

BIENE40

Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht für den Zeitraum 2022 bis 2023

Zitiervorschlag: Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2024) *Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht für den Zeitraum 2022 bis 2023*. In: Arbeitsberichte zum Projekt Biene40. *Polykopie, im Druck*.

Messelken, Marco*, Wurm, Julia*; Brell, Claus*

*Hochschule Niederrhein, Mönchengladbach

Die fortschreitende Digitalisierung, insbesondere die künstliche Intelligenz (KI), bietet der Imkerei neue Möglichkeiten, das von traditionellen Werkzeugen und Vorgehensweisen geprägte Handwerk gezielt zu unterstützen. Mit vernetzten digitalen Sensoren haben Imkerinnen und Imker die Möglichkeit, ihre Bienen und die Umgebung des Bienenstocks unabhängig von Zeit und Ort zu überwachen. Zentral gesammelte Messwerte ermöglichen Vergleiche und eine gezielte Steuerung der eigenen Imkerei. Ziel der Recherche in dieser Ausarbeitung ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft mit Fokus auf die Technik im und am Bienenstock zu geben. Quellen, die sich mit Ansätzen der Digitalisierung innerhalb der Imkerei beschäftigt haben, werden dahingehend analysiert, welche digitalen Methoden in welcher Intensität und Ausprägung zum Einsatz kommen.

Der vorliegende Arbeitsbericht soll die Frage beantworten, inwieweit das Thema Digitalisierung in der Imkerei im technisch-wissenschaftlichen Kontext behandelt wird und welche Technologien und Methoden dabei zum Einsatz kommen. Die Literaturrecherche bezieht sich auf den Zeitraum 2022 bis 2023. Die identifizierten relevanten Beiträge werden erfasst und mit einer Kurzbeschreibung versehen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden die Beiträge thematisch verschiedenen technischen Methoden zugeordnet.

Im Bereich der digitalen Analysemethoden zur Beobachtung von Bienen und Bienenstöcken konnten insgesamt 45 Beiträge identifiziert werden. Thematisch konzentrieren sich die ausgewählten Beiträge auf Temperaturmessungen, Gewichtsmessungen und die Anwendung von KI im und am Bienenstock.

Der vorliegende Bericht baut auf dem Arbeitsbericht Nr. 3 auf, der die Analyse der wissenschaftlichen und technischen Quellen in den Jahren 2011 und 2021 umfasst. Ziel ist es, die Entwicklung des Standes der Technik und der angewandten Methoden aufzuzeigen.

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 2022 und 2023.

Die für die Literatursuche wurden genutzt:

- IDE - International Dialogues on Education: Past and Present

- BlsE - Business & Information Systems Engineering
- HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik
- IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
- Google Scholar
- Statista

Relevante Quellen konnten insbesondere in der Forschungsdatenbank IEE-Explore identifiziert werden. IEEEExplore ermöglicht den Zugriff auf Zeitschriftenartikel, Konferenzberichte und technische Standards aus den Bereichen Informatik, Elektrotechnik und Elektronik sowie verwandten Themengebieten. Der Schwerpunkt der Recherche liegt auf Beiträgen zur Entwicklung von intelligenten Bienenstöcken bzw. intelligenten Analysewerkzeugen für die (Präzisions-)Imkerei. Die meisten Publikationen sind Konferenzbeiträge.

Im Vorfeld wurden Suchbegriffe definiert, die zwingend in einem Artikel vorkommen müssen. Für die Recherche wurden die Suchbegriffe „Digitalisierung in der Bienenhaltung“ sowie „Digitization in beekeeping“ verwendet. Im weiteren Verlauf der Recherche ergaben sich durch die verwendeten Tools und Techniken weitere Suchbegriffe, die in Kombination mit den Wörtern "Bienenstock", "Bienenstock Monitoring" und deren englischen Übersetzungen für die Suche verwendet wurden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Kombinationen.

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 verwendeten Methoden wurde aus der recherchierten Literatur zusätzlich eine **KONZEPT**-matrix erstellt. Dabei wurden 12 Kategorien identifiziert, die die verschiedenen digitalen Analysewerkzeuge und -methoden beschreiben. Am häufigsten wurden Temperatur-, Feuchte- und Gewichtsmessungen genannt.

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 zumeist ähnliche (Sensor-)Technologien zur Beobachtung und Messdatenerfassung eingesetzt und weiterentwickelt. Um die Rechercheergebnisse dazu quantitativ zu erfassen und in absoluten Häufigkeiten darzustellen, wurden die verschiedenen Werkzeuge und Methoden identifiziert und daraus Kategorien gebildet. Die Kategorien wurden in einer Konzeptmatrix erfasst und die jeweiligen Beiträge über ein Punktesystem den Kategorien zugeordnet. Innerhalb einer Studie können einzelne Sensoren oder Kombinationen verschiedener Sensoren eingesetzt werden, um eine Vielzahl von Informationen über die Bienen zu sammeln. Ein Beitrag kann daher mehrere digitale Analysewerkzeuge und -methoden beinhalten, eine Mehrfachnennung ist möglich und wurde berücksichtigt.

Die Konzeptmatrix (Tab. 3) zeigt, dass die Methoden zur Temperaturmessungen (23), Gewichtsmessungen (22) und KI-Anwendungen (19) zu den am häufigsten angewandten Technologien zählen. Seltener genannte Technologien sind Radar (2), Luftdruck- (2), CO₂-Messungen (2) und Vibration (1).

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	23
Gewicht	22

KI (Maschinelles Lernen; Algorithmen)	19
Feuchtigkeit	18
Sound	15
Webanwendungen	8
Kamera (Bewegt- und Standbild)	7
Wetterdaten	3
Eingangs- /Ausgangszählung	3
Radar	2
Luftdruck	2
Gaskonzentration	2
Vibration	1

2.2 Anzahl der Beiträge zur Digitalisierung im Zeitverlauf

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden im Zeitraum 2022 und 2023 insgesamt 45 wissenschaftliche Publikationen identifiziert und dem entsprechenden Erscheinungsjahr zugeordnet (Tab.4).

Tab. 4: Beiträge im Zeitverlauf

Jahr	Anzahl Arbeiten
2022	22
2023	23
Summe	45

3 LITERATURAUSWERTUNG

3.1 Artikel mit Kurzbeschreibung (chronologisch)

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

#	Autoren, Titel	Kurzbeschreibung
1	Hadjur, H. et al. (2022): Toward an intelligent and efficient beehive: A survey of precision beekeeping systems and services.	Präzisionsimkerei ist ein aufstrebendes Feld, das als Antwort auf die zunehmenden Stressfaktoren für Bienen seit dem Ende des 20. Jahrhunderts entstanden ist. Mithilfe digitaler Infrastrukturen, darunter das Internet der Dinge (IoT) mit Sensoren und Datenanalyse, zielt die Präzisionsimkerei darauf ab, Bienen zu schützen, Imker zu unterstützen und die Produktion von Bienenstöcken zu optimieren.
2	Huet, J. et al. (2022): Digital Transformation of Beekeeping through the Use of a Decision Making Architecture	Dieser Artikel beschäftigt sich damit, wie der Prozess der Transformation von traditioneller Landwirtschaft zu digitaler Landwirtschaft, bekannt als Agriculture 4.0, erleichtert und systematisiert werden kann. Mit Fokus auf das Internet der Dinge (IoT) schlagen die Autoren einen neuen Ansatz für die Gestaltung intelligenter landwirtschaftlicher Management- und Überwachungssysteme vor, der am Beispiel des Imkereisektors veranschaulicht wird. Eine flexible Architektur auf Basis von Sensoren und Open Data wird vorgeschlagen, um Entscheidungsträger im Imkerbereich bei der Planung von Maßnahmen oder politischen Strategien zu unterstützen.
3	Kulyukin, V. et al. (2022): Integration of Scales and Cameras in Nondisruptive Electronic Beehive Monitoring: On the Within-Day Relationship of Hive Weight and Traffic in Honeybee (<i>Apis mellifera</i>) Colonies in Langstroth Hives in Tucson, Arizona, USA.	Die Beziehung zwischen dem Gewicht des Bienenstocks und dem Bienenflug stellt ein grundlegendes Forschungsproblem für die elektronische Überwachung von Bienenstöcken und die digitale Imkerei dar, da Gewicht und Bienenflug viele Aspekte der Dynamik von Honigbienenkolonien beeinflussen. Eine Untersuchung dieser Beziehung wurde mit einem Zwei-Sensor-System (Waage und Kamera) durchgeführt, das auf Gewichts- und Videodaten von sechs Bienenkolonien in Langstroth-Beuten basiert.
4	Lepkova, T. et al. (2022): Studing the temperature microclimate in beehives made out of defferent materials.	Die Autoren untersuchten die Eignung von Ton als Baumaterial für Bienenbeuten und stellten fest, dass die keramische Beute mit einem höheren Kaolinanteil die besten thermischen Isolationseigenschaften aufweist, basierend auf einem Monat Messungen von Luft- und Innentemperaturen in verschiedenen Bienenbeutentypen.
5	Jailis, B. et al. (2022): A Real-Time Web-Based Monitoring System for Stingless Bee Farming.	Ein IoT-basiertes Überwachungssystem wird vorgestellt, um die Erträge von Imkern zu verbessern. Das System verwendet einen Arduino Uno ATmega328P und einen DHT22-Sensor, um kontinuierlich die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Bienenstock zu überwachen und die Daten drahtlos an einen Server zur Überwachung und Analyse zu übertragen. Es kann autonom betrieben werden und bietet Einblicke in die Lebensbedingungen im Bienenvolk.
6	Omar, A. et al. (2022): Design and development of low-power, long-range data acquisition system for beehives.	Die Entscheidungsfähigkeit von Systemen hängt stark von der Qualität und Quantität der Trainingsdaten ab. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, wurde ein multisensorisches, ferngesteuertes Datenerfassungssystem für Bienenstöcke (BeeDAS) entwickelt, das auf geringen Energieverbrauch und Fernkommunikation fokussiert. Das System ermöglicht die Datensammlung aus Bienenvölkern an entfernten Standorten und in anspruchsvollen Umgebungen, wobei verschiedene Sensoren eingesetzt worden
7	Gabitov, I. et al. (2022): The System of Remote Monitoring of	Die Autoren haben ein System zur Fernüberwachung der Mikroklimaparameter von wilden Bienenkolonien auf Basis der LoRaWAN-Technologie entwickelt.

