

Auf Bienenjagd mit dem Smartphone – bioakustische Studien an pollensammelnden Bienen

Hunting Bees with a Smartphone – Bioacoustical Studies of Pollen Collecting Bees

ANDREAS BURKART, CLEMENS SCHLINDWEIN & KLAUS LUNAU

Zusammenfassung: Einige Bienen verschiedener systematischer Zugehörigkeit besitzen die Fähigkeit zum Buzzing. Mit Buzzing bezeichnet man die Erzeugung hochfrequenter Vibrationen durch die von den Flügeln entkoppelte Flugmuskulatur, was von diesen Bienen genutzt wird, um Pollen unter anderem aus Blüten mit poriziden Antheren herauszuschütteln. Da Honigbienen diese Art des Pollensammelns nicht beherrschen, sind andere Bienenarten mit der Fähigkeit zum Buzzing als Bestäuber für bestimmte Blütenpflanzen wie Arten der Nachtschattengewächse essenziell. Diese Buzzing-Bienen stammen aus vielen Tribus und weisen große Unterschiede in Form und Größe auf, was vergleichende Untersuchungsmethoden zur Buzzing-Bestäubung nötig macht, die auf möglichst viele Arten anwendbar sind. In dieser Studie wurde eine akustische Methode zur feldgängigen Erhebung von Daten durch ein Smartphone mit Fokus auf die Frequenz des Buzzing-Geräuschs erprobt und als für die feldmäßige Anwendbarkeit tauglich befunden. Anhand von Messungen in Deutschland und Brasilien wurden verschiedene Bienenarten in Bezug auf ihre Geräusche während des Buzzings untersucht. Bienen buzzen, abhängig von Größe und Art, mit einer Grundfrequenz von 170 Hz bis 350 Hz und haben artspezifische Frequenzbereiche. Die Fluggeräusche unterscheiden sich durch eine höhere Frequenz vom Buzzing-Geräusch. Auf der Basis von Mikrofonaufnahmen mit einem Smartphone konnte außer der Buzzingfrequenz auch die Dauer einzelner Buzzing-Ereignisse quantifiziert werden. Es zeigte sich, dass Bienen artspezifische Unterschiede in Länge und Variabilität der Buzzing-Geräusche aufweisen.

Schlüsselwörter: Bestäubung, Buzzing, Frequenz, Mikrophon, Bienen

Summary: Several bees of different systematic groups have the ability of buzzing. Buzzing is the capability of generating high frequency vibrations by the flight muscle with decoupled wings, what is used by these bees to shake pollen out of flowers bearing poricidal anthers. As honeybees are not capable of using this method of pollen collection, other bee species with the ability of buzzing are essential for the pollination of particular flowering plants like the nightshade family. These buzzing-bees belong to many tribus and have large differences in shape and size, what drives the need for robust investigation methods for buzzing-pollination, which can be applied to many species at once. In this study an acoustical method using a smartphone for the field collection of data with focus on the frequency of the buzzing-sound was tested and found suitable for field application. Measurements performed in Germany and Brasil were used to investigate several bee species on their buzzing-sounds. Bees buzz, related to their size and species, with a basic frequency of 170 Hz up to 350 Hz and have species-specific frequency ranges. Buzzing sounds possess a higher frequency than the sounds of flying bees. Based on microphone recordings with a smartphone also the duration of single buzzing events were quantified. It was shown that bees possess species-specific differences in duration and frequency of buzzing sounds.

Keywords: pollination, buzzing, frequency, microphone, bees

1. Einleitung

Bienen gehören weltweit zu den wichtigsten Bestäubern. Neben der polylektischen Westlichen Honigbiene (*Apis mellifera*) finden immer mehr auch Wildbienen Beachtung in der Bestäubungsbiologie, da diese nicht selten über spezielle Anpassungen an bestimmte Blüten verfügen. Erfolgreich werden beispielsweise bei der Zucht von Tomaten oder Paprika in Gewächshäusern Hummelkolonien (*Bombus terrestris*) eingesetzt, deren Arbeiterinnen in der Lage sind, die Blüten dieser Solanaceen mit poriziden Antheren effektiver zu bestäuben, als es die Westliche Honigbiene leisten würde (SHIPP et al. 1994). *B. terrestris* nutzt für das Pollensammeln von Blüten mit poriziden Antheren, aber auch bei Pflanzen mit hängenden Blüten oder mit zahlreichen Staubgefäßen das sogenannte Buzzing (BUCHMANN 1983; KING & LENGOC 1993). Dabei wird die Flugmuskulatur von den Flügeln entkoppelt, so dass bei Betätigung der Flugmuskulatur allein das Scutum

