

Gefördert durch:

Projektträger



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht zum Verbundprojekt

„Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI)“

- Teilvorhaben Disy Informationssysteme GmbH -

Teil 1 (Kurze Darstellung) + Teil 2 (Eingehende Darstellung)

Konsortium:

FZI Forschungszentrum Informatik
(Projektkoordination)

Christoph Zimmermann, Abteilungsleiter
ESS-MIT, czimmer@fzi.de

apic.ai GmbH

Katharina Schmidt, Geschäftsführerin,
katharina.schmidt@apic.ai

Eurofins Agrosience Services Ecotox GmbH

Dr. Silvio Knaebe, Teamleiter Ökotox
Feldabteilung, silvioknaebe@eurofins.com

Disy Informationssysteme GmbH

**Dr. Stefan Lossow & Dr. Andreas Abecker,
Disy Innovationsmanagement,
andreas.abecker@disy.net**

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
GmbH – UFZ

Prof. Dr. Volker Grimm,
Ökologische Systemanalyse,
volker.grimm@ufz.de



Förderkennzeichen:

281C307D19

Laufzeit:

07.06.2021 - 31.12.2024

Projektpartner:

Disy Informationssysteme GmbH

Gefördert durch:

Projektträger



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht zum Verbundprojekt

„Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI)“

- Teilvorhaben Disy Informationssysteme GmbH -

Teil 1, Kurze Darstellung

Konsortium:

FZI Forschungszentrum Informatik

Christoph Zimmermann, Abteilungsleiter
ESS-MIT, czimmer@fzi.de

apic.ai GmbH

Katharina Schmidt, Geschäftsführerin,
katharina.schmidt@apic.ai

Eurofins Agrosience Services Ecotox GmbH

Dr. Silvio Knaebe, Teamleiter Ökotox
Feldabteilung, silvioknaebe@eurofins.com

Disy Informationssysteme GmbH

Dr. Andreas Abecker,
Leiter Innovationsmanagement,
andreas.abecker@disy.net

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
GmbH – UFZ

Prof. Dr. Volker Grimm,
Ökologische Systemanalyse,
volker.grimm@ufz.de



Förderkennzeichen:

281C307D19

Laufzeit:

07.06.2021 - 31.12.2024

Koordinator:

FZI Forschungszentrum Informatik

1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt OCELI als Ganzes hatte zum Ziel, Honigbienen und Hummeln als Biosensoren für Umweltveränderungen in Agrarlandschaften nutzbar zu machen. Es sollten ökologische Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Nahrungsverfügbarkeit, Landschaftsstruktur und der Vitalität von Bestäuberpopulationen systematisch messbar und auswertbar gemacht werden. Hierfür sollte ein neuartiges, modulares Gesamtsystem aus Hardware, Software und Datenanalyse entwickelt werden, welches die Aktivität und den Zustand von Bestäubern automatisiert erfasst, mit Umwelt- und Geodaten kombiniert und mithilfe ökologischer Modelle wie BEEHAVE und Bumble-BEEHAVE ausgewertet. Das Projekt setzte an einem Stand an, der durch manuelle, aufwändige und oft invasive Verfahren geprägt war. Methoden wie Fallen, RFID-Markierungen oder manuelle Zählungen lieferten lediglich punktuelle Daten mit begrenzter Aussagekraft. Erste KI-basierte visuelle Systeme waren zwar vorhanden, jedoch durch hohe Rechenanforderungen und Cloudkosten noch nicht praxistauglich. Es fehlte zudem an einer funktionierenden Schnittstelle zwischen Monitoringdaten und ökologischer Modellierung. Im vorliegenden Teilvorhaben ging es insbesondere um die Geodatenanalyse: Durch Beschaffung und Verknüpfung der Daten aus dem Bestäuber-Monitoring mit räumlichen Umgebungsdaten sollten kontextsensitive geo-temporalen Analysen ermöglicht werden z.B. zur Flächenstrukturbewertung.

2 Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde vom FZI koordiniert. Nach einer Anforderungsanalyse wurden konkrete Anwendungsszenarien erarbeitet und ein technisches Konzept für eine skalierbare Monitoringplattform erstellt. Das FZI entwickelte KI-Algorithmen zur Erkennung von Pollenfarben, individuellen Bienenmarkierungen und Bewegungsmustern. Am UFZ wurden ökologische Simulationsmodelle angebunden. Disy setzte die Verknüpfung mit Geodaten um und nutzte Machine-Learning- und Explainable-AI-Verfahren zur räumlichen Datenanalyse. Eurofins brachte Expertise aus der ökotoxikologischen Praxis ein, insbesondere für die Validierung der Ergebnisse in regulatorischen Kontexten. Die entwickelten Komponenten wurden in mehreren Feldstudien getestet. Disy war primär federführend im Arbeitspaket (AP) 3 zur Geodatenanalyse tätig, arbeitete im AP 1 an Anforderungserhebung und Lösungsspezifikation des Gesamtsystems mit, unterstützte die weiteren wissenschaftlich-technischen AP2 und AP4, AP5 sowie das Fallstudien-AP6 aus Sicht der Geodatenverarbeitung und wirkte im Rahmen der kollegialen Projektkoordination an Projektsteuerung und Ergebnisverbreitung im AP 7 mit. Das Vorhaben war auf 3 Jahre angelegt und startete im Juni 2021. Aufgrund verschiedener Verzögerungen bei mehreren Partnern wurde das Vorhaben gemeinschaftlich um etwa 7 Monate bis Jahresende 2024 zuwendungsneutral verlängert. Bei Disy wurden wegen verspäteter Verfügbarkeit mancher Eingangsdaten einige Aktivitäten etwas gegenüber der ursprünglichen Vorhabenplanung umstrukturiert, jedoch nicht grundsätzlich anders durchgeführt.

3 Wesentliche Ergebnisse

Hauptergebnisse des OCELI-Teilvorhabens von Disy sind der Entwurf und die prototypische softwaretechnische Realisierung von kontextsensitiven, geo-temporalen Datenanalysen der OCELI-Daten aus dem Bestäuber-Monitoring, angereichert um räumliche Umgebungsdaten. Teilergebnisse sind somit:

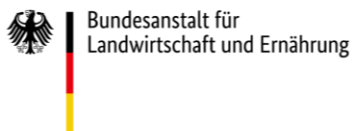
- Ein Geo Data Warehouse sowie ein darauf aufsetzendes Datenmanagement- und Datenanalyse-system für die in OCELI erzeugten Monitoringdaten sowie ergänzende Sach- und Geodaten.
- Dieses Data Warehouse basiert auf einer PostGIS-Datenbank sowie in der Programmiersprache Julia implementierten ETL-Prozessen zur Zusammenführung und Harmonisierung der Daten. Zum Metadatenmanagement, für Data Governance, interaktive GUI-Dashboards und für API-Daten-nutzung sowie standardkonforme Datenbereitstellung wird disy Cadenza genutzt. Eine zusätzliche OGC-API-Schnittstelle für die räumlichen Daten wurde prototypisch mittels PyGeoAPI realisiert. Die Ansteuerung von Data-Preparation-, Machine-Learning- und Explainable-AI-Algorithmen geschieht durch eine experimentelle Einbindung mithilfe der Cadenza-Analytics-Erweiterung. Es wurden spezifische Exportmechanismen zur Datenbereitstellung für BEEHAVE implementiert.
- Eine Reihe von für die Cadenza-Analytics-Erweiterung aufbereiteten Datenvorbereitungs- und Datenanalysealgorithmen (Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machines, Neural Networks, ...) liegen als Pakete in der Programmiersprache Julia vor.
- Das OCELI Geo Data Warehouse enthält die Monitoring-Daten des OCELI-Systems sowie Datenbestände früherer Projekte von Apic.ai und ergänzende Daten weiterer Imker, für die betrachteten Bienenstock-Standorte und Beobachtungszeiträume die Wetterdaten, Spurengasverteilungen, Landnutzung, Dürredaten, Phänologie, Daten zur Biodiversität (Simpson) u.a.m.
- Statistische und Machine-Learning-basierte Analysen des Einflusses von Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität, z.B. auf Basis der Langzeitdaten 2022/23 aus Stutensee, Wolfsburg und Königslutter sowie Daten von Vorprojekten 2019-21 u.a.m.

Nebenergebnisse, erworbene Kompetenzen und weitere immaterielle Nutzeneffekte umfassen:

- vergrößerte Vernetzung und Sichtbarkeit in der Lehre sowie Ausbildung von Studierenden, woraus eventuell ein oder mehrere neue Vollzeitstellen resultieren
- verbessertes methodisches Verständnis der möglichen Rolle des Disy-Softwarewerkzeugs Cadenza im Kontext eines Machine-Learning-Vorgehensmodells wie CRISP-DM
- vertieftes theoretisches Verständnis und praktische Erfahrungen mit dem OGC-API Standard
- Erfahrungen zur technisch-methodischen Machbarkeit, Erfolgsfaktoren und Problemfeldern bei der datenbasierten Analyse von Flächenstrukturen und Bienenaktivität, z.B. Datenverfügbarkeit
- praktische Erfahrungen mit der neuen Cadenza-Analytics-Erweiterung, insbesondere für die Roundtrip-Nutzung und in Verbindung mit der Programmiersprache Julia

Gefördert durch:

Projektträger



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht zum Verbundprojekt

„Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten (OCELI)“

- Teilvorhaben Disy Informationssysteme GmbH -

Teil 2, Ausführliche Darstellung

Konsortium:

FZI Forschungszentrum Informatik

Christoph Zimmermann, Abteilungsleiter
ESS-MIT, czimmer@fzi.de

apic.ai GmbH

Katharina Schmidt, Geschäftsführerin,
katharina.schmidt@apic.ai

Eurofins Agrosience Services Ecotox GmbH

Dr. Silvio Knaebe, Teamleiter Ökotox
Feldabteilung, silvioknaebe@eurofins.com

Disy Informationssysteme GmbH

Dr. Andreas Abecker,
Leiter Innovationsmanagement,
andreas.abecker@disy.net

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
GmbH – UFZ

Prof. Dr. Volker Grimm,
Ökologische Systemanalyse,
volker.grimm@ufz.de



Förderkennzeichen:

281C307D19

Laufzeit:

07.06.2021 - 31.12.2024

Koordinator:

FZI Forschungszentrum Informatik

Inhaltsverzeichnis

1	Ergebnisse.....	3
1.1	Überblick.....	3
1.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse.....	5
2	Publikationen und Wissenstransfer	17
2.1	Beiträge zur Wissenschaft.....	17
2.2	Öffentlichkeitsarbeit.....	20
3	Arbeitspakete und Meilensteine	21
3.1	Umsetzung der Arbeitspakete (Disy Informationssysteme GmbH)	21
3.2	Erreichung der Meilensteine (Disy Informationssysteme GmbH).....	24
3.3	Einhaltung der Arbeits- und Zeitplanung (Disy Informationssysteme GmbH).....	34
3.4	Einhaltung Ausgaben- und Kostenplanung (Disy Informationssysteme GmbH).....	36
4	Erfolgsaussichten nach Projektende	37
4.1	Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten	37
4.2	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	39

1 Ergebnisse

1.1 Überblick

Das Ziel von OCELI bestand in der Erforschung und Entwicklung einer neuartigen Technologie, die entscheidend zur Realisierung einer nachhaltigen Landwirtschaft mit intakten Bestäuberpopulationen beitragen soll. Dafür sollte das Potenzial von Honigbienen und Hummeln als Bioindikatoren nutzbar gemacht werden. In diesem Abschnitt werden die im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnisse zur Erreichung des Zieles vorgestellt. Zunächst in einem kurzen Überblick und anschließend im Detail mit Fokus auf die Schwerpunktgebiete der einzelnen Partner.

Zu Beginn des Projektes wurde OCELI definiert als innovatives technologisches Gesamtsystem, bestehend aus Hard- und Software sowie den Workflows zur Erfassung der Umgebungsdaten und der Interpretation der Daten mittels Simulationsmodellen. Mithilfe von OCELI sollten einzelne Gefahren für Bestäuberinsekten und ihre gegenseitigen Wechselwirkungen messbar gemacht und bewertet werden können. Dazu kombinierten die Projektpartner ihre Expertise in den Bereichen Künstliche Intelligenz (KI), vernetzte Sensorik, Entomologie, Geointelligenz, Ökotoxikologie und ökologische Modellierung. Mithilfe visueller Monitoringtechnologie wurde das Potenzial von Bienen als Biosensoren erschlossen. apic.ai entwickelte ein energieautarkes, vernetztes Kamerasystem, welches am Eingang von Bienenstöcken oder Hummelkolonien installiert werden und dort kontinuierlich alle ein- und ausfliegenden Tiere filmen kann. Um die aufgenommene Aktivität qualitativ und quantitativ zu erfassen und zu verarbeiten, wurden neuronale Netze als eine Methode der Künstlichen Intelligenz (KI) eingesetzt. In enger Abstimmung von apic.ai und dem FZI wurde, teils aufbauend auf bestehenden Algorithmen und teils mit neuen Ansätzen, die hierfür notwendige Software entwickelt und optimiert. Der Fokus des FZI lag hierbei auf der Entwicklung von Algorithmen zur Erfassung neuartiger Parameter:

- die Extraktion von Farbwerten von Pollen
- die Erkennung von Hummeln
- die Erkennung von Markern auf den Bienen

apic.ai gelang es, die Algorithmen so zu optimieren, dass die Messwerte im Rahmen von experimentellen Fallstudien trotz der im Feld bestehenden Restriktionen (Strom, Internetverfügbarkeit, beschränkte Rechenleistung) parallel, in Echtzeit und über lange Zeiträume hinweg zuverlässig erhoben werden konnten.

Die beiden zentralen Anwendungsgebiete für OCELI wurden zu Beginn des Projektes gemeinschaftlich entwickelt und festgehalten. Die Entscheidung für "Lebensraumbewertung" und "Bewertung von Risikofaktoren" fiel basierend auf umfangreichen Gesprächen mit unterschiedlichen potenziellen Kunden und Partnern, darunter Landmaschinenhersteller, Saatgutproduzenten, Pflanzenschutzmittelhersteller, Hummelproduzenten und Entomologen. Bei der Auswahl wurden auch die wirtschaftlichen Verwertungspotenziale und die gesellschaftliche Relevanz der gewünschten Funktionen berücksichtigt. Für die beiden Anwendungsgebiete wurden relevante Merkmale definiert, deren Erhebung im Rahmen

von Fallstudien erprobt werden sollten, um die Machbarkeit der Erhebung zu prüfen. Zur Konkretisierung und methodisch-technischen Umsetzung der Arbeitspakete in beiden Bereichen wurden inter- und transdisziplinärer sowie in praxisorientierter Weise Fragestellungen in einer prototypischen Gesamtlösung integriert. Zudem wurden Hypothesen zu Wirkmechanismen zwischen Land(wirt)schaft und Bestäubern aufgestellt. Die während der Feldsaisons durchgeführten Fallstudien lieferten neuartige Daten, um zur Überprüfung dieser Hypothesen beizutragen. Eurofins trug hierzu die Bestäuberexpertise bei und verantwortete die Planung und Durchführung der Feldstudien samt imkerlichen Eingriffen und Datenanalysen zu klassischen und OCELI-spezifischen Fragestellungen. Die am Bienenstock erfassten Daten wurden durch räumliche Daten über die Umgebung aus einem Geoinformationssystem (GIS) ergänzt. Durch die Analyse von Geodaten zur Landnutzung im Flugradius konnten Kausalzusammenhänge zwischen Veränderungen im Umfeld der Völker mit deren Entwicklung hergestellt werden. Von Interesse war hierbei insbesondere:

- die quantitative Erfassung von Sammelflügen,
- die Quantifizierung von Bienen, die aufgrund von Mortalität oder beeinträchtigter Orientierungsfähigkeit nicht zurückkehren,
- der Eintrag von Blütenpollen als Maß sowohl der Nahrungsverfügbarkeit als auch der Bestäubungsaktivität,
- die Möglichkeit, die farbliche Differenzierung des eingetragenen Blütenpollens als Indikator für die Vielfalt der blühenden Flora in der Umgebung nutzen zu können.

Die Synthese der Geodaten, Wetterdaten, Landnutzungs- und Flugmonitoringdaten im Hinblick auf die Vitalität und Überlebensfähigkeit der Bestäuber erfolgte mithilfe des etablierten Simulationsmodells "BEEHAVE"¹ durch das UFZ. Hier lag der Fokus auf folgenden Bereichen:

- Interpretation einer Feldstudie, in der der Einfluss eines Pestizids auf die Flugaktivität von Nektar- und Pollensammlerinnen erfasst wurde. Die Beobachtungen der Feldstudie konnten im Modell nachvollzogen werden und führten zu Hypothesen, die sich in einer weiteren Feldstudie, die um die Erfassung markierter Individuen ergänzt wurde, bewährten.
- Beurteilung des Bedarfs und Nektar und Pollen eines Bienenvolkes in einer bestimmten Landschaft, um ggfls. Empfehlungen für den Anbau zusätzlicher Blühpflanzen zu geben.
- Test des BEEHAVE Modells mit Daten der Realität, welche im Rahmen von Feldstudien generiert wurden. In diesem Zusammenhang wurden die Effekte untersucht von (1) Verlust von Sammelbienen, (2) Verlust der Brut, (3) Verlust der Honigreserven.

¹ Becher, M. A., Grimm, V., Thorbek, P., Horn, J., Kennedy, P. J., & Osborne, J. L. (2014). BEEHAVE: A Systems Model of Honeybee Colony Dynamics and Foraging to Explore Multifactorial Causes of Colony Failure. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 470-482.

1.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die zentralen Ergebnisse des Projekts beschrieben. Detailliertere Ausführungen zur Erzielung der Ergebnisse finden sich in Kapitel 3 der jeweils in die Umsetzung eingebundenen Projektpartner.

