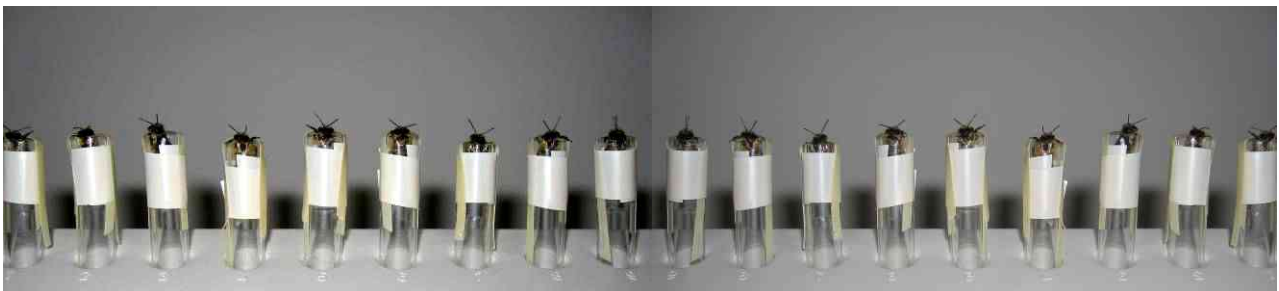


Versuche zur klassischen Konditionierung der Honigbiene auf den Duft von Hanfdrogen

Maturaarbeit 2008 im Fach Biologie
an der Kantonsschule Sursee

Silvan Kaufmann
6k
Betreuer: David Stadler



Abstract

Die Zielsetzung dieser Arbeit war, in einem ersten Schritt eine geeignete Methode und einen funktionstüchtigen Versuchsaufbau zu finden, um den Rüsselreflex der Honigbiene *Apis mellifera* klassisch auf Düfte zu konditionieren. Die Entwürfe konnten beim englischen Biotech-Unternehmen Inscentinel Ltd. besprochen und ergänzt werden. Danach wurden durch die Auswertung von Testversuchen Faktoren und Parameter betreffend Versuchsaufbau und Trainingsvorbereitung verändert und optimiert.

In einem zweiten Teil der Arbeit wurde den Versuchen mit der Wahl der zwei Betäubungsmittel Marihuana und Haschisch den praktischen Bezug zur Drogenfahndung gegeben.

Das Ziel der Arbeit war, Nektar- und Pollensammlerinnen per Vorwärtsparung zu Drogendetektorinnen zu konditionieren, welche auch geringste Geruchskonzentrationen in der Luft erkennen konnten.

Es wurde zudem ermittelt, ob die Verwandtheit der beiden Betäubungsmittel einen Einfluss auf das Lernverhalten der Bienen hat. Gegenstand der Untersuchungen war also die These, dass auf Marihuana trainierte Bienen auch einen Rüsselreflex zeigen, wenn ihnen Haschisch präsentiert wird, und umgekehrt.

Die Reaktionen der 129 verwendeten Bienen zeigten, dass im ersten Fall 40 Prozent, und im zweiten Fall 68 Prozent der Bienen auf den Duft der jeweiligen Drogenprobe reagierten. Einige lernten also gleich beide Düfte, während andere nur den einen erkannten.

Zur Erklärung sei angemerkt, dass Insekten über 50 bis 100 verschiedene Riechrezeptoren verfügen, von denen jeder einzelne ein definiertes Spektrum an chemischen Duftmolekülen erkennen kann.

Beim Training nehmen sich die Bienen einen dieser Einzeldüfte heraus und lernen ihn. Dieser wird von einem der Rezeptoren erkannt. Da Haschisch und Marihuana aufgrund ihrer Verwandtheit mehrere solcher gleichen chemischen Duftmoleküle besitzen, ist naheliegend, dass einige Bienen genau diejenigen lernen, welche in beiden Stoffgemischen vorkommen. Jene Bienen zeigen also bei beiden Tests eine Reaktion, während die anderen nur jenes Molekül erkennen, welches nur bei einer der Drogenproben vorkommt.

Zudem konnte bestimmt werden, dass der Trainingserfolg der Biene mit zunehmender futterloser Zeit in der Box grösser wurde, der Wille zum Lernen also durch den Hunger bestimmt war. Die Zahl jener Bienen, die das erste Mal eine Reaktion auf ein Testmittel zeigten, nahm vom ersten bis zum vierten Trainingsdurchgang ab. Festzustellen war, dass 41 Prozent der Versuchsbienen einen Duft schon nach nur einem Trainingsdurchgang gelernt hatten.

Gesamthaft war das Konditionieren bei rund der Hälfte der trainingstauglichen Bienen erfolgreich. Der Rest der Bienen musste aus Gründen wie kein Rüsselreflex, Reaktion auf eine Nullprobe, Tod, schwaches Erscheinungsbild oder Entkommen aus der Halterung der Auswertung entzogen werden.

Durch statistische Auswertungen wurde zu 97.2 Prozent eine Signifikanz für die unterschiedlichen Reaktionen auf die Gegenprobe errechnet.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	
Inhaltsverzeichnis.....	
1 Einleitung	1
2 Material und Methode.....	4
2.1 Versuchsmaterial.....	4
2.2 Vorbereitung.....	7
2.3 Fixierung	8
2.4 Versuchsaufbau	9
2.5 Versuchsablauf und Versuchsprotokoll.....	10
2.6 Trials im Detail	11
2.6.1 Selektionsdurchgang.....	11
2.6.2 Trainingsdurchgang x mit Betäubungsmittel a	12
2.6.3 Trainingsdurchgang y mit Betäubungsmittel b	12
2.6.4 Nullprobe.....	12
3 Resultate.....	13
3.1 Allgemeines.....	13
3.2 Weitere Ergebnisse	14
4 Diskussion.....	16
4.1 Verschiedene Duftspektren als Erklärung für das Erlernen zweier Düfte	16
4.2 Abhängigkeit des Trainingserfolges von der futterlosen Zeit.....	17
4.3 Schnelles Training – doch viele Entnahmen	18
5 Reflexion	19
6 Quellen/Literatur.....	23
7 Danksagung.....	24
8 Anhang.....	25
8.1 Abkürzungen	25
8.2 Dokumente.....	25
9 Redlichkeitserklärung	

1 Einleitung

Forschung an der Honigbiene

Aufgrund spezieller Kommunikationsformen, altruistischem Verhalten und einem enorm ausgeprägten Geruchssinn wurde die Honigbiene *Apis mellifera* in der Vergangenheit mehrmals zum Objekt wissenschaftlicher Forschung.

Die Tanzsprache wurde schon in der Antike von Aristoteles beschrieben. Um 1920 führte der Verhaltensforscher Karl von Frisch weiterführende Untersuchungen durch. Für seine Entschlüsselung des Tanzes wurde er mit dem Nobelpreis geehrt. Im Jahre 1957 entdeckte Kuwabara, dass das Rüsselreflexverhalten (PER) der Honigbiene klassisch konditionierbar ist [1].

Per Definition ist ein Reflex eine schnelle, unwillkürliche und stereotype Reaktion des Nervensystems auf einen Reiz. Das reflexartige Ausrollen des bis zu 7mm [2] langen Rüssels der Honigbiene ist bedingt durch eine Berührung einer ihrer Antennen mit einer zuckerhaltigen Lösung. Bei einem Blütenbesuch kommt eine Antenne mit Nektar in Berührung und das darauf folgende Ausrollen des Rüssels ermöglicht eine Futteraufnahme. Durch die damit verbundene Information über das Vorhandensein von Nektar lernt die Biene den Duft einer Blüte, und wird weitere jener Sorte besuchen. Dies wird als Blütenstetigkeit der Honigbiene bezeichnet.

Mit exakt diesem Vorgang auf der Blüte konditioniert sich die Biene selbst auf einen Blütenduft. Sie hat nun das Ziel, den gespeicherten Duft aufzuspüren, welcher eine Belohnung in Form von Futter verspricht. Dies erfordert aber einen enorm leistungsstarken und ausgeprägten Geruchssinn, der im Falle der Honigbiene den des Menschen um bis zu hundert Mal überragt und besser ist als jener von Hunden [3].

Enorme Sinnesleistung

Mit den beiden beweglichen Antennen am Kopf fühlt, riecht, tastet, hört und orientiert sich die Biene. Die Antennen sind gegliederte, dünnwandige Röhren, deren Inneres ein zartes Gewebe einnimmt. Jenes ist durchzogen von Blutgefäßen, feinen Luftröhrchen, sowie vielen Nervenzellen. Die Geißelglieder der Fühler sind dicht mit verschiedenen Sinnesorganen, den Haarsensillen und Riechkegel besetzt, die aus Poren ragen. Durch diese Poren in der Cuticula gelangen Duftstoffe auf direktem Weg zu den Rezeptorproteinen an den Dendriten der Geruchssinneszellen [4].



Abb. 1: Die zehngliedrige Antenne mit Schaft und Wendeglied [5].

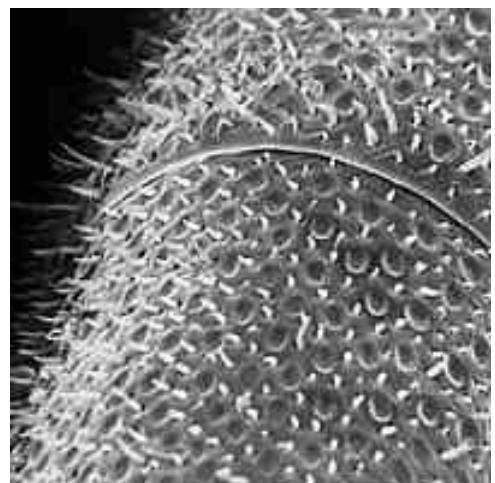


Abb. 2: Riechhaare und Porenplatte [6].

Die Riechrezeptoren sprechen dabei hoch empfindlich auf Blütendüfte oder Pheromone an. Insekten verfügen über 50 bis 100 verschiedene Riechrezeptoren, von denen jeder einzelne ein definiertes Spektrum an chemischen Duftmolekülen erkennen kann.

Grundsätzlich funktioniert das Riechen der Insekten ähnlich wie bei allen Wirbeltieren bis hin zu den Menschen. Die Wechselwirkung eines Duftstoffes mit dem Rezeptor in der Membran der Riehzelle führt zur Aktivierung einer Signalverstärkungskaskade im Zellinneren.

Im Gegensatz zu Wirbeltieren, bei denen in jeder Riehzelle nur ein Typ der Rezeptorproteine existiert, kommt bei Insekten aber noch ein zweites Rezeptorprotein vor, das unspezifische. Es ist in allen Riehzellen einer bestimmten Spezies (z.B. der Honigbiene) identisch und selbst bei unterschiedlichen Insektenarten in seiner Struktur sehr ähnlich. Das in allen Riechsinnzellen vorkommende unspezifische Rezeptorprotein lagert sich mit dem spezifischen Rezeptor im Doppelpack zusammen an. So trägt es dazu bei, dass das spezifische Rezeptorprotein eine drastisch erhöhte Affinität zu Duftmolekülen erhält. Dies führt zu einer enormen Verbesserung der Riechleistung von Insekten [7]. Und das bei einem Gehirnvolumen von rund einem Kubikmillimeter. Dies entspricht rund 950000 Neuronen [4].

Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Klassen von Neuronen unterscheiden, die Lernen und Gedächtnis generieren: Die sensorischen Neuronen tragen Informationen von spezialisierten Nervenzellen, den Rezeptorzellen, in das Nervensystem hinein. Die Rezeptorzellen übersetzen Reize wie Licht, Hitze, Berührung oder Geräusche in neuronale Reaktionen in Form elektrischer Impulse, die dann von den sensorischen Neuronen in die neuronalen Netze des Gehirns weitergetragen werden. Als zweite Klasse tauchen die Motorneurone auf, welche in direktem Kontakt mit den Muskeln stehen. Sie erzeugen die als Verhalten messbaren Aktionen. Jene Neuronen, welche zwischen Motorneuronen und sensorischen Neuronen liegen, werden als Interneurone bezeichnet.

Für die Suche nach Nektar und Pollen, das Erkennen der einzelnen Mitglieder des Staates, und für die Wirkung der Pheromone der Königin, ist dies unerlässlich.

Pawlow und die klassische Konditionierung

Diese Fähigkeit, einzelne Duftkomponenten aus einem olfaktorischen Wirrwarr herauszufiltern und zu erkennen, verwendet ein englisches Biotech-Unternehmen mit dem Namen Inscentinel Ltd., um Sprengstoffe, Drogen und Krankheitserreger aufzuspüren. Das Training solcher Schnüffelbienen geschieht mit der Methode der klassischen Konditionierung.

Die Methode der klassischen Konditionierung wurde vom russischen Physiologen Iwan Petrowitsch Pawlow begründet. Sie besagt, dass einem natürlichen, meist angeborenen und unbedingten Reflex künstlich ein neuer, bedingter Reflex, hinzugefügt werden kann.

Ausgegangen wird von einem unkonditionierten Reiz (unconditioned stimulus, kurz US), der als Reflex eine unkonditionierte Reaktion (UR) auslöst. Wird nun vor dem US mehrfach ein bislang neutraler Reiz (NS) präsentiert, so wird jener letztere zum konditionierten Reiz (CS). Er löst nun ebenfalls eine Reflexreaktion (die konditionierte Reaktion CR) aus.

Das eben beschriebene Verfahren wird als Vorwärtspaarung bezeichnet (CS vor US). Als weitere Elemente der Verhaltensforschung sind auch Rückwärtskonditionierung (US vor CS) und Extinktion (Aktiver Prozess zum Auslösen von Gedächtnisinhalten, CS wird wieder zum NS) von Bedeutung. Das zeitlich und räumlich gemeinsame Auftreten der beiden Stimuli CS und US bezeichnet man als Kontiguität und ist eine Voraussetzung für eine Konditionierung [4].

Klassische Konditionierung am Beispiel der Honigbiene

Bei der Vorwärtspaarung funktioniert das Training der Bienen nun folgendermassen: Wenn die Antenne einer Honigbiene mit einer Zuckerlösung berührt wird (US), führt dies zum Rüsselreflex (UR). Präsentiert man der Biene jeweils kurz vor dieser Berührung einen Duft (NS), beispielsweise jener von TNT (Sprengstoff), wird der bislang neutrale Reiz, der Duft, zu einem konditionierten Reiz (CS). Er hat nun wiederum den Rüsselreflex zur Folge, der nun aber eine konditionierte Reaktion ist (CR) [4].

Ziel ist, dass bei trainierten Bienen der Rüsselreflex sofort erfolgt, wenn jener bestimmte Duft in der Luft liegt, den sie mit einer Futtergabe verbinden. Diese Rüsselbewegung kann mittels einer Kamera mit Erkennungssoftware oder auch visuell erkannt werden.



Abb. 3: Fürs Training gehaltene und vorbereitete Bienen in Reih und Glied.

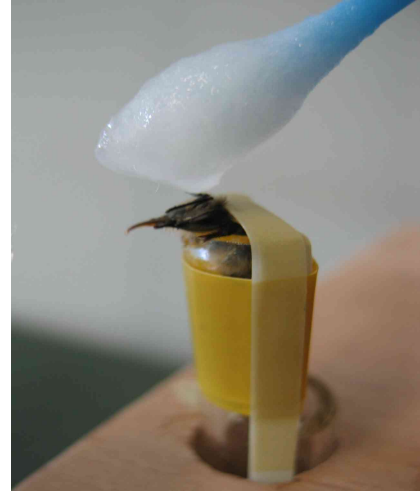


Abb. 4: Eine Biene rollt ihren Rüssel aus (UR), nachdem der Reflex durch Berühren der Antenne mit einer Zuckerlösung (US) ausgelöst wurde.

Ein Anwendungsbeispiel

Eine Gruppe solcher Tiere kann nun als enorm empfindlichen Detektor fungieren, welcher geringste Geruchskonzentrationen wahrnimmt. Es ist möglich, mehrere Bientteams auf verschiedene Gerüche zu trainieren. Sie werden in einem Behälter mit einer Öffnung platziert. Von dieser aus führen kleine Teflonschläuche zu je einer Biene und leiten die Aussenluft über die Antennen der Bienen. Etwaige Rüsselbewegungen werden mittels Sensor sofort erkannt und bei einer Häufung von zeitgleichen Reaktionen kann ein Vorhandensein eines gefährlichen Stoffes bestimmt werden [8].

Das Einsatzgebiet dieser Bienen ist gross. Auf der ganzen Welt können in Flughäfen, Zöllen, Regierungsgebäuden, Krankenhäusern, Postzentren und so weiter gefährliche Stoffe, Rauschgift und Krankheitserreger erkannt werden.

Meine Versuche

Damit meine Arbeit auch einen praktischen Bezug hatte, sollten die Versuche im Sinne der Drogenfahndung mit den Betäubungsmitteln Haschisch und Marihuana durchgeführt werden.

Marihuana (Gras) wird aus weiblichen Blütenständen und Blättern der indischen Hanfpflanze *Cannabis sativa* gewonnen. Haschisch (Shit) ist gepresstes Harz aus den Blüten jener Pflanze [9].

Für die Trainings der Bienen sollten dann immer Gruppen von Bienen verwendet werden, die durch mehrere Trainingsdurchgänge (Trials) zuerst nach Tauglichkeit selektiert, und danach auf einen Duft trainiert werden. Durch Nullproben sollten Reaktionen auf andere Reize erkannt, und die betroffenen Bienen aus den Versuchsreihen entnommen werden.

Um die Frage über das Lernen eines Geruches zu beantworten, sollte auf Haschisch konditionierten Bienen vor dem letzten Durchgang, einer Nullprobe, Marihuana präsentiert werden. In der Reaktion der Probandinnen würde dann die Antwort auf die Frage zu erkennen sein. Dies ist auch insofern interessant, weil sich die beiden Stoffgemische durch die Herstellung aus der gleichen Pflanze ähneln. Somit weisen sie auch gleiche Geruchskomponenten auf.

2 Material und Methode

2.1 Versuchsmaterial

Für meine Versuche, beziehungsweise deren Vorbereitung, wurden folgende Geräte, Chemikalien und Materialien benötigt:



Abb. 5:

Vor den Versuchen wurden die Bienen in diese umgebaute Kunststoffbox einquartiert, wo sie auch gleich eine Stunde lang ein Zuckerwasser-Honiggemisch zu fressen bekamen. Die Box hat Lüftungslöcher und eine kleine Klappe, wo das Futter hineingegeben oder entfernt wird. Sie misst 14.4 * 9.0 * 16.4 (L * B * H in cm). Ein nasses Tuch imitiert das feuchte Klima im Bienenstock. Der Post-it Zettel an der Front zeigt auf, seit wann das Futter in der Box ist.



Abb. 6:

Um mit lebendigen Insekten zu hantieren, ist eine Entomologiepinzette unerlässlich. Damit konnten die Bienen verletzungsfrei in die Halterungen gebracht werden.



Abb. 7:

Für die Halterung der Bienen benötigt man ein Stück Glasrohr, welches der Seite nach aufgeschnitten ist, um die Biene darin fixieren zu können. Am oberen Rand befindet sich eine Kerbe, durch die die Biene ihren Rüssel leichter ausrollen kann.

Um eine grössere Zahl an Probandinnen trainieren zu können, wurden noch weitere Halterungen aus Teflonschlauch reproduziert, was sich aber nur bedingt bewährt hat. Dies weil die Bienen dazu neigten, den Stachel im weichen Teflon zu versenken. Eine starre Halterung ist von Vorteil.

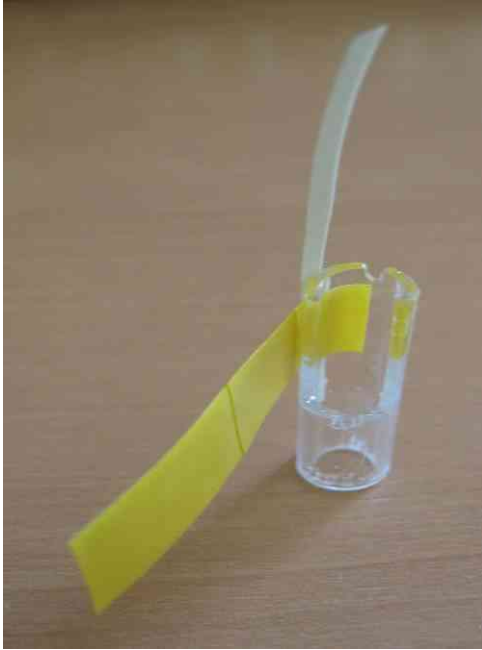


Abb. 8:

Mit zwei angebrachten Klebstreifen wird die Biene so fixiert, dass sie den Rüssel problemlos ausrollen kann. Auf den breiten Streifen (gelb) ist ein kleines Stück geklebt, was die Haftung an der Biene selbst verhindert. Bei Bedarf kann der Kopf noch mit schmalen Klebeband (weiss) gerichtet werden, damit der Rüssel problemlos über die Kerbe ausgerollt werden kann.

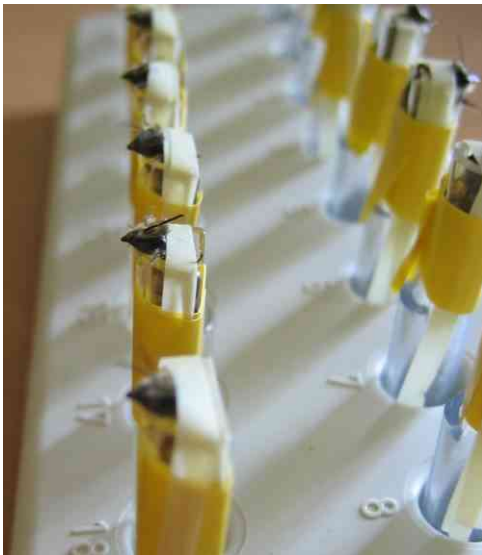


Abb. 9:

Fixiert und bereit fürs Training: Bienen auf dem Reaktionsgefässständer aus Kunststoff von Brand, welcher sich durch seine Lochgrösse und Nummerierung als optimales Hilfsmittel erwiesen hat. Die Probandinnen können von Hand oder mit einer Pinzette daraus entnommen und an die gleiche Stelle zurückgesetzt werden.

NP1 o.B.	TD3 (4)	TD4 (5)	TD5 (6)	NP2 c
			Haarstrich	
8.55	8.40	8.46	8.56	9.0
- -	- +	- +	Re	-
- -	+ +	+ +	+ +	-
- -	+ +	+ +	- -	-
- -	- -	- -	Re	-
- -	- +	- +	Re	-
- -	- +	+ +	- -	-
- -	+ +	+ +	- -	-
- -	- +	Re		

Abb. 10:

Um die grosse Menge an Versuchsergebnissen und sonstigen Daten besser verarbeiten zu können, wurde zu jedem Versuch ein übersichtliches und exaktes Versuchsprotokoll geführt. Neben Angaben zur Vorbereitung und Herkunft der Bienen, Uhrzeit, Versuchsnummer, Datum und Versuchsaufbau, ist jeder Biene eine Zeile und jedem Trainingsdurchgang eine Spalte zugeordnet. Wann nun eine bestimmte Biene einen Rüsselreflex gezeigt hat, wann sie die Futteraufnahme verweigert hat und wann sie das erste Mal eine Reaktion auf eine Drogenprobe gezeigt hat, lässt sich dadurch zurückverfolgen (siehe Anhang → Musterprotokoll).



Abb. 11:
Der Versuchsaufbau befand sich grösstenteils auf einem Rolltisch mit grosser Tischfläche. Er wurde vor der Abzugskapelle platziert. Darauf kamen ein Stativ mit Stativklammer an einer Doppelmuffe und eine Hebebühne Bochem 12897.



Abb. 12:
Die Betäubungsmittel wurden in sterile 30 ml - Polypropylenspritzen gelegt, welche einen genügend grossen Durchlass gewähren und geruchsneutral sind.



Abb. 13:
Das Zuckerwasser im Verhältnis 1:1 wurde den Bienen mithilfe eines Wattestäbchens verabreicht. Es saugt das Zuckerwasser auf, speichert es gut und tropft nicht.



Abb. 14:
Ein Teil des Versuchsaufbaues, der für den Prozess des Konditionierens verwendet wurde.

2.2 Vorbereitung

Einfangen und Einlogieren

Am Vortag der geplanten Versuche wurden, je nach Versuchsumfang, zwanzig bis dreissig Honigbienen mit Gläsern eingefangen. Es ist von Vorteil, fliegende Bienen, also Pollen- oder Nektarsammlerinnen, zu verwenden. Dies weil bei diesen der Geruchssinn aufgrund ihrer Aufgabe am ausgeprägtesten ist [8]. Diese Tatsache schränkt das Einfangen auf Flugtage ein.

Die Insekten direkt von der Blüte ins Glas zu befördern, hat sich als die einfachste, zeitsparendste und schonendste Methode erwiesen. Danach wurden die Bienen in die Kunststoffbox überführt. Dazu wurde die kleine Klappe geöffnet und der Glasrand daran gehalten. Konnte nun die Hinterwand der Box noch gegen das Licht gehalten werden, flogen die Bienen sofort aus dem Glas dem Licht entgegen.

Futterteigzubereitung und Fütterung

Sobald alle Probandinnen einquartiert waren, wurde der Futterteig zubereitet. Dazu wurde ein kleines, flaches Gefäss, zum Beispiel eine Kaffeeuntertasse, verwendet. Darauf wurde ca. ein Kaffelöffel Wasser gegeben. Nun konnte das Wasser so lange mit Puderzucker bestreut werden, bis die entstandene Masse eine dickflüssige Konsistenz hatte.

Der Futterteig ist zähflüssig, damit nicht die ganze Box voller feinsten Futtertröpfchen ist, weil Bienen darin herumlaufen und anschliessend die Flüssigkeit dadurch an die Wände übertragen. In diesem Fall könnten die Bienen die ganze Nacht über Nahrung aufnehmen und wären zu satt für die Trainings am nächsten Tag.

Die Fütterungszeit betrug ungefähr eine Stunde. Dies bei einer anschliessenden futterlosen Zeit von sechzehn Stunden. Mit diesen Zeiträumen konnten die besten Resultate erzielt werden.

Über die Nacht wurde die Box mit einem feuchten Tuch überdeckt, um ein humides Stockklima zu imitieren.

Vorbereitung für die Fixierung

Sechzehn Stunden später wurden die Halterungen vorbereitet. Währenddessen wurden die Bienen im Kühlschrank bei 4°C ca. zehn bis fünfzehn Minuten gekühlt, um ihre Bewegungsfähigkeit einzuschränken. Dies vereinfacht das anschliessende Haltern.

2.3 Fixierung

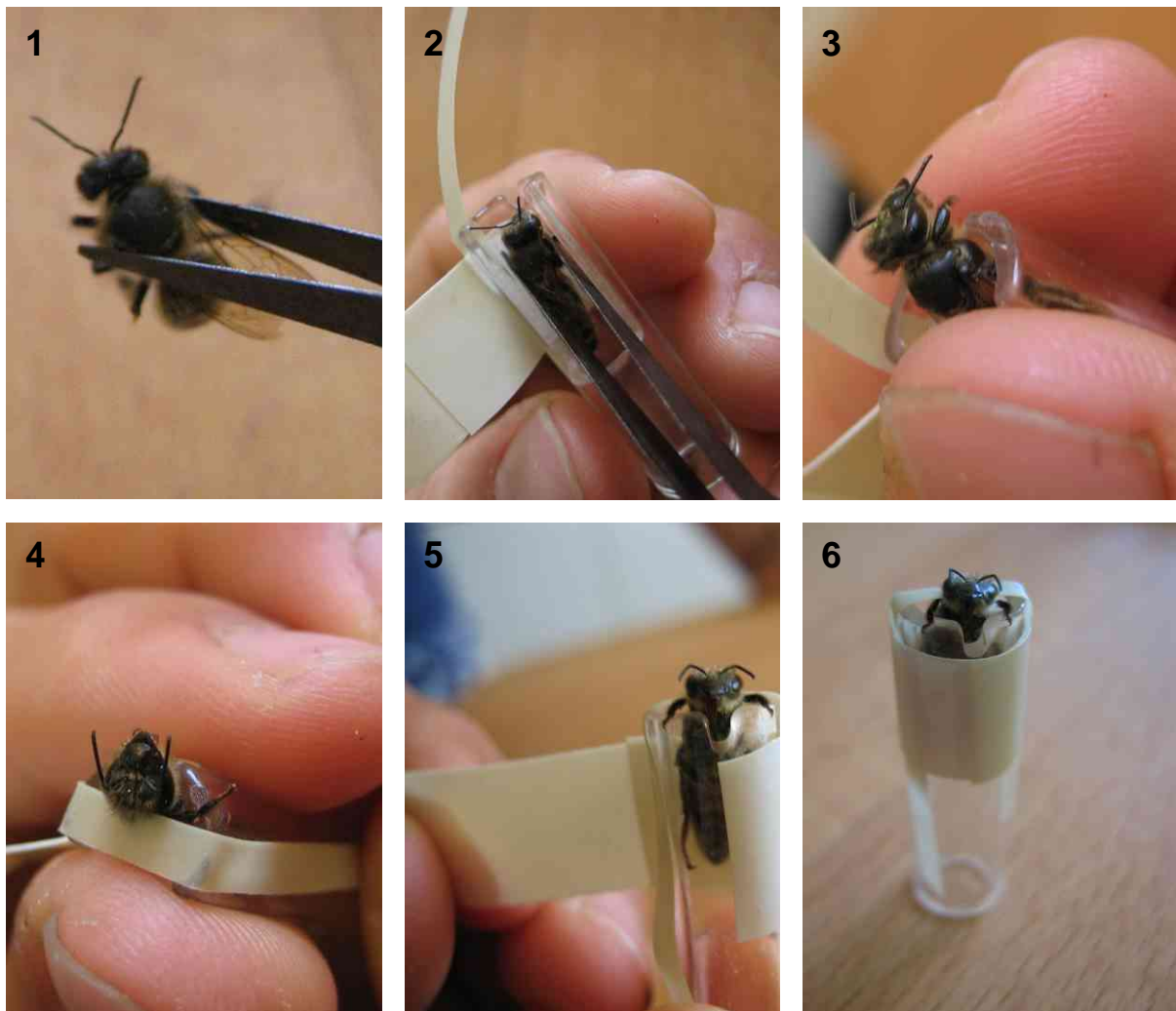


Abb. 15:

Mit der Entomologiepinzette wurde nun eine Biene nach der anderen der Box entnommen und in die Halterung überführt. Die Klebestreifen sollten genügend eng anliegen, um ein Entkommen zu verhindern.

Das Fixieren war eine reine Übungssache. Als die einfachste Methode mit einer Pinzette hat sich die folgende herausgestellt:

Mit der Pinzette wurde die Biene von oben am Thorax gefasst (1) und in die Halterungsöffnung der Halterung gehalten (2), welche in der anderen Hand bereit lag. Mit dem Daumen jener Hand wurde die Biene fixiert, indem man ihr sanft auf den Thorax drückte. Die Pinzette konnte nun weggezogen werden und die Biene wurde durch Daumendruck nach oben geschoben, bis der Kopf über den Rand reichte und sie die Vorderbeine auch darüber hielt (3). Dies war die optimale Position für die Versuche. Das schmale Klebeband wurde nun hinter dem Kopf über den Rand geklebt (4) und fixiert, indem auch das dickere Band um die Halterung geklebt wurde (5). Nun musste nur noch der Kopf der Biene ein wenig gerichtet werden. Das heisst, der Rüssel sollte exakt über der Kerbe liegen. Dies geschah auch mit dem schmalen Klebeband, welches an der richtigen Stelle positioniert, den Kopf fixierte (6). Waren alle Probandinnen trainingsbereit, wurden sie auf dem Reaktionsgefässständer zum Versuchsaufbau transportiert und eine Viertelstunde zur Beruhigung dagelassen. Dabei sollte der Abstand zwischen Bienen und Versuchsaufbau möglichst gross sein wegen den duftenden Drogenproben.

2.4 Versuchsaufbau

Währenddessen wurde der Rolltisch vor die Abzugskapelle gefahren. Die Kapelle lief auf Stufe 1 und war nur zwei Handbreiten geöffnet. Nun konnten die Einwegspritzen mit zirka einem halben Gramm Marihuana, beziehungsweise Haschisch, befüllt und in der Kapelle platziert werden. Dadurch konnte eine unnötige Kontaminierung der Raumluft, und somit eine Gewöhnung an diesen Duft auf der Seite der Probandinnen, verhindert werden.

Zur Belohnung wurde in einem 50ml Becherglas Zuckerwasser im Verhältnis 1:1 auch im Eingangsbereich der Kapelle bereitgestellt und mit einem Wattestäbchen für die Fütterung versehen.

Zum Schluss wurde die zu verwendende Spritze am Stativ befestigt und die kleine Hebebühne daneben auf Betriebshöhe eingestellt.

Auf die Tischfläche wurde auch das Versuchsprotokoll gelegt und Angaben wie Datum, Versuchsnummer, Versuchsaufbau etc. gemacht.

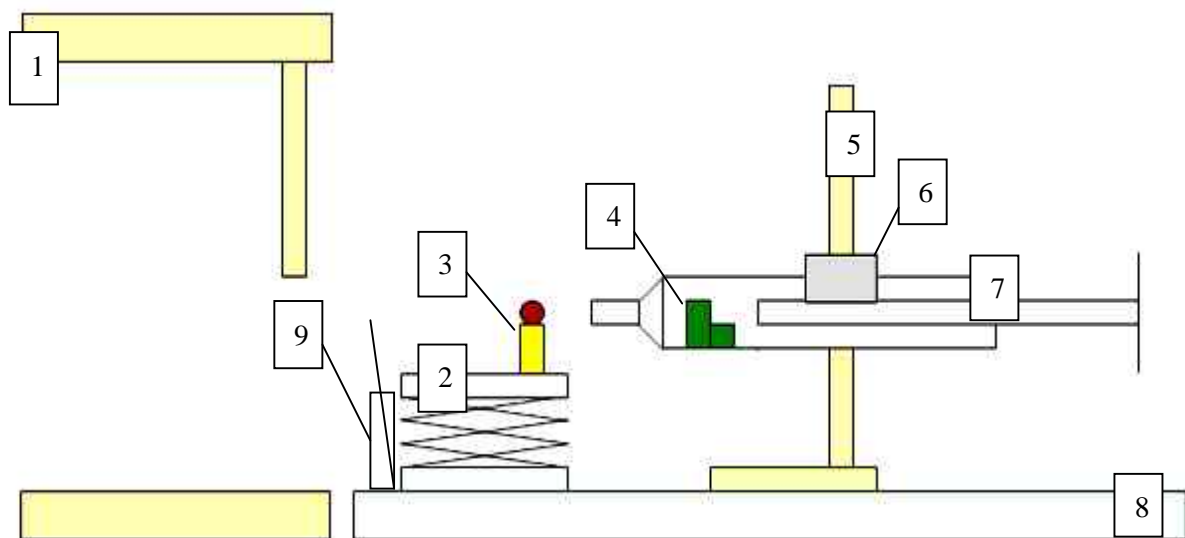


Abb. 16: Der erste Teil des Versuchsaufbaus, bestehend aus:

- 1 Abzugskapelle
- 2 kleine Hebebühne
- 3 Glshalterung mit Biene
- 4 Betäubungsmittel
- 5 Stativ
- 6 Doppelmuffe
- 7 Einwegspritze
- 8 Rolltisch
- 9 Becherglas mit Wattestäbchen

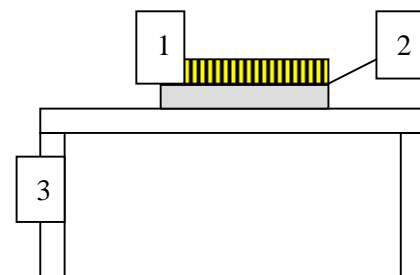


Abb. 17: Der zweite Teil des Versuchsaufbaus, bestehend aus:

- 1 Bienen in Halterungen
- 2 Reaktionsgefäßsänder
- 3 Stuhl

2.5 Versuchsablauf und Versuchsprotokoll

Selektion

Nach Angabe der Zeit wurden die Bienen zuerst auf ihre Trainingstauglichkeit getestet, das heisst, ihre Fähigkeit zum Rüsselreflex wurde geprüft. Dazu kam eine Biene nach der anderen auf die Hebebühne. Die Einwegspritze konnte so in der Stativklammer befestigt werden, dass ihre Öffnung einen Zentimeter vom Kopf der Biene entfernt war. Dann wurde der Biene ein Drittel des Luftgemisches aus der Spritze während zwei Sekunden über die Antennen geleitet. Weil die Bienen zwischen Spritze und Kapelle platziert waren, verlief der Luftstrom konstant über ihre Antennen. Nach diesen zwei Sekunden wurden ihre Antennen mit dem zuckerwassergetränkten Wattestäbchen berührt und damit der Rüsselreflex ausgelöst. Sofort konnte das Stäbchen an den ausgerollten Rüssel gehalten und der Biene die Aufnahme der Lösung gewährt werden.

Währenddessen wurden während vier Sekunden die restlichen zwei Drittel des Spritzeninhaltes rausgelassen, insgesamt also sechs Sekunden. Nach Abbruch des Luftstromes hielt die Fütterung noch zwei Sekunden an, da immer noch Geruchspartikel in der Luft liegen konnten.

Hat die Biene den Rüssel problemlos ausstrecken können und hat sie Futter aufgenommen, wurde das als Trainingstauglichkeit eingestuft und auf dem Versuchsprotokoll mit zwei Häkchen signalisiert.

Trials

Darauf folgte der erste eigentliche Trainingsdurchgang. Das Verfahren war äquivalent. Einer Biene nach der anderen wurde der Duft präsentiert und sie wurde gefüttert. Mit dem einzigen Unterschied, dass nun bereits eine Reaktion auf den Duft erfolgen konnte. Reagierte die Biene auf das Duftgemisch aus der Spritze, wurde dies mit einem Plus links im entsprechenden Feld festgehalten. Nahm sie das Zuckerwasser auch an, kam ein zweites Plus dahinter. Dementsprechend wurde Nichtreaktion und fehlender Rüsselreflex mit Minus Minus eingetragen.

Dieser Durchgang erfolgte zweimal. Darauf folgte eine Nullprobe, bei der die Luft einer leeren Spritze über die Antennen geleitet wurde, um eine Konditionierung auf Luftstösse auszuschliessen. Reagierte eine der Probandinnen mit dem Rüsselreflex darauf, wurde sie sofort aus der Versuchsgruppe entfernt. Nach der Nullprobe folgten zwei Trials mit normalem Duftgemisch. Bienen, welche nach diesen keine zwei Plus hatten, wurden entnommen. Ihre Reaktion auf das Testtrial wäre nicht relevant.

Für den folgenden Durchgang wurde eine neue Spritze mit dem anderen Betäubungsmittel eingespannt. Im Falle von Marihuana wäre das die Haschischspritze.

Nun wurde die Reaktion der Bienen auf jenes Betäubungsmittel getestet. Bei fehlender Reaktion stand eine Belohnung aus, bei einer Reaktion wurde gefüttert, um die Biene für jeden Rüsselreflex zu belohnen.

Zum Schluss wurde eine zweite Nullprobe durchgeführt, um jene Bienen auch noch zu überprüfen, die das Lernverhalten erst nach der ersten Nullprobe gezeigt haben.

Anzumerken sei noch, dass vor jedem Trial die genaue Uhrzeit notiert wurde und Zwischenfälle wie Flucht aus der Halterung, fehlender Rüsselreflex, plötzlicher Tod oder Schwäche auch eingetragen wurden.

Entlassung und Reinigung

Sobald ein Versuch zu Ende war, wurde das Protokoll im Versuchsordner abgelegt, die Bienen sorgfältig befreit und freigelassen und Halterungen sowie Kunststoffbox in der Abwaschmaschine gereinigt.

2.6 Trials im Detail

Es wird zwischen vier Trainingsdurchgängen unterschieden, welche hier einzeln beschrieben werden:

1. Selektionsdurchgang, bei dem die Trainingstauglichkeit bestimmt wird
2. Trainingsdurchgang x mit Betäubungsmittel a (a sei jenes Betäubungsmittel, auf das die Bienen trainiert werden)
3. Trainingsdurchgang y mit Betäubungsmittel b (b sei jenes Betäubungsmittel, auf welches die Reaktion der Bienen überprüft wird)
4. Nullprobe mit leerer Spritze

Die Abfolge jener Durchgänge ist im Kapitel Versuchsablauf ersichtlich. Für alle vier Durchgänge gilt derselbe Grundaufbau.



Abb. 18: Jede Biene hat eine Nummer, welcher eine Zeile im Protokoll entspricht.

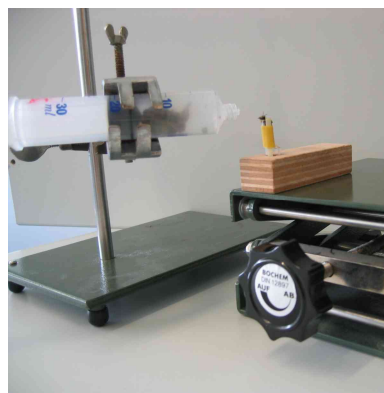


Abb. 19: Die Konditionierungsapparatur.

Schema

√/x	√/x
1	2

- 1 Reaktion auf die Drogenprobe
2 Erfolgreiche Fütterung

Abb. 20: Schema zur Protokollierung.

2.6.1 Selektionsdurchgang



Abb. 21: Betäubungsmittel in Spritze positionieren und während 2 s 1/3 des Spritzeninhaltes über die Antennen der Biene leiten.



Abb. 22: 6 s Fütterung, nachdem versucht worden ist, den Rüsselreflex auszulösen. Dabei während 4 s restliche 2/3 des Spritzeninhaltes über Antennen leiten.

Rüsselreflex

Ja →

Nein →

Schema

√	√
---	---

x	x
---	---

Folgerung

Trainingstauglich (TT)

Untauglich, Entlassung

2.6.2 Trainingsdurchgang x mit Betäubungsmittel a



Abb. 23: Betäubungsmittel in Spritze positionieren.



Abb. 24: Während 2 s 1/3 des Spritzeninhaltes über die Antennen der Biene leiten.

Reaktion?

Ja →

Nein →



Schema

+ +/-

- +/-

Abb. 25: 6 s Fütterung, währenddessen während 4 s restliche 2/3 des Spritzeninhaltes über Antennen leiten.

2.6.3 Trainingsdurchgang y mit Betäubungsmittel b



Abb. 26: Betäubungsmittel in Spritze positionieren.



Abb. 27: Während 2 s 1/3 des Spritzeninhaltes über die Antennen der Biene leiten.

Reaktion?

Ja →

Nein →



Schema

+ +

- -

Abb. 28: 6 s Fütterung, währenddessen während 4 s restliche 2/3 des Spritzeninhaltes über Antennen leiten.

2.6.4 Nullprobe

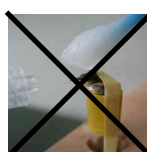


Abb. 29: Während 6 s ganzen Inhalt der leeren Spritze über die Antennen leiten.

Reaktion?

Ja →

Nein →



Folgerung

Entlassung

weitere Durchgänge

Schema

NP

- -

Abb. 30: Ausschluss der Biene aus weiteren Trainingsdurchgängen bei Reaktion auf Nullprobe.

3 Resultate

3.1 Allgemeines

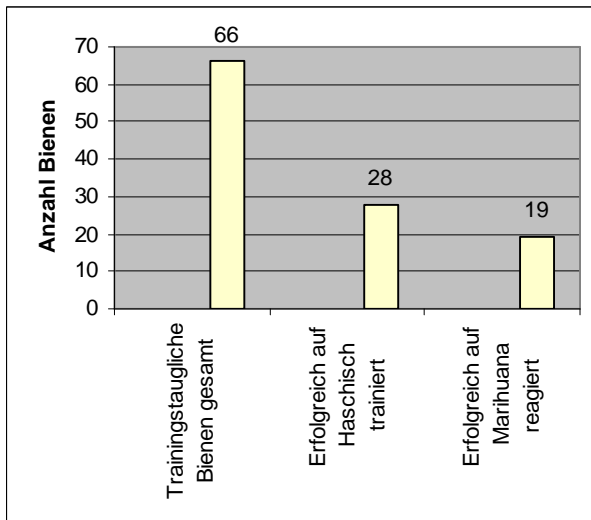


Abb. 31: Anzahl erfolgreich auf Haschisch trainierter Bienen im Verhältnis zur Anzahl trainingstauglicher Bienen und der Anzahl der auf Marihuana reagierenden Bienen.

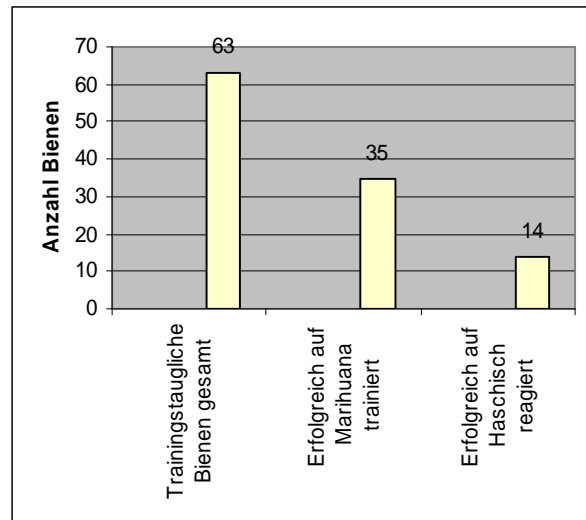


Abb. 32: Anzahl erfolgreich auf Marihuana trainierter Bienen im Verhältnis zur Anzahl trainingstauglicher Bienen und der Anzahl der auf Haschisch reagierenden Bienen.

Insgesamt wurden 154 Bienen für die Versuche verwendet, 75 (66 Trainingstaugliche) bei jenen mit Marihuana als Drogenprobe, auf die die Bienen trainiert wurden und 79 (63 Trainingstaugliche) bei jenen mit Haschisch.

40 Prozent der auf Marihuana trainierten Bienen reagierten auch auf Haschisch, umgekehrt waren es 68 Prozent.

Bei beiden Versuchsreihen waren es je 84 Prozent dieser Bienen, die auch trainingstauglich waren. Gesamthaft konnten 49 % der trainingstauglichen Bienen erfolgreich konditioniert werden.

Der Chi-Quadrat-Test ergibt für die Unabhängigkeit in der Kontingenztafel einen Wert von 4.84. Dies entspricht einer Signifikanz von 97.2%.

3.2 Weitere Ergebnisse

Entnahmen

Während des Versuchsablaufes mussten von den 129 Versuchsbienen insgesamt 51 Bienen entnommen werden. Dies aus Gründen wie Entkommen aus der Halterung, fehlender Rüsselreflex, Tod, Reaktion auf eine Nullprobe oder schwaches Erscheinungsbild (oft gekoppelt mit fehlendem Rüsselreflex).

Die Menge der trainingstauglichen Bienen, abzüglich jener Entnommenen, welche erfolgreich auf eine Drogenprobe konditioniert werden konnte, beläuft sich auf 81 %.

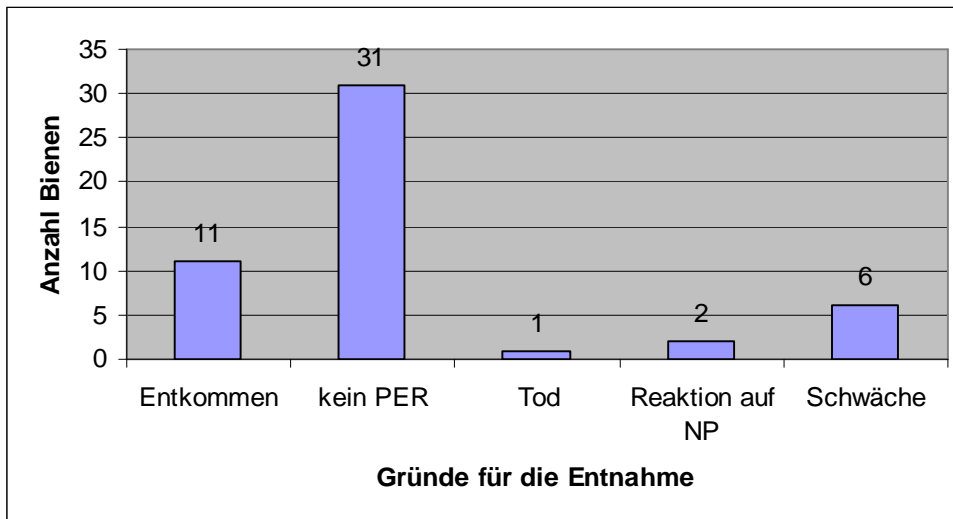


Abb. 33: Anzahl der Bienen, die aus unterschiedlichen Gründen den Trials entnommen wurden.

Reflexe pro Trainingsdurchgang

Beim ersten Trial waren es 41% der trainingstauglichen Bienen, welche eine Reaktion auf die Präsentation des Duftes zeigten. Beim zweiten Trial waren es 18 % der Bienen, welche neu eine Reaktion zeigten (vorher noch nie), und beim Dritten und Vierten waren es je 2%.

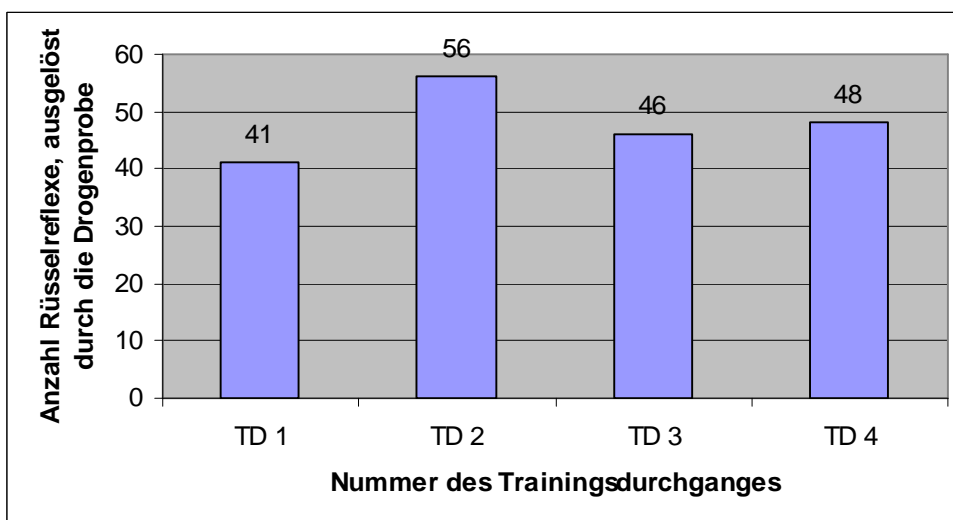


Abb. 34: Anzahl der Rüsselreflexe auf die Präsentation des Drogenduftes pro Trainingsdurchgang.

Trainingserfolg

Die Trainingsgruppen befanden sich zwischen 13,5 und 19 Stunden futterlos in der Box. Die Trainingserfolge schwankten zwischen 12,5 und 78 Prozent. Damit ist die Anzahl Bienen gemeint, die erfolgreich auf eine Drogenprobe konditioniert werden konnte. Die Auswertung ergibt eine mittlere Korrelation ($R^2 = 0.29$, $R=0.53$) für die Abhängigkeit des Trainingserfolges von der futterlosen Zeit.

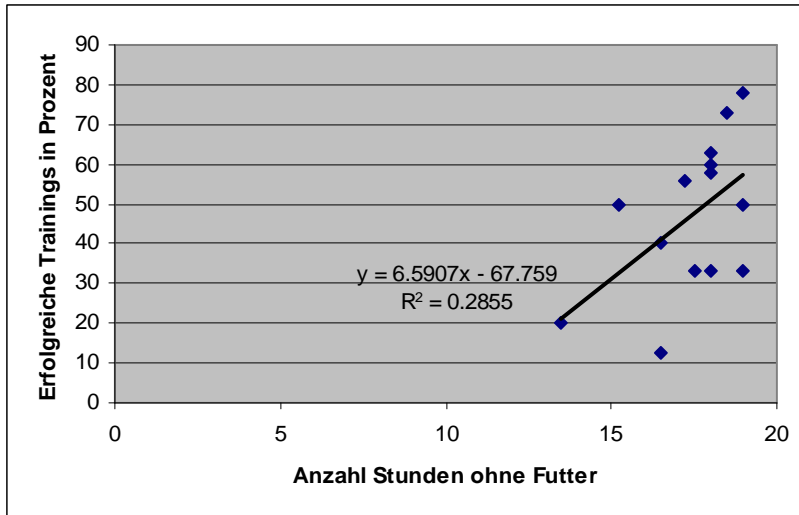


Abb. 35: Abhängigkeit des Trainingserfolges von der Zeit ohne Futter in der Box.

4 Diskussion

4.1 *Verschiedene Duftspektren als Erklärung für das Erlernen zweier Düfte*

Wie erwähnt besitzen Insekten bis zu hundert verschiedene Geruchsrezeptoren, von denen jeder einzelne ein bestimmtes Spektrum an chemischen Duftmolekülen erkennen kann.

Zur Veranschaulichung werden nun die zwei Versuchsstoffe Marihuana und Haschisch genommen.

Angenommen, Marihuana besitzt zwei chemische Duftmoleküle, welche von der Honigbiene mit dem Geruchsrezeptor eins, beziehungsweise Geruchsrezeptor zwei, erkannt werden können.

Haschisch hingegen besitzt auch zwei davon. Jedoch kann ein Molekül zwar auch mit dem Geruchsrezeptor zwei, das andere aber nur mit dem Geruchsrezeptor drei, erkannt werden.

Beim Training der Bienen ist es so, dass die Probandinnen sich eine Duftkomponente, also eine Sorte Geruchsmoleküle, herauspicken aus dem Gemisch und diese lernen. Nun kann es sein, dass Biene 1 das Duftmolekül eins als konditionierten Reiz (CS) erkennt, Biene 2 hingegen das Duftmolekül zwei. Präsentiert man Biene 1 Haschisch (Molekül zwei und drei), zeigt diese keinen Rüsselreflex.

Bei Biene 2 verhält es sich anders. Sie erkennt das Duftmolekül 2 aus den Marihuanadurchgängen und rollt ihren Rüssel in der Hoffnung auf eine Belohnung aus.

Weshalb nun ein Teil der auf Marihuana trainierten Bienen auch auf Haschisch reagierten und im Gegenversuch wiederum einige der auf Haschisch trainierten Bienen auf Marihuana reagierten, kann genau durch dieses Beispiel erklärt werden.



Abb. 36:

links: Marihuana, getrocknete und zerkleinerte, harzhaltige, weibliche Blütenstände der Hanfpflanze (*Cannabis sativa*).

rechts: Haschisch, aus Blüten gewonnenes Harz der Hanfpflanze [9].

Nun bleibt noch die Frage offen, weshalb denn der Unterschied in der prozentualen Anzahl Bienen, die auf das andere Betäubungsmittel reagierten, eine 97.2%-ige Signifikanz aufweist. Das bedeutet, dass das Ergebnis lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von den daraus resultierenden 2.8% zufällig ausgefallen ist. Diese Tatsache ist insofern erstaunlich, da der Unterschied zwischen 40 % und 68 % relativ gross erscheint.

Intensiverer Duft

Es ist vorstellbar, dass der im Vergleich zum Haschisch sehr intensive Duft des Marihuanas ein Vielfaches der Duftmoleküle des Haschischs besitzt. Die Reize auf die Bienen können also stärker ausfallen, was eine Reaktion vermehrt auftreten lässt.

Es wäre auch vorstellbar, dass jene hohe Duftstoffkonzentration die Wahrscheinlichkeit, dass der Duft die Antennen der Biene aufgrund inkonstanter Luftbewegungen nicht erreicht, verringert. Dies hätte einen positiven Einfluss auf den Trainingserfolg.

Die Tatsache, dass Bienen zwei Düfte gleichzeitig erlernen können, hat positive aber auch negative Folgen für ihren Einsatz als Detektoren.

Einerseits kann eine einzelne Bienengruppe auf mehrere Hanfprodukte trainiert werden, was einen geringeren Arbeits- und Materialaufwand zur Folge hat, da weniger Bienen trainiert werden müssen.

Andererseits kann aber eine Reaktion auf verwandte, ähnliche Düfte nicht ausgeschlossen werden und Fehlalarme auslösen. Deshalb wird es von ungeheurer Wichtigkeit sein, je nach Einsatzort und -art, Bienen mittels Kontrollversuchen mit anderen Stoffen nur auf eine einzige Probe zu trainieren.

4.2 Abhängigkeit des Trainingserfolges von der futterlosen Zeit

Bei den Versuchsreihen sticht die grosse Streuung von Erfolgsquoten ins Auge. Sie reicht von 12.5 Prozent bis hin zu 78 Prozent.

Es wurde nach Faktoren gesucht, die diese Quote so stark beeinflussen. Weisellosigkeit, schlechte Witterung und äusserliche Störungen wie zum Beispiel Fremdgerüche, Einflüsse auf den Luftstrom oder Erschütterungen können Reaktionen der Bienen verunmöglichen oder zumindest beeinflussen [8]. Da keiner dieser Einflüsse ersichtlich war, musste die Ursache woanders liegen. Der Versuchsaufbau war immer der Gleiche, die Bienen stammten stets aus demselben Garten, möglicherweise sogar vom gleichen Volk, und die verwendeten Drogenproben wurden luftdicht verpackt gelagert. Einzig die Zeit, in der die Bienen nach der Fütterung in der Box verharrten, variierte. Es konnte festgestellt werden, dass die Zeit ohne Futter mit der Erfolgsquote korrelierte (mittlere Korrelation). Die Erfolgsquote hing zu 28.6% von der futterlosen Zeit ab (Herleitung vom linearen Korrelationskoeffizienten nach Pearson).



Abb. 37: Zwei Bienen bei der Aufnahme von Futterteig.

Je länger ohne Futter, desto grösser war die prozentuale Anzahl Bienen, die den Stoff erkannten. Diese Zeitintervalle betragen zwischen 13.5 und 19 Stunden. Bei 13.5 Stunden ergab die Erfolgsquote den zweitschlechtesten Wert. Bei 19 Stunden hingegen konnte mit 78 Prozent der erfolgreichste Versuch durchgeführt werden. Zu erwähnen ist aber auch, dass die Bienen nach 19 futterlosen Stunden, in denen sie ihr gespeichertes Futter untereinander ausgetauscht hatten, alle auf dem selben Futterlevel sind und eher geschwächt erscheinen, sodass die Sterblichkeit im Kühlschrank sowie in den Halterungen erhöht ist. Es könnte nun eine optimale Zeitdauer in der Box in Abhängigkeit von Fütterungszeit, Sterblichkeit und Trainingserfolg ermittelt werden.

4.3 Schnelles Training – doch viele Entnahmen

Wie die Resultate zeigen, benötigten 41 Prozent der trainingstauglichen Bienen nur einen einzigen Trainingsdurchgang, um einen Duft zu erlernen. Bei 18 Prozent war nach zwei Durchgängen ein Rüsselreflex sichtbar und jeweils 2 Prozent zeigten nach dem dritten und vierten Durchgang eine Reaktion.

Diese Ergebnisse zeigen auf, dass das Bienentraining eine sehr kurze Sache ist, nicht zu vergleichen mit den jahrelangen Trainingseinheiten, die ein Hund benötigt, um als solchen Detektor zu fungieren. Andererseits ist der Einsatz der Biene in der Halterung nur von kurzer Dauer. Die Fütterung in der Halterung vermag zwar, ihre Einsatzdauer zu verlängern, die eingeschränkte Bewegungsfreiheit erlaubt aber keinen Aufenthalt, der länger als zwei Tage dauert, da die Biene sonst verstirbt. Auch die Fütterung in der Halterung wäre ein problematischer Faktor, weil eine Zuckerwasserfütterung mit der Duftpräsentation einhergehen muss, um die Kontiguität zu gewährleisten.

Der Grossteil der Bienen lernt den Duft der Hanfdrogen in den ersten zwei Durchgängen. Dies zeigt auch die Abb. 34. Vom ersten zum zweiten Durchgang nimmt die Anzahl der Bienen, die auf eine Drogenprobe reagieren, zu. Bei den Durchgängen drei und vier ist sie wieder geringer. Diese Abnahme steht in direktem Bezug zu den Bienen, die den Versuchsreihen entnommen werden mussten. Sehr häufig war ein Verlust, bedingt durch Entkommen aus der Halterung, nach etwa zwanzig Minuten Versuchszeit zu verzeichnen. Dies trifft ungefähr den Zeitpunkt nach dem zweiten Trainingsdurchgang. Jene Bienen, welche auf die Nullprobe reagierten, wurden aufgrund der Position der Nullprobe im Versuchsablauf auch genau nach dem zweiten Trainingsdurchgang entnommen. Als weiterer Erklärungsansatz kann die Tatsache verwendet werden, dass die Bienen zu Beginn zwar hungrig, aber mit der jeweils sechs Sekunden dauernden Fütterung mit Zuckerwasser (1:1) schnell satt werden und nach drei Fütterungen eine gewisse Sättigung erreicht ist.

Anzumerken ist noch, dass Bienen nicht auf alle Düfte gleich gut trainiert werden können [8]. Dies bedeutet wiederum, dass die Quote von gesamthaft 49% erfolgreichen Trainings nur bedingt bewertet werden kann. Natürlich abgesehen von den Entnahmen.

5 Reflexion

Themensuche

Zu Beginn der Themenwahl war mir klar, dass die Honigbiene zumindest ein Bestandteil meiner Arbeit sein würde.

Ich bin seit rund sieben Jahren Hobbyimker. Die naturverbundene Beschäftigung meines Grossvaters, die Bienepflege, hatte mich schon früh dazu veranlasst, unzählige interessante und lehrreiche Stunden in Grossvaters Bienenhaus zu verbringen. Von ihm durfte ich auch einen Grossteil meines Inventars übernehmen. Das Grundwissen erwarb ich im Grundkurs des Imkervereins Sursee. Mit der Zeit entstand eine starke Beziehung zur Welt dieser wunderbaren und faszinierenden Insekten.



Abb. 38: Mein eigener Bienenstand im Surseer Wald, wo ich gegenwärtig fünf Bienenvölker betreue.

Es waren unzählige Ideen in meinem Kopf vorhanden. Ideen, welche mich zwar interessierten und auch geeignet wären für solch ein Projekt, aber nicht das gewisse Etwas, dieses Spezielle, an sich hatten. Ob Insektenverzeichnis vom Kloostergarten, Feuerbrandversuche, Bestimmen der Fauna auf Blüten und Stech- oder Hygieneverhalten der Honigbiene, keines konnte mich überzeugen. Beim Sinnieren über vergangene Arbeiten, somit auch über meine Rede in der vierten Klasse über die „Honigbiene als Antiterrorereinheit“, kam mir die auf den ersten Blick absurde Idee, auch Bienen zu konditionieren. Sie hatte sich in meinem Kopfe festgesetzt und liess mich nicht wieder los. Mein Verstand schrieb dieser Idee aber eine gewisse Unmöglichkeit betreffend Umsetzung zu. Nach einigen Recherchen stiess ich auf die Tatsache, dass das Konditionieren an sich ein einfacher Prozess sei.

Mein Ziel war es nun also, Honigbienen auf Düfte zu konditionieren. Doch, welche Düfte sollten verwendet werden und vor allem, was wollte ich untersuchen? War es überhaupt möglich, mit meinen bescheidenen Mitteln solche Trainings durchzuführen?

Recherchen

Diese Fragen beschäftigten mich während der nächsten Zeit. Durch Informationssuche im Internet bei Inscentinel Ltd. wurde zwar eine Durchführbarkeit bestätigt, doch zum genauen Ablauf solcher Versuche und Vorbereitungen dafür waren nur spärliche Informationen vorhanden. Also nahm ich Kontakt auf mit Frau Mathilde Briens, Bienenspezialistin bei Inscentinel Ltd., und gewann erste Erkenntnisse und Informationen über die Arbeit mit Versuchsienen.

Meine Vorstellungen wurden konkreter, viele Fragen blieben aber offen. In einem zweiten Schritt sollte der Duft bestimmt werden. Rose, Parfum, Lavendel und Schweissgeruch wurden schnell verworfen,

denn es fehlte am praktischen Bezug. Dieser war bei den Sprengstoffversuchen in London gegeben. Für Anthrax, Heroin und TNT reichte meine bescheidene Stellung als Kantonsschüler bestimmt nicht aus. Also fiel die Wahl auf die weniger gefährlichen, leichter zu erhaltenden und im Umgang einfacheren Drogen Haschisch und Marihuana.

Bewilligung für den Umgang mit Betäubungsmitteln

Bester Laune stattete ich dem Polizeiposten in Sursee einen Besuch ab mit der Absicht, mit meinem Versuchsmaterial in der Tasche wieder zu gehen oder zumindest einen Abholtermin vereinbart zu haben. Dem war leider nicht so. Als ich mein Anliegen vorbrachte, wurde meine Idee, zugegeben auf den ersten Blick absurd, belächelt und ich wurde, falls ich „dies tatsächlich machen wolle“, an die Kriminalpolizei in Luzern verwiesen.

Mir wurde bewusst, dass dies möglicherweise noch nicht die letzte Station gewesen sein würde auf meinem Weg zu Betäubungsmitteln in der Schweiz.

Per Mail wurde dann aus Luzern erstmals Interesse an der Arbeit bekundet und mein Antrag wurde bearbeitet. Doch auch die Kripo war nicht befugt, mir ohne weiteres Betäubungsmittel zu besorgen und leitete mich noch eine Instanz höher, zu Swissmedic. Dort sah es ähnlich aus – Interesse, Freundlichkeit, fehlende Befugnis – Weiterleiten ans Bundesamt für Gesundheit.

Am Ende der Leiter angelangt, ein weiterer Schritt wäre einer ins Leere und würde eine neue Zielsetzung bedeuten, wartete ich gespannt auf eine Zusage. Und jene kam tatsächlich. Voller Arbeitseifer nahm ich Kontakt mit meinem Hausarzt auf, der auch prompt die Verantwortung für mein Tun mit den zwei Substanzen übernahm. Dann kam endlich der langersehnte Tag, an dem ich stolzer Besitzer von Betäubungsmitteln zu Versuchszwecken war.

Rückblickend war dieses Bewilligungsgesuch, man könnte es Instanzleiter nennen, ein Schlüsselerlebnis. Es zeigte mir auf, dass sich Hartnäckigkeit und Beharrlichkeit bezahlt machen, und dass man als Schüler mit einem aussergewöhnlichen Anliegen ernst genommen und beachtet wird.

Forschung in Harpenden



Abb. 39: Das Rothamsted Research Institute in Harpenden (nahe London), ein Zentrum internationaler multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung für die Aufrechterhaltung wirtschaftlicher und ökologischer Systeme zur Nutzung von Ackerland. Inscentinel Ltd. ist Teil dieser renommierten Anstalt.

Das zweite Schlüsselerlebnis war dann mein Besuch in Harpenden. Auf die Einladung von Inscentinel für ein über die Schulter gucken bei Bienentrainings sagte ich kurzerhand zu und durfte einen Tag voller Erlebnisse, Erfahrungen, Wissenswertem und neuen Bekanntschaften erleben. Ich konnte eine rie-

sige Datenmenge, einen ganzen Versuchsaufbau und Unmengen von Informationen, gespeichert in meinem Kopf, nach Hause nehmen. Ob beim Einfangen, Haltern oder Training der Bienen, ich erhielt wertvolle Tipps und wurde sehr freundlich und zuvorkommend behandelt. Wiederum wurde ich mir der Unterstützung bewusst, die ich als Schüler genießen durfte.

Im späteren Verlauf der Arbeit war ich sehr froh um diese Quelle, die mir Fragen beantworten konnte und sogar Halterungen schickte für den einfacheren Umgang mit Trainingsbienen. Bis zu diesem Zeitpunkt war mein Ziel in erster Linie, Bienen auf Düfte zu trainieren.

Fehlversuche

Die ersten Versuche waren ein totaler Fehlstart. Zu viel Futter für die Bienen machte sie träge und nicht lernwillig. Sofort wurde die Futterzeit gekürzt und die Fastenzeit verlängert – ohne Erfolg. Anzumerken sei noch, dass der Versuchsaufbau damals noch zwei Aquariumpumpen, Gaswaschflaschen, einen selbstgebauten Aktivkohlefilter, ein Y-Röhrchen und Schläuche in verschiedenen Formen und Farben umfasste. Dies nach dem Vorbild jenes Aufbaues aus Harpenden. Diese Vielzahl von Geräten brachte auch Probleme mit sich. Die Pumpen erbrachten keine konstante Leistung, der Filter verstopfte und die Rohre waren an den Mündungsstellen aus so vielen kleinen Stücken zusammengesetzt, dass sie durchlässig waren. Ausserdem befand sich der Versuchsaufbau in der Kapelle, was zur Folge hatte, dass der aus einem Glasrohr strömende Duft von Marihuana sofort nach oben gesaugt wurde, ohne jemals die Antennen der Probandinnen zu erreichen. Somit war ein Erfolg natürlich ausgeschlossen.

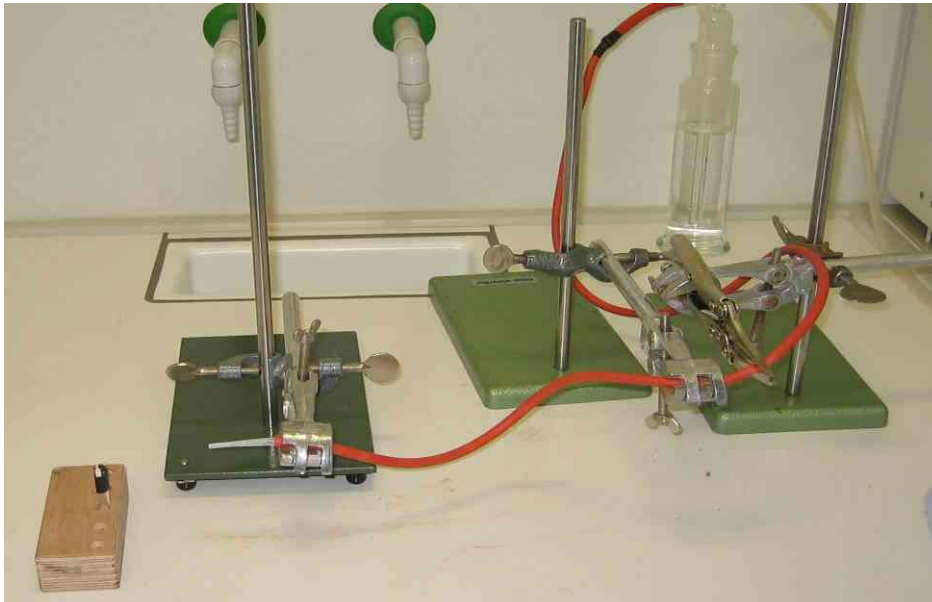


Abb. 40: Der erste Versuchsaufbau, bestehend aus zwei Schlauchsystemen, welche sich zum Schluss vereinigten. Der erste Schlauch pumpte Luft von einer Aquariumpumpe der Menge 180ml/min über einen Partikelfilter und einen Aktivkohlefilter durch ein Y-Rohr, wo er mit dem Duftgemisch des zweiten Schlauches vermischt wurde und so die Biene erreichte. Anzumerken ist, dass die Pumpe immer lief. Das zweite System führte von einer zweiten Aquariumpumpe über eine Gaswaschflasche mit Drogenprobeninhalt als Inhalt ins Y-Rohr. Hier wurde ein Schlauchstück mit einer Zange abgeklemmt, um den Duft des Drogenstoffgemisches nur in den sechs benötigten Sekunden zur Biene gelangen zu lassen.

Funktionstüchtiger Versuchsaufbau

Nach Erkennen dieser Probleme wurden sie folgendermassen umgangen: Der Versuchsaufbau wurde auf einen Rolltisch und vor die Kapelle genommen. So wurde der Duftstrom konstant über die Bienen zwischen Versuchsanordnung und Kapelle gesogen. Anstatt der vielen Gerätschaften und Schläuche kam nur eine Einwegspritze zum Einsatz, bei der die ausströmende Duftmenge von Hand kontrolliert

werden konnte. Diese Methode barg nun nur noch eine Schwachstelle. Es war möglich, dass die Bienen auf den damit erzeugten Luftstrom reagierten, diesen also lernten, anstatt der Stoffe in der Spritze. Dem wurde Abhilfe geschafft, indem Nullproben (Versuchsdurchgänge mit leeren Spritzen) in die Versuchsdurchgänge integriert wurden und Bienen, welche auf jene reagierten, sofort aus den Trainings entfernt wurden.

Prompt war diese Methode erfolgreich und bald rollte Biene um Biene reflexartig ihren Rüssel aus, sobald das süßliche Gemisch ihre sensiblen Antennen passierte.

Die erste Hürde war also genommen, nun musste eine konkrete Fragestellung her. Da ich im Besitz zweier Drogenproben war, sollten auch gleich beide verwendet werden. Ich entschied mich, zu untersuchen, ob die Probandinnen bei einem Training auf Marihuana auch gleich Haschisch in der Luft erkannten und umgekehrt. Für diese Fragestellung wurde ein Haschischtrial in die Marihuanatrials eingefügt und die Reaktion der Bienen wurde festgehalten. Dann konnten die Versuche beginnen.

Zu erwähnen sei noch, dass der reine Trainingsvorgang der Bienen nicht so arbeitsaufwändig war, wie jedes Mal dreissig bis vierzig Bienen zu fangen, in eine Box einzuquartieren, Klebeband zuzuschneiden, Halterungen vorzubereiten und Bienen zu halten.

Nach dem Training von rund 130 Bienen ging es darum, meine vierzehn Versuchsprotokolle auszuwerten und Daten zusammenzufassen.

Blick zurück und in die Zukunft

Zusammengefasst kann man nun sagen, dass ich mein anfängliches Ziel des Bienentrainings nach einigen Schwierigkeiten, Irrwegen und Problemen erreichen konnte.

Meine Frage, ob Bienen nun beide Düfte gleichzeitig lernen, oder nur jeweils einen, kann mit den Ergebnissen klar beantwortet werden.

Zur Wertung der Arbeit kann ich nur an den gewaltigen Reichtum an neuen Erfahrungen appellieren, den ich während der ganzen Zeit erwerben durfte. Ob mit Wissenschaftlern und Forschern, Beamten, Lehrern oder Ärzten, ich lernte jedes Mal etwas dazu. Dinge, die mir für spätere Versuche und Gesuche oder ganz einfach fürs Leben bestimmt hilfreich sein werden.

Auch habe ich erkannt, dass die Honigbiene, dieses Wunder der Natur, enorme Fähigkeiten besitzt. Diese sind auf jeden Fall für zukünftige Projekte betreffend Erkennen von Betäubungsmitteln, Sprengstoffen oder bestimmten Bakterien interessant.

Wer weiss, vielleicht kommt aus den teuren und bestimmt hochsensiblen Detektoren in Flughäfen, Warenhäusern, Regierungs-, und Polizeigebäuden anstatt dem elektrischen Surren plötzlich ein leises, kaum hörbares Summen der kleinsten und scharfsinnigsten Agentinnen der Welt.

6 Quellen/Literatur

- [1] <http://db.iwf.de/iwf/res/mkat/others/bp/03000018180110000000.pdf>
- [2] Lehnherr, B., Lehnherr, M. Biologie der Honigbiene, Fachschriftenverlag VDRB. Winikon 2001.
- [3] <http://www.saarlandimker.de/Infos.html>
- [4] http://www.natlab.de/pdf/neuro_lernen_schueler.pdf
- [5] http://www.die-honigmacher.de/kurs1/seite_24104.html
- [6] http://www.webmuseum.ch/Natur/Bienen/bi_antenne1.cfm
- [7] <http://www.pm.ruhr-uni-bochum.de/pm2005/msg00001.htm>
- [8] Mathilde Briens, Head R&D Scientist & Bee Specialist Inscentinel Ltd., Rothamsted Research Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ, UK (mündliche Mitteilung)

Christine Trittermann, R&D Scientist Inscentinel Ltd., Rothamsted Research Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ, UK (mündliche Mitteilung)
- [9] <http://www.suchtpraevention-zh.ch/suchtmittel/cannabis/cannabis.htm>

7 Danksagung

Zum Schluss möchte ich mich bei folgenden Personen und Organisationen ganz herzlich für ihre Unterstützung bedanken:

Herrn David Stadler, Biologielehrer, für die Betreuung.

Herrn Ruedi Niederer, Mathematiklehrer, für die statistische Beratung.

Herrn Josef Lustenberger, Herrn Joe Kiser und Frau R. Bühlmann, Mitarbeiter der Kriminalpolizei in Luzern, für die Herausgabe der Betäubungsmittel.

Frau Martha Kunz, BAG, für die Erteilung der Bewilligung zur Forschungsarbeit mit den Betäubungsmitteln Haschisch und Marihuana.

Herrn Dr. Othmar Zbinden, Sursee, für die Verantwortlichkeit für meinen Umgang mit den Betäubungsmitteln.

Frau Mathilde Briens und ihrem Team des Biotech-Unternehmens Inscentinel Ltd in Harpenden für die vielen Informationen rund ums Bientraining und den lehrreichen Besuch.

Herrn Roman Graf und dem Naturhistorischen Museum Luzern für die Entomologiepinzetten.

Frau Ursula Graf, Chemielaborantin, für die Hilfe beim Versuchsaufbau.

Der Schulleitung der KSS, Frau Regula Kälin, Patin, Thomas Niedermann, Onkel, und meinen Eltern, Monika und Roland Kaufmann, für die finanzielle Unterstützung.

Herrn Franz Kälin, Einsiedeln, für den Druck.

8 Anhang

8.1 Abkürzungen

BM	Betäubungsmittel
TD x	Trainingsdurchgang x
TT	Trainingstauglichkeit der Biene
NP	Nullprobe
PER	Rüsselreflex
US	unkonditionierter Reiz (unconditioned stimulus)
UR	unkonditionierte Reaktion (unconditioned response)
NS	neutraler Reiz (neutral stimulus)
CS	konditionierter Reiz (conditioned stimulus)
CR	konditionierte Reaktion (conditioned response)

8.2 Dokumente

- Rohdaten
- Statistik
- Musterprotokoll
- Empfangsbescheinigung
- Rückgabebescheinigung
- Redlichkeitserklärung

Rohdaten

Tab. A1: Zusammenstellung aus den Resultaten der ersten Versuchsreihe. Bei der ersten Versuchsreihe wurden die Bienen auf Marihuana konditioniert und ihre Reaktion auf Haschisch wurde überprüft.

Marihuanaversuche mit Reaktionstest auf Haschisch						
Nummer	Anz. Bienen	TT	Erfolgreich	anderes BM	Erfolg (% der TT)	
4	13	9	5	3	56	
5	13	11	8	5	73	
6	13	12	7	2	58	
7	12	12	6	1	50	
8	14	10	6	1	60	
9	10	9	3	2	33	
Gesamt:	75	63	35	14	56	
Nummer	Flucht	kein PER/keine Reaktion	Tod	NP	Schwäche	
4	2		1	1		
5	2		1			
6			4	1		
7	2		4			
8			4			
9	3		3			
Gesamt:	9		16	2	0	

Tab. A2: Zusammenstellung aus den Resultaten der zweiten Versuchsreihe. Bei der zweiten Versuchsreihe wurden die Bienen auf Haschisch konditioniert und ihre Reaktion auf Marihuana wurde überprüft.

Haschischversuche mit Reaktionstest auf Marihuana						
Nummer	Anz. Bienen	TT	Erfolgreich	anderes BM	Erfolg (% der TT)	
10	20	20	9	8	45	
11	19	13	3	2	23	
12	11	10	2	0	20	
13	9	6	2	1	33	
14	20	17	12	8	71	
Gesamt:	79	66	28	19	42	
Nummer	Flucht	kein PER/ keine Reaktion	Tod	NP	Schwäche	
10			1		1	
11			6		4	
12	2					
13			3		1	
14			5			
Gesamt:	2		15	0	6	

Tab. A3: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse, wie viele Reaktionen auf die Drogenprobe bei welchem Trainingsdurchgang gezeigt wurden.

Versuchs- Nummer	Anzahl Bienen	Anzahl Reaktionen auf das jeweilige BM			
		TD 1	TD 2	TD 3	TD 4
4	9	4	6	5	5
5	11	9	9	8	8
6	12	6	9	6	7
7	12	8	8	6	6
8	10	4	6	5	6
9	9	4	4	3	2
10	14	4	7	7	7
10	6	1	2	2	2
11	8	0	2	1	1
11	5	1	1	2	2
12	10	0	3	2	2
13	6	1	2	1	2
14	8	4	5	5	5
14	9	7	8	6	7
Gesamt:	129	53	72	59	62
in Prozent		41	56	46	48

Tab. A4: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse, wie viele Bienen pro Trainingsdurchgang den Duft der Drogenprobe neu gelernt hatten.

Versuchs- Nummer	Anzahl Bienen	Anzahl Durchgänge bis zum Erlernen des Duftes			
		TD 1	TD 2	TD 3	TD 4
4	9	4	2		
5	11	9			
6	12	6	3	1	1
7	12	8	1		
8	10	4	3		1
9	9	4	1		
10	14	4	3	1	1
10	6	1	1		
11	8		2		
11	5	1		1	
12	10		3		
13	6	1	1		
14	8	4	1		
14	9	7	2		
Gesamt:	129	53	23	3	3
in Prozent		41	18	2	2

Statistik

Tab. A5: Resultate aus den Versuchen

beobachtete Werte			
	Gegenprobe		Gesamt
	ja	nein	
Haschisch	19	9	28
Marihuana	14	21	35
Gesamt	33	30	63

Tab. A6: Resultate aus den Versuchen in Prozent

in Prozent			
	Gegenprobe		Gesamt
	ja	nein	
Haschisch	68%	32%	1
Marihuana	40%	60%	1
Gesamt	1.0786	0.9214	2

Tab. A7: Berechnung der erwarteten Werte (Nötig für den Chiquadratstest)

erwartete Werte			
	Gegenprobe		Gesamt
	ja	nein	
Haschisch	14.7	13.3	28
Marihuana	18.3	16.7	35
Gesamt	33	30	63

Tab. A8: Chiquadratwert, Wahrscheinlichkeit für 4.84 und Signifikanz

Chiquadrat	4.84
W'keit für 4.84	0.0278 signifikant auf 5% Niveau.

Versuchsprotokoll

Versuchsnummer:

Datum:

Duft:

Zeit in der Box:

Versuchsaufbau:

Vorbereitung:

Nr.	PER m.B.	TT	TD1 (2)	TD2 (3)	NP1 o.B.	TD3 (4)	TD4 (5)	TD5 (6)	NP2 o.B.	Bemerkungen
Start zeit										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										

Legende:

PER: Rüsselreflex

TDx: Trainingsdurchgang x

m.B.: mit Belohnung +/- +/-: Reaktion Belohnung

TT: Trainingstauglichkeit NPx: Nullprobe x

o.B.: ohne Belohnung

Kantonspolizei Luzern

Dienststelle Kripo Fach Gr BM Del
Sachbearbeiter Det Fw mbV Lustenberger Josef
Rapport Datum 01.04.2008
GeKo-Nr.

Empfangsbescheinigung

Personalien KAUFMANN Silvan, 30.08.1989
6210 Sursee, Geuenseestr. 2a
Tel 041-922 12 54

Gegenstand - 5 gr. Marihuana
- 5 gr. Haschisch

Auftraggeber Kapo LU, Kripo Fach Gr BM Del

Bemerkungen Bew. BAG BE liegt vor: 25.03.08, Nr. AB-8/5-BetmG-08.001379

Det Fw mbV Lustenberger Josef
C Fach Gr BM Del

Der/die Unterzeichnete bestätigt, die aufgeführten Gegenstände von der Kantonspolizei Luzern erhalten zu haben:

Ort und Datum Luzern, den 2.4.08 Unterschrift J. Kaufmann

Ausgehändigt durch: Kapo Luzern Unterschrift P. Lehmann

Verfügung

Kantonspolizei Luzern

Dienststelle Kripo
Sachbearbeiter Det Wm mbV Kiser
Rapport Datum 16.08.08
GeKo-Nr.

Empfangsbescheinigung

Empfänger Det Wm mbV Kiser bestätigt von

Personalien **KAUFMANN Silvan, 30.08.1989, von Buchs,
6210 Sursee, Geuenseestrasse 2a, folgende Drogen erhalten zu
haben:**

Gegenstand 5 Gramm Marihuana
5 Gramm Shit

Auftraggeber

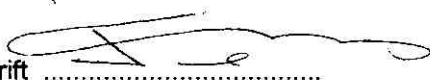
Bemerkungen Die Drogen wurden für eine Maturaarbeit mit Bienen zur Verfügung
gestellt und heute zurückgebracht.

A. Kaufmann

Der/die Unterzeichnete bestätigt, die aufgeführten Gegenstände von KAUFMANN Beat
erhalten zu haben:

Ort und Datum Luzern, 16.08.08..... Unterschrift

Ausgehändigt durch: Kapo Luzern

Unterschrift 

Verfügung

9 Redlichkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit,

- dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe,
- dass ich auf eine eventuelle Mithilfe Dritter in der Arbeit ausdrücklich hinweise,
- dass ich vorgängig die Schulleitung und die betreuende Lehrperson informiere, wenn ich diese Maturaarbeit, bzw. Teile oder Zusammenfassungen davon veröffentlichen werde, oder Kopien dieser Arbeit zur weiteren Verbreitung an Dritte aushändigen werde.“

Ort:

Datum:

Unterschrift: