

Abschlussbericht

Teil I und II

zum Verbundprojekt

Entwicklung digitaler vernetzter Sensoren für vitalere Bienen (Biene40)

Teilprojekt A Hochschule Niederrhein

Förderkennzeichen: 281C305A19

Zuwendungsempfänger: Hochschule Niederrhein University of Applied Science,
Reinarzstr. 49, 47805 Krefeld

Ausführende Stelle: Institut für Geschäftsprozessmanagement und IT
(GEMIT)

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Claus Brell
Claus.Brell@hs-niederrhein.de
T: +49 (0)2161 186-6419

Laufzeit und Berichtszeitraum: 01.03.2021 bis 29.02.2024

Erstellungsdatum: 20.02.2024

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unter dem Förderkennzeichen 281C305A19 gefördert.

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung	3
I.1	Ziel und Aufgabenstellung	3
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
I.5	Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
II.	Eingehende Darstellung	10
II.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	10
II.2	Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	22
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	22
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	23
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	24
II.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	25

I. Kurzdarstellung

I.1 Ziel und Aufgabenstellung

Wie kann die Bienenhaltung mit dem Einsatz digitaler vernetzter Sensoren insbesondere für Neuimkerinnen und -imker einfacher und damit die Bestäubungsleistung in Deutschland höher werden? In einem Design-Science-Research-Ansatz in engem Schulterschluss mit der Imkereipraxis wurden in Biene40 dazu technische Möglichkeiten für das Bienenstock Monitoring untersucht und praktikable Produktvorstufen für Sensorik im Bienenstock entwickelt.

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung digitaler vernetzter Sensoren für vitalere Bienen über Labormuster bis zur Prototypenreife und die Vorbereitung der Marktverfügbarkeit der vernetzten Sensoren. Intelligente Sensorik soll es Imkernden ermöglichen, mehr über das eigene Bienenvolk und dessen unmittelbare Umgebung zu erfahren, ohne zum Volk hinfahren und die Beute öffnen zu müssen. Dazu gehört auch der Aufbau einer besonders einfach zugänglichen Plattform, welche die Daten der Sensoren sammelt, mit zusätzlichen Informationen anreichert und über das Internet zur Verfügung stellt. Daraus sollte eine geringere Mortalität - z. B. kein unentdeckter Futtermangel - und eine höhere Vitalität der Bienenvölker resultieren mit positiven Effekten auf den gesamten Bienenbestand und die Bestäubungsleistung.

Der Einsatz der vernetzten Sensoren soll Imkerneulinge, aber auch Landwirtschaft und Erwerbsimkereien in die Lage versetzen,

- einfacher,
- zu geringeren Kosten und
- minimalinvasiver

als bisher mit Honigbienen umzugehen. Biene40 ist primär ein praxisorientiertes Entwicklungsprojekt, das im Zuge der begleitenden Labor- und Feldtests aber auch Daten und Erkenntnisse für die Grundlagenforschung gewinnt.

Durch die Befassung mit den Informationen aus den Bienenstöcken sollte das Verständnis für die Bedarfe und Verhaltensvielfalt der Honigbienen zunehmen und damit das Verständnis für Bestäuberinsekten insgesamt (Awareness). Darüber hinaus erwarten wir positive Effekte auch für Wildbienen.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Förderliche Voraussetzungen

Die wissenschaftliche Mitarbeiterin (Julia Wurm, Master Betriebswirtschaftslehre) und die studentische Kraft (Marco Messelken, Betriebswirtschaftslehre, Imker, Bienensachverständiger)

konnten zeitnah zum Projektbeginn eingestellt werden. Durch die imkerliche Tätigkeit des Projektleiters (Prof. Dr. Claus Brell, Physiker, Professur für Wirtschaftsinformatik) und seine Zugehörigkeit zu zwei großen Imkervereinen sowie vielfältige imkerliche Kontakte in Rheinland-Pfalz, dem Allgäu und Südtirol und den Kontakten zu bienen- und technikaffinen Schulen konnten in Teilbereichen Citizen Scientists gewonnen werden. In Vorläuferprojekten zur digital gestützten Beobachtung des Brutverhaltens von Singvögeln (naturwatch.HN, Heinz Sielmann Stiftung) sowie dem Verkehrsmonitoring im Rahmen eines Logistik-Projektes (logistiCS.NRW, EFRE) wurden bereits Teile der für das Projekt Biene40 vorgesehenen Technik untersucht.

Hinderliche Voraussetzungen

Aufgrund der Corona-Krise waren Microcontroller und Sensortypen, auf die gesetzt wurde, längere Zeit in Deutschland nicht verfügbar. Danach stiegen die Kosten soweit, dass der Zielpreis für die in Markt-Bringung nicht mehr realistisch schien. Es mussten mit erheblichem Zeiteinsatz Alternativen gefunden werden. Zwischenzeitlich kamen gänzlich andere Microcontroller als geplant zum Einsatz. Mit der Ukraine-Krise besserte sich die Situation auf dem Chipmarkt nur zögerlich. Vor Projektstart wurde angenommen, dass in wenigen Jahren der Durchbruch von LoRaWAN z. B. in Form des TTN-Netzes flächendeckend in Deutschland erfolgt. Dem ist nicht so, es ist eher kein Ausbau und eher eine Abkehr von LoRaWAN zu beobachten. Die Preise für die Sendekomponenten sind stark gestiegen. Es musste eine technische Ausweichmöglichkeit (hier erfolgt durch die Entwicklung von IoT-Mobilfunk-Gateways) gefunden werden. Im Sommersemester 2021 mit Zuwendung und Projektstart von Biene40 hatte Prof. Brell ein Forschungssemester geplant und lange vorbereitet. Überraschend und inhaltlich unbegründet wurde das Forschungssemester nicht genehmigt. Die Zeit fehlte beim Projektstart.

Umgang mit den Voraussetzungen im Projekt

Es konnten in allen hinderlichen Punkten Alternativen und Ausweichmöglichkeiten gefunden werden, so dass das Projekt Biene40 deutlich sichtbare Erfolge verzeichnet. Einige geplanten Tätigkeiten werden in die Verwertungsphase übertragen.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Start des Projektes

Das Projekt startete am 01.03.2021 und endete am 29.02.2024. Das Vorhaben ist in sieben Arbeitspakete aufgeteilt, die von den am Projekt beteiligten Institutionen Hochschule Nieder-

rhein, clabremo GmbH und Bienenland mit jeweils unterschiedlichen Anteilen bearbeitet wurden (siehe Kap. II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele)

Ablauf des Vorhabens

Mit dem Kickoff Workshop startete das Projekt. Es erfolgte eine fortwährende Projektsteuerung (Arbeitspaket AP1), welche die administrativen Prozesse beinhaltet. Der inhaltliche Schwerpunkt des Projektes liegt auf der Entwicklung (Arbeitspaket AP2) und Testung (Arbeitspaket AP3) von Labormustern und Prototypen. Die Prototypen basieren schlussendlich auf Temperatur- und Soundsensoren, hiermit konnten in Bienenstöcken praxisnahe Ergebnisse in Labor- und Feldtests erzielt werden. Für den Zugriff einer Imkerei auf die eigenen Daten sowie auf die integrierten externen Daten wird eine Plattform in Form einer Informationsdrehscheibe bestehend aus einer Datenbank und einem Dashboard entwickelt (Arbeitspaket AP3). Die Informationsdrehscheibe soll auch anonymisierte und agglomerierte Daten jeweils anderer Imkereien mit einbeziehen. Externe Daten sind vor allem Wetterdaten von Wetterdiensten, die in Kombination mit den eigenen erhobenen Daten eine Bewertung eines Bienenstandortes zulassen. Über eine einfache REST-API können zukünftig sowohl Fremdsensoren als auch andere Plattformen angebunden werden. Daten aus Social Media mit einzubeziehen erwies sich als nicht praxisrelevant. Die Entwicklung erfolgt in einem iterativen, zyklischen Prozess zwischen AP2, AP3 und AP4.

Für die Datenanalyse mit KI und BI und die Prognosemodelle (Arbeitspaket AP5) sollte zunächst ein Konzept erstellt und ein Demonstrator programmiert werden. Statistikmodelle und Clusteranalysen sollten angewendet werden. Im Projektverlauf erwies sich eine einfachere Vorgehensweise als zielführender. Im Grundsatz soll sich die Technik störungsfrei an die Betriebsweise in der Imkerei anpassen. Für die Nutzung der Technik sollen Handreichungen aus technischer und bienenfachlicher Sicht erstellt werden (Arbeitspaket AP6). Bienen als Biosensoren zum Einsatz in der Landwirtschaft sollen ebenfalls technisch und bienenfachlich beurteilt werden.

Nutzen der Projektergebnisse während der Projektlaufzeit

Die Daten aus den Labor- und Feldtests sollen zeitnah öffentlich zur Verfügung gestellt werden, damit auch andere Forschungsgruppen davon profitieren können.

Die (Teil-) Ergebnisse werden zeitnah öffentlich zugänglich gemacht, in Workshops bearbeitet und auf Messen und Tagungen vorgestellt. Als Publikationsmedien dienen die Projekt-Internetseite <http://bieneviernull.de>, die Fachpresse, frei zugängliche Repositorien und Social Media mit Schwerpunkt YouTube und X (ehem. Twitter).

Die erzielten Ergebnisse wurden schon während der Projektlaufzeit in die Lehre und in Abschlussarbeiten integriert. Ebenso werden basierend auf den Projektergebnissen Folgeprojekte beantragt. Seitens der Hochschule ist das schon während der Projektlaufzeit gelungen.

Verwertung

Zur In-Markt-Bringing der entwickelten Prototypen durch den Partner clabremo wurden Konzepte erstellt (Arbeitspaket AP7, Arbeitsbericht 5 und Arbeitsbericht 6). Die Konzepte enthalten eine analytische Bewertung von Web-Shops und Mietmodellen als Alternative zum Kauf.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

KI in der Forschung

Eine Auswertung von Beobachtungsdaten an einzelnen Bienen mit Hilfe neuronaler Netze wurde derzeit an der FU Berlin durchgeführt (Dr. Siefert, jetzt Frankfurt). Dabei wurden Bewegungsmuster oder auch die Vermehrung der Varroamilbe in der Brutzelle durch Zeitrafferaufnahmen sichtbar gemacht und mit KI bewertet.

Fokus der Bienenforschung

Die (insbesondere universitäre) Forschung konzentrierte sich zum damaligen Stand auf die Bekämpfung der Varroa-Milbe (Dr. Liebig) und das Verständnis der kognitiven Leistungen von einzelnen Bienen (Prof. Dr. Menzel, Prof. Müller). Sensoren und Datenlogistik wurden in anderen Vorhaben für die Forschung eingesetzt (Prof. Dr. Tautz), waren aber selber nicht Ziel der Forschung. Gerade die Temperatur im Bienenstock ist in Teilen gut untersucht (z. B. Kleinhenz 2008), das Erkenntnispotenzial wird aber in der imkerlichen Praxis nicht ausgeschöpft. Was fehlte, war, verschiedene Daten aus Sensoren zusammen zu bringen und daraus Schlussfolgerungen abzuleiten.

Stand der Technik

Es wurden bereits Systeme am Markt angeboten, die disjunkt einen Teil der Leistungen anbieten, die in Biene40 erarbeitet werden sollen. Viele Systeme sind entweder aus universitären oder privaten Motiven von technisch und/oder an Honigbienen Interessierten entstanden. Ein vor allem einfaches und kostengünstiges, effizientes Gesamtkonzept fehlte zum Zeitpunkt der Antragsstellung. Beispiele existierender Lösungen waren:

1. Seit Mai 2019 bietet die Fa. AI Ventures UG mit „AproneX“ Temperatursensoren zum Einschrauben in Rähmchen an. Die Daten können über eine Internetseite eingesehen werden. Das System ist technisch gut durchdacht, bringt jedoch imkerliche Einschränkungen mit

(halbe Wabe wird blockiert, muss vor dem Wabenbau eingebracht werden, Funktionsfähigkeit mit Metall-Beutendeckel unklar).

2. Mit dem HOBOS Projekt hat die Arbeitsgruppe Prof. Tautz ein System zur Messung von Daten in Bienenstöcken und Sammlung der Daten auf einem Webserver entwickelt. Das Projekt war richtungsweisend und ein wichtiger Beitrag zur Digitalisierung der Imkerei, ist allerdings ausgelaufen und wird nicht weiter finanziert. Es ist kein marktgängiges Produkt entstanden, die in HOBOS verwendeten Trogbeuten sind für die Magazinimker nur schwer handhabbar.
3. Bee Observer - BOB: Risiken und Gefahren für Honigbienen erkennen und reduzieren, Universität Bremen. Das Projekt wird nach Förderende nicht fortgesetzt.
4. Die Arbeitsgruppe Kognitive Neuroinformatik der Universität Bremen wurde gemeinsam mit Hiveeyes 2017 - 2019 als Citizen-Science-Projekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Projekt Hiveeyes ist noch aktiv, ist jedoch für Imker ohne Informatik-Studium schwer zugänglich.
5. Privat motivierte Aktionen in Imkervereinen beginnen mit großem Enthusiasmus und enden dann, wenn die Ziele der Akteure erreicht sind, so z. B. wenn die selbstgebauten Waagen im Internet sichtbar sind: <https://imker-nettetal.de/nsa-for-bees/>. Die Bauanleitungen werden oft online gestellt, erfordern jedoch ein hohes technisches Interesse bei denen, die es nachvollziehen möchten.
6. Seit 2016 gibt es das Community-Projekt beelogger. Mit Erfolg entwickelt das derzeit vierköpfige Team die Arduino-basierte Trachtwaage weiter.
7. Im Laufe des Projektes wurden erneut Angebote am Markt untersucht - so wurden allein 13 Systeme für Trachtwaagen gefunden (siehe Tab.5)

I.5 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Stand der Forschung

Die Forschungslage wurde zu Beginn und zum Ende des Projektes untersucht. Dabei nahm die Anzahl der für Biene40 relevanten Publikationen im Zeitraum von 2011 bis 2021 von 57 auf insgesamt 104 bis Ende 2023 zu. Gerade KI-Ansätze machten große Fortschritte, sind aber noch davon entfernt, praktisch in preiswerten Sensoren eingesetzt werden zu können. Viele Arbeiten konzentrieren sich auf Gewicht (Trachtwaagen), Temperatur- und Klangereignisse im Bienenstock. Es wurden 13 kommerzielle und Community-Waagensysteme identifiziert. Da es gute Waagen gibt (Arbeitsbericht 2, Liste 1), konzentriert sich Biene40 auf Temperatur- und Klangereignisse im und am Bienenstock.

Stand der Technik, Anwendbarkeit

Mit gängigen Microcontroller-Arten (Raspberry Pi, Raspberry Pico, Atmega168-P, Attiny85, ESP32, ESP8266) und unterschiedlichen Sensoren wurden Demonstratoren entwickelt und in verschiedenen Funknetzen (LoRaWAN, 433 MHz, WLAN) und Beutensystemen (Mini-Plus, Kombi, Dadand 12er, EasyBeeBox) getestet. Dabei stand die Praxisnähe und unmittelbare Anwendbarkeit stets im Vordergrund.

Mit den entwickelten Sensoren können folgende imkerliche Situationen proaktiv unterstützt werden:

- Futterknappheit (Winter)
- Detektion, ob das Volk noch lebt (Vorfrühling)
- Schwarm-Akt (Vollfrühling, Frühsommer)
- Brütendes Volk
- Beutenmaterialien (Styropor ist wärmer als Holz)
- Detektion von Hitzestress

Weiterführende Unterlagen finden sich in den Vortragsfolien zum Abschlussworkshop auf der Projektseite.

Prototypen

Die Demonstratoren und Prototypen wurden vom Wirtschaftspartner clabremo entwickelt und im Labor sowie im Feld unter Begleitung der Hochschule getestet. Für den Feldtest hat Wirtschaftspartner Bienenland ständig zwei mal zehn Völker in zwei unterschiedlichen Standardbeuten unterhalten.

Im Ergebnis wurden viele unterschiedliche Prototypen auf Praxistauglichkeit in Imkereivereinen diskutiert und getestet - die meisten wurden aus imkerlichen Gründen (Verschmutzung, Beschränkung des imkerlichen Handelns, Wartungsunfreundlichkeit, unsichere Versorgungslage hinsichtlich der Komponenten, Nutzen fällt hinter den Aufwand zurück) verworfen.

Erkenntnis - Was alles nicht funktioniert

Ein wesentliches Ergebnis ist die Erkenntnis, was alles nicht funktioniert und warum (vgl. Abb. 10 und Ausführungen in Kap. II.1 ab S. 20). Solche Ergebnisse führen i. d. R. nicht zu einem Erfolg bei der weiteren Mitteleinwerbung und werden daher leider regelmäßig nicht publiziert. Wir werden - auch nach Förderende - diese Erkenntnisse offenlegen und über die Projektseite zur Verfügung stellen.

Zusammenarbeit

Biene40 ist ein Verbundvorhaben der Partnerinstitutionen Hochschule Niederrhein, Mönchengladbach als Lead und der Unternehmen clabremo GmbH, Mönchengladbach und Bienenland van den Bongard, Willich-Anrath. Das Fachzentrum Bienen und Imkerei in Mayen, Leitung Dr. Christoph Otten, wirkte als assoziierter, bienenwissenschaftlicher Partner im Projekt mit. Von Beginn an setzte Biene40 (als praxisorientiertes Projekt mit hohem Anwendungsbezug) auf einen engen Kontakt zu anderen Stellen:

Bienenfachliche Zusammenarbeit

Während der Projektlaufzeit wurde der Schulterschluss zu Imkervereinen und -verbänden gesucht. Die Projektergebnisse wurden unter imkerlichen Gesichtspunkten diskutiert. Hierzu wurden die monatlichen Treffen in den Vereinen regelmäßig genutzt.

Technische Zusammenarbeit

Im schon während der Projektlaufzeit eingeworbenen Folgeprojekt obliegt die technische Entwicklung der Hochschule für Technik im Saarland und der Fa. IKADO in Aachen. Hier wurden Daten und Entwicklungsstände bezüglich der Sensorik in einem gemeinsamen zweiwöchentlichen Jour Fixe ausgetauscht.

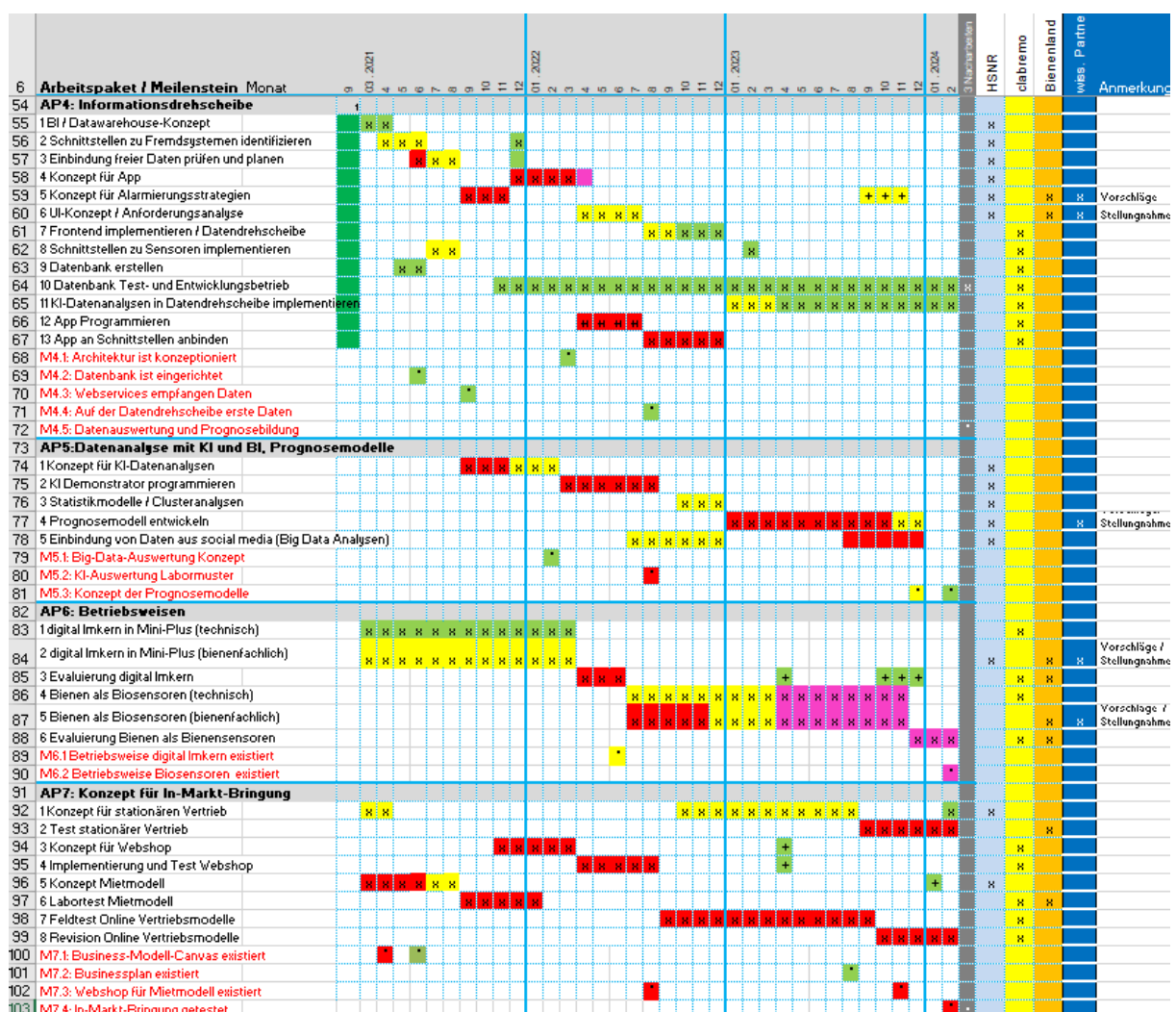
Austausch mit anderen Projekten der Förderlinie

Unterstützt von der Vernetzungs- und Transfermaßnahme Beenovation wurden Anknüpfungspunkte (technische Lösungen für Sensorik) und gemeinsame Problemstellungen (z. B. Repository für Forschungsdaten) gefunden.

Austausch mit anderen Forschungseinrichtungen

Mit der TU Chemnitz wurde hinsichtlich der Soundbearbeitung (dort bei Singvögeln, Stefan Kahl) und mit dem Institut für Bienenkunde, Polytechnische Gesellschaft Goethe-Universität Frankfurt/Main hinsichtlich KI-gestützter Videoaufnahmen (Paul Siefert) Kontakt aufgenommen. Mit der LWK Rheinland wurde der Einsatz der Biene40-Technik in der Schweinehaltung

Imkervereinen, Lehrenden und Schülerinnen und Schülern sowie Interessierten wurden entsprechend geplant und durchgeführt (siehe Auflistung Kapitel II.6). Ebenfalls wurden Vorträge auf Fachtagungen und Messen gehalten (Liste 3). Entsprechende Handreichungen und weitere Veröffentlichungen wurden publiziert (siehe Kapitel II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse). Die Kommunikation mit dem Projektträger fand regelmäßig statt. Innerhalb des Projektes wurden jede Woche in einem Jour Fixe der Stand festgehalten und die nächsten Aktivitäten festgelegt. Auf dem Abschlussworkshop am 06. Februar 2024 wurden die Projektergebnisse präsentiert (Ergebnisse sind auf www.bieneviernull.de veröffentlicht, die Videos der Vorträge des Abschlussworkshops sind auf YouTube zu finden).



Tab. 2: Projektzeitplan AP4-AP7

Verwendung der Zuwendung

Arbeitspaket 1 oblag allein der wissenschaftlichen Mitarbeiterin. Sie übernahm die komplette Koordination der Termine und organisierte Workshops sowie Messevorbereitungen. Zudem war sie - teilweise als Erstautorin - an den inhaltlichen Arbeiten an Veröffentlichungen sowie

an der Platzierung dieser beteiligt. Für die Fahrten zu den Veranstaltungen/Messen sind Reisekosten angefallen.

AP2: Labormuster und Prototypen

Labormuster und Prototypen (Abb. 5 - 7) wurden durch clabremo erstellt und in Zusammenarbeit mit Bienenland getestet (Abb. 1). Eine Ausführliche Darstellung findet sich im Abschlussbericht der Verbundpartner.



Abb. 1: Teststand mit 20 Bienenvölkern, zehn in Styropor (Kombisystem) und zehn in Holz (Dadant 12er). Der Teststand befindet sich in einem Autobahndreieck. Dadurch entstanden viele praxisnahe Audioaufnahmen mit zu erwartenden Störungen. Der Teststand wurde vom Projektpartner Bienenland - auf dem Bild Imkermeisterin Iris van den Bongard - aufgebaut und unterhalten.

AP3: Test und Evaluierung

Erreichte Ziele

Es wurden die in AP2 entwickelten Labormuster der Sensoren in unterschiedlichen Beutensystemen eingebracht und im Feld getestet (Abb. 5; Abb. 6 und Abb. 7 zeigen nicht weiter verfolgte Entwicklungen). Die Tests sind Auslöser für weitere Iterationen in AP2. Die Konzeption der Feldtests und der größte Teil der Durchführung sowie die komplette Dokumentation oblag der Hochschule Niederrhein. Die Tests in Mini-Plus wurden direkt mit clabremo, in zwei unterschiedlichen gängigen Beutensystemen in enger Zusammenarbeit mit Bienenland durchgeführt. Weiterhin wurden Tests in verschiedenen Beutensystemen bei Imkernden der Vereine Tönisvorst, Viersen Stadt (87 Mitglieder) und Krefeld (134 Mitglieder) durchgeführt. Begleitend zur Evaluierung wurden Workshops und Vorträge vorbereitet und durchgeführt. Die Ergebnisse wurden u. a. auf dem Westdeutschen Entomologentag (Düsseldorf) und der UKW-Tagung (Weinheim) vorgetragen und in den Tagungsbänden veröffentlicht (Liste 3).