1.2.1 Algorithmenentwicklung

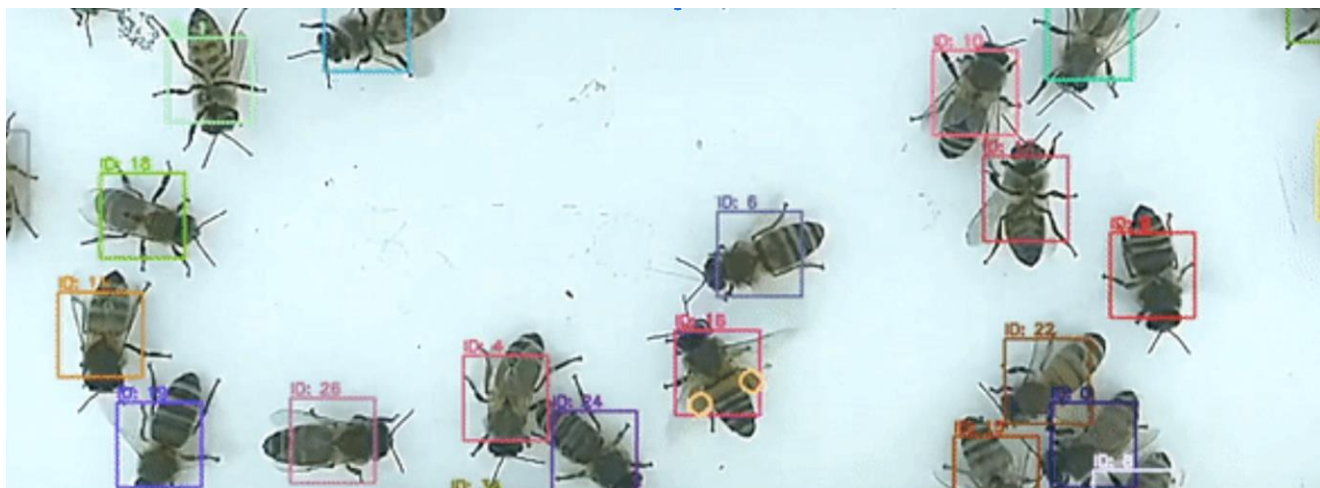


Abbildung A: Visualisierung der Arbeit des Algorithmus beim Tracking der Bienen und der Pollenerkennung.

Ein Ziel der technischen Arbeiten in OCELI war die visuelle Analyse der Kamerasysteme, um weitere Funktionen zu ergänzen und zu optimieren. Dazu wurde jeweils ein Proof-of-Concept durchgeführt:

1. Die Zuordnung von multispektral aufgezeichneten Pollenbilder zu Pflanzenarten

Bei der Sichtung historischer Videodaten von apic.ai wurde festgestellt, dass das apic.ai Kamerasystem auf das sichtbare Lichtspektrum und auf sich bewegende Objekte optimiert wurde, wodurch keine laborähnliche Aufnahme der Farben ermöglicht wird. Daher wurde im Sinne eines Proof-of-Concept ein optimales System zur Farbaufnahme konzipiert, aufgebaut und eine erste Studie mit Pollen vom Bieneninstitut in Mayen durchgeführt. Dabei konnte ein R²-Score von 0,72 erreicht werden. Parallel wurde auch eine direkte Farbanalyse auf den Kamerasystemen entwickelt, die einen R²-Score von 0,52 erzielte. So konnte im Vergleich zum Stand der Technik² von R² 0,45 in beiden Fällen eine erhebliche Steigerung erreicht und durch den Abgleich mit Laborergebnissen aus durchgeführten Pollen-Sammlungen ein erster automatisch erzeugter Pollenkatalog erzeugt werden (siehe Abbildung A). Die Ergebnisse wurden in einer wissenschaftlichen Publikation der Fachwelt vorgestellt³. Durch ein weiteres Training könnte dieser Katalog erweitert und verfeinert werden und so eine automatisierte Dokumentation der Blühzeiten und Blühpflanzenzusammensetzung ermöglichen.

² Borlinghaus, P., Jung, J., O., R., Smart Agricultural Technology.

³ Tausch, F., Wagner J., Klaus, S., Pollinators as Data Collectors: Estimating Floral Diversity with Bees and Computer Vision. In: *Proceedings IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. 2023. S. 643-650.

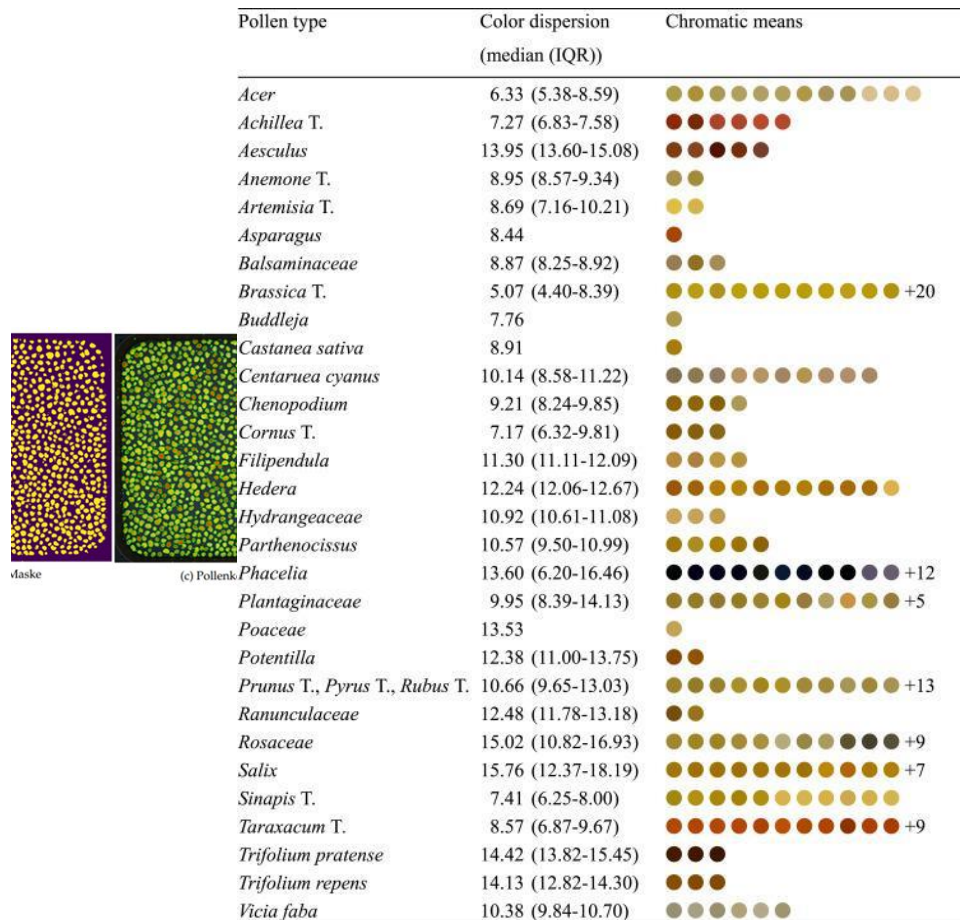


Abbildung B: Prozess der Vorverarbeitung der Rohbilder (links) von oben nach unten: 1. Bildaufnahme, 2. Binäre Maske, 3. Pollenkontur, 4. Mittelwertdarstellung, Pollenkatalog (rechts).

2. Die automatisierte Erkennung von individuellen Bienen durch Marker

Im Rahmen des Projekts wurde die individuelle Beobachtung von Bienen als relevant identifiziert und durch die Verknüpfung der Projektpartner-Expertisen realisiert. Im ersten Schritt markierte Eurofins Bienen mit Opalith-Plättchen, die anschließend durch das apic.ai Kamerasystem aufgezeichnet und mittels Algorithmen analysiert wurden. Der erste Proof-of-Concept (PoC) im Frühjahr 2022 verlief erfolgreich, sodass die Erkenntnisse in produktive Algorithmen für weitere Fallstudien übertragen wurden. Technische Anpassungen zur Verbesserung des Systems umfassten die Integration der Pollen- und Markerererkennung in einem einzigen Verarbeitungsschritt mit einer stabilen Bildverarbeitungsrate von über 20 fps. Zudem wurden neue, selbst gedruckte Marker entwickelt, die die Generierung von 992 unterscheidbaren Identifikationszeichen über zweistellige Buchstaben, Zahlen und Sonderzeichen ermöglichen. Insgesamt bietet die Lösung einen erheblichen Mehrwert, indem sie eine detaillierte Verfolgung und Analyse des Flugverhaltens einzelner Bienen ermöglicht und im Vergleich zu einem Tracking über RFID-Tags eine einfachere Anbringung, geringere Kosten pro Tag und insbesondere die Möglichkeit bieten, zu erkennen, ob ein Individuum beim Einflug Pollen bei sich trägt oder nicht. Dieses neue Verfahren kann für zukünftige Forschungsarbeiten von großem Nutzen sein, um das Sammelverhalten zu untersuchen und auch

detaillierte Einblicke in die Wirkmechanismen von Pflanzenschutzmitteln bei der Risikobewertung geben.

3. Übertragbarkeit auf Hummeln

Eine weitere Gattung mit ihren spezifischen Besonderheiten in das Monitoring zu integrieren, könnte einen erheblichen Mehrwert der technischen Gesamtlösung erbringen. Das apic.ai Kamerasystem wurde zwar in der Vergangenheit bereits an Hummelvolk eingesetzt, aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen scheint ein Einsatz mit hoher Stichprobe jedoch nicht wirtschaftlich sinnvoll. Daher wurde ein eigenes kompaktes Hummelsystem entwickelt, mit der Anforderung über 12 Wochen mit einem eingebauten Akku eine Hummelstudie zu begleiten und die Bildverarbeitung auf dem Gerät durchzuführen. Ein kapazitiver Sensor erwies sich als zuverlässiger und energieeffizienter Aktivitätssensor, mit einem Energieverbrauch von nur 58 mW im Standby-Modus. Das verwendete neuronale Netz der Kameraauswertung zeigte in einer Feldstudie eine Erkennungsrate von über 97% (> 66% bei verschmutzten Sichtfeld) bei einem Leistungsbedarf von nur 1,15 W. Durch weitere Trainingsdaten und Optimierung der Netzarchitektur könnte die Erkennungsrate noch weiter verbessert werden, zudem wäre eine Erweiterung des Netzes an verschiedene Hummelarten neben der untersuchten *Bombus terrestris* möglich. Das entwickelte System erfüllt die grundlegenden Anforderungen für die weitere Erforschung von Hummeln und deren Verhalten und könnte durch die geringeren Materialkosten eine Möglichkeit für großskalige, detaillierte Hummelstudien bieten.

1.2.2 Monitoringtechnologie

Zu Beginn des Projektes wurden die technischen Herausforderungen identifiziert, die mit der Implementierung des OCELI-Systems zu lösen sein würden. Dazu zählten insbesondere die Minimierung des Energiebedarfs, limitierte Rechenleistung und Konformität mit der Guten Laborpraxis. Darüber hinaus wurden technischen Ziele definiert, deren Erreichbarkeit mit dem OCELI-System demonstriert werden sollten. Dazu zählten die automatisierte Pollenfarberkennung, die on-Device Datenanalyse in Echtzeit und die Marker-Identifikation zum Zweck der Erkennung markierter Bienen. Iterativ wurde über mehrere Saisons in einem sich wiederholenden Zyklus aus Anforderungsanalyse, Prototypenbau, Feldtest und Ergebnisanalyse ein Demonstrator entwickelt, welcher alle Anforderungen erfüllt und die gewünschten Messwerte erheben kann.

Hier die wichtigsten Schritte:

- *Realisierung der Echtzeitauswertung im Feld durch Optimierung von Softwarekomponenten und Erweiterung der Kameraeinheit um spezialisierte Beschleuniger zur visuellen KI-Analyse.* Die entwickelten Systeme können dadurch simultan mehrere Datenströme erfassen und verarbeiten, wie etwa die Aktivität der Bienen, Polleneintrag und die Erkennung von Markern auf den Bienen.
- *Automatisierte Kamerakalibrierung über Methoden der Optimierung.* Dabei wurde der Messbereich der Kamera über die Kalibrierung von Belichtungszeit, Weißabgleich und Empfindlichkeit optimal

auf das Spektrum der Pollenfarben angepasst. Hierbei war eine gute Abgrenzung zu den Tieren und zum Hintergrund zu gewährleisten. Es galt, die Bildqualität und Farbtreue der Datenbasis zu maximieren, um Kenntnisse über die Möglichkeiten der Differenzierung zu erlangen.³



Abbildung C: Demonstratoren im Einsatz einer Studie zur Landschaftsbewertung.

- *Optimierung der energieverbrauchenden Komponenten und intelligentes Energiemanagement*, um den Dauerbetrieb der Systeme mit dem zu erwartenden Leistungsbedarf durch die höhere GPU-Leistung zu gewährleisten.
- *Aufbau einer geeigneten Ablagestruktur für die Daten und Entwicklung eines Tools zur schnellen Analyse.*
- *Tests zur Validierung der Eignung des Monitoringsystems zum Zweck der Erfassung von Bienenverlusten.*
- *Re-identifikation von Bienen*, die zuvor mit visuellen Markern beklebt wurden, in Zusammenarbeit mit dem FZI. Im Rahmen des Oomen Versuchs 2023 wurden über 18.000 Re-ID Bilder gespeichert und ausgewertet.
- *Visualisierung der Bienen Daten in Echtzeit auf Dashboards.* Hierdurch konnten auch Probleme erkannt und schneller behoben werden.



Abbildung D: Ausschnitt aus dem Sichtfeld des Kamerasystems; Ausschnitt einer markierten Biene.

Prozesse, die jenseits der Technologie entwickelt wurden:

- In enger Zusammenarbeit von apic.ai und Eurofins wurden Herausforderungen und Bedarfe für Prozesse betreffend die Konformität mit der Guten Laborpraxis (GLP) ausgearbeitet. Es wurden notwendige Optimierungen zur Erreichung von Konformität mit den Anforderungen definiert und umgesetzt. Für die folgenden, zuvor definierten Fragestellungen wurden Lösungen gefunden:
 - (1) Aufteilung von Zuständigkeit, Berechtigungen und Restriktionen durch Service Level Agreements.
 - (2) Dokumentation von Eingriffen bei technischen Problemen durch verschiedene Parteien in definierten Dokumenten, für Eingriffe vor Ort oder aus der Ferne.
 - (3) Definition, Speicherung und Übergabe von "Rohdaten" und Zuständigkeit für die Sicherung.
 - (4) Maßnahmen zur Minimierung des Risikos von Datenverlusten, insbesondere die Möglichkeit zur Datensicherung während der Studien.
 - (5) Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der Funktionalität der Systeme vor und während der Datenaufnahme sowie deren Dekommissionierung nach Studienende.

Test zu möglichen Erweiterungspotenzialen der Technologie:

Es wurde eine Machbarkeitsstudie zum Monitoring von Wildbienen (*Osmia* und *Megachile*) mittels eines prototypischen Hardware-Aufbaus durchgeführt, um die Übertragbarkeit des Analyseansatzes zu validieren.

Zudem gab es eine intensive Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten, mittels automatisiertem Monitoring von Bienen und anderen Indikatorspezies Biodiversitätsassessments durchzuführen. Es wurden zahlreiche Gespräche mit möglichen Nutzergruppen durchgeführt, z.B. Immobilienentwicklern und Bau-genossenschaften. Es wurden ein Flyer und ein Siegel entwickelt, um die Möglichkeiten des Monitorings darzustellen und Feedback potenzieller Kunden zu sammeln. apic.ai wurde Teil der Experten-gruppe Biodiversität der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB) und konnte im Rahmen mehrerer Sitzungen sehr viel über die Anforderungen der Landschaftsgestaltung von Betriebsgeländen und Firmenstandorten erfahren sowie selbst zur Diskussion beitragen.



Abbildung E: Prototypischer Aufbau eines Monitoringsystems für bestimmte Wildbienen.

1.2.3 Pflanzenschutzmitteltests

Validierung von Möglichkeiten zur Verbesserung, Automatisierung und Erweiterung ökotoxikologischer Testmethoden für die Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln.

- Empirische Tests zur Auswirkung letaler und insbesondere sublethaler Effekte von Pestiziden würden eine Anzahl an Wiederholungen, d.h. Test-Völkern, erfordern, die nicht realisierbar ist. Der Grund hierfür ist die extreme hohe Vielfalt in Merkmalen und Verhalten der Bienenvölker, die über eine Größenordnung höher ist als bei den meisten Tierarten. Das Modell BEEHAVE wurde deshalb bereits von der EFSA (European Food Safety Authority) eingesetzt, um die natürliche Variabilität der maximalen Volksgröße abschätzen zu können⁴. Mittels BEEHAVE wurde ein Feldversuch zu den Effekten eines Insektizides nachgestellt und interpretiert und die resultierenden Hypothesen in einem neuen Versuch getestet und bestätigt. Dabei stellte ich heraus, dass der im Feld beobachtete Effekt reproduzierbar war, d.h. sowohl im Versuch 2019 also auch im Jahr 2023 auftrat. Somit ist erstmalig die Möglichkeit gegeben, mittels der von apic.ai im Rahmen von OCELI entwickelten Technologie und Software reproduzierbare Risikobewertungen von Pestiziden im Feld, d.h. in Agrarlandschaften, mit frei fliegenden Honigbienen durchzuführen⁵.

⁴ European Food Safety Authority (EFSA), Ippolito, A., Focks, A., Rundlöf, M., Arce, A., Marchesi, M., ... & Auteri, D. (2021). Analysis of Background Variability of Honey Bee Colony Size. Vol. 18, No. 3, p. 6518E. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/sp.efsa.2021.EN-6518>

⁵ Wang M, Tausch F, Schmidt K, et al. Reduced Honeybee Pollen Foraging under Neonicotinoid Exposure: Exploring Reproducible Individual and Colony Level Effects in the Field Using AI and Simulation. Environmental Science and Technology. 2025; 59(10):4883-4892. doi:10.1021/acs.est.4c13656.



Abbildung F: Nachbeobachtungsphase einer Studie zur Messbarkeit von Effekten von Pflanzenschutzmitteln im Feld samt Demonstratoren und Wetterstation.

- Messung von Repellenz-Effekten. Ziel: Prüfung, ob die Erfassung von Aktivität und Polleneintrag präzise und zuverlässig genug ist, um eine temporäre Nicht-Aktivität der Bienen zu messen, die für bestimmte Substanzen bereits nachgewiesen wurde. Die folgende Abbildung zeigt, dass dies erfolgreich war. In der Pyrethroid-Gruppe kehrten die Bienen nach der Applikation in ihren Stock zurück und verließen ihn für ca. 90 Minuten nicht mehr. Danach normalisierte sich die Aktivität wieder. In der Gruppe wurde durch Eurofins eine deutlich geringere Mortalität gemessen.

Der Versuch eröffnet die Perspektive Pflanzenschutzmittel in Kombination mit repellenten Substanzen zu applizieren, um den Kontakt von Bienen und anderen Bestäubern während der Applikation zu reduzieren und durch geringere Exposition unerwünschte Nebeneffekte (letal wie auch subletal) zu reduzieren. Dies könnte entscheidend dazu beitragen, die Bestäuberfreundlichkeit der Landwirtschaft zu erhöhen.

