

FREIE UNIVERSITÄT BERLIN  
INSTITUT FÜR INFORMATIK  
BIROBOTICS LAB

BACHELORARBEIT



Maria Sparenberg

maria.sparenberg@gmx.net

Matrikelnummer: 4290105

**Analyse der räumlichen Verteilung  
von Sammlerinnen innerhalb der  
Honigbienenkolonie**

Gutachter:

Prof. Dr. Tim Landgraf  
Prof. Dr. Randolph Menzel

Berlin, 28.03.2017

## **Zusammenfassung**

Honigbienen gehören zu den am umfangreichsten untersuchten Modellorganismen der Biologie und verfügen über ein hochsoziales Verhaltensrepertoire. Ein Bienenstaat besteht dabei die meiste Zeit ausschließlich aus weiblichen Bienen, die je nach Alter verschiedene Aufgaben übernehmen. Die älteren Bienen verlassen den Bienenstock regelmäßig zur Nektar- und Pollenbeschaffung. Um andere Sammlerinnen über weit entfernte Futterquellen zu informieren, werden deren Ortsinformationen über den sogenannten Schwänzeltanz kodiert und kommuniziert. Es ist allerdings bisher ungeklärt, wie sich Tänzerinnen und Folgebienen finden oder ob es dabei Präferenzen für bestimmte Bienen gibt. Mithilfe der BeesBook-Technologie, die an der Freien Universität entwickelt wird, lässt sich fast das gesamte Leben jedes Individuums innerhalb der Honigbienenkolonie nachverfolgen. Dies ermöglicht es, die räumliche Verteilung und die Interaktionen von Sammlerinnen auf der Wabe zu untersuchen. In dieser Bachelorarbeit wurden erste Analysefunktionen entwickelt, um den riesigen Datensatz zu explorieren und einen Einblick in die räumliche Verteilung von Sammelgruppen zu erlangen.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere hiermit an Eides Statt, dass diese Arbeit von niemand anderem als meiner Person verfasst worden ist. Alle verwendeten Hilfsmittel wie Berichte, Bücher, Internetseiten oder Ähnliches sind im Literaturverzeichnis angegeben. Zitate aus fremden Arbeiten sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Berlin, 28.03.2017

---

Maria Sparenberg

## Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Prof. Dr. Tim Landgraf für die Möglichkeit bedanken, die BeesBook-Technologie kennenzulernen und dessen riesige Menge an Daten hinsichtlich einer biologischen Fragestellung auszuwerten. Zudem bin ich Benjamin Wild für seine Hilfsbereitschaft bei allen technischen, aber auch inhaltlichen Fragen und David Dormagen für die vielen Diskussionen bezüglich der Statistik sehr dankbar. Auch der rege Informationsaustausch bei der Datenanalyse mit Alexa Schlegel war sehr hilfreich und hat mir einige zeitaufwendige Berechnungen erspart. Mein Dank gilt ebenfalls Franziska-Marie Lojewski, weil ich die von ihr erhobenen Daten aus den Freilandexperimenten verwenden durfte, die sie so fleißig während der Sommermonate durchgeführt hat. Zudem möchte ich mich bei Friederike Kohrs für ihre Hinweise zum Text beim Korrekturlesen bedanken.

Zu guter Letzt geht ein besonderer Dank an meine Familie, die in allen Lebenslagen zu mir hält, und an Patrick Hobusch, der mich nicht nur von diesem Informatikstudium überzeugt und jederzeit dabei unterstützt hat, sondern auch bei der Umsetzung dieser Bachelorarbeit, vor allem bei technischen Angelegenheiten aber auch beim Korrekturlesen, mitgewirkt hat.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Methodik</b>	<b>5</b>
2.1	BeesBook . . . . .	5
2.1.1	Markierung der Bienen . . . . .	5
2.1.2	Setup . . . . .	6
2.1.3	Software . . . . .	7
2.2	Freilandexperiment . . . . .	7
2.3	Daten . . . . .	9
2.3.1	Schlüpfdaten der Bienen . . . . .	9
2.3.2	Detektionen . . . . .	10
2.3.3	Bildkoordinaten . . . . .	11
2.4	Analyse . . . . .	11
2.4.1	Euklidische Distanz innerhalb der Sammelgruppe . . .	11
2.4.2	Generierung von Zufallsgruppen . . . . .	12
2.4.3	Median-Vorzeichentest . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>14</b>
3.1	Identität der Sammelgruppen . . . . .	14
3.2	Sammelgruppe 5 . . . . .	14
3.2.1	Aufenthaltsverteilung . . . . .	16
3.2.2	Euklidische Distanz . . . . .	21
3.3	Sammelgruppe 16 . . . . .	25
3.3.1	Aufenthaltsverteilung . . . . .	26
3.3.2	Euklidische Distanz . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>35</b>
	<b>Referenzen</b>	<b>38</b>

# 1 Einleitung

Die Honigbiene *Apis mellifera* ist eine der am umfangreichsten untersuchten Modellorganismen in der Biologie. Sie verfügt über ein sehr ausgeprägtes soziales Verhaltensrepertoire, das durch die Altershierarchie ihres Staates spezifiziert ist. Ein Bienenstaat besteht die meiste Zeit ausschließlich aus weiblichen Bienen unterschiedlicher Generationen, wobei nur die Nachkommen der Königin überleben, und die Fruchtbarkeit der anderen Bienen unterdrückt wird bzw. deren Nachkommen getötet werden (Ratnieks und Visscher 1989). Die junge Königin kopuliert mit etwa 20 männlichen Bienen fremder Staaten, die als Drohnen bezeichnet werden (Page 1986; Neumann, Moritz und van Praagh 1999). Daraufhin legt sie tausende befruchtete Eier, aus denen die Arbeiterinnen schlüpfen. Aus unbefruchteten Eiern dagegen entstehen die Drohnen, die nach der Kopulation mit anderen Königinnen sterben oder später aus dem Bienenstock vertrieben werden. Die Arbeiterinnen übernehmen altersbedingt verschiedene Aufgaben, zu denen die Säuberung der Wabenzellen nach dem Schlüpfen, das Versorgen und Pflegen der Königin, die kooperative Brutpflege inklusive Bau neuer Wabenzellen, die Verteidigung des Bienenstocks und die gemeinsame Nahrungsbeschaffung zählen (Page und Peng 2001).

Die älteren nahrungssuchenden Bienen, die im Folgenden als Sammlerinnen bezeichnet werden, müssen verschiedene Informationen über die besuchten Futterquellen sammeln, speichern, kodieren und kommunizieren, um die Effizienz der Nektar- und Pollenbeschaffung zu steigern. Mithilfe olfaktorischer Konditionierungsversuche unter Ausnutzung des Rüsselreflexes (Felsenberg et al. 2011) wurde mehrfach gezeigt, dass Bienen in der Lage sind, zu lernen und neue Informationen im Kurz- bzw. Langzeitgedächtnis zu konsolidieren (Menzel 1999; Menzel 2001; Eisenhardt 2006). Dies ist die Grundlage dafür, dass sie die aufgesuchte Futterquelle auch anderen Sammlerinnen beschreiben können. Abhängig von der Entfernung der Futterquelle zum Stock, geschieht dies entweder über den Rundtanz oder über den Schwänzeltanz.

Führt eine Biene den Rundtanz (Abb. 1) auf, bei dem sie im Kreis läuft und nach etwa einer Umdrehung die Richtung ändert, befindet sich eine Futterquelle in direkter Umgebung des Stocks, d.h. in bis zu 100 Metern Entfernung. Bienen, die diesem Tanz folgen und deshalb als Folgebienen bezeichnet werden, bleiben während des Tanzes in engem Fühlerkontakt zur Tanzbiene und nehmen so den Geruch der Futterquelle wahr. Aus diesem Grund können sie diese trotz fehlender Richtungsangabe ausfindig machen

(von Frisch und Lindauer 1956).

Für Futterquellen in weiterer Entfernung wird stattdessen der Schwänzeltanz (Abb. 2) aufgeführt, der umfangreichere Informationen zum Ort und der Beschaffenheit der Futterquelle enthält. Die Biene läuft zunächst auf einer Geraden, wobei sie ihr Abdomen regelmäßig hin- und herschwingt (*waggle run*, Schwänzellauf). Danach geht sie in einem elliptischen Halbkreis zurück zum Ausgangspunkt (*return run*, Rücklauf) und führt erneut den Schwänzellauf aus. Anschließend kehrt sie über dem gegenüberliegenden elliptischen Halbkreis zum Ausgangspunkt zurück und wiederholt die gesamte Abfolge mehrmals (von Frisch und Lindauer 1956).

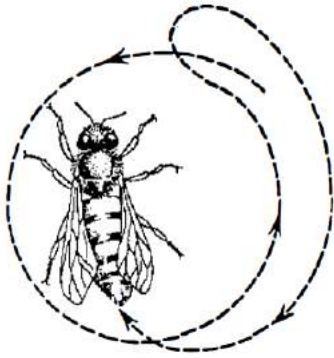


Abb. 1: Rundtanz

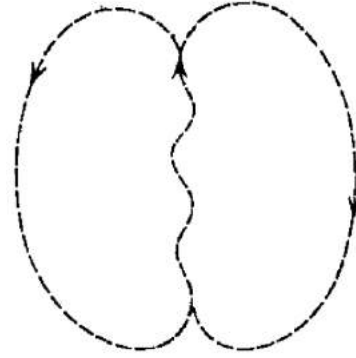


Abb. 2: Schwänzeltanz

Im linken Bild ist der Rundtanz und rechts der Schwänzeltanz dargestellt. Der Rundtanz dient zur Kommunikation von Futterquellen in bis zu 100 m Entfernung und kodiert keine weiteren Informationen zum Fundort. Mithilfe des Schwänzeltanzes werden Futterquellen in weiterer Entfernung inklusive Richtungs- und Entfernungsangabe beschrieben. — Bilder: von Frisch und Lindauer 1956

Die vertikale Ausrichtung der Waben im Bienenstock macht sich die Biene zur Richtungskodierung zu Nutze. Der Winkel der Geraden, auf der der Schwänzellauf stattfindet, zur Lotrichtung gibt den Winkel der Futterquelle zum Stand der Sonne an. Dies ist möglich, da Bienen einerseits die Polarisationsrichtung des Sonnenlichts wahrnehmen können und andererseits anhand der Schwerkraft und des Erdmagnetfeldes wissen, wo sich die Unter- und Oberseite des dunklen Bienenstocks befindet (von Frisch und Lindauer 1956). Die Entfernung der Futterquelle wird hingegen über die Geschwindigkeit des Tanzes, d.h. die Anzahl der Umdrehungen pro Zeit, kodiert. Je schneller die Biene tanzt, desto näher befindet sich die Futterquelle. Je länger der Schwänzellauf dauert, desto weiter entfernt ist sie. Allerdings werden beim Tanzen keine absoluten Entfernungen kodiert, da der sogenannte optische Fluss, der die Häufigkeit

der abrupten Umgebungsänderungen angibt, die Wahrnehmung der Entfernung beeinflusst. So wird beispielsweise der Flug über weite Felder im Gegensatz zum Flug durch dichte Wälder als kürzer eingeschätzt (Srinivasan et al. 2000; Esch et al. 2001). Zudem wird die Ertragsaussicht der Futterquelle durch die absolute Anzahl der Tanzwiederholungen repräsentiert (Seeley, Mikheyev und Pagano 2000).

Auch bei diesem Tanz bleiben die Folgebienen in engem Kontakt zur Tänzerin, nehmen den Geruch der Futterquelle wahr, dekodieren die übermittelten Informationen und sind häufig auch in der Lage, den Ort der Futterquelle selbst aufzusuchen (Riley et al. 2005).

Obwohl das Kommunikationssystem der Honigbiene bereits sehr ausführlich untersucht wurde und auch die Rollen der Tanz- und Folgebienen bekannt sind, bleiben Fragen zu deren Konstellation bisher ungeklärt. Es ist nicht bekannt, ob es Präferenzen für bestimmte Folgebienen oder für einen Tanzort auf der Wabe gibt, oder aber Sammlerinnen nur bestimmten Tänzerinnen folgen und aktiv nach diesen auf der Wabe suchen. Tatsächlich können auch frühere Erfahrungen die Entscheidung der Folgebienen beeinflussen, ob sie die Vektor-Informationen des Tanzes verwenden oder nicht. Hat eine Biene beispielsweise in der Vergangenheit eine ertragreiche Futterquelle mit einem bestimmten Geruch gefunden, und tanzt nun eine Biene, die eine ähnlich riechende aber unbekannte Futterquelle beschreibt, fliegt die Biene eher zu der bekannten alten Futterquelle (Grüter, Sol Balbuena und Farina 2008). Möglicherweise tragen aber auch Erfahrungen, die innerhalb des Bienenstocks gemacht wurden, zur Entscheidung bei, wie sich Tanz- und Folgebienen finden. Da sie über ein Kurz- und Langzeitgedächtnis verfügen und die relevanten Erfahrungen mehrere Tage zurückliegen können, wäre es vorteilhaft, den gesamten Bienenstock mit allen Arbeiterinnen über längere Zeit beobachten zu können.

Durch die Technologie “BeesBook”, die in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Tim Landgraf an der Freien Universität Berlin entwickelt wird, ist genau das für einen mehrwöchigen Zeitraum möglich. Dabei werden tausende Bienen nach dem Schlüpfen mit einem runden *Tag* markiert und der Bienenstock rund um die Uhr von vier hochauflösenden und zwei geringer auflösenden Kameras gefilmt. Unter Verwendung von maschinellem Lernen, insbesondere mehrerer neuronaler Netze, und Algorithmen der Bildverarbeitung, wurde eine Software entwickelt, mit der die *Tags* in den Frames der hochaufgelösten Videos lokalisiert und deren binäre Codes dekodiert werden können (Wario et al. 2015). Somit ist die Position jeder Biene zu jedem Zeitpunkt, den sie auf der Wabe verbringt, bekannt. Zudem gibt es eine automatische



Tanzerkennung für die geringer aufgelösten Videos, wobei eine Kopplung der beiden Datenströme noch aussteht.

BeesBook bietet Einblicke in die Methoden der künstlichen Intelligenz und der Mustererkennung, und verwendet Algorithmen aus dem Bereich der Computer Vision und Bildverarbeitung. Aus diesem Grund ist sie auch in Hinblick auf die Informatikausbildung besonders interessant, vor allem da künstliche Intelligenzen nicht nur aktuell, sondern auch in Zukunft sehr wahrscheinlich im gesellschaftlichen Fokus stehen werden. Zusätzlich zum akademischen Nutzen ist das System aber auch von biologischer Relevanz, weil die produzierten Daten Aufschluss zum Individual- und Gruppenverhalten der Bienen bringen können. Außerdem lässt sich im Zusammenspiel mit Feldversuchen fast deren gesamtes Leben zeitlich nachverfolgen und eröffnet der Wissenschaft damit zahlreiche Möglichkeiten, die sozialen Strukturen innerhalb des Bienenstaates weiter zu erforschen, und dabei auch die individuellen Erfahrungen der Bienen zu berücksichtigen.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Analyse der räumlichen Verteilung von Sammlerinnen innerhalb der Honigbienenkolonie. Im Sommer 2016 wurde ein Freilandexperiment zur Identifizierung von Sammelgruppen durchgeführt, wobei eine Sammelgruppe einer Menge von Bienen entspricht, die bei der gemeinsamen Nahrungssuche an derselben künstlichen Futterquelle beobachtet wurden. Diese Arbeit soll erste Einblicke zur Hypothese, dass sich die Bienen einer Sammelgruppe auch auf der Wabe in räumlicher Nähe zueinander befinden, liefern. Im Zuge dessen werden Teile des Datensatzes aus 2016 exploriert, um die Bienen dieser identifizierten Sammelgruppen zu lokalisieren und deren räumliche Nähe anschließend zu analysieren. Die räumliche Verteilung zu bestimmten Zeiträumen wird dabei mit der von zufällig gewählten Gruppen desselben Alters verglichen.

## 2 Methodik

### 2.1 BeesBook

In der Projektgruppe BeesBook an der Freien Universität wurde die gleichnamige Technologie entwickelt, mit der sich alle Individuen innerhalb einer Honigbienenkolonie nachverfolgen lassen. In den folgenden Abschnitten werden die für diese Arbeit wichtigsten Komponenten beschrieben.

#### 2.1.1 Markierung der Bienen

Während des achtwöchigen Zeitraums vom 28.06.2016 bis zum 23.08.2016 wurden die in den Zellen der Brutwabe schlüpfenden Bienen um 12 Uhr mittags gesammelt und mit einer runden Markierung, auch als *Circulatrix* oder *Tag* bezeichnet, ausgestattet (Abb. 3, 4). Sind Bienen später am selben Tag geschlüpft, wurden sie am darauffolgenden Tag markiert, sodass ihr Alter auf einen Tag genau berechnet werden kann. Wurde an einem Tag nicht markiert, wurden die geschlüpften Bienen verworfen. Insgesamt wurden so in diesem Zeitraum 3181 Bienen (exklusive der Königin und nachträglich markierter Bienen, siehe Abschnitt 2.3.1) markiert.

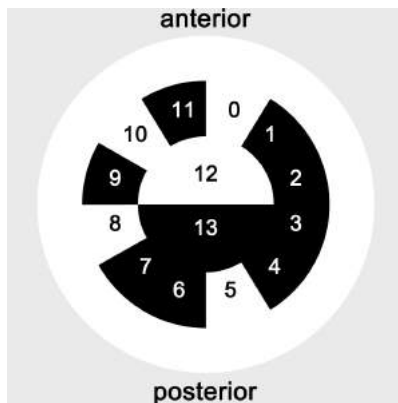


Abb. 3: Circulatrix



Abb. 4: Markierte Biene

Ein *Tag* besteht aus 14 Segmenten, wovon die Segmente 0-11 einen zwölf-stelligen Binärcode zur eindeutigen Identifizierung der Biene repräsentieren (0 = MSB). Das weiße Segment 12 zeigt nach anterior und das schwarze Segment 13 nach posterior. Die links dargestellte ID lautet 100001001010 in Binärdarstellung bzw. 2122 in Dezimaldarstellung. Im Bild rechts ist diese Biene beim Sammeln einer Zuckerlösung zu sehen.

Nach dem Entfernen der Härchen wurde das *Tag* dorsal auf den

Thorax der Biene geklebt, ohne die Flügelbewegung einzuschränken. Jede Markierung besteht aus einem Ring von zwölf Segmenten, der einem Binärcode zur eindeutigen Identifizierung der Biene entspricht, und weiteren zwei halbkreisförmigen Segmenten innerhalb des Rings, die die Körperorientierung anzeigen. Der weiße Halbkreis zeigt dabei in Richtung des Bienenkopfes (nach anterior) und der schwarze in Richtung des Abdomens (nach posterior). Unter der Annahme, dass das nach anterior zeigende Segment in der Aufsicht oben liegt, wird der 12-Bitcode ab 12 Uhr im Uhrzeigersinn abgelesen, wobei das erste abgelesene Bit dem *Most Significant Bit* (MSB) entspricht.

### 2.1.2 Setup

Nach dem Markieren wurden die Bienen über einen Schlauch an der dem Eingang gegenüberliegenden Seite in den Bienenstock gesetzt. Diese Beobachtungswabe stand in einem Gerüst aus Aluminium und war auf beiden Seiten von Glasscheiben umgeben, die sich leicht austauschen ließen. Dies war regelmäßig nötig, um die Scheiben von Honig, Wachs oder Bienenharz zu befreien. Die Wabe wurde von mehreren Infrarotlampen ausgeleuchtet und von je drei Kameras pro Seite rund um die Uhr gefilmt (Abb. 5, Wario et al. 2015). Zwei dieser Kameras waren hochauflösend ( $4000 \times 3000$  Pixel) und wurden nebeneinander montiert, um jeweils die Hälfte der Wabenseite zu erfassen. Die dritte Kamera hatte eine geringere Auflösung ( $320 \times 240$  Pixel) und filmte die gesamte Wabenseite.

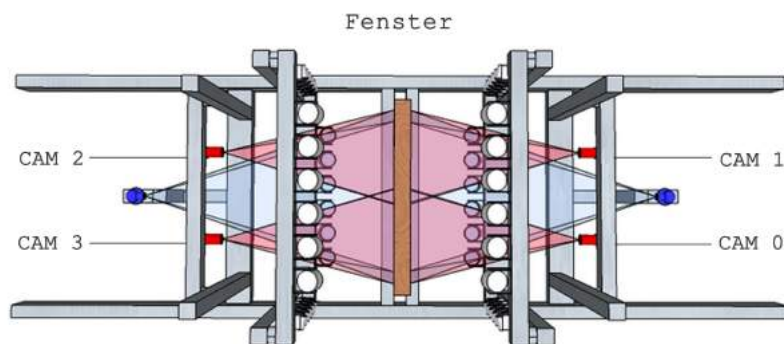


Abb. 5: Aufsicht auf den Versuchsaufbau

In der Mitte befindet sich die Beobachtungswabe, die von einem Aluminiumgerüst und mehreren Lampen umgeben ist. In rot sind die vier hochauflösenden Kameras dargestellt, die jeweils eine Hälfte einer Wabenseite erfassen. Kamera 0 und 1 filmen die rechte Seite, und Kamera 2 und 3 die linke Seite der Wabe. In blau sind die zwei Kameras mit geringerer Auflösung gekennzeichnet, die jeweils die gesamte Wabenseite erfassen. — Bild: Fernando Wario, modifiziert

### 2.1.3 Software

Die Aufnahmen der vier hochauflösenden Kameras wurden komprimiert und anschließend auf dem CrayXC30-Supercomputer des Norddeutschen Verbundes für Hoch- und Höchstleistungsrechnen (HLRN) am Zuse Institut Berlin (ZIB) ausgewertet. Der Aufbau der Analyse-Software wird als *Pipeline* bezeichnet und umfasst drei Schritte: I) Vorverarbeitung, II) Lokalisierung und III) Dekodierung.

Nach dem Einlesen der Bilder wird deren Kontrast mithilfe der *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) verbessert. Dabei wird das Bild in kleinere Blöcke aufgeteilt, bevor der Kontrast lokal durch Histogrammausgleich angepasst und ein möglicherweise auftretendes Rauschen durch einen Schwellenwert beim *Contrast Limiting* vermieden wird. Dies bildet die Grundlage für den Schritt der Lokalisierung, bei dem mithilfe eines *Convolutional Neural Networks* (CNN) auffällige Regionen erkannt und die sogenannten *Regions of Interest* extrahiert werden. Das Netz wird dabei mit manuell überprüften Daten trainiert.

Anschließend werden die lokalisierten Regionen zu  $64 \times 64$  Pixel großen Quadraten geschnitten, die dem Dekodierer, einem weiteren CNN, übergeben werden. Dieses neuronale Netz berechnet dann die Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Bits der Bienen-ID und die Orientierung des *Tags* bezüglich der drei orthogonalen Achsen. Das Netz wird mit automatisiert erzeugten Daten eines erweiterten *Generative Adversarial Networks* (GAN) trainiert (Sixt, Wild und Landgraf 2017), da es manuell und zeitlich kaum möglich ist, für jedes *Tag* neben den einzelnen Bits auch die entsprechenden Winkel zu kennzeichnen. Anschließend werden für jedes Frame Informationen zu den Detektionen (Bienen-ID, Position, Winkel, Radius) und den zeitlichen Gegebenheiten im *bb-binary*-Format gespeichert.

## 2.2 Freilandexperiment

Um Gruppen von Sammlerinnen zu identifizieren, wurde ein Freilandexperiment durchgeführt. Dabei wurde den Bienen eine künstliche Futterquelle, im Folgenden als *Feeder* bezeichnet, präsentiert, an der sie eine Zuckerlösung erhielten. Zunächst wurde dieser direkt am Bienenstockeingang positioniert und die Bienen mithilfe eines mit Zuckerlösung überzogenen Zahnstochers dorthin geführt. Dies wurde mit mehreren Bienen wiederholt, bis sie den Weg dorthin selbst fanden. Im Anschluss daran wurde der *Feeder* alle 20 bis 30 Minuten um zwei Meter versetzt, bis die erste gewünschte Position in 210 Meter Entfernung erreicht wurde. Während des Experiments wurde der *Feeder* dann zu unterschiedlich entfernten Plätzen bewegt

## 2.2 Freilandexperiment

(Abb. 6), und die Bienen entsprechend dorthin gelotst.



Abb. 6: Karte der Feeder-Positionen

Der Bienenstock (gelb) befindet sich in der Arnimallee auf dem Campus der Freien Universität Berlin. Zunächst war der Feeder in 210 m Entfernung (Luftlinie) zum Bienenstock positioniert (F1, orange), dann in 340 m (F2, grün), in 425 m (F3, blau), in 400 m (F4, magenta) und in 540 m (F5, rotbraun).

Am *Feeder* wurden die sammelnden Bienen fotografiert und ihre IDs notiert. Eine Menge von Bienen wurde als Sammelgruppe definiert, wenn sie mindestens aus drei verschiedenen Sammlerinnen bestand, und diese Bienen zur selben Beobachtungszeit am *Feeder* waren. Zudem wurden Bienen ausgeschlossen, die während des gesamten Experimentzeitraumes nur ein einziges Mal am Feeder beobachtet werden konnten. Unmarkierte Bienen wurden am *Feeder* nachträglich mit einem *Tag* ausgestattet, um sie bei zukünftigen Beobachtungstagen zuordnen zu können. Allerdings wurden sie nicht zu den Sammelgruppen hinzugefügt, weil für sie kein Alter bestimmt werden kann.

## 2.3 Daten

### 2.3.1 Schlüpfdaten der Bienen

Aufgrund der fortwährenden Entwicklung der Technologie verändern sich auch die Anforderungen an das System. Es gibt daher Informationen, die noch einem früheren Standard entsprechen, und deswegen angepasst und bereinigt werden mussten. Das betraf vor allem die *Tags*, die zur Markierung der Bienen verwendet wurden. In der Vergangenheit wurde der Binärcode nicht ab 12 Uhr im Uhrzeigersinn abgelesen, sondern unter anderem ab 9 Uhr im Uhrzeigersinn. Zudem wurde von einer geringeren Gesamtanzahl von Bienen ausgegangen, weswegen das letzte Bit noch als Paritätsbit verwendet wurde. Dadurch ergeben sich andere Bitfolgen für die Bienen-IDs und entsprechend auch andere Dezimalzahlen.

Um Informationen zum Alter der Bienen zu erhalten, wurde an jedem Tag, an dem Bienen markiert wurden, die Anzahl der verwendeten *Tags* eines bestimmten Sets notiert. Diese Sets waren jedoch noch mit der 9-Uhr-Leserichtung gekennzeichnet. Zudem wurde nicht vermerkt, welche *Tags* tatsächlich verwendet wurden, da nicht immer gleich viele Bienen geschlüpft sind. Allerdings existieren Fotos von den an diesem Tag ausgestanzten *Tags*. Diese wurden dann manuell und in 12-Uhr-Leserichtung entschlüsselt und mit den notierten Informationen abgeglichen. Daraus wurde eine csv-Datei erstellt, die für jede mögliche Bienen-ID (0 - 4095) das entsprechende auf einen Tag genaue Schlüpfdatum enthält. Wurde ein *Tag* nicht verwendet, hat die entsprechende Bienen-ID kein Datum und es kann somit auch kein Alter ermittelt werden. Auch für die Königin, die zwar markiert wurde, gibt es kein Schlüpfdatum. Außerdem wurden während des Freilandexperiments insgesamt zehn unmarkierte Bienen beobachtet und daher nachträglich markiert. Deswegen kann für diese Individuen ebenfalls kein Alter ermittelt werden.

Mithilfe der csv-Datei lässt sich auf das Schlüpfdatum von den 4096 möglichen Bienen-IDs (Code 1) zugreifen und somit bezüglich eines Referenzdatums das Alter berechnen (Code 2).

```
def get_all_hatchdates(csvfile='hatchdates2016.csv'):
    with open(csvfile, 'r') as f:
        dates = np.array(list(csv.reader(f, delimiter=',')))
    return [datetime.datetime.strptime(date, '%d.%m.%Y').date()
            if len(date) > 0 else '' for date in dates[1:,2]]
```

Code 1: Schlüpfdaten aller möglichen Bienen

```
def get_all_ages(date):
    return np.array([(date - hatchdate).days
                     if isinstance(hatchdate, datetime.date) else None
                     for hatchdate in Bee.get_all_hatchdates()]])
```

Code 2: Alter aller möglichen Bienen

So lassen sich auch alle Bienen extrahieren, die es bis zu diesem Zeitpunkt auch tatsächlich gab (Code 3). Die Bienen, deren Alter *None* oder negativ sind, wurden ausgeschlossen.

```
def get_existent_bees(date):
    ages = get_all_ages(date)
    none_bees = [bee for bee in range(4096) if ages[bee] is None]
    ages[none_bees] = -1
    return [bee for bee in range(4096) if ages[bee] > -1]
```

Code 3: Liste aller tatsächlich existierenden Bienen

### 2.3.2 Detektionen

Die Daten der mithilfe der *Pipeline* ausgewerteten Videos wurden im *bb-binary*-Format gespeichert und befinden sich in einer *Repository*-Struktur auf einem AG-internen Server. Für jeden Zeitraum und für jede der vier Kameras lässt sich auf alle Detektionen (Code 4) zugreifen, wobei Informationen zu den Videos (FrameContainer), zu den einzelnen Bildern (Frames) und auch zu den detektierten *Tags* inklusive deren Bitfolge, Bild-Koordinaten und Tag-Rotation verfügbar sind.

```
repo = Repository(path)
for frame, container in repo.iter_frames(begin, end, camId):
    for detection in frame.detectionsUnion.detectionsDP:
        ...
```

Code 4: Detektionen für einen gegebenen Zeitraum im Repository

Für die Analyse der Bienen-Positionen wurden die Detektionen zunächst nach ihrer Konfidenz (Code 5) gefiltert. Da die *Pipeline* für jedes Bit der Bienen-ID die Wahrscheinlichkeit 1 zu sein als Wert zwischen 0 und 255 berechnet, wurden nur solche Detektionen verwendet, deren Konfidenz größer gleich einem Schwellenwert von 95% ist.

```
def get_high_confidence(bitlist, threshold=.95):
    confidence = min([abs(0.5 - b) for b in bitlist]) * 2
    return confidence >= threshold
```

Code 5: Konfidenzberechnung für Bienen-IDs

Trotz der hohen Konfidenz gibt es Detektionen für Bienen, die tatsächlich nicht auftreten können, da sie entweder noch nicht markiert wurden, d.h. noch nicht geschlüpft sind, oder deren *Tags* tatsächlich gar nicht verwendet wurden. Daher wurden die Detektionen zusätzlich nach den tatsächlich möglichen Bienen-IDs (siehe `get_existent_bees(date)`) gefiltert.

### 2.3.3 Bildkoordinaten

Da beide Wabenseiten von jeweils zwei Kameras gefilmt wurden, müssen die Bildkoordinaten von Kamera 0 und 1 für die rechte Seite und die von Kamera 2 und 3 für die linke Seite zusammengefügt werden (Abb. 5, Code 6). Dieses Problem wurde bereits in einer anderen Abschlussarbeit behandelt, die Lösung bisher jedoch nicht in die *Pipeline* eingebettet und ist somit noch nicht verfügbar. Aus diesem Grund wurde für diese Arbeit eine einfache Heuristik verwendet. Auf die x-Koordinaten der Detektionen von Kamera 1 und 3 wurde 3000 addiert, entsprechend der horizontalen Bildauflösung einer Kamera, damit diese jeweils rechts von den Detektionen der Kameras 0 und 2 liegen. Durch diese manuelle Verschiebung entsteht jedoch eine kleine Lücke im Bild. Zusätzlich wurden die Bilder der beiden rechten Kameras 1 und 3 jeweils um 180° nach links gedreht, damit die Wabe richtig zusammengesetzt ist. Daher wurde die x-Koordinate einer Detektion von der maximalen x-Koordinate (3000) abgezogen und die y-Koordinate von der maximalen y-Koordinate (4000).

```
if camId in [0,2]:
    pos = [(d.xpos, d.ypos, d.bee), d.timestamp) for d in detections]
if camId in [1,3]:
    pos = [(6000-d.xpos, 4000-d.ypos, d.bee), d.timestamp) \
          for d in detections]
```

Code 6: Zusammenfügen der Kamerabilder

## 2.4 Analyse

### 2.4.1 Euklidische Distanz innerhalb der Sammelgruppe

Als Maß für die räumliche Nähe wurden die paarweisen euklidischen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe verwendet. Nach dem Filtern der



konfidenten Detektionen nach den Bienen-IDs der Sammelgruppe wurden diejenigen von Kamera 0 und 1 für die rechte Wabenseite und diejenigen von Kamera 2 und 3 für die linke Wabenseite konkateniert. Anschließend wurden die Detektionen für jeden auf eine Sekunde genauen Zeitstempel gesammelt und nur diejenigen Sekunden weiterverwendet, in denen sich mindestens zwei verschiedene Individuen gleichzeitig auf der Wabe befanden. Wenn eine Biene in einer Sekunde mehrfach detektiert wurde, wurde dessen mittlere Position berechnet.

Mit den so vorverarbeiteten Positionen wurde dann der sekundliche paarweise Abstand zwischen allen vorhandenen Individuen der Sammelgruppe berechnet (Code 7). Dabei entstand jeweils eine quadratische Matrix, wobei nur die über oder unter der Null-Diagonale liegenden Einträge verwendet wurden, um deren sekundlichen medianen Abstand zu berechnen.

```
def euklidic_distances(positions):
    pos_complex = np.array([complex(p[0], p[1]) for p in positions])
    m, n = np.meshgrid(pos_complex, pos_complex)
    distancematrix = abs(m-n)
    triu_ind = np.triu_indices(np.shape(distancematrix)[0], k=1)
    return distancematrix[triu_ind]
```

Code 7: Berechnung der Distanzmatrix

### 2.4.2 Generierung von Zufallsgruppen

Zur Überprüfung der Hypothese, dass sich die Individuen einer Sammelgruppe in räumlicher Nähe zueinander befinden, soll dies in dieser und zukünftigen Arbeiten mit der Aufenthaltsverteilung von Zufallsgruppen verglichen werden. Da Bienen eine nach dem Alter ausgerichtete Arbeitsteilung aufweisen, müssen diese Zufallsgruppen eine ähnliche Altersstruktur und dieselbe Gruppengröße haben wie die Sammelgruppe, weshalb das Alter normalverteilt und zufällig bestimmt wurde (Code 8). Für jeden so gewählten Wert wurde überprüft, ob er nicht negativ ist und ob es tatsächlich Bienen mit diesem Alter gibt. Außerdem kann ein Wert mehrfach vorkommen, weshalb zusätzlich sichergestellt wurde, dass es ausreichend viele Bienen mit diesem Alter gibt.

```
while any(age < 0 or age not in bees_ages or \
         counter_rand[age] > counter_all[age] \
         for age in rand_ages):
    rand_ages = np.random.normal(mean_age, std, size).astype(int)
    counter_rand = Counter(rand_ages)
```

Code 8: Erzeugen von zufälligen Altersdaten

Erst nach Erfüllung dieser Bedingungen wurde für jedes so gewählte Alter eine Liste mit möglichen Bienen berechnet, aus der gleichverteilt ein Individuum gezogen wurde. Allerdings wurden diejenigen Bienen ausgeschlossen, die zu einer Sammelgruppe gehören, d.h. jede Zufallsgruppe muss disjunkt zur Sammelgruppe sein.

Beim Vergleich mit mehreren Zufallsgruppen wurde gewährleistet, dass keine Gruppe doppelt vorkommt. Bei einer hohen Anzahl ist es jedoch nicht möglich, disjunkte Zufallsgruppen zu generieren, sodass eine Biene zu mehreren Zufallsgruppen gehören kann.

### 2.4.3 Median-Vorzeichentest

Für den statistischen Vergleich einer Sammelgruppe mit mehreren Zufallsgruppen wurden zunächst 1000 Zufallsgruppen entsprechend der im Abschnitt 2.4.2 genannten Anforderungen generiert. Anschließend wurden die sekundlichen paarweisen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe berechnet (siehe Abschnitt 2.4.1) und die Werte für jeweils fünf Minuten gepoolt. Für die Sekunden, in denen mindestens zwei Individuen der Sammelgruppe auf der Wabe detektiert wurden, wurden alle 1000 Zufallsgruppen überprüft und nach denselben Bedingungen auch hier die euklidischen Distanzen berechnet.

Für alle Fünf-Minuten-Intervalle wurde der mediane Abstand innerhalb der Sammelgruppe und der aller verwendeten Zufallsgruppen bestimmt und mit diesen Werten einerseits das Perzentil berechnet, d.h. wie viele Mediane der Zufallsgruppen links vom Median der Sammelgruppe liegen, und andererseits der Median-Vorzeichentest unter Verwendung eines Binomialtests (Code 9). Beim Plotten der Kurven wurden die Werte geglättet, um die Schwankungen zwischen den 5-Minuten-Intervallen etwas zu reduzieren.

```
signs = medians_eD_randomgroups < median_eD_foragergroup
percentil = signs.sum() / len(signs)
p = scipy.stats.binom_test(signs.sum(), len(signs), p=0.5)
```

Code 9: Berechnung des Perzentils und des Median-Vorzeichentests

Unter Annahme der Nullhypothese, dass die Verteilung der Sammelgruppe und die der Zufallsgruppen identisch ist, wäre der mediane Abstand innerhalb der Sammelgruppe gleich dem Median der Zufallsgruppen, d.h. die Hälfte der Zufallsgruppen-Mediane wäre links und die andere Hälfte rechts vom Median der Sammelgruppe. Der p-Wert des Binomialtests gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt wird.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Identität der Sammelgruppen

Während des Freilandexperiments wurden für jeden Beobachtungstag Sammelgruppen mit einer minimalen Größe von drei Tieren identifiziert (Tab. 1), die nur aus Bienen bestehen, die mindestens zwei Mal während des gesamten Experimentzeitraumes am *Feeder* beobachtet wurden. Aus diesem Grund sind die Sammelgruppen nicht disjunkt. Anhand der Schlüpfdaten der Bienen wurde auch das durchschnittliche Alter der Gruppen an ihrem jeweiligen Beobachtungstag berechnet. Insgesamt wurden 25 Sammelgruppen mit einer durchschnittlichen Gruppengröße von rund 10 Tieren und einem durchschnittlichen Alter zwischen 24 und 42 Tagen identifiziert. Zudem ist die Anzahl der bis zum jeweiligen Beobachtungstag markierten Bienen und deren durchschnittliches Alter bekannt (Tab. 2). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass kein Sterbedatum für die Bienen verfügbar ist. Verstorbene Individuen werden daher trotzdem bei den Altersangaben und auch für die maximale Anzahl der markierten Bienen berücksichtigt, weswegen diese Angaben nicht unbedingt der Realität entsprechen.

Aufgrund der großen Datenmenge werden in dieser Arbeit die zwei Sammelgruppen 5 und 16 näher betrachtet.

### 3.2 Sammelgruppe 5

Die Gruppe vom 02.08.2016 bestand aus acht Bienen mit einem durchschnittlichen Alter von  $31 \pm 3$  Tagen (Tab. 1). Sie wurden an der *Feeder*-Position F1, in 210 Meter Entfernung vom Bienenstock, beobachtet. Dabei waren die Bienen mit der ID 2186, 3480 und 3736 bereits an den vier vorangegangenen Tagen am *Feeder* und die Bienen 1235 und 4056 an den zwei vorangegangenen Tagen. Die anderen zwei Bienen 1475 und 2160 wurden bis dato nur am vorherigen Tag beobachtet. Somit waren alle Bienen dieser Gruppe bereits einmal gemeinsam auf Nahrungssuche.

### 3.2 Sammelgruppe 5

Tab. 1: Identifizierte Sammelgruppen

#	Datum	Bienen der Sammelgruppe	Größe	Alter in Tagen
1	28.07.2016	27 811 1017 2122 2185 2186 2313 2611 2618 3450 3480 3736	12	24.6 ± 2.8
2	29.07.2016	811 1388 2122 2185 2186 2611 2618 3450 3480 3736	10	24.3 ± 3.8
3	31.07.2016	442 811 1235 2122 2185 3192 3450 3480 3648 3736 4056	11	28.5 ± 3.0
4	01.08.2016	442 811 1017 1235 1388 1475 2160 2185 3192 3450 3480 3528 3648 3736 4056	15	29.3 ± 4.1
5	02.08.2016	1235 1475 2160 2186 2313 3480 3736 4056	8	30.8 ± 3.3
6	03.08.2016	1235 1475 2160 2185 2186 3648 3736 4056	8	31.6 ± 3.2
7	04.08.2016	1883 2185 2186 3178 3528 3648 3736	7	32.4 ± 3.1
8	05.08.2016	27 1883 2122 2160 2185 2186 2611 3178 3528 3648 3736	11	32.8 ± 3.2
9	08.08.2016	27 698 918 1017 1297 1883 2122 2185 2745 3178 3192	11	31.6 ± 9.5
10	09.08.2016	27 275 698 918 1017 1297 1325 1572 1883 2122 2185 2186 2307 3178 3192 3813 3831	17	31.7 ± 7.6
11	10.08.2016	27 918 1017 1297 1325 1572 1883 2185 2186 3192 3831	11	32.5 ± 8.5
12	11.08.2016	27 275 918 1017 1297 1325 1572 1883 2122 2185 3192 3813 3831	13	32.8 ± 8.5
13	12.08.2016	27 275 918 1017 1297 1325 1572 1883 2185 3192 3813 3831	12	33.5 ± 8.7
14	14.08.2016	27 275 698 918 1017 1297 1325 1883 2122 2185 3178 3192 3332 3813 3831	15	36.3 ± 8.0
15	16.08.2016	27 918 1017 1297 1325 1572 1883 2307 3178 3192 3813 3831	12	37.0 ± 8.4
16	17.08.2016	27 918 1017 1297 1572 1883 2122 2307 3178 3192 3813 3831	12	38.8 ± 8.3
17	18.08.2016	27 1017 1297 1572 1883 2122 2307 3192 3813 3831	10	40.6 ± 8.4
18	19.08.2016	918 1017 1883 3178 3831	5	38.2 ± 9.6
19	22.08.2016	918 1017 1883 2122 3178 3831	6	42.3 ± 9.2
20	23.08.2016	119 918 936 2022 2508 2691 2772 2854 3069 3332 3831	11	32.5 ± 7.9
21	24.08.2016	23 119 918 936 2022 2508 2691 2772 2854 3069 3332 3831	12	33.5 ± 7.6
22	25.08.2016	23 119 936 2508 2772 2854 3831	7	35.0 ± 4.8
23	26.08.2016	23 119 918 936 2772 2854 3831	7	35.1 ± 3.9
24	01.09.2016	23 119 162 407 1729 2454 3458 3547 3645	9	34.6 ± 9.1
25	02.09.2016	23 119 162 407 1729 2454 3458 3547 3645	9	35.6 ± 9.1

Tab. 2: Anzahl und Alter der bis zum Beobachtungstag markierten Bienen

#	Datum	Anzahl aller Bienen	Alter in Tagen
1	28.07.2016	2290	15.0 ± 9.8
2	29.07.2016	2366	15.5 ± 10.1
3	31.07.2016	2366	17.5 ± 10.1
4	01.08.2016	2494	17.5 ± 10.6
5	02.08.2016	2613	17.7 ± 11.1
6	03.08.2016	2613	18.7 ± 11.1
7	04.08.2016	2613	19.7 ± 11.1
8	05.08.2016	2651	20.4 ± 11.3
9	08.08.2016	2651	23.4 ± 11.3
10	09.08.2016	2651	24.4 ± 11.3
11	10.08.2016	2776	24.2 ± 12.2
12	11.08.2016	2930	23.9 ± 13.1
13	12.08.2016	2930	24.9 ± 13.1
14	14.08.2016	2930	26.9 ± 13.1
15	16.08.2016	3010	28.2 ± 13.7
16	17.08.2016	3010	29.2 ± 13.7
17	18.08.2016	3010	30.2 ± 13.7
18	19.08.2016	3010	31.2 ± 13.7
19	22.08.2016	3121	33.0 ± 14.9
20	23.08.2016	3181	33.3 ± 15.4
21	24.08.2016	3181	34.3 ± 15.4
22	25.08.2016	3181	35.3 ± 15.4
23	26.08.2016	3181	26.3 ± 15.4
24	01.09.2016	3181	42.3 ± 15.4
25	02.09.2016	3181	43.3 ± 15.4

### 3.2.1 Aufenthaltsverteilung

Der Datensatz aus 2016 wurde zunächst exploriert, um die Aufenthaltsverteilung dieser Gruppe zu visualisieren. Für den Beobachtungstag und die drei vorherigen Tage wurden die konfidenten Detektionen nach den Individuen der Gruppe gefiltert und deren Koordinaten in verschiedenen Zeitintervallen für beide Wabenseiten geplottet (siehe beiliegende CD, Ordner Sammelgruppe 5). Beispielfhaft werden nachfolgend vier Plots vom 02.08.2016 mit einer jeweils stündlichen Auflösung der Detektionen gezeigt. Der Bewegungsraum der einzelnen Bienen der Sammelgruppe ist zwischen zwischen 04 Uhr und 05 Uhr morgens (Abb. 7), zwischen 09 Uhr und 10 Uhr am Vormittag (Abb. 8), zwischen 14 Uhr und 15 Uhr am Nachmittag (Abb. 9) und für den Abend zwischen 19 Uhr und 20 Uhr (Abb. 10) dargestellt.

### 3.2 Sammelgruppe 5

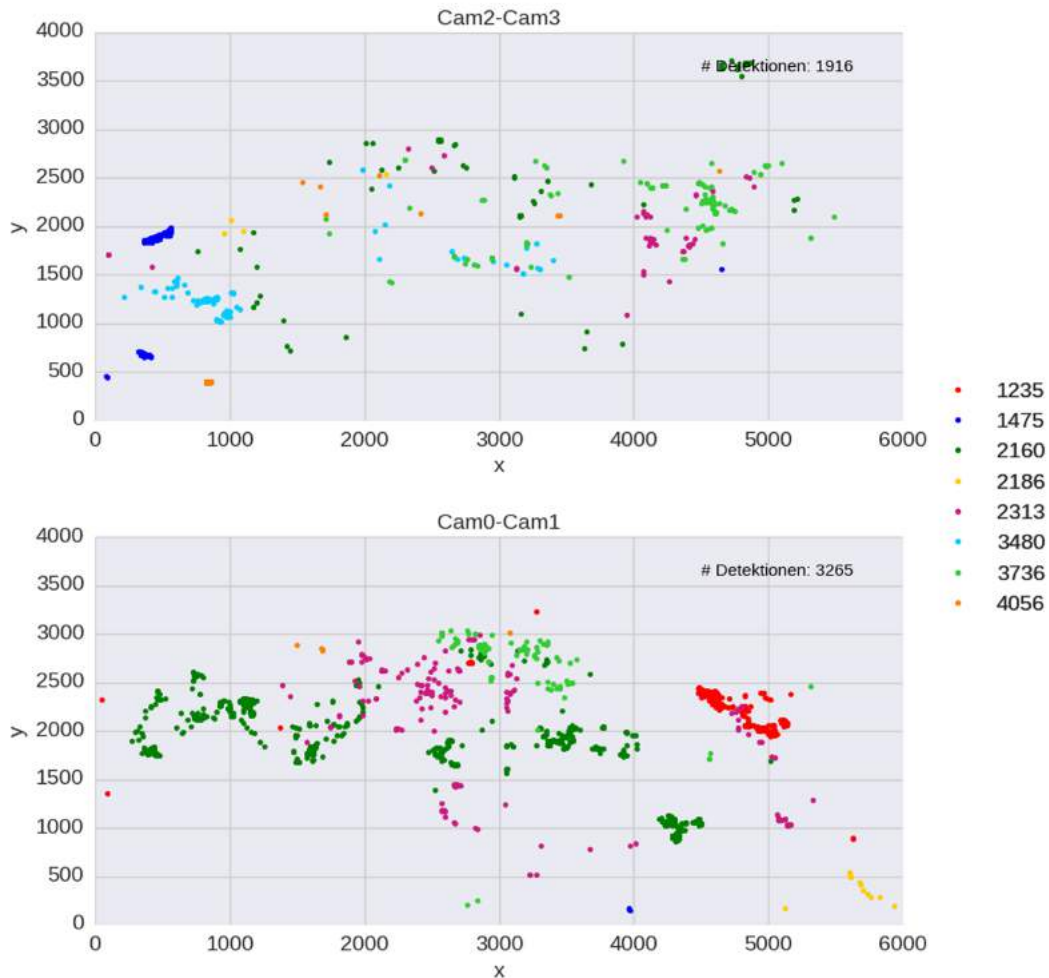


Abb. 7: Sammelgruppe am 02.08.2016 zwischen 04 Uhr und 05 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der acht Bienen der Sammelgruppe am 02.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 04 Uhr und 05 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Die Biene mit der ID 3480 (cyan) befindet sich in dieser Stunde ausschließlich auf der linken Wabenseite, ähnlich wie die Biene 1475 (dunkelblau), die hauptsächlich links im Bereich über dem Eingang (0, 0) zu sehen ist. Die Biene 1235 (rot) hält sich dagegen nur auf der rechten Wabenseite auf, während sich die anderen fünf Bienen auf beiden Wabenseiten bewegen. Es gibt dabei insgesamt für die linke Wabenseite 1916 und rechts 3265 Detektionen der Sammelgruppe.

### 3.2 Sammelgruppe 5

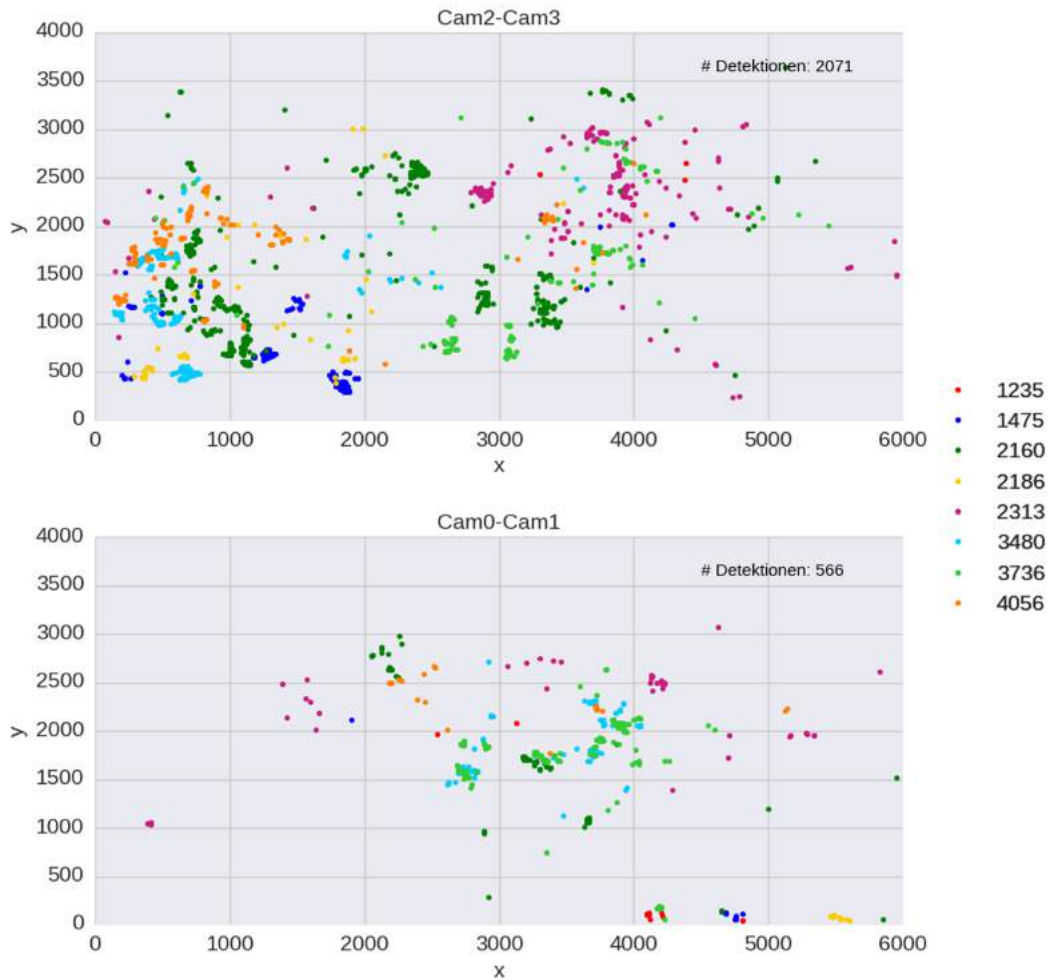


Abb. 8: Sammelgruppe vom 02.08.2016 zwischen 09 und 10 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der acht Bienen der Sammelgruppe am 02.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 09 Uhr und 10 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Es gibt in dieser Stunde auf der linken Seite mit 2071 fast vier Mal so viele Detektionen wie auf der rechten Wabenseite mit nur 566 Detektionen. Zudem befinden sich vor allem die Bienen mit den IDs 1475 (dunkelblau), 2160 (dunkelgrün), 2186 (gelb), 3480 (cyan) und 4056 (orange) in der Nähe des Eingangs (0, 0) auf der linken Wabenseite. Die Biene 1235 (rot) wurde relativ selten und nur auf der rechten Wabenseite detektiert.

### 3.2 Sammelgruppe 5

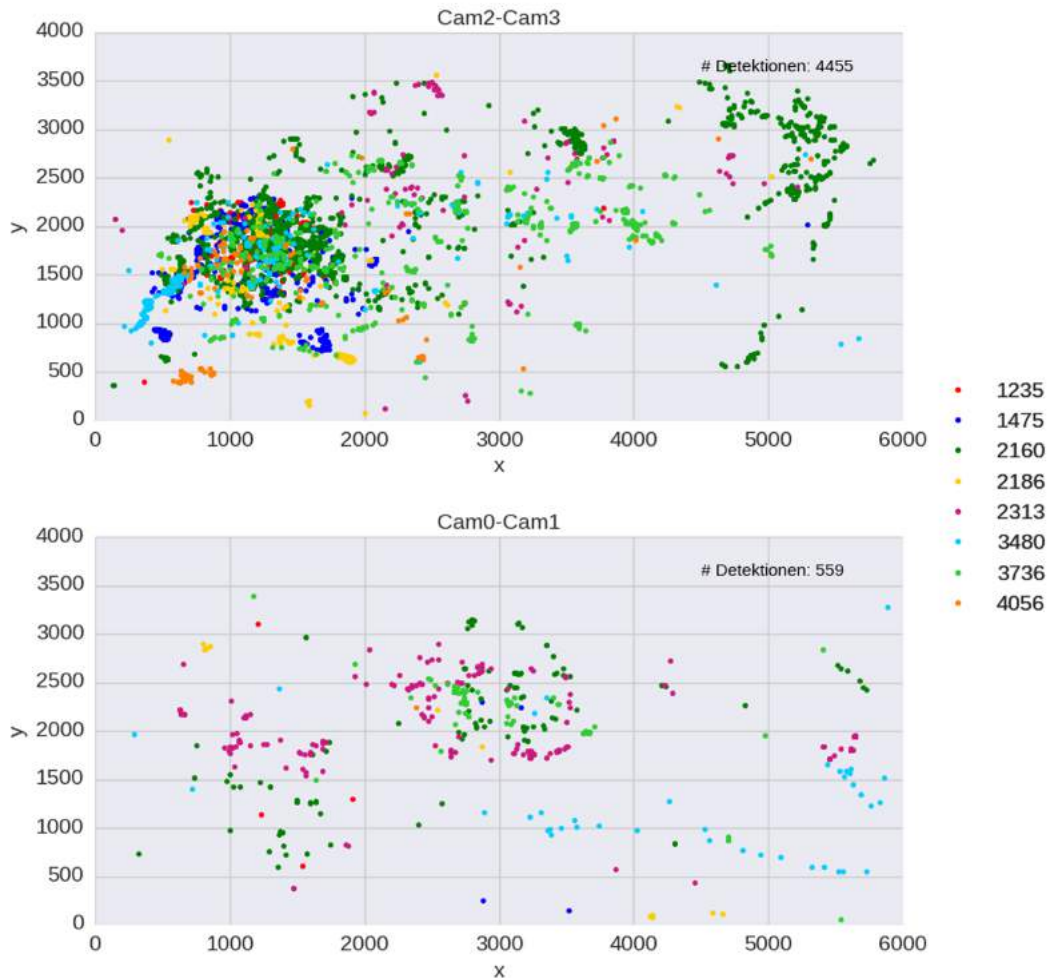


Abb. 9: Sammelgruppe vom 02.08.2016 zwischen 14 und 15 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der acht Bienen der Sammelgruppe am 02.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 14 Uhr und 15 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. In dieser Stunde wurden auf der linken Wabenseite mit 4455 Detektionen ca. acht Mal mehr Bienen detektiert als auf der rechten Wabenseite mit 559 Detektionen. Alle Bienen der Sammelgruppe treten hauptsächlich in einem Cluster auf der linken Wabenseite im Bereich über dem Eingang (0, 0) auf. Die Bienen mit den IDs 2160 (dunkelgrün), 2313 (magenta) und 3480 (cyan) bewegen sich dabei allerdings in einem weiteren Umfeld und sind auch auf der rechten Wabenseite präsent.



### 3.2 Sammelgruppe 5

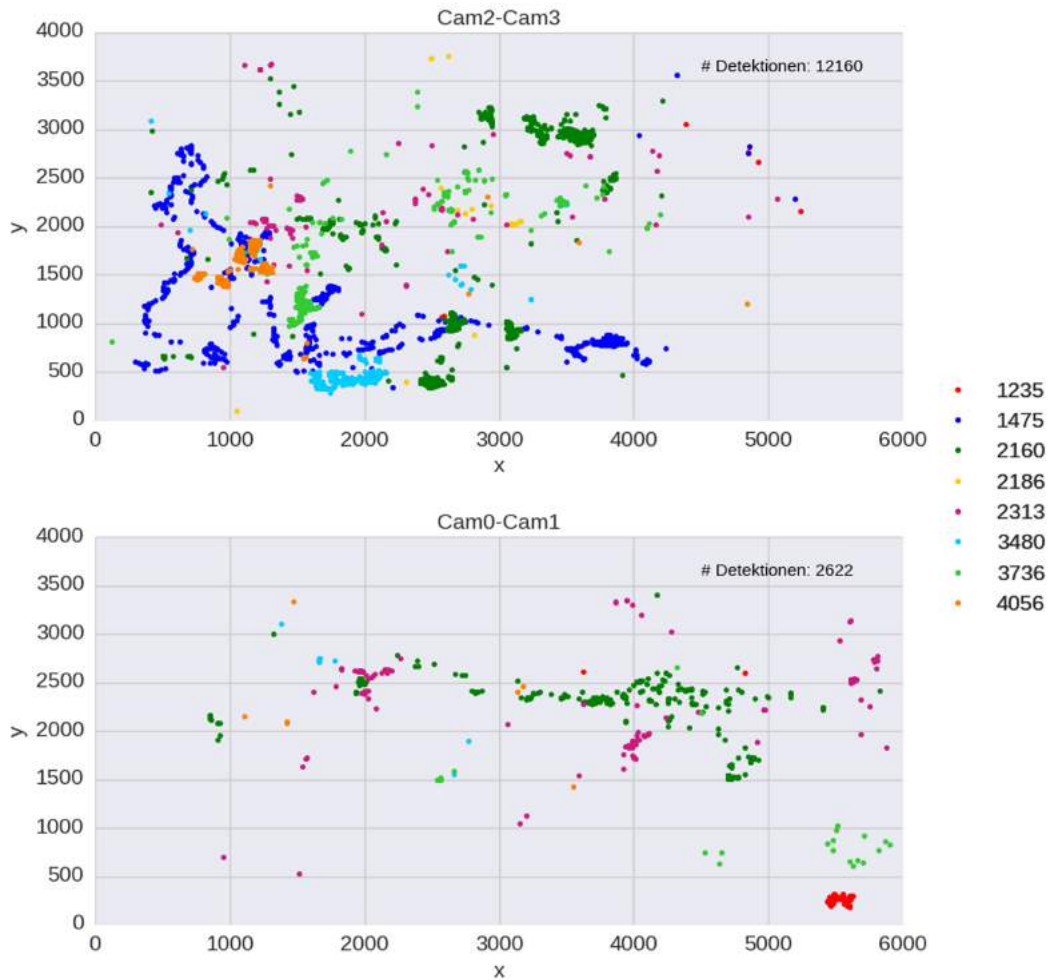


Abb. 10: Sammelgruppe vom 02.08.2016 zwischen 19 und 20 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der acht Bienen der Sammelgruppe am 02.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 19 Uhr und 20 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Die Bienen 3480 (cyan), 3736 (hellgrün) und 4056 (orange) bewegen sich in einem engeren Bereich über dem Eingang (0, 0) auf der linken Wabenseite. Außerdem ist für die Biene 1475 (dunkelblau) ein gut nachzuverfolgender Bewegungspfad ersichtlic. Die Biene mit der ID 1235 (rot) ist ausschließlich auf der rechten Wabenseite nahe des Eingangs (6000, 0) zu sehen. In dieser Stunde gab es auf der linken Seiten 12160 Detektionen der Sammelgruppe und rechts 2622.

Dabei fällt auf, dass die Bienen dieser Gruppe nachts weiter auf der Wabe verstreut detektiert wurden (Abb. 7), und sich tagsüber näher beieinander und im Bereich über dem Eingang befanden (Abb. 9). Zudem gab es meist mehr Detektionen auf der linken Wabenseite. Bei der Betrachtung der vorangegangenen drei Tage (siehe beiliegende CD, Ordner Sammelgruppe 5) zeigte sich die Clusterbildung auf der linken Wabenseite im Bereich über dem Bienenstockeingang ebenfalls tagsüber. Am 30.07.2016, d.h. drei Tage vorher, begann dies gegen 09 Uhr morgens und löste sich gegen 17 Uhr auf. Am 31.07.2016 versammelte sich die Gruppe bereits gegen 05 Uhr morgens und verteilte sich erneut gegen 17 Uhr über die gesamte Wabe. Am 01.08.2016 wurde die Gruppe wieder ab 09 Uhr im Bereich über dem Eingang detektiert und begann sich ab 16 Uhr weiter zu verteilen.

### 3.2.2 Euklidische Distanz

Zur Analyse der räumlichen Nähe innerhalb der Sammelgruppe wurden alle paarweisen Abstände zwischen den Individuen der Gruppe auf der Wabe bestimmt. Dabei wurden nur die Sekunden berücksichtigt, in denen mindestens zwei Bienen gleichzeitig detektiert wurden, und innerhalb einer solchen Sekunde wurde der Median aller berechneten Abstände ermittelt. Zusätzlich zu fehlenden Bildern beim Filmen beider Wabenseiten reduzierte dies die verwendbare Datenmenge für die linke Seite auf 15%, d.h. von 24 Stunden sind nur bei 13219 Sekunden mindestens zwei Bienen der Sammelgruppe gleichzeitig detektiert worden. Für die rechte Wabenseite sind es sogar nur 2.5% (2171 Sekunden).

Die sekundlichen medianen Abstände wurden für jeweils eine Stunde gesammelt und nachfolgend in Boxplots dargestellt. Jede Box entspricht dabei dem Bereich, in dem sich die mittleren 50% der Daten befinden, und wird somit durch das untere und obere Quartil begrenzt. Die Länge der *Whiskers* ist maximal so groß wie das 1.5-Fache des Interquartilabstands (Länge der Box), kann jedoch kürzer sein, wenn der maximale bzw. minimale Datenpunkt kleiner als dieser Abstand ist.

Auf der linken Wabenseite variierte der stündliche mediane Abstand zwischen 371 und 2378 Pixel und lag über den Tag verteilt bei durchschnittlich 1429 Pixel (Abb. 11). Auf der rechten Wabenseite schwankte der stündliche mediane Abstand zwischen 871 und 3003 Pixel und war im Durchschnitt 1712 Pixel (Abb. 12).

### 3.2 Sammelgruppe 5

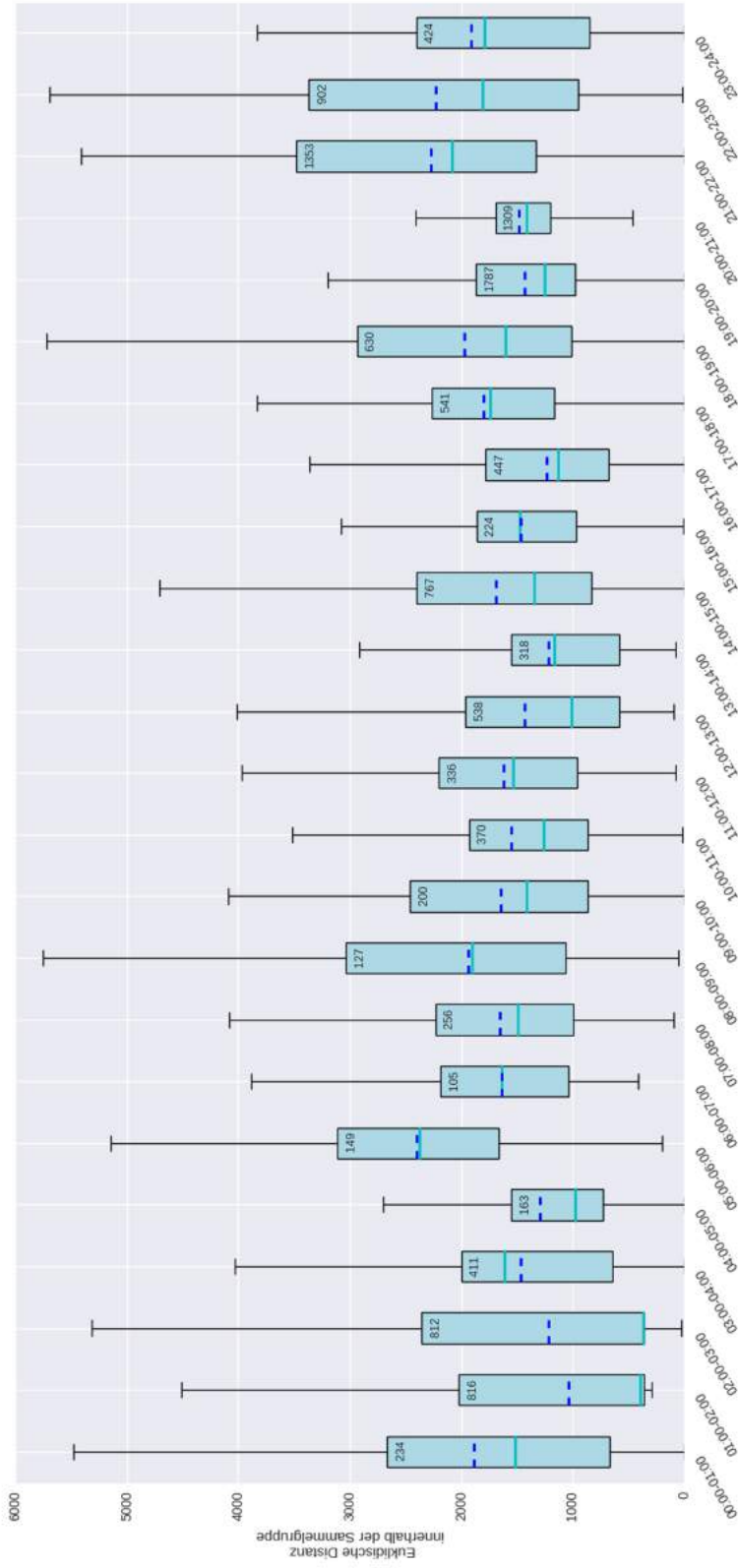


Abb. 11: Paarweise Abstände innerhalb der Sammelgruppe vom 02.08.2016 auf der linken Wabenseite. Für jede Stunde des 02.08.2016 sind die sekundlichen medianen euklidischen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe dargestellt. Die Zahl am oberen Ende der Box gibt die Anzahl der verwendbaren Sekunden an, d.h. in wie vielen Sekunden dieser Stunde mindestens zwei Individuen der Sammelgruppe gleichzeitig auf dieser Wabenseite detektiert wurden. Die stündliche mediane Distanz (cyan) variiert zwischen 371 Pixel (02-03 Uhr) und 2378 Pixel (05-06 Uhr). Die stündliche durchschnittliche Distanz (dunkelblau gestrichelt) variiert zwischen 1041 Pixel (01-02 Uhr) und 2403 Pixel (05-06 Uhr).

### 3.2 Sammelgruppe 5

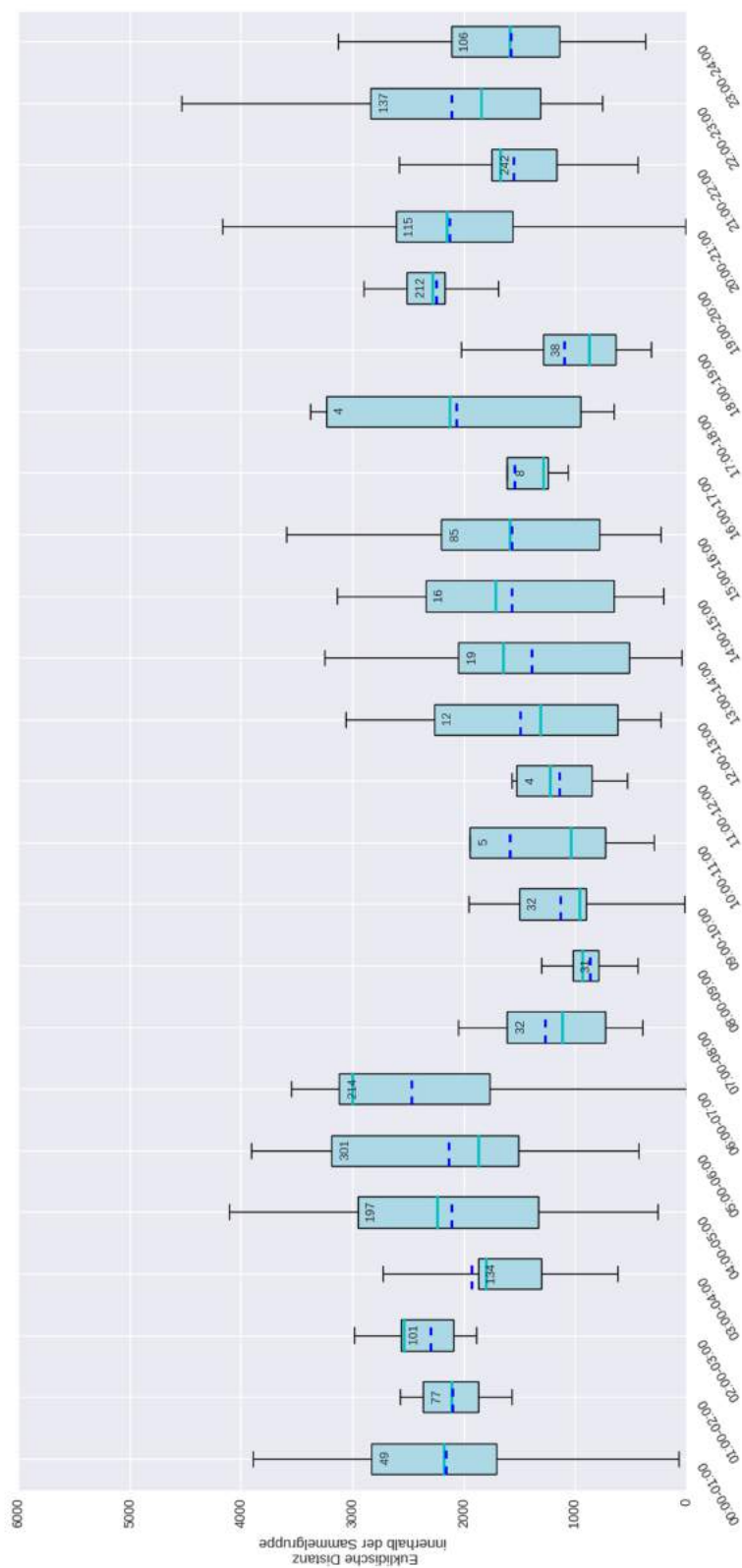


Abb. 12: Paarweise Abstände innerhalb der Sammelgruppe vom 02.08.2016 auf der rechten Wabenseite. Für jede Stunde des 02.08.2016 sind die sekundlichen medianen euklidischen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe dargestellt. Die Zahl am oberen Ende der Box gibt die Anzahl der verwendbaren Sekunden an, d.h. in wie vielen Sekunden dieser Stunde mindestens zwei Individuen der Sammelgruppe gleichzeitig auf dieser Wabenseite detektiert wurden. Die stündliche mediane Distanz (cyan) variiert zwischen 871 Pixel (18-19 Uhr) und 3003 Pixel (06-07 Uhr). Die stündliche durchschnittliche Distanz (dunkelblau gestrichelt) variiert zwischen 863 Pixel (08-09 Uhr) und 2473 Pixel (06-07 Uhr).

### 3.2 Sammelgruppe 5

Für einen Vergleich der Sammelgruppe mit 1000 Zufallsgruppen desselben Alters, d.h. mit ähnlichem Mittelwert und Standardabweichung, wurden ebenfalls die paarweisen euklidischen Abstände verwendet. Dazu wurden wiederum nur die Sekunden berücksichtigt, in denen mindestens zwei Bienen der Sammelgruppe zur gleichen Zeit auf derselben Wabenseite detektiert wurden. Für jede dieser Sekunden wurden anschließend alle Zufallsgruppen überprüft und für diejenigen, in denen ebenfalls mindestens zwei Individuen auftraten, die paarweisen Abstände ermittelt. Dabei wurden dann jeweils die Sekunden eines 5-Minuten-Intervalls zusammengefasst und einerseits der mediane Abstand der Sammelgruppe und andererseits die medianen Abstände der verwendbaren Zufallsgruppen berechnet. Diese Werte wurden für die Berechnung des Perzentils (Abb. 13) verwendet, welches den Anteil der Mediane der Zufallsgruppen angibt, die kleiner als der Median der Sammelgruppe sind. Für die Daten der linken Wabenseite schwankte der Prozentsatz über die 24 Stunden des 02.08.2016 zwischen 2% und 73% und war im Durchschnitt bei 42%. Auf der rechten Seite variierte das Perzentil zwischen 25% und 81% und lag durchschnittlich bei 51%.

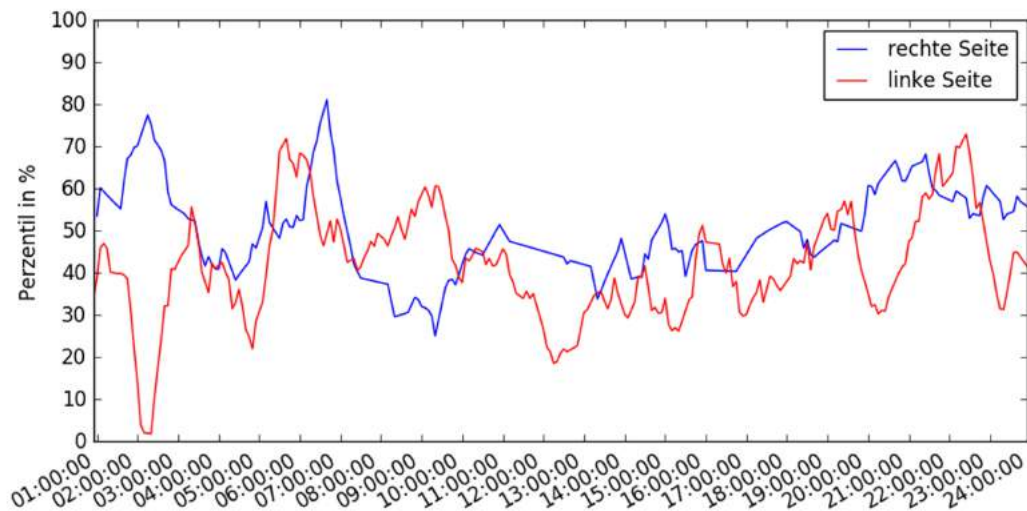


Abb. 13: Perzentile am 02.08.2016

Für jede Stunde des 02.08.2016 ist der Anteil der medianen Abstände der Zufallsgruppen angegeben, die kleiner als der Median der Sammelgruppe sind. Dieses Perzentil schwankt auf der linken Wabenseite (rot) zwischen 2% und 73% und ist im Mittel 42%, und auf der rechten Wabenseite (blau) variiert es zwischen 25% und 81% und ist durchschnittlich 51%.

Außerdem wurde mit denselben Daten der Median-Vorzeichentest mithilfe eines Binomialtests berechnet (Abb. 14). Da der Median den Wert angibt, bei

### 3.3 Sammelgruppe 16

dem links und rechts jeweils 50% der Daten liegen, kann erwartet werden, dass bei gleichem Median die Verteilungen der euklidischen Distanzen der Sammelgruppe und der Zufallsgruppen identisch wären. Ein kleiner p-Wert (kleiner gleich 0.05) weist somit auf die Unterschiedlichkeit dieser Verteilungen hin. Auf der linken Wabenseite variiert dieser Wert zwischen 0 und 0.3 und auf der rechten Seite zwischen 0.001 und 0.4.

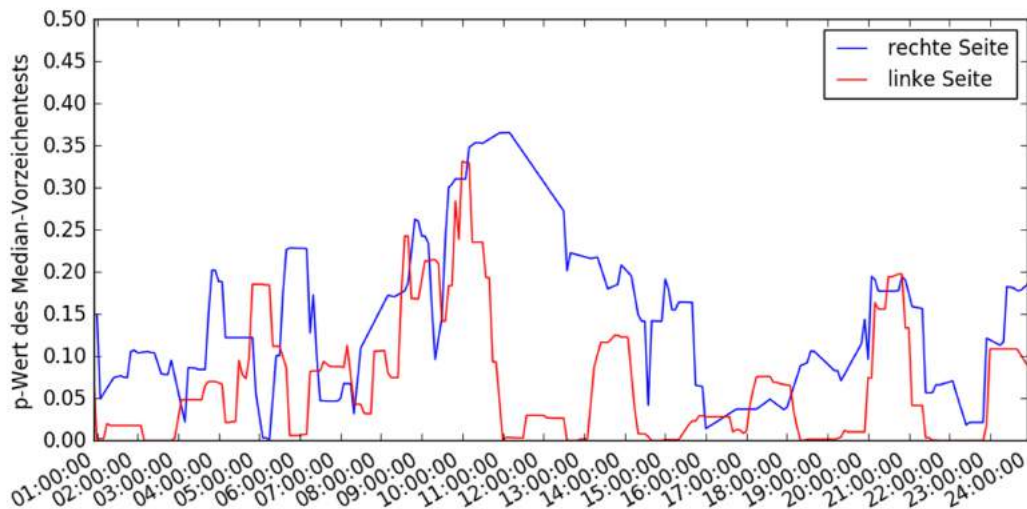


Abb. 14: p-Werte des Median-Vorzeichenstests am 02.08.2016

Für jede Stunde des 02.08.2016 ist der p-Wert des Binomialtests angegeben, der bei einem Wert kleiner als 0.05 auf die Unterschiedlichkeit der Distanz-Verteilungen von Sammelgruppe und den Zufallsgruppen hinweist. Der p-Wert schwankt auf der linken Wabenseite (rot) zwischen 0 und 0.3 und ist im Mittel 0.07, und auf der rechten Wabenseite (blau) variiert es zwischen 0.001 und 0.4 und ist durchschnittlich 0.14.

### 3.3 Sammelgruppe 16

Am 17.08.2016 wurde an der *Feeder*-Position F2 in 340 Metern Entfernung eine Sammelgruppe beobachtet, die aus zwölf Individuen mit einem durchschnittlichen Alter von  $39 \pm 8$  Tagen bestand (Tab. 1). Die Bienen mit der ID 27, 1017, 1883 und 3192 waren bereits an neun vorherigen Beobachtungstagen an der Futterquelle und die Biene 2122 an acht vorangegangenen Tagen. Die Bienen 918 und 1297 wurden bereits sieben Mal, die Bienen 3178 und 3831 sechs Mal und die Bienen 1572 und 3813 fünf Mal beobachtet. Lediglich Biene 2307 wurde erst an zwei Tagen als Sammlerin identifiziert. Ein Großteil dieser Bienen war also bereits mindestens einmal gemeinsam auf Nahrungssuche.

### 3.3.1 **Aufenthaltsverteilung**

Wie für die erste untersuchte Sammelgruppe wurden auch hier die Detektionen nach den einzelnen Individuen der Gruppe gefiltert und für beide Wabenseiten für verschiedene Zeitintervalle geplottet (siehe beiliegende CD, Ordner Sammelgruppe 16). Im Folgenden werden für den 17.08.2016 dieselben vier Stunden dargestellt wie für die Sammelgruppe 5, d.h. der Zeitraum von 04 Uhr bis 05 Uhr morgens (Abb. 15), von 09 Uhr bis 10 Uhr vormittags (Abb. 16), von 14 Uhr bis 15 Uhr am Nachmittag (Abb. 17) und von 19 Uhr bis 20 Uhr am Abend (Abb. 18).

Auch hier zeigte sich die Clusterbildung im Bereich über dem Bienenstockeingang auf der linken Wabenseite, vor allem zwischen 07 Uhr und 17 Uhr, und auf der rechten Wabenseite zwischen 07 Uhr und 15 Uhr. Da diese Sammelgruppe aus vier Bienen mehr bestand, gab es auch eine größere Anzahl von Detektionen pro Stunde.

In den drei vorangegangenen Tagen gab es diese Ansammlung in dem Bereich über dem Eingang ebenfalls (siehe beiliegende CD, Ordner Sammelgruppe 16). Am 14.08.2016 passierte dies auf der linken Wabenseite zwischen 06 Uhr morgens und 19 Uhr. Auf der rechten Wabenseite hauptsächlich zwischen 06 Uhr und 08 Uhr und ein weiteres Mal zwischen 14 und 15 Uhr. Am 15.08.2016 bildete sich das Cluster auf der linken Seite zwischen 05 Uhr und 07 Uhr und am Nachmittag nochmals zwischen 12 Uhr und 17 Uhr, und auf der rechten Wabenseite zwischen 05 Uhr und 06 Uhr und später erneut zwischen 10 Uhr und 17 Uhr. Ein Tag, bevor die Sammelgruppe in dieser Konstellation beobachtet wurde, versammelten sich die Individuen auf der linken Seite zwischen 07 Uhr und 17 Uhr und rechts zwischen 07 Uhr und 15 Uhr.

### 3.3.2 **Euklidische Distanz**

Auch für diese Sammelgruppe wurden die paarweisen euklidischen Abstände sekundlich berechnet und nur diejenigen Sekunden verwendet, in denen mindestens zwei Individuen der Gruppe gleichzeitig detektiert wurden. Dies reduzierte die Datenmenge für die linke Wabenseite auf 34%, d.h. nur in 29339 Sekunden der 24 Stunden waren zwei Bienen der Gruppe gleichzeitig auf der Wabe. Bei der rechten Wabenseite konnten 27% der Sekunden verwendet werden.

Auf der linken Wabenseite (Abb. 19) variierte der stündliche mediane Abstand zwischen 920 Pixel und 2423 Pixel und lag durchschnittlich bei 1565 Pixel. Auf der rechten Seite (Abb. 20) schwankte diese Distanz zwischen 702 Pixel und 2291 Pixel und betrug im Durchschnitt 1482 Pixel.



### 3.3 Sammelgruppe 16

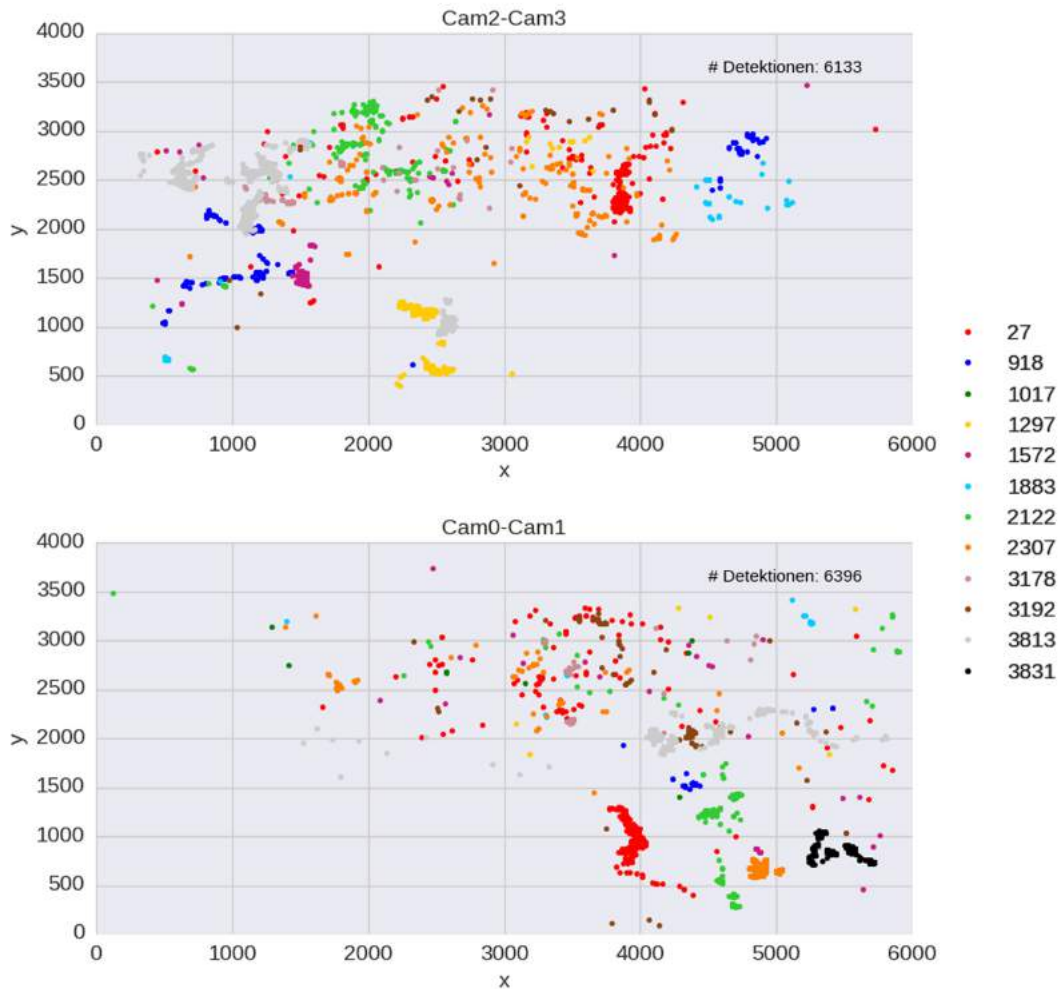


Abb. 15: Sammelgruppe am 17.08.2016 zwischen 04 Uhr und 05 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der zwölf Bienen der Sammelgruppe am 17.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 04 Uhr und 05 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Die Biene mit der ID 3831 (schwarz) befindet sich ausschließlich auf der rechten Wabenseite, ähnlich wie die Biene 1017 (dunkelgrün), die allerdings nur in geringer Anzahl detektiert wurde. Alle anderen Bienen bewegen sich auf beiden Wabenseiten. Links befinden sie sich jedoch eher im oberen Bereich der Wabe und auf der rechten Wabenseite hauptsächlich in der Hälfte nahe des Eingangs (6000, 0). Es gibt dabei insgesamt für die linke Wabenseite 6133 und rechts 6396 Detektionen der Sammelgruppe.



### 3.3 Sammelgruppe 16

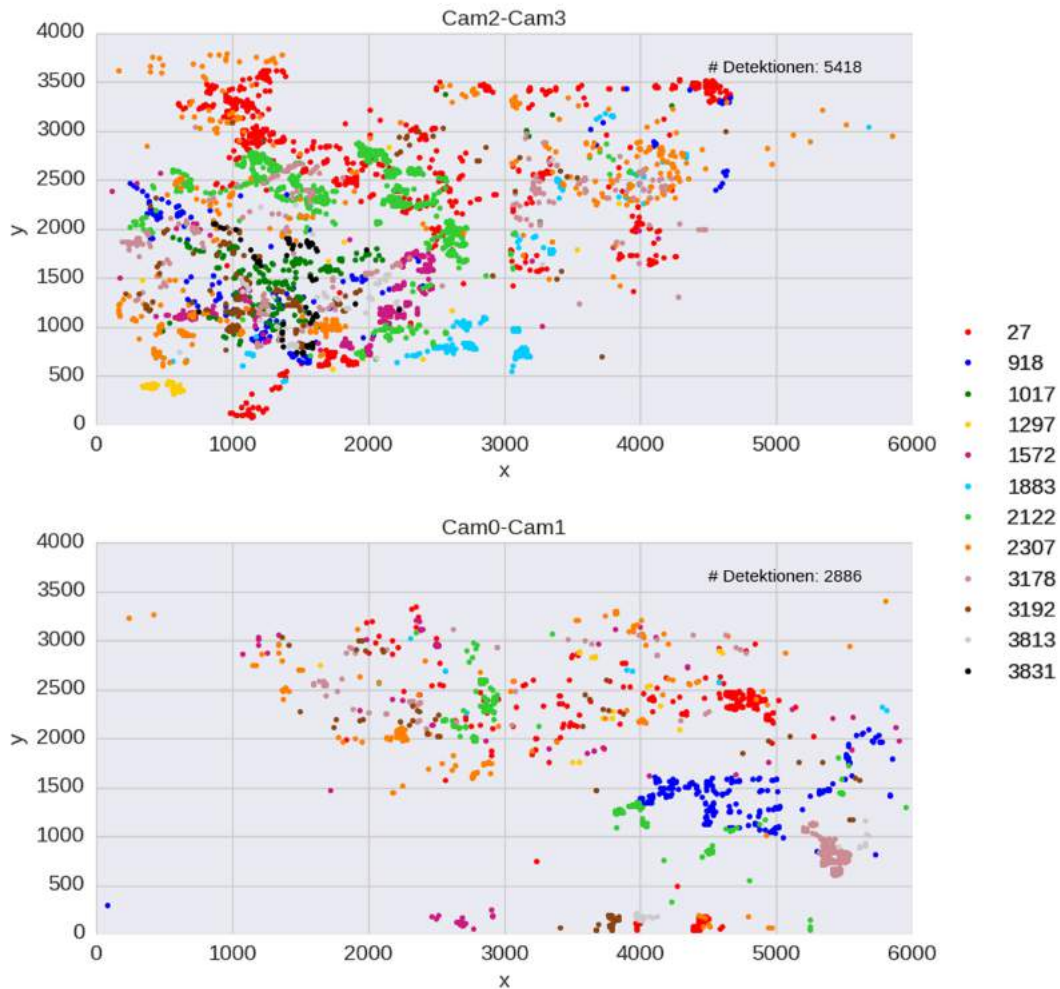


Abb. 16: Sammelgruppe vom 17.08.2016 zwischen 09 und 10 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der zwölf Bienen der Sammelgruppe am 17.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 09 Uhr und 10 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Alle Bienen der Sammelgruppe bewegen sich auf der linken Wabenseite in der linken Hälfte und einige verteilen sich in den oberen Mitte. Es gibt hier insgesamt 5418 Detektionen. Auf der rechten Wabenseite gibt es mit 2886 etwa halb so viele Detektionen, wobei sich die Bienen auch hier eher im oberen Wabenbereich und nahe des Eingangs (6000, 0) befinden.

### 3.3 Sammelgruppe 16

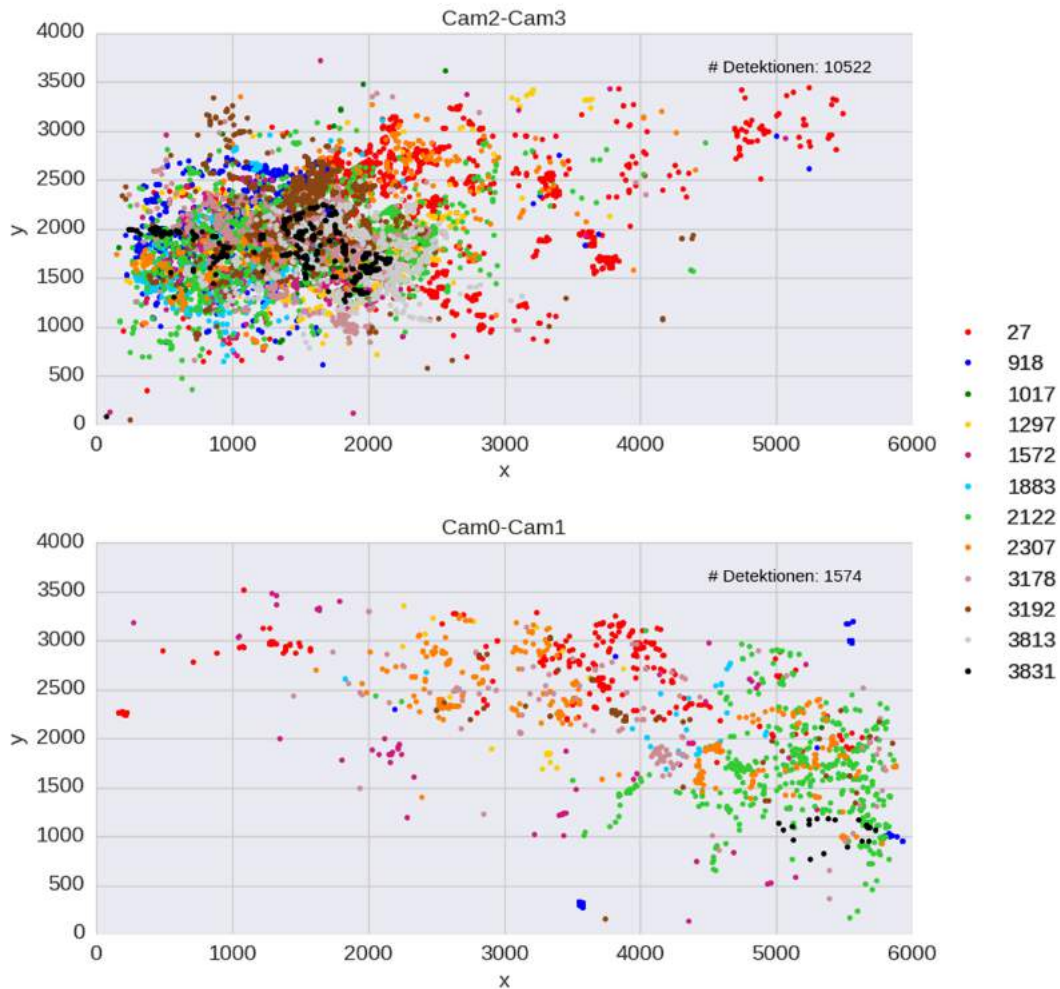


Abb. 17: Sammelgruppe vom 17.08.2016 zwischen 14 und 15 Uhr  
Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der zwölf Bienen der Sammelgruppe am 17.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 14 Uhr und 15 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. In dieser Stunde wurden auf der linken Wabenseite mit 10522 Detektionen ca. sieben Mal mehr Bienen detektiert als auf der rechten Wabenseite mit 1574 Detektionen. Alle Bienen der Sammelgruppe treten hauptsächlich in einem Cluster auf der linken Wabenseite im Bereich über dem Eingang (0, 0) auf. Auch auf der rechten Wabenseite befindet sich die Gruppe, außer Biene 3813 (grau), eher näher am Bienenstockeingang (6000, 0) und in der oberen Mitte der Wabe.

### 3.3 Sammelgruppe 16

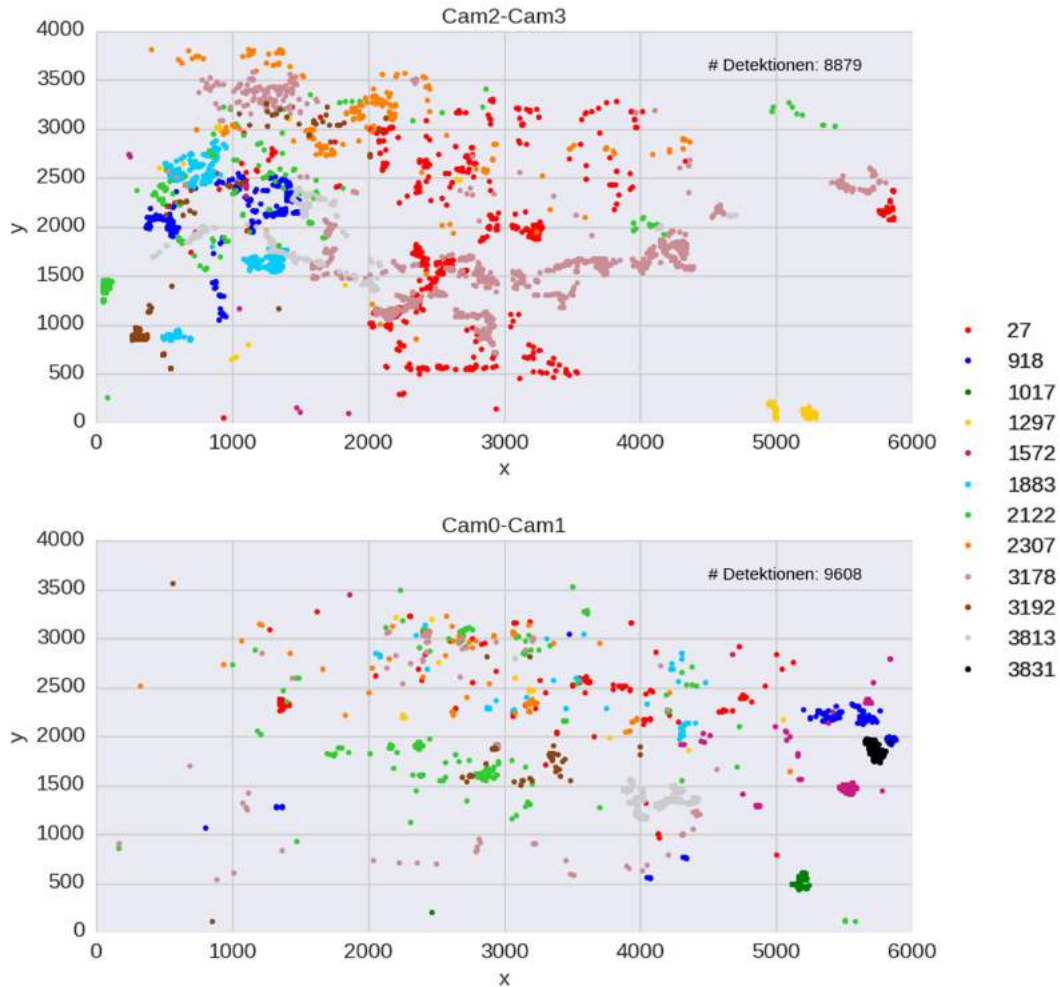


Abb. 18: Sammelgruppe vom 17.08.2016 zwischen 19 und 20 Uhr  
 Die Wabe wurde von beiden Seiten von jeweils zwei Kameras gefilmt. Das obere Bild zeigt die linke Wabenseite (Kamera 2 und 3), und das untere Bild entspricht der rechten Wabenseite (Kamera 0 und 1). Es sind alle Positionen der zwölf Bienen der Sammelgruppe am 17.08.2016 innerhalb einer Stunde, zwischen 19 Uhr und 20 Uhr morgens, dargestellt. Jede Farbe entspricht dabei einer Biene der Sammelgruppe, und zeigt somit deren Bewegungsfeld. Auf der linken Wabenseite gibt es 10240 Detektionen, wobei sich die Bienen über weitere Strecken in der Mitte der Wabe bewegen, womit nachverfolgbare Pfade entstehen, wie beispielsweise für die Bienen 27 (rot) und 1572 (magenta). Auf der rechten Wabenseite sind die Bienen ebenfalls weiter verteilt als zuvor. Allerdings bewegen sich die Bienen mit der ID 1017 (dunkelgrün), 1572 (magenta) und 3831 (schwarz) eher in einem sehr engeren Umkreis in der Nähe des Eingangs (6000, 0).

### 3.3 Sammelgruppe 16

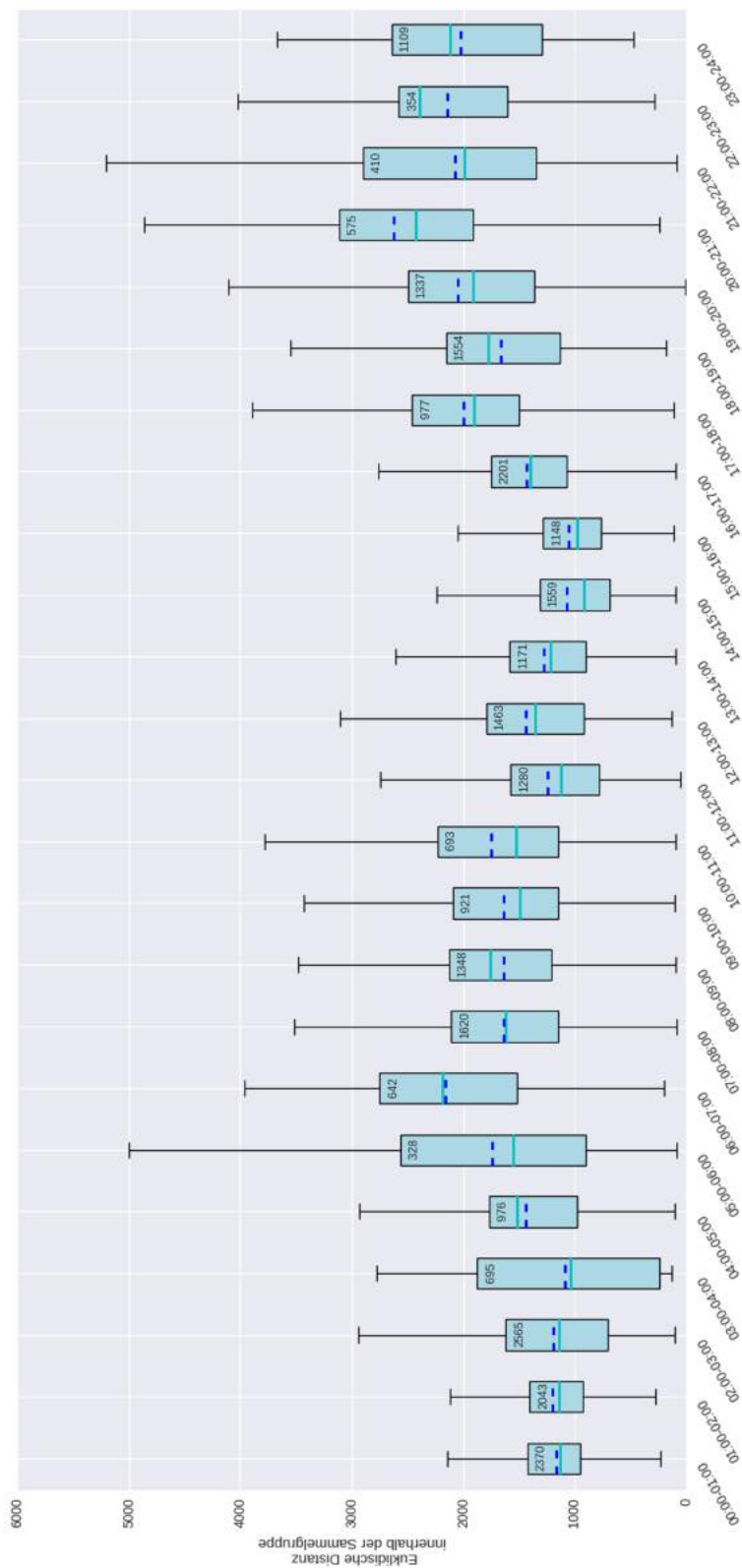


Abb. 19: Paarweise Abstände innerhalb der Sammelgruppe vom 17.08.2016 auf der linken Wabenseite. Für jede Stunde des 17.08.2016 sind die sekundlichen medianen euklidischen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe dargestellt. Die Zahl am oberen Ende der Box gibt die Anzahl der verwendbaren Sekunden an, d.h. in wie vielen Sekunden dieser Stunde mindestens zwei Individuen der Sammelgruppe gleichzeitig auf dieser Wabenseite detektiert wurden. Die stündliche mediane Distanz (cyan) variiert zwischen 920 Pixel (14-15 Uhr) und 2423 Pixel (20-21 Uhr). Die stündliche durchschnittliche Distanz (dunkelblau gestrichelt) variiert zwischen 1057 Pixel (15-16 Uhr) und 2623 Pixel (20-21 Uhr).

### 3.3 Sammelgruppe 16

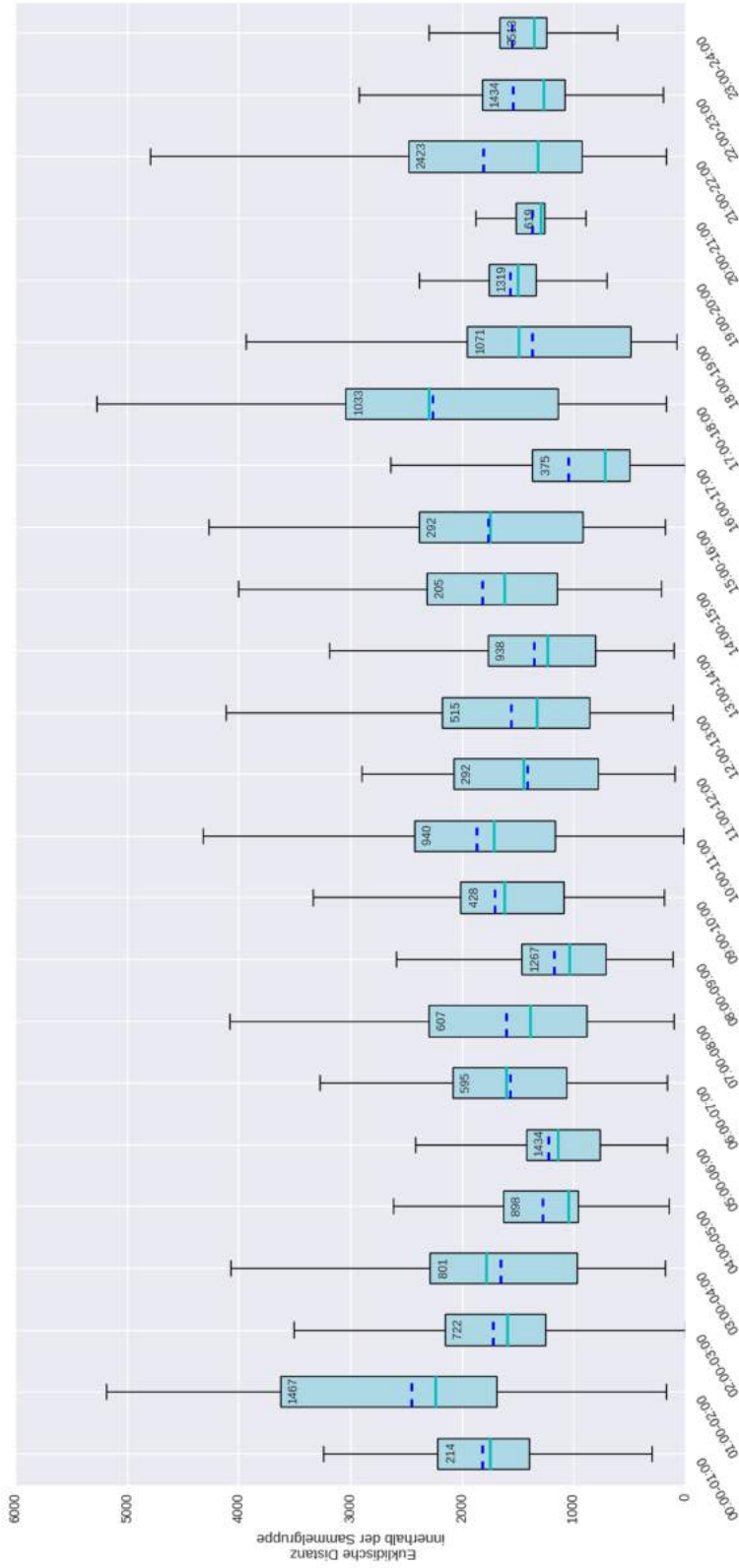


Abb. 20: Paarweise Abstände innerhalb der Sammelgruppe vom 17.08.2016 auf der rechten Wabenseite. Für jede Stunde des 17.08.2016 sind die sekundlichen medianen euklidischen Distanzen innerhalb der Sammelgruppe dargestellt. Die Zahl am oberen Ende der Box gibt die Anzahl der verwendbaren Sekunden an, d.h. in wie vielen Sekunden dieser Stunde mindestens zwei Individuen der Sammelgruppe gleichzeitig auf dieser Wabenseite detektiert wurden. Die stündliche mediane Distanz (cyan) variiert zwischen 702 Pixel (16-17 Uhr) und 2291 Pixel (17-18 Uhr). Die stündliche durchschnittliche Distanz (dunkelblau gestrichelt) variiert zwischen 1044 Pixel (16-17 Uhr) und 2449 Pixel (1-2 Uhr).



### 3.3 Sammelgruppe 16

Der Vergleich der euklidischen Distanzen der Sammelgruppe mit 1000 Zufallsgruppen wurde nach demselben Prinzip durchgeführt wie für die Sammelgruppe 5. Die sekundlichen paarweisen Abstände wurden für fünf Minuten gepoolt und mit den medianen Distanzen die Perzentile (Abb. 21) und p-Werte des Binomialtests (Abb. 22) ermittelt.

Auf der linken Wabenseite schwankte das Perzentil zwischen 12% und 84%, und im Durchschnitt waren etwa 43% der Zufallsgruppen-Mediane kleiner als der Median der Sammelgruppe. Auf der rechten Seite variierte der Prozentsatz zwischen 17% und 77% und lag im Mittel bei 44%.

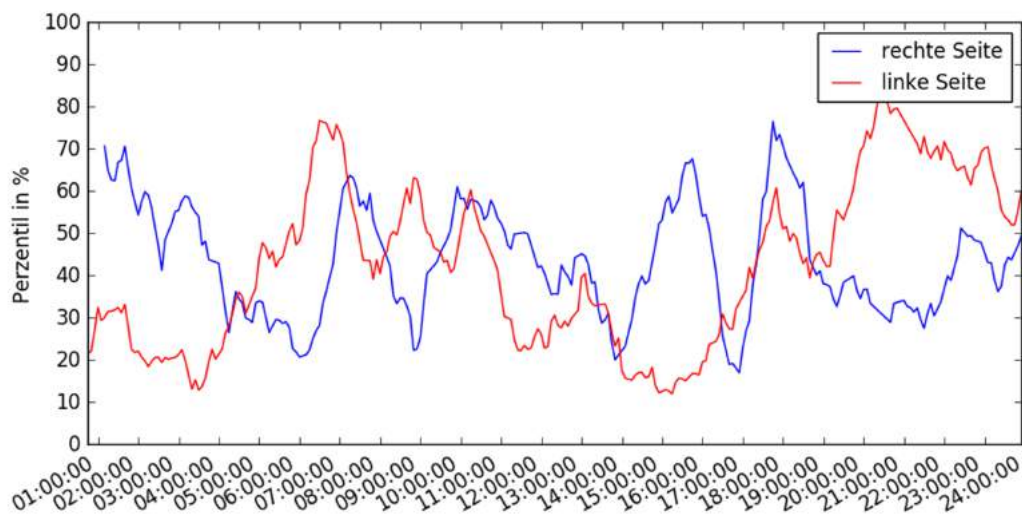


Abb. 21: Perzentile am 17.08.2016

Für jede Stunde des 17.08.2016 ist der Anteil der medianen Abstände der Zufallsgruppen angegeben, die kleiner als der Median der Sammelgruppe sind. Dieses Perzentil schwankt auf der linken Wabenseite (rot) zwischen 12% und 84% und ist im Mittel 43%, und auf der rechten Wabenseite (blau) variiert es zwischen 17% und 77% und ist durchschnittlich 44%.

Für die linke Wabenseite ergab der Binomialtest einen p-Wert zwischen 0 und 0.18, wobei er im Mittel etwa 0.04 ergab. Für die Abstände auf der rechten Wabenseite schwankte der p-Wert zwischen 0 und 0.25 und lag durchschnittlich bei 0.04.

### 3.3 Sammelgruppe 16

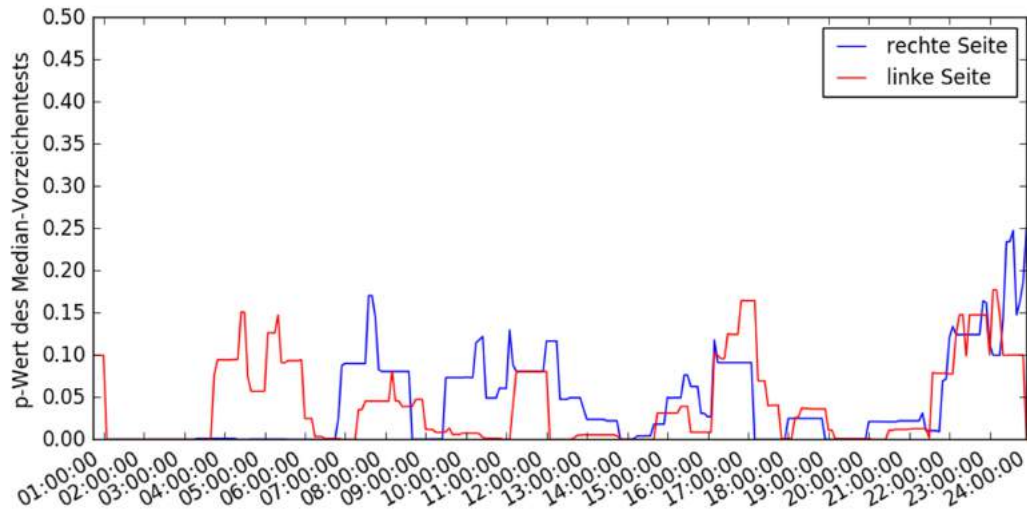


Abb. 22: p-Werte des Median-Vorzeichentests am 17.08.2016

Für jede Stunde des 17.08.2016 ist der p-Wert des Binomialtests angegeben, der bei einem Wert kleiner als 0.05 auf die Unterschiedlichkeit der Distanz-Verteilungen von Sammelgruppe und den Zufallsgruppen hinweist. Der p-Wert schwankt auf der linken Wabenseite (rot) zwischen 0 und 0.18 und ist im Mittel 0.04, und auf der rechten Wabenseite (blau) variiert es zwischen 0 und 0.25 und ist durchschnittlich 0.04.

## 4 Diskussion

Honigbienen zeigen ein sehr ausgeprägtes soziales Verhalten, das sich durch die Arbeitsteilung unter anderem bei der Brutpflege, der Verteidigung des Stocks und der gemeinsamen Nahrungsbeschaffung äußert. Statt der individuellen Fitness steht das Überleben des Bienenstaates als Ganzes im Fokus. Im Grunde bestimmt das Alter der Bienen, welche Aufgaben sie in der Kolonie übernehmen (Page und Peng 2001). Es ist bisher jedoch ungeklärt, ob und inwiefern innerhalb einer Altersgruppe soziale Unterstrukturen existieren. Bei der Nahrungsbeschaffung gibt es möglicherweise Präferenzen für bestimmte Sammlerinnen, mit denen sich Bienen zusammenschließen. Dabei könnten beispielsweise Folgebienen einige Tänzerinnen bevorzugen, da sie erfahrungsbedingt wissen, dass diese besonders ertragreiche Futterquellen finden und präzise kommunizieren. Andererseits könnten sie dabei andere Bienen aufgrund negativer Erfahrungen meiden. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass sich Bienen aufgrund ihrer Aufgaben an bestimmten Orten des Bienenstocks aufhalten. Aus diesem Grund ist die BeesBook-Technologie für die Forschung sehr vielversprechend, da sie es ermöglicht, das gesamte Leben einer Biene und dessen Interaktionen mit anderen zeitlich genau nachzuverfolgen (Wario et al. 2015). Die räumliche Verteilung von Sammlerinnen auf der Wabe könnte bereits Aufschluss darüber geben, mit welchen Bienen interagiert und kommuniziert wird. Dies lässt damit auch die Vermutung zu, dass sich Bienen, die gemeinsam auf Nahrungssuche gehen, auch innerhalb der Bienenkolonie in räumlicher Nähe zueinander befinden.

Dazu wurden einerseits Funktionen zur Altersbestimmung programmiert, die in Zukunft auch zur Überprüfung der detektierten binären Codes verwendet werden können. Die BeesBook-Software verfügt aufgrund der auftretenden Rotation der Bienen-*Tags* nicht über eine 100%ige Erkennungsrate, kann aber anhand der tatsächlich verwendeten *Tags* falsche Detektionen zukünftig besser vermeiden. Andererseits wurden erste Analysefunktionen entwickelt, mit denen sich die räumliche Verteilung der Individuen einer Sammelgruppe in verschiedener zeitlicher Auflösung darstellen lässt. Außerdem wurde als Maß für räumliche Nähe einer Gruppe deren paarweise Abstände verwendet, wobei berücksichtigt werden musste, dass die Distanz nicht über die Zeit, sondern nur zwischen gleichzeitig auftretenden Bienen ermittelt wird. Zudem wurde begonnen, die Nähe einer Gruppe mit zufällig gewählten, aber gleich alten Gruppen zu analysieren, die daher wahrscheinlich ebenfalls Aufgaben bei der Nahrungsbeschaffung übernehmen.



Während des Sommers 2016 wurden an einer künstlichen Futterquelle Bienen bei der gemeinsamen Nahrungssuche beobachtet. So konnten insgesamt 25 Sammelgruppen mit durchschnittlich zehn Individuen identifiziert werden. Zwei dieser Gruppen wurden in dieser Bachelorarbeit genauer untersucht. Dabei zeigte sich in den Scatterplots (Abb. 7-10 und 15-18) eine auffallende Ansammlung von Detektionen auf der linken Wabenseite im linken Bereich über dem Bienenstockeingang, und auf der rechten Wabenseite entsprechend im rechten Bereich über dem Eingang. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass sich Bienen aufgrund ihrer Aufgaben an strategisch günstigen Positionen innerhalb der Kolonie aufhalten. Bienen, die beispielsweise die Verteidigung des Stocks übernehmen, sind vermutlich sehr nah am Eingang positioniert, während sich die Bienen, die Brutpflege betreiben, weiter vom Eingang entfernt befinden. Dies entspricht auch der Erwartung, dass in der Nähe des Eingangs eine Art Tanzbereich existiert, wo Tänzerinnen und Folgebienen aufeinandertreffen. Dass sich die Ansammlungen in diesem Tanzbereich hauptsächlich tagsüber bilden, ist ebenfalls plausibel. Da sich Sammlerinnen bei der Suche nach Futterquellen am Sonnenstand orientieren (von Frisch und Lindauer 1956), ist dies in der Nacht nicht möglich, weswegen der Tanzbereich dann verlassen wird.

Bei der Analyse der räumlichen Nähe mittels euklidischer Distanz zeigten sich starke Schwankungen, wobei der stündliche mediane Abstand innerhalb einer Gruppe bei etwa 1500 Pixel lag. Diese Schwankungen, die scheinbar nicht zeitbedingt sind, beruhen womöglich auch auf der geringen verwendbaren Datenmenge. Von 3600 Sekunden pro Stunde sind meist weniger als 30% verwendbar, weil entweder keine Bilder für diesen Zeitpunkt aufgenommen wurden (Kamera-Ausfall) oder aber weil es in dieser Zeit keine zwei Bienen gleichzeitig auf der Wabe gab. Beim Poolen mehrerer Sekunden oder gar Minuten würde dieser Anteil wahrscheinlich steigen, hätte aber eine zeitliche Korrelation zur Folge, da sich Bienen innerhalb weniger Sekunden bewegen und somit ihre zurückgelegte Strecke berechnet würde anstatt der Distanz zwischen verschiedenen Individuen. Dieser Tradeoff müsste in künftigen Untersuchungen genauer betrachtet und ausbalanciert werden. Zudem gibt es beim Abstand zwischen zwei Individuen auch eine physikalische Grenze, da die detektierten Positionen einer Biene dem Zentrum des *Tags*, das eine Größe von etwa  $50 \times 50$  Pixel hat, entspricht und nicht dem kompletten Bienenkörper. Das bedeutet auch, dass Bienen, die in derselben Körperorientierung nebeneinander stehen, einen kleineren Abstand haben als Bienen, die hintereinander stehen, weil das Abdomen der vorderen Biene keine nähere Distanz zulässt. Dennoch könnten beide Arten des körperlichen Kontakts eine Interaktion bedeuten. Außerdem muss die Gruppengröße berücksichtigt werden, da große Gruppen aufgrund ihrer Körpermaße auch

eine größere Fläche auf der Wabe einnehmen als kleinere Gruppen, die auf derselben Fläche näher beieinander stehen können.

Auch beim Vergleich der Nähe innerhalb der Sammelgruppe mit der Nähe innerhalb von Zufallsgruppen desselben Alters gab es starke stündliche Schwankungen im Perzentil. In beiden untersuchten Sammelgruppen lag der Anteil der medianen Abstände von Zufallsgruppen, die kleiner als der mediane Abstand der Sammelgruppe waren, bei ca. 45%. Bei Betrachtung des p-Wertes des Binomialtests ergaben sich ebenfalls starke Schwankungen, wobei in einigen Stunden das Signifikanzniveau von 0.05 unterschritten wurde. Besonders bei der Sammelgruppe 16 vom 17.08.2016 lag der p-Wert im Durchschnitt bei beiden Wabenseiten bei 0.04. Dies könnte ein erster Hinweis dafür sein, dass die Verteilung der Sammelgruppe tatsächlich eine andere ist als die von Zufallsgruppen. Allerdings sind die Werte zeitlich schwer zu interpretieren und sollten daher mit weiteren statistischen Tests, inklusive der Anpassung des Signifikanzniveaus bei mehrfachem Testen, überprüft werden. Interessant hierbei könnte auch der Vergleich mit Zufallsgruppen sein, die nicht zu den Sammlerinnen gehören, d.h. eine andere Altersstruktur aufweisen.

Außerdem wäre ein Experiment denkbar, in der an einem Beobachtungstag zwei *Feeder* an unterschiedlich weit entfernten Positionen stationiert werden, um zu überprüfen, ob eine Gruppe von Bienen beide *Feeder* aufsucht und dabei in derselben Konstellation bleibt oder ob es eine Präferenz für nähere oder weiter entfernte Futterquellen gibt, und sich dies ebenfalls bei der räumlichen Verteilung auf der Wabe zeigt. Interessant wäre hierbei auch, ob es unterschiedliche Tanzbereiche für nahe liegende (Rundtanz) oder weiter entfernte Futterquellen (Schwänzeltanz) gibt. Dafür wäre auch die Kopplung der detektierten Bienen mit der automatischen Tanzerkennung sinnvoll. So ließen sich Tänzerinnen und Folgebienen identifizieren und ein Abgleich mit den Sammelgruppen ermöglichen.

Die BeesBook-Technologie bietet also die Möglichkeit, zahlreiche biologische Fragestellungen bezüglich der Sozialstruktur von Honigbienen oder anderer sozialer Insekten zu beantworten. Da die Software ständig weiterentwickelt wird, lassen sich immer genauere Informationen zu den Individuen- und Gruppeninteraktionen erlangen. Das richtige Zusammenfügen der Kamerabilder beispielsweise wird für eine genauere Datenanalyse vorteilhaft sein, weil sich dadurch die Lücke und Verschiebung in den Daten auflöst und auch die Distanzen zwischen einzelnen Individuen präziser berechnet werden kann. Außerdem wird das Berücksichtigen von tatsächlich existierenden Bienen helfen, falsche Detektionen in der *Pipeline* zu reduzieren und die Detektionsrate zu erhöhen.

## Referenzen

- EISENHARDT, D. (2006). „Learning and memory formation in the honeybee (*Apis mellifera*) and its dependency on the cAMP-protein kinase A pathway“. *Animal Biology* 56.2, 259–278. DOI: 10.1163/157075606777304249.
- ESCH, H. E., ZHANG, S., SRINIVASAN, M. V. und TAUTZ, J. (2001). „Honeybee dances communicate distances measured by optic flow“. *Nature* 411, 581–583. DOI: 10.1038/35079072.
- FASANO, G. und FRANCESCHINI, A. (1987). „A multidimensional version of the Kolmogorov-Smirnov test“. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 225, 155–170. DOI: 10.1093/mnras/225.1.155.
- FELSENBERG, J., GEHRING, K. B., ANTEMANN, V. und EISENHARDT, D. (2011). „Behavioural Pharmacology in Classical Conditioning of the Proboscis Extension Response in Honeybees (*Apis mellifera*)“. *Journal of Visualized Experiments* 47. DOI: 10.3791/2282.
- GRÜTER, C., SOL BALBUENA, M. und FARINA, W. M. (2008). „Informational conflicts created by the waggle dance“. *Proceedings of the Royal Society of London B* 275.1640, 1321–1327. DOI: 10.1098/rspb.2008.0186.
- MENZEL, R. (1999). „Memory dynamics in the honeybee“. *Journal of Comparative Physiology A* 185, 323–340. DOI: 10.1007/s003590050392.
- (2001). „Searching for the Memory Trace in a Mini-Brain, the Honeybee“. *Learning and Memory* 8, 53–62. DOI: 10.1101/lm.38801.
- NEUMANN, P., MORITZ, R. F. A. und VAN PRAAGH, J. (1999). „Queen mating frequency in different types of honey bee mating apiaries“. *Journal of Apicultural Research* 38.1-2, 11–18. DOI: 10.1080/00218839.1999.111100990.
- PAGE, R. E. (1986). „Sperm utilization in social insects“. *Annual Review of Entomology* 31.1, 297–20.

- PAGE, R. E. und PENG, C. Y.-S. (2001). „Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L.“ *Elsevier Experimental Gerontology* 36, 695–711. DOI: 10.1016/S0531-5565(00)00236-9.
- PEACOCK, J. A. (1983). „Two-dimensional goodness-of-fit testing in astronomy“. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 202, 615–627. DOI: 10.1093/mnras/202.3.615.
- RATNIEKS, F. L. W. und VISSCHER, P. K. (1989). „Worker policing in the honeybee“. *Nature* 342, 796–797. DOI: 10.1038/342796a0.
- RILEY, J. R., GREGGERS, U., SMITH, A. D., REYNOLDS, D. R. und MENZEL, R. (2005). „The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance“. *Nature* 435, 205–207. DOI: 10.1038/nature03526.
- SEELEY, T. D., MIKHEYEV, A. S. und PAGANO, G. J. (2000). „Dancing bees tune both duration and rate of waggle-run production in relation to nectar-source profitability“. *Journal of Comparative Physiology A* 186.9, 813–819. DOI: 10.1007/s003590000134.
- SIXT, L., WILD, B. und LANDGRAF, T. (2017). „RenderGAN: Generating Realistic Labeled Data“. *Computing Research Repository*. Under review.
- SRINIVASAN, M. V., ZHANG, S., ALTWEIN, M. und TAUTZ, J. (2000). „Honeybee Navigation: Nature and Calibration of the 'Odometer'“. *Science* 287.5454, 851–853. DOI: 10.1126/science.287.5454.851.
- VAN NEST, B. N., WAGNER, A. E., HOBBS, C. N. und MOORE, D. (2016). „Dance floor clustering: food-anticipatory behavior in persistent and reticent honey bee foragers“. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 70, 1961–1973. DOI: 10.1007/s00265-016-2202-3.
- VON FRISCH, K. und LINDAUER, M. (1956). „The 'language' and the orientation of the honey bee“. *Annual Review of Entomology* 1.1, 45–58.
- WARIO, F., WILD, B., COUVILLON, M. J., ROJAS, R. und LANDGRAF, T. (2015). „Automatic methods for long-term tracking and the detection and decoding of communication dances in honeybees.“ *Frontiers in Ecology and Evolution* 3.103. DOI: 10.3389/fevo.2015.00103.