

# Mitteilungen

der Arbeitsgemeinschaft westfälischer Entomologen

Band 21 (Beiheft 12)

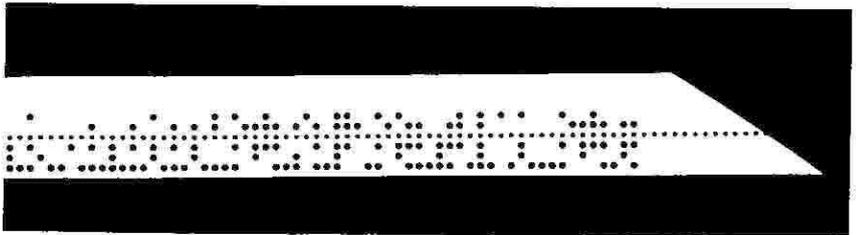
---

D-33602 Bielefeld

15. Dezember 2005

ISSN 1619-7836

---



# Mitteilungen

der Arbeitsgemeinschaft westfälischer Entomologen

Band 21 (Beiheft 12)

---

D-33602 Bielefeld

15. Dezember 2005

ISSN 1619-7836

---

**Mit dem PC das Zeitverhalten einiger solitärer Hymenopteren beim Anlegen von Brutzellen interpretieren - ein methodischer Ansatz zur Untersuchung des Verhaltens von *Osmia rufa* (L.), *Anthophora acervorum* (L.) und *Symmorphus crassicornis* (PANZ.)**

Arnim Tölke

**Herrn Prof. Dr. Joachim Nitschmann (Potsdam) zu seinem 80. Geburtstag am 11. Februar 2005 in Dankbarkeit gewidmet**

## Inhalt

0	Zusammenfassung	1
1	Rückblick als Einleitung	2
2	Material und Methode	4
2.1	Der PC-Emulator bringt die Lösung	4
2.2	Ein Laser-Drucker bringt Vorteile	5
2.3	Direkte Erfassung der Aktivitätszeiten durch zwei Tastenbefehle	5
2.4	Berechnung der Quotienten lässt sofort Zeitalgorithmen erkennen	10
3	Ergebnisse	11
3.1	Markante Abfolge der Pfeile lassen Sequenzalgorithmen erkennen	11
4	Ausblick	12
5	Literatur	13

## 0 Zusammenfassung

Der Autor beschäftigt sich seit über vier Jahrzehnten mit Methoden der Registrierung und Interpretation des Zeitverhaltens ausgewählter solitärer Hymenopteren beim Anlegen von Brutzellen mittels Rechenanlagen. Einleitend gibt er in dieser Veröffentlichung einen Überblick, warum es ihm bislang nicht gelang, die Zeitregistrierung und die weitere Berechnung durch Computer so

zu gestalten, dass man unmittelbar bei jedem Ein- und Ausflug eine Aussage über das gerade ablaufende Verhalten machen konnte. Hierzu war bisher immer ein zweiter Programmdurchlauf erforderlich, der die eigentliche Interpretation ausführt.

Nachdem jetzt der Emulator PC99A zur Verfügung steht, gelingt es, den inzwischen längst veralteten Home Computer Texas Instruments TI-99/4A gewissermaßen auf einem modernen PC zu simulieren. Dabei erfolgt die Programmierung wiederum mit dem leistungsstarken TI EXTENDED BASIC mit all seinen Vorteilen<sup>1</sup>. Durch die hohe Rechengeschwindigkeit des PC-Prozessors erscheinen die schon aus früheren Veröffentlichungen des Autors bekannten Zeit-Tendenzen-Pfeile jetzt unmittelbar nach der indirekten Eingabe der Ein- bzw. Ausflugzeit mittels Tastendruck auf dem PC Monitor. Mit diesen qualitativen Zwischenergebnissen ermittelt der PC nun auch sofort durch direkten Vergleich und Bewertung benachbarter Quotienten in Bezug auf Zeitwerttendenz und durch logische Vergleiche das gerade ablaufende Verhalten innerhalb der Brutzelle. Im Mittelpunkt aus dieser Betrachtung steht die Mauerbiene *Osmia rufa* (L.) und eine weitere Wildbienenart, die direkt in Lehm ihre Brutzellen anlegt (*Anthophora acervorum* (L.)). Erst im Ansatz analysiert ist das Zeitverhalten der Lehmwespe *Symmorphus crassicornis* (PANZ.). Nun kann man gezielt Experimente starten, um weitere, noch offene Fragen zu beantworten. Hierzu gehört der vom Autor postulierte Eikontakt bei *Symmorphus*.

## 1 Rückblick als Einleitung: Vom Kleinrechner SER 2d zum Home-Computer

Beim Anlegen von Brutzellen treten im Zeitverhalten bei einigen solitären Hymenopteren ganz bestimmte Zeitmuster auf, relativ leicht erfassbar und erkennbar bei solchen Arten, die ihre Brutzellen in Röhren oder röhrenähnlicher Form hintereinander anlegen (lineare Typen). Hierzu gehört beispielsweise die Mauerbiene *Osmia rufa* (L.) [heute: *O. bicornis* (L.)] und weitestgehend auch *Anthophora acervorum* (L.) [heute: *A. plumipes* (PALL.)], aber auch die Lehmwespe *Symmorphus crassicornis* (PANZ.) legt ihre Brutzellen in Röhren an. Diese Zeitmuster lassen sich immer dann erkennen, wenn man die Zeiten, die beim Einflug bzw. Ausflug in diesem Verhaltensablauf auftreten, systematisch registriert. Die so erfassten Ein- und Ausflugzeiten muss man jetzt nur noch nach bestimmten Kriterien zueinander in Beziehung setzen, und schon werden markante Zeitmuster sichtbar. Es lag nahe, diese Zeitsequenzen mit Hilfe einer Rechenanlage zu berechnen, wie erstmalig von TÖLKE (1973) durchgeführt wurde. Die dabei von einer Kleinrechneranlage vom Typ SER 2d (damalige DDR-Produktion) errechneten Zeitsequenzen erlaubten es, nach einer entsprechenden Analyse des Verhaltens (logischer Ablauf) immer in bestimmten Zeitabständen sich wiederholende Zeitsequenzen zu erkennen und diese einem bestimmten Brutverhalten zuzuordnen.