Integriert in den Versuch wurden die Effekte mittels Re-ID auch auf Ebene von Kohorten frisch geschlüpfter Bienen und erfahrener Sammlerinnen untersucht. Der Versuch gelang und es konnten Auswirkungen auf das Überleben, das "Age of first foraging" und die Rekrutierung gemessen werden. Zu sehen ist dies auch in den Daten der frisch geschlüpften Bienen der Völker CA (Kontrollgruppe) und T2a (exponierte Gruppe) in Abbildung H. Die Jungbienen der Kontrollgruppe begaben sich erst nach einigen Tagen aus dem Volk und übernahmen auch dann noch nur in geringem Umfang Sammelaufgaben. Die Bienen gleichen Alters in der exponierten Gruppe begannen gleich nach der Exposition intensiv zu sammeln und nahmen die Funktion deutlich älterer Bienen ein.

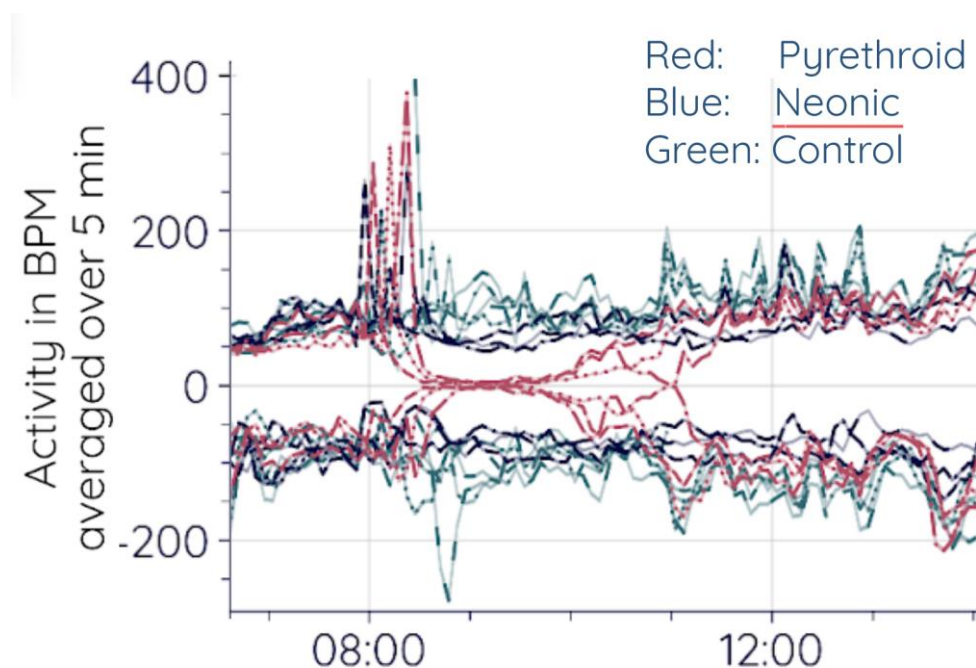


Abbildung G: Visualisierung minütlich gemessener Bienenaktivität im Versuch mit drei Gruppen. Die vier Völker, die Kontakt mit der repellenten Substanz hatten (rot), stellten temporär die Aktivität ein.

Nach der Vorstellung der vielversprechenden Ergebnisse beim BEENOVATION Kick-off kam es zu einem Austausch mit dem Deutschen Bauernverband. Dessen Vertreter zeigten sich sehr interessiert an den gemessenen Repellenz-Effekten. Daneben gab es einen Austausch mit einem großen Pflanzenschutzmittelhersteller über Anknüpfungsmöglichkeiten zur Hebung der Potenziale von Repellenz-Effekten. Das Interesse an dem Ansatz war groß, insbesondere bezüglich folgender Möglichkeiten:

- Das Einsatzfenster der Applikation der Substanzen zu verändern, sodass sie nicht nur außerhalb des Bienenflugs eingesetzt werden können.
- Erneute Zulassung von Substanzen, welche diese verloren haben, insbesondere bezüglich Kleinkulturen wie verschiedener Gemüsesorten.

Unsere Gesprächspartner beim Bauernverband waren der Meinung, dass eine Proof-of-Concept Studie sinnvoll wäre. Gleichzeitig sehen sie die Verantwortung hierfür nicht bei sich, sondern bei den Produzenten der Pflanzenschutzmittel oder auf Seiten der Politik.

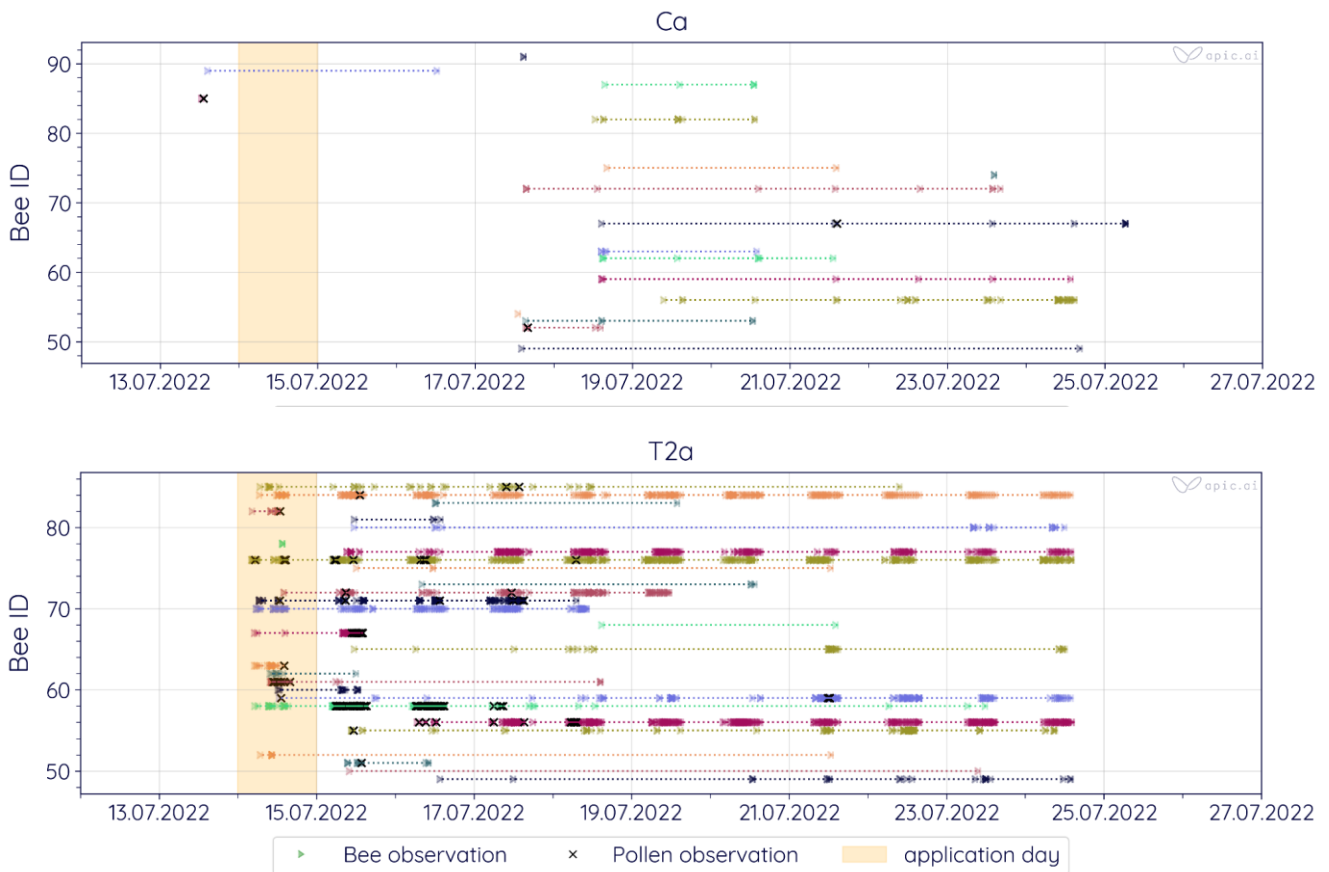


Abbildung H: Darstellung der Aktivität von frisch geschlüpften Bienen der Kontrollgruppe (oben) und der exponierten Gruppe (unten).

1.2.4 Geodatenanalyse

Entwurf und prototypische Realisierung von kontextsensitiven, geo-temporalen Datenanalysen und Verknüpfung der Daten aus dem Bestäuber-Monitoring mit räumlichen Umgebungsdaten, um neuartige, automatisierte Methoden der Flächenbewertung und die Datenbereitstellung für die anderen Funktionen zu realisieren.

- Pilotierung eines Lebensraumvergleichs zur Erfassung der Bestäuberfreundlichkeit verschiedener Land(wirt-)schaftsstrukturen. Erfassung von Langzeitdaten aus dem KI-basierten Bestäubermonitoring und Kombination mit Gewichtswerten, Umgebungsdaten und Pollenanalysen. Die Erfassung von Langzeitdaten wurde im Jahr 2022 pilotiert und 2023 verfeinert. 2023 konnten erfolgreich Daten über mehrere Monate von je vier Bienenvölkern an zwei Standorten mit unterschiedlichen Landschaftsstrukturen gesammelt werden. Die Aktivitäten wurden hierzu auch mit dem JKI abgestimmt, welches die Datenerfassung in der großstrukturen Landschaft betreute. Es konnte gezeigt werden, dass ein Vergleich von Lebensräumen über die Aktivität, den Eintrag von Pollen und den Anteil der Pollensammlerinnen möglich ist. Die folgenden Grafiken legen nahe,

dass die Bienen im großstrukturig geprägten Königslutter über weite Teile des Jahres aktiver waren und mehr Nahrung in Form von Pollen sammeln konnten als jene im kleinstrukturigem Stutensee.

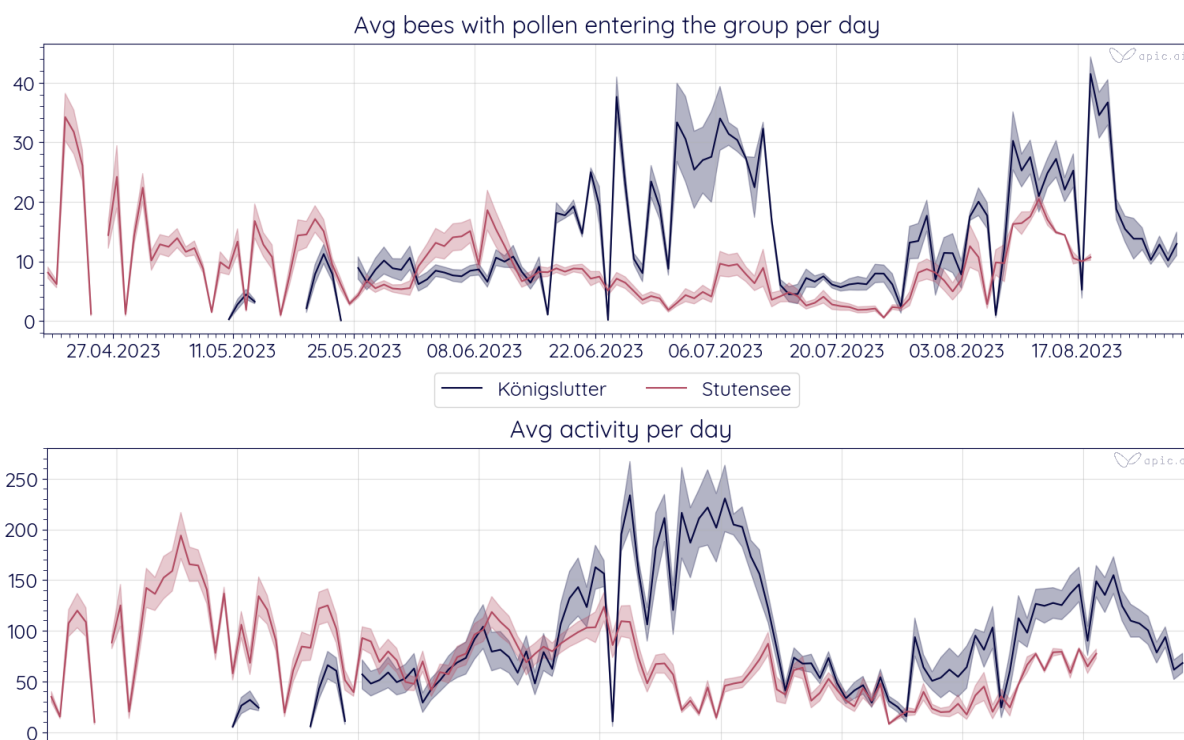


Abbildung I: Darstellung der Messwerte von zwei Gruppen von Bienenvölkern an strukturell verschiedenartigen Standorten im Jahresverlauf - durchschnittliche Einflugaktivität in Bienen pro Minute (oben) und durchschnittlicher Polleneintrag in Bienen mit Pollen pro Minute (unten). Der schattierte Bereich zeigt Unsicherheit und Variabilität innerhalb jeder Gruppe. Qualitätskriterien: Zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang sind mindestens 90 % der Daten von mindestens 3 von 4 Völkern verfügbar, sonst werden Lücken dargestellt.

- Analyse von Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität: Die Langzeitdaten aus Stutensee in den Jahren 2022 und 2023 wurden mit räumlichen Umgebungsdaten, wie Wetterdaten, Landnutzungsdaten oder den Daten zur Biodiversität (Simpson-Index), die aus eigenen Pollenbeobachtungen abgeleitet wurden, angereichert. Auf verschiedenen Wegen wurden diese Daten vorverarbeitet. Anschließend wurden Machine Learning-Ansätze angewendet, um den Einfluss der Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität zu modellieren. Durch die Anwendung von Methoden der Explainable AI konnte die Bedeutung der einzelnen Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität abgeleitet werden. Grundlegend ergab sich eine sichtbare Variabilität darüber, welche Umweltfaktoren für die Bienen- und Sammelaktivität am wichtigsten sind. Dies waren, je Vorverarbeitung und Modellierungsansatz. Sonnenfaktoren (wie Tages- und Jahreszeit, Sonnenscheindauer), Temperatur oder relative Luftfeuchtigkeit, die beständig zu den wichtigsten Umweltfaktoren gehörten. Auch die Biodiversität erwies sich als wichtiger Faktor, während für die Landnutzung (Art und Zusammensetzung) per se hier keine zentrale Rolle nachgewiesen werden konnte - hier wären jedoch für weiterführende Analysen auch kleinräumigere Eingangsdaten vonnöten gewesen. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt, welche die 20 wichtigsten Parameter für die Beobachtungen von 2022 und 2023 aggregiert über die verschiedenen Analysen

zeigt. Insgesamt waren typischerweise 70-80 % der beobachteten Variabilität über die berücksichtigten Umweltfaktoren erklärbar. Somit bietet die KI-basierte Überwachung von Bienenstöcken und die ML-basierte Datenanalyse grundsätzlich eine gute Plattform zum Studium der Bienen- und Sammelaktivität und ermöglicht ein tieferes Verständnis ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Umwelteinflüssen. Hier sind jedoch in der Zukunft sicherlich noch deutlich umfangreichere Untersuchungen möglich und notwendig. Im OCELI-Vorhaben konnten hierfür methodische und softwaretechnische Grundlagen bereitet werden.

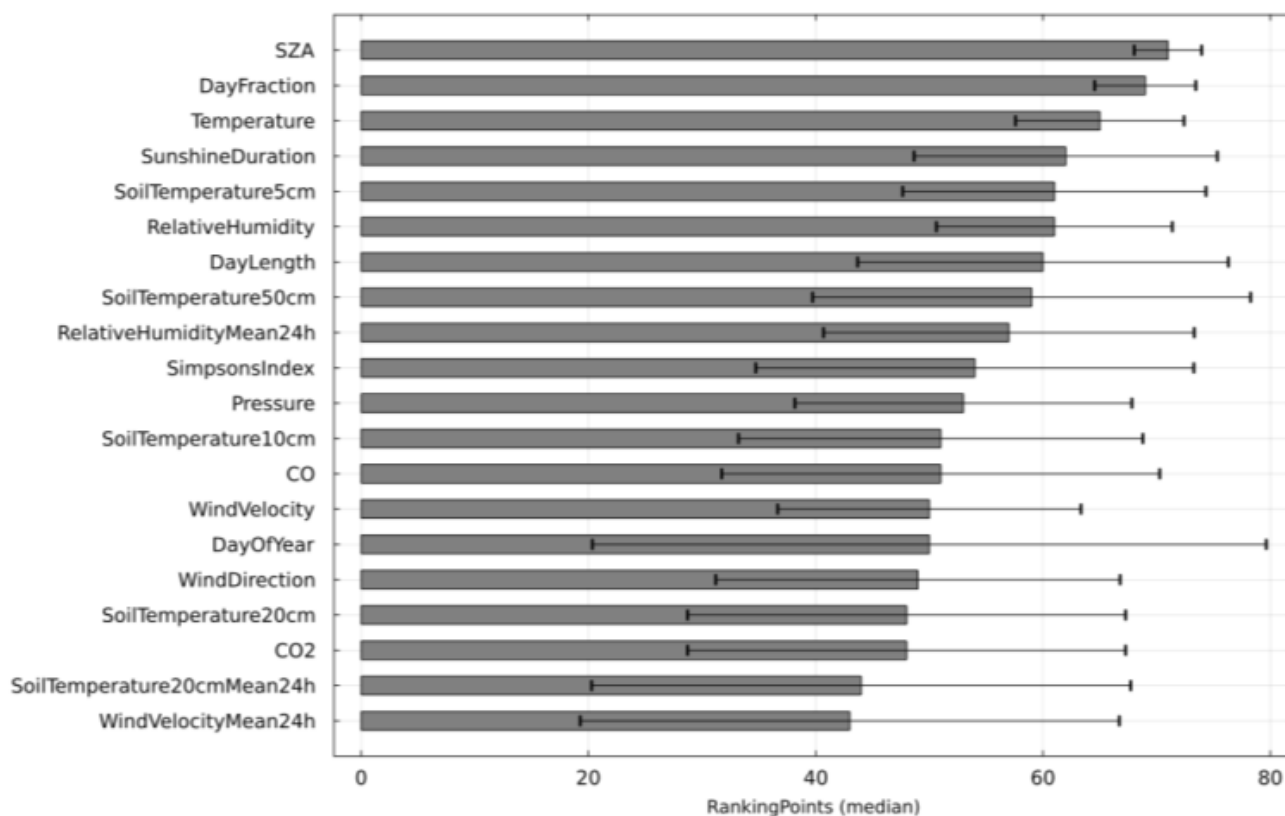


Abbildung J: Darstellung der 20 wichtigsten Parameter für die Beobachtungen von Bienenaktivität und Nahrungseintrag, basierend auf Daten von 2022 und 2023, aggregiert über verschiedene Analysen.