Nicht erreichte Ziele

Ein Teil der Tests sollte beim bienenkundlichen Partner durchgeführt werden. Zunächst war das aufgrund von Hochwasserschäden nicht möglich, zu einem späteren Zeitpunkt war es zeitlich nicht durchführbar, da alle funktionierenden Testinstallationen in Beuten eingesetzt waren. Für eine größere Bandbreite der Ergebnisse sollten ebenso Tests in Rheinland-Pfalz, im Allgäu und in Südtirol (St. Lorenzen, Tiesens, Hafling) durchgeführt werden, u. a. aufgrund der Pandemie konnte dies nicht wie geplant umgesetzt werden.

Verwendung der Zuwendung

Es wurden i. w. Personalmittel für die wissenschaftliche Mitarbeiterin und eine studentische Kraft aufgewendet. Die Tätigkeiten wurden je nach Kompetenzprofil zwischen wissenschaftlicher Mitarbeiterin, studentischer Kraft und projektleitendem Professor aufgeteilt.

AP4: Informationsdrehscheibe

Erreichte Ziele

Die konzeptionelle Gestaltung (Architektur und Modellierung) oblag der Hochschule, die Implementierung und der Betrieb der prototypischen Anwendung clabremo. Im ersten Schritt wurden Daten aus den Bienenstöcken in einer Datenbank gesammelt und über ein Dashboard visualisiert (Abb. 2). Kern der Datenorganisation ist eine Sensornummer, die im Regelfall einem Bienenvolk zugeordnet ist und mehrere Temperatur- und Soundsensoren enthalten kann. Im zweiten Schritt wurden allgemein verfügbare Daten integriert - hier Wetterdaten aus der Umgebung (Abb. 3). Im dritten Schritt können aus dem zeitlichen Verlauf der Daten Prognosen abgeleitet werden (Abb. 4). Diese werden dann an die Imkerinnen und Imker über eine WebApp zurückgekoppelt. Das Vorgehen im Projekt folgte der Prämisse „schrittweise und schnell Erfolge sichtbar machen“ und entspricht damit einer agilen Arbeitsweise.

Nicht erreichte Ziele

Geplant war, die Daten über eine neu zu entwickelnde App für iOS und Android und auch über SMS zurück zu koppeln. Ergebnis der Diskussion in den Vereinen war, dass der Bedarf an spezifischen Apps kaum noch ausgeprägt ist, die Installation von Apps eher abgelehnt wird und eine Alarmierung über SMS mittlerweile einen sehr geringen Stellenwert hat. Das Ziel wurde daher verworfen, stattdessen wird alles über eine WebApp (Datenbank und Dashboard) visualisiert.

Verwendung der Zuwendung

Es wurden i. w. Personalmittel für die wissenschaftliche Mitarbeiterin und eine studentische Kraft aufgewendet. Die Tätigkeiten wurden je nach Kompetenzprofil zwischen wissenschaftlicher Mitarbeiterin (betriebswirtschaftliche und Design-Kompetenz), studentischer Kraft (bienenfachliche Kompetenz) und projektleitendem Professor (Informatik-Kompetenz) aufgeteilt.

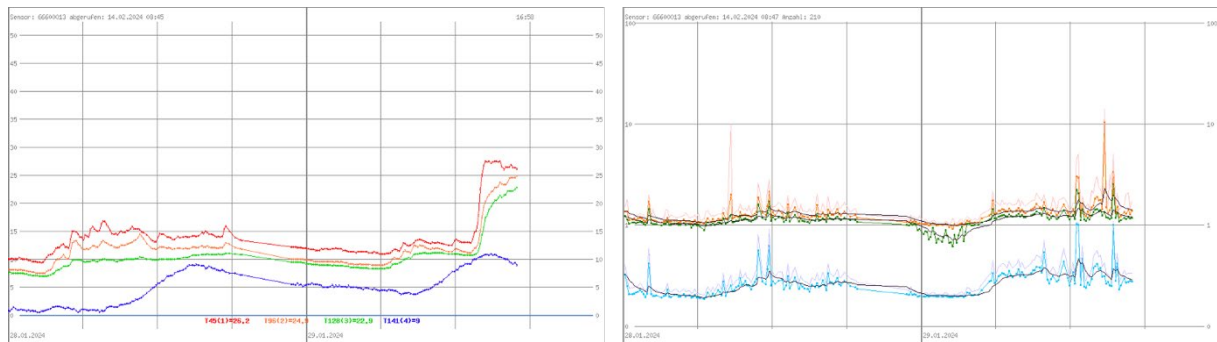


Abb. 2: Ansichten aus dem Dashboard - grafische Aufbereitung der gemessenen Temperatur- (links) und Sounddaten (rechts) für zwei Tage bis zum 29.02.2024. Die Temperatur im Bienenstock (rot, gelb, grün) folgt der Außentemperatur (blau), ist aber nachts 5° höher. Ab 14:00 am 29.01. ist zum ersten Mal im Jahr starker Flug zu sehen (Beginn des Vorfrühlings, Haselblüte in der Nähe). Die Innentemperatur nimmt deutlich zu. Zu sehen ist eine zeitgleiche Zunahme der Lautstärke in der Beute (rechts).

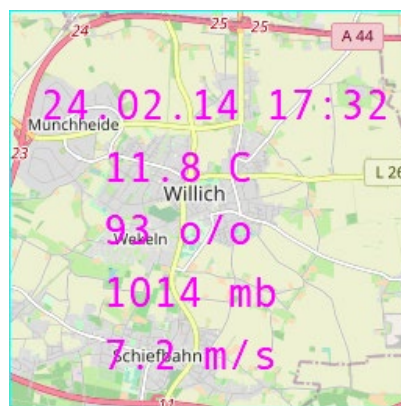


Abb. 3: Wetterdaten und Dashboard. Je nach geografischem Ort des Bienenstocks werden Wetterdaten mit einer topologischen Kachel mit einer Kantenlänge von etwa dem doppelten Bienenflugradius angezeigt. Eine räumlich feinere Darstellung ist von Imkernden nicht gewünscht, da sonst der Bienenstand lokalisiert werden kann und das Diebstahl- sowie Vandalismus-Risiko steigt.

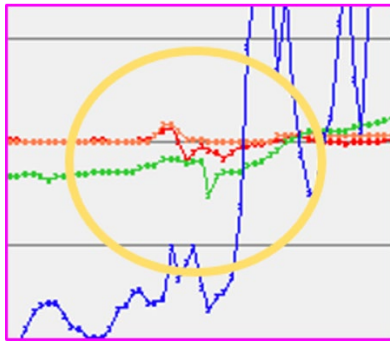


Abb. 4: Schwarmerkennung mit Temperaturmonitoring. Das Bild zeigt einen Ausschnitt aus dem Zeitverlauf der Temperaturen im Brutnest während eines Schwarmaktes. Die sonst konstante Temperatur (34,5°) im Brutbereich (rot, nahe Flugloch) sowie auch an anderen Stellen in der Beute steigt leicht an, um gleich wieder zu sinken. Die verbleibenden Bienen nehmen sofort wieder die Temperaturregulation der Brut auf. In den begleitenden Sound-Aufnahmen nimmt die Lautstärke zu, besonders die der "Flugfrequenz" um 250Hz.

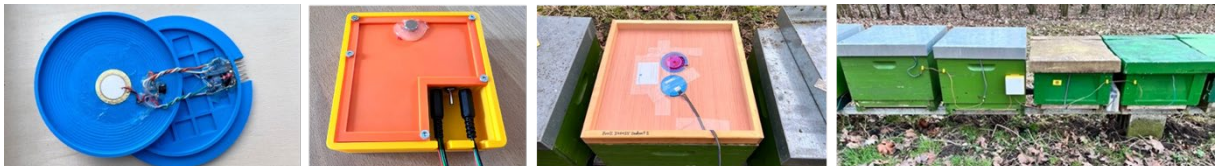


Abb. 5: Prototypen des Temperatur- und Vibrations-Kombisensors im Feldtest. Der Sensor passt bündig in Beuten-Innendeckel und lässt sich mit dem Stockmeißel reinigen. V.l.n.r.: Kombisensor in der Bauform für den Einbau in den Beuten-Innendeckel, WLAN- Sendeeinheit mit Mikrocontroller, Einbau von zwei verschiedenen Ausführungen des Sensors in den Beuten-Innendeckel, mehrere Beuten, die mit den Sensoren ausgestattet sind.

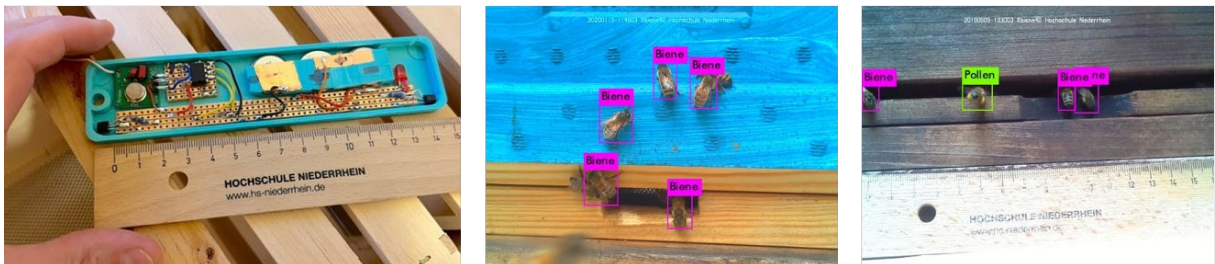


Abb. 6: Funk- und KI-Sensoren, deren Entwicklung vorerst zurückgestellt wurde: Links ist ein Brutraum-Innensender auf 433 MHz Basis dargestellt. Der Sender funktioniert unter Blechdeckeln und gleichzeitig gefülltem Honigkranz unzuverlässig. Mitte und rechts sind KI-Zähl-Analysen von Bienen mit und ohne Pollenhöschen gezeigt. Die Zählung funktioniert zuverlässig, benötigt aber dauerhaft 5W Leistung am Standort und erfordert einen Aufbau im Arbeitsraum vor der Beute - das stört in der Imkereipraxis.



Abb. 7: Wenig erfolgversprechende Sensorik im Innenraum von Bienenstöcken. Bienen versuchen, Sensorik aus ihrem Lebensumfeld herauszuhalten. Links: Bienen zerfressen Isolierungen, z. B. Schrumpfschlauch. Weichmacher aus PVC-Isolierungen wird herausgelöst, Kabel werden steif und brüchig. Kupfer ist mehrere 10 cm in die Isolierung hinein korrodiert. Mitte: Bienen zerfressen das Filz auf Elektret-Messmikrofonen. Das kleine Loch in der Metallkappe wird mit Propolis verfüllt. Die Stockluft sorgt für eine rapide Alterung des Mikrofons. Nach vier Monaten im Stock ist ein Elektret-Mikrofon ohne Funktion. Rechts: Funktionsfähige, aber angegriffene Sensoren, die eine Weile auf dem Oberträger gelegen haben. Lebensmittelechte Polyethylenhüllen werden von Bienen zerfressen. Was nicht zerfressen wird, erhält einen Propolis- und Wachs-Überzug. Geeignetes Reinigungsmittel: 40% Benzin, 40% Ethanol, 20% A.dest. Das reinigt allerdings auch Weichmacher aus Kunststoffen wie Kabelisolierungen heraus.

AP5: Datenanalyse mit KI und BI, Prognosemodelle

Erreichte Ziele

Lediglich die Vorversuche waren vielversprechend - so sollte für den Transfer der Erkenntnisse aus dem vorangegangenen Projekt logistiCS.NRW auf das Projekt Biene40 die KI direkt auf dem Sensor bzw. dem angeschlossenen Microcontroller eingesetzt werden. BI (Business Intelligence) bedeutet, dass die für Business Analytics verwendeten Werkzeuge genutzt werden sollten, um z. B. über Clusteranalysen Zusammenhänge zwischen Messdaten und den mit KI erhaltenen aufbereiteten Bilddaten herzustellen.

Nicht erreichte Ziele

Die Arbeiten an der KI wurden, obgleich technisch vielversprechend (siehe Abb. 6), nicht fortgeführt. Bereits früh ergaben sich Gespräche zu einem Folgeprojekt AI4Bee, das mittlerweile auch bewilligt ist und erste Ergebnisse zeigt. Kern dieses Projektes AI4Bee ist eine KI-gestützte Trachtwage. Auch in der KI-gestützten Soundanalyse (mit Autoencoder, dem KI-Nachfolger der bekannten mathematischen Hauptkomponentenanalyse) ist in AI4Bee mehr Kompetenz und Personalstärke gebündelt, so dass bei Bedarf auf die Erkenntnisse dort zurückgegriffen wird. Die Daten aus den Bienenstöcken sollten mittels KI auf Indikation von Störungen und besonderen Zuständen vor Ort (Polleneintrag, Flugbetrieb) ausgewertet werden. Auch hier ist eine KI-Lösung wenig angemessen, es funktioniert mit einfachen regelbasierten Verfahren (die heute allerdings auch unter dem Begriff "symbolische KI" firmieren. Bei symbolischer KI handelt es sich um regelbasierte Künstliche Intelligenz. Sie verfolgt einen Top-down-

Ansatz und repräsentiert Wissen durch Logik und abstrakte Symbole. Aufgabenstellungen löst sie, indem sie logische Regeln anwendet).

Verwendung der Zuwendung

Die Mittel wurden für die Konzeption und Bewertung von Lösungsansätzen aus bienenfachlicher Sicht verwendet. Hier wurde auf Befragungsergebnisse in Imkereivereinen und auf die bienenfachliche Kompetenz des studentischen Mitarbeiters zurückgegriffen.

AP6: Betriebsweisen

Erreichte Ziele

Neben der Evaluierung der Sensor-Prototypen in Standard-Magazinbeuten eignet sich die Sensorik besonders, um kritische Zustände wie Futtermangel im Winter in kleinen Beutenformaten zu detektieren. Für die Vermehrung von Königinnen hat sich, vor allem in der Dadant-Imkerei, das Mini-Plus-Format als praktische Ergänzung erwiesen. Mini-Plus wird unterschätzt, die kleine Beute eignet sich auch, um Neulinge an die Imkerei - zunächst mit einem Ableger - heranzuführen. Der Projektleiter arbeitet seit knapp fünf Jahren ausschließlich in Mini-Plus. Das funktioniert gut, wenn die erlebnisorientierte bzw. erkenntnisorientierte Bienenhaltung und nicht der Honigertrag wichtig ist. Im Rahmen von Biene40 entstand "Meterbiene", ein Mini-Plus kompatibles System mit Platz für 21 Rähmchen (Abb. 8 und Abb. 9). Das Arbeiten damit ist dem in einer Großraumbeute nicht unähnlich und erfordert eine Betriebsweise mit Schieden. Der Vorteil ist, dass auf einer Ebene mit Folie gearbeitet werden kann und die Bienen so ohne Zugluft beobachtet werden können. Ein Nachteil ist ein denkbarer Futterabriss im Winter (bis jetzt nicht beobachtet), dem allerdings durch die in Biene40 entwickelte Sensorik entgegengewirkt wird. Im Rahmen von Biene40 entstanden einige Detailanleitungen, in der Verwertungsphase soll sich daraus ein Buch "Erlebnisorientiert Imkern in Mini Plus" entwickeln.

Nicht erreichte Ziele

Die Arbeiten am Buch sind noch nicht abgeschlossen. Es wird eine Veröffentlichung in der Verwertungsphase im Oktober 2024 angestrebt.

Verwendung der Zuwendung

Konzeptionelle Arbeiten seitens der wissenschaftlichen Mitarbeiterin und der studentischen Kraft sind in die Erstellung von Schulungsunterlagen (Abb. 10) eingeflossen. Die Schulungsunterlagen werden auch das Material für das geplante Buch liefern.



Abb. 8: Meterbiene, die lange Variante von Mini-Plus. Die ausgeprägte Deckelisolierung mit 5cm dickem Styropor erleichtert es den Bienen, im Winter die Temperatur zu halten und den Futterverbrauch zu senken.



Abb. 9: Bienen am Flugloch von Meterbiene. Mit einer am Markt bereits verfügbaren Funkmikrofontechnik wurden Referenzaufnahmen erstellt, die für die Kalibrierung der im Projekt entwickelten Vibrationsensoren genutzt werden.

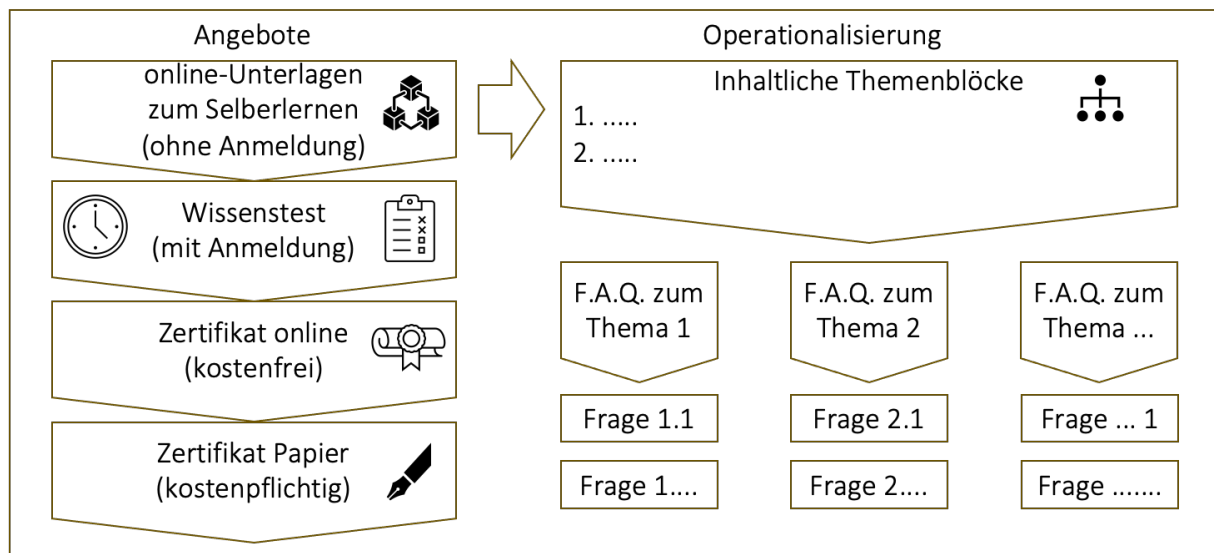


Abb. 10: Schulungskonzept zur Digitalisierung der Bienenhaltung. Grundsätzlich ist die Schulung als Selbstlerneinheit mit einem Wissenstest konzipiert. Die Selbstlerneinheit deckt wesentliche Digitalisierungsthemen ab. Die inhaltlichen Themenblöcke sind als Übersichtsseite (Linkliste) gefasst. Die Substruktur ist – wie eine F.A.Q. – in Fragen organisiert. Zu jeder Frage gibt es einen eigenen kurzen Beitrag. Der Wissenstest ist ein MC-Test, 30 zufällig ausgewählte Items mit Einfachauswahl und vier Distraktoren. Ab 80% (24 richtigen Antworten) gilt der Test als bestanden. Es gibt ein personalisiertes Online-Zertifikat (kostenfrei). Ein Papierzertifikat wird gegen eine Gebühr ausgestellt. Der Kurs wird beim Wirtschaftspartner clabremo gehostet. clabremo hat die dafür notwendige Technik entwickelt.

AP7: Konzept für In-Markt-Bringung

Erreichte Ziele

Es wurde ein grundsätzliches Konzept zur Vermarktung der Sensoren (Arbeitsbericht 6) sowie der Informationsdrehseife und für Schulungen (Abb. 10) entwickelt. Die betriebswirtschaftliche Konzeption übernahm die Hochschule (insbesondere für innovative Mietmodell). Die Überlegungen hinsichtlich eines Online-Vertriebsweges sind im Arbeitsbericht 5 (siehe Liste 1) zusammengefasst und können - bei weiteren Projekten - als Blaupause auch für andere kleinere Unternehmen genutzt werden.

Nicht erreichte Ziele

Geplant war, das Mietmodell schon während der Projektlaufzeit über den Bienenfachhandel zu testen. Aufgrund der Corona-Krise waren Elektronik-Komponenten nicht verfügbar und die Entwicklung der Sensoren verzögerte sich. Somit war das zu mietende Objekt noch nicht fertig, der Test des Mietmodells wurde nicht durchgeführt.

Verwendung der Zuwendung

Die Ausarbeitungen zur Auswahl eines online-Vertriebsweges (Arbeitsbericht 5) und das grundlegende Konzept für die In-Markt-Bringung der von clabremo entwickelten Sensoren (Arbeitsbericht 6) wurde durch die wissenschaftliche Mitarbeiterin erstellt. Der Katalog mit Fragen

und Antworten sowie Unterlagen zum Selbstlernen fertigten die wissenschaftliche Mitarbeiterin und die studentische Kraft an.

Weiter Erkenntnisse, die das Projekt lieferte

Kabel und andere Aufbauten stören

Viele Forschungsgruppen konzentrieren sich derzeit auf Klanganalysen und Temperaturmessungen - so wie Biene40 auch. Jedoch werden die Forschungsergebnisse nur eingeschränkt in die imkerliche Praxis Einzug halten. Das liegt daran, dass verkabelte Aufbauten das imkerliche Handeln massiv stören und der Nutzen weit hinter den Beeinträchtigungen zurückbleibt. Honigbienen gibt es fast unverändert seit 39 Mio. Jahren, sie haben die Dinosaurier und mehrere Klimakatastrophen überlebt. Es wäre vermessen anzunehmen, dass ein paar Sensoren oder wenige Jahre andauernde züchterische Bemühungen grundsätzliche Verbesserungen beim Umgang mit diesen Lebewesen bewirken. Am besten gedeihen Bienen, wenn man sie - bis auf wenige Ausnahmen, wie z. B. Varroabehandlung - in Ruhe lässt. Hierzu können die in Biene40 erzielten Ergebnisse allerdings Beiträge liefern - ein gemonitortes Bienenvolk wird weniger oft aufgemacht und mehr in Ruhe gelassen. Befragungen in den Imkereivereinen ergaben, dass das aber gar nicht alle Menschen wollen, sondern Ziel ist es oft, mit den Bienen direkt zu arbeiten und gerade keine Technik einzusetzen. (siehe Arbeitsbericht 4). Die Conclusio ist, dass sich Technik in die jeweilige Betriebsweise einfügen muss.

Bienen sind Sensor-unfreundlich

Ein Bienenstock ist kein freundliches Habitat für Sensoren. Im Rahmen von Biene40 wurden bei den Labor- und Feldtests viele Konstrukte identifiziert, die längerfristig im Bienenstock nicht funktionieren. Es genügt nicht, eine Sensorik nur ein paar Wochen auszuprobieren, manche grundsätzlichen Unzulänglichkeiten zeigen sich erst nach eineinhalb Jahren. So sind folgende Artefakte für den praktischen Einsatz ungünstig (und werden daher mittelfristig auch in der Imkerschaft nicht akzeptiert):

- Offene Kondensatormikrofone
- Gassensoren mit von Bienen zugänglichen Öffnungen
- Kameras mit für Bienen zugänglichen Linsen
- Kabel, die über die Oberträger aus dem Brutraum herausführen
- Kabel mit Weichmachern (in den Beuten)
- Aufbauten, die das normale Ziehen und Verschieben der Rähmchen einschränken
- Alle Gegenstände, die nicht mindestens in einer Dimension den beespace einhalten

Bienen sind keine planbaren Maschinen

Bestimmte Ereignisse geschehen nur zu einer bestimmten Zeit (oder auch nicht, so ließ sich in 2023 kein Schwarmakt provozieren). Die Zeitfenster für Feldversuche sind sehr klein. Das kann bei einem iterativen Forschungsprozess eine längere (>3 Jahre) Projektlaufzeit erfordern.

KI nicht um jeden Preis

Der zunächst verfolgte KI-Ansatz wird nunmehr nicht als erfolgversprechend angesehen, solange die Sensorik nicht leistungsfähig und stromsparend genug ist, um die Modelle "auf dem Edge" zu betreiben. Die meisten praktikablen KI-Ansätze sind zudem weniger innovativ als weithin angenommen - oft lassen sie sich mit 40 Jahren alten mathematischen Verfahren problemfrei substituieren.

Stromversorgung und Autarkie

Energie-Harvesting macht Sensorik kompliziert und teuer. So wurden gut funktionierende Setups mit Solarzellen und Stromspeichern gefunden, die Fehlerrate sinkt jedoch durch den Verzicht auf solche Lösungen und die Substitution durch konsequentes Energiesparen.

Funknetze

Es ist kein Verlass auf die Entwicklung von Funknetzen. Wurde 2019 LoRaWAN noch als zukunftssträftig angesehen, zeigt sich heute, dass sich die lückige Versorgung in Deutschland nur langsam bessert. Die Abhängigkeit von wenigen Hardwarelieferanten hat zudem zu einem Preisanstieg bei den erforderlichen Elektronikkomponenten geführt. Hinsichtlich Mobilfunk-IoT-Tarife konnten wir nur einen verlässlichen Partner in Deutschland identifizieren: 1nce (Telekom Tochter). Feuchtes Holz, Metalldeckel und mit Honig gefüllte Waben machen Funkübertragungen aus den Beuten heraus nicht einfacher. Insgesamt führte das zu folgendem Paradigma für Biene40, dass sich erst kurz vor Ende des Projektes so deutlich herauskristallisierte:

- Funksender nicht innerhalb, sondern außerhalb der Beute,
- Am Stand WLAN als kurzreichweitige Technik,
- Mobilfunkgateways dort, wo kein WLAN verfügbar ist.

Bees and Apiarist first

Als wertvoll hat sich erwiesen, bereits vor der Entwicklung der Sensoren mit Imkernden zu sprechen, so konnten frühzeitig mögliche Widerstände identifiziert werden. Insbesondere der

Nutzen von digitaler Sensorik im Bienenstock wird ständig in Frage gestellt. Abseits der Grundlagenforschung hat sich die Haltung "Bees and Apiarist first" im Projekt bewährt.

II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Personalausgaben stellten mit ca. 85% den größten Teil der Zuwendung dar. In der Position 0846 (Dienstreisen) wurden ca. 2% der Gesamtzuwendungssumme verausgabt. Unter der Position 0831 (Gegenstände bis zu 410/400€) wurden eine Trachtwage für Tests und verschiedene Test-Microcontroller beschafft. Diese machten 0,25% der Zuwendungssumme aus. Mit dem Bescheid vom 26.06.2023 wurden dem Antrag vom 23.06.2023 entsprechend, Mittel in Höhe von 1.700,00 € aus Position 0850 (Gegenstände > 410/400 €) in Position 0831 (Gegenstände bis 410/400€) umgewidmet.

Position	bis 29.02. abgerechnet	verbleibend
0812 (Beschäftigte E12-E15)	98.805,41 €	6.836,59 €
0822 (Beschäftigungsentgelte)	19.873,75 €	1.793,93 €
0831 (Gegenstände bis zu 410/400€)	348,00 €	1.352,00 €
0835 (Vergabe von Aufträgen)	0,00 €	5.830,00 €
0843 (Sonstige allg. Verw.-Ausgaben)	0,00 €	932,60 €
0846* (Dienstreisen)	2.765,06 €	215,76 €
Gesamt	121.792,22 €	16.960,88 €

Tab. 3: Ausgaben im Projekt. (*) es konnten pauschale Reisekosten i. H. v. 2,5% der Personalkosten abgerechnet werden.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die geleisteten Arbeiten der Mitarbeitenden wurden unter II.1 bei den Arbeitspaketen aufgeführt. Diese Arbeiten waren notwendig, um die gesetzten Projektziele zu erreichen. Wie geplant stehen nun Prototypen für digitale vernetzte Sensoren inklusive einer Plattform zur Verfügung. Die Projektergebnisse wurden unmittelbar in der Lehre (Fallstudien für die Wirtschaftsinformatik, Master-Lehr-Module "Internet of Things" und "Digital Design und Entrepreneurship" sowie im Bachelormodul "Webanwendungen", Vergabe von Abschlussarbeiten (Liste 4)) wie auch in Workshops mit Schulen eingebracht. Des Weiteren entstanden Veröffentlichungen in Fachmagazinen. Auf Tagungen und Messen wurden die erlangten Erkenntnisse reproduziert und einem breiten Fachpublikum zur Verfügung gestellt (Liste 3). Durch die nicht absehbaren Ereignisse (Corona, Ukraine-Krieg, nicht genehmigtes Forschungssemester) sowie die im Laufe des Projektes gewonnenen Erkenntnisse (App bei Zielgruppe nicht erwünscht, technische Gegebenheiten, die in der Praxis nicht umsetzbar waren) konnten einige Ziele, wie unter II.1 aufgeführt, nicht entsprechend erreicht werden. Dies lag nicht bei

einem Verschulden durch die Mitarbeitenden. Die Arbeit zeigt insgesamt einen hohen Umfang und kann als angemessen betrachtet werden.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der Nutzen aus dem Projekt ergibt sich aus Sicht der Hochschule für die Lehre, für den Transfer im Sinne der Dritten Mission und für die Einwerbung weiterer Forschungsprojekte:

Nutzen für die Lehre

Schon während der Projektlaufzeit flossen die Ergebnisse in zwei Lehrveranstaltungen im Master Wirtschaftsinformatik und eine Lehrveranstaltung im Bachelor Wirtschaftsinformatik ein. Im Rahmen des Projektes wurden acht Abschlussarbeiten vergeben (Liste 4). Für Prüfungen wurden Fallstudien aus dem Projekt abgeleitet. Während der Projektlaufzeit etablierte der Fachbereich Wirtschaftswissenschaften das "DigiLab", ein Elektroniklabor im Sinne eines Makerspace, in dem Studierende IoT-Szenarien erproben können. Biene40 liefert die Anwendungsszenarien und dient als Ideengeber im DigiLab.

Nutzen für die Dritte Mission

Ergebnisse aus dem Projekt fließen in die Schulkooperationen der Hochschule ein. Schon während der Projektlaufzeit fanden Workshops mit Lehrkräften statt. Zukünftig werden auch weitere Schulworkshops insbesondere durch das DigiLab durchgeführt. Ebenso hat sich Biene40 im "Heimspiel" eingebracht (Liste 4 Punkt 12).

Nutzen für die Einwerbung weiterer Forschungsprojekte

Die Ergebnisse aus dem Projekt sind geeignet, die Einwerbung weiterer Forschungsprojekte vorzubereiten. Schon während der Laufzeit von Biene40 ist es gelungen, ein Folgeprojekt AI4Bee (ZIM) einzuwerben. AI4Bee ist ein Projekt des Aachener Unternehmens IKADO, der Hochschule für Technik im Saarland und der Hochschule Niederrhein. Die Hochschule Niederrhein bringt in das Projekt AI4Bee bienenfachliche Kompetenz (Prof. Dr. Claus Brell) und insbesondere Kompetenz in KI / deep learning / machine learning (Prof. Dr. Daniel Retkowitz) ein. Das DigiLab stellt gerade einen Antrag in EFRE (Prof. Dr. Detlev Frick), clabremo wurde mit den Ergebnissen aus Biene40 als assoziierter Partner angefragt.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Neuere Veröffentlichungen

Zu Beginn der Arbeiten wurde der Forschungsstand im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse erhoben. Es fanden sich 57 Arbeiten (Abschlussarbeit Schmitz 2021 und Arbeitsbericht 3). Die Zahl der Veröffentlichungen hat insbesondere in 2022 stark zugenommen. Eine Fortsetzung der Erhebung und damit eine Ergänzung des Arbeitsberichtes 3 (Arbeitsbericht 9) ergaben weiterer 47 einschlägige Arbeiten für die Jahre 2022 und 2023 (Tab. 4, Arbeitsbericht 3) Der Arbeitsbericht 3 ist im Internet auf der Projektseite veröffentlicht.

Adressierung Themen	2011 - 2021	2022 - 2023	Summe
Gesamtzahl Artikel	57	47	104
davon "Temperatur"	32	22	54
davon "Gewicht"	24	23	47

Tab. 4: Veröffentlichungen, die Analysen im Bienenstock mit digitalen Methoden adressieren.

Marktbeobachtung

Vor Antragstellung wurde bereits eine Markterhebung im deutschsprachigen Raum durchgeführt. Der Schwerpunkt liegt auf digitalen Stockkarten, die insbesondere in Form von Apps angeboten aber kaum genutzt werden. Die meisten kommerziellen Angebote zum Bienenstockmonitoring haben eine Wiegeeinrichtung als Basis. Einige bieten weitere Sensoren für den Bienenstock an, so hat der deutsche Marktführer für Stockwaagen, die Fa. Wolf-Waagen, erst im Herbst 2023 eine Temperatur- und klangbasierte Analysemöglichkeit mit in das Programm aufgenommen.

Drei Stockwaagen-Fabrikate wurden im Rahmen des Projektes näher untersucht. Tab. 5 zeigt eine Auflistung von 13 Fabrikaten und stellt den Recherchestand von Januar 2024 dar. Der Markt gilt insgesamt als klein und als spezialisierter Nischenmarkt.

	Waage	Markt	Erst-eindruck	Zweit-eindruck	Zusatzfunktionen	
im Test	Apiarist 4.0	Tschechien				
	3Bee	Italien				
	BeeConn				https://cbrell.de/blog/unboxing-bienenstockwaage-beeconn/	
	Beehivemonitoring	Slowakei u.a.			Sound, Temperatur .. https://cbrell.de/blog/unboxing-bienenstockwaage-xs-gateway-2g-solar-beehivemonitoring/	
	Beelogger	Deutschland, Community			Temperatur	
	Beep	Niederlande, Community				
	Beesaver	Österreich				
	Beescalor	Schweiz				
	BeeWatch	Österreich				
	CBK Conected Beekeeping	Frankreich				
	Solutionbee	USA			Temperaur, Feuchte	
	Wolf Waagen	Deutschland			Sound, Temperatur (NEU)	
	XLOGbee	Kroatien			bewusst keine	

Tab. 5: Stockwaagen am Markt. Nicht alle Fabrikate sind in Deutschland erhältlich. Die Erfahrungsberichte zu zwei Stockwaagen sind zum Zeitpunkt der Drucklegung im Internet verfügbar: <https://cbrell.de/blog/unboxing-bienenstockwaage-beeconn/> und <https://cbrell.de/blog/unboxing-bienenstockwaage-xs-gateway-2g-solar-beehivemonitoring/>

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Arbeitsberichte

Arbeitsberichte sind Ergebnisse aus Arbeitspaketen, die in geschlossener Form dargestellt und auf der Projektseite <http://bieneviernull.de> veröffentlicht werden. Die Arbeitsberichte sind frei verfügbar. Die Arbeitsberichte sollen auch Hilfen für andere, nachfolgende Forschergruppen geben. Bis Projektende sind 8 Arbeitsberichte entstanden.

1. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2022) Imkerei und Digitalisierung – Rezeption in deutschen Fachzeitschriften im Zeitraum 2019 bis 2021.
2. Schmitz, Yvonne; Wurm, Julia; Brell, Claus (2021) Digitalisierung der Bienenhaltung – wissenschaftlicher und technischer Stand digitaler Analysewerkzeuge.
3. Wurm, Julia; Brell, Claus (2022) Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht.
4. Wurm, Julia; Brell, Claus (2023) Imkerei und Digitalisierung – Was sich Imker:innen wünschen.
5. Wurm, Julia; Brell, Claus (2023) Handreichung zur Auswahl eines Online-Vertriebsweges für Kleinunternehmen.
6. Wurm, Julia; Brell, Claus (2024) Konzept für die In-Markt-Bringung - Marktstrategie, Marktsegmente, Marketing-Mix, Umsetzung.
7. Brell, Claus, van den Bongard, Iris (2024) Untersuchung der Temperaturen in Standard Beutensystemen - Feldtests. In: Arbeitsberichte zum Projekt Biene40

8. Langen, Jan; Sahler, Kerstin; Brell, Claus (2023) Vor- und Nachteile von MQTT gegenüber http in einem Praxisbeispiel. In: Arbeitsberichte zum Projekt Biene40
9. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2024) Imkerei und Digitalisierung – Stand und Perspektiven aus technischer Sicht (Zeitraum 2022-2023).

Liste 1: Arbeitsberichte im Projekt Biene40. Die Arbeitsberichte sind über die Projektseite im Internet <http://bieneviernull.de/ergebnisse/einsehbar>.

Veröffentlichungen in Zeitschriften und Online-Repositorien

1. Brell, Claus (2022) Forschungsprojekt Biene40 - effizienter und verlustärmer Imkern mit digitalen Methoden. In: Das Bienenmütterchen, 74. Jahrgang, 04/06 2022, Drognitz
2. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2022): Einstieg in die Bienenhaltung. Teil 1 – der Start. Online Ressource, <http://bieneviernull.de>.
3. Brell, Claus (2022) Forschungsprojekt Biene40. In: Imkerei-Technik Magazin 2/2022
4. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2023) Honigbienen im Hitzestress - Messungen und Maßnahmen. BuckfastBienenBayern 1/2023
5. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2023) Temperaturmessungen im Bienenstock, Entomologie-heute-34. Online Ressource, https://www.researchgate.net/publication/377590764_Temperaturmessungen_im_Bienenstock_-_das_Projekt_Biene40
6. Messelken, Marco; Wurm, Julia; Brell, Claus (2024) Honey Bees Don't Like It Hot - Temperature Measurements in Beehives During High Sunlight. Online Ressource, <https://vixra.org/abs/2401.0107>
7. Langen, Jan; Sahler, Kerstin; Brell, Claus (2024) Which Application Layer Protocol Is Best Suited for Networked Monitoring of Beehives? A Comparison of HTTP And MQTT in IoT. Online Ressource, dissemination in progress.

Liste 2: Veröffentlichungen aus dem Projekt Biene40

Vorträge und Ausstellungen

1. UKW-Tagung, Weinheim 11.09.2021 „Digital einfacher Honigbienen halten -Warum IoT den Einstieg in die Imkerei erleichtern kann“
2. Smart City Summit, Niederrhein 25.11.2021 Ausstellung der Demonstratoren
3. Innoq Technology Days, online, 01.12.2021 „Imkerei zwischen Tradition und Technik - Was Predictive Maintenance und die Bienenhaltung gemeinsam haben“
4. Agrarforschungstag NRW 2022 im MUNLV Düsseldorf 01.09.2022 Poster zum Stand des Projektes Biene40
5. 67. UKW-Tagung, Weinheim 10.09.2022 "Den Bienen zuhören mit Biene40 - Sound- und Vibrationsanalysen zur Prädiktion kritischer Zustände im Bienenstock"
6. Blauhaus Talk, Mönchengladbach 25.10.2022 Poster und Demonstrator-Ausstellung
7. 33. Mayener Vortragsreihe Wissenschaft und Praxis, Ochtendung 05.11.2022 Messestand
8. Westdeutscher Entomologentag Düsseldorf 19.11.2022 „Temperaturstress bei staatenbildenden Insekten am Beispiel von Honigbienen–Messungen und Maßnahmen“
9. Stadtimker Monheim 08.03.2023 "Digital Imkern in Mini Plus"
10. Pi&More, Trier 22.04.2023 "Imkerei und vernetzte Sensoren – Was nutzt Digitalisierung im Bienenstock und wie geht das"

11. Stadtimker Monheim 14.06.2023 Biene40 „Hitzestress bei Honigbienen – wie einfache Temperaturmessungen spannende Erkenntnisse aus dem Bienenvolk liefern.“
12. Heimspiel Wissenschaft, Willich, 27.09.2023 „Hilfe, meinen Bienen ist zu warm – Wie Imker:innen mit digitalen Werkzeugen mehr über ihre Bienenvölker erfahren können.“
13. 34. Mayener Vortragsreihe Wissenschaft und Praxis, Ochtendung 21.10.2022 – Messestand
14. Blauhaustalk, Mönchengladbach 07.11.2023 - Projektausstellung
15. eurobee, Friedrichshafen 10.11 – 12.11.2023 " Wie geht es meinen Bienen? Mit einfacher Digitaltechnik zu vitaleren Völkern"
16. Apisticus-Tag, Münster 24.02.2024

Liste 3: Vorträge und Ausstellungen, in denen Projektergebnisse vorgestellt wurden.

Abschlussarbeiten

1. Srirathan, Tharsigan (2023) Entwicklung eines ressourcensparenden Prototyps zur Überwachung der Flugaktivität von Bienen am Bienenstockeingang
2. Röpges, Stefan (2023) Auswahl, Implementierung und Bewertung eines Shopsystems.
3. Bockheim, Cedric (2022) Analyse zu immersiven Technologien (AR/VR) in Industrie, Agrarbereich und Bienenhaltung - Bestandsaufnahme und Potenzialanalyse.
4. Fiegenschuh, Tom (2022) Wirtschaftsfaktor Biene reloaded - Imkerei und Bienenhaltung aus betriebswirtschaftlicher Sicht.
5. Messelken, Marko (2022) Imkerei früher und heute - wie wirkt die Digitalisierung auf die Haltung von Honigbienen?
6. Langen, Jan (2022): Konzeption und prototypische Realisierung eines mandantenfähigen Sensorsystems über LoRaWAN
7. Schmitz, Yvonne (2021) Digitalisierung der Bienenhaltung - Marktpotenziale für Trachtwagen und weitere Sensoren im deutschsprachigen Raum
8. Smolinski, André (2021) Predictive Maintenance mit Soundanalysen und Deep Learning – Prototypische Realisierung eines Bewertungssystems am Beispiel von Honigbienen.

Liste 4: Abschlussarbeiten, die im Rahmen des Projektes Biene40 angefertigt wurden.

Daten

Im Rahmen des Projektes wurden Daten gewonnen, die bereits zur Projektlaufzeit von anderen Forschergruppen nachgefragt wurden. Die Daten sind im Schwerpunkt Soundaufnahmen aus dem Bienenstock verknüpft mit Temperaturdaten. Die Daten werden - teilweise in der Verwertungsphase - aufbereitet und über das Internet zur Verfügung gestellt. Zurzeit wurde noch kein geeignetes Repositorium identifiziert, bis dahin werden die Daten über eigene Internetseiten bereitgestellt, z. B. <https://cbrell.de/blog/temperaturmessungen-und-soundanalysen-in-bienenstoecken-dadant-und-kombibeuten/>

Social Media (YouTube-Videos, Twitter)

Im Rahmen des Projektes wurden zu Dokumentationszwecken viele Videos angefertigt. Die Videos sind auf der Projektseite aufgelistet, eine Google Suche nach "YouTube claus brell Biene40" liefert alle Videos.

Ausgewählte Beispiele:

Am Teststand - Frequenz des Flügelschlags beim Bienenflug: <https://www.youtube.com/watch?v=4ApPV4FEQfo>

Vortrag auf der Eurobee: <https://www.youtube.com/watch?v=hGbfwfCQLvc>

Abschlussworkshop Biene40: <https://www.youtube.com/watch?v=L3raQcudhfY>

Für aktuelle Informationen wurde ein Twitter-Kanal eingerichtet: <https://twitter.com/biene-viernull>

Danksagung und Schlussbemerkung

Das Projekt wäre ohne das Wirken des Bundesamtes für Ernährung und Landwirtschaft (BLE) und ohne den Einsatz der Vernetzungs- und Transferinitiative Beenovation (<https://beenovation.de>) nicht in dieser Form erfolgreich gewesen. Dafür sei an dieser Stelle ausdrücklich Dank ausgesprochen. Ebenso sei den vielen Diskussionspartnern in der Imkerschaft gedankt - die Rückkopplung hat wesentlich zur Praxistauglichkeit der Projektergebnisse beigetragen.

Der Projektleiter ist ab dem 1.Mai 2024 nicht mehr über die Hochschule Niederrhein erreichbar, sondern über claus.brell@clabremo.de.