

Regulation von Temperatur und Luftfeuchtigkeit durch die Honigbienen und ihr Einfluss auf Gesundheit und Varroaresistenz

Regulation von Temperatur und Luftfeuchtigkeit durch die Honigbienen und ihr Einfluss auf Bienengesundheit und Varroaresistenz

Sigrun Mittl, Dipl.-Biol., bienen-dialoge.de, Fürth, Februar 2017

1. Die Fähigkeit der Honigbienen zur Thermoregulation

Unter allen anderen Stressfaktoren, denen die Honigbienen ausgesetzt sind, stellt der Faktor „Temperatur“ einen der wichtigsten für die Entwicklung und das Überleben der Honigbienen und ihrer Brut dar. [1] Das sieht man daran, dass die Bienenvölker sehr viel Energie darauf verwenden, die Brutnest-Temperatur mit hoher Präzision im Bereich von 32°C-36°C stabil zu halten und aktiv zu regulieren, um eine normale Brutentwicklung sicherzustellen. Es ist eine spannende Frage, inwieweit Temperaturänderungen sich auf die Vitalität und Mortalität von Brut und Bienen auswirken könnten. Es gibt dazu einige sehr interessante Forschungen. Lesen wir sie im Hinblick auf unsere Imkerpraxis, die ganzjährig offene Böden, Plastikfolien auf den Oberträgern der obersten Zarge, Plastik-Varroa-Windeln, Leerräume bei kleinen Völkern, zu frühe Erweiterung, Nichtbeachtung der Nest-Duft-Wärme-Bindung u.a. beinhaltet.

Herr Stabentheiner von der Arbeitsgruppe „Thermoregulation und Energetik“ des Instituts für Zoologie der Universität Graz hat sich mit dem Thema „Individuelle und soziale Thermoregulation der Honigbiene“ beschäftigt. [2] [3] [4] [5] In der Zusammenfassung seiner Veröffentlichung (2005) zu diesem Thema schreibt er wie folgt:

„Honigbienen haben die Fähigkeit, mit ihrer thorakalen Flugmuskulatur aktiv Wärme zu produzieren. Sie nutzen diese Fähigkeit, um beim Sammeln und bei der Rekrutierung von Helferinnen im Schwänzeltanz die Kosten dem zu erzielenden Gewinn anzupassen. Ist die Futterquelle rentabel (süßer Nektar sehr nahe beim Nest) investieren sie viel Energie, um die Temperatur der Flugmuskulatur auf hohem Niveau (bis 45 °C) zu regulieren. Durch die höhere Thoraxtemperatur können sie dann größere Lasten schneller nach Hause bringen bzw. mehr Bienen rekrutieren. Ist die Futterquelle wenig rentabel (z.B. verdünnter Nektar, geringer Nektarfluß, große Flugentfernung) senken sie die Thoraxtemperatur ab, um die Kosten dem niedrigeren Gewinn/Zeiteinheit bzw. dem dadurch geringeren Bedarf an Hilfskräften anzupassen. Im sozialen Kontext nutzen sie die Fähigkeit zur Wärmeproduktion, um im Sommer die Bruttemperatur auf 34-36 °C einzuregeln. Im Winter hilft ihnen diese Fähigkeit, eine hohe Kerntemperatur aufrecht zu erhalten (ca. 25-35 °C) und ein Abkühlen der Außenbienen unter 10 °C und damit ihr Abfallen von der Wintertraube zu verhindern.“ [2]

Zu den Kosten der Thermoregulation schreibt er:

„Bei ruhenden Bienen (im ektothermen Zustand) nimmt der Sauerstoffverbrauch – und damit der Energieumsatz – (auf niedrigem Niveau) mit steigender Umgebungstemperatur annähernd exponentiell zu. Aufgrund ihrer geringen Masse und des damit einhergehenden sehr ungünstigen Verhältnisses zwischen Masse (bzw. Volumen) und Oberfläche müssen thermisch aktive (endotherme) Bienen sehr viel mehr Energie aufwenden, wenn sie ihre

Thoraxtemperatur auf einem hohen Niveau regeln wollen. Sehr aktive, endotherme Bienen müssen ihren Energieumsatz bei 40 °C um das 10-fache, bei 15 °C um ca. das 340-fache über den Ruheumsatz steigern, um ihren Thorax auf einer Temperatur von 38-39 °C einregeln zu können. [...] Im Vergleich zu einem Pferd muß eine Honigbiene mehr als 660-mal so viel Energie pro Einheit der Körpermasse umsetzen, um bei 20 °C Lufttemperatur ihren Thorax auf 38 °C halten zu können.“ [2]

Die soziale Thermoregulation ermöglicht es den Honigbienen, auch in kalten Klimazonen den Winter gut zu überstehen. Stabentheiner (2005) hat die Wintertraube untersucht und kam zu folgenden Ergebnissen:

„Um den Winter zu überstehen, schließen sie sich zu einer sogenannten Wintertraube zusammen. Diese verkleinert sich, wenn die Temperatur sinkt. Die äußeren Bienen rücken zur besseren Isolation eng zusammen. Im Inneren der Traube bleibt es dabei ca. 25-35 °C warm (STABENTHEINER et al. 2003). Es stand immer außer Zweifel, daß die Verkleinerung der Traube die Isolation verbessert und damit den Wärmeverlust drastisch verringert (SOUTHWICK 1985, HEINRICH 1981; weitere Literatur s. HEINRICH 1993 und STABENTHEINER et al. 2003). Dabei wurde vor allem in theoretischen Arbeiten eine aktive Wärmeproduktion als für die Aufrechterhaltung einer hohen Kerntemperatur nicht für notwendig erachtet (LEMKE & LAMPRECHT 1990, MYERSCOUGH 1993, WATMOUGH & CAMAZINE 1995), obwohl der Energieumsatz mit sinkender Temperatur ansteigt (SOUTHWICK 1985). Wir konnten erstmals direkt beweisen, daß Bienen in brutlosen Wintertrauben ihre Fähigkeit zur Endothermie einsetzen, um thermische Stabilität zu erreichen (STABENTHEINER et al. 2003). Dabei wurden Wintertrauben in einem speziellen Bienenkasten möglichst erschütterungsfrei zwischen den Zentralwaben geöffnet und die Körpertemperaturen der Bienen thermografisch gemessen. Abb. 11 (Zählung aus dem Originaltext!; Hier = Abb.1) zeigt thermisch aktive Bienen als helle Punkte im Zentrum der Traube konzentriert. [...]. Die Zahl endothermer Bienen nimmt zur Traubenoberfläche hin ab (Klasse a in Abb. 12 im Originaltext!; Hier = Abb. 2), die Zahl jener Bienen, deren Körpertemperatur primär dem lokalen Temperaturgradienten folgt, hingegen zu (Klasse c in Abb. 12 im Originaltext! Hier = Abb. 2). Auch die Stärke des Heizens nimmt zur Oberfläche hin ab (STABENTHEINER et al. 2003). Die Ergebnisse bringen erstmals einen Beweis für eine zentrale Forderung des Superorganismus-Modells der sozialen Thermoregulation bei Bienen (MORITZ & SOUTHWICK 1992): Die Zentrumsbienen spielen eine aktive Rolle in der thermischen Homöostase der Traube. Sie produzieren Wärme für sich *und* die weiter außen sitzenden Genossinnen, obwohl sie selbst nicht in Gefahr sind, in die Kältestarre zu verfallen (beginnt bei Körpertemperaturen unter 10 °C; GOLLER & ESCH 1990) oder zu erfrieren. Außenbienen heizen selten und wenn, nur in sehr geringem Ausmaß oder als Notmaßnahme. Aus Effizienzgründen sollten daher die Außenbienen gut isolieren und die Zentrumsbienen über die thermischen Bedürfnisse der Außenbienen Bescheid wissen. Es wurde beobachtet, daß aufgeheizte Innenbienen immer wieder die Traubenoberfläche besuchen bzw. die Wabengassen wechseln (STABENTHEINER et al. 2003).“ [2]

