

BIENE40

Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht

Zitierung: Wurm, Julia; Brell, Claus (2022) *Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht*. Arbeitsbericht Nr. 3 / Biene40. Polykopie, im Druck.

Wurm, Julia*; Brell, Claus*

*Hochschule Niederrhein, Mönchengladbach

Der Fortschritt der Digitalisierung bietet für die Imkerei neue Möglichkeiten, das von traditionellen Werkzeugen und Vorgehensweisen geprägte Handwerk, gezielt zu unterstützen. Durch Sensoren und weitere digitale Hilfsmittel haben Imker:innen die Möglichkeit, ihre Bienen und den Bienenstock zeit- und ortsunabhängig zu überwachen und dazu verschiedene Messwerte zu erheben und zu vergleichen. Ziel der Recherche ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft mit Fokus auf die verwendete Technik zu geben, die sich mit Ansätzen der Digitalisierung innerhalb der Imkerei auseinandergesetzt hat und zu analysieren, welche digitalen Methoden dabei in welcher Intensität und Ausprägung zum Einsatz kommen.

Der vorliegende Arbeitsbericht soll beantworten, in welchem Umfang das Thema der Digitalisierung in der Imkerei im technisch wissenschaftlichen Kontext behandelt wird und welche Technologien und Methoden dabei zum Einsatz kommen. Für die

Durchführung der Literaturrecherche wird der Zeitraum 2011 bis 2021 herangezogen. Die identifizierten relevanten Beiträge werden erfasst und durch eine Kurzbeschreibung ergänzt. Auf Basis dieser Ergebnisse werden die Beiträge thematisch verschiedener technischer Methoden zugeordnet.

Im Bereich der digitalen Analysemethoden zur Beobachtung von Bienen und Bienenstöcken konnten 59 Beiträge identifiziert werden. Die meisten Publikationen verzeichnet das Jahr 2019 mit 19 Beiträgen. In den Jahren 2011 und 2012 wurden die wenigsten Beiträge (jeweils 1) publiziert. Thematisch liegt der Schwerpunkt der ausgewählten Beiträge auf den Messungen von Temperatur, Gewicht und Luftfeuchtigkeit im und am Bienenstock.

Zum Ende des Forschungsprojektes wird die Analyse der Beiträge im wissenschaftlichen technischen Bereich um die Jahre 2022 und 2023 ergänzt. Die Entwicklung bezüglich des Technikstands und der eingesetzten Methoden soll dadurch festgehalten werden.

1 METHODIK

Zur Identifizierung der relevanten Beiträge im Bereich Technik wurde eine systematische Literaturrecherche nach von Brocke et al. durchgeführt.

Der Zeitraum der Analyse bezieht sich auf die Jahre 2011 bis 2021.

Die für die Literatursuche genutzten Quellen sind hauptsächlich Datenbanken:

- IDE - International Dialogues on Education: Past and Present
- BlSE - Business & Information Systems Engineering

- HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik
- IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
- Statista

In der Forschungsdatenbank IEEEExplore konnten relevante Quellen identifiziert werden. Die Datenbank ermöglicht den Zugriff auf Zeitschriftenartikel, Konferenzberichte und technische Standards aus den Bereichen Informatik, Elektrotechnik und Elektronik sowie verwandten Themengebieten. Im Fokus der Recherche stehen Beiträge zur Entwicklung von smarten, intelligenten Bienenstöcken, bzw. smarter Analysewerkzeuge für die (Präzisions-)Imkerei. Dazu gab es überwiegend Veröffentlichungen über Konferenzbeiträge.

Vorab wurden Suchbegriffe definiert, welche zwingend in einem Artikel vorhanden sein müssen. Die zur Recherche genutzten Suchbegriffe sind „Digitalisierung in der Bienenhaltung“ sowie „Digitization in beekeeping“. Im weiteren Verlauf der Recherche haben sich durch genutzte Werkzeuge und angewandte Techniken weitere Suchbegriffe herausgestellt, die in Kombination mit den Wörtern Bienenstock, Bienenstocküberwachung und deren englische Übersetzungen als Kombination zur Suche genutzt wurden. Tabelle 1 zeigt die angewendeten Kombinationsmöglichkeiten im Überblick.

Tab. 1: Kombination der Suchbegriffe zur Literaturrecherche

	Bienenstock/ Beehive	Bienenstocküberwachung/ Beehive monitoring
Digital	■	■
Digitale	■	■
Werkzeuge/ Tools	■	■

Smart	■	■
4.0	■	■
KI	■	■
Sensor	■	■
IoT	■	■

Die ausgewählten Beiträge werden in der Strukturierung nach Tab. 2 katalogisiert. Jeder gelistete Artikel erhält eine kurze Beschreibung, die den Inhalt zusammengefasst wiedergibt (Tab. 5).

Tab. 2: Darstellung der Rechercheergebnisse; Quelle: Eigene Darstellung

Nr.	Autoren, Titel	Kurzbeschreibung
-----	----------------	------------------

Für eine quantitative Auswertung der in den Beiträgen angewandten Methoden, wurde zusätzlich eine Konzeptmatrix aus der recherchierten Literatur erstellt. Dafür sind 12 Kategorien identifiziert worden, welche die digitalen unterschiedlichen Analysewerkzeuge und -methoden beschreiben. Am häufigsten benannt wurden Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Gewichtsmessungen.

2 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Recherche werden in absoluten Häufigkeiten differenziert nach Kategorie und Erscheinungsjahr dargestellt. Aus der Literaturrecherche und -auswertung der identifizierten Beiträge wurden zum einen die Häufigkeit der in den Beiträgen adressierten digitalen Analysewerkzeuge und -methoden ermittelt und zum anderen die Anzahl der Beiträge zur Digitalisierung im Bereich der Bienenhaltung im Zeitverlauf erfasst.

2.1 Konzeptmatrix – Häufigkeit der Nennungen

Im Rahmen der Forschung zur digitalen Echtzeit- und Langzeitüberwachung von Bienenstöcken, werden meist ähnliche (Sensor-) Technologien zur Beobachtung und Erfassung von Messdaten eingesetzt und weiterentwickelt. Um die Ergebnisse der Recherche quantitativ zu erfassen und in absoluten Häufigkeiten darzustellen, wurden die unterschiedlichen Werkzeuge und Methoden identifiziert und daraus Kategorien gebildet. Die Kategorien sind in einer Konzeptmatrix erfasst und die jeweiligen Beiträge mit einem Punktesystem den Kategorien zugeordnet worden. Innerhalb einer Studie können einzelne Sensoren oder Kombinationen verschiedener Sensoren zum Einsatz kommen und damit eine Vielzahl an Informationen über die Bienen sammeln. Ein Beitrag kann daher mehrere digitale Analysewerkzeuge und –methoden beinhalten, eine Mehrfachnennung ist möglich und berücksichtigt.

Die Konzeptmatrix (Tab. 3) zeigt, dass die Methoden zur Temperatur- (32), Luftfeuchtigkeits- (27) und Gewichtsmessungen (24) zu den am häufigsten angewandten Technologien zählen. Auch die Erhebungen der Bienenaktivitäten mittels Sound (23) und Kamera (21) sind mehrfach Bestandteil der Untersuchungen. Seltener benannte Technologien sind Radar- (4) und Vibrationsmessungen (2).

Tab. 3: Die Tabelle zeigt die Werkzeuge und Methoden, auf die sich die Beiträge beziehen. Die Anzahl gibt wieder, in wie vielen Beiträgen das jeweilige Werkzeug angesprochen wird.

Kategorie	Häufigkeit
Temperatur	32
Luftfeuchtigkeit	27
Gewicht	24
Sound	23
KI (Maschinelles Lernen; Algorithmen)	22

Kamera (Bewegt- und Standbild)	21
Webanwendungen	13
Gaskonzentration	9
Wetterdaten	8
Eingangs- /Ausgangszählung	7
Radar	4
Vibration	2

2.2 Anzahl der Beiträge zur Digitalisierung im Zeitverlauf

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden im Zeitraum 2011 bis 2021 insgesamt 59 wissenschaftliche Publikationen identifiziert und dem entsprechenden Erscheinungsjahr zugeordnet (Tab.4). Zu sehen ist eine deutliche Zunahme der Publikationen in dem Jahr 2019 mit 19 von insgesamt 59 Beiträgen. Das Jahr 2011 und 2012 waren die publikationsschwächsten im gesamten Zeitraum mit jeweils einer Veröffentlichung zum Thema digitaler (Sensor-) Technologien zur Beobachtung und Erfassung von Messdaten im und um den Bienenstock. Ein Grund für die große Anzahl wissenschaftlicher Publikation in 2019 wurde nicht erkannt.

Tab. 4: Beiträge im Zeitverlauf

Jahr	Anzahl
2011	1
2012	1
2015	9
2016	5
2017	3
2018	7
2019	19
2020	7
2021	7
	59

3 LITERATURAUSWERTUNG

3.1 Artikel mit Kurzbeschreibung (chronologisch)

Tab. 5: Auflistung und kurze Inhaltsbeschreibung der identifizierten Artikel (chronologisch)