1.2.5 Ökologische Systemanalyse

Untersuchungen zur Erklärbarkeit von Effekten im Freiland mittels Simulationsmodell BEEHAVE.

- Die bereits erwähnten Simulationen der Feldversuche zur Risikobewertung zeigten eine überraschend gute Übereinstimmung. Hierbei wurden die entsprechenden Wetterdaten verwendet, aber keine detaillierte Darstellung der umgebenden Agrarlandschaft. Für die Reproduktion der Flugaktivität reichte es aus, eine Standardoption von BEEHAVE zu verwenden, in der summarisch je ein Frühjahrs- und Sommertrachtverlauf angenommen wird. Dies ist ein wichtiges Ergebnis: wenn nicht die Landschaftsbewertung im Vordergrund steht, und wenn es um Bestäubungsleistungen bzw. Sammelflüge geht, liefert bereits die Annahme einer summarischen Nahrungsverfügbarkeit gute Ergebnisse.

- Pilotierung einer Lebensraumbewertung für Bienen über die Dauer von mehreren Monaten. Schwerpunkt der Untersuchung war die Verfügbarkeit von Pollen und Nektar im Zeitverlauf sowie die Nahrungsvielfalt. Im Feld wurden hierzu "Ist"-Daten von Bienenvölkern gesammelt, welche die tatsächliche Verfügbarkeit von Pollen wiedergeben. Diese wurden mit "Soll"-Werten zur Nahrungsmenge aus BEEHAVE Simulationen verglichen, welche den Bedarf der Völker entsprechend dem Stand der Forschung darstellen. Die Bewertung der Pollenverfügbarkeit wurde erfolgreich mit dem Kamerasystem von OCELI umgesetzt. Für den konkreten Studienort und -zeitraum wurde im Vergleich zu den BEEHAVE Annahmen ein Überangebot an Pollen gemessen. Die Bewertung der Nektarverfügbarkeit wurde mit kommerziell verfügbaren Stockwaagen umgesetzt. Für diese wurde eigens eine Messeinheit entwickelt, um eine höhere Auflösung zu erzielen. In der Studie wurde ein deutlicher Mangel an Nektar gemessen. Dies deckte sich mit der Beobachtung des Imkers, der aufgrund des Nahrungsmangels zufüttern musste. Es zeigte sich jedoch, dass die OCELI-spezifischen Erweiterungen nicht zu einer relevanten Verbesserung des Detailgrads der Gewichtswerte beitragen konnten. Kommerziell verfügbare Waagen können entsprechend im Vergleich mit BEEHAVE genauso gute Ergebnisse liefern. Die Nahrungsvielfalt wurde mittels Pollenproben untersucht, die in regelmäßigen Abständen mit von Pollenfallen gesammelt wurden. Diese Proben wurden zur Analyse in ein Labor geschickt. Die Ergebnisse wiederum wurden genutzt, um die Verfahren zur automatisierten Vielfaltserkennung zu entwickeln. Quantifiziert wurde die Vielfalt des Nahrungsangebotes mit dem sogenannten Simpson's Index. Die Ergebnisse und das Vorgehen zur automatisierten Erfassung der Pollenfarben können im entsprechenden Paper nachgelesen werden.
- Weiterentwicklung einer 2019 durchgeführten Fütterungsstudie im Freiland in Kombination mit der Re-identifikation von Kohorten markierter Bienen. Die 2019 erhobenen Ergebnisse konnten mit der Simulation von BEEHAVE zu den Effekten einer subletalen Dosis eines Neonicotinoids in Einklang gebracht werden. Dies ist ein beeindruckendes Ergebnis, welches die Relevanz von Simulationsmodellen wie BEEHAVE demonstriert und eine Chance für deren Nutzung zum Einsatz des Schutzes von Bestäubervorkommen darstellt. Mit der Wiederholung des Versuchs sollte geprüft werden, ob die Ergebnisse reproduzierbar sind und nicht etwa Zufall. Zusätzlich sollte mit der Integration der Erhebung von Daten von Kohorten markierter Individuen die Hypothese für die Ursache der Effekte geprüft werden. Die mit den Daten der ersten Studie erstellte Hypothese besteht darin, dass die Substanz die sogenannte Handling-Time, also die Dauer von Sammelflügen, um den Faktor 10 erhöht, indem sie das vegetative Nervensystem der Bienen beeinträchtigt. Dies konnte anhand der beobachteten Flugdauern der markierten Bienen in der Behandlungs- und Kontrollgruppe geprüft werden. Die Reaktion der Bienen auf Volksebene war bezogen auf die Aktivitätsdaten und den Polleneintrag sehr ähnlich zu jener, die 2019 beobachtet werden konnte. Anders als damals hielt der Effekt jedoch auch über die Expositionsdauer hinaus an und wurde nicht kompensiert. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Studien zu unterschiedlichen Jahreszeiten stattfanden oder auch mit dem verfügbaren Nahrungsangebot. In Bezug auf die Effekte auf

Individualebene zeigte sich, dass der vorhergesagte Effekt auf die Handling-Time in der Tat auftrat, allerdings nur um einen Faktor von ca. 2 bis 3. Eine entsprechende Publikation stellt die Methoden und Ergebnisse im Detail dar.

Verbesserung des Simulationsmodells BEEHAVE durch Training mit realen Messwerten und dadurch neue Einsichten in die Faktoren, welche die Vitalität der Bienenvölker bzw. -populationen bestimmen.

- Es wurden sog. “Stressexperimente” an Bienenvölkern durchgeführt, bei denen entweder die komplette Brut entnommen wurde, oder die Sammelbienen (indem der Bienenstock so weit verschoben wurde, dass die Sammelbienen ihn bei der Rückkehr nicht mehr fanden). Es wurden Flugaktivitäten aufgenommen sowie die sog. Volksentwicklung, d.h. geschätzte Werte der Brutentwicklung und Volksgröße. Die Stressexperimente wurden mittels BEEHAVE nachgestellt. Die Volksentwicklung wurde weitgehend reproduziert, während es bei der Flugaktivität teilweise deutliche Unterschiede in der Antwort auf den Stress gab (Wang et al., in Vorbereitung). Die Ergebnisse bestätigen zum einen, dass BEEHAVE Grundmechanismen der Volksentwicklung richtig wiedergeben kann, aber die Daten zur Flugaktivität waren aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen (je vier Kontroll- und Behandlungsvölker) zu variabel, um weitere Einsichten zu erlangen.

2 Publikationen und Wissenstransfer

2.1 Beiträge zur Wissenschaft

2.1.1 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften

- Odemer, R., Jakoby, O., Barth, M., Knäbe, S., Pistorius, J., & Schmidt, K. (2024). Making Way For The Implementation of Automated Bee Counters in Regulatory Risk Assessment. *Journal of Applied Entomology*, 00, 1–7. <https://doi.org/10.1111/jen.13256>.
- Wang M., Tausch F., Schmidt K., Diehl M., Knaebe S., Bargaen H., Materne L., Groeneveld J., Grimm V. (2024). Honeybee Pollen But Not Nectar Foraging Greatly Reduced by Neonicotinoids: Insights From AI and Simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*; Volume 221 (2024); ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108966>.
- Borlinghaus, P., Tausch F., and Odemer R. (2024). Natural Color Dispersion of Corbicular Pollen Limits Color-Based Classification. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*; Volume 12 (2024), ISSN 2667-3932, <https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2024.100063>.
- Tausch F., Wagner J., Klaus S. (2023). Pollinators as Data Collectors: Estimating Floral Diversity with Bees and Computer Vision. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*, 2023, pp. 643-650.
- Wang M., Tausch F., Schmidt K., et al. (2025). Reduced Honeybee Pollen Foraging under Neonicotinoid Exposure: Exploring Reproducible Individual and Colony Level Effects in the Field

Using AI and Simulation. *Environmental Science and Technology*. 2025; 59(10):4883-4892.
doi:10.1021/acs.est.4c13656.

- Luttermann, M., Prestele, R., Grimm, V., & Groeneveld, J. (2025). Expanding the Scope of the Bumblebee Model BEE-STEWART: A Simple Foraging Module Facilitates the Parameterization. *Ecology and Evolution*, 15(5), e71468.

Eingereicht:

- Wang M., Grimm V., Requier F., Groeneveld J., Bargaen H., Knaebe S., Odemer R. (2025). Pesticide Impacts on Honey Bee Foraging Behaviour: Current Knowledge And Research Gaps. Eingereicht bei "Agriculture, Ecosystems & Environment", Juni 2025.
- Lammers D., Grimm V., Requier F., Focks A, Groeneveld J. (2025). Towards Using The BEEHAVE Honey Bee Model Across Climates: A Heuristic Approach To Let Egg-Laying Rates Emerge From Weather Conditions, Pollen Storage And Brood Pheromones. *Ecological Modelling*. Eingereicht April 2024, Revision Juni 2025.

In Vorbereitung:

- Groeneveld J, Requier F, Becher M, Wang M, Grimm V. The Integrative Honey Bee Colony Model BEEHAVE: Lessons Learned And To Be Learned. (unveröffentlichtes Manuskript).
- Wang M., Tausch F., Schmidt K., Diehl M., Knaebe S., Bargaen H., Faramarzi F., Grimm V. Insight From Using The BEEHAVE MODEL To Mimick Stress Experiments With Honey Bee Colonies. (unveröffentlichtes Manuskript)

2.1.2 Vorträge

- Möglichkeiten des visuellen Bestäubermonitoring (Tagung der Bieneninstitute 22)
- The integrative honeybee colony model BEEHAVE: lessons learned (SETAC Europe 22)
- How can an automatic flighty activity monitor contribute to influence our understanding of risk for pollinators? (SETAC North America 22)
- Honey bee lifecycle assessment and homing success in field observations with the help of visual bee monitoring technology (ICPPR 22)
- Determination of repellency effects on honey bees & studying pollen and nectar collection behaviour under semi-field conditions, Germany 2022 (ICPPR 22)
- Bewertung des Lebenszyklus von Honigbienen anhand von Feldbeobachtungen mittels visuellem Monitoring (EuroBee 2023)
- From in silico to in vivo: understanding honeybee foraging under pesticide exposure, Tallinn 2024 (EURBEE September 2024 16-19)
- AI-Powered Field Monitoring with Modelling: Uncovering the Hidden Impacts of Sublethal Neonicotinoids on Bees (ICPPR 24)

- Survival Analysis of Marked Honey Bees Using Re-Identification: Insights from two Studies (ICPPR 24)
- Digital Farming Conference in Berlin, Panel Diskussion „Algorithmus schlägt Bauernregel – wie digital ist die Zukunft der Landwirtschaft“ with Dr. Ophelia Nick, 17.05.2022. [Video](#)
- Honigbienen am Computer simuliert... Geht das überhaupt und warum?“, 7.11.2023, Bremer Imkerverein, Bremen
- Vorstellung der Projekterkenntnisse beim gemeinsamen BEENOVATION-Abschluss am 17.10.2024 in Berlin mit 3 thematisch abgegrenzten Vorträgen zu zentralen Projektergebnissen.
 - KI-basiertes Monitoring im BEEHAVE-Modell nachgestellt: neue Erkenntnisse über den Einfluss von Neonicotinoiden auf die Honigbiene
 - Zuordnung der Bienenaktivität zu Umweltfaktoren
 - Möglichkeiten des KI-basierten Bienenmonitorings für den Schutz von Honigbienen und weiteren Bestäuberinsekten.
- Bienenbasiertes Biomonitoring zur Erschließung der synergetischen Wirkmechanismen von Landwirtschaft und Bestäuberinsekten, Innovationstage 2024 (BLE), Berlin
- Vorstellung der Echtzeit- und Farbanalyse als zukünftige Möglichkeit im Rahmen einer eigenen Webinar-Reihe an 5 Terminen im Winter 2021/22 für internationales Fachpublikum als vorwettbewerbliche Aktivität zur Gewährleistung der zeitnahen und nachhaltigen praktischen Nutzung der Projektergebnisse

2.1.3 Poster bei wissenschaftlichen Konferenzen

- Measuring the quality of pollinator habitats and the effectiveness of measures to increase feed availability (Tagung der Bieneninstitute 22)
- Honey bee lifecycle assessment and homing success in field observations with the help of visual bee monitoring technology (SETAC Europe 22)
- GLP requirements for using visual bee monitoring technology in ecotoxicological studies (ICPPR 22)
- Eurofins - Comparison of Dead Bee Traps for Honey Bees (ICPPR 22)
- Evaluation of bee counters - a new protocol for measuring the accuracy of daily losses (ICPPR 22)

2.1.4 Abschlussarbeiten

- Mielke, Vincent „Vorhersage der Aktivität von Bestäuberinsekten anhand von Umweltfaktoren“, Bachelor-Thesis Hochschule Karlsruhe, 2022.
- Hartmann, Thomas „Entwicklung eines Systems zur Beobachtung und Bewertung von Hummelvölkern, Master-Thesis KIT Karlsruhe, 2022.

- Lammers, Dominik "Implementierung neuer Pollen- und Eierlege-Module und Analyse des Einflusses auf die simulierte Dynamik der Bienenkolonie im BEEHAVE-Modell", Masterarbeit, Universität Osnabrück.
- Luttermann, Max "Advancing the application of a bumblebee simulation model to the national scale", Master-Thesis, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2024.
- Wagner, Jan „Automatisierte Erfassung der lokalen, floralen Diversität mittels Computer Vision, Master-Thesis KIT Karlsruhe, 2022.
- Hermann, Marius „Vorhersage und Mustererkennung der Aktivität von Apis Mellifera anhand von Umweltfaktoren“, Bachelor Thesis, Hochschule Karlsruhe, 2023.
- Slobodyanik, Anastasia „Multitask Self-Training for Detection of Honeybees and their Attributes“, 2023.

2.2 Öffentlichkeitsarbeit

- "Science Release" Pressemeldung der American Chemical Society anlässlich der Veröffentlichung des Papers "Reduced Honeybee Pollen Foraging under Neonicotinoid Exposure: Exploring Reproducible Individual and Colony Level Effects in the Field Using AI and Simulation" von Wang et. al. im März 2025. Abrufbar unter: <https://www.acs.org/pressroom/presspacs/2025/april/simulations-predict-how-pesticides-may-affect-honeybee-colonies.html> ab dem 17.05.2025.
- Pressemitteilung zu den Projektergebnissen von Disy. Veröffentlicht am 10.03.2025 auf der disy Website, abrufbar unter <https://www.disy.net/de/unternehmen/presse/pm-ki-gestuetzte-analyse-der-bienenaktivitaet/>
- Disy-Newsletter-Beitrag „KI-gestützte Analysen: Welche Umweltfaktoren die Bienenaktivität beeinflussen“, veröffentlicht auf der Disy-Homepage am 11.03.2025, abrufbar unter <https://www.disy.net/de/beitraege/ki-gestuetzte-analysen-zur-bienenaktivitaet/>
- Pressemitteilung zur BEENOVATION Abschlussveranstaltung vom 18.10.2024, abrufbar unter <https://www.beenovation.de/post/pressemitteilung-abschlussveranstaltung-der-vernetzungs-und-transferma%C3%9Fnahme-beenovation>.
- BEENOVATION Podcast Beiträge von Silvio Knaebe (Eurofins) und Katharina Schmidt (apic.ai) <https://www.beenovation.de/post/beenovation-jetzt-summt-s-auch-auf-den-ohren>
- Beitrag in Financial Times Podcast Episode „The future of AI in Sustainability“ <https://shows.acast.com/the-next-five/episodes/the-future-of-ai-in-sustainability>. 28.11.2023
- Image video des Landes Baden-Württemberg mit Besuch eines der OCELI Studienorte. 17.11.2022. <https://www.thelaend.de/unternehmensprofil-apicai/>
- Wirtschafts magazin der IHK November 2022
- 37° Leben TV Reportage, Bewusstes imkern mit dem Besuch eines der OCELI Studienorte, 14.10.2022. (<https://www.zdf.de/dokumentation/37-grad-leben/anders-ackern---bewusst-imkern-102.html>)
- Beitrag auf der Seite von Soll-Galabau 04.10.2022. [Link](#).

- Pressemitteilung disy, „Mit Geodatenanalysen dem Bienensterben auf der Spur“, veröffentlicht auf der Disy-Homepage 21.09.2022, abrufbar unter <https://www.disy.net/de/unternehmen/presse/mit-geodatenanalysen-dem-bienensterben-auf-der-spur/>.
- Beitrag auf der Seite Geobranchen.de 22.09.2022, abrufbar unter <https://www.geobranchen.de/mediathek/geonews/item/mit-geodatenanalysen-dem-bienensterben-auf-der-spur>.
- Beitrag auf der Seite von VDV-Online 22.09.2022., abrufbar unter <https://www.vdv-online.de/aktuelles/vdvaktuell/mit-geodatenanalysen-dem-bienensterben-auf-der-spur.html>.
- Vodafone Blog Beitrag und Pressemitteilung, Bericht über Vodafone’s Unterstützung von apic.ai und die Freigabe ihrer Daten für die OCELI Forschung. 27.08.2022, abrufbar unter <https://newsroom.vodafone.de/gigabeeprotect-iot-ki-fuer-bienchen-und-bluemchen>.
- Der Spiegel online & magazine, OCELI and apic.ai. 20.06.2022.
- Deutsches Bienenjournal, Nennung von apic.ai’s Präsentation bei der Tagung deutscher Bieneninstitute. 01.05.2022
- Land in Form Magazin, Report über Katharina Schmidt, apic.ai und OCELI Anwendungen in der Landwirtschaft. 01.03.2022
- Gemeinsame Pressemitteilung zur Vorstellung des OCELI Projektes. Veröffentlichung u.a. über die FZI Website am 21.02.2022, abrufbar unter <https://www.fzi.de/wp-content/uploads/2021/07/doku-presse-oceli.pdf>.

