



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, VERKEHR,
LANDWIRTSCHAFT UND
WEINBAU

Abschlussbericht VitiMikroKlim

Abschlussbericht des Projekts VitiMikroKlim, gefördert durch das rheinland-pfälzische Entwicklungsprogramm „Umweltmaßnahmen, Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft, Ernährung“ (EULLE) in der „Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-Agri)“ mit Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)

Inhalt

Inhalt	1
1 Kurzdarstellung.....	2
1.1 Ausgangssituation und Bedarf	2
1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	2
1.3 Mitglieder der OG	2
1.4 Projektgebiet	3
1.5 Projektlaufzeit und –dauer	5
1.6 Budget	5
1.7 Ablauf des Vorhabens.....	6
1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse	6
2 Eingehende Darstellung	7
2.1 Verwendung der Zuwendung	7
2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	7
2.3 Ergebnisse der OG	8
2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes	8
2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	58
2.6 Verwertung und Nutzung der Ergebnisse.....	59
2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	62
2.8 Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)	63
2.9 Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	63

1 Kurzdarstellung

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kulturpflanzen in Rheinland-Pfalz sind deutlich spürbar. Im Weinbau zeigt sich das zum Beispiel durch ein früheres Austreiben der Reben, was ein erhöhtes Spätfrostisiko mit sich bringt. Da es sich beim Weinbau um mehrjährige Kulturen mit sehr langer Standzeit handelt, ist eine Adaption der Bewirtschaftung der bestehenden Weinberge wichtig. Darüber hinaus sind die einzelnen Weinbergsflächen eines Betriebs meistens über kleine und stark variierende Einheiten verteilt. Dies hat zur Folge, dass die bestehenden Prognosemodelle den Winzern und Winzerinnen in Rheinland-Pfalz aktuell oft nur ungenügend ortsgenaue Daten für schlagspezifische Empfehlungen liefern können.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel dieses Projekts ist es deshalb, mit kostengünstigen und energiesparenden Sensoren diese Lücken zu schließen. Die lokalen Sensoren sollen für eine begrenzte Zeit die Temperatur und Luftfeuchte in den Weinbergen erfassen, die dabei erhobenen Daten sollen die Datengrundlage liefern, um durch Mustererkennung, geostatistische Methoden und „machine learning“ Algorithmen, integriert mit anderen Daten (Geländemodelle, phytomedizinische Untersuchungen), genauere Kleinklimamodelle zu entwickeln. Diese Modelle sollen wiederum helfen, spezifischere Prognosemodelle zu erstellen, die dann den Nutzern über die Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz mittels existierender Infrastruktur (GeoBox) zur Verfügung gestellt werden. Die Sensoren sollen nach einiger Zeit für andere Flächen wiederverwendet werden, um eine elektronische Überfrachtung in Weinbergen zu verhindern.

1.3 Mitglieder der OG

In der folgenden Tabelle sind die OG-Mitglieder inklusive Kontaktdaten aufgelistet. Lead-Partner der OG ist das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz, vertreten durch Direktor Dr. Günter Hoos.

Institution	Anschrift	Person(en)
Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz	Breitenweg 71 67435 Neustadt an der Weinstraße	Prof. Dr. Düker, Andreas (Weincampus Neustadt) Dr. Kortekamp, Andreas (Institut für Phytomedizin)
RLP AgroScience	Breitenweg 71 67435 Neustadt an der Weinstraße	Dr. Trapp, Matthias
Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück	Rüdesheimer Str. 60 – 68 55545 Bad Kreuznach	Dr. Köhler, Herwig Gockel, Simon
Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Mosel	Gartenstrasse 18 54470 Bernkastel-Kues	Dr. Porten, Matthias
Bioweingut Heinz Pfaffmann - 1616 Pfaffmann	Hauptstrasse 19-25 76833 Walsheim	Hener, Pawel
Weingut Marienhof	Bachstraße 16	Minges, Franziska

Institution	Anschrift	Person(en)
	76835 Flemlingen	
Weingut Pflüger	Gutleutstraße 48 67098 Bad Dürkheim	Pflüger, Alexander
Gertrudenhof	Gertrudenhof 76831 Impflingen	Pfaffmann, Gerd Walter
Weingut Thorsten Krieger	Theresienstraße 71 76835 Rhodt unter Rietburg	Krieger, Thorsten
Weingut Dr. Crusius	Hauptstrasse 2 55595 Traisen	Dr. Crusius, Peter
Weingut Stein	Auf dem Stiel 12, 55585 Oberhausen an der Nahe	Schneider, Rainer
Weingut Christian Porten	Medardusstrasse 54 54346 Mehring	Porten, Christian
Weingut Katja und Daniel Regnery	Burgstraße 1 54340 Longuich	Regnery, Daniel
Weingut Arnold Scholtes	Balduinstrasse 12 54347 Neumagen-Dhron	Scholtes, Markus

1.4 Projektgebiet

Das Projektgebiet erstreckt sich auf die rheinland-pfälzischen Weinbauggebiete Pfalz, Nahe und Mosel, in denen auf ausgewählten Weinbergen der beteiligten Weingüter Luftfeuchte und -Lufttemperatursensoren sowie Gateways ausgebracht wurden (siehe Abbildung 1). Die einzelnen Lagen sowie die genauen Standorte der aufgestellten Sensoren sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

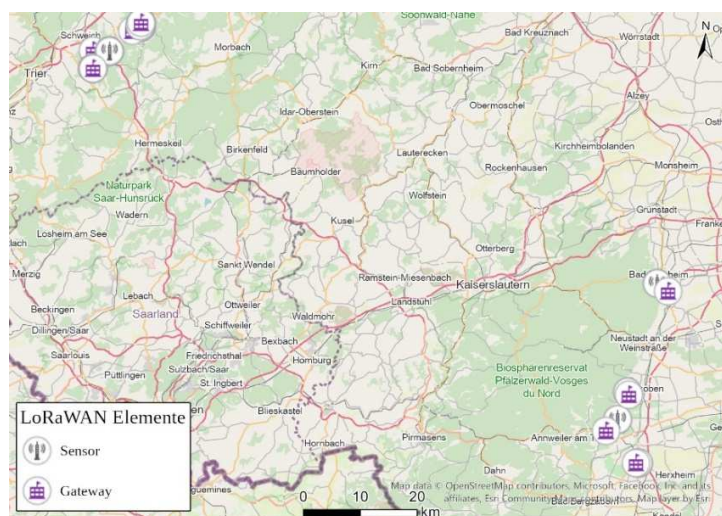


Abbildung 1: Übersichtskarte mit den Standorten der Sensoren und Gateways

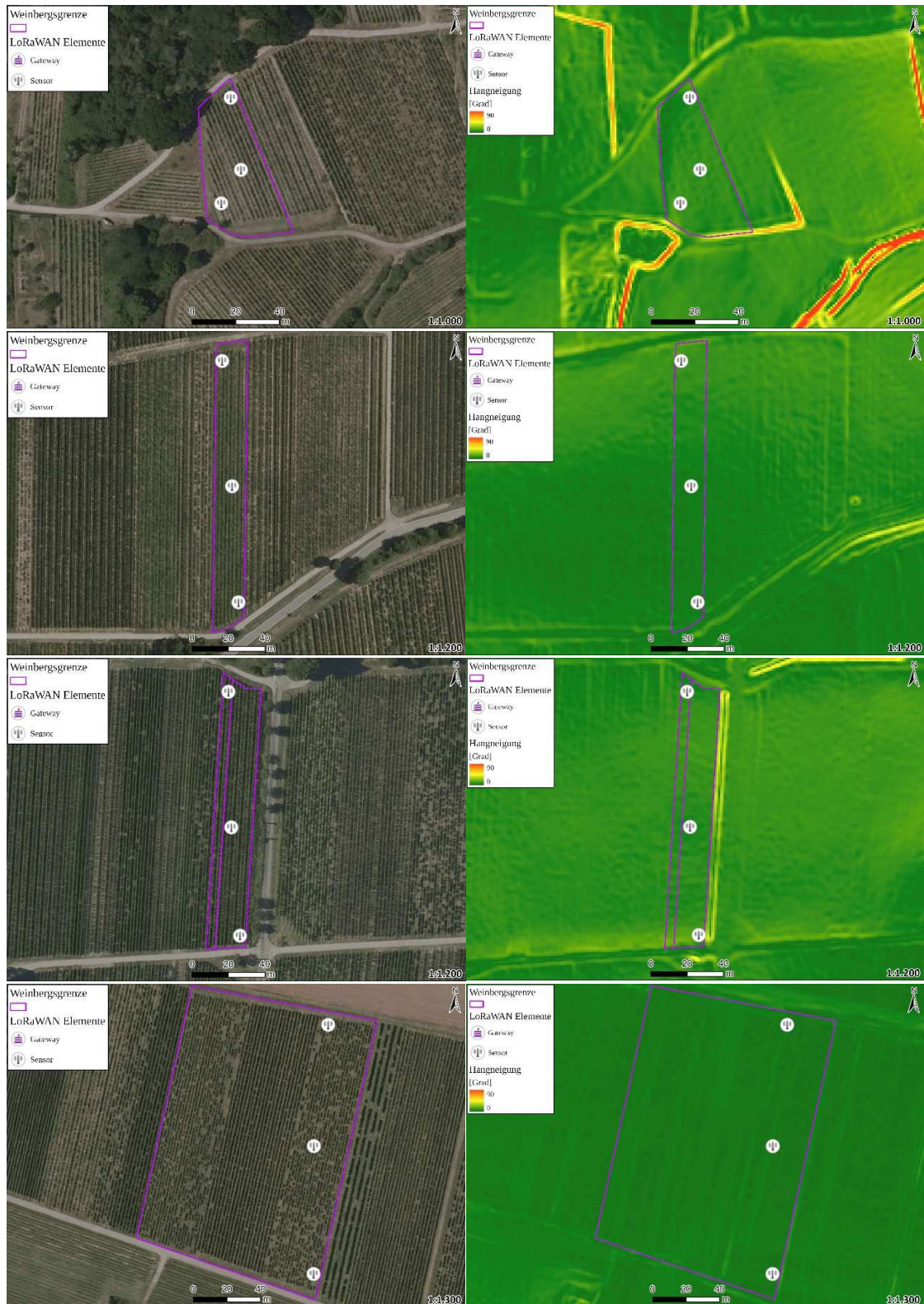


Abbildung 2: Sensorstandorte in der Pfalz. Links Luftbilder, rechts digitale Geländemodelle mit einer Farbskala, die die Hangneigung darstellt (Dunkelgrün = 0°, gelb = 45°, dunkelrot = 90°). Die einzelnen Anlagen, von oben nach unten: Bad Dürkheim (Weingut Pflüger), Böchingen (Weingut Marienhof), Edenkoben (Weingut Thorsten Krieger) und Impflingen (Gertrudenhof). Die lila Linien sind die Flurstücke aus dem Kataster.



Abbildung 3: Sensorstandorte an der Mosel. Links Satellitenbilder, rechts digitale Geländemodelle mit einer Farbskala, die die Hangneigung darstellt (Dunkelgrün = 0°, gelb = 45°, dunkelrot = 90°). Die einzelnen Anlagen, von oben nach unten: Fell (Weingut Katja und Daniel Regnery), Mehring (Weingut Christian Porten) und Neumagen (Weingut Arnold Scholtes). Die lila Linien sind die Flurstücke aus dem Kataster.

1.5 Projektlaufzeit und –dauer

Zum 14.10.2020 wurde das Projekt zur Förderung ausgewählt. Das Projekt VitiMikroKlim wurde nach der Bewilligung vom 09.12.2021 begonnen und endete zum 30.10.2023. Bei der Beantragung sollte die Projektdauer 3 Jahre umfassen, wurde aber auf 2 Jahre verkürzt.

1.6 Budget

Laut Zuwendungsbescheide standen dem Projekt 892.000,00 € an Fördermitteln zu Verfügung, für die Positionen M 16.1 und M 16.2 wurden 15.884,26 € und 383.486,90 € eingesetzt.

1.7 Ablauf des Vorhabens

Nach der Bewilligung Ende 2021 startete das Projekt Anfang 2022. Jedoch war ursprünglich ein Projektbeginn Ende 2020 geplant, was eine erhebliche Verzögerung im Projektablauf darstellt. Personalmangel hat dazu geführt, dass zwei Mitglieder der OG ihre Beteiligung am Projekt beendet haben. Lieferengpässe in der Besorgung von Sensoren und Gateways führten zu einer späteren Ausbringung der Sensoren in die Weinberge der beteiligten Partner.

Trotz der anfänglichen Schwierigkeiten konnten Ergebnisse bezüglich Befall von Pilzkrankheiten, physiologischen Untersuchungen sowie Datenanalyse des Mikroklimas generiert werden und die benötigten Erkenntnisse abgeleitet werden. Weitere Auswertungen der Korrelationen konnten, trotz der mittlerweile im hohen Umfang resultierenden Daten, auf Grund der verkürzten Laufzeit nicht mehr stattfinden.

1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Datenauswertung der RLP AgroScience (AS) zeigte, dass die „low-cost“ Sensoren zuverlässig arbeiten und vertrauenswürdige Messdaten liefern. Unterschiede zwischen den Messwerten (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) der unteren (Bodennähe) und oberen (Stickelende) Sensoren waren zu erkennen. Auch wurden Unterschiede in Lufttemperatur- und Luftfeuchtwerten zwischen den LoRa-WAN Sensoren und den nächstgelegenen Wetterstationen gefunden, was den Bedarf an der Erfassung von Kleinklimaverhältnissen bestätigt. Es war ebenso erkennbar, dass diese Unterschiede je nach Tageszeit variierten. Außerdem wurde ein Dashboard entwickelt, das den beteiligten Winzern und Winzerinnen einen benutzerfreundlichen Zugriff auf die Daten der installierten LoRa-WAN Sensoren ermöglicht hat.

Durch das Befallsmonitoring in den vier pfälzischen Anlagen wurden Unterschiede zwischen den Anlagen bezüglich der Infektion und Verbreitung von den wirtschaftlich bedeutsamen Pilzkrankheiten Oidium und Peronospora gesichtet. Beim Befall mit Oidium wurden auch erste Auswertungen zu Zusammenhängen mit den erfassten Messwerten der Sensoren getätigt, hier besteht jedoch der Bedarf an weiteren Auswertungen in Kombination mit den neuesten Prognosemodellen.

Zudem wurden auch bei den physiologischen Untersuchungen (Wasserpotential und photochemischer Reflexionsindex) in den Anlagen im Weinbaugebiet Pfalz Unterschiede zwischen den Anlagen sowie teilweise Unterschiede zwischen den beobachteten Teilflächen erkannt. Wie diese Werte mit den kleinklimatischen Daten korrelieren sollte zukünftig untersucht werden. Hingegen waren bei den phänologischen Untersuchungen nur sehr geringe Unterschiede bemerkbar.

Fazit: Auf Mikroklimadaten basierende Prognosesysteme werden künftig einen nachhaltigen und an den Klimawandel angepassten Weinbau ermöglichen, das Projekt VitiMikroKlim hat hierfür die Grundsteine gelegt. Dabei ist es empfehlenswert, die Prognosen an die Bedürfnisse der Raumkultur Wein anzupassen, und künftig das Mikroklima der Laubwand, aber auch die raumzeitliche Verbreitung von Schadorganismen, in die jeweiligen Systeme zu integrieren.

Eine genauere Beschreibung aller Ergebnisse ist im Kapitel 2.4.1 ab Seite 8 zu lesen.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

Die Kosten stellen sich aus direkten und indirekten (15% Pauschale) Personalkosten der verschiedenen OG-Mitglieder in den Teilmaßnahmen M16.1 und M16.2 zusammen. Die Kosten sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt:

Kosten (Teilmaßnahme)	OG-Mitglied	Kosten (direkt und indirekt)
Personal M16.1	RLP AgroScience	15.750,86 €
Personal M16.1	Weingut Pflüger	133,40 €
Personal M16.2	Agroscience	226.134,67 €
Personal M16.2	DLR Rheinland-Pfalz	141.777,78 €
Personal M16.2	Weingut Pflüger	15.574,45 €
Summe		399.371,16 €

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

Ausgangssituation: Der Weinbau findet vor allem in kleineren, stark variierenden Einheiten statt, die oftmals weit verstreut innerhalb einer oder sogar mehrerer Gemarkungen liegen, und z.T. durch Nutzung von Hang- und Steillagen zusätzliche Herausforderungen bei der Mechanisierung darstellen. Gleichzeitig handelt es sich um mehrjährige Kulturen mit bis zu 30 Jahren Standzeit, so dass Entscheidungen, was wo und wie gepflanzt wird, sehr langfristige Konsequenzen haben. Hier spielen die Adaption bestehender Weinberge an den Klimawandel, zunehmende Starkregenereignisse sowie invasive Schädlinge eine besondere Rolle, da kein jährlicher Kulturwechsel oder Sortenwechsel möglich ist.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind im rheinland-pfälzischen Weinbau bereits deutlich spürbar: Veränderte Vegetationszeiten, Zunahme abiotischer Schäden wie Hagel, Spätfröste und Sonnenbrand, Wasser- und Winderosion, Zunahme invasiver Schaderreger, erhöhte Vulnerabilität der Ökosysteme, was einhergeht mit erhöhten gesetzlichen Anforderungen an Boden- und Wasserschutz. Der Klimawandel und seine Auswirkungen mit einer Zunahme von Extremwetterperioden mit Hitze, Trockenheit, Sturmschäden bis zu Orkanböen und Hagel sind bereits seit Anfang 2000 erkennbar und haben sich insbesondere in den beiden vergangenen Jahren in Rheinland-Pfalz verstärkt. Die Zunahme von Hitzetagen (> 30°C) belegt eindrucksvoll die Temperaturveränderung (Agrarmeteorologie RLP, 2019). Dies hat massive Auswirkungen auf die phänologische Entwicklung der Kulturpflanzen. So treiben Reben früher aus und sind damit einer größeren Spätfrostgefährdung ausgesetzt. Die Blüte setzt zwei Wochen früher ein als noch in den 1980er Jahren.

Die damit verbundenen Schäden für die landwirtschaftlichen Betriebe durch Ernte- und Qualitätsverluste, gehen in die Millionen und Betriebsleiter suchen nach Lösungsmöglichkeiten. Nach Aussage der Agrarministerkonferenz am 26.09.2019 in Mainz spüren die landwirtschaftlichen Betriebe immer mehr die Folgen des Klimawandels. Durch die Zunahme von Extremwetterereignissen und den daraus resultierenden Schäden an den Kulturpflanzen wird die Wirtschaftskraft der Betriebe deutlich geschmälert.

Der damalige Vorsitzende der Agrarministerkonferenz, Dr. Volker Wissing, fordert eine Pflicht, die landwirtschaftlichen Unternehmen in Rheinland-Pfalz bei „ihrem Risiko- und Krisenmanagement“ sowie bei Investitionen zu unterstützen. Die Risiken und Auswirkungen des Klimawandels müssen reduziert werden. Gleichzeitig ist die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel zu stärken. Diesbezüglich liefern

derzeit genutzte Wetter-Prognosesysteme den rheinland-pfälzischen Winzern jedoch nur unzureichend ortsgenaue Daten, die in schlagspezifische Empfehlungen einfließen könnten.

Projektaufgabenstellung: Ziel ist es, durch die Nutzung lokaler Sensoren die Abbildung des Mikroklimas zu verbessern. Dabei werden Daten erhoben, welche zum Ausbau des Messnetzes der Agrarmeteorologie RLP im Mikroklimabereich dienen und damit ebenfalls in vorhandene und künftig auch in neu entwickelte Prognosemodelle einfließen sowie als Ergebnis neue Dienste bereitstellen. Es ist geplant, die im Weinberg verteilten Sensoren (Temperatur, Feuchte) auf begrenzte Zeit dort zu belassen, um mittels Mustererkennung und dem Einsatz von geostatistischen Methoden sowie des „machine learnings“ raumzeitlich interpretationsfähige Ergebnisse zu erzielen. Die anschließende Anpassung dieser raumzeitlich generierten Muster an das agrarmeteorologische Messnetz, sowie die Integration hochauflösender Geländemodelle, physiologischer und weinbaulicher Untersuchungen, und der historischen Schlagdaten erlaubt letztlich die planmäßige Ableitung entsprechender Algorithmen für die benötigten Kleinklimamodelle, welche dann planmäßig allen Winzern über die Agrarmeteorologie RLP und die Geobox-Infrastruktur des Landes Rheinland-Pfalz angeboten werden. Aufgrund der nachgeschalteten künstlichen Intelligenz sowie der Anpassung an das agrarmeteorologische Messnetz werden etliche der im Weinberg eingebrachten Temperatur- und Feuchte-Sensoren nach einigen Vegetationsperioden entbehrlich und können dann wiederum in andere Untersuchungsflächen eingesetzt werden. Die dargestellte Methode wirkt somit einer elektronischen Überfrachtung im Weinberg entgegen und nutzt die eingesetzte Technik zum digitalen Ausbau des Messnetzes der Agrarmeteorologie RLP im Mikroklimabereich.

2.3 Ergebnisse der OG

Die Zusammenarbeit der OG wurde durch mehrere Einzeltreffen zu Projektbeginn sowie später durch Workshops und Schulungen verwirklicht. Auch fand ein Austausch mit den Winzern und Winzerinnen während des Monitorings über den Frühling und den Sommer statt. Diese Zusammenarbeit hatte einen besonderen Mehrwert in dem durch den regen Informationswechsel auf die Bedürfnisse der Praktiker eingegangen werden konnte. Auch wurde den Winzern und Winzerinnen ein direkter Zugriff auf die Messdaten der Sensoren ermöglicht.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

2.4.1 Ergebnisse

2.4.1.1 Ergebnisse Befallsmonitoring

Im Bereich Pfalz wurden folgende vier Flächen der vier OG-Weingüter zur näheren Untersuchung ausgewählt:

- **Bad Dürkheim** (Lage Fuchsmantel) – Weingut Pflüger (Pflüger)
- **Böchingen** – Weingut Marienhof (Minges)
- **Edenkoben** – Weingut Thorsten Krieger (Krieger)
- **Impflingen** – Gertrudenhof (Pfaffmann)

Die vier Flächen wurden in drei Zonen unterteilt, in die die Sensoren auf verschiedenen Höhen angebracht wurden: ca. 10 cm (Boden), ca. 90 cm (Traubenzone) und ca. 180 cm (Stickelende); siehe Abbildung 2 auf Seite 4.

In den Jahren 2022/2023 wurde ab der Kalenderwoche 20/21 bis zur Lese ein regelmäßiges, wöchentliches Monitoring der vier Anlagen durchgeführt. Das Monitoring endete mit der Lese, da hierfür die Sensoren aus den Anlagen entfernt werden mussten. Folgende Kriterien wurden erfasst:

- **Entwicklungsstadium** der Reben nach BBCH (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie)

- **Befallshäufigkeit des Echten Mehltaus** der Weinrebe (*Erysiphe necator*, bekannt unter dem Trivialnamen Oidium) an den Blättern sowie auf den Gescheinen oder Trauben
- **Befallshäufigkeit des Falschen Mehltaus** der Weinrebe (*Plasmopara viticola*, bekannt unter dem Trivialnamen Peronospora) an den Blättern sowie auf den Gescheinen oder Trauben
- **Allgemeine Auffälligkeiten** wie Sonnenbrand an Trauben, Entblätterungsmaßnahmen oder auffälliger Rebpockenbefall

Ein Befall durch Oidium/Echtem Mehltau oder Peronospora/Falschem Mehltau kann durch Ertragsverluste und Qualitätsminderung zu großen wirtschaftlichen Schäden führen. Hingegen sind die von Rebpockenmilben verursachten Pocken selten von wirtschaftlicher Bedeutung. Zum Monitoring der Befallshäufigkeit wurde die Umgebung um jede Sensorstation zunächst in sechs zu untersuchende Sektionen unterteilt (siehe Abbildung 4). Diese entsprachen den Abständen zwischen zwei Pfählen mit jeweils fünf Rebstöcken dazwischen. Jeweils 2 Blätter und 1 Geschein jedes der in diesen Sektionen befindlichen Rebstöcke wurden zufällig ausgewählt und die Befallshäufigkeit dokumentiert. Diese Vorgehensweise wurde jeweils auf der Ost- und der Westseite jeder Sektion durchgeführt, sodass für jede Sensorstation eine Gesamtzahl von 120 Blättern und 60 Gescheinen - verteilt auf 30 Rebstöcke - wöchentlich untersucht wurden.

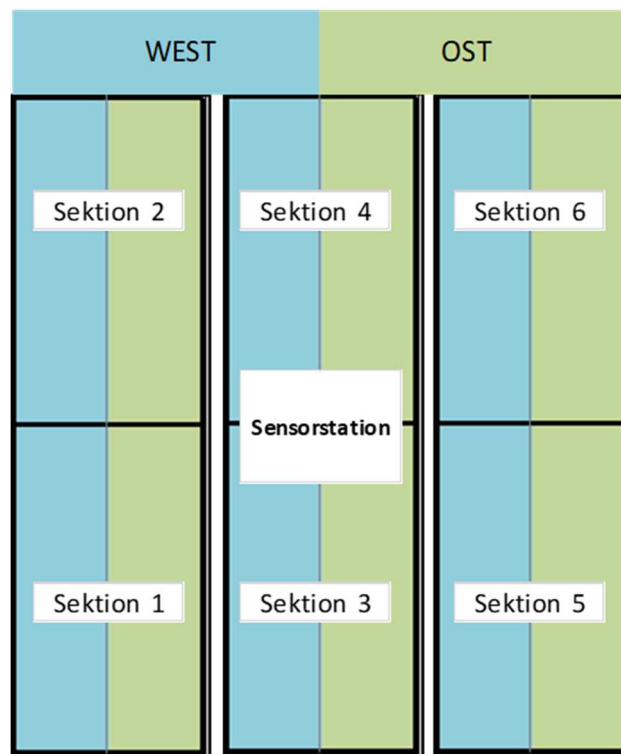


Abbildung 4: Schema der Aufteilung der Reihen um die Sensorstationen in sechs Sektionen. Damit wurde die Befallshäufigkeit an Gescheinen und Blättern an den dreißig Rebstöcken rund um die Sensorstation untersucht.

Die erfassten Entwicklungsstadien zeigten keine nennenswerten Unterschiede innerhalb der einzelnen Weinberge (ausführlicher im Kapitel 2.4.1.2 ab Seite 20). Ebenso wurden keine Unterschiede im Verrieselungsgrad innerhalb der Anlagen gesehen, dasselbe gilt für Verletzungen und Beschädigungen, es waren jedoch Schäden an den Trauben durch starke Sonneneinstrahlung während des heißen Sommers im Jahr 2022 erkennbar (so genannter Sonnenbrand).

Es ist zu beachten, dass es sich bei allen Anlagen um reine Ertragsanlagen handelt und nicht um Versuchsanlagen. So wurden durch die Betriebe präventive Pflanzenschutzmaßnahmen ergriffen, welche sich in den biodynamisch (Bad Dürkheim), ökologisch (Impflingen, Edenkoben) oder integriert (Böchingen) bewirtschafteten Betrieben voneinander unterschieden. Auch haben unterschiedliche Laubarbeiten

direkte Auswirkungen auf das Monitoring, so können zum Beispiel befallene Blätter durch die in der Saison anfallende Entblätterung entfernt worden sein. Die zufällige Stichprobennahme kann auch Unterschiede zwischen den Wochen verursachen. So kann es vorkommen, dass in einer darauf folgenden Woche eine niedrigere Befallshäufigkeit erfasst wurde als in der Woche zuvor, weil die zufällig ausgewählten Blätter oder Gescheine eben nicht befallen waren. Die erfassten Befallszahlen wurden mit den Einsätzen von Fungiziden und dem VitiMeteo-Prognosewarnsystem für Mehltauerkrankungen abgeglichen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass das Prognosesystem sich nur auf das Risiko für Gescheine bezieht, im Monitoring jedoch auch die befallenen Blätter gezählt wurden.

Anlage Bad Dürkheim (Abbildung 5 und Abbildung 6 auf Seite 12 und 13): Der Pflanzenschutz in der Anlage Bad Dürkheim beruht auf biodynamischen Richtlinien (Demeter Zertifizierung) und wird präventiv durchgeführt. Die Anlage war über beide Jahre hinweg wenig von Krankheiten und Schädlingen befallen, so waren nur vereinzelt Oidium-Infektionen an den Blättern während des ganzen Monitorings erkennbar. Blätter mit Oidium-Befall wurden erst ab Kalenderwoche 27 gefunden, was auch genau die Woche ist, in der das Risiko für eine Oidium-Infektion nach dem VitiMeteo-Prognosemodell vier Tage in Folge als mittelhoch eingestuft wurde. Nur in einzelnen Zählungen lag der Oidium-Befall bei Blättern bei 20 %. Diese Zahl ist im Mittel gesehen äußerst gering und kann daher vernachlässigt werden. Generell waren die untersuchten Jahre sehr trocken zum Zeitpunkt der Blüte bis Traubenschluss, in welchem die Gescheine besonders anfällig für Erkrankungen mit Mehltau (Echter und Falscher) sind. Auch der Befall mit Falschem Mehltau war im Untersuchungszeitraum sehr gering. Befallene Blätter wurden nur an einzelnen Tagen gefunden. Gescheine jedoch waren nie befallen. Bedingt durch die gut durchlüftete Lage auf einem Hügel ist generell ein niedriger Infektionsdruck in der Lage Fuchsmantel zu erwarten.

Anlage Böchingen (Abbildung 7 und Abbildung 8 auf Seite 14 und 15): Das Weingut Marienhof ist ein ökologisch bewirtschaftetes Weingut, daher beruht der Pflanzenschutz in der Anlage Böchingen auch auf ökologischen Richtlinien sowie präventiven Maßnahmen. Ab der Kalenderwoche 33 in 2022 war eine Infektion mit Oidium an den Blättern erkennbar, jedoch ohne räumliche Unterschiede zwischen den Zonen, die auf einen mikroklimatischen Einfluss deuten würden. Ebenfalls wurde eine geringe Infektion mit Oidium an den Gescheinen festgestellt, die durch die randomisierte Stichprobennahme den Anschein eines früheren Auftretens ergibt. Der erhöhte Infektionsdruck von Oidium könnte durch infizierte Stocktriebe verursacht sein. Weiterhin wurde eine Infektion mit Peronospora an den Blättern ab der Kalenderwoche 27 beobachtet, obwohl die klimatischen Bedingungen in der Saison 2022 eher ungünstig für die Entwicklung von Peronospora waren. Auch hier wurde keine Infektion der Gescheine mit Peronospora entdeckt. Im Jahr 2023 konnte keine Infektion mit Peronospora detektiert werden. Oidium jedoch war ab Kalenderwoche 25 in geringer Häufigkeit vertreten. Im Jahr davor war Peronospora erst sehr viel später ab Kalenderwoche 32 zu finden.

Anlage Edenkoben (Abbildung 9 und Abbildung 10 auf Seite 16 und 17): In der konventionellen Anlage Edenkoben des Weinguts Krieger wird integrierter Pflanzenschutz betrieben. In den letzten Wochen (ab KW 34) des Monitorings 2022 wurde eine basale Infektion mit Peronospora an den Blättern gesichtet. Diese war bei passenden Wetterereignissen zu erwarten, auch könnte eine Co-Infektion mit Oidium ab Kalenderwoche 31 in 2022 zu einem erhöhtem Stress bei den Pflanzen geführt haben, was die Pflanzen anfälliger für Krankheiten macht. Darüber hinaus wurde der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wegen der günstigen Wetterlage etwas früher eingestellt. Eine Peronosporainfektion der Gescheine wurde nicht beobachtet. Bei der Infektion der Blätter mit Oidium wurden interessanterweise raumzeitliche Unterschiede zwischen den Zonen beobachtet. Die Infektion trat zuerst in der Zone 1 auf und weitete sich mit der Zeit erst auf die Zone 2 und dann auf die Zone 3 aus. Im Jahr 2023 wanderte Oidium bereits ab Kalenderwoche 25 in die Anlage. In 2023 trat dort kein Befall mit Peronospora auf.