#	Autoren, Titel	Kurzbeschreibung
1	Zacepins, A./Meitalovs, J./Komasilovs, V./Stalidzans, E. (2011): Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees	Temperaturbedingt kann es passieren, dass Bienen zu früh mit der Brutaufzucht beginnen, was zum Absterben der Völker führen kann. Zacepins et al. entwickeln ein Temperaturüberwachungssystem für Bienenstöcke in einem Bienenüberwinterungsgebäude (mit kontrollierter Temperatur), zur Messung und Kontrolle der Bienenaktivitäten. Bei Beginn einer intensiven Brutaufzucht vor Frühlingsbeginn (diese Aktivität wird von den Sensoren gemessen und erkannt) sollen die Imker:innen einen Vorschlag zum Eingriff (Verlangsamung des Prozesses durch Temperatursenkung im Winterraum) erhalten. Zudem bietet das System verschiedene Alarmfunktionen, sodass die Nutzer:innen dann ebenfalls gezielt Entscheidungen treffen können.
2	Reyes, O. A. M./Ávila, Á. A. M./Eslava G., S./Rojo, G. B. (2012): Beekeeping Monitoring Module	Reyes et al. stellen die Entwicklung eines Moduls zur Überwachung des Zustandes innerhalb eines Bienenstocks vor. Die Autor:innen beschreiben die Auswahl der eingesetzten Sensoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Ein- und Ausgangszählung via Infrarotsensoren) sowie den Ablauf der Informationserfassung und -verarbeitung, um sie dem Endnutzer zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus wird der Füllstand des Zuckerwasserbehälters mittels Schwimmer gemessen und die Häufigkeit des Öffnens der Beute mit einem magnetischen Sensor kontrolliert.
3	Chen, W.-S./Wang, C.-H./Jiang, J.-A./Yang, E.-C. (2015): Development of a Monitoring System for Honeybee Activities	Chen et al. entwickeln ein System zur Überwachung des Verhaltens von Honigbienen, vor allem von Futtersuchaktivitäten. Dabei werden Ein- und Ausgangszählungen via Infrarot vorgenommen sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Bienenstock und außerhalb gemessen. Die daraus gewonnenen Ergebnisse werden statistisch analysiert und tragen dazu bei, die Beziehung zwischen Umweltfaktoren und den Aktivitäten der Honigbienen besser zu verstehen. Die Überwachung und Analysen der Honigbienen erlaubt es den Imker:innen oder Forscher:innen den Gesundheitszustand eines Bienenstocks zu beobachten und Informationen zur Qualitätskontrolle der Honigproduktion zu nutzen.
4	Draper, A./Obrusnik, N./Zinemanas, P./Monzón, P./Member N.P. (2015): Design and Implementation of a Remote Monitoring System to Detect Contamination in Beehives	Draper et al. entwickelten ein Gerät, das die Geräusche und die Temperatur im Bienenstock misst, um den Zusammenhang zwischen der Verschmutzung des Ökosystems und dem Verhalten der Bienen zu ermitteln. Eine Korrelation würde es ermöglichen, Bienenstöcke als Fernüberwachung einer Verschmutzung zu nutzen. Ziel der Arbeit ist es, ein autonomes Gerät zu entwickeln, das Schallproben sammelt und diese mit chemischen und biologischen Daten aus dem Ökosystem in Beziehung setzt. Besteht eine solche Korrelation, könnte das Klangbild frühzeitige Informationen über die Kontamination mit Pestiziden liefern.
5	Fitzgerald, D. W./Murphy F. E./Wright, W. M.D./Whelan, P.M./Popovici, E.M. (2015): Design and Development of a Smart Weighing Scale for Beehive Monitoring	Murphy et al. stellen eine Lösung zur Fernbestimmung des Gewichts eines Bienenstocks (Produktivität und Gesundheit eines Bienenvolkes spiegeln sich über Gewichtsveränderungen wieder) vor und beschreiben die Entwicklung einer drahtlosen Plattformwaage, die als ein Element eines intelligenten Bienenstocks eingesetzt werden soll. Es wurde dabei festgestellt, dass das System in der Lage ist, Gewichtsänderungen in der Größenordnung von einigen zehn Gramm zu erkennen und somit zu identifizieren, wann der Bienenstock seine maximale Honigmenge produziert hat.
6	Giammarini, M./Concettoni, E./Zazzarini,	Giammarini et al. stellen das BeeHive Lab Projekt, eine Hard- und Softwarelösung, basierend auf dem Konzept IoT übertragen auf Bienen vor. Das System soll Imker:innen helfen, mittels Umweltdaten mehr über ihr Bienenvolk zu erfahren. Das Gewicht, die

	C. C./Orlandini, N./Albanesi, M./Cristalli, C. (2015): BeeHive Lab Project – Sensorized Hive for Bee Colonies Life Study	Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Gaskonzentration und der Sound von zwei Bienenstöcken werden überwacht. Es wurde zwischen den Beutenarten Holz und Styropor unterschieden. Die erfassten Daten werden mittels statistischer Analysen verarbeitet, um so Informationen über Veränderungen im Verhalten des Bienenvolks in Abhängigkeit von Umweltfaktoren zu erhalten. Die gesammelten Echtzeitdaten wurden auf einer Online-Plattform öffentlich für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.
7	Kale, D. J./Tashakori, R./Parry, R. M. (2015): Automated Beehive Surveillance using Computer Vision	Kale et al. beschreiben ein System für die Überwachung des Ein- und Ausgangsverkehrs eines Bienenstocks, das auf herkömmlichen Methoden der Objekterkennung und -verfolgung basiert und mittels Videoaufnahmen die Bienen am Bienenstock erfasst. Die Ergebnisse verschiedener eingesetzter Algorithmen werden miteinander verglichen. Der Vorteil des bildgestützten Systems besteht in der Fähigkeit, die Anzahl der Bienen am Eingang zu zählen, was auf ein Schwarmverhalten hinweisen könnte. Des Weiteren wird erörtert, wie die Erkennungsergebnisse sowie die Genauigkeit bei der Bestimmung der An- und Abflüge verbessert werden können.
8	Murphy, F. E./Magno, M./O`Leary, L./Troy, K./Whelan, P./Popovici, E. M. (2015): Big Brother for Bees (3B) – Energy Neutral Platform for Remote Monitoring of Beehive Imagery and Soundehives	Murphy et al. beschreiben die Entwicklung eines autonomen Überwachungssystems für Bienenstöcke, das eine Audio- und Bildüberwachung des Inneren des Bienenstocks sowie ein Warnsystem für außergewöhnliche Ereignisse (erhöhte Bienenstockaktivitäten oder physische Schäden am Bienenstock) ermöglicht. Mit Hilfe eines drahtlosen Sensornetzwerks (digitale Infrarotkamera, externe Wärmebildkamera, Beschleunigungsmesser, Mikrofon) sammeln sie Audio- und Bilddateien, die den Imker:innen einen umfassenderen Überblick über die Bedingungen im Bienenstock geben sollen. Besonders zu Zeiten wie nachts, bei schlechtem Wetter und in den Wintermonaten. Das System hat einen geringen Stromverbrauch und ist mit Hilfe der Energiegewinnung über Solarzellen autark.
9	Murphy, F. E./Magno, M./Whelan, P./Popovici, E. (2015a): b+WSN: Smart Beehive for Agriculture, Environmental, and Honey Bee Health Monitoring – Preliminary Results and Analysis	Murphy et al. stellen ein drahtloses Sensornetzwerk zur Überwachung eines Bienenstocks vor (b+WSN), das ohne Störungen Daten aus dem Bienenstock sammelt, die den Zustand und die Aktivitäten des Bienenvolkes beschreiben. Dazu werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gaskonzentration (CO ₂) gemessen. Parallel wurden Wetterdaten und Umweltbedingungen außerhalb des Bienenstocks überwacht. Daraus ergab sich die Entwicklung eines Algorithmus zur automatischen Bestimmung des Zustandes des Bienenvolkes sowie zur Vorhersage kurzfristiger externer Wetterbedingungen (Regen) auf Grundlage der im Bienenstock beobachteten Gegebenheiten.
10	Murphy, F.E./Popovici, E./Whelan, P./Magno, M. (2015b): Development of an Heterogeneous Wireless Sensor Network for Instrumentation and Analysis of Beehives	Murphy et al. beschreiben die Nutzung der Technologie der drahtlosen Sensornetze, um ein Bienenvolk zu überwachen und relevante Informationen über die Aktivitäten innerhalb eines Bienenstocks und dessen Umgebung zu sammeln. U. a. wurde ein Zusammenhang zwischen den Bedingungen im Bienenstock und den äußeren Bedingungen festgestellt. Langfristig sollen durch den Einsatz intelligenter Bienenstöcke Kosten gesenkt, Erträge verbessert und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zur Bienen-gesundheit erlangt werden.
11	Murphy, F. E./Srbicnovski, B./Magno, M./Popovici, E. M./Whelan, P. M. (2015): An Automatic, Wireless Audio Recording Node for Analysis of Beehives	Murphy et al. stellen in diesem Beitrag den Entwurf, die Entwicklung und den Test eines Systems zur kontinuierlichen Überwachung der Audioereignisse in einem Bienenstock vor, um mittels handelsüblicher, drahtloser Sensornetzwerktechnologie mit stromsparender Signalverbreitung die Geräusche, Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Inneren des Bienenstocks zu messen und zu überwachen. Wird anhand dieser Messungen ein Ereignis erkannt, erhalten die Imker:innen unmittelbar eine Benachrichtigung, um ein mögliches Schwarmereignis rechtzeitig verhindern zu können.
12	Aumann, H. M./Emanetoglu, N. W. (2016): The Radar Microphone: A New Way	Aumann et al. beschreiben eine alternative Methode zur Aufnahme von Geräuschen innerhalb eines Bienenstocks mittels eines Radarmikrofons. Der Sensor basiert auf einem Doppler-Radar, der die Wände des Bienenstocks durchdringen kann und die Vibrationen misst, ohne das Bienenvolk zu stören. Die Technik ist unempfindlich gegenüber

