

## Lernen und Vergessen bei der Honigbiene.

M. LINDAUER (Zoologisches Institut der Universität Frankfurt/M.,  
Deutschland)

Nachdem die Mechanismen des genetischen Gedächtnisses weitgehend aufgeklärt sind, will man jetzt auch jene kennenlernen, die der Informationsspeicherung in den Nervenzellen sowie dem Lernprozeß zugrunde liegen. Es scheint mir notwendig, daß man bei solchen Untersuchungen über die molekulare Basis hinaus das Lernverhalten am gesamten, unversehrten Organismus studiert, und ich glaube, daß hierbei die Honigbiene ein besonders günstiges Objekt darstellt. Dies aus drei Gründen: einmal weil Insekten in ihrem kleinen Gehirn eine überschaubare Zahl von Neuronen besitzen, zum zweiten, weil die Honigbiene wie alle Insekten einen umfangreichen Grundstock angeborener Verhaltensmuster besitzt, so daß das Lernverhalten einen relativ kleinen Anteil ausmacht, und drittens, weil die Honigbiene ein soziales Wesen ist, dem aufgrund der Organisation des sozialen Verbandes Lernleistungen von hohem Niveau abverlangt werden.

Zusammen mit meinen Mitarbeitern MENZEL, WEHNER, KOLTERMANN und KRISTON haben wir in unserer Arbeitsgruppe versucht, erste Ansatzpunkte über die Lernmechanismen der Honigbiene zu erbringen. Ich kann kein abgerundetes Bild anbieten; ich will nur an Hand einiger Experimente verschiedene Ansatzpunkte zur Diskussion stellen.

Uns interessieren vor allem folgende Fragen:

1. die Geschwindigkeit des Lernvorganges,
2. die Sicherheit, mit der ein Signal konditioniert wird,
3. die Beständigkeit der Informationsspeicherung, d.h. der Vergessensprozeß,
4. die Fähigkeit auf neue Signale umzulernen,
5. der Umfang der Informationsspeicherung (wie viele Signale können gleichzeitig erlernt werden?),

6. existiert eine Hierarchie innerhalb verschiedener Signale (gleicher und verschiedener Modalität)?,
7. gibt es zeitgekoppelte Prozesse des Lernens?

Wir stellen die ersten zwei Fragen:

Wie schnell wird gelernt? Wie sicher wird gelernt?

Wir locken eine unerfahrene Jungbiene an ein Futtertischchen, wo es in einem Schälchen Zuckerwasser gibt; der Futterplatz ist durch ein Filtrierpapierstreifen mit Thymianduft markiert. Die Biene soll Futter mit dem Signal Thymianduft konditionieren. Die Biene fliegt, wenn sie sich vollgesaugt hat, in den Stock zurück und kommt wieder um neuerdings zu saugen. Jetzt stehen zwei Futtertischchen zur Verfügung, die Gläschen aber sind leer, nur der Duft ist da, jedoch zur Wahl Thymianduft und Geraniol. Das Ergebnis: zu 97% aller Fälle wählen diese unerfahrenen Bienen nach einem einzigen Lernakt den Dressurduft. Das ist eine erstaunliche Leistung.

Noch erstaunlicher ist aber eine andere, die unter den angebotenen Merkzeichen eine R a n g o r d n u n g setzt. Wir haben verschiedene Düfte angeboten und festgestellt, daß diese unterschiedlich schnell und unterschiedlich sicher erlernt wurden. Dabei war nicht die Verwandtschaft in der Molekülstruktur ausschlaggebend. Chemisch nah verwandte Stoffe wurden verschieden schnell gelernt, blumenartige Düfte wurden sehr leicht, faulig riechende Düfte sehr langsam erlernt. Der Gedächtnisbildung in den Nervenzellen muß also eine a k t i v e A u s - w a h l vorausgehen, die mit dem Geschehnis an der Peripherie nichts zu tun hat. Diese Hierarchie der Gedächtnisspeicherungen der Lernprozesse hat man, wie ich meine, bisher zu wenig beachtet. Ich will sie daher noch einmal an einem besonders klaren Beispiel erläutern.

MENZEL hat den Bienen, in ähnlicher Weise wie eben beschrieben, Farben als Futterzeichen angeboten. Auch hier stellte sich heraus, daß nicht alle Farben des Bienenspektrums gleich schnell und gleich sicher erlernt werden. Zunächst ein Vorversuch: Wenn wir für die gleiche Farbe Lernkurven von mehreren Bienen aufstellen, dann stellen wir fest, daß diese Lernkurven sehr gleichmäßig verlaufen. Nach drei, vier Lernakten ist das obere Plateau der Lernleistung bei allen Bienen erreicht. Wenn wir jedoch verschiedene Farben anbieten, Grün, Gelb, Blau und Violett, dann zeigt sich, daß Violett rascher und besser erlernt wird als die übrigen Spektralfarben. Das ist überraschend, da wir ja von DAUMERS Untersuchungen wissen, daß nicht Violett für das Bienenauge die reizwirksamste Farbe darstellt, sondern Ultraviolett.

Die Sicherheit des Lernens kann auch am Vergessen s p r o z e ß gemessen werden. Hierzu einige Beobachtungen: Wenn wir auf Violett ein einziges Mal belohnen, dann wird dieses Farbsignal erst nach 6 Tagen vergessen (ohne daß zwischendurch neu belohnt, d.h. die Dressur verstärkt worden wäre). Eine Belohnung auf Gelb wird 2 Tage lang im Gedächtnis behalten; wiederum zeigt sich die erste Rangstellung von Violett. Belohnt man auf Blau oder Gelb hingegen dreimal, dann merken sich die Bienen dieses Farbzeichen zwei Wochen lang.

Weiteren Einblick in den Vergessensprozeß bringen Umlernversuche, wie sie wiederum MENZEL durchgeführt hat. Eine Biene wird auf Blau (444 nm) einmal, zweimal, bis zwölfmal belohnt. Nach dieser Vordressur muß die Biene auf Orange (590 nm) umlernen; sie wird jetzt ein- bis zwölfmal auf der Gegenfarbe belohnt. Es ergeben sich 3 wichtige Befunde:

1. Das Umlernen erfolgt um so schlechter, je öfter auf der ersten Farbe belohnt wurde.
2. Umlernkurven erreichen mit ca. 85% nicht das Plateau einer normalen Lernkurve mit 93%.

3. Wenn in der Vordressur so oft belohnt wird (öfter als fünfmal), daß das Plateau der normalen Lernkurve bereits erreicht ist, dann geht das Umlernen um so besser, je mehr Lernakte im Überschuß angeboten wurden (Overlearning reversal effect, Überlernerneffekt).

Aufschlußreich ist auch der Zusammenhang zwischen Gedächtnis und absoluter Zeitdauer der Belohnung: Im Normalfall braucht eine Biene, bis sie sich vollsaugt, etwa 35 sec. Man kann nun diesen Saugakt nach wenigen Sekunden unterbrechen. Läßt man nur 3 sec. saugen (die Biene wird dabei aufgescheucht), dann wird die Farbe nur wenige Minuten als Futtersignal gespeichert. Eine Belohnung länger als 5 sec. jedoch hat zur Folge, daß die Information mindestens 30 Minuten behalten wird. Zwischen 3 und 5 sec. besteht eine kritische Phase. Der entsprechende Gedächtnisinhalt liegt demnach in zwei Formen vor, als kurzzeitiges und als langzeitiges Erinnern.

#### Zeitgekoppelte Lernprozesse.

Neben der Rangordnung des Lernsignales ist es das **Z e i t - m o m e n t**, das beim Lernprozeß eine entscheidende Rolle spielt. Wenn wir die Bienen veranlassen, mehrere Signale hintereinander einzuspeichern, dann ist die Reihenfolge wichtig. Wir bieten zunächst Thymian, beim zweiten Anflug Geraniol, beim dritten Anflug stehen Thymian und Geraniol zur Wahl. Die Bienen entscheiden sich mit über 90% für jenes Signal, das **z u e r s t** geboten worden war, nicht für jenes, das - wie man vermuten könnte - als letztes besser in der Erinnerung haftet. Dies gilt auch, wenn man drei verschiedene Signale hintereinander einspeichert. Man wird jetzt fragen, ob das zweite und dritte Signal inzwischen vergessen bzw. überhaupt nicht gespeichert wurden. Das ist nicht der Fall, denn wenn wir im entscheidenden Versuch das erste Signal nicht mehr bieten, dann kommt das zweite zum Durchbruch.

Völlig unerwartet war ein Ergebnis, das zeigte, daß der Lernprozeß streng mit dem Signal "Tageszeit" gekoppelt ist. Wir bieten wieder einer unerfahrenen Biene Futter an unserem Tischchen, diesmal aber duftlos. Die Fütterung beginnt um 8 Uhr morgens, um 14 Uhr geben wir für einen Anflug Thymian dem Zuckerwasser bei. Dann füttern wir wieder duftlos weiter bis 18 Uhr. Am nächsten Tag machen wir Testproben, ob die Biene sich das Signal Thymian, das wir nur einmal um 14 Uhr geboten hatten, gemerkt hat. Sie hat es dem ersten Anschein nach vergessen, denn um 8<sup>00</sup>, 9<sup>00</sup>, 10<sup>00</sup>, 11<sup>00</sup> und 12<sup>00</sup> interessiert sie sich nicht für diesen Duft. Dann aber kommt das Erinnerungsvermögen bis 14 Uhr, um später wieder abzusinken. Wir füttern duftlos weiter und am zweiten und dritten Tag ist das Ergebnis prinzipiell das gleiche, wenn auch insgesamt die Erinnerung abnimmt; der Vergessensprozeß erfolgt also nicht linear, sondern ist tageszeitlich mit der ersten Einspeicherung gekoppelt. Ich glaube, daß hier ein allgemeines Prinzip des Lernprozesses aufgegriffen ist.

#### Lernen ohne subjektive Erfahrung.

Der hochorganisierte Bienenstaat fordert von seinen Mitgliedern eine Sonderleistung im Lernverhalten: Lernen durch Anweisung des Artgenossen, also Lernen ohne subjektive Erfahrung.

Wir füttern wieder eine Schar von 5 Bienen an unserem Futtertischchen, dem wir Thymianduft beigegeben haben. Die Bienen sind individuell markiert, und nach einiger Zeit wird eine unmarkierte, unerfahrene Biene am Futtertischchen ankommen. Sie hat durch Tänze von der Sammelschar Information bekommen, daß die Futterquelle nach Thymian duftet. Sobald sie am Futtertischchen erscheint, wird die alte Schar abgefangen, das Zuckerwasser wird weggenommen, und es werden zwei Tischchen mit

frischem Duft aufgestellt, eines mit Thymian, das andere mit Pfefferminz. Zu 98% wählen die Neulinge den Thymianduft. Nur auf Grund der Mitteilung durch andere Stockgenossen - ohne eigene, subjektive Erfahrung - haben sie dieses Futtersignal erlernt.