Anlage Impflingen (Abbildung 11 und Abbildung 12 auf Seite 18 und 19): Auch in der Anlage Impflingen des Gertrudenhof wird integrierter Pflanzenschutz getätigt. Eine Infektion der Blätter mit Peronospora war ab der Kalenderwoche 26 2022 erkennbar, jedoch vorwiegend in den Zonen 2 und 3. Auch war die Verteilung der Rebpocken stärker in den Zonen 1 und 2 im Vergleich zur Zone 3 ausgeprägter. Die Gescheine wiesen auch hier keine Infektion mit Peronospora oder Oidium auf. Bei der Verteilung von Oidium an den Blättern waren auch hier, wie in der Anlage Edenkoben, raumzeitliche Unterschiede zwischen den Zonen zu erkennen. So ist in der Anlage Impflingen ebenfalls ein „wandern“ von Zone 3 in Zone 2 ab Kalenderwoche 32 in 2022 und dann in Zone 1 erkennbar was wieder auf einen mikroklimatischen Einfluss deuten könnte (an einigen Tagen konnte Oidium wegen Regen jedoch nicht genau quantifiziert werden).

In 2023 wurde ab Kalenderwoche 21 ein starker Anstieg von Peronospora-Infektionen beobachtet, welcher ab Kalenderwoche 29 aufgrund anhaltender Trockenheit wieder abnahm. Bereits befallene Blätter trockneten ein oder wurden im Rahmen von Entblätterungsmaßnahmen teilweise entfernt. Oidiumbefall an Blättern konnte ab Kalenderwoche 25 in geringer Häufigkeit beobachtet werden und verblieb bis zum Ende des Monitoringzeitraums (Weinlese) auf einem geringen Niveau. Dabei deckte sich der Befallsbeginn mit dem in VitiMeteo generierten Oidium-Index, welcher das Risiko für einen Oidium-Gescheinsbefall wiedergibt.

2022: Bad Dürkheim Befallshäufigkeit (%)

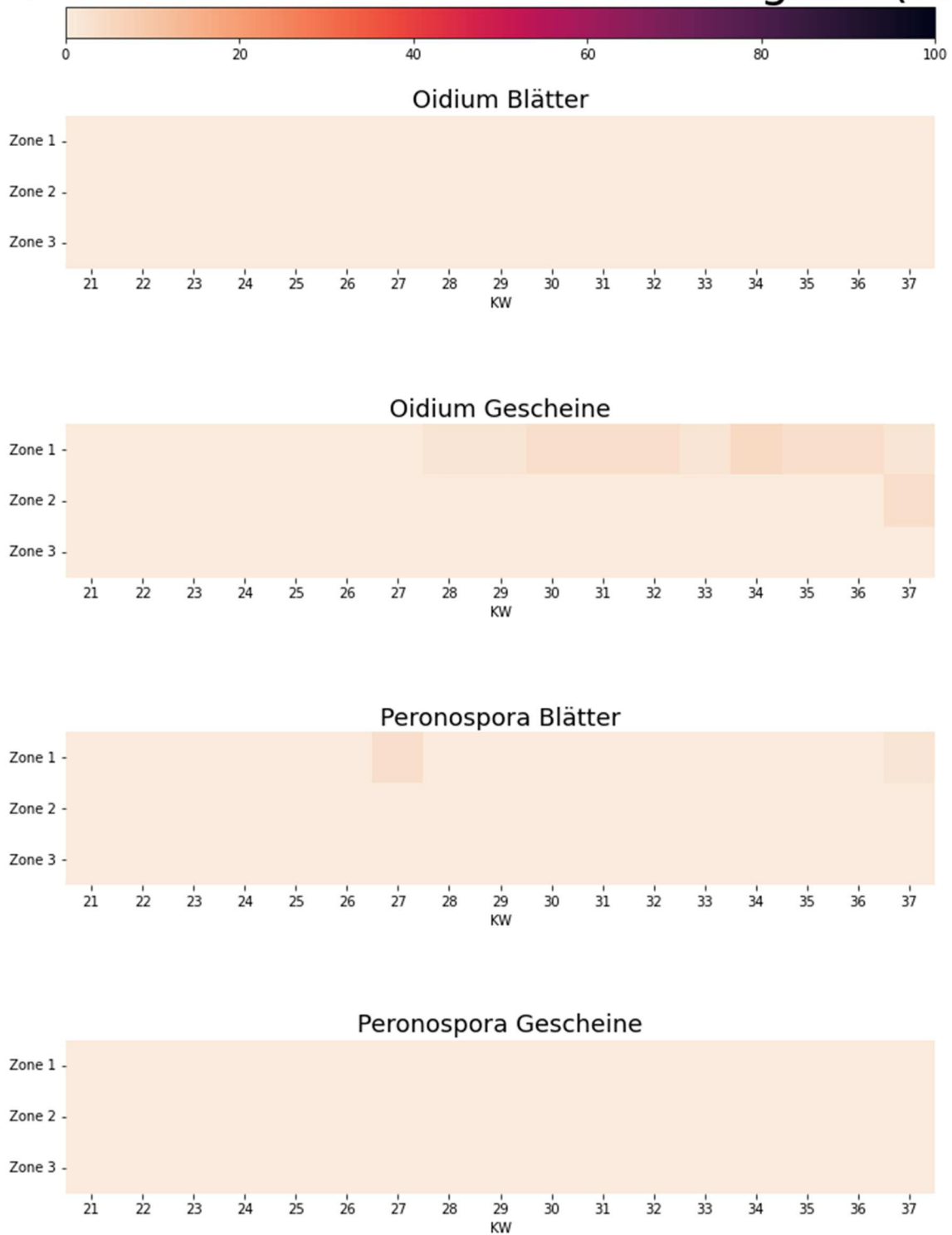


Abbildung 5: Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Bad Dürkheim (Lage Fuchsmantel) im Jahr 2022

2023: Bad-Dürkheim Befallshäufigkeit (%)

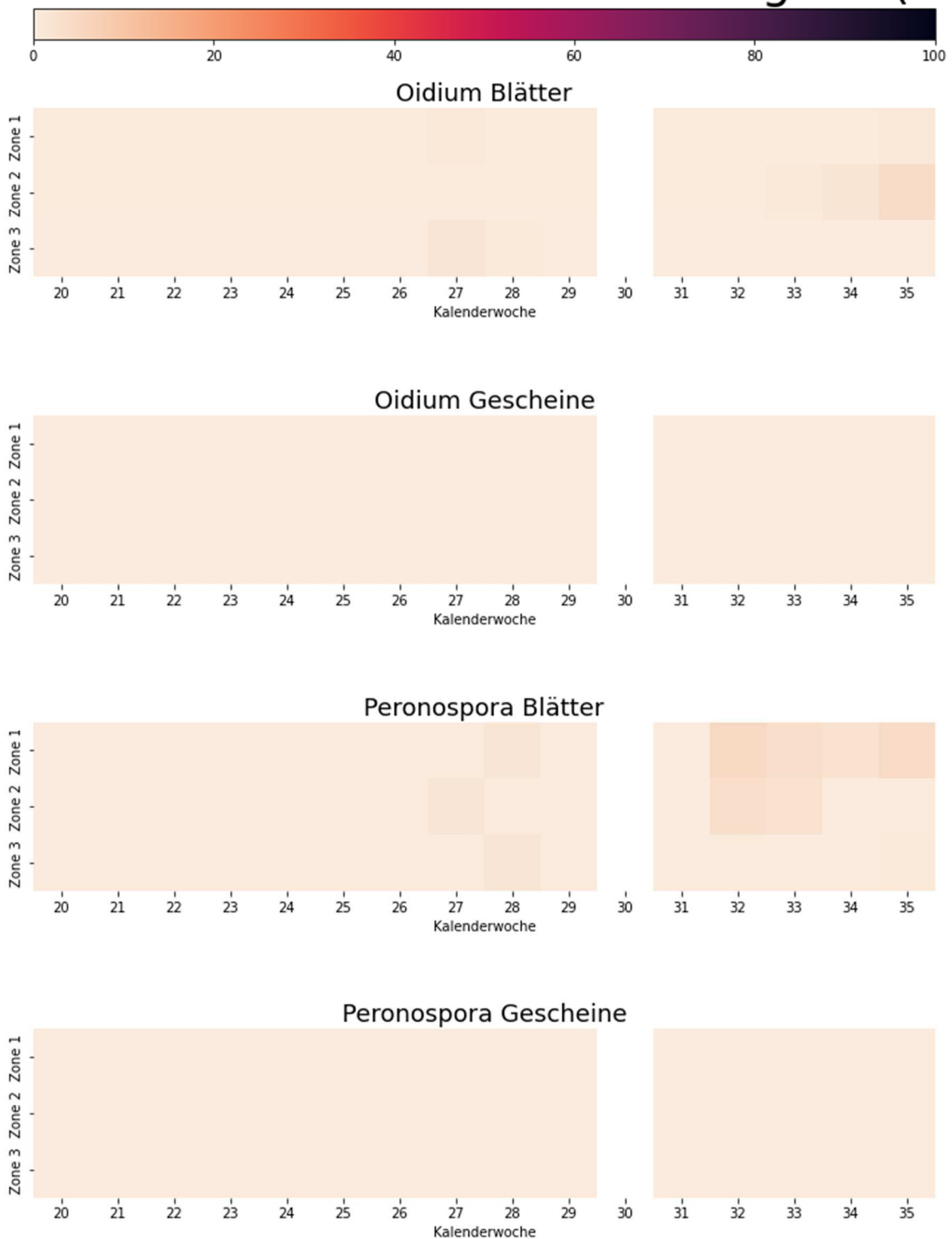


Abbildung 6 Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Bad Dürkheim (Lage Fuchsmantel) im Jahr 2023. In der Kalenderwoche 30 konnte kein Monitoring durchgeführt werden.

2022: Böchingen Befallshäufigkeit (%)

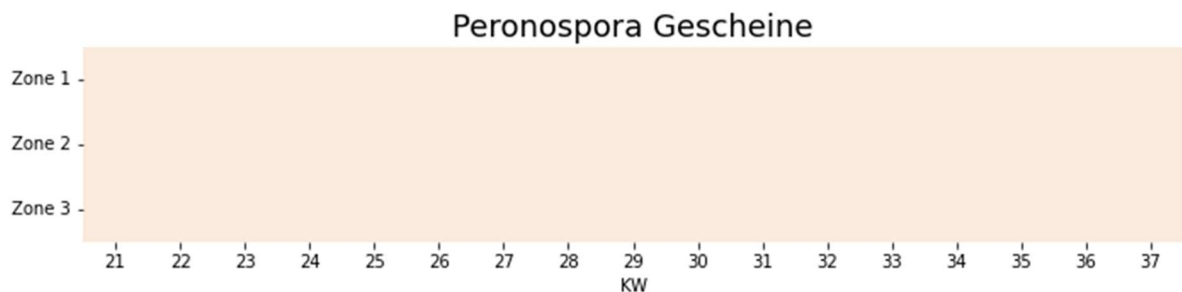
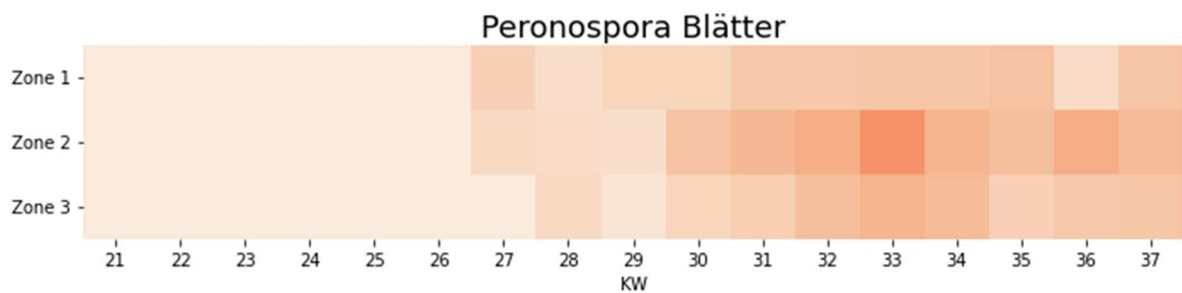
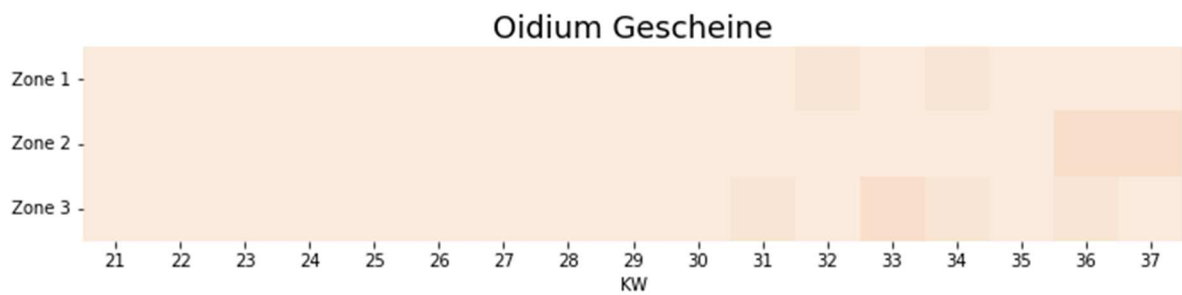
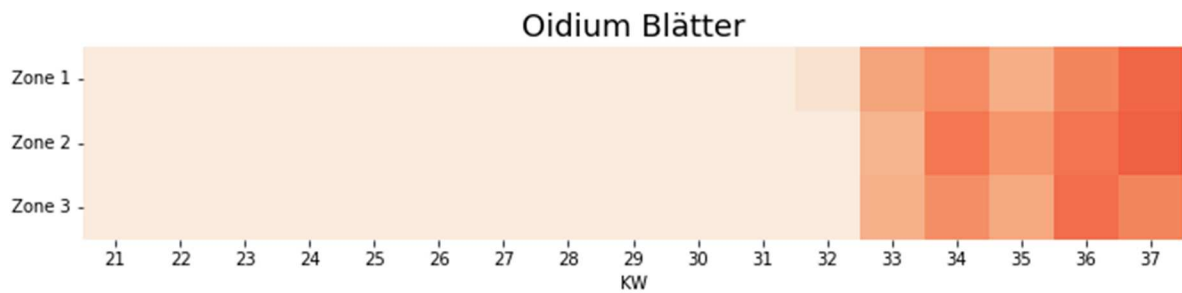


Abbildung 7: Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Böchingen im Jahr 2022

2023: Böchingen Befallshäufigkeit (%)

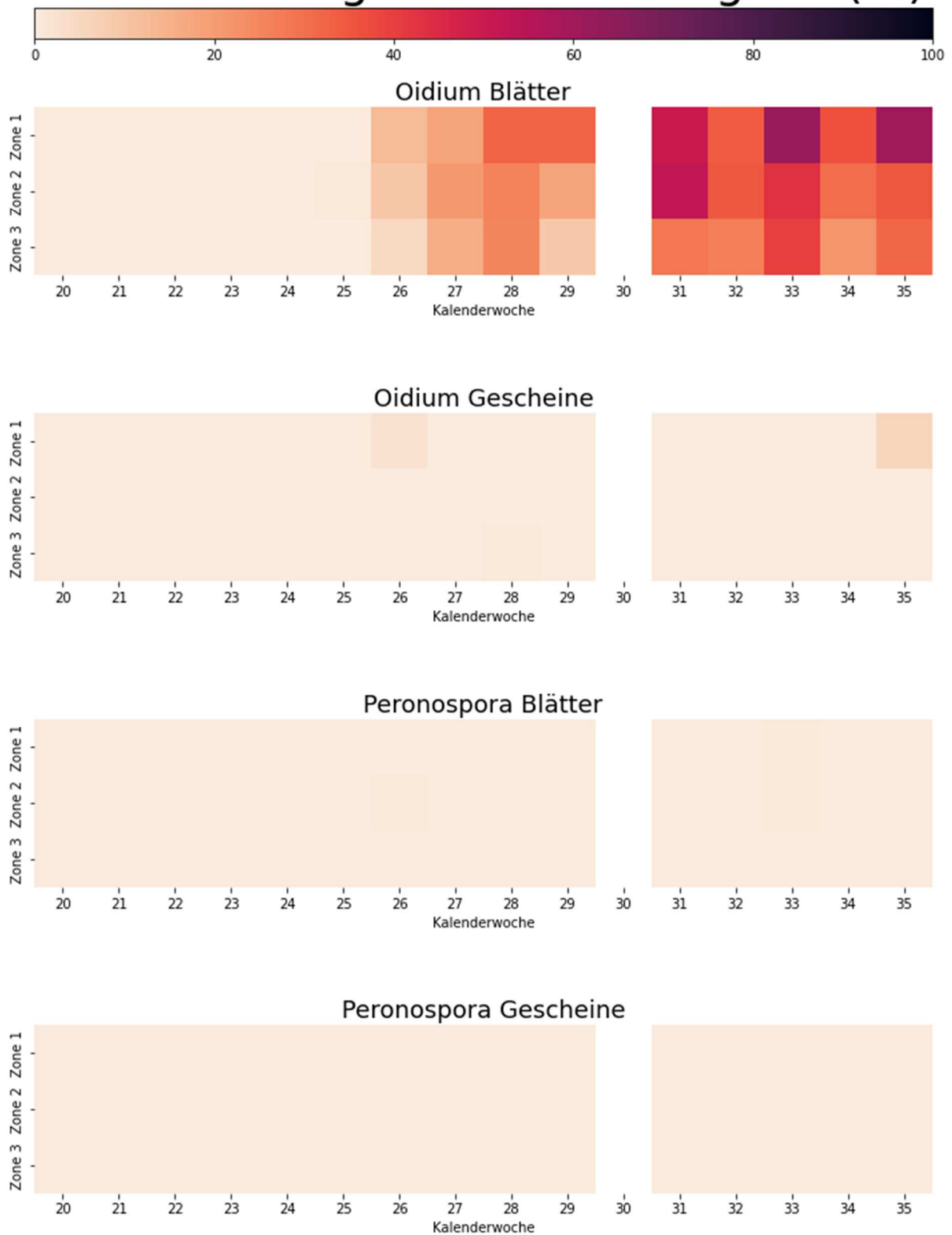


Abbildung 8 Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Böchingen im Jahr 2023. In der Kalenderwoche 30 konnte kein Monitoring durchgeführt werden.

2022: Edenkoben Befallshäufigkeit (%)

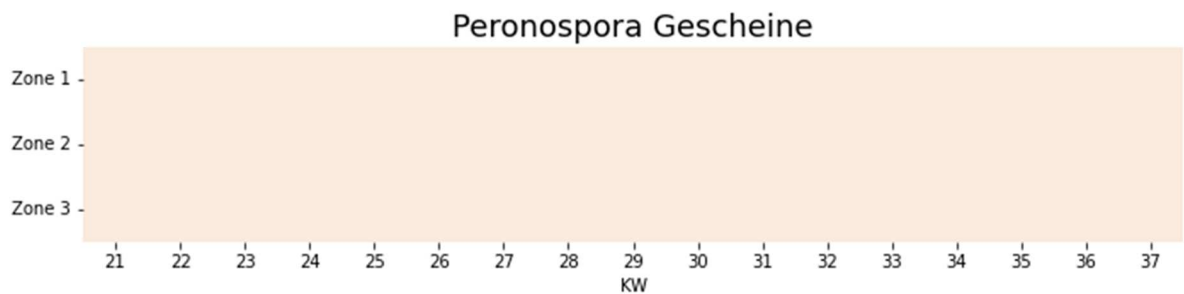
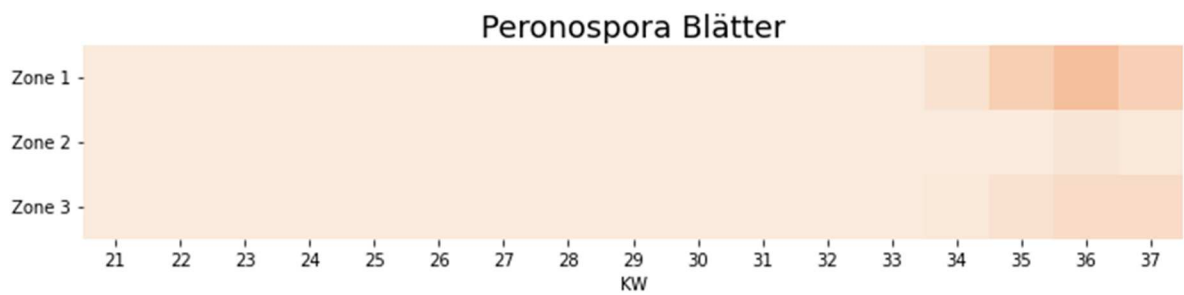
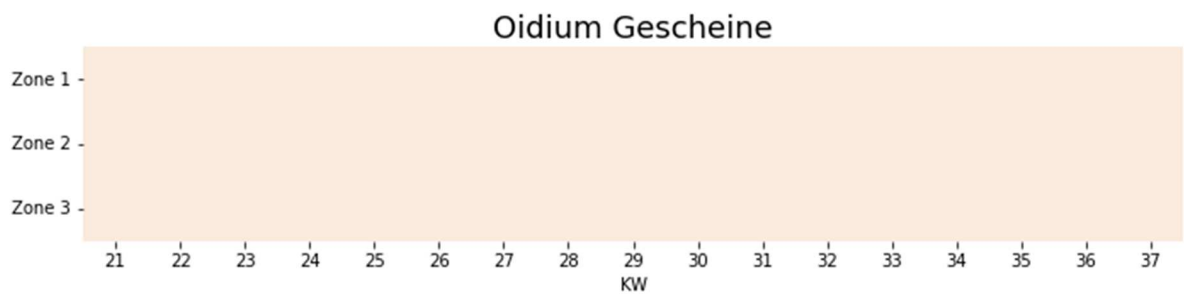
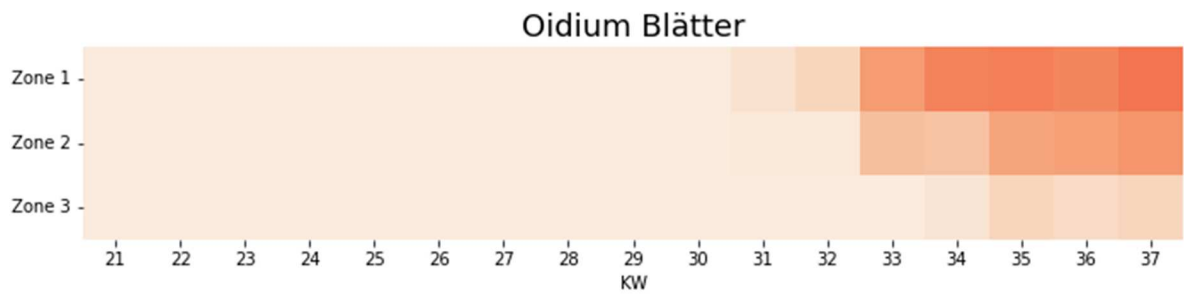


Abbildung 9: Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Edenkoben im Jahr 2022

2023: Edenkoben Befallshäufigkeit (%)

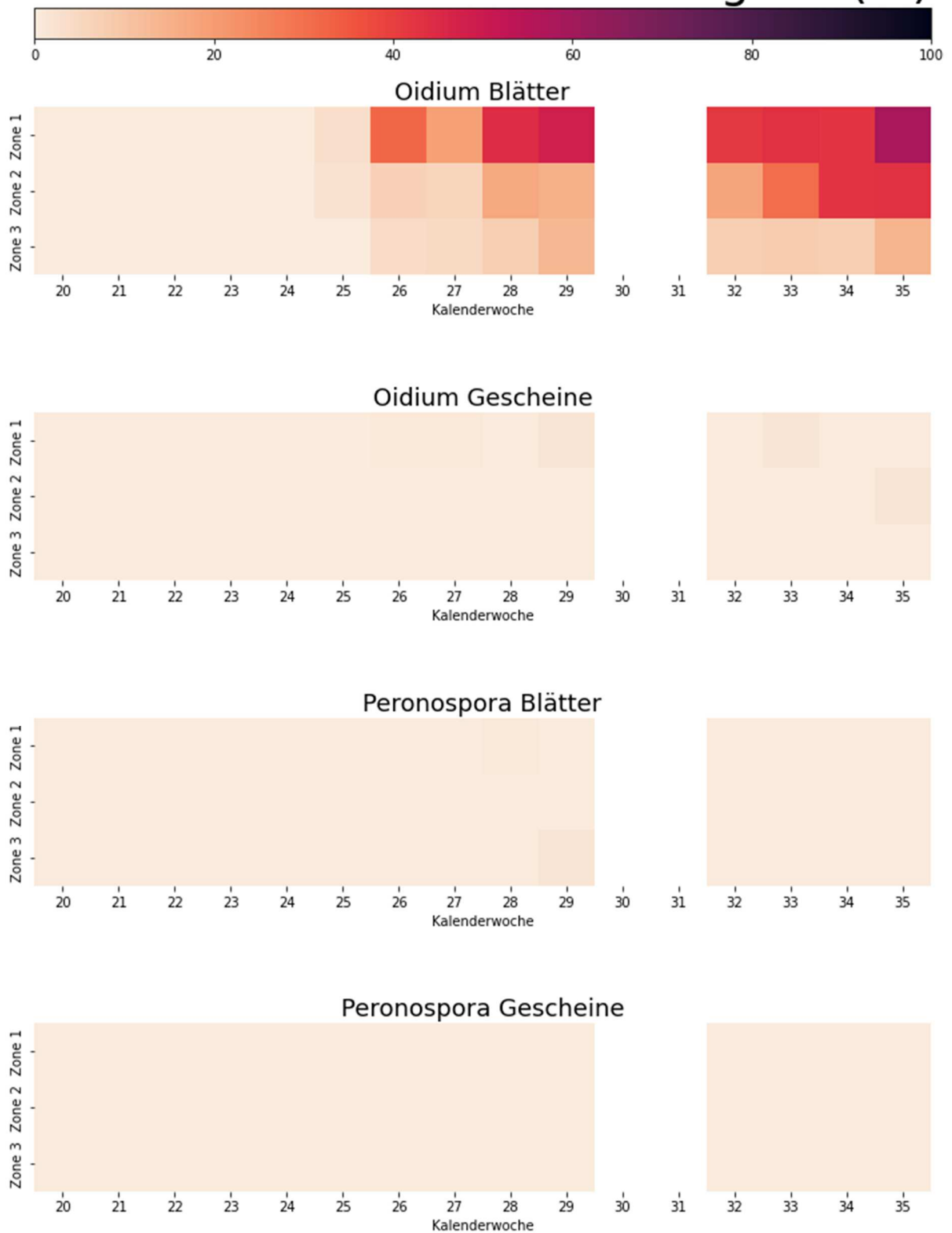


Abbildung 10 Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Edenkoben im Jahr 2023. In den Kalenderwochen 30/31 konnte kein Monitoring durchgeführt werden.

2022: Impflingen Befallshäufigkeit (%)

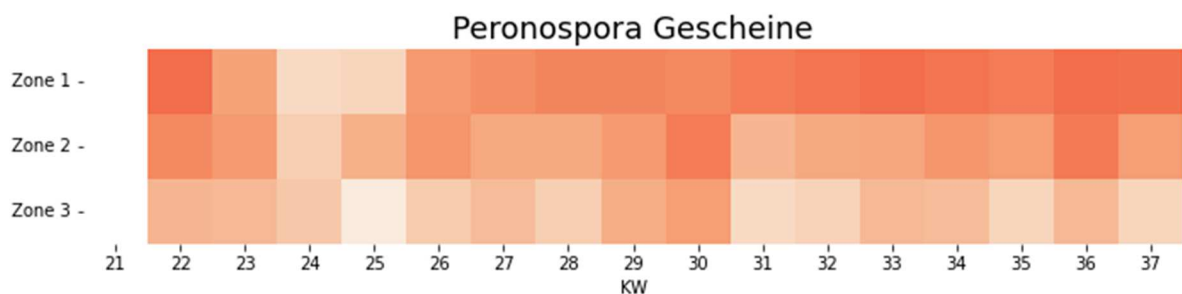
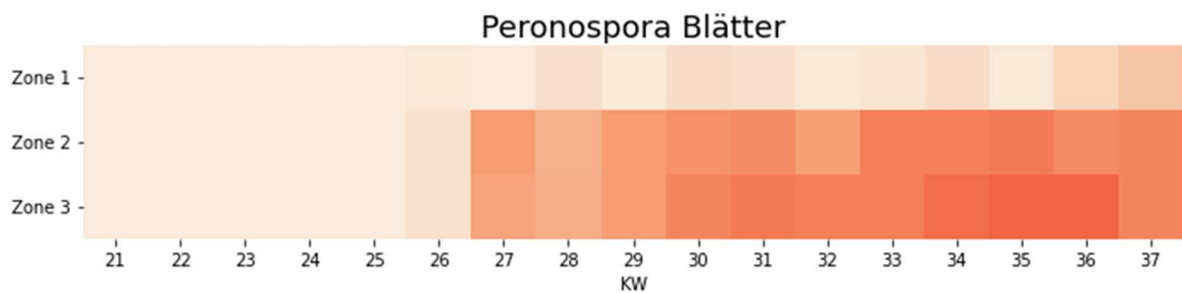
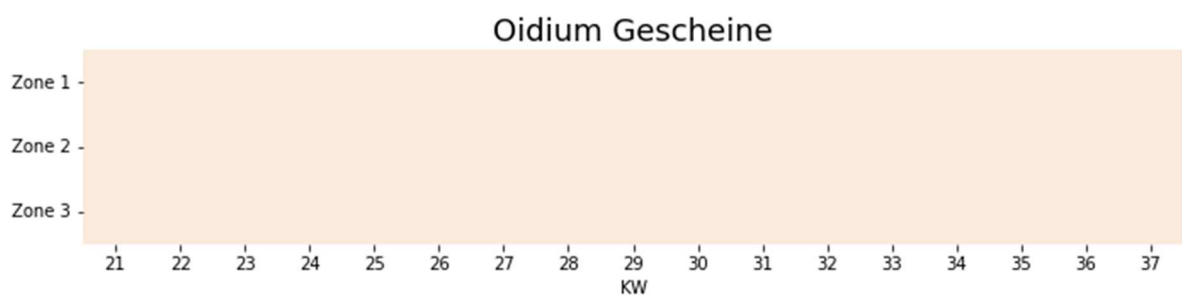
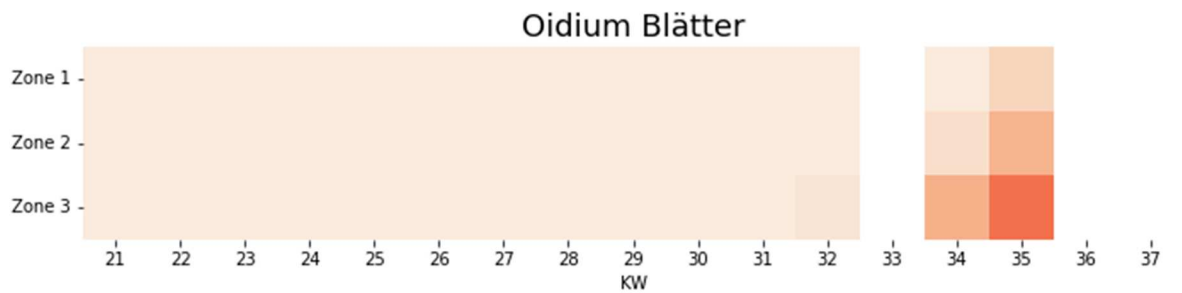


Abbildung 11: Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Impflingen im Jahr 2022. In den Kalenderwochen 33, 36 und 37 konnte aufgrund von Starkregen kein Monitoring von Oidium an den Blättern durchgeführt werden.