	of Monitoring Honey Bee Sounds	Umgebungsgeräuschen und verfügt über eine ausgezeichnete Richtwirkung und niedrigem Frequenzgang. Zudem werden die Messergebnisse des Radarmikrofons mit den Messungen eines Kondensatormikrofons, welches dazu neigt Oberwellen mit der Grundfrequenz zu verwechseln, verglichen.
13	Bassford, M./Painter, B. (2016): Intelligent Bio-Environments: Exploring Fuzzy Logic Approaches to the Honeybee Crisis	Bassford et al. betrachten zwei Fuzzy-Logik-Ansätze, welche den Input von nicht-invasiven Fernüberwachungssystemen von Bienenstöcken nutzen und Daten von speziellen Sensoren und anderen unterschiedlichen Quellen kombinieren, um herauszufinden, warum Bienenstöcke unter bestimmten Bedingungen instabil werden oder um kritische Ereignisse zu erkennen und ein entsprechendes Warnsignal abgeben zu können. Herangezogen werden Sensordaten aus dem Inneren eines Bienenstocks sowie Daten einer Wetterstation.
14	Chazette, L./Becker, M./Szczerbicka, H. (2016): Basic Algorithms for Bee Hive Monitoring and Laser-based Mite Control	Chazette et al. beschäftigen sich mit der Implementierung eines Systemmodells, das einen Bilderkennungsalgorithmus enthält. Das vorgestellte Modell identifiziert mit Hilfe von Bildbearbeitungstechniken Varroa-Milben an Honigbienen. Mit einer mechanischen Vorrichtung sollen diese eliminiert werden (im Fall einer Milbenentdeckung werden Laserstrahlen abgefeuert). Als Ergebnis der Studie konnten Algorithmen zur Erkennung und Lokalisierung von Milben evaluiert sowie erste Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie präzise und schnell ein kamerageführtes Lasersystem sein muss.
15	Howard, D./Hunter, G./Duran, O./Venetsanos, D. (2016): Progress Towards an Intelligent Beehive	Howard et al. entwickeln einen intelligenten Bienenstock, der minimalinvasiv und kontinuierlich die Bedingungen im Inneren misst. Dazu sind verschiedenen Sensoren im Einsatz. Diese messen das Gewicht, die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Gas-Konzentration, den Luftdruck und den Sound. Zudem wird noch eine Kamera eingesetzt und die Wetterdaten werden mit in die Analysen einbezogen. Die Überwachung der Bienenvölker soll die Bienengesundheit gewährleisten und frühzeitig vor Ereignissen wie Schwärmen oder Parasitenbefall warnen.
16	Zacepins, A./Kviesis, A./Ahrendt, P./Richter, U./Tekin, S./Durgun, M. (2016): Beekeeping in the future – smart apiary management	Zacepins et al. präsentieren ihre Version der Umsetzung der Präzisionsimkerei in Verbindung mit dem Konzept des intelligenten Bienenstocks. Dazu werden bestehende Systeme und deren Kombination erläutert. Die im Beitrag besprochenen Systeme basieren auf Temperatur-, Schall-, Gewichts- und Videoüberwachung. Die beiden Übertragungsvarianten, kabelgebunden und drahtlos, werden miteinander verglichen. Weiter wird die Integration eines automatischen Heiz- und Kühlsystems in einen Bienenstock in der Praxis diskutiert. Als Energiequelle soll Solarenergie aus Solarzellen auf dem Bienenstock genutzt werden. Die Software sollte als Websystem und/oder als mobile Anwendung entwickelt werden. Ein Cloud-System mit Entscheidungsunterstützungsfunktionen und der „Alarmierung“ der Imker:innen über Veränderung, soll in Betracht gezogen werden.
17	Aumann, H./Payal, B./Emanetoglu, N. W./Drummond, F. (2017): An Index for Assessing the Foraging Activities of Honeybees with a Doppler Sensor	Aumann et al. führen Messungen zu Bienenaktivitäten mittels eines Doppler-Radars durch. Das Konzept basiert auf der Beobachtung, dass Bienen entweder wahllos um den Eingang des Bienenstocks fliegen oder zu anderen Zeiten, bei der Futtersuche ganz gezielt aus dem Eingang des Bienenstocks starten und auf gerader Strecke schnell auf eine Geschwindigkeit von 10mph beschleunigen. Somit wäre die Leistung im Spektrum ein Indikator für den Grad der Flugaktivität. Ein Ausbleiben der Flugaktivität oder eine extreme Flugaktivität könnten ein Indikator dafür sein, dass das Volk ein Problem hat.
18	Rybin, V. G./Butusov, D. N./Karimov, T. I./Belkin, D. A./Kozak, M. N. (2017): Embedded Data Acquisition System for Beehive Monitoring	Rybin et al. arbeiten an der Entwicklung eines intelligenten Bienenstocks. Sie befassen sich mit der Architektur und Funktionalität eines eingebetteten Datenerfassungssystems für die automatische Überwachung von Bienenstöcken. Es werden Gewicht, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie der Sound mittels Sensoren und Mikrofonen gemessen. Diese werden über ein drahtloses Netzwerk an die mobile Anwendung weitergeleitet. Zudem werden Bienen Geräusche gesammelt und mittels KI analysiert, um unerwünschtes Schwärmen zu verhindern, indem die Imker:innen rechtzeitig informiert werden.
19	Tashakkori, R./Hernandez, N. P./Ghadiri,	Tashakkori et al. entwickelten ein modulares und kostengünstiges System, das die aus den Bienenstöcken erfassten Sensordaten (Video und Audio) zur weiteren Analyse an

	A./Ratzloff, A. P. /Crawford, M. B. (2017): A Honeybee Hive Monitoring System: From Surveillance Cameras to Raspberry Pi	einen Server sendet. Das System „Beemon“ ist erweiterbar und bietet mehrere Kalibrierungsmöglichkeiten auf der Hardware- und Softwareebene. Bienen werden nicht unnötig gestört und Imker:innen können aus der Ferne relevante Daten abrufen und auf Auffälligkeiten reagieren.
20	Anand, N./Raj V. B./M S, U./Srivastava, A. (2018): Swarm Detection and Beehive Monitoring System using Auditory and Microclimatic Analysis	Anand et al. stellen ein System zur Überwachung eines Bienenstocks vor. Es werden zwei Ansätze zur Erkennung des Schwarmvorgangs von Bienen erläutert. Der erste Ansatz beschäftigt sich mit der akustischen Analyse von den Geräuschen im Bienenstock während des Schwärmens. Im zweiten Ansatz werden die mikroklimatischen Schwankungen sowie Schwankungen des Gewichts beobachtet. Sobald die Daten das Signal geben, dass Schwärmen erkannt wurde (Frühstadium des Schwärmens), sollen die Imker:innen über Cloud-Dienste unmittelbar informiert werden. Die dazu erfassten Rohdaten (Bruttemperatur, Feuchtigkeit der Brut, Umgebungstemperatur und Gewicht des Bienenstocks) können ebenfalls vom Cloud-Server abgerufen werden. Auch die Honiggewinnung könnte so aus der Ferne beurteilt werden.
21	Barry, B. C./Verstraten, L./Butler, F. T./Whelan, P. M./Wright, W. M. D. (2018): The use of airborne ultrasound for Varroa destructor mite control in beehives	Barry et al. untersuchen den Einsatz von Hochfrequenz-Ultraschallwellen, in unterschiedlicher Frequenz und Intensität. Sie wollen so mittels einer chemiefreien Technologie die Varroa-Milbenpopulation kontrollieren. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich der Rückgang der Varroa-Milbe bereits nach einer 30-minütigen Beschallung mit Ultraschall in einigen Bienenstöcken signifikant erhöht, während der Ultraschall auf die Bienen keinen negativen Einfluss hat. Bei Abschluss des Beitrages befinden sich noch mehrere Bienenstöcke in weiteren Feldversuchen, die mit einem Ultraschallsystem ausgestattet waren sowie Bienenstöcke ohne dieses System, welche als Kontrollgruppe gelten.
22	Seritan, G. C./Enache, B.-A./Argatau, F. C./Adochiei, F. C. /Toader, St. (2018): Low cost platform for monitoring honey production and bees health	Seritan et al. entwickeln ein kostengünstiges System, das zur Überwachung der Honigproduktion und zur Bienengesundheit beitragen soll. Dazu werden folgende Parameter überwacht: Außen- und Innentemperatur, Gewicht, Luftfeuchtigkeit und CO ₂ -Konzentration. Erkennt das System ein Problem, werden die Imker:innen mittels einer Telefonnachricht informiert. Die Kosten der entwickelten Plattform belaufen sich auf ca. 300€. Aufgrund der Solarstromquelle kann sie das ganze Jahr über eingesetzt werden.
23	Shimasaki, K./Jiang, M./Takaki, T./Ishii, I./Yamamoto, K. (2018): HFR-video-based Honeybee Activity Sensing Using Pixel-level Short-time Fourier Transform	Shimasaki et al. schlagen ein Konzept zur Erfassung der Bienenaktivitäten, bzw. Überwachung der Flugbahnen der Bienen, mittels Videoaufnahmen mit einer hohen Bildrate (HFR) vor, mit dem die Vibrationseigenschaften in Helligkeit der Pixel um die Bienen herum verfolgt werden können. Zur Berechnung der Flugaktivitätsindizes wurde ein hybrider Algorithmus verwendet. Insgesamt wurden über 10,2 Millionen Bilder analysiert. Aufbauend auf den erlangten Erkenntnissen, soll ein System zur Erfassung der Bienenaktivitäten in Echtzeit entwickelt werden, mit dem Ziel, alle Flugaktivitäten der Bienen in beispielsweise Getreidefeldern überwachen zu können.
24	Sledevic, T. (2018): The Application of Convolutional Neural Network for Pollen Bearing Bee Classification	Sledevic stellt eine Methode der Klassifizierung von Bildern mit pollentragenden Bienen vor, um die Bienengesundheit festzustellen ohne die Beute öffnen zu müssen. Dazu werden Bilder am Eingang des Bienenstocks zur Analyse gesammelt und mit KI in Form eines neuronalen Netzwerks (CNN, Convolutional Neural Network) ausgewertet. Die höchste Klassifizierungsrate lag bei 92-94%. Ziel ist es, das CNN so zu konfigurieren, dass die Erkennung von Pollen tragenden Bienen zukünftig in Echtzeit erfolgen kann.
25	Stojnic, V./Risojevic, V./Pilipovic, R. (2018): Detection of pollen bearing honey bees in hive entrance images	Stojnic et al. beschäftigen sich in ihrem Beitrag mit der automatischen Erkennung von Pollen tragenden Honigbienen. Daraus lassen sich Informationen für die Überwachung der Bestäubung als auch für die Bewertung der Bienengesundheit ableiten. Sie analysieren verschiedene Methoden zur Erkennung von pollenführenden Honigbienen in Bil-

