



Die Biene in der Forschung

Imkerverein Floridsdorf



Verdiente Bienenforscher

- **Aristoteles, 384-322 v.Chr.**
 - Erzählungen vom Schwänzeltanz
- **Charles Buttler, 1560-1647**
 - Wirkung des Alarmpheromon
- **Anton Janscha, 1734-1773**
 - Paarung mit mehreren Drohnen, Vorschwarm mit alter Königin, erste Zargenbetriebsweise
- **René-Antoine Ferchault de Réaumur, 1683-1757**
 - Königin nicht Regentin (Glasbeute)
- **Lorenzo Langstroth, 1810-1895**
 - Beespace
- **Johannes Mehring, 1815-1878**
 - Prägte den Begriff „Bien“
- **Guido Sklenar, 1871-1953**
 - Königinnenzucht
- **Enoch Zander, 1873-1957**
 - Geschlechtsbestimmung, Erreger der Nosemose, Bestimmung des Honigs durch Pollenanalyse
- **Karl von Frisch, 1886-1982**
 - Schwänzeltanz, Geruchssinn, Orientierungssinn
- **Martin Lindauer, 1918-2008**
 - Verhaltensforschung
- **Randolf Menzel, 1940-**
 - Kognitiven Fähigkeiten
- **Jürgen Tautz, 1949-**
 - Verhaltensforscher, HOBOS
- **Thomas Seeley, 1952-**
 - Verhaltensforscher, interen Kommunikation des Bien's

Neue Möglichkeiten der Forscher

- Schnellere Computer
- Methodik
 - Personalisierung von einzelnen Bienen
 - Radarstation
 - Direktmessung an Neuronen
 - Einfärben von Neuronen um Veränderungen optisch zu erkennen

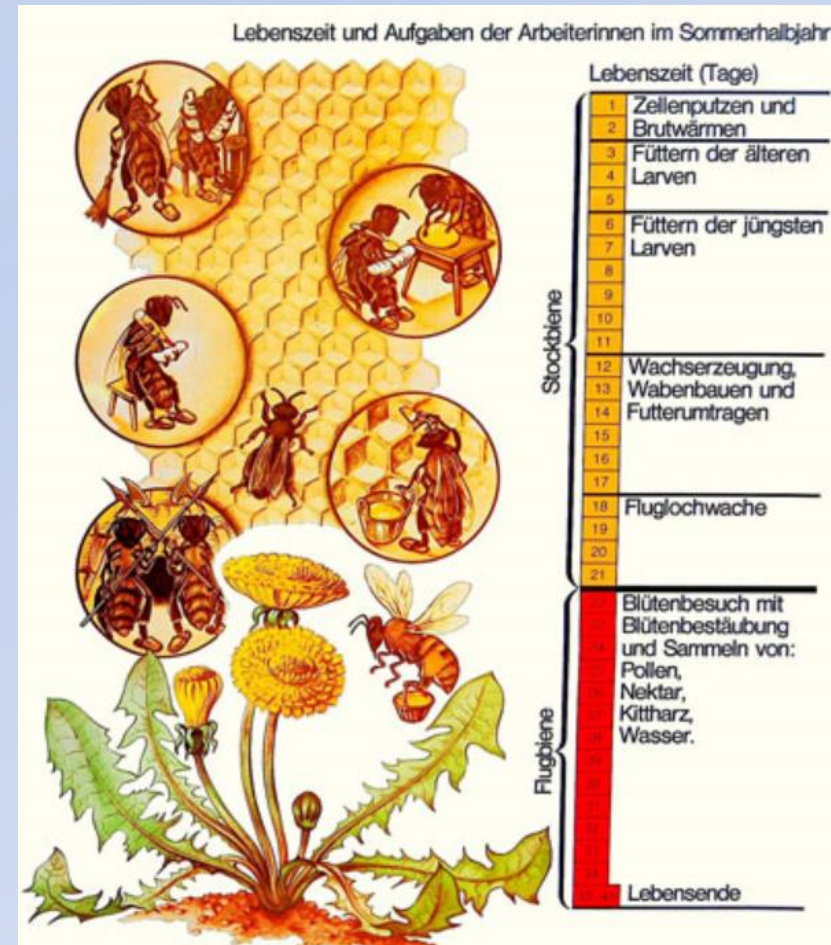


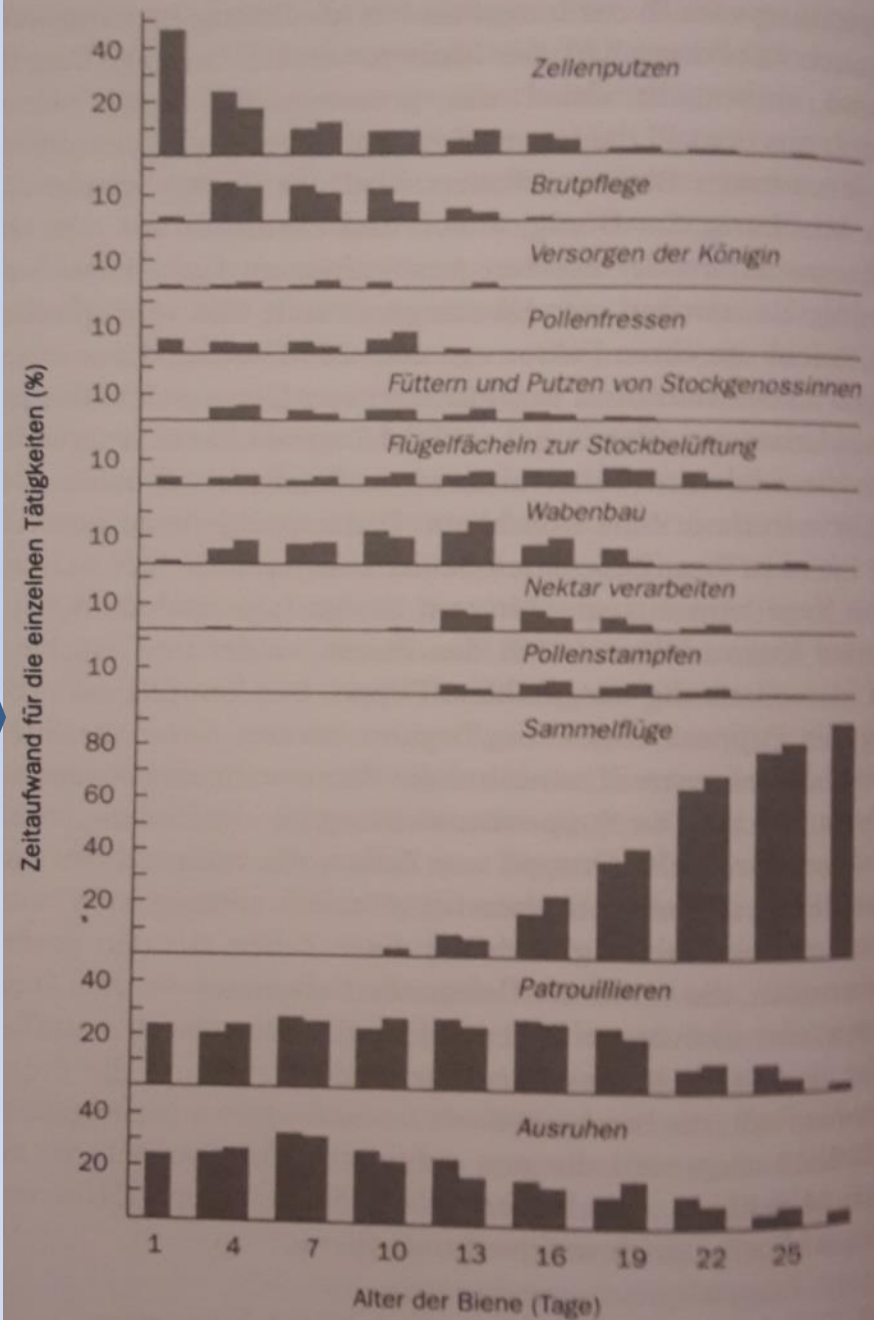
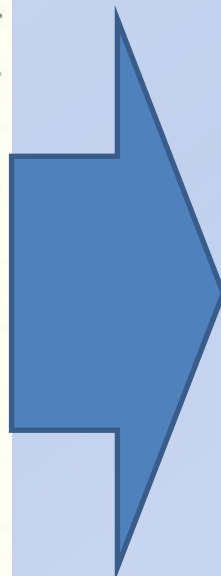
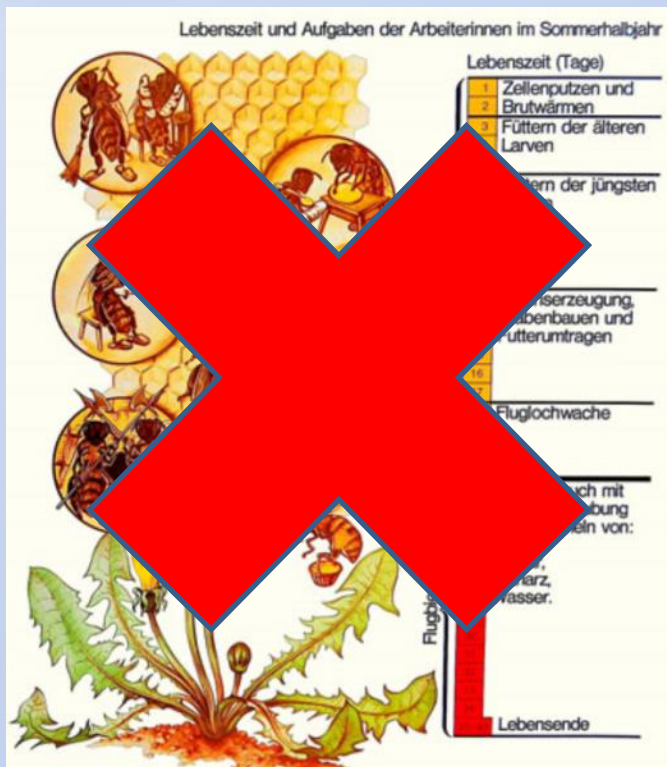
8.11.2017



Lebenslauf

- 30-60 Tage (Sommerbiene)
- Putzbiene
- Ammenbiene der Königin
- Ammenbiene
- Baubiene
- Biene für Nektarverarbeitung
- Heizerbiene
- Wächterbiene
- Sammelbiene
- Notsituation lässt Karriereleiter überspringen
- Schwarmbienen übernehmen wieder Jungbientätigkeiten
 - Lernen leichter
 - Leben deutlich länger







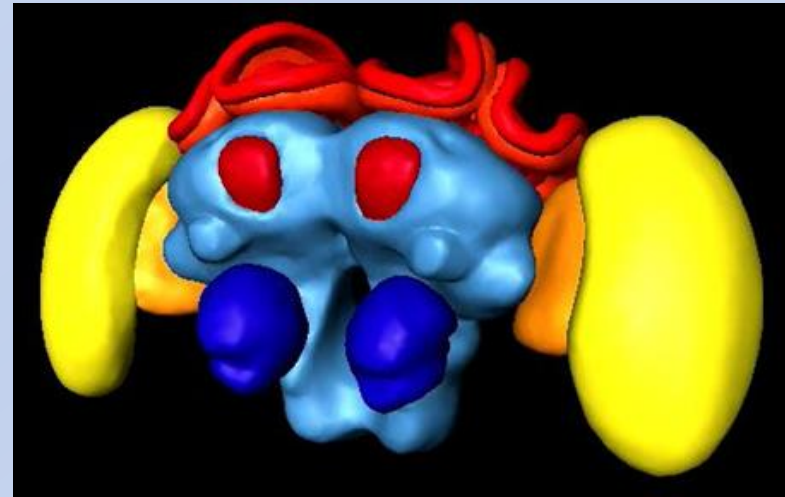
Diverses zum Hirn

- 2% Hirnmasse (gilt auch für Bienen)
- Hirn verbraucht ca. 20% der Energie
- Biene wiegt ca. 80mg, Hirn wiegt ca. 1mg
- Tintenfisch 150x mehr Neuronen als Biene
- Mensch hat 100.000x mehr Neuronen als Biene
- Intelligenz hängt von Geschwindigkeit ab
 - Neuronendichte Biene - Elefant
- Kein Schmerzempfinden? (kein Weichkörper)
 - Biene deren Hinterleib abgetrennt wird, arbeitet weiter, als ob nichts geschehen ist.



Bienenhirn

- Schmerzreize
 - Steuerung durch Naloxon?
- Symmetrischer Aufbau
 - Lamina (nicht sichtbar) gleich hinter den Augen (grün/blau)
 - Medulla hellgelb (UV)
 - Lobula orangefärbig (Richtung, Ganzfeld)
 - Antennalloben, dunkelblau, Geruchssinn
 - Daneben Tastsinn
 - Daneben Sinn für elektrische Felder
 - Oberhalb vom Schlund werden Sehinformationen mit Sonnenkompass abgeglichen
 - Pilzkörper ähnlich wie Frontlappen der Großhirnrinde (Bewußtsein)?
 - 1850 Hyperthese franz. Zoologe Felix Dujardin





Pilzkörper

- Eintagsfliege 5.000 Nervenzellen – Biene 170.000
- Eintagsfliege 2,5% der Neuronen im Pilzkörper → Biene 17%
- Alle Seh, Riech, Tast-Signale kommen auch in den Pilzkörper
- Lernzentrum, Gedächtnis
- Versuche Ende der 60'iger Jahre
 - Gesamter Pilzkörper entfernt → Bienen laufen nur geradeaus und konnten nicht anhalten
 - Rechte oder linke Seite des Pilzkörpers entfernt → Bienen laufen im Kreis



Belohnungs-Neuron

- VUMmx1: 1 Nervenzelle elektrisch stimuliert ersetzt Futterbelohnung
- Belohnungsneuron wirkt hauptsächlich bei unerwarteter Belohnung



Gedächtnis

- Langzeitgedächtnis benötigt mehrere Lernerfahrungen
- Kurzzeitgedächtnis benötigt nur eine Lernerfahrung
- Feldversuch mit künstlichen Futterquellen mit unterschiedlichen Nachflussgeschwindigkeiten
 - Bienen besuchten öfter schneller nachfließende Quellen und seltener die langsam nachfließenden



Kommunikation

- Symbolhafte Weise
- 600.000 Schwänzeltänze registriert → Code nicht geknackt
 - Beeinträchtigte Bienen tanzen weniger und unregelmäßiger
 - Gifte
 - Parasiten
 - Schlafmangel (Tom Seeley)



Sehverhalten

- Mensch sieht 3 Farben (blau, grün, rot)
- Biene – ultraviolett, blau, grün
- Biene sieht Sonne grün (kein Rotsehen)
- Rot sehen sie wie schwarz
- Gelb von grün nicht unterscheidbar
- Wahrnehmung Polarisation des Lichtes
 - Ofenrohrexperiment Karl von Frisch
- Farbexperimente (unterschiedlicher Positionen, Duftstoffe entfernen)
- Bienen haben bessere spektrale Empfindlichkeit
 - Farbsehen benötigt unterschiedliche Brennweite
 - Blau Rezeptoren jünger als rot/grün (beim Menschen)
- Relativierung:
 - Helligkeit unterscheiden → Sehwinkel 5°
 - Farbunterscheidung → Sehwinkel 15° (2m Distanz, >50cm Höhe)



Quelle: apisticus.de



Quelle: bee-careful.com

8.11.2017



Rundumblick mit 3500 Pixel

- Gleiche Leistung wie Linsenauge $\varnothing 12\text{m}$
- Facettenauge mit mittlerer Auflösung eines Linsenauges hat ca. $\varnothing 1\text{m}$ (1Mio Einzelaugen pro Komplexauge)
- Vorteil: Flotte Verarbeitungsgeschwindigkeit
 - Viele Veränderungen auflösbar (beim Fliegen)
- Nachteil: grobe Rasterung
- Jedes Einzelauge hat 9 Farbrezeptoren
 - 3xultraviolett, 2xblau, 4xgrün
- 99% Lichtabsorption – Rezeptoren filtern nur ihre benötigten Anteile



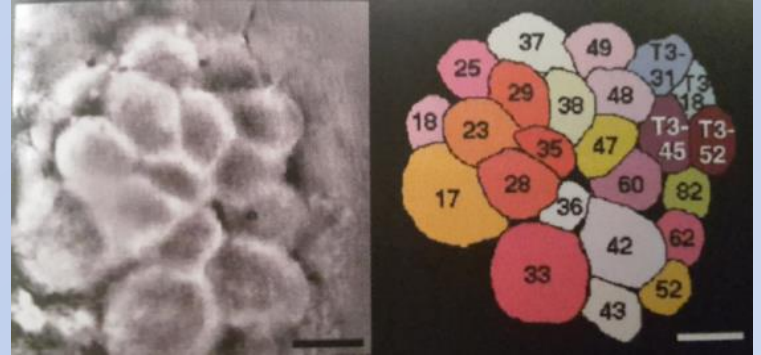


Räumliches Sehen

- **Voraussetzung:**
 - 2 Augen
 - Abstand zwischen den Augen
 - überlappendes Sehfeld
- **Komplexaugen der Bienen**
 - 1mm Abstand
 - Kleines überlappendes Sehfeld
 - Grobe Auflösung
- **Vermutliche Nutzung**
 - relative Größenabschätzung, Bewegungsparalaxe



Gerüche



- **Nutzung**
 - Orientierung in der Landschaft
 - Futtersuche
 - Aktivitäten im Stock
- **Antenne durch 2 Gelenke sehr beweglich**
 - Die meisten Riechrezeptoren an der Spitze
 - 60.000 Riechrezeptoren
 - Geruchsmolekül durch Porenplatte → mit Flüssigkeit gelöst und an Dendritenmembran gebunden → Signal für Nerv → Antennallobus (160 Kügelchen)
 - 160:1.000 Glomeruli (Kügelchen) → Duftkarten
 - „topochemischer Sinn“ Karl von Frisch (räumlich)
 - Bienen können Verwandtschaftsgrad riechen (Randolf Menzel)



Geruchsempfinden der Extraklasse

- Versuch mit 48 unterschiedlichen Gerüchen
 - Belohnung nur bei einem speziellen Geruch
 - 100%ige Zuordnung
 - Bienen unterscheiden Alkohole mit Unterschied eines Kohlenstoffatoms
 - Fettsäuren – ungerne gelernt
- Neuronen aktivieren und deaktivieren Glomeruli → Verstärker
 - Bienen lernen besser zu unterscheiden
- Duftreize bis 6ms



Geruchsempfinden nach Einsatz organischer Säuren

- Die ersten Beobachtungen zeigen Einschränkungen!
 - Deswegen kein Einsatz solcher Bienen bei wissenschaftlichen Experimenten
- Gründliche Untersuchungen hierzu fehlen noch



Geschmacksempfinden

- Geschmacksrezeptoren nicht nur auf der Zunge
- Geschmacksrezeptoren an allen Härchen am Körper.
- 3 Geschmacksrezeptoren + 1 Tastrezeptor
 - Hohe und niedrige Salzkonzentrationsrezeptor
 - Zuckerrezeptor
- 1930 Hr. Kantner (Mitarbeiter von Frisch)
 - 1 Zuckermolekül pro 1l Wasser – Fehlinterpretation
 - Kein definitiver Schwellwert bekannt ($\sim 0,1\%$)
- Bitterrezeptor scheint vorhanden aber noch nicht identifiziert
 - Bitteres wird ehr gemieden



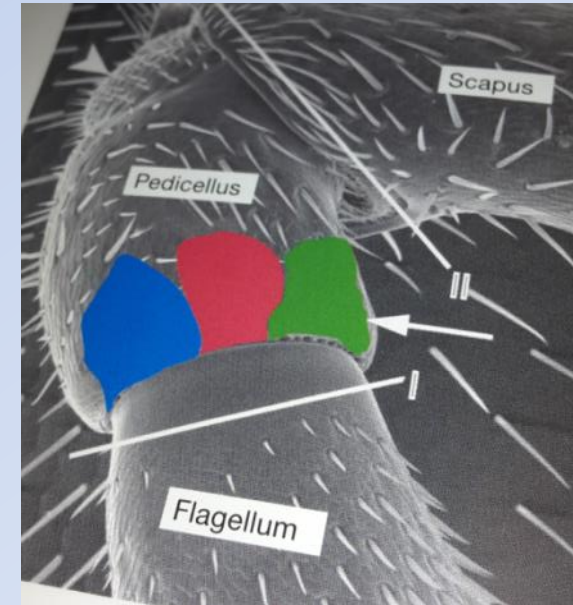
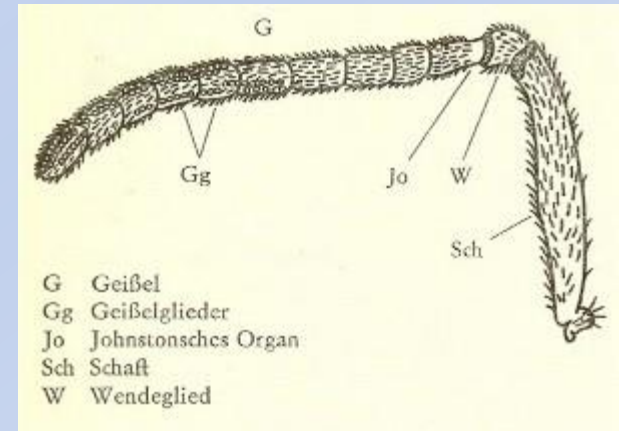
Gleichgewichtssinn

- Nackenhaare
 - Nach Entfernung, schlechte Orientierung, kein Fliegen



Antennen

- Geruchsempfänger
- Tastorgan
- Johnston'sche Organ im Kniegelenk der Antennen - Geschwindigkeitsempfinden
- Vibrationen der Antennen zur Kommunikation





Hören Bienen?

- Karl von Frisch – Telefonklingel
- Bedingte Hörbarkeit durch Tastrezeptor auf Härchen



Elektrostatische Felder

- Aufgeladene Styroporplatte als Reizsignal bewiesen Fähigkeit
- Schwänzeltanz zeigt charakteristische Muster elektrostatischer Felder
- Bienen verwenden Johnston'sches Organ zur Wahrnehmung elektrostatischer Felder
- Durch Bewegung der „Tänzerinnen“ werden Antennen der Zuhörerinnen mitbewegt (Coulomb'sches Gesetz, statische Ladung)
- Diskussion der Wirkung von Starkstromleitungen bei Regen
- Bienen richten Waben in genau derselben Richtung zum Erdmagnetfeld aus, wie ursprünglicher Stock. (Rezeptoren hierfür sind noch nicht bekannt)



Temperaturverhalten

- $< 10^{\circ}\text{C}$
 - Probleme bei Nervreizübertragung
- Wintertraube 12°C
 - Aufwärmen alle 3 Tage
- Flugmuskulatur 37°C
- Erwachsene Biene hält bis ca. 49°C aus
 - Wärmebehandlung bei $44,5^{\circ}\text{C}$ Lufttemperatur
 - Thematik Drohnenfertilität



Hypertermie

- Bachelorarbeit, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Arne Kablau, 9.9.2013
 - Drohnenfertilität
 - 41°C / 2 Std. – Fertilität 73% (entspricht Vergleichsgruppe)
 - 42°C / 3 Std. – Fertilität 0%, stichprobenartig
 - 43°C / 2 Std. – Fertilität 0%
 - 45°C / 2 Std. – Totale Brutausschüttung
 - Varroasterblichkeit
 - 41°C / 2 Std. (kein Brutausschüttung)
 - TO Mortalität: 4% Altmilben, 95% Jungmilben
 - T48 Mortalität: 5% Altmilben, 100% Jungmilben
 - 41°C / 3 Std.
 - TO Mortalität: 17% Altmilben, 88% Jungmilben
 - T48 Mortalität: 30% Altmilben, 100% Jungmilben
 - 42°C / 3 Std. (frisch verdeckelte Brut ist tot, trotz Luftbefeuchtung)
 - TO Mortalität: 85% Altmilben, 100% Jungmilben
 - T48 Mortalität: 100%



Bienenschlaf

- **Schlafverhalten**
 - **Schlafende Bienen lassen Antennen hängen**
 - Nur kurze Schläge mit den Flügeln, wie Augenbewegungen beim Mensch (Traum?)
 - **Replay wahrscheinlich (Geruchstest)**
 - **Sammlerinnen halten Mittagsschlaf**
 - **Jungbienen schlafen öfter verteilt am Tag (und Nacht) → sinnvoll für Larvenfütterung**



Lernverhalten

- **Y-Kasten**
 - Eingangsform oder Farbe wurde im Inneren wiedererkannt
- **2 unterschiedliche Reize**
 - 2 verschiedene Farben
 - Im Norden andere Farbe als im Süden
 - Vormittags andere Farbe als nachmittags
 - Belohnung bei Geruch A und B aber beim Mixgeruch aus A und B nicht
- **Bienen lernen Violett leichter als Blau oder Grün**
- **Bienen könnten Imker erkennen, bloß fehlen die Anreize ;-)**
- **Junge Bienen lernen bei Strafreizen weniger als Flugbienen**
 - Sinnvoll bei Jungbienen am Flugbrett (Königinnen Pheromon?)
 - Sinnvoll bei Sammelbienen (zB Luzerne - Kronblätter/Staubgefäße)



Grenzen der Intelligenz

- Verkettung von Regeln verstehen Bienen nicht
 - Wenn ... dann



Flugbeobachtungen

- **Erster Erkundungsflug (7 Tage nach Schlupf)**
 - Jungbiene fliegt 2-3m vom Stock weg, wendet 180°
 - Betrachtet ihren Stock (dauert ein paar Minuten)
 - Fliegt dann mit hoher Geschwindigkeit 50-300m bevor sie wieder zurück kommt
 - Sonnenstand, Beschaffenheit der Umgebung → Bildgedächtnis
 - Wegstrecke
- **Flugstreckenangabe bei Trachtflug**
 - Wenn Futterstelle höher liegt, wird Wegstrecke kleiner angegeben
 - Wenn Futterstelle in einem Tunnel liegt, deutlich länger
 - Höherer Luftwiderstand – größere Entfernung (Tiefflug)



Flugbeobachtungen

- Versuch mit Zelten
 - 4 Zelte, wobei Futterstelle mittig zwischen Zelt 3 und 4
 - Futterstelle wurde nach Entfernung am alten Platz gesucht
 - Abstand zwischen den Zelten wurde verkleinert / vergrößert
 - Bienen suchten sowohl am alten Platz nach Metern wie auch nach dem relativen Platz mittig zwischen Zelt 3 und 4



Flugbeobachtungen

- Aussetzen von Flugbienen
 - An einem bekannten Ort → schnelle Rückkehr
 - An einem unbekannten Ort → keine Rückkehr oder verspätete Rückkehr, falls sie zufällig auf bekanntes Gebiet kam
 - Beweis Indiz für kognitive Karte im Bienenhirn



Flugbeobachtungen

- 2 Versuchsgruppen werden auf Futterplatz trainiert
 - Erste Gruppe wird mit Narkosemittel 6 Stunden betäubt (innere Uhr bleibt stehen)
 - Zweite Gruppe wird nur in einem dunklen Behälter verwahrt
 - Beide Gruppen werden an einer versetzten Stelle ausgesetzt
 - Erste Gruppe flog zuerst 90° in die falsche angenommene Richtung, korrigierten dann und flogen direkt zum Stock
 - Zweite Gruppe flog in die angenommene Richtung, merkte, dass der Stock nicht kam, korrigierte und flog direkt zum Stock



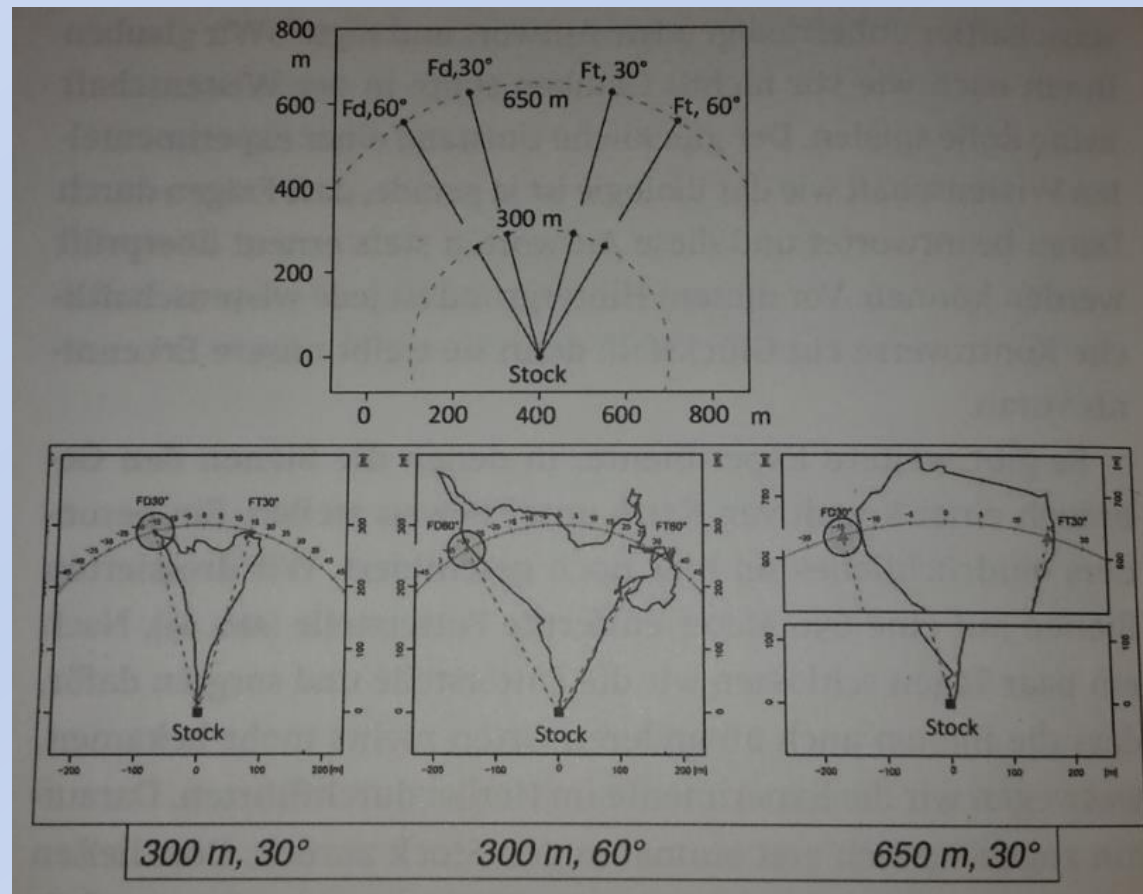
... alter Versuch von Karl von Frisch

- Bienen bekommen über Ofenrohr die Sonne zu sehen und tanzen auf der waagrechten Wabe völlig korrekt.
- In dem Augenblick, wo das Ofenrohr verschlossen wurde, tanzten die Bienen völlig durcheinander.
- Als Karl von Frisch die Waben senkrecht stellte, war der Tanz im Dunklen wieder völlig korrekt.
- → 2 Bezugsgrößen
 - Sonnenstand
 - Schwerkraft (Rezeptor noch nicht bewiesen)



Flugbeobachtungen

- Ein Herbstversuch (Trachtlosigkeit)





Schwänzeltanz

- Richtungsangabe durch Schwänzeltanz
- Entfernung
 - Anzahl der Runden pro 15sek
 - Mehr Runden, Distanz kürzer
- Distanz bis ca. 80m → Rundtanz
 - Richtungsangabe weniger genau
 - Eine Schwänzelsbewegung $\hat{=}$ 60m (bei 3m Höhe)
- Bisher nur Hinweise, dass im Schwänzeltanz auch Bezug auf kognitive Karte genommen wird.
- Blütengeruch
- Dauer zeigt Rentabilität (Intensität spielt keine Rolle)





Schwänzeltanz \neq Duftspur

- 1969: Bienen finden Futterstelle auf Grund des Geruchs
- Das stimmt bei eingelernten Orten für die eingelernten Bienen.
 - „Insider-Info“
- Bienen die den Platz noch nicht kannten, flogen gemäß Schwänzeltanz
 - Im Versuch wurde Nachläuferin versetzt, die dann gemäß Schwänzeltanzanordnung flog und nichts fand.



Schwänzeltanz nur für Futter?

- Trachtquellen
- Pollen
- Wasser, wenn es zu heiß wird
- Harz, an sich öffnenden Knospen
- Neuer Standort



Schwänzeltanz um nicht hinzufliegen?

- **Experiment der McMaster University in Kanada**
 - An eingeflogener Futterstelle werden tote Bienen aufgelegt
 - Schwänzeltanz wird weniger ausgeprägt
 - → Es fliegen weniger Bienen zur Futterstelle
 - Näheres ist unbekannt



„gelogener“ Schwänzeltanz

- Futterquelle auf einem Boot (Princeton University)
- Bienen tanzten, aber weitere Bienen hatten kein Interesse
 - Grund: kognitive Karte?

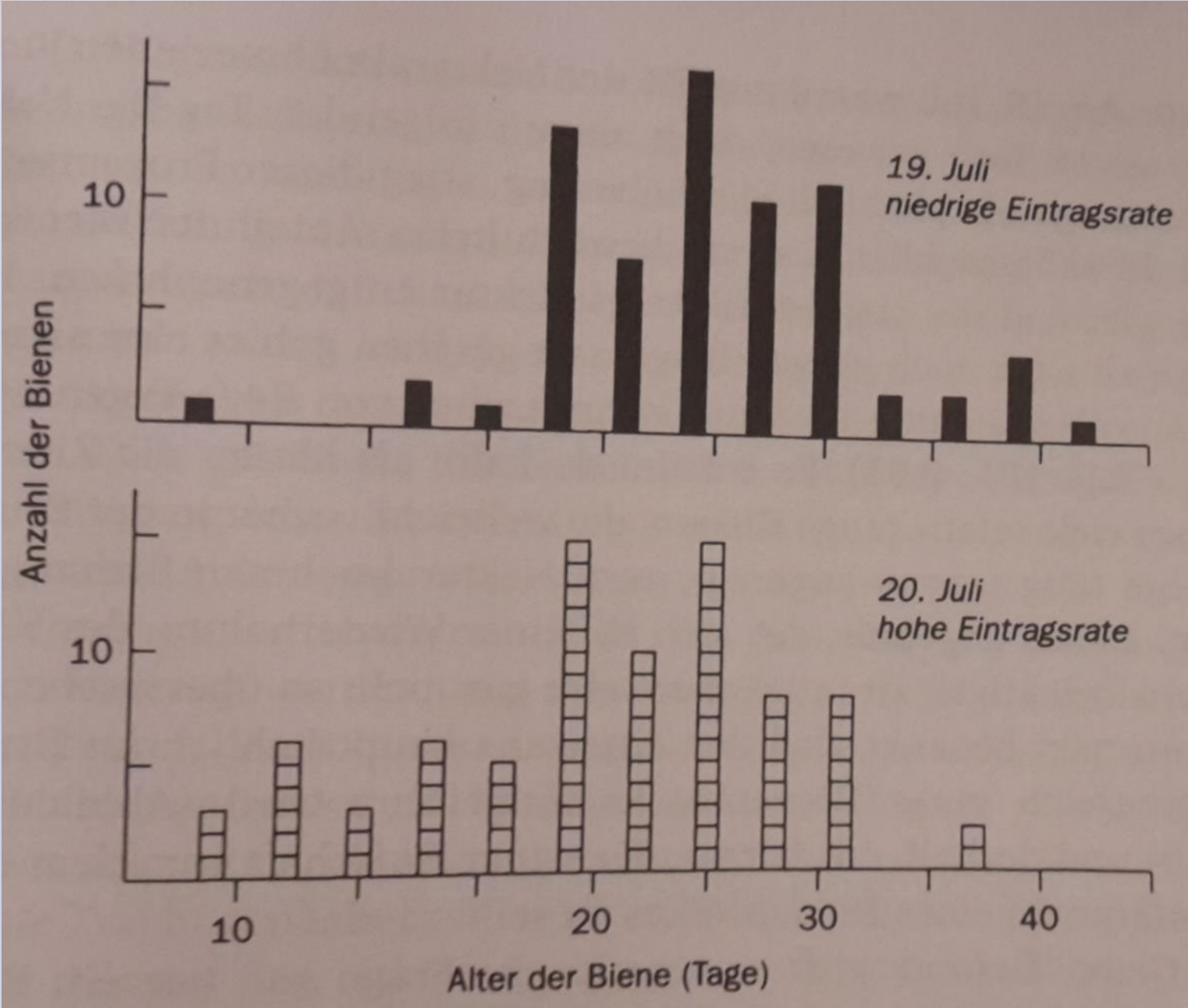


Nektareintrag

- Ø 25% Flugbienen, davon [Beispiel 60.000 -> 15.000]
 - 20% beschäftigungslos, davon [15.000 -> 3.000]
 - 10% Kundschafterinnen [3.000 -> 300]
- 95% der Flüge innerhalb 6km Radius ($\cong 100\text{km}^2$)
 - Mehrheitlich innerhalb 1km
- Tanz nur wenn ergiebige Trachtquelle
 - Tanzboden 4-18cm hinter Flugöffnung
- Aktive Sammelbienen beachten keine Schwänzeltänze
- Inaktive Sammelbienen beobachten meist nur einen Schwänzeltanz
- Keine Abnahme -> Zittertanz (320Hz, 100ms)
- Leere Waben -> Steigerung des Sammeleifers
 - Geruch -> +30%



Anzahl der Bienen, die Nektar abnehmen



Gregor Mayer



Polleneintrag

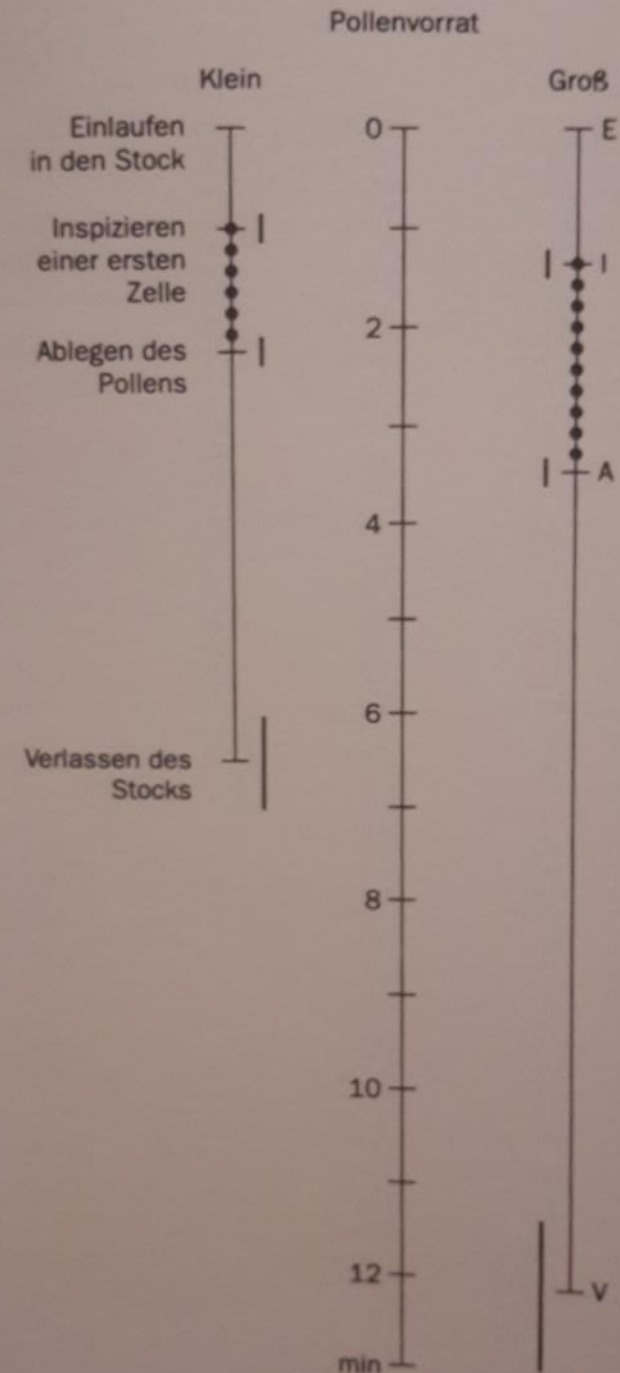
- **Kleine Pollenvorräte -> mehr Polleneintrag**
 - Einzelbiene
 - Größere Mengen
 - Weniger Pausen (15min statt 30min)
 - Eintrag +43% -> schnellere Anpassung
 - Rekrutierung weiterer Sammelbienen
- **Auslöser (nicht gesichert bekannt)**
 - ~~Kontakt zu Pollenflächen~~
 - ~~Geruch~~
 - Kommunikationsimpuls?
 - Dr. Crailsheim (1991), 75% -> Larven, 25% -> Sammelbienen)



Seigerung des Polleneintrags durch

- Weniger Pausen
- Eintrag größerer Mengen pro Flug
- Zusätzlich Rekrutierung weiterer Sammelbienen

Quelle: T. Seeley 1997, „Im Mikrokosmos des Bienenstocks“





Wassereintrag

- Nur 1% der Bienen sammeln überhaupt Wasser
- Spezialisierung
- Ø 46 Wasserflüge pro Tag und Biene
- Verm. Erstaktivierung durch hohen Zuckergehalt in der Honigblase
- Weitere Aktivierung über Schwänzeltanz und Abnahmerate



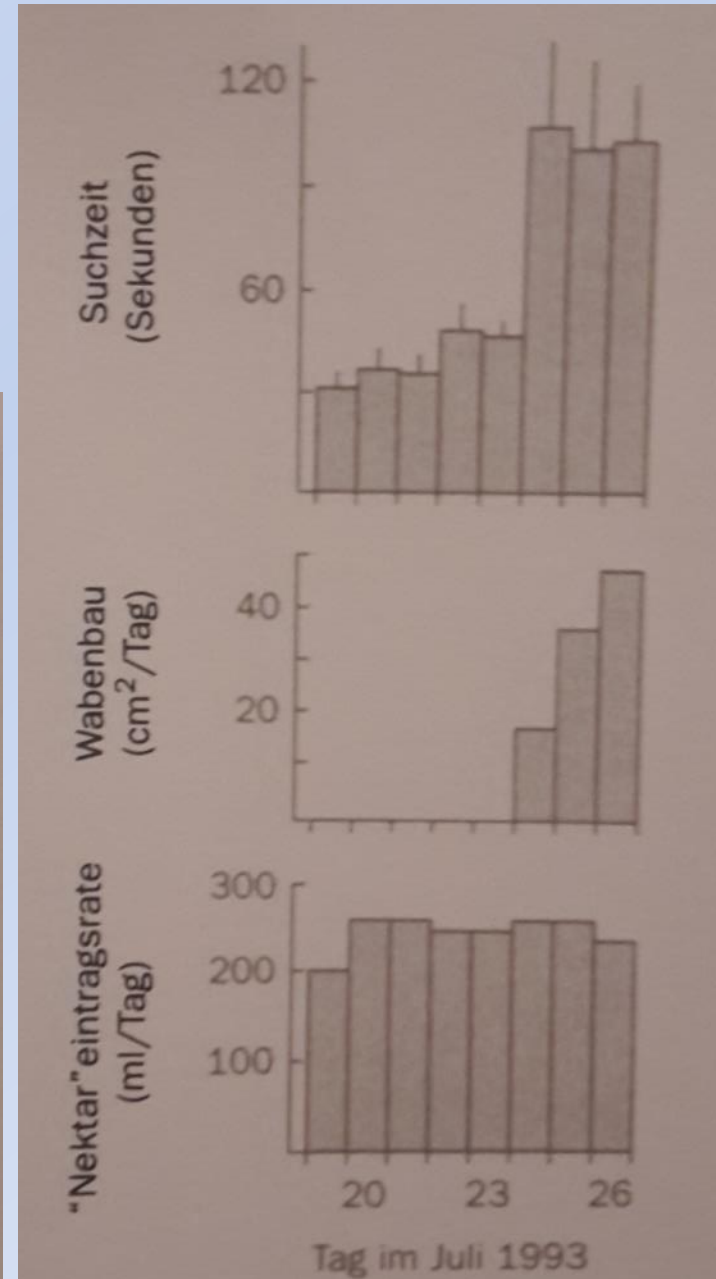
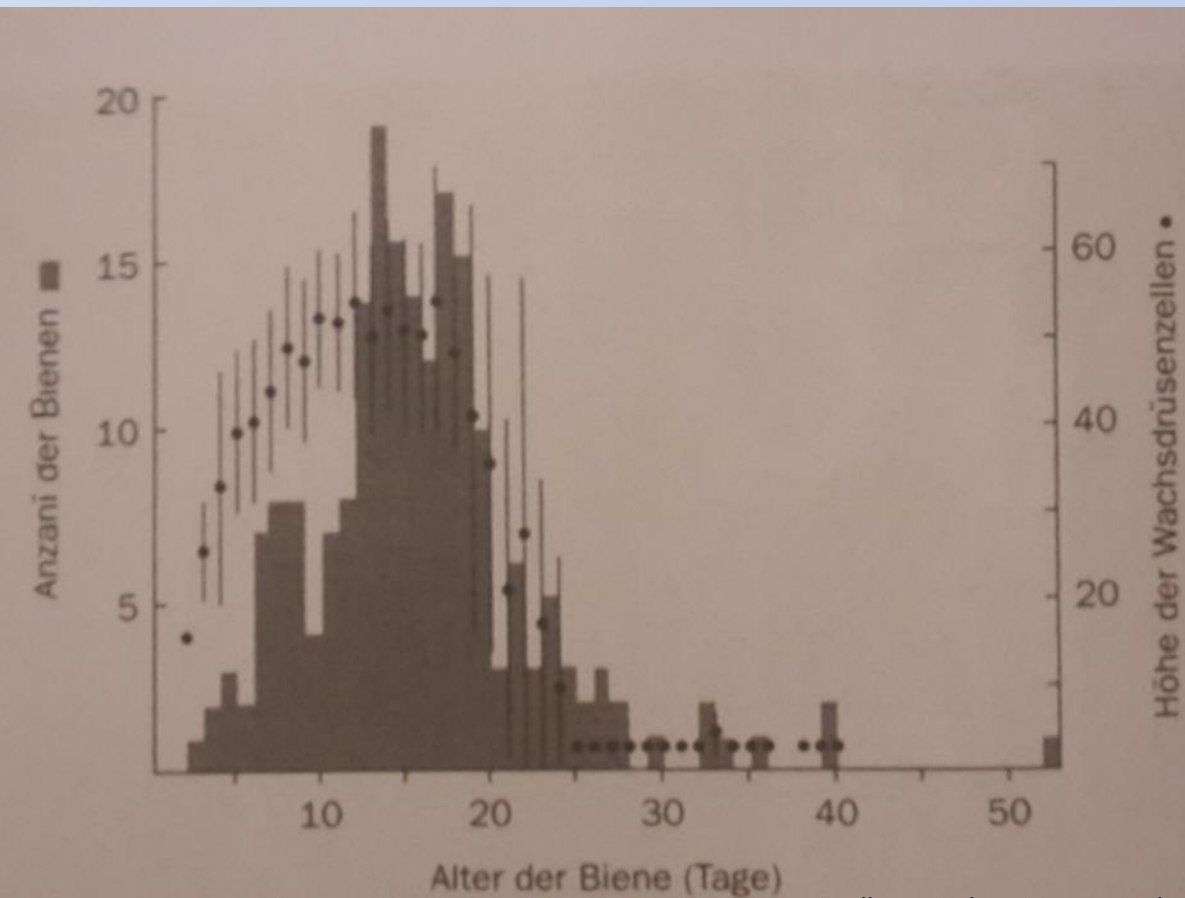
Baubienen

- Mehrheitlich 10-20 Tage alt
 - Max. Drüsengröße mit 18 Tagen
- Wabenbau wenn 60-80% der Zellen gefüllt sind und guter Trachteintrag
 - Ausnahmen:
 - Herbst -> Verhonigung der Brutzellen
 - Schwarmtrieb



Regulierung durch Suchzeit

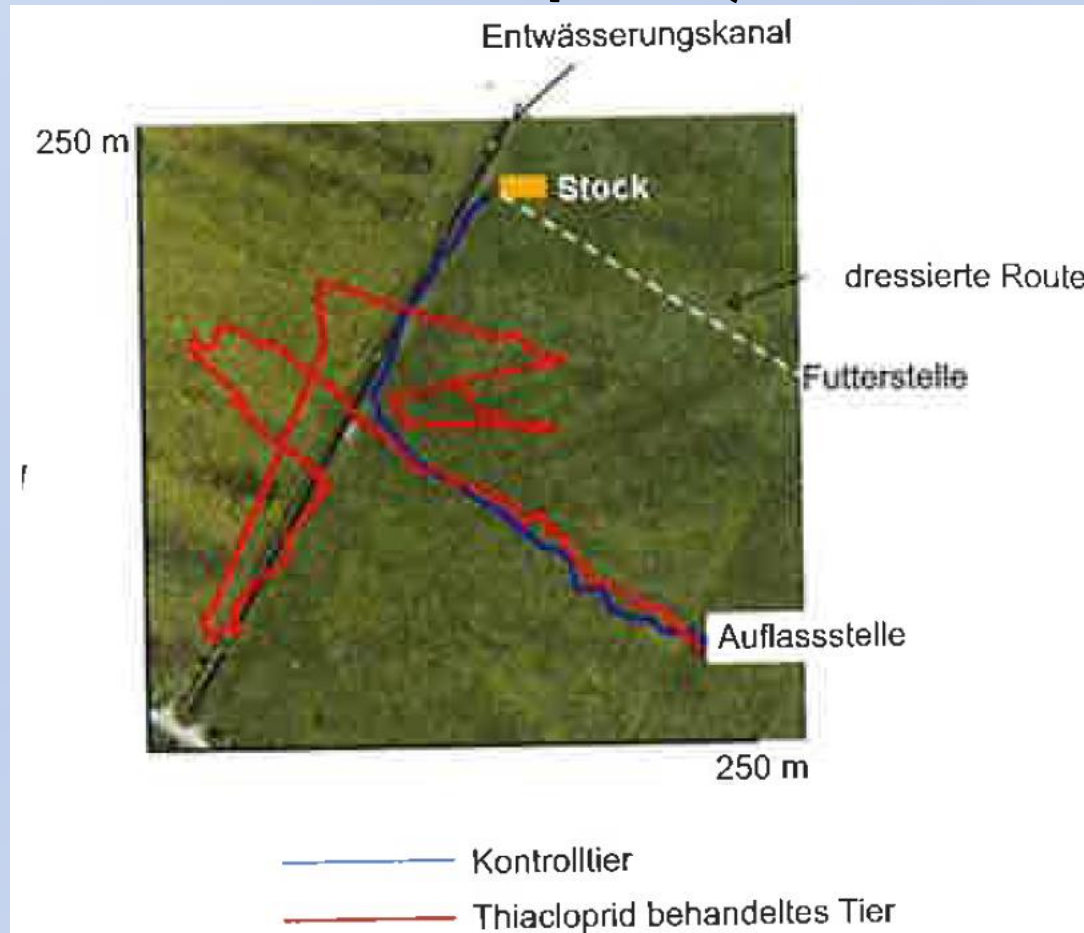
Bienen aus Bautraube





Flugbeobachtungen

- Wirkung von Thiacloprid (Neonicotinoid)





Auswirkung von Neonicotinoiden

- Starke Erregung – Überreaktion der Neuronen
- Blockade
- Natriumionen strömt in unbewältigbarer Menge in Neuron und verdrängen Kaliumione → Signal-/Informationsweiterleitung unterbunden (-60mV) → die Biene stirbt
- In geringen Dosen
 - Sonnenkompass, Entfernungseinschätzung funktioniert
 - Zugriff auf kognitive Karte funktioniert nicht
 - Eine laufende Einnahme von geringen Mengen (Thiacloprid)
 - immer höhere Dosis Zucker für Sammelaktivität
 - Einstellung der Tanzaktivitäten



Auswirkung von Neonicotinoiden

- LD50: 15.000 Nanogramm pro Tier (Thiacloprid)
- Studienergebnis bei chronischer Dosis:
 - 64 Nanogramm: massive Schädigung der Gedächtnisbildung und des Gedächtnisabrufs
 - 170 Nanogramm: Einstellung des Schwänzeltanzes
 - Tatsächliche Aufnahme nur 2 Nanogramm pro Flug
 - ~90% des eingebrachten Nektars wird im Stock „abgeladen“

$$1\text{ng} = 0,000.000.001\text{g}$$



... die Zahl 4

- Bienen können sich bis zu 4 verschiedene Zeiten und Orte merken
- ... und sie kommt stets ca. 5min zu früh

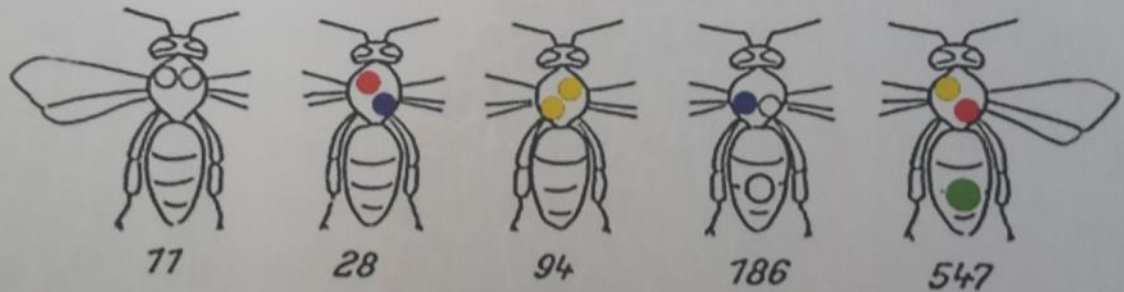
„Erster“



Schwarm

- **Randolf Menzel behauptet, dass Altkönigin bis zur Befruchtung der Jungkönigin im Stock bleibt und erst dann schwärmt.**
- **Schwarm ist konsensorientiert**
 - Stoppsignal
 - Kontrolle wie das Werben ankommt
 - Wenn Entschluss gefallen (100%), kriechen erfahrene Bienen in die Schwarmtraube
 - Vibrieren der Flügel (piepen)
 - 35°C
 - 1-2% der Bienen kennen neuen Standort
 - „Streaker“ geben die Richtung an (Tom Seeley)

... wer selbst experimentieren möchte



FAbb. 1-1a Mit Karl von Frischs Methode kann man bis zu 599 Bienen unterscheiden. Wird auch der Hinterleib der Bienen mit fünf Farben markiert, lassen sich an die 2000 Bienen individuell kennzeichnen.³



Quellenangabe

- **Die Intelligenz der Bienen**
 - Randolph Menzek, Matthias Eckoldt, 2016
- **Phänomen Honigbiene**
 - Jürgen Tautz, 2012
- **Im Mikrokosmos des Bienenstocks**
 - Thomas D. Seeley, 1997 (engl. Ausgabe 1995)
- **Abbildungen sind aus dem Buch „Die Intelligenz der Bienen“, sofern nicht anders beschriftet**
- **Bachelorarbeit, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Arne Kablau, 9.9.2013**



Die Biene in der Forschung

Imkerverein Floridsdorf