

Die Bedeutung der Genetik in der Königinnenzucht: Ein Blick auf die Varroa-Resistenz (VSH-Zucht)

Einleitung:

Die Genetik spielt in der Bienenzucht eine entscheidende Rolle, um gesunde, widerstandsfähige und leistungsstarke Völker zu züchten. Dabei ist das Verständnis der genetischen Vererbung besonders wichtig, um erwünschte Eigenschaften wie Krankheitsresistenz oder Varroa Sensitive Hygiene (VSH) zu fördern.

Ein langfristig angelegtes Zuchtprojekt, das in diesem Zusammenhang hervorzuheben ist, ist das Projekt Varroa-Resistenz 2033 (Varroa 2033). Ziel dieses internationalen Projekts ist es, innerhalb der nächsten Jahrzehnte flächendeckend varroa-resistente Bienen zu züchten, die ohne den Einsatz chemischer Mittel gegen die Milbe überleben können. Diese Vision basiert auf einer gezielten Selektion von Bienen, die über natürliche Abwehrmechanismen wie VSH verfügen. Genetische Vielfalt und Vererbung spielen dabei eine zentrale Rolle.

Genetische Grundlagen der Bienenzucht

Um zu verstehen, wie bestimmte Eigenschaften bei Bienen vererbt werden, ist ein grundlegendes Verständnis der Genetik unerlässlich. Jeder Organismus, einschliesslich der Bienen, speichert in seinen Zellen einen „Bauplan“ in Form von **DNA (Desoxyribonukleinsäure)**. Die DNA besteht aus langen Ketten, die in Strukturen, den sogenannten **Chromosomen**, organisiert sind. Jedes Chromosom trägt zahlreiche **Gene** – Abschnitte der DNA, die für spezifische Merkmale verantwortlich sind, wie beispielsweise die Farbe der Biene oder das Hygieneverhalten (VSH-Verhalten).

Chromosomen und Genotypen bei Honigbienen

Honigbienen besitzen **16 Chromosomenpaare**, also insgesamt 32 Chromosomen in den Zellen von Königinnen und Arbeiterinnen. Diese Zellen werden als **diploid** bezeichnet, weil sie zwei Chromosomensätze besitzen – einen von der Mutter und einen vom Vater. Drohnen hingegen haben nur 16 Chromosomen und sind **haploid**, da sie ausschliesslich das Erbgut der Königin tragen, aus deren unbefruchteten Eiern sie entstehen.

Jedes Gen auf einem Chromosom kann in verschiedenen Varianten vorliegen. Diese Varianten nennt man **Allele**. Zum Beispiel gibt es bei Bienen Gene, die für Merkmale wie die Farbe oder das VSH-Verhalten (Varroa Sensitive Hygiene) verantwortlich sind. Ein Organismus hat immer zwei Kopien jedes Gens, eines von der Mutter und eines vom Vater. Diese beiden Kopien können gleich sein, aber oft sind sie unterschiedlich. Diese Unterschiede führen zu verschiedenen phänotypischen Ausprägungen von Merkmalen ((d.h. sichtbaren Eigenschaften oder Merkmalsformen, die durch die genetische Ausstattung und Umweltfaktoren beeinflusst werden).

Dominante Allele

Wenn ein Allel **dominant** ist, reicht es aus, dass nur eine Kopie dieses Allels vorhanden ist, um das Merkmal zu zeigen. Ein Beispiel für ein dominantes Merkmal bei Bienen könnte die dunkle

Farbe sein. Wenn eine Biene ein Allel für dunkle Farbe und ein Allel für helle Farbe erbt, wird sie eher eine dunkle Farbe haben, weil das dominante Allel das rezessive überlagert.

Rezessive Allele

Ein **rezessives** Allel zeigt sich nur dann, wenn beide Kopien dieses Allels vorhanden sind. Das bedeutet, dass eine Biene zwei Kopien des rezessiven Allels haben muss, um das entsprechende Merkmal zu zeigen. Wenn eine Biene nur eine Kopie des rezessiven Allels und eine Kopie eines dominanten Allels hat, wird das rezessive Merkmal nicht ausgedrückt.

Rezessive Vererbung des VSH-Merkmals

Ein Beispiel für **rezessive** Vererbung in der Bienenzucht ist das VSH-Merkmal (Varroa Sensitive Hygiene). Dieses Verhalten führt dazu, dass Bienen Varroa-befallene Brut erkennen und entfernen, was die Ausbreitung der Varroa-Milbe im Bienenstock reduziert. Das VSH-Merkmal wird rezessiv vererbt, was bedeutet, dass eine Biene zwei Kopien des VSH-Gens haben muss, um das Verhalten voll auszuprägen.

Bienen, die nur eine Kopie des VSH-Gens und eine Kopie eines normalen Gens besitzen, zeigen das VSH-Verhalten entweder nur schwach oder gar nicht. Dies stellt eine besondere Herausforderung bei der Zucht dar: Es reicht nicht aus, nur eine VSH-Königin zu haben. Auch die Drohnen, die die Königin begatten, müssen das VSH-Merkmal tragen, um sicherzustellen, dass die Nachkommen **homozygot** für das VSH-Merkmal sind, also zwei Kopien des Gens erhalten und das Verhalten vollständig ausprägen.

Diese genetische Voraussetzung erfordert eine kontrollierte Zucht. Bei der natürlichen Standbegattung ist die Wahrscheinlichkeit, dass Drohnen ohne VSH-Gene die Königin begatten, sehr hoch. Dies führt dazu, dass das VSH-Merkmal in den Nachkommen "verwässert" wird, da viele Bienen nur eine Kopie des VSH-Gens haben (**heterozygot**) und das Verhalten nicht mehr vollständig zeigen. Um dies zu verhindern, ist eine gezielte Anpaarung erforderlich. durch die künstliche Besamung oder auf Belegstellen, wo Drohnenvölker selektiert werden, die ebenfalls das VSH-Merkmal tragen.

Meiose und Crossing-over: Der Mechanismus der genetischen Vielfalt

Die **Meiose** ist der Prozess, bei dem Geschlechtszellen (Spermien und Eizellen) gebildet werden. Während bei der normalen Zellteilung (Mitose) die Chromosomenzahl erhalten bleibt (**diploid**), wird bei der Meiose die Chromosomenzahl halbiert. Das bedeutet, dass jede Geschlechtszelle nur einen einfachen Chromosomensatz (**haploid**) erhält, der später bei der Befruchtung wieder mit einem Chromosomensatz des anderen Elternteils kombiniert wird.

Bei Bienen hat eine Königin **16 Chromosomenpaare (insgesamt 32 Chromosomen)**. Während der Meiose werden diese Chromosomenpaare getrennt, sodass jede Eizelle nur 16 Chromosomen erhält – einen von jedem Chromosomenpaar. Dieser Prozess sorgt dafür, dass die Nachkommen eine Mischung der Gene von Mutter und Vater erhalten.

Ein wichtiger Teil der Meiose ist das sogenannte **Crossing-over**. Beim Crossing-over tauschen die homologen Chromosomenabschnitte (Chromosomen mit den gleichen Genen, aber unterschiedlichen Varianten von Mutter und Vater) DNA-Stücke aus. Dies führt zu einer Neukombination der Gene und einer zusätzlichen Ebene der genetischen Vielfalt.

Crossing-over spielt bei der Vererbung eine zentrale Rolle, da es sicherstellt, dass selbst Nachkommen von denselben Eltern genetisch unterschiedlich sind. Jede Eizelle, die durch **Meiose und Crossing-over** entsteht, trägt eine einzigartige Kombination der Gene der Königin. In der Bienenzucht führt dies zu einer grossen Anzahl von genetischen Kombinationen bei den Nachkommen.

