

Übersetzung des Artikels

„Darwinian black box selection for resistance to settled invasive *Varroa destructor* parasites in honey bees“ von Tjeerd Blacquiere, Willem Boot, Johan Calis, Arrigo Moro, Peter Neumann, Delphine Panziera, erschienen in *Biological Invasions* (2019) 21: 2519 – 2528.

Der Artikel ist in englischer Originalfassung über die Springer Homepage (<https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-019-02001-0>) oder die Plattform Research Gate (<https://www.researchgate.net>) frei verfügbar.

Die Übersetzung soll diesen wegweisenden Artikel einem breiteren deutschsprachigen Publikum zugänglich machen.

Jegliche wissenschaftliche Leistung wurde von den Autoren erbracht!

Anmerkungen

Die enthaltene Grafik ebenso wie die Referenzen sind ohne Übersetzung übernommen worden. Nach den Referenzen des Artikels wurde eine deutsche Liste an Begriffserklärungen vom Übersetzer angefügt, die in der originalen Veröffentlichung nicht vorhanden ist und nur der Erläuterung dient. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im Verlauf des Textes auf lateinische Artnamen weitgehend verzichtet und *Varroa destructor* mit „Varroamilbe“ oder „Varroa“ und *Apis mellifera* mit „Honigbiene“ oder „westliche Honigbiene“ übersetzt.

Darwinistische Blackbox Selektion führt zur Resistenz gegen den eingeführten Parasiten *Varroa destructor* bei Honigbienen

Veröffentlicht von Tjeerd Blacquiere, Willem Boot, Johan Calis, Arrigo Moro, Peter Neumann, Delphine Panziera in der wissenschaftlichen Zeitschrift *Biological Invasions* (2019) 21: 2519 – 2528.

T. Blacquiere

Bees@wur, Wageningen University and Research, Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen, The Netherlands, email: theerd.blacquiere@wur.nl

W. Boot, J. Calis

Inbuzz vof Beekeeping Company, Boot and Calis, Isbaanweg 8, 1251 VV Laren, The Netherlands

A. Moro, P. Neumann

Institut für Bienengesundheit, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Bern, Bern, Schweiz

D. Panziera

Biologisches Institut, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Deutschland

D. Panziera

Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), Halle-Jena-Leipzig, Leipzig, Deutschland.

Die originale Veröffentlichung ist in englischer Sprache erschienen.

Übersetzung durch Bernd Zimmermann (b.b.zimmermann@gmx.de)

Zusammenfassung

Invasive Arten führen zu einer kontinuierlichen Bedrohung der Biodiversität und Nahrungssicherheit, deshalb sollte ihnen mit einer nachhaltigen Form der Schadensminimierung begegnet werden. Übereinstimmend wird die weltweit verbreitete ektoparasitisch lebende Milbe *Varroa destructor*, eine invasive Art aus Asien, als die größte biologische Herausforderung der globalen Bienenhaltung mit *Apis mellifera* anerkannt. *V. destructor* hat wildlebende europäischen Honigbienenpopulationen (*Apis mellifera*) fast vollständig ausgelöscht. Die derzeitige einzige Abhilfe für die Bienenhaltung sind regelmäßige Bekämpfungen der Milbe während der Saison, wodurch mögliche Anpassungen verhindert werden.

Während zielgerichtete Zuchtmaßnahmen es bislang nicht geschafft haben, tolerante oder resistente Bienen zu erzeugen, haben Ansätze auf Basis von natürlicher Selektion schon mindestens siebenmal Erfolg gehabt. Mit diesem Artikel schlagen wir vor, natürliche Selektion zu nutzen, um Resistenz bei Honigbienen zu erzeugen und dabei auf eine Bekämpfung der Milben in immerlich gehaltenen Bienenvölkern zu verzichten. Dieser Methode liegen folgende drei Prinzipien zu Grunde.

Die Begattung innerhalb der eigenen Population mit eigenen unbegatteten Königinnen sowie Drohnen. Die Selektion der überlebenden Völker.

Die aktive Vermehrung der überlebenden Völker.

Diese Methode wird seit 10 Jahren angewendet und führt im Wesentlichen zu „normalen“ Völkern mit einem hohen Level an Resistenz gegenüber der Varroamilbe.

Hiermit rufen wir lokale Gruppen von Imkern und Wissenschaftlern auf, dieses neue Programm auf Basis natürlicher Selektion zu nutzen, das bereits an drei Lokalisationen gestartet ist. Dieses führt am Ende zu lokal angepassten und varroaresistenten Honigbienenpopulationen auf der ganzen Welt und hilft damit der globalen Bienenhaltung nachhaltiger zu werden.

Schlagwörter

Apis mellifera, Honigbienen, *Varroa destructor*, natürliche Selektion, nachhaltige Bienenhaltung, Resistenz, Toleranz, Wirt-Parasit-Beziehung

Einführung

Die westliche Honigbiene (*Apis mellifera* L.) hat sowohl als wildlebende Art (endemisch in Europa, Afrika und dem mittleren Osten, eingeführt in Nord- und Südamerika, Asien und Australien) als auch in imkerliche Betreuung eine globale Verbreitung (Moritz et al. 2005). Die Honigbiene ist der bedeutendste von Menschen gehaltene Bestäuber und trägt somit sowohl zur Nahrungsmittelsicherheit als auch zur Herstellung von Produkten der Bienenhaltung weltweit bei (Honig, Pollen, Wachs und Propolis, Klein et al. 2007; Aizen et al. 2008). Es ist offensichtlich das Bienenhaltung von erheblicher ökonomischer sowie sozialer Bedeutung ist.

Als Folge der globalisierten Bienenhaltung hat die Anzahl der Krankheitserreger bei der westlichen Honigbiene durch Wirtswechsel von nahe verwandten Arten zugenommen. Dieser Vorgang hat auch bei der ektoparasitisch lebenden Milbe *Varroa destructor* stattgefunden (Anderson und Trueman 2000), die einen Wirtswechsel von der östlichen Honigbiene (*Apis cerana*) zur westlichen Honigbiene (*Apis mellifera*) vollzogen hat. Diese Milbe hat mittlerweile eine fast weltweite Verbreitung (Ellis und Munn 2005) und ist die biologische Hauptursache für die weltweite Wintersterblichkeit der westlichen Honigbiene (Neumann und Carreck 2010; Rosenkranz et al. 2010). Die Varroamilbe ist ein sehr effizienter Überträger von mehreren Viren der Honigbiene. Diese Viren lösen eine Epidemie an Krankheiten innerhalb der Kolonie aus und führen dazu, dass die Kolonie sich schwach entwickelt bis sie schlussendlich innerhalb von 2-3 Jahren abstirbt (Neumann et al. 2012).

Die globale Ausbreitung der Varroamilbe ist sehr schnell verlaufen, so dass wenig Zeit für Gegenmaßnahmen wie der Verhinderung der Übertragung, der Auslöschung eingeschleppter Milben, oder schlussendlich der Verhinderung der Ausbreitung geblieben ist (Van der Weijden et al. 2007). Interessanterweise ist die westliche Honigbiene die einzige Honigbiene, die vor dem Befall mit der Varroamilbe nicht natürlicherweise Brutmilben aufgewiesen hat (Eickwort 1994). Diese nicht vorhandene Wirt-Parasit-Koevolution nach dem Wirtswechsel erklärt wahrscheinlich die viel höhere Anfälligkeit der Honigbiene gegenüber der Varroamilbe und im Ergebnis auch das schnelle Schrumpfen der wilden und verwilderten Honigbienenpopulationen seit Ausbreitung der Varroamilbe (Rosenkranz et al. 2010; Villa et al. 2008; Kraus und Page 1995). Obwohl die natürliche Selektion und der Verzicht auf Varroabehandlung zwangsläufig zu einer Anpassung der Honigbiene an die Varroamilbe geführt hätte, ist dieser Ansatz wegen der vorhersagbaren Völkerverluste und der verständlichen Sorge um die Nachhaltigkeit der Bestäubungsleistung und damit der Nahrungssicherheit nicht gewählt worden (Klein et al. 2007; Aizen et al. 2008). Aus diesem Grund wurde die Varroamilbe in der Bienenhaltung permanent kontrolliert und damit der Prozess der Koevolution verhindert (wie von Oldroyd 1999 vorhergesagt), die zu einer Resistenz des Wirtes und zu einer geringeren Virulenz des Parasiten geführt hätte (Neumann und Bacquire 2017; Brosi et al. 2017).

Es gibt klare Anzeichen, dass wilde Honigbienenpopulationen den Befall von Varroamilben mit Hilfe der natürlichen Selektion überleben können (Seeley 2007; Le Conte et al. 2007; Fries et al. 2006; Locke 2016 hat ein Review-Artikel veröffentlicht). Dieses trifft auch für Völker in imkerlicher Bewirtschaftung zu, die nicht gegen die Varroamilbe behandelt werden (Oddie et al. 2017; 2018; Kruitwagen et al. 2017; Panziera et al. 2017; McMullan 2018). Demzufolge ist nachhaltige Bienenhaltung ohne Varroabekämpfung klar erreichbar. Obwohl die Mechanismen, die zu einer Varroaresistenz ohne Bekämpfung führen noch nicht vollständig verstanden sind, schlagen wir vor, die von Darwin beschriebene natürliche Selektion zu nutzen, um die Bienen an den neuen Parasiten anzupassen und als einen integralen Teil der lokalen Bienenhaltung zu machen. Wir zeigen einen Weg mit Hilfe natürlicher Selektion auf, der in jede lokale Bienenhaltung übernommen werden kann und der Maßnahmen zur Minimierung von Kollateralschäden wie die Reinvasion in benachbarte Bienenstände enthält. Das Verfahren (genannt „Darwins Black Bee Box“ DBBB) fußt auf Arbeiten von vor 10 Jahren (beschrieben in Panziera et al. 2017; Kruitwagen et al. 2017) und wird in einem neuen Projekt getestet, das gerade an drei Lokationen startet (mit drei lokalen Bienenpopulationen). Wir rufen hiermit Imker und Bienenwissenschaftler auf, diesem Projekt beizutreten und vor Ort dem Ansatz, wie unten beschrieben, zu folgen.

Darwins Black Bee Box (DBBB)

Das Verfahren beruht auf den Prinzipien der Evolution über natürlicher Auslese; Völker, die überleben und sich erfolgreich vermehren, geben ihre Gene an die nächste Generation weiter. Allele von Genen die Eigenschaften wie die Überlebensfähigkeit erhöhen, werden allmählich häufiger, während schädliche oder neutrale Allele in der Häufigkeit abnehmen werden. Wie bei Darwins Beobachtungen ist es möglich Anpassungen festzustellen, ohne den zugrundeliegenden Mechanismus zu kennen. Wir benutzen deshalb die Analogie „Blackbox“, deren Inhalt dem Beobachter verborgen bleibt, wo hingegen die offensichtlichen Ergebnisse der Blackbox verständlich und sichtbar sind. Das Verfahren bevorzugt keine gegebenenfalls vorteilhaft erscheinenden Eigenschaften der Bienen, sondern die Eigenschaften sind ein Ergebnis von Überleben und Reproduktion, sie folgen damit der Natur. Innerhalb der Blackbox werden Allele, die im Zusammenhang mit erfolgreichen Phänotypen stehen konserviert und bleiben in der nächsten Generation erhalten. Natürliche Selektion ist deshalb ein inkludierender Prozess, weil er die genetische Diversität unterstützt und alle überlebenden Phänotypen in der Blackbox hält. Dieses beinhaltet auch mögliche seltene Allele, die vorteilhaft für eine Resistenzentwicklung mit Parasiten und Pathogene sind (Delaplane et al. 2015). Hingegen reduzieren zielgerichtete selektive Zuchtprogramme die genetische Diversität, indem sie nur die Phänotypen einer überlebenden Population auswählen, die nach eigener Einschätzung vorteilhafte Eigenschaften haben. Hierbei werden viele möglicherweise für das Überleben vorteilhafte Phänotypen nicht mit einbezogen (Uzunov et al. 2017).

Die Auswahl von DBBB (Darwins Black Bee Box) folgt dem natürlichen jährlichen Reproduktionszyklus der Honigbienenvölker, indem es das Schwärmen durch Teilung der Völker kopiert. In der Folge behält die Population nicht nur ihre genetische Diversität, sondern auch sein vielartiges Biom (hierzu zählen vorteilhafte wie unvorteilhafte Organismen wie: Bakterien, Hefen, Pilze, Viren, Milben u.s.w.) wodurch weniger virulente Parasit-Wirt-Beziehungen (Neumann und Blacquiére 2017; Blacquiére und Panziera 2018) entstehen. Hierbei wird ausgeschlossen, dass eine neue Königin der nächsten Generation einem vollständig neuen biotischen Umfeld (der Kolonie und den darin existierenden Lebewesen) ausgesetzt wird. Anders herum bewahrt es Ableger einer Kolonie und die darin existierenden Lebewesen davor, mit einer neuen fremden Königin (Königin und möglicherweise Biom) konfrontiert zu werden. Im Folgenden beschreiben wir die praktischen Prinzipien und Methoden des Verfahrens und raten dazu dieses DBBB Verfahren wo immer möglich, in einer strukturierten Art und Weise zu nutzen.

Vorbedingungen

1. 25 – 30 Völker

Das DBBB Programm kann im Frühjahr des ersten Jahres mit einer Population von 25-30 genetisch unterschiedlichen lokalen Völkern (von unterschiedlichen Bienenhaltern) einer Region gestartet werden. Hierdurch erhalten wir eine hohe Variation, und es bleiben lokale/regionale Adaptionen in der Population erhalten (also das Ergebnis einer Wechselwirkung von Genotyp und Umwelt, Büchler et al. 2014). Im ersten Jahr werden die Völker in vier Ableger geteilt (Vorgehen ist unten beschrieben). Nachdem die Königin angefangen hat Eier zu legen aber bevor verdeckelte Brut vorhanden ist, letztmalig mit Oxalsäure im Sprühverfahren gegen Varroa behandelt. Im darauffolgenden Jahr werden nur die Völker, die den Winter überleben und eine gute Entwicklung im Frühjahr zeigen (Wachstum des Volkes und Drohnenproduktion), die Elternvölker der nächsten Generation.

Wenn eine Kontrollgruppe angelegt werden soll, so kann das in der Mitte des Winters, wenn der Milbenbefall kontrolliert wird, geschehen. Eine Kontrollgruppe ist nicht notwendig für den Selektionsprozess, kann aber genutzt werden, um die lokalen Mechanismen zu untersuchen, die ein Überleben bei gleichzeitigem Varroabefall sichern.

2. Abgelegene Region

Zu Beginn des Sommers eines jeden Jahres wird eine abgelegene Region benötigt, um die Königinnen mit den Drohnen der eigenen Population zu begatten. Wenn das Projekt eine

Kontrollgruppe beinhaltet, wird eine separate abgelegene Region für diese Völker benötigt. Wir betrachten eine Region als ausreichend isoliert, wenn sie innerhalb eines Radius von 3km keine oder sehr wenig Bienenhaltung aufweist. In der Arbeit von Jaffe et al (2009) und Moritz et al. (2007) wird festgestellt, dass 60-75% der Begattungen in einem Radius von 1200m erfolgen. In einem Versuch von Jensen et al. (2005) war der Flugradius von Begattungsflügen in 50% der Fälle geringer als 2,5km und 90% der Begattungen fanden in einem Radius von 7,5km statt. Die letztgenannte hohe Distanz kann wahrscheinlich durch einen Mangel an Drohnen in der Region und daraus resultierenden größeren Radius der Begattungsflüge erklärt werden (das wird auch durch eine geringere Anzahl von Begattungen pro Königin angezeigt, Neumann et al. 1999a, b). Das von uns favorisierte DBBB Selektionsverfahren basiert auf negativer Selektion (Phänotypen, die nicht angepasst sind, überleben nicht) und nicht auf einem starken Anstieg von spezifischen (ausgewählten) Eigenschaften oder Phänotypen. Wenn also einige wenige fremde Allele Teil des Genpools werden wird das den Prozess der natürlichen Selektion nicht stören. Mehr noch, das DBBB Verfahren (siehe unten) produziert einen Überfluss an reifen lokalen eigenen Drohnen zum richtigen Begattungszeitpunkt. Diese eigenen DBBB Drohnen werden sehr wahrscheinlich, den weit fliegenden fremden Drohnen bei Weitem überlegen sein.

3. Keine Varroa Behandlung

Die Völker des DBBB Selektionsverfahrens werden nicht gegen Varroa behandelt. Einzig im ersten Sommer gibt es eine Sommerbehandlung mit Oxalsäure. Umgekehrt wird die Kontrollgruppe gegen Varroa behandelt, um die Milbenpopulation auf einem akzeptablen Niveau zu halten und Schaden vorzubeugen, sowie um Selektionsdruck durch Varroa in der Kontrollgruppe zu vermeiden. In unserem Fall genügt als Bekämpfungsmaßnahme der zweimalige Einsatz von Oxalsäure zu den Zeiten im Jahr, in denen keine verdeckelte Brut mehr vorhanden ist (Panziera et al. 2017).

4. Füttern der Völker

Füttern von Völkern ist offensichtlich nicht natürlich. Aber wir wissen aus den Arbeiten von Seeley (1995, 2017), dass unter natürlichen Bedingungen (in diesem Falle Arnot Forest) nur 23% der Gründungsvölker, die aus Primärschwärmen entstammen und erfolgreich eine Baumhöhle eingenommen haben, den ersten Winter überleben. Bei etablierten Völkern steigt die Überlebensrate bis auf 84% (Seeley 2017). Unter natürlichen Bedingungen in der Wildnis ist Verhungern der Hauptgrund für Wintersterblichkeit der Völker. Zum Vergleich überleben >95% der richtig gehaltenen Bienenvölker (ausreichend gefüttert und gegen Varroa behandelt) den Winter in Deutschland (Genersch et al. 2010). In unserem Programm wollen wir den zusätzlichen Selektionsdruck, der durch Futtermangel hinzukommt, vermeiden und füttern deshalb die jungen Völker mit Zuckerwasser. In Phasen mit wenig Nahrung sollten auch die etablierten Völker gefüttert werden.

5. Mindestens 4 Jahre

Dieses Programm sollte mindestens 4 Jahre durchgeführt werden, um erste Ergebnisse zu erzielen und danach vorzugsweise verlängert werden. Der Grund liegt in der Beobachtung, dass in einem vorherigen Versuch erst nach 4 Jahren Änderungen im Reproduktionserfolg von Varroa beobachtet werden konnte (Panziera et al. 2017; Kruitwagen et al. 2017). Jüngste Forschungsergebnisse von Avalos et al. (2017) haben gezeigt, dass die Evolution der sich mit vielen Drohnen paarenden Honigbienenköniginnen bei Durchschreiten eines genetischen Flaschenhalses (nur zehn Generationen/Jahr) sehr schnell ablaufen kann.

Verfahren und Prinzipien

Keine Varroa Behandlung: In den Völkern, die nach dem DBBB Verfahren bewirtschaftet werden, endet die Varroabehandlung nach dem ersten Sommer. Letztendlich ist nur die Anpassung der Bienen an den neuen Parasiten eine überlebensfähige Alternative (dieses inkludiert möglicherweise die Anpassung der Milben, siehe Seeley 2007), jeder andere Weg endet in einer Sackgasse.

Vermehrungsfähigkeit: In den gemäßigten Regionen werden sich wilde Honigbienen in jedem Frühjahr oder Sommer vermehren, indem sie einen Primärschwarm bilden und neue Königinnen im verbleibenden Rest des Volkes bilden (einige von ihnen werden in Nachschwärmen das Volk verlassen), wenn die Umstände das zulassen. Während der Saison folgen wir dieser natürlichen Entwicklung der Völker; unsere Völker haben die Möglichkeit der Vermehrung wenn sie sich dazu entscheiden (sie produzieren Drohnen und Schwarmzellen). Da wir junge Völker (jedes mit einer unbegatteten Königin des Muttervolkes) nutzen wollen, vermeiden wir, Schwärme zu verlieren, indem wir künstliche Schwärme erzeugen, bevor die natürliche Schwarmzeit einsetzt. Die Produktion neuer Königinnenzellen wird durch das Entfernen der Königin (in einem künstlichen Schwarm) synchronisiert. Hieraus folgt, dass nur die Völker Teil der nächsten Generation werden (indem sie einen Rahmen voll mit Drohnenzellen produzieren), die zeitgerecht die Vermehrung beginnen. Die Selektion wird also auch auf das Vermögen des Volkes wirken, sich zu vermehren (Drohnen und Königinnen zu produzieren).

Wachstumsvermögen: Die Selektion nach der Eigenschaft sich zu vermehren (oberhalb beschrieben) wählt indirekt auch nach der Eigenschaft des Volkes aus, im Frühjahr zu wachsen. Nur die Völker die wachsen und sich gut entwickeln zeigen Verhaltensweisen, die mit dem Schwärmen im Zusammenhang stehen. Aber auch während des Sommers gibt es eine starke Selektion nach Wachstum, da Völker, die im frühen Sommer gebildet werden, nur 3 Monate Zeit haben, eine ausreichende Größe zu erreichen und den nächsten Winter zu überleben.

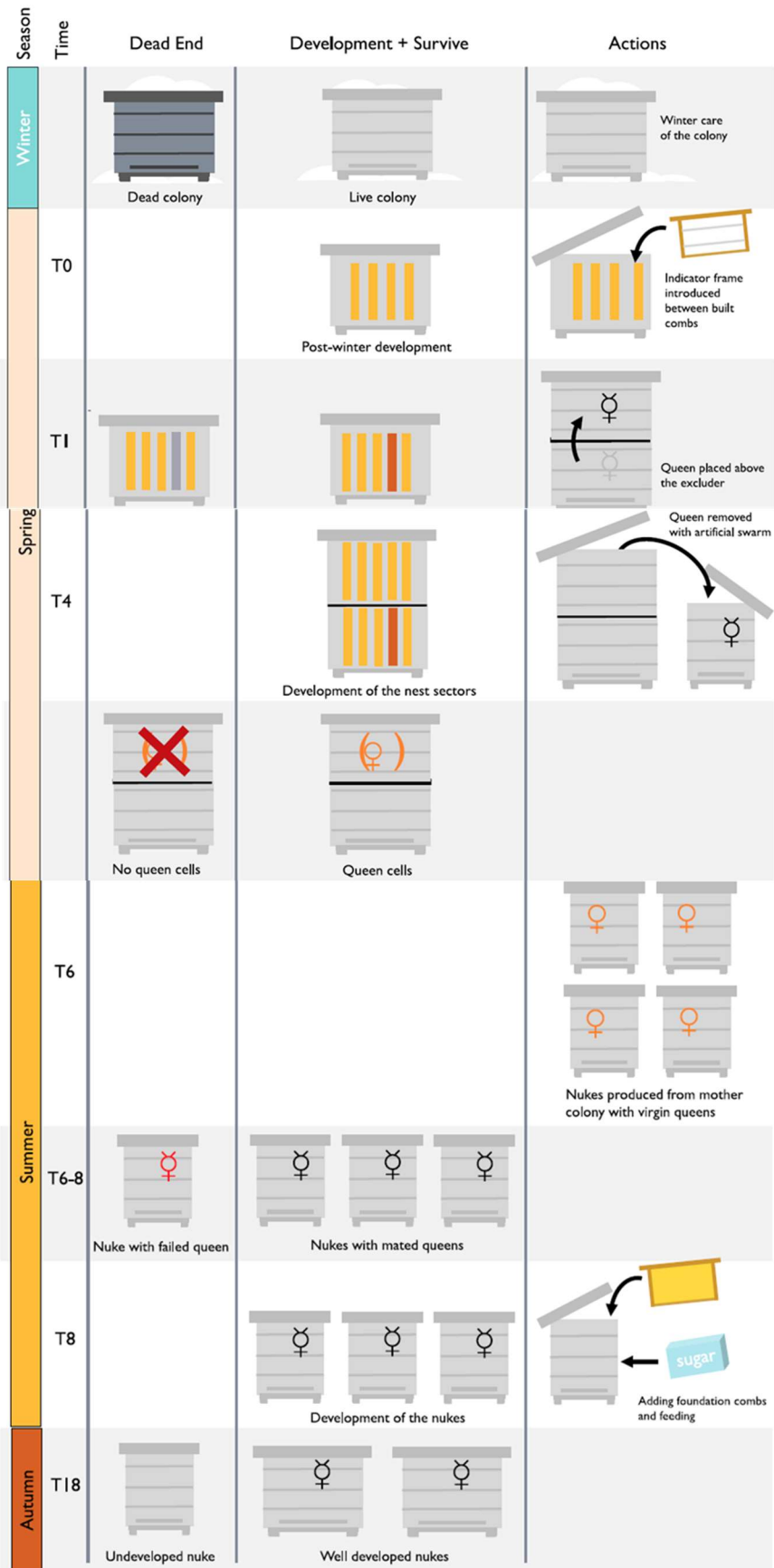
Überleben: Der erste Meilenstein auf dem Weg zum Überleben ist die erfolgreiche Begattung der Königinnen. Die Völker, die konsequent eine große und gesunde Population an Winterbienen erzeugen, haben eine gute Chance, den Winter zu überleben und sich im nächsten Frühjahr weiter zu entwickeln.

Verfahren während der Saison

Die einzelnen Schritte des Verfahrens orientieren sich so weit wie möglich an der natürlichen Entwicklung von Völkern. Trotzdem wird gleichzeitig sichergestellt, dass jedes Frühjahr genügend neue Völker gebildet werden, um den Verlust durch den natürlichen Selektionsprozess auszugleichen. Und es wird sichergestellt, dass der wichtigste treibende Faktor der Selektion die Eigenschaft ist, den Befall mit Varroa zu überleben. Die Schritte sind nicht vorgeschrieben, sondern zeigen Freiräume auf, die das Verfahren der Natur lässt, um die Führung in der Selektion zu übernehmen und die nicht überlebensfähigen Phänotypen nach der Befruchtung, vor dem Winter und im Frühjahr auszulöschen. Hierbei wird der natürlichen Entwicklung während der Saison weitestgehend gefolgt und es werden Nachschaffungsköniginnen nur aus der Kolonie genutzt, in der sie herangewachsen sind. In der Kontrollgruppe wird der mögliche Anpassungsprozess der Bienen an Varroa zweimal im Jahr unterbrochen (im Sommer zwei Wochen nachdem die Ablegervölker gebildet wurden und während der brutlosen Phase im Winter), weil die dann auf den Bienen lebenden Milben mit Oxalsäure getötet werden. Abhängig von lokalen Gegebenheiten und Gewohnheiten können auch andere Behandlungsmethoden zum Einsatz kommen (Review durch Rosenkranz et al. 2011).

Abb. 1

Der jährlicher Zeitplan beginnend bei T0 (Beginn des Reproduktionszykluses indem ein Drohnen-Rahmen mit Drähten aber ohne Wachsmittelwänden hinzugegeben wird) sowie Darstellung der Völker, welche die selektiven Kräfte überlebt und nicht überlebt haben.



Perspektive

DBBB ist schnell, einfach und kann die notwendigen Eigenschaften offenlegen, die für eine Resistenzentwicklung wichtig sind.

Völker der einzelnen Subspezies europäischer Honigbienen können mit Hilfe der natürlichen Selektion den Befall mit *Varroa* überleben, wie in verschiedenen Fällen gezeigt werden konnte (Seeley 2007, Le Conte et al. 2007, Fries et al. 2006, reviewed by Locke 2016, Oddie et al. 2017). Seitdem wurden auch viele Beispiele für Widerstandsfähigkeit gegen die Milbe, die in der imkerlichen Bienenhaltung erworben wurden, veröffentlicht (Panziera et al. 2017, Kruitwagen et al. 2017, Kefuss et al. 2016, Oddie et al. 2017, McMullan 2018).

Alle Beispiele sind aus einer Selektion der Ergebnisse hervorgegangen (Überleben, Vitalität, gezeigt durch sich gut entwickelnde Völker oder gezeigt durch niedriges Wachstum der Milbenpopulation) und nicht aus der Auswahl von Eigenschaften wie Hygieneverhalten oder aktivem Putzverhalten (Grooming). Dieses beinhaltet auch die Forschungen von Panziera et al. (2017), die exakt mit dem Ansatz durchgeführt wurden, der in diesem Artikel beschrieben ist.

Honigbienenpopulationen, die aus den Selektionsprozessen hervorgegangen sind, haben offensichtlich das Merkmal der Resistenz und/oder Toleranz gegen *Varroa* hinzugewonnen und bieten jetzt eine gute Möglichkeit, die zu Grunde liegenden phänotypischen Eigenschaften und die Anpassung an den neuen Parasiten auf Bienen- wie auf Volksebene zu enthüllen. Einige Eigenschaften, die auf der Ebene der Bienen wirken, können einfach durch den Effekt auf Drohnen nachvollzogen werden, da Drohnen haploid sind. Wichtig ist, dass dieses Wissen uns helfen kann, die Entstehung der Resistenz gegen Parasiten bei Bienen grundsätzlich zu verstehen.

Bei Völkern, die nach diesem Ansatz geführt werden, erwarten wir signifikante sichtbare Effekte innerhalb von 4-10 Jahren, was durch die vorher beschriebenen Beispiele verdeutlicht wird (Panziera et al. 2017, Kefuss et al. 2016, Oddie et al. 2017, 2018, McMullan 2018, Guarna et al. 2017). Die Selektion kann sogar noch schneller verlaufen, wenn die Selektion der Drohnen ebenfalls zugelassen wird – welches der Standard in diesem Vorgehen ist. Drohnen mit nicht Resistenz fördernden Allelen sind nicht vital und paaren sich möglicherweise nicht. Darüber hinaus produzieren erfolgreiche Völker eine höhere Anzahl von Drohnen (Jandricic und Otis 2003). Aus Puerto Rico wird bei afrikanisierten Honigbienen ein Beispiel einer schnellen negativen Selektion (das Aussortieren von nicht passenden Phenotypen, in diesem Fall von sehr aggressiven Völkern) innerhalb einer Dekade gemeldet. Im Ergebnis waren sie dort genauso sanftmütig wie Subspezies europäischer Honigbienen (Avalos et al. 2017).

Dieses Verfahren bietet für Hobby- und nicht professionelle Bienenhalter eine niedrige Einstiegshürde, da es einfach ist und keine spezielle Ausrüstung erfordert. Es kann deshalb von einem einzelnen Imker oder von einer kleinen lokalen Gruppe von Imkern durchgeführt werden. Jandricic und Otis (2003) haben errechnet, dass dieses Verfahren darüber hinaus auch billiger ist als ein Zuchtwahlprogramm. Randy Oliver (2028) ein kommerziell arbeitender Imker aus Kalifornien hat ein vergleichbares Verfahren inklusive einer Vorauswahl ausgeführt und kam zu einem ähnlichen Ergebnis. Die kommerzielle niederländische Imkerei Inbuzz v.o.f. hat so ein Programm innerhalb von 8 Jahren zusammen mit 10 Hobbyimkern durchgeführt (Van Stratum 2016).

Mögliche Einschränkungen des DBBB Verfahrens

Es genügt nur einen kleinen Teil der lokalen Population in das Programm der natürlichen Selektion aufzunehmen, um ökonomische Verluste gering zu halten. Die Imker können den Großteil ihrer Völker so weiterführen wie bisher. Dennoch können sie neue Königinnen aus den unter Selektion gehaltenen Völkern heranziehen und so graduell die gesamte Population verändern. Da das Verfahren auf natürliche Selektion setzt, wird es keinen evolutionären Nachteil hinsichtlich der angepassten Völker geben.

Kommerzielle Königinnenzucht passt, so wie sie heutzutage durchgeführt wird, nicht zu dem vorgestellten Verfahren, weil die gesamte Kolonie in das Selektionsverfahren einbezogen werden soll. Trotzdem können Imker, die unser Verfahren anwenden, zusätzliche Königinnen züchten (in den

meisten Fällen werden Völker mehr als 4 Königinnen produzieren) und diese kleinen Begattungseinheiten hinzufügen (z.B. Apidea mit einigen hundert Bienen). Diese Königinnen können dann an denselben abgelegenen Orten wie der Rest der Population zur Begattung gebracht werden. Wenn nur wenige Völker aus der initialen Population überleben, besteht die Möglichkeit, dass ein beachtlicher genetischer Flaschenhals entsteht. Trotzdem raten wir nicht dazu, einen total isolierten Begattungsort zu wählen. So ist es wahrscheinlicher, dass einige fremde Gene die Population eingetragen werden. Wenn trotzdem eine Inzuchtsituation entsteht sollte darüber nachgedacht werden, zusätzliche Völker hinzuzufügen, um eine genetische Diversität zu erhalten.

Die Art und Weise des Befalls mit *Varroa* unterscheidet sich bei der westlichen und der östlichen Honigbiene fundamental (Review durch Rosenkranz et al. 2010). So ist erfolgreiche Vermehrung der Milben bei der östlichen Honigbiene (*Apis cerana*) auf die Drohnenbrut beschränkt, ein Szenario, das sich eher unwahrscheinlich bei der westlichen Honigbiene einstellen wird. Aus diesem Grund ist es nicht plausibel, dass der neue Wirt die westliche Honigbiene (*Apis mellifera*) den exakt gleichen Grad an Resistenz/Toleranz entwickelt wie der ursprüngliche Wirt. Dennoch zeigen die bekannten Beispiele der durch natürliche Selektion entstandenen Milbentoleranzen in den einzelnen Subspezies der europäischen Honigbienen sowie der wilden und imkerlich gehaltenen afrikanisierten und Afrikanischen Honigbienen subspezies klar auf, dass der erreichbare Grad an Toleranz bei der Honigbiene ausreichend ist, um stabile Populationen zu erhalten (Review durch Locke 2016).

DBBB funktioniert mit natürlichen lokalen Populationen und wird dabei helfen, die Ausbreitung von nicht heimischen Parasiten und Krankheiten zu verhindern.

Obwohl Drohnen und unbegattete Königinnen besonders bei niedrigen Drohnenichten (Neumann et al. 1999a, b; Jensen et al. 2005) mehrere Kilometer zu Begattungsplätzen fliegen können, findet 75% der Begattung mit Drohnen aus einem Umkreis von 4,5km² um das Volk der Königin statt (Jaffe et al. 2009). Mit der geschätzten Dichte von 2,4 – 3,2 Völkern pro km² in Deutschland (Moritz et al. 2007) kommen auf eine Königin 11-15 Drohnen liefernde Völker. Jaffe et al. (2009) haben für Europa eine mediane Anzahl von 10-37 Völkern (10-17 in Deutschland) um eine unbegattete Königin angegeben. Wenn also aufgrund von Teilverlusten mit einer Anzahl von 25 Völkern gestartet wird, werden sich im nächsten Frühjahr ungefähr 15 Völker gut entwickeln. So ist die Dichte an Begattungsvölkern sehr ähnlich dem natürlichen Zustand (obwohl die Dichte der Völker im mediterranen Bereich und in Afrika höher ist (Jaffe et al. 2009)). Die Größe der Population sollte groß genug gewählt werden, um Inzucht zu vermeiden und ein möglicher genetischer Flaschenhals sollte durch die ausgewogene Auswahl des Begattungsplatzes entgegengewirkt werden. Dieses wird die Frequenz seltener geschlechtsspezifischer Allele erhöhen, was durch die Besiedlung der östlichen Honigbiene (*Apis cerana*) in Australien gezeigt werden konnte (Gloag et al. 2016; Ding et al. 2017). Ein weiterer Vorteil der Nutzung eines lokalen Gebietes ist in der Anpassung an die lokale Umwelt und die Sammelsaison (Strange et al. 2007) und in der Anpassung an die lokalen Krankheitsvarianten zu sehen (Blacquire und Panziera 2018). Ein jüngstes Umsetzungsexperiment, in dem Völker verschiedener Herkunft in Europa ausgetauscht wurden und mit den jeweils lokalen Bienen verglichen werden konnten, hat gezeigt, dass lokale Bienen immer eine bessere Leistung erbringen als nicht lokale Bienen. Dieses wird auf eine starke Wechselwirkung des Umfeldes mit dem Genotyp zurückgeführt (Büchler et al. 2014; Meixner et al. 2014). Es ist wichtig, sich vor Augen zu führen, dass der Handel mit Bienen und Königinnen den größten Anteil an der Ausbreitung neuer Bienenparasiten und Krankheiten hat (Mutinelli 2011; Owen 2017). Brosi et al. (2017) beschreibt wie diese Praktiken die Immunität reduzieren und die Verletzlichkeit eines ganzen Bienenvolkes erhöhen können. Da unser Vorgehen lokal ausgerichtet ist, wird die Chance, Krankheiten und Parasiten zu importieren oder zu exportieren abnehmen.

DBBB wird die funktionale genetische Diversität der Honigbienen Population bewahren und erhöhen.

In großen Imkereien wurde ein Grad an genetische Diversität ermittelt, der höher ist als in der „ursprünglichen“ endemische Population in Europa (Harpur et al. 2012; Oldroyd 2012), da hier

verschiedene genetische Linien wie z.B. der M-Linie (*Apis mellifera iberica* und *A. m. mellifera*) und der C-Linie (*Apis mellifera carnica* und *A. m. ligustica*) aus Europa gekreuzt wurden (Konsortium zur genetischen Sequenzierung des Genoms der Honigbiene 2006). Obwohl so eine hohe Diversität vorteilhaft aussehen kann, wirkt sie sich wahrscheinlich eher als Bedrohung für lokal angepasste Populationen und Subspezies aus. Extrem hohe Dichten an Allelen können möglicherweise den Prozess der Selektion von Eigenschaften, die an mehreren unterschiedlichen Genen gespeichert sind, verlangsamen. Auf der anderen Seite kann möglicherweise die nicht exklusive Begattung innerhalb der Population durch Verpaarungen von bereits angepassten Königinnen mit nicht angepassten Drohnen ebenfalls das Risiko des Völkersterbens erhöhen. Aus diesem Grund ruft De La Rua et al. (2013) dazu auf mit strikten Maßnahmen die funktionale genetische Diversität von lokalen Honigbienen zu schützen. Dieser Schutz wird in einer kleinen (eher lokalen) Größenordnung stattfinden, wenn wir durch das hier vorgeschlagene Verfahren lokal angepasste Populationen schützen. Im Ziel wird es zu einem Anstieg der funktionalen genetischen Diversität auf Landes- wie auch auf Ebene des Kontinents führen (Die funktionale genetische Diversität ist die Summe der lokalen Diversitäten im Gegensatz zu einer künstlich erzeugten Diversität durch nur wenige Bienenzüchter).

DBBB wird es Schwärmen helfen zu überleben und deshalb zur Wiederansiedlung von wildlebenden Honigbienen führen

Ein großer Teil der westlichen Honigbiene ist immer noch ohne imkerliches Management (Africa; Jaffe et al. 2009). Auf verwilderten Völkern herrscht nicht nur wegen *Varroa* ein hoher Selektionsdruck. Aber verwilderte Völker können auch in bestimmten Punkten einen reduzierten Selektionsdruck im Vergleich zu imkerlich geführten Völkern aufweisen (Loftus et al. 2016). In Fällen in denen die verwilderten Völker ausreichend isoliert zu imkerlich geführten Völkern sind, kann sich eine Resistenz entwickeln (z.B. Seeley 2007, Le Conte et al. 2007). Oft sterben Schwärme von imkerlich geführten Völkern schnell. Möglicherweise fehlen ihnen Gene, die ein Überleben ohne Milbenbekämpfung ermöglichen. (Thompson et al. 2014). Aber Schwärme aus Populationen, die aus natürlicher Selektion entstanden sind, werden sehr wahrscheinlich eher überleben, da sie eine Resilienz gegen *Varroa* erworben haben. Die Darwins Black Bee Box (DBBB) wird deshalb wahrscheinlich das Verhältnis von imkerlich geführten Völkern und verwilderten Völkern verändern, indem es die Überlebenschancen und die Wiederansiedlung von wilden Honigbienen ermöglicht.

*DBBB wird der invasiven *Varroa* helfen sich erfolgreich zu etablieren*

Nachdem sich eine invasive Art einmal etabliert hat, werden die Kosten für ein bevorzugt zielgerichtetes Management steigen und mehr Probleme aufwerfen, im Vergleich zu einer Akzeptanz des unausweichlichen Schicksals das diese Art „unsere“ geworden ist (Epstein 2017). Aber eine Etablierung, also zu einem Teil „unserer“ Natur geworden zu sein, stellt die invasive Art auch vor die Herausforderung sich anzupassen und sich als etablierte Art in die neue Ökologische Nische einzupassen (Blackburn et al. 2011). Wir schlagen für die etablierte invasive Art *Varroa* vor, dass wir uns graduell von der Bekämpfung verabschieden und die Initiative zukünftig der natürlichen Selektion überlassen. Deshalb rufen wir Imker und Ausbilder auf, ab sofort und in den kommenden Jahren auf den Darwins Black Bee Box Ansatz zu setzen.

DBBB wird wahrscheinlich auch bei anderen parasitischen Arten wirken

Da es sich bei der Evolution mit Hilfe von natürlicher Selektion um einen universellen Prozess handelt der alle Arten betrifft, ist es offensichtlich, dass dieser Weg prinzipiell auch bei anderen invasiven Arten beschritten werden kann (z.B. *Tropilaelaps spp.*, de Guzman et al. 2017, and for *Nosema ceranae*, Fries 2010). Tatsächlich aber werden in vielen Fällen invasive parasitische Arten mit Pestiziden bekämpft und so wird eine Anpassung des neuen Wirtes verhindert (Review bei Dunn und Hatcher 2015). Natürliche Selektion kann zukünftig ein nachhaltiger Ansatz zum Umgang mit etablierten

Parasiten und biologischen Invasoren sein, vorausgesetzt das unser Programm sinnvoll an die anderen invasiven Parasiten angepasst werden kann.

Danksagung

Wir danken Amanda Norton für ihre kritischen Kommentare zu einer späten Version dieser Veröffentlichung.

Finanzierung

Die Ideen, die zu dieser perspektivischen Veröffentlichung geführt haben, fußen zum Teil auf Erfahrungen und auf Ergebnissen, die in einem 10-jährigen Versuch auf Basis von natürlicher Selektion gesammelt wurden. Dieser Versuch kam mit Hilfe von finanzieller Unterstützung des Niederländischen Wirtschaftsministerium (heute Ministerium für Landwirtschaft, Natur und Nahrungsqualität) und der Europäischen Kommission für Finanzen (Projekte NL 05/2.2; NL 08/2.1; NP 11/2.1; NP 14-6.1; NP 17.1) zustande. Zusätzlich wurden die Ideen mit der Task Force „Survivors“ der COLOSS Organisation (<https://coloss.org/>) diskutiert und hierdurch einem Feinschliff unterzogen.

Erfüllung ethischer Standards

Interessenkonflikt: Alle Autoren erklären, dass sie keine Interessenkonflikte haben.

Offener Zugang

Dieser Artikel ist mit den Auflagen des Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) veröffentlicht worden. Diese Auflagen erlauben die uneingeschränkte Nutzung, Verbreitung und Reproduktion auf alle Medien, vorausgesetzt, dass die ursprünglichen Autoren und die Quelle gewürdigt werden. Ein Link zu der Creative Commons License muss eingefügt sein und auf Änderungen muss hingewiesen werden.

Referenzen

- Aizen MA, Garibaldi LA, Cunningham SA, Klein AM (2008) Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Curr Biol* 18:1572–1575
- Anderson DL, Trueman JWH (2000) *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) is more than one species. *Exp Appl Acarol* 24:165–189
- Avalos A, Pan H, Li C, Acevedo-Gonzalez JP, Rendon G, Fields CJ, Brown PJ, Giray T, Robinson GE, Hudson ME, Zhang G (2017) A soft selective sweep during rapid evolution of gentle behaviour in an Africanized honey bee. *Nat Commun* 8(1550):1–9
- Blackburn TM, Pysek P, Bacher S, Carlton JT, Duncan RP, Jarosik V, Wilson JR, Richardson DM (2011) A proposed unified framework for biological invasions. *Trends Ecol Evol* 26:333–339
- Blacquière T, Panziera D (2018) A plea for use of honey bees' natural resilience in beekeeping. *Bee World* 95:34–38
- Brosi BJ, Delaplane KS, Boots M, De Roode JC (2017) Ecological and evolutionary approaches to managing honey bee disease. *Nat Ecol Evol* 1:1250–1262
- Büchler R, Costa C, Hatjina F, Andonov S, Meixner MD, Le Conte Y, Uzunov A, Berg S, Bienkowska M, Bouga M, Drazic M, Dyrba W, Kryger P, Panasiuk B, Pechhacker H, Petrov P, Kezic N, Korpela S, Wilde J (2014) The influence of genetic origin and its interaction with environmental effects on the survival of *Apis mellifera* L. colonies in Europe. *J Apic Res* 53(2):205–214
- De Guzman LI, Williams GR, Khongphinitbunjong K, Chantawannakul P (2017) Ecology, life history, and management of *Tropilaelaps* mites. *J Econ Entomol* 110(2):319–332
- De La Ru'a P, Jaffe' R, Mun'oz I, Serrano J, Moritz RFA, Kraus FB (2013) Conserving genetic diversity in the honey bee: comments on Harpur et al. (2012). *Mol Ecol* 22:3208–3210
- Delaplane KS, Pietravalle S, Brown MA, Budge GE (2015) Honey bee colonies headed by hyperpolyandrous queens have improved brood rearing efficiency and lower infestation rates of parasitic *Varroa* mites. *PLoS ONE* 10(12):e0142985. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142985>
- Ding G, Xu H, Oldroyd BP, Gloag RS (2017) Extreme polyandry aids the establishment of invasive populations of a social insect. *Heredity* 119:381–387
- Dunn A, Hatcher MJ (2015) Parasites and biological invasions: parallels, interactions, and control. *Trends Parasitol* 31(5):189–199
- Eickwort GC (1994) Evolution and life-history patterns of mites associated with bees. In: Houck MA (ed) *Mites. Ecological and evolutionary analysis of life history patterns*. Chapman & Hall, London, pp 218–251
- Ellis JD, Munn PA (2005) The worldwide health status of honey bees. *Bee World* 86:88–101
- Epstein G (2017) Invasive alien species management: a personal impasse. *Front Environ Sci*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00068>
- Fries I (2010) *Nosema ceranae* in European honey bees (*Apis mellifera*). *J Inv Path* 103:573–579
- Fries I, Imdorf A, Rosenkranz P (2006) Survival of mite infested (*Varroa destructor*) honey bee (*Apis mellifera*) colonies in a Nordic climate. *Apidologie* 37:564–570
- Genersch E, von der Ohe W, Kaatz H, Schroeder A, Otten C, Büchler R, Berg S, Ritter W, Mühlhölzer W, Gisder S, Meixner M, Liebig G, Rosenkranz P (2010) The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie* 41:332–352
- Gloag R, Ding G, Christie JR, Buchmann G, Beekman M, Oldroyd BP (2016) An invasive social insect overcomes genetic load at the sex locus. *Nat Ecol Evol* 1:0011
- Guarna MM, Hoover SE, Huxter E, Higo H, Moon K-M, Domanski D, Bixby MEF, Melathopoulos AP, Ibrahim A, Peirson M, Desai S, Micholson D, White R, Borchers CH, Currie RW, Pernal SF, Foster LJ (2017) Peptide biomarkers used for the selective breeding of a complex polygenic trait in honey bees. *Sci Rep* 7(8381):1–10
- Harpur BA, Minaei S, Kent CF, Zayed A (2012) Management increases genetic diversity of honey bees via admixture. *Mol Ecol* 21:4414–4421
- Honey Bee Genome Sequencing Consortium (2006) Insights into social insects from the genome of the honey bee *Apis mellifera*. *Nature* 443:931–949
- Jaffe' R, Dietemann V, Allsopp MH, Costa C, Crewe RM, Dall'Olio R, De La Ru'a P, El-Niweiri MAA, Fries I, Kezic N, Meusel MS, Paxton RJ, Shaibi T, Stolle E, Moritz RFA (2009) Estimating the density of honeybee colonies across their natural range to fill the gap in pollinator decline censuses. *Conserv Biol* 24(2):583–593
- Jandricic SE, Otis GW (2003) The potential for using male selection in breeding honey bees resistant to *Varroa destructor*. *Bee World* 84:155–164
- Jensen AB, Palmer KA, Chaline N, Raine NE, Tofilski A, Martin SJ, Pederson BV, Boomsma JJ, Ratnieks FLW (2005) Quantifying honey bee mating range and isolation in semi-isolated valleys by DNA microsatellite paternity analysis. *Conserv Genet* 6:527–537
- Kefuss J, Vanpoucke J, Bolt M, Kefuss C (2016) Selection for resistance to *Varroa destructor* under commercial beekeeping conditions. *J Apic Res* 54:563–576
- Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter J, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B* 274:303–313
- Kraus B, Page RE (1995) Effect of *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae) on feral *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in California. *Environm Entomol* 24(6):1473–1480
- Kruitwagen A, van Langevelde F, van Dooremalen C, Blacquière T (2017) Naturally selected honey bee (*Apis mellifera*) colonies resistant to *Varroa destructor* do not groom more intensively. *J Apic Res* 56:354–365
- Le Conte Y, de Vaublanc G, Crauser D, Jeanne F, Rousselle J-C, Be'card J-M (2007) Honey bee colonies that have survived *Varroa destructor*. *Apidologie* 38:566–572
- Locke B (2016) Natural *Varroa* mite-surviving *Apis mellifera* honey bee populations. *Apidologie* 47:467–482
- Loftus JC, Smith ML, Seeley TD (2016) How honey bee colonies survive in the wild: testing the importance of small nests and frequent swarming. *PLoS ONE* 11(3):e0150362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150362>
- McMullan J (2018) Adaptation in honey bee (*Apis mellifera*) colonies exhibiting tolerance to *Varroa destructor* in Ireland. *Bee World* 95(2):39–43
- Meixner MD, Francis RM, Gajda A, Kryger P, Andonov S, Uzunov A, Topolska G, Costa C, Amiri E, Berg S, Bienkowska M, Bouga M, Büchler R, Dyrba W, Gurgulova K, Hatjina F, Ivanova E, Janes M, Kezic N, Korpela S, Le Conte Y, Panasiuk B, Pechhacker H, Tsoktouridis G, Vaccari G, Wilde J (2014) Occurrence of parasites and

- pathogens in honey bee colonies used in a European genotype–environment—interactions experiment. *J Apic Res* 53:215–229
- Moritz RFA, Haerterl S, Neumann P (2005) Global invasions of the western honey bee (*Apis mellifera* L.) and consequences for biodiversity. *Ecoscience* 12:289–301
- Moritz RFA, Kraus FB, Kryger P, Crewe RM (2007) The size of wild honey bee populations (*Apis mellifera*) and its implications for the conservation of honey bees. *J Insect Conserv* 11:391–397
- Mutinelli F (2011) The spread of pathogens through trade in honey bees and their products (including queen bees and semen): overview and recent developments. *Sci Tech Rev Off Int Epizoot (Paris)* 30:257–271
- Neumann P, Blacquière T (2017) The Darwin cure for apiculture? Natural selection and managed honey bee health. *Evol Appl* 10:226–230
- Neumann P, Carreck C (2010) Honey bee colony losses: A global perspective. *J Apic Res* 49:1–6
- Neumann P, Moritz RFA, van Praagh J (1999a) Queen mating frequency in different types of honey bee mating apiaries. *J Apic Res* 38:11–18
- Neumann P, van Praagh J, Moritz RFA, Dustmann J (1999b) Testing reliability of a potential island mating apiary using DNA-microsatellites. *Apidologie* 30:257–276
- Neumann P, Yanˆez O, Fries I, de Miranda JR (2012) Varroa invasion and virus adaptation. *Trends Parasitol* 28:353–354
- Oddie MAY, Dahle B, Neumann P (2017) Norwegian honey bees surviving Varroa destructor mite infestations by means of natural selection. *PeerJ* 5:e3956. <https://doi.org/10.7717/peerj.3956>
- Oddie M, B uchler R, Dahle B, Kovacic M, Le Conte Y, Locke B, de Miranda JR, Mondet F, Neumann P (2018) Rapid parallel evolution overcomes global honey bee parasite. *Sci Rep* 8:7704. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26001-7>
- Oldroyd BP (1999) Coevolution while you wait: Varroa jacobsoni, a new parasite of western honey bees. *Trends Ecol Evol* 14(8):312–315
- Oldroyd BP (2012) Domestication of honey bees was associated with expansion of genetic diversity. *Mol Ecol* 21:4409–4411
- Oliver R (2018) <http://scientificbeekeeping.com/selectivebreeding-for-mite-resistance-1000-hives-100-hours/>. Last approach Apr 10, 2019
- Owen R (2017) Role of human action in the spread of honey bee (Hymenoptera: Apidae) pathogens. *J Econom Entomol* 110:797–801
- Panziera D, Van Langevelde F, Blacquière T (2017) Varroa sensitive hygiene contributes to naturally selected Varroa resistance in honey bees. *J Apic Res* 56:635–642
- Rosenkranz P, Aumeier P, Ziegelmann B (2010) Biology and control of Varroa destructor. *J Inv Path* 103:S96–S119
- Seeley TD (1995) The wisdom of the hive. Harvard University Press, London
- Seeley TD (2007) Honey bees of the Arnot Forest: a population of feral colonies persisting with Varroa destructor in the north-eastern United States. *Apidologie* 38:19–29
- Seeley TD (2017) Life-history traits of wild honey bee colonies living in forests around Ithaca, NY, USA. *Apidologie* 48:743–754
- Strange JP, Garnery L, Sheppard WS (2007) Persistence of the Landes ecotype of *Apis mellifera mellifera* in southwest France: confirmation of a locally adaptive annual brood cycle trait. *Apidologie* 38:259–267
- Thompson CE, Biesmeijer JC, Allnutt TR, Pietravalle S, Budge GE (2014) Parasite pressures on feral honey bees (*Apis mellifera* sp.). *PLoS ONE* 9(8):e105164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105164>
- Uzunov A, Brascamp EW, B uchler R (2017) The basic concept of honey bee breeding programs. *Bee World* 94(3):84–87
- Van der Weijden W, Leeuwis R, Bol P (2007) Biological globalisation: bio-invasions and their impacts on nature, the economy and public health. KNNV Publishing, Utrecht. ISBN 978-90-5011-243-7
- Van Stratum P (2016) Vitale bijen hebben de toekomst. *Bijenhouden* 10(5):14–15
- Villa JD, Bustamante DM, Dunkley JP, Escobar LA (2008) Changes in honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony swarming and survival pre- and post-arrival of Varroa destructor (Mesostigmata: Varroidae) in Louisiana. *Ann Entomol Soc Am* 101(5):867–871
- Woolhouse ME, Haydon DT, Antia R (2005) Emerging pathogens: the epidemiology and evolution of species jumps. *Trends Ecol Evol* 20(5):238–244. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.02.009>

Begriffserklärungen

Natürliche Selektion oder Auslese

Gemeint ist ein auf alle Lebewesen wirkender Prozess, der dazu führt, dass sich besser angepasste Lebewesen gegenüber weniger gut an ihre Umwelt angepassten Artgenossen durchsetzen und einen höheren Fortpflanzungserfolg haben.

Fitness

Lebewesen, die besser an ihre Umwelt angepasst sind haben eine höhere Fitness als weniger gut angepasste Lebewesen.

Parasit-Wirt-Beziehung

Parasiten sind Lebewesen die von den Ressourcen des Wirtsorganismus leben. In diesem Artikel steht der Begriff im Zusammenhang mit der Idee, dass sich in natürlichen Zusammenhängen ein Parasit-Wirt-Gleichgewicht entwickeln wird. Die Varroabekämpfung verhindert die Entwicklung eines Parasit-Wirt-Gleichgewichtes (Varroa-Biene-Gleichgewichtes). Unter dem Einfluss von natürlicher Selektion hat sich in vielen Beispielen ein Gleichgewicht eingestellt, wenn die Bekämpfung unterlassen wird.

DBBB Verfahren

Das Darwins Black Bee Box Verfahren meint im Kern, dass diese Methode bestehend z.B. aus Völkerteilung, Ende der Varroabekämpfung und Begattung innerhalb der unter natürlicher Selektion stehenden Population funktioniert, also zur Toleranz mit Varroa führt. Dass aber die Mechanismen wie die Bienen diese Toleranz herbeiführen unbekannt sind, weshalb von einer „schwarzen Box“ gesprochen wird. Charles Darwin hat 1859 die natürliche Selektion/Auslese und damit die Evolution der Arten als erster beschrieben.

Haploid (diploid), Bezug Drohnen

Chromosomen, die Träger der Erbsubstanz, liegen in der Regel im Zellkern jeder Zelle in doppelter Ausführung vor, dieses wird als Diploid bezeichnet. Die zwei Ausführungen jedes Chromosoms stammen vom genetischen Vater und der Mutter. Diploid sind auch Arbeiterinnen und die Königin der Honigbienen.

Die Drohnen hingegen besitzen nur einen einzigen Satz an Chromosomen, sie sind haploid. Im übertragenen Sinne sind sie also die „Spermien“ des Bienenorganismus, da auch Spermien nur einen Chromosomensatz aufweisen.

Biom

Im Zusammenhang des Artikels meint das Biom das Zusammenwirken aller Lebewesen in einem Bienenstock – unabhängig von der Bewertung der Imker. Die natürliche Selektion wirkt sowohl auf die drei Bienenwesen (Königin, Arbeiterin, Drohne) als auch auf alle übrigen im Bienenstock lebenden Organismen (Schimmel, Ameisen, Wachsmotten, Viren, Bakterien...) also auf das gesamte Biom und es kommt zu einer Anpassung zwischen Bienen und den übrigen Organismen des Stocks.

Genetische Diversität

Die Genetische Diversität ist ein Maß dafür, wie viele unterschiedliche Genvarianten in einer Population von Lebewesen vorhanden ist. Grundsätzlich werden viele unterschiedliche Genvarianten, also eine hohe genetische Diversität als positiv betrachtet. Möglicherweise verlängert sich bei sehr hoher genetischer Diversität der Prozess der natürlichen Auslese hin zu einer Varroatoleranz.

Funktionale genetische Diversität

Im Gegensatz zur genetischen Diversität, meint die funktionale genetische Diversität die genetische Diversität, die konkret zum Vorteil der Bienen genutzt wird. Auch wenn die Unterscheidung zwischen den beiden genetischen Diversitäten nur mit hohem technischen Aufwand zu treffen ist, steht hier

der Gedanke hinter, dass nicht „ein mehr an Diversität“ immer besser ist, sondern das nur ein „mehr an nutzbarer genetischer Diversität“ für eine Art von Vorteil ist.

Die Anwendung des DBBB Verfahrens wird zu einer Erhöhung der funktionalen genetischen Diversität in der Bienenpopulation beitragen. Eine Kreuzung verschiedener Bienenrassen hingegen führt „nur“ zu einer Erhöhung der genetischen Diversität.

Genetischer Flaschenhals

Der genetische Flaschenhals bezeichnet den nicht wünschenswerten Zustand einer Population die nur noch aus wenigen Individuen besteht (Individuum = 1 Bienenvolk oder 1 Wisent...) und deshalb eine sehr reduzierte genetische Diversität aufweist.

Durchläuft eine Population einen genetischen Flaschenhals, können defekte Genvarianten (Allele) nicht mehr durch andere vorteilhaftere Varianten ausgeglichen werden und die Wahrscheinlichkeit von Missbildungen und Erbkrankheiten nimmt zu. Darüber hinaus ist die Anpassbarkeit an sich ändernde Umweltbedingungen nur noch begrenzt möglich.

Gen

Ein Gen bezeichnet den Abschnitt eines Chromosoms, das z.B. die Information zur Erzeugung eines Proteins beinhaltet.

Allele

Allele sind vererbare kleine Varianten eines Gens, also Genvarianten.

Phänotyp

Der Phänotyp bezeichnet die Eigenschaften eines Lebewesens, also sichtbare Merkmale, Körperaufbau und Verhaltensweisen, die auf die Erbanlagen und/oder Umwelteinflüsse zurückzuführen sind.

Im Sinne dieses Artikels ist der Begriff von Bedeutung, weil die natürliche Selektion an den unterschiedlichen Eigenschaften der Phänotypen ansetzt und die besser angepassten Phänotypen sich in der Population anreichern.

Endemisch

Endemisch ist eine Art, wenn sie nur in einem sehr begrenzten Bereich vorkommt, beispielsweise die Riesenschildkröten auf Galapagos.

Pathogene

Pathogen ist ein Erreger oder Stoff, wenn er eine Krankheit hervorrufen kann.

Virulenz

Pathogene sind die Erreger, die Krankheiten hervorrufen können. Die Häufigkeit mit der diese Krankheiten erzeugt werden, wird als Virulenz gemessen.

Im Sinne dieses Artikels wird der Begriff so verwendet: Bei der Varroamilbe geschieht durch die mehrmalig im Jahr stattfindende Behandlung eine Selektion/Auswahl der virulentesten Milben. Die Milben, die sich nach der Behandlung am schnellsten vermehren, haben später die höchste Verbreitung im Stock, sind am virulentesten. Wenn sich hingegen ein Parasit-Wirt oder Varroa-Biene Gleichgewicht einstellt, ist das darauf zurückzuführen, dass die Bienen weniger empfänglich für Varroabefall sind und die Milben eine geringere Virulenz aufweisen.

Subspezies

Gleichbedeutend mit Unterart. Im Sinne dieses Artikels werden hierunter die ursprünglichen geographischen Unterarten der Honigbiene verstanden. Bei den westlichen Honigbienen werden die Subspezies häufig in Linien zusammengefasst. So wird beispielsweise die „M“ Linie (Subspezies:

mellifera, iberica) von der „C“ Linie (Subspezies: carnica, mazedonica, *italica*...) unterschieden.

Beispiel systematische Stellung einer Subspezies:

Apis mellifera carnica

Gattung „Apis“, Honigbienen; Art „mellifera“, westliche Honigbiene; Subspezies „carnica“, Kärntener Biene