den allermeisten Fällen aber nur zwischen 0 und 7 %.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

4 Ergebnisse

4.1 Artenspektrum

Das Artenspektrum der Simuliidae wird durch die ungenügend gereinigten Abwässer der KA Ober-Roden grundsätzlich verändert, die Auswirkungen der klärtechnisch optimierten KA Weiskirchen sind qualitativ weniger deutlich ausgeprägt - quantitative Unterschiede treten jedoch auf. Oberhalb der KA Ober-Roden (Station P1) konnten folgende Arten nachgewiesen werden, wobei in einigen Fällen die Determination bis zur Art nicht möglich war, da nur Einzelexemplare oder unbestimmbare Stadien vorlagen.

Simulium (Eusimulium) aureum-Gruppe
Simulium (Hellichiella) latipes (MEIGEN 1804)
Simulium (Simulium) ornatum MEIGEN 1818
Prosimulium tomosvaryi (ENDERLEIN 1921)
Simulium (Nevermannia) vernum MACQUART 1826
Simulium (Nevermannia) vernum-Gruppe

Direkt unterhalb der Kläranlage Ober-Roden traten nur vereinzelt Präimaginalstadien von Simuliidae auf, erst an den Stationen F1 (oberhalb KA Weiskirchen) sowie F2 und F3 (unterhalb KA Weiskirchen) wurden regelmäßig nachstehende Arten aufgefunden:

Simulium (Eusimulium) angustipes EDWARDS 1915
Simulium (Boophthora) erythrocephalum (DE GEER 1776)
Simulium (Simulium) ornatum MEIGEN 1818

Damit sind in der Rodau mindestens sieben Arten festgestellt worden, wobei sechs im oberen relativ unbelasteten Gewässerabschnitt vorkommen und nur drei Arten unterhalb bedeutender Abwassereinleitungen. Belegstücke der Arten sind im Senckenberg-Museum unter den entomologischen Sammlungsnummern SMFDipt 3680-3686 deponiert.

4.2 Vergleich der Besiedlung auf natürlichen und künstlichen Substraten

Um die grundsätzliche Brauchbarkeit der flottierenden Streifen als Besiedlungssubstrat zu überprüfen, wurden exemplarisch künstliche und natürlich vorkommende Substrate verglichen. Die Larvendichte ist auf natürlichem Substrat höher als auf den Plastikstreifen (Abb. 3). Eindeutig erkennbar ist jedoch, daß sowohl die Besiedlung der Gräser als auch die auf den Streifen unterhalb der KA Weiskirchen wesentlich höher ist als oberhalb. Biotoppräferenzen und Dichteverhältnisse werden also bei der Besiedlung der Plastikstreifen realistisch wiedergegeben.

Betrachtet man die lokale Verteilung der einzelnen Kriebelmückenarten, so ergibt sich folgendes Bild: *S. ornatum* erreicht auf den abgesammelten natürlichen Blättern eine Dichte von mehr als 25.000 Tieren/m² und zwar ober- und unterhalb der Abwassereinleitung. Die tatsächliche Besiedlung von *S. ornatum* wird auf den Streifen unterhalb der Kläranlage gut wiedergegeben, an Stelle F1 erreicht die Dichte auf den Streifen jedoch nur 1/5 der auf einem Grasblatt ermittelten Dichte. Ähnlich ist das Verhältnis unterhalb der Kläranlage für *S. an-*

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

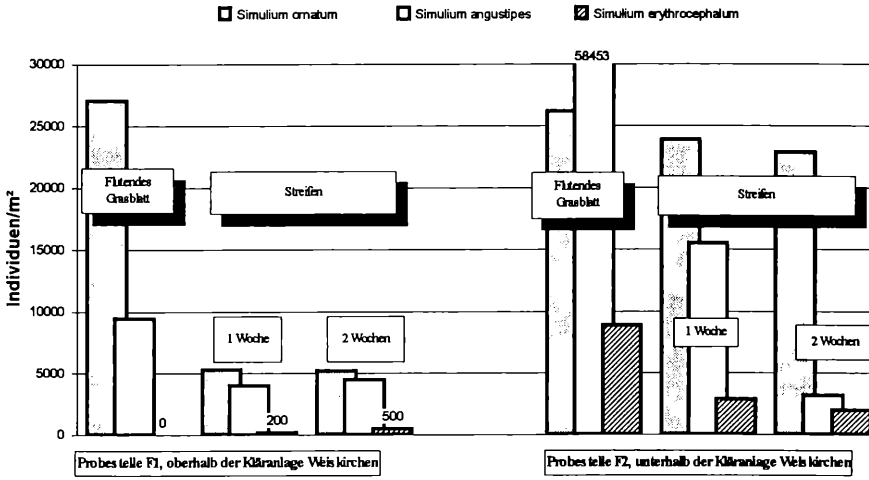


Abb. 3: Abundanzwerte der Kriebelmückenlarven am 09.09.93 auf im Wasser flottierenden Pflanzenblättern und unterschiedlich lange exponierten Plastikstreifen (Individuenanzahl/m²)

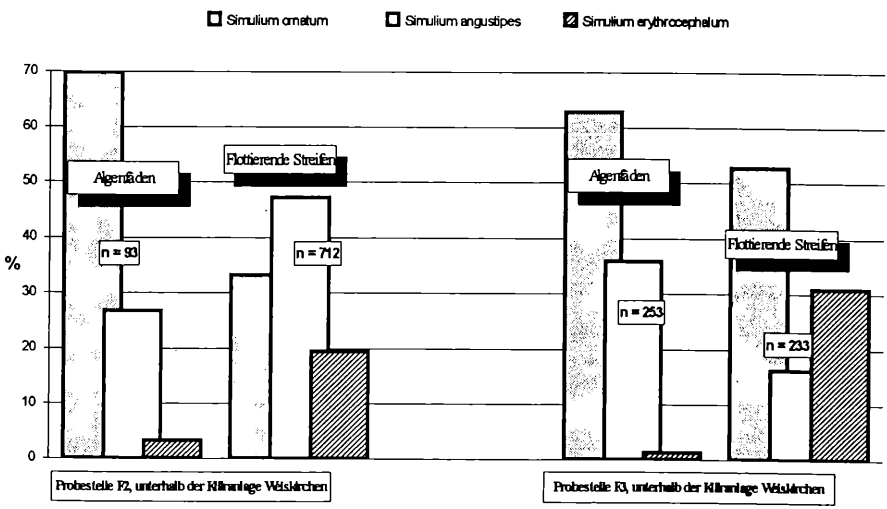


Abb. 4: Relative Anteile der Kriebelmückenlarven am 26.08.93 auf *Cladophora rivularis* und künstlichen flottierenden Streifen

gustipes. Auch hier ist die Abundanz auf dem natürlichen Substrat wesentlich größer als auf dem künstlichen. Eine längere Expositionszeit der Streifen bringt keine Angleichung der Ergebnisse, obwohl dies zu vermuten gewesen wäre, da die Blätter mit hoher Wahrscheinlichkeit schon länger im Wasser fluteten und somit die zwei Wochen lang exponierten Streifen eher den natürlichen Besied-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

lungssubstraten entsprechen müßten. Auf die Dichteverteilung von *S. ornatum* und *S. erythrocephalum* scheinen die unterschiedlichen Expositionszeiten keinen Einfluß zu haben, während die Abundanz von *S. angustipes* an Stelle F2 nach zweiwöchiger Exposition deutlich geringer ist.

Neben verschiedenen uferseitig im Wasser hängenden Gräsern und *Urtica dioica* traten unterhalb der Kläranlage Weiskirchen vom 02.-22.07. sowie vom 19.08.-16.09.93 Massenentwicklungen der Fadenalge *Cladophora rivularis* auf (Abb. 4). *Cladophora* ist für *S. ornatum* ein geeignetes Besiedlungssubstrat auf dem sich die Larven sogar verpuppen können. *S. angustipes* kann dieses Substrat ebenfalls besiedeln und als Puppenunterlage nutzen; die Art scheint aber keine Substratpräferenz zu besitzen. Dagegen läßt sich für *S. erythrocephalum* ein Trend zur Besiedlung flächiger Substrate feststellen.

4.3 Räumlich-zeitliche Änderungen im Artengefüge

Unterhalb der Kläranlageneinleitung treten sowohl Verschiebungen der Abundanz als auch Änderungen in der Artenzusammensetzung auf (Abb. 5). Oberhalb der KA Weiskirchen dominiert im Hochsommer bis Ende Oktober *S. angustipes* regelmäßig 80 %). Einzige Ausnahme ist die Woche vom 09.-16.09.93, die in die Zeit des größten Algentreibens unterhalb der Kläranlageneinleitung fällt. Zum Jahresende nimmt der Anteil von *S. angustipes* an allen Probestellen kontinuierlich ab, oberhalb der Kläranlage jedoch sukzessiv und zeitlich leicht verzögert. Dagegen verschwindet die Art dort im Dezember völlig, während sie unterhalb auch im Winter aufzufinden war. Die hohen Larvendichten im Spätherbst sind auf die überwinternde Generation von *S. ornatum* zurückzuführen, die an der Stelle F2 94 % aller Larven erreicht. Eine Änderung der Artenzusammensetzung durch Hochwasser im Sommer und Herbst tritt nicht auf; so manifestierte sich beispielsweise die erhöhte Präsenz von *S. ornatum* im September auch nach dem Hochwasser am 15.09.93.

4.4 Anzahl der Larvenstadien

Die Altersbestimmung nach den natürlichen Häutungsstadien wurde für den Zeitraum von August 1993 bis April 1994 durchgeführt. Die in den Abbildungen 6-8a dargestellten Larven werden als Sommergeneration bezeichnet, die der Abbildungen 6-8b als Wintergeneration.

S. ornatum entwickelt in der Rodau bei Sommer- und Wintergeneration sieben Larvenstadien. Die Entwicklung der überwinternden Generation bis zum vierten Häutungsstadium ist besonders rasant, erst dann kommt es zum typischen Größenzuwachs der diapausierenden Larven, so daß die im Frühling schlüpfenden Adulttiere aus sehr großen, sich langsam entwickelnden Larven hervorgehen.

Ebenfalls sieben Häutungsstadien lassen sich bei *S. angustipes* nachweisen (Abb. 7), wobei die Stadien der Wintergeneration nicht vollständig erfaßt werden konnten, da das zweite Häutungsstadium fehlt (Abb. 7b). Der sonst typische Abfall der Häufigkeiten zwischen zwei Larvenstadien fehlt bei *S. angustipes* zwischen dem Eizahnstadium und dem zweiten Stadium (Abb. 7a). Dies ist zwar

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

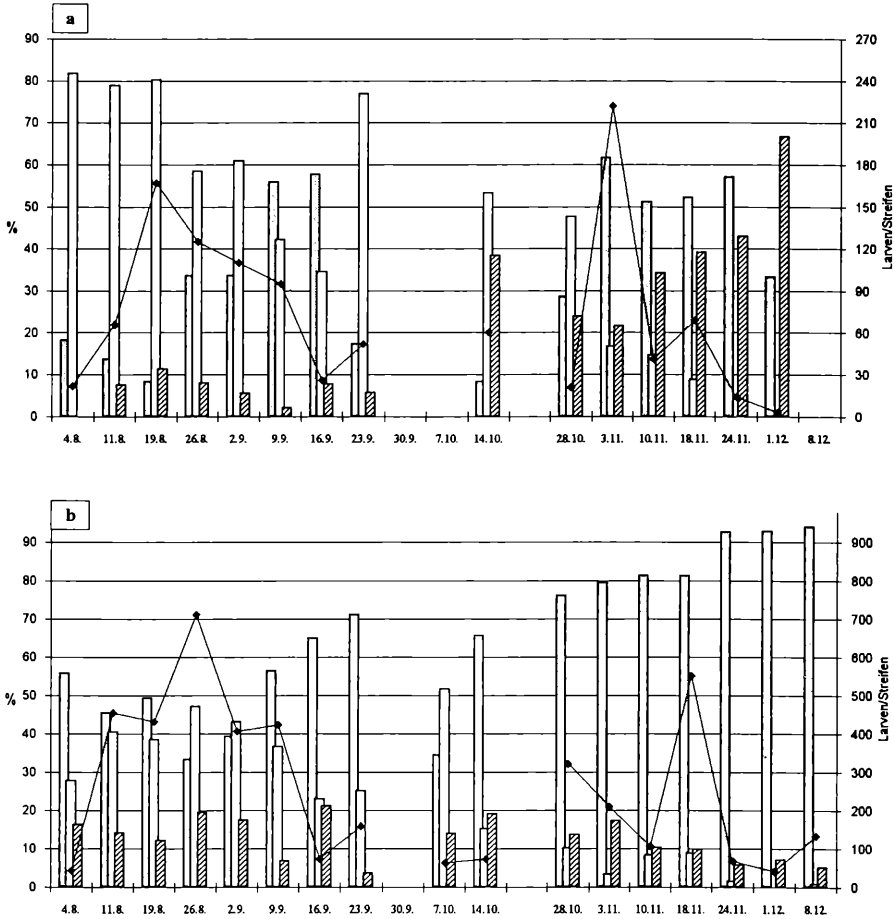


Abb. 5: Simuliidae oberhalb der Kläranlage Weiskirchen (a) und unterhalb (b) - grau = *S. ornatum*; weiß = *S. angustipes*; quer gestreift = *S. erythrocephalum*. Auf der z-Achse ist die Gesamtzahl aller Larven je Streifen aufgetragen (Raute). Die besiedelbare Oberfläche der Streifen beträgt 100 cm²

methodisch bedingt und von der Vergrößerung bzw. der Skalierung des Meßokulars abhängig, zeigt aber, daß die Größenunterschiede zwischen dem ersten und zweiten Larvenstadium bei *S. angustipes* deutlich geringer sind als bei den beiden anderen daraufhin untersuchten Arten. Im Gegensatz zu *S. ornatum* verlangsamt sich zum Jahresende bei *S. angustipes* schon mit dem vierten Larvenstadium die Häutungsfrequenz. Entgegen den beiden anderen untersuchten Arten konnten bis zum 06.04.94 noch keine Puppen von *S. angustipes* gefunden werden, so daß davon ausgegangen werden muß, daß das Größenwachstum der Alt-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

larven noch nicht abgeschlossen war: die Kopfkapsellängen der ältesten LVII-Larven fehlen deshalb in Abb. 7b.

S. erythrocephalum erreichte den geringsten relativen Anteil der Simuliidae an der Stelle F2. Die in der Abbildung 8a und b wiedergegebenen Ergebnisse zeigen auch für diese Art das Auftreten von sieben Larvenstadien. *S. erythrocephalum* überwintert in der Rodau im sechsten Larvenstadium.

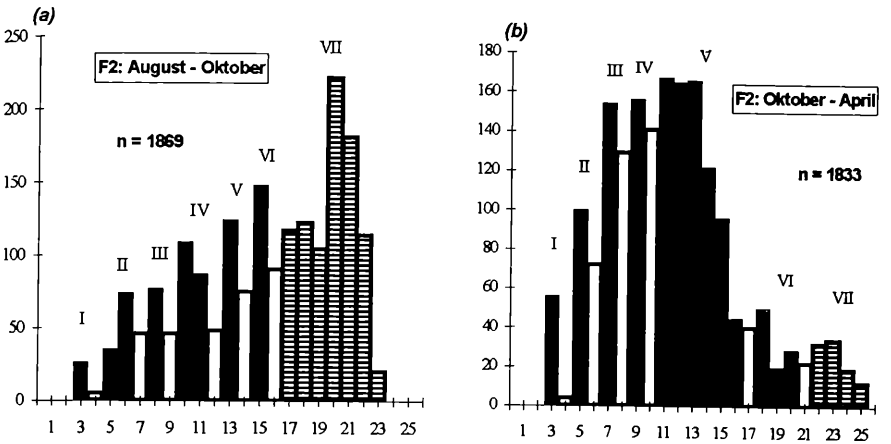


Abb. 6: Kopfkapsel-Längen und Anzahl der Larvenstadien von *S. ornatum*. - Abszisse: Kopfkapsellänge in Skalenteilen (1 Skt.= 25 µm); Ordinate: Anzahl der Larven. Kopfkapsellängen, deren Zuordnung eines Larvalstadiums sicher erscheinen, sind schwarz dargestellt, unsichere weiß und Larven mit deutlich ausgebildeten Atemfäden gestreift wiedergegeben

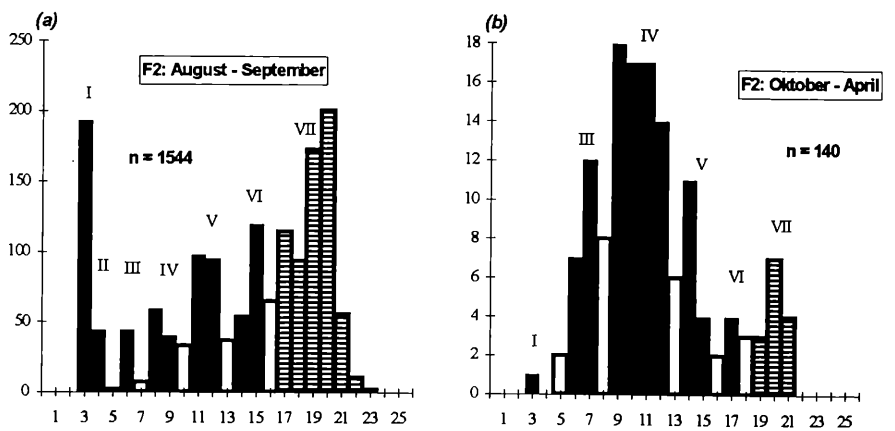


Abb 7: Kopfkapsellängen und Anzahl der Larvenstadien von *S. angustipes*. Musterung und Beschriftung wie Abb. 6

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

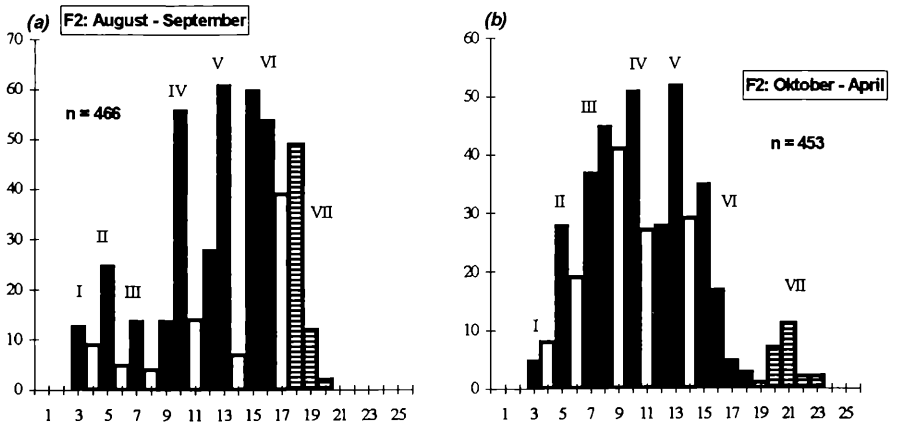


Abb. 8: Kopfkapsellängen und Anzahl der Larvenstadien von *S. erythrocephalum*. Musterung und Beschriftung wie Abb. 6

4.5 Generationszyklen und phänologische Betrachtungen

Ausgehend von der Unterscheidung der Larvenstadien wurde versucht, die verschiedenen Altersklassen in einen zeitlichen Zusammenhang zu bringen, um so Lebenszyklen der Simuliidae beschreiben zu können. Die Ergebnisse sind besonders eindeutig in der zweiten Jahreshälfte 1993 und weniger sicher zu Beginn des Jahres. Es wurden nur die sicher einem Häutungsstadium zuzuordnenden Larven aus den Abbildungen 6-8 verwendet (schwarze und gestreifte Balken).

Aufgrund der lückenlosen Darstellung und der großen Anzahl der ausgewerteten Larven von *S. ornatum* ist die Entwicklung der aquatischen Stadien ab August gut nachzuvollziehen: Zum Ende des Winters am 08.03.93 wurden außer jüngsten Larven alle Stadien inklusive Puppen gefunden (Abb. 9). Die Puppen entstammen der überwinternden Generation 1992/93; zumindest die mittleren Larvenstadien LIII und LIV sind schon der ersten Generation zuzurechnen. Dies kann als sicher gelten, falls erstens *S. ornatum*, wie für den Winter 1993/94 beschrieben wurde, im fünften Larvenstadium die kalte Jahreszeit überdauert, und zweitens ein Temperaturanstieg die Verpuppung induziert. Letzteres ist für *S. ornatum* und *S. erythrocephalum* unterhalb der Kläranlage aus Abb. 9 und 11 gut ersichtlich. Das Auftreten von Puppen am 13.05., vor allem aber der mit 76 % hohe Anteil von LVII-Larven deutet auf das Ende der ersten Generation im Mai hin. Am 24.06. traten erneut viele Altlarven auf, deren Verpuppung am 07.07. weitgehend abgeschlossen ist, so daß bis Mitte Juli die Fliegen der zweiten Generation geschlüpft sein müßten.

Anfang August waren die meisten Larven der dritten Generation fertig verpuppt, und mit dem Höhepunkt der Wassertemperaturen am 11.08. fanden sich wieder besonders viele LI- und LII-Larven der vierten Generation auf den Streifen. Der Entwicklungsabschluß der vierten Generation kann auf den 23.09. und das Schlüpfen der überwinternden fünften Generation auf Anfang Oktober fest-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

gelegt werden. Bei ausreichender Wassertemperatur können noch bis Ende November hinein Junglarven schlüpfen (Abb. 9).

Die Verpuppung der LVII-Larven im Frühling korreliert mit dem Anstieg der Wassertemperatur, wobei die meisten Puppen zwar am 10.03. bei 11 °C gefunden wurden, die ersten Puppen nach dem Winter aber bereits am 09.02. auftraten, bei nur 6,6 °C. Die Entwicklungsdauer der vierten Generation vom ersten Larvenstadium bis zur Verpuppung beträgt 43 Tage, die der überwinternden Generation 155 Tage.

Präimaginalstadien von *S. angustipes* unterhalb der Kläranlage konnten im März 1993 nicht gefunden werden, im Mai nur eine einzelne ältere Larve, die jedoch noch keine vollständig entwickelten Atemfäden besaß und zur ersten Jahresgeneration gerechnet werden muß, da 1994 bei geringerer Wassertemperatur als im Vorjahr schon Ende März LVII-Stadien auftraten. Die im Juni gefundenen Altlarven und Puppen dürften das Ende der ersten Generation markieren (Abb. 10). Ähnlich sieht die Alterszusammensetzung Anfang August aus, hier könnte das Ende der zweiten Generation vorliegen. Die nächste Generation entwickelte sich vor dem 11.08., deren Individuen entsprechend dem hohen Anteil von Puppen um den 23.09. schlüpften. Am 26.08. fanden sich mit 55 % besonders viele Junglarven auf den Streifen, hier kann es sich aber wegen des kurzen Zeitraums nicht um eine neue Generation handeln. Die bis Ende September aufgefundenen Junglarven sollen deshalb alle der dritten Generation zugerechnet werden, ihre Larvalentwicklung müßte bis Anfang November abgeschlossen gewesen sein, da hier letztmalig Puppen aufgesammelt werden konnten. Die Anfang Oktober geschlüpften Larven wären der vierten Generation zuzurechnen. Vom 28.01. bis zum 10.03. konnten keine Präimaginalstadien von *S. angustipes* gefunden werden, erst Ende März und Anfang April 1994 wurden einige LVI- und LVII-Larven, jedoch keinerlei Puppen entdeckt.

Die Beschreibung der Phänologie von *S. angustipes* wird durch das regelmäßige Auftreten von Puppen über den gesamten Sommer erschwert, doch sind die Häufigkeitsspitzen deutlich genug abgegrenzt, um aufeinanderfolgende Generationen erkennen zu können. Deutlich ausgeprägt ist auch bei *S. angustipes* die mit der Wassertemperatur synchronisierte Schlüpf- und Verpuppungsdynamik. Die Entwicklungsdauer der aquatischen Stadien beträgt im Hochsommer 43 Tage bzw. 50 Tage. Falls die Anfang Oktober schlüpfenden Larven wirklich überwintern, beträgt deren Entwicklungsdauer bis zum LVII-Stadium (nicht bis zur Verpuppung!) 182 Tage.

Bei *S. erythrocephalum* konnten schon im März Puppen nachgewiesen werden (Abb. 11). Ob die zu diesem Zeitpunkt ebenfalls auftretenden LVI-Larven noch zur überwinternden oder schon zur ersten Generation von 1993 gehören, ist schwer zu entscheiden, die Puppenfunde im Juni sollen jedenfalls als ausgehende erste oder gar zweite Generation interpretiert werden. Entsprechend sind bis Anfang August die meisten Fliegen der folgenden Generation geschlüpft. Das Auftreten einer neuen Generation am 11.08. ist gut erkennbar und läßt sich auf die zu dieser Zeit konstant hohe Wassertemperatur zurückführen. Ab Ende September schlüpft die überwinternde Generation von *S. erythrocephalum*, wobei es Ende Oktober zu einer weiteren Häufung von Junglarven kommt. Anfang März

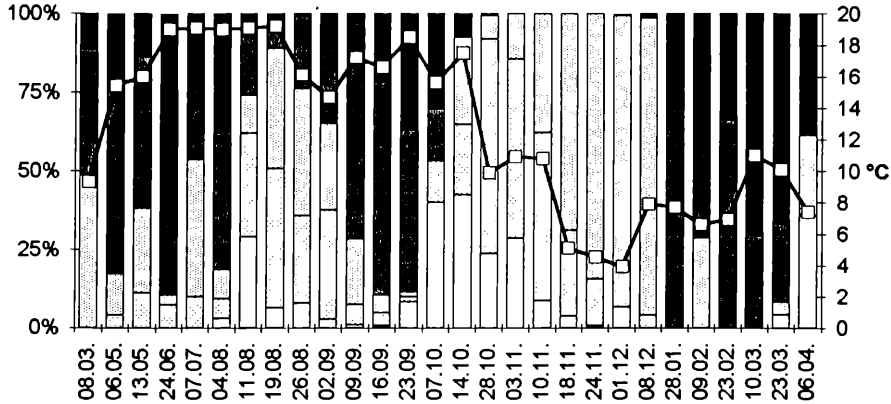


Abb. 9

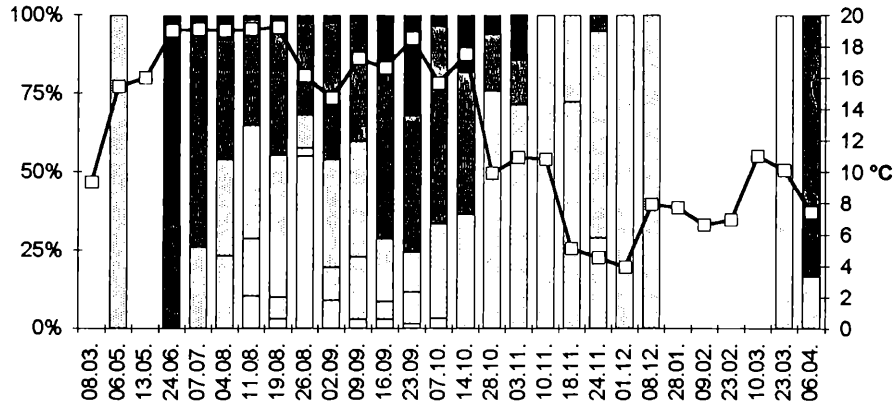


Abb. 10

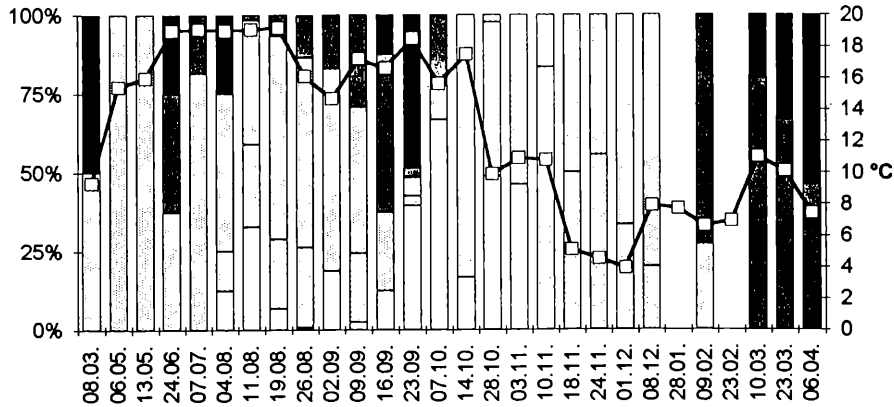


Abb.11

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 9-11: Relativer Anteil der Präimaginalstadien bei drei Simuliiden-Arten. - Abb. 9) *S. ornatum* (n = 4.049); Abb. 10) *S. angustipes* (n = 1.462); Abb. 11) *S. erythrocephalum* (n = 643). Die Zeitachse gibt keine kontinuierlichen Abschnitte wieder

94 verpuppen sich die ersten Altlarven, die höchste Puppenzahl erreichte diese Art nicht mit dem Wassertemperaturanstieg im März wie *S. ornatum*, sondern am 06.04.94 kurz danach. Die larvale Entwicklungsdauer beträgt im Hochsommer 43 Tage und 182 Tage im Winter.

Zusammenfassend läßt sich für die untersuchten Kriebelmückenarten festhalten, daß

- *Simulium ornatum* unterhalb der Kläranlage fünf Generationen entwickelte, *S. angustipes* vier und *S. erythrocephalum* mindestens vier, möglicherweise sogar fünf Generationen ausbildete (vgl. Kapitel 5.4);

- alle drei Arten auf dem Larvenstadium (LIV bis LVI) überwintern;

- sowohl für das Auftreten der jüngsten Larvenstadien wie auch der Puppen eine positive Korrelation mit steigenden Wassertemperaturen festzustellen ist;

- sich unterhalb der Kläranlage alle drei Arten von der zweiten Augustdekade an bis Ende September gleichzeitig und gleich schnell entwickeln. Für die Entwicklung von der überwinternden Larve zur Verpuppung benötigte *S. angustipes* mit mindestens 6 Monaten den längsten Zeitraum, *S. ornatum* (5 Monate) dagegen den kürzesten.

4.6 Vertikalverteilung der Besiedlung

Die oberflächennah eingebrachten künstlichen Substrate sind nach ein- bis zweiwöchiger Expositionsdauer im Sommerhalbjahr allgemein dichter mit Larven und Puppen besiedelt als die unteren, was für eine stärkere Verdriftung in den oberen Wasserschichten sprechen würde. Abweichungen zeigten sich Mitte August bei *S. angustipes*, die zu diesem Zeitpunkt mit 30 % auf dem Bodensubstrat vertreten war. Dagegen besiedelten *S. ornatum* und *S. erythrocephalum* während des gesamten Sommers fast ausschließlich die oberflächennah exponierten Substrate. In der kühlen Jahreszeit ab November sind die Larven aller drei Arten auf festen Substraten am Gewässerboden häufiger zu finden als auf den dort ausgebrachten flottierenden Streifen, wobei ältere Stadien mehr auf den Bodensteinen und jüngere (L I bis L IV) häufiger auf den Streifen vorkamen. Jüngste Stadien konnten in keinem Fall auf den Bodensteinen nachgewiesen werden, vermutlich wegen ihrer zu geringen Masse und entsprechend langsamen Sinkgeschwindigkeit.

4.7 Parasitenbefall der Larven

Abb. 12 zeigt den Befall der untersuchten Larven durch Mikrosporidia und Pilze. Nematoda, wie zum Beispiel die häufig bei Larven der Simuliidae auftretenden Mermithidae, konnten nicht gefunden werden. Bei den Mikrosporidi handelt es sich wahrscheinlich um eine Art der Gattung *Amblyospora* (vgl. CROSSKEY 1990, WEISER & UNDEEN 1981).

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Ausgewertet wurden die Arten der von August 1993 bis April 1994 angetroffenen Larven. Von Januar bis April 94 konnte kein Befall mehr festgestellt werden. *S.erythrocephalum* war am geringsten befallen. Infektion durch Mikrosporidia spielt vor allem bei *S. angustipes* eine gewisse Rolle. Die befallenen Tiere ab Oktober sind ausnahmslos Larven des siebten Stadiums, die sich nicht mehr verpuppen können und absterben. Das Auftreten von Pilzen ist saisonal auf die kalte Jahreszeit beschränkt. Während für den Pilzbefall keine Artspezifität zu bestehen scheint, parasitieren Mikrosporidia fast ausschließlich bei *S. angustipes*. Der höchste Pilzbefall trat mit fast 17 % im November bei *S. ornatum* auf. Diese Larven können ihre Ontogenese nicht mehr abschließen und sterben ab - die im neuen Jahr gefundenen wenigen Larven waren nicht verpilzt.

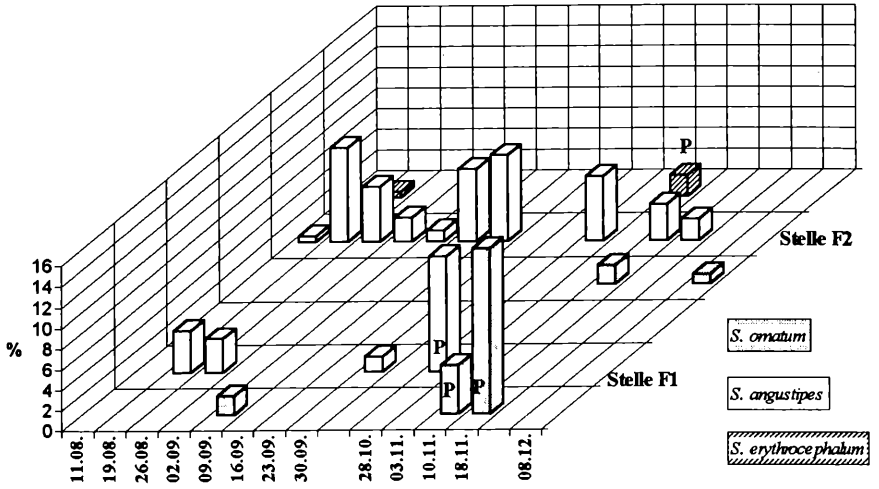
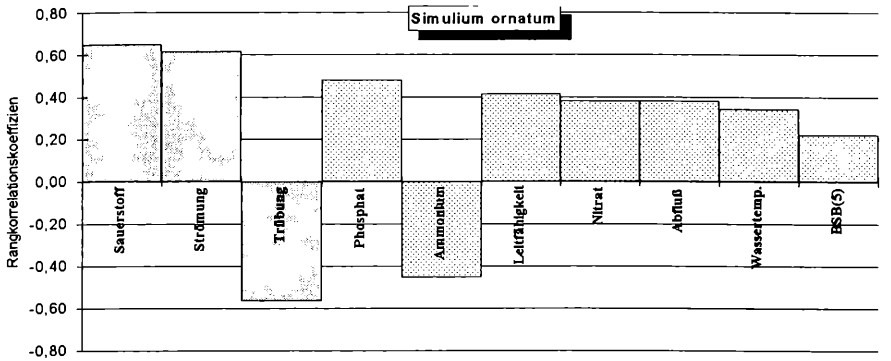


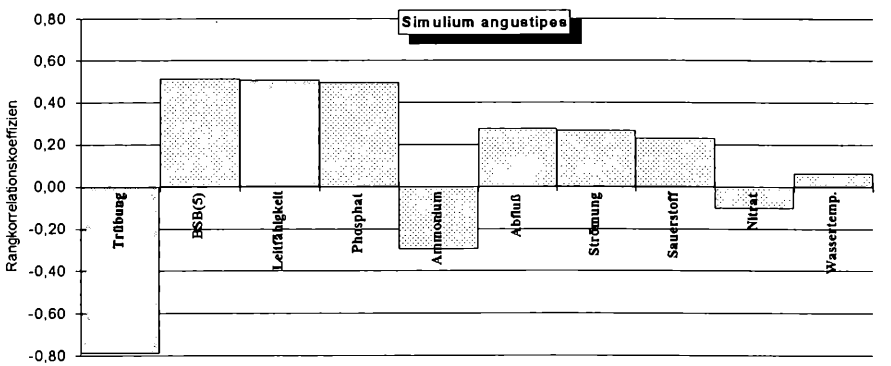
Abb. 12 Relativer Anteil der von Mikrosporidien (*Amblyospora* spec.) und Pilzen (P) befallenen Larven (*S. ornatum*: n = 3.209; *S. angustipes*: n = 3.161; *S. erythrocephalum*: n = 1.168)

4.8 Zusammenhang zwischen der Besiedlungsdichte und ausgewählten abiotischen Faktoren

Zehn verschiedene abiotische Parameter wurden zur Individuenanzahl/Streifen der drei Arten in Beziehung gesetzt und für die Variablenpaare jeweils der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient (r_s) errechnet (Abb. 13). Bei Fließgeschwindigkeit, Trübung, Leitfähigkeit sowie Sauerstoff- und Ammoniumgehalt wurde ein signifikanter Zusammenhang zu der Besiedlungsdichte einzelner Arten gefunden. Deshalb sind diese abiotischen Faktoren in den Abbildungen 14-18 in Form von Punktwolken detailliert für jede Art (y-Achse) und alle undeterminierten Larven (z-Achse) dargestellt. Dies erschien sinnvoll, da der Korrelationskoeffizient keine absoluten Werte wiedergibt und artspezifische Präferenzen nicht aufzeigen kann. Die Auswertung bezieht sich nur auf die Individuen der Streifen

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at





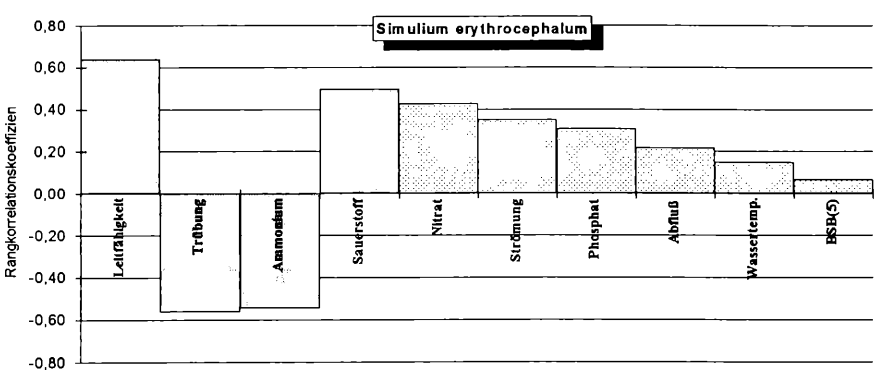


Abb. 13: Rangkorrelationskoeffizient abiotischer Faktoren für die Larvendichte auf flottierenden Streifen. - Die dunkelgrau gemusterten Säulen sind signifikant verschieden von der Nullhypothese. Sauerstoff- und Ammoniumgehalt: $\alpha/2 = 0{,}05$; alle anderen Parameter: $\alpha = 0{,}05$

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

vom 04.08.-08.12.93 an den Stellen F1 und F2, so daß substratbedingte Besiedlungsunterschiede ausgeschlossen werden können.
Die Häufigkeit der Larven ist mit den meisten untersuchten Parametern positiv korreliert. Ausnahmen machen nur die Trübung und der Ammoniumstickstoffgehalt sowie bei *S. angustipes* der Nitratgehalt. Die negative Korrelation ist für die beiden erstgenannten Faktoren recht hoch, wobei dies bei den in der Rodau vorkommenden Ammonium/Ammoniak-Konzentrationen zu erwarten war, während die negative Korrelation bei der Trübung, die bei allen Arten signifikant ist, auffällt. Betrachten wir zunächst die Arten des Untersuchungsgebietes einzeln nach ihren autökologischen Ansprüchen:

Die wichtigsten der untersuchten Faktoren sind für *S. ornatum* der Sauerstoffgehalt, die Fließgeschwindigkeit und die Trübung. Alle drei Parameter stehen in einem hydrologischen Zusammenhang. Nicht mehr signifikant, aber mit r_s = 0,482 der vierthöchste Korrelationswert bei *S. ornatum*, ist der Phosphat-Gehalt, dessen hohe Werte die Larven in der Rodau anscheinend physiologisch nicht beeinträchtigen. Vielmehr scheinen die Parameter ortho-Phosphat, Leitfähigkeit und Nitrat bei *S. ornatum* unter dem Aspekt des Nahrungsangebotes und der Nahrungszusammensetzung eine fördernde Rolle zu spielen. Eine geringe Korrelation besteht für den Abfluß, die Wassertemperatur und den BSB_5.

Für *S. angustipes* ist dagegen die Fließgeschwindigkeit und der Sauerstoffgehalt von untergeordneter Bedeutung. Signifikant sind für diese Art nur Trübung und Leitfähigkeit, doch auch der BSB_5 und der ortho-Phosphat-Gehalt zeigen eine deutliche Korrelation. Die anderen Faktoren sind weitgehend ohne Einfluß auf die Besiedlungsdichte.

Bei *S. erythrocephalum* sind die Leitfähigkeitswerte und die Trübung gut mit der Abundanz korreliert. Außerdem stehen die Larven dieser Art als einziges signifikant negativ mit dem Ammoniumgehalt in Beziehung. Die Sauerstoff- und Nitratgehalte sind ebenfalls von Bedeutung, dagegen ist bei der Fließgeschwindigkeit und der Wassertemperatur sowie dem Phosphatgehalt, dem Abfluß und dem BSB_5 nur eine geringe Korrelation erkennbar.

Fließgeschwindigkeit

Die geringste gemessene Fließgeschwindigkeit, bei denen Larven gefunden wurden, lag bei 0,17 m/s. Werte unter 0,1 m/s kommen im Sommer nur oberhalb der Kläranlage Weiskirchen vor. Unterhalb dieser Einleitung beträgt die Fließgeschwindigkeit minimal 0,2 m/s. Die in Abb. 14 mit 0,66 m/s wiedergegebenen höchsten Werte sind dagegen keine Maximalwerte für die Rodau. Am 21.12.93 wurden beispielsweise 1,5 m/s an den Probestellen F1 und F2 gemessen, am 23.03.94 an den gleichen Stellen immerhin 0,8 m/s. Leider war es nicht möglich, zu diesen Terminen auswertbare Streifen zu entnehmen.

Die Anzahl der Larven nimmt mit steigender Fließgeschwindigkeit zu, erreicht bei etwa 0,4 m/s einen Höhepunkt und fällt mit weiter zunehmender Strömung langsam ab. Die geringe Abundanz bei 0,47 m/s wurde am 04.08.93 unterhalb der Kläranlage gefunden. Zu diesem Zeitpunkt war der Anteil verpuppter Larven besonders groß, so daß hier neben ungünstigen Sauerstoffverhältnissen die Phänologie der Arten deren Abundanz mitbestimmte. *S. erythroce-*

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

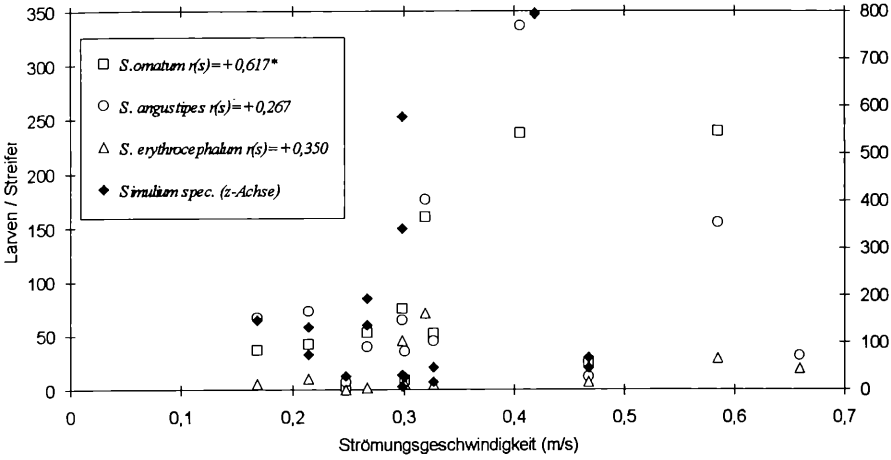


Abb. 14: Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte und Fließgeschwindigkeit (n = 7.660). - Signifikanz von r(s) bei α = 0,05 mit Sternchen

phalum ist nur bei Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,3 und 0,4 m/s in größerer Anzahl vorhanden; sowohl bei höheren, als auch bei geringeren Werten vermindert sich die Larvendichte auffällig. *S. angustipes* findet sich zwar bei ähnlichen Fließgeschwindigkeiten besonders häufig, scheint aber weder für hohe noch für niedrige Fließgeschwindigkeiten eine eindeutige Präferenz zu haben. Dies zeigt sich auch im geringen r_s-Wert. *S. ornatum* ist dagegen bei größerer Strömung über 0,4 m/s dominierend. Die Art scheint bei mehr als 0,6 m/s noch optimale Lebensbedingungen vorzufinden.

Sauerstoffgehalt

Die geringsten O_2-Gehalte traten im Hochsommer oberhalb der Kläranlage Weiskirchen mit 1,5 mg/l auf. Die Larvenhäufigkeit ist bei einem Sauerstoffgehalt unter 4,5 mg/l sehr gering. Nur *S. angustipes* erreicht hier höhere Abundanz. Entsprechend ist der ermittelte Koeffizient bei dieser Art für Sauerstoff besonders niedrig (Abb. 15). Ein Sauerstoffgehalt von mindestens 6,5 mg/l scheint für die Entwicklung von *S. ornatum* und *S. erythrocephalum* vorteilhaft zu sein.

Schwierig ist die Einschätzung, ob die Strömungsverhältnisse oder der Sauerstoffgehalt für die gefundenen Korrelationen ursächlich verantwortlich sind, da der O_2-Gehalt von der Fließgeschwindigkeit beeinflußt wird. Eine Überprüfung der Daten diesbezüglich ergab jedoch, daß bei mittlerer Fließgeschwindigkeit und sehr geringen O_2-Werten die Abundanz nie hoch war.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

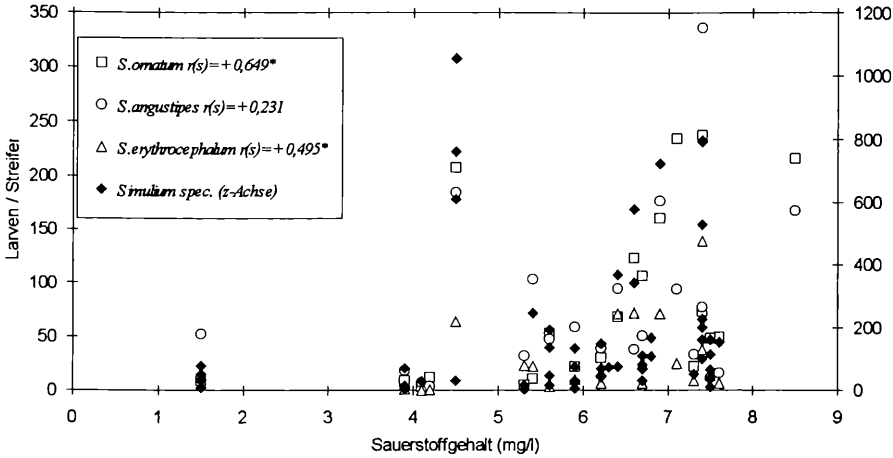


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte und Sauerstoffgehalt (n = 17.819)

Trübung

Die Trübung ist der einzige gemessene Parameter, mit dem die Besiedlungsdichte aller drei Simuliidae signifikant korreliert ist (Abb. 16). Sie ist ein indirektes Maß für den Schwebstoffanteil im Wasser, wobei oberhalb der zweiten Kläranlage Weiskirchen über den gesamten Untersuchungszeitraum höhere Werte gemessen wurden als unterhalb. Eine besonders hohe negative Korrelation zeigte sich mit r_s = - 0,789 bei *S. angustipes*, etwa gleich hoch ist sie mit r_s= - 0,56 bei den beiden anderen Arten. Abb. 16 zeigt, daß bei geringen Trübungswerten zwischen 3 und 5 TE/F eher ein positiver Anstieg der Larvenhäufigkeit vorliegt, und daß erst dann ein kontinuierlicher schwach negativ-exponentieller Abfall der Individuenzahlen auftritt.

Gesamtelektrolytgehalt

S. erythrocephalum und *S. angustipes* sind positiv mit dem Elektrolytgehalt korreliert, *S. ornatum* ist auch bei geringeren Leitfähigkeitswerten häufig (Abb. 17).

Ammoniumkonzentration

Auch Gewässerabschnitte mit extrem hoher Ammonium-Konzentration über 30 mg/l sind besiedelt. Allerdings wirken NH_4-N-Konzentration über 20 mg/l direkt regulierend auf die Siedlungsdichte. *S. angustipes* ist am wenigsten negativ mit dem Ammoniumgehalt korreliert, diese Art tritt bei NH_4-N-Konzentrationen von 40 mg/l sogar noch häufiger auf, als die euryöke *S. ornatum*. *S. erythrocephalum* ist dagegen bei Werten über 35 mg/l kaum noch anzutreffen und mit r_s = - 0,548 am stärksten negativ mit dem Ammoniumgehalt korreliert (Abb. 18).

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

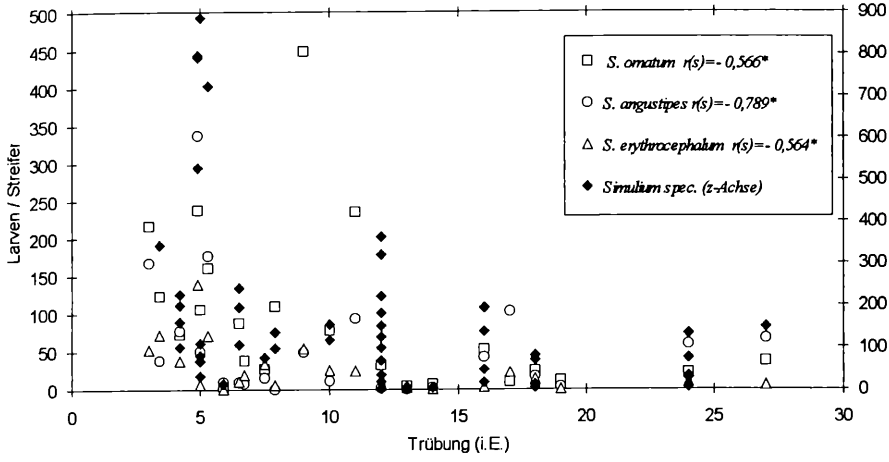


Abb. 16: Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte und Trübung (n = 18.832)

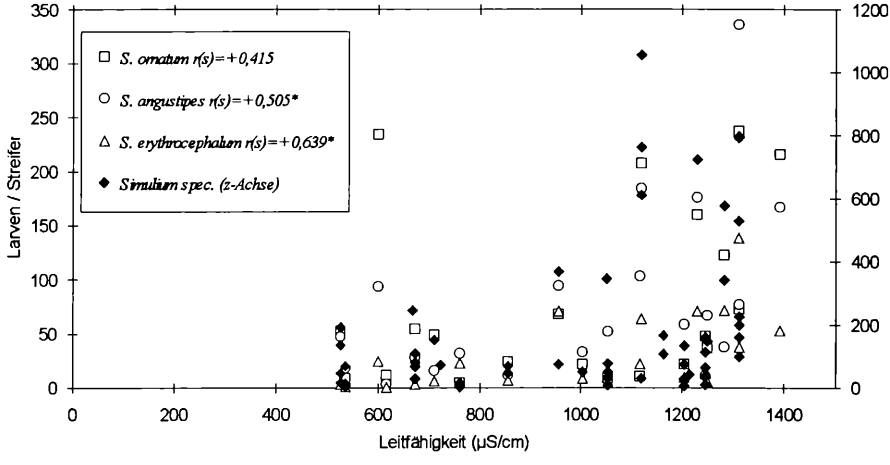


Abb. 17: Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte und elektrolytischer Leitfähigkeit (n = 17.819)

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

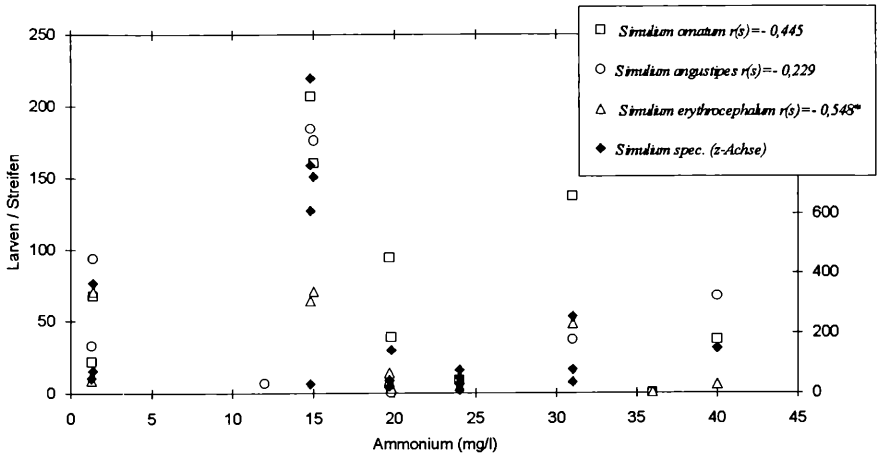


Abb. 18: Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte und Ammoniumstickstoffgehalt (n = 9.300)

5 Diskussion

5.1 Biologie

Prosimulium tomosvaryi konnte entsprechend seiner univoltinen Entwicklung nur Anfang März ausschließlich oberhalb der Kläranlage Ober-Roden als Einzelexemplar im Altlarvenstadium gefunden werden. Wie alle Simuliidae der Gattung *Prosimulium* ist die Art auf relativ sauberes Wasser angewiesen (ZWICK & ZWICK 1990, TIMM 1990), weshalb sie im weiteren Verlauf der Rodau nicht vorkommt. Weitere Arten dieser Gattung wurden in der Rodau nicht gefunden, und sind auch nicht zu erwarten, da alle anderen *Prosimulium*-Vertreter Gebirgs- und Mittelgebirgsbewohner sind und nur *P. tomosvaryi* auch unter 400 m üNN vorkommt (DAVIES 1968, JEDLICKA 1970, KNOZ 1965, ZWICK 1993). Die nächsten Fundorte dieser weit verbreiteteten Art liegen im Taunus (BRAUKMANN 1987), der Rhön (ZWICK 1974) und in Niederbayern (SEITZ 1992).

Ein besonderer Fund ist der Nachweis einer Altlarve von ***Simulium (Hellichiella) latipes***, die an der Stelle P1 oberhalb der ersten Kläranlage gefunden wurde. Die Art wurde erstmalig in Deutschland 1968 in der Nähe von Speyer am Rhein entdeckt (ERPELDING 1985). Nach DAVIES (1966) ist sie sehr selten in unbelasteten, temporär fließenden Rinnsalen zu finden, die sich im Frühling rasch erwärmen. Die von ERPELDING bestimmten Larven stammen aus einem unverschmutzten Entwässerungsgraben in einem weitgehend naturnahen Umfeld (Naturschutzgebiet "Harderwiesen"). Der Fund in der Rodau zeigt jedoch, daß *S. latipes* eine breitere ökologische Valenz besitzt, als angenommen.

Im Frühjahr wurden oberhalb der Kläranlage von Ober-Roden mehrere Larven und Puppen von ***Simulium vernum*** sowie eine weitere Art der *S. vernum*-Gruppe, möglicherweise *Simulium urbanum*, gefunden. Erstere gehört zu den

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

am weitesten verbreiteten mitteleuropäischen Kriebelmücken, wobei es sich um einen Komplex von Geschwisterarten handelt (SEITZ 1992, ZWICK 1993) und die eigentliche Verbreitung von *S. vernum* s. str. nicht geklärt ist. Mit *S. vernum* soll demnach die Komplexart gemeint sein, wie sie bei DAVIES (1966, 1968), JENSEN (1984) und KNOZ (1965) beschrieben wurde. SEITZ (1992) konnte sie in Niederbayern vor allem bei Gewässergüteklasse I-II und II, aber auch noch bei Güteklasse II-III nachweisen.

Die euryöke Kriebelmücke ***Simulium ornatum*** ist im gesamten Bachverlauf anzutreffen. Sie ist in Europa weit verbreitet und zog aufgrund ihrer relativen Größe und ihrer Bedeutung als obligater Blutsauger schon früh die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich. Wie EICHLER (1971) zeigen konnte, spielt *S. ornatum* bei der Übertragung von *Onchocerca gutturosa* (Filarioidea) eine große veterinärmedizinische Rolle. Die Feststellung, daß " zumeist eine einzige Abwassereinleitung im Bereich der ersten Ortschaft genügt, um *S. ornatum* derart zur Massenentwicklung gelangen zu lassen, daß es im weiteren Fließverlauf den einzigen Vertreter der Kriebelmücken stellt" (SEITZ 1992; aber auch sinngemäß so bei GRUNEWALD 1965), kann an der Rodau, was die Artenverarmung nach der Kläranlage Weiskirchen angeht, nicht bestätigt werden. Die in vielen Fließgewässern auftretende Dominanz von *S. ornatum* wird u. a. durch die unspezifische Auswahl des Eiablagesubstrats ermöglicht (TIMM 1988). Die Weibchen legen ihre Eier nicht nur klumpenförmig an flottierenden Makrophyten ab, sondern auch flächig auf Steinen und Brückenpfeilern (RÜHM 1983), so daß die an der Rodau unterhalb der Kläranlage überall zur Uferbefestigung angebrachten Holzstangen ein wichtiges Ablagesubstrat für diese Art sind. Außerdem können in die Wasserlinie eintauchende Brennesselblätter als Eiablagesubstrat genutzt werden.

Zur *Simulium aureum*-Gruppe gehören *S. angustipes*, *S. velutinum* und *S. aureum*, die sich morphologisch sehr ähnlich sind, so daß nur Larven und männliche Imagines unterscheidbar sind (ZWICK 1993). ***Simulium angustipes*** konnte für diese Untersuchung jedoch sicher determiniert werden, da alle Entwicklungsstadien für die Bestimmung zur Verfügung standen. *S. angustipes* tritt meist nur in geringen Abundanzen auf (CAR & MOOG 1993, GLATTHAAR 1978). KNOZ (1965) sowie OLEJNICEK (1983) wiesen die Art in der ehemaligen Tschechoslowakei vor allem an Ausläufen von Fischteichen nach. Für Deutschland wurde ebenfalls eine weite Verbreitung bei niedrigen Individuenzahlen gemeldet (GRUNEWALD 1965, SEITZ 1992, ZWICK 1974, BROCK & SCHLEPPER 1993, RÜHM & PRÜGEL 1987, WEILER & al. 1979). BROCK & SCHLEPPER (1993) verweisen darauf, daß sich das Vorkommen von *S. vernum* und der *Simulium aureum*-Gruppe weitgehend ausschließt, was an der Rodau ebenfalls beobachtet werden konnte. Der von den Autoren vermutete Grund liegt in der bevorzugten Besiedlung beschatteter Gewässer durch *S. vernum*. Die Verhältnisse an der Rodau sprechen jedoch eher dafür, daß *S. angustipes* organische Belastungen besser toleriert als *S. vernum* und letztere aufgrund des besonderen Eiablageverhaltens der Weibchen mit dem erhöhten Abfluß und der damit verbundenen größeren Fließgeschwindigkeit sowie Erhöhung der Wassertiefe durch die Kläranlageneinleitungen nicht zurecht kommt.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Als potamophile Art läßt sich ***Simulium erythrocephalum*** beschreiben, die in der Rodau nur an den unteren Probestellen gefunden wurde. Die Art kommt in der gesamten paläarktischen Region vor (CROSSKEY 1987, ZWICK 1993) und sorgt neben *S. ornatum* für Schadfälle bei Weidetieren und gelegentliche Belästigungen von Menschen (BOCK & al. 1982, GLATTHAAR 1978, RÜHM 1983, RÜHM 1986, RÜHM & LESSING 1981). ZWICK (1974) weist darauf hin, daß *S. erythrocephalum* ihr Optimum in den Fließgewässern der Norddeutschen Tiefebene erreicht und dort in großen Populationen auftreten kann. Untersuchungen von WEILER & al. (1979) bestätigen dies. RUBZOW (1964) berichtet von einer hohen Toleranz der Larven gegenüber Temperaturschwankungen und Wasserverschmutzung.

5.2 Abundanz

Ein Ergebnis der Abundanz-Untersuchungen war die Tatsache, daß unterhalb der Kläranlage Weiskirchen mehr Larven das Gewässer besiedeln als oberhalb. Dieses erstaunliche Ergebnis ist erklärbar, da die Wasserqualität der Einleitung durch künstliche O_2-Anreicherung verbessert wird und ein zusätzlicher Nährstoffeintrag erfolgt. Außerdem ist die Versiegelung der Aue hier gelockert, so daß für die Imagines bessere Lebensbedingungen und vermehrt potentielle Eiablageplätze vorhanden sind. Ein entscheidender Grund liegt in der Zunahme der Abflußmenge und der dadurch vergrößerten Fließgeschwindigkeit, was sich besonders deutlich in einer Erhöhung des Anteils der rheophilen Art *S. ornatum* unterhalb der Kläranlage zeigte. *S. erythrocephalum* erreichte dort den höchsten relativen Anteil, wo die Strömung am geringsten war, was die Art als Vertreter der potamalen Gruppe ausweist (GLATTHAAR 1978, SEITZ 1992).

Der im Vergleich zur Streifenbesiedlung unterrepräsentierte Anteil von *S. erythrocephalum* auf *Cladophora* hängt damit zusammen, daß diese Art ein flächiges Eiablagesubstrat benötigt und zum Beispiel Wurzeln und Rispen im Gegensatz zu *S. ornatum* nicht nutzen kann (RÜHM 1969, TIMM 1988). Interessant ist, daß sich *S. ornatum* und *S. angustipes* auf dem fädigen Substrat verpuppen können, wobei die Anzahl der gefundenen Puppen am Entnahmedatum genau dem phänologisch zu erwartendem Anteil entsprach. Die Ergebnisse zeigen somit einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Algenvorkommen und Abundanz.

Auf einwöchig exponierten flottierenden Plastikstreifen, die an einem in das Bachbett geschlagenen Metallkreuz befestigt waren, konnte MARCUS (1975) in einem unbelasteten Gewässerabschnitt maximal 4.300 Larven unterschiedlicher Arten je m^2 finden, unterhalb einer Kläranlageneinleitung dagegen bis zu 43.600 *S. ornatum*-Larven, was den Ergebnissen unserer Untersuchung sehr nahe kommt. Damit zeigt sich die Vergleichbarkeit der Besiedlung künstlicher Plastikstreifen auch in unterschiedlichen Gewässersystemen, so daß diese für eine Normierung künstlicher Substrate zur Abundanzermittlung von Kriebelmückenlarven besonders geeignet erscheinen.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

5.3 Stratotopwechsel der Larven

Untersuchungen zur vertikalen räumlichen Verteilung aquatischer Insekten in Fließgewässern wurden selten durchgeführt (vgl. MINSHALL 1984). GERSABECK & MERRITT (1979), die amerikanische Simuliidae unter Laborbedingungen hielten, konnten keine Standortveränderungen der Larven bei wechselnder Wassertiefe zwischen 2 und 30 cm beobachten, verweisen aber darauf, daß in natürlichen Gewässern eine Veränderung des Abflusses immer mit veränderten Strömungsverhältnissen einhergeht, die im Labor konstant gehalten wurden. Einen direkten Zusammenhang zwischen der Fließgeschwindigkeit und der vertikalen Besiedlung lassen die Ergebnisse von NIESIOLOWSKI (1980) erkennen. Er zählte die Larvendichte auf in der Strömung treibenden Wasserpflanzen (*Phalaris arundinacea*), die er in einen oberen, mittleren und unteren Sproßabschnitt einteilte. Erwartungsgemäß fand er die meisten Larven in den beiden oberen Abschnitten. Da jedoch keine Determination erfolgte, kann eine vertikale artspezifische Einnischung nicht ausgeschlossen werden. Genauer untersuchten LEWIS & BENNETT (1975) die Vertikalverteilung von Simuliidae in Neufundland. Sie klemmten Ziegelsteine in verschiedenen Tiefen fest und fanden die dichteste Besiedlung auf den oberen Steinen. Festgestellte differierende Besiedlungstiefen einzelner Arten interpretierten sie jedoch nicht als vertikale Artpräferenzen, sondern führten dies auf die während der Expositionszeiten unterschiedlichen Wasserstände zurück.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß *S. angustipes* im Sommerhalbjahr zumindest zeitweise eine höhere Besiedlungsdichte auf Steinen am Gewässerboden erreicht als *S. ornatum* und *S. erythrocephalum*. Dies kann folgende Gründe haben: Ein Teil der Eier wird durch Hochwasserereignisse vom Ablagesubstrat an der Wasseroberfläche weggespült, sinkt ins Sediment und kann sich dort bis zum Schlupf der Junglarven weiter entwickeln, so daß die Larven zu Beginn ihrer Entwicklung den Gewässergrund besiedeln. Entweder können sich die Eier der anderen Arten auf dem Gewässerboden nicht entwickeln oder, was wahrscheinlicher ist, die Eier von *S. angustipes* werden häufiger als die anderer Arten durch Hochwasser weggespült, da sie weniger fest an ihrem Ablagesubstrat haften. Diese Überlegung stützt sich vor allem darauf, daß die Eiablage in ruhigeren Bachabschnitten erfolgt und bei der Ablage einschichtige Gelege entstehen, " in denen die Eier auf der Spitze (Hinterpol) stehen" (TIMM 1988). EDWARDS (1920) wies darauf hin, daß die hartschaligen Eier von *S. aureum* (bei denen es sich womöglich um Eier von *S. angustipes* handelt) im Gegensatz zu *S. ornatum* und *S. erythrocephalum* keine Gallerte besitzen; deren Funktion besteht aber laut TIMM (1988) vor allem in der Anheftung.

Möglich ist auch, daß die älteren Larven aktiv tiefere Wasserbereiche aufsuchen, um zum Beispiel intra- oder interspezifischer Konkurrenz zu entgehen oder um günstigere Strömungsbedingungen zu erreichen. Auf die durch Territorialverhalten ausgelöste Lageveränderung der Larven machen HARDING & COLBO (1981) sowie HART (1986) aufmerksam, was für nicht-soziale Insekten ungewöhnlich ist (BAKER 1983, FITZPATRICK & WELLINGTON 1983). HART (1986) beobachtete, daß bei hohen Individuendichten Larven flußaufwärts sitzende

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Nachbarn attackieren, um günstigere Strömungsbedingungen zu schaffen. Eine aktive Lageänderung ist jedenfalls den meisten Larven möglich, indem sie sich an einem gesponnenen Seidenfaden selbst abseilen und solange in der Strömung pendeln, bis sie ein geeignetes Substrat berühren und neu besiedeln können (CROSSKEY 1990, KIEL 1993).

Der untersuchte Befall der Larven durch Microsporidia unterstützt zusätzlich die Annahme, daß *S. angustipes* im Sommer tiefere Wasserschichten besiedelt als die beiden anderen Kriebelmückenarten. EZENWA (1974) weist nämlich darauf hin, daß die Infektion der Larven vor allem vom Gewässerboden aus erfolgt, da die Sporen spezifisch schwerer sind als Wasser und absinken. Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen das regelmäßige Auftreten von Microsporidia bei *S. angustipes* im Sommerhalbjahr, *S. ornatum* wurde dagegen während dieser Zeit kaum befallen. Ab November, zu einer Zeit in der *S. ornatum* vermehrt auch in tieferen Wasserschichten gefunden wurde, ist der Parasitenbefall auch bei dieser Art deutlich höher als sonst. Demnach kann anhand der parasitierten Larven auf deren Vertikalverteilung vor allem zu Beginn ihrer Entwicklung geschlossen werden. Ein Grund für die Bevorzugung der oberen Substrate durch *S. ornatum* im Sommer ist mit Sicherheit die ausgeprägte Rheotaxis dieser Art (JEDLICKA 1978), zudem verringert die Besiedlung der oberen Wasserschichten den Verlust der in einer Luftblase aus der Puppenhülle schlüpfenden Imagines. Im Winter sind aufgrund geringerer Wassertemperaturen einerseits auch in Grundnähe ausreichende Sauerstoffverhältnisse gegeben, andererseits ist dann die Stoffwechselrate verringert, so daß dann auch bei geringerer Fließgeschwindigkeit eine ausreichende Ernährung gewährleistet ist. Der Vorteil einer Besiedlung tieferer Wasserschichten im Winter liegt im verbesserten Schutz vor einer Abdriftung bei Hochwasser und der erhöhten Überlebenschance bei Eisbildung (vgl. REISEN 1977). Ob es im Frühling zu einer aktiven Vertikalbewegung der Larven hin zur Wasseroberfläche kommt, muß dahingestellt bleiben.

5.4 Entwicklung und Phänologie

Obwohl CRAIG (1975) bei tropischen Simuliidae neun Larvenstadien vermutet und die von CROSSKEY (1990) zusammengestellte Tabelle auch Angaben von nur vier Stadien bei russischen Kriebelmücken enthält, dürften die meisten paläarktischen Arten sechs oder sieben Stadien haben. Zumindest die letzte Jahresgeneration 1993 und die überwinternden Larven entwickelten in der Rodau bei allen Arten sieben Stadien. Für *S. angustipes* lagen bisher keine Ergebnisse vor, bei *S. erythrocephalum* und Larven des *S. ornatum*-Komplexes werden in der Literatur sowohl sechs, als auch sieben Stadien beschrieben. RÜHM & SANDER (1975) untersuchten verschiedene Larvengenerationen von *S. erythrocephalum* aus der Aller (Norddeutschland) sowohl biometrisch wie auch vergleichend-morphologisch und stellten ausschließlich sieben Larvenstadien fest. Die gleiche Anzahl von Larvenstadien bei unterschiedlichen untersuchten Generationen wiesen DE MOOR (1982), FREDEEN (1976), SHIPP & PROCUNIER (1985) sowie SCHRÖDER (1980 b) nach; bis auf letztere Veröffentlichung handelt es sich bei den untersuchten Kriebelmücken jedoch um kanadische und südafrikanische Fließge-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

wässerarten. POST (1983) sammelte Larven von *S. erythrocephalum* in einem englischen Flachlandbach und fand bei der vorletzten Generation, die in dieser Veröffentlichung der Sommergeneration entspricht, ebenfalls sieben Larvenstadien. Die sich im Frühsommer entwickelnde Generation hatte nach POST jedoch nur sechs Stadien, den restlichen gefundenen Generationen konnte er Altersstadien nicht sicher zuordnen. Post erklärt die differierende Anzahl von Stadien durch die im Frühsommer erhöhte Wassertemperatur, da dann die Entwicklung der Larven beschleunigt und somit schon nach sechs Stadien abgeschlossen sein kann. Die Wassertemperatur war in dem englischen Bach immerhin mit bis zu 24,4 °C höher als während des Hochsommers in der Rodau. Für die Rodau muß offen bleiben, ob zu allen Jahreszeiten tatsächlich sieben Stadien auftraten. Allerdings ist es wahrscheinlich, da ja der Vergleich von zwei sich unterschiedlich lang entwickelnden Generationen (Sommer- und Wintergeneration) bei größtmöglichen Temperaturdifferenzen keine Unterschiede in der Stadienanzahl gezeigt hat. Bemerkenswert ist, daß trotz unterschiedlicher Larvalentwicklung die Gesamtzahl der Stadien an allen Stellen gleich ist; die Anzahl der Häutungsstadien von daher vielleicht weniger variabel ist, als für die Simuliidae allgemein angenommen wird.

Wie die phänologische Betrachtung zeigte, trat *S. ornatum* in der Rodau mit fünf Generationen auf. Dagegen konnten LADLE & al. (1972) an einem englischen Fließgewässer nur vier Generationen nachweisen. Bei ihnen entwickelte sich die Sommer- und Herbstgeneration nur unwesentlich langsamer als in der Rodau, die überwinternden Larven verpuppten sich im Frühling allerdings später. Die Larven der ersten Generation wurden in der Rodau schon einen Monat früher nachgewiesen, so daß die früh auftretende erste Generation Voraussetzung für die Entwicklung von fünf Generationen in der Rodau war. BOCK & al. (1982) fanden in der Rur maximal vier Generationen von *S. ornatum*, auch hier erfolgte jedoch die Verpuppung der überwinternden Larven im Frühling später und über einen längeren Zeitraum als in der Rodau. Ebenfalls nur vier Generationen beobachtete KACANSKI (1968) an einem organisch unbelasteten, hydrologisch aber der Rodau ähnlichem Gewässer. Da KACANSKI sehr niedrige Wassertemperatur für die Wintermonate angibt, ist es eher erstaunlich, daß trotz des gegenüber der Rodau verspäteten Auftretens der ersten Kriebelmücken im Frühling noch vier Generationen ihren Lebenszyklus beenden konnten. Ähnlich sind die Ergebnisse von THORUP (1974) zu beurteilen. Er stellte in einem dänischen Bach drei bis vier Jahresgenerationen von *S. ornatum* fest. Die ersten Puppen fand er jedoch im Mai, fast drei Monate nach den ersten Puppenfunden in der Rodau. Vier bis fünf Generationen bei *S. ornatum* beschreiben RÜHM & CREUTZBURG (1982) sowie TIMM (1990). Letzterer führt diese hohe Anzahl u. a. auf die bei geringer Wassertemperatur ungehemmte Eientwicklung zurück: "Noch bei Temperaturen deutlich unter 5 °C entwickeln sich die Eier zu Erstlarven, so daß *O. ornata* im Frühjahr als Erste mit der Eiablage beginnt (Ende März) und im Herbst als Letzte endet (November)." Da in der Rodau die Eiablage schon Mitte März erfolgte (1994) und bis in den November hinein stattfand (1993), entspricht die hohe Zahl von Generationen gut diesem beschriebenen Szenarium.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

Bei *S. angustipes* ist die Anzahl der Generationen unklar KNOZ (1965) und RUBZOW (1964) vermuteten nur eine ausgedehnte Generation. Ungewiß ist auch, ob die Überwinterung im Ei- oder Larvenstadium stattfindet. OLEJNICEK (1983) hat die Populationsdynamik von *Eusimulium securiforme* untersucht; diese Art ist nach ZWICK (1974, 1993) mit *S. angustipes* synonym. In einem durch Fischteiche regelmäßig belasteten Wiesenbach in der Tschechoslowakei und mit der Rodau vergleichbarer Strömung konnte OLEJNICEK drei Generationen nachweisen. Da dort Puppen erst im April auftraten, dagegen in der Rodau oberhalb der Kläranlage Weiskirchen schon Anfang März, ist es möglich, daß die in der Rodau im Winter höhere klimatisch und anthropogen bedingten Wassertemperatur zu einer schnelleren Entwicklung der Larven führte, so daß ähnlich wie bei den beiden anderen Kriebelmückenarten *S. angustipes* hier eine zusätzliche Generation ausbildete. Die Generationenabfolge in der Rodau zur wärmeren Jahreszeit entspricht gut der bei OLEJNICEK gefundenen Apparenz. Es gibt allerdings einen wesentlichen Unterschied zu der in der Rodau festgestellten Phänologie von *S. angustipes*: OLEJNICEK konnte im April außer verpuppten Individuen auch Junglarven feststellen und folgert daraus, daß " a portion of population overwinters as larvae and another portion as eggs" Diese Annahme der gesplitteten Diapause konnte jedoch in der Rodau im Frühling 1994 nicht bestätigt werden: Alle gefundenen Larven von *S. angustipes* entsprachen genau dem Alter, das sie bei vollständiger Überwinterung im Larvenstadium hätten haben müssen. Von einer Überwinterung auf dem Larvenstadium geht auch TIMM (1987) aus. Er beobachtete sowohl im Freiland als auch im Labor, daß sich die Eier von *Eusimulium aureum* am Ende der Eiablagesaison unverzögert zur LI-Larve entwickeln. Nach TIMM wäre es denkbar, daß den aufgeführten Species nur deshalb Ei-Überwinterung zugeschrieben wird, weil in den Wintermonaten keine Larven im Fließgewässer zu finden sind. Er vermutet deshalb eine Überwinterung der ersten Larvenstadien im Interstitial. Die Fähigkeit in diesem Habitat leben zu können, wurde erstmals von COURTNEY (1986) beschrieben; allerdings nur für wenige Arten der außereuropäischen Gattung *Parasimulium*. Seine Larven waren außerdem blind und hatten eine unpigmentierte Haut, typische Merkmale von Troglobionten. Zudem scheint geringe Wassertemperatur gerade für Junglarven eine hohe Mortalität zu verursachen (SCHRÖDER 1981). Selbst wenn angenommen wird, daß die Erstlarven von *S. angustipes* kälteresistent sind und die Temperatur der hyporheischen Zone im Winter weniger absinkt als im freien Wasser, dürfte die von TIMM (1987) geäußerte Vermutung in der Rodau nicht zutreffen. Denn bei der unteren Rodau handelt es sich um einen hochgradig abwasserbelasteten Fließgewässerabschnitt, so daß in den Lückenräumen des Interstitials schädigend niedrige Sauerstoffkonzentrationen auftreten (SCHWOERBEL 1972). Ein Aufenthalt der Junglarven im Hyporheal erscheint außerdem wegen der häufigen Umlagerung des Gewässerbodens unwahrscheinlich. Demnach überwintert *S. angustipes* in der Rodau im vierten und fünften Larvenstadium.

Das Ende der ersten Generation von *S. erythrocephalum* wurde mit dem frühesten Puppenfund auf den 24.06.93 festgelegt. Da RÜHM (1969) und TIMM (1988) in verschiedenen norddeutschen Tieflandflüssen mit vergleichbarer Wassertemperatur im Frühling den Höhepunkt der Eiablage schon Mitte Mai festleg-

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

ten, ist es wahrscheinlich, daß sich in der Rodau von April bis Mai eine (nicht nachgewiesene) erste Generation entwickelte und bis Ende Juni die zweite. Somit hätten sich 1993 in der Rodau nicht vier, sondern fünf Generationen dieser Art entwickelt. Fünf Generationen entdeckte auch POST (1983) bei den Larven eines englischen Kleingewässers, wobei die präimaginale Entwicklungsdauer im Sommer und Herbst nur wenige Tage von den eigenen Ergebnissen abweicht. Auch dies spricht dafür, daß eine Mückengeneration in der Rodau zu Beginn des Jahres 1993, wohl aufgrund der geringen Individuenzahlen, nicht aufgefunden werden konnte. Mit einer Generationszahl von 4, die in günstigen Jahren auch 5 erreichen kann, rechnen RÜHM & CREUTZBURG (1982) für die Emmer/ Weser.

Falls die Beobachtungen von RÜHM (1969), nach denen sich die Eier von *S. erythrocephalum* unter Laborbedingungen bei 15 °C in 8 Tagen entwickeln, auch im Freiland zutreffen, können einige Aussagen zum Lebenszyklus der Imagines gemacht werden. So entspricht das Auftreten von Puppen der zweiten Generation und dem von Erstlarven der folgenden Generation in etwa der von RÜHM gefundenen Zeitspanne. Demnach müßten die Imagines unmittelbar nach ihrer Emergenz kopuliert und Eier abgelegt haben, sonst wäre es nicht möglich, daß so schnell Erstlarven der Folgegeneration auftauchten. Die Weibchen der dritten Generation benötigten jedoch bis zur Eiablage mehr Zeit, etwa eine bis zwei Wochen. Möglicherweise brauchen die für die Überwinterung bestimmten Eier länger bis zur vollständigen Reifung und/oder die weiblichen Kriebelmükken der zweiten Generation konnten auf eine Blutmahlzeit verzichten, während dies für die Entwicklung der letzten Generation obligat ist. WIRTZ (1985) verweist zwar darauf, daß bei allen mammalophilen Arten in jedem gonotrophischen Zyklus mindestens eine Blutmahlzeit benötigt wird, allerdings vermuten RÜHM & HECHLER (1974) eine Beeinflussung der potentiellen Natalität bei anthropogen bedingter Eutrophierung des Gewässers. RUBTSOV (1962) erwähnt sogar, daß in manchen Gewässern die Sommergeneration von *S. ornatum* nichtblutsaugende Weibchen produziert. Er erklärt dies damit (RUBZOW 1964), daß günstige Bedingungen der Ernährung und der Aufspeicherung von fetteiweißhaltigen Verbindungen im Fettkörper der Larve die Voraussetzung für die Reifung der Geschlechtsprodukte bei der Imago ohne zusätzliche Ernährung durch Blut schaffen. Für *S. ornatum* konnte gleichsam eine verzögerte Eiablage der überwinternden Generation festgestellt werden, so daß dieser Befund mit der zu diesem Zeitpunkt erfolgten Blutmahlzeit und der längeren Eireifung erklärbar ist. Demnach könnte eine für die Altlarven günstige Nahrungszusammensetzung im Besiedlungsgewässer modifizierend auf die Eiproduktion der weiblichen Imagines wirken. Trifft dies auch für tropische blutsaugende Simuliidae zu, so könnnten über entsprechende Zugaben ins Gewässer Erfolge in der Schädlingsbekämpfung erreicht werden.

5.5 Milieuansprüche

Mit der ersten massiven Abwassereinleitung ändert sich die Simuliidenfauna der Rodau grundsätzlich, sowohl bezogen auf das Artenspektrum als auch hinsichtlich der Abundanz. Die Faunenverödung unterhalb der Kläranlage Ober-Roden

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

zeigt, daß die chemisch-hydrologischen Bedingungen im Wasser das Vorkommen von Simuliidae wesentlich beeinflussen.

Die vorliegenden Ergebnisse weisen je nach Art unterschiedliche Korrelationen zwischen der Besiedlungsdichte und den abiotischen Faktoren auf. Daraus läßt sich folgern, daß bestimmte Parameter im Gewässer auf Kriebelmückenlarven artspezifisch wirken, das heißt dichtebestimmende Regulatorien wie die Mortalität, Entwicklungsgeschwindigkeit oder das Driftverhalten werden unterschiedlich von den Bedingungen im Gewässer gesteuert. Bisherige, meistens halbquantitative Untersuchungen zur Dichteregulierung von Larven durch abiotische Faktoren wurden in kaum oder gering verschmutzten Gewässern durchgeführt (z. B. CARLSSON & al. 1977, EZENWA 1974, GORDON & CUPP 1980, LEWIS & BENNETT 1975).

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Besiedlungsdichte und der **Fließgeschwindigkeit** konnte nur für *S. ornatum* nachgewiesen werden, was den rheophilen Charakter der Art bestätigt. JEDLICKA (1978) fand die meisten Larven des *S. ornatum*-Komplexes in Gewässern mit einer Fließgeschwindigkeit um 1 m/s, allerdings nur wenige Larven oberhalb dieses Werts. PHILLIPSON (1956) ermittelte im Labor einen Präferenzbereich für *S. ornatum* zwischen 0,4 und 0,8 m/s, so daß ein erhöhter Abfluß durch eine Kapazitätserweiterung der Kläranlagen bei unverändertem Gewässerprofil zum Anstieg der Population in der Rodau führen würde. Bei einer Fließgeschwindigkeit über 1,2 m/s driften auch *S. ornatum*-Larven vermehrt ab (PHILLIPSON 1956). Eine Besiedlung von Gewässerabschnitten mit einer Fließgeschwindigkeit unter 0,2 m/s wird in der Literatur selten erwähnt; möglicherweise handelt es sich um einen generellen Mindestwert für Simuliidae (vgl. auch PHILLIPSON 1957). Ein Blick auf die Filterorgane der Larven, die ja vor allem der Strömung ausgesetzt sind, kann bei der Erklärung dieser Feststellung helfen: FORTNER (1937), HARROD (1965) sowie SCHRÖDER (1980a) wiesen nach, daß die Einklappfrequenz der Primärfächer als Ausdruck regelmäßiger Filtriertätigkeit erst ab 0,2 m/s linear mit der Fließgeschwindigkeit ansteigt, bei einer niedrigeren Fließgeschwindigkeit aber irregulär ist und stark abfällt. In einer ergänzenden Untersuchung konnte SCHRÖDER (1988) zeigen, daß *S. erythrocephalum* bei steigender Fließgeschwindigkeit früher zu regelmäßigen Einklappbewegungen übergeht als *S. ornatum*. Hier deuten sich funktionsmorphologische Unterschiede an, die zusammen mit wichtigen abiotischen Parametern (Nahrungsangebot, Wassertemperatur) interspezifische Strömungspräferenzen erklären können. GLÖTZEL (1973) fand *S. ornatum* jedoch noch bei 0,12 m/s und erklärt dies damit, daß eine Besiedlung von Bereichen niedriger Strömung bei gleichzeitig hoher organischer Drift möglich ist, da dann eine ausreichende Ernährung gewährleistet ist. Folgerichtig ermittelte AMBÜHL (1959) den größten relativen Larvenanteil in unverschmutzten Bächen immer oberhalb von 0,5 m/s. Die eigenen Ergebnisse bestätigen die Funde von Glötzel (1973). OLEJNICEK (1983) ordnete *S. angustipes* einen Präferenzbereich von 0,5 bis 0,9 m/s zu. Da die größten Abundanz-Werte dieser Art in der Rodau jedoch bei geringer Fließgeschwindigkeit liegen, könnte dies ein Hinweis darauf sein, daß Kriebelmückenlarven bei ausreichender Nährstoffversorgung diese bevorzugen, um zum Beispiel hydraulischem Streß zu entgehen (STATZNER 1981). Allerdings

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

traten in der Rodau keine Larven bei einer Fließgeschwindigkeit unter 0,15 m/s auf, so daß eine gute Nährstoffversorgung die hydraulisch vorgegebene Mindestfließgeschwindigkeit nur unwesentlich herabsetzt. Der ermittelte Präferenzbereich von *S. erythrocephalum* für eine Fließgeschwindigkeit zwischen 0,3 und 0,4 m/s deckt sich gut mit den bei PEGEL & RÜHM (1976) gemachten Angaben.

Die signifikante Korrelation des **Sauerstoffgehaltes** und der Larvendichte von *S. ornatum* spiegelt kein hohes O_2-Bedürfnis dieser Art wider, sondern ist indirekter Ausdruck der rheobionten Lebensweise von *S. ornatum*. Da eine hohe O_2-Konzentration im Rhithral kleinerer Fließgewässer vor allem in turbulenten Bachabschnitten erreicht wird, ist eine Trennung zwischen dem Sauerstoffgehalt und der für die Nahrungsaufnahme der Simuliidae unerläßlichen Strömung schwierig durchzuführen. Dies erkannte schon PHILLIPSON (1956), der die Bedeutung beider Faktoren mit Hilfe einer Fließrinne experimentell zu erfassen versuchte. Seine Ergebnisse zeigen, daß für Larven von *S. ornatum* die Strömung verteilender Faktor ist, solange die Sauerstoffsättigung nicht unter 30 % absinkt. Bei geringeren Werten versuchten die Larven verstärkt, durch Ortswechsel günstigere O_2-Bereiche zu besiedeln. Die gemessenen minimalen Werte von 16 % in der Rodau waren zwar auf ein außergewöhnliches Ereignis (Bruch der Kanalisationsrohre) zurückzuführen; aperiodische O_2-Schwankungen sind jedoch in urbanen Gewässern eher die Regel als die Ausnahme. Die von GLÖTZEL (1973) gemachte Beobachtung, daß bei Sättigungswerten unter 60 % nur die hautatmenden Junglarven existieren können, konnte in der Rodau nicht bestätigt werden. Auch im Hochsommer bei einer Sättigung um 50 % waren alle Larvenstadien vorhanden. Obwohl sogar die Schmutzwelle einer ungeklärten Einleitung keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Dichte und Altersstruktur der Larven hatte, wirken sich langfristige ungünstige Sauerstoffverhältnisse, wie sie an der Station F1 auftraten, auf Abundanz und Artenspektrum aus.

GLÖTZEL (1973) stellte im Verlauf einer Selbstreinigungsstrecke eines organisch belasteten Baches trotz gleichbleibendem **Ammonium**- und **Orthophosphatgehalt** hohe Dichteunterschiede der Larven an verschiedenen Gewässerabschnitten fest, die somit nicht auf Einwirkungen des Ammoniums oder Orthophosphats zurückzuführen sind. In der Rodau konnte nur für *S. erythrocephalum* eine signifikante Beeinflussung durch hohe Ammoniumkonzentrationen ermittelt werden, diese Art kam aber in dem von GLÖTZEL untersuchtem Gewässer nicht vor. Die Empfindlichkeit von *S. erythrocephalum* gegenüber hoher Ammoniak-Konzentration wurde von GRUNEWALD (1978) unter Laborbedingungen geprüft. Alle untersuchten Altlarven waren bei von 0,6 mg/l nach vier Stunden eingegangen. Allerdings sind diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Freilandverhältnisse übertragbar, da auch in den Kontrollversuchen etwa 10 % aller Larven starben und die Versuchstemperatur mit durchschnittlich 23 °C recht hoch war. GRUNEWALD vermutet außerdem, daß die gegenüber den natürlichen Brutgewässern geänderte Ionenkomposition bzw. der Ionenmangel des Kulturwassers einen Einfluß auf die Mortalität der S. *erythrocephalum*-Larven ausübt. Immerhin zeigen seine Ergebnisse und die Besiedlungsverhältnisse in der Rodau, daß *S. erythrocephalum* besonders empfindlich auf hohe Ammoniumkonzentrationen bei pH-Werten im basischen Bereich reagiert. Dies entspricht der Tatsache, daß

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

die Art bevorzugt potamale Fließgewässerabschnitte besiedelt, da hier die durch Kläranlagenabwässer eingeleiteten Stickstoffverbindungen kaum noch als Ammonium, sondern als zootoxikologisch weniger bedenkliches Nitrat vorliegen. Laborversuche zur NH_4^+- und NH_3-Resistenz von *S. ornatum*-Larven führte MARCUS (1975) durch. Er wies nach, daß erst ab 50 mg/l Ammonium die Mortalität der Larven signifikant zunimmt. Parallelversuche mit verschiedenen Ammoniak-Konzentrationen zeigten eine signifikante Larvensterblichkeit ab 3 mg NH_3/l. Damit ist klar, daß nicht der Ammoniumgehalt die Larvendichte reguliert, sondern je nach pH-Wert und Wassertemperatur das unterschiedlich vorhandene Ammoniak. Da in der Rodau pH-Werte über 7,5 die Regel waren und somit insbesondere bei hoher Wassertemperatur ein bedeutender Anteil des Ammoniums als NH_3 vorlag, indiziert die für Ammonium ermittelte Korrelation also nur die indirekten Folgen der Ammoniakvergiftung. Ein Vergleich der Ergebnisse von GRUNEWALD (1978) und MARCUS (1975) zeigt zudem, daß *S. ornatum* toleranter gegenüber hohen NH_3-Werten ist als *S. erythrocephalum*. Dies unterstützt gut die von uns für *S. erythrocephalum* als einziges festgestellte signifikante negative Korrelation zu NH_4-N.

Bei der Gegenüberstellung von **Trübung** und Besiedlungsdichte sind die drei untersuchten Arten signifikant negativ korreliert, obwohl eine positive Korrelation zu erwarten gewesen wäre, da der Schwebstoffanteil als Ausdruck der Nährstoffkonzentration angesehen werden kann. Offenbar spielt hier die Größe der Nahrungspartikel eine wichtige Rolle, so daß die größeren Nahrungsflocken oberhalb der Kläranlage Weiskirchen schlechter filtriert werden können. Ein Blick auf morphologische Unterschiede der Labralfächer gibt weitere Hinweise: So vermaß SCHRÖDER (1987) u. a. die Filterflächen und den Abstand der Filterborsten zueinander sowie deren Anzahl bei 16 europäischen Arten, leider nicht bei *S. angustipes*. SCHRÖDER konnte nachweisen, daß *S. ornatum* kleinere Filterflächen und eine geringere Anzahl von Filterborsten als *S. erythrocephalum* hat. Daraus läßt sich folgern, daß *S. ornatum* mit der mechanischen Beanspruchung durch Trübungsteilchen und der Verwertung größerer Nahrungsflocken besser zurecht kommt. Demnach müßten die Filterflächen von *S. angustipes* im Vergleich zu den beiden anderen Simuliidae besonders groß sein, was noch zu prüfen wäre. Ein weiterer Grund für die negative Korrelation zwischen Trübung und Besiedlungsdichte dürfte die höhere Verschlammung zwischen Ober-Roden und Weiskirchen sein, so daß in diesem Bachabschnitt weniger geeignete Besiedlungssubstrate für Simuliidae vorhanden waren.

Die **Leitfähigkeit** der Rodau ist aufgrund des hohen Abwasseranteils sehr hoch. Es liegt eine positive Korrelation bei allen untersuchten Simuliidae vor, so daß osmotische Probleme bei diesen Konzentrationen noch nicht auftraten, wie dies z. B. FREDEEN & SHEMANCHUK (1960) vermuten. Die Ergebnisse von GRUNEWALD (1981) scheinen eher darauf hinzudeuten, daß geringe Ionenkonzentrationen (etwa 70 μS/cm) schlechter reguliert werden können als hohe. Untersuchungen zur Osmolarität der Hämolymphe verschiedener Arten wären in diesem Zusammenhang hilfreich. RUBTSOV (1956) erwähnt eine Art der *S. aureum*-Gruppe (*S. salinum*) als einzige Kriebelmücke, deren Larven eine hohe Salzkonzentration von 150-200 mg/l tolerieren können. Entsprechendes vermutet

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

CROSSKEY (1990), indem er auf die große Verbreitung dieser Gruppe in Küstennähe hinweist. Die hohen Abundanz-Werte in der Rodau sind somit u. a. Ausdruck einer euryhalinen Potenz von *S. angustipes*.

5.6 Saprobielle Valenz

SEITZ (1992) hat auch auf den Wert der Simuliidae als Leitformen der Saprobität hingewiesen. Da diese Untersuchung auf autökologische Ansprüche einzelner Arten eingeht und das Untersuchungsgebiet geographisch nicht weit von der Rodau entfernt liegt, bieten sich die Ergebnisse gut zum Vergleich an. *S. erythrocephalum* fand SEITZ nur in Gewässern der Güteklasse II und II-III, so daß er ihr einen Saprobiewert von 2,0 und einen saprobiellen Schwerpunkt von 2,2 zuordnet. Dies entspricht genau den Angaben von BRAUKMANN (1987), CAR (1988), SLADECEK (1981) und WEGL (1983). In der Rodau wurden Präimaginalstadien dieser Art vor allem an der Station F3 gefunden, die als kritisch belastet (Güteklasse II-III) charakterisiert werden kann, so daß die Einstufung gerechtfertigt erscheint.

S. ornatum wurde von SEITZ (1992) in gering belasteten bis stark verschmutzten Gewässern (Güteklasse I-II bis Güteklasse III) gefunden. RÜHM (1986) berichtet von Massenvorkommen der *S. ornatum*-Larven bei Güteklasse III, wenn die Fließgeschwindigkeit hoch ist. WICHARD (1976) wies *S. ornatum* sogar in polysaproben Gewässern nach. Die hohe ökologische Valenz der Art bestätigen die Funde bei einem Saprobienindex zwischen 0,6 und 3,65 (WICHARD 1976). Tatsächlich trat die Art auch in der Rodau überall auf, allerdings mit hoher Dichte nur in mesosaproben Gewässerabschnitten. Deshalb kann die Forderung von SEITZ (1992), den in der DIN-Liste der Saprobierarten (DEV 1991) vorgegebenen Saprobiewert von 2,0 auf 2,5 zu ändern, unterstützt werden.

S. angustipes wird von SLADECEK (1981) mit einem Saprobiewert von 2,2 eingestuft, CAR (1988) nennt 2,0 und WEGL (1983) nur 1,2. Dagegen zeigt die Einschätzung von SEITZ (1992) (Saprobiewert 2,5; saprobieller Schwerpunkt 2,3) und die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse, daß *S. angustipes* eine viel größere ökologische Bandbreite besitzt als angenommen wird. Selbst SEITZ (1992) scheint diese noch zu unterschätzen, wenn er über *S. angustipes* sagt: "Bei weiter zunehmender Saprobie wird es ebenso wie alle anderen Simuliidae durch das euryöke, auch beginnende alpha-mesosaprobe Verhältnisse tolerierende *S. ornatum* ersetzt" Im Gegensatz zu SEITZ, der Simuliidae niemals in alpha-mesosaproben/polysaproben oder gar polysaproben Gewässern beobachtete, wurden Larven von *S. ornatum* und *S. angustipes* in geringer Abundanz auch unterhalb der Kläranlage Ober-Roden gefunden. Dieser Gewässerabschnitt ist nach dem Chemischen Index (Medianwert 19) mit Gewässergüte III-IV einzustufen (BERNERTH & TOBIAS 1994), nach der saprobiologischen Untersuchung aber Güteklasse III. Sowohl die Existenz von Simuliidae wie auch die etwas differierende Einschätzung der Gewässerqualität können durch die sich günstig auf die Besiedlung auswirkende hohe Fließgeschwindigkeit in diesem Bereich erklärt werden. Da sich *S. angustipes* von seinen ökologischen Ansprüchen deutlich von

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

der Schwesterart *S. aureum* unterscheidet, wäre zu überprüfen (z. B. cytologisch), ob die enge systematische Verwandtschaft tatsächlich besteht oder sich nur auf morphologische Ähnlichkeiten stützt. Hohe Dichte der Präimaginalstadien von *S. ornatum* und *S. angustipes* deutet somit auf ein stark anthropogen belastetes Gewässer hin, bei geringerer Fließgeschwindigkeit und vorhandener Ufervegetation gesellt sich *S. erythrocephalum* hinzu.

Literatur

AMBÜHL, H. (1959): Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor.- Schweiz. Z. Hydrol. **21**: 133-264, Basel.

BAKER, R. R. (1983): Insect territoriality.- Ann. Rev. Entomol. **28**: 65-89, Stanford.

BERNERTH, H. & W. TOBIAS (1994): Gewässerökologische Bewertung der Rodau im Stadtgebiet von Obertshausen zwischen der B 448 und der Schwarzbachstraße.- Forschungsinstitut Senckenberg, im Auftrag der Stadt Obertshausen, unveröff. Studie, 50 S. [+ Anh.], Frankfurt am Main.

BOCK, A., R. MÜNZHUBER, W. RÜHM & R. SCHLEPPER (1982): Kriebelmücken als Plage- und Schaderreger an der Rur (Simuliidae, Diptera).- Z. angew. Zool. **69**: 183-217, Berlin.

BRAUKMANN, U.(1987): Zoozönologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie.- Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol. **26**: 1-355, Stuttgart.

BROCK, V. & R. SCHLEPPER (1993): Die Kriebelmückenfauna der nördlichen Lüneburger Heide (Diptera: Simuliidae).- In: TIMM, T. & W. RÜHM (Hrsg.): Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae).).- Essener Ökol. Schr. **2**: 87-94, (Westarp Wissenschaften) Essen.

CAR, M. (1988): Neue Simuliidenfunde aus Österreich und ihre Bedeutung als Indikatoren der Gewässergüte.- 5. Deutschsprach. Simuliiden-Sympos., Tagungsber., Hamburg.

CAR, M. & O. MOOG (1993): Höhen- und längenzonale Verteilung der Simuliidenfauna (Diptera) Österreichs und Liechtensteins.- In: TIMM, T. & W. RÜHM (Hrsg.): Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae).- Essener Ökol. Schr. **2**: 63-97, (Westarp Wissenschaften) Essen.

CARLSSON, G., P. ELSEN, P. & K. MÜLLER (1981): Trapping technology - larval blackflies.- In: LAIRD, M. (Ed.): Blackflies: the future for biological methods in integrated control.- 1. Aufl.: 283-286, (Academic Press) London.

CARLSSON, M., L. M. NILSSON, B. SVENSSON, S. ULFSTRAND & R. S. WOTTON (1977): Lacustrine seston and other factors influencing the blackflies (Diptera: Simuliidae) inhabiting lake outlets in Swedish Lapland.- Oikos **29**: 229-238, Copenhagen.

COURTNEY, G. W. (1986): Discovery of the immature stages of *Parasimulim crosskeyi* Peterson (Diptera: Simuliidae), with a diskussion of a unique black fly habitat.- Proc. Ent. Soc. Washington **88**: 280-286.

CRAIG, D. A. (1975): The larvae of Tahitian simuliidae (Diptera: Nematocera).- J. Medical Ent. **12**: 463-476, Honolulu.

CROSSKEY, R. W. (1987): An annotated checklist of the world black flies (Diptera: Simuliidae).- In: KIM, K. C. & R. W. MERRITT (ed.): Black flies. 1.Aufl.: 425-520, (Pennsylvania State Univ.) University Park u.London.

CROSSKEY, R. W. (1990): The Natural History of Blackflies.- 711 S., (John Wiley & Sons) Chichester.

DAVIES, L. (1966): The taxonomy of British black-flies (Diptera: Simuliidae).- Trans. R. ent. Soc. London, **118**:413-511, London.

DAVIES, L. (1968): A key to the British species of Simuliidae (Diptera) in the larval, pupal and adult stages.- Freshwater Biol. Assoc. Sci. Publ. **24**: 1-126, Ambleside.

DE MOOR, F. C. (1982): Determination of the number of instars and size variation in the larvae and pupae of *Simulium chutteri* Lewis 1965 (Diptera: Simuliidae) and some possible bionomical implications.- Canad.J. Zool. **60**: 1374-1382, Ottawa.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

DEV (1991): DIN 38410 Teil 2, Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung; Bestimmung des Saprobienindex (M2).- In: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, (Verlag Chemie) Weinheim.

EDWARDS, F. W. (1920): On the British species of *Simulium*.II. The early stages; with corrections and additions to Part I.- Bull. Ent. Research **11**: 211-246, London.

EICHLER, D. A. (1971): Studies on *Onchocerca gutturosa* (Neumann, 1910) and its development in *Simulium ornatum* (Meigen, 1818). II. Behaviour of *S. ornatum* in relation to the transmission of *O. gutturosa*.- J. Helminthol. **45** (2/3): 259-270, London.

ERPELDING, G. (1985): First record of *Simulium (Hellichiella) latipes* (Meigen 1804) in South-West Germany (Diptera: Simuliidae).- Entomol. General. **10**: 139-142, Stuttgart.

EZENWA, A. O. (1974): Ecology of Simuliidae, Mermithidae, and Microsporida in Newfoundland freshwaters.- Canad. J. Zool. **52**:557-565, Ottawa.

FITZPATRICK, S. M. & Wellington, W. G. (1983): Insect territoriality.- Canad. J. Zool. **61**: 471-486, Ottawa.

FORTNER, G. (1937): Zur Ernährungsfrage der *Simulium*-Larve.- Z. Morphol. Ökol. Tiere **32**: 360-383, Berlin.

FREDEEN, F. J. H. (1976): The seven larval instars of *Simulium arcticum* (Diptera: Simuliidae).- Canad. Entomologist **108**: 591-600, Ottawa.

FREDEEN, F. J. H. & J. A. SHEMANCHUK, (1960): Black flies (Diptera: Simuliidae) of irrigation systems in Saskatchewan and Alberta.- Canad. J. Zool. **38**: 723-735, Ottawa.

GERSABECK, E. F. & R. W. MERRITT (1979): The effect of physical factors on the colonization and relocation behavior of immature black flies (Diptera: Simuliidae).- Environm. Ent. **8**: 34-39, College Park.

GLATTHAAR, R. (1978): Verbreitung und Ökologie der Kriebelmücken (Diptera, Simuliidae) in der Schweiz.- Vierteljahrschr. Naturforsch. Ges. Zürich **123**: 71-124, Zürich.

GLÖTZEL, R. (1973): Populationsdynamik und Ernährungsbiologie von Simuliidenlarven in einem mit organischen Abwässern verunreinigten Gebirgsbach.- Arch. Hydrobiol. Suppl. **42**: 406-451, Stuttgart.

GORDON, A. E. & E. W. CUPP (1980): The limnological factors associated with cytotypes of the *Simulium (Simulium) venustum/verecundum* complex (Diptera: Simuliidae) in New York state.- Canad. J. Zool. **58**: 973-981, Ottawa.

GRUNEWALD, J. (1965): Zur Kenntnis der Simuliidenfauna (Diptera) des Süd-Schwarzwaldes und seiner Randgebiete.- Beitr. naturk. Forsch. Südwestdeutschlands **24**: 143-152, Karlsruhe.

GRUNEWALD, J. (1978): Die Bedeutung der Stickstoff-Exkretion und Ammoniak-Empfindlichkeit von Simuliiden-Larven für den Aufbau von Laboratoriumskulturen.- Z. angew. Ent. **85**: 52-60, Berlin.

GRUNEWALD, J. (1981): Hydro-chemical and physical conditions of the larval sites of species of the *Simulium damnosum* complex.- In: LAIRD, M. (Ed.): Blackflies: the future for biological methods in integrated control.- 1. Aufl.: 227-235, (Academic Press) London.

HARDING, J. & M. H. COLBO (1981): Competition for attachment sites between larvae of Simuliidae (Diptera).- Canad. Entomologist **113**: 761-763, Ottawa.

HARROD, J. J. (1964): The instars of *Simulium ornatum* var. *nitidifrons* Edwards (Dipt., Simuliidae).- Entomol. Month. Mag. **100**: 34-35, London.

HARROD, J. J. (1965): Effect of current speed on the cephalic fans of the larva of *Simulium ornatum* var. *nitidifrons* Edwards (Diptera: Simuliidae).- Hydrobiologia **26**: 8-12. Den Haag.

HART, D. D. (1986): The adaptive significance of territoriality in filter-feeding larval blackflies (Diptera: Simuliidae).- Oikos **46**: 88-92, Copenhagen.

JEDLICKA, L. (1970): Die Verbreitung der Kriebelmücken (Diptera, Simuliidae) in der Südwestslowakei.- Acad. Rer. Natur. Mus. Nat. Slov. **16**: 45-56, Bratislava.

JEDLICKA, L. (1978): Distribution of *Odagmia ornata* (Meigen, 1818) and *Odagmia spinosa* (Doby et Deblock, 1957) in Slovakia (Diptera, Simuliidae).- Acta Fac. Rer. Nat. Univ. Comenianea Zool. **23**: 81-88, Bratislava.

JENSEN, F. (1984): A revision of the taxonomy and distribution of the Danish black-flies (Diptera: Simuliidae), with keys to the larval and pupal stages.- Natura Jutlandica **21**(6): 69-116, Aarhus.

KACANSKI, D. (1966): Larveni stupnjevi *Simulium ornatum* Meigen (Diptera, Simuliidae).- Godisnjak Biol. Inst. Univ.Sarajevu **19**: 187-203, Sarajevo.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

KACANSKI, D. (1968): Dinamika populacija Simulida (Diptera Simuliidae).- Godisnjak Biol. Inst. Univ. Sarajevu **21**: 71-128, Sarajevo.

KIEL, E. (1993): Verhaltensbiologische Studien an Kriebelmückenlarven (Simuliidae: Diptera): Aufenthaltszeiten im Haftplatzsekret.- In: TIMM, T & W. RÜHM (Hrsg.): Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae).- Essener Ökol. Schr. **2**: 99-109, (Westarp Wissenschaften) Essen.

KNOZ, J. (1965): To identification of Czechoslovakian Black-Flies (Diptera, Simuliidae).- Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Purkynianae Brunensis, Biologia **2**, 6(5): 1-54, Brno.

LADLE, M., J. A. B. BASS & W. R. JENKINS (1972): Studies on production and food consumption by the larval Simuliidae (Diptera) of a chalk stream.- Hydrobiologia **39**: 429-448, Den Haag.

LEWIS, D. J. & G. F. BENNETT (1975): The blackflies (Diptera: Simuliidae) of insular Newfoundland. III. Factors affecting the distribution and migration of larval simuliids in small streams on the Avalon Peninsula.- Canad. J. Zool. **53**: 114-123, Ottawa.

MARCUS, A. (1975): Zur Biologie und Ökologie der Jugendstadien von Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae) eines abwasserbelasteten Mittelgebirgsbaches im nördlichen Spessart.- 111 S. u. Anhang,.unveröff. Diplomarb. FB Biologie, Univ. Frankfurt a. M.

MINSHALL, G. W. (1984): Aquatic insect-substratum relationships.- In: RESH, V H. & D. M. ROSENBERG (edit): The ecology of aquatic insects.- pp. 358-400, (Praeger Publishers) New York.

NIESIOLOWSKI, S. (1980): Studies on the abundance, biomass and vertical distribution of larvae and pupae of black flies (Simuliidae, Diptera) on plants of the Grabia river, Poland.- Hydrobiologia **75**: 149-156, Den Haag.

OLEJNICEK, J. (1983): A contribution to the knowledge of biology of the species *Eusimulium securiforme* Rubzov, 1956.- Folia Parasitol. **30**: 73-77, Praha.

PEGEL, M. & W. RÜHM (1976): Versuche zur Besiedlung künstlicher Substrate durch präimaginale Stadien von Simuliiden unter besonderer Berücksichtigung von *Boophtora erythrocephala* de Geer (Simuliidae, Dipt.).- Z. angew. Ent. **82**: 65-71, Berlin.

PHILLIPSON, J. (1956): A study of factors determining the distribution of the larvae of the blackfly, *Simulium ornatum* Mg.- Bull. Ent. Res. **47**: 227-238, London.

PHILLIPSON, J. (1957): The effect of current speed on the distribution of the larvae of the blackflies, *Simulium variegatum* (Mg.) and *Simulium monticola* Fried. (Diptera).- Bull. Ent. Res. **48**: 811-819, London.

PODSZUHN, H. (1967): Gattungsbestimmung von europäischen Simuliiden-Larven (Diptera).- Gewässer und Abwässer (44/45): 87-95, Krefeld.

POST, R. J. (1983): The annual cycle of *Simulium erythrocephalum* (Diptera: Simuliidae) at a site in Norfolk.- Freshwater Biol. **13**: 379-388, Oxford.

REISEN, W. K. (1977): The ecology of Honey Creek, Oklahoma: population dynamics and drifting behavior of three species of *Simulium* (Diptera: Simuliidae).- Canad. J. Zool. **55**: 325-337, Ottawa.

RUBTSOV, I. A. (1956): Blackflies (Fam. Simuliidae).- In: Fauna of the USSR. (64) Insects, Diptera.- 2. Aufl., **6**(6): 1-859. (Akad. Nauk SSSR) Moskau, Leningrad.

RUBTSOV, I. A. (1962): Short keys to the bloodsucking Simuliids of the USSR.- Akad. Nauk SSSR **77**: 1-228, Moskau, Leningrad.

RUBZOW, I. A. (1964): Simuliidae (Melusinidae).- In: LINDNER, E. (Hrsg.): Die Fliegen der Palaearktischen Region. **3**(4), 689 S., (Schweizerbart) Stuttgart.

RÜHM, W. (1969): Zur Populationsdynamik der Kriebelmücken, insbesondere von *Boophthora erythrocephala* de Geer und des *Odagmia ornata*- Komplexes.- Z. angew. Ent. **63**: 212-227, Berlin.

RÜHM, W. (1983): Zur Massenvermehrung der mammalophilen *Odagmia ornata* (Meig.) im Bereich der Rur (Simuliidae, Diptera).- Verh. Ges. Ökol. (1981) **10**: 255-261, Mainz

RÜHM, W. (1986): Schadfälle durch Kriebelmücken (Simuliidae, Diptera) bei Weidetieren in Hessen.- Anz. Schädlingskde. Pflanzenschutz Umweltschutz **59**: 105-111, Berlin, Hamburg.

RÜHM, W. & C. CREUTZBURG (1982): Die Simuliidenfauna der Emmer, eines Nebenflußes der Weser (Diptera, Simuliidae).- Ent. Mitt. Zool. Mus. Hamburg **7**(114): 149-160, Hamburg.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

RÜHM, W. & J. HECHLER (1974): Untersuchungen über die potentielle Natalität verschiedener mammalophiler Kriebelmückenarten unter besonderer Berücksichtigung von *Boophtora erythrocephala* De Geer.- Z. angew. Ent. **77**: 19-31, Berlin.

RÜHM, W. & W. LESSING (1981): Das Kriebelmückenspektrum von Wümme und Seeve (Nordheide) (Diptera, Simuliidae).- Ent. Mitt. Zool. Mus. Hamburg **7**(111): 21-28, Hamburg.

RÜHM, W. & M. PEGEL (1986): Die Substratbesiedlung durch Kriebelmückenlarven und -puppen (Simuliidae, Dipt.).- Arch. Hydrobiol. **107**(1): 75-87, Stuttgart.

RÜHM, W. & M. PRÜGEL (1987): Das Kriebelmückenspektrum der Treene (Diptera, Simuliidae).- Ent. Mitt. Zool. Mus.Hamburg **9**(131): 49-53, Hamburg.

RÜHM, W & H. SANDER (1975): Die Trennung der präimaginalen Stadien der saisondimorphen *Boophthora erythrocephala* (Diptera, Simuliidae) anhand morphologischer Merkmale.- Z. angew. Zool. **62**: 143-172, Hamburg, Berlin.

SCHRÖDER, P. (1980a): Zur Ernährungsbiologie der Larven von *Odagmia ornata* Meigen (Diptera: Simuliidae). 1. Die Filtriertätigkeit unter dem Einfluß von Fließgeschwindigkeit, Wassertemperatur und Futterkonzentration.- Arch. Hydrobiol. Suppl. **59**: 43-52, Stuttgart.

SCHRÖDER, P. (1980b): Zur Ernährungsbiologie der Larven von *Odagmia ornata* Meigen (Diptera: Simuliidae). 2. Morphometrische und physiologische Bezugsgrößen, Darmentleerung und füllzeit, Ingestion.- Arch. Hydrobiol. Suppl. **59**: 53-95, Stuttgart.

SCHRÖDER, P. (1981): Zur Ernährungsbiologie der Larven von *Odagmia ornata* Meigen (Diptera: Simuliidae). 4. Nahrungsausnutzung und Wachstum.- Arch. Hydrobiol. Suppl. **59**: 143-150, Stuttgart.

SCHRÖDER, P. (1987): Labral filter fans of blackfly larvae: differences in fan area and fan ray number and the consequences for utilization and particle selection.- Zool. Beitr. N.F. **31**: 365-394, Berlin.

SCHRÖDER, P. (1988): Filter feeding activity of blackfly larvae (Diptera: Simuliidae) in relation to stream velocity and food supply.- Arch. Hydrobiol. Suppl. **77**: 161-182., Stuttgart.

SCHWOERBEL, J. (1972): Produktionsbiologische Aspekte in Fließgewässern.- Verh. Dtsch. Zool. Ges., 65. Jahresversammlung 1971: 57-69, (G. Fischer) Stuttgart.

SEITZ, G. (1992): Verbreitung und Ökologie der Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae) in Niederbayern.- Lauterbornia **11**: 1-231, Dinkelscherben.

SHIPP, J. L. & W. S. PROCUNIER, (1985): Seasonal occurance, development and the influences of selected environmental factors on the larvae of *Prosimulium* and *Simulium* species of blackflies (Diptera: Simuliidae) found in the rivers of southwestern Alberta.- Canad. J. Zool. **64**: 1491-1499, Ottawa.

SLADECEK, V (1981): Biologicky rozbor povrchové vody.- Komentar k CSN 83 0532.

SMART, J. (1944): The British Simuliidae with keys to the species in the adult, pupal and larval stages.- Freshwater Biol. Assoc. Sc. Publ. **9**: 1-57, Ambleside.

STATZNER, B. (1981): The relation between "hydraulic stress" and microdistribution of benthic macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierenseebrooks (North Germany).- Arch. Hydrobiol. **91**: 192-218, Stuttgart.

THORUP, J. (1974): Occurence and size-distribution of Simuliidae (Diptera) in a Danish spring.- Arch. Hydrobiol. **74**: 316-335, Stuttgart.

TIMM, T. (1987): Dormanzformen bei Kriebelmücken unter besonderer Berücksichtigung des Ei-Stadiums (Diptera: Simuliidae).- Entomol. General. **12**: 133-142, Stuttgart.

TIMM, T. (1988): Die Eibiologie der Kriebelmücken Potenz und Toleranz und ihre Beziehung zur Habitatbindung (Diptera: Simuliidae).- Arch. Hydrobiol. Suppl. **79**: 363-445, Stuttgart.

TIMM, T. (1990): Die Bedeutung der Eiablage für die Besiedlung von Fließgewässern - dargestellt am Beispiel der Kriebelmücken.- In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1990, 22.-26.IX.1990 in Essen: 355-359, München.

TIMM, T. (1993): Ein Fund von *Simulium urbanum* im Norddeutschen Tiefland Bindeglied zwischen Fundorten in England, Dänemark und dem Bayrischen Wald.- In: TIMM, T. & W. RÜHM (Hrsg.): Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae).- Essener Ökol. Schr. **2**: 95-97, (Westarp Wissenschaften) Essen.

WEGL, R. (1983): Index für die Limnosaprobität.- Wasser und Abwasser, **26**, (Bundesanstalt für Wassergüte) Wien.

©Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, Deutschland, Download unter www.biologiezentrum.at

WEILER, J., R. SCHLEPPER & W. RÜHM (1979): Verbreitung der Kriebelmücken (Simuliidae, Diptera) im Großraum von Hamburg.- Ent. Mitt. Zool. Mus. Hamburg **6**(104): 205-216, Hamburg.

WEISER, J. & A. H. UNDEEN (1981): Diseases of blackflies.- In: LAIRD, M. (ed.): Blackflies: the future for biological methods in integrated control.- 1. Aufl.: 181-196, (Academic Press) London.

WICHARD, G. (1976): Untersuchungen zur Ökologie von Simuliiden (Diptera Simuliidae) an organisch belasteten Gewässern.- Gewässer und Abwässer **60/61**: 35-64, Krefeld.

WIRTZ, H.-P. (1985): Nahrungsaufnahme und Natalität bei palaearktischen Simuliiden (Diptera). 1. Blutfütterung von *Boophtora erythrocephala* DE GEER 1776 und *Wilhelmia lineata* MEIGEN 1804 am Kaninchen.- Anz. Schädlingskde. Pflanzenschutz Umweltschutz **58**: 1-10 Berlin, Hamburg.

ZWICK, H. (1974): Faunistisch-ökologische und taxonomische Untersuchungen an Simuliidae (Diptera), unter besonderer Berücksichtigung der Arten des Fulda-Gebietes.- Abh. senckenberg. naturforsch. Ges. **533**: 1-116, Frankfurt am Main.

ZWICK, H. (1993): Zum Stand der Taxonomie und Determination einheimischer Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae).- In: TIMM, T. & W. RÜHM (Hrsg.): Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa (Diptera, Simuliidae).- Essener Ökol. Schr. **2**: 37-53, (Westarp Wissenschaften) Essen.

ZWICK, H. & P. ZWICK (1990): Terrestrial mass-oviposition of *Prosimulium*-species (Diptera: Simuliidae).- Aquatic Insects **12**: 33-46, Lisse.

Anschrift der Verfasser Dipl.-Biol. Uwe Krüger, Humboldtstraße 92, D-60318 Frankfurt a. M. und Prof. Dr. Wolfgang Tobias, Forschungsinstitut Senckenberg, Senckenberganlage 25, D-60325 Frankfurt a.M.

Manuskripteingang 28.07.1995

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Lauterbornia

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 1995_21

Autor(en)/Author(s): Krüger Uwe, Tobias Wolfgang

Artikel/Article: Vorkommen, Entwicklung und Populationsdynamik präimaginaler Kriebelmückenstadien (Simuliidae) in einem abwasserbelasteten Fließgewässer des Untermaingebietes. 1-38