2023: Impflingen Befallshäufigkeit (%)

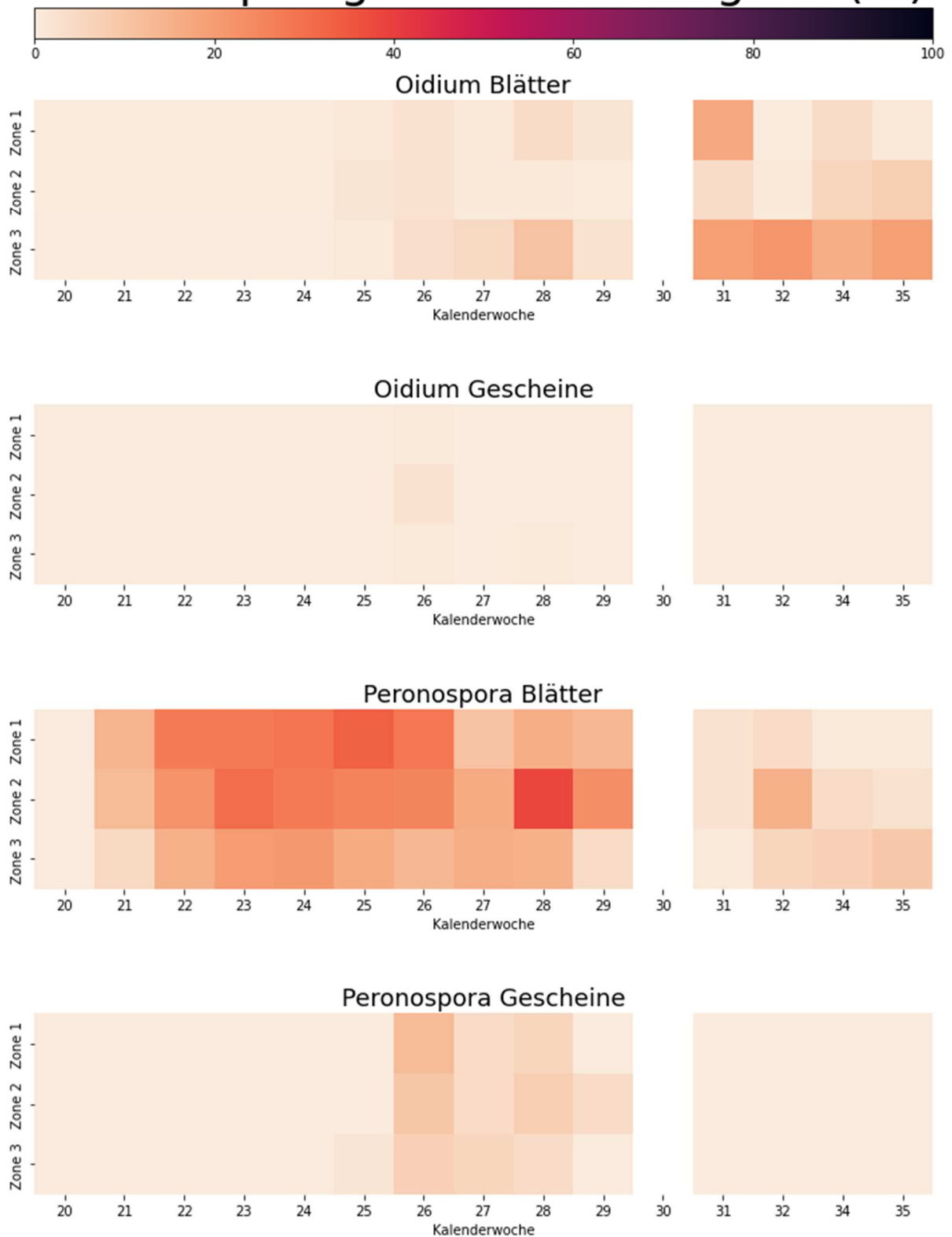


Abbildung 12 Befallshäufigkeit von Oidium und Peronospora (Blätter und Gescheine) in der Anlage Impflingen im Jahr 2023. In der Kalenderwoche 30 konnte kein Monitoring durchgeführt werden.

2.4.1.2 Ergebnisse physiologische Untersuchungen

Im Jahr 2023 wurden auch physiologische Untersuchungen an den Reben in den vier vorderpfälzischen Weinbergen während der Vegetationszeit vollzogen. Folgende Merkmale wurden erfasst:

- Entwicklungsstadium (Phänologie)
- Wasserpotential
- Photochemischer Reflexionsindex (PRI)

Entwicklungsstadium: Die Erfassung des Entwicklungsstadiums spielt sowohl in der Forschung als auch in der weinbaulichen Praxis eine wichtige Rolle. Durch die Entwicklung der Pflanze in der Vegetationsperiode ändern sich die Bedürfnisse der Rebe und so ist die richtige Auswahl des Zeitpunkts von weinbaulichen Maßnahmen wie Düngung, Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutzmittelapplikation ein Grundstein guter landwirtschaftlicher Praxis und qualitätsorientierter Erzeugung von Trauben. In der Regel wird für die phänologische Erfassung die BBCH (**B**iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, **B**undessortenamt und **C**hemische Industrie) Skala für Weinreben benutzt. Diese Skala ist in Entwicklungsstadien (Entwicklung der Knospe, der Blätter, der Gescheine, der Blüte, der Frucht, Reifentwicklung und Einleitung der Winterruhe) unterteilt, die wiederum in BBCH-Codes unterteilt sind. So bedeutet z. B. Code 13 der BBCH-Skala, dass drei Blätter entwickelt sind (1 – Entwicklungsstadium, -3 = Anzahl der Blätter) oder Code 67, dass 70% der Blütenköpchen abgeworfen sind.

Wasserpotential: Das Wasserpotential ist ein Begriff aus der Pflanzenphysiologie, der auf das nötige Maß an Arbeit hinweist, das notwendig ist, um ein bestimmtes Volumen an Wasser einem System hinzuzuführen. Es ist auf Einheiten des Drucks skaliert, i. d. R. MPa oder bar. Differenzen im Wasserpotential treiben einen Transport von Wasser an, nämlich vom höheren Potential zum niedrigeren Potential. Bei der Pflanze ist das höchste Wasserpotential im Boden, gefolgt von Wurzeln, dann Stamm und schlussendlich Blatt und Luft. Also erfolgt der Wassertransport durch die Xyleme der Pflanze in Richtung Boden -> Wurzel -> Stamm -> Blatt -> Luft. Das Wasserpotential hat in der Pflanzenphysiologie ein negatives Vorzeichen. Das an der Pflanze gemessene Wasserpotential gibt Rückschlüsse auf die Wasserverfügbarkeit der Rebe. So bedeutet ein niedriger gemessenes Wasserpotential eine geringere Wasserverfügbarkeit für die Pflanze, unter bestimmten Grenzen auch einen Zustand von Wasserstress was negative Auswirkungen haben kann.

Das Wasserpotential im Boden kann z. B. mit Gipsblock-Elektroden oder Tensiometern gemessen werden, bei einer Messung an der Pflanze wird meistens eine Scholander-Bombe benutzt (Abbildung 13). Bei der Scholander-Bombe wird ein abgeschnittenes Blatt der Rebe in eine luftdichte Druckkammer eingespannt, so dass nur der abgeschnittene Stiel des Blattes aus der Druckkammer herausragt. Danach wird der Druck in der Kammer mit Druckluft oder Stickstoff langsam erhöht bis aus dem Blattstiel Wasser austritt (am besten ein Vergrößerungsglas benutzen), die Druckzufuhr wird dann gestoppt und der gemessene Druck am Manometer der Scholander-Bombe notiert. Wie bei allen Geräten, die mit hohem Druck arbeiten, sollte hier vorsichtig gearbeitet und Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden (Schutzbrille, Prüfung des Sicherheitsventils der Druckkammer oder fester Verschluss derselben). Die etwas aufwendigere Methode der Messung mit der Scholander-Bombe hat den großen Vorteil, dass sie den Zustand direkt an der Pflanze misst und so direkt die Wasserverfügbarkeit der Rebe widerspiegelt. Beispielsweise könnten beim Einsatz von Bodenfeuchtesensoren die Wurzeln tiefer wachsen als die Sensoren und so würden die Sensoren einen Wassermangelzustand signalisieren, obwohl die Wurzeladern doch mit Wasser versorgt sein könnten. Dies ist insbesondere für Reben entscheidend, da diese in der Lage sind, sehr lange und weit verzweigte Wurzelsysteme wachsen zu lassen.

Bei der Messung mit der Scholander-Bombe gibt es unterschiedliche Methoden: Blattwasserpotential vor der Morgendämmerung, Blattwasserpotential mittags und das Stammwasserpotential. Bei den Messungen des Blattwasserpotentials wird das Blatt kurz für 1-2 Sekunden in einen durchsichtigen Beutel gepackt und dann abgeschnitten und zügig in der Druckkammer unter Druck gesetzt. Beim

Stammwasserpotential wird das Blatt für mindestens 10 Minuten in einen undurchsichtigen Beutel gepackt, damit wird die Verdunstung am Blatt unterbunden und das Wasserpotential des Blatts gleicht sich dem des Stamms der Rebe aus. Auch hier sollte so wenig Zeit wie möglich zwischen Abschneiden und Messung vergehen, die beste Uhrzeit für die Messung vom Stammwasserpotential ist zwischen 15 und 17 Uhr. Im Projekt VitiMikroKlim wurde das Stammwasserpotential gemessen, weil Untersuchungen gezeigt haben, dass diese Methode am wenigsten Varianz bei der Messung zeigt. In folgender Tabelle werden die Grenzwerte von Stammwasserpotential aufgeführt:

Niveau des Wasserdefizits (WD)	Gemessenes Stammwasserpotential in MPa (bar)
Kein WD	> -0,6 (mehr als -6)
Mildes bis moderates WD	-0,7 bis -0,9 (-7 bis -9)
Moderates WD	-1,0 bis -1,2 (-10 bis -12)
Moderates bis wichtiges WD	-1,2 bis -1,4 (-12 bis -14)
Starkes bis sehr starkes WD	-1,4 bis -1,6 (-14 bis -16)
Sehr starkes WD	< -1.6 (weniger als -16)

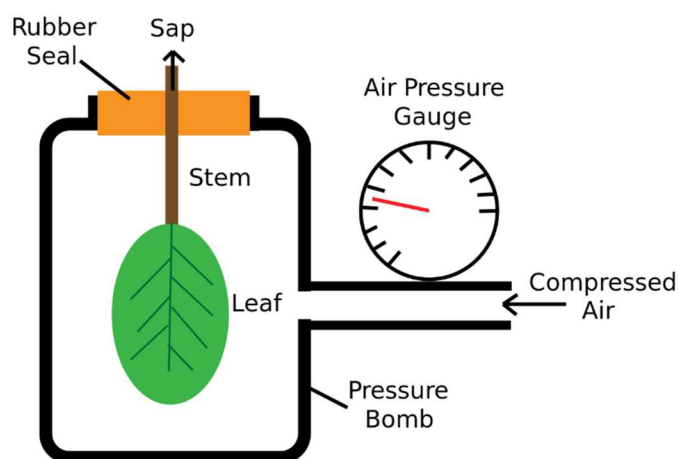


Abbildung 13: Links: Funktionsprinzip einer Scholander-Bombe. Rechts: Scholander-Bombe die im VitiMikroKlim Projekt benutzt wurde. Quelle Bild links: <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserpotential#/media/Datei:Pressurebomb.svg>

Photochemischer Reflexionsindex: Der photochemische Reflexionsindex (PRI) ist ein Index der die Reflexion von Karotenoiden (insbesondere von Xantophyll) im Blatt misst. Karotenoide sind Pigmente die indikativ über die Effizienz der Photosynthese oder über die Rate der Aufnahme von Kohlendioxid im Blatt sind. Dadurch werden Rückschlüsse über die Gesundheit, die Produktivität sowie den Stress der Pflanze erzielt. Der Index wird mit der Reflexion (ρ) der Wellenlängen bei 531 und 570 Nanometer berechnet, mit der folgenden Formel: $PRI = (\rho_{531} - \rho_{570}) / (\rho_{531} + \rho_{570})$. Die Formel ergibt Werte zwischen -1 und 1.

Ergebnisse Erfassung Phänologie: In den vier vorderpfälzischen Anlagen des Projekts wurden die Entwicklungsstadien der Rebe nach BBCH erfasst (siehe Abbildung 14). Das Monitoring fand wöchentlich von der Kalenderwoche 14 bis zur Kalenderwoche 35 im Jahr 2023 statt. Zwischen den verschiedenen Zonen in den unterschiedlichen Anlagen waren während des Monitorings fast keine Unterschiede erkennbar, außer in der KW 25 in Bad Dürkheim während der Blüte, in der Zone 3 fand das vollständige

Abwerfen der Blütenköppchen später statt als in den Zonen 1 und 2. Es gab einige Unterschiede zwischen den untersuchten Flächen, insbesondere im ersten Drittel der Vegetationsperiode. In Bad Dürkheim dauerte das Entwicklungsstadium des Blatts nur eine Woche, d. h. die Gescheine entwickelten sich etwas schneller als in den Anlagen in Impflingen und Böchingen, in denen das Blattstadium zwei Wochen andauerte. In dem Weinberg in Edenkoben dauerte das Blattstadium auch zwei Wochen, jedoch fand es eine Woche früher statt, nämlich in den Kalenderwochen 17 und 18.

Diese Ergebnisse sind ähnlich den Ergebnissen aus dem Jahr 2022, in welchem auch die Unterschiede zwischen den Zonen und den Flächen relativ gering ausfielen.

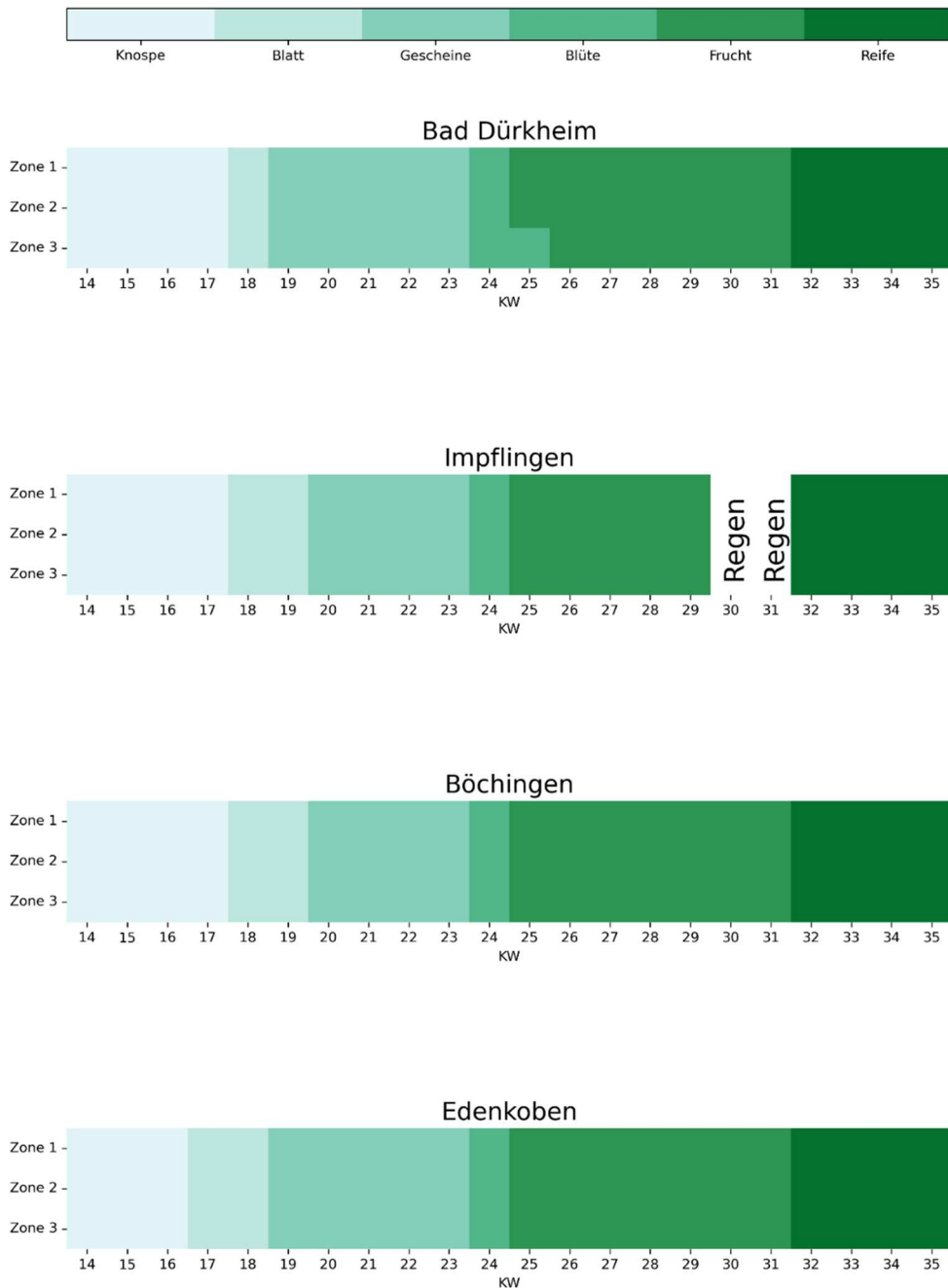


Abbildung 14: Ergebnisse der erfassten Entwicklungsstadien (BBCH) im Jahr 2023 in den vier Anlagen in der Pfalz. In den Kalenderwochen 30 und 31 konnte wegen schlechter Witterung kein Monitoring in der Anlage Impflingen stattfinden

Ergebnisse Messung Wasserpotential: Es wurden Messungen des Stammwasserpotentials wöchentlich, je zwei Messungen pro Zone, in drei der vier vorderpfälzischen Anlagen vollbracht: Bad Dürkheim, Böchingen und Impflingen. In der Anlage Edenkoben wurden keine Untersuchungen von Wasserpotential unternommen, da in der Anlage ein Tropfbewässerungssystem vorhanden ist und mögliche Zugaben von Wasser das gemessene Wasserpotential verändern und somit Informationen über den klimatischen Einfluss auf das Wasserpotential verfälschen können. Die Messungen in den drei genannten Anlagen fanden vom 11.07.2023 bis zum 01.09.2023 statt, d. h. in den Kalenderwochen 28 bis 35. Ausnahme ist die Kalenderwoche 34, in der keine Messungen wegen eines Defekts an der Scholander-Bombe durchgeführt werden konnten. Der Zeitraum wurde deshalb ausgewählt, weil im qualitätsorientierten Weinbau eine Zugabe von Wasser frühestens zum Zeitpunkt, in dem die Beeren eine Schrotkorngröße erreicht (BBCH Code 73, i.d.R. zweite Junihälfte) haben, empfohlen wird. Eine frühere Gabe von Wasser führt zwar i. d. R. zu einem höheren Ertrag, jedoch auch zu einer signifikanten Reduzierung der Qualität im Wein.

In der Anlage in Bad Dürkheim sind die Ergebnisse der Messungen des Stammwasserpotentials im Vergleich mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation AGM (Agrarmeteorologie RLP) Nummer 095 in Bad Dürkheim in der Abbildung 15 einsehbar. Nach Perioden mit keinem oder sehr geringem Niederschlag zeigt sich eine klare Reduzierung des Stammwasserpotentials. Im Gegensatz steigt dieser nach Niederschlägen wieder. Auch war das Stammwasserpotential in Bad Dürkheim zu Zeitpunkten im Bereich der als moderates Wasserdefizit betrachtet wird, jedoch bedeutet ein moderates Wasserdefizit keine Gefahr für die Rebe sondern es kann auch einen Qualitätsanstieg der Trauben und eine geringe Einbuße im Ertrag mit sich führen. An bestimmten Messtagen zeigten sich auch relativ geringe Unterschiede zwischen den Zonen.

In Abbildung 16 sind die gemessenen Daten für die Anlage in Impflingen ersichtlich (gemessenes Stammwasserpotential und der Niederschlag an der Wetterstation AGM 089 in Landau-Nußdorf). Auch hier zeigte sich das Stammwasserpotential hoch und gleichbleibend nach größeren Niederschlägen, z. B. zwischen dem 19.07. und 09.08., danach folgte eine Periode mit einer niedrigen Niederschlagsmenge, die wiederum zur Absenkung des Stammwasserpotentials führte. Ebenso waren hier am letzten Messungstag Unterschiede zwischen den Zonen zu erkennen. Ob hier die Bewässerung in nur zwei der drei Zonen sinnvoll wäre, hängt von vielen weiteren Faktoren ab.

Für das gemessene Stammwasserpotential in der Anlage Böchingen wurden die Niederschlagsdaten von der Wetterstation in Landau-Wollmesheim - AGM 087 genommen (siehe Abbildung 17). Hier blieb das Stammwasserpotential über den ganzen Messungszeitraum hoch mit wenigen Abweichungen, die Werte bewegten sich im Durchschnitt zwischen -3 und -4,25 bar. Die Niederschlagsmengen in Böchingen waren höher als die in Bad Dürkheim oder Impflingen.

Die Unterschiede im gemessenem Stammwasserpotential zwischen den Anlagen beruhen auf unterschiedlichen Faktoren wie Niederschlagsmenge, Bodenbeschaffenheit, Durchwurzelung und Unterlage, Temperatur, Evapotranspiration, Sonneneinstrahlung usw. Es ist zu beachten, dass die Niederschlagsmenge im betrachteten Zeitraum in Böchingen (186 mm) um circa ein Drittel höher war als der Niederschlag in Bad Dürkheim (134 mm) oder Impflingen (138 mm). Die Wetterstationen AGM 087 und AGM 089 liegen fünf Kilometer entfernt. Dies verdeutlicht, wie sehr sich die klimatischen Verhältnisse auf kleinem Raum unterscheiden können und wie wichtig eine präzisere Erfassung dieser für eine genauere Bewirtschaftung ist. Die Ergebnisse aus Bad Dürkheim sind auf die Beschaffenheit des Bodens zurück zu führen, der einen höheren Anteil an Sand aufweist, was eine geringere Wasserspeicherkapazität bedeutet. Auch ist der Weinberg im Vergleich zu den anderen zwei Weinbergen relativ jünger (Am Durchmesser des Stamms erkennbar). Dies hat zur Folge, dass die Wurzeln der Rebe noch nicht so tief in den Boden eingedrungen sind und weniger Wasser aufnehmen können. Wie aus den Ergebnissen erkennbar, hat das zur Folge, dass das Stammwasserpotential in Bad Dürkheim schnell auf die klimatischen Verhältnisse „reagiert“.

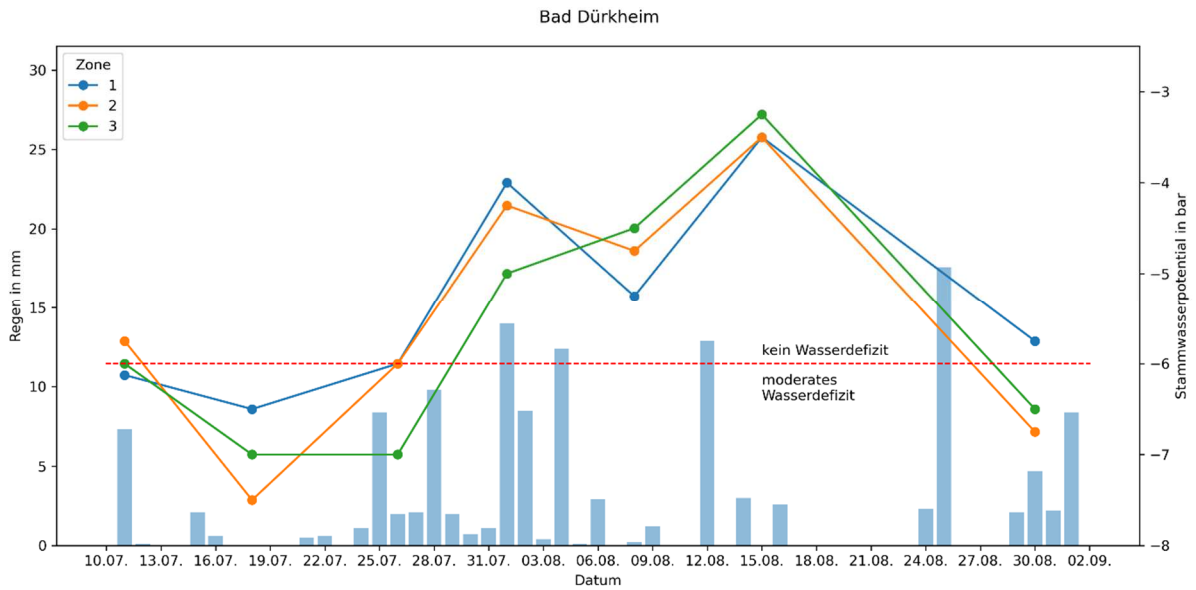


Abbildung 15: Gemessenes Stammwasserpotential (Mittelwert, Linien) in der Anlage Bad Dürkheim im Vergleich mit der Niederschlagsmenge pro Tag (Balken), gemessen an der nächstgelegenen Wetterstation AGM (Agrarmeteorologie RLP) 095 in Bad Dürkheim. Die gesamte Niederschlagsmenge für den betrachteten Zeitraum betrug 134 mm.

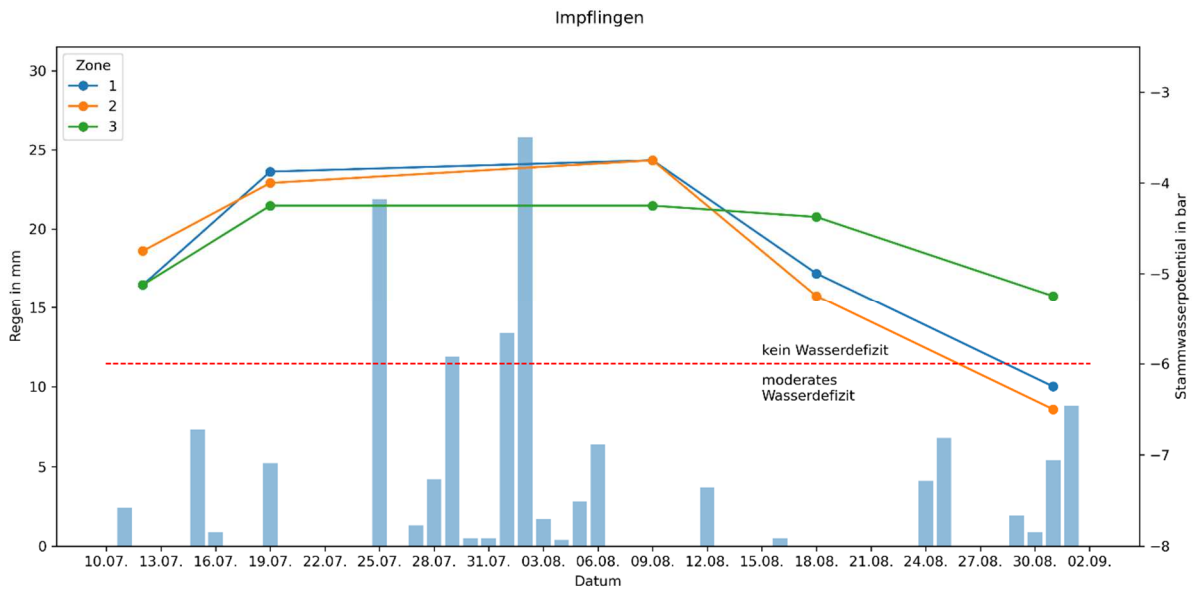


Abbildung 16: Gemessenes Stammwasserpotential (Mittelwert, Linien) in der Anlage Impflingen im Vergleich mit der Niederschlagsmenge pro Tag (Balken), gemessen an der nächstgelegenen Wetterstation AGM 089 in Landau-Nußdorf. Die gesamte Niederschlagsmenge für den betrachteten Zeitraum betrug 138 mm.

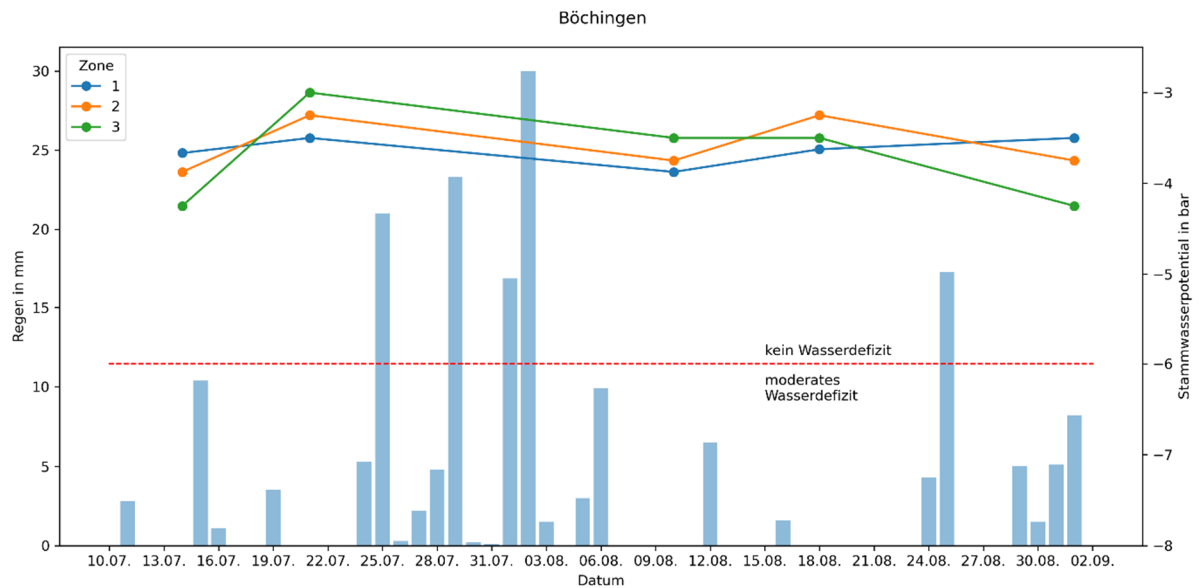


Abbildung 17: Gemessenes Stammwasserpotential (Mittelwert, Linien) in der Anlage Böchingen im Vergleich mit der Niederschlagsmenge pro Tag (Balken), gemessen an der nächstgelegenen Wetterstation AGM 087 in Landau-Wollmesheim. Die gesamte Niederschlagsmenge für den betrachteten Zeitraum betrug 186 mm.

Ergebnisse Messungen Photochemischer Reflexionsindex: Zwischen dem 11.07.2023 und dem 01.09.2023 (Kalenderwochen 28-35) wurden in allen vier vorderpfälzischen Anlagen Untersuchungen zum photochemischen Reflexionsindex getätigt, an einigen Tagen ließ die Witterung jedoch keine Messungen zu (Gefahr durch Wasserschaden an dem elektrischen Messgerät). Zur Messung wurde das Gerät PlantPen PRI 210 der Firma Photon Systems Instruments (Tschechische Republik) benutzt (Abbildung 18).



Abbildung 18: PlantPen PRI 210 der Firma Photon Systems Instruments. Quelle: <https://handheld.psi.cz/products/plantpen-ndvi-and-pri/>

Das Gerät misst im eingeklemmten Blatt die Reflexion bei den Wellenlängen 530 nm und 590 nm, vor jeder Benutzung ist eine Kalibration notwendig. Diese geschieht durch das Messen der Reflexion der beigefügten weißen Oberfläche der Klemme und durch Auswahl von „Calibration“ im Menü des Geräts. Danach kann durch Auswahl von „Measurement“ mit der „SET“ Taste gemessen werden. Bei den Versuchen in den Anlagen wurden immer um die 12 Messungen pro Zone getätigt, so weit möglich zur gleichen Tageszeit (15 Uhr). Auch wurde darauf geachtet, Blätter in ungefähr derselben Höhe

auszuwählen, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. In Abbildung 19 sind die gemessenen PRI Werte einsehbar.