		<p>dern, die am Bienenstock aufgenommen wurden. Sie nehmen zuerst eine Segmentierung der Honigbienen aus den Bildern vor, um dann die segmentierten Regionen zur Klassifizierung der Bienen (mit Pollen; ohne Pollen) heranzuziehen.</p>
26	<p>Zgank, A. (2018): Acoustic monitoring and classification of bee swarm activity using MFCC feature extraction and HMM acoustic modeling</p>	<p>Zgank stellt ein Audioüberwachungssystem zur akustischen Überwachung und Klassifizierung der Bienenaktivitäten vor. Mit diesem System sollen normale Aktivitäten von Schwarmaktivitäten unterschieden und klassifiziert werden. Es konnte eine Klassifizierungsgenauigkeit von 80,89% erreicht werden. Dazu wurden die frei zugänglichen Audiodaten des Projektes „Beehives“ verwendet.</p>
27	<p>Anuar, N. H. K./Yunus, M. A. M./Baharuddin, M. A./Sahlan, S./Abid, A./Ramli, M. M./Amin, M. R. A./Lotpi, Z. F. M. (2019): IoT Platform for Precision Stingless Bee Farming</p>	<p>Anuar et al. entwickeln ein stromsparendes Überwachungssystem für stachellose Bienen unter Verwendung einer IoT-Plattform. Die energiesparende Plattform erfasst über Sensoren Daten zur Außen- und Innentemperatur und Luftfeuchtigkeit sowie das Gewicht des Bienenstocks. Die Daten wurden 36 Stunden gesammelt, alle 7 Sekunden in einem Cloud-Speicher abgespeichert und können zeit- und ortsunabhängig abgerufen werden. Anhand der Daten soll die Honigproduktion des Bienenstocks vorhergesagt und Diebstähle verhindert werden können.</p>
28	<p>Buchanan, G./Tashakkori, R. (2019): A Web-App for Analysis of Honey Bee Hive Data</p>	<p>Buchanan et al. entwickelte das Beemon-System zur Überwachung von Bienenstöcken. Dabei erfassen sie Audio- und Videoaufnahmen sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit und verknüpfen öffentlich zugängliche Wetterdaten für den Standort des Beemon-Systems. Zur Visualisierung und effektiven Analyse der dadurch gewonnenen Daten, entwickelten sie im nächsten Schritt eine Webanwendung. Diese beinhaltet u. a. Funktionen zur Auswahl verschiedener Bienenstöcke, verschiedener Daten sowie zur Einstellung verschiedener Datumsbereiche.</p>
29	<p>Catania, P./Vallone, M. (2019): Design of an innovative system for precision beekeeping</p>	<p>Catania et al. entwickeln eine Plattform für ein Präzisionsimkereisystem (PAS), um damit den Bienenstock zu überwachen und die wichtigsten Umweltfaktoren innerhalb und außerhalb der Bienenstöcke zu messen und zu kontrollieren, um deren Einfluss auf die Honigproduktion zu bewerten. Dazu wurde das Gewicht des Bienenstocks gemessen sowie die Temperatur und Luftfeuchtigkeit innerhalb und außerhalb des Stocks. Die Daten wurden alle 10 Minuten gesammelt und alle 7 Tage heruntergeladen. Zudem wurde die tägliche Menge produzierter Honig erfasst. Mithilfe des Systems können kritische Momente im Prozess der Honigproduktion erkannt werden.</p>
30	<p>Cousin, Ph./Cauia, E./Siveanu, A./Cledat, J. (2019): The Development of an Efficient System to Monitor the Honeybee Colonies Depopulations</p>	<p>Cousin et al. entwickeln eine vernetzte Lösung für Bienenstöcke, die den Imker:innen direkte Informationen über den Verdacht auf Pestizidverschmutzung, Hornissenbefall, Schwarmsignale und Diebstahl liefert. Dazu sollen die „Sammlerbienen“ gezählt sowie eine Geräuschanalyse durchgeführt werden, um beispielsweise Hornissen, aber auch andere Signale, die mit dem spezifischen physiologischen Zustand von Bienenvölkern zusammenhängen, zu erkennen. Zudem wird eine Analyse derzeitig bestehender Systeme für Messungen am Bienenstock vorgenommen.</p>
31	<p>Craig, L. M./Parry, M./Tashakkori, R./Watts, I. (2019): BeePhon: A Web-Application for Beehive Audio Exploration</p>	<p>Craig et al. nehmen sich der Herausforderung an, eine große Anzahl an gewonnenen Audiodaten aus einem Bienenstock mittels des BeePhon-Systems (maschinelles Lernen, eine Web-Anwendungs-Benutzeroberfläche und verschiedene Visualisierungsfunktionen) zu analysieren, um so etwas über das Verhalten der Bienen zu erfahren und später normale und abnormale Verhaltensweisen in den Bienenstöcken zu klassifizieren. Dadurch könnten Probleme frühzeitig erkannt und lösungsorientierte Maßnahmen getroffen werden. Die erhaltenen Ergebnisse können in Form von verschiedenen Visualisierungen für unterschiedliche Zwecke angezeigt werden. Durch dieses System konnten sie innerhalb von vier Monaten mehr als 2.000 Audiodaten mit Anmerkungen versehen, statt wie zuvor innerhalb von neun Monaten nur 130 Audiodaten.</p>

32	Jiangyi, Z./Danhong, Ch./Yu, J.T. (2019): Design of Intelligent Hive and Intelligent Bee Farm Based on Internet of Things Technology	Jiangyi et al. beschäftigen sich mit dem Aufbau und Design eines intelligenten Bienenstocks und erläutern die Anwendung der IoT-Technologie in der Imkerei. Ziel ist es, Eingriffe und Arbeitskräfte (große Imkereien) zu reduzieren, die Arbeitsintensität zu verringern, die Sicherheit der Produktion zu gewährleisten und die Qualität des Honigs zu verbessern. Dazu sollen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten erfasst, analysiert und reguliert werden sowie über zwei Bildsensoren die Ein- und Ausgangszählungen vorgenommen werden.
33	Mahamud, M. S./Al Rakib, M. A./Faruqi, T. M./Haque, M./Rukaia, S. A./Nazmi, S. (2019): Mouchak – An IoT Basted Smart Bee-keeping System Using MQTT	Mahamud et al. stellen ein automatisiertes IoT-basiertes System „Mouchak“ für die Imkerei vor. Dazu wird ein intelligenter Prototyp (Bienenstock) zur Überwachung des Bienenvolks entwickelt. Das System soll Imker unterstützen die Honig- und Wachsproduktion leichter zu überprüfen und relevante Daten über die Bienenstöcke orts- und zeitunabhängig zur Verfügung zu stellen. Gemessen werden Gaskonzentration, Temperatur und Luftfeuchtigkeit des Bienenstocks sowie der Sound zur Schwarmfrüherkennung. Mithilfe einer App können die Imker:innen die Daten einsehen und bei Bedarf handeln.
34	Marstaller, J./Tausch, F./Stock, S. (2019): DeepBees – Building and Scaling Convolutional Neuronal Nets For Fast and Large-scale Visual Monitoring of Bee Hives	Marstaller et al. beschreiben ein System (DeepBees), das eine zeitnahe, skalierbare und kosteneffiziente Überwachung von Bienenstöcken ermöglicht, eine Deep-Learning Architektur zur Automatisierung und Skalierung der Bienenüberwachung bereitstellt sowie die Erfassung von Trainingsdaten beinhaltet. Den Schwerpunkt stellt die Multi-Netzarchitektur mit ihren 4 Komponenten dar: Hardwareeinsatz am Flugloch zur Ein- und Ausgangszählung; On-Edge-Inferenz zur Lokalisierung und Verfolgung der Bienen; Cloud-Infrastruktur für das zeitnahe Datenmanagement; neuronales Faltungsnetz, das Gesundheitsinformationen ableitet. Das System wurde von apic.ai eingesetzt und überwachte 49 Bienenstöcke.
35	Nolasco, I./Terenzi, A./Cecchi, St./Orcioni, S./Bear, H. L./Bene-tos, E. (2019): Audio-Based Identification of Beehive States	Nolasco et al. beschäftigen sich in dem Beitrag mit dem Sound der Bienen. Geräusche sind ein Indikator für den Zustand eines Bienenvolkes. Über Audiodaten aus dem Projekt „Nu-Hive“, die aus Bienenstöcken gewonnen wurden, soll das Fehlen bzw. die Anwesenheit der Bienenkönigin bestimmt werden. Mittels Methoden des maschinellen Lernens (KI) sollen die verschiedenen Zustände im Stock automatisch erkannt werden. In künftigen Arbeiten sollen die Methoden in einem Bienenstock unabhängigem Szenario weiter evaluiert werden. Zudem soll das Verfahren eingesetzt werden, um andere Zustände wie Schwärmen oder Schädlinge zu identifizieren.
36	Ntawuzumunsi, E./Kumaran, S. (2019): Design and Implementation of Smart Bees Hiving & Monitoring System	Ntawuzumunsi et al. stellen den Entwurf sowie die Implementierung einer Technologie vor, die Informationen über Bienen (Temperatur, Gewicht, Gaskonzentration) sammelt und in regelmäßigen Abständen an die Imker:innen weitergibt, so dass diese in Echtzeit aus der Ferne regulieren und Maßnahmen ergreifen können. In Notsituationen (Feinde, Brand – gemessen mit Bild- und Flammensensor) werden die Imker:innen über das Mobiltelefon alarmiert. Das System soll dazu dienen, die Gesundheit der Bienen und die Sicherheit des Bienenstocks zu gewährleisten und so die Imkerei zu fördern.
37	Ochoa, I. Z./Gutierrez, S./Rodríguez, F. (2019): Internet of Things: Low Cost Monitoring BeeHive System using Wireless Sensor Network	Ochoa et al. stellen ein Forschungsprojekt vor, dass sich auf die Erfassung, Speicherung und Anzeige von Daten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Gewicht) in Echtzeit konzentriert, die für die Untersuchung von Verhaltensmustern und für Rückschlüsse auf den Zustand des Bienenstocks genutzt werden können. Sie entwickeln ein kostengünstiges IoT-System (Prototyp \$17,49) für den Einsatz im Bienenstock, um den Imker:innen die Kontrolle der Völker zu vereinfachen. Das System sendet die gewonnenen Daten an die Online-Dienste der Ubidots-Plattform. Als Problem wurde die Verkrustung der Messwertgeber aufgrund eines begrenzten Messbereichs, vor allem beim Hinzufügen von Honigwaben identifiziert sowie die Verkabelung des gesamten Bienenstocks, die eine Behinderung für die Imker:innen bei ihrer Arbeit darstellt.
38	Shaghaghi, N./Liang, L./Yabe, Y./Lama, S./Mayer, J./Fergu-	Shaghaghi et al. stellen die Lösung „HiveSpy“ vor. Zur Feststellung des richtigen Zeitpunktes für die Honigernte und deren Erleichterung sowie zur Verhinderung von Schwarmereignissen, verwendet HiveSpy Gewichtssensoren zum Wiegen jedes einzelnen Rähmchens statt der gesamten Beute. Sie kommen zu dem Schluss, dass die in Ihrer Arbeit verwendeten FSR (Force-Sensing-Resistor)-Sensoren keine ausreichenden