in Schwingung versetzt wird (KING et al. 1996). Die dabei entstehenden Vibrationen erzeugen ein deutlich vernehmbares spezifisches Brummen und werden von der Biene auf die Blüte übertragen, indem die Biene eine C-förmige Haltung einnimmt, bei der alle sechs Beine direkten Kontakt zur Blüte haben (Abb. 1). Meist verbeißt sich die Biene sogar mit den Mandibeln in der Blüte, um einen vollständigen Kraftschluss herzustellen. Die Vibrationen der Blüte bewirken, dass die meist trockenen und rundlichen Pollenkörner aus den Antheren geschüttelt werden und direkt auf das Haarkleid der Biene rieseln.

Dieses Buzzing-Verhalten ist nicht nur bei Hummeln zu finden, sondern ist auch in vielen anderen Arten der Familien Colletidae, Halictidae und Apidae (außer *Apis*) weit verbreitet. In den Familien Melittidae und Andrenidae ist es vereinzelt und in der Familie der Megachilidae nur für *Megachile mendica* und *Megachile willoughbiella* (Systematik und Nomenklatur nach MOURE et al. 2007)



Abb. 1: Typische C-Haltung von *Xylocopa frontalis* während des Buzzings mit Kraftschluss zu einer Blüte von *Solanum stramonifolium*. Die Biene erscheint durch die hochfrequenten Vibrationen des Körpers im Bild unscharf.

Fig. 1: Typical C-position of *Xylocopa frontalis* while buzzing with force-closure to a flower of *Solanum stramonifolium*. The bee looks blurred due to the high frequency vibrations of her body.

beschrieben (BUCHMANN 1983; HOUSTON & THORP 1984; HURD & LINSLEY 1976; NEFF & SIMPSON 1988; TEPNER 2005; THORP 2000). Unter den Buzzing-Bienen besonders herauszustellen sind die in Südamerika weit verbreiteten Holzbienen (SCHLINDWEIN et al. 2003), deren Vertreter *Xylocopa frontalis* eine der größten buzzenden Bienen ist.

Das klare akustische Signal bei der Buzzing-Bestäubung – bei größeren Bienen ist es auf mehrere Meter hörbar – eignet sich hervorragend für Untersuchungsmethoden mithilfe von Mikrofonen. In der Vergangenheit haben sich verschiedene Studien akustischer Methoden bedient und mit der Natur und Herkunft der Buzzing-Geräusche beschäftigt (BEZERRA & MACHADO 2003; EHRLICH & LUNAU 2009; KAWAI & KUDO 2009). Mit der fortschreitenden Technik wird es nun möglich, gängige Mikrofone von Mobiltelefonen als feldfähige Aufnahmegeräte zu verwenden. Gleichzeitig können Methoden aus der modernen Computerlinguistik zur Untersuchung der Buzzing-Geräusche herangezogen werden. In dieser Studie wurden diese Innovationen benutzt, um eine robuste, feldgängige Methode zu etablieren, durch die in Zukunft schnell und einfach Daten zur Buzzing-Bestäubung durch Bienen erhoben werden können.

2. Material und Methoden

Es wurden Buzzing-Geräusche von Bienen beim Vibrationssammeln von Pollen auf Blüten sowie Fluggeräusche von den von Blüten abfliegenden Bienen registriert. Die Voruntersuchungen zur Validierung der Methode wurden im Sommer 2010 im Botanischen Garten der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf an Blüten von Kiwi (*Actinidia chinensis*) und Königskerze (*Verbascum* sp.) durchgeführt. Im Winter 2010/2011 wurden Messungen unter Feldbedingungen in Recife, Pernambuco, Brasilien, an den Blüten von *Solanum stramonifolium* und *S. paniculatum* gemacht (BURKART et al. 2011).