Bedienung und Programmierung des damaligen Rechnermodells waren mühsam, beherrschte doch dieser ein Zimmer füllende Rechner noch keine Programmiersprache. Seine Rechnerkapazität betrug lediglich 128 (!) Speicherplätze und die Programmierung erfolgte ausschließlich in der Maschinensprache SER 2d-Code, deren Befehle auf einem Lochstreifen aus Papier codiert wurden. Im Programmablauf mussten diese gefühlvoll in den Rechner über einen Lochstreifen-Leser wieder eingeführt werden, um eine Beschädigung zu vermeiden. Trotz dieser erheblichen Einschränkungen gelang es schon 1973, einige Verhaltenssequenzen durch den Rechner interpretieren zu lassen. Hierzu waren aber zwei Rechnerdurchläufe notwendig. Im ersten Durchlauf - der Stunden dauerte - stanzt der Rechner ein so genanntes Quellband (ebenfalls als Lochstreifen aus Papier) aus. Dieses enthielt wiederum codiert einige ermittelte Rechenwerte, die aus bestimmten Beziehungen zu den Einflug- und Ausflugzeiten ermittelt wurden. Mit Hilfe eines zweiten Programm wurde dieses Quellband wieder eingelesen und die darauf verschlüsselten errechneten Werte schließlich in seinem Verhaltensablauf vom

<sup>1</sup> Natürlich wäre es auch möglich, das gesamte Problem mittels anderer auf dem PC zur Verfügung stehenden Programmiersprachen zu lösen.

Rechner weitestgehend interpretiert. Gleichzeitig erfolgte der Ausdruck der digitalen Zahlenwerte und deren Zuordnung auf einem mit dem Computer verbundenen Drucker.

Diese Programme wurden 1993 (TÖLKE 1994) auf den Home-Computer Texas Instrument TI 99/4A (32 Bit-Rechner) umgesetzt und an dieses Rechnermodell angepasst. Als Programmiersprache diente das zur Verfügung stehende sehr leistungsstarke TI EXTENDED BASIC. Diese Sprache bot die Möglichkeit, die vom Rechner errechneten Quotienten (digitale Werte) auf dem Bildschirm in Form von analogen Pfeilen mit Hilfe des im EXTENDED BASIC vorhandenen CALL CHAR-Befehls gewissermaßen als unterschiedliche analoge Grafikzeichen sichtbar zu machen. Mit Hilfe des Matrixdruckers EPSON MX/FT (Typ III) gelang es zusätzlich durch Ansteuerung einzelner Druckpixel, diese Quotienten auch als analoge Pfeile mit Hilfe des Druckers zu dokumentieren. Ebenfalls vorteilhaft war, dass ein Online-Betrieb realisiert werden konnte. Hierbei lief der Schaltimpuls, der bei der Lichtschranke bei passieren dieser Stelle durch die Biene auftrat, also beim Einflug bzw. Ausflug, direkt über eine Kabelverbindung in eine in der Peripherie-Box des Home-Computer eingeschobene spezielle elektronische Karte (eine INPUT/OUTPUT also I/O-Karte<sup>2</sup>). Dieser Schaltimpuls verwandelte sich nun durch das Programm in eine sekundengenaue Uhrzeit. Diese Uhrenkarte<sup>3</sup> und die I/O-Karte gehörten nicht zur Standardausrüstung des Home-Computer.

Aber auch bei dieser schon recht komfortablen Lösungsvariante trat ein entscheidender Nachteil auf. Er bestand wiederum darin, dass auch hier zwei unterschiedliche Programme erforderlich waren, die nacheinander laufen mussten. Mit Hilfe des ersten Programms entstand in gewisser Weise wieder eine Quelldatei. Diese enthielt alle für eine Interpretation des Verhaltens errechneten und notwendigen digitalen Werte der vier unterschiedlichen Quotienten (siehe später). Aber eine unmittelbare Interpretation des Verhaltensablauf durch den Computer konnte mit diesem Primärlauf nicht realisiert werden. Auch hier war ein weiteres so genanntes Interpretationsprogramm erforderlich. Erst dieses zweite Programm interpretierte aus der Quelldatei das in der Brutzelle von *Osmia rufa* ablaufende Verhalten. Dies geschah durch den Rechner mittels Vergleich der in der Brutzelle sich in bestimmten Zeitabständen wiederholende Zeitalgorithmen unter Berücksichtigung des logischen Verhaltensablauf. Da dieser Home-Computer zum Rechnen und zum Vergleichen voran gegangener Aktivitätszeiten und deren Quotienten bemerkenswert viel Zeit benötigte, gelang es seinerzeit leider auch nicht, beide Programme zu einem einzigen Programm zusammen zu führen. Dies vorrangig deshalb nicht, weil der Rechner zum Zeitpunkt des Eintreffens eines neuen Zeitimpuls meist noch immer eine entsprechend zugeordnete Verhaltenssequenz, also die gewünschte Interpretation in der vorhandenen Datenvielfalt suchte. Der Versuch diesen zweiten Teil der Berechnung und Zuordnung auf einen Slave-Computer (also auf einen zweiten TI-99/4A) zu legen und beide über die vorhandenen RS232-Schnittstellen mittels Spezialkabel miteinander zu einer Einheit zu verbinden, schlug ebenfalls fehl. Denn immer dann, wenn ein neuer Zeitimpuls beim ersten Rechner eintraf und er seine errechneten aktuellen Werte zur Interpretation auf den Slave-Computer übertragen wollte, war meist der zweite Rechner noch nicht mit seinen zeitaufwändigen logischen Vergleichen fertig. Die Folge: der Rechner „stürzte ab“.

<sup>2</sup> Herr Michael Becker bin ich zu Dank verpflichtet, denn er entwickelte und baute diese spezielle und nicht zum Lieferumfang gehörende Hardware. Mein Dank richtet sich auch an Herrn Harald Glaab; er schrieb für diese Karte die Software.

<sup>3</sup> Um diese Uhrzeit abzunehmen, entwickelte und baute Herr Michael Becker einen speziellen Diskontroller. Herr Harald Glaab schrieb auch hierfür die Software, die er mir zur Verfügung stellte. Beiden sei an dieser Stelle ausdrücklich gedankt.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Der PC99-Emulator bringt die Lösung