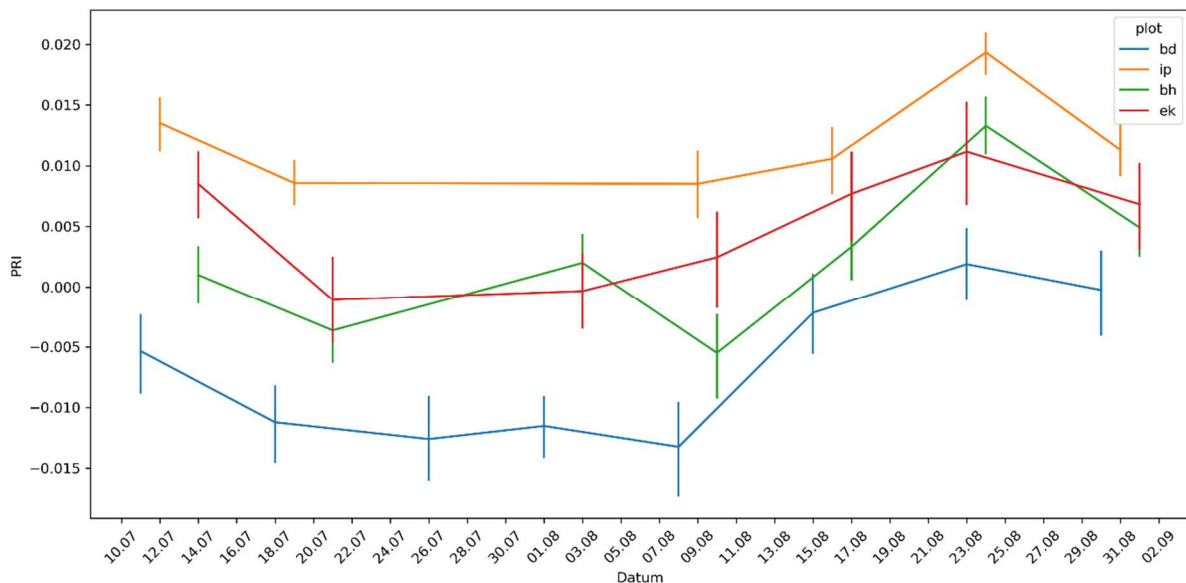


Abbildung 19: Gemessene PRI Werte in den vier Anlagen in der Pfalz. Blau/bd = Bad Dürkheim, gelb/ip = Impflingen, grün/bh = Böchingen, rot/ek = Edenkoben. Die vertikalen Balken an den Messtagen zeigen den Konfidenzintervall (95%)

Es zeigen sich klare Unterschiede zwischen den untersuchten vorderpfälzischen Anlagen über den untersuchten Zeitraum. Der Weinberg in Impflingen zeigte über die ganze Zeit die höchsten gemessenen PRI Werte (Mittelwert zwischen 0,009 und 0,019), gefolgt von den Anlagen in Böchingen (Mittelwert zwischen -0,005 und 0,013) und Edenkoben (Mittelwert zwischen -0,001 und 0,011). Hingegen waren die gemessenen PRI Werte in Bad Dürkheim die niedrigsten und hatten einen Mittelwert von -0.013 bis 0,002. In allen Anlagen ist auch zu erkennen, dass in der ersten Woche eine Absenkung der Werte stattfand und diese danach, bis zum Ende des zweiten Drittels des Messungszeitraums, überwiegend gleichbleibend waren. Im letzten Drittel des betrachteten Zeitraums erfolgte ein kurzweiliger Anstieg der Werte, gefolgt von einer Minderung in der letzten Woche.

In den Weinbergen in Impflingen, Böchingen und Edenkoben waren keine nennenswerten Unterschiede zwischen den verschiedenen Zonen erkennbar. Andererseits ergaben sich Differenzen in Bad Dürkheim, insbesondere zeigten sich konstant niedrigere Werte in der Zone 3 im Vergleich zu den Zonen 1 und 2 (siehe Abbildung 20). Die Unterschiede zwischen den Zonen in Bad Dürkheim wurden einer statistischen Untersuchung durchzogen. Zuerst wurde überprüft, ob die Messwerte der verschiedenen Zonen normalverteilt sind, dies wurde mit dem Shapiro-Wilks- Test gemacht. Diese Testergebnisse waren nicht signifikant ($p > 0,05$), d.h. die Werte in den Zonen sind normalverteilt. Danach wurde mit dem Levene- Test untersucht, ob die Varianzen der Werte zwischen den Zonen gleich sind. Die Ergebnisse des Tests waren ebenfalls nicht signifikant ($p > 0,05$) was eine Gleichheit der Varianzen bestätigt. Eine Normalverteilung und Gleichheit der Varianzen sind Voraussetzungen für den Zweistichproben-t-Test, der prüft, ob sich die Mittelwerte zweier Proben unterscheiden. Es wurden drei t-Tests mit den möglichen Kombinationen zwischen den Zonen durchgeführt (BD-1 & BD-2, BD-1 & BD-3, BD-2 & BD-3). Die Testergebnisse zeigten signifikante Unterschiede zwischen Zone 3 und den beiden anderen Zonen ($p < 0,01$), jedoch keine signifikanten Differenzen zwischen Zone 2 und 3.

Da der PRI eine eher generelle Aussage über den Zustand der Pflanze gibt, ist es schwer, Aussagen darüber zu treffen, welche Faktoren diesen in unseren Untersuchungen beeinflusst haben. Weil sich die

Werte in allen untersuchten Anlagen über den Zeitraum ähnlich geändert haben, könnte ein Einfluss des Makroklimas (Niederschlag, Sonneneinstrahlung usw.) von höherer Bedeutung sein als der Einfluss von mikroklimatischen Verhältnissen. Es ist auch zu beachten dass sich die Anlage Bad Dürkheim zwischen 22 und 34 km nördlich von den anderen Anlagen des Projekts befindet was andere klimatische Verhältnisse mit sich führen kann, wie schon die unterschiedlichen Niederschlagsmengen im Untersuchungszeitraum nahe Böchingen und Impflingen gezeigt haben. Andere Faktoren wie verschiedene Bewirtschaftungsmethoden, verschiedene Rieslingklone, Nährstoffversorgung oder andere Faktoren können sich ebenfalls auf den Gesundheitszustand der Rebe auswirken. So könnten die signifikanten Unterschiede zwischen den Zonen in Bad Dürkheim z. B. mit einem Mangel an Nährstoffen begründet sein.

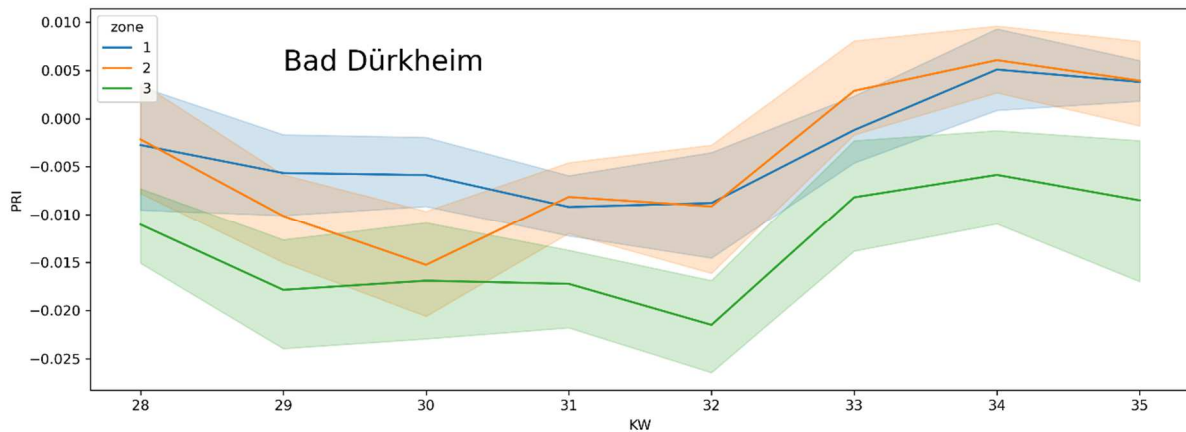


Abbildung 20: Die PRI Werte in Bad Dürkheim, Kalenderwoche 28-35. Die verschiedenen Farben kennzeichnen die unterschiedlichen Zonen. Die schattierten Flächen sind die Konfidenzintervalle (95%)

Eine genauere Auswertung der physiologischen Daten in Bezug mit den Wetterdaten der eingesetzten Sensoren sowie der nächstgelegenen Wetterstationen konnte auf Grunde der verkürzten Laufzeit des Projekts nicht mehr stattfinden. Eine längere Laufzeit vorausgesetzt, wäre es aber durchaus möglich gewesen, die erfassten Daten der Phänologie, des Wasserpotentials und des PRI miteinander sowie mit den Daten der Sensoren (Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit) und nächstgelegenen Wetterstationen (Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Wind usw.) zu vergleichen und somit neue Erkenntnisse über den Verlauf der physiologischen Merkmale zu gewinnen.

2.4.1.3 Ergebnisse Datenanalyse Mikroklima

Motivation und Ziele

Grundsätzliche Fragestellungen bei der Nutzung von LoRa-WAN fähigen „low-cost“ Sensoren sind vielfältig:

Wie nachvollziehbar und vertrauenswürdig sind die Messdaten? Wie performant ist der Datentransfer zwischen Sensor und Gateway? Wie viele Sensoren sind nötig, um kleinräumige Abweichungen auf Grund topographischer Einflüsse abbilden zu können? Wo und wie müssen die Sensoren im Gelände und in den Weinbergsanlagen ausgebracht werden?

Deshalb wurden folgende Fragestellungen formuliert, um diese Faktoren adressieren und statistisch nachvollziehbar analysieren zu können:

- Gibt es (signifikante) Unterschiede zwischen den Messwerten der Sensoren „oben“ und „unten“ für die Parameter Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der gleichen Flächen?
- Gibt es (signifikante) Unterschiede zwischen den Messwerten der Sensoren „oben“ und „unten“ für die Parameter Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeit in unterschiedlichen Regionen und topographischen Positionen?
- Gibt es (signifikante) Unterschiede zwischen den Sensordaten und den nächstgelegenen Wetterstationen, insbesondere aus mikroklimatischer Sicht?

Als vorbereitende Tätigkeit wurden alle Sensordaten heruntergeladen, harmonisiert und in eine (Geo)datenbank integriert.

Zuerst wurden die Daten zur Lufttemperatur analysiert, danach die Daten zur relativen Luftfeuchtigkeit, da die Beschreibung und Analyse der relativen Luftfeuchtigkeit deutlich komplexer als die Lufttemperatur ist und vielfältige Einflußfaktoren berücksichtigt werden müssen. Denn die relative Luftfeuchtigkeit (R.H.) hängt in hohem Maße von verschiedenen Faktoren wie Evapotranspiration, Temperatur, Niederschlag, Vegetationseigenschaften, Windgeschwindigkeit, Bodenfeuchtigkeit und anderen Faktoren ab (Kalma et al., 2008).

Es wurden unterschiedliche, in ihrer Komplexität steigende Analysemethoden angewandt, beginnend von einfachen deskriptiv- beschreibenden Verfahren bis hin zu Methoden des maschinellen Lernens.

Einführung

Fern- und Nahbereichssensoren haben sich als verlässliche Instrumente zur Entschlüsselung des Gesamtzustands von Weinbergen erwiesen. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um die genauen räumlichen Unterschiede innerhalb von Weinbergen mit einem hohen Detaillierungsgrad zu charakterisieren und Anleitungen zur Verbesserung der Effizienz von Weinbergsbewirtschaftungspraktiken anzubieten (Maltese & Gennaro, 2015).

Literatur:

Matese, A.; Di Gennaro, S.F. *Technology in Precision Viticulture: A State of the Art Review. Int. J. Wine Res.* 2015, 69.

Analyse der Temperaturdaten

Im ersten Schritt wurden deskriptive statistische Methoden angewandt, um eine erste Sichtung auf die Daten zu bekommen. Darauf aufbauend wurden die Rohdaten unterschiedlich gruppiert und geordnet, um schrittweise komplexere Analysemethoden wie zeitreihenanalytische Verfahren, Clusteranalysen etc. zielgerichtet durchführen zu können.

Nach Durchführung der deskriptiven Statistik der stündlichen Temperaturdaten erfolgte eine erste Zeitreihenanalyse der Daten.

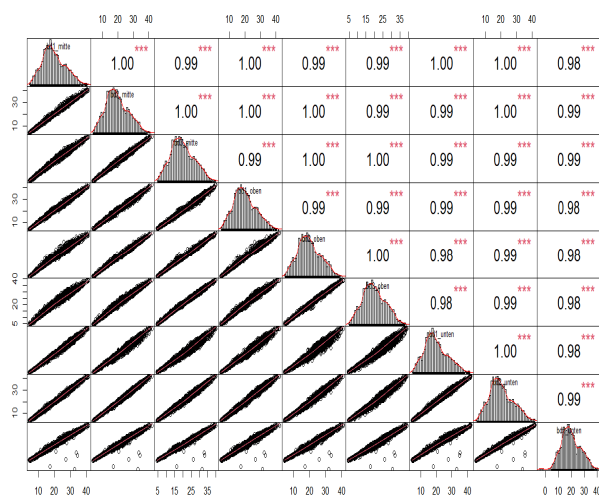


Abbildung 22: Histogrammdarstellung

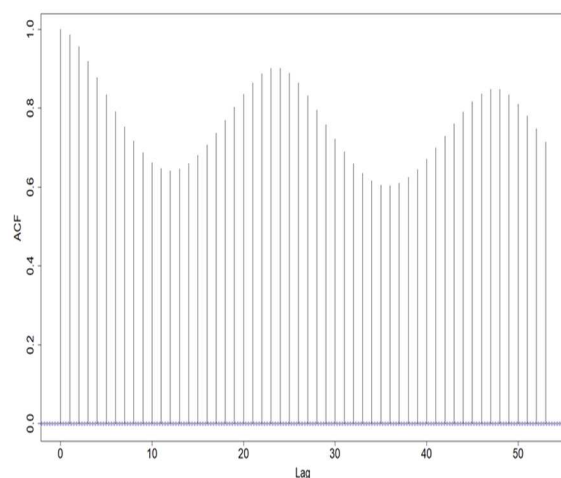


Abbildung 21: zeitlicher Verlauf

Sowohl die Histogrammdarstellung (Abbildung 22) als auch die zeitliche Darstellung (Abbildung 21) zeigen eine hohe Korrelation und Autokorrelation zwischen den Sensoren für den gesamten Zeitraum aufgrund

saisonalen Muster. D.h. im Umkehrschluss, die Sensoren arbeiten zuverlässig und die Messwerte sind vertrauenswürdig.

Deshalb wurde im darauf folgenden Schritt ein anderer Ansatz gewählt, um diese Saisonalität der Temperaturwerte zu adressieren, nämlich die Aufteilung der Daten in diskrete Zeitintervalle (siehe unten) nach Energiezufuhr, also Sonnenaufgang, Sonnenhöchststand, Sonnenuntergang und Nacht unter Berücksichtigung des Jahresganges.

Tabelle 1: Aufteilung der Datenanalyse auf verschiedene Zeitintervalle

Intervall	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Sonnenaufgang	Mrz, Apr, Sep, Okt, Nov, Feb (06:00 - 08:00)	Jan, Dez (07:00 - 09:00)	Jun, Jul (04:00 - 06:00)	Aug, Mai, Apr (05:00 - 07:00)	
Mittag	alle Monate (11:00 - 13:00)				
Sonnenuntergang	Jan, Nov, Dez (04:00 - 06:00)	Feb, Okt (17:00 - 18:00)	Mrz, Sep (18:00 - 19:00)	Apr, Aug (19:00 - 20:00)	Mai, Jun, Jul (20:00 - 21:00)
Mitternacht	alle Monate (00:00 - 03:00)				
Sonst	alle Monate				

Unüberwachte maschinelle Lernanalyse (ML)

Da sowohl die Sensordaten unterschiedliche Zeitschritte aufweisen (auf Grund unterschiedlicher Messzeitpunkte und Übertragungszeitpunkte der Daten zu den Gateways) wurde die Methode Dynamic Time Warping (DTW) für die weiteren Analyseschritte genutzt. In der Zeitreihenanalyse ist das DTW einer der Algorithmen zur Messung der Ähnlichkeit zwischen zwei zeitlichen Sequenzen, die in ihren Zeitschritten variieren können.

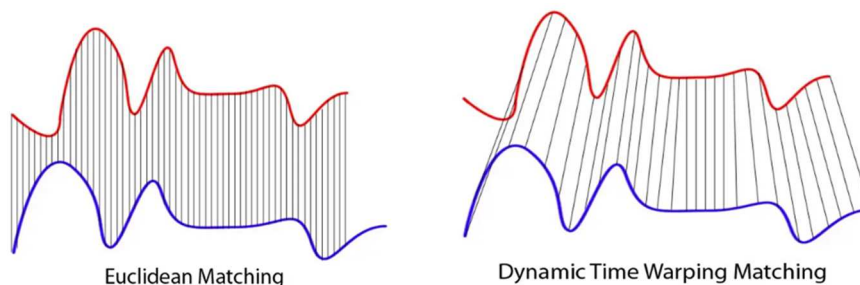


Abbildung 23: Darstellung der Methoden Euclidean Matching und DTW Matching

Nach der Aufteilung der Temperaturdaten in die Zeitintervalle wurde eine unüberwachte maschinelle Lernanalyse (ML) mit Hilfe von PAM (Partitioning around Medoids) Clustering (basierend auf der Hauptkomponentenanalyse, PCA-Algorithmus; euklidischer Abstand) und hierarchischem Clustering (basierend auf DTW-Abstand) durchgeführt. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse dienen die nachfolgende Abbildung 24 und die Abbildung 25 (PAM-Clusters siehe Abbildung 24, und hierarchisches Cluster siehe Abbildung 25).

Ein Ein erster vereinfachter Einblick in die Ergebnisse der Analyse der Temperaturdaten

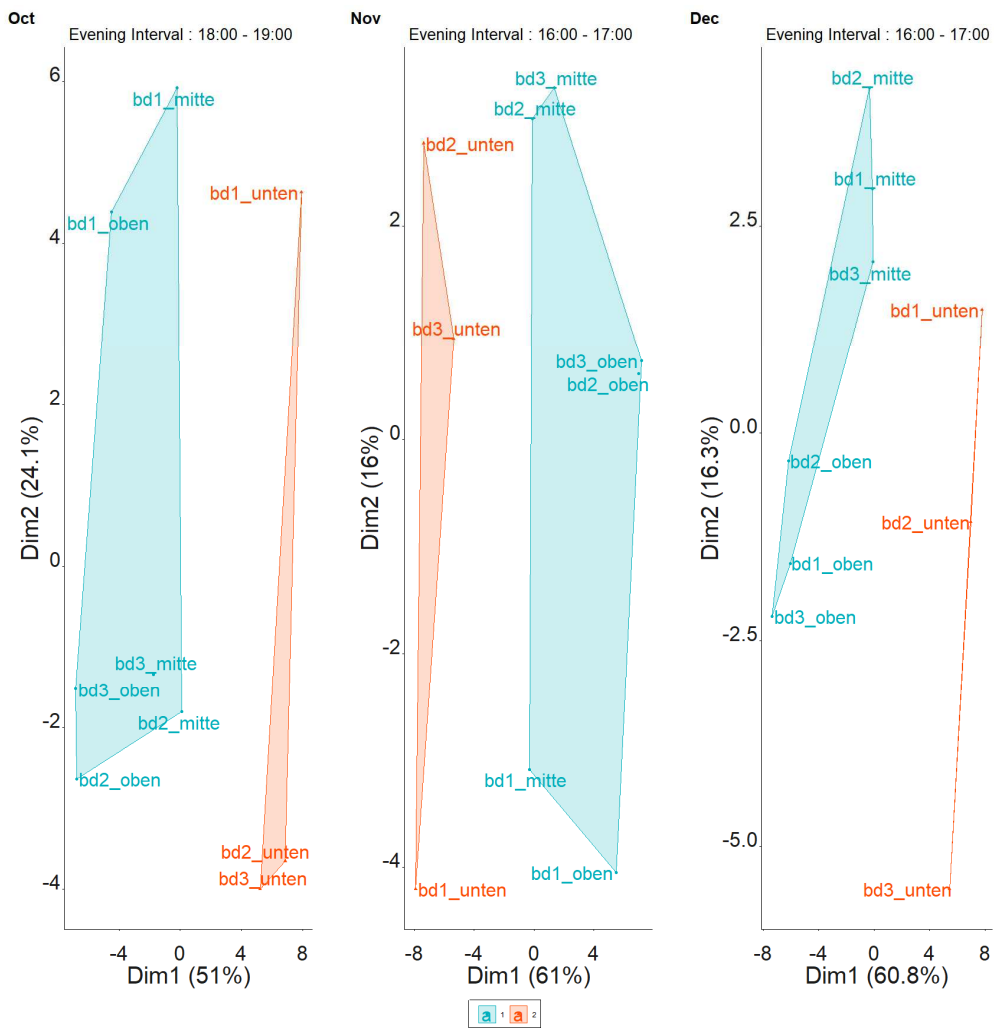


Abbildung 24: Darstellung der Ergebnisse auf Basis des PAM-Clusterings

Hierarchical clustering

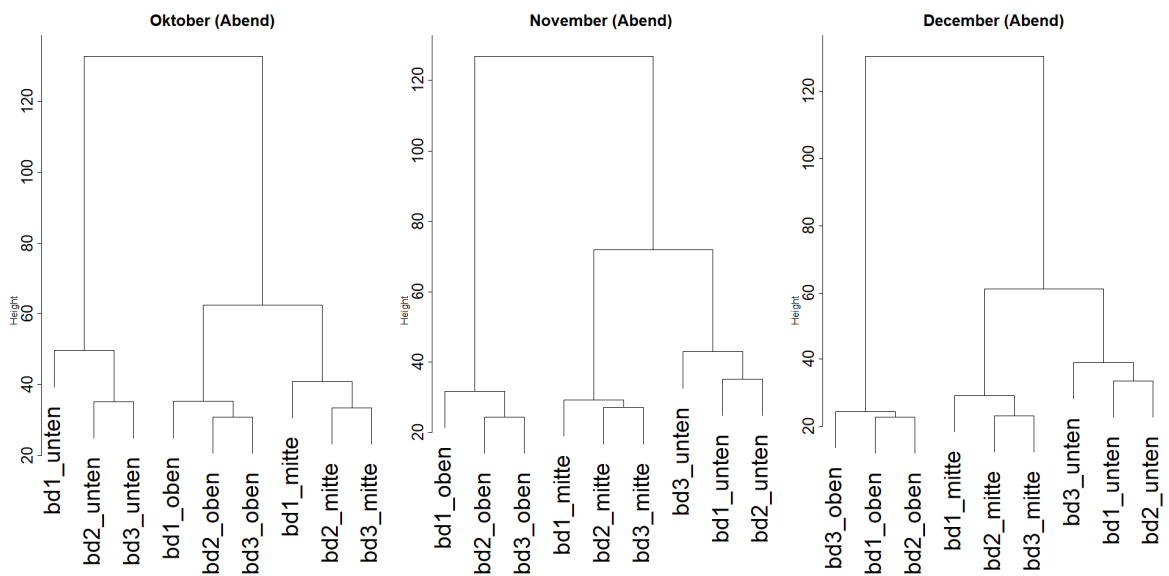


Abbildung 25: Darstellung der Ergebnisse auf Basis Hierarchical clustering

Aus Abbildung 24 und Abbildung 25 wird ersichtlich, dass es einen deutlichen Unterschied zwischen den Sensoren in den Positionen oben, Mitte und unten (unten etwa 10 cm über dem Boden, Mitte etwa 90 cm und oben etwa 180-200 cm über dem Boden) an den gleichen Standorten gibt, was in Abbildung 3 durch die Platzierung der Cluster noch deutlicher wird. Bei der Analyse wurde außerdem festgestellt, dass die Ergebnisse für Bad Dürkheim sowohl für den euklidischen Abstand (Abbildung 24) als auch für den DTW (Abbildung 25) für die Abendzeit von Oktober bis Dezember vergleichbar waren, was auch für die anderen Zeitintervalle, d. h. morgens und mittags, der Fall war. Mit der gleichen Methodik wurden die Daten der Wetterstationen mit denen der Sensoren verglichen. Bei der Analyse wurden beträchtliche Unterschiede zwischen den Daten der nächstgelegenen Wetterstation und den Sensordaten festgestellt (Abbildung 26). Diese müssen jedoch noch weiter analysiert und quantifiziert werden. Ein Ergebnis könnte auch sein, dass die Methoden für den Vergleich zwischen nächstgelegenen Wetterstationen und Sensordaten angepasst werden müssen.

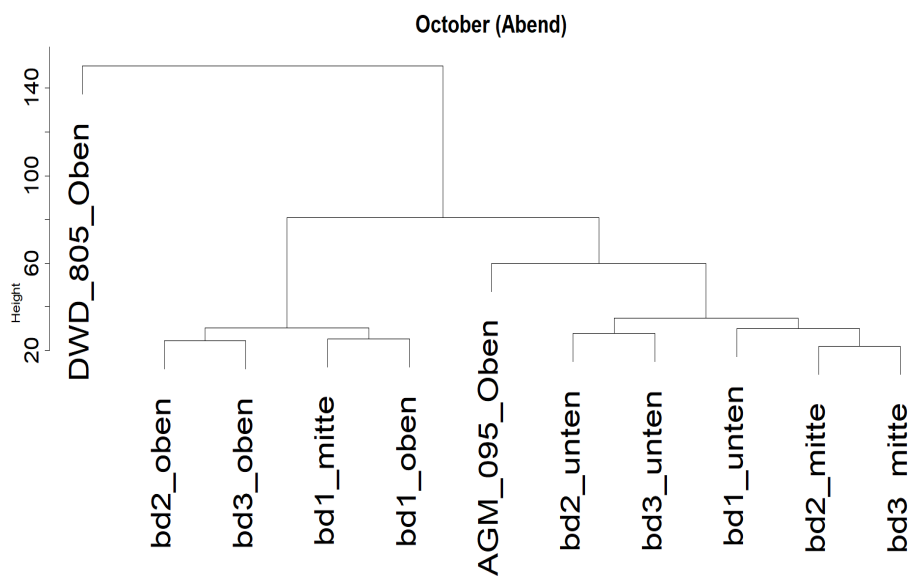


Abbildung 26: Vergleich der Daten der Wetterstationen mit denen der Sensoren auf Basis Hierarchical clustering

Analyse der Daten zur relativen Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit (RH) hängt in hohem Maße von verschiedenen Faktoren ab (s. oben).

Darüber hinaus beeinflusst die Luftfeuchtigkeit die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Landwirtschaft (Kogan 2001; Greiner et al., 2019). Wenn PSM zum optimalen Zeitpunkt angewendet werden, könnte dies auch dazu beitragen, die Effizienz und Wirksamkeit der PSM zu optimieren und damit die benötigte Menge zu reduzieren.

Auf Grund der vielfältigen Einflussfaktoren und Abhängigkeiten im Kontext RH sind die Analyse und eine Vorhersage der RH-Verteilung pro Standort mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Aktuelle und kleinräumige Messergebnisse können jedoch dabei helfen, verschiedene Szenarien zu definieren und zu untersuchen, die für Prognosemodelle wertvoll sind.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens wurden insbesondere diese Analysen fortgesetzt und erweitert.

Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen den Sensoren oben und unten über die Zeit für den Standort Bad Dürkheim

In der folgenden Abbildung 27 sind für den Standort Bad Dürkheim die Messwerte für oben monatlich von Juni 2022 bis März 2023 als Verteilungsmuster dargestellt. In Abbildung 27 ist der Unterschied zwischen den Sensoren unten und oben für den Standort Bad Dürkheim dargestellt.

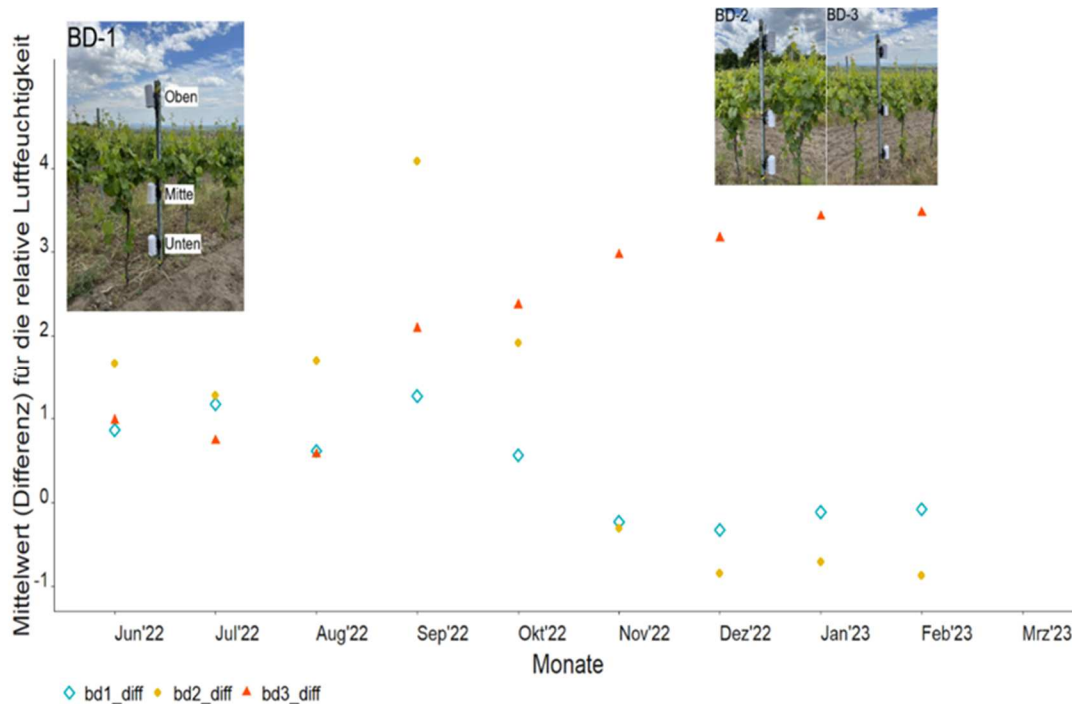


Abbildung 27: Darstellung der Differenzbildung der Sensordaten zur RH für den Standort Bad Dürkheim

Im Jahr 2022 waren die Sommermonate extrem niederschlagsarm, dadurch sind die Abweichungen der Sensoren untereinander gering. Mit zunehmenden Niederschlagsereignissen und damit einer höheren Varianz der Luftfeuchte in den feuchteren Monaten ab September 2022 werden die Unterschiede zwischen den Sensoren auf der gleichen Fläche deutlich größer.

Auch ein Vergleich der Daten zur RH der beiden dem Standort Bad Dürkheim nächstgelegenen Wetterstationen mit weniger als 1,5 km Entfernung zeigt die zeitliche Varianz bei der Messung der RH (Abbildung 28).

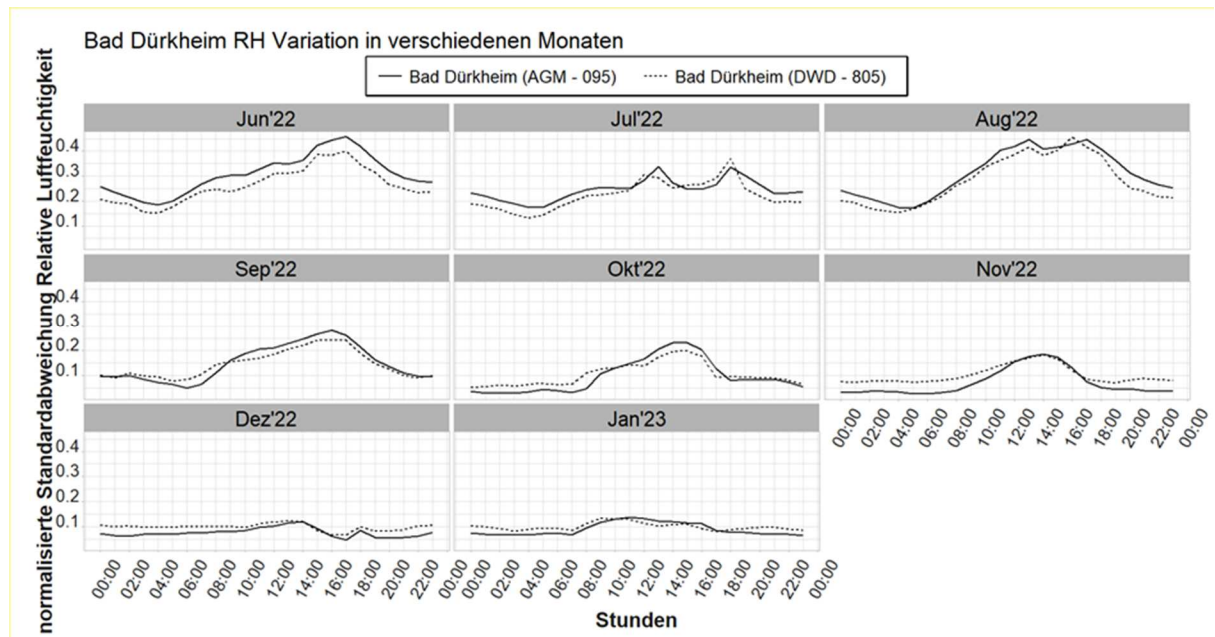


Abbildung 28: Darstellung der normalisierten Standardabweichung für die nächstgelegenen Wetterstationen für den Standort Bad Dürkheim (normalisierte Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert, Werteskala 0 – 1).

Dies unterstreicht die Herausforderung für die Erfassung, Analyse und Interpretation der relativen Luftfeuchte und deren Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussfaktoren.

Eine nächste Analyse der Sensordaten zur Rh sollte die "Reaktion" auf Niederschlagsereignisse sein, also wie schnell reagieren die Sensoren auf den Einfluss von Niederschlagsereignissen und reagieren die Sensoren in der Höhe der erfassten RH vergleichbar. Dazu sollten die Daten wiederum in Zeitschritte aufgeteilt, diesmal nach dem Kriterium Niederschlagsereignis. Auch hier sollte dann der Vergleich mit den stationsgebundenen Daten erfolgen, wobei Niederschlagsereignisse räumlich sehr kleinskaliert auftreten können mit deutlich unterschiedlichen Niederschlagsmustern (Lengfeld et al. 2019). Es wurden solche Auswirkungen erkannt, jedoch nicht quantisiert. Für diese Art von Quantifizierung werden jedoch mehr Daten gebraucht, die nicht vorhanden waren.

Literatur:

Lengfeld, K., Winterrath, T., Junghänel, T., Hafer, M., und Becker, A.: Characteristic spatial extent of hourly and daily precipitation events in Germany derived from 16 years of radar data. *Meteorologische Zeitschrift* 28(5), 363--378, <https://doi.org/10.1127/metz/2019/0964>, 2019.

Kalma, Jetse & McVicar, Tim & McCabe, Matthew. (2008). *Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data. Surveys in Geophysics*. 29. 421-469.

Kogan, M.; Zuniga, M. *Dew and spray volume effect on glyphosate efficacy. Weed Technology, Lawrence*, v. 15, n. 3, p. 590-593, 2001.

S.D. Greiner, P. Racca, J. Jung, A. von Tiedemann, *Determining and modelling the effective period of fungicides against septoria leaf blotch in winter wheat, Crop Protection, Volume 117, 2019, Pages 45-51, ISSN 0261-2194*.

Validierung der Sensoren

Dazu wurden durch die Agrarmeteorologie RLP an der Wetterstation Oppenheim ein LoRa-WAN- fähiger Sensor angebracht, so dass ein direkter Vergleich zwischen den Daten der Wetterstation und des LoRa-Sensors möglich wurde.

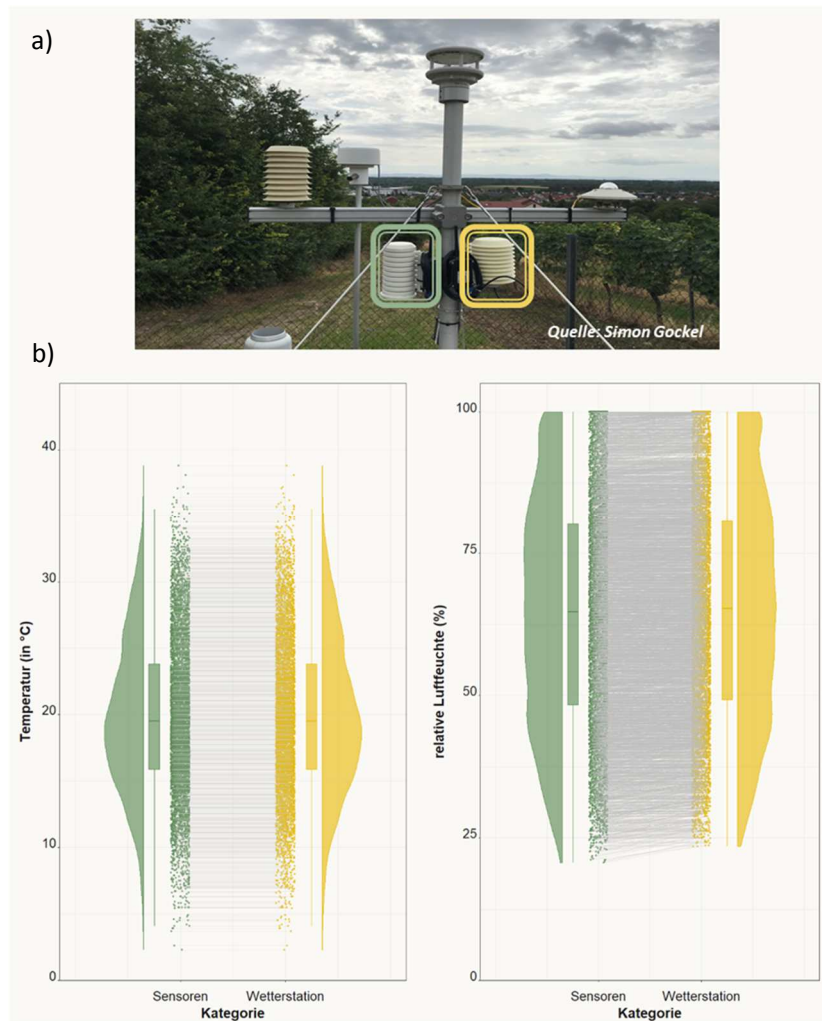


Abbildung 29: a) LoRA-WAN-Sensor (grün markiert) und Wetterstation (gelb markiert) in Oppenheim b) Regenwolkenplot für Sensoren und Wetterstation in Oppenheim

Hinweis zur Abbildung 29: Die Dichteverteilung zeigt die Verteilung der Temperaturwerte über die Zeit. Das Boxplot (in der Mitte) gibt Aufschluss über den Bereich, den Median und den Quartilsbereich. Die Punktabbildung (in grauen Linien) zeigt die Werte in den entsprechenden Intervallen.

Die Regenwolkenplots geben uns einen Einblick in die entsprechenden Werte von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit. Es ist klar ersichtlich, dass es bei der Temperatur keine großen Unterschiede zwischen den Low-Cost-Sensoren und der Wetterstation gibt, was durch die grauen Linien in der Abbildung 29 und die Dichte der Werte bestätigt wird und auch in der Analyse zu sehen ist. Das Dichte-Diagramm in Abbildung 29 zeigt, dass die Form des Sensors und der Wetterstation sowohl für die Temperatur als auch für die relative Luftfeuchtigkeit recht ähnlich sind. Dies wird auch durch die Punktverteilung in der vorgenannten Abbildung bestätigt.

Es wurde auch festgestellt, dass es Zeitintervalle gibt, in denen die Unterschiede vor allem zwischen dem Zeitintervall nach Sonnenaufgang und dem Mittagsintervall höher waren. Es besteht der begründete Verdacht, dass das Material des Sensors die vom Sensor aufgezeichneten Temperaturwerte beeinflussen könnte (was noch geprüft und bestätigt werden muss). Vielleicht wäre es in den nächsten Schritten eine erwägenswerte Möglichkeit, Sensoren direkt neben Wetterstationen an mehreren Standorten zu installieren und die Werte über einen längeren Zeitraum zu überwachen.

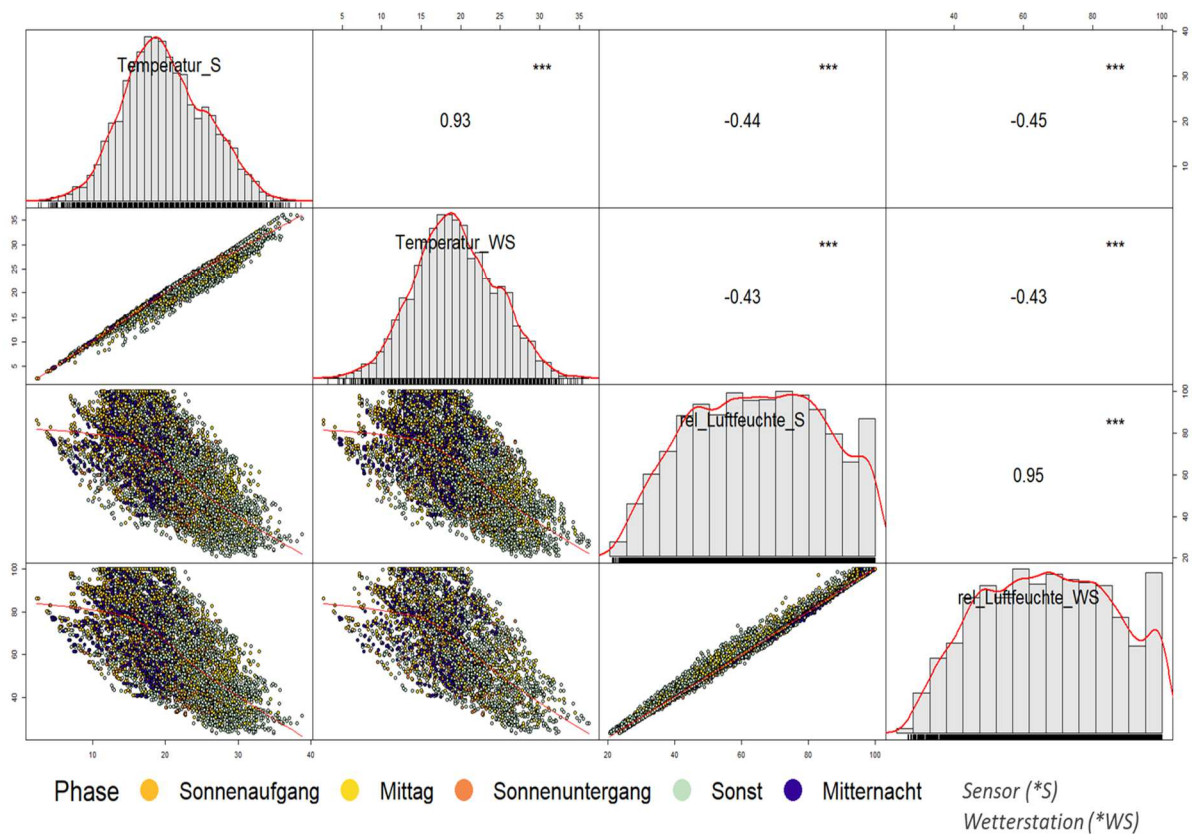


Abbildung 30. Korrelation zwischen den beiden benachbarten Sensoren (LoRa-WAN & Wetterstation) in Oppenheim

In Abbildung 30 wird die Korrelation zwischen dem Sensor und der Wetterstation für die Werte von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit beschrieben. Die Kendall-Korrelationsmethode, ein konservatives Maß zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen, wurde hier angewendet. Es ist auch gut zu erkennen, dass die Daten des Sensors und der Wetterstation hoch korreliert sind. Zusätzlich kann man die signifikante Beziehung auch durch schwarze Sternchen visualisieren. Das Streudiagramm in der Abbildung stellt die Verteilung der Punkte dar. Auf der Diagonale der Abbildung ist eine univariate Verteilung zu sehen, die die Kerndichtediagramme darstellt, die dem Histogramm überlagert sind. Es wurde festgestellt, dass die Sensoren im Vergleich zu den Wetterstationen die Temperaturwerte in 26,43 % der Fälle ($n = 6816$) überschätzten und in 21,65 % der Fälle unterschätzten, während es in den übrigen Fällen keinen Unterschied gab. Wie bereits erwähnt, waren die Unterschiede während der Mittagszeit größer. Die minimale Differenz betrug $-0,9^\circ\text{C}$ und die maximale Differenz $5,6^\circ\text{C}$. Diese Differenz war zwischen 09:00 und 16:00 Uhr am größten. Wie bereits erwähnt, könnte das Material des Sensors einen Einflussfaktor darstellen.

Ein weiterer erwähnenswerter Faktor ist jedoch der Datenerfassungsprozess: Die Wetterstation (Sensor) zeichnet einmal pro Stunde Daten auf. Die LoRa-WAN-Sensoren erfassen Daten jede 20. Minute, d. h. dreimal pro Stunde, was bedeutet, dass sie anfällige Veränderungen in der Umgebung aufzeichnen, was bei den erstgenannten Sensoren nicht der Fall ist. Auch bei der relativen Luftfeuchtigkeit wurde in 12,79 % der Fälle ($n = 6816$) eine Überschätzung und in 36,15 % der Fälle eine Unterschätzung festgestellt, während in den übrigen Fällen überhaupt kein Unterschied bestand. Die relative Luftfeuchtigkeit ist eine sehr dynamische Variable und es ist eine schwierige Aufgabe, die Werte zu vergleichen. Es ist erwähnenswert, dass die Instrumente, die an der Wetterstation zur Verfügung stehen, ausgefeilter sind als das LoRa-WAN Sensormodul (siehe auch Abbildung 29a).

Auch bei der relativen Luftfeuchtigkeit wurde in 12,79 % der Fälle ($n = 6816$) eine Überschätzung und in 36,15 % der Fälle eine Unterschätzung festgestellt, während in den übrigen Fällen überhaupt kein Unterschied bestand. Die relative Luftfeuchtigkeit ist eine der dynamischen Variablen und es ist eine schwierige Aufgabe, die Werte zu vergleichen. Es ist erwähnenswert, dass die Instrumente, die an der Wetterstation zur Verfügung stehen, ausgefeilter sind als das LoRa-WAN Sensormodul (siehe auch Abbildung 29a).

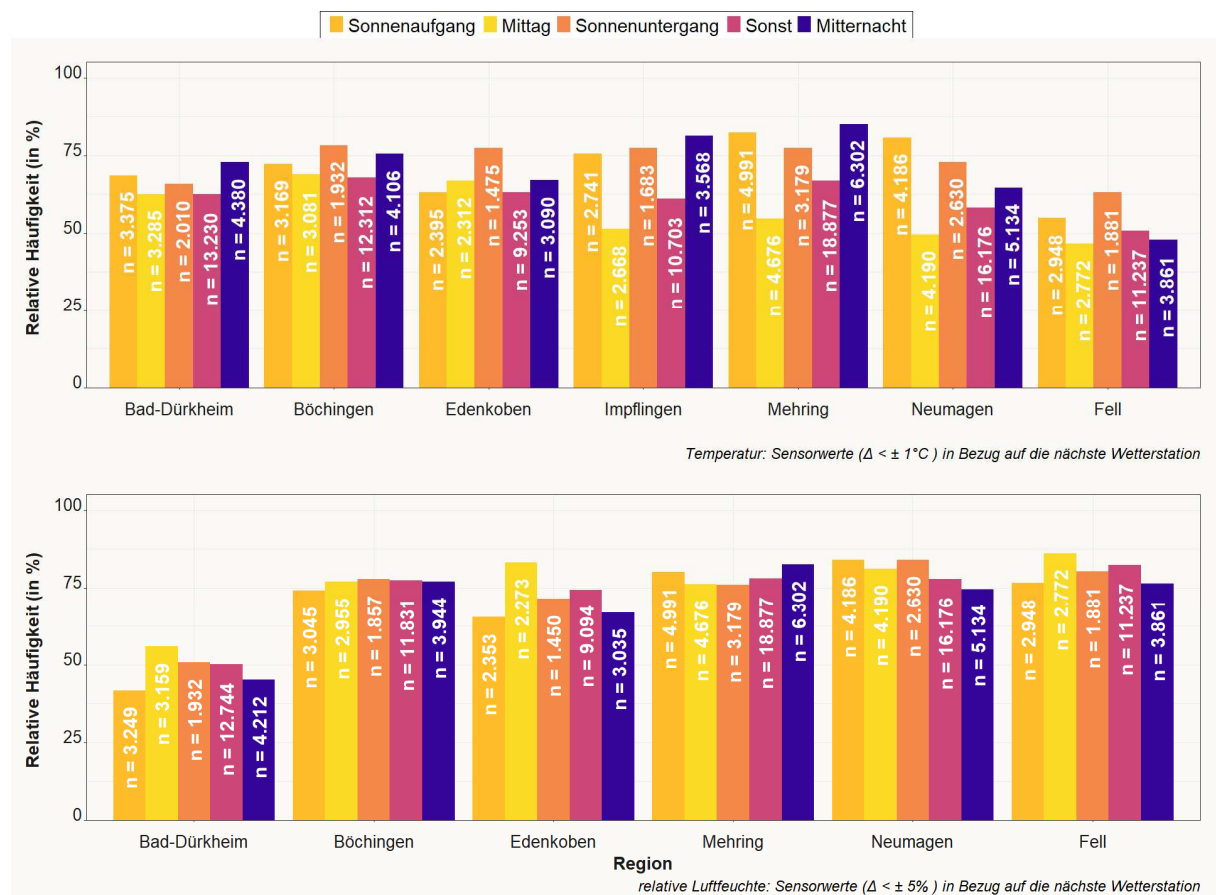


Abbildung 31: Relative Frequenz der Temperatur (oben) und Luftfeuchte (unten)

Wie in der Grafik erwähnt, beschreibt sie die Unterschiede der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswerte zwischen dem Sensor und der nächstgelegenen Wetterstation. Je höher die Häufigkeit (in %), desto geringer sind die Unterschiede zwischen der Wetterstation und den Sensoren (basierend auf den Durchschnittswerten der oberen Sensoren). Die Daten wurden in fünf Zeitintervalle des Tages unterteilt (wie zuvor beschrieben), die in der Legende der Abbildung 31 zu sehen sind. Insbesondere bei den Temperaturdaten wurden in den Regionen Impflingen, Mehring, Neumagen und Fell im Zeitintervall Mittag einige der größten Unterschiede zwischen den Sensoren und der Wetterstation im Vergleich zu anderen Zeitintervallen innerhalb derselben Region beobachtet. Wie bereits schon erwähnt beschrieben, waren die Unterschiede im Zeitintervall Mittag am größten, insbesondere in den letzten 6 Monaten, als der Sensor in Oppenheim mit der Aufzeichnung begann. Es wäre interessant, die Daten nach Jahreszeiten aufzuschlüsseln, um zu analysieren, ob die Unterschiede auf das Isoliermaterial des Sensors und in der Vegetationsperiode auf die Vegetation um die Sensoren herum zurückzuführen sind. Wie bereits erwähnt, unterscheidet sich der Datenerfassungsprozess zwischen den LoRa-WAN-Sensoren und den Daten der Wetterstationen und muss harmonisiert werden. Um einen fundierten Vergleich zwischen ihnen zu ermöglichen.

Die Unterschiede bei der relativen Luftfeuchtigkeit waren jedoch in den verschiedenen Zeitintervallen nicht sehr deutlich. Es wurde auch beobachtet, dass in verschiedenen Monaten die Unterschiede

zwischen den Sensoren und der Wetterstation variierten, was auf das Vorhandensein von Vegetation um den Sensor herum zurückgeführt werden könnte.

Statistische Auswertung von topographischen Aspekten

Tabelle 2: Einige topografische Parameter für die Sensorstandorte auf einen Blick

Ort	Elevation (in meters)	Aspect	Slope
Bad Dürkheim	215.7 - 217.4	118.2 - 136.1	3.7 - 5.6
Böchingen	239.5 - 244.5	0.7 - 55.6	2.2 - 4.6
Edenkoben	220.9 - 231.4	1.1 - 29	3.5 - 8.2
Impflingen	171.2 - 171.8	102.9 - 264	0.7 - 1.6
Mehring	181.8 - 186.6	130.9 - 151.3	8.5 - 12
Neumagen	125.1 - 162	237.3 - 244.5	24.5 - 31.6
Fell	201.3 - 222.5	205.6 - 242.4	20.8 - 27.8

In der obigen Tabelle kann man die Höhe, den Aspekt und den Hangneigung für verschiedene Sensorstandorte sehen (wie im Gantt-Diagramm auf Seite 50 gezeigt). Die 2-Wege-ANOVA wurde für verschiedene Sensorstandorte unter Verwendung der in Tabelle 2 beschriebenen topografischen Parameter durchgeführt. Sie hilft uns zu verstehen, wie zwei Faktoren interagieren und das Ergebnis beeinflussen. Es wurde festgestellt, dass z. B. in Mehring die Hangneigung (am Standort der Sensoren) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Temperatur- und relativen Luftfeuchtwerte für den gesamten Datensatz hatte. Wenn jedoch nur die morgendlichen Intervallwerte (wie in Tabelle 1 auf Seite 29) für die relative Luftfeuchtigkeit herangezogen wurden, hatte der Aspekt ebenfalls einen signifikanten Einfluss. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Sensoren während des Morgenintervalls nach Südosten ausgerichtet sind und der Einfluss der Sonne diesen Effekt verursacht haben könnte, was weiter untersucht werden muss. In der Region Fell wurde festgestellt, dass die meisten Sensoren zwischen Süden und Westen installiert waren. Alle drei Faktoren (Höhe, Ausrichtung und Hangneigung) haben hoch signifikante Auswirkungen ($p < 0,05$).

In der Vorderpfalz, insbesondere in Impflingen, Bad Dürkheim und Böchingen, scheint der Höhenbereich recht eng zu sein. Es wurde festgestellt, dass in Bad Dürkheim die geografische Lage des Sensors einen starken signifikanten Einfluss auf die relative Luftfeuchtigkeit hat, was darauf hindeutet, dass verschiedene Standorte die mittlere relative Luftfeuchtigkeit beeinflussen. Ähnliche Ergebnisse wurden in Impflingen, Böchingen und Edenkoben für die Beobachtungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit festgestellt. Weitere Analysen müssen durchgeführt werden, um die kausalen Wirkungen klarer zu bestimmen. Es wurde festgestellt, dass die topografischen Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Temperatur- und relativen Feuchtwerte haben. Weitere Untersuchungen müssen für jede geografische Position separat durchgeführt werden, um bessere Erkenntnisse zu gewinnen.

Dashboard

Zur besseren Visualisierung dieser vielfältigen Ergebnisse wurde ein sogenanntes Dashboard entwickelt (vgl. dem Corona-Dashboard des RKI), das neben kartenbasierten Darstellungen auch die Ergebnisse der statistischen Analysen zeigen kann. Das Dashboard dient einerseits der vereinfachten internen Darstellung, aber ist auch ein sehr effizientes Hilfsmittel für den Wissenstransfer der Resultate an Winzer, Berater und weitere Stakeholder, auch nach Projektabschluss.

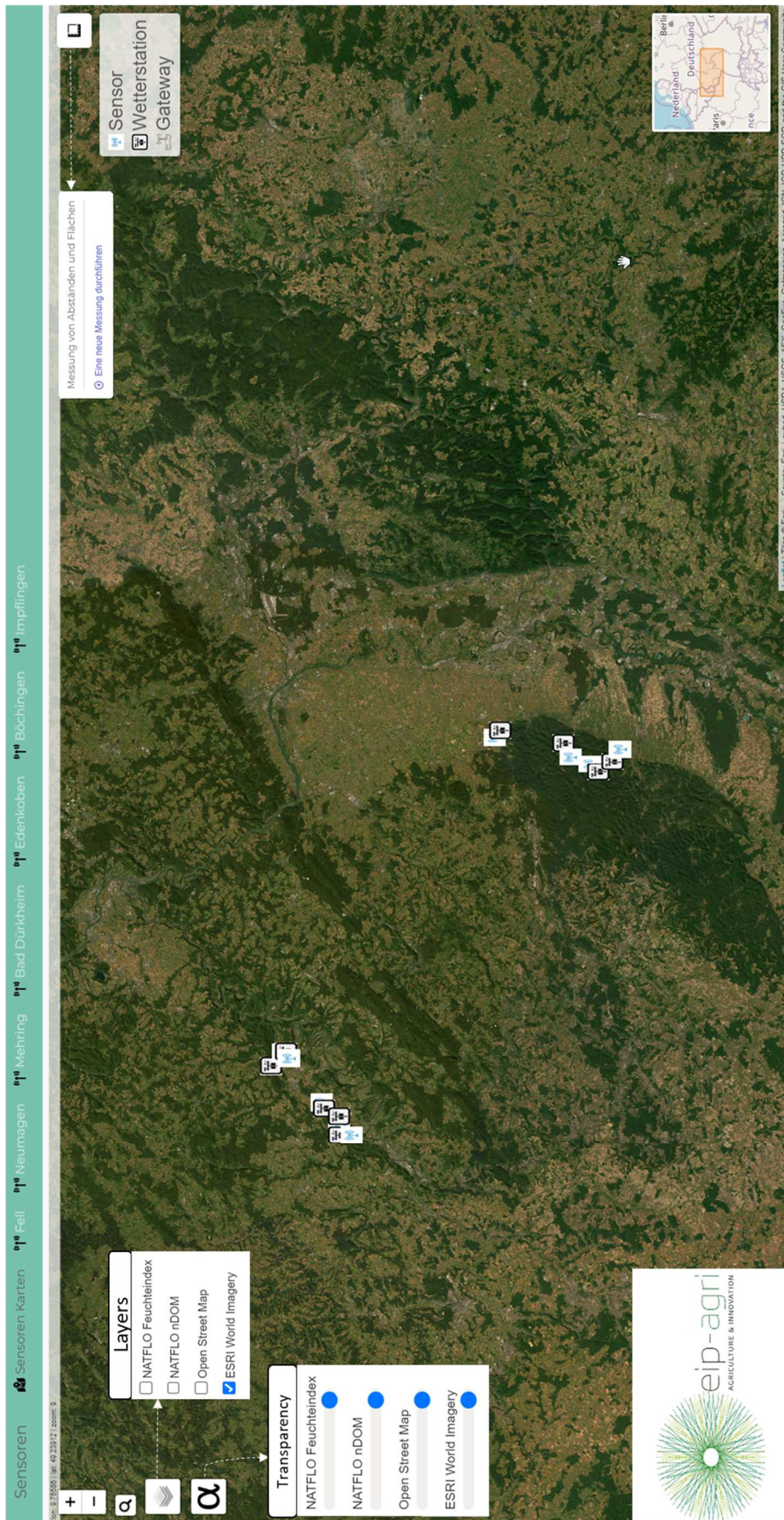
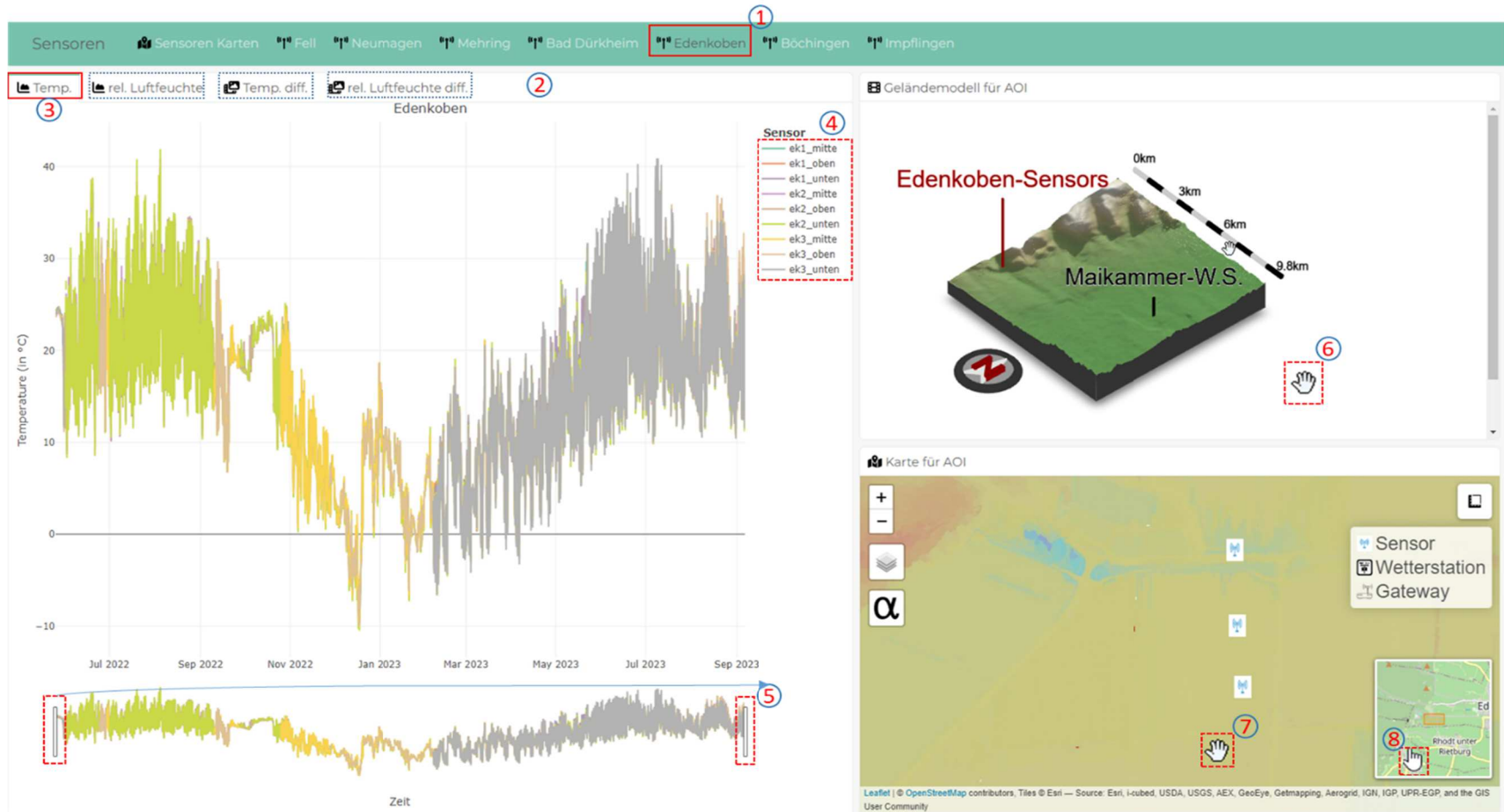


Abbildung 32: Schnappschuss des Dashboards mit Anzeige der Sensoren, der Wetterstationen und der Gateways auf der Karte

- 1) Auswahl Anlage
- 2) Auswahl Parameter
- 3) Temperaturgrafiken
- 4) Auswahl Sensoren (Zone und Höhe)
- 5) Schieberegler Zeitraum
- 6) Schwenktool
- 7) Schwenktool
- 8) Schwenktool

Abbildung 33: Schnappschuss des Dashboards mit verschiedenen Funktionalitäten für Edenkoben



Die Abbildung 32 gibt uns einen Überblick über einen Abschnitt des Dashboards, der die Position der Sensoren, der Wetterstation und des Gateways auf der Karte enthält. Es enthält auch einige grundlegende Funktionen wie die Messung der Entfernungen zwischen den Sensoren, einschließlich des Bereichs, der sich oben rechts befindet. Darüber hinaus kann man auch die Suchschaltfläche oben links verwenden, um schnell zum gewünschten Gebiet zu navigieren. Man hat auch die Möglichkeit, zwischen den Layern (einzelne Datensätze) zu wählen, die den topographischen Feuchtigkeitsindex, die Höhe der Landschaftsobjekte (nDOM), Open Street Map und ESRI World Imagery beinhalten, wie in Abbildung 32 gezeigt. Durch die Einstellung der Transparenzoption erhält man auch einen Einblick in die anderen darunter liegenden Ebenen. Dies kann so zu einem besseren Verständnis beitragen. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, durch Heranzoomen zu bestimmten Regionen zu navigieren. Dieses Dashboard ist in erster Linie nur für repräsentative Zwecke gedacht. Das Dashboard wurde mit R- Shiny realisiert und ist aktuell nicht server-basiert (wegen der kurzen Projektlaufzeit konnte eine Server-basierte Lösung nicht implementiert werden). Deshalb ist es aktuell für Winzer und Winzerinnen nicht möglich, auf Echtzeitdaten zuzugreifen.

Die Abbildung 33 zeigt die aufgezeichneten Sensorwerte für Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit und die jeweilige Differenz zur nächstgelegenen Wetterstation im Zeitverlauf für die jeweilige Region in separaten Registerkarten an. Darüber hinaus erhalten wir Einblicke in die geografischen Standorte und die Messwerteigenschaften, wie z. B. die Entfernung zwischen den Sensoren oder das Gebiet um die Sensoren. Je nach Bedarf kann man zwischen den verschiedenen Ebenen (wie OSM, World Imagery oder Feuchte Index) wechseln und bei Bedarf auch die Transparenz anpassen. Zusätzlich gibt es für jede Region, einschließlich der Sensoren und der nächstgelegenen Wetterstation, eine 3-D-Darstellung der Topografie auf der Grundlage eines digitalen Geländemodells (DGM).

Die meisten Bereiche des Dashboards sind interaktiv, d. h. sie können je nach Bedarf des Nutzers angepasst werden. Die Sensorkpunkte sind gegenüber dem tatsächlichen Standort versetzt, da die verwendeten WMS-Karten keine höhere Zoomstufe haben. Die ungefähre Position auf den Karten ist jedoch mit Sicherheit bekannt, wenn auch nicht mit hoher Präzision. Es gibt auch noch andere Funktionen. Einige der Funktionen aus dem Dashboard können auch mit einem Klick heruntergeladen werden.

Übersicht UAV- Aufnahmen (Drohnenaufnahmen)

Die Präzisionslandwirtschaft umfasst die Nutzung verschiedener Technologien zur Bewältigung der räumlichen und zeitlichen Schwankungen in der landwirtschaftlichen Produktion. Ihr Ziel ist es, die Leistung der Pflanzen zu verbessern, die wirtschaftlichen Gewinne zu steigern und die Umwelt durch die Verringerung des Schadstoffeinsatzes zu schützen (Pierce und Nowak, 1999; Sudduth, 1999; Blackmore, 2003).



Abbildung 34: Die verschiedenen Zeitpunkte der Drohnenaufnahmen

Für das Projekt wurden die Drohnenflüge in drei Perioden durchgeführt (wie in Abbildung 34), beginnend mit der Blütephase (am 15. Juni'23), die zweite Periode war während der Veraison (am 1. Aug'23), und der letzte Drohnenflug wurde vor der Ernte (am 4. Sep'23) in Bad Dürkheim durchgeführt. Die genutzte Drohne verfügt über eine Multispektralkamera mit 5 einzelnen Spektralkanälen (Rot, Grün, Blau, Rededge, nahes Infrarot). Dadurch konnten die Drohnenbilder nach der Vorverarbeitung (preprocessing)



Abbildung 35: Thorsten Manthey (Mitarbeiter RLP AgroScience) fliegt die Drohne (DJI P4 Multispectral) in Bad Dürkheim

weiter analysiert und relevante Indizes wie unten beschrieben berechnet werden.

Literatur:

Pierce, F.J.; Nowak, P. Aspects of Precision Agriculture. In Advances in Agronomy; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1999; Volume 67, pp. 1–85. ISBN 978-0-12-000767-7.

Blackmore, S. The Role of Yield Maps in Precision Farming. Ph.D. Thesis, Cranfield University, Cranfield, UK, 2003; p. 171.

Sudduth, K.A. Engineering Technologies for Precision Farming. In International Seminar on Agricultural Mechanization Technology for Precision Farming; Rural Development Admin: Suwon, Korean, 1999; p. 16.

Matese A, Di Gennaro SF. Technology in precision viticulture: a state of the art review. International Journal of Wine Research. 2015;7:69-81

Normalisierter Differenzwasserindex (Normalised Difference Water Index - NDWI)

Der NDWI wurde aus den Kanälen des grünen Bandes und des Nahinfrarotbandes (NIR) der Drohnenbilderfassung mit der Multispektraldrohne DJI P4 abgeleitet. Er wurde nach der folgenden Formel berechnet

Formel:

$$NDWI = \frac{\text{Grün} - \text{NIR}}{\text{Grün} + \text{NIR}}$$

Der Unterschied in den Flugformen von links nach rechts beruhen darauf, dass die Flugroute optimiert wurde, da es in der Nähe Bäume gibt, die immer berücksichtigt wurden, um Fehler und Unfälle während der Drohnenbilderfassung zu vermeiden.

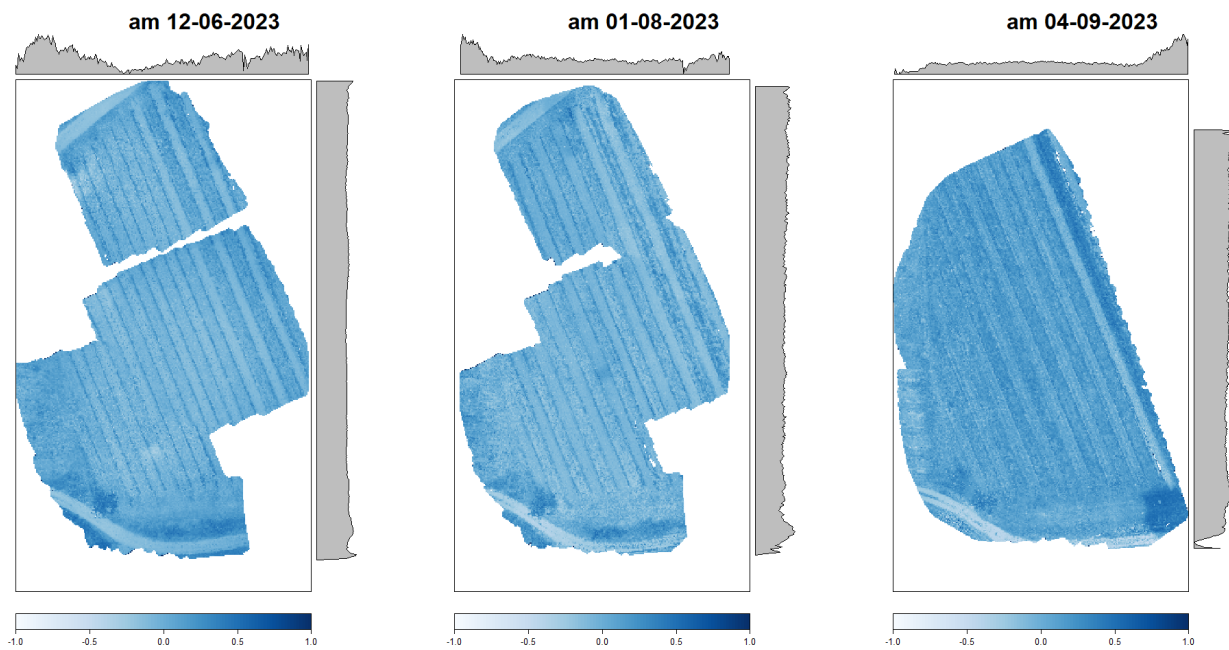


Abbildung 36: NDWI in der Anlage Bad Dürkheim zu verschiedenen Zeitpunkten

Der NDWI wurde in Studien wie (Wang et al., 2016; Rasheed et al., 2019; Mupabwa et al., 2020) in Agrarlandschaften zur Bewertung von Wasserstress und Bewässerungsmanagement eingesetzt. Die Werte bei den Befliegungen waren im Vergleich niedrig.

Normalisierter Differenz-Rededge-Index (Normalized Difference Red Edge - NDRE)

Der Normalized Difference Red Edge (NDRE) ist ein Spektralindex, der in der Fernerkundung und in der Landwirtschaft zur Bewertung der Gesundheit und Vitalität von Pflanzen verwendet wird. Der NDRE wird anhand der Reflexionswerte des Nahinfrarot- (NIR) und des Rededge-Spektrums (RE) berechnet und quantifiziert den Chlorophyllgehalt und die photosynthetische Aktivität der Vegetation.

Er wird mit folgender Formel berechnet:

$$NDRE = \frac{NIR - Rededge}{NIR + Rededge}$$

Eine der wichtigsten Anwendungen des NDRE ist die Präzisionslandwirtschaft, wo es Landwirten und Agronomen hilft, die Gesundheit der Pflanzen zu überwachen und fundierte Entscheidungen über Bewässerung, Düngung und Schädlingsbekämpfung zu treffen. Auf der Grundlage von NDRE-Daten erstellte Vegetationskarten ermöglichen optimierte Anbaumethoden und die frühzeitige Identifizierung von Bereichen, die besondere Aufmerksamkeit erfordern.

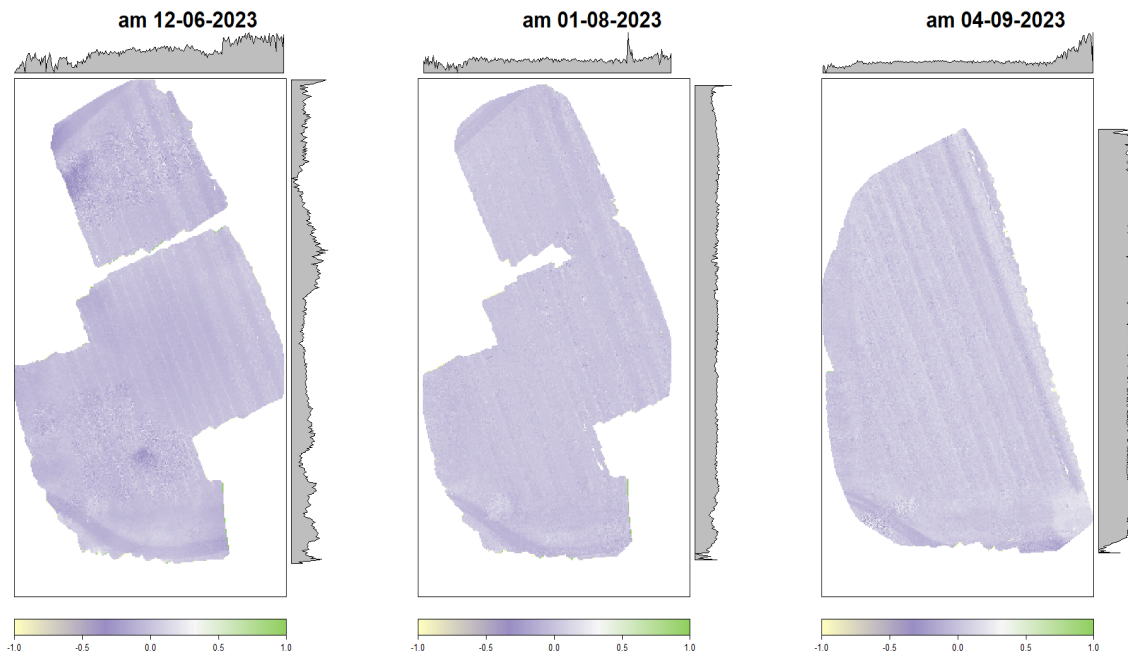


Abbildung 37: NDRE in der Anlage Bad Dürkheim zu verschiedenen Zeitpunkten

Literatur:

Thenkabail, Prasad & Lyon, John & Huete, Alfredo. (2011). *Advances in Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation and Agricultural Croplands*. 10.1201/b11222-3.

Gitelson, Anatoly & Kaufman, Yoram & Stark, Robert & Rundquist, Donald. (2002). *Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction*. *Remote Sensing of Environment*. 80. 76-87. 10.1016/S0034-4257(01)00289-9.

Haboudanea, D., Millera, J.R., Patteyc, E., Zarco-Tejadad, P.J., & Strachane, I.B. (2004). *Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture*. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337-352.

NDWI Literatur:

Wang, Y., Wu, C., & Niu, Z. (2016). *Evaluation of the Water Stress Index for Monitoring Agricultural Drought in Northern China*. *Remote Sensing*, 8(9), 752.

Mupambwa, H. A., & Dube, T. (2020). *An assessment of satellite-derived vegetation indices in agricultural drought monitoring in Zimbabwe*. *International Journal of Remote Sensing*, 41(19), 7352-7369.

Rasheed, A., Khan, M. A., Khan, A., & Rashid, M. (2019). *Assessment of Irrigation Water Management Using Remote Sensing Technology in Pakistan*. *Water Resources Management*, 33(3), 1055-1065.

2.4.1.4 Zusammenhänge der Projektergebnisse

Es wurde untersucht wie sich der Befall von Oidium an den Blättern mit den gemessenen Luftfeuchte- und Lufttemperaturwerten der LoRa-WAN Sensoren verhält. Dazu wurden Berechnungsformeln aus OiDiag 2.X¹ genommen, das früher auch bei Vitimeteo zur Berechnung eines Risikoindex für den Befall von Oidium benutzt wurde. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Formel nicht mehr für diesen Zweck benutzt wird und zurzeit OiDiag Version 3.0 bei Vitimeteo benutzt wird, daher sind die neueren Berechnungsmethoden

¹ http://p7115.typo3server.info/fileadmin/fdw/workshop20091119/Kurzfassung_Kast.pdf

nicht deckungsgleich mit den älteren. Es besteht die Möglichkeit, die Befalls- und Sensordaten durch das neuere Modell auszuwerten, jedoch war dies kurz vor Projektende nicht mehr realisierbar. Die Möglichkeit der Weitergabe der Daten an Vitimeteo besteht jedoch auch nach Projektende und die aus dem Projekt VitiMikroKlim gewonnenen Daten können so eventuell benutzt werden um die Prognosemodelle von Vitimeteo zu optimieren (siehe auch Kapitel 2.7 ab Seite 62). Auch ist es zu beachten, dass OiDiag insbesondere für den Befall von Gescheinen bzw. Trauben ausgelegt ist.

Die hier benutzte Formel bzw. der daraus benutzte Klimaindex (CLI) stellt sich aus mehreren Teilen zusammen: TEM, HUM und RAI. TEM ist eine Temperaturformel, die die durchschnittliche Tagestemperatur benutzt. Sie wird wie folgt berechnet: $TEM = (((0,11 * T) - (0,0025 * T * T)) - 0,6) * 1,63$ wobei T die durchschnittliche Temperatur des Tages ist. Dies ergibt ein maximales Risiko (nur auf Temperatur bezogen) bei einem Wert um 22 °C. HUM nimmt die Werte der relativen Luftfeuchte ab einem bestimmten Schwellenwert: $HUM = (H80 + (H65 * 0,7)) / 24$. H80 ist die Anzahl der Stunden bei der die RH über 80 % war, H65 bei der sie höher als 65 % und kleiner oder gleich 80 % war. Letzteres wird dann mit einem Faktor von 0,7 gewichtet.

RAI bezieht sich auf Niederschlag und Blattnässe, bei einem Niederschlag unter 2,5 mm am Tag wird die Anzahl der Stunden mit Blattnässe mit 1,5 gewichtet, bei mehr als 10 mm Niederschlag am Tag mit einem Faktor von 3,0. Die Formel von CLI: $CLI = (TEM * HUM) * 2 - (1,1 * RAI)$, d.h. Ereignisse bei denen die Blätter durch Regen nass sind, reduzieren das berechnete Risiko. Es ist zu beachten, dass hier die Werte für Blattnässe von den nächstgelegenen Wetterstationen kommen, diese Sensoren liegen jedoch im freien und eine tatsächliche Austrocknung der Blätter im Weinberg kann unterschiedlich verlaufen. Bei einer längeren Projektlaufzeit wäre ein Ausbringen von LoRa-WAN Blattnässesensoren sinnvoll gewesen. Auch wird in OiDiag 2.X ein ontogenetischer Index benutzt, der das höchste Risiko um die Blütezeit berechnet. Da sich dies insbesondere auf die Gescheine bezieht, bei denen wir nur keine oder sehr geringe Infektionen gefunden hatten, wurde dieser hier nicht in Betracht gezogen.

In Abbildung 38 sind der Oidiumbefall und der CLI im Jahr 2023 für die Anlagen Impflingen, Edenkoben und Böchingen abgebildet. Die Anlage in Bad Dürkheim wurde wegen ihres minimalen Befalls in beiden Jahren nicht näher betrachtet.

Es ist nennenswert, dass der Befall von Oidium überwiegend an der Ostseite früher bzw. stärker ausgefallen war (Die Zeilen in den drei Anlagen verlaufen Nord-Süd). Dies ist damit zu begründen, dass die Westseite während des Tages mehr Sonneneinstrahlung abbekommt und somit die Blätter schneller abtrocknen, was einen niedrigeren Infektionsdruck bei Pilzkrankheiten bedeutet. Weiterhin ist zu bemerken, wie es zu erwarten war, dass der Biobetrieb in Böchingen öfters Pflanzenschutzmaßnahmen tätigen musste als der konventionelle Betrieb in Edenkoben.

Weiter ist der Verlauf des CLI im Vergleich zu dem Befall von Oidium an den Blättern zu betrachten. Die grüne Linie stellt die Tageswerte dar, die unterbrochene blaue Linie den gewichteten Mittelwert der vorhergehenden sieben Tage. Anfangs (KW 20 und 21) waren die CLI Werte kurzzeitig höher, es fand jedoch kein Befall statt, was eventuell an der zu dem Zeitpunkt geringen gesamten Blattfläche liegen könnte. Ab KW 22 bis KW 24 waren auch die CLI Werte relativ gering und es wurden auch keine Blätter befallen. Ab KW 25 steigen die CLI Werte und ab diesem Zeitpunkt ist auch ein erster Befall in den drei Anlagen bemerkt worden. Im weiteren Verlauf ist ein Anstieg des CLI-Mittelwerts sowie eine gleichzeitige Erhöhung der Befallshäufigkeit, bzw. eine Ausbreitung der Infektion sichtbar. Unter Beachtung der genannten Limitierungen dieser Auswertung, zeigt sich ein Verhältnis zwischen den durch Sensoren erfassten Wetterdaten und dem tatsächlichen Befall. Zu berücksichtigen ist auch das weitere Faktoren den Verlauf einer Infektion beeinflussen, insbesondere die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.

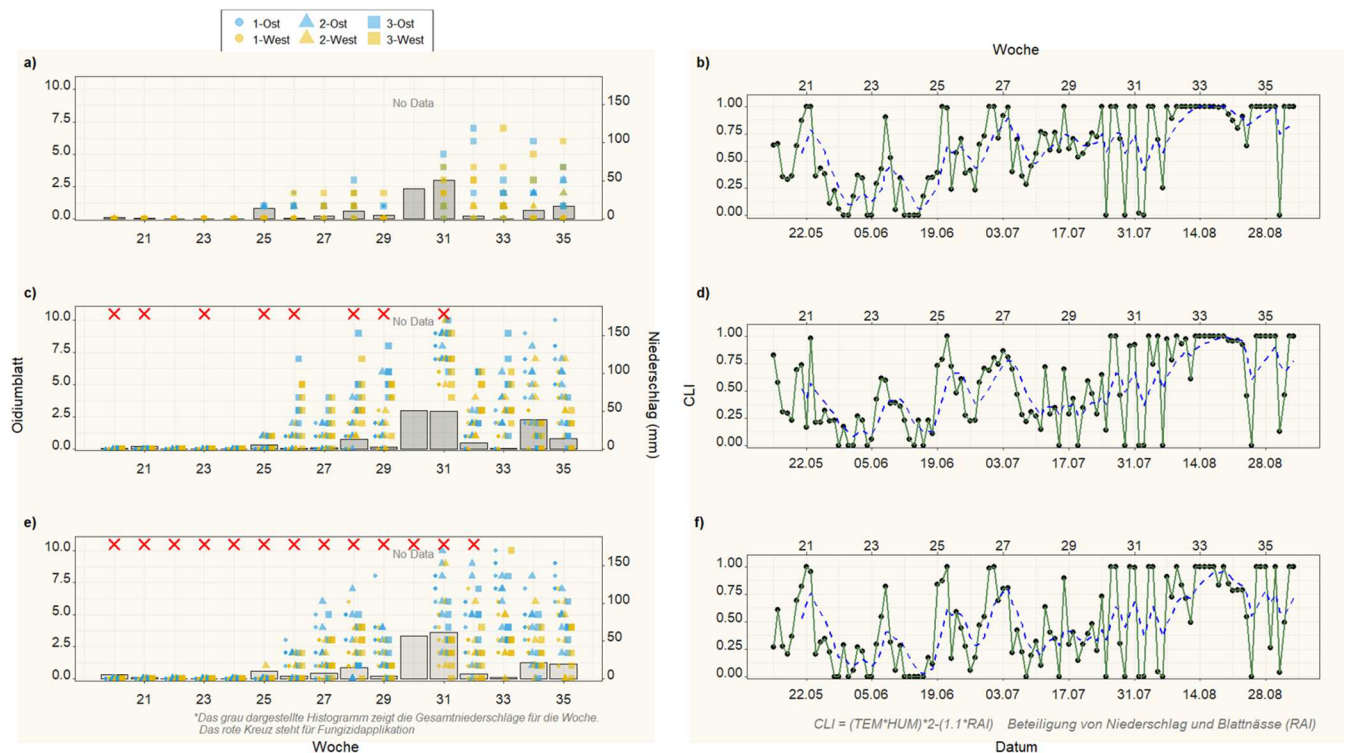


Abbildung 38: Oidiumbefall am Blatt (links) und der berechnete CLI (rechts) in Impflingen (a, b), Edenkoben (c, d) und Böchingen (e, f) für das Jahr 2023.

Dieses Ergebnis, sowie die Tatsache dass sich die sensorbasierten und schlagspezifischen Wetterdaten von den Wetterstationen unterscheiden (Kapitel 2.4.1.3) und die Tatsache dass Wetterdaten oft zur Planung von Pflanzenschutzmaßnahmen benutzt werden (Kapitel 2.6) zeigen die Wichtigkeit der im Projekt VitiMikroKlim verfolgten Ziele.

Es wurde auch untersucht inwiefern das „wandern“ von Oidium an den Blättern in der Anlage in Edenkoben (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10 auf Seite 16 und 17) mit den Klimadaten korreliert. Weil die Beschaffung eines Gateways für Edenkoben sich wegen Lieferschwierigkeiten verzögert hatte, wurden nur die Wetterdaten für die Monitoringsaison 2023 ausgewertet. Es wurde verglichen ob sich der CLI in den Tagen vor Befall zwischen den Zonen unterscheidet, es stellte sich heraus dass die Unterschiede im Jahr 2023 nur geringfügig waren und der CLI in der Zone 2 etwas höher war. Dies könnte an den genannten Limitierungen liegen, daher ist eine weitere Untersuchung der Ergebnisse mit neueren und fortgeschrittenen Prognosemodellen durchaus sinnvoll und wünschenswert.

Durch die verkürzte Laufzeit des Projekts ergaben sich Schwierigkeiten bei der Einstellung im Personal und auch die Materialbeschaffung (Sensoren und Gateways) verzögerte sich durch die Corona-Pandemie in der Volksrepublik China. Dies führte zu Verzögerungen im Projektablauf. Wegen dieser Verzögerungen konnten weitere Untersuchungen und Auswertungen der Zusammenhänge der im Projekt erzielten Ergebnisse nicht stattfinden.

So konnte nicht untersucht werden in welchem Bezug der Befall von Peronospora mit den erfassten Sensordaten steht, auch wurde keine Auswertung mit den vorhandenen Prognosemodellen durchgeführt. Ebenfalls blieb ein Vergleich der gemessenen Wasserpotential- und PRI-Werte mit den erfassten klimatischen Daten aus. Eine erweiterende Datenanalyse der Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie die Entwicklung von Modellen konnte ebenso nicht stattfinden. Auch fehlte eine Bestätigung der erzielten Ergebnisse in einem zusätzlichen Jahr. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

2.4.2 Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Auf Grund von Personalmangel bzw. Schwierigkeiten bei der Einstellung von benötigten Personal und auf Grund von Lieferengpässen bzw. Schwierigkeiten bei der Besorgung von Material (Sensoren u. a.) haben sich zwangsläufig Abweichungen vom Projektplan ergeben.

Nach mehreren Ausschreibungen für die Stellen der Techniker am DLR Mosel fanden sich keine geeigneten Bewerber, mangels Mitarbeiter für das Projekt beendigte das DLR Mosel im November 2022 die Beteiligung am Projekt VitiMikroKlim.

Das Bioweingut Heinz Pfaffmann - 1616 Pfaffmann beendigte, wegen angespannter Personalsituation im Betrieb, im September 2022 die Teilnahme am Projekt.

Wegen der verzögerten Lieferung der Sensoren und Gateways für die geplanten Flächen an der Nahe, sahen die Nahewinzer keinen Sinn in der späten Ausbringung der Sensoren dort und schlugen vor, diese an etablierten Flächen an der Mosel auszubringen. Diesem Vorschlag wurde Folge geleistet und Anfang Juli 2023 wurden weitere Sensoren an der Mosel ausgebracht.

2.4.3 Projektverlauf

Der Projektverlauf wird mittels verschiedener Ansätze beschrieben: Chronologische Ereignisse, Arbeitspakete, ausführlichere Kapitel, sowie der Meilensteine aus dem vorgelegten Aktionsplan:

Im folgendem werden die Arbeitspakete aufgeführt, wie sie dem Aktionsplan (beigelegt zum Projektantrag) zu entnehmen sind.

Arbeitspakete (AP)

AP1: Projektmanagement und Öffentlichkeitsarbeit (ALLE)

- Organisation der OG und Projekttreffen
- Homepageerstellung und Generierung einer interaktiven WebMap als Kommunikationselement
- Stakeholderanalysen
- Workshops
- Vor- Ort- Schulungen

AP 2: Datenakquise, -harmonisierung und -management (AS, TZ)

- Aufbau einer Geodatenbank mit allen relevanten landeseigenen und betriebsbezogenen Geodaten
- Standortcharakterisierung der Einzelschläge und Ausarbeitung der Sensormessstellen in enger Zusammenarbeit mit den Betriebsleitern und Weingütern
- Entwicklung von Auswerteroutinen für heterogene Sensordaten (UAV, lokale Sensoren)

AP 3: Testung und Validierung der Sensoren (TZ, DLRs, AS)

- Testung der Sensoren unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus
- Erste Testläufe unter Freilandbedingungen und Aufbau der Dateninfrastruktur
- Erfassung und geostatistische Auswertung der Sensordaten

AP 4: Vor Ort- Kartierungen und Feldbegehungen zum Aufbau der Kalibrierungs- und Validierungsdaten (DLRs, AS, Weingüter)

- Vor Ort-Kartierungen und Feldbegehungen zzgl. Überfliegsdaten eines UAVs zur Datenerfassung
 - Der Rebentwicklung und Physiologie
 - Von abiotischen Schäden
 - Von Rebkrankheiten und Schädlingen
- Korrelation zwischen mikrometeorologischen und phänologischen Messungen

AP 5: Training der „machine learning“- Algorithmen zur Automatisierung der Datenauswertung und – interpretation (AS, TZ)

- Kalibrierung der Sensordaten an das agrarmeteorologische Messnetz
- Modelaufbau und – validierung
- Anwendung der Algorithmen zur Mustererkennung und Dateninterpretation

AP 6: Beispielhafte Anwendung der entwickelten Modelle und Methoden (DLRs, TZ, AS, Weingüter)

- Erkennen von spätfrostgefährdeten Lagen und Aufbau eines Frühwarnsystems
- Frühzeitiges Erkennen von potentiellen Sonnenbrandschäden und rasches Einleiten von Vermeidungsstrategien
- Erkennen von Trockenstressgefährdung und Einleiten von Bewässerungsmaßnahmen
- Einschätzung von Infektionspotentialen
- Entwicklung schlagspezifischer Anwendungsempfehlungen
- Angepasstes Management und Versuchsspritzungen zur Validierung

AP7: Aufbau cloudbasierter Dienste (AS, TZ)

- Integration in die Geodateninfrastruktur der OG-Betriebe
- Aufbau der Dienste für das DAP
- Bereitstellung der Kartendienste für die Integration in Prognosemodelle

AP8: Berichtswesen (ALLE)

- Zwischen- und Endbericht
- Promotion
- Publikationen

Chronologische Ereignisse:

- Okt. 2020 – Bewilligung des Projekts VitiMikroKlim
- Dez. 2021 – Endgültige Bewilligung des Projekts durch die ADD (Zuwendungsbescheid)
- Jan. 2022 – 1. Arbeitstreffen
- Apr. 2022 – Einstellung von wissenschaftliche MA (50% Stelle) am DLR Rheinpfalz
- Mai 2022 – Ausbringung der Sensoren in die Weinberge der vorderpfälzischen Weingüter (siehe Abbildung 44) und Aufstellen von Gateways
- Juni 2022 – Erstellung WebMap VitiMikroKlim durch die AS
- Juli 2022 – Ausbringung der Sensoren und Gateways an den Weingbergsflächen an der Mosel (DLR Mosel Flächen)
- Sep. 2022 – Einstellung wissenschaftlicher MA (100% Stelle) DLR Rheinpfalz
- Sep. 2022 – Ausscheiden des Bioweingut Heinz Pfaffmann
- Nov. 2022 – Ausscheiden DLR Mosel
- Dez. 2022 – Ausbringung der Sensoren und Gateways an den Weingbergsflächen an der Mosel (Weingüter Porten, Regnery und Scholtes)
- Feb. 2023 – 2. Arbeitstreffen
- Mai 2023 – Postervorstellung beim „XX. Kolloquium – Internationaler Arbeitskreis für Bodenbewirtschaftung und Qualitätsmanagement im Weinbau“ in Remich, Großherzogtum Luxemburg

- Mai 2023 – Workshop Einfluss von Klima und Boden auf den biodynamischen Weinbau, Weingut Pflüger
- Mai 2023 – Workshop Ökologischer Weinbau im Einklang mit Klima und Umwelt, Weingut Rummel (Landau-Nußdorf)
- Juli 2023 – Ausbringung weiterer Sensoren an der Mosel (ursprünglich für Nahe geplant)
- Okt. 2023 – 3. Arbeitstreffen (Abschlusstreffen) am DLR RNH
- Okt. 2023 – Projektende

2.4.3.1 Personal

Wissenschaftlicher Mitarbeiter E13 DLR RP (50%) – Im Januar 2022 wurde die 50% Stelle wissenschaftlicher MA am DLR Rheinpfalz (RP) ausgeschrieben, Vorstellungsgespräche folgten im Februar. Zum 01.04.2022 wurde eine wissenschaftliche MA eingestellt. Zum 01.12.2022 scheidet sie aus dem DLR Rheinpfalz aus. Im Januar 2023 wurde die Stelle erneut ausgeschrieben. Ab 15.05.2023 wurde die Stelle neu besetzt, zunächst zu 25% und ab 01.08. zu 100%

Wissenschaftlicher Mitarbeiter E13 DLR RP (100%) – Die 100% Stelle wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR Rheinpfalz wurde zum ersten Mal im Februar 2022 ausgeschrieben. Die Bewerbungsgespräche fanden im April 2022 statt, es fanden sich allerdings keine geeigneten Kandidaten. Die Stelle wurde erneut im April 2022 ausgeschrieben und Vorstellungsgespräche erfolgten im Juni 2022. Zum 01.09.2022 wurde die Stelle mit einem wissenschaftlichen MA besetzt.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter AS: Für die Ausführung der wissenschaftlichen Tätigkeiten bei der RLP AgroScience wurden mehrere, teilweise wechselnde Personen auf Stundenbasis im Projekt eingesetzt oder eingestellt.

Verwaltung AgroScience – Zur administrativen Unterstützung im Projekt wurde eine Person, ebenfalls auf Stundenbasis eingesetzt.

Techniker E9 DLR RNH – Die Stelle eines Technikers war ursprünglich am DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (RNH) geplant. Es wurde gebeten die Stelle an das DLR Rheinpfalz zu übertragen. Die Stelle wurde im August 2022 ausgeschrieben, jedoch fanden sich keine geeigneten Bewerber. Im Januar 2023 wurde die Stelle erneut ausgeschrieben. Die Stelle konnte nicht besetzt werden, die Tätigkeiten wurden auf vorhandene Mitarbeiter übertragen.

Techniker E9 DLR Mosel – Eine erste Ausschreibung für die Stellen der Techniker am DLR Mosel fand im Juli 2022 statt. Es hatten sich keine möglichen Mitarbeiter beworben, worauf die Stellen ein zweites Mal ausgeschrieben wurden. Auch bei der zweiten Ausschreibung fanden sich keine geeigneten Bewerber. Dies führte zum Ausscheiden des DLR Mosel aus dem Projekt (siehe ausführlicher im Kapitel 2.4.3.4 OG-Mitglieder)

2.4.3.2 LoRaWAN Netzwerk – Installation von Sensoren und Gateways

In den Untersuchungsstandorten im Weinbaugebiet „Pfalz“ wurden am 31.05.2022 die ersten Sensoren in die Weinberge der vorderpfälzischen Weingüter ausgebracht (siehe Abbildung 44). Auch wurden zwei Gateways in Wachenheim und am Geilweilerhof (bei Siebeldingen) zur Kommunikation mit den Sensoren aufgebaut. Je neun Sensoren wurden auf die vier verschiedenen Flächen der Weingüter ausgebracht, in je drei Zonen und auf drei Höhen (ca. 10, 90 und 180 cm): Weingut Pflüger – Lage Fuchsmantel, Weingut Krieger – Fläche Edenkoben, Weingut Pfaffmann – Anlage Impflingen und Weingut Marienhof – Anlage Böchingen (Siehe Abbildung 2 auf Seite 3). Nach dem Aufbau sendeten die Sensoren der Weingüter Pflüger und Marienhof erfolgreich Daten, bei den anderen zwei Weingütern war eine spätere Nachrüstung mit Gateways nötig. Am 04.07.2022 wurden die präzisen GPS-Positionskordinaten der Sensoren der vorderpfälzischen Flächen mit einem RTK-Modul eingemessen (siehe Abbildung 45), zum Zweck der Einpflegung in die erstellte WebMap.

In den Untersuchungsstandorten im Weinbaugebiet „Mosel“ wurden am 26.07.2022 die Sensoren und ein Gateway an den Flächen des DLR Mosel in den Ortschaften Bernkastel-Kues und Zeltingen-Rachtig aufgebaut. Die Flächen/Lagen für die Sensoren waren: Bernkastel – im Gadert (4 Stück), Kues – Arena (8 Stück), Graach (Ortsteil von Bernkastel-Kues) – Aufm Sand (4 Stück) und Zeltingen-Rachtig – Im Himmelreich (4 Stück). Die Sensoren wurden hier nur auf einer Höhe eingebaut, ca. 180 cm. Das Gateway zur Kommunikation mit den Sensoren wurde an die Wetterstation der Agrarmeteorologie in der Lage Bernkastel - im Gadert aufgebaut. Alle Sensoren kommunizierten erfolgreich Daten mit dem Gateway.

Im August 2022 war geplant, Sensoren und eventuell Gateways, an die Flächen an der Nahe auszubringen, jedoch waren von den benötigten 60 Sensoren nur 9 lieferbar und so konnten wegen Lieferschwierigkeiten in der Beschaffung die Sensoren zu diesem Zeitpunkt nicht ausgebracht werden.

Um Schäden an den Sensoren durch die maschinelle Traubenernte zu vermeiden, wurden am 20.09.2022 die Sensoren in drei der vier vorderpfälzischen Flächen demontiert. Am 20.10.2022 wurden in den Flächen Edenkoben und Impflingen die Sensoren wieder aufgebaut. Zugleich wurden an diesen beiden Standorten zwei Gateways zur Kommunikation gesetzt, die Gateways waren ebenso eine lange Zeit nicht lieferbar und waren erst zu diesem Zeitpunkt wieder verfügbar. Am 21.10.2022 wurden die Sensoren der Lage Böchingen wieder aufgebaut.

Wegen des Ausscheidens des DLR Mosel aus dem Projekt wurden Mitte November die Sensoren in den Versuchsflächen des DLR Mosel durch dessen Personal abgebaut und an das Personal des DLR RNH übergeben. Am 01.12.2022 erfolgte der Aufbau der Sensoren in den Flächen der beteiligten Weingüter im Weinbaugebiet Mosel (siehe Abbildung 46). Es wurden je 8 Sensoren auf einer Höhe (Stickelende, ca. 180 cm) in den Anlagen der drei Weingüter verteilt: Weingut Katja und Daniel Regnery – Gemarkung Fell, Weingut Christian Porten – Gemarkung Mehring und Weingut Arnold Scholtes – Gemarkung Neumagen (siehe Abbildung 3 auf Seite 5).

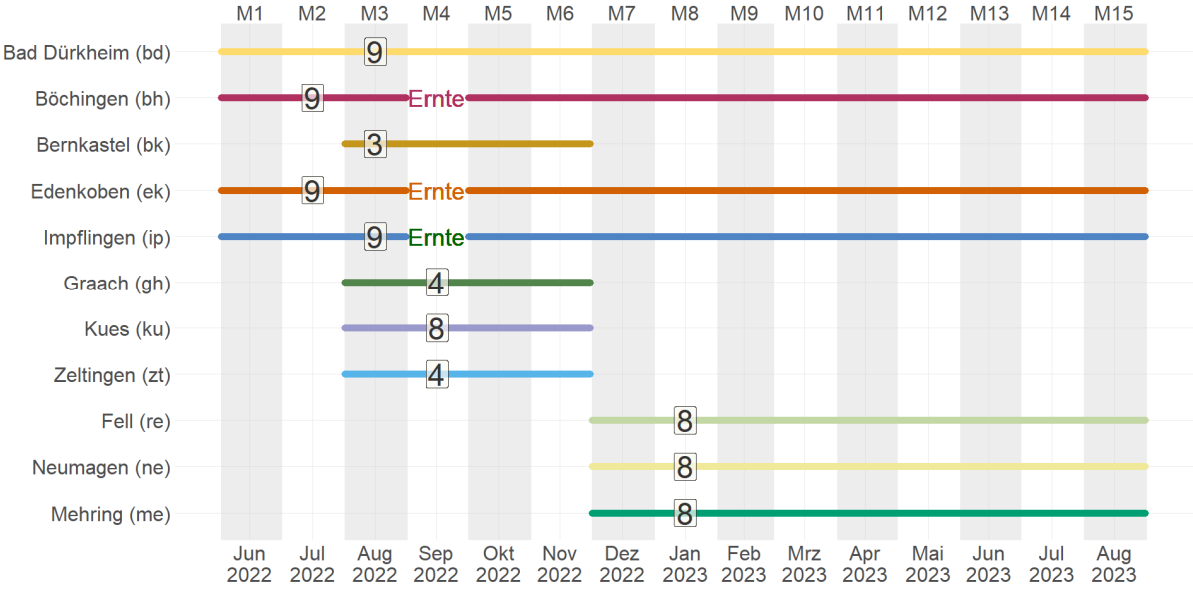
Nach der verzögerten Beschaffung von Sensoren und Gateways, die für die Nahe geplant waren, stellte der Sprecher der Nahewinzer den Sinn der verspäteten Ausbringung der Sensoren in Frage und empfahl, die Sensoren in etablierten Flächen des Projekts einzusetzen. Dies erfolgte aufgrund der ähnlichen Reliefstruktur zur Nahe, an den Flächen eines der beteiligten Moselwinzer.

Am 07.07.2023 wurden die neuen Sensoren an der Mosel ausgebracht, in den Flächen des am Projekt beteiligten Weinguts Arnold Scholtes aus Neumagen-Dhron. Es wurden 10 neue Sensoren in drei weiteren Flächen in Neumagen ausgebracht; jeweils zwei, drei und fünf Sensoren pro Fläche. Die Flächen zeigten unterschiedliche Hangneigungen sowie Meereshöhen auf.

In Abbildung 40 ist der Verlauf der Ausbringung der Sensoren nochmals grafisch dargestellt.



Abbildung 39: Im Büro vorbereiteter Sensor mit Funkmodul (links) und Wetterschutzhülle mit inliegendem Fühler (rechts)



**Die Zahlen in den Boxen entsprechen der Gesamtzahl der in der Anlage angebrachten Sensoren.*

Abbildung 40: Eine Gantt Grafik die darstellt wann und in welchen Anlagen die Sensoren ausgebracht waren

Datenerfassung und Datenübertragung mit LoRaWAN Sensoren und Gateways: Für die Datenerfassung und Datenübertragung werden LoRaWAN-fähige Sensor bzw. LoRaWAN an sich genutzt. LoRaWAN steht für Long Range Wide Area Network und ist ein drahtloses Netzwerkprotokoll, das speziell für die Übertragung kleiner Datenmengen über große Entfernungen entwickelt wurde. Es ist ein Low-Power-Wide-Area-Netzwerk (LPWAN), das eine energiesparende und kosteneffiziente Lösung für IoT-

Anwendungen bietet. LoRaWAN ist ein offener Standard für die Übertragung von Daten über große Entfernungen mit geringem Stromverbrauch und wird von der LoRa Alliance entwickelt und gepflegt. LoRaWAN ermöglicht es, Geräte und Sensoren in einem breiten Bereich zu verbinden, an vielen unterschiedlichen Messpunkten Daten zu erfassen und bietet viel Potenzial für Anwendungen im Bereich Agrarmeteorologie.

LoRaWAN unterscheidet sich von anderen Übertragungstechnologien wie Bluetooth, Wi-Fi und Mobilfunk in mehreren Aspekten:

1. **Übertragungreichweite:** LoRaWAN hat eine wesentlich höhere Reichweite als Bluetooth und Wi-Fi und kann Daten über Entfernungen von mehreren Kilometern übertragen. Im Vergleich dazu haben Mobilfunknetze zwar eine noch größere Reichweite, sind jedoch für viele Anwendungen aufgrund ihrer hohen Kosten und ihres hohen Stromverbrauchs nicht geeignet.
2. **Stromverbrauch:** LoRaWAN ist auf einen geringen Stromverbrauch ausgelegt und kann Daten über mehrere Jahre mit einer einzigen Batterieladung übertragen. Dies macht LoRaWAN besonders für IoT-Anwendungen interessant, bei denen eine lange Lebensdauer der Geräte und Sensoren erforderlich ist.
3. **Kosten:** LoRaWAN ist eine kostengünstige Technologie im Vergleich zu Mobilfunk oder anderen drahtlosen Netzwerktechnologien. Die Hardware-Komponenten für LoRaWAN sind in der Regel preiswert und es gibt viele Open-Source-Softwarebibliotheken und Plattformen, die es Entwicklern erleichtern, LoRaWAN-Anwendungen zu entwickeln.
4. **Netzwerkarchitektur:** LoRaWAN nutzt eine Stern-Topologie, bei der die Endgeräte (Sensoren) mit einer zentralen Basisstation (Gateway) kommunizieren. Diese Architektur ermöglicht eine einfache Skalierbarkeit und Verwaltung von Netzwerken.
5. **Sicherheit:** LoRaWAN nutzt eine verschlüsselte Kommunikation, um sicherzustellen, dass die Daten sicher übertragen werden. Es gibt auch verschiedene Sicherheitsmaßnahmen, wie z.B. Authentifizierung, Autorisierung und Verschlüsselung, um die Vertraulichkeit und Integrität der Daten zu gewährleisten.

Die Funktionsweise von LoRaWAN lässt sich in drei Hauptteile gliedern: Endgeräte, Gateways und Netzwerkserver.

Die Endgeräte in einem LoRaWAN-Netzwerk sind in der Regel Sensoren, die Daten sammeln und an das Netzwerk senden. Diese Sensoren können verschiedene Arten von Daten erfassen, wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Bodenfeuchte. Die Endgeräte sind batteriebetrieben und arbeiten sehr stromsparend. Dadurch, dass die Sensoren autark laufen, bringen sie eine sehr hohe Flexibilität in der Ausbringung mit sich. Die Datenübertragung der Endgeräte erfolgt über eine drahtlose Verbindung im Sub-GHz-Band (868 MHz in Europa). In VitiMikroKlim werden Dragino LSN50v2-S31 Sensoren eingesetzt. Die Sensoren erfassen die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Um die Sensoren vor Umwelteinflüssen zu schützen, sind sie in kostengünstigen Wetterschutzen montiert.

Die Gateways sind die Schnittstelle zwischen den Endgeräten und dem Netzwerkserver. Sie empfangen die Daten von den Endgeräten und leiten sie via Internet an den Netzwerkserver weiter. Die Gateways können dabei Daten von mehreren Endgeräten gleichzeitig empfangen und verarbeiten. Sie sind in der Regel mit einer Funkantenne ausgestattet, um die Reichweite der drahtlosen Verbindung zu erhöhen. Im Rahmen des Projekts wurden in der Umgebung der Untersuchungsflächen mehrere Gateways zur Sicherstellung der Datenübertragung aufgestellt. Es wird der Typ Dragino DLOS8 Outdoor mit 4G genutzt. Die Gateways benötigen eine dauerhafte Stromversorgung. Daher wurden Gateways an Wetterstationen der Agrarmeteorologie montiert, es wurde auf ein Stromanschluss bei beteiligten Winzerbetrieben zurückgegriffen und es wurden Aufbauten für die Solarversorgung von der Agrarmeteorologie genutzt. Die Gateways haben über ein 4G-Modem mit SIM-Karte eine dauerhafte Internetverbindung.

Der Netzwerkservers ist das Herzstück des LoRaWAN-Netzwerks. Er empfängt die Daten der Sensoren, die von den Gateways weitergeleitet wurden und sammelt sie. Der Netzwerkservers ist in der Lage, Daten von verschiedenen Gateways zu sammeln, um eine umfassende Sicht auf das gesamte Netzwerk zu ermöglichen. In VitiMikroKlim wird die Plattform The Things Network (TTN) genutzt, um alle Sensoren (Endgeräte) und Gateways zu verwalten. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um die Daten weiterzuverarbeiten. Über eine API werden die Daten dauerhaft abgerufen und in die Systeme der Agrarmeteorologie integriert.

(<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/> - 20.03.2023)

Der Datenfluss kann in einem Ablauf wie folgt beschrieben werden: Der Sensor ist in einem Schlafmodus und wacht alle 20 Minuten auf. Es wird eine Messung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit durchgeführt und die Daten werden sogleich via Funk versendet. Die Funkübertragung wird von einem oder mehreren Gateways empfangen und über das Internet zum Netzwerkservers von The Things Network weitergeleitet. Dort ist der Sensor mit seinen Keys konfiguriert, worüber der ankommende Datensatz identifiziert und dem Sensor zugeordnet werden kann. Der Datensatz wird von der Cloud-Plattform via API abgerufen und in die Datenbank der Agrarmeteorologie importiert. Dort werden die Daten aufbereitet, aggregiert und dauerhaft archiviert und stehen weiteren Anwendungen zur Verfügung.

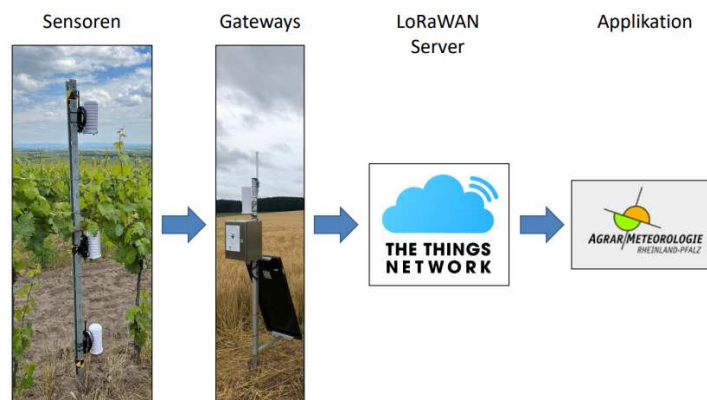


Abbildung 41: Pipeline Datenübertragung mittels der LoRaWAN Sensoren

Erfahrungen mit LoRaWAN: Die Erfahrungen, die in dem Projekt mit der LoRaWAN Technologie gemacht wurden, sind als sehr positiv zu bewerten. Die Technologie eignet sich sehr gut für projektbasierte Ansätze. Hauptgründe dafür sind die Flexibilität, der geringen Stromverbrauch sowie die Möglichkeit der Einrichtung vieler Messpunkte aufgrund geringerer Beschaffungskosten. Es ist jedoch anzumerken, dass die Qualität der eingesetzten Sensoren, Gateways und Bauteile der Fragestellung angepasst sein muss. Was offen bleibt, ist die langfristige Zuverlässigkeit und Genauigkeit des eingesetzten Materials. Das konnte im Rahmen des Projekts, aufgrund der begrenzten Laufzeit, nicht beantwortet werden.

2.4.3.3 Geodatenbasierte Dokumentation

Um sämtliche Sensorstandorte interaktiv zu visualisieren, und damit Projektergebnisse zu dokumentieren, wurde eine webbasierte Kartenanwendung (**WebMap**) eingerichtet (Abbildung 42). Sie wurde mit Hilfe der Software as a Service (SaaS) namens „ArcGIS online“ des Softwareherstellers „ESRI“ erstellt und kann über Browser eines jeden internetfähigen Endgerätes (z.B. PC, Laptop, Tablet, Smartphone) unter nachfolgendem Link abgerufen werden:

<https://agrosience.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=e85ebe5785d64099a90e328f790710d9>

In dieser WebMap sind folgende Standardfunktionalitäten enthalten: Zoomen (per Mausrad), Datenabfrage (durch Anklicken von Karteneinträgen), Drucken des aktuellen Kartenausschnitts, Messen (von Flächen und Strecken). Die enthaltenen Datenebenen können über den Menüpunkt „Layer“ (links oben) ein- und ausgeblendet werden. Die wesentlichen Ebenen sind „Sensorstandorte“, „Station AgrarMeteorologie“, „Weinbergsgrenzen“, „Weingut“, der Basisdienst „Liegenschaften RP“ des Landesvermessungsamts (LVerMGeo RLP) u.a. mit Flurstücksgrenzen sowie die Ebene „Spätfrostisiko“ (Abbildung 43). Zur Erleichterung der Navigation wurden räumliche Lesezeichen zu allen Untersuchungsstandorten unter dem mittig am linken Bildrand hinterlegten Menüpunkt „Lesezeichen“ hinterlegt.

In der standardmäßig aktivierten Datenebene „Sensorstandorte“ können mit Klick auf die Symbole in der Karte zugehörige Parameter bzw. Werte je Sensor bzw. Gateway abgefragt werden: Name, Koordinate, Installationsdatum. Zu Testzwecken wurden bei den pfälzischen Standorten Links zu Livewertabfragen (Stundenwerte der Temperatur & Luftfeuchte der 3 letzten Tage) eingerichtet (vgl. Abbildung 42)

Beim Montieren der Sensoren im Gelände wurden ihre Positionen mit Hilfe eines **RTK Systems** (= Real Time Kinematic bzw. Echtzeitkinematik) zentimetergenau verortet (vgl. Abbildung 43). Mit diesem Gerät, das Korrektursignale über Mobilfunkdaten in Echtzeit abrufen kann, können Positionskoordinaten mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 cm (und damit deutlich präziser als z.B. mit einem GPS-Gerät) bestimmt werden.

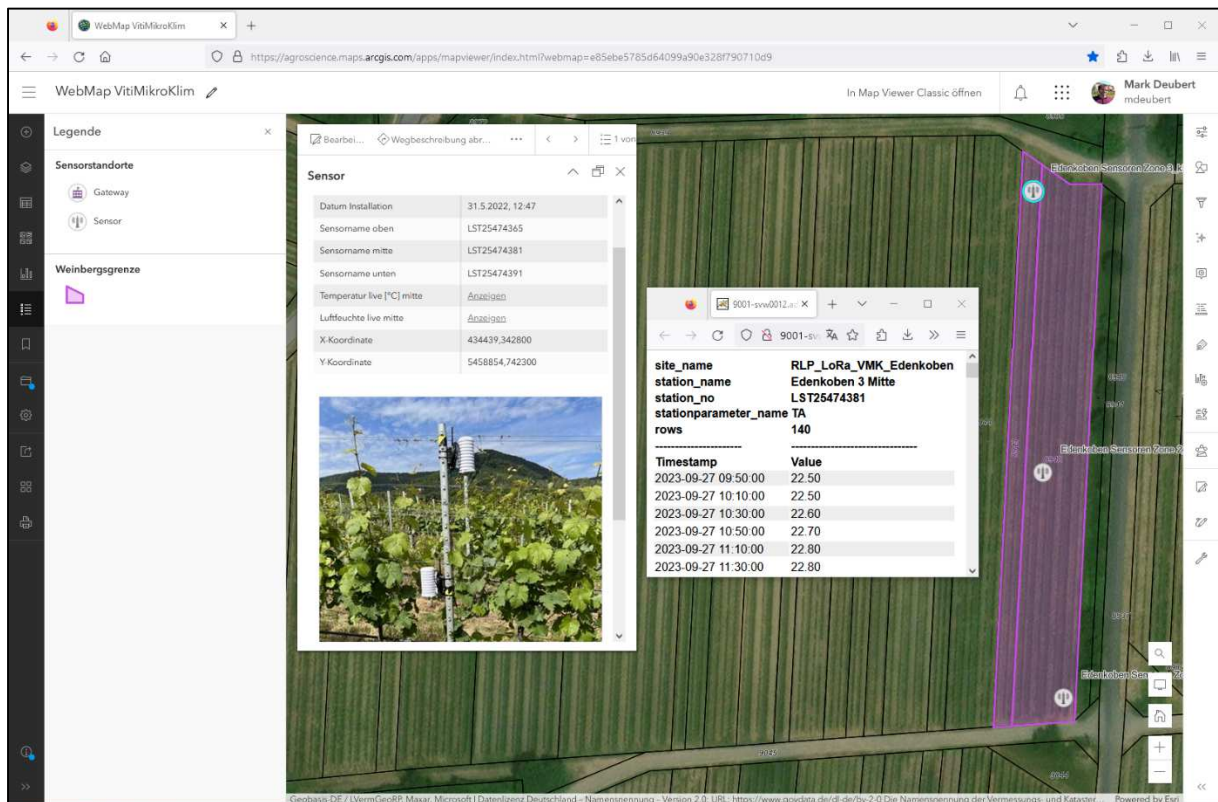


Abbildung 42: Screenshot WebMap – Abfrage von Livewerten

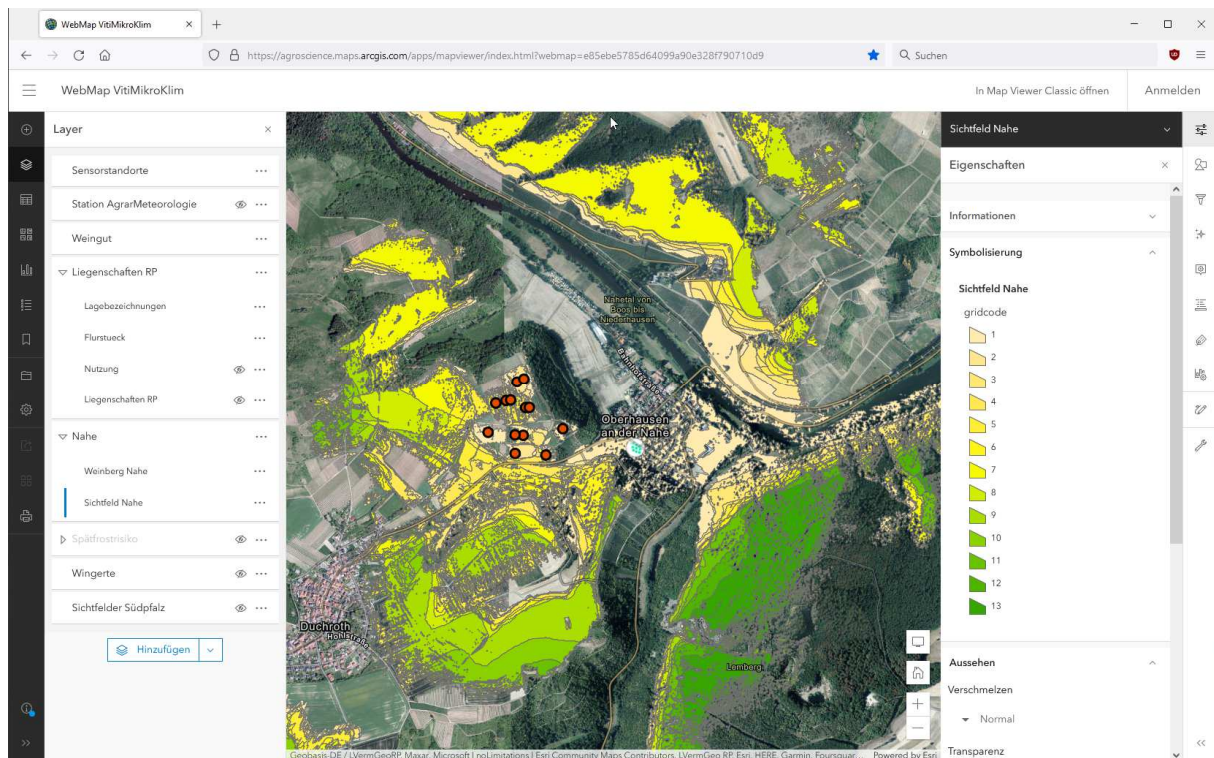


Abbildung 43: : WebMap mit eingblendeter Sichtfeldanalyse um ein Nahe-Weingut

Um vorab potenziell geeignete Standorte für Sensoren abzuschätzen zu können, die innerhalb der Reichweite von Gateways liegen, wurden mit Hilfe des geographischen Informationssystems „ArcGIS pro“ von ESRI **Sichtfeldanalysen** durchgeführt. Diese können nur eine Annäherung darstellen, da sie lediglich die Sichtverbindung von Positionen im Gelände miteinander vergleicht (und nicht die Verbreitung von Funkwellen). Das Beispiel aus Abbildung 6 zeigt an, wie viele der 13 roten Punkte (= potenzielle Weinberge zur Ausbringung von Sensoren) von welchen Bereichen in Abhängigkeit des Geländereiefs aus theoretisch eingesehen werden können. Z.B. werden von dunkelgrünen Bereichen alle 13 potenziellen Weinberge aus gesehen, während von beigeen Bereichen nur 1 Weinberg eingesehen werden kann. Bezüglich der Abdeckung bzw. Erreichbarkeit von Funkwellen simulieren Sichtfeldanalysen lediglich best-case Szenarien, da Funkverbindungen auch bei nicht vorhandener direkter Sichtverbindung und entsprechender räumlicher Nähe zustande kommen, wie es Erfahrungen aus der vorliegenden Studie z.B. anhand der Standorte „Böchingen“ oder auch „Edenkoben“ zeigen.

2.4.3.4 OG-Mitglieder/Projekt

Ein großes, gemeinsames Projektreffen mit allen OG-Mitgliedern Anfang 2022 war wegen unterschiedlicher Verfügbarkeit der Beteiligten nicht realisierbar. Um den persönlichen Austausch zu gewährleisten, wurde das geplante große Arbeitstreffen in mehrere Einzelveranstaltungen sowie Besuche zwischen dem 12.01.2022 und dem 06.03.2022 aufgeteilt. Inhalte und Themen dieser Treffen waren Projektziele, Versuchsplanung, Auswahl der Versuchsflächen nach kleinklimatischen Gesichtspunkten, Anzahl und Verteilung der geplanten Sensoren sowie Mitarbeiterfragen und Organisation. Auch wurde die Gelegenheit genutzt, um während der Treffen mit den beteiligten Winzern schon die potentiellen Weinbauflächen zu besichtigen.

OG Mitglied Pawel Hener vom Bioweingut Heinz Pfaffman verließ das Unternehmen im Laufe des Jahres. Im September 2022 teilte das Bioweingut Heinz Pfaffmann mit, dass es wegen der angespannten Personalsituation im Betrieb von einer weiteren Beteiligung am Projekt absehen musste.

Dr. Herwig Köhler vom DLR-RNH ist im Februar 2023 in den Ruhestand gegangen, seine Aufgaben im Projekt VitiMikroKlim wurden von Simon Gockel übernommen.

Am 03.11.2022 teilte das DLR Mosel das Ausscheiden aus dem Projekt mit. Das Ausscheiden wurde damit begründet, dass durch den verzögerten Projektablauf die Stellen für das nötige Personal nur verspätet und mit kurzer Laufzeit ausgeschrieben werden konnten. Dies wiederum führte zu einem, auch nach mehreren Ausschreibungen, Mangel an möglichen Bewerbern. Ohne Mitarbeiter sah sich das DLR Mosel gezwungen, die Zusammenarbeit im Projekt einzustellen.

Aufgrund der verspäteten Beschaffung der Sensoren, die für die geplanten Flächen der Weingüter von der Nahe waren, stellten die Nahewinzer durch ihren Sprecher die Sinnhaftigkeit der späten Ausbringung der Sensoren in Frage. Es wurde jedoch ihrerseits vorgeschlagen die Sensoren nahe an anderen Flächen im Projekt aufzustellen. Dafür wurden, wegen ihrer ähnlichen geografischen Merkmale zur Nahe, die Flächen an der Mosel gewählt und mit Sensoren bestückt.



Abbildung 44: Simon Gockel (links) und Frank Wingender (rechts) bringen am 31.05.2022 Sensoren in einem der vorderpfälzischen Weinberge an



Abbildung 45 Mark Deubert (links) und Kai Thomas (rechts) messen in Bad Dürkheim die präzisen GPS Koordinaten mit einem RTK Modul ein



Abbildung 46 Prof. Dr. Andreas Düker beim Aufbau der Sensoren an der Mosel am 01.12.2022 (Foto: Mark Deubert)

2.4.3.5 Meilensteine

Meilensteine

Die Meilensteine aus dem Antrag beigelegten Aktionsplan, der ursprünglich auf drei Jahre ausgelegt war, sind in folgender Tabelle aufgelistet, und farblich gekennzeichnet (grün = erfüllt, gelb = teilweise erfüllt, rot= nicht erfüllt):

2022:

Erste Stakeholderanalysen	
Sensoren getestet und kalibriert	
Sensoren verteilt	
Kleinklima und Rebentwicklung erfasst	
Physiologien, Krankheiten und Schäden erfasst	
Planung eines angewandten Managements mit Versuchsspritzungen	Mit Weingut Pflüger, keine neuen Handlungsempfehlungen
Erste Messergebnisse liegen vor	
Erste Vor-Ort-Schulung der Winzer	
Erster Workshop mit Stakeholdern	Januar 2022
Zwischenbericht	

2023:

Erste Datenanalysen liegen vor	
Abgleich mit den Vorjahresdaten	
Korrelationen zwischen Mikro-Meteorologie und Phänologie	
Erkennen mikro-meteorologischer Einflüsse auf abiotische Schäden und Infektionspotentiale	
Aufbau der machine learning Algorithmen	
Abgleich mit UAV-Daten	
Angewandtes Management mit Versuchsspritzungen ausgeführt	Entsprechend Handlungsempfehlung
2. Workshop mit Stakeholdern	Februar 2023
2. Zwischenbericht	Entfällt wegen verkürzter Laufzeit

Abschluss Stakeholderanalysen	
Fertigstellung einer Dissertation	Entfällt wegen verkürzter Laufzeit
Aufbau einer cloudbasierten Infrastruktur am LDI	
Implementierung der Kartendienste in das DAP	Nach Projektende
Übertragung der entwickelten Modelle auf weitere Flächen und Gebiete	Geplant nach Projektende
Abschlusstreffen	
Abschlussbericht und Publikation	

2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Die Untersuchungen legten offen, dass die mikroklimatischen Werte im Weinberg je nach Messhöhe variieren. Messungen der Sensoren für Temperatur und Luftfeuchte ergaben unterschiedliche Werte in den Positionen „oben“ (ca. 180 cm über dem Boden), „Mitte“ (ca. 90 cm über dem Boden) und „unten“ (ca. 20 cm über dem Boden). Zukünftig wird somit die raumzeitliche Betrachtung des Mikroklimas nicht

nur verteilt über die Weinbergsfläche stattfinden (müssen), sondern ebenso in der jeweiligen Laubwandhöhe, was die Ergebnisse nachhaltig verbessern sollte. Auch zum Thema Oidium-Befall konnten interessante Fortschritte erzielt werden: Mittels Monitorings wurden bei der Infektion von Blättern raumzeitliche Unterschiede zwischen nebeneinander liegenden Zonen einer Weinbergsfläche nachgewiesen. Die Infektion „wanderte“ dabei jeweils zeitversetzt in benachbarte Zonen ein.

Fazit: Auf Mikroklimadaten basierende Prognosesysteme werden künftig einen nachhaltigen und an den Klimawandel angepassten Weinbau ermöglichen. Dabei ist es empfehlenswert, die Prognosen an die Bedürfnisse der Raumkultur Wein anzupassen und künftig das Mikroklima der Laubwand, aber auch die raumzeitliche Verbreitung von Schadorganismen, in die jeweiligen Systeme zu integrieren.

Dem Projekt lag eine konkrete Fragestellung aus der Praxis vor, deren Lösung einen weiteren dringend benötigten Baustein zur Anpassung des Deutschen Weinbaus an den Klimawandel erzeugen sollte und im Erfolgsfalle nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der projektbeteiligten Weingüter, sondern auch die Produktivität und Nachhaltigkeit des gesamten Weinbaus, und künftig vielleicht sogar, durch Übertrag auf andere Anbaukulturen, der gesamten landwirtschaftlichen Praxis fördern wird. Dies konnte teilweise erreicht werden, durch die Laufzeitverkürzung konnten allerdings nur die Grundlagen für die Übertragbarkeit auf andere Kulturen und Regionen erarbeitet werden. Es konnte aber deutlich gezeigt werden, dass die technologischen Lösungen existieren, dass es automatisierbare Auswerterroutinen gibt, und dass die Ergebnisse der Sensordaten mit den verschiedenen Monitoringdaten eng korrelieren.

Gerade der Brückenschlag zwischen Forschung und Praxis ermöglicht im Anschluss an das Projekt die sofortige Umsetzung der geplanten Anwendung. Einerseits wird diese Umsetzung in den beteiligten Weingütern erfolgen, andererseits gewährleisten gezielte Informationsmaßnahmen, einschließlich der geplanten Lehre, den benötigten Wissenstransfer zur Verbreitung der gemeinsam erarbeiteten Methode.

Die mit kostengünstigen Sensoren und intelligenter Software realisierte digitale Lösung zur Erfassung des Mikroklimas in Weinbergsschlägen und der darauf aufbauenden ereignisbeurteilenden und prioritätenoptimierenden Bewirtschaftung lässt sich weiterhin an den der Geobox-Infrastruktur angegliederten Geobox-Messenger integrieren. Dadurch besitzt das Projekt nicht nur ein großes Ausstrahlungspotential für den Weinbau, sondern auch für die Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz (und grundsätzlich für das gesamte Bundesgebiet) mit kostengünstigen Sensoren und intelligenter Software die Auswirkungen des Klimawandels vor Ort besser zu erfassen und damit lokale Anpassungsstrategien entwickeln zu können.

2.4.5 Nebenergebnisse

Esca ist eine weltweit auftretende Rebholzerkrankung, die durch eine Kombination mehrerer pilzlicher Krankheitserreger hervorgerufen wird. Die Pilze befallen und zerstören die Holzleitbahnen der Reben, was letztendlich zum Abstreben der Stöcke führt. Typische Symptome an Blatt (Tigerstreifen) oder Trauben (Black Measels) werden meist erst viele Jahre nach der Infektion sichtbar. Die Krankheit hat an wirtschaftlicher Bedeutung in den letzten Jahrzehnten zugenommen, möglicherweise auch durch klimatische Veränderungen, welche eine Verbreitung der Pilze begünstigt. In den vier Anlagen der Pfälzer Weinbaubetriebe wurde im Jahr 2022 (KW 35) eine Bonitur des Escabefalls durchgeführt. Dabei wurde in keinem der untersuchten Weinberge ein Muster erkennbar, welches auf eine mikroklimatisch beeinflusste Verbreitung hinweisen könnte.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die Untersuchungen legten offen, dass die mikroklimatischen Werte im Weinberg je nach Messhöhe variieren. Messungen der Sensoren für Temperatur und Luftfeuchte ergaben unterschiedliche Werte in den Positionen „oben“ (ca. 180 cm über dem Boden), „Mitte“ (ca. 90 cm über dem Boden) und „unten“ (ca. 20 cm über dem Boden) (Abb.1). Zukünftig wird somit die raumzeitliche Betrachtung des Mikroklimas nicht nur verteilt über die Weinbergsfläche stattfinden, sondern ebenso in der jeweiligen Laubwandhöhe, was die Ergebnisse nachhaltig verbessern sollte. Auch zum Thema Oidium-Befall konnten interessante

Fortschritte erzielt werden: Mittels Monitorings wurden bei der Infektion von Blättern raumzeitliche Unterschiede zwischen nebeneinander liegenden Zonen einer Weinbergsfläche nachgewiesen. Die Infektion „wanderte“ dabei jeweils zeitversetzt in benachbarte Zonen ein.

Die künftig aus den Ergebnissen des Pilotprojekts resultierende Optimierung im Weinbau-Management kann folgende Verbesserungen ermöglichen:

- die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels, da Bewirtschaftung künftig zeitnah und präzise den reellen mikroklimatischen Bedingungen „zonal in der Weinbaufläche und Laubwandhöhe“ angepasst werden kann.
- die Verminderung von Ertragsschäden, weil dann auch bereits in einzelnen Weinbergen auf verschiedenste Mikroklima-Ereignisse zonal 3 D reagiert werden kann.
- die Einsparung, sowohl von natürlichen Ressourcen, als auch von Betriebsmitteln, wegen der künftigen, gezielt an das schlagspezifische Kleinklima angepassten, und bedarfsorientierten Bewirtschaftung.
- die Unterstützung von aktiven Umweltschutz, da die Bewirtschaftung, künftig schlagspezifisch an das jeweilige Klima angepasst werden kann.
- die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Betriebs, durch die künftig an den Klimawandel angepasste, ressourcenschonende Bewirtschaftung.

2.6 Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Um zu bestimmen, wer ein berechtigtes Interesse an dem Projekt hat und wem die Ergebnisse dieses Projekts von Nutzen sein könnten, wurde eine vereinfachte Stakeholderanalyse durchgeführt. Die Analyse ergab folgende Stakeholder bzw. Gruppen von Stakeholdern, aufgeteilt auf interne und externe:

- Winzer - intern
- Technische Zentralstelle Agrarmeteorologie RLP (TZ) des DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück – intern
- RLP Agrosience - intern
- DLR Rheinpfalz - intern
- DLR Mosel - intern
- Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz - extern
- Studenten/Schüler - extern
- Passanten/Anwohner - extern
- Gemeinden - extern

Im Mittelpunkt der Ergebnisse der Stakeholderanalyse stehen die Winzer und die Agrarmeteorologie. Die eingebauten Sensoren auf den Flächen der OG-Weinbaubetriebe dienen der Agrarmeteorologie zur Erfassung des Mikroklimas sowie zur Erstellung genauerer Prognosemodelle und einer Auffüllung der Lücken im Messnetz der Wetterstationen des Landes. Diese ermöglichen wiederum den Winzern eine ressourcenschonende und präzisere, dem Klimawandel mehr angepasste, weinbauliche Bewirtschaftung ihrer Betriebe. Die exakteren Daten sollten den Weinbaubetrieben auch die Entscheidungen im Sinne von Priorisierung der einzelnen Schläge, u.a. bei Pflanzenschutzmaßnahmen, erleichtern.

Die RLP Agrosience ist für die Auswertung der Daten sowie der Erstellung von geostatistischen Modellen verantwortlich und kooperiert eng mit der Agrarmeteorologie zusammen. AS führte unterschiedlich komplexe statistische Verfahren (deskriptive Statistik, Zeitreihenanalyse, Clusteranalyse, machine learning Algorithmen) durch, die der Agrarmeteorologie für die Verbesserung angehängter Dienste wie z. Bsp. die Geobox Infrastruktur des Landes Rheinland-Pfalz oder den Vitimeteo Service des staatlichen Weinbauinstituts Freiburg dienen werden. Die Geobox Infrastruktur ist Teil des Digitalen AgrarPortals RLP 8DAP RLP), welche unterschiedliche Daten wie Wetterdaten, Satellitenbilder oder Bodenkarten bündelt

und der Öffentlichkeit und insbesondere Landwirten zur Verfügung stellt. Der Dienst Vitimeteo, ein weinbau-spezifischer Prognosedienst, ist auch in die Geobox Infrastruktur integriert und steht den rheinlandpfälzischen Winzern digital zur Verfügung. Das DLR RNH und die AS sind auch verantwortlich für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Geoboxinfrastruktur (GBI), Aktuell sind weitere 7 Bundesländer in die GBI involviert, davon auch weitere weinbautreibende Länder, die diese neuen Erkenntnisse und Methoden sicherlich interessieren werden.

Das DLR Rheinpfalz ist als Lead-Partner verantwortlich für die Verwaltung des gesamten Projekts, sowie für die wissenschaftliche Begleitung in den Bereichen Schädlinge/Krankheiten, Rebenphysiologie sowie Phänologie. Weil in das Aufgabengebiet des DLR Rheinpfalz unter anderem auch die angewandte Forschung in Weinbau, Oenologie und Phytomedizin fällt, hatte das DLR Rheinpfalz ein berechtigtes Interesse an der Durchführung des Projekts VitiMikroKlim. Zur Projektverwirklichung kooperierte das DLR Rheinpfalz stark mit den internen Stakeholdern wie der AS, den Winzern und dem DLR Mosel zusammen. Darüber hinaus kommuniziert das DLR Rheinpfalz Informationen an externe Stakeholder. Dies wird auf verschiedene Arten verwirklicht, im Falle von Studenten durch Lehrveranstaltungen und Workshops, oder im Falle von interessierten Passanten oder Anwohnern durch persönliche aufklärende Gespräche. Auch fließen Informationen in Form von Berichten in Richtung des externen Stakeholders MWVLW.

Das DLR Mosel hat u. a. die Schwerpunktaufgabe Steillagenweinbau / Weinbau an Mosel und Ahr, sowie eine Verantwortung über den Unterricht der angegliederten berufsbildenden Schule, wessen Schüler als externe Stakeholder eingestuft worden sind. Durch den Unterricht in der Berufsschule sollten auch die Ergebnisse des Projekts weitervermittelt werden. Folglich ist die erfolgreiche Durchführung des VitiMikroKlim Projekts auch eine Erfüllung der Aufgaben des DLR Mosel.

Das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (MWVLW) Rheinland-Pfalz vertritt das Land Rheinland-Pfalz als der Auftraggeber des Projektes. Das berechtigte Interesse des MWVLW am VitiMikroKlim Projekt kommt vom Aufgabengebiet des MWVLW, dass unter anderem die ländliche Entwicklung, Innovationsförderung, Weinbau so wie die Agrarförderung beinhaltet.

Für die schon erwähnten Passanten/Anwohner sowie für Gemeinden (beides externe Stakeholder) kommt der Nutzen des Projektes aus der Tatsache, dass eine schonendere, präzisere und umweltfreundlichere Bewirtschaftung von Weinbauflächen auch im Interesse der allgemeinen Bevölkerung ist. Besonders weil die Ergebnisse auch auf andere Kulturen als die Weinrebe übertragbar sein könnten, könnten auch Gemeinden die keine Weinbauflächen aufweisen einen Nutzen aus diesem Projekt ziehen. Ein Nutzen für Studenten und Schüler kommt aus dem Erlernen der Ergebnisse durch jeweilige Veranstaltungen, dies ermöglicht ihnen eine Anpassung der Bewirtschaftungsmethoden in der Zukunft. Eine grafische Darstellung der Stakeholderanalyse ist in Abbildung 47 einsehbar.

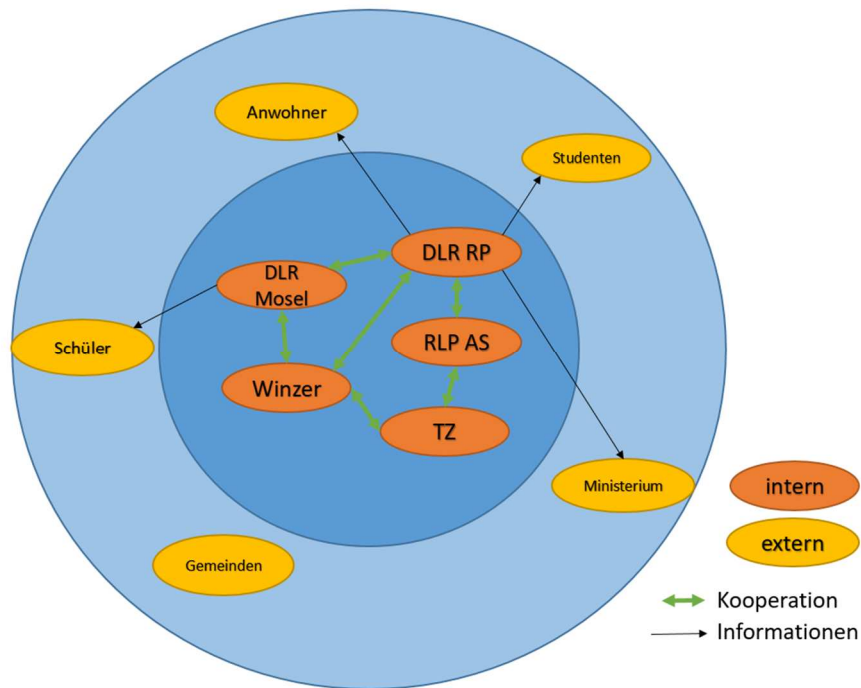


Abbildung 47: Verbildlichung der Ergebnisse der Stakeholderanalyse

Umfragen: am 09.05.2023 beim Weingut Pflüger und am 16.05.2023 beim Weingut Rummel (Landau-Nußdorf) wurden die Studierenden des vierten Semesters am Weincampus Neustadt jeweils zur Erfassung von Wetterdaten und Prognosemodellen für Pflanzenschutz befragt.

Wetterdaten: Es nahmen insgesamt 33 Studierende an der Umfrage teil.

Frage 1 lautete „Werden in ihrem (Lehr-)Betrieb Wetterdaten erfasst? Ja/nein“, 58 % antworteten mit „ja“ und 42 % mit „nein“.

Frage 2 fragte nach den Systemen die benutzt werden. Von denen die Frage 1 mit „ja“ beantworteten, benutzten 58 % die Wetterdienste der Agrarmeteorologie, 32% einen Regenschirm, 5% ein Frostwarngerät, 5% gaben keine Antwort.

Frage 3 bezog sich auf den Zweck der erfassten Daten (mehrere Antwortmöglichkeiten): 42 % antworteten mit Frostrisiko, 89 % Pflanzenschutz, 42 % Ernte und 26 % andere wie Bodenbearbeitung und Wasserhaushalt.

Frage 4 war über die Zufriedenheit mit den genutzten Systemen: 11 % sehr zufrieden, 68 % zufrieden, 11 % neutral und 11% unzufrieden, keiner der Befragten war sehr unzufrieden.

Fragen 5 und 6 gingen darum ob es Verbesserungsmöglichkeiten für die Zukunft gibt. Drei Personen, die Frage 1 mit „nein“ beantwortet hatten, wollten dass in ihrem Betrieb Wetterdaten erfasst werden. Vier Personen die die Frage 1 mit „ja“ beantwortet hatten, wollten eine genauere und lagenbezogene Erfassung Wetterdaten, bzw. ein engeres Netz an Wetterstationen. Ein Befragter wünschte sich verbesserte Prognosen, ein anderer genauere Wetterstationen. Es wurden auch mehr geförderte Systeme gewünscht, sowie eine übersichtlichere Website der Agrarmeteorologie.

Prognosemodelle Pflanzenschutz: Es nahmen insgesamt 24 Studierende an der Umfrage teil.

Frage 1 war ob und welche Prognosemodelle den Befragten bekannt sind. 67 % antworteten mit „VitiMeteo“, 33 % mit „nein“ bzw. keine.

Frage 2 war über die Benutzung dieser Systeme im (Lehr-)Betrieb. 79 % verneinten, 21 % benutzen Prognosemodelle im Betrieb.

Frage 3 bezog sich auf welche Modelle benutzt werden. 100 % der, die die Frage 2 mit „ja“ beantwortet hatten (fünf Teilnehmer), benutzten VitiMeteo.

Frage 4 fragte nach den Krankheiten für die die Modelle benutzt werden, alle Benutzer von VitiMeteo benutzten das Prognosemodell für die Risikoberechnung von Peronospora und Oidium.

Frage 5 ging um die Zufriedenheit mit den Prognosemodellen. Drei Teilnehmer (60 %) waren zufrieden, zwei (40 %) antworteten mit „neutral“

Bei den Fragen 6 und 7 die über Verbesserungsmöglichkeiten waren, antworteten zwei Studierende die die Modelle nicht in ihrem Betrieb benutzen, dass sie diese als sinnvoll ansehen und diese in Verwendung nehmen wollen.

Fazit Umfragen: Die beiden Umfragen zeigten, auch mit einer relativ geringen Stichprobengröße, interessante Ergebnisse. Als erstes ist hervorzuheben dass eine Mehrheit der Befragten Wetterdaten auf irgendeine Art erfasst, sowie dass diese überwiegend zufrieden mit dem benutzten Systemen sind. Auch ist der Zweck der Systeme zu beachten, insbesondere der hohe Anteil der Teilnehmer der die Systeme für die Planung von Pflanzenschutz benutzt (89 %). Der Wunsch der Erhebung der Wetterdaten, bei Betrieben ohne Wetterdatenerfassung, ist ebenfalls nennenswert.

Dazu ist der Bedarf einiger Befragter an einem engeren Messnetz und lagenbezogener Wetterdaten sehr wichtig, da das Projekt VitiMikroKlim genau auf diese Fragestellungen bezüglich des Klimas auf kleinem Raum eingegangen ist. Die Ergebnisse des Projekts zeigten nennenswerte Unterschiede der Sensordaten zu Wetterstationen (Kapitel 2.4.1.3) sowie zwischen nahegelegenen Wetterstationen selbst (Kapitel 2.4.1.2), daher ist der Bedarf an, und zugleich die Entwicklung, einer höheren Auflösung der Erfassung von Wetterdaten durchaus berechtigt.

Bei den Ergebnissen der Umfrage zu den Prognosemodellen für Pflanzenschutz ist es bedeutsam, dass obwohl ca. zwei Dritteln der Teilnehmer die Prognosemodelle von VitiMeteo bekannt sind, nur ein Fünftel diese auch benutzt obwohl die Benutzer zufrieden oder neutral gestimmt zu den Modellen waren. Die Gründe dafür wurden in der Befragung nicht untersucht, es wäre jedoch sinnvoll diese tiefer zu erkunden. Auch sollte darauf eingegangen werden wie und auf welche Art die Benutzung der Wetterdaten für die Planung von Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgt und wie diese mit den vorhandenen Prognosemodellen zu vergleichen ist.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse und Methoden zur Erfassung des Mikroklimas mittels der kostengünstigen LoRaWAN- fähigen Sensoren werden bereits jetzt in weiteren Forschungsvorhaben genutzt. Dazu zählen die noch laufenden Projekte EF Südwest (<https://ef-sw.de/>), AgriRegio (<https://agriregio.peasec.de/>) und ein gerade genehmigtes Projekt HABKIS2.0. In all diesen Projekten werden, bestätigt durch die positiven Ergebnisse in VitiMikroKlim, LoRaWAN- fähige Sensoren genutzt.

Im Projekt EF Südwest steht insbesondere auch der Wissenstransfer im Mittelpunkt (<https://farmwissen.de/>). Es ist geplant, ausgewählte Ergebnisse aus VitiMikroKlim dort zu integrieren und damit einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

In AgriRegio werden durch die Projektpartner Hard- und Softwarelösungen erarbeitet, die eine direkte lokale Speicherung der LoRa- Signale ermöglichen werden. Dies wird als Teil einer resilienten Infrastruktur auf Betriebsebene auch die Nutzung von LoRaWAN- fähigen Sensoren unterstützen, da der jeweilige Landwirt/Winzer damit ohne Internetverbindung ein engmaschiges Umweltmonitoring durchführen kann.

Weiterhin arbeitet das MWVLW RLP sowie die RLP AgroScience im laufenden Projekt „Digital information system for a sustainable and climate change adopted agriculture in Rwanda“ in the framework of the federal and state program of the BMZ. Ebenfalls auf Grund der sehr positiven Ergebnisse aus VitiMikroKlim werden vergleichbare Sensoren genutzt, um kleinklimatische Parameter in Testflächen in Ruanda zu erfassen. Die in VitiMikroKlim etablierten Analyseroutinen sollen an die jeweilige konkrete Fragestellung angepasst und weiterentwickelt werden.

Auch besteht die Möglichkeit die im Projekt VitiMikroKlim gewonnenen Daten bezüglich Befall von Pilzkrankheiten sowie die mit LoRa-WAN Sensoren erfassten Luftfeuchte- und Lufttemperaturdaten an die Betreiber von VitiMeteo weiterzugeben, so dass diese die Daten mit in ihre Prognosemodelle einbeziehen und damit eventuell optimieren können.

2.8 Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)

Zu diversen Fragen im Projekt wurde der Innovationsdienstleister „Institut für ländliche Strukturforchung e.V.“ (IfLS) mit Hauptsitz in Frankfurt am Main beratend bezüglich organisatorischer und personeller Fragestellung herangezogen. Der IDL hat stets mit der Beratung die Fragestellungen gelöst und somit zum Fortschreiten des Projekts beigetragen.

2.9 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Informationen über das Projekt wurden über Workshops/Tagungen, Publikationen, Homepage, Poster sowie durch Vorlesungen kommuniziert und weitergeleitet.

2.9.1 Workshops/Tagungen

Am 06. September 2022 präsentierten Frau Dr. Juliane Schurig und Prof. Dr. Andreas Düker, auf der **INNOspace Jahreskonferenz 2022**, im Workshop 3 (Lebensmittelhygiene & Sicherheit) einen Teilaspekt des VitiMikroKlim-Projekts, und diskutierten Inhalte und Fragestellungen in interessierter Runde mit anderen Wissenschaftlern.

Workshop Datenabruf am DLR Rheinpfalz: Am 02.12.2022 wurde den pfälzischen Winzern ein Workshop am DLR Rheinpfalz in Neustadt angeboten. Im Workshop erklärte Herr Simon Gockel von der TZ des DLR-RNH den Winzern wie sie auf die Daten der in den Anlagen verbauten Sensoren zugreifen können und so Einsicht in die erfasste Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit der verschiedenen Zonen in den Weingärten bekommen können. Damit wurde den Winzern ermöglicht direkt auf erste Ergebnisse des Projekts zugreifen zu können und die Daten für sich zu nutzen.

Workshop Einfluss von Klima und Boden auf den biodynamischen Weinbau: Am 09.05.2023 wurde interessierten Studierenden der Fachrichtung Weinbau und Oenologie im Bioweingut des OG Mitglieds Alexander Pflüger in Bad Dürkheim ein Workshop angeboten, der den Studierenden den Einfluss von Klima- und Bodenfaktoren aufzeigt, und wie mit entsprechend generierten Daten erfolgreiche Bewirtschaftungsstrategien für den biodynamischen Weinbau entwickelt werden. Hierbei wurden zunächst theoretischen Grundlagen von Herrn Alexander Pflüger in einer Präsentation vermittelt, welche im Anschluss von seinem Vater, Herrn Bernd Pflüger, praxisnah in einer Ertragsanlage des Familienbetriebs dargestellt wurden. Abschließend beantworteten die Studierenden in Fragebögen, ob und auf welcher Weise ihre Betriebe Wetterdaten generieren. Die Auswertung der Fragebögen ist als Fortschreibung der Stakeholderanalyse unter 2.6 wiedergegeben.

Workshop Ökologischer Weinbau im Einklang mit Klima und Umwelt: Am 16.05.2023 erhielten interessierte Studierende der Fachrichtung Weinbau und Oenologie Einblicke im Bioweingut Rummel (LD-Nußdorf), wie unter Einbezug von Wetterdaten, einer an das jeweilige Terroir angepasste Gassenbegrünung (Abbildung 48) und dem Anbau von PIWI-Rebsorten Dünge- und Pflanzenschutzmittel im ökologischen Weinbau eingespart werden. Abschließend beantworteten die Studierenden in Fragebögen, ob und auf welcher Weise ihre Betriebe Pflanzenschutzprognosen generieren. Die Auswertung der Fragebögen ist als Fortschreibung der Stakeholderanalyse unter 2.6 wiedergegeben.



Am 11.05.2023 fand das „**XX. Kolloquium – Internationaler Arbeitskreis für Bodenbewirtschaftung und Qualitätsmanagement im Weinbau**“ in Remich, Großherzogtum Luxemburg statt. Dort wurde bei der Posterausstellung der Tagung auch ein Poster mit dem Titel „VitiMikroKlim: Digitaler Ausbau des Messnetzes der Agrarmeteorologie RLP im Mikroklimabereich“ den Teilnehmenden vorgestellt (Abbildung 49).

Am 05.06.2023 wurde ein **Workshop Datenabruf Mosel** den am Projekt beteiligten Moselwinzern angeboten. Erneut erklärte Simon Gockel vom DLR-RNH den teilnehmenden Winzern wie sie eine Datenakquise von den in den Anlagen verbauten Sensoren durchführen können und so Einsicht in die erfasste Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit bekommen können. Wieder erfolgte damit ein direktes Einbinden der Projektpartner in das Projekt VitiMikroKlim.

Für den 12.10.2023 wurde eine gemeinsames **Abschlusstreffen** am DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück in Bad Kreuznach geplant. Es wurden alle beteiligten OG-Mitglieder eingeladen und die Ergebnisse des Projekts wurden von Referenten vorgestellt. Danach bestand die Möglichkeit zur Diskussion über die Ergebnisse.



Abbildung 48: Begrünungsgasse beim Bioweingut Rummel in Landau-Nußdorf

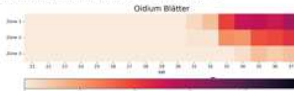
VitiMikroKlim: Digitaler Ausbau des Messnetzes der Agrarmeteorologie RLP im Mikroklimabereich

Zielsetzung

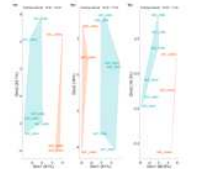
Da es sich beim Weinbau um mehrjährige Kulturen mit sehr langer Standzeit handelt ist eine Adaption der Bewirtschaftung der bestehenden Weinberge an die Auswirkungen des Klimawandels wichtig. Darüber hinaus sind Weinberge eines Betriebs meistens über kleine und stark verteilte Ernteflächen verteilt. Dies hat zur Folge, dass die bestehenden Prognosemodelle der Wintern und Wintersonnen in Rheinland-Pfalz nur ungenügend relevante Daten für schlag spezifische Empfehlungen liefern. Ziel dieses Projekts ist es mit kostengünstigen und energiesparenden Sensoren diese Lücke zu schließen. Die installierten Sensoren sollen für eine begrenzte Zeit die Temperatur und Luftfeuchte in den Weinbergen erfassen, die dabei eroberten Daten werden durch Mustererkennung, geostatistische Methoden und „zeitliche“ Algorithmen bearbeitet, integriert mit anderen Daten, „SMARTER MODEL“ im Modell zu entwickeln. Diese Modelle sollen wiederum helfen Prognosemodelle zu erstellen die dann den Nützlich über die Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz, mittels existierender Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden. Die Sensoren sollen nach einiger Zeit für andere Flächen wiederverwendet werden.

Ergebnisse

Eine interessante Ergebnis des Monitorings ist die Befähigung mit Echtem Mehltau an den Blättern. Hier wurde ein „Planzen“ der Infektion durch die verschiedenen Zonen in zwei der pflanzlichen Bestände (siehe Abbildung 3), ob eine mikroklimatische Ursache vorliegt soll untersucht werden. Beim Falschen Mehltau war der Befall niedrig, verursacht durch den niedrigen Infektionsdruck des trockenen Jahres 2022.



Die Datenauswertung durch die RLP-AgroScience zeigte dass die Sensoren zuverlässig arbeiten und vertrauenswürdige Messdaten liefern. Um die Lufttemperaturdaten besser zu untersuchen wurden die Daten auf unterschiedliche Zeitintervalle aufgeteilt. Es zeigten sich insbesondere Unterschiede zwischen den unteren (ca. 10 cm, Bodennähe) und den oberen (ca. 180 cm, Blöcken) Sensoren wie u.a. für eine Spätkühlererzeugung von Nützlich sein könnte (siehe Abbildung 4).
Wird die Luftfeuchtigkeit (RH) durch viele Faktoren (Niederschlag, Temperatur, Evapotranspiration usw.) beeinflusst und dazu der trockene Sommer 2022 wenig Varianz in den Messdaten der RH brachte, steht die Analyse von RH noch aus.






Abb. 1: Die vier Weinberge in der Pfalz, rote Punkte kennzeichnen die Sensoren




Abb. 2: Flow von Datenfluss der Sensormessdaten

Das Projekt

Es wurden mehrere Ernteflächen der Sorte Riesling bei privaten Weingütern in drei räumlich getrennten Weinlagen (Pfalz, Nahe und Mosel) mit georeferenzierten Sensoren bestückt. In der Pfalz wurden die Sensoren auch auf verschiedenen Höhen angebracht (siehe Abb. 1). Die Sensoren kommunizieren über das drahtlose open-source Netzwerkprotokoll Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) das eine hohe Übertragungseffizienz und geringen Stromverbrauch hat. Die Sensoren (Dragino LRS02-S3) erfassen Lufttemperatur und Luftfeuchte senden alle 30 Minuten ihre Daten an Gateways (Dragino DLCS8 Outdoor mit 4G) die die Daten an die LoRaWAN Server von The Things Network weiter leiten. Von dort werden die Daten drahtlos übertragen um von der Agrarmeteorologie RLP (DLR/RNH) sowie von der RLP-AgroScience weiter verwendet zu werden (siehe Abbildung 2). Neben der Erfassung der Lufttemperatur und Luftfeuchte wurde im Jahr 2022 in den pflanzlichen Flächen durch ein wöchentliches Monitoring in den Zonen der Sensoren das Entwicklungstadium (EBC) erfasst, sowie die Befähigung von Echtem und Falschem Mehltau (Blätter und Geschnitten).

Ausblick

Im Jahr 2023 werden wieder Befähigung von Falschem und Echtem Mehltau sowie das Entwicklungsstadium erfasst. Auch kommen physiologische Untersuchungen des Blattwasserpotentials (Trockenstress) hinzu. Des Weiteren werden die Flächen mehrmals mit Dronen überflogen um die Wachstumsraten (NDVI). Die RLP-AgroScience wird auch digitale Geländemodelle erstellen in die topografische Parameter wie Aspekt, Neigung und geografische 3D-Modelle einfließen sollen. Weiterhin werden die Niederschlagsmengen der nächstgelegenen Wetterstationen mit in die Modelle einbezogen und es erfolgt eine Quantifizierung der Unterschiede zwischen Wetterstation und Sensoren sowie zwischen den Sensoren selbst.

Marko Medić (DLR, Rheinland-Pfalz), Mark Deubert (RLP-AgroScience), Simon Gockel (DLR/RNH), Aditya Nairang (RLP-AgroScience), Dr. Juliane Schurig (DLR Rheinland-Pfalz), Dr. Matthias Trapp (RLP-AgroScience), Prof. Dr. Andreas Düker (Wein-campus Neustadt/RLP Rheinland-Pfalz; Ansprechpartner: andreas.dueker@dlr.rlp.de)



Abbildung 49: VitiMikroKlim Poster das bei der Tagung in Remich, Luxemburg vorgestellt wurde

2.9.2 Publikationen

Düker, A. (2023): Mikroklimadaten als Grundlage für präzisen und nachhaltigen Weinbau. Der Oenologe 10, in: Der Deutsche Weinbau 21 vom 13.10.2023, Meiningen Verlag, Neustadt an der Weinstraße.

Düker, A. (2023): Raumzeitlich hochauflösende Mikroklimadaten zum Ausbau von digitalem Weinbergsmanagement. Deutsches Weinbau Jahrbuch 2023, 85-91. Eugen Ulmer KG, Stuttgart. ISBN 978-3-8186-1777-6

Düker, A. (2022): Ausbau von digitalem Weinbergsmanagement mittels Mikroklimadaten. Schriften des Arbeitskreises Landeskunde Rheinland-Pfalz, 7-20.

Düker, A. (2021): Erfassung mikroklimatischer Parameter im Weinbau zur Optimierung von betriebswirtschaftlichen Abläufen. DLR Rheinpfalz 2021 im Blick, 48-49.

2.9.3 Homepage

<https://www.weincampus-neustadt.de/forschung/institute-und-professuren/andreas-dueker/forschungsprojekte>

<https://digitalisierung.agroscience.de/index.php/de/projekte/projekte/vitimikroklim>

WebMap:

<https://agroscience.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=e85ebe5785d64099a90e328f790710d9>

2.9.4 Vorlesungen/Vorträge

Düker, A. (2023): VitiMikroKlim – digitaler Ausbau des Messnetzes der Agrarmeteorologie RLP im Mikroklimabereich. Symposium anlässlich des Besuchs von Herrn Harald Ebner, Mitglied des Deutschen Bundestags und Vorsitzender des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 18.07.2023, Neustadt an der Weinstraße.

Modul 220 Grundlagen der Phytomedizin und des Präzisionsweinbaus, 2. Semester, Dualer Bachelorstudiengang Weinbau und Oenologie (WBOE), Sommersemester 2023

Modul B5/C5 Smart & Sustainable Viticulture / Umweltökologie, 2. Semester, Dualer deutsch-französischer Masterstudiengang Weinbau und Oenologie (FAVO), Sommersemester 2023

Modul 510 Weinbautechnik, 5. Semester, Dualer Bachelorstudiengang Weinbau und Oenologie (WBOE), Wintersemester 2022/23

Modul 220 Grundlagen der Phytomedizin und des Präzisionsweinbaus, 2. Semester, Dualer Bachelorstudiengang Weinbau und Oenologie (WBOE), Sommersemester 2022

Modul B5/C5 Smart & Sustainable Viticulture / Umweltökologie, 2. Semester, Dualer deutsch-französischer Masterstudiengang Weinbau und Oenologie (FAVO), Sommersemester 2022

Modul 510 Weinbautechnik, 5. Semester, Dualer Bachelorstudiengang Weinbau und Oenologie (WBOE), Wintersemester 2021/22