Zur Aufnahme der Geräusche wurde ein Smartphone des Modells „Legend“ (HTC, Taoyuan, Taiwan) mit Android 2.3-Betriebssystem (Google Inc., Mountain View CA, USA) eingesetzt, das sich im Vorfeld durch ein stabiles Metallgehäuse für den Einsatz im Feld qualifiziert hat. Das Gerät wurde weiterhin durch eine Silikonhülle, die Lücken für das Bedienfeld und das Mikrofon besitzt, gegen mechanische Einflüsse geschützt. Für die Tonaufnahme wurde das frei erhältliche Programm Hertz (Version 1.0.0) verwendet, das mit einem einzigen Tastendruck eine Aufnahme im unkomprimierten *.wav Format macht und diese mit einem Zeitstempel benennt.

Die Validierung der Aufnahmekonfiguration wurde mit verschiedenen Ansätzen durchgeführt. Der sensitive Frequenzbereich des Mikrofons wurde mit Stimmgabeln, die im Bereich der erwarteten Buzzingfrequenzen zwischen 200 und 500 Hz schwingen, getestet. Ebenso wurden durch Lautsprecher gezielt generierte Frequenzgänge erzeugt, mit dem Mikrofon des Smartphones aufgenommen und anschließend ermittelt, ob die gemessene Frequenz mit der erzeugten übereinstimmt. Die nötige Empfindlichkeit des Mikrofons für die Bienen Geräusche wurde verifiziert und die optimale Entfernung zur buzzenden Biene wurde in Vorversuchen an im Labor sammelnden Hummeln (*Bombus terrestris*) erprobt. Das gewählte Datenformat wurde durch Untersuchung von Komprimierung, Auflösung und Genauigkeit der Aufnahmen mit Hilfe der auch zur Analyse eingesetzten Computerprogramme Audacity 1.2.6 (Audacity, GNU General Public License) und Praat (BOERSMA 2002) auf Tauglichkeit getestet. Die Untersuchungen der Aufnahmen wurde durch die grafische Amplitudendarstellung, die die relative Lautstärke zu einem bestimmten Zeitpunkt wiedergibt, oder als Spektrogramm, das die Intensität des jeweiligen Frequenzbereichs

über die Zeit als Schwarz-Weiß-Wert zeigt, durchgeführt.

Die Messungen im Feld wurden wie folgt durchgeführt: Eine per Buzzing Pollen sammelnde Biene wurde gesucht und anschließend solange mit aktivierter Aufnahmefunktion verfolgt, bis während der Sammelaktivität einige klar zu vernehmende und nicht durch Störgeräusche verfälschte Aufnahmen von Buzzings und Fluggeräuschen erfolgt waren. Anschließend wurde die Biene abgefangen und zur späteren Bestimmung mit Ethylacetat getötet. Jede gefangene Biene wurde durch eine eindeutige Kennzeichnung der jeweiligen Tonaufnahme zugeordnet.

Die Verarbeitung der Aufnahmen wurde anschließend am Computer mit den folgenden Schritten durchgeführt: Die Sequenzen mit deutlich zu vernehmendem Buzzing- oder Fluggeräusch wurden mit Hilfe des Programms Audacity identifiziert, isoliert, als einzelne Datei gespeichert und der betreffenden Biene zugeordnet. Ein einzelnes Buzzing wurde als der Zeitraum definiert, in dem eine durchgehend hörbare Vibration der Biene registriert wurde. Häufig führte eine Biene während eines Blütenbesuchs mehrere, durch kurze Pausen voneinander getrennte Buzzings hintereinander durch, die jeweils als einzelne Dateien gespeichert und ausgewertet wurden. Diese Dateien wurden in das Programm Praat eingelesen und mit Hilfe der Pitch (ac) Funktion auf ihre Grundfrequenz hin untersucht

(BOERSMA 1993, 2002). Die Funktion Pitch (ac) muss anhand einiger Parameter für die Erkennung der Bienengeräusche eingestellt werden (s. Tab. 1). Die Parameter für den Frequenzbereich, innerhalb dessen die Grundfrequenz des Buzzings erwartet wird, wurden anhand von Messwerten aus früheren Studien gewählt (KING & BUCHMANN 2003; NUNES-SILVA et al. 2010). Eine Qualitätsabschätzung der Aufnahmen wurde mit Hilfe des zeitlichen Verlaufs der Grundfrequenz des Geräuschs durchgeführt und schlechte Aufnahmen mit extremen Frequenzschwankungen aussortiert.

