Freie Universität Berlin

Digitale Auswertung von Bienenflügen zur Analyse des Einflusses von Neonicotinoiden auf das Lernverhalten von Bienen

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades
"Master of Science in Bioinformatics"

Autor:	Dennis-Paul Schmoldt
Matrikelnummer:	4243282
Erstprüfer	Prof. Tim Landgraf
Zweitprüfer	Prof. Randolf Menzel
Abgabedatum:	24.04.2017

Freie Universität Berlin

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, den 24.4.2017:_____

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis III

Tabellenverzeichnis III

1. Einleitung 1

1.1 Motivation 1

1.2 Zielsetzung 1

1.3 Aufbau der Arbeit 1

2. Grundlagen 2

2.1 Versuchsaufbau 2

2.2 Erfassung der Daten 3

2.3 Navigation der Biene 3

2.4 Neonicotinoide 3

2.5 Kalman-Algorithmus 3

3. Implementierung 6

3.1 Aufbereitung der Daten 6

3.2 Interpolation 8

3.3 Finden von linearen Segmenten 9

3.4 Finden von Vektorflügen und Homingflügen 11

3.6 Weitere Analysefunktionen 12

4. Ergebnisse 13

5. Auswertung 17

6. Ausblick 18

Literaturverzeichnis ..... A

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zyklus des Kalman-Algorithmus. 5
Abbildung 2 Beispiel aufbereiteter Daten. 7
Abbildung 3 Beispiel einer Interpolation. 8
Abbildung 4 Beispiel für die Erkennung von linearen Segmenten. 10
Abbildung 5 Beispiel von detektierten Homing- und Vektorflügen. 11
Abbildung 6 Vergleich der 4 Fluggruppen 15
Abbildung 7 Vergleich der Vektorflüge 16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Auswertung der Flüge 13
Tabelle 2: Auswertung Vektor / Homingflug 14

1. Einleitung

Georg Christoph Lichtenberg hat einmal gesagt: „Man sollte nie so viel zu tun haben, dass man zum Nachdenken keine Zeit mehr hat.“ Mit dieser Arbeit möchte ich ein Programm vorstellen, welches Biologen einen Großteil der Arbeit bei der Auswertung bestimmter Experimente abnehmen soll.

1.1 Motivation

Durch das zu Grunde liegende Experiment und ähnliche Experimente entstehen leicht mehrere hundert Datensätze mit jeweils wiederum mehreren hundert Datenpunkten, deren Auswertung bisher nur manuell vorgenommen wurde. Somit stellte sich die Auswertung der Daten als sehr zeitintensiv dar. Zu dem ist diese Art der Auswertung weniger genau und gegebenenfalls durch die Erwartung des Auswertenden beeinflusst.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein leicht anzuwendendes Programm zu entwickeln mit dem die Daten des Versuchs automatisiert aufbereitet und ausgewertet werden können. Ferner soll es eine Modularität aufweisen, so dass es ohne größere Arbeit für ähnliche Versuche wiederverwendet werden kann.

1.3 Aufbau der Arbeit

In den folgenden Abschnitten werden zunächst einige Grundlagen erklärt, die zum weiteren Verständnis der Arbeit hilfreich sind. So wird zu aller Erst der zu Grunde liegende Versuchsaufbau erklärt. Es folgt ein kurzer Überblick über die Neonicotinoide und den im späteren Verlauf verwendeten Kalman-Algorithmus. Im Anschluss werden die einzelnen Bausteine des Programms erläutert. Die Ergebnisse des Programms und folglich auch des Versuchs werden ausgewertet und weiter analysiert. Zu guter Letzt wird ein Ausblick auf die weitere Verwendung des Programms geworfen.

2. Grundlagen

Im nun kommenden Abschnitt wird der Versuchsaufbau und dessen Ziel genauer erklärt. Anschließend werden die Möglichkeiten der Bienennavigation, sowie die Neonicotinoide und das verwendete Thiacloprid umrissen. Zu guter Letzt wird der Kalman-Algorithmus erläutert, welcher zur Aufbereitung und Interpolation der Radardaten verwendet wurde.

2.1 Versuchsaufbau

Die Versuche fanden im Sommer 2013 in der Nähe von Amöneburg, Deutschland in einem landwirtschaftlich bewirtschafteten Gebiet in zwei Versuchsreihen statt. Die Bienen wurden in zwei Stöcken (H - Hive) gehalten und jeder Stock auf eine Futterstelle trainiert. Die beiden Futterstellen wurden dabei 350m nordöstlich (F1 – Feeder 1) beziehungsweise 340 südöstlich (F2 – Feeder 2) aufgestellt. Ferner wurden die Bienen im Laufe der Versuche an einer Stelle 780 östliches der Bienenstöcke freigelassen (R - Release).

In der ersten Versuchsreihe wurden die Bienen auf ihre jeweilige Futterstelle trainiert. Hierbei wurde die Zuckerlösung an einer der beiden Futterstellen mit Thiacloprid versetzt. Die Bienen des Stocks, welche auf die mit Thiacloprid versetzte Stelle trainiert wurden, waren die „treated“-Gruppe, der andere Stock die Kontroll-Gruppe. Nachdem die Bienen den Ort der jeweiligen Futterstelle gelernt haben, wurden sie an dieser eingefangen, mit einer Antenne ausgestattet, zum „Release“ gebracht und wieder entlassen. In der zweiten Versuchsreihe wurde die Kontroll-Futterstelle mit Thiacloprid versetzt und die „treated“-Futterstelle nur mit Zuckerlösung ausgestattet. Ferner wurde der „treated“-Bienenstock aus dem Versuch entfernt und mit der Kontrollgruppe ersetzt, welche jetzt auf die Thiacloprid-Futterstelle trainiert wurde und ein neuer Bienenstock als Kontrollgruppe hinzugefügt.