	son, P. (2019): Identifying Beehive Frames Ready For Harvesting	Ergebnisse liefern. Daher haben sie ihren Forschungsschwerpunkt auf den Bau eigener kapazitätsbasierter Gewichtssensoren neu ausgerichtet, um das Gewicht jedes Rähmchens erfassen zu können.
39	Shahshahani, A./Briey, X./Henry, E./Bhadra, Sh. (2019): Flexible Printed Capacitive Force Sensors Based Beehive Weight Monitoring System	Shahshahani et al. entwickelt ein kostengünstiges System zur Überwachung des Bienenstockgewichts. Es ermöglicht eine drahtlose Echtzeit-Überwachung und erspart den Imker:innen somit die manuelle Messung des Bienenstocks vor Ort, da die Daten direkt auf das Endgerät der Imker:innen übertragen werden können. Mit Hilfe von vier kapazitiven Kraftsensoren wird das Gewicht mit einer Genauigkeit von 4 kg für verschieden getestete Bienenstockgewichte zwischen 10 und 80 kg gemessen.
40	Shaout, A./Schmidt, N. (2019): Bee Hive Monitor	Shaout et al. stellen einen Prototyp zur Überwachung eines Bienenstocks vor. Die Imker:innen sollen einen Überblick über den Gesundheitszustand und die Produktivität ihrer Bienen erhalten und informiert werden, wenn potenzielle Gefahren auftreten. Dazu werden mittels Sensoren das Gewicht, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit gemessen und der Sound innerhalb der Beute aufgenommen. Zudem wird außerhalb des Bienenstocks eine Kamera angebracht. Die erhaltenen Daten werden anhand von Algorithmen interpretiert und sollen dann die Imker:innen rechtzeitig informieren.
41	Terenzi, A./Cecchi, S./Spinsante, S./Orcioni, S./Piazza, F. (2019): Real-time System Implementation for Bee Hives Weight Measurement	Terenzi et al. stellen ein System zur kontinuierlichen Überwachung und automatischen Analyse des Gesundheitszustandes eines Bienenstocks vor. Dabei konzentrieren sie sich auf die Entwicklung eines Echtzeitsystems zur Gewichtsmessung von Bienenstöcken. Das System ist aber auch in der Lage, andere Parameter wie Sound, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und die CO ₂ -Konzentration zu erfassen. Das Schwarmverhalten wurde über einen Zeitraum von einer Woche analysiert. Die Gewichtsmessung spielt eine wichtige Rolle, wenn es um die Überwachung von Bienenstöcken geht. Insbesondere in Kombination mit anderen Parametern kann sie ein relevanter Indikator für die Bienen-gesundheit sein.
42	Terenzi, A./Cecchi, St./Orcioni, S./Piazza, F. (2019): Features Extraction Applied to the Analysis of the Sounds Emitted by Honey Bees in a Beehive	Terenzi et al. beschäftigen sich mit der Identifikation von Problemen, die die Bienen-gesundheit gefährden, mittels einer nicht invasiven Überwachung der Bienen. Der Schall dient dabei als Schlüsselparame-ter. Mehrere Experimente, die sich auf den Fall eines verwaisten Bienenvolks (Daten aus dem Projekt NU-Hive) beziehen, wurden durchgeführt. Dabei wurden die Geräusche der Bienen analysiert und nützliche Merkmale extrahiert. Die Arbeit zeigt fünf Ansätze für ein Verfahren zur Merkmalsextraktion die betrachtet und getestet wurden, um relevante Informationen zu erhalten. Die Wavelet-Transformation-basierten Ansätze zeigen in der Durchführung die beste Leistung und ermöglichen eine klare Unterscheidung zwischen Bienenvolk mit und ohne Königin.
43	Yang, Ch./Collins, J. (2019): Deep Learning for Pollen Sac Detection and Measurement on Honeybee Monitoring Video	Yang et al. stellen ein Modell vor, das sich auf die Nahrungsvorräte der Bienen konzentriert, indem es die Anzahl der Pollensäcke misst, die zum Bienenstock gebracht werden. Dadurch soll die Anzahl der Öffnungen der Beute zur Überprüfung der Futter-vorräte durch die Imker:innen reduziert werden. Zur Datenerfassung werden Bienenbe-obachtungsvideos aufgezeichnet auf denen Bienen und Pollensäcke deutlich zu erken-nen sind. Ein Deep-Learning Algorithmus wird eingesetzt, um Pollensäcke auf den ein-zelnen Bienenbildern zu erkennen und einzuteilen in „Pollen / nicht Pollen Bilder“.
44	Yusof, Z. M./Billah, M. M./Kadir, K./Mohd Ali, A. M./Ahmad, I. (2019): Improvement of Honey Production: A Smart Honey Bee Health Monitoring System	Yusof et al. untersuchen Parameter, die das Verhalten der stachellosen Biene und die Honigproduktion beeinflussen und zur Bienen-gesundheit beitragen können. Dazu wer-den Sensoren zur Messung des Gewichts in Echtzeit, der Temperatur und Luftfeuchtig-keit in den Bienenstöcken sowie ein Rauchgassensor, zur Überwachung des Rauchs in der Umgebung der Bienenstöcke verwendet. Über eine WiFi-Verbindung werden die Daten in die Cloud übertragen. Die Imker:innen können dann den Status auf ihren End-geräten über eine Benutzeroberfläche auf der Website überwachen.
45	Zabasta, A./Kunicina, N./Kondratjevs, K. (2019): IoT Approach	Zabasta et al. entwickelten in der ersten Phase ihres Projekts den Prototyp eines auto-nomen Bienenzuchtsystems mit dem Ansatz des Arrowhead Framework (IoT-basierte

	Application for Development of Autonomous Beekeeping System	Automatisierung), der Daten über den Zustand der Bienenstöcke und des Bienenstandes für die Nutzer bereitstellt. Dazu gehören Messungen der Innen- und Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit, des Gewichts sowie eine Videoüberwachung des Bienenstandes und des einzelnen Bienenstocks. Dadurch sollen die Imker:innen den Zustand des Bienenstocks bewerten und wenn nötig weitere Maßnahmen ergreifen können. Ziel ist die Erhöhung der Produktivität der Bienen, bei gleichzeitiger Senkung der Kosten für die Instandhaltung/Versorgung der Bienenstöcke. In weiteren Forschungen soll u. a. eine vollständig autonome Energieversorgung gewährleistet und ein Einsatz auch im Winter erprobt werden.
46	Cecchi, St./Spinsante, S./Terenzi, A./Orcioni, S. (2020): A smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring	Cecchi et al. führen Forschungsergebnisse weiterer Wissenschaftler zusammen und kommen ausgehend vom Stand der Technik in Bezug auf Überwachungssysteme und technologische Entwicklung zu dem Ergebnis, dass die Langzeitmessung der ausgewählten Parameter in Echtzeit eine grundlegende Rolle bei der fortschrittlichen Überwachung von Bienenstöcken spielt und die gesammelten Daten als aussagekräftiger Indikator für die Gesundheit der Honigbienen verwendet werden können. Auf Basis dieser Ergebnisse entwickeln sie ein multiparametrisches, auf intelligente Sensoren basierendes Messsystem, das in der Lage ist, eine Echt- und Langzeitüberwachung des Bienenvolkes durchzuführen und dadurch unterschiedliche Ereignisse zu identifizieren (z. B. Futtermangel, Diebstahl, Krankheiten oder Schwarmverhalten). Die Messungen der unterschiedlichen Sensoren werden zusammengeführt und geben so Aufschluss über den Zustand des Bienenvolkes, dessen Interaktionen mit dem Umfeld und den Einfluss der klimatischen Gegebenheiten auf die Bienen.
47	Child, Th./Acuna, G. (2020): Healthy and Anomalous Beehives Classification Model using Convolutional Neural Networks	Child et al. implementieren ein System zur Erkennung abnormaler Zustände, um das Problem der zu späten Diagnose von Krankheiten in Bienenstöcken zu lösen. Dies geschieht durch die Klassifizierung der von den Bienen abgegebenen Geräusche. Die Tonaufnahmen werden in Spektrogrammen dargestellt. Das Netz wird darauf trainiert, Muster in diesen Spektrogrammen zu erkennen und eine Einordnung der Geräusche vorzunehmen, in „gesunder“ und „anormaler“ Bienenstock. Das durch Transfer Learning genutzte Modell, zur Klassifizierung der Aufnahmen nach Gesundheitszustand, erzielte eine hohe Genauigkeit (0,9303).
48	Machhammer, R. et al. (2020): Visual Programmed IoT Beehive Monitoring for Decision Aid by Machine Learning based Anomaly Detection	Machhammer et al. stellen eine visuelle Programmierumgebung vor, die für Imker:innen eine leichtere Nutzung moderner Technologien ermöglichen soll. Mittels Nutzung eines IoT-Überwachungssystems, werden Daten gesammelt und Unregelmäßigkeiten wie Vandalismus oder Krankheiten am Bienenvolk erkannt. Es soll Imker:innen ermöglichen, ihren Aufwand zu reduzieren und Ursachen von Problemen im Bienenvolk ohne tiefgreifende IT Kenntnisse zu ergründen (mittels IoT und ML). Im nächsten Schritt erfolgt die Implementierung von Echtzeitdaten.
49	Peng, R./Ardekani, I./Sharifzadeh, H. (2020): An Accoustic Signal Processing System for Identification of Queen-less Beehives	Peng et al. nehmen sich in ihrer Studie mittels audiobasierter Methoden der Identifizierung von Bienenstöcken ohne Königin an. Mittels der eingesetzten Technologien (Wiener Filter etc.) versuchen sie die Problematik von Stör- und Umgebungsgeräuschen bei der Erhebung von Audiosignalen zu beheben. Durch Einsatz maschinellen Lernens lässt sich die Klassifizierungsgenauigkeit, trotz Umgebungsgeräusche, von Bienenstöcken ohne Königin erheblich verbessern und erreicht eine Genauigkeit von 97%.
50	Schurischuster, St./Kampel, M. (2020): Image-based Classification of Honeybees	Schurischuster et al. beschäftigen sich mit der erhöhten Sterblichkeit der Bienen durch die Varroa-Milbe und schlagen einen anwendungsorientierten Klassifizierungsansatz für Honigbienen vor, der auf einem selbst erstellten Datensatz basiert. Sie clustern die Bienen in „gesund“ und „infiziert“ anhand des Vorkommens der parasitären Milbe. Dazu richten sie eine Kamera auf den Eingang eines Bienenstocks aus und erfassen so die Bienen. Die Auswertungen werden auf einem öffentlich zugänglichen Datensatz von über 13.000 manuell beschrifteten Bildern von gesunden und infizierten Bienen durchgeführt. Das beste Modell erreichte eine Genauigkeit von mindestens 90% und konnte zudem menschliche Annotationsfehler in der Grundwahrheit erkennen.
51	Shimasaki, K./Jiang, M./Takaki, T./Ishii,	Shimasaki et al. beschäftigen sich mit der Entwicklung eines Algorithmus zur Erfassung der Aktivitäten von fliegenden Honigbienen in ihrer natürlichen Umgebung im Freien.