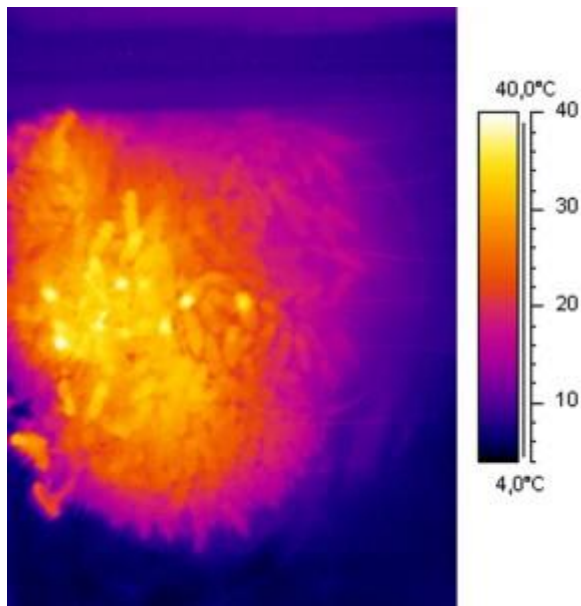
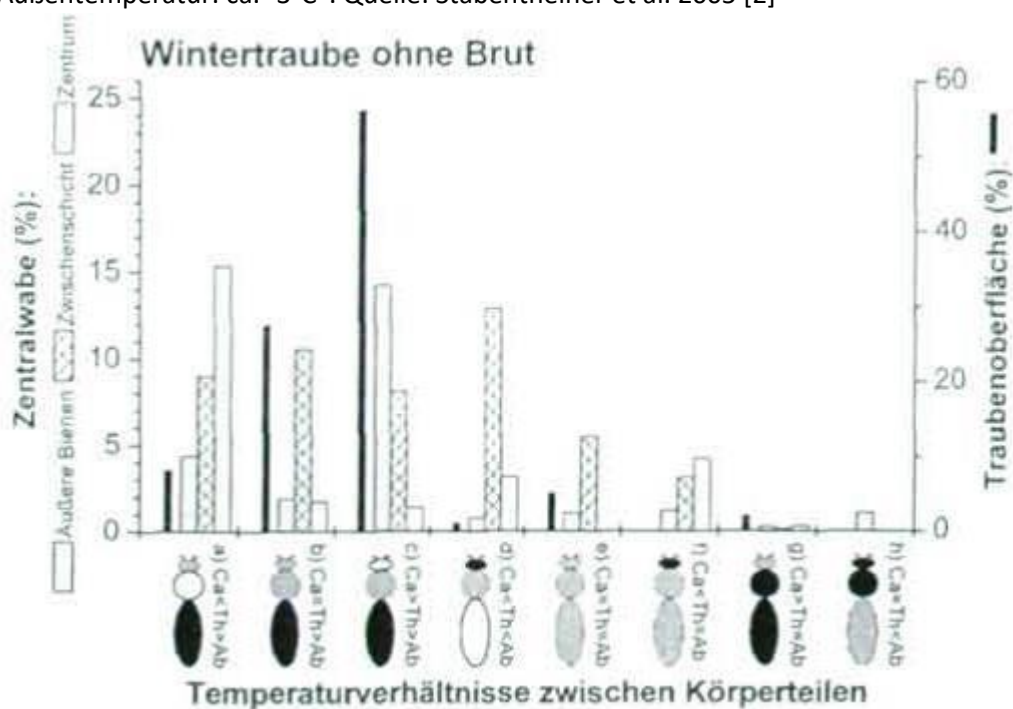


Abb.1: „Infrarot Thermogramm einer Zentralwabe

einer Wintertraube. Neben vielen ektothermen Bienen findet man auch endotherme Bienen mit aktiv aufgeheiztem Thorax (gelbe und weiße Punkte). Stark endotherme Bienen finden sich vor allem im Traubenzentrum. Die Königin finden wir etwas rechts von der Mitte des gelben Bereichs. Im unteren linken Bildbereich finden wir Honigbienen, die die Oberfläche der Traube besucht haben. Außentemperatur: ca. -3°C “. Quelle: Stabentheiner et al. 2005 [2]

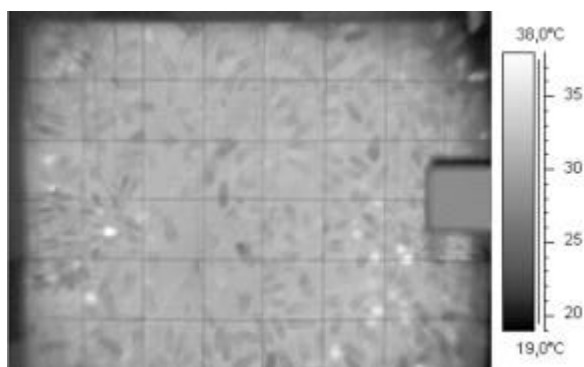


„Abbildung 2:

„Temperaturverhältnisse zwischen den Körperteilen in Wintertrauben (Mittel von 4 Trauben) in Prozent aller Bienen auf der Zentralwabe bzw. Traubenoberfläche. Aktiv heizende Bienen (Klasse a) findet man am häufigsten im Zentrum, in ihrer Körpertemperatur primär dem lokalen Temperaturgradienten folgende Bienen (Klasse c, vorwiegend ektotherm) am häufigsten in den äußeren Traubenbereichen“ [2]

Auch im Sommervolk greift die soziale Thermoregulation. Stabentheiner (2005) beschreibt seine Forschungsergebnisse:

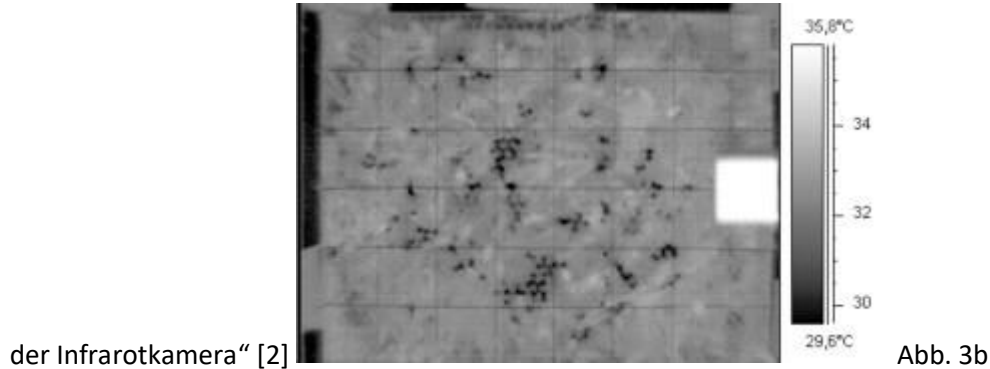
„Honigbienen zeichnen sich durch eine ausgeprägte thermische Homöostase ihrer Brut aus. Sie regeln die Temperatur sehr genau zwischen 34-36 °C. Die Entwicklungsgeschwindigkeit (STABE 1930, WANG 1965) und die Atmung (PETZ et al. 2004) der Bienenlarven ist stark temperaturabhängig. Es bringt den Bienen daher in kühlen Nächten oder kalten Gegenden einen großen Vorteil, die Bruttemperatur auf einem hohen Niveau zu halten. Auf diese Weise ist die Entwicklungsdauer nicht nur kurz, sondern auch genau definiert. Bei Untersuchungen der sozialen Thermoregulation wurde meist nur die Temperatur der Luft in den Wabengassen oder die Wabentemperatur gemessen (siehe HEINRICH 1993). Mit Hilfe der Thermografie konnten wir erstmals die Körpertemperatur aller Bienen auf einer Brutwabe erfassen. Abb. 13 (Im Originaltext! Hier: Abb. 3) zeigt thermografische Aufnahmen von der Zentralwabe eines brütenden Sommervolkes (MANDL, STABENTHEINER & KOVAC, unveröffentlicht). Bei für unsere Breiten normaler Außentemperatur (20°C) sitzen relativ viele Bienen auf der Wabe. Auch wenn die meisten Bienen nicht aktiv heizen, führt der bei 33 °C recht hohe Ruhestoffwechsel (STABENTHEINER et al. 2003) auf Grund der großen Zahl zu einer nicht unbedeutenden Wärmeproduktion. Die trotz guter Isolierung verloren gehende und daher für die Brut fehlende Wärme wird durch aktiv heizende Bienen nachgeliefert (Abb. 13a, im Originaltext! Hier: Abb. 3a); siehe auch BUJOK et al. 2002, KLEINHENZ et al. 2003). Eine endotherme, nur 2,5 °C über die umgebende Luft des Brutnestes aufgeheizte Biene ersetzt die Wärmeproduktion von etwa 10 ektothermen Bienen, ist sie 8 °C aufgeheizt, kompensiert sie etwa 30 ektotherme Bienen (vergl. STABENTHEINER et al. 2003). Droht das Volk zu überhitzen, findet man kaum noch aufgeheizte Bienen. Die Bienen sind dann thermisch kaum noch von der umgebenden Wabe zu unterscheiden (Abb. 13b; im Originaltext! Hier: Abb. 3b). Sie sammeln dann Wasser, verteilen es auf den Waben und werben sogar Nestgenossinnen mit Tänzen zum Wassersammeln an (LINDAUER 1954, VISSCHER et al. 1996). Abb. 13 (Im Originaltext! Hier: Abb. 3b) zeigt erstmals den Kühleffekt des eingetragenen Wassers auf die Brutzellen (schwarze Flecken).“ [2]



„Abbildung 3a und b: „Thermographische

Aufnahmen der Zentralwabe eines brütenden Sommervolkes. a) Umgebungstemperatur 20°C. Neben den vielen ektothermen Bienen findet man auch aktiv heizende (helle Punkte). b) Umgebungstemperatur 40°C. Nur wenige Bienen sind (leicht) endotherm. Die meisten heben sich daher thermisch kaum vom Hintergrund ab. Schwarze Flecken: von den Bienen verteiltes Wasser

kühlt die verdeckelte Brutwabe. Rechtecke am rechten Bildrand: Referenzstrahler zur Kalibrierung



Ritter (1982) hat sich ebenfalls ausführlich mit der Thermoregulation der Honigbienen beschäftigt:

„Ein brutloses Bienenvolk bildet bei niedrigen Umgebungstemperaturen im Sommer eine Traube mit einem ähnlich kleinen Wärmezentrum wie im Winter (RITTER und KOENIGER 1977). Die Temperaturen im Wärmezentrum, dem Traubenkern, lagen im untersuchten Temperaturbereich von 4 °C bis 24 °C meist über 30 °C, während sie in den äusseren Nestteilen mit der Umgebungstemperatur abnahmen. Ein Zusammenhang zwischen der Umgebungs- und Kerntemperatur konnte nicht festgestellt werden. Auch im Winter werden im Kern Temperaturen über 30 °C erreicht (HIMMER, 1926; SOUTHWICK und MUGAAS, 1971). Im brutlosen Bienenvolk im Sommer herrschen somit ähnliche Temperaturverhältnisse wie im Wintervolk. [...]. In Bienenvölkern mit Puppenbrut (10-14 Tage) wird die Grösse und Lage des Wärmezentrums durch die Position und Fläche der Brut bestimmt (RITTER und KOENIGER, 1977). Die Temperatur des Wärmezentrums bleibt im untersuchten Temperaturbereich von 4 °C bis 24 °C auf einem Niveau zwischen 32 °C und 35 °C. In den äusseren Wabengassen und in Völkern mit der halben Brutfläche auch in den brutlosen äusseren Bereichen der mittleren Wabengassen wird die Temperatur dagegen wesentlich von der Umgebungstemperatur beeinflusst. In Völkern mit einer ganzen Puppenbrutwabe wird bei einer Umgebungstemperatur von 9 °C die Temperatur im gesamten Bereich der Brut auf eine um 2 °C niedrigere Temperatur eingestellt als bei 19 °C. Bei unter 9 °C sinkenden Umgebungstemperaturen nimmt nur die Temperatur in den äusseren Nestbereichen weiter ab, während sie in der Nestmitte auf einem Niveau bleibt. Bei 4 °C werden Werte wie in Völkern mit der halben Brutfläche erreicht. Die Bienen hatten offensichtlich zunächst versucht, die gesamte Wabe auf eine energiesparende niedrigere Temperatur einzustellen und bei weiter sinkender Umgebungstemperatur die Traube zusammengezogen. Der Feuchtigkeitsniederschlag auf den Brutdeckeln im äusseren Bereich der Wabe zeigte an, dass dieser Teil der Brut nicht mehr gewärmt wurde. Bei einer niedrigen Umgebungstemperatur ist die Temperatur in der Brutzelle um 1,6 °C höher als in den benachbarten Wabengassen (RITTER und KOENIGER, 1977), d.h. Bienen scheinen wie andere Hymenopteren z. B. Hornissen (KOENIGER, 1978) und Hummeln (HEINRICH, 1972), die Wärme direkt an die Brut abzugeben. Sie erreichen jedoch, indem sie mehrere Schichten mit dazwischen liegenden Luftpolstern bilden, eine bessere Isolation und durch die in der Brutzelle eingeschlossene Luft eine wesentlich konstantere Temperatur.“ [6]

2. Der Einfluss der Temperatur auf Verhalten, Körperbau und Vitalität von Honigbienen und Brut

Honigbienen regulieren ihre Temperatur auch deshalb so genau, weil schon minimale Temperaturunterschiede im Brutnest signifikante Auswirkungen auf Verhalten und Körperbau sowie die Vitalität der Nachkommen haben.

Damit haben sich u.a. Tautz et al. (2003) beschäftigt. Normalerweise herrschen im Bienenstock Temperaturen zwischen 33°C und 36°C. Dafür sorgen die Bienen, indem sie entweder bei zu großer Hitze Wasser hineinbringen oder zur Erwärmung der Luft Muskelarbeit leisten. Die Forscher fanden heraus, dass die Temperatur im Bienenstock und im Brutnest für das Überleben des Volkes sehr wichtig ist. Um den Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von Bienen zu untersuchen, bewahrten sie Bienenpuppen konstant bei 32°C, 34,5°C oder 36°C auf. Die später daraus geschlüpften Bienen verhielten sich alle gleich, solange sie sich im Stock befanden. Außerhalb des Bienenstocks zeigten sich jedoch die Folgen der kühleren Temperatur: Viele der bei 32 Grad herangewachsenen Bienen kehrten überhaupt nicht mehr nach Hause zurück. Die übrigen konnten den Nahrungstanz nicht mehr richtig ausführen, mit dem die Sammlerinnen üblicherweise ihren Sammelschwestern den Ort von Nahrungsquellen kundtun. Die 34,5°C-Bienen konnten es besser, aber deutlich schlechter als die 36°C-Bienen. Dies zeigt sehr eindrucksvoll, dass bereits 1°C zu wenig ihre Fähigkeit zur Kommunikation und ihr Lernvermögen negativ beeinflusst. [7]

Wang et al. (2016) untersuchten die Folgen von niedriger Temperatur (20°C!) im Hinblick auf die Sterberaten der Brut und das Überleben der geschlüpften Bienen. Ihr Ziel war es, herauszufinden, worauf bei der Bienenhaltung in diesem zentralen Punkt geachtet werden muss.

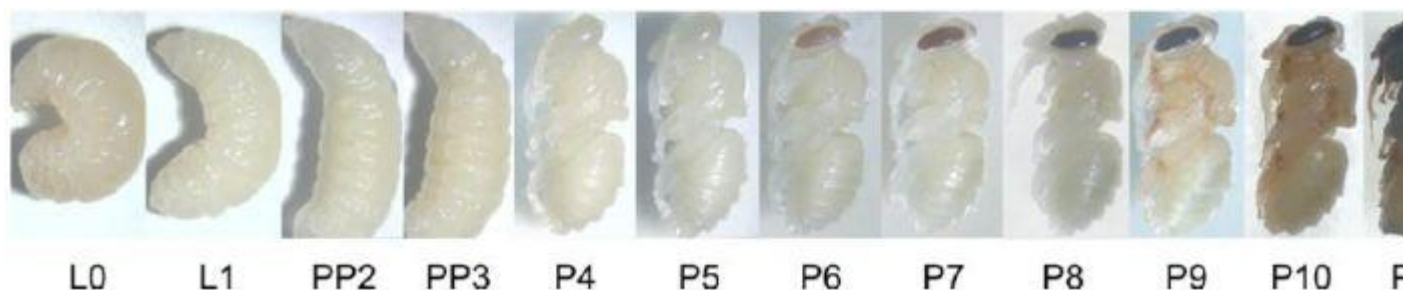


Abbildung 4: „Körperbau und Farbänderung der verdeckelten Brut im Verlauf der 12 Tage dauernden Verdeckelungsphase. Das Larvenstadium (L) dauert 2 Tage (da die Autoren die 0 Std. verdeckelte Brut mit zu der einbezogen haben, die am selben Tag verdeckelt wurde, LO), die Phase der Praepuppe (PP) dauert 2 Tage und der Rest sind Puppen-Stadien (P4-P11). Am Tag 12 schlüpft die Arbeiterin als Erwachsene (Adulte Phase)“ [1] Sie setzten Brut in unterschiedlichen Stadien (L0 – P11) einer Temperatur von 20°C für eine Zeitdauer von 12 Std., 24 Std. bis hinauf zu 96 Std. aus und fanden heraus, „dass

- 1) in Bezug auf die Sterblichkeit die empfindlichste Periode hinsichtlich des Kälte-Stresses das Brutstadium PP3 ist, gefolgt von PP2 (siehe Abb. 4). (...).
- 2) das stabilste Stadium unabhängig von der Dauer der niedrigen Temperatur, der die Brut ausgesetzt war, P8 war, gefolgt von P9 und L0.
- 3) Erwachsene Bienen, die aus mit Kälte behandelten Puppen geschlüpft waren, weniger lang lebten. Erwachsene, die von L0 + P8+ P9 geschlüpft waren, überlebten am längsten, aber

immer noch signifikant kürzer verglichen mit der Kontroll-Gruppe (Puppen, die nicht der Kälte ausgesetzt waren).

4) Wenn verdeckelte Brut Kälte ausgesetzt ist, bewirkt diese, dass die Puppen falsch herum mit dem Kopf zum Zellboden liegen, und zwar ausreifen, aber nicht schlüpfen können und dann sterben, weil sie verhungern. Die Brut ist 24 Std. nach der Verdeckelung am empfindlichsten und die Raten der Fehlorientierung erreichen ungefähr 40% in diesem Stadium der Brutentwicklung, wenn die Brut 36 Std. der Kälte ausgesetzt war“. [1] (Übersetzung durch die Verfasserin)

Auch Missbildungen von Flügeln, Beinen und Hinterleib können Zeichen von Unterkühlung sein. [1] Wenn Sammlerinnen weniger lang leben, werden Pflegebienen gezwungen, Brut im Stich zu lassen, um die verlorengegangenen Sammlerinnen zu ersetzen. [1]

3. Temperatur als „Waffe“

Stabentheiner (2005) erforschte auch diese Fähigkeit der Honigbienen:

„Honigbienen nutzen ihre enorme Fähigkeit zur Wärmeproduktion auch zur Abwehr von Feinden. Sie attackieren in das Nest eingedrungene oder es bedrohende Wespen, indem sie sie in eine Bientraube einschließen und zu heizen beginnen (ONO et al. 1995, STABENTHEINER 1996b). Abb. 14 (im Originaltext! Hier: Abb. 5) zeigt so einen heißen Bienenball gegen eine eingedrungene Wespe bei *Apis mellifera carnica*. Die Bienen erreichen dabei Körpertemperaturen bis 46 °C. Während sie diese Temperaturen noch aushalten, werden die Wespen dadurch getötet.“ [2]

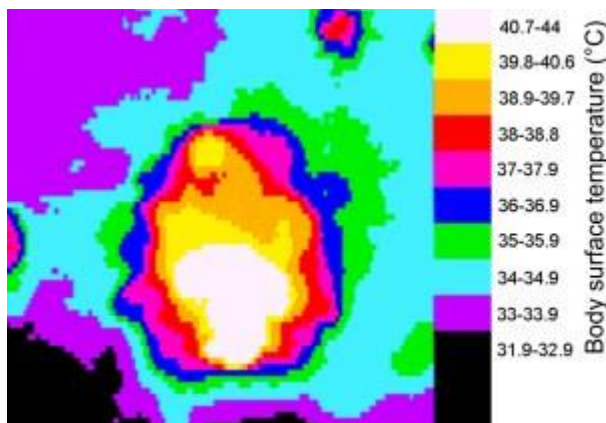


Abbildung 5: Infrarot Thermogramm von

Honigbienen während der Attacke gegen eine Wespe – Heißer „Bienenball von *Apis mellifera carnica* bei der Abwehr einer in das Nest eingedrungenen Wespe *Paravespula* sp.. Die Bienen heizen ihren Thorax auf Temperaturen bis 44°C, um die Wespe durch Hitze zu töten. Wespentemperatur: maximal 42°C [2]

Als ich darüber las, fragte ich mich, ob die Honigbienen diese Fähigkeit zur aktiven Temperaturregulation nicht auch gegen die Varroa einsetzen könnten. Ich machte mich auf die Suche und fand sehr interessante Studien. Diese zeigten nicht nur, dass sie das können, sondern ich fand auch Studien, die zeigen, dass die Honigbienen ihre Fähigkeit der aktiven Regulation der Luftfeuchtigkeit ebenfalls gegen die Varroa einzusetzen. Darüber jetzt mehr.

4. Aktive Regulation der Luftfeuchtigkeit durch die Honigbienen

In welcher Weise können Honigbienen die Luftfeuchtigkeit in ihrem Stock überhaupt beeinflussen? Kraus & Velthuis [8] geben uns hier einen Überblick, der im Wesentlichen auf der Grundlagenforschung von Wohlgemuth [9] beruht: „Die Temperatur im Brutnest der Honigbienen schwankt zwischen 31°C und 36°C. Die Relative Luftfeuchtigkeit (RL) sinkt bei steigender Temperatur. Da die Umgebungstemperatur in kaltem und gemäßigttem Klima klar unterhalb der Brutnesttemperatur ist, ist die RL innerhalb des Brutnestes vergleichsweise niedrig sogar dann, wenn die RL in der Umgebung hoch ist. Die RL im Brutnest von *Apis mellifera*-Völkern beträgt i.d.R. ungefähr 40% und Levels von über 70% kommen höchstwahrscheinlich in gemäßigten und kalten Klimazonen sogar unter extremen Bedingungen kaum vor. Im mediterranen Klima ist die Umgebungstemperatur im Sommer häufig die gleiche wie im Brutnest, aber die RL ist normalerweise niedrig. [...]. Honigbienen sind in der Lage, die Temperatur im Brutnest zu steigern, indem sie mit ihren Flügelmuskeln Hitze erzeugen oder die Temperatur zu senken, indem sie gleichzeitig Wasser verdampfen und Luftströme erzeugen, während hingegen sie mit Verdampfung und ohne Luftströmungen zu erzeugen die RL im Brutnest steigern können. Wenn z.B. während eines Nektarflusses die RL innerhalb des Stockes steigt, steigern sie die Temperatur innerhalb des Stockes und erzeugen Luftströmungen, um die Feuchtigkeit durch das Flugloch herauszubringen. Hohe Umgebungstemperaturen verbunden mit hoher RL ermöglichen es den Honigbienen nicht wirklich, die Bedingungen zu kontrollieren und die Bienen fliehen teilweise aus dem Nest und bilden Haufen am Nesteingang.“ (Übersetzung durch die Verfasserin)

Die Relative Luftfeuchtigkeit steigt durch die Aktivität der Bienen auf 50-70%, sobald die Umgebungstemperatur zu hoch oder zu niedrig ist. Wenn die Umgebungstemperatur ungefähr das Niveau der Brutnest-Temperatur erreicht hat, fällt die RL auf ca. 40%. [9]

Schweizer (2011) hat in einer Bachelor-Arbeit den Zusammenhang der Relativen Luftfeuchtigkeit und der Varroa-Entwicklung untersucht. Mehr dazu später. Interessant an den Ergebnissen ist aber schon mal Folgendes: In seiner Studie waren alle Völker am gleichen Ort aufgestellt, fanden also das gleiche Trachtangebot vor, lebten also bei gleicher Umgebungstemperatur, wurden alle gleich beimkert. Dennoch zeigte sich, dass die einzelnen Völker in unterschiedlichem Maße in der Lage waren, die Luftfeuchtigkeit im Stock zu regulieren, unabhängig von den Umgebungstemperaturen und der RL außerhalb der Stöcke. [10] Ob diese Eigenschaft der Honigbiene genetisch bedingt bzw. erlernt und dann epigenetisch weitergegeben wird, ist nicht klar.

Gedankenspiel: Wenn wir bei hohen Temperaturen flüssig einfüttern und somit die RL erhöhen (?), die Bienen aber gerade unter diesen Umständen diese nicht gut regulieren können, kann es dann sein, dass wir den Varroa-Milben paradiesische Umstände kreieren, die sie dazu nutzen, ihre Reproduktionsraten zu steigern? Ist das der Grund für im Sommer häufig explodierende Varroa-Zahlen trotz Behandlung im Vorgang?

5. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Varroa

Faktoren, die die Reproduktion der Varroa beeinflussen, wurden in der Forschung zu einem zentralen Thema. Bekannt sind Faktoren wie Horizontale und Vertikale Transmission, Schwarmverhinderung, Mutation zu avirulenten Viren, Auswirkung der Zuckerfütterung auf das Immunsystem der Honigbienen, Ausräumverhalten der Bienen, etc.

An dieser Stelle befassen wir uns mit dem Einfluss von Temperatur und Relativer Luftfeuchtigkeit (RL) auf das Wachstum der Milbenpopulationen. Diese Frage beschäftigte mich. Die Forschungsergebnisse, die ich gefunden und ausgewertet habe, zeigen ganz eindeutig eine signifikante Korrelation zwischen (Umgebungs-) Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Varroa-Entwicklung. [8] [11] [12]

Harris et al. (2003) belegten, dass die Wachstumsraten der Varroa signifikant während der Jahre schwanken und konnten zeigen, dass in trockenen und heißen Sommern die Vermehrungsrate drastisch sank, was belegt, dass die Umgebungstemperatur einen großen Einfluss hat. [11]

Le Conte et al. (1990) haben sich sogar mit dem Einfluss der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit auf die Fortpflanzungsfähigkeit der Varroa beschäftigt. Zuerst zur Temperatur. Die optimale Temperatur für die Entwicklung der Varroa-Milben liegt zwischen 32,5°C – 33,4°C, was gut mit der Bruttemperatur von *Apis mellifera* korrespondiert, die im Bereich zwischen 31°C – 36°C liegt [13], und noch exakter formuliert der Temperatur der Drohnenbrut entspricht, die im Randbereich des Brutbereichs liegt. In diesem Bereich gibt es keine Reproduktion über 37°C und unter 28°C. Die Reproduktionsraten der weiblichen Varroa-Milben sind bei Temperaturen über 36°C signifikant vermindert, was Kraus et al. (1998) bestätigen [14]. Bei Temperaturen über 38°C beginnen die Varroa zu sterben, ohne sich fortzupflanzen. Temperatursprünge sind für die Entwicklung der Milben ungünstig. Honigbienen, auch *Apis mellifera*, sind in der Lage, ihre Temperatur kurzfristig und schnell zu steigern, z.B. 5x auf 41°C innerhalb von 5 Tagen. Kurzzeitige Temperaturerhöhungen auf 41°C reduzierte die Fruchtbarkeit der Varroa-Weibchen um 75%, bei einer Erhöhung auf 42°C sogar um 100%. [12]

Kraus & Velthuis (1997) führen aus, dass das Populationswachstum der Varroa in mediterranem Klima höher ist als in kalten und gemäßigten Klimazonen, da den Honigbienen dort mehrere Brutzyklen pro Jahr möglich sind und damit eine vermehrte Varroa-Entwicklung. Überraschenderweise ist das Populationswachstum in tropischen Gebieten (wo es noch wärmer ist) aber gering und die Brutnest-Temperatur die gleiche wie in gemäßigten Klimazonen. Die beiden Faktoren können also die niedrige Reproduktion der Milben nicht erklären. Das tropische Klima weist aber eine höhere Luftfeuchtigkeit auf. Könnte hier ein Zusammenhang bestehen? Ihre Studie zeigte folgende interessante hoch signifikante Ergebnisse:

RL von 59%-68%: 53% der Milben produzieren Nachkommen

RL von 79%-85%: 2% der Milben produzieren Nachkommen

und legen nahe, dass die Weibchen der Varroa sehr sensitiv auf eine hohe Relative Luftfeuchtigkeit reagieren und bei einer RL von über 85% nahezu nie zur Reproduktion in der Lage sind. [8]

Die Studien von Le Conte et al. (1990) zu Luftfeuchte und Reproduktion zeigen:

In der Regel schwankt die RL des Brutnestes zwischen 40-70%. [9] Die Reproduktionsraten der Varroa sind bei 70% RL höher als bei 40% RL. Die Reproduktionsrate der Varroa steigt mindestens ab 40% RL bis 70% RL an, kippt in dem Bereich zwischen 70% und 79% und sinkt ca. bei einer RL von 79% dramatisch ab. Bei einer Relativen Luftfeuchtigkeit von über 80% findet praktisch keine Reproduktion mehr statt. [12]

Exkurs: Fortpflanzung der Varroa – Definitionen

Bevor ich die Ergebnisse von Le Conte et al. in Tabellen übersichtlich zusammenstelle, möchte ich noch kurz auf die Fortpflanzung der Varroa eingehen.

Martin (1994) hat gezeigt, dass ein Varroa-Weibchen bis zu 5 oder auch 6 Larven in einer Brutzelle der Honigbiene ablegen können, von denen 4 (1 Männchen + 3 Weibchen) Geschlechtsreife erlangen können, bevor die fertige Honigbiene schlüpft. Insgesamt gesehen gelangen durch die hohe Sterberate jedoch nur ca. 1,45 Tochtertiere zur Geschlechtsreife. [15]

Die Resistenz der Honigbienen gegenüber der Varroa wird indirekt ermittelt über den Fortpflanzungserfolg der Varroa. Dieser wird mit Hilfe folgender Begrifflichkeiten ermittelt und setzt sich aus folgenden Kriterien zusammen, die in der Forschung heute verwendet werden [15] [16] [17] [18] [19]:

Fortpflanzungserfolg der Varroa:	1 befruchtete Tochter (1 Männchen + 1 Schwesterweibchen kommen zur erfolgreichen Paarung, bevor die Honigbiene schlüpft)
Unfruchtbarkeit (<u>infertility</u>):	Mutter-Milbe legt keine Eier
Fortpflanzungsfähigkeit; Fertilität (<u>fertility</u>):	Mutter-Milbe legt Eier
Fruchtbarkeit (i. S. v. Ergiebigkeit) (<u>fecundity</u>):	Anzahl der gelegten Eier → legt nur 1 Ei oder eben mehrere
Erfolgreiche Fruchtbarkeit (<u>prolificity</u>):	Anzahl der lebenden Protonymphen und <u>Deutonymphen</u>
Ohne spezielle Definition:	Mutter-Milbe produziert keinen männlichen Nachwuchs
Ohne spezielle Definition:	Mutter-Milbe hat toten Nachwuchs → wieviel toten Nachwuchs
Ohne spezielle Definition:	beginnt zu spät mit der Eiablage, so dass bei Schlupf der Honigbiene die Paarung von Männchen und Schwesterweibchen noch nicht vollzogen ist oder zu spät