3 Arbeitspakete und Meilensteine

3.1 Umsetzung der Arbeitspakete (Disy Informationssysteme GmbH)

AP 1: Spezifikation Gesamtlösung

- Abstimmung der *direkt zu beobachtenden Parameter* (wie Bienenzahl, Bienen mit Pollen, Aktivität (Ingress, Egress, Netto-Aktivität), Wetter, Pollenzusammensetzung, Gewicht des Bienenstocks) und der entsprechenden *Mess-Sensoren* (z.B. Kameras, Pollen-Fallen, meteorologische Sensoren) sowie *Stresstest-Szenarien* für die Bienen (z.B. Schließen des Bienenstocks, Entnahme von Honig)
- Abstimmung der *aus externen Datenquellen* einzubindenden Parameter (Landnutzung aus Satelliten-Daten, Dürre-Monitor, Phänologie, Spurengasverteilungen, Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes zum Vergleich)
- Konzeption und Abstimmung der *Integration aller Teildatenströme* in ein Gesamtsystem für den Datenaustausch zwischen den Projektpartnern (Cloud-Speicher, zusätzlich Datenbank), über

die zugehörigen *ETL-Strecken* (Vergleich der Umsetzung mit [Apache Airflow](#) oder mit der [Programmiersprache Julia](#)) sowie die *benötigten Schnittstellen* für Weiterverarbeitung und Analyse

- Diskussion, Vorstudien und prototypische Umsetzung einer *interaktiven Visualisierung* der Resultate, passend für unterschiedliche Zielgruppen – entsprechende Tests mit der Datenanalyseplattform [disy Cadenza](#) basierend auf Daten aus einem Vorgänger-Projekt (Beobachtungen im Raum Karlsruhe 2019/2020) sowie Beobachtungen an 5 Standorten 2021
- Diskussion von *Hypothesen möglicher Wirkmechanismen* zwischen Bestäubern und ihrer Umgebung und *möglicher Indices für die Landschaftsbewertung* (z.B. Verhältnis Bebauung zu Nichtbebauung oder Grünflächen zu Nichtgrünflächen im Umkreis eines Bienenstocks)

AP 3: Geoanalysen und Flächenbewertung

- Recherche relevanter *Datensätze* (Open Data, von Forschungseinrichtungen und Behörden) und Abstimmungen mit den entsprechenden Daten-Providern
- Aufbau und Optimierung (Laufzeit, Erklärungsgüte) von *Datenverarbeitungs-Pipelines* in der Programmiersprache Julia in Form von dedizierten Paketen ([Packages](#))
- Prototypischer Aufbau einer OGC-API mittels [PyGeoAPI](#) als zusätzliche Schnittstelle für die räumlichen Daten des Projekts
- Interaktive *Visualisierungen* der Daten in [disy Cadenza](#) (zunächst in Cadenza Version 8, später im Projektverlauf überführt in Cadenza Version 9)
- Aufbau und Optimierung (Debugging, Einbettung) eines prototypischen Frameworks zur *Analyse der Bienenbeobachtungen* zusammen mit den Umweltdaten (Wetter, Spurengasverteilungen, Landnutzung, Dürredaten, Phänologie) in der Programmiersprache Julia
- Untersuchung und *Vergleich verschiedener Wetter-Datenquellen* (vom DWD und der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg / LUBW) sowie Verarbeitungen auf Basis von Daten aus einem Vorgänger-Projekt mit dem Resultat geringer Abweichungen in der Gesamtanalyse
- Analyse des Einflusses der Umweltdaten auf die Bienenaktivität mit Regression sowie verschiedenen Machine Learning-Ansätzen (Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machines, Neural Networks)
- Berücksichtigung verschiedener *Landnutzung-Indices* in der Bienenaktivitäts-Analyse für eine Landschaftsbewertung
- Prototypische Verknüpfung von Datenanalyse und [disy Cadenza](#) über die Cadenza Analytics-Schnittstelle in Form eines dedizierten Julia-Pakets

- Analyse der *Langzeitbeobachtungen* (inklusive Eliminierung von Daten, die durch Sensitivitätsstudien beeinflusst waren) aus den eigentlichen OCELI-Beobachtungen 2022 und 2023, Fokus auf den Beobachtungen aus Stutensee (2022: effektiv Juni bis September; 2023: effektiv Mai bis August). Resultate der Analysen:
 - KI-gestützte Überwachung von Bienenstöcken bietet eine gute Plattform zum datenbasierten Studium der Bienenaktivität
 - Wichtigkeit der Merkmale für die Bienenaktivität variiert mit den jeweils gewählten Randbedingungen (Aktivitätstyp, Modelltyp, Modelleinstellungen), wodurch der Aggregationsbedarf höher ist
 - Sonnenparameter (Tag, Jahreszeit), Temperatur, Sonnenscheindauer oder relative Luftfeuchtigkeit gehören beständig zu den wichtigsten Merkmalen
 - Biodiversität (Simpsons Index) ist auch ein wichtiges Merkmal
 - 70-80 % der beobachteten Variabilität sind typischerweise über die berücksichtigten Umweltfaktoren erklärbar
 - Anteil der Pollensammler (ShareOfForeiger) ist am schwierigsten zu analysieren/modellieren, Polleneintrag fällt auch gegenüber den anderen Aktivitätsparametern ab
 - beste Resultate für 2022 und 2023 wurden typischerweise durch Random Forests erzielt; diese Erkenntnis ließ sich aber nicht auf alle betrachteten Beobachtungskampagnen übertragen; für die Analysen zum Vorgängerprojekt 2021 waren Neural Networks erfolgreicher

AP 4: Ökologische Systemanalyse

- Erstellung von zentralen *Input-Dateien für das BEEHAVE-Modell* bezüglich des Wetters und der Landnutzung (technische Umsetzung in der Programmiersprache Julia)

AP 5: Systemintegration Monitoringtechnologie

- Abstimmung der *meteorologischen Mess-Sensoren* an den Bienenstöcken auf Basis der Expertise bei Disy
- Technische Vorbereitungsarbeiten und konkrete Umsetzung der *Integration* aller Teildatenströme in das zentrale Gesamtsystem mit disy Cadenza

AP 6: Fallstudien

- Mitarbeit bei der *Konzeption der Fallstudien* unter dem Gesichtspunkt der Geoanalysen
- Einbeziehung der Ergebnisse aus *Daten der Vorgänger-Projekte* (Beobachtungen im Raum Karlsruhe 2019/2020 und Beobachtungen an 5 Standorten 2021)
- *Analyse der Langzeit-Studien* aus den Jahren 2022 und 2023 in Stutensee, Wolfsburg und Königslutter

AP 7: Koordination, Ergebnisverbreitung und Vernetzung

- Beiträge zur *kollaborativen Projektkoordination* (bei zwei- bis vierwöchigen Online-Treffen sowie insgesamt vier Präsenztreffen des Gesamtkonsortiums)
- Zuarbeit zur *FZI-Pressemeldung* zum Projektstart für Februar 2022
- Einbindung Studierender durch ein *Innovationsprojekt* an der Hochschule Offenburg zu Daten und Themen des Projekts sowie eigens beschafften Zusatzdaten insbesondere aus Bienenstockwaagen
- Erstellung einer *Disy-Pressemitteilung* zum Projekt (im September 2022) und Verteilung an eine Vielzahl von deutschen Newslettern und Magazinen
- Einbindung studentischer Mitarbeiter durch die *Bachelorarbeit* „Vorhersage der Aktivität von Bestäuberinsekten anhand von Umweltfaktoren“ von Vincent Mielke (Hochschule Karlsruhe) zu Daten und Themen des Projekts (Februar 2022)
- Einbindung studentischer Mitarbeiter durch die *Bachelorarbeit* „Vorhersage und Mustererkennung der Aktivität von Apis Mellifera anhand von Umweltfaktoren“ von Marius Herrmann (Hochschule Karlsruhe) zu Daten und Themen des Projekts (April 2023)
- Erstellung einer Disy-Pressemitteilung zum Projektabschluss (im März 2025) und Verteilung an eine Vielzahl von deutschen Newslettern und Magazinen

3.2 Erreichung der Meilensteine (Disy Informationssysteme GmbH)

Alle geplanten Meilensteine wurden erreicht.

M1: Anforderungsanalyse, unspezifische Datenerhebung sowie Aufbau eines Basissystems

Ziel: eine detaillierte Anforderungsbestimmung an das OCELI Gesamtsystem sowie der Aufbau eines Basissystems zur Datenerhebung als Grundlage zur explorativen Merkmalsextraktion.

Ergebnisse: Es wurde vom Gesamtkonsortium ein Lasten- und Pflichtenheft ausformuliert, das im weiteren Projektverlauf dynamisch fortgeschrieben wurde. Der Prototyp eines Basissystems, mit dem alle nötigen Daten nach der Anforderungsanalyse erfasst werden können, wurde aufgebaut und ein Test der Echtzeitfähigkeit durchgeführt. Erste Feldstudien wurden durchgeführt, um für die weitere Entwicklung eine erste Datengrundlage zu generieren.

Da die Aufgaben von Disy nicht die Erzeugung, sondern die Analyse von Daten umfassten, war Disy in all diesen Aktivitäten und Ergebnisse begleitend und unterstützend tätig, z.B. durch die Teilnahme an Konsortialtreffen, durch das Reflektieren von Zwischenergebnissen und die Bewertung der Ansätze aus Sicht der Datenanalyse und der Geoinformatik, mit Blick auf die Verwertbarkeit für die Landschaftsbewertung.

MS-2: Präsentation der ersten Ergebnisse auf einer Fachkonferenz

Ziel: Zur Validierung der festgelegten Anforderungen wurden die Ergebnisse aus der ersten Saison aufbereitet und auf mehreren Fachkonferenzen präsentiert.

Ergebnisse: Der Meilenstein wurde vom Gesamtkonsortium durch mehrere Konferenzvorträge und Posterpräsentationen übererfüllt. Da es sich hier überwiegend um fachliche Themen zur Bienenforschung handelt, hat Disy als Softwarepartner allerdings nur marginal beigetragen, durch Zuarbeiten hinsichtlich der Softwareanalyseansätze bzw. -ergebnisse.

MS-3: On-Device Prototyp ist einsatzbereit; Szenarien für Fallstudien wurden definiert

Ziele: Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen für die Extraktion der relevanten Merkmale und die deren Gewinnung; Optimierung der Monitoringsysteme und Produktion in der für die Erhebung notwendigen Anzahl. Entwurf und initiale Umsetzung der Speicher- und Verarbeitungsarchitektur für die Datenströme sowie Massen- und Geodaten. Einspeisen und initiale Analyse der erforderlichen Daten aus der Fernerkundung und anderen Quellen (Open Data, amtliche Daten). Konkretisierung des Fallstudien-Designs.

Ergebnisse: Disy als Software- und Datenanalysepartner war mit Blick auf die Gesamtarchitektur und -umsetzung auch hier beratend und unterstützend tätig.

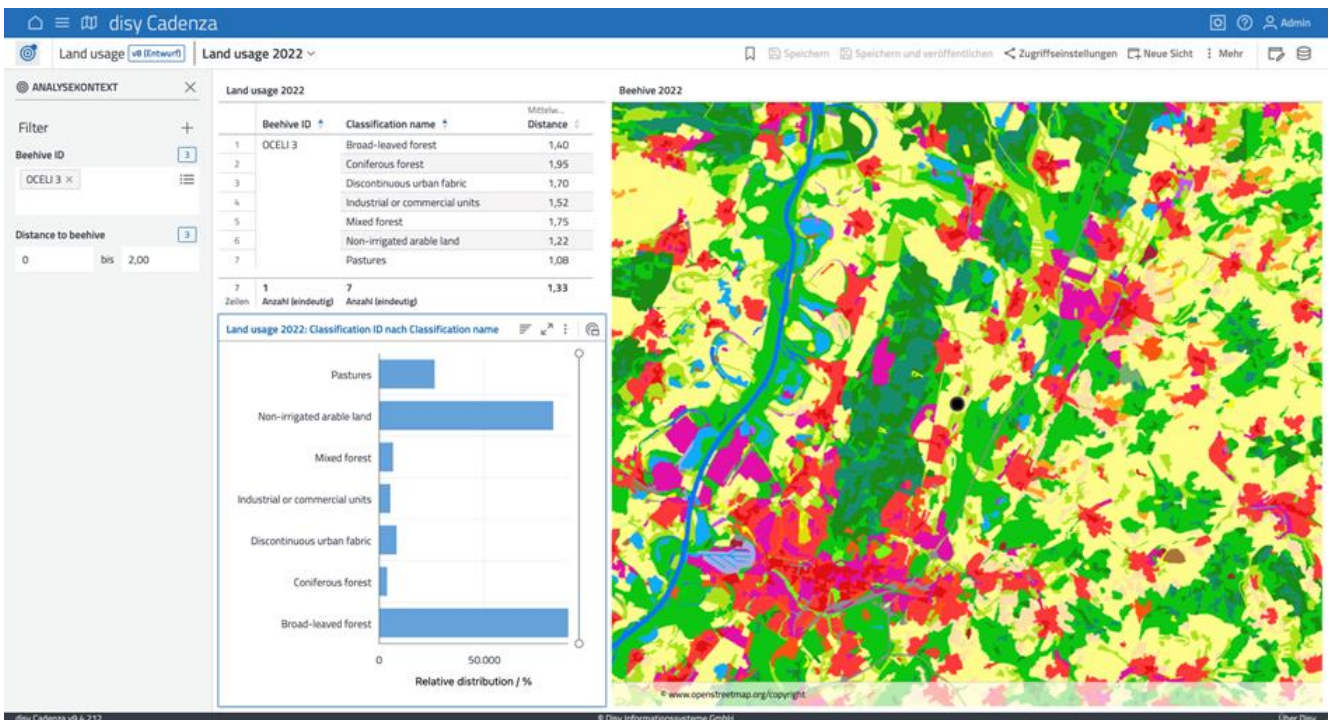
Für die Datenanalysezwecke in OCELI wurde ein Geo Data Warehouse auf Basis der Software disy Cadenza angelegt. Disy Cadenza ist eine Datenmanagement und -analyse-Plattform, mit deren Hilfe

man aus unterschiedlichen (Geo-)Datenbanken, (Geo-)Daten-diensten oder (Geo-)Dateien ein (virtuelles oder persistentes) (Geo-)Data Warehouse aufsetzen kann. Dort können heterogene Daten mithilfe von ETL-Prozessen (Extract-Transform-Load) in ein harmonisiertes Datenmodell zusammengeführt werden. Auf Basis dieses Cadenza-internen Datenmodells kann man feinkörnig Benutzerrollen und Datenzugriffsrechte definieren. Kernfunktionalität ist es dann, benutzungsfreundlich aufgaben- bzw. nutzergruppenspezifische, Web-basierte Dashboards und Anwendungen zur Visualisierung, Analyse und zum Reporting von Sach- und Geodaten zu erstellen. Je nach Konfiguration der Dashboards können diese über die in den Daten auftretenden Attribute (räumlich, zeitlich, Sachattribute) filterbar sein, so dass sich alle Darstellungen im Dashboard (Tabellen, Kartendarstellungen, Geschäftsgrafiken, KPIs, ...) auf die aktuelle Datenselektion beziehen. Die entsprechenden Datenauswahlen und/oder -visualisierungen und -auswertungen können in gängigen Formaten exportiert oder über standardisierte Web-Dienste für andere Anwendungen bereitgestellt werden. Zusätzliche GIS-Operationen und die Möglichkeit zur tiefen Integration von räumlichen und nicht-räumlichen Datenverarbeitungsfunktionen machen das Werkzeug zu einer Plattform für „Business & Location Intelligence“. Außerdem wurde im zeitlichen Kontext und mit Unterstützung des OCELI-Projekts die Cadenza Analyse-Erweiterung konzipiert, realisiert und schrittweise weiterentwickelt. Diese dient dazu, beliebige externe Algorithmen, wie z.B. KI-Verfahren und Machine-Learning-Verfahren, aus Cadenza heraus auf dort zusammengestellte Daten anzuwenden und die Ergebnisse ins Cadenza Data Warehouse zurückzuspielen.

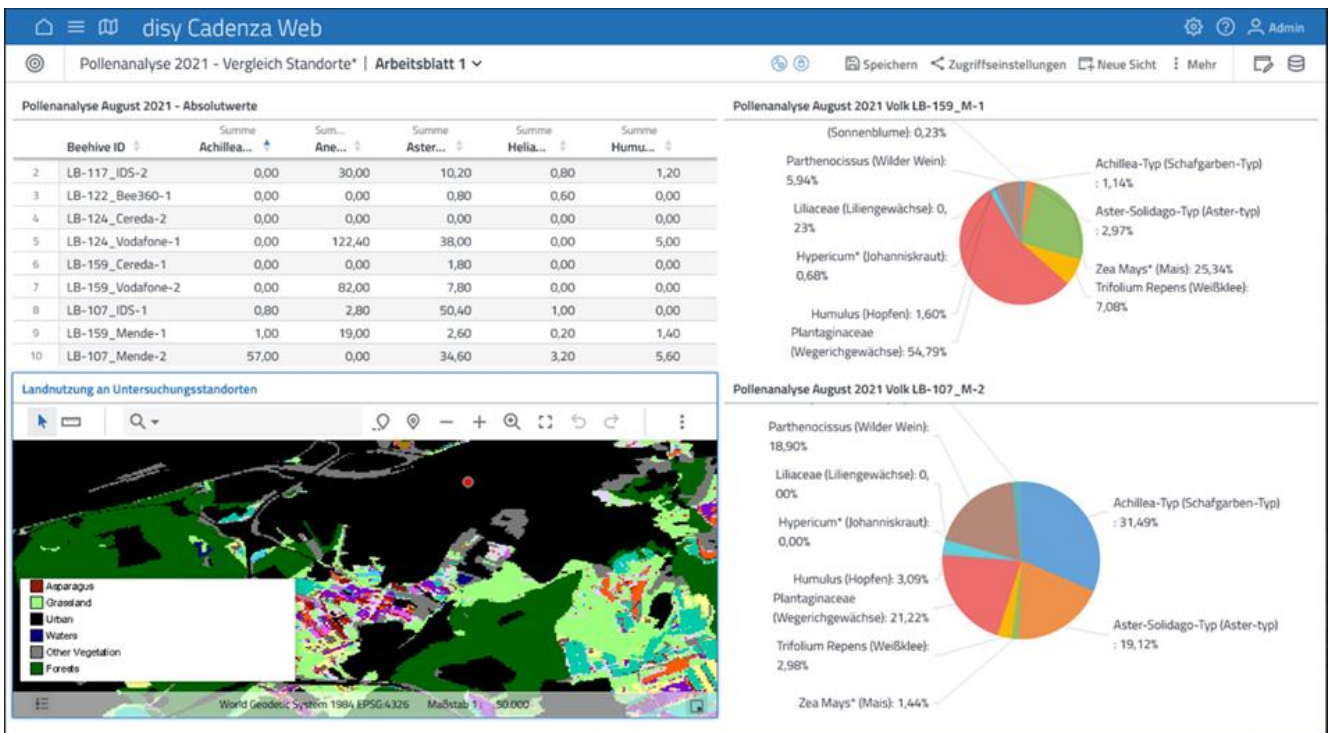
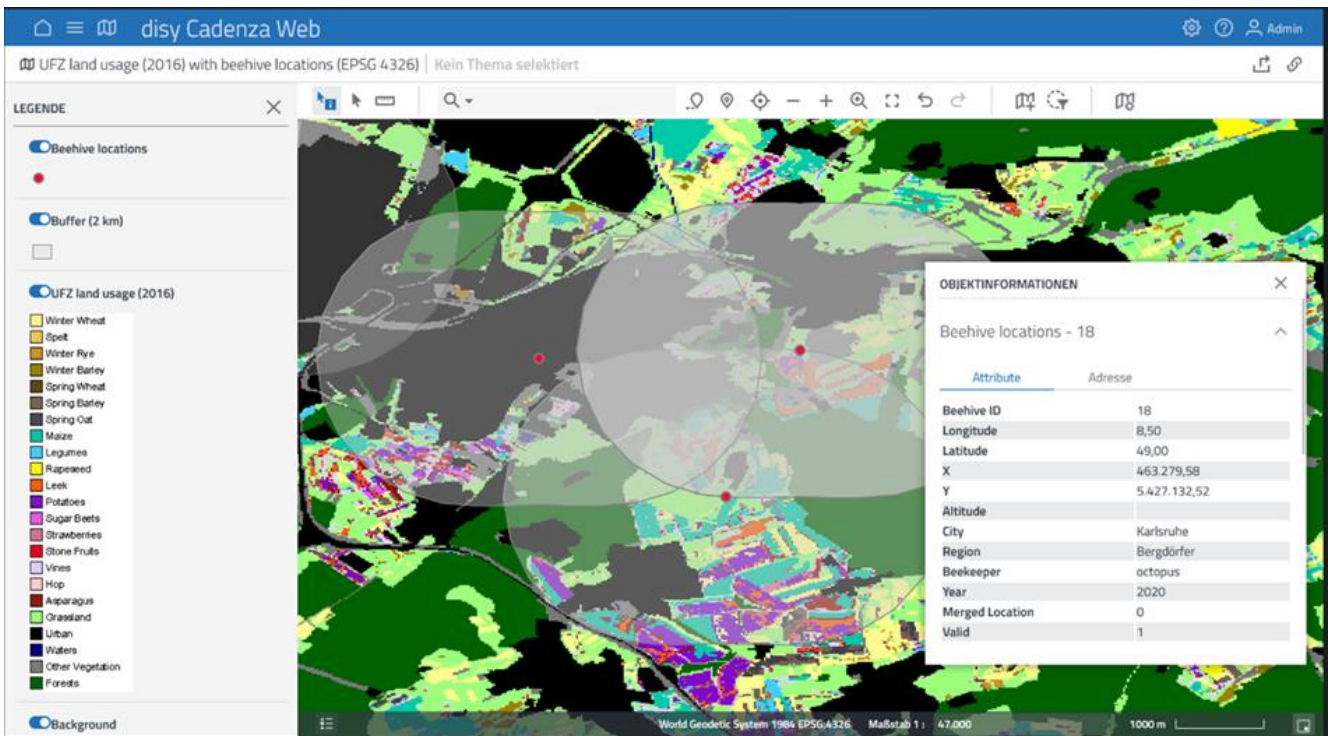
Mithilfe von Cadenza wurde somit zunächst ein Geo Data Warehouse für OCELI realisiert und auf dieser Basis ein Analyse-System für die Beobachtungen der Bienen- und Sammelaktivität prototypisch realisiert. In das Geo Data Warehouse wurden räumliche Umgebungsdaten integriert, wie z.B. (im Endausbau) Hintergrundkarten und Standorte der betrachteten Bienenstöcke, meteorologische Daten des DWD (wie stündliche Beobachtungen von Niederschlag, Taupunkt, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Bodentemperatur, Sonnenscheindauer, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung), Landnutzungsdaten (CORINE und UFZ Landnutzung), Bodendaten, Ergebnisse von beispielhaften Pollenanalysen, lokale Berechnungen des Simpson-Index zur Biodiversität sowie Daten aus verschiedenen Beobachtungskampagnen der Bienenaktivität. Die Datenquellen umfassen Fernerkundungsdaten, Open Data, Beobachtungsdaten aus dem Projekt (später) und aus Vorgängerprojekten.

Die nachfolgenden Abbildungen illustrieren die GUI dieses Systems. Das erste Dashboard zeigt die Standorte von OCELI-Bienenstöcken (schwarzer Punkt) im lokalen Landnutzungskontext (farbige Hintergrundkarte). Die Tabelle links oben listet die Entfernungen vom Bienenstock zu verschiedenen Landnutzungsarten auf. Das Balkendiagramm links unten zeigt die Verteilung verschiedener Landnutzungsarten in der Umgebung des Bienenstockes an. Ganz links im sog. „Analysekontext“ werden die Filtereinstellungen für die darzustellenden Daten gesetzt. Im konkreten Beispiel kann man

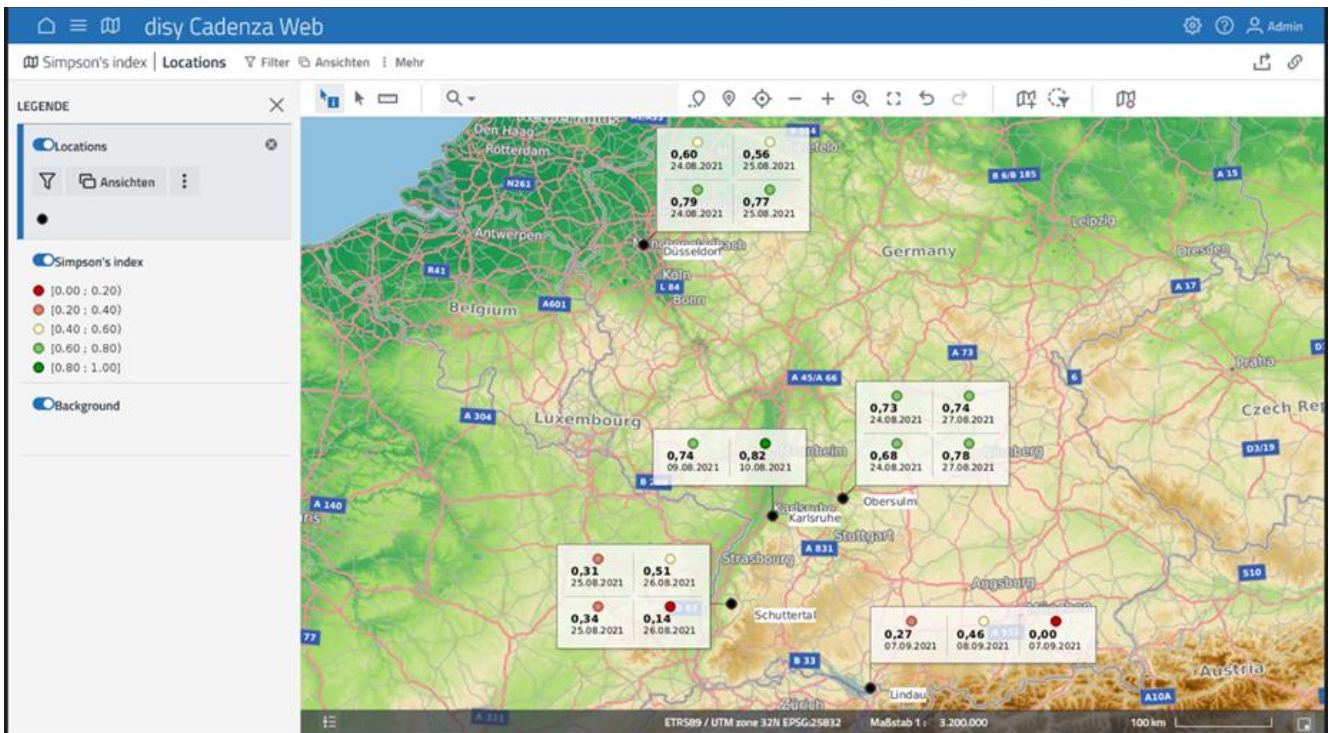
den zu betrachtenden Bienenstock und die maximale Entfernung zur räumlichen Begrenzung der betrachteten Umgebung auswählen.



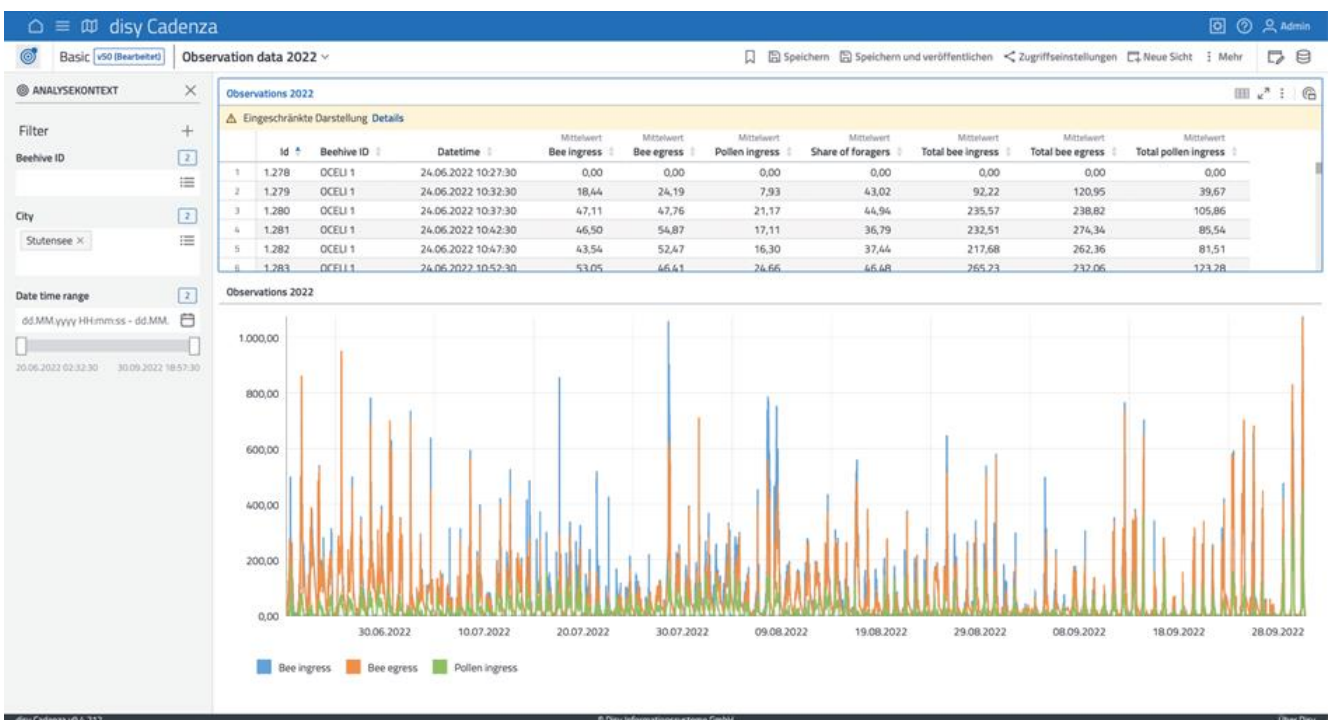
Der nachfolgende Bildschirmabzug illustriert eine der oben erwähnten, einfachen Möglichkeiten der „Location Intelligence“. Hier wurden verschiedene Standorte von Bienenstöcken auf eine Landnutzungskarte projiziert und dann 2-km Umkreise um die Stöcke angezeigt, so dass man sehen kann, welche Landnutzungsarten bei einem typischen Trachtflug erreichbar sind. In Erweiterung der klassischen Kartendarstellungen zeigt der darauffolgende Screenshot wiederum ein Dashboard. Hier werden die Daten einer Pollenanalyse dargestellt. Oben links die Ergebnisse tabellarisch, auf der rechten Seite sieht man für zwei Völker die Zusammensetzung aller gesammelten Pollen als Tortendiagramm. Unten links kann man wiederum die entsprechenden Standorte der Stöcke auf der Landnutzungskarte verorten.



Die Möglichkeit, Geschäftsgrafiken und Fachkarten zu verbinden, wird in der folgenden Darstellung gezeigt. Hier wurde für verschiedene Standorte aus den Pollenanalysen verschiedener Daten jeweils der Wert des Simpson-Index zur Biodiversität errechnet und in einer einfachen Farbkodierung auf der Karte angezeigt.



Das nachfolgende Dashboard zeigt gesammelte Beobachtungsdaten zur Bienenaktivität. In der oberen Hälfte werden die Beobachtungen mit ihren einzelnen Attributwerten (Beobachtungs-ID, Bienenstock, Beobachtungszeitpunkt, Bienen Ingress, Bienen Egress, ...) aufgelistet. Die untere Visualisierung zeigt den zeitlichen Verlauf verschiedener Attribute (Ingress, Egress, Pollen Ingress) als Zeitreihe. Auch hier kann links im „Analysekontext“ nach dem konkreten Bienenkorb, der Stadt des Standorts und dem Beobachtungsdatum gefiltert werden.



In diesem Prototyp wurde zunächst mit Daten aus OCELI Vorgänger-Projekten der Jahre 2019, 2020 und 2021 gearbeitet, die dann später (MS-5) um Daten aus den eigentlichen OCELI-Beobachtungszeiträumen 2022 und 2023 ergänzt wurden.

Zur optimalen Einbindung von OCELI in bestehende Geodateninfrastrukturen, z.B. bei der öffentlichen Verwaltung, wie Landesumweltämtern oder Landwirtschaftsanstalten, wurde auch evaluiert, wie gut in solchen Kontexten die OGC-API-Standards anwendbar sind. Das Open Geospatial Consortium (OGC) hat seit vielen Jahren Schnittstellenstandards für den web-basierten Austausch von Geodaten (Kartenbilder, Kartenkacheln, Vektordaten, Rasterdaten, Datenkataloge) definiert, die auch praktisch in allen amtlichen Softwareinfrastrukturen für den Geodatenaustausch verwendet werden. Die OGC-API-Standards sind neuere Nachfolger für diese Geodatendienste-Standards. OGC-API ist zum Teil auch schon seit einigen Jahren stabil (z.B. „OGC API Features“ seit 2019), aber trotzdem in der Praxis noch weit weniger verbreitet als die Vorläufer. Daher wurde in OCELI evaluiert, ob es hierfür technische Gründe geben könnte. Konkret wurde der „OGC API Environmental Data Retrieval“ Ansatz untersucht (publiziert 2023), mit dem man geo-temporale Datenquellen insbesondere nach zeitlichen und räumlichen Filterkriterien abfragen kann. Dazu wird eine REST-Schnittstelle spezifiziert. Es wurden experimentell verschiedene OCELI-Datenbestände mithilfe der pygeoapi angefragt, um sie in den ML-Verfahren in OCELI zu verwenden. Dabei stellte sich diese Umsetzung als robust und effizient heraus, insbesondere auch leichtgewichtiger und effizienter als frühere OGC-Standards, gerade wenn man größere Datenmengen transferiert.

MS-4: Demonstrator der Gesamtlösung ist einsatzbereit

Ziele: Die Integration aller Teildatenströme auf einer gemeinsamen Plattform ist abgeschlossen und das angepasste Messsystem als Demonstrator steht in ausreichender Anzahl zur Verfügung, sodass es in einem simulierten Anwendungsszenario getestet werden kann. Dabei steht weiterhin die Validierung der technischen Grundlagen im Fokus.

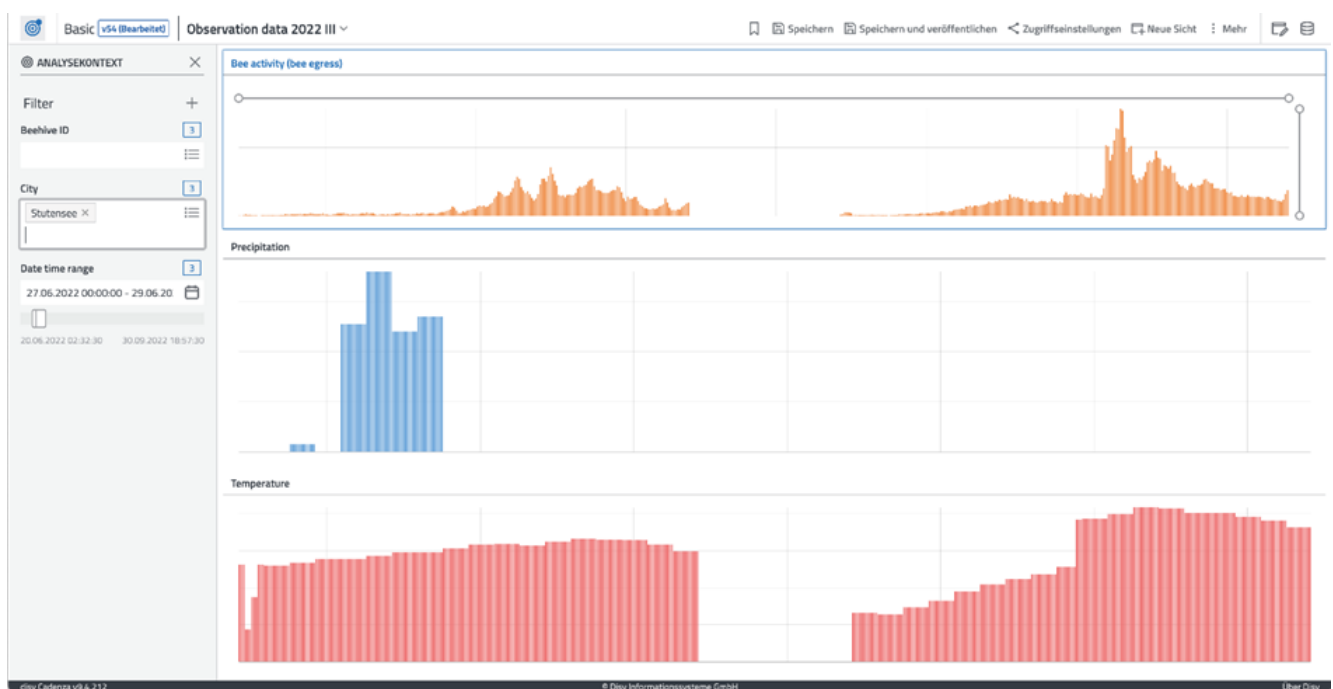
Ergebnisse: Zur automatisierten Integration der für die Analyse relevanten Datensätze wurden Verarbeitungs-Pipelines (ETL-Prozesse zur Datenfusion und Machine-Learning-Prozesse) in der Programmiersprache Julia realisiert und optimiert. Ein prototypisches Framework zur Analyse der Bienenbeobachtungen wurde ebenfalls in Julia implementiert. Hier dreht es sich um Algorithmen zur Datenvorverarbeitung, zum Maschinellen Lernen und zur Erklärungsgenerierung aus Lernergebnissen. Diese Algorithmen wurden extern von Cadenza implementiert und dann entsprechend den Schnittstellenerfordernissen der damals noch in Entwicklung befindlichen Cadenza Analytics-Erweiterung so „eingepackt“, dass man sie aus Cadenza heraus sicher und effizient aufrufen und verwenden kann. Dies war eine der ersten größeren und technisch komplexeren Anwendungen der Cadenza Analytics-Erweiterung. Da für die Programmiersprache Julia keine solchen prominenten und

komfortablen Web-Frameworks wie Flask existieren, wurden hierfür zunächst Web-Server für Julia evaluiert und dann eine Anwendung mithilfe des „Oxygen“ Frameworks realisiert. Neben den eigentlichen Algorithmen für die Datenverarbeitung wurde also als Infrastruktur ein Softwarepaket entwickelt, mithilfe dessen man aus Julia-Softwaremodulen Cadenza Analytics-Module machen kann.

Mit dieser technischen Basis wurden zunächst Analysen auf Daten aus Vorgängerprojekten von 2019 bis 2021 durchgeführt und dann die Beobachtungen und die Analyse-Resultate in Cadenza visualisiert.

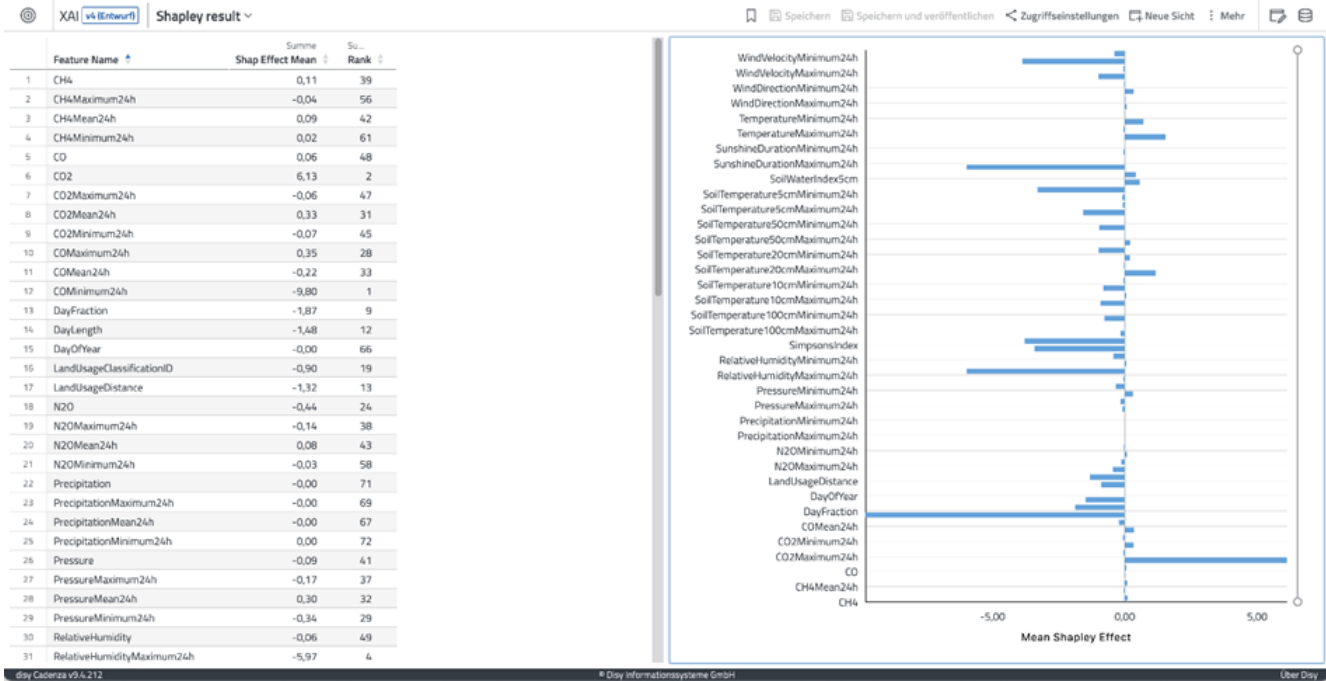
Zur Analyse des Einflusses von Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität wurden die Langzeitdaten aus Stutensee mit räumlichen Umgebungsdaten, wie Wetterdaten, Landnutzungsdaten oder den Daten zur Biodiversität (Simpson's-Index), die aus eigenen Pollenbeobachtungen abgeleitet wurden, angereichert. Auf verschiedenen Wegen wurden diese Daten vorverarbeitet. Anschließend wurden unterschiedliche Machine-Learning-Ansätze angewendet, um den Einfluss der Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität zu modellieren.

Der nachfolgende Screenshot zeigt ein Dashboard mit Daten aus Stutensee und den Zeitreihen der Messwerte von Bienenaktivität, Niederschlag und Temperatur.



Durch die Anwendung von Methoden der Explainable AI konnte die Bedeutung der einzelnen Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität untersucht werden (bzw. die Stärke des Einflusses gewisser Eingangsparmeter auf die erstellten Machine-Learning-Modelle). Grundlegend ergab sich eine sichtbare Variabilität darüber, welche Umweltfaktoren für die Bienen- und Sammelaktivität am wichtigsten sind. Dies waren, je Vorverarbeitung und Modellierungsansatz, Sonnenfaktoren (wie Tages- und Jahreszeit, Sonnenscheindauer), Temperatur oder relative Luftfeuchtigkeit, die beständig zu den wichtigsten Umweltfaktoren gehörten. Auch die Biodiversität erwies sich als wichtiger Faktor,

während die Landnutzung (Art und Zusammensetzung) per se erstaunlicherweise keine zentrale Rolle in unseren Analysen spielte (siehe Grafik weiter unten, bei MS-5). Der nachfolgende Screenshot zeigt, wie man die Shapley-Werte (Ergebnisse des XAI-Verfahrens) in Cadenza als Tabelle und als Diagramm darstellen kann.

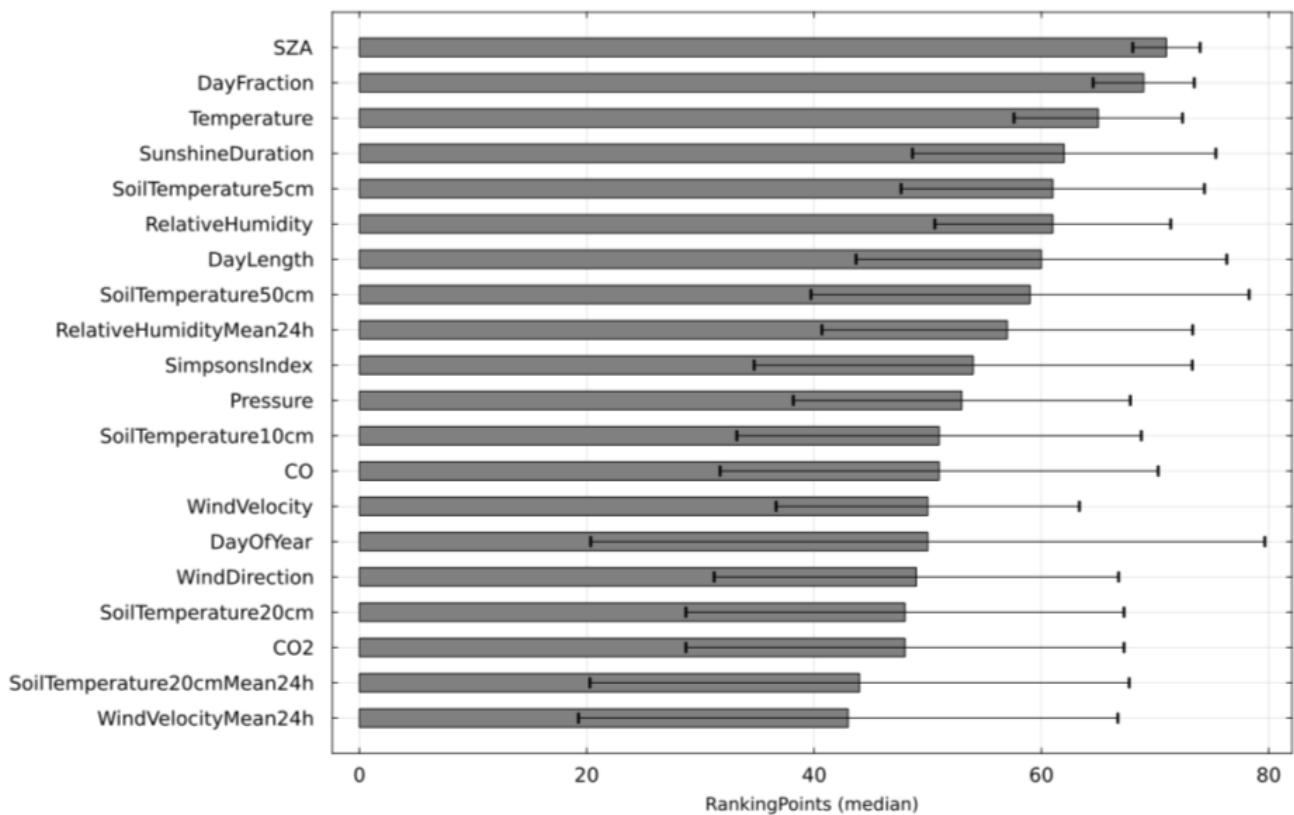


MS-5: Projektabschluss und Abschlusspräsentation

Ziele: Alle Projektarbeiten sind abgeschlossen und dokumentiert. Letzte Konsolidierungen der Gesamtlösung (Hardware, Software, Modelle, Workflows) wurden realisiert. Die nachhaltige Nutzbarkeit der Projektergebnisse wurde vorbereitet. Alle Voraussetzungen für eine zügige wirtschaftliche und wissenschaftlich-technische Verwertung sind geschaffen. Die Gesamtergebnisse wurden der Fachöffentlichkeit vorgestellt.

Ergebnisse: Die Analyse des Einflusses von Umweltfaktoren auf die Bienen- und Sammelaktivität mit Methoden des Machine Learning und der Explainable AI wurde mit den jetzt bis 2023 reichenden Langzeitdaten fortgeführt und vertieft. Dabei wurde besonderer Wert auf die Rolle der Biodiversität (Simpson-Index) gelegt, die sich als wichtiger Faktor bestätigte. Dagegen konnten wir für die Landnutzung (Art und Zusammensetzung) per se mit den in OCELI gesammelten Daten keine zentrale Bedeutung nachweisen. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt, welche die 20 wichtigsten Parameter für die Beobachtungen von 2022 und 2023 aggregiert über die verschiedenen Analysen zeigt (dabei ist SZA die Abkürzung für Solar Zenith Angle, also für den Sonnenstand). Insgesamt waren typischerweise 70-80 % der beobachteten Variabilität über die berücksichtigten Umweltfaktoren erklärbar. Somit bietet die KI-gestützte Überwachung von Bienenstöcken eine gute Plattform zum

Studium der Bienen- und Sammelaktivität und ermöglicht ein tieferes Verständnis ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Umwelteinflüssen.

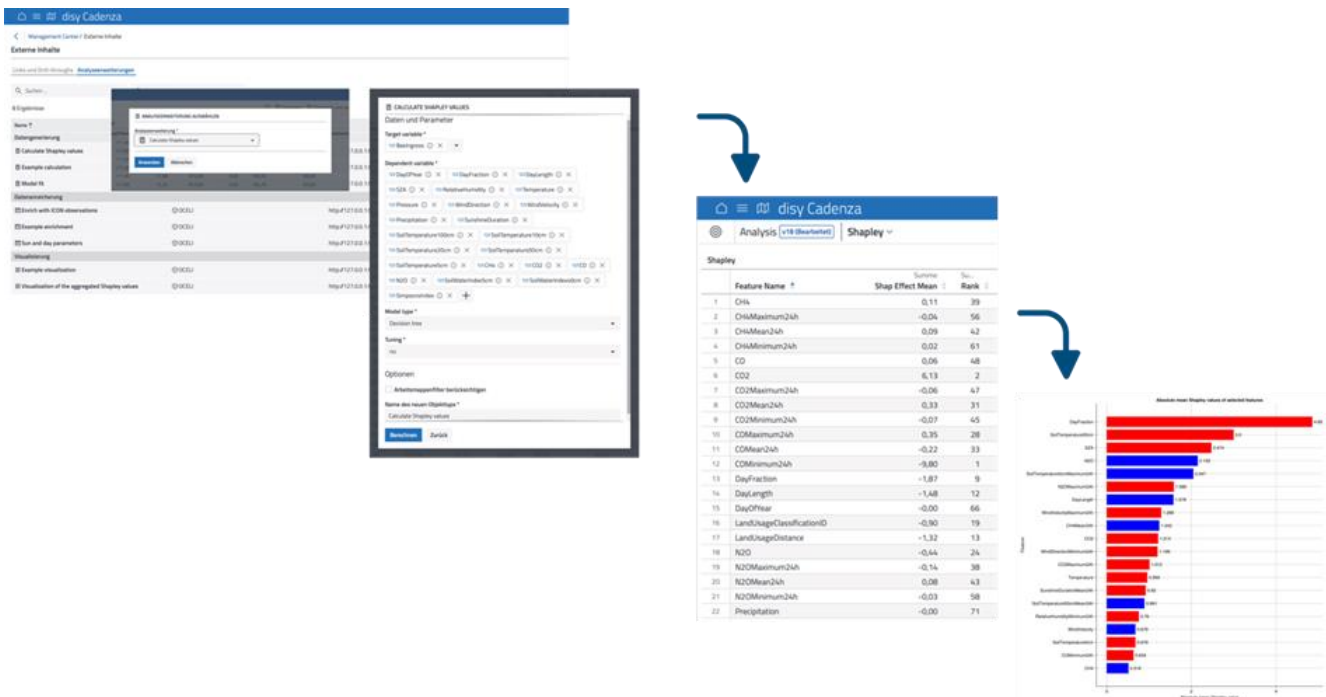


In der letzten Projektphase wurde neben einer Aufbereitung der Projektergebnisse für Dritte, wie z.B. in der BEENOVATION-Abschlusskonferenz, die gesamte Analyse mithilfe von Machine Learning und Explainable AI prototypisch durch die Cadenza-Analytics-Schnittstelle noch enger mit dem Cadenza-basierten OCELI Data Warehouse verknüpft, so dass der Analysezyklus benutzungsfreundlicher und einfacher benutzbar wird, mit seinen Schritten:

- Anreicherung von Beobachtungen mit zusätzlichen Features
- Filterung von Daten für die Erstellung des Analyse-Datensatzes
- Analyse der Beobachtungen mit ML-Methoden und graphische Darstellung der Resultate
- Generierung neuer Datensätze, z.B. durch Explainable AI

Die nachfolgende Grafik beleuchtet den technischen Ablauf und die Benutzerführung (von links nach rechts): Innerhalb von Cadenza kann man als Verarbeitungsmethode für eine vorliegende Datenauswahl als „Externe Inhalte / Analyseerweiterungen“ die (zuvor entsprechend implementierte und der Analyseerweiterung bereitgestellte) Methode „Shapley-Werte berechnen“ selektieren (dies ist eine weitverbreitete Explainable-AI Methode, um zu bestimmen, wie stark die einzelnen Eingangsattribute das Ergebnis eines erlernten Machine-Learning Modells beeinflussen). Als Übergabeparameter werden die Zielvariable („Bee Ingress“) und die Eingangsvariablen („Tag im Jahr“,

„Tagesteil“, „Tageslänge“, „SZA“, ...) sowie das zu verwendende ML-Verfahren („Entscheidungsbaum“) ausgewählt. Außerdem wird spezifiziert, dass das Ergebnis in Form eines neuen Objekttyps in der Cadenza-Datenbank zurückgegeben werden soll. Die durch den Aufruf der externen Methode erzeugte Tabelle, die jedem Eingangsparameter den Shapley-Wert und den Rang zurechnet, kann dann wiederum in Cadenza visualisiert werden, wie in der Grafik rechts unten angedeutet.



3.3 Einhaltung der Arbeits- und Zeitplanung (Disy Informationssysteme GmbH)

Im Wesentlichen verliefen alle Arbeiten *im geplanten inhaltlichen Rahmen*.

Aufgrund der Tatsache, dass die Langzeit-Beobachtungen aus den Jahren 2022 und 2023 aus Stutensee, Wolfsburg und Königslutter erst im letzten Projektjahr vollständig und konsistent bereitgestellt werden konnten, wurden die Arbeiten zeitlich etwas umstrukturiert.

Für die *Konzeption und Erstellung von Pipelines* für die Datenverarbeitung und Analyse wurde zunächst auf *Daten zur Bienenaktivität* aus einem Vorgänger-Projekt (Beobachtungen im Raum Karlsruhe 2019/2020) zurückgegriffen, die als Blaupause für die kommenden, erweiterten, Beobachtungen genutzt und erweitert werden konnten. Diese wurden mit Blick auf meteorologische Faktoren analysiert, modelliert und vorläufig dokumentiert. Darüber hinaus wurden die Daten und die Resultate visuell aufgearbeitet. Die Erkenntnisse aus der Analyse wurden bei der Definition der direkt zu beobachtenden und der externen Parameter für die Beobertungskampagnen im Projekt eingebracht.

Im zweiten Berichtsjahr sollten Langzeit-Beobachtungen aus dem Jahr 2022 aus Stutensee und Wolfsburg genauer untersucht werden. Aufgrund diverser Nachprozessierungen war dies aber nur begrenzt möglich und wurde teilweise ins dritte Projektjahr verschoben. Als Ausgleich wurden neben den Daten des oben bereits erwähnten Vorgänger-Projektes im Raum Karlsruhe 2019/2020 weitere Daten aus einem Apic-Projekt an 5 Standorten im Jahr 2021 berücksichtigt. Diese zusätzlichen Daten sind in ihrer Art und Aufbereitung äquivalent zu den erwarteten Beobachtungsdaten aus dem Jahr 2022. Entsprechend war dann kein weiterer Anpassungsbedarf für die Pipeline zur Datenverarbeitung und Analyse notwendig. Die Beobachtungsdaten aus dem Jahr 2021 wurden primär für die Entwicklung der Analyse-Methoden genutzt. Im Rahmen einer Bachelor-Arbeit wurde damit begonnen diese auch auszuwerten. Allerdings umfassen die Daten nur Beobachtungen im August und September, so dass sich die Resultate nicht per se auf den Frühling und Frühsommer übertragen lassen werden, die beide aus wissenschaftlicher Sicht am interessantesten sind.

Ein wesentlicher Bestandteil war in den ersten beiden Projektjahren ebenso die *Recherche passender Datensätze*. Während im Bereich meteorologischer und phänologischer Daten die Anforderungen vollends erfüllt werden konnten, war das Bild im Bereich der Landnutzung deutlich komplexer. Bei den uns zugänglichen Satellitendaten standen dem Projekt leider nur statische und keine zeitlich aufgelösten Daten zur Verfügung. Als im zweiten Projektjahr klar wurde, dass ein zeitnahe Update der bis dahin genutzten Dürredaten des UFZ nicht realistisch ist, wurden Copernicus-Daten als Ersatz recherchiert und die entsprechende Datenverarbeitung in die OCELI-Julia-Pakete integriert. Bei weiterer Betrachtung der stationsbasierten phänologischen Daten des DWD wurde deutlich, dass diese für die Standorte Stutensee und Wolfsburg nicht optimal sind, da die nächstgelegenen Stationen relativ weit entfernt liegen. Die Suche nach anderen geeigneten Datensätzen blieb erfolglos. Als Lösung wurden die deutschlandweiten DWD-Daten räumlich interpoliert.

Neben der vollumfänglichen Analyse der Bienenbeobachtungen an 5 Standorten im Jahr 2021 wurde im letzten Projektjahr ein Fokus auf die Verknüpfung der Datenanalyse mit disy Cadenza über die Cadenza-Analytics-Schnittstelle gelegt. Von Cadenza-Seite wurde erstmals eine entsprechende Funktionalität mit der Version 9.2 im Frühjahr 2023 prototypisch zur Verfügung gestellt. Damit können tabellarische Daten aus Cadenza an eine definierte Schnittstelle geschickt werden. Über diese erfolgt dann die eigentliche Verarbeitung der Daten. Dabei ist es möglich, die gesendeten Daten mit neuen Informationen anzureichern, einen komplett neuen Datensatz zu erstellen oder die Daten als Bild visuell aufzubereiten. Das jeweilige Resultat wird dann im geforderten Format wieder an Cadenza zurückgeschickt und dort entsprechend eingebettet. Speziell die Visualisierung kann interaktiv, der Datenauswahl entsprechend, genutzt werden. Für die Verknüpfung wurde eine Schnittstelle in der Programmiersprache Julia in Form eines einzelnen Pakets realisiert. Dabei wurde initial eine Schnittstelle mit generischen Beispielen für die verschiedenen Datenverarbeitungs-Modi umgesetzt und dann auf die projektspezifischen Anwendungsfälle für Datenanreicherung, -analyse und -visualisierung abgewandelt.

Die Analyse der Langzeit-Beobachtungen aus den Jahren 2022 und 2023 wurde im Jahr 2024 durchgeführt. Die Datenverarbeitungs-Pipelines und das Framework zur Analyse wurden dazu noch einmal softwaretechnisch optimiert. Zum einen bedingt durch Detailänderungen in den konsolidierten Langzeit-Beobachtungen aus 2022 und 2023. Zum anderen zur besseren Integration der für die Analyse fortlaufend benötigten Umweltdaten. Initial war die Pipeline zur Datenverarbeitung und Analyse in Form eines einzigen, vollumfänglichen Pakets in der Programmiersprache Julia umgesetzt. Mit fortschreitendem Ausbau der Analyse-Methoden wurde offensichtlich, dass dieser Ansatz nicht weiter tragbar ist. Speziell mit den verschiedenen Machine-Learning-Ansätzen wuchs die initiale Ladezeit des Pakets signifikant an, was sich in der Praxis als problematisch darstellte. Entsprechend wurde das Paket in mehrere kleinere Unterpakete für spezifische Zwecke aufgespaltet, z.B. für das Lesen der Daten, die Weiterverarbeitung und die Analyse. Zum Projektende existiert etwa ein Dutzend solcher Teilpakete. Darüber hinaus wurde signifikanter Aufwand betrieben, um die verschiedenen Julia-Pakete für die Datenverarbeitungs-Pipelines mit dem Framework zur Analyse der Bienenbeobachtungen untereinander konsistent zu halten. Dafür wurde ein zusätzliches Julia-Paket erstellt, mit dem alle Pakete einheitlich formatiert und dokumentiert werden und für diese Unit-Tests durchgeführt werden.

3.4 Einhaltung Ausgaben- und Kostenplanung (Disy Informationssysteme GmbH)

Die Gesamtkosten des Projekts liegen in der Nachkalkulation etwa 2% über den bewilligten Kosten der Vorkalkulation. Dies ist ausschließlich darauf zurückzuführen, dass die Gehälter der eingesetzten WissenschaftlerInnen insgesamt deutlich höher waren bzw. auch schneller gewachsen sind als vorhergesehen. Dies ist dem sich verschlimmernden Fachkräftemangel in der IT ebenso geschuldet wie den Inflationsraten der vergangenen Jahre im Zuge von Corona und Ukraine-Krieg. Insgesamt teilen sich die Gesamtkosten von etwa 367.000,- € auf 99,7% Personalkosten und fast vernachlässigbare Reisekosten auf. Die Reisekosten waren schon niedrig angesetzt gewesen und wurden noch deutlich unterschritten, durch sparsamen Ressourceneinsatz, viele Online-Meetings und Reisebeschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie. Die vorgesehenen Mittel für einen Konferenzbeitrag im europäischen Ausland konnten gar nicht genutzt werden, weil die für eine Publikation in der Umweltinformatik relevanten softwaretechnischen (!) Projektergebnisse aufgrund verzögerter Datenverfügbarkeit erst so spät vorlagen, dass eine solche Publikation im Projektzeitrahmen nicht mehr realisiert werden konnte.

4 Erfolgsaussichten nach Projektende

4.1 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

1. Angestrebte Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
1.1	Disy als Software-Unternehmen plant in der Regel aus prinzipiellen Gründen keine Patentierungen, weil dies im Software-Bereich umstritten und nur bedingt nützlich ist. Sollte sich im Rahmen des Gesamtkonsortiums eine Schutzrechtsanmeldung der Gesamtlösung ergeben, bei der die Disy-Anteile der Softwarelösung relevant sind, wird man sich im Rahmen der Vorgaben der Kooperationsvereinbarung beteiligen. Die Initiative hierfür müsste aber von einem der Konsortialpartner ausgehen.	Bis 1,5 Jahre nach Projektende

2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
2.1	<p>Wirtschaftliche Verwertung der Gesamtlösung: die OCELI Gesamtlösung würde eine vollkommen neuartige, effizientere und effektivere Möglichkeit zur Flächenbewertung bieten, die von Kontraktlaboren wie Eurofins z.B. im Bereich der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln ergänzend zu anderen Studienmethoden angeboten werden kann. Labore wie Eurofins haben hier den Marktzugang, ein Softwaredienstleister wie Disy könnte innerhalb der Gesamtlösung ein Softwaremodul im Lizenzmodell verkaufen. Durch die sehr gute Marktposition von Eurofins wäre eine schnelle Marktdurchdringung möglich, ebenso wie eine internationale Verwertung. Disy könnte in diesem Kontext auch als Vermarktungspartner an Behörden agieren. Ob hier ein Interesse besteht, ist mit möglichen Landwirtschafts- oder Umweltbehörden zu klären. Um das Angebot der Softwareanteile von Disy zu vereinfachen, könnte ergänzend oder anstelle einer Übergabe der Software per Lizenz ein Software-as-a-Service Ansatz genutzt werden, bei dem bei Disy oder bei apic.ai zentral die erforderlichen Rechenressourcen, Software und Daten bereitgestellt bzw. zusammengeführt werden. Dies erleichtert die Nutzung für Eurofins oder ähnliche Studienanbieter. Die Gesamtkonstruktion der Verwertung von Hardware-, Software- und methodischen Anteilen der OCELI Gesamtlösung wäre im Rahmen der Maßgaben der Kooperationsvereinbarung von allen Partnern gemeinsam zu gestalten. Ob für eine solche innovative und komplexe Dienstleistung heute bereits ein Markt existiert und ob sich in diesem das Investment für eine Produktisierung lohnt, muss abschließend mit den Projektpartnern noch diskutiert werden. Zum Berichtszeitpunkt ist unser Eindruck der, dass noch wissenschaftlich-technische Entwicklungsarbeit erforderlich wäre, um aus den Projektergebnissen von Disy ein klar am Markt erfolgversprechendes Angebot abzuleiten. Problematisch ist dabei aus Disy-Sicht insbesondere die Datenver-</p>	Innerhalb 3 Jahre nach Projektende

	<p>ffügbarkeit in der Fläche (räumlich, zeitlich und inhaltlich fein aufgelöste Landnutzungsdaten), aber auch die Frage der Monetarisierungsstrategie (wer zahlt wofür wieviel Geld und reicht das zum Aufsetzen einer komplexen Gesamtlösung?).</p>	
2.2	<p>Wirtschaftliche Verwertung der Flächenstrukturbewertung als Teilmodul: Unabhängig von der OCELI-Gesamtlösung mit Blick auf die Untersuchung von PSM und ihren Einfluss auf die Gesundheit von Bestäuberinsekten lässt sich möglicherweise die softwarebasierte Flächenstrukturbewertung auch als Einzeldienstleistung verwerthen. Disy untersucht im Vorhaben OCELI, wie sich verschiedene verfügbare Datenquellen, z.B. aus Open Data oder aus der Fernerkundung, intelligent verschneiden lassen, um standortspezifische Aussagen bezüglich der detaillierten Landnutzung, des ökologischen Zustands etc. machen zu können. Diese Bewertungen sollen automatisiert in Status-Reports überführt werden können. Diese wiederum wären eine vollkommen neue datenbasierte Dienstleistung, von der beispielsweise Naturschutzbehörden, Prüfstellen oder auch Landwirte partizipieren könnten. Disy wird nach Projektende weitere Gespräche mit möglichen Nutznießern führen, um herauszufinden, ob hier realistische Verwertungschancen bestehen. Zum Berichtszeitpunkt steht allerdings zu befürchten, dass hier noch keine für Disy realistisch vermarktbar Lösung vorliegt. Dies beruht einerseits auf schlechter Datenverfügbarkeit und andererseits auf unklaren Geschäftsmodellen (siehe 2.1). Dies soll zeitnah nach Projektende mit Bestandskunden von Disy aus dem Bereich Umwelt- und Naturschutz diskutiert werden.</p>	<p>Bis 3 Jahre nach Projektende</p>
2.3	<p>Wirtschaftliche Verwertung von Einzelfunktionalitäten des Softwarewerkzeugs: Disy hat im Rahmen des Vorhabens mehrere technische Details seiner aktuellen Software-Produkte und -Dienstleistungen für die Projektzwecke prototypisch erweitert und verbessert bzw. hat in Entwicklung befindliche Funktionalitäten zu Test- und Demonstrationszwecken genutzt. Dies umfasst insbesondere: (i) die Datenintegrations-Pipeline für die Nutzung von Eingangsdaten (Fernerkundung, Meteorologie), realisiert mit Apache Airflow und/oder mit Julia; (ii) die Anbindung von Verfahren aus Machine Learning und Explainable AI an disy Cadenza über die prototypische Cadenza-Analytics-Schnittstelle. Schon projektbegleitend und zeitnah nach Projektende werden die entwickelten Prototyp-Lösungen auf technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit (Spezifikation, Kosten, Kundeninteresse) im kommerziellen Produktportfolio von Disy untersucht und dann, wenn sie erfolgversprechend sind, ggf. in das Cadenza-Produkt überführt bzw. ins technische Lösungsportfolio „um Cadenza herum“ aufgenommen. Dann können die entsprechenden Lösungsbausteine und Produktfunktionalitäten nicht nur in der Branchen Landwirtschaft / Ernährung Anwendung finden, sondern auch in allen anderen Zielmärkten von Disy, wie bspw. Natur- und Umweltschutz, Verbraucherschutz, zivile Sicherheit u.a.m. Hier hat sich insbesondere die oben erwähnte Einbindung komplexer externer Algorithmen (Maschinelles Lernen für die Datenauswertung, Punkt</p>	<p>Bis 1,5 Jahre nach Projektende</p>

(ii) in die Datenanalyseplattform Cadenza als sehr wertvoll herausgestellt. Wir gehen davon aus, dass die entsprechende Analytics-Schnittstelle in den marktgängigen Produktumfang von Cadenza einfließen wird. Entsprechende Marketingaktivitäten und Kundengespräche zur Nutzung von KI in Umweltdatenauswertungen spielen bereits eine große Rolle in der Technologie- und in der Marketingstrategie von Disy.

4.2 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende		
Lfd. Nr.	Konkrete Verwertung	Zeithorizont
3.1	<p>Kompetenzaufbau: Durch die Projektarbeit und die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (hier insbesondere FZI) hat Disy seine Kenntnisse und Fertigkeiten im Bereich der Künstlichen Intelligenz, der Bildanalyse und des Maschinellen Lernens erweitert und vertieft, was allgemein die Wettbewerbs- und Leistungsfähigkeit als innovatives Unternehmen im Thema Geodatenanalyse erhöht und auch zu neuen Projektideen und Dienstleistungsangeboten in Domänen wie Land- und Forstwirtschaft oder Verbraucherschutz führen kann. Um dies zu fördern, hat Disy die Projektansätze und -ergebnisse regelmäßig hausintern bei verschiedenen Formaten der Wissensweitergabe und -vernetzung (wie Disy Löser-Forum, Disy Aarlaubstag, Disy Technology Strategy Board etc.) vorgestellt, diskutiert, dokumentiert und reflektiert. Diese neuen Erkenntnisse umfassen insbesondere sehr vertiefte Erfahrungen mit der Nutzung der Programmiersprache Julia für Machine-Learning, aber auch methodische Erkenntnisse zum praktischen Einsatz von Machine-Learning (CRISP-DM Methode) und konkrete Erfahrungen mit dem Standard OGC API für den Geodaten-austausch.</p>	Projektbegleitend und bis 6 Monate nach Projektende
3.2	<p>Projektvernetzung mit Wissenschaft und Lehre: Disy kommuniziert seine Forschungsprojekte regelmäßig an Fachöffentlichkeiten (Geoinformatik, eGovernment, Umwelthinformatik, ...) und arbeitet hier auch in Gremien mit, wie insbesondere in der Fachgruppe Umweltinformationssysteme (FG UIS) und im Arbeitskreis KI für Nachhaltigkeit (AK KIN) der Gesellschaft für Informatik e.V. Hier erfolgt Erfahrungsaustausch zu Anwendungsfällen und neuen Technologien wie den in OCELI genutzten. Dies erhöht die Breitenwirkung der Projektergebnisse und verbessert die Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Disy als innovatives Geoinformatik-Unternehmen bei Kunden, Partnern und Studierenden bzw. möglichen zukünftigen Mitarbeitenden. Ferner wurden mehrere Studierende der Hochschulen Karlsruhe und Offenburg als Abschlussarbeiter und Hilfskräfte in die Bearbeitung des Projekts eingebunden.</p>	Projektbegleitend und bis 1 Jahr nach Projektende
3.3	<p>Ergebnisverbreitung an die breitere Öffentlichkeit bzw. Anwender-Communities: Es gab 4 breitenwirksame Kommunikationen (2 Disy-Newsletter-Beiträge, 2 Pressemitteilungen) zu OCELI. Dies verbreitet die Ziele und Ergebnisse des Projekts aus Anwendersicht, schafft die Grundlage für Breitenwirkung und Vernetzung und soll eine</p>	Während der Projektlaufzeit sowie bis 1 Jahr danach

marktvorbereitende Wirkung für die wirtschaftliche Verwertung erzielen. Außerdem wurde OCELI zusammen mit anderen Projekten bereits in verschiedenen Überblicksvorstellungen zur Nutzung von KI für die Umwelt kurz dargestellt (z.B. im von Disy initiierten und federführend organisierten KIU-Workshop des Arbeitskreises KIN (KI für die Nachhaltigkeit) in der Gesellschaft für Informatik e.V.

4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit		
Lfd. Nr.	Nächste Phase / nächste Schritte	Zeithorizont
4.1	<p>Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit: über die unter (2) und (3) aufgeführten Aspekte hinaus, sind insbesondere marktexplorierende und marktvorbereitende Schritte zu unternehmen. Dies umfasst (i) das frühzeitige bilaterale Abklären mit potenziellen Akteuren aus öffentlicher Verwaltung und Landwirtschaftsberatung, ob Interesse an einer Dienstleistung, wie unter 2.2 beschrieben, besteht; (ii) das Vorstellen möglicher Produkt- und Dienstleistungserweiterungen, wie unter 2.2. und 2.3 beschrieben, bei der jährlichen Disy Kundenkonferenz; und (iii) das Abstimmen der verwertbaren Projektergebnisse aus 2.1 bis 2.3 mit der Geschäftsführung bezüglich der Disy Gesamtstrategie hinsichtlich Produktentwicklung und Zielmärkten bzw. Geschäftsentwicklung. Ferner wurden die OCELI-Projektergebnisse hausintern so dokumentiert und konserviert, dass bei möglichen Kundengesprächen die Systemfunktionalitäten hinreichend präsentiert und illustriert werden können (d.h. unter anderem aussagekräftige Foliensätze; außerdem läuft das OCELI-Demosystem hausintern bis auf Weiteres weiter; wenn die entsprechenden virtuellen Maschinen abgeschaltet werden, ist die Software als Docker-Container zu archivieren).</p>	Bis 2 Jahre nach Projektende
4.2	<p>Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit: Da sich Disy als IT-Partner weniger mit der Fachlichkeit als mit den softwaretechnischen Merkmalen des OCELI-Systems befasst, erscheinen Anschlussfragestellungen bspw. im Bereich der benutzerfreundlichen Datenvisualisierung, der effizienten Echtzeitdatenverarbeitung, der intelligenten Datenfusion zur Flächenbewertung und der Kombination von Biosensoren und etablierten Geodatenquellen als naheliegend. Da sich die Nutzung von ML- und XAI-Verfahren inzwischen auch als zukunftssträftig im Umweltbereich herausgestellt hat und für Disy der Anschluss über die Cadenza Analyse-Erweiterung hier der sinnvollste Weg ist, wurden zum Berichtszeitpunkt bereits Folgeaktivitäten zur Verwendung von ML-Verfahren über diese Schnittstellen begonnen. Da sich das Fehlen inhaltlich, räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Landnutzungsdaten als sehr hindernd für die Disy-Projektziele herausgestellt hat, wären auch hier weiterführende Methoden der Datenerhebung interessant.</p>	Projektbegleitend und bis 1 Jahr nach Projektende