	I./Yamamoto, K. (2020): HFR-Video-Based Honeybee Activity Sensing	Dadurch soll u. a. die Gesundheit des Bienenvolkes vor und nach CCD (Colony Collapse Disorder) und anderen ernsten Störungen quantifiziert werden. Dafür werden High-Frame-Rate-Videos auf Pixelebene untersucht, die mit hunderten von Bildern pro Sekunde oder mehr arbeiten. Die Flugbahn einer Biene wird anhand der Spitzenfrequenz der verfolgten Short-Time-Fourier-Transformationen (STFTs) als ihre Flugaktivität (Flügelschlagfrequenz) überwacht. Zur Verbesserung des Algorithmus zur Unterscheidung von Honigbienen soll künftig maschinelles Lernen eingesetzt werden. Mustererkennungen können so besser erfasst und analysiert werden.
52	Wardhany, V. A./Hidayat, A./Suhono/Jhoswanda, M. (2020): Temperature and Humidity Control of Smart Cage Bee Honey Based on Internet of Things	Wardhany et al. entwickeln einen Prototyp zur Überwachung von Bienenstöcken. Dies geschieht über die Messung der Luftfeuchtigkeit, des Gewichts und der automatischen Temperaturkontrolle sowie durch den Einsatz von Fuzzy-Logik zur Entscheidungsfindung. Der Temperaturzustand kann dadurch abgelesen und entsprechend des optimalen Wertes mittels eines Ventilators oder Heizelements korrigiert werden.
53	Anuar, N. H. K./Yunus, M. A. M./Baharudin, M. A./Ibrahim, S./Sahlan, Sh. (2021): Embedded Wireless Stingless Beehive Monitoring And Data Management System	Anuar et al. stellen ein drahtloses Überwachungssystem für stachellose Bienen vor. Dabei werden das Gewicht, die Anzahl der Bienenaktivitäten, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit (innerhalb und außerhalb des Bienenstocks) gemessen, um die Auswirkungen dieser Parameter auf die Bienenaktivität und Honigproduktion zu untersuchen. Mit Android-Apps wurden die Informationen aus der Datenbank geholt und in Form von Seiten und Diagrammen auf den smarten Endgeräten der Nutzer:innen dargestellt. Die Ergebnisse zeigen eine Beziehung zwischen der gemessenen Temperatur, der Bienenaktivität und dem produzierten Honig auf.
54	Aumann, H./Aumann, M./Emanetoglu, N. (2021): Janus: A Combined Radar and Vibration Sensor for Beehive Monitoring	Aumann et al. führen Messungen an einem Bienenstock durch, mittels zweier an der Außenseite in Nähe des Fluglochs angebrachten Sensoren. Der nach außen gerichtete Sensor ist ein 24-GHz-Doppelradar zur Überwachung der Flugaktivität. Der nach innen gerichtete Sensor ist ein piezoelektrischer Wandler (Vibration). Durch die Sensoren können Schwarm- oder Räuberaktivitäten erkannt werden. Fehlalarme können reduziert werden, indem die Messungen beider Sensoren kombiniert und einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen werden. Durch die Anwendung beider Sensoren kann sogar unterschieden werden, ob es sich um ein Schwarmereignis oder eine Räubertätigkeit (oder ein Orientierungsflug) handelt.
55	Bellos, Ch./Fyrraridis, A./Stefanou, K./Stergios, G./Kontogiannis, S. (2021): A Quality and disease control system for bee-keeping	Bellos et al. bieten mit dem BeeQ-Projekt eine vollständig integrierte Lösung für die Sicherheit und Qualitätskontrolle von Bienenstöcken an. BeeQ versucht Herausforderungen wie Gesundheitsprobleme der Bienen durch Varroamilbenbefall, Diebstahl oder extremer Wetterbedingungen zu lösen. Verwendet werden dazu Sensoren und Niedrigenergie-Transponder, die in den Bienenstöcken platziert werden. Darüber hinaus setzt BeeQ eine Data-Mining-Logik ein, um Krankheiten und Gefahren zu bewerten und die Imker:innen mittels einer BeeQ-Mobilanwendung zu informieren.
56	Dall'Asta, L./Egger, G. (2021): Preliminary results from beehive activity monitoring using a 77 GHz FMCW radar sensor	Dall'Asta et al. stellen erste Ergebnisse eines Feldversuches an einem Bienenstock vor. Um die Gesundheit des Bienenstocks und die Honigproduktion überwachen zu können, sollen die Gesamtaktivitäten der Bienen durch ein Überwachungssystem analysiert werden. Es werden Radarsensoren eingesetzt, um Position und Geschwindigkeit der Bienen zu messen. Durch die Mikro-Doppler-Analyse konnten qualitative und quantitative Unterschiede bei den Bienenaktivitäten festgestellt werden.
57	Karthiga, M./Sountharajan, S./Nandhini, S./Suganya, E./Sankarananth, S. (2021): A Deep Learning Approach to classify the	Karthiga et al. nutzen einen Deep-Learning-Ansatz, um die unterschiedlichen Honigbienenarten zu klassifizieren sowie Krankheiten, die unter Honigbienen auftreten, zu identifizieren, und vor deren Ausbreitung zu schützen. Auf einer Basis von mehr als 5.000 Bildern und Merkmalen erfolgt das Training und die Validierung. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Klassifizierung der Unterarten eine Genauigkeit von 86 % und die Klassifizierung der Bienengesundheit von 84 % erreicht hat. Das Modell klassifizierte die westliche Honigbiene mit 100 % Genauigkeit und Wiedererkennungswert.

	Honeybee Species and health Identification	
58	Pandimurugan, V./Prakhar, K./Mandviya, R./Datar, A./Gadgil, A. (2021): IoT based Smart Bee-keeping Monitoring system for beekeepers in India	Pandimurugan et al. untersuchen mittels IoT-Sensoren die Korrelation zwischen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit in einem Bienenstock sowie das Gewicht des Honigs, der produziert wird. Dazu wurden 2 Monate (März und April) Daten gesammelt. Sie kommen zu dem Schluss, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Bienenstock kontrolliert werden müssen, da es an den Standorten (Indien) zu heiß für die Bienen werden kann.
59	Terenzi, A./Ortolani, I. N./Benetos, E./Cecchi, St. (2021): Comparison of Feature Extraction Methods for Sound-Based Classification of Honey Bee Activity	Terenzi et al. vergleichen verschiedene Techniken zur Merkmalsextraktion für die geräuschbasierte Klassifizierung der Aktivitäten von Honigbienen. Es wurde insbesondere die Situation von verwaisten Bienenstöcken anhand eines Datensatzes betrachtet. Die genutzten Daten stammen aus dem NU-Hive-Projekt. Der Sound von zwei Bienenstöcken wurde dazu aufgezeichnet, zum einen unter normalen Voraussetzungen (Königin im Bienenstock) und zum anderen in verwaistem Zustand. Der vorgeschlagene Ansatz soll auch zur Klassifizierung anderer Bienenstockzustände, wie Schädlingspräsenz oder Schwarmverhalten verwendet werden. Das endgültige System sollte in der Lage sein, die Daten in Echtzeit zu erfassen und zu analysieren, um die Imker:innen sofort warnen zu können.

4 FAZIT

4.1 Zusammenfassung

Im Bereich Technik werden in den wissenschaftlichen Publikationen unterschiedliche (Sensor-) Technologien zur Datenerfassung und Überwachung von Bienen und ihrer Umwelt diskutiert. Die aus den Forschungen gewonnenen Erkenntnisse werden für neue Studien und Untersuchungen genutzt, erweitert und dem Stand der Technik stetig angepasst.

Übergeordnetes Ziel der angewandten Methoden ist die Erhaltung und Verbesserung der Bienen-gesundheit vornehmlich mit Blick auf ökonomische Aspekte. Nach unserer Einschätzung sollen in den meisten Beiträgen durch gesunde und leistungsfähige Bienen die Bestäubungsleistung sowie die Honigproduktion gewahrt und verbessert werden. Wir kommen zum Schluss, dass in den 59 Beiträgen 36 mal die Bestäubungsleistung und –bedeutung der Bienen adressiert wird. Die

Sicherstellung und Produktivitätssteigerung der Honigproduktion wird in 35 Beiträgen benannt. In 20 Beiträgen wird die Bienengesundheit adressiert, 2 Beiträge zielen auf die Generierung weiterer Forschungsdaten ab und 3 Beiträge machen dazu keine konkreten Angaben. Innerhalb der Beiträge kamen Mehrfachnennungen vor.

Digitale Analysewerkzeuge und –methoden in der Imkerei können zu einem besseren Verständnis über Bienen, deren Verhalten und deren Umgebung beitragen und Imker:innen bei der Arbeit mit ihren Bienen unterstützen. Schäden durch Milbenbefall, Krankheiten, Schwarmereignissen oder Futtermangel sollen so reduziert oder ganz verhindert werden. Dazu werden unterschiedliche (Sensor-) Technologien und Methoden eingesetzt. Früherkennungs- und Warnsysteme stellen dabei einen wichtigen Aspekt dar. In den Beiträgen aus der Literaturrecherche zählten die Temperaturmessung, die Gewichtsmessung und die Luftfeuchtigkeitsmessung zu den meist angewendeten Analysemethoden.

Zu den identifizierten digitalen Analysemethoden und –werkzeugen zur Bienenüberwachung innerhalb der Recherche gehören:

Temperaturmessungen: Die Temperatur im Bienenstock und außerhalb des Bienenstocks wird mittels Sensoren gemessen, erfasst und ausgewertet. Die Temperatur beeinflusst die Bienengesundheit, die Brut sowie die Produktivität der Bienen. Die optimale Temperatur kann die Bienensterblichkeit verringern und die Honigproduktion verbessern.

Luftfeuchtigkeitsmessungen: Die Luftfeuchtigkeit im Bienenstock und außerhalb des Bienenstocks wird mittels Sensoren gemessen, erfasst und ausgewertet. Die Luftfeuchtigkeit beeinflusst die Bienengesundheit, die Brut sowie die Produktivität der Bienen. Die optimale Luftfeuchtigkeit kann die Bienensterblichkeit verringern und die Honigproduktion verbessern.

Gewichtsmessungen: Das Gewicht des Bienenstocks wird gemessen, erfasst und ausgewertet. Die Daten können Aufschluss über die Produktivität, die Gesundheit und den Zustand der Bienen wiedergeben. Wägetechnik, die auf einer automatischen Lösung mit Sensoren basiert, ermöglicht eine kontinuierliche Erfassung der Daten und eine frühzeitige Erkennung von negativen Ereignissen.

Sounderkennung: Geräusche sind ein Indikator für den Zustand eines Bienenvolkes. Es werden Systeme zur akustischen Überwachung und Klassifizierung der Bienenaktivitäten auf Grundlage von Audiomodalitäten eingesetzt. Die Klangbilder können frühzeitig Informationen liefern wodurch z. B. normale Aktivitäten von Schwarm-

aktivitäten unterschieden und Schwarmereignisse so früher erkannt werden können. Ein Beitrag nutzt den Sound zur Therapie, nicht zur Diagnose.

Einsatz von Kameras: Schäden sowie das Verhalten und der Zustand (Milbenbefall) der Bienen im und außerhalb des Bienenstocks werden über Bildaufnahmen durch Kameras erfasst und mittels Deep Learning Ansätzen ausgewertet. Eindringlinge (Räubereien) werden erkannt und die Bienenaktivitäten beobachtet.

Messungen der Gaskonzentration: Die CO₂-Konzentration wird im Bienenstock gemessen, erfasst und ausgewertet und dient (in Kombination mit weiteren Daten) der Analyse des Verhaltens der Bienen. Die Bienen regulieren den CO₂-Gehalt innerhalb des Bienenstocks selbst durch Fächeln und Gasaustausch.