Oft herrscht die Meinung, dass Drohnen genetisch gesehen Klone ihrer Mutter sind, da Sie nur einen Chromosomensatz der Königin erben. Dem ist aber nicht so, da die Königin bei der Bildung ihrer Eizellen eine Meiose durchläuft, bei der die Chromosomen zufällig verteilt und **rekombiniert** werden. Dadurch ergibt sich eine enorme Anzahl möglicher genetischer Kombinationen auch bei den Drohnen einer einzigen Königin, auch wenn sie alle nur den **haploiden** Chromosomensatz der Königin tragen.

Die 4 bis 5 Millionen Spermien eines einzelnen Drohns sind genetisch jedoch vollkommen identisch.

Herausforderungen bei der Zucht von Varroa-resistenten Bienen

Die Zucht von Bienenpopulationen, die effektiv gegen die Varroa-Milbe resistent sind, ist aufgrund mehrerer genetischen und biologischen Faktoren eine komplexe Aufgabe. Ein zentrales Problem besteht darin, dass das spezifische Gen oder die Genkombination, die für das Varroa Sensitive Hygiene (VSH)-Verhalten verantwortlich ist, bisher nicht eindeutig identifiziert wurde. Es fehlt an molekularen Markern oder genetischen Tests, die eine frühzeitige und zuverlässige Identifizierung von VSH-tragenden Bienen ermöglichen würden. In anderen Zuchtbereichen können solche Marker genutzt werden, um Tiere mit den gewünschten genetischen Eigenschaften auszuwählen, ohne auf zeitintensive phänotypische Tests angewiesen zu sein. Bei der VSH-Zucht hingegen müssen Züchter weiterhin auf direkte Beobachtungen und Bewertungen setzen.

Die Abhängigkeit von **phänotypischer** Selektion bedeutet, dass Bienenstöcke regelmässig auf das tatsächliche VSH-Verhalten getestet werden müssen. Dies ist ein zeitaufwändiger und arbeitsintensiver Prozess, da das Entfernen von Varroa-befallener Brut durch die Arbeiterinnen genau beobachtet und bewertet werden muss. Zudem kann das VSH-Verhalten von äusseren Faktoren wie Umweltbedingungen oder dem allgemeinen Gesundheitszustand des Volkes beeinflusst werden, was die Zuverlässigkeit der phänotypischen Selektion erschwert.

Ein weiterer komplizierender Faktor ist die immense **genetische Vielfalt** innerhalb eines Bienenvolkes, die durch die **Mehrfachpaarung** der Königin entsteht. Eine Königin paart sich typischerweise mit 10 bis 20 Drohnen, was zu Nachkommen mit einer Vielzahl unterschiedlicher genetischer Hintergründe führt. Diese Diversität ist zwar für die Anpassungsfähigkeit und Vitalität des Volkes vorteilhaft, macht aber die gezielte Vererbung des VSH-Merkmals schwierig. Da das Merkmal **rezessiv** vererbt wird, müssen Arbeiterinnen zwei Kopien des entsprechenden Gens besitzen, um das Verhalten voll auszubilden. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies in einer Population mit hoher genetischer Vielfalt eintritt, ist gering, wenn nicht gezielte Zuchtmassnahmen ergriffen werden.

Die natürliche Standbegattung verstärkt diese Herausforderung, da die Paarung unkontrolliert erfolgt und Drohnen ohne das VSH-Merkmal die Königin begatten können. Dies führt dazu, dass

das Merkmal in den Nachkommen verwässert wird und die gewünschte Resistenz gegen die Varroa-Milbe nicht ausreichend ausgeprägt ist.

Zusätzlich sorgt der Mechanismus der Meiose und das Crossing-over während der Keimzellenbildung für eine weitere genetische Durchmischung. Obwohl Drohnen haploid sind und nur das Erbgut der Königin tragen, führt die Neukombination von Genen während der Meiose zu einer grossen Vielfalt unter den Drohnen. Dies macht es schwierig, die Vererbung des VSH-Merkmals präzise zu kontrollieren, selbst wenn die Königin das gewünschte Gen trägt.

Insgesamt stellen diese Faktoren erhebliche Hürden für die Zucht von Varroa-resistenten Bienen dar. Ohne die Möglichkeit, das VSH-Merkmal direkt auf genetischer Ebene zu identifizieren und auszuwählen, sind Züchter auf aufwendige phänotypische Tests und **kontrollierte Paarungen** angewiesen. Dies erfordert nicht nur erhebliche Ressourcen und Fachwissen, sondern verlängert auch den Zeitraum, bis erfolgreiche Zuchtlinien etabliert werden können.

Zuchtstrategien zur Selektion von VSH-Bienen

Ein erster Hinweis auf mögliche VSH-Merkmale in einem Volk ist ein geringer Milbenfall während der üblichen Varroa-Behandlungen. Wenn bei der Anwendung von Varroaziden nur wenige Milben abfallen, deutet dies darauf hin, dass die Bienen bereits eigenständig gegen die Milbe vorgehen. Solche Völker werden als potenzielle Träger des VSH-Merkmals angesehen.

Um diese Vermutung zu bestätigen, werden die betreffenden Völker genauer untersucht. Dabei wird der Milbenbefall regelmässig überprüft, beispielsweise mit der Puderzucker-Methode, der Auswaschmethode oder durch die Beobachtung des natürlichen Milbenfalls. Zusätzlich kann der Nadeltest angewendet werden, um das **Hygieneverhalten** der Bienen zu beurteilen. Dabei werden gedeckelte Brutzellen vorsichtig angestochen, und man beobachtet, wie schnell und effizient die Arbeiterinnen die beschädigten Zellen öffnen und säubern. Ein hoher Anteil geöffneter und gesäuberter Zellen deutet auf ein ausgeprägtes VSH-Verhalten hin.

Identifikation von VSH-Eigenschaften mit Eindrohn-Besamung

Zur gezielten Identifikation und Selektion von Königinnen mit starken VSH-Eigenschaften wird die **Eindrohn-Besamung (Single-Drone Insemination, SDI)** eingesetzt. Bei dieser Methode wird eine Königin künstlich mit dem Sperma eines einzigen ausgewählten Drohns besamt. Durch die Reduzierung der genetischen Vielfalt im resultierenden Volk können die Auswirkungen des VSH-Merkmals klarer beobachtet werden. Nach der Besamung gründet die Königin ein neues Volk, dessen Arbeiterinnen eine homogene genetische Basis haben. Dieses Volk wird dann kontrolliert mit Varroa-Milben infiziert, um das **VSH-Verhalten** zu testen. Durch das Auszählen der Milben und die Untersuchung befallener Brutzellen erhält man Rückschlüsse auf die Resistenzeigenschaften der Königin. Da die Arbeiterinnen genetisch ähnlich sind, kann das beobachtete VSH-Verhalten direkt auf die Königin zurückgeführt werden. Königinnen, deren Völker ein starkes VSH-Verhalten zeigen, werden für weitere Zuchtprogramme ausgewählt. Die Methode dient somit als **effektiver Filter**, um Königinnen mit den gewünschten Eigenschaften zu identifizieren.

Allerdings gibt es auch Herausforderungen bei dieser Vorgehensweise. Die reduzierte genetische Vielfalt kann die Vitalität des Volkes beeinträchtigen, und der hohe Arbeits- und Zeitaufwand erfordert spezialisierte Kenntnisse. Die gezielte Infektion mit Milben stellt zudem ein Gesundheitsrisiko für das Volk dar und erfordert sorgfältige Überwachung, um das Volk nicht zu

gefährden. Aufgrund dieser Faktoren eignet sich die Eindrohn-Besamung eher für Forschungszwecke (für die gezielte Selektion) als für die grossflächige Anwendung in der Zuchtpraxis.

Bedeutung der künstlichen Besamung (Mehrdrohn-Besamung) und Belegstellen

Um das VSH-Merkmal in der Breite der Population zu fördern und gleichzeitig die genetische Vielfalt zu erhalten, wird häufig die **Mehrdrohn-Besamung (multiple drone insemination, MDI)** eingesetzt. Bei dieser Methode wird eine Königin künstlich mit dem Sperma mehrerer ausgewählter Drohnen besamt. Diese Drohnen stammen aus Völkern, die bereits ein ausgeprägtes VSH-Verhalten zeigen. Durch die Kombination des Spermas mehrerer Drohnen erhöht sich die genetische Vielfalt im Volk, was sich positiv auf die Vitalität und Anpassungsfähigkeit auswirkt. Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Nachkommen das VSH-Merkmal homozygot tragen und somit das Verhalten voll ausprägen.

Die künstliche Besamung ermöglicht es Züchtern, die Paarung der Königinnen gezielt zu steuern und unerwünschte Gene aus der Zuchtlinie zu eliminieren. Sie bietet eine hohe Kontrolle über die genetische Zusammensetzung der Nachkommen und ermöglicht die gezielte Verbreitung des VSH-Merkmals in der Population. Allerdings erfordert diese Methode spezialisierte Ausrüstung und Fachkenntnisse, was den Einsatz auf gut ausgebildete Züchter beschränkt.

Eine weitere wichtige Strategie ist die Nutzung von Belegstellen. Belegstellen sind geographisch isolierte Orte, an denen Königinnen zur Paarung mit ausgewählten Drohnenvölkern aufgestellt werden. Diese Drohnenvölker stammen aus Linien mit starken VSH-Eigenschaften. Die Isolation der Belegstelle verringert die Wahrscheinlichkeit unerwünschter Anpaarungen, kann jedoch eine vollständige, ausschliessliche Begattung mit den gewünschten Drohnen nicht immer garantieren.

Trotzdem erhöht die gezielte Auswahl der Drohnenvölker die Wahrscheinlichkeit, dass das VSH-Merkmal in den Nachkommen verbreitet wird. Die Nutzung von Belegstellen verbindet somit die Vorteile der natürlichen Paarung mit einer angestrebten genetischen Kontrolle. Da die Königinnen sich unter natürlichen Bedingungen mit mehreren Drohnen paaren, bleibt die genetische Vielfalt erhalten. Gleichzeitig wird durch die Auswahl der Drohnenvölker das VSH-Merkmal gezielt gefördert. Belegstellen ermöglichen somit eine praxisnahe Methode, um VSH-Merkmale in der breiten Population zu etablieren, auch wenn keine absolute Kontrolle über die Paarungen besteht.

Problematik von Inzucht und genetischer Vielfalt

Die Zucht von Varroa-resistenten Bienen mit ausgeprägtem VSH-Verhalten bringt neben den bereits genannten Herausforderungen auch die Gefahr von Inzucht und einem Verlust an genetischer Vielfalt mit sich. Wenn Zuchtstrategien wie die Eindrohn-Besamung oder die künstliche Besamung mit einem begrenzten Pool an Drohnen übermässig eingesetzt werden, kann dies zu einem **genetischen Engpass** führen. Ein solcher Engpass reduziert die genetische Variabilität innerhalb der Population, was sich negativ auf die Vitalität, Anpassungsfähigkeit und Resistenz gegen andere Krankheiten auswirken kann.

Inzucht erhöht das Risiko, dass rezessive, möglicherweise schädliche Gene **homozygot** auftreten und somit unerwünschte Merkmale oder eine erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten zum Vorschein kommen. Zudem kann eine reduzierte genetische Vielfalt die Fähigkeit der Bienen

beeinträchtigen, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, was in Zeiten des Klimawandels von besonderer Bedeutung ist.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, ist es wichtig, eine **breite genetische Basis** in der Zuchtpopulation zu erhalten. Das bedeutet, dass viele genetisch unterschiedliche Königinnen mit VSH-Eigenschaften selektiert und in die Zuchtprogramme integriert werden müssen. Durch die Identifikation und **Einbeziehung verschiedener Linien**, die das VSH-Merkmal tragen, kann die **genetische Vielfalt** innerhalb der Population aufrechterhalten werden.

Die Zusammenarbeit zwischen Züchtern auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Durch den Austausch von genetischem Material und Informationen können neue genetische Ressourcen erschlossen und die genetische Basis der Zuchtpopulation erweitert werden. Zudem können durch koordinierte Zuchtprogramme **Inzuchtdepressionen** vermieden und die langfristige Gesundheit und Vitalität der Bienenpopulationen sichergestellt werden.

Die Nutzung von Belegstellen mit unterschiedlichen genetischen Linien und die regelmässige Einführung neuer Zuchtköniginnen aus anderen Populationen können ebenfalls dazu beitragen, die genetische Vielfalt zu erhöhen. Es ist wichtig, ein Gleichgewicht zwischen der gezielten Förderung des VSH-Merkmals und der Erhaltung einer **breiten genetischen Basis** zu finden. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Bienenvölker nicht nur gegen die Varroa-Milbe resistent sind, sondern auch insgesamt gesund und anpassungsfähig bleiben.

Abschluss und Fazit

Die Zucht von Varroa-resistenten Bienen stellt eine essenzielle Massnahme im Kampf gegen die Varroa-Milbe dar und ist von grosser Bedeutung für die Nachhaltigkeit und Gesundheit der Bienenvölker. Die Genetik spielt dabei eine zentrale Rolle, indem sie die Grundlage für die gezielte Auswahl und Vermehrung von Bienen mit erwünschten Eigenschaften wie dem Varroa Sensitive Hygiene (VSH)-Verhalten bildet. Durch das Verständnis der genetischen Vererbung und die Anwendung spezialisierter Zuchtmethoden können Imker und Züchter effektive Strategien entwickeln, um widerstandsfähige und leistungsstarke Bienenvölker zu fördern.

Das Projekt Varroa-Resistenz 2033 setzt auf eine langfristige Perspektive, um flächendeckend varroa-resistente Bienen zu etablieren, die ohne den Einsatz chemischer Bekämpfungsmittel auskommen. Dieses ambitionierte Ziel erfordert eine enge Zusammenarbeit auf internationaler Ebene sowie die Integration verschiedener Zuchtstrategien wie die Eindrohn-Besamung, Mehdrohn-Besamung und die Nutzung von Belegstellen. Jede dieser Methoden trägt auf spezifische Weise dazu bei, das VSH-Merkmal zu selektieren und gleichzeitig die genetische Vielfalt der Populationen zu erhalten.

Die phänotypische Selektion bleibt trotz der Fortschritte in der genetischen Forschung unverzichtbar, da die genauen genetischen Grundlagen des VSH-Verhaltens noch nicht vollständig entschlüsselt sind. Durch regelmässige Tests und gezielte Beobachtungen können Züchter Völker identifizieren, die ein hohes Mass an Varroa-Resistenz aufweisen, und diese für weitere Zuchtprogramme nutzen. Gleichzeitig müssen die Herausforderungen der Inzucht und des genetischen Engpasses sorgfältig adressiert werden, um die Vitalität und Anpassungsfähigkeit der Bienenvölker zu sichern.

Die Problematik der Inzucht und der Verlust an genetischer Vielfalt verdeutlicht die Notwendigkeit, eine breite genetische Basis in den Zuchtprogrammen zu bewahren. Die Auswahl und Integration vieler genetisch unterschiedlicher Königinnen mit VSH-Eigenschaften sowie die Förderung der genetischen Diversität durch kollaborative Zuchtansätze sind entscheidend, um langfristig gesunde und robuste Bienenvölker zu gewährleisten. Nur durch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen gezielter Selektion und der Erhaltung genetischer Vielfalt können die Bienenvölker nicht nur gegen die Varroa-Milbe resistent, sondern auch widerstandsfähig gegenüber anderen Krankheiten und wechselnden Umweltbedingungen bleiben.

Copyright-Hinweis:

© 2024, Andreas Naef. Alle Rechte vorbehalten.

Dieser Artikel darf frei verteilt und weitergegeben werden, solange keine Änderungen am Originaltext vorgenommen werden. Das Übernehmen von Textpassagen oder Zitaten ist erlaubt, sofern ein deutlicher Verweis auf das Originaldokument und den Autor erfolgt. Alle Rechte an diesem Artikel verbleiben beim Autor.