Und nun weiter zu Le Conte et al. (1990), die sowohl den Einfluss der Temperatur wie auch der Luftfeuchtigkeit in Bezug auf die Fortpflanzungserfolge der Varroa erforscht haben. Ich habe die Ergebnisse ihrer Studie in folgenden Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 1: Mortalität der Varroa:

Relative Luftfeuchtigkeit (RL)	Temperatur	Einfluss auf Varroa	Einfluss auf Bienen
70%	< 28°C	Kein Einfluss	Nymphen können sterben
70%	38,5°C	100% Mortalität der Varroa-Weibchen	Kein negativer Einfluss auf Bienen
40%	38,5°C	100% Mortalität der Varroa-Weibchen	Kein negativer Einfluss auf Bienen

Tabelle 2: Fortpflanzungsfähigkeit (fertility):

RL	Temperatur	Grad der Fruchtbarkeit
70%	Keine Angabe	93,8%-97,4% Signifikant höher als bei 40% RL
70%	32°-34°C	Spitzenwerte bei der Eiablage
70 %	< 26°C	Keine Eiablage
70%	>38°C	Keine Eiablage
40%	33°C-35°C	68,3%-66,7% Höchster Wert
40%	>37,5°C	Keine Eiablage

Tabelle 3: Fruchtbarkeit (fecundity)

RL	Temperatur	Art der Nachkommen je Varroa-Weibchen
70%	<26°	Kein Ei, keine Nymphe, keine Erwachsene
70%	>38°C	Dito
70%	31°C-34°C	Maximale Fruchtbarkeit, signifikant höher als bei 40% RL und ca. 33°C
40%	>37%	Kein Ei, keine Nymphe, keine Erwachsene
40%	Ca. 33°C	Maximale Fruchtbarkeit, aber signifikant niedriger als bei 70%RL und 31-34°C

Tabelle 4: Erfolgreiche Fruchtbarkeit (Prolificity)

RL	Temperatur	Reproduktion (Rate) von lebenden Protonymphen und Deutonymphen
70%	32,5°C	Maximale Reproduktion, signifikant höher als bei 40% RL
70%	31°C-37°C	Zufriedenstellende R.
70%	<31°C	Fallende R.
70%	>38°C	Fallende R.
40%	Ca. 33°C	Maximale Reproduktion, aber signifikant niedriger als bei 70%RL
40%	30°C-36,5°C	Zufriedenstellende R.
40%	<30°C	Fallende R.
40 %	>36,5°C	Fallende R.

Und bei 70% RL mehr Protonymphen und Deutonymphen pro fruchtbarem Weibchen als bei 40% RL.

Varroa-Weibchen sind in der Lage, einen Temperaturwechsel von 1,2°C zu ermitteln. Temperatur als solche, und vor allem der Bereich von 32,5-33,5°C, der mit der Temperatur der Drohenbrut korrespondiert, scheint für den Lebenszyklus der Varroa sehr wichtig zu sein.

Genetische Variabilität beeinflusst die Thermoregulation bei den Honigbienen. Dies und die Vorlieben der Varroa für bestimmte Temperaturen führen Le Conte et al. zu dem Schluss, dass die Thermoregulation – Regulation der Bruttemperatur durch die Bienen und gelegentliche Temperatur-Peaks – ein nützliches Kriterium für die Selektion von Varroa-resistenten Honigbienen sein könnte. [12]

Schweizer (2015) bestätigt im Rahmen seiner Bachelorarbeit eines der obigen Ergebnisse zur Korrelation Luftfeuchtigkeit und Varroareproduktion: „Die statistische Analyse zeigt im Vergleich zwischen den einzelnen Völkern einen Standort unabhängigen, signifikanten Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Varroapopulation und der Luftfeuchtigkeit: je höher die Luftfeuchtigkeit, desto stärker die Varroaentwicklung“. [10]

6. Welche Schlussfolgerungen könnten wir aus obigen Erkenntnissen hinsichtlich der Beschaffenheit der Honigbienenbeuten ziehen?

6.1 Bevorzugte Höhlengröße in der Natur und die Auswirkungen zu großer Beuten auf die Bienengesundheit

Seeley (1976) hat in einer aufwendigen Studie Baumhöhlen von wildlebenden Honigbienen untersucht. Die meisten dieser Bienen-Wohnungen waren zwischen 30L und 60L groß [20].

Dr. Ritter ist in seinem Vortrag auf den Vergleich der Beutengrößen im Hinblick auf die Varroa- und Flügeldeformationsvirus (DWV)-Belastung eingegangen, die Seeley 2013 veröffentlicht hat:

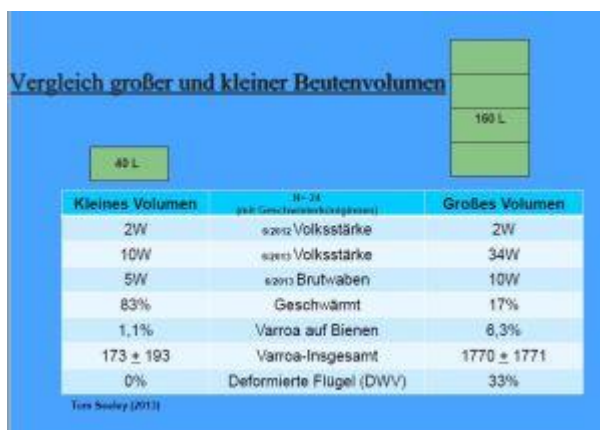


Abb. 6: Vergleich großer und kleiner

Beutenvolumen im Hinblick auf Varroa und Flügeldeformationsvirus (DWV); Datenbasis: Seeley 2013; Grafik: Dr. Ritter [21] Könnte es sein, dass die Fähigkeit der Honigbienen zur Thermoregulation sowie zur Regulation der Luftfeuchtigkeit durch zu große Behausungen eingeschränkt ist? Kann es sein, dass die Beutengröße in direktem Zusammenhang mit Temperatur und Luftfeuchtigkeit steht? Je weniger eine Beute isoliert ist, je größer im Verhältnis zur Volksstärke, desto mehr werden die Fähigkeiten zur Regulation beeinflusst, was dann wiederum einen Einfluss auf die Entwicklung von Krankheiten haben könnte? Kann es sein, dass durch zu große und zu schlecht isolierte Beuten die Honigbienen ihre Fähigkeit, die Luftfeuchte aus der Beute heraus zu transportieren, nicht gut nutzen können bzw. die RL so hoch ist noch innerhalb der Wabengassen, dass sie viel mehr Bienen bräuchten, um das zu regulieren, die sie aber nicht abstellen können o.ä.?

6.2 Die Auswirkung von Plastikfolien auf den Rähmchen und Styropor in den Deckeln, Plastikwindeln im Beutenboden

Jegliches Material aus Plastik oder Styropor beeinträchtigt die Luftzirkulation und die wirksame Regulation der Luftfeuchtigkeit. Zudem steigt die Luftfeuchtigkeit dadurch extrem an, da die Diffusion beeinträchtigt ist. Gut sind Nessel- oder Leinentücher, zumindest im Winter und im Deckel ein kleines Loch und eine Dämmung mit diffusionsoffenen Stoffen, wie z.B. Holzwolle-Leichtbauplatten oder Totholz o.ä..

6.3 Schlussfolgerungen

Ich gehe sehr davon aus, dass die Luftfeuchte- und Temperaturverhältnisse in einem natürlichen Honigbienen-Zuhause (natürliche Baumhöhle) völlig andere sind als in unseren

für die Imker zweckmäßigen Bienenbeuten. Zweitens gehe ich davon aus, dass die Honigbienen in den handelsüblichen Beuten viel mehr Energie auf die Regulation verwenden müssen als sie entweder aufbringen oder erübrigen können. Erwiesen ist, dass die Fähigkeit zu Regulation von Luftfeuchte und Temperatur einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit und Vitalität der Honigbienen hat.

Daher ist die Erforschung der Auswirkungen verschiedener Beutenarten auf die Gesundheit und Vitalität der Honigbienen dringend notwendig, um den Honigbienen, die sowohl von Seiten der sich ständig dramatisch verschlechternden Umweltbedingungen als auch von Seiten extrem abträglicher Imkermethoden massiv gestresst und daher anfällig sind, die Chance zu geben, zu gesunden und zu erstarken.

Literaturverzeichnis

- Q. Wang, X. Xu, X. Zhu, L. Chen, S. Zhou, Z. Huang und B. Zhou, „Low-Temperature Stress during Capped Brood Stage Increases Pupal Mortality, Misorientation and Adult Mortality in Honey Bees,“ *PLoS ONE* 11 (5): e0154547, doi:10.1371/journal.pone.0154547, 2016.
- [1] A. Stabentheiner, „Individuelle und soziale Thermoregulation der Honigbiene,“ *Entomologica Austriaca* 12 – Österr. Ent. Ges. (ÖEG), pp. 13-22, 2005.
- A. Stabentheiner, H. Kovac und R. Brodschneider, „Honeybee colony thermoregulation – regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress,“ *PLoS ONE* 5(1). doi: 10.1371/journal.pone.0008967, p. 13, 2010.
- [3] A. Stabentheiner, H. Kovac und S. Schmaranzer, „Thermal behaviour of honeybees during aggressive interactions,“ *Ethology* 113, pp. 995-1006, 2007.
- [4] A. Stabentheiner, H. Pressl, T. Papst, N. Hrassnigg und K. Crailsheim, „Endothermie heat production in honeybee winter clusters,“ *The Journal of Experimental Biology* 206, pp. 353-358, 2003.
- [5] W. Ritter, „Experimenteller Beitrag zur Thermoregulation des Bienenvolkes (*Apis mellifera* L.),“ *Apidologie* 13 (2), pp. 169-195, 1982.
- [6] J. Tautz, S. Maier, C. Groh, W. Rössler und A. Brockmann, „Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development,“ *Proceedings of the National Academy of Sciences – PNAS* 100 (12), pp. 7343-7347, 2003.
- [7] B. Kraus und H. Velthuis, „High Humidity in the Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Brood Nest Limits Reproduction of the Parasitic Mite *Varroa jacobsoni* Oud.,“ *Naturwissenschaften* 84, pp. 217-218, 1997.
- [8] R. Wohlgemuth, „Die Temperaturregulation des Bienenvolkes unter Regeltheoretischen Gesichtspunkten,“ *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* (40), pp. 119-161, 1957.
- [9] P. Schweizer, „Klimatische Faktoren beeinflussen die Reproduktion der Varroa,“ *Schweizerische Bienenzeitung*, pp. 14-16, November 2015.
- [10]

- J. Harris, J. Harbo, J. Villa und R. Danka, „Variable Population Growth of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in Colonies of Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) During a 10-Year Period,“ *Environmental Entomology* 32 (6), pp. 1305-1312, 2003.
- Y. Le Conte, G. Arnold und P. Desenfant, „Influence of Brood Temperature and Hygrometry Variations on the Developement of the Honey Bee Ectoparasite *Varroa jacobsoni*,“ *Environmental entomology* 19 (6), pp. 1780-1785, 1990.
- C. Levin und C. Collison, „Broodnest temperature differences and their possible effect on drone brood production and distribution in honeybee colonies,“ *Journal of apicultural research* 29, pp. 35-45, 1990.
- B. Kraus, H. Velthuis und S. Tingek, „Temperature profiles of the brood nests of *Apis cerana* and *Apis mellifera* colonies and their relation to varroosis,“ *Journal of apicultural research* 37, pp. 175-181, 1998.
- S. Martin, „Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in worker brood of the honeybee *Apis mellifera* L. under natural conditons,“ *Experimetal & Applied Acarology* 18, pp. 87-100, 1994.
- J. Harbo und J. Harris, „Selecting honey bees for resistance to *Varroa jacobsoni*,“ *Apidologie* 30, pp. 183-196, 1999.
- B. Locke, „Inheritance of reduced *Varroa* mite reproductive success in reciprocal crosses of mite-resistant and mite-susceptible honey bees (*Apis mellifera*),“ *Apidologie* 47, pp. 583-588, 2016.
- B. Locke und I. Fries, „Characteristics of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Sweden surviving *Varroa destructor* infestation,“ *Apidologie* 42, pp. 533-542, 2011.
- B. Locke, Y. Le Conte, D. Crauser und I. Fries, „Host adaptations reduce the reproductive success of *Varroa destructor* in two distinct European honey bee populations,“ *Ecology and Evolution* 2 (6), pp. 1144-1150, 2012.
- T. Seeley und R. Morse, „The Nest of the Honey Bee (*Apis Mellifera* L.),“ *Insectes Sociaux* 23 (4), pp. 495-512, 1976.
- W. Ritter, „Vortrag: 30 Jahre *Varroa*-Milbe; Im Rahmen der Bienenkonferenz 2014, Wien,“ April 2014. [Online]. Available: <https://www.global2000.at/sites/global/files/Pr%C3%A4sentation%20-%20Dr.%20Wolfgang%20RITTER.pdf>. [Zugriff am 8 Januar 2016].