Eingangs- und Ausgangszählungen: Der Flugverkehr am Flugloch wird häufig mittels Infrarotsensoren erfasst und ausgewertet. Es werden Ein- und Ausgangszählungen vorgenommen, die Aufschluss über die im Messzeitraum durchschnittliche Anzahl der Bienen, die in den Stock ein- und ausfliegen, geben und mit weiteren Daten wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Beziehung gesetzt werden können, um mehr über das Verhalten der Bienen zu erfahren.

Einsatz von KI: Die Entwicklung von Deep-Learning Algorithmen (z. B. Bilderkennungsalgorithmen „Pollen / nicht Pollen“) und Architekturen zur Klassifizierung der Bienenaktivitäten oder zur Automatisierung und Skalierung der Bienenüberwachung insgesamt.

Erfassung und Einbindung von Wetterdaten: Externe Wetterdaten werden mit in die Analysen

der Messungen im und um den Bienenstock einbezogen und unterstützen die Auswertung des Zustandes und Verhaltens der Bienen. Umwelteinflüsse werden erfasst und in Beziehung mit dem Verhalten der Bienen und den Bedingungen im Bienenstock gesetzt, um mögliche Zusammenhänge zu identifizieren.

Einsatz von Radar: Überwachung der Flugaktivitäten am Flugloch mittels Radarsensoren, durch die beispielsweise Schwarmaktivitäten oder Räuberei erkannt werden können. Bewegungen, Position und Geschwindigkeit werden gemessen und ausgewertet. Zur Aufnahme von Geräuschen in einem Bienenstock werden auch Radarmikrofone genutzt, die Vibrationen messen können. Sie erfassen den Unterschied zwischen gezielter Flüge zur Futtersuche oder wahllosem fliegen um den Eingang herum. Der Grad oder das Ausbleiben der Flugaktivitäten können Indikator dafür sein, dass ein Bienenvolk Probleme hat.

Vibrationsmessungen: Vibrationen die durch die Bienen im Bienenstock abgegeben werden, werden gemessen und ausgewertet. Wie bereits beim Einsatz der Radarfrequenzen beschrieben, können durch die Vibrationsprofile Rückschlüsse auf den Grad der Flugaktivitäten geschlossen werden.

Einsatz von Webanwendungen: System zur Datenauswertung und -darstellung sowie Alarmerungsmöglichkeit, das alle erfassten Werte zusammenbringen und nutzerfreundlich zur Verfügung stellen kann. Ein rechtzeitiger Eingriff durch die Imker:innen aufgrund der zur Verfügung gestellten Informationen durch die Messungen kann ermöglicht werden.

Tab. 6: Zuordnung der identifizierten Beiträge zu den angewandten Analysemethoden

Digitale Analysemethoden	Nr. der zugeordneten Beiträge
Temperaturmessungen	1; 2; 3; 4; 6; 9; 10; 11; 13; 15; 16; 18; 19; 20; 22; 27; 28; 29; 30; 32; 33; 36; 37; 40; 44; 45; 46; 48; 52; 53; 55; 58.
Luftfeuchtigkeitsmessungen	2; 3; 6; 9; 10; 11; 15; 18; 19; 20; 22; 27; 28; 29; 30; 33; 36; 37; 40; 44; 45; 46; 48; 52; 53; 55; 58.
Gewichtsmessungen	5; 6; 13; 15; 16; 18; 20; 22; 27; 29; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 44; 45; 46; 48; 52; 53; 55; 58.
Sounderkennung	4; 6; 8; 11; 15; 16; 18; 19; 20; 21; 26; 28; 30; 31; 33; 35; 40; 42; 46; 47; 49; 55; 59.
Einsatz von KI	7; 13; 14; 18; 23; 24; 25; 26; 31; 34; 35; 40; 42; 43; 47; 48; 49; 50; 51; 55; 57; 59.
Einsatz von Kameras	7; 8; 13; 14; 15; 16; 19; 23; 24; 25; 28; 31; 32; 34; 36; 40; 43; 45; 50; 51; 55.
Einsatz von Webanwendungen	1; 16; 18; 27; 28; 31; 33; 37; 44; 45; 52; 53; 55.
Messungen der Gaskonzentration	6; 9; 10; 15; 22; 33; 36; 44; 46.
Erfassung und Einbindung von Wetterdaten	3; 6; 9; 10; 13; 15; 28; 31.
Eingangs- und Ausgangszählungen	2; 3; 30; 32; 34; 48; 53.
Einsatz von Radarfrequenzen	12; 17; 54; 56.
Vibrationsmessungen	12; 54.

4.2 Ausblick

Im Bereich der Forschung und Entwicklung digitaler Analysewerkzeuge und -methoden zur

Überwachung von Bienenstöcken hat die Anzahl der Veröffentlichungen im Zeitverlauf insgesamt zugenommen. Auf Basis des dadurch gewonnenen Wissens sowie der Optimierung und Vereinfachung der angewendeten Tools werden Imker:innen unterstützt, zukünftig schneller und präziser eingreifen und so die Bienengesundheit und Honigproduktion verbessern zu können.

Die Veröffentlichungshäufigkeit zur Digitalisierung in der Bienenhaltung schwankte im betrachteten Zeitverlauf stark. Dafür konnte keine Ursache identifiziert werden. Die Analyse wird 2022 und 2023 fortgesetzt.

5 QUELLEN

- Anand**, N./Raj V. B./Ullas, M S./Srivastava, A. (2018): *Swarm Detection and Beehive Monitoring System using Auditory and Micro-climatic Analysis*, 3rd International Conference on Circuits, Control, Communication and Computing (I4C), pp. 1-4, doi: 10.1109/CIMCA.2018.8739710.
- Anuar**, N. H. K./Yunus, M. A. M./Baharuddin, M. A./Sahlan, S./Abid, A./Ramli, M. M./Amin, M. R. A./Lotpi, Z. F. M. (2019): *IoT Platform for Precision Stingless Bee Farming*, IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), pp. 225-229, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825089.
- Anuar**, N. H. K./Yunus, M. A. M./Baharudin, M. A./Ibrahim, S./Sahlan, Sh. (2021): *Embedded Wireless Stingless Beehive Monitoring And Data Management System*, IEEE International Conference in Power Engineering Application (ICPEA), pp. 149-154, doi: 10.1109/ICPEA51500.2021.9417758.
- Aumann**, H. M./Aumann, M. K./Emanetoglu, W. (2021): *Janus: A Combined Radar and Vibration Sensor for Beehive Monitoring*, in IEEE Sensors Letters, vol. 5, no. 3, pp. 1-4, March 2021, Art no. 1500204, doi: 10.1109/LESENS.2021.3056870.
- Aumann**, H. M./Emanetoglu, N. W. (2016): *The Radar Microphone: A New Way of Monitoring Honey Bee Sounds*, IEEE SENSORS, pp. 1-2, doi: 10.1109/ICSENS.2016.7808865.
- Aumann**, H./Payal, B./Emanetoglu, N. W./Drummond, F. (2017): *An Index for Assessing the Foraging Activities of Honeybees with a Doppler Sensor*, IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 1-5, doi: 10.1109/SAS.2017.7894090.
- Barry**, B. C./Verstraten, L./Butler, F. T./Whelan, P. M./Wright, W. M. D. (2018): *The use of airborne ultrasound for Varroa destructor mite control in beehives*, IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), pp. 1-9, doi: 10.1109/ULTSYM.2018.8580160.
- Bassford**, M./Painter, B. (2016): *Intelligent Bio-Environments: Exploring Fuzzy Logic Approaches to the Honeybee Crisis*, 12th International Conference on Intelligent Environments (IE), pp. 202-205, doi: 10.1109/IE.2016.45.
- Bellos**, Ch./Fyrraridis, A./Stefanou, K./Stergios, G./Kontogiannis, S. (2021): *A Quality and disease control system for beekeeping*, 6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM), pp. 1-4, doi: 10.1109/SEEDA-CECNSM53056.2021.9566210.
- Buchanan**, G./Tashakkori, R. (2019): *A Web-App for Analysis of Honey Bee Hive Data*, SoutheastCon, pp. 1-6, doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020286.
- Catania**, P./Vallone, M. (2019): *Design of an innovative system for precision beekeeping*, IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), pp. 323-327, doi: 10.1109/MetroAgriFor.2019.8909256.
- Cecchi**, St./Spinsante, S./Terenzi, A./Orcioni, S. (2020): *A smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring*, Sensors (Basel), 20(9):2726. Published 2020 May 10. doi:10.3390/s20092726.
- Chazette**, L./Becker, M./Szczerbicka, H. (2016): *Basic Algorithms for Bee Hive Monitoring and Laser-based Mite Control*, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), pp. 1-8, doi: 10.1109/SSCI.2016.7850001.
- Chen**, W.-S./Wang, C.-H./Jiang, J.-A./Yang, E.-C. (2015): *Development of a Monitoring System for Honeybee Activities*; 9th International Conference on Sensing Technology (ICST), pp. 745-750, doi: 10.1109/ICST.2015.7438495.
- Child**, Th./Acuna, G. (2020): *Healthy and Anomalous Beehives Classification Model using Convolutional Neural Networks*, XLVI Latin American Computing Conference (CLEI), pp. 20-26, doi: 10.1109/CLEI52000.2020.00008.
- Cousin**, Ph./Cauia, E./Siveanu, A./Cledat, J. (2019): *The Development of an Efficient System to Monitor the Honeybee Colonies Depopulations*, Global IoT Summit (GloTS), pp. 1-5, doi: 10.1109/GIOTS.2019.8766435.
- Craig**, L. M./Parry, M./Tashakkori, R./Watts, I. (2019): *BeePhon: A Web-Application for Beehive Audio Exploration*, SoutheastCon, pp. 1-8, doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020475.
- Dall'Asta**, L./Egger, G. (2021): *Preliminary results from beehive activity monitoring using a 77 GHz FMCW radar sensor*, IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), pp. 1-6, doi: 10.1109/MetroAgriFor52389.2021.9628743.
- Draper**, A./Obrusnik, N./Zinemanas, P./Monzón, P./Member N.P. (2015): *Design and Implementation of a Remote Monitoring System to Detect Contamination in Beehives*, CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), pp. 741-745, doi: 10.1109/Chilecon.2015.7404654.
- Fitzgerald**, D. W./Murphy F. E./Wright, W. M.D./Whelan, P.M./Popovici, E.M. (2015): *Design and Development of a Smart Weighing Scale for Beehive Monitoring*, 26th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSC.2015.7163763.
- Giammarini**, M./Concettoni, E./Zazzarini, C. C./Orlandini, N./Albanesi, M./Cristalli, C. (2015): *BeeHive Lab Project – Sensorized Hive for Bee Colonies Life Study*, 12th International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES), pp. 121-126.
- Howard**, D./Hunter, G./Duran, O./Venetsanos, D. (2016): *Progress Towards an Intelligent Beehive*, 12th International Conference on Intelligent Environments (IE), pp. 262-265, doi: 10.1109/IE.2016.60.

