



Bachelorarbeit am Institut für Informatik
AG Intelligente Systeme und Robotik, Biorobotics Lab

Persönlichkeitsanalyse von Bienen im Kontext der Tanzkommunikation

Alexander Stein
Matrikelnummer: 4551334
alexander.stein@fu-berlin.de

Betreuer: Dr. Tim Landgraf
Dr. David Bierbach
Zweitgutachter: Prof. Dr. Raúl Rojas

Berlin, 03.11.2015

Zusammenfassung

Der Bientanz stellt ein einzigartiges Kommunikationssystem unter Insekten dar. Sammlerinnen können ihren Artgenossinnen mit diesem Tanz Informationen zu potentiellen Nahrungsquellen mitteilen. Der deutlich erkennbare Ablauf erlaubt es, dass einzelne Tänzerinnen auf wiederkehrende Muster beim Tanzen untersucht werden können. Unterschiede des Tanzverhaltens zwischen einzelnen Bienen könnten auf individuelle Persönlichkeiten zurückgeführt werden.

Bereits 2007 wurde ein Programm zur Erfassung von Bientänzen unter der Leitung von Prof. Rojas und Dr. Landgraf entwickelt. Mit dessen Hilfe wurden im darauf folgenden Jahr Aufnahmen von Bientänzen getrackt. Als Teil dieser Arbeit habe ich die aus dem Tracking resultierenden Daten auf konsistente Unterschiede im Verhalten einzelner Bienen untersucht. Des weiteren habe ich einen Algorithmus entwickelt, der eine mögliche Verbesserung des automatischen Trackens darstellt.

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.

Datum:

Unterschrift:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Bienenvolk als Modellgesellschaft	5
1.2	Kommunikation der Honigbienen	5
2	Stand der Forschung	8
2.1	Persönlichkeiten von Bienen	8
2.2	Tracking-Programm für Bientänze	9
2.2.1	Funktionsweise der Benutzeroberfläche	9
2.2.2	Tracking-Algorithmus	10
2.3	Tanzaufnahmen von Sammlerinnen	11
2.3.1	Vorbereitung des Bienenstocks	11
2.3.2	Markierung der Bienen	12
2.4	Trajektorien	12
3	Implementierung	14
3.1	Verbesserung des Tracking-Algorithmus	14
3.2	Tanzanalyse	14
4	Ergebnisse	17
4.1	Tracking-Algorithmus	17
4.2	Tanzanalyse	17
5	Diskussion	21
5.1	Tracking-Algorithmus	21
5.2	Tanzanalyse	22
6	Ausblick	25
7	Anhang	26

1 Einleitung

1.1 Bienenvolk als Modellgesellschaft

Staatenbildende Insekten, wie die Honigbiene (*Apis mellifera*), bilden als Kollektiv durch ihre Schwarmintelligenz eine Art dezentrales Netzwerk [1]. Jede Biene ist selbstorganisiert, durch soziale Strukturen aber mit der gesamten Kolonie verbunden. Möchte man das Verhalten des Gesamtsystems bestimmen, muss man zunächst das Verhalten des einzelnen Individuums betrachten.

Die Lebensdauer einer herkömmlichen Arbeiterbiene umfasst ca. sechs Wochen. In dieser kurzen Zeit wird sie verschiedenen Aufgaben für die Kolonie nachgehen. Da ihre Entwicklung nach ihrer Befreiung aus der Brutzelle noch nicht abgeschlossen ist, durchlebt die Arbeiterin einzelne Stadien, die sie für bestimmte Aufgaben qualifizieren. So sind vor allem die jungen Bienen für die Brutpflege und Reinigung der Wabe verantwortlich. Hingegen sich ältere Bienen (ab ca. zwei Wochen) auf Nahrungssuche begeben, sobald sich ihre Flügel vollends entwickelt haben. Das Bewachen oder das Ausbauen der Wabe kann von Bienen beliebigen Alters erledigt werden. Doch nicht jede Biene wird in ihrem Lebenszyklus alle Aufgaben übernehmen [2]. Einige werden eine Aufgaben länger ausführen als andere. Aber was bedeutet das für die Kolonie?

Die Aufgaben einer Biene richten sich nach den Bedürfnissen der Kolonie. Befindet sich diese in einer Umgebung mit reichhaltigem Nahrungsangebot, so werden mehr Bienen Nahrung sammeln gehen als üblich. Doch ist Sammlerin gleich Sammlerin? Haben Bienen individuelle Persönlichkeiten, die sie für eine Aufgabe effizienter machen?

Die Persönlichkeiten von Lebewesen werden durch beständige, individuelle Verhaltensweisen über einen Zeitraum oder einer Situation definiert [3]. So lassen sich diese Fragen womöglich durch das Beobachten wiederholter Verhaltensweisen erklären. Eine besonders gut beobachtbare Verhaltensweise stellt ein einzigartiges Kommunikationssystem der Bienen dar: der Bientanz.

1.2 Kommunikation der Honigbienen

Bienen kommunizieren über Duftstoffe, wenn sie die Kolonie beispielsweise auf näher kommende Gefahren aufmerksam machen wollen. Der Bientanz [4] hingegen dient nur der Nahrungsbeschaffung. Er wird von

Sammlerinnen aufgeführt, sobald das Nahrungsangebot im Spätsommer in unmittelbarer Umgebung des Stocks abnimmt. Erfolgreiche Sammlerinnen kehren nach der Nahrungsaufnahme zu ihrer Kolonie zurück und rekrutieren mit Hilfe des Tanzes neue Sammlerinnen, die nun die gleiche Nahrungsquelle wie die Tänzerin aufsuchen. Ein Tanz setzt sich aus zwei Phasen zusammen. Der Wackellauf, dessen Namen von der schwingenden Bewegung des Körpers kommt, gibt durch den Winkel zwischen Sonnenstand und Wackellauf auf der Wabe die Richtung an, in der die Nahrungsquelle liegt. Die ungefähre Entfernung wird dabei durch die Zeit, die der Wackellauf getanzt wird, angegeben ($1s \approx 1km$). Anschließend folgt der Rücklauf, der die Biene, durch einen Gang nach links oder rechts, wieder an ihre Ausgangsposition vor dem Wackellauf zurückbringt. Beide Phasen werden abwechselnd mehrmals wiederholt. Dabei folgen einige umstehende Bienen der Tänzerin und überprüfen die Qualität der Nahrung, indem sie den Duft der Pollen an den Hinterbeinen der Tänzerin aufnehmen oder hochgewürgten Nektar probieren.

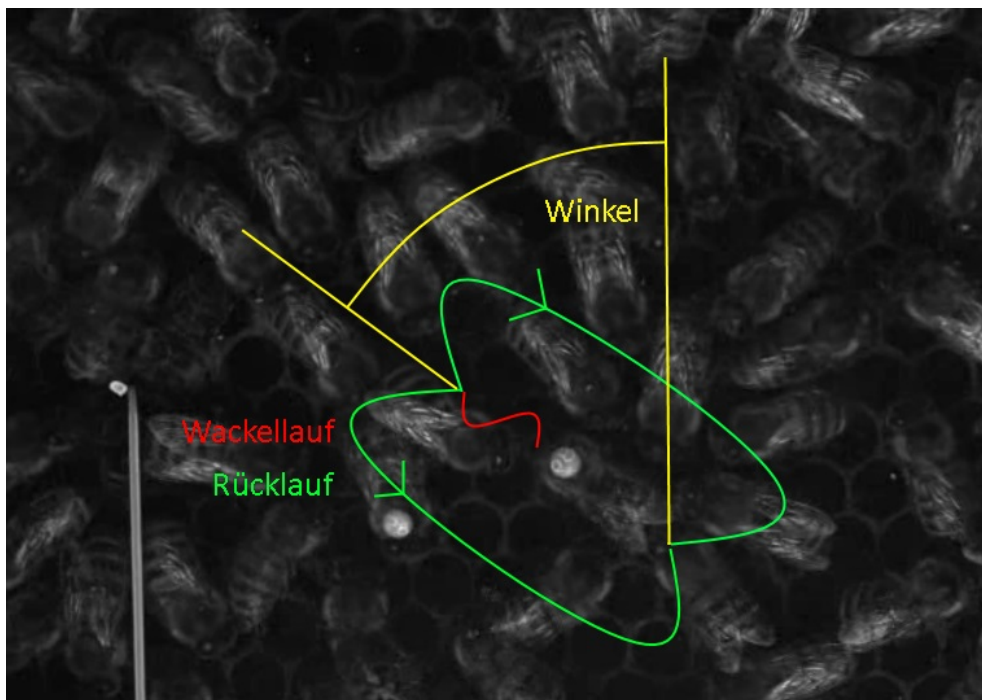


Abbildung 1: Bientanz einer markierten Biene: Gekennzeichnet sind die beiden Phasen Wackellauf (rot), Rücklauf (grün) und der Winkel der Tanzrichtung (gelb)

Die klare Struktur des Bientanzes bietet ideale Voraussetzungen, um tanzende Bienen auf Persönlichkeitsausprägungen zu untersuchen. Doch gab es bisher noch keine Untersuchungen in dieser Form. Hochauflösende Aufnahmen der Tänze ermöglichen es nun einzelne Tänzerinnen genauer zu betrachten. Markierungen auf den Rücken der Bienen helfen dabei diese von einander unterscheiden zu können. Außerdem wird jetzt auch

deutlich, wie oft sie aktiv wurden. Um jedoch Persönlichkeitsmerkmale feststellen zu können, wird eine eigens entwickelte Software verwendet, die die Bewegungsmuster der Biene aufzeichnet.

In dieser Arbeit stelle ich 1. eine mögliche Lösung zur Verbesserung dieser Software vor und 2. werde ich die Ergebnisse aus der Verwendung dieser Software analysieren, um konsistente Unterschiede im Tanzverhalten der Bienen auszumachen.

2 Stand der Forschung

Zu Beginn dieses Kapitels gebe ich einen kleinen Einblick in den aktuellen Stand der Persönlichkeitsforschung von Bienen. Anschließend kläre ich die Grundlagen meiner Arbeit, an denen ich im folgendem Kapitel ansetzen werde.

2.1 Persönlichkeiten von Bienen

Es gab bereits Forschungsarbeiten, die sich mit der Persönlichkeit von Bienen befassten. Dabei standen aber immer die Persönlichkeitsausprägungen zwischen verschiedenen Kolonien im Vordergrund. Diese wurden auf genetische Unterschiede zwischen den Kolonien und Veränderungen des Umfeldes zurückgeführt.

Die genetischen Unterschiede innerhalb einer Kolonie entstehen durch das Paarungsverhalten der Königin [5]. Junge Bienenköniginnen paaren sich mit bis zu 17 Drohnen und speichern deren Sperma ihr Leben lang. Dadurch besteht die Kolonie aus mehreren Untergruppen von Schwestern. Alle Schwestern mit dem gleichen Vater haben zu etwa 75% die gleichen Gene. Zwischen den Gruppen, also bei Halbschwestern, sind es nur noch etwa 25%. Bei Untersuchungen von verschiedenen Kolonien zeigte sich, dass die genetische Vielfalt Einfluss auf das Überleben der Kolonie hat.

Dieses Jahr erst hat die Studentin Amelia Weller ihre Ergebnisse zur Persönlichkeitsanalyse von Honigbienen veröffentlicht [6]. Sie ging in ihrer Arbeit zum ersten Mal auf Unterschiede zwischen Bienen innerhalb einer Kolonie ein. In ihren Experimenten zur Untersuchung der Persönlichkeiten verwendete sie nur Bienen, die zu dieser Zeit als Wächterinnen tätig waren. Als erstes isolierte sie einzelne Bienen in Petrischalen und maß die Zeit, die die Bienen brauchten, um sich zu beruhigen. Anschließend gab sie ihnen Alarmpheromone, welche Bienen ausstoßen, um den Schwarm zu alarmieren, und notierte sich das Aktivitätslevel der Biene sowie die Zeit, bis der Alarmzustand beendet wurde. Als letztes wurde die Petrischale 5 Sekunden geschüttelt und der Deckel entfernt. Weller notierte sich wieder die Zeit, die verging, bis die Biene aus der Schale flüchtete. Aus den Ergebnissen dieser Experimente konnte sie durch statistische Auswertung nachweisen, dass einzelne Individuen stark in ihrem Verhalten von einander abweichen. Ihre bedeutendsten Ergebnisse erhielt sie durch die Beobachtung der Aktivitätslevel vor und nach der Verabreichung von Pheromonen. Auch eine Korrelation zwischen Aktivitätslevel vor den Pheromonen und Fluchtzeit konnte sie

nachweisen. Dass manche Bienen mehr Kalorien verbrauchten und sich dennoch schneller auf die Heimreise machen konnten, begründete sie mit einer stärker ausgeprägten Abwehrreaktion der Biene.

Wellers Arbeit lässt darauf schließen, dass verschiedene Verhaltensweisen von Bienen auf individuelle Persönlichkeiten zurückzuführen sind. Um das Ausmaß dieser Persönlichkeiten abschätzen zu können, ist es wichtig weitere Verhaltensmuster zu ergründen.

2.2 Tracking-Programm für Bientänze

Wie bereits erwähnt, kann man mit einer speziellen Software Tanzaufnahmen von Bienen verarbeiten. Diese Software wurde 2007 von Dr. Landgraf entwickelt [7]. Das Tracking-Programm ermöglicht es, Bewegungsinformationen, die Trajektorien, aus den Tanzaufnahmen aufzuzeichnen.

2.2.1 Funktionsweise der Benutzeroberfläche

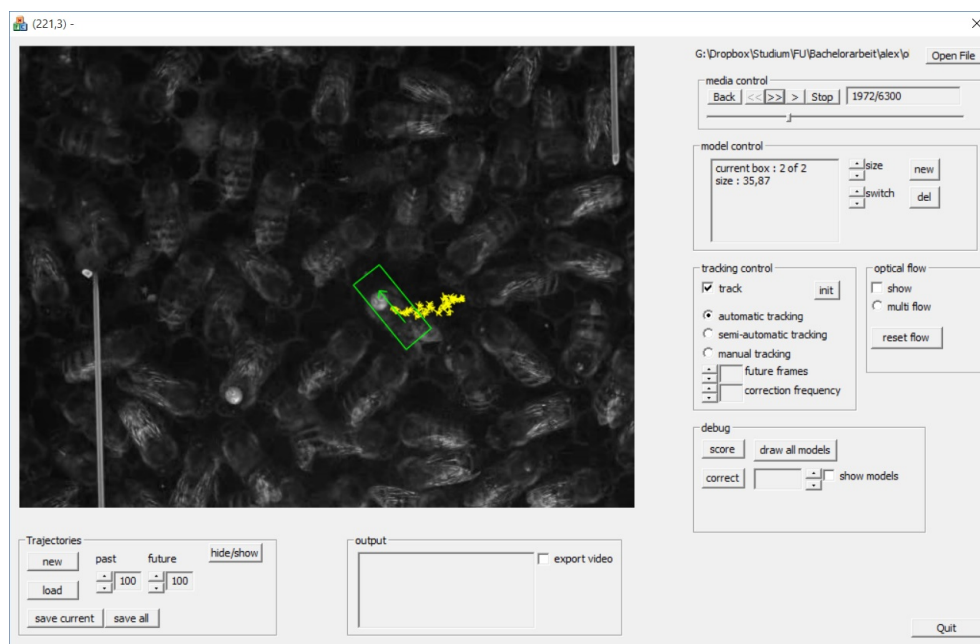


Abbildung 2: Tracking-Programm: GUI mit geladenem Tanzvideo, grünes Rechteck zeigt die Position der Biene, gelbe Markierungen zeigen den Weg des Wackellaufs

Das Programm wird mittels GUI bedient und ermöglicht mehrere Optionen, wie die Aufnahmen der Bienen bearbeitet werden sollen. Ein Video kann geladen werden und per Schieberegler lassen sich einzelne Bilder anzeigen. Hat man das gewünschte Bild gefunden, von dem man

seine Aufnahme starten möchte, sollte man per Knopfdruck ein Rechteck im Bild erscheinen lassen. Dieses dient als Orientierungshilfe für den Tracking-Algorithmus, der es ermöglicht, eine Biene in ihrer Bewegung zu verfolgen. Das Rechteck sollte so auf der gewünschten Biene platziert werden, dass diese vollständig von dem Rechteck umschlossen wird. Eine Checkbox erlaubt es dem Benutzer nun das Tracking zu aktivieren und in einer folgenden Auswahl die Funktionsweise des Algorithmus' festzulegen. Die drei möglichen Optionen sind "automatisches Tracken", "semi-automatisches Tracken" und "manuelles Tracken". Wird nun der automatische Bildlauf aktiviert oder das nächste Bild ausgewählt, wird, je nach Tracking-Option, das Rechteck mit der Biene mitwandern und im besten Fall seine relative Position zur Biene nicht verändern. Beim manuellen Tracken muss das Rechteck jedoch bei jedem Bild neu ausgerichtet werden.

2.2.2 Tracking-Algorithmus

Das automatische Tracken der Bienen erfolgt durch Berechnung des optischen Flusses einzelner Bildpunkte. Besonders erscheinende Bildpunkte [8], die features, lassen sich durch ihre Bewegungsvektoren in Folgebildern wiederfinden. Da sie nach einigen Bildern an Qualität verlieren, werden sie aussortiert und neu initialisiert. Um zu verhindern, dass dadurch in einem Bild alle Informationen verloren gehen, werden drei Feature-Mengen parallel, über drei Bilder nach einander initialisiert. Löschen und Neuinitialisieren erfolgt für jede Menge nach dem dritten Bild. Um die Rotation der Biene wahrnehmen zu können, bilden Features mit gleichen Bewegungsvektoren Cluster. Deren Position und Orientierung lassen auf die Position der Biene schließen. Das Rechteck, welches die Biene umschließt, verhindert, dass sich Features auf umstehende Bienen verteilen. Doch die Berechnung der neuen Position des Rechtecks kann fehlerhaft sein, weshalb es auch zu geringen Fehlern bei der Auswahl neuer Features kommen kann. Um eine Überlagerung von Fehlern zu vermeiden, kommt hierbei die Hough-Transformation [9] zum Einsatz, die ursprünglich zum Finden von geometrischen Strukturen gedacht ist. Die Idee dabei ist, dass durch eine zufällige Verteilung von Rechtecken um das Original die Wahrscheinlichkeit besteht, die richtige Position zu finden.

Der letzte Ansatz bietet nur eine leichte Verbesserung zur Berechnung der Position. Jedoch werden immer noch Fehler produziert, die zu einer falschen Positionierung des Rechtecks führen. Um eine Vielzahl von Tänzern tracken zu können, ist es wichtig, dass die automatische Tracking-Funktion verlässlich funktioniert, da das manuelle Tracken einen hohen Arbeitsaufwand darstellt. Deshalb versuche ich, als Teil dieser Arbeit, einen eigenen Ansatz zu verfolgen, um die Berechnungen der Positionen

genauer zu machen.

2.3 Tanzaufnahmen von Sammlerinnen

Die bereits erwähnten Aufnahmen der Bienen zeigen Bienen auf der Wabe bei der Ausführung ihres Tanzes. Es gibt aber keine Datenbank, die 100 Hz-Bientänze bereitstellt. Somit müssen eigene Aufnahmen gemacht werden. Da Honigbienen ihren Tanz nur in der Obhut ihres eigenen Bienenstocks vorführen, musste also ein Bienenstock samt Kolonie besorgt und vorbereitet werden.

2.3.1 Vorbereitung des Bienenstocks

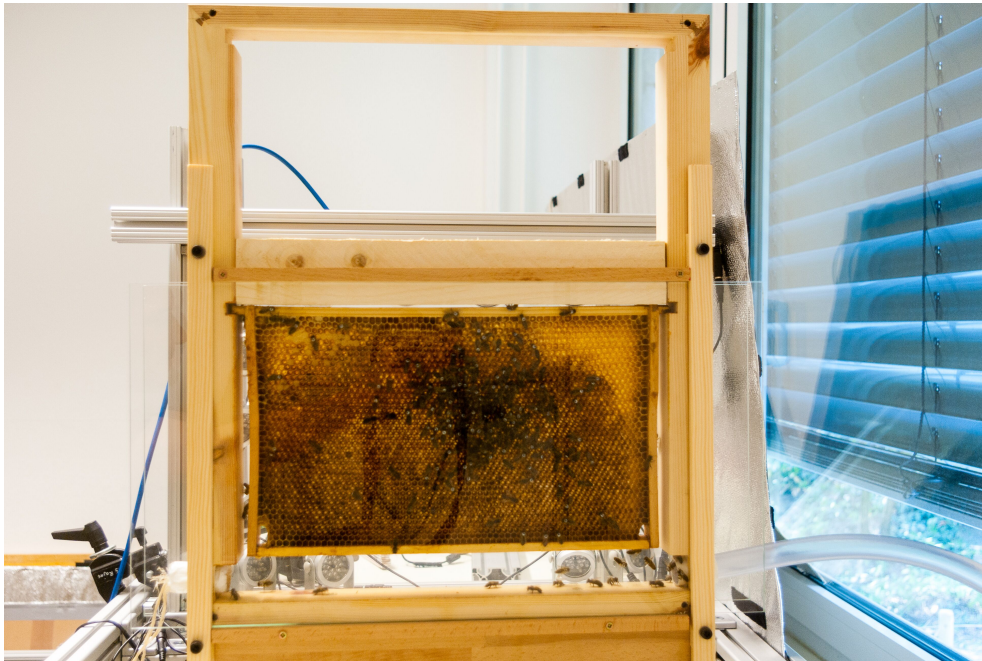


Abbildung 3: Der Bienenstock (Photograph: Benjamin Wild)

Der Bienenstock wurde in einem Raum der Universität untergebracht. Mittels eines Schlauches wurden Bienenstock und eine Öffnung im Fenster mit einander verbunden. Dieses erlaubte den Bienen ihrer Nahrungssuche nachzugehen, was folglich dazu führte, dass sie ihre Tänze in der Wabe aufführten. Der Rahmen des Bienenstocks bestand aus Holz und die Seiten waren von durchsichtigen Plastikwänden bedeckt. So erhielt man uneingeschränkte Sicht auf die Wabe und ihre Bewohner. Die Kameras, die nun für die eigentlichen Aufnahmen gebraucht wurden, befanden sich nicht innerhalb des Bienenstocks, sondern wurden außerhalb

aufgestellt.

2.3.2 Markierung der Bienen

Für die spätere Analyse der Tänze war es wichtig zu wissen, welche Biene vor der Kamera getanzt hat. Dazu wurden einige der Honigbienen abgefangen, um sie anschließend markieren zu können. Die Markierungen selber waren etwa 5mm kleine kreisrunde Plastikplättchen mit einer leichten Wölbung nach oben. Auf ihnen wurden Nummern geschrieben, die die Identität der Biene darstellen sollten. Um diese Markierungen auf den Bienen anbringen zu können, wurden sie in speziellen Röhrchen untergebracht, in denen man die Bienen so befestigen konnte, dass ihr Thorax freigelegt wurde und sie sich nicht bewegen konnten. Durch anschließendes Entfernen der kleinen Härchen und Auftragen eines natürlichen Klebers konnten die Markierungen auf den Bienen befestigt werden.

2.4 Trajektorien

Als Ergebnis des Tracking-Programms beinhalten die Trajektorien spezifische Daten über den Aufenthaltspunkt der Biene in jedem Bild. Dabei handelt es sich um die Nummer des Bildes, Positionskoordinaten auf der Wabe und den Winkel, den die Biene durch Drehung des Körpers erzeugt.

Die Trajektorien, mit denen ich mich befasse, stammen von Aufnahmen aus dem Jahr 2008. Dabei wurden vom 18. - 22. August markierte Bienen beim Tanzen gefilmt. Das Tracking-Programm kam bei den Aufnahmen der letzten drei Tage zum Einsatz. Außerdem wurde der Winkel bereits auf den Sonnenstand angepasst. D.h. der Winkel ist nicht mehr auf die Drehung in der Wabe bezogen, sondern auf die Abweichung vom Sonnenverlauf des jeweiligen Tages. Ein Script sorgte anschließend dafür, dass die Daten zu MAT-Dateien konvertiert wurden. Außerdem wurden dabei wichtige Parameter hinzugefügt. In der folgenden Tabelle habe ich die für mich relevanten Parameter kurz zusammengefasst:

Name	Beschreibung
I	Ist eine Matrix mit 2 Spalten, die jeweils Start- und Endbild der Wackelläufe des Bientanzes beinhaltet. Die Anzahl der Zeilen ist somit Abhängig von der Anzahl der Wackelläufe.
filename	Ein String, der das Datum, die Aufnahmenummer und die ID der Biene des jeweiligen Tanzes enthält.
fps	Gibt an, mit wievielen Bildern pro Sekunde die Kamera aufgezeichnet hat. Hier sind es bei allen Aufnahmen konstant 100 fps.
steps	Ein Faktor, um wieviel Zwischenschritte der Weg der Biene verfeinert wurde. Bei allen Aufnahmen konstant 10 steps.
xs, ys	Sind Listen der Koordinaten der Biene. Da die Anzahl der Positionen um 10 Zwischenschritte erweitert wurde, wurden die fehlenden Koordinaten durch Interpolation bestimmt. Außerdem wurde der Koordinatenursprung von oben-links im Bild auf unten-links verschoben.
phis	Eine Liste der Winkel aller Bilder und deren Zwischenschritte.

In diesem Kapitel habe ich gezeigt, dass sich Persönlichkeitsforschung bei Bienen noch in den Anfängen befindet. Untersuchungen von Verhaltensmustern ermöglichen dabei das Voranschreiten dieses Forschungsgebiets. Des Weiteren bin ich auf wichtige Vorarbeiten zu meiner Arbeit eingegangen. Das Tracken von Bienen bildet dabei den Kern, um den Bientanz genauer Untersuchen zu können.

3 Implementierung

In diesem Abschnitt werde ich meine Idee zur Verbesserung des Tracking-Algorithmus erläutern und auf die einzelnen Phasen bei der Analyse der Bientänze eingehen. Da ich vorhandenen MATLAB-Code erweitert habe, habe ich auch MATLAB (bzw. Octave) für die Implementierung verwendet.

3.1 Verbesserung des Tracking-Algorithmus

Um den Tracking-Algorithmus zu verbessern, habe ich einen eigenen Ansatz verfolgt: Da in den bisherigen Videos immer markierte Bienen zum Einsatz kamen, ging ich davon aus, dass es vermutlich leichter sei, sich an der Markierung, statt der gesamten Biene, zu orientieren. Meine Annahme führte dazu, dass ich von der Hough-Transformation abwich und stattdessen die zweidimensionale Kreuzkorrelation [10] für meinen Versuch einplante. Die Idee war, dass man die Markierung im ersten Bild der Aufnahme als Maske übergibt und die Korrelation berechnet. In den Folgebildern soll nun immer in unmittelbarer Umgebung der Markierung des Vorgängerbildes per Korrelation die neue Position der Markierung bestimmt werden und somit auch die Position der Biene. Der Bildausschnitt um die Markierung darf allerdings nicht zu groß gewählt werden, da sonst umstehende, markierte Bienen mit in die Korrelation einbezogen werden. Durch die zu geringe Auflösung des Bildes, kann es passieren, dass so eine andere Markierung als neue Position betrachtet und damit von der ursprünglichen Biene auf eine andere gewechselt wird.

Später stellte sich heraus, dass zur Entwicklung des Tracking-Programms ein ähnlicher Ansatz bereits verfolgt wurde [7].

3.2 Tanzanalyse

Da ich bei der Analyse der Tänze überwiegend mit größeren Datenmengen in Form von Trajektorien gearbeitet habe, habe ich mehrere Skripte erstellt, um die nötigen Informationen aus den Daten zu selektieren und zu verarbeiten.

Ein Skript diente der Bestimmung der Tänzerinnen. Um später eine Aussage über individuelle Unterschiede beim Tanzen machen zu können, habe ich mit dem Skript überprüft, welche Bienen überhaupt getanzt haben. Außerdem war es für die statistische Auswertung wichtig eine Gruppe von Bienen zu finden, die an mehreren Tagen getanzt hat. So

erstellte ich eine Matrix mit zwei Spalten für das Datum und die ID der Biene. Die Daten selber erhielt ich aus den Namen aller Trajektorien.

Das deutlichste Erkennungsmerkmal des Bientanzes ist der Wackellauf. Die Biene läuft entlang einer Geraden und schwingt dabei ihren Hinterleib hin und her. Interessant wäre also zu wissen, wie oft sie es macht und ob es dabei signifikante Unterschiede zwischen den Bienen gibt. Somit bestand ein Teil meiner Analyse darin dieser Frage nachzugehen. Da Dr. Landgraf bereits ein älteres Script, mit dem man die Frequenzen aus den Trajektorien berechnen konnte, besaß, konnte ich dieses verwenden und modifizieren. Das Script selber erstellt das Frequenzspektrum jeden Wackellaufs mittels der Schnellen-Fourier-Transformation (FFT) [11]. Das spektrale Maximum liefert dann den Index für den Frequenzvektor, der eine Reihe von möglichen Frequenzen enthält. Das etwas modifizierte Script lieferte nun für alle gegebenen Trajektorien die passenden Frequenzen pro Wackellauf. Bei der Auswertung sollte sich zeigen, dass einige Werte fehlerhaft waren, weshalb ich das Script weiter angepasst habe. Zum einen habe ich die erste Spitze des Frequenzspektrums gefiltert, um zu verhindern, dass Wackelläufe mit 0 Hz angezeigt wurden. Im späteren Verlauf habe ich das Script soweit modifiziert, dass auf die FFT-Funktion aus der MATLAB-Bibliothek verzichtet werden konnte. Stattdessen wurden die Basisfunktionen für Sinus und Kosinus bestimmt, in denen eine neue Frequenzauflösung von 0,001 Hz enthalten war, um sie anschließend mit der ersten Ableitung des Wackeltanzpfades zu multiplizieren. Als Folge dessen erhielt man das Frequenzspektrum des Wackellaufs und konnte wie zuvor die am meist vertretene Frequenz jenes Laufes bestimmen.

Zwar sind die schwingenden Bewegungen der Bienen wohl das charakteristischste Merkmal der Wackelläufe, so ließen sich dennoch weitere Parameter zur Analyse finden. Neben der Zeit, die ein Wackellauf dauert, und der Häufigkeit, mit der Wackelläufe in einem einzelnen Tanz vollzogen werden, konnte ich die Genauigkeit untersuchen, mit der der Winkel des Wackellaufs angibt, in welcher Richtung sich die Nahrungsquelle befand. Der Rücklauf ist insofern von Bedeutung für den Bientanz, als dass er Start- und Endpunkt des Wackellaufs markiert. Somit wird die Zeit der Rückläufe mit in die Analyse eingehen. Zur Extrahierung dieser Parameter aus den Trajektorien habe ich weitere Scripte erstellt. Da Start- und Endzeitpunkte in der Matrix I aufgelistet waren, konnte ich ohne Umstände die Zeiten für Wackel- und Rückläufe berechnen und die Anzahl der Wackelläufe pro Bientanz ablesen. Da die Winkel, wie bereits erwähnt, schon auf den jeweiligen Sonnenstand zur Ausführungszeit des Bientanzes angepasst wurden, habe ich sie lediglich so verändert, dass sie durch positives und negatives Vorzeichen anzeigen, um wieviel Grad sie von Null (der exakten Richtung der Nahrungsquelle) abweichen.

Anschließend wurden alle Winkel eines Wackellaufes gemittelt.

Für die statistische Auswertung habe ich ein weiteres Script angefertigt, indem ich auf eine Tabelle mit allen untersuchten Parametern aller Wackelläufe der 8 Bienen zugreifen konnte. Ziel war es, verschiedene Parameter auf Korrelationen zu prüfen. Dafür habe ich mehrere Matrizen erstellt, in denen die verschiedenen Parameter aller 8 Bienen pro Tag gemittelt wurden. Mit den Octave-Funktionen `corrcoef` [12] und `cor_test` [13] konnte ich schließlich Zusammenhänge zwischen Parametern und Tagen feststellen.

In diesem Kapitel habe ich meine Implementierungen bei der Analyse der Bientänze erläutert. Dabei bin ich auf die Parameter eingegangen, die auf konsistente Unterschiede zwischen den Bienen beim Tanzen schließen lassen und habe erklärt, wie ich sie erhalten habe.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werde ich anhand eines Beispiels zeigen, dass mein Tracking-Algorithmus den Pfad einer tanzenden Biene aufzeichnen kann. Anschließend präsentiere ich die Ergebnisse der Tanzanalyse.

4.1 Tracking-Algorithmus

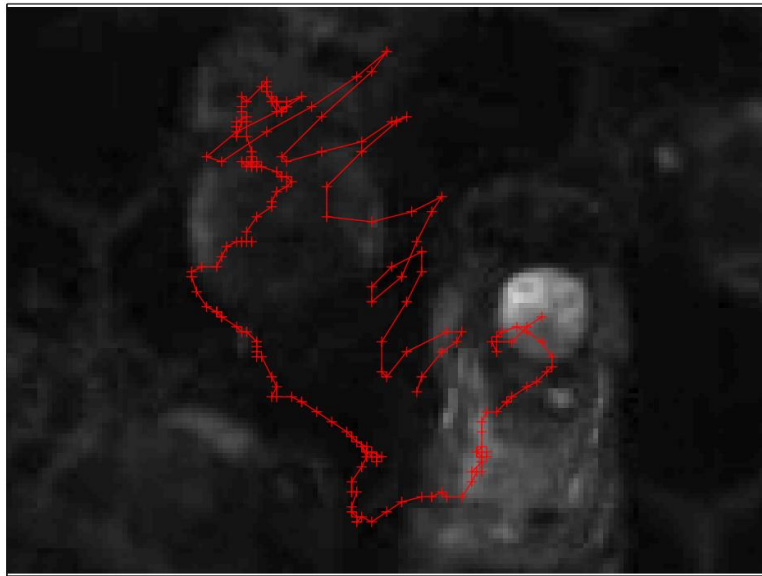


Abbildung 4: Tracking-Algorithmus mit Kreuzkorrelation: die rote Linie zeigt den Weg einer markierten Biene über einen Wackel- und einen Rücklauf

Um meinen Tracking-Algorithmus testen zu können, habe ich die ersten 200 Bilder eines Tanzvideos verwendet. Diese Bilder zeigen genau eine Ausführung von Wackel- und Rücklauf. Anhand der roten Linie erkennt man den gelaufenen Weg der markierten Biene. Er endet im Mittelpunkt der Markierung des letzten Bildes. Die Kreuze auf der Linie kennzeichnen den Aufenthaltspunkt der Markierung zu jedem Bild. Die beiden Phasen des Wackeltanzes sind anhand des Verlaufs der Linie deutlich von einander unterscheidbar.

4.2 Tanzanalyse

Bei der Bestimmung der Tänzerinnen hat sich herausgestellt, dass insgesamt 21 der markierten Bienen über die drei Tage aktiv waren. Jedoch

haben davon aber nur vier Bienen an allen drei Tagen getanzt. Die größte Menge von Bienen, die an mehreren Tagen aktiv waren, konnte ich am ersten und am dritten Tag (20. und 22. Oktober) nachweisen. Dabei waren es 8 Bienen.

Die ersten Ergebnisse bei der Berechnung der Frequenzen aller Wackelläufe lieferten fehlerhafte Werte. Zum einen wurden einige Wackelläufe mit einer Frequenz von 0Hz bemessen. Zum anderen war die Frequenzauflösung so groß gewählt, sodass sich alle Frequenzen nur um ca. 1 Hz unterschieden.

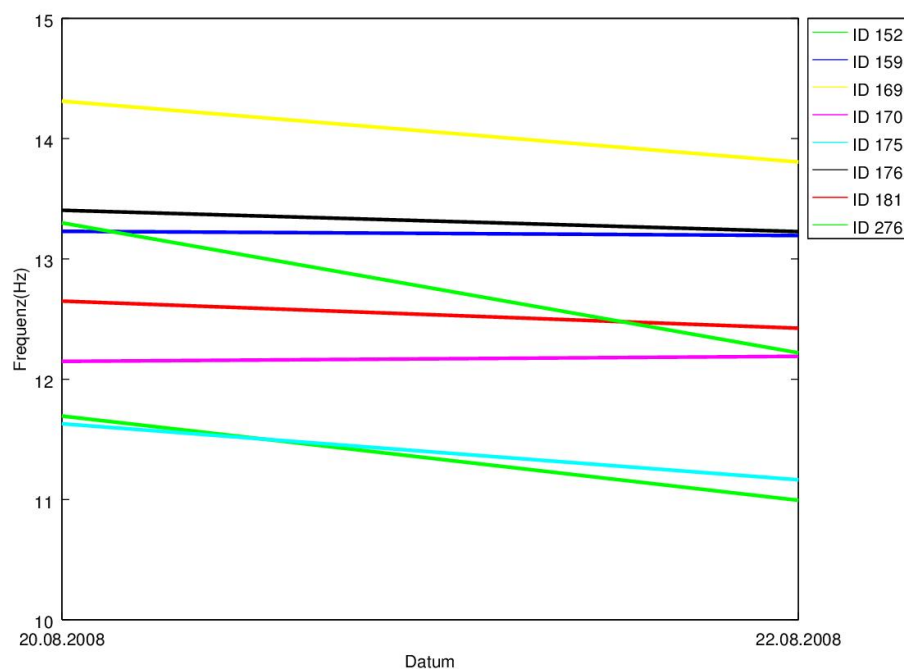


Abbildung 5: Gemittelte Frequenzen unterschiedlicher Tage: zeigt Verlauf der gemittelten Frequenzen von den 8 tanzenden Bienen;

Der Abbildung 5 zeigt den Verlauf der gemittelten Frequenzen von den Bienen, die an den beiden gekennzeichneten Tagen getanzt haben. Man kann einen Trend zur individuellen Frequenz ausmachen, da die Steigungen der Linien überwiegend wenig Veränderung aufweisen. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten beider Tage brachte ein Ergebnis von 0,92634, welcher einen starken Zusammenhang kennzeichnet. Der p-Wert von unter 0,05 bestätigt, dass die gemittelte, individuelle Frequenz an unterschiedlichen Tagen nicht abweicht. Deutlich wird die individuelle Frequenz jeder Biene, wenn man Abbildung 6 betrachtet.

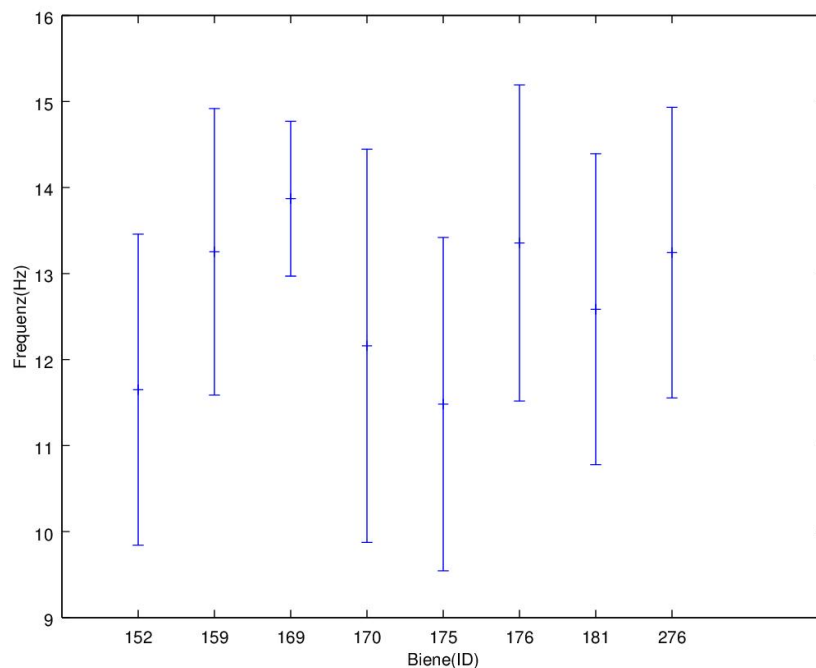


Abbildung 6: Standardabweichung der Frequenzen: Zeigt die Streuung aller gemittelten Wackellauffrequenzen um den Mittelwert der 8 Bienen

Die Standardabweichung gibt ein Maß für die Streuung der Frequenzen an. Hierbei wurden die Frequenzen aller drei Tage in die Berechnung mit einbezogen.

Betrachtet man die Standardabweichungen der Frequenzen und die der Anzahl der Wackelläufe (Abbildung 7), so macht es den Eindruck, dass ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern besteht. Der Korrelationskoeffizient zwischen diesen Parametern liegt bei 0,635 und der p-Wert bei 0,0907. Es zeigt zwar, dass es einen Zusammenhang gibt, aber dieser statistisch nicht signifikant ist, da der p-Wert größer als 0,05 ist. Der Korrelationskoeffizient zwischen der gemittelten Anzahl an Wackelläufen der 8 Bienen an zwei unterschiedlichen Tagen liegt bei 0,13247.

Die Tanzzeiten von 5 Bienen lagen im Durchschnitt bei ca. 0,4s. Das liegt daran, dass sie auf die gleiche Nahrungsquelle trainiert wurden. Die Standardabweichung lieferte keine deutlichen Unterschiede, weshalb die Tanzzeit nicht von der Persönlichkeit der Biene beeinflusst werden sollte. Die Rücklaufzeit hingegen zeigt deutliche Unterschiede im Maß der Streuung. Jedoch gab es keine Anzeichen, dass die Bienen konsistente Werte an verschiedenen Tagen erbrachten. Auch ein Korrelationstest zwischen allen gemittelten Frequenzen und Rücklaufzeiten der 8 Bienen ließ auf

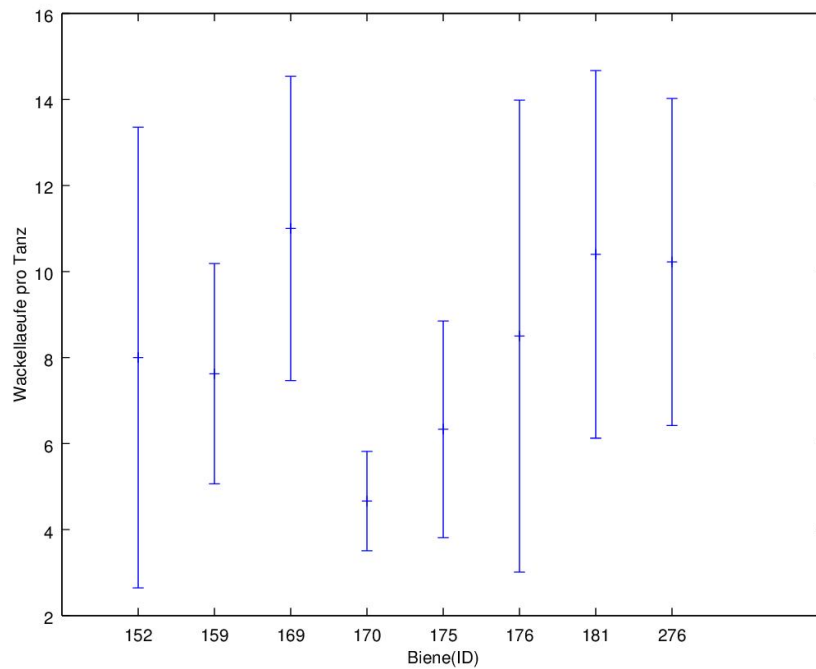


Abbildung 7: Standardabweichung der Wackelläufe: Zeigt die Streuung der gemittelten Anzahl an Wackelläufen pro Tanz aller 8 Bienen

keinen Zusammenhang schließen.

Die Streuung der Richtungsabweichungen fällt bei allen Bienen relativ ähnlich aus und bei 4 von ihnen liegt im Durchschnitt bei ca. 0 Grad. Der Korrelationskoeffizient von 0,41829 weist darauf hin, dass es geringe Zusammenhänge zwischen den Abweichungen einer Biene an beiden Tagen gibt, aber keine deutliche Aussage darüber gemacht werden kann.

In diesem Kapitel habe ich gezeigt, wie mein Algorithmus die Positionen der Biene bestimmt. Anschließend habe in der Analyse der Tänze gezeigt, dass Bienen individuelle Verhaltensweisen anhand verschiedener Parameter aufweisen.

5 Diskussion

In Folgendem möchte ich Vor- und Nachteile meines Tracking-Algorithmus erläutern und gehe auf Unterschiede beim Tracken beider Algorithmen durch den Vergleich der resultierenden Pfade ein. Zusätzlich möchte ich die Ergebnisse der Tanzanalyse kritisch hinterfragen.

5.1 Tracking-Algorithmus

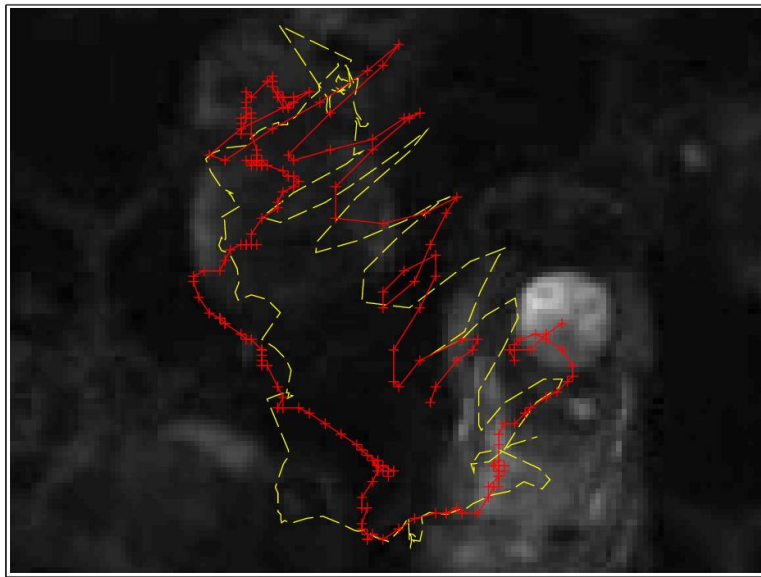


Abbildung 8: Vergleich der getrackten Pfade beider Algorithmen; die rote Linie zeigt den Pfad durch Tracken per Kreuzkorrelation, die zusätzliche gelbe Linie ist durch das semi-automatische Tracken des Tracking-Programms entstanden

Die Abbildung zeigt zwei unterschiedlich entstandene Pfade eines Wackel- und eines Rücklaufs einer Biene. Die Abweichung zwischen den Pfaden lässt sich damit erklären, dass beide Tracking-Algorithmen unterschiedliche Bezugspunkte auf der Biene haben. Wo sich mein Algorithmus auf den Mittelpunkt der Markierung bezieht, bezieht sich der andere hingegen auf den Mittelpunkt der gesamten Biene. Das kann man an den Endpunkten der Pfade sehen, da das Hintergrundbild das letzte Bild der Videosequenz ist. Bei genauerer Betrachtung der Wackelpfade erkennt man, dass die Biene in beiden Fällen fünf mal gewackelt hat. Der eigentliche Unterschied liegt also nicht im Bild, sondern bei der

Ausführung des Trackens, da der Pfad des älteren Algorithmus manuell korrigiert werden musste.

Der Nachteil meines Algorithmus ist, dass sich nur markierte Bienen tracken lassen. Da jedoch nur diese für weitere Untersuchungen beim Tanzen gefilmt werden, sollte dies ein geringes Problem darstellen. Ein Vorteil meines Algorithmus ist, dass Fehler, die bei der Berechnung der Position der Biene auftreten, sich nicht überlagern und nicht zu einer kompletten Distanzierung von der Biene führen. Geringe Abweichungen von der genauen Position der Biene wären damit tolerierbar. Es müsste allerdings noch getestet werden, ob das auch noch der Fall ist, wenn alle Bienen im Stock markiert wurden und die Tänzerin dicht an anderen Markierungen vorbeikommt.

Die Berechnungen der Drehungen der Biene ist in meinem Algorithmus nicht enthalten. Jedoch habe ich mir auch dafür einen Ansatz überlegt: Auch hierbei soll die Korrelation zum Einsatz kommen. Da die Auflösung der Markierung zu gering ist, muss aber nun die gesamte Biene als Maske dienen. Die Idee ist, dass der Ausschnitt der Biene des Vorgängerbildes um mehrere Grad in beide Richtungen um die Positionsachse gedreht wird und dabei in passenden Abständen Korrelationen mit dem Folgebild gemacht werden. Anschließend wird das beste Ergebnis der Korrelationen als Lösung gewählt und der Grad der Drehung steht fest.

Eventuell muss man auch nicht komplett auf die bisherige Weise zur Berechnung der Position tanzender Bienen verzichten. Ich könnte mir vorstellen, dass eine Kombination aus beiden Algorithmen zu besseren Ergebnissen führt. Der Weg der Biene wird durch die Kreuzkorrelation berechnet, um einen Anhaltspunkt für die genaue Positionierung der Biene zu erhalten. An diesen Anhaltspunkten würde anschließend die Hough-Transformaton zum Einsatz kommen.

5.2 Tanzanalyse

Bei der Untersuchung des Scripts, welches fehlerhafte Frequenzen berechnete, konnte ich keine Fehler im Code feststellen. Ein Plot des Frequenzspektrums eines der Wackelläufe zeigte eine deutliche Spitze bei 0 Hz. Die Untersuchung der jeweiligen Aufnahmen zeigte dann, dass die Bienen unsauber getanzt haben. Oft wurde der Wackellauf unterbrochen oder vorzeitig beendet, weil die Tänzerin durch andere Bienen blockiert wurde. Zwar wurde der Wackellauf durch das Filtern der Spitze im Spektrum nicht verbessert und die Frequenz des Laufes wich immer noch deutlich von denen der anderen Läufe ab, doch konnte so verhindert werden, dass

die fehlerhafte Läufe aus der Untersuchung entfernt werden mussten.

Nachdem das Script für eine feinere Frequenzauflösung modifiziert wurde, musste noch die Genauigkeit überprüft werden. Dazu habe ich einen Bientanz mit dem Tracking-Programm 10-mal neu getrackt. Ein Script, welches bereits für die anderen Trajektorien verwendet wurde, erzeugte durch Interpolation eine feinere Auflösung des Wackelpfades. Nachdem ich die neuen Frequenzen erzeugt hatte, konnte ich mit der MATLAB-Funktion `std` [14] die Standardabweichung ermitteln, um eine Aussage über die Genauigkeit treffen zu können. Diesen Vorgang habe ich mehrere Male wiederholt, bis die Standardabweichung einen Wert von 0,1 nicht mehr überschritt. Es zeigte sich, dass das wiederholte Tracken des gleichen Tanzes Abweichungen von ca. 0,1 Hz bei den Frequenzen des jeweiligen Wackellaufs verursachte. Die Frequenzauflösung war somit ausreichend klein gewählt.

Zwar konnte ich zeigen, dass die Frequenzen der Wackelläufe von Biene zu Biene variieren und die einer Biene über verschiedene Tage gleich bleiben, doch stellt sich mir die Frage, ob es sich um ein Persönlichkeitsmerkmal oder eine anatomische Eigenschaft handelt. Die Muskulatur könnte unterschiedlich stark ausgeprägt sein, wodurch sich das Schwingen des Abdomen beim Tanzen entsprechend verhält. Dieses wiederum könnte durch das Alter der Biene beeinflusst werden, da jüngere Bienen zwar ihre Flügel benutzen, um den Bienenstock zu wärmen, aber weniger Zeit mit Fliegen verbringen, was Einfluss auf die Muskulatur haben könnte. Die leichte Korrelation zwischen Frequenzen und Anzahl der Wackelläufe ließe sich dann auch so begründen, dass die ältere Biene mit stärker ausgeprägter Muskulatur mehr Reserven für den Tanz aufbringen kann. Mehr Messdaten könnten zeigen, ob die Korrelation statistisch signifikant ist.

Dass die Tanzzeiten wenig Spielraum für Individualität bieten, war von vornherein klar. Doch wollte ich testen, ob die Streuung der Werte eine individuell stark ausgeprägte Wahrnehmung der Biene signalisiert. Da jedoch nicht alle 8 Bienen die gleiche Nahrungsquelle aufgesucht haben, kann ich nur über die restlichen 5 Bienen eine Aussage machen. Die geringe Varianz lässt nicht auf individuelle Wahrnehmungen schließen. Die Rücklaufzeiten hingegen variieren deutlich im Maß der Streuung jeder Biene, weshalb ich einen Zusammenhang zur körperlichen Leistungsfähigkeit suchte. Eine eifrige Biene, die mit höherer Frequenz tanzt und im Schnitt mehr Wackelläufe pro Tanz aufführt, sollte eventuell auch schneller die Ausgangsposition beim Tanzen einnehmen. Die Korrelationstests verwerfen meine Vermutung und auch die Rücklaufzeit als individuelles Persönlichkeitsmerkmal.

So wie die Tanzzeiten sollten die Tanzrichtungen auch wenig von der Persönlichkeit einer Biene beeinflusst werden. Doch könnte ein individueller Orientierungssinn Einfluss auf die Varianz der Richtungswinkel haben. Dieses konnte ich nicht nachweisen, da die Standardabweichungen aller 8 Bienen ähnlich groß waren. Dass drei von ihnen im Durchschnitt deutlich von 0 Grad abwichen, hätte mit einer anderen Nahrungsquelle erklärt werden können. Jedoch waren das nicht die selben Bienen, die sich auch bei der Tanzzeit deutlich von den anderen unterschieden.

In diesem Kapitel habe ich versucht, die Vor- und Nachteile meines Algorithmus zu bestimmen und bin kritisch an die Ergebnisse meiner Analyse herangetreten.

6 Ausblick

Um meine Ergebnisse besser erklären zu können, wären in zukünftigen Aufnahmen weitere Parameter interessant. Zum einen würde ich gerne wissen, wie das Alter einer Biene mit dem Aktivitätslevel korreliert. Also, ob gerade jüngere Bienen eifriger bei der Nahrungssuche sind und sich damit die Anzahl der Bientänze und einzelnen Wackelläufe erhöht, die Genauigkeit der Tanzrichtungen durch mangelnde Erfahrung aber abnimmt. Des weiteren interessiert mich das Verhältnis zwischen Tänzerinnen und den Verfolgerinnen. Es könnte sein, dass aktive Persönlichkeiten häufiger den Part der Tänzerin übernehmen und passive eher dazu veranlasst sind sich Wege zu neuen Nahrungsquellen zeigen zu lassen. Man müsste also alle Tänze aufnehmen und sowohl Tänzerinnen, als auch Verfolgerinnen vermerken. Das würde aber voraussetzen, dass eine gesamte Kolonie markiert wird und die Geburtstage aller Bienen notiert werden.

Diesen Sommer wurden neue Aufnahmen von Bientänzen gemacht. In Vorbereitung dessen hat man auch eine ganze Kolonie von über 2000 Bienen markiert. Dieses ist Teil des Projekts BeesBook [15]. Zwar gibt es bei diesen Aufnahmen keine Informationen über das Alter der Bienen, aber eben die Möglichkeit festzustellen, welche Biene wie oft tanzt und wem beim Tanzen folgt. Wenn das automatische Tracken der Bienen dann auch zuverlässig funktioniert, wird man sicherlich deutlich mehr Daten für eine präzisere Analyse bekommen.

7 Anhang

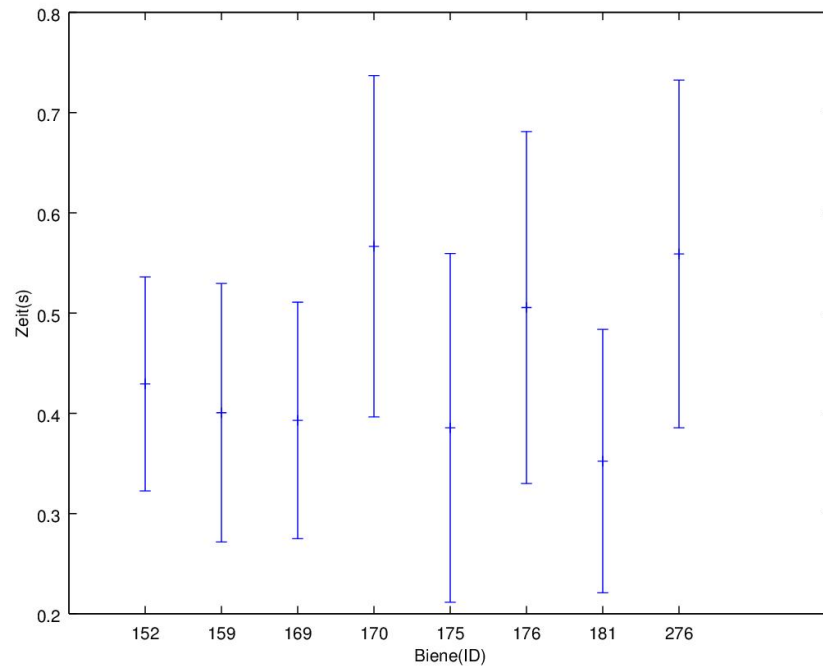


Abbildung 9: Standardabweichung der Tanzzeiten: Zeigt die Streuung aller gemittelten Wackellaufzeiten um den Mittelwert der 8 Bienen

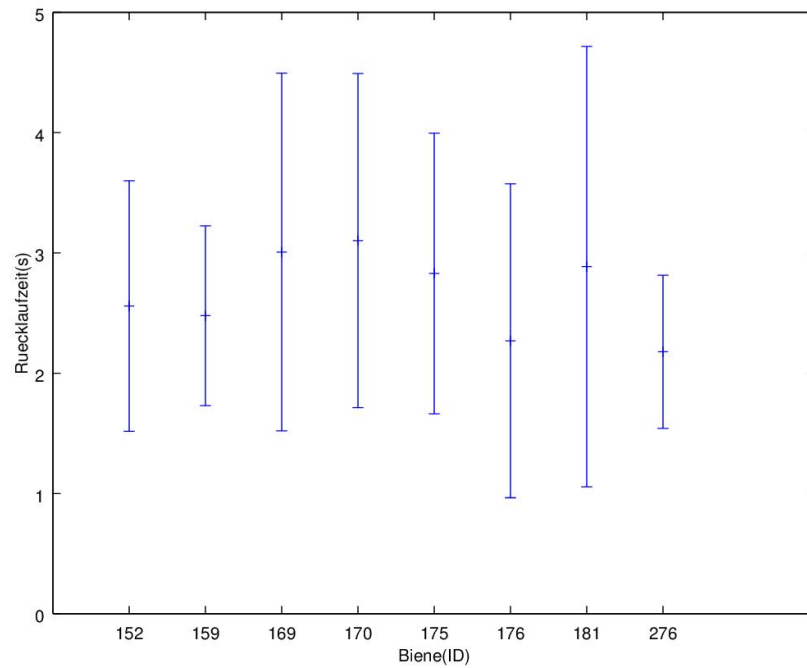


Abbildung 10: Standardabweichung der Rücklaufzeiten: Zeigt die Streuung aller gemittelten Rücklaufzeiten um den Mittelwert der 8 Bienen

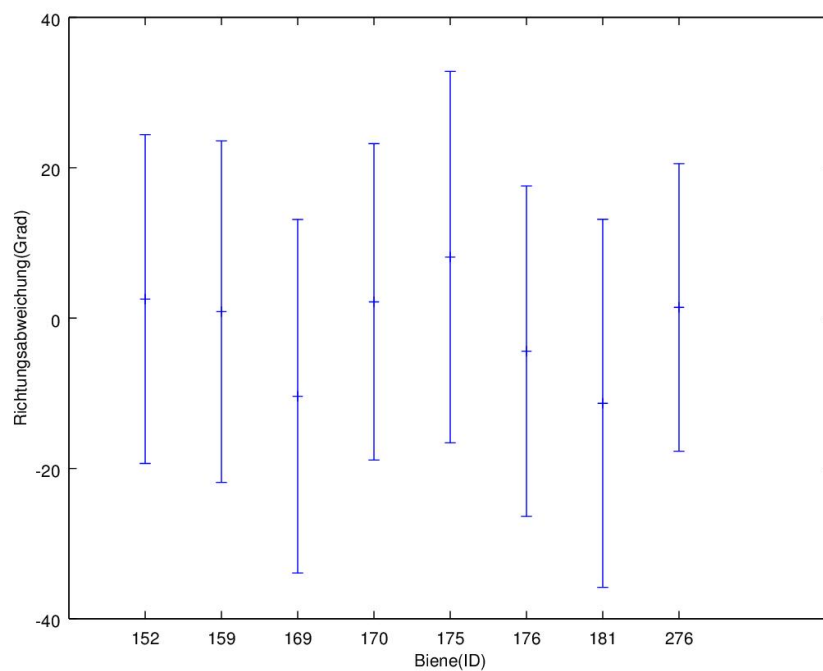


Abbildung 11: Standardabweichung der Richtungsabweichungen: Zeigt die Streuung aller gemittelten Richtungsabweichungen um den Mittelwert der 8 Bienen

Literaturverzeichnis

- [1] Christian Blum. Swarm intelligence in optimization. *ResearchGate*, 2007.
- [2] Thomas D. Seeley. *The Wisdom of the Hive - The Social Physiology of Honey Bee Colonies*. Harvard University Press, 1995.
- [3] Noa Pinter-Wollman. Personality in social insects: How does worker personality determine colony personality? *Current Zoology* 58(4), 2012.
- [4] Mark L. Winston. *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press, 1991.
- [5] Gene E. Robinson Robert E. Page. *The Genetics of Division of Labour in Honey Bee Colonies*. Academic Press Limited, 1991.
- [6] Amelia Weller. Behavioral syndromes in individual honeybees. Master's thesis, University of Colorado, Boulder, 2015.
- [7] Raúl Rojas Tim Landgraf. Tracking honey bee dances from sparse optical flow fields. Technical report, bla, 2007.
- [8] C. Tomasi J. Shi. Good features to track. *IEEE*, 1994.
- [9] Paul V. C. Hough. Method and means for recognizing complex patterns. Patent US3069654 A, 1962.
- [10] The MathWorks. Matlab 2-d cross correlation. <http://de.mathworks.com/help/signal/ref/xcorr2.html>. Aufgerufen: September 2015.
- [11] The MathWorks. Matlab fast fourier transformation (fft). <http://de.mathworks.com/help/matlab/math/fast-fourier-transform-fft.html>. Aufgerufen: September 2015.
- [12] The MathWorks. Matlab correlation coefficients. <http://de.mathworks.com/help/matlab/ref/corrcoef.html>. Aufgerufen: September 2015.
- [13] Free Software Foundation. Gnu octave correlation test. <https://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/Tests.html>. Aufgerufen: September 2015.
- [14] The MathWorks. Matlab standard deviation. <http://de.mathworks.com/help/matlab/ref/std.html>. Aufgerufen: September 2015.
- [15] Tim Landgraf. Beesbook. <http://beesbook.mi.fu-berlin.de/wordpress/>. Aufgerufen: September 2015.