Um die Geräusche der Bienen in Bezug zur Körpergröße zu setzen, wurde nach der Bestimmung ihr Intertegularabstand mit Hilfe einer Schieblehre oder mittels eines mit Messoptik ausgestatteten Binokulars vermessen. Als zusätzliches Maß für die Körpergröße wurde mit einer Feinwaage das Trockengewicht der Bienen bestimmt. Anschließend wurden die Bienen der entomologischen Sammlung der Universidade Federal de Minas Gerais in Belo Horizonte, Brasilien, zugeführt.

3. Ergebnisse

Die Validierung zur Tauglichkeit des Smartphones als feldgängiges Gerät zur Messung akustischer Signale von Bienen war positiv. Das Frequenzspektrum, in dem sich die zu beobachtenden Bienengeräusche abspielen,

Tab. 1: Parameter der Pitch(ac)-Funktion von Praat für die Abschätzung der Grundfrequenz von Buzzing- oder Fluggeräuschen von Bienen.

Tab. 1: Parameter of the Pitch (ac) function of Praat for the estimation of the basic frequency of buzzing or flight sounds of bees.

Pitch (ac) Parameter	Wert	Aufgabe des Parameters
Pitch floor	50 Hz	Die Untergrenze der erwarteten Grundfrequenz
Pitch ceiling	350 Hz	Die Obergrenze der erwarteten Grundfrequenz
Silence threshold	0,03	Auch sehr leise Aufnahmen werden ausgewertet
Voicing threshold	0,1	Auch Grundfrequenzen, die nur wenig lauter als das Gesamtgeräusch sind, werden evaluiert
Octave cost	0,1	Niedrige Frequenzen werden favorisiert
Octave jump cost	0,5	Oktavensprünge sollen vermieden werden

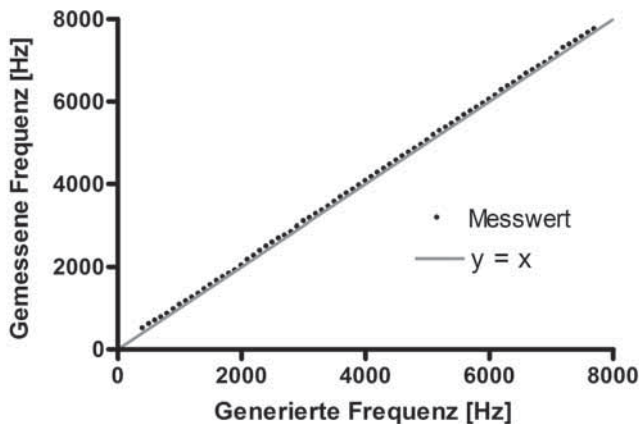


Abb. 2: Messung der Frequenztreue anhand eines generierten Tons mit ansteigender Frequenz (X-Achse) und der Messung des Mikrophons nach Pitch(ac)-Analyse durch Praat (Y-Achse), mit Vergleich zur idealen Kurve mit der Steigung 1 (graue Linie). Die lineare Regression zeigt eine positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten R^2 von 0,9999.

Fig. 2: Measurement of the frequency fidelity of the microphone by using a generated tone with rising frequency (X-axis) and the measurements of the microphone computed with the Pitch (ac) analysis of Praat (Y-axis), as compared to the ideal curve with a slope of 1 (grey line). The linear regression shows a positive correlation with a correlation coefficient R^2 of 0.9999.

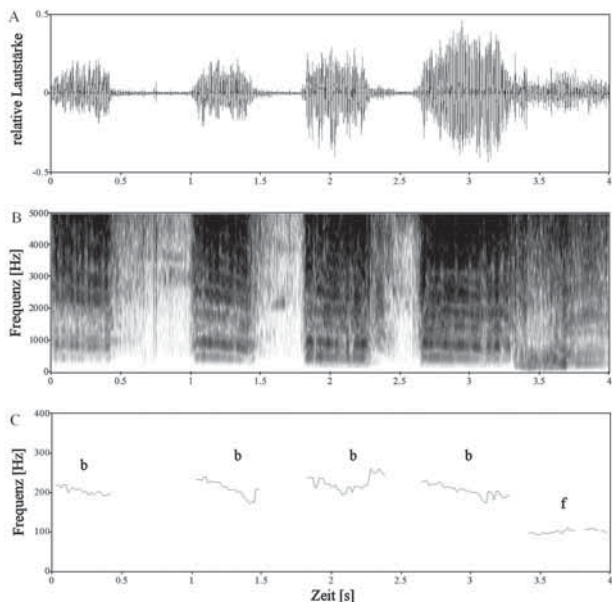


Abb. 3: Darstellung einer Sequenz von einzelnen Buzzings von *Xylocopa frontalis* während eines Blütenbesuchs als Auftragung der relativen Lautstärke (A), des Spektrogramms (B) und des Verlaufs der Grundfrequenz (C) während des Buzzings (b) und des Abflugs (f).

Fig. 3: Visualisation of a sequence of single buzzings of *Xylocopa frontalis* during a flower visit as plot of the relative loudness (A), the spectrogram (B) and the flow of the basic frequency (C) during the buzzing (b) and the departure (f).

liegt anderen Arbeiten zufolge zwischen 100 Hz und 500 Hz (KING & BUCHMANN 2003; NUNES-SILVA et al. 2010) und wird von dem in dieser Studie verwendeten Mikrofon abgedeckt, das im Bereich zwischen 50 Hz und mehr als 5000 Hz sensibel ist. Die Frequenztreue des Mikrofons ist ebenfalls gegeben (Abb. 2).

Feldversuche ergaben, dass Hummeln während des Buzzings nicht oder nur sehr begrenzt auf ihre Umgebung reagieren und das Mikrofon bis auf wenige Zentimeter an die Biene herangeführt werden kann, um ein möglichst klares Signal zu erhalten. Eine solche Messung produziert sowohl Aufnahmen des Buzzings als auch Aufnahmen des

Tab. 2: Frequenzanalyse des Buzzing-Geräuschs verschiedener Bienenarten: Mittelwert der Buzzing-Frequenz mit Standardabweichung, maximale und minimale gemessene Frequenz und durchschnittliche Dauer eines Buzzings mit Standardabweichung. In den Klammern ist die Anzahl der untersuchten Individuen bzw. die Zahl der Einzelmessungen angegeben.

Tab. 2: Frequency analysis of the buzzing sound emitted from different bee species: mean buzzing-frequency with standard deviation, maximum and minimum frequency and mean duration with standard deviation of one buzzing. In brackets the number of investigated individuals or the number of single measurements is given.

Bienenart	Mittelwert [Hz]	Buzzing Frequenz		Dauer [s]
		Maximum [Hz]	Minimum [Hz]	
<i>Centris aenea</i> (2)	324,05 ± 12,05 (5)	347,01	274,62	0,68 ± 0,19
<i>Centris flavifrons</i> (2)	294,49 ± 18,60 (4)	318,88	266,10	0,53 ± 0,13
<i>Centris tarsata</i> (2)	311,42 ± 7,04 (4)	323,76	305,60	0,76 ± 0,16
<i>Euglossa cordata</i> (2)	294,15 ± 10,25 (7)	327,74	265,31	0,65 ± 0,08
<i>Eulaema nigrita</i> (2)	220,95 ± 5,55 (11)	261,19	196,47	0,97 ± 0,29
<i>Melipona scutellaris</i> (2)	282,20 ± 27,42 (12)	328,89	246,48	1,05 ± 0,63
<i>Pseudaugochla graminea</i> (3)	221,94 ± 22,76 (20)	293,63	179,19	0,84 ± 0,55
<i>Xylocopa frontalis</i> (18)	218,32 ± 12,44 (103)	266,66	171,47	0,59 ± 0,23
<i>Xylocopa suspecta</i> (21)	250,97 ± 10,66 (141)	309,27	194,84	0,51 ± 0,22

Tab. 3: Frequenzanalyse des Fluggeräuschs verschiedener Bienenarten: Mittelwert der Flugfrequenz mit Standardabweichung, maximale sowie minimale gemessene Grundfrequenz des Fluggeräuschs. In den Klammern ist die Anzahl der untersuchten Individuen bzw. die Zahl der Einzelmessungen angegeben.

Tab. 3: Frequency analysis of the flight sound from different bee species: mean frequency with standard deviation, maximum and minimum basic frequency. In brackets the number of investigated individuals or the number of single measurements is given.

Bienenart	Frequenz des Fluggeräuschs		
	Mittelwert [Hz]	Maximum [Hz]	Minimum [Hz]
<i>Centris aenea</i> (2)	221,44 ± 9,95 (4)	283,70	201,76
<i>Centris flavifrons</i> (2)	151,19 ± 12,27 (3)	170,53	134,34
<i>Centris tarsata</i> (2)	249,58 ± 3,87 (5)	314,80	221,23
<i>Euglossa cordata</i> (2)	251,83 ± 3,78 (2)	291,52	225,42
<i>Eulaema nigrita</i> (2)	126,91 ± 2,51 (7)	138,18	118,89
<i>Melipona scutellaris</i> (2)	229,10 ± 11,46 (4)	247,52	203,76
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (3)	190,20 ± 6,80 (3)	204,38	167,25
<i>Xylocopa frontalis</i> (18)	106,45 ± 3,50 (69)	142,75	92,23
<i>Xylocopa suspecta</i> (21)	115,97 ± 5,40 (55)	185,97	98,07

Tab. 4: Maße verschiedener buzzender Bienenarten mit den Mittelwerten von Flügellänge, Intertegularabstand und Trockengewicht. Die Anzahl der vermessenen Individuen ist in Klammern angegeben.
Tab. 4: Measures of buzzing bee species showing means of wing length, intertegular span and weight. The number of measured individuals is given in brackets.

Bienenart	Vermessung der Biene		
	Flügellänge [mm]	Intertegular-Abstand [mm]	Gewicht [g]
<i>Centris aenea</i> (2)	12,5	5,08	0,133
<i>Centris flavifrons</i> (2)	16,5	6,12	0,325
<i>Centris tarsata</i> (2)	8,5	3,24	0,018
<i>Euglossa cordata</i> (2)	9,0	3,64	0,041
<i>Eulaema nigrita</i> (2)	21,5	5,68	0,311
<i>Melipona scutellaris</i> (2)	8,5	3,00	0,029
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (3)	8,0	2,19	0,019
<i>Xylocopa frontalis</i> (18)	27,4	8,81	0,838
<i>Xylocopa suspecta</i> (21)	21,9	6,67	0,383

Fluggeräusches beim Start der Biene von der Blüte. Exemplarisch ist das akustische Signal eines einzelnen Buzzings, das neben der Grundfrequenz auch reich an, von der Grundfrequenz abgeleiteten, Obertönen ist, wiedergegeben (Abb. 3).

Die Ergebnisse der akustischen Untersuchungen während des Blütenbesuchs der beobachteten Bienen wurden über die Arten gemittelt. Für jede Bienenart wurde der Frequenzbereich der Grundfrequenz ermittelt, die der Frequenz entspricht, die dem Geräusch zugrunde liegt, was im Fall des Buzzings die Muskelschwingung ist. Zusätzlich wurde die Länge einzelner Buzzings bestimmt (Tab. 2). Analog wurde für die Grundfrequenz des Fluggeräusches verfahren, die der Frequenz des Flügelschlags entspricht (Tab. 3). Die für den Vergleich der Bienen untereinander erhobenen Werte Flügellänge, Intertegular-Abstand und Gewicht sind in Tabelle 4 aufgeführt.

4. Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine neuartige Methode etabliert, mit deren Hilfe im Feld akustische Aufnahmen von Bienen erstellt und anschließend analysiert werden können. Als Aufnahmegerät wird ein

Smartphone eingesetzt, das nicht nur ein hochempfindliches Mikrofon besitzt, sondern auch in der Richtcharakteristik auf die Aufnahme von Geräuschen in unmittelbarer Nähe abgestimmt ist. Zudem ist ein Smartphone kostengünstig, tragbar und verfügt über einen Akku, der für viele Stunden Unabhängigkeit vom Stromnetz gewährleistet. Die Vorteile der angewendeten Methode bestehen darin, dass sich Aufnahmen in hoher Qualität digital speichern und zur Analyse direkt auf einen Computer übertragen lassen. Die Analyse der Tondateien am Computer wird von einem Toolset frei verfügbarer Programme geleistet, das viele Werkzeuge zur Auswertung und Ausgabe von Geräuschen sowie eine Automatisierung derselben bietet. Mithilfe dieser Methode können große Mengen von Daten in kurzer Zeit gesammelt und sehr exakt analysiert werden. Da nach jeder Tonaufnahme die entsprechende Biene gefangen und genadelt wurde, konnte die Spezies im Nachhinein bestimmt werden. Die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Arten in Körpergröße, Körper- und Flügelform und Flugstil schlagen sich auch in den Flug- und Buzzing-Frequenzen nieder (BURKART et al. 2012). Wie in den Arbeiten von NUNES-SILVA et al. (2010) auch für andere Bienenpezies

gezeigt wurde, besitzt jede Spezies einen gewissen Frequenzbereich, innerhalb dessen die Buzzing- und Flugfrequenzen liegen.

Verwandte Bienenarten ähneln sich weiterhin in ihren Frequenzen eher als weniger verwandte Arten, wie die ähnlichen Buzzing-Frequenzen von *X. suspecta* und *X. frontalis* zeigen. Bei diesen Übereinstimmungen ist jedoch zu vermuten, dass neben der Verwandtschaft auch die ähnliche Größe der Spezies eine Rolle spielt. Da die Bienen nach einem einzelnen Buzzing oder einer Sequenz von Buzzings an einer Blüte stets weiterfliegen, existiert zu fast jeder Aufnahme von Buzzing-Geräuschen auch ein Fluggeräusch. Da sich die Bienen beim Start nur mit geringer Geschwindigkeit bewegen, bleiben Frequenzmodulationen, die durch den Dopplereffekt hervorgerufen werden, gering, so dass die reale Flügelschlagfrequenz in den Aufnahmen aufgezeichnet wurde. Mit der akustischen Aufnahme konnten nicht nur Daten zur Frequenz generiert, sondern auch die Dauer der einzelnen Buzzings genau bestimmt werden. So wie sich die Frequenz von Art zu Art unterscheidet, ist ein gewisser Unterschied auch für die Dauer einzelner Buzzings in verschiedenen Arten gegeben. So unterscheiden sich die längeren Buzzings variabler Dauer von *Pseudaugochlora graminea* von den kurzen, weitgehend gleich langen Buzzings von *Euglossa cordata* (Tab. 2).

Die hier dargestellten Methoden und Ergebnisse stellen einen Teil der Möglichkeiten dar, die sich durch die Anwendung neuer Technologien auf die akustische Aufnahme von Bienengeräuschen ergeben. Die große Rechenleistung aktueller Smartphones könnte beispielsweise, ein entsprechendes Programm vorausgesetzt, eine direkte Frequenzanalyse von Bienengeräuschen im Feld mit Abschätzung der Art ermöglichen. Für die Untersuchung von Fledermäusen mit Hilfe akustischer Methoden sind ähnliche Verfahren schon seit Jahrzehnten als Bat-Detektoren im Einsatz und erfolgreich erprobt (AHLEN & BAAGØE 1999). Für Fledermäuse sind auch

autonome Systeme, die Areale über einen längeren Zeitraum hinweg überwachen, bekannt (O'DONNELL & SEDGELEY 1994). Diese Anwendung ist auch für die autonome Überwachung von Blüten mit Hilfe eines Mikrofons und der nachfolgenden Analyse der Blütenbesuche durch computerlinguistische Verfahren auf Bienenart und Besuchsdauer hin denkbar. Die zunehmende Verbreitung der Smartphone-Technologie unter Schülern und Studenten macht entsprechende Projekte auch im Rahmen der Lehre attraktiv.

Danksagung

Wir danken POLIANA OJIMA und AIRTON TORRES CARVALHO für die großartige Hilfe beim Bestimmen der Bienen.

Literatur

- AHLEN, I., & BAAGØE, H.J. (1999): Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring. *Acta Chiropterologica* 1: 137-150.
- BEZERRA, E.L.S., & MACHADO, I.C. (2003): Biologia floral e sistema de polinização de *Solanum stramonifolium* Jacq. (Solanaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Pernambuco. *Acta Botanica Brasilica* 17: 247-257.
- BOERSMA, P.P.G. (1993): Accurate short-term analysis of the fundamental frequency and the harmonics-to-noise ratio of a sampled sound. *IFA Proceedings* 17: 97-110.
- BOERSMA, P.P.G. (2002): Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott international* 5: 341-345.
- BUCHMANN, S.C. (1983): Buzz pollination in angiosperms. Pp. 73-114 in: EUGENE, C.E. & LITTLE, R.J. (eds.): *Handbook of experimental pollination biology*. Van Nostrand Reinhold Company Inc.; New York.
- BURKART, A., LUNAU, K., & SCHLINDWEIN, C. (2011): Comparative bioacoustical studies on flight and buzzing of neotropical bees. *Journal of Pollination Ecology* 6: 118-124.
- EHRlich, I., & LUNAU, K. (2009): Untersuchungen zur Pollendetektion von Hummeln. *Entomologie heute* 21: 141-149.

- HOUSTON, T.F., & THORP, R.W. (1984): Bionomics of the bee *Stenotritus greavesi* and ethological characteristics of Stenotritidae (Hymenoptera). Records of the Western Australian Museum 11: 375-385.
- HURD, P.D., & LINSLEY, E.G. (1976): The bee family Oxaeidae with a revision of the North American species (Hymenoptera, Apoidea). Smithsonian Institution Press; Washington.
- KAWAI, Y., & KUDO, G. (2009): Effectiveness of buzz pollination in *Pedicularis chamissonis*: significance of multiple visits by bumblebees. Ecological Research 24: 215-223.
- KING, M.J., & BUCHMANN, S.L. (2003): Floral sonication by bees: mesosomal vibration by *Bombus* and *Xylocopa*, but not *Apis* (Hymenoptera: Apidae), ejects pollen from poricidal anthers. Journal of the Kansas Entomological Society 76: 295-305.
- KING, M.J., BUCHMANN, S.L., & SPANGLER, H. (1996): Activity of asynchronous flight muscle from two bee families during sonication (buzzing). Journal of Experimental Biology 199: 2317-2321.
- KING, M.J., & LENGOC, L. (1993): Vibratory pollen collection dynamics. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 36: 135-140.
- MOURE J.M., URBAN D., & MELO G.A.R. (2007): Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region, Curitiba. Sociedade Brasileira de Entomologia, Curitiba.
- NEFF, J.L., & SIMPSON, B.B. (1988): Vibratile pollen-harvesting by *Megachile mendica* Cresson (Hymenoptera, Megachilidae). Journal of the Kansas Entomological Society 61: 242-244.
- NUNES-SILVA, P., HRNCIR, M., & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. (2010): A polinização por vibração. Oecologia Australis 14: 140-151.
- O'DONNELL, C.F.J., & SEDGELEY, J.A. (1994): An automatic monitoring system for recording bat activity. Department of Conservation Technical Series 5: 1-16.
- SCHLINDWEIN, C., SCHLUMBERGER, B., WITTMANN, D., & MOURE, J.S. (2003): O gênero *Xylocopa* Latreille no Rio Grande do Sul, Brasil (Hymenoptera, Anthophoridae). Revista Brasileira de Entomologia 47: 107-118.
- SHIPP, J.L., WHITFIELD, G.H., & PAPADOPOULOS, A.P. (1994): Effectiveness of the bumble bee, *Bombus impatiens* Cr. (Hymenoptera: Apidae), as a pollinator of greenhouse sweet pepper. Scientia horticultrae 57: 29-39.
- TEPPNER, H. (2005): Pollinators of Tomato, *Solanum lycopersicum* (Solanaceae), in Central Europe. Phytion 45: 217-235.
- THORP, R.W. (2000): The collection of pollen by bees. Plant Systematics and Evolution 222: 211-223.

Dipl.-Biol. Andreas Burkart
 Prof. Dr. Klaus Lunau
 Institut für Sinnesökologie
 Department Biologie
 Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
 Universitätsstr. 1
 D-40225 Düsseldorf
 E-Mail: andreas.burkart@uni-duesseldorf.de
 E-Mail: lunau@uni-duesseldorf.de

Prof. Dr. Clemens Schlindwein
 Departamento de Botânica
 Instituto de Ciências Biológicas
 Universidade Federal de Minas Gerais
 Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha –
 Caixa Postal 486
 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasilien
 E-Mail: schlindw@gmail.com

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Entomologie heute](#)

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Burkart Andreas, Schindwein Clemens, Lunau Klaus

Artikel/Article: [Auf Bienenjagd mit dem Smartphone – bioakustische Studien an pollensammelnden Bienen. Hunting Bees with a Smartphone – Bioacoustical Studies of Pollen Collecting Bees 113-121](#)