- Jiangyi, Z./Danhong, Ch./Yu, J.T.** (2019): *Design of Intelligent Hive and Intelligent Bee Farm Based on Internet of Things Technology*, Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp. 2432-2435, doi: 10.1109/CCDC.2019.8832493.
- Kale, D. J./Tashakkori, R./Parry, R. M.** (2015): *Automated Beehive Surveillance using Computer Vision*, Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2015, April 9-12, SoutheastCon, pp. 1-3, doi: 10.1109/SECON.2015.7132991.
- Karthiga, M./Sountharajan, S./Nandhini, S./Suganya, E./Samkarananth, S.** (2021): *A Deep Learning Approach to classify the Honeybee Species and health Identification*, Seventh International conference on Bio Signals, Images, and Instrumentation (ICBSII), pp. 1-7, doi: 10.1109/ICBSII51839.2021.9445173.
- Machhammer, R./Altenhofer, J./Ueding, K./Czenkusch, L./Stolz, F./Harth, M./Mattern, M./Latif, A./Haab, S./Herrmann, J./Schmeink, A./Gollmer, K.-U./Dartmann, G.** (2020): *Visual Programmed IoT Beehive Monitoring for Decision Aid by Machine Learning based Anomaly Detection*, 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), pp. 1-5, doi: 10.1109/MECO49872.2020.9134323.
- Mahamud, M. S./Al Rakib, M. A./Faruqi, T. M./Haque, M./Rukaia, S. A./Nazmi, S.** (2019): *Mouchak – An IoT Basted Smart Beekeeping System Using MQTT*, 4th International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE), pp. 84-88, doi: 10.1109/ICRAE48301.2019.9043815.
- Marstaller, J./Tausch, F./Stock, S.** (2019): *DeepBees – Building and Scaling Convolutional Neuronal Nets For Fast and Large-scale Visual Monitoring of Bee Hives*, IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW), pp. 271-278, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00036.
- Murphy, F. E./Magno, M./O’Leary, L./Troy, K./Whelan, P./Popovici, E. M.** (2015): *Big Brother for Bees (3B) – Energy Neutral Platform for Remote Monitoring of Beehive Imagery and Sound*, 6th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI), pp. 106-111, doi: 10.1109/IWASI.2015.7184943.
- Murphy, F. E./Magno, M./Whelan, P./Popovici, E.** (2015a): *b+WSN: Smart Beehive for Agriculture, Environmental, and Honey Bee Health Monitoring – Preliminary Results and Analysis*, IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/SAS.2015.7133587.
- Murphy, F. E./Srbnovski, B./Magno, M./Popovici, E. M./Whelan, P. M.** (2015): *An Automatic, Wireless Audio Recording Node for Analysis of Beehives*, 26th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSC.2015.7163753.
- Murphy, F.E./Popovici, E./Whelan, P./Magno, M.** (2015b): *Development of an Heterogeneous Wireless Sensor Network for Instrumentation and Analysis of Beehives*, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, pp. 346-351, doi: 10.1109/I2MTC.2015.7151292.
- Nolasco, I./Terenzi, A./Cecchi, St./Orcioni, S./Bear, H. L./Benetos, E.** (2019): *Audio-Based Identification of Beehive States*, ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 8256-8260, doi: 10.1109/ICASSP.2019.8682981.
- Ntawuzumunsi, E./Kumaran, S.** (2019): *Design and Implementation of Smart Bees Hiving & Monitoring System*, IST-Africa Week Conference (IST-Africa), pp. 1-9, doi: 10.23919/ISTAFRICA.2019.8764856.
- Ochoa, I. Z./Gutierrez, S./Rodríguez, F.** (2019): *Internet of Things: Low Cost Monitoring BeeHive System using Wireless Sensor Network*, IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV), pp. 1-7, doi: 10.1109/ICEV.2019.8920622.
- Pandimurugan, V./Prakhar, K./Mandviya, R./Datar, A./Gadgil, A.** (2021): *IoT based Smart Beekeeping Monitoring system for beekeepers in India*, 4th International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), pp. 65-70, doi: 10.1109/ICCCT53315.2021.9711901.
- Peng, R./Ardekani, I./Sharifzadeh, H.** (2020): *An Acoustic Signal Processing System for Identification of Queen-less Beehives*, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), pp. 57-63.
- Reyes, O. A. M./Ávila, Á. A. M./Eslava G. S./Roza, G. B.** (2012): *Beekeeping Monitoring Module*, IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS), pp. 1-6, doi: 10.1109/CWCAS.2012.6404055.
- Rybin, V. G./Butusov, D. N./Karimov, T. I./Belkin, D. A./Kozak, M. N.** (2017): *Embedded Data Acquisition System for Beehive Monitoring*, IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), pp. 387-390, doi: 10.1109/CTS.2017.8109576.
- Schurischuster, St./Kampel, M.** (2020): *Image-based Classification of Honeybees*, Tenth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA), pp. 1-6, doi: 10.1109/IPTA50016.2020.9286673.
- Seritan, G. C./Enache, B.-A./Argatau, F. C./Adochiei, F. C./Toader, St.** (2018): *Low cost platform for monitoring honey production and bees health*, IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), pp. 1-4, doi: 10.1109/AQTR.2018.8402704.
- Shaghaghi, N./Liang, L./Yabe, Y./Lama, S./Mayer, J./Ferguson, P.** (2019): *Identifying Beehive Frames Ready For Harvesting*, IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), pp. 1-4, doi: 10.1109/GHTC46095.2019.9033045.
- Shahshahani, A./Briey, X./Henry, E./Bhadra, Sh.** (2019): *Flexible Printed Capacitive Force Sensors Based Beehive Weight Monitoring System*, IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC), pp. 1-2, doi: 10.1109/IFETC46817.2019.9073776.

- Shahshahani, A./Briey, X./Henry, E./Bhadra, Sh.** (2019): *Flexible Printed Capacitive Force Sensors Based Beehive Weight Monitoring System*, IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC), pp. 1-2, doi: 10.1109/IFETC46817.2019.9073776.
- Shaout, A./Schmidt, N.** (2019): *Bee Hive Monitor*, International Arab Conference on Information Technology (ACIT), pp. 52-57, doi: 10.1109/ACIT47987.2019.8990982.
- Shimasaki, K./Jiang, M./Takaki, T./Ishii, I./Yamamoto, K.** (2018): *HFR-video-based Honeybee Activity Sensing Using Pixel-level Short-time Fourier Transform*, IEEE SENSORS, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSENS.2018.8589744.
- Shimasaki, K./Jiang, M./Takaki, T./Ishii, I./Yamamoto, K.** (2020): *HFR-Video-Based Honeybee Activity Sensing*, in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 10, pp. 5575-5587, 15 May15, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2968130.
- Sledevic, T.** (2018): *The Application of Convolutional Neural Network for Pollen Bearing Bee Classification*, IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), pp. 1-4, doi: 10.1109/AIEEE.2018.8592464.
- Stojnic, V./Risojevic, V./Pilipovic, R.** (2018): *Detection of pollen bearing honey bees in hive entrance images*, 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), pp. 1-4, doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345546.
- Tashakkori, R./Hernandez, N. P./Ghadiri, A./Ratzloff, A. P./Crawford, M. B.** (2017): *A Honeybee Hive Monitoring System: From Surveillance Cameras to Raspberry Pi*, South-eastCon 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/SECON.2017.7925367.
- Terenzi, A./Cecchi, S./Spinsante, S./Orcioni, S./Piazza, F.** (2019): *Real-time System Implementation for Bee Hives Weight Measurement*, IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), pp. 231-236, doi: 10.1109/MetroAgriFor.2019.8909252.
- Terenzi, A./Cecchi, St./Orcioni, S./Piazza, F.** (2019): *Features Extraction Applied to the Analysis of the Sounds Emitted by Honey Bees in a Beehive*, 11th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), pp. 03-08, doi: 10.1109/ISPA.2019.8868934.
- Terenzi, A./Ortolani, I. N./Benetos, E./Cecchi, St.** (2021): *Comparison of Feature Extraction Methods for Sound-Based Classification of Honey Bee Activity*, in IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 30, pp. 112-122, 2022, doi: 10.1109/TASLP.2021.3133194.
- Wardhany, V. A./Hidayat, A./Subono/Jhoswanda, M.** (2020): *Temperature and Humidity Control of Smart Cage Bee Honey Based on Internet of Things*, 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE), pp. 467-472, doi: 10.1109/IC2IE50715.2020.9274620.
- Yang, Ch./Collins, J.**(2019): *Deep Learning for Pollen Sac Detection and Measurement on Honeybee Monitoring Video*, International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), pp. 1-6, doi: 10.1109/IVCNZ48456.2019.8961011.
- Yusof, Z. M./Billah, M. M./Kadir, K./Mohd Ali, A. M./Ahmad, I.** (2019): *Improvement of Honey Production: A Smart Honey Bee Health Monitoring System*, IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA), pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSIMA47653.2019.9057336.
- Zabasta, A./Kunicina, N./Kondratjevs, K.** (2019): *IoT Approach Application for Development of Autonomous Beekeeping System*, International Conference in Engineering Applications (ICEA), pp. 1-6, doi: 10.1109/CEAP.2019.8883460.
- Zacepins, A./Kviesis, A./Ahrendt, P./Richter, U./Tekin, S./Durgun, M.** (2016): *Beekeeping in the future – smart apimary management*, 17th International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 808-812, doi: 10.1109/CarpathianCC.2016.7501207.
- Zacepins, A./Meitalovs, J./Komasilovs, V./Stalidzans, E.** (2011): *Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees*, 12th International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 465-468, doi: 10.1109/CarpathianCC.2011.5945901.
- Zgank, A.** (2018): *Acoustic monitoring and classification of bee swarm activity using MFCC feature extraction and HMM acoustic modeling*, ELEKTRO, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELEKTRO.2018.8398253.

Ansprechpartner / in:

Projektkoordination:

Julia Wurm M.A.

E-Mail: julia.wurm@hs-niederrhein.de

Leitung:

Prof. Dr. rer. nat. Claus Brell

E-Mail: claus.brell@hs-niederrhein.de

Forschungsinstitut GEMIT

Der Hochschule Niederrhein

Richard-Wagner-Str. 97

41065 Mönchengladbach

Die Förderung des Vorhabens erfolgt (bzw. erfolgte) aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträger-schaft erfolgt (bzw. erfolgte) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages