

# Die Metamorphose von *Stempellina montivaga* Goetgh.

(Chironomiden aus dem Lunzer Seengebiet IX<sup>1</sup>)

Von

AUGUST THIENEMANN, Plön.

Mit 12 Abbildungen im Text.

In seiner Bearbeitung der Sectio *Tanytarsini* in Lindners grossem Dipterenwerk führt Goetghebuer (1938 S. 96—99) für die Gattung *Stempellina* Bause der »*Tanytarsariae connectentes*» neun Arten an. Nur von einer ist bisher die Metamorphose bekannt, von *S. bausei* Kieff. (Bause 1914 S. 64—66, 93, 100; Zavřel 1926 S. 5—6.) Bekannt ist ferner die Larve der nordamerikanischen *S. Johannsenii* Bause (Bause S. 67), und die Larve und Puppe einer noch nicht gezüchteten Art aus dem Frischen Haff (Lundbeck 1935 S. 267—268). Die von Goetghebuer (Dodonaea II. 1944 S. 35—36) als *Stempellina ciliaris* n. sp. beschriebene Art (schlammige Stellen eines rechten Seitenbächleins des unteren Meiergrabens, Lunz) gehört nach Larven und Puppen unbedingt zur Gattung *Zavřelia* (im Sinne der Larven-Puppen-Systematik). Dagegen ist »*Phaenopelma*» *brevicosta* Edw. (aus Seen Lapplands) auf Grund ihrer Puppe, — die Larve ist unbekannt —, in unser Genus *Stempellina* zu stellen.

Im folgenden beschreibe ich die Metamorphose einer Art, die in allen Entwicklungsstadien von den genannten verschieden ist und sich durch einen besonders zierlichen Köcher auszeichnet, *Stempellina montivaga* Goetghebuer (1934 S. 347).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I. Archiv f. Hydrobiol. 38. 1941 S. 106—109; II. Archiv f. Hydrobiol. 38. 1942 S. 581—585; III. Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrographie 42. 1942. S. 356—387; IV. Zool. Anz. 137. 1942. S. 10—18; V. Archiv f. Hydrobiol. 39. 1942. S. 394—315; VI. Zool. Anz. 139. 1942 S. 201—208; VII. Zool. Anz. 140. 1942. S. 101—109; VIII. Zool. Anz. 142. 1943 S. 192—199.

<sup>2</sup> Bei meiner Bearbeitung der *Stempellina*arten aus der Gegend von Garmisch-Partenkirchen ist mir (1936 S. 190—191) ein Irrtum unterlaufen, der durch die Reinzuchten aus Lunz geklärt ist: die dort zu *montivaga* gestellten Larven und Puppen gehören zu *St. bausei*, während die als *Stempellina* sp. bezeichneten Larven die von *St. montivaga* sind.

Larve: Der Bau der Larve von *S. montivaga* gleicht im ganzen dem von *S. bausei*. Die unterscheidenden Merkmale der verschiedenen bekannten *Stempellinalarven* sind in der folgenden Bestimmungstabelle zusammengestellt:

1. Chitinhöcker auf dem Clypeus vorhanden. Die beiden Borsten des Stirnschildes gespalten (Bause fig. 34, 35). Antennensockel ohne distale Spitze, der handförmige basalmediane Fortsatz in 9—10 stumpfere, längere »Finger« gespalten, ohne Spitzen auf der Fläche (Bause fig. 34, 36; Lundbeck fig. 1 a; Johannsen 1905 Taf. 20, fig. 10; 1937. Taf. 1 fig. 1) (Abb. 1). Praeanale Borstenträger ohne auffallende starke schwarzbraune distalmediane Spitze (Abb. 2)..... 2  
Clypeus ohne Chitinhöcker. Borsten des Stirnschildes ungespalten. Antennensockel mit distalmedianer Spitze; der basalmediane Fortsatz distal in etwa 13 oder mehr, kürzere, meist spitzere »Finger« zerspalten, auch auf der medianen Fläche mit solchen Spitzen; die Form des ganzen Gebildes variiert (Abb. 3). Antennengrundglied: Summe der Endglieder = 20 : 19. Praeanale Borstenträger distalmedian mit auffallender, starker, schwarzbrauner Spitze, deren Länge  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  der Länge der längsten Pinselborsten beträgt. (Abb. 4.) Länge der reifen Larven gut 3 mm; Farbe gelblich-rötlich. — Krenobionte Art der Alpen (Oberbayern, Niederdonau) und Bulgariens.  
*Stempellina montivaga* Goetgh.
2. Auf dem Analende des Clypeus 2 kleine, nach vorn zeigende, abgerundete Chitinhöcker (Bause fig. 34)..... 3  
Auf Clypeus und Epicranium 12 Chitinhöcker (Bause fig. 35; Johannsen 1905 Taf. 20 fig. 10; 1937 Taf. 1 fig. 1). Larvenlänge etwa 2,5 mm, Farbe blassgelblich. — Saranac Inn N. Y. U. S. A.  
*Stempellina Johannsenii* Bause.
3. Grundglied der Antenne fast doppelt so lang wie die Summe der Endglieder (16 : 9). Lauterbornsche Organe verhältnismässig klein und schmal (Lundbeck fig. 1 a). Larvenlänge 2,5—3 mm, Farbe gelblich. — Häufig im Kurischen Hafl.  
*Stempellina* sp. A.  
Grundglied der Antenne nur wenig länger als die Summe der Endglieder (16 : 14). Lauterbornsche Organe gross und breit (Bause fig. 34, 36). Larvenlänge 3—4 mm, Farbe gelblich-rot.  
*Stempellina Bausei* K.

(*St. bausei* ist weit verbreitet; sie lebt in Feldgräben (Münsterland, Westfalen), kleinen Flüssen (Holstein), Bächen (Lunz), Teichen (Lunz), vor allem aber in Quellen und in Seen. Aus Seen kennen wir sie (sicher bestimmt) aus der Eifel (Pulvermaar), den Alpen (Vierwaldstätter See, Lunzer Untersee), Mittelschweden (Vättern), Kurland (Usma-See); aus Quellen wurde sie nachgewiesen in Holstein, Rügen, Bremen, Südschweden, Lettland, Kurland, den Alpen, bei Moskau. Sie kommt ferner vor in England, Holland, Russland (Gebiet des Ob), Mähren, Korsika. Ihre Verbreitung reicht also von Mittelschweden (vielleicht auch von Lappland) bis Südeuropa, von Westeuropa bis zum Gebiete des Ob. — Subfossil fand sie sich in Quellkalken am Windebyer Noor (Schleswig-Holstein), die im Subboreal, von der Ganggräber- bis einschliesslich zur Bronzezeit, abgelagert wurden (Schuster 1925 S. 46, 50)<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Nicht zu unterscheiden von *bausei* waren 2 Larven aus einem Quellrinnsal am See Pasir in Mitteljava (vergl. Zaviel 1935 S. 162).

## Puppe:

Die Unterschiede der bisher bekannten *Stempellina*-puppen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

1. Prothorakalhorn ohne Besatz langer Borsten (Bause fig. 87; Lundbeck fig. 1 d; Thienemann 1941 fig. 45). Das Dorsalchagrin auf den Abdominalsegmenten bildet keilförmige Flecken (Bause fig. 86, Lundbeck fig. 1 e, Thienemann 1941 fig. 46)..... 2  
 Prothorakalhorn ein etwa halbmondförmiger, 0,15 mm langer Schlauch, der auf seiner konvexen Seite eine dichte Längsreihe sehr langer blasser Borsten trägt; die Borsten fast so lang wie das Horn (Abb. 5). Dorsale Abdominalbewaffnung: I glatt, II—VIII mit kräftigen, braunen Chagrinspitzen, die die Seiten der Segmente und auf II—V einen Medianfleck nahe dem Analrande frei lassen. VI—VIII weniger stark chagriniert (Abb. 6). Lateralborsten: auf III—IV 2 einfache, auf V—VI und VIII 3 Schlauchborsten, auf VII 4 Schlauchborsten. Seitenrand von Seg. VIII dunkelbraun gesäumt, die anale Hälfte mit 3—4 kräftigen dunkeln Spitzen, von denen die anale am stärksten ist (Abb. 7). Puppenlänge 3 mm.  
*Stempellina montivaga* Goetgh.
2. Prothorakalhorn im ganzen dicht mit Spitzchen besetzt (Lundbeck fig. 1 d; Thienemann 1941 fig. 45)..... 3  
 Prothorakalhorn ein 0,2 mm langer, gegen das Ende verjüngter Schlauch, der ganz glatt oder höchstens am äussersten Ende mit feinsten Spitzen besetzt ist (Bause fig. 87). Abdominalseg. III—VI mit je 2 langen, am analen Ende verbreiterten Chagrinspartien (Bause fig. 86). An den Lateralrändern von VIII 3(—4) starke Chitindornen (Bause fig. 88). Puppenlänge 2,5 mm  
*Stempellina bausei* K.
3. Prothorakalhorn etwa 0,3 mm lang, wie bei *bausei* geformt, aber vollständig mit kurzen Spitzen besetzt (Lundbeck fig. 1 d); an den Hinterecken von Abd. Seg. VIII nur ein einziger Sporn (Lundbeck fig. 1 c). Puppenlänge 2 mm  
*Stempellina* sp. A.  
 Prothorakalhorn (Thienemann 1941 fig. 45) blass, abgeplattet, basal eingeschnürt, dann stark verbreitert und gegen die Spitze hin verjüngt, dicht mit Spitzen besetzt, nur das spitze Distalende spitzenfrei. Seitenränder von Seg. VIII mit einer Anzahl spitzer, dornartiger Spitzen, die zuweilen auch hakenartig gebogen sind und auf deutlichen Papillen stehen. Die Anzahl und Stellung der Spitzen variiert stark, von 2—7 (Thienemann fig. 47). Puppenlänge 4 mm  
*Stempellina (Phaenopelma) brevicosta* Edw.

Gehäuse: Das — freie — Gehäuse der *Stempellina*-arten ist hornförmig und gleicht dem Köcher mancher Trichopterenlarven (*Beraea*). Bause beschreibt es für *S. bausei* (S. 65, 66) so und bildet es in fig. 39 ab: »Es stellt eine köcherartige, hornförmig gebogene, 6—7 mm lange Röhre dar, die sich nach dem Hinterende zu gleichmässig bis etwa auf die Hälfte der vorderen Öffnung verjüngt. Die Röhre ist aus kleinen Sandkörnchen mosaikartig zusammengesetzt und erhält ein noch zierlicheres Aussehen dadurch, dass zwischen die in der Regel hellen Körnchen ab und zu einzelne schwarze eingefügt sind. Das hintere Ende des Gehäuses trägt einen schornsteinartigen Fortsatz, der nicht mit Sandkörnchen besetzt ist.« Dieser Fortsatz stellt wohl nichts anderes dar, als den Rest des jüngsten Gehäuses; in den meisten Fällen ist er verloren gegangen. Genau so gebaut ist nach Johannsens Beschreibung der 5 mm lange Köcher von *S. Johannsenii*. In der Form

gleich sind auch die Köcher von Lundbecks *Stempellina* sp. A. aus dem Kurischen Haff; nur bestand das Baumaterial ausser aus Sand vorwiegend aus Diatomeenschalen (*Cymatopleura elliptica*, *Coscinodiscus lacustris*, *Stephanodiscus astraea*, *Fragilaria inflata*).

Das Larvengehäuse von *Stempellina montivaga* ist von den genannten deutlich unterschieden. Es hat eine hornförmige Gestalt und ist viel stärker gekrümmt, als bei *St. bausei* (Abb. 8 und 9). Seine maximale Länge beträgt (auf der Sehne der Krümmung gemessen) 4 mm, bei *bausei* 6—7 mm. Der Vorderdurchmesser beträgt 0,48 mm, der hintere 0,16 mm. Während also bei *bausei* die Verjüngung gegen das Hinterende zu  $1/2$  beträgt, erreicht sie hier  $1/3$ , dh. das Gehäuse von *St. montivaga* ist viel schlanker. *Bausei* verkittet kleine Sandkörnchen (seltener Diatomeenschalen, vgl. Brehm-Ruttner S. 327) zu ihrem Gehäuse, das so auf der Oberfläche rauh erscheint (Abb. 8); behandelt man die Larvengehäuse — auch aus dem kalkreichen Lunzer Untersee — mit Salzsäure, so bleibt die Gehäusestruktur voll erhalten. Das Gehäuse von *St. montivaga* ist ganz glatt (Abb. 9). Es sind ihm allerfeinste Kalkpartikelchen aufgelagert. Bei Salzsäurebehandlung verschwinden sie vollständig; übrig bleibt eine Gespinnströhre, der nur einige Salzsäure-unlösliche Teilchen (meist organischer Natur) aufgelagert sind.

Vor der Verpuppung verlängert die Larve von *St. montivaga* ihren Köcher um knapp 1 mm, indem sie eine »Puppenkammer« vorschaltet, die einen Durchmesser von etwa 0,7 mm hat und aus etwas größeren Kalkpartikelchen besteht (Abb. 10). Mit dieser schliesst sie das Puppengehäuse vorn; wahrscheinlich bleiben feinste Öffnungen unregelmässig bestehen. Einen eigentlichen »Deckel«, wie bei anderen Formen der *Tanytarsariae connectentes*, bildet dieser Verschluss nicht. Bei dem Köcher von *St. bausei* wird das Vorderende vor der Verpuppung nicht zu einer Puppenkammer erweitert.

Sind die Puppengehäuse von *St. montivaga* verlassen, so schwindet allmählich ihre glatte Oberfläche, indem sich gröbere Kalkteilchen auf ihnen niederschlagen, so dass das Gehäuse rauh wird und seine zierliche Gestalt immer mehr verliert (Abb. 11 a und b).

#### Verbreitung und Lebensweise:

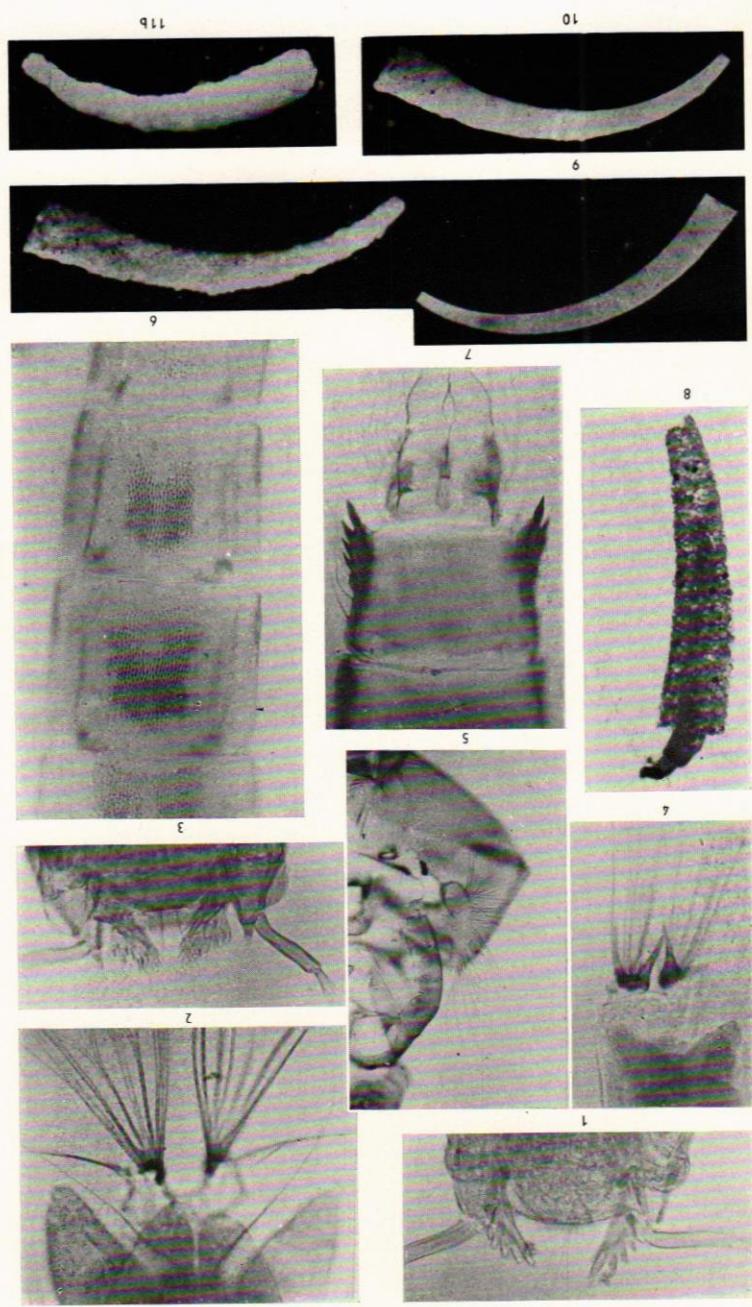
Einige Larven, deren Zucht nicht gelang, fand ich zuerst am 31.V.33 in dem kleinen Quellrinnsal »Weiterbach« am Eibsee, Oberbayern. Hier wurden in den nur von ganz wenig Wasser überspülten, eigentlich nur feuchten Moosen und dem Laub nicht weniger als 6 Chironomiden- und 9 Ceratopogonidenarten gesammelt (die Podonomine *Paraboreochlus minutissimus* (Strobl), die Orthocladiiinen *Rheocricotopus* sp. *fuscipes* Gruppe, *Metriocnemus hygropetricus* K., die Tanytarsariae *Stempellina montivaga* Goetgh., *St. bausei* und *Micropectra* sp.; die Ceratopo-

goniden *Forcipomyia phlebotomoides* Bangerter, *Atrichopogon thienemanni* K., *A. sp.*, *Dasyhelea Dufouri* Lab., *D. flavoscutellata* Zett., *D. modesta* Winn. (?), *Culicoides obsoletus* Mg. (?), *Helea* sp., *Bezzia* sp.) (vergl. Thienemann 1936. S. 191, 213—214; Abbildung des Weiterbachs bei Thienemann 1937. S. 112. Abb. 6). Die Unterscheidungsmerkmale der Larve gab ich (1936 S. 191) kurz an.

In grossen Mengen traf ich unsere Art im Frühjahr 1944 bei meinen Untersuchungen im Gebiete der Lunzer Seen (Niederösterreich) an; jetzt gelang auch die Reinzucht der Imagines. Der in den Lunzer Untersee mündende Bach Meiergraben — der in seinem Mittellauf grosse Bestände der »gesteinsbildenden« Tanytarsarie *Lithotanytarsus emarginatus* (Goetgh.) enthält — kommt aus einem stark geneigten Quellsumpf, in dem sich grosse Mengen Quellkalk abgesetzt haben. Sie bilden in dem Sumpf einen — jetzt nicht mehr wachsenden — Tuffhügel. Moospolster mit kräftigen Kalkinkrustationen durchsetzen das Quellgebiet (Artenverzeichnis bei Fuchsig 1924 S. 192). Bei der Untersuchung Ende Mai (26.V. 10 h. a. m. Luft 12°, Wasser 7,2°, Regen) kamen die Sprosse von *Equisetum maximum* gerade aus der Erde. Von höheren Pflanzen waren im Quellgebiet häufig: *Carex davalliana* Sm., *C. glauca* Murray, *C. panicea* L. (det. Rothmaler), *Spiraea ulmaria*, *Cardamine pratensis*, *Valeriana dioica*, *Primula elatior*, *Caltha palustris*, *Ranunculus aconitifolius*, *Mentha (spicata ?)*, *Cirsium oleraceum*, *Aster bellidiflorus*. Die Tierwelt setzte sich aus folgenden Arten zusammen: von Würmern *Planaria alpina* (im Unterlauf des Meiergrabens ist eine rein fissipare *Polycelis cornuta* häufig), von Schnecken *Bythinella austriaca* und *Carychium minimum*, von Krebsen der Ostracode *Ilyodromus olivaceus* und *Gammarus fossarum* (mit seinen Kie-

Tabel I.

- 1 *Stempellina bausei*. Vorderende des Larvenkopfes mit den Fortsätzen des Antennensockels und den gespaltenen Borsten des Stirnschildes.
- 2 *Stempellina bausei*. Hinterende des Larvenkörpers mit den praeanaln Borstenträgern (ohne schwarzbraune Spitze) und dem Distalende der Analschläuche.
- 3 *Stempellina montivaga*. Vorderende des Larvenkopfes mit den Fortsätzen des Antennensockels und der distal-medianen Spitze (links deutlich) sowie den ungespaltenen Stirnschildborsten.
- 4 *Stempellina montivaga*. Hinterende des Larvenkörpers mit praeanaln Borstpinseln und den distalmedianen schwarzbraunen Spitzen an ihren Trägern.
- 5 *Stempellina montivaga*. Prothorakalhorn der Puppe mit seinen langen Borsten.
- 6 *Stempellina montivaga*. Puppe. Dorsalbewaffnung des Abdomens.
- 7 *Stempellina montivaga*. Puppenhinterende mit den dunkeln Spitzen am Seitenrand von Seg. VIII (rechts deutlich).
- 8 *Stempellina bausei*. Larvenköcher mit Larve.
- 9 *Stempellina montivaga*. Larvenköcher.
- 10 *Stempellina montivaga*. Puppengehäuse.
- 11 *Stempellina montivaga*. Verlassene Puppengehäuse in a.) einem früheren Stadium und b.) einem späteren Stadium der Verkalkung.



menkommensalen *Spirochona gemmipara* und *Dendrocometes paradoxus*), von Käfern *Chaetarthria seminulum* Hbst. (det. Benick), von Insektenlarven die Plecopteren *Nemura* sp. und *Leuctra* sp., die Köcherfliege *Beraea articularis*, die Dipteren *Pedicia rivosa*, *Tipula* sp. *Dixa maculata* Mg (det. Peus), Tabaniden, die Psychodiden *Sycorax silacea* (Hal.) Walk., *Pericoma pseudoexquisita* Tonn (?) und die Kalklarven von *Pericoma decipiens*, Eat. und *calcilega* Feuerborn (det. Feuerborn). Dazu von Ceratopogoniden *Forcipomyia phlebotomoides* und *Bezzia* sp. und von Chironomiden die Tanypodine *Ablabesmyia binotata*, die Tanytarsarien *Microspectra* sp., *Stempellina bausei*, die Orthocladii-*nen Metriocnemus fuscipes*, *M. hygropetricus*, *Parametriocnemus stylatus* sowie andere Orthocladii-*nen*.

Sehr häufig waren die Larven von *Stempellina montivaga*, die, den Bogen ihres Köchers nach oben gerichtet, zwischen den verkalkten, schwach überspülten Moosen herumkrochen. Auch zahlreiche Puppen waren vorhanden, die sich ohne Schwierigkeit züchten liessen.

*Stempellina montivaga* ist also bisher nur aus den Alpen (Oberbayern, Niederdonau) bekannt. Sie ist eine echte Quellform, eine krenobionte Art. Während der Drucklegung dieser Arbeit wurde das Tier auch aus Bulgarien bekannt. Herr A. VALKANOV sammelte im April 1941 zahlreiche Larven in einem in den Varnasee (Meereshöhe 20 m) einmündenden kleinen sehr kalkreichen Bach, an der Unterseite des überrieselten Gesteins, zusammen mit *Helicopsyche* sp., Hydrobien, Planarien usw. Er züchtete die Larven bis zur Imago. Larven, Gehäuse, Puppen und Imagines stimmen vollkommen mit meinem alpinen Material überein.

Für die Anfertigung der mikrophotographischen Abbildungen bin ich Herrn Dr. h. c. Fr. Hustedt (Plön) zu herzlichem Dank verpflichtet.

### Schrifttum.

- Bause, E. (1914): Die Metamorphose der Gattung Tanytarsus und einiger verwandter Tendipedidenarten. Ein Beitrag zur Systematik der Tendipediden. — Archiv f. Hydrobiol. Suppl. Bd. 2.
- Fuchsig, H. (1924): Die im Wasser wachsenden Moose des Lunzer Seengebietes. — Int. Revue d. ges. Hydrobiol. und Hydrographie 12. S. 175—208.
- Johannsen, O. A. (1905): Aquatic Nematoceros Diptera II. — New York State Museum Bull. No. 343. S. 76. 352.
- (1937): Aquatic Diptera IV. — Cornell University Agricultural Experiment Station. Memoir 210. S. 1—56.
- Lundbeck, J. (1935): Über die Bodenbevölkerung, besonders die Chironomidenlarven, des Frischen und Kurischen Haffs. — Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrographie 32. S. 265—284.
- Schuster, O. (1925): Postglaziale Quellkälke Schleswig-Holsteins und ihre Molluskenfauna in Beziehung zu den Veränderungen des Klimas und der Gewässer. — Archiv f. Hydrobiol. 16. 1—73.

Thienemann, A. (1936): Alpine Chironomiden. (Ergebnisse von Untersuchungen in der Gegend von Garmisch-Partenkirchen, Oberbayern.) — Archiv f. Hydrobiol. 30. 167—262.  
 — (1937): Podonominae, eine neue Unterfamilie der Chironomiden. (Chironomiden aus Lappland I.) — Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrographie 35. 65—112.  
 — (1941): Lappländische Chironomiden und ihre Wohngewässer. — Archiv f. Hydrobiol. Suppl. Bd. 17. 1—253.  
 Zavrel, J. (1926): »Tanytarsus connectens«. — Publications de la Faculté des Sciences de l'Université Masaryk. — 25. S. 1—47.  
 — (1935): Tanytarsuslarven und -puppen aus Niederländisch-Indien. Archiv f. Hydrobiol. Suppl. Bd 13. 139—165.

Sehr häufig waren die Larven in den Gewässern zu finden, die den Bögen ihres Köchers nach oben gerichtet, zwischen den verkalkten, schwach überhöhten Mäusen herumtrachten. Auch zahlreiche Puppen waren vorhanden, die sich ohne Schwierigkeit züchten lassen.  
 Stenobothrus montanus ist also bisher nur aus den Alpen (Oberbayern, Niederbayern) bekannt. Sie ist eine echte Quellwasserart, die im Winter in der Gegend der Durchschneidung dieser Arbeit wurde im Tierpark aus Bulgarien bekannt. Hier A. Tanytarsus sammelte im April 1941 zahlreiche Larven in einem in der Gegend (Landschaft) zu (in) einmündenden kleinen sehr kalkreichen Bach, an der Lärseite des überhöhten Gewässers zusammen mit Wabenschwamm sp. Nr. 1700. Pflanzen usw. Er züchtete die Larven bis zur Imagostadium. Puppen und Imagines stimmen vollkommen mit meinem alpinen Material überein.  
 Für die Züchtung der mikrophotographischen Abbildungen bin ich Herrn Dr. A. K. Hansen (Helmholtz-Institut für physikalische Chemie) zu dankbar.

Schlusssatz

Die Larven des Stenobothrus sind in der Gegend der Durchschneidung der Alpen (Oberbayern, Niederbayern) zu finden. Sie sind eine echte Quellwasserart, die im Winter in der Gegend der Durchschneidung dieser Arbeit wurde im Tierpark aus Bulgarien bekannt. Hier A. Tanytarsus sammelte im April 1941 zahlreiche Larven in einem in der Gegend (Landschaft) zu (in) einmündenden kleinen sehr kalkreichen Bach, an der Lärseite des überhöhten Gewässers zusammen mit Wabenschwamm sp. Nr. 1700. Pflanzen usw. Er züchtete die Larven bis zur Imagostadium. Puppen und Imagines stimmen vollkommen mit meinem alpinen Material überein.  
 Für die Züchtung der mikrophotographischen Abbildungen bin ich Herrn Dr. A. K. Hansen (Helmholtz-Institut für physikalische Chemie) zu dankbar.