Eine völlig neue Situation, um dieses Problem zu lösen, lag in dem Augenblick vor, als ich den TI PC99-Emulator (Mike Writh entwickelte ihn und benötigte hierfür viele Jahre) im Jahre 2004 erwerben konnte<sup>4</sup>. Bei diesem Emulator handelt es sich um ein Programm, das sich auf jedem PC mit dem Betriebssystem von Windows 98 aufwärts installieren läßt. Aktiviert man dieses Programm, so ist die Situation so, als läge jetzt der Home-Computer TI-99/4A von Texas Instruments vor. Dieser Emulator simuliert gewissermaßen diesen Computer auf dem PC. In Bezug auf die Programmodule gibt es bezogen auf den Standard Home-Computer keinerlei Änderungen, d. h. auch ein TI-EXTENDED BASIC-Modul läßt sich aktivieren. Dieses BASIC ist mit dem Basic im Befehlsumfang mit dem an sich hardwaremäßig veralteten Home-Computer völlig identisch. Aber es tritt jetzt auf dem PC installiert ein ganz entscheidender Vorteil auf. Dieser bezieht sich nun auf die vorhandene Arbeitsgeschwindigkeit, denn sie ist ganz enorm gesteigert. Die Rechengeschwindigkeit ist noch zusätzlich entscheidend abhängig von dem im PC installierten Prozessor. Dieses TI-EXTENDED-BASIC ist nicht nur relativ leicht erlernbar, sondern bietet all die vom Home-Computer gewöhnten Vorteile. So steht auch der in einem anderen Zusammenhang schon erwähnte CALL CHAR-Befehl zum Programmieren von komplexen Grafikzeichen ohne Einschränkung zur Verfügung. Alle auf dem TI 99-4/A in der Vergangenheit gelaufenen Programme lassen sich problemlos jetzt auch auf dem PC umsetzen. Das Laden dieser Programme, wenn man sie unter dem Emulator gespeichert hat, erfolgt in unglaublicher Schnelle. Auch das Ansteuern des zum PC gehörenden Druckers gelingt, wenn man ihn wie von TI-BASIC gewohnt mit einem bestimmten OPEN-Befehl aktiviert. Die auf jeden PC vorhandene „Drucktaste“ gestattet es, das aktuelle Bild vom PC-Monitor jederzeit in den Zwischenspeicher abzulegen („Bildschirmfotografie“). Über ein Bildbearbeitungsprogramm läßt es sich dann auf einen Drucker ausgeben.

Ein Nachteil besteht allerdings bei der Nutzung des Emulators darin, dass sich das Disketten-Laufwerk des PC vom Emulator aus nicht ansteuern läßt. Ersatzweise werden aber auf der Festplatte gewissermaßen von ihm vier Disketten simuliert. Auf ihnen kann man in kürzester Zeit Programme oder Daten abspeichern oder auch wieder auf den Bildschirm holen. Hier gelten ebenfalls die von TI-BASIC gewohnten SAVE- und OLD-Befehle. Ebenfalls nicht möglich ist es, eine im PC vorhandene I/O-Karte vom Emulator aus anzusteuern. Eine automatische Gewinnung von Schaltimpulsen, die eine Lichtschranke beim Passieren durch ein Insekt liefert, kann man also nicht nutzen. Die Uhrzeit läßt sich durch einen bestimmten Befehl innerhalb des Emulator und des TI EXTENDED BASIC jederzeit ablesen und entsprechend weiter verarbeiten.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen wurden jetzt die beiden schon vom Home-Computer vorhandenen TI-EXTENDED BASIC Programme aus dem Jahre 1994 unter diesem Emulator aktiviert (TÖLKE 1994). Nun gelang es endlich, sie zu einem einzigen Komplexprogramm zusammenzuführen. Dabei wurde der Interpretationsteil (ursprünglich zweites Programm) als Unterprogramm formuliert und auch so in das Gesamtprogramm mit eingebaut (siehe Grafik 1). Dadurch ist es jetzt ohne große Probleme möglich, diesen Teil jederzeit neuen Bedingungen anzupassen, ohne dass das Gesamtprogramm geändert werden müsste. Dieses Unterprogramm ist nun Teil des gesamten Programms. Mit diesem Komplexprogramm gelang es nun endlich, bestimmte Aktivitätszeiten sofort in Quotienten umzurechnen und in dem automatisch unmittelbar

<sup>4</sup> Herr Harald Glaab gab entscheidende Hilfestellung bei der Installation des TI PC99 Emulator, muss der Emulator doch im MS-DOS installiert werden.

folgenden zweiten Programmschritt als eindeutige Zeitalgorithmen zu interpretieren (siehe später) und einem bestimmten Verhalten zuzuordnen. Diese beiden nacheinander folgenden Rechenschritte innerhalb des Programms werden auch fast im gleichen Augenblick auf dem Bildschirm sichtbar (siehe Grafik 2).

## 2.2 Ein LASER-Drucker bringt Vorteile

Um die Ergebnisse auch auf Papier bringen zu können, wurde der Hewlett Packard Drucker, Modell „Laser Jet 6L“ in das Programm eingebunden. Der damit erreichbare Druckvorgang läuft schneller ab als der mit dem damaligen Matrix Drucker Modell erreichbare. Leider ist es nicht möglich, den Drucker mit einer Einzelpunktsteuerung zu programmieren, zumindest nicht aus dem TI-EXTENDED BASIC heraus. Um die bewährten analogen Pfeile als Zeitwertendenz trotzdem im Druckbild beizubehalten, wurden bestimmte Grafikelemente benutzt, die sich hinter einigen Druckcharaktereichen verbergen (CHR\$(entsprechende Zahl)) und sich unter diesem Basic aktivieren lassen. Eine Eigenart dieses Druckermodells besteht darin, dass er nur voll gedruckte Seiten ausgibt. Andernfalls muss man die vorne am Drucker befindliche Ausgabetaaste drücken. Bindet man den BASIC-Befehl „CHR\$(12)“ mit in das Programm ein, wird dies als Befehl zum Ausgeben der aktuellen Druckseite bewertet. Somit wäre dieser Nachteil zu beheben.

### Grafik 1

So sieht der Original-Befehls-Ausdruck (Programmlisting) des Unterprogramms aus, mit dem das Zeitverhalten vom PC in Verhaltenssyndrome umcodiert (Interpretation) wird. Der „Programmschalter SISSI“ soll die Zeitsequenzen von *Symmorphus crassicornis* analysieren.

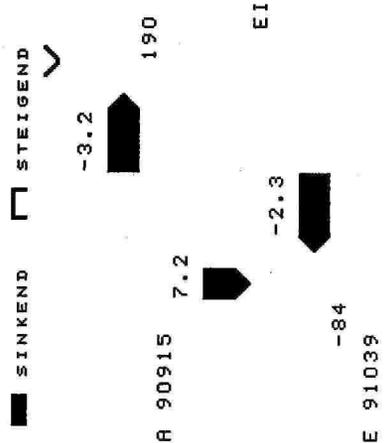
```

5800 REM *** UP Modell-krizeiten ueberpruefen ***
5801 IF 91891=1 THEN GOTO 5870
5802 IF 001=0 OR 002=0 OR 003=0 OR 004=0 THEN GOTO 5870
5805 IF 001=1 AND 002=1 AND 003=1 THEN 1998* BE* ELSE GOTO 5815
5810 IP=0 :: GOTO 5840
5815 IF 002=1 AND 003=1 THEN 1998*TRUCKT* ELSE GOTO 5825
5820 IP=0 :: GOTO 5840
5825 IF 001=1 AND 002=1 AND 003=1 AND 004=1 AND IP=1 THEN 1998* BE/OK* ELSE GOTO 5838
5830 IP=0 :: GOTO 5840
5835 IF 002=1 AND 003=1 THEN 1998* GLANT* ELSE GOTO 5870
5836 IP=1
5838 IF 91891=1 THEN GOTO 5845
5840 PRINT TAB(22);IP$ :: IP=1
5845 OPEN #1:"PIO"
5850 PRINT #1:TAB(73);IP$
5865 CLOSE #1
5870 RETURN
5875 REM -----

```

### Grafik 2

Ein Bildschirmausdruck wurde mittels Taste „Druck“ gerade ausgelöst, als die Wildbiene *Osmia rufa* (L.) ein Ei legte (dies dauerte genau 190 Sekunden). Ins Auge fallen die beiden Quotienten 3 und 2, die auf Grund ihrer Grundfarbe (schwarz) eine sinkende Phasenzeitwert-Tendenz aufweisen.



### 2.3 Direkte Erfassung der Aktivitätszeiten durch zwei Tastenbefehle

Das Programm ist so aufgebaut, dass auf der Computer-Tastatur bei einer Aktivität lediglich eine von zwei Tasten gedrückt werden muss. Die Taste „E“ für Einflug und die Taste „A“ für Ausflug. Über den im Programm eingebauten CALL KEY-Befehl erfolgte der Sprung in das Unterprogramm „UHRZEIT ERMITTELN“ und zusätzlich die Zuordnung der jeweilig gedrückten Taste zu entsprechenden Vorzeichen vor der Uhrzeit. Dadurch ist es im Programmablauf jederzeit möglich, auch die Aktivitätsrichtung aus der Uhrzeit zu bestimmen.

Um die Aktivität in der Brutröhre eindeutig beurteilen zu können, wurde die in (TÖLKE 1998) beschriebene Methode als Grundmethode benutzt, d. h. es kamen Acrylröhren zum Einsatz (RATHJEN 1994). Das Geschehen innerhalb der Röhren ließ sich dadurch sicher beurteilen. Um die Brutröhren und die Beobachtungs- und Registrierapparatur sowohl vor Witterungseinflüssen als auch vor dem Zugriff Unbefugter weitestgehend zu schützen, kam eine speziell für diesen Zweck gebaute Beobachtungskiste (HALLMEN & MEYER-BERTENRATH 1990) zur Anwendung. Diese Anlage stand im Garten nahe dem Haus und enthielt eine Niedervolt-Lichtquelle, einen analogen S-VHS Camcorder (METZ Moviset 22 CA11) ohne eingelegte Kassette. Eine vorgenommene optische Erweiterung vor dem Objektiv (vorgeseztes Objektiv wie es bei TÖLKE (1983) beschrieben wurde) des Camcorders ermöglichte es, die jeweilig interessierende Brutzelle so groß abzubilden, dass sie als Format füllendes Bild vorlag. Dieser Camcorder war mit einem Hama PC-AV Funkübertragungsset 2,4 Ghz verbunden. Die ständige Übermittlung des Videobildes erfolgte also über Funk. In dem Raum, wo sich der PC mit dem installierten Emulator befand, stand ein analoger S-VHS Videorecorder (METZ Typ 9877), der von dem hier befindlichen Videoempfänger die Videosignale empfing und ständig für eine spätere Kontrolle auf Magnetvideoband aufzeichnete. Das von der Beobachtungsanlage empfangene Videobild war zusätzlich als Großaufnahme auf einem Video-Monitor jederzeit sichtbar.

Jeder erfolgte Einflug oder Ausflug der Mauerbiene *Osmia rufa* (L.) konnte so exakt auf dem Monitor beobachtet und der richtigen Aktivitätsrichtung zugeordnet werden. Auf dem PC erfolgte das Drücken der entsprechenden Taste (A oder E), und so geschah die eindeutige Registrierung dieser Aktivität in Form der gerade vorliegenden Uhrzeit, unter Berücksichtigung der Aktivitätsrichtung. Die abgespeicherte Uhrzeit ist genau bis herunter zu den Sekunden.

Bei der Lehmwespe *Symmorphus crassicornis* gelang es leider bisher nicht, sie in einer durchsichtigen künstlichen Brutröhre anzusiedeln. Aus diesem Grunde wurde der Video-Camcorder auf die Röhrenöffnung ausgerichtet. Dabei gelang es fast immer mit Hilfe des Monitorbildes zu erkennen, ob die solitäre Wespe eine Raupe oder Lehm einträgt. Dies war wichtig zur Kontrolle der späteren Interpretation des jeweiligen Verhaltens. Im Zweifelsfall konnte nachträglich das Videoband noch einmal abgespielt und somit zu Rate gezogen werden.

Es gelang zwar, die Pelzbiene *Anthophora acervorum* in Lehmsteinen im Garten anzusiedeln, aber ein Blick in das Innere des Geschehens gelang nur, wenn die Biene ihre letzte Brutzelle in der Nähe des Ausgangs anlegte. Deshalb wurde auch hier der Camcorder auf das Einflugloch ausgerichtet.

Die über einen Monitor realisierte Beobachtung ist leider sehr zeitaufwändig, bietet aber die Gewähr für eine hohe Sicherheit in Bezug auf das Verhaltensgeschehen. Störungen durch Kuckucke bzw. Schmarotzer lassen sich so eindeutig eliminieren.

## 2.4 Berechnung der Quotienten lässt sofort Zeitalgorithmen erkennen

Um die Aktivitätszeiten analysieren zu können, müssen sie durch das Komplexprogramm aufbereitet werden. Dies geschieht jedesmal unmittelbar nachdem die Uhrzeit durch den Tastendruck gewissermaßen sekundengenau abgelesen wird.

Zuerst rechnet das Programm die Uhrzeit in sogenannte Sekundenwerte (SKW-Wert) um und gibt diese zusammen mit der Uhrzeit sofort auf dem Bildschirm aus. Erfolgt nun irgendwann eine nächste Aktivität, so wird unmittelbar nach dem Errechnen des neuen SKW-Wertes die Ermittlung der Differenzzeit zwischen beiden Aktivitäten und zwar in Sekunden ermittelt. Je nachdem, ob es Zeiten außerhalb oder innerhalb der Brutzelle waren, unterscheidet das Programm zwischen A/PHZW (Außenphasenzeit mit negativen Vorzeichen) oder I/PHZW (Innenphasenzeit gewissermaßen positives Vorzeichen). Diese Werte druckt das Programm an die dafür vorgesehene Spalte. Auch auf dem Bildschirm erscheint dieser Wert entweder mehr im linken (A/PHZW) Teil oder im rechten (I/PHZW) Teil des Bildschirms. Sind vom Emulator mehrere Phasenzeitwerte abgespeichert, setzt er diese nach einem bestimmten Algorithmus zueinander in Beziehung. Dies geschieht durch Berechnung der jeweiligen Quotienten. Wird der vorhergehende A/PHZW-Wert durch den nachfolgenden A/PHZW-Wert dividiert, ergibt dies den 1. Quotienten. Er besitzt ein positives Vorzeichen. Dividiert das Programm den I/PHZW-Wert durch den nachfolgenden A/PHZW-Wert, so liefert diese Berechnung den 2. Quotienten. Er besitzt ein negatives Vorzeichen. Umgekehrt entsteht der negative 3. Quotient dann, wenn im weiteren Ablauf die Division von A/PHZW durch I/PHZW erfolgt. So wie beim 1. Quotienten geschehen, entsteht der 4. Quotient bei der Division des vorangegangenen I/PHZW-Wert durch den unmittelbar nachfolgenden I/PHZW-Wert. Der Computer vergleicht nun nach jeder Ermittlung eines Quotienten, ob die absolute Sekundenzeit des Verbleibens außerhalb der Brutröhre im Vergleich zur inneren Aufenthaltsdauer kürzer oder länger geworden ist und bewertet diese. Aber auch umgekehrt erfolgt der qualitative Vergleich zwischen der Zeitdauer, die innerhalb der Brutröhre auftrat bezogen auf die Verbleibdauer der außerhalb der Zelle benötigten absoluten Sekundenzeit. Oder anders formuliert, der Rechner ermittelt aus den digitalen Zahlenwerten der Quotienten die jeweils vorliegende Zeitwerttendenz zwischen den einzelnen PHZW-Werten und setzt diese in grafische also analoge Pfeile um (siehe Grafik). Dies ist deshalb vorteilhaft, weil sich in den vorangegangenen Analysen herausstellte, daß bei der Ermittlung eines bestimmten Verhaltens, also der Interpretation, vorrangig nicht quantitative sondern qualitative Kriterien gelten. Ein schwarzer Pfeil prädestiniert als qualitatives Kriterium eine sinkende Zeitwerttendenz zwischen zwei PHZW-Werten. Die blanke Pfeildarstellung oder beim Druck die gepunktete Darstellung signalisiert dagegen die steigende Zeitwerttendenz. Immer dann, wenn vom Programm eine neue Aktivität registriert wurde, erscheinen sofort und fortlaufend neue Tendenzpfeile auf dem PC-Bildschirm. Mit einem Blick lassen sich so im Gesamtverhaltensablauf die jeweiligen Zeitwerttendenzen überblicken. Der Drucker druckt fortlaufend das Gesamtbild des Verhaltens in der soeben beschriebenen codierten Form. Sowohl mit den einzelnen digitalen Werten als auch mit analogen Pfeilen (siehe Grafik 3). Die Ausgabe einer Seite (Druckausgabe) erfolgt aber immer erst dann, wenn eine Seite vollständig bedruckt ist.

## 3 Ergebnisse

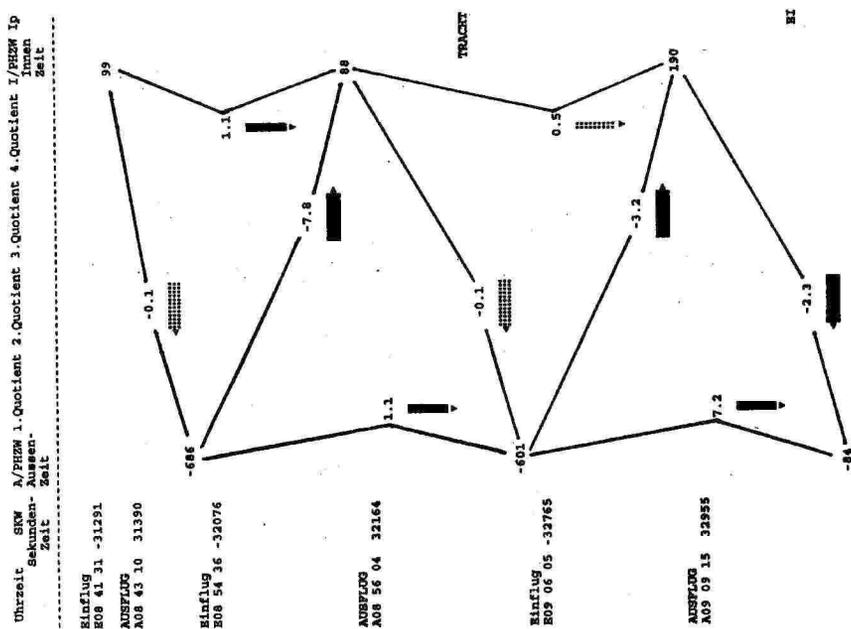
### 3.1 Markante Abfolge der Pfeile lassen Sequenzalgorithmen erkennen

Betrachtet man bestimmte so codierte Abschnitte des Brutverhaltens von *Osmia rufa*, so fallen vor allem bei den 2. und 3. Quotienten markante Konstellationen der Pfeile auf, die sich oft eine zeitlang regelmäßig wiederholen, so z. B. beim Einbringen der Tracht.

Dann plötzlich wird diese Regelmäßigkeit durch eine andere Pfeilkonstellation abgelöst (siehe Grafik 3). In unserem gewählten Beispiel folgt nach der Tracht eine Eiablage.

Durch die gewählte Methode der Datenerfassung kann nun eine sichere Zuordnung bestimmter Pfeilkonstellationen zu dem auf Video-Magnetband registrierten Verhalten innerhalb der Brutzelle erfolgen. Dabei interpretiert der Computer die Verhalten „Tracht einbringen“, „Eiablage“, „Glätten der Lehmwand“ und „Bauverhalten beenden“ aus der erfolgten Zeitregistrierung und dem verschlüsselten Bild des Verhaltensablauf eindeutig. Die jeweilig zu den genannten Verhalten zugeordneten Zeit-Tendenzpfeile decken sich vollständig mit denen als Modell interpretierten Veröffentlichung (TÖLKE 1973).

Es war nun nicht mehr schwer, diese so ermittelten Kriterien dem schon erwähnten Unterprogramm „Interpretation“ zuzuordnen und als BASIC-Befehle einzubinden und die jeweiligen nun vom Rechner erkannten jeweiligen Sequenzalgorithmen bei der Anzeige auf dem PC-Monitor und im Ausdruck anzuzeigen. Das vollständige Komplexprogramm liegt nun als Einprogramm vor. Es wird nun noch so erweitert, dass es möglich ist, jetzt auch nachträglich fortlaufend schon lange vorher registrierte Daten einer Analyse zu unterziehen.



**Grafik 3**

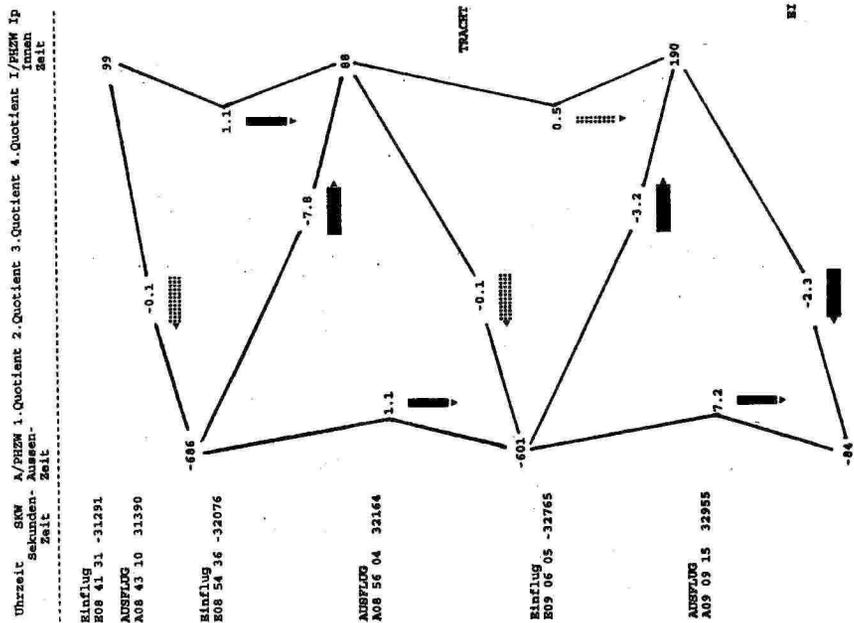
Dies ist ein Originalausdruck des Laserdruckers während des registrierten Zeitverhaltens von *Osmia rufa* (L.). Die Verbindungslinien wurden vom Autor nachträglich eingezeichnet, um die Zusammenhänge zwischen den Außen-Phasenzeiten (A/PHZW) und den Innen-Phasenzeiten (I/PHZW) besser verstehen zu können. Im Grunde handelt es sich um ein Rechnernetzwerk, das zwischen den Aufenthaltszeiten außerhalb und innerhalb der Brutzelle vom PC geknüpft wurde. Daraus interpretiert der Rechner bestimmte Verhaltenssyndrome. Beispielsweise ist für „Tracht einbringen“ markant, daß der 2. Quotient eine steigende Zeitwerttendenz signalisiert, während der 3. Quotient eine sinkende Tendenz anzeigt. Der Rechner prüft und erkennt dies.



Dann plötzlich wird diese Regelmäßigkeit durch eine andere Pfeilkonstellation abgelöst (siehe Grafik 3). In unserem gewählten Beispiel folgt nach der Tracht eine Eiablage.

Durch die gewählte Methode der Datenerfassung kann nun eine sichere Zuordnung bestimmter Pfeilkonstellationen zu dem auf Video-Magnetband registrierten Verhalten innerhalb der Brutzelle erfolgen. Dabei interpretiert der Computer die Verhalten „Tracht einbringen“, „Eiablage“, „Glätten der Lehmwand“ und „Bauverhalten beenden“ aus der erfolgten Zeitregistrierung und dem verschlüsselten Bild des Verhaltensablauf eindeutig. Die jeweilig zu den genannten Verhalten zugeordneten Zeit-Tendenzpfeile decken sich vollständig mit denen als Modell interpretierten Veröffentlichung (TÖLKE 1973).

Es war nun nicht mehr schwer, diese so ermittelten Kriterien dem schon erwähnten Unterprogramm „Interpretation“ zuzuordnen und als BASIC-Befehle einzubinden und die jeweiligen nun vom Rechner erkannten jeweiligen Sequenzalgorithmen bei der Anzeige auf dem PC-Monitor und im Ausdruck anzuzeigen. Das vollständige Komplexprogramm liegt nun als Einprogramm vor. Es wird nun noch so erweitert, dass es möglich ist, jetzt auch nachträglich fortlaufend schon lange vorher registrierte Daten einer Analyse zu unterziehen.



### Grafik 3

Dies ist ein Originalausdruck des Laserdruckers während des registrierten Zeitverhaltens von *Osmia rufa* (L.). Die Verbindungslinien wurden vom Autor nachträglich eingezeichnet, um die Zusammenhänge zwischen den Außen-Phasenzeiten (A/PHZW) und den Innen-Phasenzeiten (I/PHZW) besser verstehen zu können. Im Grunde handelt es sich um ein Rechnetzwerg, das zwischen den Aufenthaltszeiten außerhalb und innerhalb der Brutzelle vom PC geknüpft wurde. Daraus interpretiert der Rechner bestimmte Verhaltenssyndrome. Beispielsweise ist für „Tracht einbringen“ markant, daß der 2. Quotient eine steigende Zeitwerttendenz signalisiert, während der 3. Quotient eine sinkende Tendenz anzeigt. Der Rechner prüft und erkennt dies.

Uhrzeit SWW A/PHZW I/PHZW Ij  
 Sekunden- Aussen- I/PHZW Ij  
 Zeit Zeit Zeit

Uhrzeit	SWW Sekunden- Zeit	A/PHZW Aussen- Zeit	I/PHZW Ij Innen- Zeit	Quotient 2	Quotient 3	Quotient 4	Quotient I/PHZW Ij Innen Zeit
Einflug E10 33 25	-38005		147				190
AUSFLUG A10 35 52	38152			-0.2			
Einflug E10 51 09	-39069	-917					
AUSFLUG A10 54 08	39248		179				329
Einflug E11 35 57	-41757	-2509					
AUSFLUG A11 42 11	42131		374				1348

Uhrzeit SWW A/PHZW I/PHZW Ij  
 Sekunden- Aussen- I/PHZW Ij  
 Zeit Zeit Zeit

Uhrzeit	SWW Sekunden- Zeit	A/PHZW Aussen- Zeit	I/PHZW Ij Innen- Zeit	Quotient 2	Quotient 3	Quotient 4	Quotient I/PHZW Ij Innen Zeit
Einflug E12 31 04	-45064		147				190
AUSFLUG A12 34 14	45254			-0.3			
Einflug E12 43 30	-45810	-556					
AUSFLUG A12 48 59	46139		179				329
Einflug E12 49 07	-46347	-8					
AUSFLUG A13 11 35	47495		374				1348

**Grafiken 4 und 5**

Es ist schon verblüffend, wie weit die Zeitwerttendenzen von *Anthophora acervorum*, also die qualitativen Merkmale, mit denen von *Osmia rufa* (L.) an bestimmten Stellen des Verhaltens übereinstimmen. Allerdings weisen die quantitativen Merkmale ganz erhebliche Abweichungen auf.

Aber noch etwas ist hoch bemerkenswert. Im Vergleich des Brutverhaltens von *Os-mia rufa* und *Anthophora acervorum* treten beim Vergleich gleichartiger Verhalten (z. B. Eiablage, Glätten der Lehmwände oder Eintragen von Tracht) auch gleichartige Zeitwertendenzes auf, also gleiche qualitative Kriterien. Dagegen unterscheiden sich die quantitativen Werte bei diesen Quotienten zum Teil ganz erheblich (Grafik 4 und 5).

Zur Zeit steht die so durchgeführte vollständige Analyse für *Symmorphus crassicornis* noch aus. Aber soviel kann gesagt werden, das Eintragen von Raupen lässt sich jetzt schon eindeutig interpretieren.

Abbildungen zu den hier dargestellten Verhaltensbeobachtungen bei *Os-mia rufa* und *Symmorphus crassicornis* finden sich bei TÖLKE (1996 & 1998).

#### 4 Ausblick

Bei alledem kann man die Frage stellen, was derartige Untersuchungen und Ergebnisse für Vorteile bringen. Hierzu soll nachfolgendes Beispiel dienen.

*Symmorphus crassicornis* legt seine Brutzellen in Röhren an. Gerne werden von dieser Art Bambusröhren mit einem maximalen Innendurchmesser von ca. 8 mm und Schilfröhren belegt. Zu Beginn säubert die solitäre Wespe die Röhre sehr gründlich und grenzt schließlich einen hinteren Teil durch einen kleinen Lehmwall ab. Dieser Wall begrenzt die zukünftige Brutzelle. Schließlich heftet sie an der Decke an einem feinen Faden hängend ein Ei (siehe TÖLKE 1996: Abb. 1). Nun beginnt das Erbeuten von Raupen, die sie einzeln nach einem Betäubungsstich in den Teil trägt, wo das Ei hängt. Irgendwann ist die Brutzelle ausreichend mit Proviant für ihre Brut gefüllt (siehe TÖLKE 1996: Abb. 2). Sie verschließt nun diesen Rohrteil mit Lehm. Eine Brutzelle ist fertig. So folgt Zelle auf Zelle.

Welches sind nun die beendenden Bedingungen für das Eintragen von Beute? Oder anders gefragt, woher „weiß die Wespe“, dass die Zelle genügend Raupen enthält? Denn bis zur Decke hinauf füllt sie die Zelle nie. 1967 gelang es (TÖLKE & TÖLKE 1968) mittels 16 mm Filmkamera erstmalig den Augenblick zu filmen, wo die Wespe die gefangene Raupe in der Brutzelle ablegt. Dabei schlug die Wespe mit einem Fühler gegen das frei hängende Ei und fing das rückprallende Ei wiederum mit dem Fühler auf. Daraus postulierte TÖLKE (1996), dass der Ei-Pendelschlag möglicherweise als Messmethode dient (Messen mittels Eikontakt), denn solange unterhalb des frei hängenden Eies noch Raum vorhanden ist, schlägt das schwingende Ei mehr oder weniger kräftig gegen den Fühler zurück. Schleift dagegen das Ei über die Raupen, ist kein Platz mehr für weitere Raupen vorhanden.<sup>5</sup>

In einem groß angelegten Experiment (Ergebnisse bislang nicht vom Autor veröffentlicht) wurde nach einer Eiablage, die durch Sichtkontrolle ermittelt wurde, das Rohr um 180° gedreht. Das Ei lag also am Boden und konnte nicht mehr schwingen. Trotzdem trug die Wespe noch drei bis vier Raupen in die Brutzelle ein. Die Zelle wurde dann aber mit einer Lehmwand geschlossen, auch wenn die sonst übliche Raupenmenge noch nicht vorhanden war. Mehrfache Wiederholungen dieses Experimentes lieferten immer ähnliche Ergebnisse.

In weiteren Beobachtungen, deren Ergebnisse nicht veröffentlicht wurden, fiel auf, dass das Einlagern der jeweiligen Raupe immer nur wenig Zeit in Anspruch nimmt. Sind aber eine gewisse Anzahl von Raupen eingelagert, benötigt die Wespe jetzt plötzlich für eine Einlagerungsphase relativ viel Zeit. Um zu erfahren, was in dieser Verhaltenspha-

<sup>5</sup> 1995 gelang es dem Autor, diesen Pendelschlag gegen das hängende Ei auf ein Videoband aufzuzeichnen.

se passiert, lancierte ich ein kleines Kunststoffteil in die Zelle. Als die Wespe schließlich bei dieser ungewöhnlichen langen Phase angelangt war, trug sie beim Ausflug dieses Teilchen mit den Mandibeln heraus und ließ es in Nähe der Brutröhre fallen. Eindeutig konnte es dort als das eingelagerte Teil identifiziert werden. Dies bedeutet doch nichts anderes, dass diese so überaus „reinliche“ Wespe diesen Fremdkörper vorher nicht beachtet oder überhaupt nicht bemerkt hatte. Er störte erst in dem Augenblick, als sie die Raupen noch einmal umräumte oder sortierte. Durch diese Umlagerung gewinnt sie ganz offensichtlich wieder Platz in der Brutzelle. Sie trägt nun weitere Beute in die Brutzelle. Diese verlängerte Einlagerungsphase erhielt deshalb den Namen „Sortierphase“. Sie tritt ein- bis maximal dreimal innerhalb einer jeweiligen Brutzelle auf.

Nun ist es jetzt mit Hilfe des hier beschriebenen Komplexprogramm möglich, gewissermaßen mittels der laufend auf dem PC-Bildschirm erscheinenden Pfeile, diese Phase eindeutig aus der jetzt veränderten Pfeilkonstellation zu erkennen. Ein Blick in das Innere des Rohres kann somit entfallen. Was passiert aber dann, wenn nun unmittelbar nach der Sortierphase das Rohr um 180° verdreht wird? Erfolgt erst jetzt nach abgelaufener Sortierphase der Pendelschlag gegen das Ei und damit die Messkontrolle? Noch leichter zu analysieren wäre das eigenwillige Verhalten der Wespe, wenn es gelänge sie so zu beobachten, wie es mit der Mauerbiene *Osmia rufa* gelingt, nämlich in Acrylröhren.

Aber auch andere Fragen lassen sich mit dieser hier beschriebenen Methode einer Klärung zuführen, z. B. solche nach den Zeitwertendenzen bei Arten, die zum Verschießen ihrer Brutzellen nicht Lehm, sondern anderes Material verwenden.

## 5 Literatur

- ADORF, L., RATHJEN, H. & A. EDELMANN (1995): Nistplatzpräferenz von *Osmia rufa* (L.) an künstlichen Nisthilfen (Hym., Apoidea, Megachilidae). - Mitt. ArbGem. ostwestf.-lipp. Ent. **11**, 86 - 90. Bielefeld.
- GLADIS, TH. (1991): Haltung der Roten Mauerbiene *Osmia rufa* (L.) im Tierpark Berlin. - Zool. Garten N.F. **61**, 161 - 171. Jena.
- HALLMEN, M. (1988): Die Besiedlung unterschiedlicher künstlicher Nisthilfen durch *Osmia rufa* (L.). - Nachr. Ent. Ver. Apollo N.F. **9**, 199 - 212. Frankfurt/M.
- HALLMEN, M. (1989): Einige Beobachtungen zur Biologie der Solitärbiene *Osmia rufa* (L.). - Nachr. Ent. Ver. Apollo N.F. **10**, 159 - 166. Frankfurt/M.
- HALLMEN, M. & B. MEYER-BERTENRATH (1990): Einige Beobachtungen zur Anlage von Brutzellen in größeren Hohlräumen bei der Solitärbiene *Osmia rufa* (L.). (Hymenoptera: Megachilidae). - Ent. Nachr. Ber. **34**, 89 - 92. Leipzig.
- HALLMEN, M. & U. EIDAM (1993): Die Beobachtungskiste als einfache Nisthilfe und Möglichkeit für Beobachtungen an Wildbienen (Hymenoptera: Apoidea). - Luscinia **47**, 299 - 305. Frankfurt/M.
- MADDOCKS, R. & H.F. PAULUS (1987): Quantitative Aspekte der Brutbiologie von *Osmia rufa* (L.) und *Osmia cornuta* Latr. (Hymenoptera, Megachilidae). Eine vergleichende Untersuchung zu Mechanismen der Konkurrenzverminderung zweier nahverwandter Bienenarten. - Zool. Jb. Syst. **114**, 15 - 44. Jena.
- MÜLLER, M. (1907): Zur Biologie unsere Apidae, insbesondere der märkischen Osmien. - Z. wiss. Insektenbiol. III, H. 8 u. 9. Berlin.
- PETERS, D.S. (1973): 'Nistkästchen' für Insekten. - Natur u. Museum **103**, 162 - 165. Frankfurt/M.
- POPOVICI-BASNODANU, A. (1910): Experimentelle Studien über *Osmia rufa*. - Z. wiss. Insektenbiol. **6**, 224 - 228. Berlin.

- RATHJEN, H. (1994): Neue Aspekte zur Brutbiologie und zum Orientierungsvermögen von *Osmia rufa* (L.) (Hymenoptera, Megachilidae). Diplomarbeit. Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld.
- RATHJEN, H. & A. EDELMANN (1995): Versuche zur Fernorientierung der Roten Mauerbiene *Osmia rufa* (L.) (Hym., Apoidea, Megachilidae). - Mitt. ArbGem. ostwestf.-lipp. Ent. **11**, 104 - 108. Bielefeld.
- TÖLKE, A. & I. TÖLKE (1968): Weitergehende wissenschaftliche Erkenntnisse durch gezielten Einsatz des 16 mm Films, demonstriert am Beispiel von Verhaltensanalysen solitärer Hymenopteren. - Tagungsbericht des I. Internationalen Colloquium für Forschungs- und Unterrichtskinetographie (ICREC), 166 - 180. Brno.
- TÖLKE, A. (1973): Quantitative und qualitative Analyse von Verhaltenssequenzen mit Hilfe einer elektronischen Kleinrechenanlage - demonstriert am Beispiel *Osmia rufa* (L.). - Biol. Zbl. **92**, 1 - 25. Leipzig.
- TÖLKE, A. (1983): Nah- und Lupenfotografie. In: TEICHER, G.: Handbuch der Fototechnik. 10. Aufl., 514 - 515. VEB Fotokinoverlag, Leipzig.
- TÖLKE, A. (1994): Computer-Sofortanalyse des Zeitverhaltens von Wildbienen. In: HEDTKE, CH. (Hrsg.): Wildbienen. - Tagungsbericht der Wildbientagung des Länderinstituts für Bienenkunde Hohen Neuendorf e.V., 60 - 69.
- TÖLKE, A. (1996): Steuerung der Beutemenge bei *Symmorphus crassicornis* (Vespidae: Eumeninae) mittels „Eikontakt“. - *Bembix* **6**, 9 - 13. Bielefeld.
- TÖLKE, A. (1998): Stacheleinstiche von *Osmia rufa* (L.) unmittelbar vor Eibestiftung an der Grenze zwischen „Eibett“ und „Bienenbrot“. - Mitt. ArbGem. ostwestf.-lipp. Ent. **14**, 25 - 48. Bielefeld.

#### **Anschrift des Verfassers**

Dr. Arnim Tölke, Am Vogelsang 2b, Postfach 24, D-15362 Neuenhagen

---

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft westfälischer Entomologen e. V.  
gegründet 1965 als Arbeitsgemeinschaft ostwestfälisch-lippischer Entomologen  
[www.westfaelische-entomologen.de](http://www.westfaelische-entomologen.de)

Sitz: Kreuzstr. 38 (Naturkundemuseum), D-33602 Bielefeld

Konto: Kreissparkasse Wiedenbrück Nr. 4024410 (BLZ 478 535 20)

Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Mitgliedsbeitrag: 20,- € pro Jahr (für Schüler, Studenten, Auszubildende, Zivildienstleistende und Wehrpflichtige ermäßigt: 10,- €)

Schriftleitung: Werner Schulze, Samlandweg 15a, D-33719 Bielefeld

unter Mitarbeit von Matthias Kaiser, Münster, Berthold Robert, Dorsten,  
J. Hinrich Grf. v. d. Schulenburg, Tübingen, und Martin Volpers, Osnabrück

---

Mitt. ArbGem. westfäl. Entomol. **21** (Beiheft 12), 1 - 12. Bielefeld. 15. Dezember 2005

---