

Honigbienen im Hitzestress

– Messungen und Maßnahmen

Marco Messelken
Julia Wurm
Claus Brell

Zusammenfassung: Staatenbildende Insekten sind in der Lage, die Temperatur in ihrem (Brut-)Nest zu regulieren. Dieser Regulationsfähigkeit sind Grenzen gesetzt. Insbesondere bei Honigbienen, die nur noch in Ausnahmefällen in natürlichen Umgebungen leben, führt ein hoher Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung zu massivem Stress im Bienenvolk. Dieser Stress kann durch einfache räumlich und zeitlich aufgelöste Temperaturmessungen sowie durch Schallaufzeichnungen nachgewiesen werden. Die Bienen zeigen ein direkt und mit Schallanalysen beobachtbares Kühlverhalten, um die Temperatur in der Beute nicht über 38°C steigen zu lassen. Eine Messung ohne Bienenbesatz zeigt einen Unterschied der Innentemperatur von bis zu 7°C im Vergleich von einer beschatteten zu einer unbeschatteten Beute. Der Wärmeeintrag kann durch einfache Maßnahmen wie die Beschattung durch Auflage eines hinterlüfteten Strahlungsschildes gemindert werden.

1. Einleitung

Staatenbildende Hautflügler wie Wespen, Ameisen und Honigbienen haben in den letzten 39 Mio. Jahren verschiedene Strategien entwickelt, mit schwankenden (Außen-)Temperaturen umzugehen. Dies ist notwendig, da die Temperaturfenster für eine Aufzucht gesunder Brut eng sind (vgl. Heinze et. al. 2002 für Ameisen; Tautz 2016 für Honigbienen). Eigene Beobachtungen in 2019 zeigten, dass Gallische Feldwespen in der Lage sind, Umgebungstemperaturen bis zu 80°C zu bewältigen (Abb. 1). Bei Temperaturen ab 45 °C zeigt die Wespe ein Kühlverhalten mit hochgewürgten Flüssigkeitströpfchen (Kovac et. al. 2017:282)

Ameisen regulieren die Bruttemperatur, indem sie die Puppen je nach Außentemperatur in verschiedenen temperierten Bereichen des Nests tragen. Rote Gartenameisen (*Myrmica rubra*) tragen nach eigener Beobachtung ihre Puppen um und suchen Stellen im Erdreich oder in selbstaufgeschütteten Erdhaufen, die die richtige Temperatur haben (vgl. Penick & Tschinkel 2008:177 für Feuerameisen).

Honigbienen können gut mit geringen Außentemperaturen umgehen. Sie sind in der Lage, die Brutnesttemperatur um 35°C zu halten. Auch im Winter können sie die Königin mit ihrem Spermiovorrat auf etwa 25°C wärmen.

Weniger effizient sind Honigbienen bei der Kühlung. Es bestand nur wenig Anlass für die Waldrand-Höhlenbewohner, in ihrer Evolution hierzu ausgefeilte Mechanismen zur Kühlung herauszubilden, da ihre eigentliche Umgebung beschattet und durch Verdunstung an Blattflächen relativ kühl war. Mit der Haltung in künstlichen Behausungen (Beuten) können nun Honigbienen bei starker Sonneneinstrahlung in Wärmestress geraten (Seeley & Morse 1976). Neben Brutschäden ist auch das Wabenwerk gefährdet, da Wachs bei hohen Temperaturen seine Stabilität einbüßt und dadurch das Wabenwerk einstürzen kann.



Abb. 1: Brutnest der gallischen Feldwespe in der Wulst einer Dachpfanne.

2. Bedeutung der Umgebungs- und Nesttemperatur für Honigbienen

In einem Bienenstock leben im späten Frühjahr bis zu 60.000 Bienen (Aumeier 2008). Die meisten davon sind Arbeiterinnen, es gibt eine Königin, die bis zu 2000 Eier am Tag legt, und es gibt Drohnen, deren einziger Zweck die Begattung einer neuen Königin eines anderen Bienenvolkes ist. Bienen leben im Frühjahr etwa 30 Tage, eine Bienenkönigin kann bis zu 5 Jahre alt werden. Die Gesamtheit aller Bienen in einem Bienenstock heißt «Bienen». Der Bienenstock weist einige Eigenschaften wie ein Säugetier auf.

Außentemperaturen steuern wesentlich das Verhalten von Honigbienen. Bienen sind darauf angewiesen, abschätzen zu können, wann zukünftig eine Trachtsituation vorliegen wird. Die Entwicklung von Arbeiterinnen benötigt 21 Tage, so dass die Bienenkönigin rechtzeitig in Eilage gehen muss, um die erforderliche Volksstärke für die Trachtsituation zur Verfügung zu stellen. Vermutlich können Honigbienen Wärmesummen bilden und - wie der Landwirt - den Blühbeginn daraus vorhersagen. Die Literaturlage hierzu ist nicht eindeutig (vgl. Villagoz et. al. 2021)

Bienenlarven benötigen eine konstante Brutnesttemperatur, um sich zu gesunden Bienen entwickeln zu können. Die Honigbienenbrut gedeiht bei einer Brutnesttemperatur zwischen 32°C (Becher et al., 2009) und 37°C (Fahrenholz et al., 1989). Die Schwankungen der Brutnesttemperatur liegen zwischen 1°C (Seeley, 1995) und 2°C (Fahrenholz et al., 1989). Die konstante Brutnesttemperatur erzeugen die Bienen durch die Vibration ihrer Flugmuskulatur, ohne jedoch die Flügel zu bewegen. Die Energie dafür nehmen Honigbienen aus dem eingelagerten Honig, den sie durch Sammeln, Trocknen und enzymatischen Umbau von Nektar erzeugen.

Die Vibration der Flugmuskulatur erzeugt Schall im hörbaren Bereich von etwa 240 Hz.

Geraten Bienen in Stresssituationen z. B. durch zu hohe Außentemperaturen, eine fehlende Königin (Weisellosigkeit), Störungen von Außen oder durch Erkrankungen, ändert sich die Frequenz bzw. das Klanggeschehen in vielfältiger Weise.

Auch beim Schwarmakt – das ist der natürliche Vermehrungsakt eines Bienenvolkes, bei dem die Hälfte des Volkes mit der alten Königin auszieht und eine neue Bleibe sucht - ändert sich der Klang im Bienenstock. Es liegt nahe, neben den Temperaturen auch Schallereignisse zu erfassen, die gewonnen Erkenntnisse aus Temperatur und Schall in Beziehung zu setzen und zu versuchen, daraus prädiktiv Schlüsse auf den Zustand im Bienenvolk zu ziehen.

Das Potenzial von Klanganalysen, auch in Verbindung mit künstlicher Intelligenz, wird aktuell von einigen Arbeitsgruppen verfolgt (Yu et. al. 2022, Nolasco et al. 2019).

Zu hohe Temperaturen im Bienenstock wirken sich negativ auf das Bienenvolk aus. Gelingt es den Bienen nicht mehr, die Temperatur unter 40 °C zu halten, so sind

- a) Schäden an der Brut
 - b) Schäden am Spermiovorrat in der Königin
 - c) Zusammenbruch des Wabenwerks
- zu befürchten (Stabentheiner et. al. 2021 S. 347).

Bienenwachs wird bei einer Temperatur von etwa 35 bis 40 Grad Celsius formbar. Bei dieser Temperatur ist das Wachs weich genug, um es zu modellieren, aber es behält noch seine feste Form und schmilzt nicht. Der Schmelzpunkt liegt bei 62°C. Bei honiggefüllten, schweren Waben kann bereits eine Verformbarkeit zum Problem für die Bienen werden, wenn beispielsweise das durch Honig schwere Wabenwerk vom Oberträger abreißt.

Ab 38°C ist eine Schädigung der in der Königin gespeicherten Spermien möglich (McAfee et. al. 2020).

Steigen die Temperaturen im Bienenstock über 36°C, beginnen Bienen mit der aktiven Kühlung. Dazu bringen sie Wasser in den Stock, lagern es in leeren Zellen ein und verdunsten es durch Flügelschlag. Dieses Verhalten kann mittels Schallanalysen gemessen werden.

3. Das Projekt Biene40 - Temperaturmessungen im Bienenstock

Honigbienen können im Laufe des Jahres vielen Belastungen ausgesetzt sein z. B.: Futtermangel zu Jahresbeginn (Brell 2020), Varroa-Milben und andere Bienenkrankheiten sowie Trachtlücken im Sommer und Schwarmlust (Lust für die Bienen, Last für die Imkerinnen) im späten Frühjahr. Eine kostengünstige Möglichkeit, diese kritischen Belastungszustände zu erkennen, ohne den Bienenstock öffnen zu müssen, besteht in der Kombination von zeitlich und räumlich aufgelösten Temperaturmessungen (Brell 2022-1) mit Schallanalysen (Brell 2022-2). Den Aufbau für die Messungen zeigt Abb. 2. Den praktischen Nutzen dieser eher einfachen Sensorik zu untersuchen und die Sensorik zur Verfügung zu stellen, sind Ziele des durch das BMEL geförderten Projektes „Biene40 - Entwicklung digital vernetzter Sensoren für vitalere Bienen“. Das Projekt adressiert nicht die Grundlagenforschung, wichtig ist der konkrete Nutzen für die Bienenhaltung bzw. die Bienengesundheit. Die Laufzeit des Projektes ist von 01.03.2021 bis 29.02.2024, Ergebnisse im Projekt werden jeweils zeitnah über <http://bieneviernull.de/ergebnisse> zur Verfügung gestellt.

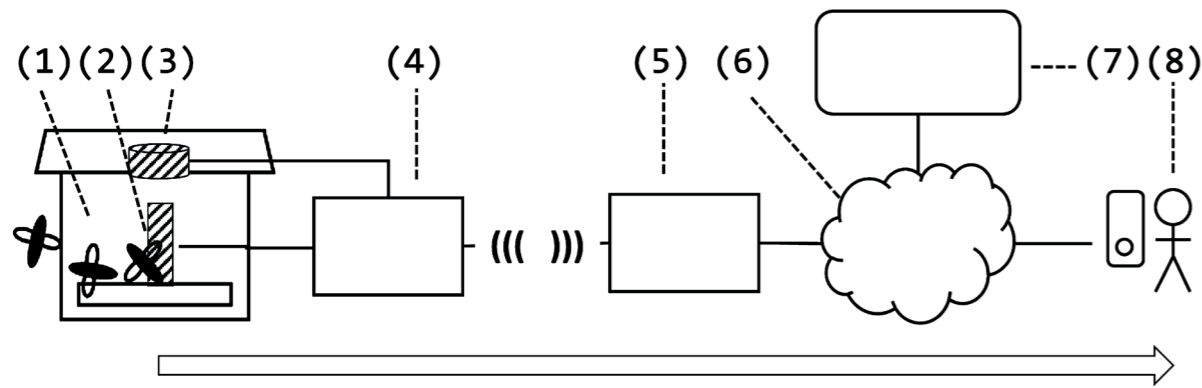


Abb. 2: Prinzipskizze des Monitorings von Temperaturen und Schallereignissen in Bienenstöcken. Im Bienenstock (1) kommen drei digitale Temperatursensoren (2) und ein Kondensatormikrofon (3) zum Einsatz. Als Aufnahmegerät für die Daten dient ein Linux Kleinrechner (4). In 5 Minuten-Intervallen werden Temperaturen gemessen über einen WLAN-Router (5) und das Internet (6) auf einen Server (7) übertragen. In 15 Minuten Intervallen erfolgt eine Tonaufnahme von 10 Sekunden Dauer. Die Daten kann ein:e Imker:in (8) über eine Internetseite auf dem Server einsehen.

4. Messmethoden

Abb. 3 zeigt grundsätzlich, in welcher Betrachtungsebene Messungen möglich sind. Grundsätzlich kann, z. B. mit RFID-Chips, auf der Ebene der einzelnen Honigbiene (1) gemessen werden. Im Projekt Biene40 liegt der Fokus auf der Ebene des einzelnen Bienenstocks (2) und seiner unmittelbaren Umgebung. Ein Bienenstand (3) umfasst mehrere Bienenstöcke an einem Ort, im Schnitt besitzt ein:e Imker:in in Deutschland 7 Bienenvölker.

Der Flugradius von Honigbienen bei der Nektarsuche (4) beträgt etwa 5 km. Zumindest hinsichtlich der Betrachtung von Bienenkrankheiten sind somit Bienenstand-übergreifende Effekte wie Reinvansion durch Varroamilben oder die Übertragung der Amerikanischen Faulbrut (AFB) möglich.

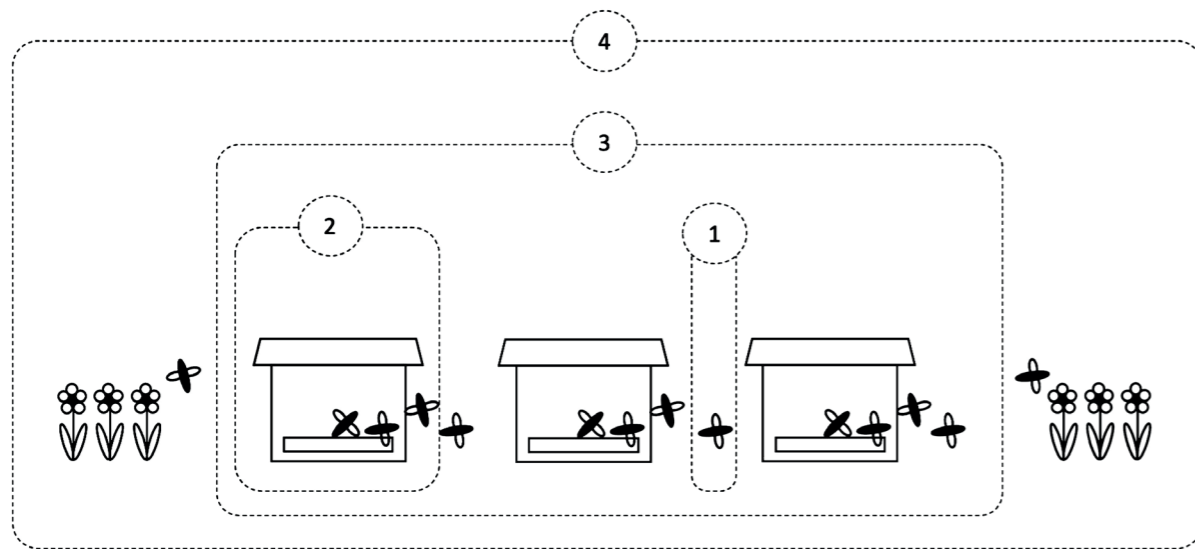


Abb. 3: Beobachtungsebenen bei Messungen im Bienenstock nach Zacepins (2015) in eigener Darstellung. Beobachtungsebene für die Messungen im Projekt Biene40 ist der Bienenstock und dessen unmittelbare Umgebung (Markierung (2)). Weitere davon abzugrenzende Betrachtungsebenen sind in Abb. 1 die Einzelbiene (1), ein ganzer Bienenstand (3) oder das gesamte Nahrungsgebiet um einen Bienenstand (4).

Grundsätzlich lassen sich vier verschiedene Anordnungen von Temperatursensoren in Bienenstöcken unterscheiden (Abb. 4)

Von den verschiedenen Möglichkeiten, Temperatursensoren in Bienenstöcken zu montieren, ist die vertikale Anordnung von drei Sensoren im vorderen fluglochnahen Drittel der Beute erfolgversprechend (Abb. 4, Variante c) und wird im Projekt Biene40 primär eingesetzt. Als Referenz wird zusätzlich die Temperatur außen an

der Beute direkt über dem Flugloch gemessen. Es ist anzunehmen, dass Honigbienen ihre temperaturinduzierten Entscheidungen u. a. von dieser Außentemperatur ableiten.

Schallereignisse werden im Projekt Biene40 mit einem Kondensatormikrofon in einer Schutzhülle auf dem Oberträger in der Nähe der Temperatursensoren aufgenommen.

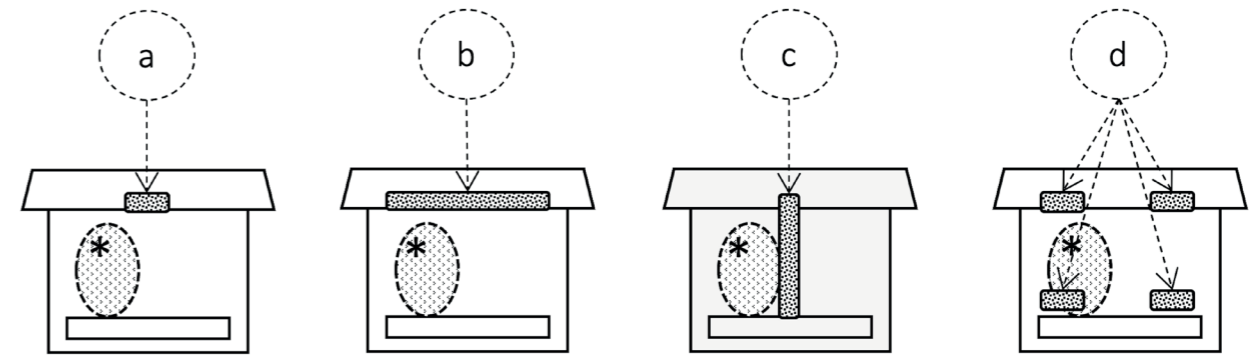


Abb. 4: Anordnungsmöglichkeiten für Temperatursensoren im Bienenstock.

- a) Einzelner Sensor auf dem Oberträger
- b) Mehrere Sensoren auf dem Oberträger zur Messung der lateralen Temperaturverteilung
- c) Messung der vertikalen Temperaturverteilung mit Temperaturlanze - mehrere Sensoren vertikal angeordnet
- d) Freie Anordnung mehrerer Sensoren je nach Erkenntnisinteresse. Eine beispielhafte Position der Wintertraube oder des Brutnestes - ist mit "*" gekennzeichnet.

5. Messergebnisse

5.1 im Bienenvolk

Abb. 5 zeigt für zwei aufeinanderfolgende heiße Tage (ab 22.06.2022) den Temperaturverlauf innerhalb (4,5,6) und außerhalb (1) für eine kritische Situation. Die Oberflächentemperatur außen am Flugloch überschritt 50°C. Dadurch stiegen die Temperaturen im Innern unter dem Beutendeckel am Oberträger an und die Bienen hatten ein Kühlungsproblem. Dies ist links in Ab. 5 zu sehen (1), die Temperatur stieg am Flugloch auf 52°C, die Temperatur am Oberträger stieg um 16:00 rapide an (2). Durch aktive Kühlung begrenzten die Bienen die Temperatur am Oberträger auf unter 38°C (3). Sobald die Temperaturen im Stock ansteigen, zeigen Bienen ihr Kühlverhalten. Im ersten Schritt versammeln sich Fächlerinnen am Einflugloch und versuchen, die warme Luft aus dem Stock hinaus zu transportieren (Tautz 2016). Genügt das alleine nicht, holen Sammlerinnen Wasser, verteilen es auf dem Wabenwerk und kühlen zusätzlich durch Verdunstung des Wassers.

Eine einfache Beschattung durch ein Strahlungsschild in Form eines hinterlüfteten Holzbretts auf dem Beutendeckel minderte den Wärmeeintrag am 23.06.2022, dem Folgetag. Die Außentemperatur (rechts in Abb. 5) stieg ebenfalls an (1), die Temperatur am Oberträger blieb immer unter 36°C (4). Ein aktives Kühlverhalten der Bienen außen auf dem Anflugbrett wurde mit dieser Beschattung nicht beobachtet. Zum Vergleich ist die Innentemperatur in Fluglochnähe (5) und in mittlere Höhe (brutnestnah, (6)) eingezeichnet. Die brutnestnahe Temperatur variiert kaum.

Das Kühlverhalten lässt sich durch Analyse der Schallereignisse detektieren. Abb. 6 zeigt zwei Spektrogramme, einmal ohne Beschattung (Abb. oben) und einmal mit Beschattung (Abb. unten). Der wesentliche Unterschied in den Spektrogrammen besteht in einem Peak um 189 Hz, der nur im unbeschatteten Fall zu sehen ist (1), aber nicht im beschatteten Fall (2). Weitere auffällige Peaks in den Spektrogrammen (3) sind technische Artefakte und auf Einstreuungen durch das Netzteil zurückzuführen.

Diese Frequenz wurde bereits von Woods (1957) im Rahmen seines Patentes zum Apidictor beobachtet. Woods stellte fest, dass Bienen je nach Lebensalter unterschiedliche Frequenzen mit ihrer Brustmuskulatur erzeugen.

285 Hz - 4-1/2 Tage alte Bienen, Luft fächeln
 250 Hz - adulte Biene (9 und mehr Tage, im Flug)
 225 Hz - 6 Tage alte Bienen (Luft fächeln)
 190 Hz - adulte Biene (9 und mehr Tage alt, Luft fächeln)

Die Flügel junger Bienen härten erst am 9. Tag aus - deshalb schlagen sie mit den Flügeln schneller als erwachsene Bienen. Im Flug ist der Flügelschlag schneller als beim Fächeln:

Die Analyse der Schallereignisse in einem Bienenvolk kann die Erkennung des Gesundheitszustandes der Bienen unterstützen (TERENZI & CECCHI 2020, ROBLES-GUERRERO et. al. 2017).

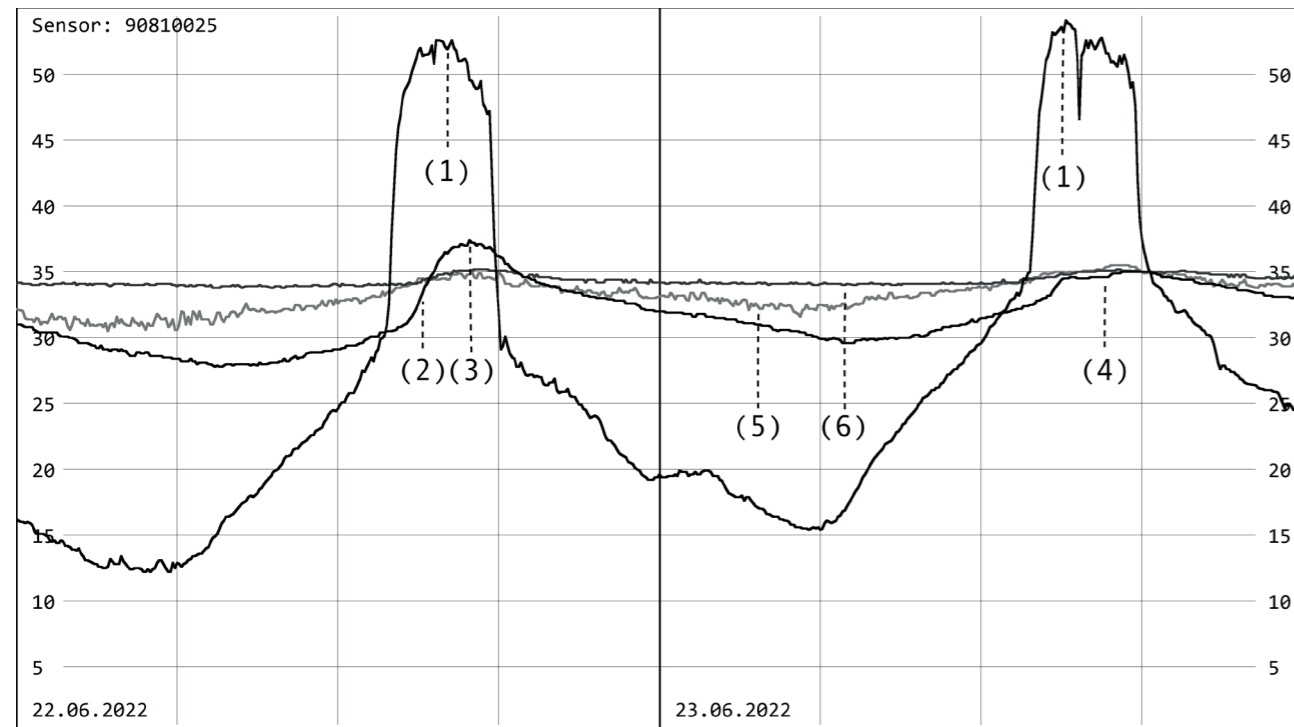


Abb. 5: Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb des Bienenstocks.

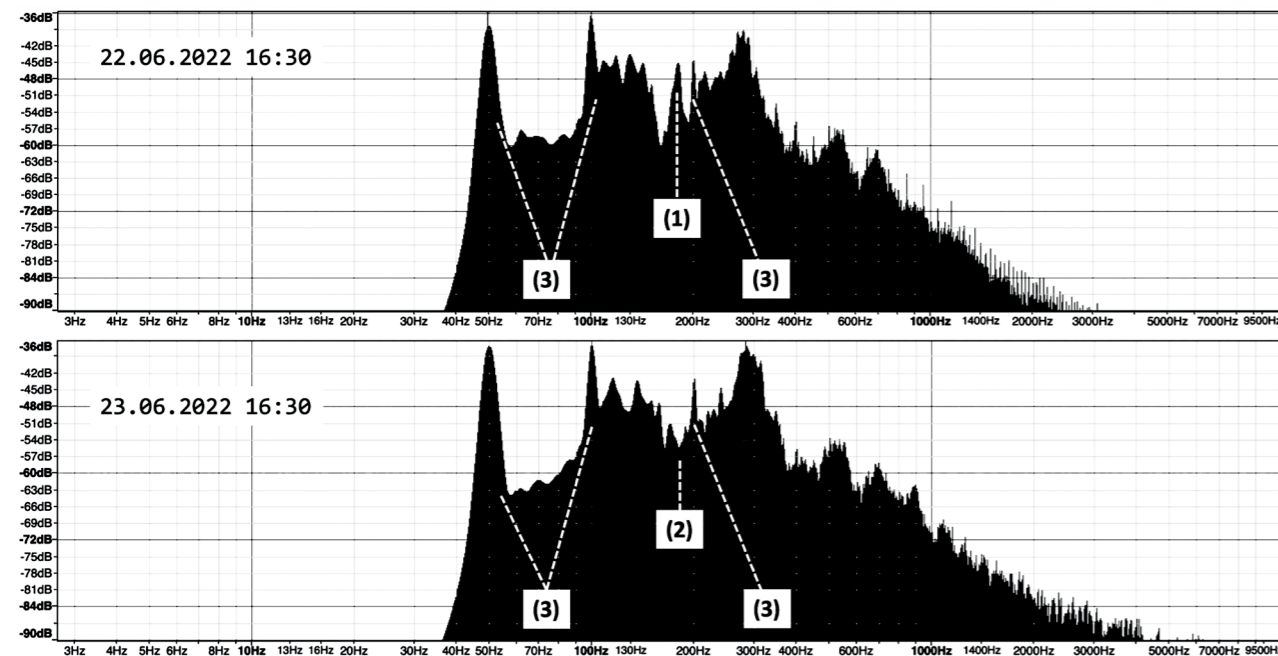


Abb. 6: Spektrogramme ohne Beschattung (oben) und mit Beschattung (unten).

5.2. Kontrollmessung an leeren Beuten

Der Temperatureintrag durch Sonneneinstrahlung wurde in dunkel gestrichenen Styroporbeuten, mit Leerähmchen, jedoch ohne Bienenbesatz, überprüft (Abb. 7). Die Temperatursensoren waren am Oberträger angebracht. Eine Beute (in Abb. 7 rechts) erhielt ein Strahlungsschild aus einfachem Pappelsperholz auf zwei Lagerhölzern. Der Temperaturunterschied zwischen den Beuten am Oberträger betrug bei Sonneneinstrahlung 7°C weitgehend unabhängig von der Außentemperatur.

Die Böden der Beuten waren nach unten offen, zum Zeitpunkt der Messung war es windstill. Ein zur Beschattung vergleichbarer Effekt konnte mit einem weißen Styropordeckel statt dunklem Deckel mit Strahlungsschild gemessen werden.



Abb. 7: Aufbau für die Kontrollmessung in Beuten ohne Bienen.

6. Diskussion

6.1 Interpretation

Die Messungen zeigen, dass die Temperatur bei Sonneneinstrahlung in einer unbeschatteten Beute sowohl mit als auch ohne Bienenbesatz ansteigt. Der Temperaturanstieg wird von den Bienen in der unbeschatteten Beute aktiv durch ein Kühlverhalten begrenzt. Bienen, die aktiv kühlen, tragen keinen Nektar ein und können sich nicht um die Brut kümmern, der Temperaturanstieg stellt somit einen Belastungszustand für das Bienenvolk und ggf. eine Ertragsminderung in der Imkerei dar.

Mit geringem Aufwand in Form einer hinterlüfteten Beschattung kann eine Minderung der Belastung und damit eine Verbesserung des Tierwohls bei Honigbienen erreicht werden.

6.2 kritische Betrachtung

Die Messungen wurden nicht an den Standard-Beutensystemen, die in der ertragsorientierten Imkerei eingesetzt werden, vorgenommen. Es ist daher erforderlich, die Ergebnisse mit Standard Beutensystemen zu verifizieren und durch insgesamt mehr Messungen abzusichern.

6.3. Konsequenzen für die Imkerei

Im Alpenraum arbeiten Imker:innen von vornherein häufig mit Beschattungen, kleinen Bienenhäusern (Abb. 8a) oder kistenartigen Einhausungen (Abb. 8b). Beuten werden weiß oder hellblau gestrichen. Am Niederrhein ist ein weißer Anstrich eher unbeliebt, Imker:innen stellen ihre Völker gerne so auf, dass sie nicht auffallen, da Beschädigungen oder Diebstahl keine seltenen Ereignisse sind.

Wie die Messungen zeigen, genügt ein einfaches Strahlungsschild, um den Temperaturstress deutlich zu mindern. Das Strahlungsschild kann aus einer einfachen beschichteten Holzpatte auf 2 cm starken Lagerhölzern bestehen.

Der Einsatz einer Beschattung - als Alternative zu einem weißen Anstrich - wird daher empfohlen, wenn Bienenvölker im Sommer in der Sonne aufgestellt werden.



Abb. 8a: Ein Bienenhaus im Allgäu



Abb. 8b: Einhausung in Tirol, Tannheimer Tal. Die Magazinbeuten werden zusätzlich durcheine Kiste geschützt. Farbmarkierungen sollen den Bienen das Finden des heimischen Stocks erleichtern.

6.4. Ausblick

Die Messungen zum Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung und die Auswirkung auf das Verhalten der Bienen werden mit zwei unterschiedlichen Standard-Beutensystemen wiederholt.

In einem nächsten Schritt soll untersucht werden, ob die einfache Sensorik zur Erkennung des Trachtendes geeignet ist. Dazu erfolgt eine Messung nicht nur im Brutraum, sondern auch im Honigraum. Gelingt dies, stünde ein preiswerter und einfacher Indikator für das Trachtende zur Verfügung, der ggf. den Einsatz von Stockwaagen substituieren könnte.

Ggf. ist es möglich, die Messmethodik an andere staatenbildende Hautflügler (Hummeln, Wespen, Ameisen) anzupassen und so für Forschungszwecke bereit zu stellen. Es zeigt sich, dass die Messungen auch in der Landwirtschaft unterstützen können. Dazu werden begleitend Bodenfeuchtesensoren eingesetzt. Von den Bodenfeuchtedaten können Landwirte für die Steuerung ihrer Bewässerung profitieren, Imker:innen sollen die Bodenfeuchtedaten nutzen, um einen Standplatz auf Eignung zu prüfen.

Autoren

Marco Messelken (B.A., BSV), Julia Wurm (M.A.), Prof. Dr. rer. nat. Claus Brell
Forschungsinstitut GEMIT
Hochschule Niederrhein
Richard-Wagner-Str. 140
41065 Mönchengladbach

Literatur

Aumeier, Pia (2008) Monatsbetrachtungen. In: bienen&natur. Online Ressource, abrufbar unter <https://www.bienenundnatur.de/wp-content/uploads/2017/05/AUmeier-MB-komplett.pdf>.
Becher, M. A., Scharpenberg, H., & Moritz, R. F. A. (2009). Pupal developmental temperature and behavioral specialization of honeybee workers (*Apis mellifera* L.). *Journal of Comparative Physiology A*, 195(7), 673–679. <https://doi.org/10.1007/s00359-009-0442-7>
Brell, Claus (2020) Genug Futter im Stock? – Temperaturmessung zeigt's an. In: bienen&natur 03.2020, München. S. 36-37.
Brell, Claus (2022-1) Forschungsprojekt Biene40 – effizienter und verlustärmer imkern mit digitalen Methoden. In: Das Bienenmütterchen. Mitteilungsblatt der Internationalen Sklenarbienezüchter e.V. 74. Jahrgang 04/06 2022. S. 10-14.
Brell, Claus (2022-2) Den Bienen zuhören mit Biene40 – Sound- und Vibrationsanalysen zur Prädiktion kritischer Zustände im Bienenstock. In: 67. Weinheimer UKW-Tagung. S 22.1-22.11
Fahrenholz, L., Lamprecht, I., Schricker, B. (1989). Thermal investigations of a honey bee colony: Thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production

of members of different bee castes. *Journal of Comparative Physiology B*, 159, 551–560. <https://doi.org/10.1007/BF00694379>

Heinze, J., Schrempf, A. & Hölldobler, B. (2002). Control of temperature in large ant societies. *Die Naturwissenschaften*, 89(9), 401-405.

Kovac, H., Käfer, H., Petrocelli, I. & Stabentheiner, A. (2017) Comparison of thermal traits of *Polistes dominula* and *Polistes gallicus*, two European paper wasps with strongly differing distribution ranges. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 187, 277–290. <https://doi.org/10.1007/s00360-016-1041-x>

McAfee, A., Chapman, A., Higo, H. et al. (2020) Vulnerability of honey bee queens to heat-induced loss of fertility. *Nat Sustain* 3, 367–376 <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0493-x>

Nolaso, Ines; Terenzi, Alessandro; Cecchi, Stefania; Orcioni, Simone, Bear, Helen; Benetor, Emmanouil (2019) Audio-based Identification of Beehive States. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), DOI: 10.1109/ICASSP.2019.8682981

Penick, C.A.; Tschinkel, W. R. (2008) Thermoregulatory brood transport in the fire ant, *Solenopsis invicta*, *Insectes Sociaux*, DOI 10.1007/s00040-008-0987-4

Robles-Guerrero, Antonio, Saucedo-Anaya, Tonatiuh, Gonzalez-Ramrez, Efren, Galvan-Tejada Carlos E. (2017) Frequency Analysis of Honey Bee Buzz for Automatic Recognition of Health Status: A Preliminary Study. In: *Research in Computing Science* 142, Polykopia, Mexiko S. 93

Seeley, T. D. (1995). *The wisdom of the hive: The social physiology of honey bee colonies* (295 pp.). Harvard University Press.

Seeley, T.D., Morse, R.A. *The nest of the honey bee (Apis mellifera L.)*. *Ins. Soc* 23, 495–512 (1976). <https://doi.org/10.1007/BF02223477>

Stabentheiner, Anton; Kovac, Helmut; Mandl, Monika; Käfer, Helmut (2021) Coping with the cold and fighting the heat: thermal homeostasis of a superorganism, the honeybee colony. *Journal of Comparative Physiology A* (2021) 207:337-351 <https://doi.org/10.1007/s00359-021-01464-8>

Tautz, Jürgen (2016) *Die Erforschung der Bienenwelt – Neue Daten – neues Wissen*. 3. Auflage. Klett. S. 16

Terenzi A, Cecchi S, Spinsante S. On the Importance of the Sound Emitted by Honey Bee Hives. *Vet Sci*. 2020 Oct 31;7(4):168. doi: 10.3390/vetsci7040168. PMID: 33142815; PMCID: PMC7711573. Online ressource : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7711573/>

Villagomez, GN, Nürnberger, F, Requier, F, Schiele, S, Stefan-Dewenter, I. (2021) Effects of temperature and photoperiod on the seasonal timing of Western honey bee colonies and an early spring flowering plant. *Ecol Evol.* ; 11: 7834–7849. <https://doi.org/10.1002/ece3.7616>

Woods, Edward Farrington (1957) "Means for detecting and indicating the activities of bees and conditions in beehives", US patent 2806082A, Offenlegung 10.09.1957
Yu, Baizhong, Huang, Xinquiu, Zahid Sharif, Muhamad et al. (2022) Beehive Sound: Can It Indicate The Response Of Honey Bees To Chemicals In Or Out Of The Beehive?, PRE-PRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1302604/v1>]

Zacepins, A.; Brusbardis, V.; Meitalovs, J.; Stalidzans, E. (2015) Challenges in the development of Precision Beekeeping, in: *Biosystems Engineering* Vol. 130, S. 60-71.



Seit 15 Jahren setzen wir uns für die Bienengesundheit ein.

Wir bieten Lösungen und unterstützen Sie über das gesamte Bienenjahr.