	Microclimate Parameters of Bee Colonies.	
8	Ardekani, I. T. et al. (2022): Acoustic signal processing systems for intelligent beehive monitoring.	Der Artikel zeigt, dass die akustischen Signale von Bienen eine effiziente und zuverlässige Informationsquelle über den Bienenstock und dessen Kolonie darstellen. Zudem schlägt er ein akustisches Signalverarbeitungssystem für intelligente und datengetriebene Bienenstocküberwachung vor, das akustische Datenakquise, Geräuschreduktion, Merkmalsextraktion und maschinelles Lernen für inferenz- oder prädiktive Datenanalyse umfasst.
9	Bellino, F. et al. (2022): An Integrated Multi-Sensor System for Remote Bee Health Monitoring.	In dieser Arbeit wird ein Prototyp eines eingebetteten Multisensorsystems für die Überwachung von Bienenvölkern vorgestellt, das eine einfache Lösung für Imker bietet. Das System misst vitale Parameter wie Temperatur, Gewicht, Luftfeuchtigkeit und CO ₂ -Konzentration und verwendet das Niedrigenergie-Kommunikationsprotokoll LoRaWAN für die Datenübertragung.
10	Kiromitis, D. et al. (2022): Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System.	In diesem Papier stellen die Autoren ein neues kostengünstiges, energieeffizientes System namens Bee Sound Detector (BeeSD) vor, das nicht nur Sensoren, sondern auch Echtzeit-Schallüberwachung integriert. Das BeeSD-System kann Ereignisse wie Hungersnot, extreme Wetterbedingungen, den Verlust der Königin und das Ausschwärmen erkennen.
11	Robustillo, M. et al. (2022): Predicting internal conditions of beehives using precision beekeeping.	In dem Artikel wird die Imkerei mit Technologie und Statistik vereint, um eine effektive Verwaltung eines Bienenstocks zu ermöglichen und das Risiko von Situationen, die zu Verlusten in der Bienenpopulation führen können, zu reduzieren.
12	Voudiotis, G. et al. (2022): Deep Learning Beehive Monitoring System for Early Detection of the Varroa Mite.	Dieser Artikel beschreibt ein eingebettetes Kameramodul, das von einem Deep-Learning-Algorithmus unterstützt wird, um frühzeitig Varroa-Befall in Bienenvölkern zu erkennen. Das Modul ist in der Lage, in Echtzeit Bienen auf Brutrahmen zu identifizieren, die die Varroamilbe tragen. Die vorgeschlagene Methode kann offline in entlegenen Gebieten mit begrenzter Netzabdeckung oder online mit Datenübertragung über die Cloud eingesetzt werden.
13	I-Chen, H. et al. (2022): Integration of Multiple Sensors for Beehive Health Status Monitoring and Assessment.	Ein automatisiertes Bienenstocküberwachungssystem, das auf mehreren Sensoren und einer Sensorfusion basiert, wurde entwickelt, um verschiedene Merkmale wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Gewicht, Bienenverkehr und akustische Signale zu überwachen. Mit einer Genauigkeit von 0,86 für akustische Signale und 0,82 für Gewichts- und Temperaturmerkmale bietet dieses intelligente System eine effiziente, datengesteuerte Möglichkeit für Imker, ihre Bienenstöcke zu managen und die Qualität der Imkerei zu verbessern.
14	Andrijević, N. et al. (2022): IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm.	Diese Arbeit stützt sich auf die Präzisionsimkerei und erweitert den Umfang der Messung und Vorhersageergebnisse mithilfe des entwickelten Systems, das für das Bienenstock-Ökosystem konzipiert wurde. Es ist mit einer IoT-Modulbasisstation ausgestattet, die eine Vielzahl von Parametern von Sensoren am Bienenstock und einem Bienenzähler am Stockeingang sammelt. Die Daten werden zur Speicherung, Analyse und Alarmgenerierung in die Cloud gesendet. Ein zeitabhängiges Vorhersagemodell, das in der Lage ist, das Volumen der Ein- und Ausflüge von Bienen pro Stunde zu schätzen und die Abhängigkeit zwischen Umweltbedingungen und Bienenaktivität simuliert, wurde entwickelt.
15	J. Navarro, J. et al. (2022): BeeSmart: a real-time remote monitoring and control system for beekeeping.	Diese Studie stellt einen Prototyp eines Echtzeitüberwachungs- und Steuersystems für Bienenvölker vor, das Parameter wie Innentemperatur und Gewicht misst und Imkern über eine Webanwendung den Zugriff auf die Daten jedes Bienenvolkes ermöglicht.
16	Chau-Chung, S. et al. (2022): Development of Intelligent Beehive and Network Monitoring	In diesem Artikel liegt der Fokus auf der Entwicklung eines intelligenten Bienenvolkes und Netzwerküberwachungssystems für die Bienenökologie. Es werden Daten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Gewicht und GPS-Positionierung genutzt.

	System for Bee Ecology.	
17	Akashi, S. (2022): A Compact and Low-Power Sensor for Smart Urban Beekeeping.	Es wird ein energiesparendes Sensormodul für die Imkerei beschrieben, das Temperatur-/Luftfeuchtigkeits- und Gewichtsdaten erfassen sowie Tonaufnahmen aufzeichnen kann. Es kann mit drei AAA-Batterien für 5 Monate betrieben werden, und 6.000 Sensoren können mit einem mobilen Router verbunden werden.
18	Picek, L. et al. (2022): Monitoring of Varroa Infestation Rate in Beehives: A Simple AI Approach.	Diese Arbeit befasst sich mit der Überwachung von Varroabefall Bienenvölkern. Die Autoren schlagen einen einfachen Ansatz vor, der die automatische bildbasierte Analyse von Ausscheidungen auf den Bienenvolkböden verwendet, ohne auf teure Hardwarekomponenten angewiesen zu sein, sondern lediglich ein Standard-Smartphone benötigt.
19	Liang, A. (2022): Effectiveness of Transfer Learning, Convolutional Neural Network and Standard Machine Learning in Computer Vision Assisted Bee Health Assessment.	Die Studie untersucht die Anwendung von Transfer Learning, klassischen Convolutional Neural Networks (CNN) und Standard-Machine-Learning-Modellen zur Klassifizierung der Bienen-Gesundheit anhand von Bildern
20	Quaderi, S. (2022): Identify The Beehive Sound Using Deep Learning.	Der Artikel beschreibt die Anwendung von akustischer Klassifikation von Aufnahmen aus dem Bienenvolk, um mögliche Veränderungen im Bienenvolk zu erkennen. IEs werden Deep-Learning-Techniken, Sequential Neural Network, Convolutional Neural Network und Recurrent Neural Network verwendet, um die aufgezeichneten Geräusche zu klassifizieren.
21	Cardell-Oliver, R. et al. (2022): WE-Bee: Weight Estimator for Beehives Using Deep Learning.	In dem Artikel wird beschrieben mithilfe von Deep Learning Prognosen für die Gewichtsveränderungen in Bienenvölkern vorhergesagt werden können.
22	Florea, G./ Codreanu, N. (2022): Electronic System for the Management of a Beehive.	Dieser Artikel stellt ein elektronisches System zur Bienenstockverwaltung vor, dass im Rahmen des neuen Trends der präzisen und intelligenten Landwirtschaft basierend auf Fernerkundung entwickelt wurde. Das System umfasst einen ATMEGA2560-Mikrocontroller und sammelt Informationen zu wichtigen Parametern wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Gewicht, Luftdruck und Schallintensität im Bienenstock.
23	Alakoc Burma, Z. (2023): Digital Transformation in Beekeeping to Carrying Beehives into the Future.	Die digitale Transformation in der Imkerei, beeinflusst durch Technologien wie IoT und künstliche Intelligenz, ermöglicht eine effizientere Praxis, verbessert die Bienenproduktivität und trägt zur positiven Entwicklung der Umwelt bei. Dieser Wandel ist eine Antwort auf Herausforderungen wie Klimawandel und Krankheitsbedrohungen, und die Integration moderner Technologien soll die Nachhaltigkeit, Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit der Imkerei fördern.
24	Alifieris, C. et al. (2023): IOHIVE: Architecture and Infrastructure of an IOT System for Beehive Monitoring and an Interactive Journaling Wearable Device for Beekeepers.	Das IOHIVE-Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung eines intelligenten Imkereisystems, das Sensoren zur Überwachung von Gewicht, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Druck und Klang von Bienenstöcken integriert. Das System beinhaltet auch die Entwicklung eines tragbaren Geräts, mit dem Imker interaktiv Notizen zu ihren empirischen Beobachtungen während Bienenstockinspektionen aufzeichnen können, um die Gesundheit und Produktivität der Bienen zu verbessern.
25	Asaduz, Z./ Alan, D. (2023): A framework for	Die sensorbasierte Überwachung von Bienenvölkern spielt eine entscheidende Rolle in der Imkerei, insbesondere für Honigbienen. Das vorgestellte Klassifikationsframework

	better sensor-based beehive health monitoring.	(OIP Framework) unterteilt die Überwachung in operative, untersuchende und prädiktive Ansätze, wodurch verbesserte Bestäubungsmanagement, Umweltverständnis und schnellere Reaktionen auf Gesundheitsprobleme ermöglicht werden.
26	Krishnasamy, V. et al. (2023): An IoT-Based Beehive Monitoring System for Real-Time Monitoring of <i>Apis cerana indica</i> .	In der Studie wurde die Echtzeit-Bienenaktivität in Kolonien unterschiedlicher Stärke mittels eines IoT-Geräts überwacht. Die Bewegung der Sammlerinnen korrelierte mit Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Bienenstock. Die Erkenntnisse ermöglichen zeitnahe Interventionen zur Pflege der Bienenvölker.
27	Guanyao, C. et al. (2023): Design of intelligent beehive based on single chip microcomputer.	In der traditionellen Bienenhaltung besteht das Problem, dass Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gewicht im Bienenstock nicht in Echtzeit überwacht und gesteuert werden können. Daher entwickelt dieser Artikel einen intelligenten Bienenstock mit Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Gewichtsregelsystemen auf Basis eines Mikrocontrollers. Das System nutzt Sensoren, um Echtzeitdaten auf einem LCD-Display anzuzeigen und kann automatisch Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Bienenstock regulieren, um optimale Bedingungen für das Bienenvolk zu schaffen.
28	Todor, T./ Valentin, T. (2023): IoT based beehive monitoring system.	Die Überwachung der Gesundheit von Bienenvölkern, ihrer Effizienz, Aktivität und des Nektarflusses ist für Imker entscheidend. Innovative Technologien, insbesondere intelligente elektronische Waagen, werden häufig eingesetzt, um das Gewicht des Bienenstocks zu messen und die Daten an eine Serverplattform zu senden. Diese Technologien ermöglichen eine autonome Langzeitüberwachung der Bienenkolonien und Umweltbedingungen.
29	Zheng, Y. et al. (2023): Intelligent Beehive Monitoring System Based on Internet of Things and Colony State Analysis.	Dieser Artikel präsentiert ein Bienenvolküberwachungssystem auf Basis des Internet der Dinge (IoT), das die Überwachung der Umgebung um den Bienenstock und die Echtzeitverfolgung und Überwachung von Bienen ermöglicht. Das System verwendet einen Multi-Bienen-Tracking-Algorithmus.
30	Czekońska, K. et al. (2023): Monitoring of hive weight changes in various landscapes.	Die Studie zielte darauf ab, anhand von Veränderungen im Bienenstockgewicht die Menge an von Honigbienen in verschiedenen Landschaften gesammelten Nahrung in Bezug auf meteorologische Bedingungen, Landschafts- und Waldbau zu bewerten. Überwachte Bienenvölker wurden auf elektronische Waagen platziert, die Daten zu Bienenstockgewicht, Temperatur und Luftfeuchtigkeit über zwei Saisons lieferten.
31	Szczurek, A. et al. (2023): Monitoring System Enhancing the Potential of Urban Beekeeping.	Urban Apiculture konzentriert sich weniger auf finanziellen Gewinn, sondern bietet wertvolle Bildungsmöglichkeiten, fördert die Begrünung von Städten und schafft Umweltbewusstsein. Durch den Einsatz spezialisierter technischer Infrastruktur, insbesondere moderner Technologien, können die Vorteile der städtischen Imkerei weiter gesteigert werden, wobei dieses Papier die Fähigkeiten eines automatischen Überwachungssystems vorstellt, das den Zielen der städtischen Imkerei gerecht wird.
32	Omar, A. et al. (2023): Apis-Prime: A deep learning model to optimize beehive monitoring system for the task of daily weight estimation.	Diese Arbeit stellt Apis-Prime vor, ein hybrides Deep-Learning-Modell für Soft-Sensing und Zeitreihenprognosen, um die täglichen Gewichtsschwankungen von Bienenstöcken zu schätzen. Apis-Prime verbessert den Stand der Technik des zuvor vorgeschlagenen WE-Bee-Modells (Anwar et al., 2022) und optimiert die Überwachungssysteme für Bienenstöcke für die Schätzung täglicher Gewichtsschwankungen.
33	Abdelbaset, S. et al. (2023): BeeLive: The IoT platform of Beemon monitoring and alerting system for beehives.	Diese Studie nutzt IoT-Geräte und das Thingsboard-Dashboard im Rahmen des AppMAIS-Projekts, um den Status von 28 Bienenvölkern in North Carolina zu automatisieren. Sensoren für Feuchtigkeit, Temperatur, ein Mikrofon, eine Videokamera und eine Waage werden verwendet, um Daten zu sammeln, die dann über das Thingsboard-Dashboard verwaltet und visualisiert werden, was Imkern regelmäßige Einblicke in ihre Bienenstöcke ermöglicht.
34	Abdollahi, M. et al. (2023): The Importance of Context Awareness	Diese Studie untersucht die Auswirkungen von drei verschiedenen Umgebungsgeräuschen (Quietschen nahegelegener Zugbahnschienen, Imker-Sprache und Regengeräuschen).

	in Acoustics-Based Automated Beehive Monitoring.	sche) auf drei akustische Merkmale, die in automatisierten Bienenstocküberwachungssystemen verwendet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Umweltfaktoren einen negativen Einfluss auf alle getesteten Merkmale haben
35	Abdollahi, M. et al. (2023): Performance Comparison of Voice Activity Detectors for Acoustic Beehive Monitoring.	In dieser Studie wird das Potenzial von drei Spracherkennungssystemen zur Erkennung von Tonaufnahmen aus Bienenstöcken untersucht und verglichen.
36	Duarte, C. et al. (2023): BHiveSense: An integrated information system architecture for sustainable remote monitoring and management of apiaries based on IoT and microservices.	Das vorgestellte BHiveSense-Konzept nutzt das Internet der Dinge (IoT) und Microservices, um eine integrierte und nachhaltige Imkereitaktivität zu ermöglichen. Durch die Verwendung von Microservices und einer REST-Architektur werden langjährige Probleme hinsichtlich Interoperabilität, Skalierbarkeit, Agilität und Wartung gelöst, um ein effizientes Bienenstocküberwachungssystem bereitzustellen.
37	Dániel, T. et al. (2023): Dynamic noise filtering for multi-class classification of beehive audio data.	Diese Arbeit stellt eine dynamische Rauschfilterungsmethode für Spektrogramme vor, die auf Bienenvolkgeräusche angewendet wird, und führt eine Multi-Class-Klassifizierung von Bienengeräuschen mit einem großen Datensatz von 10.000 Aufnahmen ein. Die Ergebnisse des Experiments zeigen vielversprechende Fortschritte in der Bienenvolkanalyse und sollen die weitere Forschung auf diesem Gebiet unterstützen.
48	Janetzky, P. et al. (2023): Swarming Detection in Smart Beehives Using Auto Encoders for Audio Data.	Diese Arbeit konzentriert sich darauf, Schwärme und ihre frühen Anzeichen in Audio-Daten von einem intelligenten Bienenvolk zu identifizieren. Durch einen zweistufigen Ansatz, der zunächst ein Autoencoder-Netzwerk zur Erkennung von Geräuschen aus mechanischen Quellen verwendet, gefolgt von der Nutzung dieses Netzwerks zur Datenreinigung, und anschließend die Anwendung eines zweiten Netzwerks zur Identifizierung ereignisbezogener Bienengeräusche auf den gereinigten Daten, erreichen unsere Netzwerke mit Spektrogramm-Merkmalen eine ausgeglichene Genauigkeitsbewertung von mehr als 99% bei der Erkennung besonderer Bienenereignisse.
49	Ntawuzumunsi, E. et al. (2023): Design and Development of Energy Efficient Algorithm for Smart Beekeeping Device to Device Communication Based on Data.	Diese Arbeit erforscht die Integration von Gerät-zu-Gerät-Kommunikation mit 5G-Technologie als Lösung für die Energie- und Durchsatzprobleme in der smarten Imkertechologie. Die auf Mobilgeräten basierende Gerät-zu-Gerät-Kommunikation ermöglicht es Geräten, direkt ohne die Notwendigkeit einer unmittelbaren Infrastruktur zu kommunizieren. Diese Art der Kommunikation bietet Vorteile in Bezug auf Verzögerungsreduktion, erhöhten Durchsatz und reduzierten Energieverbrauch
40	Torky, M. et al. (2023): Recognizing Beehives' Health Abnormalities Based on Mobile Net Deep Learning Model.	Der Artikel präsentiert eine intelligente Methode zur Überwachung der Bienenstockgesundheit durch Integration von künstlicher Intelligenz, Computer Vision und dem Internet der Dinge (IoT). Ein modifiziertes MobileNet-Modell wird vorgeschlagen, um Anomalien wie Varroa-Destructor, Bienenstockkäfer, Ameisenprobleme und fehlende Königinnen zu erkennen. Die Implementierung zeigt hohe Effizienz bei der Klassifizierung von Gesundheitsanomalien im Vergleich zu anderen Deep-Learning-Modellen.
41	Grammalidis, N. (2023): A smart beekeeping platform based on remote sensing and artificial intelligence.	Der Artikel beschreibt Technologien in der Fernerkundung und künstlichen Intelligenz (KI), um eine umfassende Plattform für Imker und Forscher bereitzustellen. Die Plattform integriert automatisierte Kartierungsdienste, Web-/Mobile-Anwendungen und eine E-Marktplatzfunktion für Bienenprodukte. Ziel ist es, die Bienenstockgesundheit zu verbessern, Kosten zu reduzieren und einen neuen Vertriebskanal für Bienenprodukte zu schaffen.
42	Venugopal, C. et al. (2023): BeeNow - A Remote Beehive Monitor using IoT.	In diesem Paper wird das Design und der Bau eines Prototyps für einen ferngesteuerten Bienenvolkmonitor diskutiert, den ein Imker verwenden kann, um ein Bienenvolk effizienter zu verwalten und nützliche Daten zur Gesundheit des Bienenvolk zu sammeln. Das Hauptziel bestand darin, das Gewicht und die Temperatur der Bienenvölker im Laufe der Zeit zu verfolgen.

43	Ajwin, D. et al. (2023) HiveLink, an IoT based Smart Bee Hive Monitoring System.	Das vorgestellte System integriert fortschrittliche Sensoren zur Überwachung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Bienenvolkgewicht und dem Tageszyklus, bietet Echtzeitdaten sowie Fernzugriff und ermöglicht datengesteuerte Entscheidungsfindung zur Optimierung des Bienenvolkmanagements.
44	Truong, H. (2023): A deep learning based method for honeybee sound monitoring and analysis.	Diese Arbeit demonstriert den Einsatz von Deep-Learning-Technologien zur Überwachung von Honigbienenvölkern. Der Fokus lag darauf, die interne Bienenvolktemperatur allein durch die Analyse von Schallsignalen zu bestimmen
45	John Yoo, J. et al. (2023): An End-To-End Deep Network For Bee Surveillance.	Die Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung von Überwachungswerkzeugen zur Messung des biologischen Verhaltens von Bienen und der Erkennung von Krankheiten mithilfe von computerbasierte Bildklassifizierung.

4 FAZIT

4.1 Zusammenfassung

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

Übergeordnetes Ziel der angewandten Methoden ist in der Regel die Erhaltung und Verbesserung der Bienengesundheit, vor allem unter ökonomischen Gesichtspunkten: Durch gesunde und leistungsfähige Bienen sollen die Bestäubungsleistung und die Honigproduktion erhalten und verbessert werden.

Digitale Analysewerkzeuge und -methoden in der Imkerei können zu einem besseren Verständnis der Bienen, ihres Verhaltens und ihrer Umwelt beitragen und die Arbeit mit den Bienen unterstützen. Schäden durch Milbenbefall, Krankheiten, Schwarmereignisse oder Futtermangel sollen re-

duziert oder ganz vermieden werden. Dazu werden verschiedene (Sensor-)Technologien und Methoden eingesetzt. Einen wichtigen Aspekt stellen Früherkennungs- und Warnsysteme dar. In den Beiträgen aus der Literaturrecherche gehörten die Temperaturmessung, die Gewichtsmessung und die Luftfeuchtigkeitsmessung zu den am häufigsten verwendeten Analysemethoden.

Zu den im Rahmen der Recherche identifizierten digitalen Analysemethoden und -werkzeugen für die Bienenüberwachung 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 Audiodaten eingesetzt. Die Klangbilder können frühzeitig Informationen liefern, wodurch z. B. normale Aktivitäten von Schwarmaktivitäten 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 (z.B. Milbenbefall) der Bienen innerhalb und außerhalb des Bienenstocks werden über Kameraaufnahmen erfasst und mittels Deep-Learning-Ansätzen ausgewertet. Eindringlinge (auch Räuberei) werden erkannt und die Aktivität der Bienen 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 z.B. durch Fächeln.

Eingangs- und Ausgangszählungen: Der Flugverkehr am Flugloch wird z.B. 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. Mit weiteren Daten wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Beziehung gesetzt, lässt sich so mehr über das Verhalten der Bienen 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 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 gezielten Flügen 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. Über Vibrationsprofile können Rückschlüsse auf den Grad der Flugaktivitäten geschlossen werden.

Einsatz von Webanwendungen und Plattformen: Das betrifft Systeme zur Datenspeicherung, -auswertung und -darstellung sowie Alarmerungsmöglichkeit, die alle erfassten Werte zusammenbringen und nutzerfreundlich zur Verfügung stellen können. Ein rechtzeitiger und zielgerichteter Eingriff durch den Imker oder die Imkerin ist so möglich.

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

Digitale Analysemethoden	Nr. der zugeordneten Beiträge
Temperaturmessungen	2; 4; 5; 6; 7; 9; 10; 11; 13; 15; 16; 17; 22; 24; 26; 27; 30; 33; 36; 42; 43; 44.
Gewichtsmessungen	2; 3; 6; 9; 10; 11; 13; 15; 16; 17; 21; 22; 24; 27; 28; 30; 31; 33; 36; 42; 43.
Einsatz von KI	1; 8; 11; 12; 14; 19; 20; 21; 23; 25; 26; 29; 32; 37; 39; 40; 41; 44; 45.
Feuchtigkeitsmessungen	2; 5; 7; 9; 10; 11; 13; 16; 17; 22; 24; 26; 27; 30; 33; 36; 43.

Sounderkennung	6; 8; 10; 12; 17; 20; 22; 24; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 44.
Einsatz von Webanwendungen	15; 22; 24; 33; 36; 41; 42; 43.
Einsatz von Kameras	3; 12; 18; 19; 31; 33; 45.
Erfassung und Einbindung von Wetterdaten	13; 16; 22.
Eingangs- und Ausgangszählungen	3; 12; 26.
Einsatz von Radarfrequenzen	10; 22.
Messungen der Gaskonzentration	6; 9.
Luftdruck	6; 22.
Vibrationsmessungen	6.

4.2 Ausblick

Im Bereich der Forschung und Entwicklung digitaler Analysewerkzeuge und -methoden zur Überwachung von Bienenstöcken hat die Anzahl der Veröffentlichungen im Vergleich zu den erhobenen Daten aus dem Arbeitsbericht Nr. 3 zugenommen. Gewichts-, Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen werden weiterhin stark genutzt. Die Verwendung von KI-Anwendungen hat im Vergleich zum Zeitraum 2011 bis 2021 stark zugenommen.

Es wird empfohlen, in einem zeitlichen Abstand von zwei Jahren mit der vorgestellten Methodik eine erneute Literaturanalyse durchzuführen.

5 QUELLEN

- Abdelbaset S./** Hamza, R./ Underwood, B./ O'Brien, W./ Campell, C. (2023): BeeLive: The IoT platform of Beemon monitoring and alerting system for beehives, *Smart Agricultural Technology*, Volume 6, 2023, 100331, ISSN 2772-3755, doi: /10.1016/j.atech.2023.100331.
- Abdollahi, M./** Coallier, N./ Giovenazzo, P./ Falk, TH. (2023): "Performance Comparison of Voice Activity Detectors for Acoustic Beehive Monitoring," 2023 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Regina, SK, Canada, 2023, pp. 320-323, doi: 10.1109/CCECE58730.2023.10289037.
- Abdollahi, M. /** Henry, E./ Giovenazzo, P./ Falk, TH. (2023): The Importance of Context Awareness in Acoustics-Based Automated Beehive Monitoring. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):195, doi: /10.3390/app13010195.
- Alfieris, C.** (2023): IOHIVE: Architecture and Infrastructure of an IOT System for Beehive Monitoring and an Interactive Journaling Wearable Device for Beekeepers. In: Gervasi, O., et al. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops*. ICCSA 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14108. Springer, Cham, doi: /10.1007/978-3-031-37117-2_11.
- Andrijević, N./** Urošević, V./ Arsić, B./ Herceg, D./ Savić, B. (2022): IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm. *Electronics*. 2022; 11(5):783. doi: /10.3390/electronics11050783.
- Anwar, O./** Keating, A./ Cardell-Oliver, R./ Datta, A./ Putrino, G. (2022); Design and development of low-power, long-range data acquisition system for beehives - BeeDAS, *Computers and Electronics in Agriculture*,
- Anwar, O./** Keating, A./ Cardell-Oliver, R./ Datta, A./ Putrino, G. (2023): Apis-Prime: A deep learning model to optimize beehive monitoring system for the task of daily weight estimation, *Applied Soft Computing*, Volume 144, 2023, 110546, ISSN 1568-4946, doi: /10.1016/j.asoc.2023.110546.
- Ardekani, I. T./** Pour, S./ Sharifzadeh, H. (2022): Acoustic signal processing systems for intelligent beehive monitoring. 2022 Conference of the Acoustical Society of New Zealand (pp. 1-4).
- Bellino, F./** Turvani, G./ Garlando, U./ Riente, F. (2022): "An Integrated Multi-Sensor System for Remote Bee Health Monitoring," 2022 IEEE Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), Perugia, Italy, 2022, pp. 334-338, doi: 10.1109/MetroAgriFor55389.2022.9965130.
- Burma, Z.** (2023): Digital Transformation in Beekeeping to Carrying Beehives into the Future. *International Journal of Nature and Life Sciences*. 7. 89-99. 10.47947/ijnls.1372420.
- Cardell-Oliver, R./** Anwar, O./ Keating, A./ Datta, A./ Putrino, G. (2022): WE-Bee: Weight Estimator for Beehives Using Deep Learning.
- Chau-Chung, S./** Geng-Yi L./ Chi-Chung, P./ Chung-Wen, H. (2022): Development of Intelligent Beehive and Network Monitoring System for Bee Ecology, *ICAROB2022*, Volume: 27, 641-644, 2188-7829 doi: /10.5954/ICAROB.2022.OS24-5.
- Cota, D./** Martins, J./ Mamede, H./ Branco, F. (2023): BHive-Sense: An integrated information system architecture for sustainable remote monitoring and management of apiaries based on IoT and microservices, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Volume 9, Issue 3, 2023, 100110, ISSN 2199-8531, doi: /10.1016/j.joitmc.2023.100110.
- Czakońska, K./** Łopuch, S./ Miścicki, S. (2023): Monitoring of hive weight changes in various landscapes. *Apidologie* 54, 30 (2023). doi: /10.1007/s13592-023-01012-0.
- Dsouza, A./** Aditya, P./ Hegde, S. (2023): HiveLink, an IoT based Smart Bee Hive Monitoring System.
- Florea, G./** Codreanu, G. (2022): "Electronic System for the Management of a Beehive," 2022 IEEE 9th Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC), Sibiu, Romania, 2022, pp. 110-113, doi: 10.1109/ESTC55720.2022.9939438.
- Gabitov, I./** Linenko, A./ Yumaguzhin, F./ Akchurin, S./ Valishin, D. (2022): The System of Remote Monitoring of Microclimate Parameters of Bee Colonies. *Journal of Ecological Engineering*. 2022;23(1):264-273, doi: 10.12911/22998993/143972.
- Grammalidis, N./** Stergioulas, N./ Avramidis, A./ Karystina-kis, K./ Partozis, T./ Topaloudis, A./ Kalantzi, G./ Tananaki, C./ Kanelis, D./ Liolios, V./ Madesis, P. (2023): A smart beekeeping platform based on remote sensing and artificial intelligence, 47. 10.1117/12.2681866.
- Guanyao, C./** Jiapeli, Z./ Zhenyan, J./ Mengyao, S./ Lingfeng, W./ Zhoulun, C. (2023): "Design of intelligent beehive based on single chip microcomputer", *Proc. SPIE*

12800, Sixth International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT 2023), 128005X (11 October 2023), doi: doi.org/10.1117/12.3004155.

Huet, J.-C./ Bougueroua, L./ Kriouile, Y./ Wegrzyn-Wolska, K./ Ancourt, C. (2022): Digital Transformation of Beekeeping through the Use of a Decision Making Architecture. *Applied Sciences*. 2022; 12(21):11179, doi: 10.3390/app12211179.

I-Chen, H./ Yen-Jen, L./ Po-Neng C./ Young-Fa, C./ Ta-Te, L. (2022): Integration of Multiple Sensors for Beehive Health Status Monitoring and Assessment, 2022 ASABE Annual International Meeting, 2200376, doi: /10.13031/aim.202200376.

Jailis, B. A./ Kiring, A./ Yew, H. T./ Barukang, L./ Farm, Y./ Wong, F. (2022): "A Real-Time Web-Based Monitoring System for Stingless Bee Farming," 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAET), Kota Kinabalu, Malaysia, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IICAET55139.2022.9936841.

Janetzky, P./ Schaller, M./ Krause, A./ Hotho, A. (2023): "Swarming Detection in Smart Beehives Using Auto Encoders for Audio Data," 2023 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Ohrid, North Macedonia, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/IWSSIP58668.2023.10180253.

Kiromitis, DI./ Bellos, CV./ Stefanou, KA./ Stergios, GS./ Katsantas, T./ Kontogiannis, S. (2022): Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System. *Electronics*. 2022; 11(19):3152, doi: /10.3390/electronics11193152

Krishnasamy, V./ Sridhar, N. & Niranjana, L. (2023): IoT-Based Beehive Monitoring System for Real-Time Monitoring of Apis cerana indica Colonies. *Sociobiology*. 70. e9352. 10.13102/sociobiology.v70i4.9352.

Ksiazek, P./ Król-Nowak, A./ Stefanowska, E. (2023): A deep learning based method for honeybee sound monitoring and analysis, Express Paper 58; AES Convention 154; May 2023.

Kulyukin, V./ Tkachenko, A./ Price, K./ Meikle, W./ Weiss, M. (2022): Integration of Scales and Cameras in Nondisruptive Electronic Beehive Monitoring: On the Within-Day Relationship of Hive Weight and Traffic in Honeybee (*Apis mellifera*) Colonies in Langstroth Hives in Tucson, Arizona, USA. *Sensors*. 2022; 22(13):4824, doi: 10.3390/s22134824.

Liang, A. (2022): "Effectiveness of Transfer Learning, Convolutional Neural Network and Standard Machine Learning in Computer Vision Assisted Bee Health Assessment," 2022 International Communication Engineering and Cloud Computing Conference (CECCC), Nanjing, China, 2022, pp. 7-11, doi: 10.1109/CECCC56460.2022.10069892.

Navarro, J./ Lima, F./ Porto, M./ Steinfeld, L. (2022): "BeeSmart: a real-time remote monitoring and control system for beekeeping," 2022 Symposium on Internet of Things (SloT), São Paulo, Brazil, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/SloT56383.2022.10070330.

Ntawuzumunsi, E./ Kumaran, S./ Sibomana, L./ Mtonga, K. (2023): Design and Development of Energy Efficient Algorithm for Smart Beekeeping Device to Device Communication Based on Data Aggregation Techniques. *Algorithms*. 2023; 16(8):367, doi /10.3390/a16080367.

Picek, L./ Novozamsky, A./ Frydrychova, R.C./ Zitova, B./ Mach, P. (2022): "Monitoring of Varroa Infestation Rate in Beehives: A Simple AI Approach," 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Bordeaux, France, 2022, pp. 3341-3345, doi: 10.1109/ICIP46576.2022.9897809.

Quaderi, S./ Labonno, S./ Mostafa, S./ Akhter, S. (2022): Identify The Beehive Sound Using Deep Learning. 10.48550/arXiv.2209.01374.

Robustillo, M.C./ Pérez, C.J./ Parra, M.I. (2022): Predicting internal conditions of beehives using precision beekeeping, *Biosystems Engineering*, Volume 221, 2022, Pages 19-29, ISSN 1537-5110, doi: /10.1016/j.biosystemseng.2022.06.006.

Satoh, A. (2022) A Compact and Low-Power Sensor for Smart Urban Beekeeping, doi: /10.2139/ssrn.4221598.

Szczurek, A./ Maciejewska, M./ Batog, P. (2023): Monitoring System Enhancing the Potential of Urban Beekeeping. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):597, doi: /10.3390/app13010597.

Todor, T./ Tonkov, V. (2023): IoT based beehive monitoring system. In Proceedings of the 24th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 24–30, doi: /10.1145/3606305.3606316.

Todorka, L./ Lyuben, L./ Mihaela, A. (2022): Studing the temperature microclimate in beehives made out of defferent materials, *Innovations Vol. 10* (2022), Issue 2, pg(s) 91-92.

Torky, M./ Nasr, A.A./ Hassanien, A.E. (2023): Recognizing Beehives' Health Abnormalities Based on Mobile Net Deep Learning Model. *Int J Comput Intell Syst* 16, 135 (2023), doi: /10.1007/s44196-023-00311-9.

Várkonyi, D.T./ Seixas, J.L./ Horváth, T. (2023): Dynamic noise filtering for multi-class classification of beehive audio data, *Expert Systems with Applications*, Volume 213, Part A, 2023, 118850, ISSN 0957-4174, doi: /10.1016/j.eswa.2022.118850.

Venugopal, C./ Thangavel. B./ Leascu, N. (2023): "BeeNow - A Remote Beehive Monitor using IoT," 2023 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISIEA58478.2023.10212333.

Voudiotis, G./ Moraiti, A./ Kontogiannis, S. (2022): Deep Learning Beehive Monitoring System for Early Detection of the Varroa Mite. *Signals*. 2022; 3(3):506-523, doi: /10.3390/signals3030030.

Yoo, J./ Siddiqua, R./ Liu, X./ Asif Ahmed, K./ Hossain, Z. (2023): BeeNet: An End-To-End Deep Network For Bee Surveillance, *Procedia Computer Science*, Volume 222, 2023, Pages 415-424, ISSN Zaman, A./ Dorin, A. (2023): A framework for better sensor-based beehive health monitoring, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 210, 2023, 107906, ISSN 0168-1699, doi: /10.1016/j.compag.2023.107906.

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