2.2 Erfassung der Daten

Durch ein harmonisches Radarsystem wird die Position der freigelassenen Biene auf dem Feld in einem Bereich von bis zu 900m mit 1/3 Hertz beobachtet und aufgezeichnet. Mittels eines Screengrabers werden folglich alle 3 Sekunden der Standort der Biene und der Zeitpunkt in einer Textdatei festgehalten. Dabei kann es jedoch zu Fehlern bei der Aufzeichnung kommen. Fliegt die Biene zu tief, zu hoch oder hat das Radar Probleme, kommt es zu Lücken in der Aufzeichnung. Zudem können durch den Screengraber auch zu einem Zeitstempel zwei Datenpunkte erfasst werden.

2.3 Navigation der Biene

Zur Bildung eines Langzeitgedächtnisses in Form einer Kognitiven Karte benutzen Bienen vor allem 5 sensorische Quellen. Mit ihren Facettenaugen können Bienen bei einer 2 Grad Auflösung in einem Bereich von 180 Grad sehen und haben somit einen Rundumblick. Ferner können Bienen auch Farben erkennen, wobei Sie an Stelle von Rot Ultraviolettes Licht sehen. Zudem sind sie in der Lage polarisiertes Licht wahrzunehmen, welches sie zusammen mit einer inneren Uhr und der Stellung der Sonne als Kompass verwenden. Zusätzlich haben Experimente bewiesen, dass Bienen mit ihren Augen auch die Flugstrecke messen. Außerdem gibt es noch eine Vielzahl an Sinnesorganen mit denen die Biene ihre Position im Raum bestimmt. (Menzel, 2012)

2.4 Neonicotinoide

Das verwendete Insektizid Thiacloprid gehört zu den Neonicotinoiden, diese binden an die Nikotinischen Acetycholinrezeptoren (nAChR) von Nervenzellen und stören somit die Weiterleitung von Nervensignalen. Da es von der Acetycholinesterase nicht abgebaut werden kann, kommt es zur dauerhaften Stimulation der Rezeptoren. Die Nikotinischen Acetycholinrezeptoren sind unter anderem in den Plizkörpern im Insektenhirn zu finden, welche auch für die Gedächtnisbildung zuständig sind.

2.5 Kalman-Algorithmus

Mit dem Kalman-Filter (Greg Welch, 2006) ist es möglich den Zustand eines Systems anhand dessen zum Teil fehlerbehafteten Messdaten zu bestimmen. Dieser funktioniert im Großen und Ganzen in zwei Schritten.

Im ersten Schritt, der Prädiktion, wird der aktuelle Zustand des Systems gemessen, wobei die Messung durch mögliche Messungenauigkeiten eine Varianz aufweist. Auf

Grund dessen wird bei dem Kalman-Filter nur mit Varianzen und Mittelwerten gerechnet. In einer Kovarianz-Matrix wird zudem der Grad der Korrelation zwischen den jeweiligen Zustandsvariablen festgehalten. Im zweiten Schritt, der Korrektur, wird nun eine Vorhersage für den kommenden Zustand zum Zeitpunkt k+1 getroffen. Dies geschieht mittels einer Transitions-Matrix. Anschließend kehrt der Algorithmus zum ersten Schritt zurück, misst den Zustand zum Zeitpunkt k+1 und vergleicht die Messung mit der Vorhersage um so die Genauigkeit des Algorithmus und dessen Vorhersage zu bestimmen. Ferner wird durch die Verbindung von Messung und Vorhersage, die Bestimmung des Zustands zum Zeitpunkt k+1 korrigiert. Mit jeder Messung steigt die Konfidenz des Algorithmus und mit jeder Vorhersage sinkt sie wieder. Trotzdessen steigt die Konfidenz jedoch mit jedem Durchlauf des Kalman-Filters.

Der n-dimensionale Zustandsvektor wird erfasst als:

$$x_k$$

Der n-dimensionale Zustandsvektor zum Zeitpunkt k+1 wird berechnet durch:

$$x_{k+1} = A_k \times x_k + B_k \times u_k + w_k$$

Wobei A_k die Transitions-Matrix darstellt, welche die physikalischen Gegebenheiten festhält, durch jene x_k nach x_{k+1} überführt wird. B_k dient dazu den optionalen Vektor u_k auf den Systemzustand abzubilden. u_k spiegelt gegebenenfalls externe Einflüsse wieder. w_k repräsentiert das Systemrauschen.

y_k stellt den aktuellen Messwert dar. H_k ist dabei die Messmatrix und v_k das Messrauschen.

$$y_k = H_k \times x_k + v_k$$

$\hat{x}_k^+$ ist der a posteriori Schätzwert, also der korrigierte Schätzwert. Dieser ergibt sich aus dem vorhergesagtem a priori Schätzwert $\hat{x}_k^-$, der aktuellen Messung $y_k$und dem Kalman-Verstärker K_k.

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - H_k * \hat{x}_k^-)$$

Der Kalman-Verstärker ergibt sich aus der folgenden Gleichung und hat Einfluss darauf wie sehr der Algorithmus die aktuelle Messung in die Korrektur des vorhergesagten Schätzwertes mit einbezieht:

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1}$$

P_k^- wird bezeichnet als a priori Schätzfehlerkovarianz. R_k ist die Varianz des Messfehlers.

$$P_{k+1}^- = A_k P_k^+ A_k^T + Q_k$$

P_k^+ ist dem zu Folge die a posteriori Schätzfehlerkovarianz. Wobei Q_k die Varianz des Systemrauschens ist.

$$P_k^+ = (I - K_k H_k) P_k^-$$

Die beiden Schätzfehlerkovarianzen spiegeln die Konfidenz des Algorithmus gegenüber der Vorhersage wieder und haben deshalb Einfluss auf den Kalman-Verstärker.

Der Zyklus des Kalman-Algorithmus sieht dann wie folgt aus:

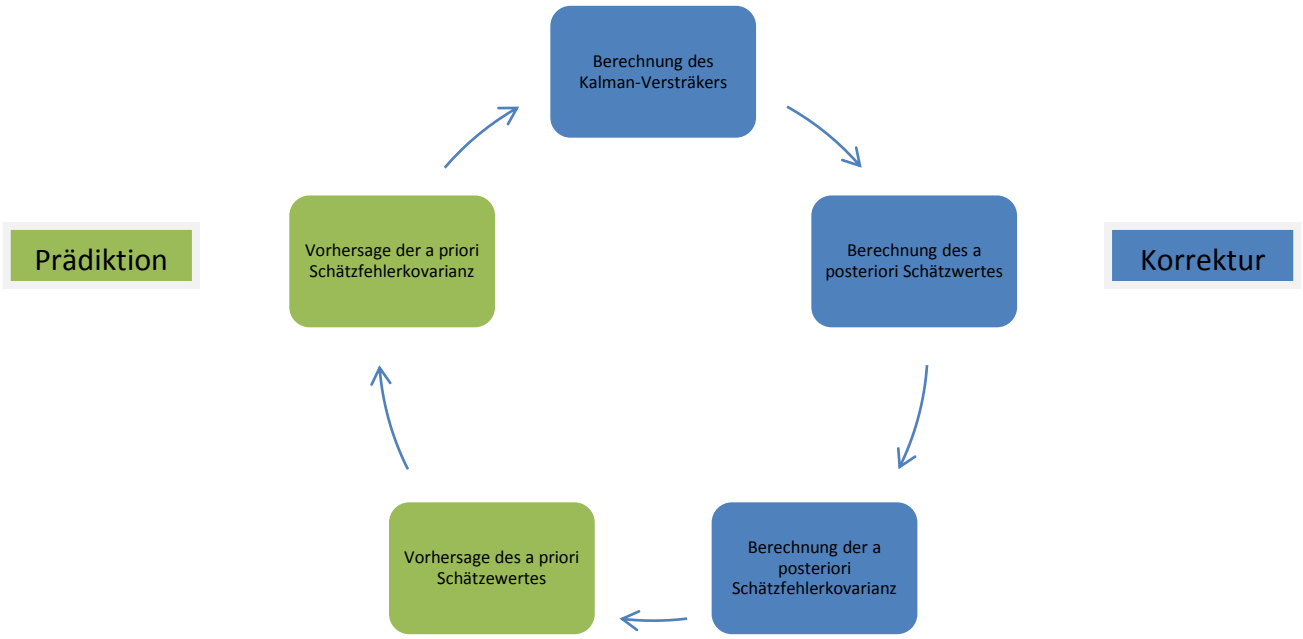

Abbildung 1 Zyklus des Kalman-Algorithmus.

3. Implementierung

3.1 Aufbereitung der Daten

Bevor die Daten interpoliert und ausgewertet werden können, müssen sie zunächst aufbereitet werden. Gegebenenfalls kann es bei der Generierung der Daten vorkommen, dass zu einem Zeitstempel zwei Standorte erfasst werden. Diese werden im ersten Schritt aus den Rohdaten entfernt, dabei wird einer der beiden Zeitstempel gelöscht und die beiden Datenpunkte gemittelt.

Ferner weisen die Rohdaten Lücken auf, diese werden in einem ersten Schritt für die Segmentierung genutzt und im zweiten Schritt gegebenenfalls aufgefüllt um eine halbwegs konstante Zeitreihe zu gewährleisten. Ist die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitstempeln t und t+1 größer als 9 Sekunden, wird die Distanz zwischen beiden Punkten ermittelt und kontrolliert, ob die Biene die Strecke theoretisch mit einer gegebenen Mindestgeschwindigkeit geflogen ist. Somit kann angenommen werden, dass die Biene die Strecke mehr oder weniger direkt und ohne größere Kursabweichungen abgeflogen ist. Ist dies nicht der Fall wird der Flug an dieser Stelle geteilt. Alle Lücken welche nicht zur Teilung genutzt wurden, werden im nachfolgenden Schritt aufgefüllt. Dazu wird ein neuer Zeitstempel zum Zeitpunkt t+3 Sekunden einfügt. Die dazugehörigen Koordinatenpunkte werden mit NaN aufgefüllt. Dies wird wiederholt, solange die Differenz zwischen zwei Zeitpunkten größer als 4 Sekunden ist.

Abbildung 2 Beispiel aufbereiteter Daten.

Die grünen Punkte markieren den Start eines jeden Segments, die roten Dreiecke deren Ende. Bei einer durchgehenden Linie lagen mindestens alle 3 Sekunden Datenpunkte vor. Die dünngestrichelte Linie hebt Lücken von mehr als 9 Sekunden hervor und die lang gestrichelte Linie weist auf Lücken von 4 bis 9 Sekunden hin. Die Unterschiedlichen Farben markieren unterschiedliche Segment, somit lag eine Unterbrechung der Daten von mehr als 9 Sekunden vor, die zu dem nicht ohne weiteres plausibel erklärt werden könnte.

3.2 Interpolation

Der Kalman-Filter wurde aus zwei Gründen für die Implementierung bemüht. Zum einen dient er der Filterung von Messfehlern und zum anderen der Schätzung von unbekannten Datenpunkten. Zur Optimierung der Ergebnisse wird der Kalman-Filter dabei nicht nur auf die Position sondern auch auf den aktuellen Bewegungsvektor angewendet. Ferner erfolgt die Berechnung sowohl in als auch gegen die Flugrichtung. Die beiden so getroffenen Vorhersagen werden anschließend gemittelt, dadurch sollen Drifts bei der Vorhersage ausgeglichen werden.

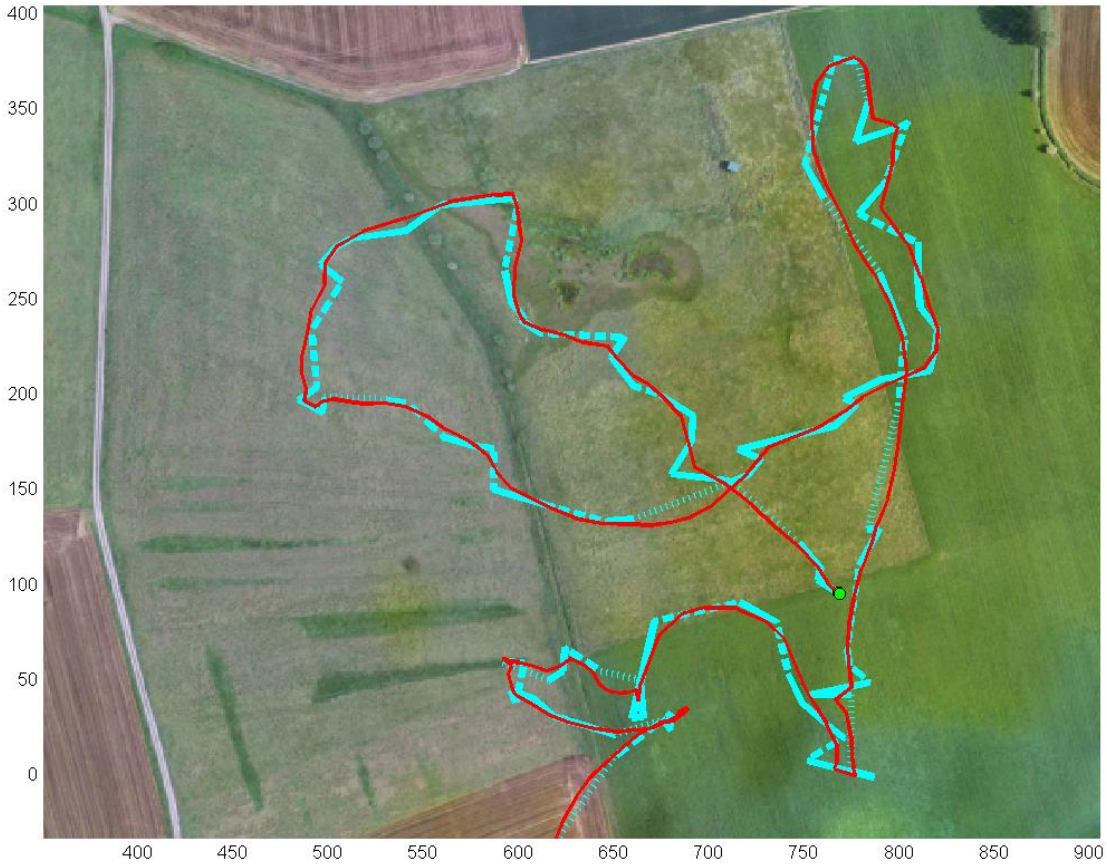

Abbildung 3 Beispiel einer Interpolation.

Die rote Linie zeigt die Interpolation, Türkis stellt die Rohdaten nach der Aufbereitung dar.

3.3 Finden von linearen Segmenten

Lineare Segmente sind definiert als Passagen in denen eine Biene auf einer Strecke, mit einer vorher definierten Mindestlänge, in eine Richtung geflogen ist. Die linearen Segmente in den Flügen, werden in einem mehrstufigen Prozess ermittelt, welcher dabei auf die Methodik des „Divide and Conquer“ zurückgreift. Begonnen wird mit einer Vorbereitung der Daten, hierbei werden von jedem Datenpunkt aus lineare Segmente gesucht, indem die Vektoren zweier aufeinander folgender Datenpunkte addiert werden, bis entweder ein Fehlerschwellwert überschritten wird oder aber der aktuell zu addierende Vektor im Winkel von dem vorangegangenen beziehungsweise des bisher gebildeten linearen Segments um mehr als 80° abweicht. Das so gefundene Segment wird in einem zweiten Schritt noch etwas getrimmt, wobei die letzten Punkte so lange entfernt werden, bis die Winkelabweichung des letzten Vektors des Segments vom Startvektor und dem Gesamtvektor des Segments unterhalb eines Schwellwertes bleibt. Nun kommt es zum „Divide and Conquer“. Es liegt nun zu jedem Datenpunkt das maximal mögliche lineare Segment vor, um daraus das Längste zu ermitteln, welches zudem eine Mindestlänge überscheitet. Wurde eines gefunden wird es gespeichert, wenn nicht wird es als Suchflug markiert. Anschließend wird der Vorgang jeweils mit den verbleibenden Daten vor und nach dem linearen Segment / Suchflug wiederholt, bis keine Daten mehr vorliegen.

Abbildung 4 Beispiel für die Erkennung von linearen Segmenten.

Rot markiert die linearen Segmente.

3.4 Finden von Vektorflügen und Homingflügen

Als Vektorflug, wird das Flugsegment eines jeden Fluges bezeichnet, welches linear ist, in der Nähe des Release startet, mindestens so lang ist wie die direkte Strecke zwischen Futterstelle und Bienenstock und um nicht mehr als ±22.5° vom Flugvektor zwischen Futterstelle und Bienenstock abweicht. Dazu wird aus den zuvor gefundenen linearen Segmenten das Erste auf die Erfüllung der Kriterien geprüft.

Homingflüge sind solche, bei denen ein lineares Segment in der Nähe des Bienenstocks endet.

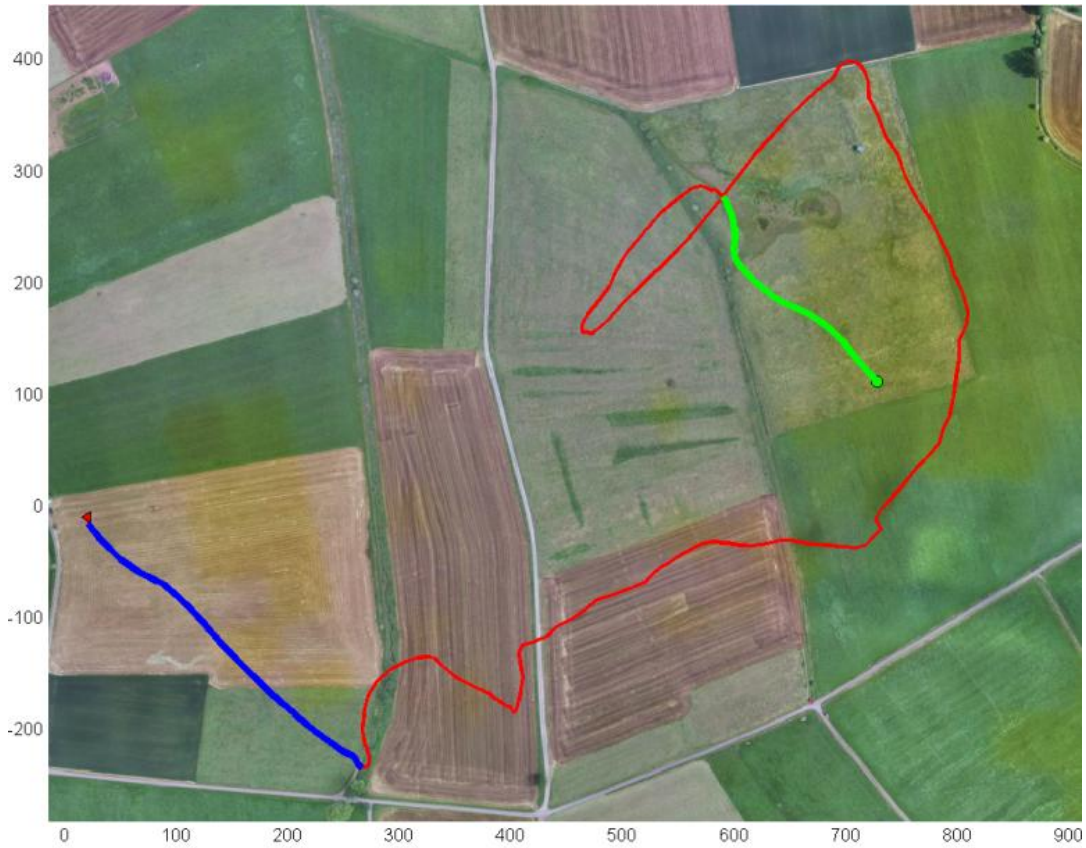

Abbildung 5 Beispiel von detektierten Homing- und Vektorflügen.

Grün markiert den Vektorflug und Blau den Homingflug.

3.6 Weitere Analysefunktionen

Weitere Analysefunktionen überprüfen ob gegebene Landmarken wie die Futterstellen passiert oder der Release erneut aufgesucht wurden. Ferner werden Start-, Endpunkte und Übergänge von linearen Segmenten in ihrer Verteilung betrachtet, um bei Anhäufungen später die Bodenstrukturen genauer zu betrachten. Auch werden die Winkel von Vektor- und Homingflügen in Relation sowohl zur X-Achse als auch zum theoretischen Heimflug berechnet. In der Mitte des Feldes befindet sich zudem noch ein Pfad der dem am Bienenstock ähnelt, weshalb in dessen Umfeld nach linearen Segmenten gesucht wird. Dazu wird eine binäre Karte des Feldes erstellt, wobei die Bereiche des Pfades mit 1 und alle anderen mit 0 markiert werden. Liegen nun mehrere Datenpunkte eines linearen Segments auf dem Pfad wird bei deren Addition ein Schwellwert überschritten und das lineare Segment wurde als auf dem Pfad liegend erkannt.

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden einige Ergebnisse des Programms dargestellt und ausgewertet. Zunächst werden die Flüge als Ganzes betrachtet. Der Mann-Whitney-Test zeigt, dass es zwischen der Dauer (p = 0.7638), der zurückgelegten Strecke (p = 0.1686) und der Geschwindigkeit (p = 0.8151) der beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied gibt. Trotz alledem lässt sich in der Tendenz der Daten erkennen, dass die Kontrollbienen, obwohl sie im Mittel eine größere Strecke geflogen sind schneller waren. So flogen vor allem die Kontrollbienen von Futterstelle F2 schneller als jene, welche mit den Thiacloprid behandelt wurden. Ähnlich verhält es sich mit den weiteren Statistiken. Es liegen weder bei der mittleren Anzahl der linearen Segmenten, deren Übergänge, der Suchsegmente, der Benutzung der jeweiligen Futterstelle oder des Distractors signifikante Unterschiede vor. Lediglich der Weg am Bienenstock wurde signifikant häufiger von den „Treated"-Bienen benutzt (p = 0.031), wohingegen die Kontrollbienen weniger plötzliche Richtungsänderungen zeigen (p = 0.0187), beide Male wurde der Zweistichproben-t-Test verwendet.

	Control			Treated		
	F1+F2	F1	F2	F1+F2	F1	F2
Anzahl der Bienen	78	34	44	75	39	36
Mittlere Geschwindigkeit in m/s	4.42 ± 1.17	4.28 ± 1.24	4.54 ± 1.12	3.84 ± 0.92	3.71 ± 1.04	3.98 ± 0.74
Median	4.58	4.27	4.77	3.91	3.81	3.99
Mittlere Flugdistanz in m	2101 ± 1101	1918 ± 863	2242 ± 1245	2002 ± 1686	1646 ± 977	2398 ± 2174
Median	1916	1845	1946	1613	1391	1768
Mittlere Flugdauer in s	553 ± 367	570 ± 432	539 ± 312	862 ± 1118	775 ± 1064	960 ± 1184
Median	472	423	513	432	428	484
Mittlere Anzahl der linearen Segmente	7.73 ± 4.68	7.5 ± 4.34	7.91 ± 4.97	7.53 ± 7.36	6.26 ± 4.85	8.94 ± 9.37
Mittlere Anzahl der Übergänge	1.38 ± 1.83	1.44 ± 1.5	1.34 ± 2.07	1.47 ± 2.08	1.18 ± 1.47	1.8 ± 2.59
Mittlere Anzahl der Suchsegmente	5.1 ± 3.49	4.85 ± 3.37	5.3 ± 3.6	4.76 ± 5.57	3.77 ± 3.83	5.86 ± 6.93
Feeder passiert	8	4	4	3	0	3
Release erneut aufgesucht	20	3	17	11	3	8
Distractor benutzt	20	15	5	16	10	6
Weg am Bienenstock benutzt	11	1	10	21	4	17
Mittlere Anzahl der Richtungsänderungen	4.7 ± 4.77	5.59 ± 5.26	4.02 ± 4.29	8.35 ± 12.63	6.87 ± 7.34	10 ± 16.64

Tabelle 1: Allgemeine Auswertung der Flüge

Da die Anzahl der gefundenen Vektorflüge je Gruppe recht klein ist, lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Generell bleibt aber zu sagen, dass beide Gruppen gleich viele Vektorflüge aufweisen, die Kontrollgruppe etwas schneller war und früher den Vektorflugabbrach. Der Unterschied beim Abbruch des Vektorfluges zeigt sich besonders deutlich bei den Bienen, welche auf Futterstelle 2 trainiert wurden.

Bei den Homingflügen waren die Kontrollbienen signifikant schneller (Zweistichproben-t-test: p = 0.0362). Zusätzlich haben die Kontrollbienen auch früher mit dem Homingflug begonnen, hier liegt jedoch erneut keine Signifikanz vor.

	Control			Treated		
	F1+F2	F1	F2	F1+F2	F1	F2
Vektorflug						
Anzahl der Bienen	26	10	16	26	11	15
Mittlere Geschwindigkeit in m/s	5.18 ± 2.08	4.91 ± 1.12	5.28 ± 2.4	4.33 ± 2.04	4.36 ± 2.3	4.28 ± 1.93
Median	5.31	5.28	5.4	5.14	4.3	5.14
Mittlere Flugdistanz in m	278.23 ± 63.57	288.56 ± 74.69	271.77 ± 57.21	298.3 ± 100.01	282.86 ± 74.85	309.62 ± 116.42
Median	267.95	272.41	259.83	283.8	293.92	273.68
Mittlerer Winkel		36.11 ± 6.75	-47.6 ± 9.41		33.53 ± 6.66	-34.13 ± 26.91
Median		35.53	-62.36		30.84	-41.77
Mittlere Winkelabweichung		-12.3 ± 5.13	8.5 ± 5.9		-14.26 ± 6.42	-4.72 ± 7.07
Median		-12.16	7.98		-16.85	2.43
Homingflüge						
Anzahl der Bienen	70	30	40	64	35	29
Mittlere Geschwindigkeit in m/s	5.21 ± 1.86	5.2 ± 1.57	5.21 ± 2.03	4.46 ± 1.59	4.63 ± 1.48	4.17 ± 1.76
Median	5.07	4.83	5.26	4.69	4.77	4.56
Mittlere Flugdistanz in m	340.77 ± 191.54	324.91 ± 132.87	352.65 ± 226.82	315.34 ± 176.92	328.03 ± 168.84	300 ± 188.05
Median	304.15	301.48	314.93	277.82	308.98	272.64
Mittlerer Winkel		4.71 ± 30.08	13.87 ± 44.77		-0.41 ± 28.64	23.33 ± 55.64
Median		11.98	10.97		4.59	2.97
Mittlere Winkelabweichung		-1.92 ± 8.5	-1.76 ± 11.47		-1.49 ± 7.56	0.46 ± 19.64
Median		-1.96	-2.05		-1.11	-1.19

Tabelle 2: Auswertung Vektor / Homingflug

Die folgende Gegenüberstellung der 4 Fluggruppen zeigt jeweils alle Flüge einer Gruppe auf einer Karte. Dabei fällt auf, dass es zwar keine großen Unterschiede zwischen der Kontroll- und der „treated“-Gruppe gab, jedoch einen zwischen den beiden Futterstellen.

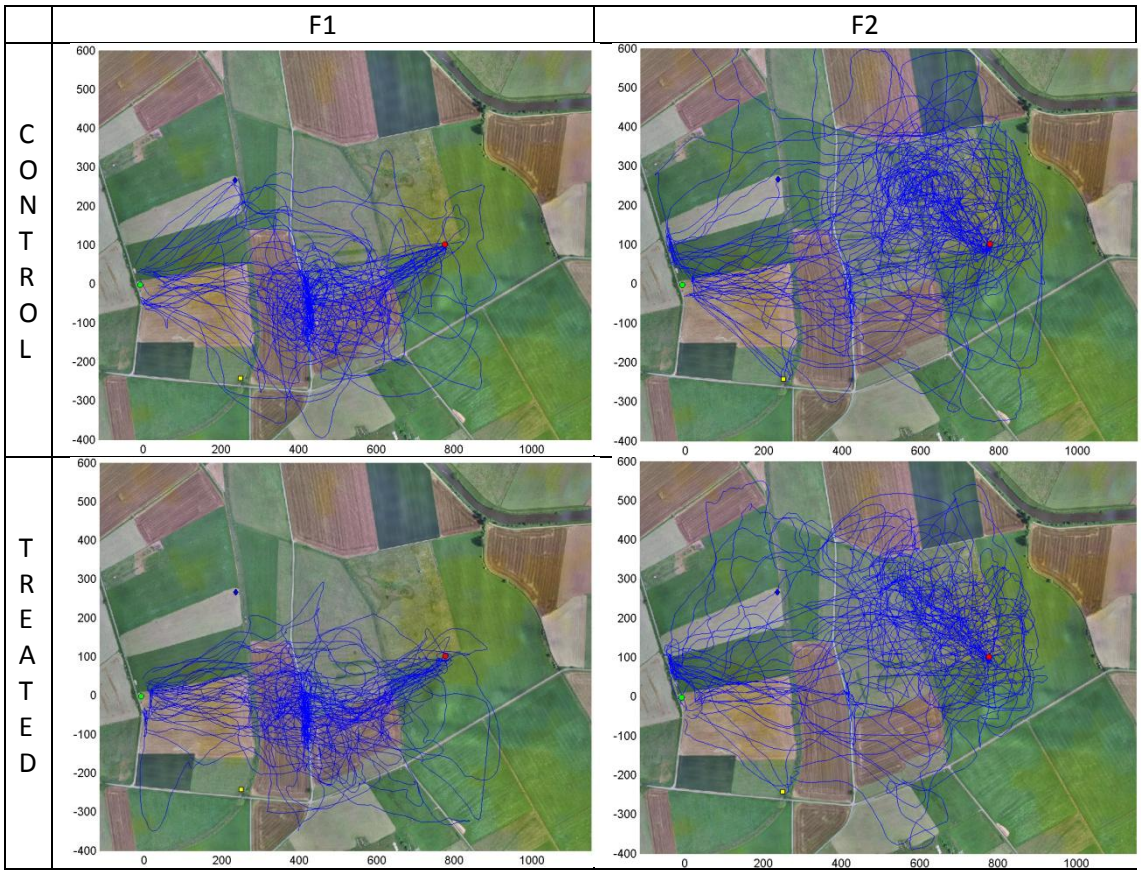

Abbildung 6 Vergleich der 4 Fluggruppen

Der Vergleich der Vektorflüge als Plots zeigt erneut, dass es lediglich einen Unterschied zwischen den Futterstellen gibt. Dieser zeichnet sich hier im Hinblick auf die Streuung und die Anzahl der Flüge ab.

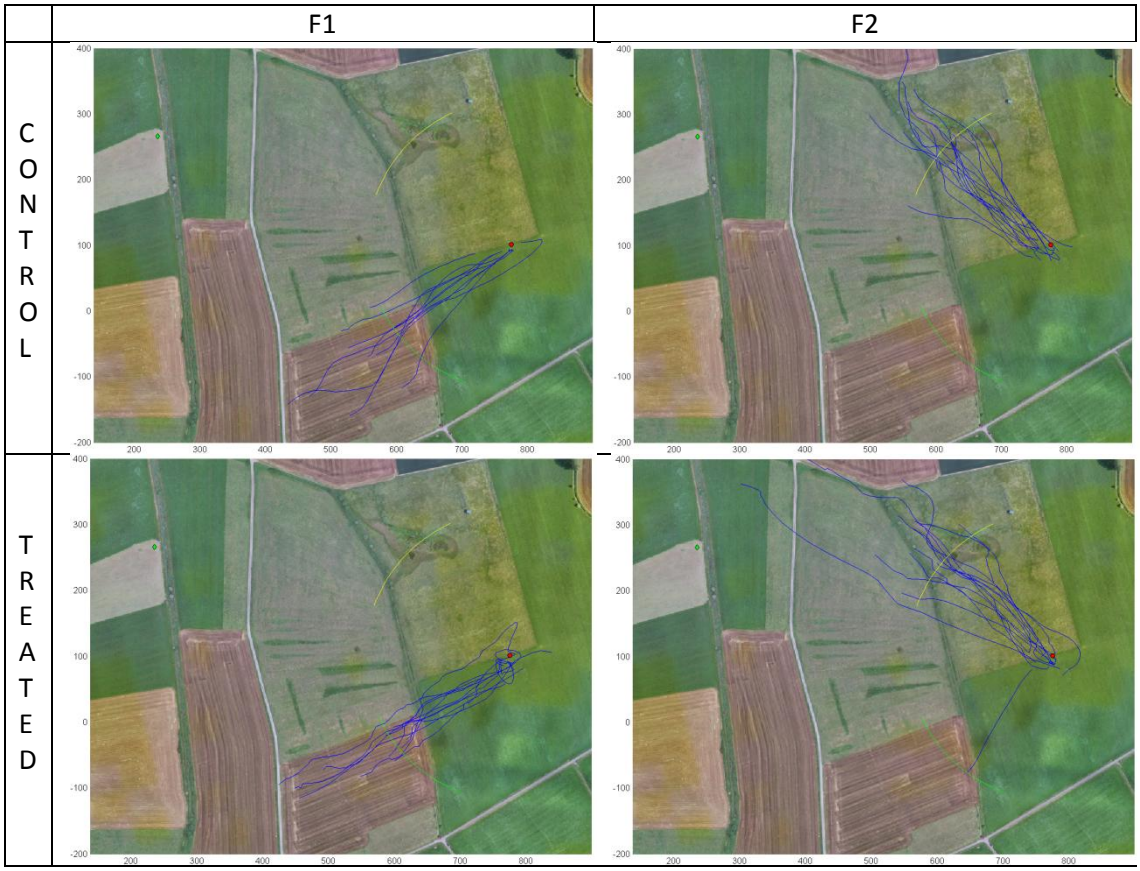

Abbildung 7 Vergleich der Vektorflüge

5. Auswertung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es lediglich im Hinblick auf die mittlere Anzahl an spontanen Richtungsänderungen, der Geschwindigkeit beim Homing und der Benutzung des Weges am Bienenstock signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den mit Thiacloprid behandelten Bienen gab. Diese und die generellen Tendenzen in den Ergebnissen lassen dennoch einen Einfluss des Thiacloprids auf das Lernverhalten der Bienen vermuten. So ist anzunehmen, dass weniger Kontrollbienen den Weg hinter dem Bienenstock entlang flogen, da sie auf Grund ihrer besseren Orientierung direkter auf den Bienenstock zu flogen. Auch die geringere Geschwindigkeit und die häufigen Richtungsänderungen der behandelten Bienen, deuten auf erhöhte Orientierungsprobleme hin. Zusätzlich sei darauf hingewiesen, dass der vorliegende Datensatz nur Bienen enthielt, welche den Bienenstock nach ihrer Freilassung erreich haben. In einer vorher manuell getätigten Analyse auf dem ursprünglichen Datensatz wurde zudem festgestellt, dass signifikant mehr Kontrollbienen den Bienenstock erreicht haben. (Tison, 2016)

Neben dem Unterschied zwischen den mit Thiacloprid behandelten Bienen und der Kontrollgruppe zeichnete sich auch ein Unterschied zwischen den beiden Futterstellen ab. Dazu sei erwähnt, dass sich die Futterstelle F1 und die Stelle an welcher die Bienen wieder freigelassen wurden auf dem freien Feld befanden und sich somit ähnelten, wohingegen Futterstelle F2 in der Nähe von Bäumen und Büschen gelegen war. Dies könnte erklären wieso die Bienen der F1-Gruppe nach ihrer Freilassung unbeirrt ihren Vektorflug starteten. Ein erhöhtes Suchflugverhalten nach der Freilassung war hingegen auf den Plots und Zahlen der F2-Gruppe zu entnehmen. In der F1-Gruppe wurde auch der Distractor häufiger benutzt, welcher in seiner Beschaffenheit dem Weg hinter dem Bienenstock ähnelte. Das kann als weiteres Indiz dafür genommen werden, dass sich die Bienen am Ende des Vektorfluges fälschlicherweise immer noch in ihrer vermuteten Position bestätigt fühlten.

6. Ausblick

Alles in allem konnte sich durch die Auswertung der Daten mit Hilfe des Programms ein Einfluss des Thiacloprids auf das Lernverhalten der Bienen andeuten lassen. Zusätzlich wurde auch ein Einfluss der Futterstellen aufgezeigt.

Während der Entwicklung des Programms wurde schon ein Ableger für ein anderes Experiment geschrieben, womit sich die angestrebte Modularität im Ansatz bewiesen hat. Dabei kristallisierte sich jedoch heraus, dass das Programm für die Auswertung der Experimente noch zu starr ist und somit noch zu sehr auf das jeweilige Experiment angepasst werden muss. Lediglich die Aufbereitung der Daten, einige grundlegende Auswertungsfunktionen sowie einfache Plotfunktionen können jetzt schon universell eingesetzt werden.

Zusätzlich sollten noch weitere Analysefunktionen mit eingebunden werden. Hierbei könnte zum Beispiel die Bodenstruktur mit in Betracht gezogen werden. Ferner könnten auch weitere Flugtypen definiert werden, die zwar nicht gerade verlaufen, aber dennoch keinen Suchflug darstellen. So könnte eine Biene beispielsweise einen Weg verfolgen.

Literaturverzeichnis

Greg Welch, G. B. (24. 07 2006). *An Introduction to the Kalman Filter.* Abgerufen am 13. 03 2017 von http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf

Menzel. (01. 09 2012). *Navigation und Kommunikation bei Bienen*. Abgerufen am 24. 04 2017 von http://www.neurobiologie.fu-berlin.de/menzel/Pub_AGmenzel/Berlin%20Lehrerfortbildung%20Sept%202012%20Navigation%20und%20Kommunikation.pdf

Tison, H. H. (2016). *Honey Bees' Behavior Is Impaired by Chronic Exposure to the Neonicotinoid Thiacloprid in the Field.* Environmental Science and Technology.