



Der Einfluss aromatischer Kräuter im Unterstockbereich auf das Rebenwachstum

Quantifizierung durch Drohnenaufnahmen
am Beispiel des Wawerner Jesuitenbergs

Bachelorarbeit
zur Erlangung des Grades eines

Bachelor of Science

an der Universität Trier im
Fachbereich VI - Raum- und Umweltwissenschaften

vorgelegt von

Nikolaos Kolaxidis
Kloschinskystr. 81
54292 Trier
1175610

1. Gutachter: Dr. rer. nat. Karl Manuel Seeger
2. Gutachter: Dr. rer. nat. Oliver Gronz

Trier, 7. September 2021

Abstract

To counteract the strong effects of erosion in steep-slope vineyards, intercropping the grapevines with aromatic plants is considered one possible solution. The impacts of additional crops on grapevine growth and vitality are evaluated over four months in 2020 using multispectral UAS photography and geospatial data analysis. Located in the Mosel Valley in Germany, the characteristics of the homogeneous experimental field were a slope of 30° and randomized blocks of grapevine rows either cultivated with *Vitis vinifera* L. *Riesling* as a monocrop and control group or additionally intercropped with *Origanum vulgare* or *Thymus vulgaris* as aromatic plants. The Soil-Adjusted Vegetation Index shows a small negative impact of aromatic plants on the grapevine growth due to an increasing competition over water on dry conditions, but a possible positive impact due to competition to weeds in the inter-row, therefore a mostly unchanged competition over water and nutrients for the grapevines especially in ecological vineyards. This concludes that intercropping grapevines with aromatic plants can be successfully established and will have positive effects in regards to ecosystem services and economic benefits as long as additional suitable treatments are used. Further investigations on the kinds of treatments are needed as well as data over a larger period, preferably at least two years, to show definite results.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1. Einleitung: Landwirtschaft im Wandel	1
1.1 Diverfarming	2
1.1.1 Vorhaben und Ziele	3
1.1.2 Organisation	3
1.2 Fallstudie CS09	4
1.2.1 Versuchsgebiet	4
1.2.2 Fragestellungen	6
1.3 Motivation und Aufbau der Abschlussarbeit	8
2. Vegetationsanalysen in Weinbergen.....	9
2.1 Vorgehensweise & Datengrundlage	11
2.2 Methodik Teil 1: Erstellung von Orthomosaiken	12
2.2.1 Theoretische Grundlagen: Orthofotografie & Photogrammetrie	12
2.2.2 Workflow: Structure-from-Motion.....	16
2.3 Methodik Teil 2: Reflexionsanalyse	22
2.3.1 Theoretische Grundlagen: Vegetationsindizes.....	22
2.3.2 Workflow: Soil-Adjusted Vegetation Index	25
2.3.3 Workflow: Geospatial Data Analysis	26
3. Quantifizierung des Einflusses der Kräuter auf die Reben.....	30
3.1 Zeitlicher Verlauf im Gesamtüberblick	31
3.2 Betrachtung einzelner Rebzeilen	34
3.3 Gruppenunterschiede	36
3.4 Gruppenunterschiede über SAVI 0,32	40
3.5 Ergebnis.....	43
4. Bewertung benutzter Methoden	44
5. Fazit und Ausblick.....	45
Literaturverzeichnis.....	49
Anhang	55

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Logo des Diverfarming-Projektes.....	3
Abb. 2: Übersichtskarte Rheinland-Pfalz.....	5
Abb. 3: Übersichtskarte Wawerner Jesuitenberg	5
Abb. 4: Wawerner Jesuitenberg.....	6
Abb. 5: Pflanzungsschema. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Grün = Bergtee, Gelb = Kontroll. 8	
Abb. 6: links: DJI Black Snapper mit DJI Zenmuse X5; rechts: DJI Phantom 4 Pro mit Micasense RedEdge-M	12
Abb. 7: Nahezu senkrecht aufgenommenes Drohnenluftbild des WJB, 29.08.2021.....	13
Abb. 8: (a) Senkrechtluftbild über flachem Terrain; (b) Senkrechtluftbild über dynamischem Terrain	14
Abb. 9: Stereoskopie	15
Abb. 10: Workflow im Menü von PS	16
Abb. 11: Erste Punktwolke in PS	17
Abb. 12: Dichte Punktwolke in PS	18
Abb. 13: Klassifizierung der dichten Punktwolke in PS	19
Abb. 14: Teil des 3D-Modells nach Klassifizierung in PS	19
Abb. 15: Nahansicht des 3D-Modells nach Klassifizierung in PS.....	20
Abb. 16: Orthomosaik von Juli 2020	21
Abb. 17: Micasense RedEdge-M.....	22
Abb. 18: Spectral reflectance of soil, vegetation and water	23
Abb. 19: links: NDVI des WJB; rechts: SAVI des WJB, beides von Juli 2020.....	25
Abb. 20: Vergrößerter Ausschnitt des nahezu senkrechten Luftbildes vom WJB, 28.08.201831	
Abb. 21: Karte der SAVI-Werte des WJB in den Monaten Juni-September 2020. SAVI- Wertebereich wurde im Bereich 0-0,32 koloriert. Die Einteilung nach Rebzeilen kann in Anhang B eingesehen werden	32
Abb. 22: Wetterdaten vom 01.06.2020 bis 30.09.2020 der Klimastation Kanzem (AGM 109), Tageswerte	34
Anhang B 1: Einteilung des WJB in die einzelnen Rebzeilen, Tool "Cut Raster". Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll	55
Anhang E 1: Violin Plots des SAVI im Juni 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll	56

Anhang E 2: Violin Plots des SAVI im Juli 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll.....	56
Anhang E 3: Violin Plots des SAVI im August 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll.....	56
Anhang E 4: Violin Plots des SAVI im September 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll	56
Anhang F 1: Violin Plots des SAVI von Juni bis September 2020, zusammengefasst nach Gruppen. Wertebereich -0,2 bis 1.....	56
Anhang G 1: Violin Plots des SAVI von Juni bis September 2020, zusammengefasst nach Gruppen. Wertebereich 0,32 bis 1.....	56
Anhang H 1: Scatterplots des SAVI des WJB 2020. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll.....	56

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bandinformationen zur Micasense RedEdge-M	26
Tab. 2: Kopf der Attributtabelle vom Juni 2020 mit Umrechnung in echte SAVI-Werte.....	28
Tab. 3: Deskriptive Statistiken der gesamten SAVI-Werte der Monate Juni-September 2020 des WJB	38
Tab. 4: Deskriptive Statistiken der SAVI-Werte über 0,32 der Monate Juni-September 2020 des WJB	42

Abkürzungsverzeichnis

CDC	Crop Diversification Cluster
CS	Case study
DEM	Digitales Höhenmodell
EU	Europäische Union
GIS	Geographic Information System
Lfp	Lehrforschungsprojekt
LT	Long-term plot
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near-Infrared
PS	Agisoft PhotoScan
RGB	Red-Green-Blue-Farbpalette
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SfM	Structure-from-Motion
UAS	Unmanned Aerial System
WJB	Wawerner Jesuitenberg
WP	Work Packages

1. Einleitung: Landwirtschaft im Wandel

Seit der neolithischen Revolution etablierte sich die Landwirtschaft zum wichtigsten Wirtschaftszweig der Menschheit und stellte seit jeher das Überleben aller Völker sicher (vgl. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001a). Auch heute noch bildet der Agrarsektor in der Europäischen Union (EU) „den Kern der Sozioökonomie“ (DIVERFARMING 2019). Laut der EUROPÄISCHEN KOMMISSION (2020, S. 17, 22) waren 2016 in der EU ungefähr 20 Millionen Menschen im Agrarsektor tätig, was 4,5% der gesamten Bevölkerung der EU entspricht, wodurch 2019 fast 350 Milliarden Euro Umsatz erzielt wurden. Diese Summen an Lebensmitteln und Umsätzen wären ohne agrarische Revolutionen und stetige Innovationen nicht möglich (vgl. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001a). Durch diese wandelte sich die Agrarwirtschaft zunehmend zu einer eigenen Wissenschaft, bei der die frühen rein empirischen Anbaumethoden durch neue wissenschaftliche Methoden beurteilt und optimiert werden. Dies ist auch nötig, da die Agrarwirtschaft ständigen Problemen ausgesetzt ist.

Laut Bericht des IPCC (2015, S. 40, 47) befindet sich das Klima der Erde in einem Wandel, welcher unbestreitbar durch menschliche Aktivitäten beeinflusst, extrem wahrscheinlich sogar hervorgerufen wurde. Durch eine zusätzliche Bevölkerungszunahme der Weltbevölkerung (vgl. UN 2019, S. 2, 5) stellen sich der Agrarwirtschaft immer wieder neue Herausforderungen, die sich in erzwungenen Ertragssteigerungen und einer Intensivierung der Landwirtschaft widerspiegeln. Der Einsatz von Maschinen und technischen Hilfsmitteln ist seit Anfang des 20. Jahrhunderts stetig gestiegen (vgl. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001a). Neben der Mechanisierung und dem hohen Einsatz von chemischen Stoffen in der konventionellen Agrarwirtschaft, sind auch Monokulturen ein beliebtes Mittel, um höhere Erträge zu erzielen. Dies hat zur Folge, dass die Böden degradieren, Flora und Fauna abnehmen und auch das Risiko für Ernteverluste durch den Klimawandel steigt (vgl. COOK 2006, S. 18.389; DIVERFARMING 2019; SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001b).

Erst ab 1980 wurde Nachhaltigkeit als ernstzunehmendes Konzept vorgelegt und in Wertschöpfungsketten implementiert (vgl. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001a). Die Bewegung zu rein ökologischen Anbaumethoden hin verläuft aber nur sehr langsam, da die große Masse an Gütern aufgrund günstigerer Anbaukosten und einfacherer Ertragssteigerung immer noch konventionell angebaut wird. Laut SCHLATTER et al. (2020, S. 41) werden auf gerade einmal 3,1% der über 15,5 Millionen Hektar Agrarfläche in Europa ökologische Anbaumethoden genutzt.

Im Vergleich steht Europa gut da, lediglich Ozeanien mit Australien schneidet mit 8,6% besser ab. Es ist zwar eine klare Steigerung der ökologisch bewirtschafteten Flächen zu erkennen - in der Studie von WILLER et al. (2007, S. 24) wurden noch 1,38% organisch bewirtschaftete Flächen genannt, wodurch in 13 Jahren eine Steigerung um über das Doppelte zu verzeichnen ist - trotzdem sind ökologisch bewirtschaftete Flächen vor Allem wegen ihres geringeren Ertrages und ihres höheren Arbeitsaufwandes noch in der starken Unterzahl. Daher fördert die EU regelmäßig Projekte, die neue Innovationen in der Agrarwirtschaft in Form von nachhaltigen, ertragssteigernden und dennoch ökologischen agrarischen Methoden und Konzepten hervorbringen sollen. Eines davon, „Diverfarming“, soll ein altes Konzept, Nachhaltigkeit durch Diversifizierung in der Landwirtschaft, neu untersuchen und verbessern.

1.1 Diverfarming

Das Projekt Diverfarming wird hauptsächlich von der EU im Rahmen des Förderprogrammes „Horizon 2020“ mit knapp zehn Millionen Euro gefördert (vgl. DIVERFARMING 2021). Horizon 2020 bildet mit einem Fördervolumen von ungefähr 80 Milliarden Euro über sieben Jahre (2014-2020) das größte Forschungs- und Innovationsförderprogramm der EU und unterstützt verschiedene Projekte mit dem Ziel, die europäische Wirtschaftsexzellenz, führende Rollen in der Industrie und Kooperationen zwischen öffentlichen und privaten Sektoren zu fördern (vgl. EUROPÄISCHEN KOMMISSION 2021). Mit Diverfarming verwandte Projekte innerhalb des Horizon 2020 sind DiverIMPACTS, DIVERSify, LegValue, ReMIX und TRUE, die im Crop Diversification Cluster (CDC) organisiert sind und das gemeinsame Ziel haben, Partnerorganisationen aus ganz Europa zusammenzuführen und die Forschung in den Bereichen Diversität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft zu stärken (vgl. CROP DIVERSIFICATION CLUSTER 2019). Zusätzlich zum Horizon 2020 stellt konkret im Diverfarming das Schweizer Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation noch etwa eine halbe Million Euro zur Verfügung. Diese Investitionssummen sind nötig, da das Diverfarming-Projekt in insgesamt sechs europäischen Staaten und dadurch sechs verschiedenen pedoklimatischen Regionen aktiv ist und mehrere Testflächen mit Wissenschaftler*innen, Landwirte*innen, Studierenden und Interessierten unter verschiedenen Aspekten bewirtschaftet und beforscht (vgl. DIVERFARMING 2021).

1.1.1 Vorhaben und Ziele

Der Leitsatz im Diverfarming, wie der Webseite des Projektes zu entnehmen ist, lautet „Crop diversification and low-input farming across Europe: from practitioners' engagement and ecosystems services to increased revenues and value chain organisation“ (LOCZY et al. 2019, Titel), wodurch das Ziel des CDC sichtbar wird: die Eruierung des Konzeptes

von ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit durch Diversifizierung in der Landwirtschaft. Dieses Ziel kann auch im Logo des Diverfarming (siehe *Abb. 1*) erkannt werden, hier sind vier verschiedene Agrarnutzungen in einem sich überlappenden Charakter zu sehen. Dies deutet auf die angestrebte Diversifizierung hin, genau wie der Name des Projektes bereits vermuten lässt.

Unter diesem Leitsatz werden im Diverfarming sechs Ziele formuliert: die Entwicklung neuer diversifizierter Anbausysteme, die Erstellung von Nutzstudien, die Abschätzung von möglichen Folgen, die Entwicklung von Agrarökosystemmodellen, die Bewertung von erprobten diversifizierten Anbausystemen und schließlich die Kommunikation und Verbreitung der Systeme und Ergebnisse. Diese Ziele verfolgen im Zusammenschluss das Hauptziel des CDC, die Landwirtschaft durch Diversität nachhaltiger zu gestalten und die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Landwirtschaft beziehungsweise Öffentlichkeit zu stärken (vgl. CROP DIVERSIFICATION CLUSTER 2019; DIVERFARMING 2021).

1.1.2 Organisation

Die Schritte werden durch mehrere Teams aus den europäischen Staaten Deutschland, Finnland, Italien, den Niederlanden, Spanien und Ungarn in 13 Feld-/Fallstudien (CS) und sieben Langzeitversuchen (LT) durchgeführt (vgl. DIVERFARMING 2019). Die Komplexität des Projektes und der vielen Teilfragestellungen bedarf einer besonderen Organisationsstruktur, weshalb elf Arbeitspakete (WP) eingeführt wurden, die die entsprechenden Teilgebiete einer jeden Fragestellung beziehungsweise eines jeden Schrittes übernehmen und von verschiedenen Teams geleitet werden. Darunter fallen in WP1 das Projektmanagement und die -koordination, in WP2 die Auswahl nachhaltiger diversifizierter Anbausysteme, in WP3 die Untersuchung der Anbausysteme hinsichtlich der Pflanzenproduktion und -qualität, in WP4 und WP5 das Feststellen von Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die Umwelt durch die



*Abb. 1: Logo des Diverfarming-Projektes
(DIVERFARMING 2020, S. 1)*

Diversifizierung von Kulturpflanzen und das Bereitstellungspotenzial von Ökosystemleistungen, in WP6 das Erstellen und Analysieren von Wertschöpfungsketten, in WP7 die Datenanalyse und Hochskalierung von Ergebnissen aus anderen Arbeitspaketen zur Bewertung der Produktivität und Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe, in WP8 die ökonomische Bewertung von Betrieben und Wertschöpfungsketten, in WP9 die Ermittlung der Fähigkeit des Ergebnistransfers in die europäische Politik, in WP10 die Kommunikation und Verbreitung von Ergebnissen und Einbeziehung von Entscheidungsträger*innen und schließlich in WP11 die Festlegung der ethischen Richtlinien des Diverfarming, die den nationalen und europäischen Rechtsvorschriften sowie den Horizon 2020-Ethikrichtlinien entsprechen müssen (vgl. DIVERFARMING 2021).

1.2 Fallstudie CS09

Die Universität Trier ist maßgeblich am Diverfarming-Projekt beteiligt, sie unterhält in Zusammenarbeit mit dem Weingut Dr. Frey zwei Testflächen im Rahmen des Diverfarming in der Nähe von Kanzem in Rheinland-Pfalz (vgl. WEINGUT DR. FREY 2021), je eine Fallstudie (CS09) und eine Langzeitstudie (LT5; vgl. DIVERFARMING 2021). Seit 2018 wurden einige der jährlichen Lehrforschungsprojekte (Lfp) des Bachelorstudienganges „Angewandte Geographie - Studienrichtung II: Physische Geographie“ und des Masterstudienganges „Prozessdynamik an der Erdoberfläche“ der Universität Trier, die die theoretische und praktische Vermittlung von physisch-geographischen Feld- und Kartiermethoden im Gelände und die anschließende Laboranalyse von gewonnenem Probenmaterial zum Ziel haben, dort durchgeführt und die Daten im Rahmen des Diverfarming verwertet (vgl. LFP 2019, S. 1, 74). Gerade die Arbeitspakete WP3, WP4 und WP5 sind aktiv an den Testflächen beteiligt, da diese vor allem umweltwissenschaftliche und physisch-geographie Geländemethoden nutzen. Auch WP7 stellt ein wichtiges Arbeitspaket dar, da hier zum Beispiel die für die physische Geographie interessante Geomorphologie auch von anderen Testflächen untersucht wird.

1.2.1 Versuchsgebiet

Die Testfläche des Lehrforschungsprojektes des Bachelorstudienganges ist die Fallstudie CS09, an der die Universität Trier, vertreten durch die Herren Prof. Dr. Sören Thiele-Bruhn, Dr. Karl Manuel Seeger, Dr. Thomas Iserloh und dem Promovenden Felix Dittrich, die Eidgenössische

Technische Hochschule Zürich, vertreten durch Herrn Dr. Roman Hüppi, und das Weingut Dr. Frey, vertreten durch Frau Katharina Frey-Treseler und Herrn Cord-Henrich Treseler, beteiligt sind. Koordiniert wird die Fallstudie CS09 von Herrn Dr. Karl Manuel Seeger, der auch diese Abschlussarbeit betreut.

Es handelt sich um einen durch das Weingut Dr. Frey ökologisch bewirtschafteten Weinberg südlich von Konz westlich des Saarkanals zwischen Wawern und Kanzem (siehe Abb. 2 und 3) auf 49°39'23,976"Nord und 6°33'27,936"Ost namens Wawerner Jesuitenberg (WJB). Die pedoklimatische Region kann als kontinental beschrieben werden und steht stellvertretend für große Teile Mittel- und Osteuropas sowie des Balkans (vgl. DIVERFARMING 2019). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 11,2 Grad Celsius, der Jahresniederschlag im Mittel 727 Millimeter (vgl. DIVERFARMING 2020, S. 4).

Der Hang ist südlich exponiert und kann durch eine homogene Hangneigung von über 30 Grad dem Steillagenweinbau zugeordnet werden (vgl. LFP 2019, S. 2).



Abb. 2: Übersichtskarte Rheinland-Pfalz (verändert nach MR-KARTOGRAPHIE 2018)

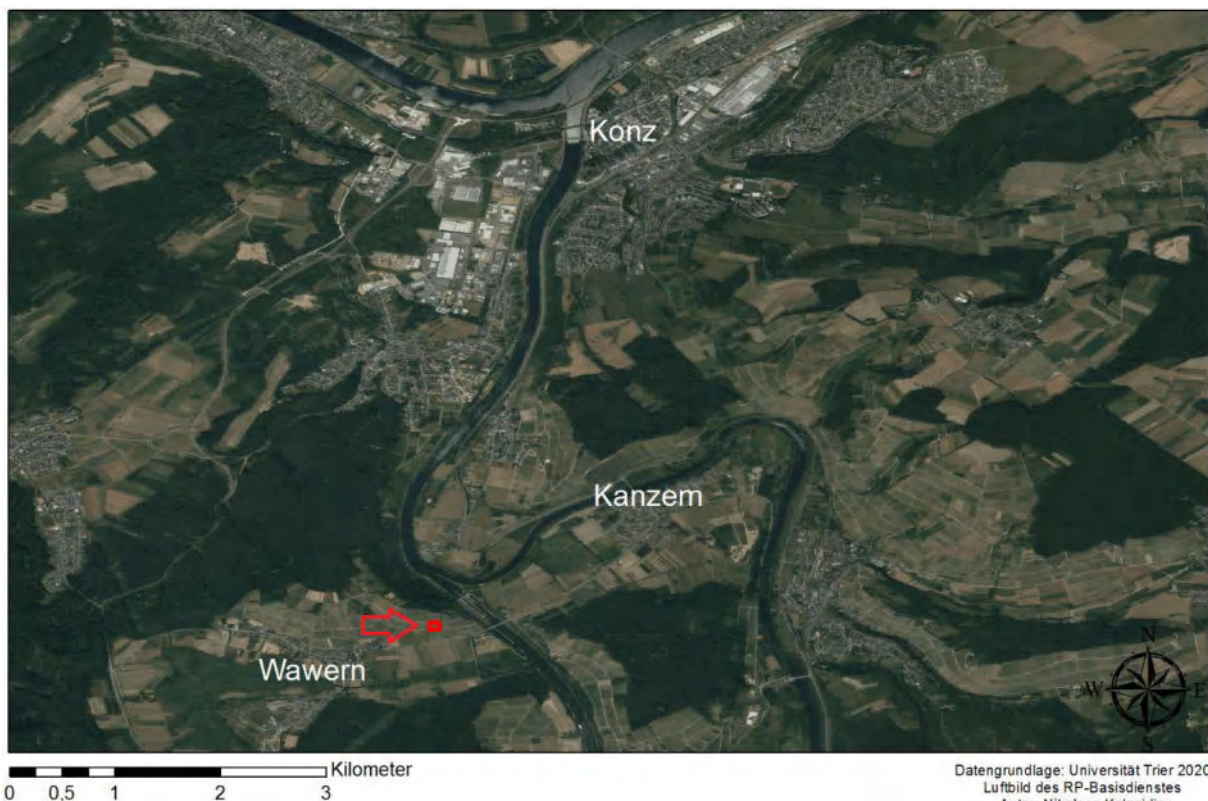


Abb. 3: Übersichtskarte Wawerner Jesuitenberg (eigene Darstellung)



Abb. 4: Wawerner Jesuitenberg
(DIVERFARMING 2020, S. 4)

Die Fallstudie CS09 beschränkt sich auf einen 0,3 Hektar großen Teil des Weinbergs (siehe Sternmarkierung in Abb. 4) mit 1.500 Rebenpflanzen der Sorte *Vitis vinifera* L. Riesling (DITTRICH et al. 2021, S. 1; DIVERFARMING 2020, S. 4f.), also Weintrauben, die nach der Ernte zu Riesling-Wein verarbeitet werden. Das aktuelle Anbausystem, welches durch Diverfarming angepasst und diversifiziert wird, kennzeichnet sich durch einen organischen und ökologischen Charakter sowie regenbewässerte Monokultur aus. Der Zeilenabstand beträgt aufgrund der öko-

logischen Bewirtschaftungsweise zwei Meter, der Rebenabstand einen Meter (vgl. DIVERFARMING 2020, S. 5).

1.2.2 Fragestellungen

Grundlage für diese Fallstudie stellt der Unterschied der Hauptcharakteristika zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Weinbergen dar. Der Einsatz von „naturfremden chemisch-synthetischen Substanzen“ (ECOVIN 2021) zur Unkrautbekämpfung und zur Düngung wird in ökologischen Anbausystemen nicht gestattet, damit die Agrarprodukte, die Böden und die Umwelt möglichst schadstofffrei bleiben. Dadurch wird ein erhöhter Einsatz von Maschinen nötig, da Un- beziehungsweise Beikräuter, die durch fehlende Spritzmittel ein erhöhtes Wachstum aufweisen, nur durch biologische Mittel oder physikalisch durch mechanische Bodenbearbeitung entfernt werden müssen (vgl. DIVERFARMING 2020, S. 5). Durch eine maschinelle Befahrung folgen bodendynamische Probleme wie Bodenverdichtung und ein erhöhtes Erosionspotenzial (vgl. DITTRICH et al. 2021, S. 1f.; ECOVIN 2021; LFP 2019, S. 2). Das erhöhte Erosionspotenzial rührt daher, dass vegetationsfreie Flächen direkt physikalisch beeinträchtigt und die Bodenaggregate schneller durch Niederschlag gelöst werden können. Sie entwickeln schneller einen Fließcharakter, der Rillen und Rinnen begünstigt und die Hangstabilität beeinflusst. Durch die hohe Hangneigung ist der Steillagenweinbau für ein hohes Erosionspotenzial prädestiniert, welches durch regelmäßige Befahrungen aufgrund der ökologischen Bewirtschaftung weiter verstärkt wird (vgl. DITTRICH et al. 2021, S. 1f., KIRCHHOFF et al. 2017, S. 121).

Die Fallstudie CS09 beschäftigt sich daher im WJB mit der Fragestellung, inwieweit sich eine kontrollierte Unterstockbewirtschaftung im Weinberg mit weiteren Agrarprodukten, also

Intercropping im Weinberg, sprich die zeitgleiche Bewirtschaftung einer Fläche mit mehreren Agrarprodukten (vgl. VANINO et al. 2019, S. 5f.), ökonomisch und vor allem ökologisch lohnt. Es soll herausgefunden werden, welchen Einfluss das Intercropping auf die Weinreben ausübt, ob durch einen gezielten Anbau von weiteren Agrarprodukten der maschinelle Aufwand zur Unkrautvernichtung und dadurch die bodendynamischen Problematiken minimiert werden können und ob sich der Anbau der weiteren Agrarprodukte sowie des Weines rentiert. Dazu wurde im Vorhinein durch die Projektverantwortlichen in Zusammenarbeit mit dem Weingut Dr. Frey beschlossen, aromatische Kräuter der Typen Oregano (*Origanum vulgare*), Thymian (*Thymus vulgaris*) und Griechischer Bergtee/Eisenkraut (*Sideritis* spp.) in den Unterstockbereichen des Weinberges zu pflanzen und deren Wachstum sowie deren Einfluss auf die Rebenvitalität, die für vegetationsfreie Flächen typische Erosion und den Boden- und Wasserhaushalt zu erforschen (vgl. DITTRICH et al. 2021, S. 1, 4; DIVERFARMING 2020, S. 6ff.; LFP 2019, S. 2, 5). In der Publikation zu dieser Thematik von DITTRICH et al. (2021) wird der Griechische Bergtee nicht genannt, da er nicht mehr zur Hauptuntersuchung gehört. In den Jahren 2018 bis 2020 wurde versucht den Bergtee in weiteren Zeilen zu pflanzen und zu säen, um weitere Vergleichszeilen generieren zu können, er konnte jedoch durch unregelmäßiges Wachstum, uneinheitliche Eigenschaften und durch die temporäre Extraktion aus einigen Zeilen nicht als aussagekräftiger Vergleich hinzugezogen werden. Die Zeilen eignen sich aufgrund der Eingriffe auch nicht als Kontrollflächen. In dieser Abschlussarbeit wird der Griechische Bergtee deshalb ebenfalls nicht mit einbezogen und die entsprechenden Zeilen werden nicht beachtet.

Laut DITTRICH et al. (2021, S. 2) wurden aromatische Kräuter bisher nicht als mögliche Intercropping-Optionen in Weinbergen betrachtet, obwohl sie durch ihre Eigenschaften sehr gut dafür geeignet wären. Ganzjähriges und ein generell eher flaches Wachstum auch im Schatten, eine gute Anpassung an warme und trockene pedoklimatische Regionen sowie eine wachsende Nachfrage aufgrund ihrer vielseitigen Verarbeitungsmöglichkeiten machen sie zu idealen Kandidaten für die Fallstudie CS09. Das Bachelor-Lfp 2018/19 war daran beteiligt, die genannten Kräuter nach einem Pflanzungsschema (siehe Abb. 5) einzupflanzen und anschließend physisch-geographische Feldmethoden zu nutzen, um die ökologischen Folgen der Kräuterpflanzung durch vor allem messbare Veränderungen des Boden- und Wasserhaushaltes zu beurteilen (vgl. LFP 2019, S. 2, 5).

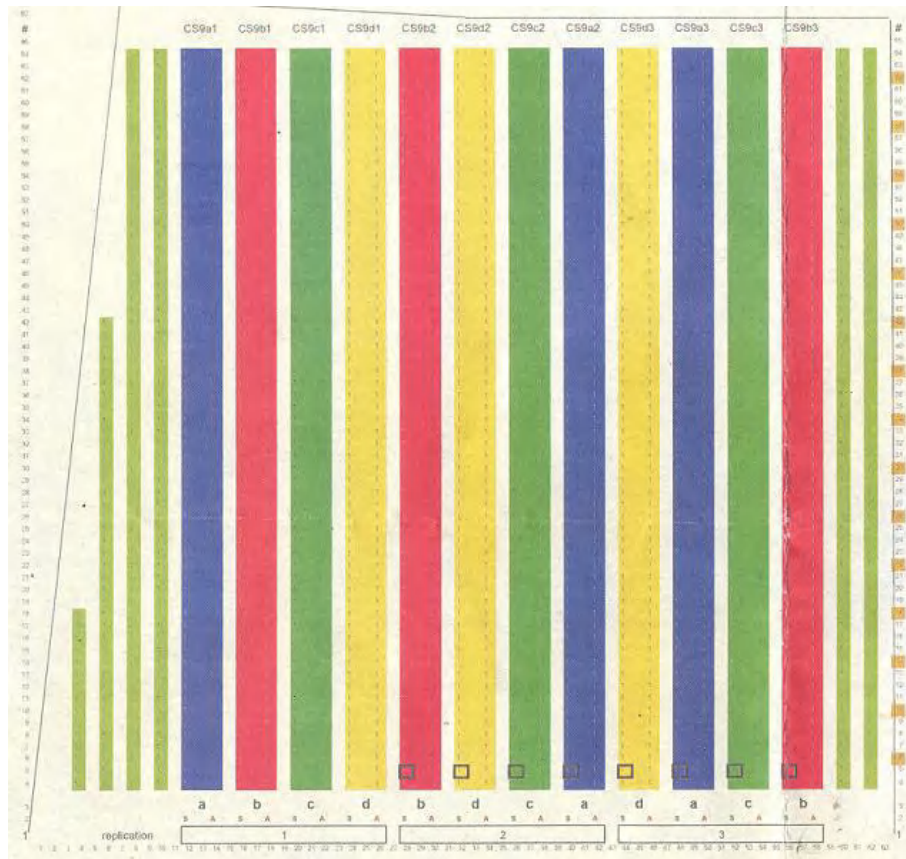


Abb. 5: Pflanzungsschema. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Grün = Bergtee, Gelb = Kontroll (LFP 2019)

1.3 Motivation und Aufbau der Abschlussarbeit

Um den Einfluss der Kräuter auf die Weinreben zu quantifizieren, wurden, wie Loczy et al. (2019, S. Vf.) und dem Abschlussbericht des Lfps (LFP 2019, S. 2) zu entnehmen ist, durch das Diverfarming-Projekt, durch das Lfp und durch andere Abschlussarbeiten bereits viele physisch-geographische Feldmethoden genutzt und viele Erkenntnisse gewonnen, jedoch wurden einige weitere interessante geoinformatische Methoden nicht beleuchtet. Darunter fallen vor allem die zeitliche sowie die Reflexionsanalyse von Vegetationen mithilfe von multispektralen und RGB-Orthofotos. Die heute weit fortgeschrittene Drohnentechnik ermöglicht das eigenständige genaue Monitoring der Flächen zum einen aus einem anderen Betrachtungswinkel, zum anderen können durch multispektrale Aufnahmen schneller Informationen erlangt werden, die durch komplexere Feldmethoden zeitaufwändiger sind. Das Nutzen der Aspekte, die diese Methoden hervorbringen, das schnellere Aufnehmen der Daten und damit das Unterstützen bereits erfolgter Datenanalysen und Erkenntnisse bilden die Grundlage, die diese Abschlussarbeit motiviert.

Die der Abschlussarbeit zugrunde liegende Fragestellung baut auf denen des Lfps und der Fallstudie CS09 auf: kann anhand von Drohnenaufnahmen quantifiziert werden, welchen Einfluss

verschiedene Kräuter auf das Rebenwachstum und die Rebenvitalität ausüben? Das Ziel der Abschlussarbeit besteht analog zur Fallstudie CS09 des Diverfarming darin, eine Aussage darüber treffen zu können, inwiefern der gezielte Anbau von aromatischen Kräutern im Unterstockbereich eine Konkurrenz zu den Reben bildet und sich der Anbau auch aus fernerkundlicher/geoinformatischer Perspektive ökologisch sowie ökonomisch lohnt oder nicht.

Zur Beantwortung der Fragestellung sind zwei Teilaufgaben nötig: zum einen die Erfassung und Analyse der Kräutervolumina, zum anderen die Erfassung und Analyse der Rebenvolumina. Beides soll in eigens dazu erstellten Orthofotos auf Grundlage von Drohnenaufnahmen erfolgen, die mithilfe von Structure-from-Motion-Software (SfM) erstellt und in Geoinformationssystemen (GIS) und Statistiksoftware ausgewertet werden. Da im Rahmen des Diverfarming bereits Drohnenaufnahmen zur Erstellung von Übersichtskarten und Erosionsanalysen erstellt wurden, werden diese Aufnahmen als Grundlage genommen, um den Rahmen der Bachelorarbeit nicht durch die explorative Spezifizierung von Flugplänen zu sprengen. Dadurch stellen sich die Unterfragestellungen, ob zum einen die Kräuter im Unterstockbereich und die Reben durch diese Art der Aufnahmen erfasst werden können und ob durch die Analyse nur eines Teiles der Vegetationen, also nur der Reben oder nur der Kräuter, auf das Wachstum beziehungsweise den Einfluss der jeweils anderen Vegetation zu schließen ist. Durch diese weiteren Fragestellungen wird der Aufbau der Abschlussarbeit deutlich: die Methodiken zu beiden Teilen werden mit der Darstellung fernerkundlicher Grundlagen vor allem zur Verarbeitung von Luftbildern und Vegetationsindizes erklärt und die Ergebnisse anschließend zusammen im Rahmen der Zielsetzung des Diverfarming diskutiert.

2. Vegetationsanalysen in Weinbergen

Der Weinbau ist lange schon ein wichtiger Wirtschaftszweig vieler Regionen weltweit, da Wein auch auf Flächen bewirtschaftet werden kann, auf denen herkömmliche Landwirtschaft mit Getreide oder Treibhäusern aufgrund der hohen Steigung der Hänge nicht möglich ist. Gerade in Gebieten mit dynamischem Relief und vielen südexponierten Hängen wie dem Moseltal ist der Weinbau eine der einzigen Wirtschaftsformen, die möglich sind. Zusätzlich dazu ist die Weinkultur zum Beispiel in Frankreich oder Südeuropa so stark ausgeprägt, dass Weinbau auch auf weniger steilen Hängen betrieben wird. Insgesamt sind 2019 weltweit über 7,4 Millionen Hektar Land dem Weinbau zugeordnet, wovon über 103 Tausend in Deutschland liegen

(vgl. DITTRICH et al. 2021, S. 1; OIV 2019, S. 3f.).

Weinberge sind aufgrund ihrer Standorteigenschaften und der konventionellen Praktik, den Boden unter den Reben und teilweise auch die Zwischenzeilen von Vegetation freizuhalten, stark anfällig für Erosion durch Niederschlag. Durch die hohe Mechanisierung auch in biologisch bewirtschafteten Weinbergen tritt zudem eine hohe Bodenverdichtung in den Fahrspuren auf, die zusätzlich die Erodibilität des Bodens erhöht (vgl. KIRCHHOFF et al. 2017, S. 121). Deswegen gibt es bereits viele Untersuchungen an und in Weinbergen bezüglich Rebenvitalität, Optimierung der Ökobilanz und Erosionsschutz. Gerade auch durch Einführung des Precision Farming mittels der Technologisierung der Landwirtschaft Ende des letzten Jahrhunderts wurde die Nachfrage nach hochqualitativen wissenschaftlichen Analysen gesteigert, die durch Projekte wie denen aus dem CDC geliefert werden.

In der Literatur wird oft gezeigt, dass ein Mittel besonders sinnvoll für Precision Farming ist: fernerkundliche Daten. Forschende wie HALL et al. (2001, 2002), HUANG et al. (2013), LEIMBROCK-ROSCHE et al. (2020), MATESE/DI GENNARO (2018) und SMIT et al. (2010) zeigen unterschiedliche Anwendungsbeispiele, in denen fernerkundliche Aufnahmen von verschiedenen Systemen wie Satelliten, Flugzeugen, Helikoptern und vor allem Unmanned Aerial Systems (UAS; zu Deutsch: „unbemanntes Flugsystem“) für Precision Farming in Weinbergen benutzt werden können.

Gerade die UAS haben einige Vorteile gegenüber anderen Fluggeräten, die es auch Kleingruppen von Forschenden oder Institutionen wie der Universität Trier ermöglichen, qualitativ hochwertige Luftbildaufnahmen zu erstellen und diese anschließend direkt weiterzuverarbeiten. Zu nennen sind da höhere Auflösungen im Millimeter- bis Zentimeterbereich durch wesentlich geringere Flughöhen, eine hohe zeitliche Auflösung der Daten, da zu fast jedem Zeitpunkt aufgrund völliger Autonomie Aufnahmen erstellt werden können und die vergleichsweise geringen Kosten im Vergleich zu Flugzeug- oder Satellitenaufnahmen, die gerade im Privatgebrauch und in der Wissenschaft wichtig sind. Außerdem braucht es kein Team von Organisator*innen oder Pilot*innen, sondern es reichen eine Person zur Flugplanung und eine zur Ausführung, die bei Bedarf auch durch nur eine Person abgedeckt werden können. Da die Daten eigenständig aufgenommen werden, können sie auch frei weiterverarbeitet werden, solange bestimmte Richtlinien bei den Aufnahmen eingehalten werden. Durch Technologien in der Größenreduktion können heutige UAS auch mit diversen zusätzlichen Systemen wie GPS-Positionierung, Multispektralkameras und Lichtsensoren ausgestattet werden, die allesamt

zur Qualität der Luftbildaufnahmen beitragen (vgl. ABER et al. 2010, S. 10ff.; ABER et al. 2012, S. 1; CANDIAGO et al. 2015, S. 4027f.). Die genannten Gründe sprechen dafür, dass UAS für Precision Farming in Weinbergen und im Rahmen des Diverfarming eingesetzt werden, daher bilden sie auch die Grundlage für die Datenaufnahme dieser Arbeit.

2.1 Vorgehensweise & Datengrundlage

CANDIAGO et al. (2015), MATESE/DI GENNARO (2018), MATHEWS/JENSEN (2013), SMIT et al. (2010) und andere Forschungen zeigen jeweils bestimmte Workflows zur Verwendung fernerkundlicher Daten in Weinbergen, die in ihrem Grundaufbau stets ähnlich sind und je nach Fragestellung unterschiedliche Stellschrauben ermöglichen, um gezielte Ergebnisse zu erhalten. Die Workflows haben gemeinsam, dass sie die Luftbilder zuerst in Orthofotos beziehungsweise Orthomosaike umwandeln und sie berichtigen, um danach mithilfe von multispektralen Daten Vegetationsindizes zu berechnen und auszuwerten.

Für die Fragestellungen dieser Arbeit ist beides nötig, da einerseits die genauen Geometrien der Reben und des Unterstocks abgebildet und andererseits durch die Indizes weitere Informationen bezüglich Vitalitäten erlangt werden müssen. Durch Verknüpfen beider Informationen werden Analysen der Reben- und Kräutervitalität und deren Einfluss aufeinander sowie Vergleiche mit Messdaten aus Feldmethoden ermöglicht.

Die Luftbilder, die für die Vorgehensweise benötigt werden, wurden in zwei Zeiträumen aufgenommen. Das Bachelor-Lfp hatte am 29. August 2018 Drohnenfotos aufgenommen, die für den Versuch, Orthofotos der Reben und der Kräuter zu erstellen, gedient haben. Genutzt wurde dabei eine Black Snapper, ein Baukit von DJI, welches mit weiteren Teilen erweitert werden kann, und die Kamera DJI Zenmuse X5 (siehe Abb. 6).

Im Zeitraum von Juni bis September 2020 flog dann die Geocoptix GmbH mit einer DJI Phantom 4 Pro v2.0 und der Multispektralkamera Micasense RedEdge-M (siehe Abb. 6) an vier Aufnahmedaten über den WJB und stellte die Daten zur Verfügung. Beide Drohnen erreichten eine Auflösung von 2-2,5 Zentimetern.

Die Arbeit im Rahmen der Fragestellungen bestand darin, Orthofotos zu erstellen, die Vegetationsindizes zu berechnen und anschließend den Einfluss der Kräuter auf die Reben zu quantifizieren. Im Folgenden wird der Workflow mit theoretischen Grundlagen vorgestellt.



Abb. 6: links: DJI Black Snapper mit DJI Zenmuse X5 (eigene Aufnahme);
rechts: DJI Phantom 4 Pro mit Micasense RedEdge-M (verändert nach LEIMBROCK-ROSCHE et al. 2020, S. 60)

2.2 Methodik Teil 1: Erstellung von Orthomosaiken

Georeferenzierte Orthomosaiken werden eingesetzt, da sie verzerrungsfrei winkeltreu und flächentreue Eigenschaften aufweisen, auf Karten projiziert werden können und somit genaue digitale Messungen und geographische Analysen ermöglichen (vgl. SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001c). Die Erstellung von Orthomosaiken und deren Rektifizierung in Computerprogrammen beruht auf einigen theoretischen Vorüberlegungen.

2.2.1 Theoretische Grundlagen: Orthofotografie & Photogrammetrie

Die genaue Definition von Orthofotos, aus denen Orthomosaiken bestehen, kann durch den Prozess der Erstellung und der dazu notwendigen Technologien erklärt werden. Die Notwendigkeit für die Erstellung von Orthofotos wird deutlich, wenn ein einzelnes fast senkrecht aufgenommenes Luftbild betrachtet wird (siehe Abb. 7). Hier ist zu erkennen, dass zu den Rändern hin eine immer größere Verzerrung auftritt. Sie ist dadurch festzustellen, dass die Seiten und der Untergrund der äußeren Reihen sichtbar werden anstatt nur die obere Vegetationsdecke wie bei den Zeilen in der Mitte der Aufnahme. Da die Drohne bei der Aufnahme eine Neigung im Bild nach oben und unten hatte, wird die Verzerrung in der Vertikalen weiter verstärkt, ist aber aufgrund der parallel verlaufenden Reihen zur Blickrichtung nicht so gut erkennbar. Dieses Phänomen der Verzerrung namens „radiale Schrägabbildung“ (SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001d) tritt aufgrund der physikalischen Eigenschaften einer Aufnahme aus

nur einem einzigen Objektiv auf, also bei der „zentralperspektivische[n] [...] Projektion eines Objektes auf eine Bildebene“ (ebd.; vgl. ABER et al. 2010, S. 23f.).



Abb. 7: Nahezu senkrecht aufgenommenes Drohnenluftbild des WJB, 29.08.2021 (eigene Darstellung)

Ein ideales Senkrecht-Luftbild wird schematisch in *Abbildung 8a* gezeigt. Zu sehen ist der Ausgangspunkt beziehungsweise die Belichtungsstation L in Form der Kameralinse und einige beispielhafte Strahlen, die im Prinzip die in die Kamera einfallenden Lichtstrahlen symbolisieren sollen. Im Zentrum P , dem „Bildhauptpunkt“ (SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001d), fällt der Lichtstrahl $[Po]$ genau im rechten Winkel zum idealtypisch komplett ebenen Boden in die Linse. An diesem Punkt würden, wenn das Beispiel des Weinbergs aus *Abbildung 7* hinzugenommen wird, nur die Oberflächen der Reben zu sehen sein, keine Seiten und der Untergrund darunter ebenfalls nicht. Durch die Abbildung werden einige Gesetzmäßigkeiten klar: je weiter sich das einfallende Licht den Außenbereichen des Bildausschnitts, wie durch A und B verdeutlicht, nähert, desto spitzer wird der Winkel im Bezug zum Boden. Dies wird in *Abbildung 7* in den Außenbereichen deutlich, in denen dann immer stärker die Seiten der Reben zu sehen sind. Weiterhin gilt: je höher die Drohne fliegt, desto größer ist die abbildbare Bodenfläche, desto größer werden die Winkel der seitlich einfallenden Lichtstrahlen, desto größer wird jedoch auch die Auflösung (vgl. ABER et al. 2010, S. 23f.).

In Realität ist das Gelände üblicherweise nicht so idealtypisch flach, sondern gewellt oder

sogar schroff. *Abbildung 8b* zeigt sehr gut, dass dadurch bei bestimmten Geländeformen ein weiterer Aspekt zu beachten ist: der „zentralperspektivische Bildpunktversatz“ (SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001d). Bei Punkt A kann das Objektiv die Hangfläche, die links neben dem Punkt A liegt, nicht erfassen, da sie von der Vollform verdeckt wird. Dieser Bereich wäre auf einer einzelnen Aufnahme nicht zu sehen. Darüber hinaus erscheint der Punkt A auf dem Foto weiter außen liegend, wie das Verhältnis von A zu A' und a zu a' auf der Fotoebene zeigen. Ein Lösungsweg, diesen Bereich auf dem Foto sichtbar zu machen und den Punkt A an der gleichen Position von den Punkt A' zu projizieren, wäre die Aufnahme senkrecht über der Strecke [AA'] zu erstellen. Jedoch wird schnell klar, dass dies nicht immer eine Lösung darstellt, gerade wenn das Relief dynamischer ist und solche Voll- oder Hohlformen die Landschaft stärker durchsetzen (vgl. ebd.; ABER et al. 2010, S. 24f.).

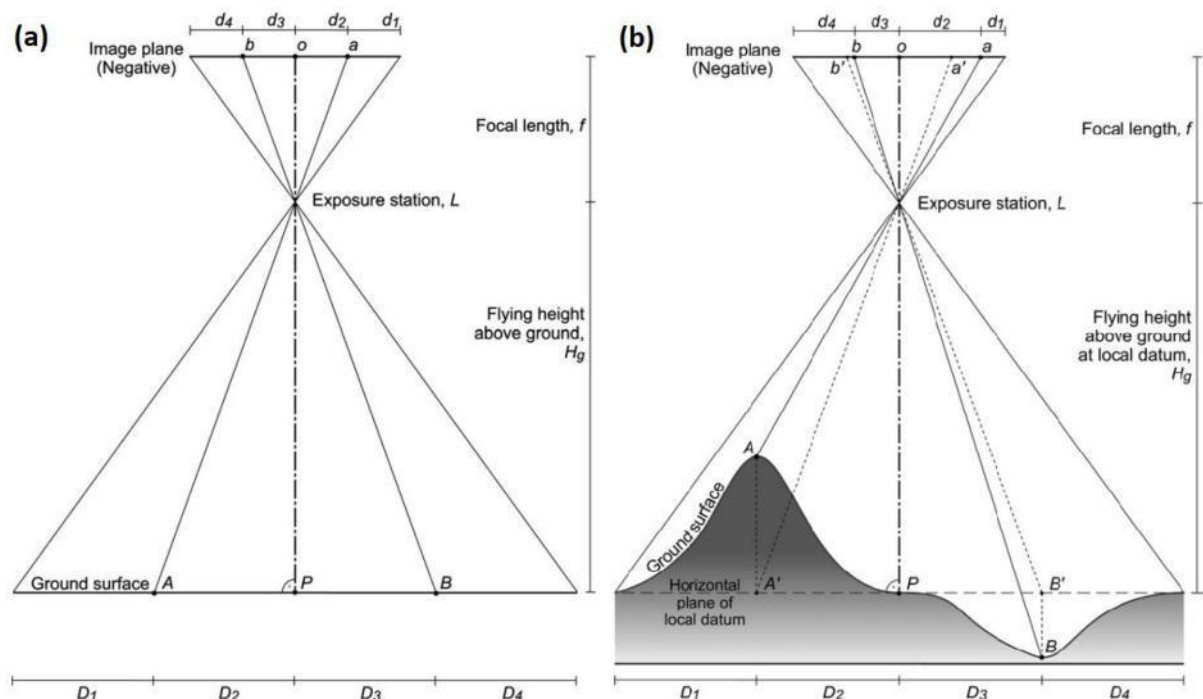


Abb. 8: (a) Senkrechtaufnahme über flachem Terrain (verändert nach ABER et al. 2010, S. 24);
(b) Senkrechtaufnahme über dynamischem Terrain (verändert nach ABER et al. 2010, S. 25)

Dies ist eines der Probleme von einzelnen senkrechtaufnahmen: die schlichte Unfähigkeit bei einigen Gegebenheiten alle Objekte visuell zu erfassen. Dazu kommt die Problematik, dass Verzerrungen aufgrund von Bildpunktversätzen auftreten und dies in Kombination mit Verwackelungen und/oder schlechten Lichtverhältnissen sowie fehlenden Höheninformationen dazu führt, dass durch die Aufnahmen keine genauen geographischen Analysen möglich sind (vgl. ebd.; SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001c).

Wie können diese Probleme beseitigt werden? Der Bildpunktversatz tritt wie oben

beschrieben vor allem dann auf, wenn es Höhenunterschiede im Gelände gibt. Dies kann durch ein Verfahren so umgewandelt werden, dass die genauen Höheninformationen aus Aufnahmen extrahiert werden können. Die Technologie wird als (Stereo-)Photogrammetrie beziehungsweise photogrammetrisches Verfahren bezeichnet und beschreibt das Erfassen geometrischer Größen von Objekten mithilfe von Berechnungen in Fotos (vgl. ABER et al. 2010, S. 27; KONECNY 2014, S. 9, 143). Die Erfassung der geometrischen Größen von dreidimensionalen Objekten ist mit einzelnen zweidimensionalen Aufnahmen nicht möglich. Daher müssen die Aufnahmen so aufbereitet werden, dass die Informationen des dreidimensionalen Raumes in die Aufnahmen mit einfließen. Diesen Prozess nutzen Leser*innen dieser Arbeit mit normaler Sichtfähigkeit in dem Moment, in dem sie um sich blicken, denn der Mensch kann dies auf ganz natürliche Weise, indem das Gehirn zwei Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln (Augen) zu einem einzelnen Bild zusammenfügt. Der Prozess wird Stereoskopie, mit anderen Worten Sehen im dreidimensionalen Raum, genannt und nutzt mindestens zwei Aufnahmepunkte aus zwei Blickwinkeln (vgl. ABER et al. 2010, S. 27f.; KONECNY 2014, S. 90ff.).

In der *Abbildung 9* wird ersichtlich, dass die jeweiligen einzelnen Aufnahmen der Augen das Objekt, in diesem Fall ein zweidimensionales Quadrat, unterschiedlich wahrnehmen. Kernaspekt ist dabei der Unterschied der wahrgenommenen Winkel γ der Punkte A und C und die daraus folgende stereoskopische Parallaxe p . Durch Überlagern der beiden Bildinformationen kann ein Tiefeneffekt beobachtet werden, der mathematisch genau bestimmt werden kann, wodurch die geometrische Größe, in diesem Fall eine Seitenkante des Quadrates, errechnet werden kann (vgl. KONECNY 2014, S. 159).

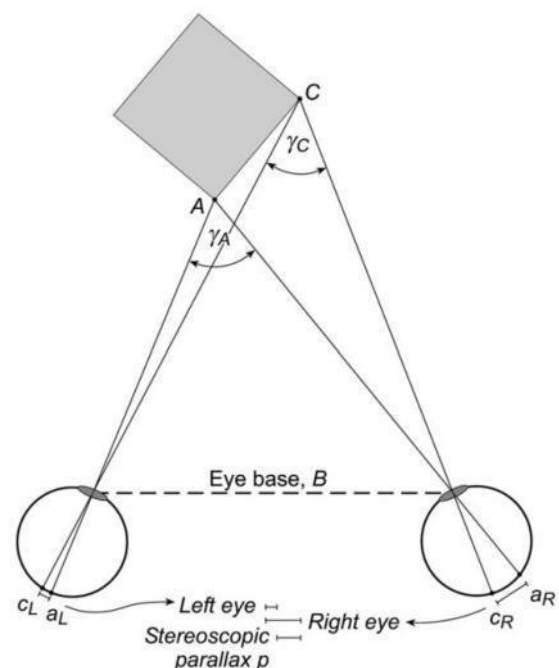


Abb. 9: Stereoskopie (ABER et al. 2010, S. 27)

Dieser Prozess kann 1:1 auch auf Luftaufnahmen angewandt werden. Aus Formeln aus der Fernerkundung wird ersichtlich, dass eine bestimmte Überlagerung der Aufnahmen gewährleistet sein muss, damit der Tiefeneffekt optimal bei den geringsten Datenmengen abgebildet werden kann (vgl. ebd., S. 90ff.). Sie sagen aus, dass sich Aufnahmen möglichst mindestens zu 60% in Flug- und Aufnahmerichtung (Endlap) und mindestens zu 25% zwischen den Flugrouten

(Sidelap) überlagern sollten, was natürlich stark abhängig von der Anwendung, der Flughöhe und des Kamerawinkels abhängig ist. So ergibt sich ein Idealflugplan, der „Bildmessflug“ (SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001e) genannt wird. Wird dieser genutzt, werden alle Punkte des Geländes mindestens zweimal aufgenommen, wodurch die stereoskopische Grundvoraussetzung der Aufnahme eines Punktes aus mindestens zwei verschiedenen Blickwinkeln erreicht wird (vgl. ebd.; ABER et al. 2010, S. 28).

Da die Aufnahmen aus verschiedenen Blickrichtungen aufgenommen werden, können so zum einen der Bildpunktversatz in geometrische Größeninformationen umgewandelt und zum anderen die Unfähigkeit einzelner Aufnahmen alle Objekte zu erfassen umgangen werden, so dass photogrammetrische Verfahren die Nachteile der Senkrecht-Luftbildfotografie fast vollständig ausgleichen können. Werden genügend Fotos verarbeitet, kann am Ende ein sogenanntes Orthomosaik gebildet werden, welches ein Mosaik aus mehreren Orthofotos bildet und die Eigenschaft besitzt, dass jeder Punkt genau senkrecht betrachtet wird (vgl. KONECNY 2014, S. 236, 243; MATESE/DI GENNARO 2018, S. 5).

2.2.2 Workflow: Structure-from-Motion

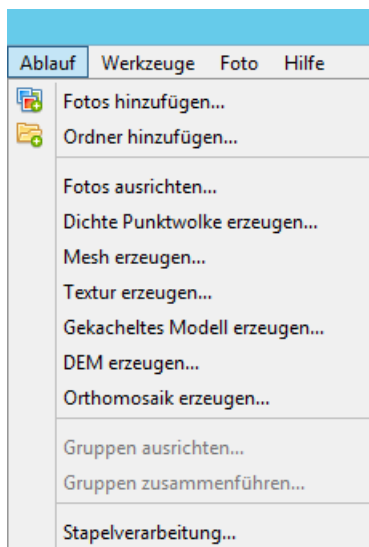


Abb. 10: Workflow im Menü von PS
(eigene Darstellung)

Die Verarbeitung der Bilder durch photogrammetrische Verfahren kann heute fast komplett automatisch in SfM-Software erreicht werden, die auf Basis bisher erläutelter Grundlagen dafür eingesetzt wird, die photogrammetrischen Verfahren digital an Computern auszuführen und genaueste Anpassungsmöglichkeiten zu gewährleisten. Benutzt wurde während dieser Arbeit die kommerzielle Software Agisoft PhotoScan 1.3.3 (PS) und der angesprochene Workflow auf diese Software bezogen. PS zeigt im Menü schon welche Hauptschritte für SfM nötig sind (siehe Abb. 10). Diese spiegeln sich auch in der Literatur wider (vgl. MATHEWS 2015, S. 74ff.; MAYER et al. 2018, S. 2).

Der Input besteht aus den aufgenommenen Luftbildern und den Orientierungsdaten des Aufnahmegerätes, wobei genaue Aufnahmeposition der Einzelaufnahme sowie Verschiebung um die drei Achsen durch die Kamera ebenfalls eingetragen werden können. Auf Grundlage der Prinzipien der Photogrammetrie werden nun markante Punkte in den Fotos gesucht und die Fotos entsprechend ihrer Positionen ausgerichtet. Dadurch entsteht eine erste grobe

Punktwolke (siehe *Abb. 11*). Mit dieser lassen sich kaum Analysen durchführen. An diesem Punkt ist es aber möglich, die errechneten Kamerapositionen zu optimieren. Möglichkeiten sind dabei das Einbeziehen von sogenannten Ground-Control-Points, also am Boden genau eingemessenen Koordinatenpunkten, die dem Programm helfen, bestimmte Punkte bestimmten Koordinaten zuzuordnen (Marker in *Abb. 11, 12* und *14*). Dadurch erhöht sich die Genauigkeit der Ausrichtung der Fotos. Darüber hinaus ist es möglich, Werte wie Kameraschwenk und Drohnenposition anzugeben, die ebenfalls zu einer genaueren Punktwolke führen (vgl. AGISOFT 2017, S. 39-50; MATHEWS 2015, S. 75f.; MAYER et al. 2018, S. 2f.).



Abb. 11: Erste Punktwolke in PS (eigene Darstellung)

Sind die Fotos zufriedenstellend ausgerichtet, folgt entsprechend des Workflows der nächste Schritt, die Erzeugung einer dichten Punktwolke. Dieser Schritt benötigt die längste Rechenzeit, da hier auf Grundlage der Ausrichtung jeder einzelne Punkt der Fotos mit den jeweils benachbarten verrechnet wird. Das Ergebnis ist auch eine Punktwolke wie die davor, nur wesentlich dichter und genauer (siehe *Abb. 12*). Auf einem geringen Zoomlevel ist bereits ein Modell zu erahnen. Diese dichte Punktwolke kann in 3D-Pointcloud-Mesh-Processing-Software bereits bearbeitet werden, allerdings liefert dies nicht die benötigten Orthomosaik.



An diesem Punkt können jedoch andere Tools benutzt werden, die für die Fragestellungen dieser Arbeit von Interesse sind. Die Prozedur der Erstellung des Orthomosaiks muss später wiederholt werden, da der zweite Teil der Fragestellungen die Erfassung der Kräuter benötigt. In PS wird dies durch eine Funktion möglich, die die Punkte der Punktwolke in Klassen einteilen kann. Dadurch lassen sich in der Theorie die Rebenpunkte von den restlichen Punkten trennen und eliminieren, sodass nur noch die bodennahe Vegetation übrigbleibt (vgl. AGISOFT 2017, S. 67). Dieser Schritt war soweit erfolgreich, dass eine Klassifizierung entsprechend der Anleitung durchgeführt wurde (siehe *Abb. 13*). Weiß eingefärbt sind alle Punkte, die als Reben, lila sind Punkte, die als „Noise“, also wahrscheinlichen Fehlern, erkannt wurden. Die restlichen Punkte wurden braun eingefärbt. Bei der Klassifizierung wurde darauf geachtet, dass möglichst optimale Kennwerte benutzt wurden. Allerdings fehlt hierzu Literatur, die ähnliche Fragestellungen bedient (vgl. MATHEWS/JENSEN 2013, S. 2166). Häufig beschäftigen sich die Forschungen aus der Literatur mit LiDAR-Punktwolken oder Forstflächen mit Hinblick auf Kronenvolumen oder Rebenmorphologie, sodass sich die Extrahierung des Workflows und der Kennwerte als sehr schwierig herausstellt. Dadurch fehlen Vergleichswerte und die Kennwerte mussten explorativ festgelegt werden (siehe *Anhang A*). An dieser Stelle wird die explizite

Nennung der Literatur ausgelassen.

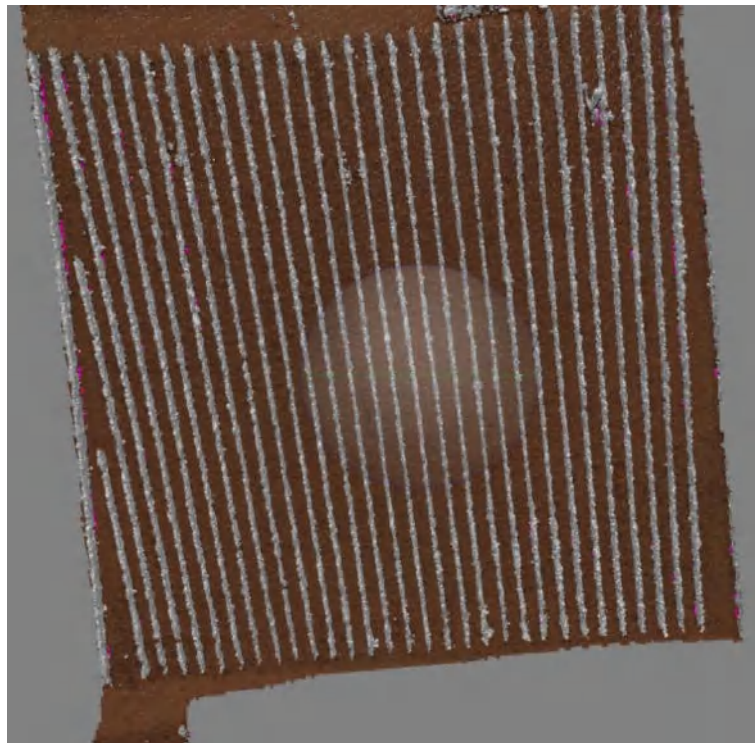


Abb. 13: Klassifizierung der dichten Punktwolke in PS (eigene Darstellung)



Abb. 14: Teil des 3D-Modells nach Klassifizierung in PS (eigene Darstellung)

Bei dem nächsten Schritt laut des Workflows, der Erzeugung eines Digitalen Höhenmodells (DEM), hätte dieses Tool aber keine Wirkung gezeigt, deshalb wurde ein weiterer Schritt eingeschoben, die Erzeugung eines 3D-Modells. Es wurde jedoch klar, dass es mit den

verfügbaren Drohnenaufnahmen nicht möglich ist, die Reben zu eliminieren und die Unterstockvegetation sichtbar darzustellen. Die Aufnahmen erfolgten aus zu großer Höhe und der Bildmessflug wurde nicht auf Grundlage der konkreten Fragestellung geplant, die relativ zur Auflösung recht kleine Unterstockvegetation zu erfassen, sodass an diesem Punkt nach langem Probieren eingesehen werden musste, dass das Vorhaben mit diesem Datensatz an Drohnenaufnahmen im Rahmen der Bachelorarbeit schlichtweg nicht möglich ist. Zur Veranschaulichung dienen *Abbildungen 14* und *15*, in welchen zu sehen ist, dass die Reben zwar eliminiert wurden, die Vegetationen im Unterstock aber kaum modelliert werden konnten. Sichtbar ist ebenfalls eine Wellenstruktur, die darauf hindeutet, dass es zu Verzerrungen in den Unterstockbereichen aufgrund der Modelle der Reben kam und dies zusätzlich die Erfassung der Kräuter beeinträchtigt hat.



Abb. 15: Nahansicht des 3D-Modells nach Klassifizierung in PS (eigene Darstellung)

Dass es möglich ist, Kräuter zu erfassen, zeigt die rebenlose Kontrollfläche unten links in der *Abbildung 14*. Dort können die beiden Zeilen mit Oregano und Thymian beobachtet werden. Darüber hinaus sind in *Abbildung 15* die unteren Teile der Rebstöcke sichtbar, was daraufhin deutet, dass die explorativ festgelegten Kennwerte genau den Bereich erfassen, der erfasst werden soll. Allerdings wird für den Unterstockbereich wohl eine andere Art von Bildmessflug benötigt, der auf Grundlage der Frage nach der Kräutervitalität geplant wird, der in einer weiteren Arbeit dazu explorativ ausgearbeitet werden könnte.

Durch diesen Umstand kam dann an diesem Punkt die weitere Fragestellung hinzu, ob denn nur durch die Analyse der Rebenvitalität der Einfluss durch die verschiedenen Kräuter sichtbar wird. Die Daten hätten für den nächsten Schritt, der Erstellung von Orthofotos der Reben,

gereicht, doch ergab sich, dass 2020 die Geicoptix GmbH zum professionellen Monitoring der Testflächen hinzugezogen wurde. Sie stellte daraufhin ihre fertig berechneten, berichtigten und georeferenzierten Orthomosaik von 2020 (siehe Abb. 16) zur Verfügung, die dann als Grundlage für die Analysen der Rebenvitalität benutzt wurden. Auch mit Ihren Datensätzen hätte der Unterstock nicht erfasst werden können, da sie einen ähnlichen Flugplan benutzt haben.



Abb. 16: Orthomosaik von Juli 2020 (verändert nach GEOCOPTIX GMBH 2020a)

MATHEWS (2015, S. 75ff.) zeigt an, dass vor der Erstellung der Orthophotos noch weitere Schritte eingefügt werden können, die das Ergebnis verbessern können. Analog dazu erläutert die GEOCOPTIX GMBH (2020b, S. 1f.), welche Optimierungsschritte genutzt wurden. Diese professionell eingesetzten Methoden verbessern die zur Verfügung gestellten Orthomosaik stark, was auch an den Farben des Orthomosaiks im Vergleich zur selbst erstellten dichten Punktwolke zu sehen ist. Daher wurden die Orthofotos von 2018 verworfen und nur die von 2020 benutzt, da bis zu diesem Zeitpunkt die Kräuter auch mehr Zeit hatten sich an den Standort zu gewöhnen und zu wachsen, wodurch unter Umständen größere unterschiedliche Einflüsse der einzelnen Kräuterarten erkennbar werden. Zusätzlich zu den Orthomosaiken stellte die Geicoptix GmbH auch multispektrale Daten zur Verfügung, die für den zweiten Teil der Arbeit wichtig sind.

2.3 Methodik Teil 2: Reflexionsanalyse

Ein Vorteil von UAS-Aufnahmen liegt auch in der Möglichkeit, andere Kamerasysteme zu benutzen. Neben den typischen RGB-Echtfarbkameras gibt es auch Multispektralkameras, die andere Spektralbereiche des Lichtes abbilden und so Aufschluss über Eigenschaften geben, die über Feldmethoden teilweise nur schwierig zu erfassen sind (vgl. CANDIAGO et al. 2015, S. 4028). Gepaart mit den Orthomosaiken können so aufschlussreiche Datensätze erstellt werden, aus denen Vegetationsindizes berechnet werden können, die wiederum statistisch analysierbar sind.

2.3.1 Theoretische Grundlagen: Vegetationsindizes



Abb. 17: Micasense RedEdge-M
(LEIMBROCK-ROSCHE et al. 2020, S. 60)

Neben den geometrischen Größen von Objekten können durch multispektrale Aufnahmen auch weitere Informationen erlangt werden, die gerade in der Vegetationsanalyse häufig Verwendung finden und durch Feldmethoden nur bedingt erfasst werden können. Multispektral heißt in diesem Fall, dass eine Kamera mehrere Sensoren beinhaltet und Aufnahmen in verschiedenen

Wellenlängenbereichen aufnehmen kann, wie zum Beispiel die Kamera Micasense RedEdge-M (siehe Abb. 17), die fünf Linsen und mit ihnen fünf verschiedene Bänder abdeckt (vgl. LEIMBROCK-ROSCHE et al. 2020, S. 60f.; HALL et al. 2002, S. 38). Für die Fragestellungen dieser Arbeit sind diese Informationen interessant, da sie Aufschluss über den Zustand der Reben liefern können und so indirekte Aussagen darüber getroffen werden können, welchen Einfluss die Kräuter auf die Rebenvitalität ausüben.

Abbildung 18 zeigt die idealtypischen Spektralreflektionen verschiedener Bodenobjekte im Bezug zu den Wellenbereichen des sichtbaren Lichts und längeren Wellenlängen. Es ist gut zu erkennen, dass abseits des sichtbaren Lichtes wesentlich mehr Informationen in den Objekten gelagert werden, die nur durch multispektrale Aufnahmen zu erfassen sind. Aus den markanten Verläufen der verschiedenen Objekte kann auf multispektralen Aufnahmen erkannt werden, um welche Objekte es sich handelt. Bei der Fragestellung um den Zustand der Rebenvitalität wäre zum Beispiel interessant, die Reflektionen der Reben zu erfassen und

auszuwerten. Möglich ist dies durch den Umstand, dass aktive Vegetation im roten Wellenlängenbereich bei Wellenlängen um die 668 Nanometer stark absorbiert, aber im Nahen Infrarotbereich (NIR) um die 840 Nanometer stark reflektiert. Dies ist in den Verläufen der Spektralreflektionen einzigartig und unterscheidet Vegetation stark von Böden, Gewässern und sogar künstlicher Vegetation (vgl. ABER et al. 2010, S. 47f.; MATESE/DI GENNARO 2018, S. 2, 5).

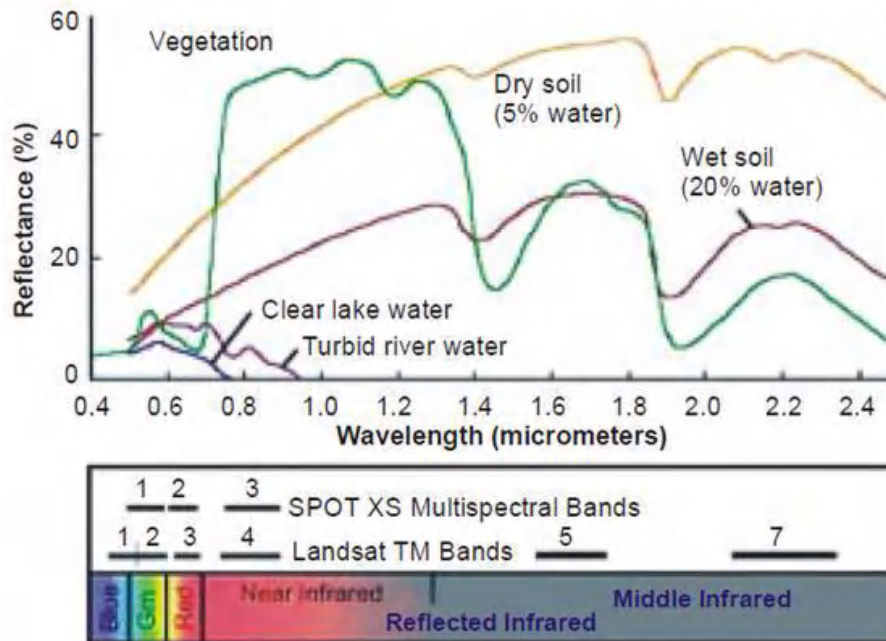


Abb. 18: Spectral reflectance of soil, vegetation and water (MKANSI 2017)

Grund dafür ist die Photosynthese, denn für diesen Prozess benötigen die Pflanzenblätter Sonnenlicht. Chloroplasten in den Blättern absorbieren dabei das Licht des blauen und roten Bereiches und reflektieren einen Teil des Lichts im grünen Bereich, wodurch die Blätter grün erscheinen. Die Zellwände innerhalb der Blätter streuen einen Großteil des Lichts im NIR, da es mit Chlorophyll kaum interagiert. Dadurch ist der Reflektionswert von gesunder aktiver Vegetation im NIR-Bereich sehr hoch (vgl. ABER et al. 2010, S. 47ff.; HALL et al. 2002, S. 37).

Auf Basis dieses Umstandes wurde ein Index entwickelt, genannt Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der durch eine einfache Rechnung die Vegetationsvitalität bestimmen kann:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

(HALL et al. 2002, S. 38, nach ROUSE et al. 1973, o.S.)

Dabei werden die beiden markanten Bereiche im roten und NIR-Wellenlängenbereich genutzt, um einen Wertebereich zwischen -1 und 1 zu berechnen, der Auskunft darüber gibt, wie

photosynthetisch aktiv die Vegetation ist. Daraus ist auf die Vitalität einer Pflanze zu schließen (vgl. ABER et al. 2010, S. 47ff.; HALL et al. 2002, S. 37f.; KONECNY 2014, S. 135).

Nach vielen Untersuchungen wurde festgestellt, dass der NDVI bei spärlicher Vegetation oder nicht dichten Vegetationsdecken unter Umständen nicht ganz korrekte Werte aufweist, da der Boden im NIR ebenfalls stark reflektieren und so die Berechnung beeinflussen kann. Gerade bei Vegetationsdecken unter 50% hat der Boden einen großen Einfluss und kann die Werte verzerren (vgl. CANDIAGO et al. 2015, S. 4029; HUETE 1988, S. 296; LEIMBROCK-ROSCH et al. 2020, S. 65; PEREZ-PASTOR et al. 2019, S. 24).

Deswegen stellte HUETE 1988 einen weiteren Index vor, der den NDVI mit einem empirischen Kennwert erweitert - den Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI):

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \cdot (1 + L)$$

(LEIMBROCK-ROSCH et al. 2020, S. 65, nach HUETE 1988, S. 299)

Mithilfe der Erweiterung des NDVI durch einen empirischen Wert L werden die Einflüsse unbedeckten Bodens je nach Gegebenheit verringert, wodurch bei späteren Analysen einfacher Werteabgrenzungen zwischen Vegetation und keiner Vegetation möglich sind (vgl. CANDIAGO et al. 2015, S. 4029; HUETE 1988, S. 298f.). In Weinbergen ist es oft so, dass es neben den Reben viel freie Bodenfläche gibt, gerade dort, wo mit dem Fahrzeug durch die Gassen gefahren wird. Auch wenn es in den Zwischenzeilen aufgrund der ökologischen Bewirtschaftung Vegetation gibt, ist sie meist nicht so dicht, dass der Effekt des Bodens negiert wird. Er strahlt auf Orthomosaiken und Luftbildern des Weinberges recht stark.

Zudem ist bei einem Vergleich von NDVI und SAVI aufgefallen, dass Schattenwürfe der Reben in den NDVI-Orthomosaiken wesentlich stärker mit einbezogen wurden. COLWELL (1974, S. 179f.) empfiehlt möglichst achtsam mit solchen Daten umzugehen, da sich dies stark auf die Werte der Indizes auswirken kann. SMIT et al. (2010, S. 68f.) zeigen ebenfalls, dass der Schattenwurf im Weinberg potentielle Fehler verursachen kann, welche sich anschließend bei den Untersuchungen negativ auf die Vergleichbarkeit auswirken könnten. In *Abbildung 19* ist zu erkennen, dass der unbearbeitete NDVI wesentlich heller aussieht als der SAVI der gleichen Aufnahmen. Beim SAVI wirken die Reben isolierter, wodurch es im Nachhinein weniger Störwerte geben dürfte und die Reben als solche erfasst werden können.

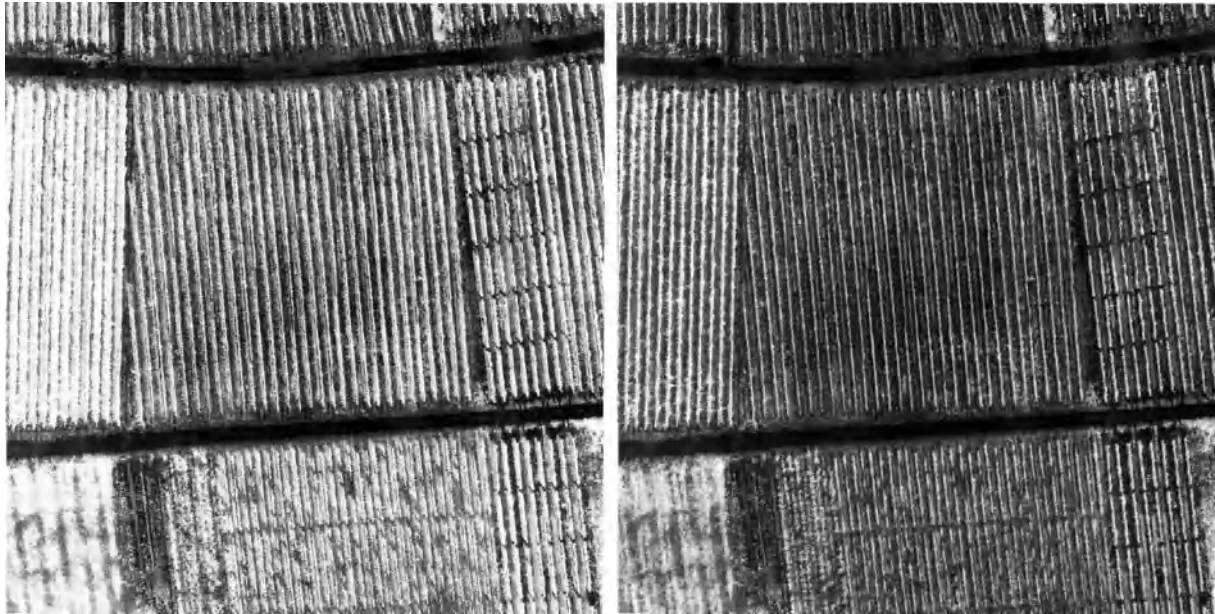


Abb. 19: links: NDVI des WJB; rechts: SAVI des WJB, beides von Juli 2020 (verändert nach GEOOPTIX GMBH 2020a)

Aus den genannten Gründen wurde für die Fragestellungen im Rahmen dieser Arbeit der SAVI genutzt.

2.3.2 Workflow: Soil-Adjusted Vegetation Index

Liegen multispektrale Orthomosaik vor, müssen für die Berechnung des NDVI und SAVI nicht mehr viele Schritte getan werden. Genutzt wurde für die Berechnungen ein GIS, das kommerzielle ArcGIS 10.8.1 des Herstellers ESRI. Dieses bietet eine Vielzahl an verschiedenen Tools an, mit denen auch Rasterdaten bearbeitet werden können. Das Tool „Raster Calculator“ ermöglicht es, Formeln als Berechnungsgrundlage in ArcGIS einzuspeisen und Rasterdaten entsprechend zu verarbeiten.

Um die Variablen der Formel des SAVI mit Werten zu füllen, ist es zuerst wichtig festzustellen, welche Bänder der Orthomosaik welche Wellenbereiche abbilden. *Tabelle 1* zeigt die Aufnahmebänder der Micasense RedEdge-M, die für die Aufnahmen genutzt wurde. Der SAVI berechnet sich aus dem roten und dem NIR-Wellenlängenbereich, also den Bändern drei und fünf der Kamera, und dem Wert L . Die Bänder werden entsprechend der Formel zur Berechnung des SAVI in das Tool eingefügt. Das L des SAVI ist empirisch, es kann einen Wert zwischen null und eins annehmen und wird entsprechend der Vegetationsbedeckung bestimmt. Ein niedriges L wird bei sehr dichter, ein hohes L bei spärlicher Vegetation eingesetzt, ein Wert gegen null führt dazu, dass der SAVI dem NDVI entspricht (vgl. CANDIAGO et al. 2015, S. 4029,

HUETE 1988, S. 299).

Tab. 1: Bandinformationen zur Micasense RedEdge-M (nach LEIMBROCK-ROSCHE et al. 2020, S. 61)

Band-Nr.	Band Name	Zentrale Wellenlänge (nm)
1	Blau	475
2	Grün	560
3	Rot	668
4	Red Edge	717
5	NIR	840

Die beiden Indizes in *Abbildung 19* wurden von der Geocoptix GmbH erstellt. Sie gibt an, $L = 0,5$ benutzt zu haben, was auf eine mittel-spärliche Vegetation, wahrscheinlich aufgrund der Zwischenzeilen und der nicht geschlossenen Rebendecken, hinweist. Dieser Wert kann für die Formel übernommen werden.

Werden die Daten in das Tool eingetragen und es gestartet, gibt das GIS als Output nach Berechnung des SAVI ein, wie in *Abbildung 19* zu sehen, schwarz-weißes Orthomosaik mit dem Wertebereich -1 bis 1 aus, der dieselben Aussagen trifft wie der Wertebereich des NDVI, also im Prinzip Aussagen über die Vegetationsvitalität, hier der Rebenvitalität. Damit ist der SAVI berechnet und zu 100% deckungsgleich mit dem Index der Geocoptix GmbH. Die Analyse des SAVI und die Feststellung von möglichen Unterschieden zwischen den Kräutern bedarf allerdings weitere Schritte, die im Folgenden vorgestellt werden sollen.

2.3.3 Workflow: Geospatial Data Analysis

In der Literatur werden mehrere mögliche Analyseprozesse sichtbar, die für die „Geospatial Data Analysis“ (LEIMBROCK-ROSCHE et al. 2020, S. 133) benutzt werden können. CANDIAGO et al. (2015, S. 4034-4043) und PADUA et al. (2019, S. 8-14) schauen sich zum Beispiel flächenhafte Veränderungen im Weinberg an und versuchen durch Mittelwerte und Standardabweichungen Unterschiede festzustellen. Die grundlegende Fragestellung bei beiden ist, inwieweit sich bestimmte Bereiche eines Weinberges durch Umweltänderungen oder unterschiedliche Bewirtschaftungsmethoden verändern und wie sie durch UAS zu erfassen sind. LEIMBROCK-ROSCHE et al. (2015, S. 133-141) arbeiten unter ähnlichen Fragestellungen, jedoch werden Kernaspekte des Vergleiches zwischen den verschiedenen Bewirtschaftungsmethoden nicht herausgearbeitet, sondern eher visuelle Analysen zur Überblicksschaffung benutzt. HALL et al. (2002, S. 44) zeigen dagegen isolierte Weinreben und deren kategorisierte NDVI, sprechen hier als

wichtigsten Aspekt der Isolierung beziehungsweise Extrahierung eine Methode der Klassifizierung nach HALL et al. (2001) an. Dortige Erläuterungen konnten in dieser Arbeit allerdings keine Verwendung finden, da sie den Rahmen aufgrund des Komplexitätsgrades sprengen würden.

Eine wichtige Darstellungsmethode zeigen SMIT et al. (2010, S.73), den Scatterplot. Dieser wird zur Visualisierung von Datenpunkten in einem kartesischen Koordinatensystem genutzt und damit zur Veranschaulichung der Verteilung der Datenpunkte. (vgl. FRIENDLY/DENIS 2005, S. 103). Weitere Darstellungsmethoden zeigen CONDORELLI et al. (2018, S. 6-8) und XU et al. (2014, S. 3270f., 3273), sie nutzen eine Art von Diagramm zur Veranschaulichung mehrerer Variablen in einem Diagramm, genannt „Violin Plot“ (XU et al. 2014, S. 3273). Sie beinhalten die gleichen Informationen wie Boxplots und erweitern sie um die zusätzliche Variable der „Density Trace“ (HINTZE/NELSON 1998, S. 181), also im Prinzip der Häufigkeitsverteilung beziehungsweise des Histogramms der Datenpunkte. Der einzige Unterschied in der Zeichendarstellung neben der anderen Optik und der zusätzlichen Density Trace ist der Wegfall von Ausreißern, die durch die Density Trace ausreichend dargestellt werden (vgl. ebd.).

Für die Fragestellung nach den unterschiedlichen Einflüssen der Kräuter auf die Reben ist die Einteilung des Weinberges in die einzelnen Rebzeilen nötig. Aus diesen sollten dann die SAVI-Werte so extrahiert werden, dass ein Vergleich zwischen den Zeilen durch Graphiken und deskriptive statistische Zahlen wie Mittelwerten möglich wird. Zudem sollten als Vergleich der einzelnen Kräuter auch Gruppen gebildet werden können, die Tendenzen zeigen. Dies soll in anschaulichen Abbildungen, vorzugsweise Violin Plots, veranschaulicht werden. Diese sollten dann Aussagen über einen möglichen unterschiedlichen Einfluss der Kräuter auf das Rebenwachstum ermöglichen. Ein konkreter Prozessablauf für die folgenden Ausführungen konnte in der Literatur nicht gefunden werden, allerdings war ein Großteil der Teile des Prozesses durch empirische Kenntnisse im Rahmen von Übungen in der Geoinformatik an der Universität bekannt.

Die Extraktion der Reben kann im GIS aufbauend auf die Berechnung des SAVI durch Einteilung in die einzelnen Rebzeilen entsprechend der Zeilentypen mit dem Tool „Cut Raster“ durchgeführt werden (siehe *Anhang B*). Anschließend müssen die SAVI-Werte aus den geschnittenen Rebzeilen extrahiert werden. Da es in der Fragestellung vor allem um den Vergleich von Tendenzen der unterschiedlichen Kräutertypen gegenüber der Kontrollzeilen gehen soll, wurde an dieser Stelle erkannt, dass die exakten absoluten SAVI-Werte nicht von Bedeutung sind, sondern festgelegte kategorisierte Werte einfacher zu interpretierten und zu vergleichen

wären. Rasterdaten besitzen keine Attributtabelle, da „die Lage eines Objektes grundsätzlich durch die Position der entsprechenden Zellen in der aus Zeilen und Spalten bestehenden Datenmatrix erfasst [werden,] [...] die Objektgeometrie also nicht explizit abgespeichert“ (SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG 2001f) wird. Es fehlen aufgrund der kontinuierlichen Daten sozusagen also Attribute. Daher wurde, wie im Folgenden beschrieben, versucht, eine Klassifizierung der SAVI-Werte vorzunehmen, um dann eine anpassbare und exportierbare Attributtabelle mit den klassifizierten SAVI-Werten zu generieren.

Dies kann durch eine Reklassifizierung erreicht werden. Das Tool „Reclassify“ offeriert dabei die Möglichkeit, eine festgelegte Anzahl an Klassen zu bilden und die SAVI-Werte entsprechend in die Klassen zu sortieren. Als Input benötigt das Tool neben der Rasterdaten auch die Klasseneinteilung, die Bereichen des SAVI eine ID zuordnet. Nach einem Versuch mit 20 Klassen (-1 bis 1 in 0,1er-Schritten) ist aufgefallen, dass die Datendichte zu gering war, daher wurde die Klassenanzahl auf 200 erhöht mit den Abständen von jeweils 0,01 Einheiten des SAVI. Anschließend entsteht eine Attributtabelle (siehe *Tab. 2*), in der die absolute Menge der Pixel (*Count*), die in einem bestimmten Bereich des SAVI liegen, in den entsprechenden Klassen (*Value*) ausgegeben werden. Insgesamt wurden so 72 Datensätze erhoben, da sechs Reihen mal zwei Krauttypen und den Kontrollzeilen mal vier Monate vorliegen müssen, um alle Daten zu erfassen.

Tab. 2: Kopf der Attributtabelle vom Juni 2020 mit Umrechnung in echte SAVI-Werte (eigene Darstellung)

Value	Count	Typ	SAVI
97	2	k1	-0.03
98	2	k1	-0.02
101	4	k1	0.01
102	2	k1	0.02
103	4	k1	0.03
104	9	k1	0.04
105	11	k1	0.05
...

ArcGIS bietet durch das Tool „Reclass by ASCII File“ eine Möglichkeit, durch einen sogenannten Remap-File den Prozess der Erstellung von Attributtabelle für jeden Datensatz zu beschleunigen, indem dieses Tool auf Grundlage einer vorher geschriebenen Datei den Input der Klasseneinteilung im Tool „Reclassify“ ersetzt. Der Remap-File enthält die Anleitung zur

Klasseneinteilung (siehe *Anhang C*) und gibt die Bereiche des SAVI und die entsprechenden IDs an. Dadurch entfällt die Klasseneinteilung bei jedem Aufrufen des Tools. Wird „Reclass by ASCII File“ als Batchprozess aufgerufen, kann der gesamte Prozess massiv beschleunigt werden. Ist der Batchprozess durchgelaufen, können die generierten Tabellen zur weiteren Aufbereitung in eine Tabellenkalkulationssoftware exportiert werden.

Genutzt wurde dabei Microsoft Excel 2016, dort wurden aufgrund späterer Auswerteverfahren alle Rebzeilen mit einer Spalte „Typ“ erweitert, in denen die Typen der Rebzeilen eingetragen werden, und dann nach Monat zusammengeführt. Anschließend konnten die IDs mithilfe folgender Formel wieder in die echten SAVI-Wertebereiche umgerechnet werden (siehe *Tab. 2*):

$$SAVI = \frac{Value - 100}{100}$$

Diese Daten können bereits deskriptive Statistiken liefern. Benutzt wurde hier das Statistikprogramm SPSS Statistics 27.0.0.0 von IBM zur Generierung von benutzerdefinierten Tabellen, in denen die SAVI-Werte nach Typ gruppiert und entsprechend den Fragestellungen deskriptive Auswertestatistiken erstellt werden. Sinnvoll sind dabei aufgrund der Skalierung der Daten Minima, Maxima, Mittelwerte, Standardabweichungen sowie die Angabe eines Trends, der zeigt, wie sich die SAVI-Mittelwerte der verschiedenen Typen von Monat zu Monat verändert haben, da dadurch die Unterschiede zwischen den Rebzeilen quantitativ bestimmt werden können (vgl. CANDIAGO et al. 2015, S. 4037; CONDORELLI et al. 2018, S. 8; XU et al. 2014, S. 3270).

Die Daten graphisch sinnvoll darzustellen und dadurch auch visuell vergleichen zu können bedarf allerdings weiterer Software. Die zuvor angesprochenen Violin Plots sind aufgrund ihrer Eigenschaften gut geeignet zu sein, um die Daten ansprechend zu visualisieren (vgl. HINTZE/NELSON 1998, S. 181). Sie können sogar die zuvor angesprochenen deskriptiven Daten aus SPSS beinhalten und in einen neuen Kontext einbetten. Zur Erstellung der Diagramme wurde das Programm RStudio 1.3.959 auf Basis der Statistik-Programmiersprache R 4.0.2 genutzt, mit der zusätzlichen Bibliothek ggplot2 3.3.3. Diese bietet auf Grundlage von R die Möglichkeit, individuell angepasste Graphiken zu erstellen, unter die sowohl Scatterplots als auch Violin Plots fallen (vgl. WICKHAM 2016, S. 3, 21). Der benutzte Programmiercode zur Generierung beider Diagrammarten für alle Datensätze kann zur Überprüfung in *Anhang D* eingesehen werden. Als Vorbild dienten die Violin Plots von CONDORELLI et al. (2018, S. 6-8) und XU et al.

(2014, S. 3273).

Das Ziel bei der Generierung der Diagramme war, verschiedene Sortierungen der Daten einzuarbeiten, damit die visuellen Vergleiche einfacher gestaltet werden. Einerseits sollten die Rebzeilen entsprechend der geographischen Lage auf dem Weinberg sortiert werden, sodass ein direkter Vergleich mit Drohnenaufnahmen und des SAVI-Überblicks möglich wird, andererseits sollten sie so gruppiert werden, dass Unterschiede in den Tendenzen zwischen den Rebzeilen und der Krauttypen und den Kontrollzeilen sichtbar werden. Da diese Einteilung explizit für jeden Monat und somit alle Datensätze programmiert werden musste, wurde der Code entsprechend mit Variablen versehen, die das multiple Ausführen auch verschiedener Datensätze effizienter gestalten soll. Der Code kann in *Anhang D* eingesehen werden und stellt beispielhaft die Berechnungen für den Juni 2020 dar.

3. Quantifizierung des Einflusses der Kräuter auf die Reben

Die Quantifizierung des Einflusses der aromatischen Kräuter auf das Rebenwachstum im WJB muss genau wie die Generierung und Berechnung der Daten in mehreren Schritten erfolgen, da jede Visualisierungs- und Auswertemethode ergänzende Ergebnisse liefert und so schließlich ein Gesamtbild entsteht, welches konkrete Aussagen über die Rentabilität des Intercropings in Weinbergen liefern kann. Die beiden Teilaufgaben, die Erstellung von multispektralen Orthomosaiken der Kräuter und der Reben, konnten nicht gänzlich erfüllt werden, da die Datenlage zur Erfassung der Kräuter nicht ausreichend ist. Es wurde erläutert, wie ein dieses Vorhaben ermöglichender Workflow organisiert sein könnte, allerdings ist in *Abbildung 20* schon zu sehen, dass die Unterstockvegetationen auf den Fotos kaum zu sehen sind.

Dies dürfte auch der ausschlaggebendste Grund dafür sein, dass der benutzte Workflow mit den vorliegenden Daten nicht funktioniert hat. Auch die Einstellung der höchsten Genauigkeiten und das Abstellen jeglicher Interpolation können die Kräuter nicht erfassen. Trotzdem ist nicht zu verneinen, dass für die Landwirtschaft gerade mit diversifizierten Bewirtschaftungsmethoden solch eine Erfassung und anschließende Klassifizierung von Vegetationen von großem Nutzen sein könnten, wie die folgende Auswertung der Ergebnisse zeigen soll. Daher empfiehlt es sich an diesem Workflow anzuknüpfen und womöglich einen angepassten Bildmessflug durchzuführen, der in einer geringeren Flughöhe durchgeführt wird, um die Bodenauflösung zu erhöhen, sodass die Unterstockvegetationen erfasst werden können.



Abb. 20: Vergrößerter Ausschnitt des nahezu senkrechten Luftbildes vom WJB, 28.08.2018 (eigene Darstellung)

DITTRICH et al. (2021, S. 8f.) beschäftigen sich mit der gleichen Thematik auf derselben Testfläche, liefern aber die Ergebnisse des fehlenden ersten Teils, des Kräuterwachstums und deren Einfluss auf die Bodeneigenschaften. Sie zeigen, dass die gepflanzten Kräuter ein positives Wachstum in den Jahren 2018 bis 2020 verzeichnet haben und regelmäßig geerntet werden konnten. Daher werden ihre Daten und Aussagen für weitere Ausführungen genutzt.

3.1 Zeitlicher Verlauf im Gesamtüberblick

Dadurch, dass der erste Teil der Arbeit fehlgeschlagen ist, muss der zweite Teil, die Analyse der Rebenvolumina, verstärkt betrachtet werden, da es mit ihnen möglich ist, durch unterschiedliche Tendenzen der Kräutertypen Aussagen über den Einfluss der jeweiligen Kräuter zu treffen. Um die vorliegenden Daten in einen geographischen Überblick zu setzen, wurde eine Karte mit den SAVI-Werten des WJB in den vier Monaten Juni bis September (siehe Abb. 21) erstellt. Zu sehen sind nicht die schwarz-weiße Orthomosaik, welche nach Berechnung des SAVI generiert wurden, sondern nach bestimmten Werteangaben eingefärbte Orthomosaik. CANDIAGO et al. (2015, S. 4029, nach ADJEI et al. 2015, S. 558) beschreiben, dass der NDVI- und damit auch der SAVI-Wertebereich zwischen -1 und 1 in Kategorien eingeteilt werden kann. Negative Werte bis Null weisen auf eine Abwesenheit von Vegetation hin, da diese Werte im Grunde aussagen, dass das Objekt photosynthetisch inaktiv ist. Auch niedrige Werte von 0 - 0,2 deuten auf sehr schwache photosynthetische Aktivität hin, worauf zu schließen ist, dass

auch diese Objekte wahrscheinlich keine Vegetation abbilden. Der Bereich 0,2 - 1 weist dann auf Vegetation hin, wobei er sich ebenfalls unterteilen lässt in die Bereiche 0,2 - 0,4 mit Sträuchern und Gräsern, 0,4 - 0,6 mit Büschen und aktiverer Vegetation und 0,6 - 1 mit Baumkronen und Agrarprodukten während ihres Wachstumsmaximums. Daher wurde entschieden, die Einfärbung in einem Bereich von 0 - 0,32 vorzunehmen, wodurch nahezu vegetationsfreie Flächen rot bis gelb erscheinen und jegliche nennenswerte Vegetation in einem dazu

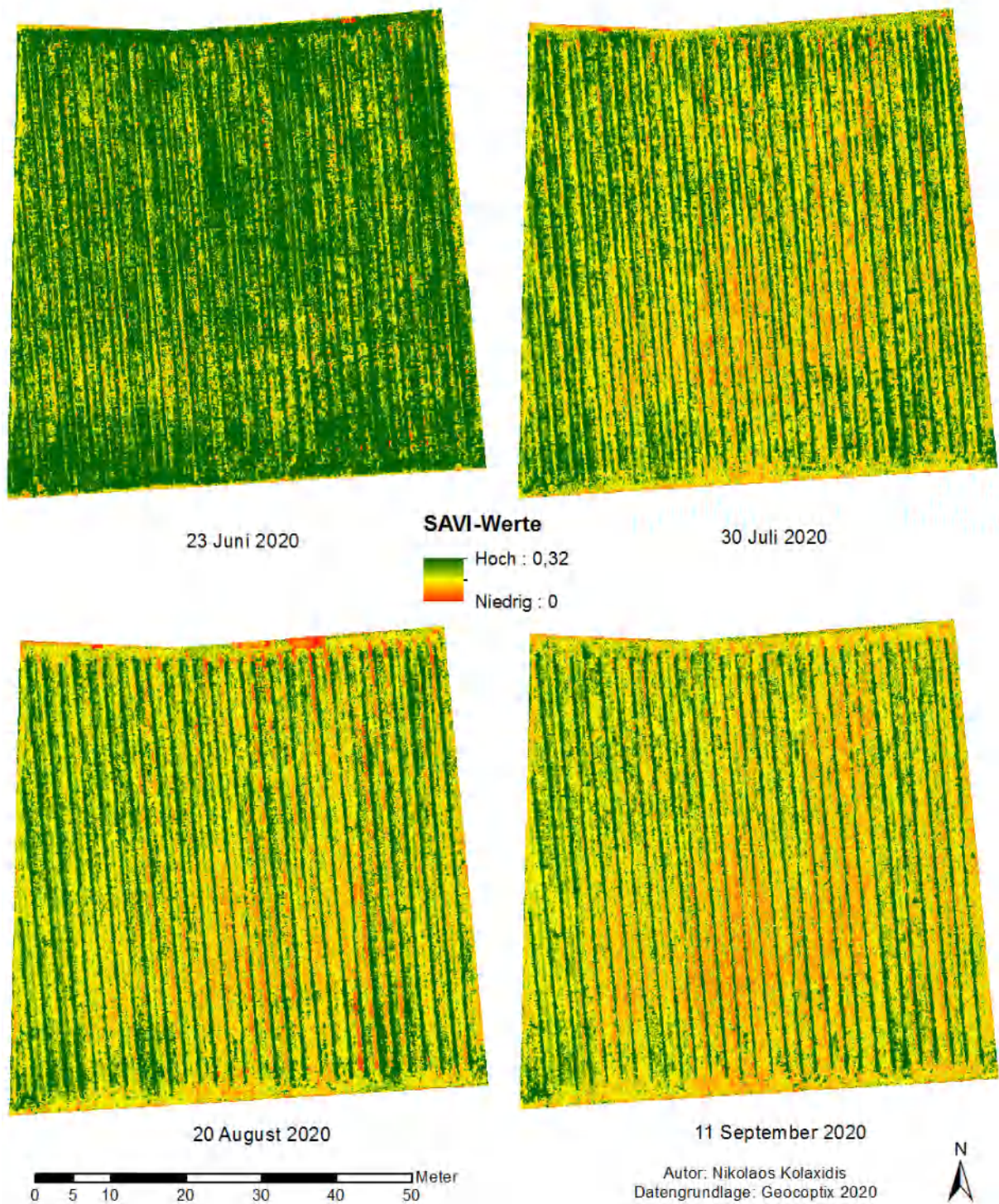


Abb. 21: Karte der SAVI-Werte des WJB in den Monaten Juni-September 2020. SAVI-Wertebereich wurde im Bereich 0-0,32 koloriert. Die Einteilung nach Rebzeilen kann in Anhang B eingesehen werden (eigene Darstellung)

kontraststarken Grün dargestellt wird.

Bei Betrachtung der *Abbildung 21* springt als erstes ins Auge, dass sich der Juni stark von den anderen drei Monaten durch wesentlich höhere Vegetationsmengen unterscheidet. Das liegt daran, dass Ende Juni der Rebschnitt stattgefunden hat, bei dem die Blätter an den Reben, die viel Energie brauchen, zu einem großen Teil abgeschnitten werden, wodurch das Traubenwachstum zur Ernte hin gefördert werden soll. Darüber hinaus fällt auf, dass die Rebzeilen in allen Monaten recht gut abgebildet sind und auch Vegetation in den Zwischenzeilen erfasst wurde, die scheinbar stetig über die Monate abnimmt. Ob die Rebzeilen an sich ab Juli an Volumen verlieren oder gewinnen ist nicht genau zu erkennen, allerdings wirken die Rebzeilen im September leicht ausgedünnt. Auch sind in den ersten drei Monaten an der Oberkante der Abbildungen rote Flecken zu sehen, die sehr niedrige bis negative SAVI-Werte andeuten. Durch einen Vergleich mit den Drohnenaufnahmen wurde festgestellt, dass es sich um geparkte Fahrzeuge und Werkzeug handelt. Auffällig ist ebenfalls, dass es einen größeren Bereich in der jeweils unteren Hälfte und dem rechten Drittel der Orthomosaike gibt, in dem ein niedrigerer SAVI (dunkelgelb bis orange) zu erkennen ist. Dies deutet auf einen trockeneren Bereich hin, der an dieser Stelle aber nicht weiter quantifiziert werden kann, allerdings womöglich in den Violin Plots wiederzuerkennen ist. Interessant ist auch, dass vor allem im Juni und Juli die geradlinige Vegetation in den Zwischenzeilen parallel zu den Rebzeilen recht aktiv aussieht, im August und September aber größtenteils zurückgegangen ist. Hier sollten klimatische Daten aus der Region hinzugezogen werden, um auch spätere Aussagen mit Wetterdaten stützen zu können.

Wie in *Abbildung 22* zu sehen, waren der Juli und August 2020 sehr trocken mit Höchsttemperaturen von annähernd 40 Grad Celsius Bodentemperatur und mit wenig Niederschlag, wobei Werte um die 4,5 - 7 Millimeter zwischen dem 16. und 18.08.2020 die Höchstwerte der beiden Monate darstellen. Am 30. und 31.08.2020 regnete es erneut knappe fünf Millimeter am Tag. Dagegen war der Juni recht feucht, mit doppelt so hohen Maximal- und doppelt so häufigen Niederschlägen, und ebenfalls etwas kühler. Im September blieben Niederschläge fast vollständig aus. Nur gegen Ende September nahmen sie stark zu. Das Wetter erklärt also, warum die Nebenvegetationen im Weinberg ab Juli und August zurückgegangen sind, allerdings nicht, warum es diesen markanteren Trockenbereich gibt.

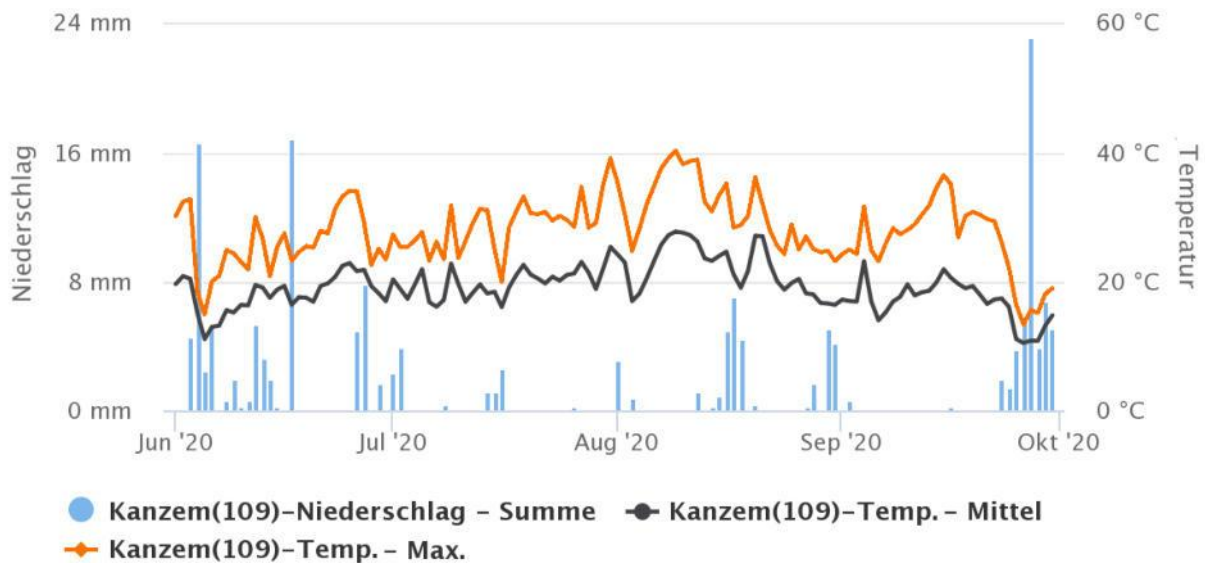


Abb. 22: Wetterdaten vom 01.06.2020 bis 30.09.2020 der Klimastation Kanzem (AGM 109), Tageswerte
(verändert nach AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2020)

Abschließend zur *Abbildung 21* ist zu sagen, dass keine Regelmäßigkeiten in den Rebzeilen, die auf eine Gruppierung nach Kräutern hindeuten könnten, zu erkennen sind. Um nun detailliertere Aussagen über den Einfluss der Kräuter treffen zu können, sollten die statistischen Analysen betrachtet werden.

3.2 Betrachtung einzelner Rebzeilen

Die *Anhänge E 1-4* zeigen die Violin Plots der vier Monate, sortiert nach ihrer jeweiligen geographischen Lage im Weinberg. Bei Betrachtung aller vier Monate fällt abermals direkt auf, dass sich die SAVI-Werte im Juli bis September insgesamt sehr ähneln und nur geringe Unterschiede deutlich werden, der Juni dabei allerdings durch einen anderen Verlauf der einzelnen Violin Plots heraussticht. Dies deckt sich mit den Beobachtungen in *Abbildung 21*, in der sich der Juni durch eine wesentlich dichtere Vegetation von den anderen Monaten abgrenzt. Da die Beobachtung durch die Plots bestätigt wird, ist anzunehmen, dass die Erstellung der Violin Plots erfolgreich verlaufen ist. Markant ist ebenfalls, dass im Juli bis September die SAVI-Werte sowohl in Zeilen mit Kräutern als auch in den Kontrollzeilen recht gering ausfallen und sich der Großteil im Bereich 0,1 bis 0,3 befindet, im Juni allerdings die Werte wesentlich mehr nach oben streuen. Im Juni ist ebenfalls zu erkennen, dass sich die Werte in den Kontrollzeilen mehr verteilen als in den Zeilen mit Kräutern, dort weisen sie trotz größerer Verteilung immer noch eine Konzentration der Werte im angesprochenen niedrigen SAVI-Bereich auf. Markant niedrige Mittelwerte von unter 0,4 weisen die Zeilen t3, o5 und t5 auf, von denen alle im erkannten Trockenbereich liegen. Allerdings weisen die jeweiligen Nachbarzeilen und die anderen Zeilen

im Trockenbereich nicht so niedrige Werte auf, was mit den Plots in der Form nicht erklärt werden kann. Die Kontrollzeilen zeigen hier die im Durchschnitt höchsten Mittelwerte, was auf einen leichten negativen Einfluss der Kräuter beim Rebenwachstum andeutet.

In den beiden Monaten nach dem Rebschnitt (siehe *Anhänge E 2 und E 3*) scheinen die Mittelwerte in den Zeilen mit Kräutern aber fast immer höher zu sein, das könnte ein Hinweis darauf sein, dass in den Kontrollzeilen mehr vitale Blätter entnommen wurden, was wiederum darauf hinweist, dass es wirklich einen Einfluss der Kräuter auf die Reben gibt. Allerdings keinen rein negativen wie bisher angenommen, sondern eher einen positiven Einfluss, sprich die Quantität des Rebenwachstums wird beeinflusst mit dem Resultat geringeren Blattwachstums, was ein Hinweis auf Wasserkonkurrenz ist, die Vitalität wird aber dagegen beeinflusst mit dem Resultat, dass die Rebvegetationen, die vorhanden sind und wachsen, vitaler beziehungsweise photosynthetisch aktiver sind. Für das Projekt würde dies bedeuten, dass das Intercropping mit aromatischen Kräutern sehr gut funktioniert und sogar einen positiven Einfluss auf die Rebenvitalität ausübt. Positiv ist ebenfalls anzumerken, dass besagte Zeilen mit niedrigen Mittelwerten sich wieder vollständig erholt und angeglichen haben. Ob dies damit zusammenhängt, dass viele vertrocknete Blätter der Reben entfernt wurden und der Mittelwert dadurch gestiegen ist, ist an dieser Stelle unklar, aber möglich.

Bei Betrachtung des SAVI im September (siehe *Anhang E 4*) wird jedoch klar, dass sich die Werte der Kontrollzeilen wieder an das Durchschnittsniveau angleichen. Es ist wahrscheinlich, dass die Zeilen mit Kräutern eine höhere Variabilität besitzen und stärker auf klimatische Bedingungen reagieren. Inwiefern hierbei von einem positiven oder negativen Einfluss gesprochen werden kann ist nicht eindeutig, da mit dem Wissen der höheren Variabilität auch Gegenmaßnahmen bei sehr trockenen oder sehr feuchten Bedingungen genutzt werden können, um ein optimales Wachstum sowohl der Reben als auch der Kräuter zu gewährleisten, wodurch insgesamt ein Maximum an Ertrag erreicht werden könnte. DITTRICH et al. (2021, S. 11) sagen sogar aus, dass eine zusätzliche Bewässerung der Rebzeilen einen positiven Effekt sowohl auf das Wachstum der Kräuter als auch auf das Wachstum der Reben zur Folge hätte.

Um zu eruieren, ob Tendenzen der Kräutergruppen sichtbar werden oder die Einflüsse in jeder Rebzeile unterschiedlich sind, müssen die Rebzeilen zu Gruppen zusammengefasst und Statistiken erhoben werden.

3.3 Gruppenunterschiede

Dazu wurden ebenfalls Violin Plots erstellt, die in *Anhang F* eingesehen werden können. Hier werden wesentliche Tendenzen allerdings ebenfalls nicht erkennbar. Im Juni unterscheiden sich die Gruppen noch recht offensichtlich in den Mittelwerten (Oregano = 0,44, Thymian = 0,42, Kontroll = 0,45) und des Aussehens, die Kontrollgruppe zeigt die schon in den einzelnen Rebzeilen erkannte größere Verteilung zu den oberen SAVI-Werten und die beiden Gruppen mit Kräutern sind wesentlich bauchiger, allerdings passen sich die Plots ab Juli an und erscheinen nahezu gleich. Der Mittelwert der Kontrollgruppe ist im Juni mit 0,45 am höchsten, nach dem Rebschnitt allerdings mit 0,44 im Gegensatz zu 0,46 in beiden Gruppen mit Kräutern am niedrigsten. Es ist sogar eine Abnahme des Mittelwertes zu sehen, wobei die Mittelwerte der beiden anderen Gruppen zunehmen. Dies weist abermals darauf hin, dass die Kräuter einen leichten positiven Einfluss auf die Rebenvitalität ausüben, da in den Kontrollzeilen insgesamt mehr Vegetation entfernt wurde, was erstmal auf ein höheres Rebenwachstum hinweist, die Vitalität in den Kräutergruppen aber zunimmt, was darauf hinweist, dass die Rebvegetationen vitaler sind.

Dieser Trend ist auch im August zu erkennen, die beiden Kräutergruppen haben auch hier mit 0,47 die höheren Mittelwerte, die um 0,01 Einheiten gestiegen sind. Sie sind allerdings nicht so schnell gestiegen wie der Mittelwert der Kontrollgruppe mit 0,46, dieser ist nämlich mit 0,02 Einheiten doppelt so schnell gestiegen. Hier können auch Rundungen die Werte ein wenig verfälschen, wird jedoch wie in *Tabelle 3* zu sehen angenommen, dass die Werte so stimmen, dann wäre das ein Hinweis darauf, dass die Kräuter eine Wasserkonkurrenz zu den Reben bilden, sodass diese nicht so schnell wachsen können wie in den Kontrollzeilen. Dies bestätigen DITTRICH et al. (2021, S. 12), die zeigen, dass in den Zeilen mit Kräutern üblicherweise geringere Mengen an Trauben geerntet werden konnten, wobei aber die Nährstoffgehalte im Boden größtenteils unverändert bleiben. Daher schließen sie auf eine erhöhte Wasserkonkurrenz, gerade angesichts der recht trockenen Bedingungen und des Ausfalls der regelmäßigen künstlichen Bewässerung.

Im September wird allerdings ersichtlich, dass die Werte alle abgenommen und sich wieder angeglichen haben, wobei der Mittelwert der Zeilen mit Oregano nun mit 0,42 der niedrigste ist. Zu erkennen ist in der Kontrollgruppe, dass die oberen SAVI-Werte, da der Boxplot die Density Trace des Violin Plot überlagert, niedriger sind als in den Kräutergruppen, wobei eine

leichte Konzentration im Bereich 0,5 bis 0,6 zu erahnen ist. In den beiden Kräutergruppen verteilen sich die Werte besser nach oben. Bedeuten könnte dies, dass die Kräuter aufgrund ihres Wurzelwerks eine Art Wasserspeicher bilden, sodass sich Trockenstress in den Reben erst zu einem späteren Zeitpunkt bemerkbar macht als in Zeilen ohne Unterstockvegetation. Allerdings wurzeln die Reben laut DITTRICH et al. (2021, S. 12, nach DE BAETS et al. 2007, LEHNART et al. 2008 und SOTIROPOULOU/KARAMANOS 2010) tiefer als die Kräuter und eher der obere Bodenbereich wird durch die Kräuter beeinflusst, der untere Bodenbereich bleibt von den Kräutern eher unberührt. Die Werte bewegen sich allerdings alle auf einem sehr ähnlichen Niveau, ob solche Beobachtungen in den Plots auch im Weinberg selbst zu sehen sind, ist unklar.

Da die Plots nur auf Hundertstel gerundete Werte aufzeigen und weitere Statistiken in den Plots nur visuell erfasst sind, wurden mithilfe von SPSS deskriptive Statistiken (siehe *Tab. 3*) berechnet, die, wo sinnvoll, auf Tausendstel runden und weitere Zahlen anführen, die die Violin Plots ergänzen. Sie zeigen, dass sich die SAVI-Werte der drei Gruppen Rebzeilen mit Oregano, Rebzeilen mit Thymian und Kontrollzeilen im Juni noch recht stark ähneln und nur vereinzelt einige geringe Unterschiede aufzeigen. Sie weisen gleiche Maximalwerte auf, die Mittelwerte bewegen sich in einem Bereich um 0,02 SAVI-Einheiten und die Werte zeigen eine gleiche Standardabweichung von fast 0,3. Interessant sind hier die Minimalwerte, denn Thymian weist als einziges ein etwas geringeres Minimum von -0,27 auf, das sich allerdings genau gegenteilig im geringeren Mittelwert von 0,416 im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen zeigt. Hier wird die Hypothese aufgestellt, dass sich in den Zeilen mit Thymian mehr Gras- und Strauchvegetation oder vegetationsfreie Flächen befinden als in den anderen Zeilen. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass Thymian besser konkurrierende Beikräuter unterdrücken kann. Der Mittelwert der Kontrollgruppe liegt mit 0,437 höher als bei den anderen beiden Gruppen, trotzdem sind die Unterschiede generell nur marginal.

Im Juli wird dieser Trend weitergeführt, Thymian weist abermals mit -0,06 den geringsten Minimalwert auf, dafür aber auch mit 0,99 das höchste Maximum, mit 0,464 den höchsten Mittelwert und mit 0,281 auch die geringste Standardabweichung. Dieser Anstieg des SAVI in diesen Zeilen wird auch durch den Trend von +0,049 beschrieben, der im Thymian doppelt so hoch ist wie im Oregano und mehr als sechsmal so hoch wie in der Kontrollgruppe. Nach dem Rebschnitt ist der SAVI im Mittel in allen Zeilen angestiegen (Oregano +0,026, Thymian +0,049, Kontroll +0,008), nur in der Kontrollgruppe ist der Anstieg sehr gering und vernachlässigbar. Die recht ähnlichen Werte und die fast gleiche Standardabweichung in allen drei Gruppen von

0,287, 0,281 und 0,286 lässt die Vermutung aufkommen, dass die Verteilung von photosynthetisch aktiver und inaktiver Vegetation in allen Zeilen ähnlich ist. Die Kontrollgruppe und Oregano sind sich ähnlicher, allerdings weisen die Zeilen mit Oregano, obwohl das Maximum mit 0,97 geringer ist, einen höheren Mittelwert von 0,457 im Gegensatz zu den 0,445 der Kontrollgruppe auf. Dies lässt vermuten, dass die Vegetation in den Zeilen mit Oregano und Thymian im Schnitt aktiver und damit gesünder ist.

Tab. 3: Deskriptive Statistiken der gesamten SAVI-Werte der Monate Juni-September 2020 des WJB (eigene Darstellung)

Juni					
Typ	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	-0.32	0.431	0.98	0.308	
Thymian	-0.27	0.416	0.98	0.312	
Kontroll	-0.34	0.437	0.98	0.298	
Juli					
Typ	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	-0.12	0.457	0.97	0.287	0.026
Thymian	-0.06	0.464	0.99	0.281	0.049
Kontroll	-0.12	0.445	0.98	0.286	0.008
August					
Typ	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	-0.07	0.471	0.99	0.291	0.014
Thymian	-0.07	0.470	0.98	0.287	0.005
Kontroll	-0.13	0.457	0.99	0.296	0.012
September					
Typ	Min	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	-0.10	0.420	0.95	0.270	-0.051
Thymian	-0.09	0.430	0.93	0.270	-0.040
Kontroll	-0.10	0.430	0.94	0.280	-0.027

Im August erscheinen die Rebzeilen erneut anders, den höchsten Trend haben die Zeilen mit Oregano (+0,014) und der Kontrollgruppe (+0,012), Thymian bleibt mit +0,005 nahezu unverändert. Auch die restlichen Werte zeigen nur eine sehr geringe Veränderung der Zeilen mit Thymian im Gegensatz zu denen mit Oregano, welche einen geringeren Minimalwert von -0,07, ein höheres Maximum von 0,99 und einen höheren Mittelwert von 0,471 aufweisen. Dadurch sind diese mit den Zeilen mit Thymian gleichgezogen. Die Kontrollgruppe hat zwar

einen ähnlichen Trend von +0,012, aber aufgrund des ebenfalls geringen Trends von Juni auf Juli zeigen die Zeilen der Kontrollgruppe im August die geringsten Mittelwerte von 0,457, 0,13 - 0,14 weniger als die beiden anderen Zeilen, auf. Im Hinblick auf die recht trockenen Monate Juli und August, in denen die Zwischenvegetation entsprechend *Abbildung 21* scheinbar abgenommen hat, ist es doch verwunderlich, dass die SAVI-Werte trotzdem zugenommen haben. Es muss somit am Rebenwachstum gelegen haben, welches trotz der trockenen Bedingungen weiter zugenommen hat. Eine Erklärung könnte künstliche Bewässerung des Unterstockbereiches sein, wodurch die Reben mit Wasser versorgt werden, die Zwischenzeilen allerdings nicht.

Nach dem zwar weniger, aber immer noch recht trockenen August mit Höchsttemperaturen um die 40 Grad Celsius nehmen im September die Gruppen im Mittel alle ab, am stärksten die Zeilen mit Oregano (-0,051), gefolgt von Thymian (-0,04) und Kontroll mit der geringsten Abnahme des SAVI um -0,027. Es wurden ebenfalls die geringsten Maximalwerte und die geringsten Standardabweichungen gemessen, was sehr wahrscheinlich auf die anhaltenden trockenen Bedingungen zurückzuführen ist. Die Minimal- und Mittelwerte sind sich in allen drei Gruppen sehr ähnlich, lediglich der Mittelwert der Zeilen mit Oregano ist mit 0,42 um 0,01 Einheiten niedriger.

Über die vier Monate haben sich die Gruppen also minimal unterschiedlich entwickelt und sind zum September hin alle auf einen fast gleichen Stand gekommen. Die größte Variabilität weisen die beiden Zeilen mit Kräutern auf, in welchen der SAVI einerseits von Juni bis August am meisten im Mittel zugenommen, andererseits dann von August auf den September am meisten abgenommen hat. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Kräuter bei Trockenstress eine Wasserkonkurrenz zum Wein verursachen und dem Wein so Wasser für eine gesunde Rebenvitalität fehlt, wie DITTRICH et al. (2021, S. 12) ebenfalls beweisen. Grund für die Annahme ist die dagegen geringere Variabilität in den Kontrollzeilen. Allerdings scheinen die Kräuter bei guten Bedingungen einen eher positiven Einfluss auf die Rebenvitalität zu üben, da sowohl im Juli als auch August die Mittel und Maximalwerte der Zeilen mit Kräutern höher sind, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass sie vorhandene Bodenfeuchte durch ein dichteres Wurzelwerk schlichtweg aufgrund ihrer Quantität besser speichern können und somit indirekt dem Wein zur Verfügung stellen können, da eine üblicherweise schnelle Infiltration in den Unterboden aufgrund des hohen Skelettgehalts und Grobporenanteils des Bodens durch eine Vegetationsdecke verhindert wird. Dies deckt sich dann mit den Beobachtungen in den

Violin Plots.

3.4 Gruppenunterschiede über SAVI 0,32

Um diese Annahmen näher beurteilen zu können, wurden die Daten entsprechend der *Abbildung 21* bei 0,32 geclipped, was im Grunde heißt, dass alle Werte darunter aus der Statistik ausgeschlossen werden. Dadurch soll eine Analyse des für die Fragestellung interessanteren Teiles der Vegetationen ohne einen Einfluss von photosynthetisch inaktiver Vegetation ermöglicht werden. Die Violin Plots können in *Anhang G* eingesehen werden. Dieser kleinere Bereich offeriert auf den ersten Blick bereits neue Informationen aufgrund unterschiedlichen Aussehens der Plots, obwohl die Mittelwerte der Gruppen durchweg stets ähnlich sind.

Im Juni liegt der Mittelwert bei 0,63, die Plots sehen jedoch unterschiedlich aus. Gerade der Bereich zwischen 0,5 und 0,7 zeigt die markantesten Unterschiede, wahrscheinlich hat der Bereich über 0,8 aber den größeren Einfluss darauf, dass die Mittelwerte gleich sind. Aufgrund der bauchigen Form der Gruppe mit Thymian ist anzunehmen, dass hier insgesamt höhere Werte über 0,8 oder 0,9 in höherer Quantität vorkommen, wodurch die Konzentration der Werte im Bereich um die 0,4 ausgeglichen wird. Ähnlich verhält es sich mit der Gruppe mit Oregano, hier sind zwei konzentrierte Bereiche um 0,4 und um 0,75 zu erkennen. Dass der Bereich um die 0,4 in allen Plots in allen Monaten eine gewisse Konzentration aufzeigt liegt daran, dass die Werte unter 0,4 stark zunehmen, die Violin Plots aber so programmiert sind, dass sie an den oberen und unteren Enden in Spitzen zusammenlaufen sollen. Da jedoch ein sogenannter „Trim“ gewählt wurde, um die Werte nach ihrem Vorkommen zu begrenzen und nicht die Plots bis zum genauen Zusammenlaufen weiterberechnen zu lassen, erscheint der Bereich um 0,4 als höher konzentriert als die anderen Bereiche der Plots. Wahrheitsgetreu sind damit die Werte über 0,4, und nur diese werden für den visuellen Vergleich hinzugezogen.

Die Plots im Juli sehen alle drei nahezu deckungsgleich aus und weisen die gleichen Mittelwerte von 0,63 auf. Daraus ist zu schließen, dass nach dem Rebschnitt die Vegetationen tatsächlich fast exakt gleich gekürzt wurden, durch Änderung der Mittelwerte laut *Tabelle 3* dann wahrscheinlich mehr trockene Vegetation in den Zeilen mit Kräutern und mehr photosynthetisch aktive Vegetation, wahrscheinlich Blätter der Reben, in den Kontrollzeilen entnommen wurden. Dies würde bedeuten, dass die Kräuter tatsächlich eine Wasserkonkurrenz zur

Vegetation in den Zeilen bilden, allerdings nicht zu den Reben, sondern zur Zwischenzeilenvegetation mit üblicherweise niedrigerem SAVI. Da die Rebenvitalitäten aber nicht sonderlich zunehmen, ist es durchaus möglich, dass die Kräuter das Wachstum der Reben und von Beikräutern in den Zwischenzeilen durch Wasserkonkurrenz behindern, allerdings durch Abnahme der Beikräuter wiederum mehr Wasser für die Reben zur Verfügung steht. Für das Intercropping bedeutet das, dass durch die Kräuter die Reben sowohl aktiv negativ als auch indirekt positiv beeinflusst werden und somit insgesamt in ökologischen Weinbergen mit Weinbergsvegetationen nicht mehr oder weniger als ohne die Kräuter, dadurch also zusätzlich zum Wein weitere Agrarprodukte angebaut werden können, ohne die Reben an sich großartig zu beeinflussen. Das würde die gleichen Mittelwerte erklären und einen Erfolg für das Projekt im CS09 bedeuten.

Im August ändert sich das Aussehen der Plots abermals, die Kontrollgruppe weist eine leicht höhere Konzentration im Bereich 0,65 auf, trotzdem bleiben die Mittelwerte auf gleichem Niveau, was ebenfalls für oben getätigte Aussagen spricht. Da alle Mittelwerte gestiegen sind, wird bewiesen, dass die Reben egal in welcher Gruppe weiterhin wachsen können. Im September nehmen die Werte entsprechend *Abbildung 21, Anhang E* und *Tabelle 3* in allen Gruppen stark ab, wobei die Kontrollgruppe den um 0,01 Einheiten höheren Mittelwert von 0,61 aufweist. Das wäre ein Gegenargument gegen die Annahme, dass sich Trockenstress in den Reben erst später bemerkbar macht. Vielmehr sollte die Aussage dahingehend korrigiert werden, dass wahrscheinlich die Beikräuter durch den Wasserspeicher profitieren, die Reben dadurch aber eher Trockenstress erleiden. Aber auch hier bewegen sich die Werte auf einem gleichen Niveau und zeigen nur marginale Unterschiede, wodurch auch hier deskriptive Statistiken hinzugezogen werden müssen.

Tabelle 4 zeigt dabei in der gleichen Aufschlüsselung ohne die Minimalwerte, die aufgrund des Clips bei 0,32 liegen, andere Tendenzen im Gegensatz zu *Tabelle 3*, in der alle SAVI-Werte mit einbezogen werden. Die Standardabweichungen sind alle wesentlich geringer als in *Tabelle 3*, was daraufhin deutet, dass die größere Menge an Werten aus den unteren Bereichen des SAVI kommt. Ebenfalls zeigen die Trends von Juni auf Juli und von Juli auf August minimalste Änderungen in den Mittelwerten. Das lässt darauf schließen, dass die vegetationsfreien Flächen unter einem SAVI von 0,32 eine große Rolle in der Entwicklung der Trends spielen, sich die Rebenvitalität an sich also im Grunde kaum verändert hat. Es lassen sich aber auch Gemeinsamkeiten erkennen, denn wie in *Tabelle 3* nehmen auch hier die Werte im September stark

ab, sodass auszusagen ist, dass die sich Trockenheit tatsächlich auch auf die Rebenvitalität negativ auswirkt.

Tab. 4: Deskriptive Statistiken der SAVI-Werte über 0,32 der Monate Juni-September 2020 des WJB (eigene Darstellung)

Juni				
Typ	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	0.634	0.98	0.185	
Thymian	0.632	0.98	0.184	
Kontroll	0.627	0.98	0.181	
Juli				
Typ	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	0.634	0.97	0.185	0.000
Thymian	0.632	0.99	0.184	0.001
Kontroll	0.626	0.98	0.181	-0.001
August				
Typ	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	0.644	0.99	0.190	0.010
Thymian	0.640	0.98	0.188	0.008
Kontroll	0.641	0.99	0.189	0.015
September				
Typ	Mittelwert	Max	Standardabweichung	Trend
Oregano	0.601	0.95	0.167	-0.043
Thymian	0.604	0.93	0.168	-0.036
Kontroll	0.613	0.94	0.174	-0.028

Wichtig anzusprechen wären die Mittelwerte der Kontrollgruppe im Vergleich zu den Zeilen mit Kräutern, denn im Juni und Juli sind sie niedriger, im August gleich und im September höher. Das widerspricht die oben getätigte Aussage, dass die Zeilen mit Kräutern eine höhere Variabilität aufweisen. Mit dieser Information ist ebenfalls zu vermuten, dass die Kräuter vor allem den Unterstock- und Zwischenzeilenbereich beeinflussen und weniger die Rebenvitalität, in den Kontrollzeilen die Rebenvitalität aber eher den klimatischen Bedingungen ausgesetzt ist. Die Annahme, dass die Kräuter eine Art Wasserspeicher bilden, ist durchaus möglich. Allerdings wird dieser nur kurzfristig nach einem Niederschlagsereignis verfügbar sein und die Kräuter bei anhaltender Trockenheit eine immer größere Konkurrenz zu den Reben bilden.

3.5 Ergebnis

Insgesamt bewegen sich alle Werte der vier Monate und drei Gruppen auf einem sehr ähnlichen Niveau und aussagekräftige Tendenzen und Unterschiede sind kaum zu erkennen. Sie weisen auf eine leichte Wasserkonkurrenz der aromatischen Kräuter zu den Reben hin, allerdings wird diese durch eine potentielle Konkurrenz zu Nebenvegetationen minimiert, sodass die Reben gerade in ökologischen Weinbergen, in denen der Unterstock bereits bewachsen ist, kaum durch die zusätzlichen Kräuter beeinflusst werden sollte. Die Quantifizierung von Unterschieden zwischen den beiden Kräutergruppen gestaltet sich als schwierig, da die einzelnen Rebzeilen recht variabel auf klimatische Einflüsse reagieren und keine klaren Tendenzen zeigen, sondern recht randomisierte Werte aufweisen. Es ist wahrscheinlich, dass durch die Zusammenfassung in Gruppen einige stärkere Unterschiede neutralisiert werden, allerdings gestaltet sich so ein direkter Vergleich potentieller Tendenzen am effektivsten. Unter Zunahme von entsprechenden Maßnahmen wie regelmäßigen Kontrollen des Wachstums bei der Vegetationen und einer kontrollierten regelmäßigen Bewässerung ist aber ein grundlegend positiver Effekt für die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit in Weinbergen ganz nach Fragestellung des Diverfarming möglich. Dies zeigen auch DITTRICH et al. (2021, S. 12f.), die eine Empfehlung zur Eruierung eines sinnvollen Zeitpunkts zur Kräuterpflanzung und eine kontrollierte regelmäßige Bewässerung bei trockenen Bedingungen, wie sie in den nächsten Jahren in Mitteleuropa zunehmend zu erwarten sind, aussprechen, wodurch die negativen Effekte der aromatischen Kräuter auf das Rebenwachstum, gerade Wasser- und Nährstoffkonkurrenz, zu einem Großteil negiert werden könnten. DURAN ZUAZO/RODRIGUEZ PLEGUEZUELO (2018, S. 80) zeigen außerdem, dass Vegetationsdecken eine sinnvolle Maßnahme gegen die Erodibilität darstellen und dadurch zur Hangstabilität beitragen, von der auch die Weinreben profitieren würden. Die Kräuter bilden überdies einen Naturraum für Fauna im Unterstock und diversifizierterer Flora in den Zwischenzeilen, was ebenfalls ein großer Vorteil für die ökologische Nachhaltigkeit darstellt, die gerade in der Landwirtschaft eine immer größere Bedeutung gewinnt. Durch Einbringung von Insekten in die Kräutervegetationen kann darüber hinaus auch Schädlingen vorgebeugt werden, was sich in für den Wein positiven Effekten äußert (vgl. GUERRA/STEENWERTH 2012, S. 154f.).

Im Bezug zu den Fragestellungen des Lfp und Diverfarming, die dieser Arbeit zugrunde liegen, kann daher ausgesagt werden, dass unter Einbeziehung einiger weiterer Beobachtungen und künstlicher Bewässerung, die in den mittleren Breiten aufgrund des fortschreitenden

Klimawandels (vgl. DITTRICH et al. 2021, S. 13; IPCC 2015, S. 2ff., 40ff.) ohnehin nötig wird, das Intercropping von Weinreben mit aromatischen Kräutern als ökologisch und ökonomisch sinnvoll eingestuft und eine klare Empfehlung für potentielle Praktiker*innen ausgesprochen werden kann.

4. Bewertung benutzter Methoden

Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass sich der SAVI gut eignet, um auch geringe Unterschiede in der Vegetationsvitalität erkenntlich zu machen. Auch CANDIAGO et al. (2015, S. 4043f.), HALL et al. (2002, S. 45f.) und MATESE/DI GENNARO (2018, S. 11) geben an, dass sich multispektrale UAS-Aufnahmen gut für Precision Farming im Weinbau eignen und viele zusätzliche Informationen zu den sonst zeitaufwändigen Feldmethoden liefern können. Gerade in Kombination mit den feldmethodischen Ergebnissen von DITTRICH et al. (2021, S. 10ff.) können aussagekräftige Gründe dafür gezeigt werden, dass sich ein Intercropping in Weinbergen mit aromatischen Kräutern lohnt. Allerdings sind nicht alle durch den SAVI erkannten Einflüsse auf das Rebenwachstum und die Rebenvitalität auf die Kräuter im Unterstock zurückzuführen, zunehmende trockene Bedingungen im Hochsommer üben einen größeren Einfluss auf ein gesundes Rebenwachstum aus, wie der Verlauf von August auf September zeigt. Der SAVI schließt bei den gewählten Methoden alle Werte der Zeilen mit ein, ein Vergleich von extrahierten Rebenvolumina auf Grundlage von automatischen Klassifizierungsverfahren wie in HALL et al. (2002, S. 40, 44) oder selektierten Bereichen des Weinberges wie in CANDIAGO et al. (2015, 4035ff.) wäre unter Umständen sinnvoller, um die Daten besser auf einen Einfluss der Kräuter herunterzubrechen. Scatterplots (siehe *Anhang H*) unterstreichen, dass die benutzte Methode der Violin Plots aufgrund mangelnder Erfahrung und eines dadurch fehlerhaften R-Codes nicht gänzlich die Realität abbildet, da die Peaks in den Bereichen 0,1 bis 0,4 in den Violin Plots nicht in dieser Exzentrizität sichtbar sind. Sie zeigen aber auch, dass es keine klaren Tendenzen der verschiedenen Gruppen gibt, sondern alle Werte einem ähnlichen Verlauf folgen und keine Gruppe Trends nach oben oder unten aufweist. Dadurch sind die getroffenen Aussagen wahrscheinlich trotzdem korrekt, gerade im Vergleich zu den ergänzenden Daten von DITTRICH et al. (2021), deren Daten in ähnlicher Weise interpretiert werden können.

Daten des ersten Teiles der Arbeit, der Erfassung der Kräutervolumina, hätten die Daten der Rebenvolumina gut ergänzen können, sodass mehr Klarheit über die Einflüsse aufeinander

geschaffen werden könnte, allerdings ist im Verlauf der Arbeit klar geworden, dass die Einbeziehung beider Datensätze wahrscheinlich den Rahmen einer Bachelorarbeit gesprengt hätte. Ebenso wäre es möglich, weitere Daten aus den Orthomosaiken mittels Konvertierung in ASCII-Daten zu extrahieren und so genauere Violin Plots mithilfe eines weiterführenden R-Codes und weitere deskriptive Statistiken zu generieren, die mithilfe statistischer Verfahren auf signifikante Unterschiede getestet werden könnten, allerdings übersteigt auch das den zeitlichen Rahmen von Bachelorabschlussarbeiten, genau wie die Analyse weiterer Auswertungsmethoden wie den Scatterplots oder der Einbeziehung anderer Programme wie MathWorks MATLAB. Der Anreiz für künftige Arbeiten sollte daher zum einen die Erstellung eines geeigneten Flugplans sein, damit auch Kräutervolumina erfasst werden können, zum anderen die Analyse weiterer Monate und Jahre, um einen möglichst großen Datensatz zu generieren, der in seiner Gesamtheit Aufschluss darüber gibt, ob Tendenzen in den einzelnen Gruppen sichtbar werden. Dabei sollte die Extraktion der Reben beziehungsweise Kräuter und die Konvertierung der Daten in ASCII-Matrizen bevorzugt werden, damit möglichst genaue Violin Plots erstellt und dadurch präzisere Aussagen getroffen werden können.

5. Fazit und Ausblick

Die Feldstudie CS09 hat sich zum Ziel gesetzt, im Rahmen des Diverfarming-Projekts ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit durch Diversifizierung im Weinbau zu untersuchen, indem aromatische Kräuter in den Unterstock eines ökologisch bewirtschafteten Weinberges gepflanzt und beobachtet wurden. Eingebettet in dieses Projekt am Beispiel der Feldstudie beschäftigte sich diese Abschlussarbeit mit der Frage, inwiefern der Einfluss der Kräuter *Origanum vulgare* oder *Thymus vulgaris* auf das Rebenwachstum und die Rebenvitalität durch multispektrale Aufnahmen von UAS quantifizierbar ist. Die dazu nötige Erfassung und Messung des Kräuterwachstums schlug aufgrund eines nicht geeigneten Bildmessfluges der Drohne fehl, das Klassifizieren von Punktwolken in SfM scheint aber eine geeignete Methode zu sein, um verschiedene Vegetationen zu erfassen und voneinander zu trennen. Im Gegensatz dazu konnte aber das Rebenwachstum über vier Monate im Jahr 2020 durch die Erstellung von Orthomosaiken beobachtet werden, aus denen zur Analyse der Rebenvolumina und -vitalitäten der SAVI berechnet wurde, der Aufschluss über die photosynthetische Aktivität von Vegetationen gibt. Durch diesen war es möglich, auch geringe Unterschiede im

Rebenwachstum von Juni bis September 2020 zu erkennen und zu analysieren.

Tools im GIS machen es möglich, Rebzeilen voneinander zu trennen und den Kräutergruppen zuzuweisen, wobei eine Klassifizierung der Werte die Extrahierung in festgelegte Bereiche des SAVI zur Weiterverarbeitung ermöglicht. Der SAVI schließt dabei aufgrund der benutzten Methode alle Pixelwerte der Orthomosaik ein, wodurch erst durch Auslassen bestimmter Wertebereiche konkretere Aussagen über das Wachstum von Vegetationen möglich sind. Weiterhin ist es durch zusätzliche Programme möglich, die erhobenen Werte in Violin Plots darzustellen, die Boxplots mit einem Histogramm erweitern und somit auf einen Blick mehrere Informationen zusammenführen.

Analysen dieser Plots und dazugehöriger deskriptiver Statistiken haben gezeigt, dass die Kräuter gerade bei guten klimatischen Bedingungen einen sehr geringen Einfluss auf das Rebenwachstum haben. Erst bei langanhaltenden trockenen Bedingungen, wie in dem beobachteten Jahr über zwei Monate, steigt die Wasserkonkurrenz zu den Reben und sie zeigen zunehmenden Trockenstress. Dies zeigt sich am deutlichsten im zeitlichen Verlauf von August auf September, dort nehmen alle Werte um bis zu 0,04 Einheiten des SAVI ab, was auf eine Vertrocknung der Vegetationen hinweist. Dies steht in Kontrast zu den Monaten Juli und August, in denen trotz trockener Bedingungen höhere Mittelwerte gemessen werden konnten, die eine Restfeuchte im Boden zeigen. Durch das dichtere Wurzelwerk im Oberboden können die Kräuter Bodenfeuchte nach einem Niederschlagsereignis über einen längeren Zeitraum halten, wodurch das Wasser indirekt dem Wein zur Verfügung steht. Der Juni grenzt sich von den anderen Monaten durch eine hohe Vegetationsdichte ab, da erst Ende Juni der Rebschnitt stattgefunden hat. Die anschließenden Verläufe von Juli bis September zeigen daher das tatsächliche Wachstum der Vegetationen ab einem gemeinsamen Punkt an und sind somit aussagekräftig.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass Nebenvegetationen in den Zwischenzeilen, wie sie in ökologisch bewirtschafteten Weinbergen häufig anzutreffen sind, durch die Kräuter teilweise verdrängt werden. Bewiesen wird dies durch eine hohe Variabilität der Kräuter im unteren SAVI-Bereich und eine geringe Variabilität im oberen SAVI-Bereich, parallel dazu eine hohe Variabilität der Kontrollzeilen im oberen SAVI-Bereich über die drei Monate nach dem Rebschnitt. Das kann langfristig einen positiven Effekt auf den Ernteertrag ausüben, da konkurrierende Nebenvegetationen verdrängt und durch nutzbare Agrarprodukte ersetzt werden. Durch eine kontrollierte Bewässerung, die aufgrund des fortschreitenden Klimawandels

ohnehin immer notwendiger wird, können anhaltende günstige Bedingungen geschaffen werden, die sich in einem rentablen Wachstum von Kräutern und Reben äußern und die negativen Effekte der Kräuter negieren.

Weitere positive Effekte von Vegetationen im Unterstock sind zum einen die Verminderung der sonst hohen Erodibilität von Steillagenweinbergen und der zusätzliche Naturraum für Flora und Fauna, die durch gezielte Einbringung von Insekten einen natürlichen Schädlingschutz bieten können. Sowohl in ökologischen wie auch in konventionellen Weinbergen sprechen die Argumente für eine langfristige Sicherung des Ertrags der Weinreben mit zusätzlichem Ertrag durch die aromatischen Kräuter.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Feldstudie CS09 im Rahmen des Diverfarming liefert diese Abschlussarbeit weitere Argumente, warum sich ein Intercropping von Weinreben mit aromatischen Kräutern ökologisch lohnt. Daher kann ausgesagt werden, dass es durch multispektrale Aufnahmen von UAS durchaus möglich ist, mithilfe der Berechnung von Vegetationsindizes auf einen Einfluss der aromatischen Kräuter auf das Rebenwachstum zu schließen. Die detaillierte Analyse der Rebvegetationen kann ebenfalls konkrete Hinweise auf Einflüsse verschiedener Kräuter liefern, wodurch zusätzlich zur übergeordneten Fragestellung eine der beiden Unterfragestellungen, ob nur durch Analyse der Reben auf einen Einfluss der Kräuter geschlossen werden kann, bejahend beantwortet werden kann.

Eine längere Datenreihe und die Einbeziehung von Kräutervolumina könnte weiteren Aufschluss darüber geben, wie sehr die Kräuter tatsächlich das Rebenwachstum beeinflussen und welche der getesteten Kräuter sich besser zum Intercropping eignen. Unter Zunahme von Ertragshöhen und Verkaufsmengen könnte näher berechnet werden, ob sich das Intercropping in dieser Form auch ökonomisch für Winzer*innen lohnt, was einen Erfolg für die Feldstudie und das Diverfarming-Projekt bedeuten würde. Ein Vergleich mit Studien in konventionellen Weinbergen und entsprechendem Erfolg kann die Attraktivität von Diversifizierung in der Landwirtschaft langfristig steigern und eine Wende hin zu ökologischer Landwirtschaft bedeuten.

Literaturverzeichnis

ABER, J.S./ABER, S.W./PAVRI, F. (2012): Unmanned smallformat aerial photography from kites for acquiring large-scale, high resolution, multiview-angle imagery. - In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34, o.S. Emporia, Vereinigte Staaten von Amerika.

ABER, J.S./MARZOLFF, I./RIES, J.B. (2010): Small-Format Aerial Photography. Principles, Techniques and Geoscience Applications. 1. Auflage. Elsevier, Amsterdam, Niederlande und Oxford, Großbritannien.

ADJEI, Z.Y.A./THYFAULT, M.J./WILLIAMS, G.P. (2015): Exploring Emergent Vegetation Time-History at Malheur Lake, Oregon Using Remote Sensing. - In: Natural Resources, 6, S. 553-565.

AGISOFT (2017): Agisoft PhotoScan User Manual. Professional Edition, Version 1.3. - URL: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf [10.08.2021].

AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ (2020): Wetterstation Kanzem (AGM 109). - URL: <https://www.am.rlp.de/Agrarmeteorologie/Wetterdaten/Alphabetisch/AM109> [28.08.2021].

CANDIAGO, S./REMONDINO, F./DE GIGLIO, M./DUBBINI, M./GATTELLI, M. (2015): Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. - In: Remote Sensing, 7, S. 4026 - 4047.

COLWELL, J.E. (1974): Vegetation Canopy Reflectance. - In: Remote Sensing of Environment, 3, S. 175 - 183.

CONDORELLI, G.E./MACCAFERRI, M./NEWCOMB, M./ANDRADE-SANCHEZ, P./WHITE, J.W./FRENCH, A.N./SCIARA, G./WARD, R./TUBEROSA, R. (2018): Comparative Aerial and Ground Based High Throughput Phenotyping for the Genetic Dissection of NDVI as a Proxy for Drought Adaptive Traits in Durum Wheat. - In: Frontiers in Plant Science, 9:893, o.S.

COOK, J. (2006): Toward cropping systems that enhance productivity and sustainability. - In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103 (49), S. 18389 - 18394.

CROP DIVERSIFICATION CLUSTER (2019): Crop Diversification Cluster. Joining forces to diversify European agriculture. Flyer. - URL: https://www.cropdiversification.eu/fileadmin/cropdiversificationcluster/documents/CDC_leaflet_draft7.pdf [19.06.2021].

DITTRICH, F./ISERLOH, T./TRESELER, C.-H./HÜPPI, R./OGAN, S./SEEGER, M./THIELE-BRUHN, S. (2021): Crop Diversification in Viticulture with Aromatic Plants. Effects of Intercropping on Grapevine Productivity in a Steep-Slope Vineyard in the Mosel Area, Germany. - In: *Agriculture*, 11(2):95, o.S.

DE BAETS, S./POESEN, J./KNAPEN, A./BARBERÁ, G.G./NAVARRO, J.A. (2007): Root Characteristics of Representative Mediterranean Plant Species and Their Erosion-Reducing Potential during Concentrated Runoff. - In: *Plant Soil*, 294, S. 169 - 183.

DIVERFARMING (2019): Nutzpflanzen-Diversifizierung und Landwirtschaft mit reduziertem Aufwand in Europa. Vom Engagement der Praktiker und den Ökosystemleistungen bis zur Steigerung der Einnahmen und der Organisation der Wertschöpfungskette. Flugblatt, Trier.

DIVERFARMING (2020): Diversifizierung der Kulturpflanzen und gering verdienende Landwirtschaft in ganz Europa: von Engagements und Ökosystemleistungen der Praktiker bis hin zu höheren Einnahmen und der Organisation der Wertschöpfungskette. - URL: <http://www.diverfarming.eu/images/casestudy/CS9-Deu.pdf> [18.06.2021].

DIVERFARMING (2021): Projekt. - URL: <http://www.diverfarming.eu/index.php/de/projekt> [18.06.2021].

DURAN ZUAZO, V.H./RODRIGUEZ PLEGUEZUELO, C.R. (2008): Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. - In: *Agronomy for Sustainable Development*, 28, S. 65 - 86.

ECOVIN (2021): Aus gutem Grund. Bundesverband Ökologischer Weinbau e.V. - URL: <https://www.ecovin.de/aus-gutem-grund/> [20.06.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020): Statistical Factsheet. European Union. - URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agri-statistical-factsheet-eu_en.pdf [30.06.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021): What is Horizon 2020. - URL: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020> [18.06.2021].

FRIENDLY, M./DENIS, D. (2005): The Early Origins and Development of the Scatterplot. - In: *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 41(2), S. 103 - 130.

GEOCOPIX GMBH (2020a): Orthomosaik vom Wawerner Jesuitenberg. Trier.

GEOCOPIX GMBH (2020b): Micasense RedEdge-M Datenprozessierung. Report. Trier.

GUERRA, B./STEENWERTH, K. (2012): Influence of Floor Management Technique on Grapevine Growth, Disease Pressure, and Juice and Wine Composition. A Review. - In: American Journal of Enology and Viticulture, 63:2, S. 149 - 164.

HALL, A./LAMB, D.W./HOLZAPFEL, B./LOUIS, J. (2002): Optical remote sensing applications in viticulture. A review. - In: Australian Journal of Grape and Wine Research, 8, S. 36 - 47.

HALL, A./LOUIS, J./LAMB, D. (2001): A Method for Extracting Detailed Information from High Resolution Multispectral Images of Vineyards. Konferenzpapier, Proceedings of the 6th International Conference on Geocomputation.

HINTZE, J.L./NELSON, R.D. (1998): Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. - In: The American Statistician, 52(2), S. 181 - 184.

HUANG, Y./THOMSON, S.J./HOFFMANN, W.C./LAN, Y./FRITZ, B.K. (2013): Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. - In: International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 6(3), S. 1 - 10.

HUETE, A.R. (1988): A Soil-Adjusted Vegetation Index. - In: Remote Sensing of the Environment, 25, S. 295 - 309.

IPCC [INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE] (2015): Climate Change 2014. Synthesis Report. Genf, Schweiz.

KIRCHHOFF, M./RODRIGO-CAMINO, J./SEEGER, M./RIES, J.B. (2017): Soil erosion in sloping vineyards under conventional and organic land use managements (Saar-Mosel valley, Germany). - In: Geographical Research Letters, 43(1), S. 119 - 140.

KONECNY, G. (2014): Geoinformation. Remote Sensing, Photogrammetry, and Geographic Information Systems. Second Edition. CRC Press, Boca Raton, Vereinigte Staaten von Amerika.

LEHNART, R./MICHEL, H./LÖHNERTZ, O./LINSSENMEIER, A. (2008): Root Dynamics and Pattern of Riesling on 5C Rootstock Using Minirhizotrons. - In: Vitis, 47(4), S. 197 - 200.

LEIMBROCK-ROSCHE L./RICHARD D./ZIMMER S./ROCK, G./HUEFFER V. (2020): LeguTec. Mechanical weed control in soybean cultivation in Luxembourg. Official final report. IBLA Luxembourg, Luxembourg.

LFP [LEHRFORSCHUNGSPROJEKT] (2019): Abschlussbericht. Lehrforschungsprojekt 2018/19. Universität Trier, Trier (unveröffentlichter Abschlussbericht).

LOCZY, D./DEZSO, J./ZORNOZA, R. (2019): Crop diversification and low-input farming across Europe: from practitioners' engagement and ecosystems services to increased revenues and value chain organization. Handbook on WP5 Protocols for Sampling, Sample Procedure and Analysis, D5.1. - URL: http://www.diverfarming.eu/images/deliverables/D5_1.pdf [03.06.2021].

MATESE, A./DI GENNARO, S.F. (2018): Practical Applications of a Multisensor UAV Platform Based on Multispectral, Thermal and RGB High Resolution Images in Precision Viticulture. - In: Agriculture, 8(7):166, o.S.

MATHEWS, A.J. (2015): A Practical UAV Remote Sensing Methodology to Generate Multispectral Orthofoto for Vineyards. Estimation of Spectral Reflectance Using Compact Digital Cameras. - In: International Journal of Applied Geospatial Research, 6(4), S. 65 - 87.

MATHEWS, A.J./JENSEN, J.L.R. (2013): Visualizing and Quantifying Vineyard Canopy LAI Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Collected High Density Structure from Motion Point Cloud. - In: Remote Sensing, 5, S. 2164 - 2183.

MAYER, C./GOMES PEREIRA, L.M./KERSTEN, T.P. (2018): A Comprehensive Workflow to Process UAV Images for the Efficient Production of Accurate Geo-information. Konferenzpapier, IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Amadora, Portugal.

MKANSI, R. (2017): Spectral reflectance of soil, vegetation and water. - URL: <https://mkansiremindr.wordpress.com/2017/04/24/spectral-reflectance-of-soil-vegetation-water/> [28.07.2021].

MR-KARTOGRAPHIE (2018): Rheinland Pfalz. Physische Karte, 1:800.000. Mr-Kartographie, Gotha. - URL: <https://www.mr-kartographie.de/uploads/pics/Landschaften-Rheinland-pfalz.jpg> [10.07.2021].

OIV [INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE] (2019): 2019 Statistical Report on World Vitiviniculture. - URL: <https://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf> [03.08.2021].

PADUA, L./MARQUES, P./ADAO, T./GUIMARAES, N./SOUSA, A./PERES, E./SOUSA, J.J. (2019): Vineyard Variability Analysis through UAV-Based Vigour Maps to Assess Climate Change Impacts. - In:

Agronomy, 9:581, o.S.

PÉREZ-PASTOR, A./TEMNANI RAJJAF, A./PÉREZ NOGUERA, D. (2019): NDVI. - In: ALVARO-FUENTES, J./LOCZY, D./THIELE-BRUHN, S./ZORNOZA, R. (Hrsg.): Handbook of Plant and Soil Analysis for Agricultural Systems. Crop diversification and low-input farming across Europe. From practitioners' engagement and ecosystems services to increased revenues and value chain organisation. Cartagena, Spanien, S. 24 - 26.

ROUSE, J.W./HAAS, R.H./SCHELL, J.A./DEERING, D.W. (1973): Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. - In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, 1, S. 309 - 317.

SCHLATTER, B./TRAVNICEK, J./LERNOUD, J./WILLER, H. (2020): Current Statistics on Organic Agriculture Worldwide. Area, Operators and Market. - In: The World of Organic Agriculture. Statistics and emerging trends 2020. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) und IFOAM – Organics International, S. 31 - 131.

SMIT, J.L./SITHOLE, G./STREVER, A.E. (2010): Vine Signal Extraction – an Application of Remote Sensing in Precision Viticulture. - In: South African Journal of Enology and Viticulture, 31(2), S. 65 - 74.

SOTIROPOULOU, D.E./KARAMANOS, A.J. (2010): Field Studies of Nitrogen Application on Growth and Yield of Greek Oregano (*Origanum Vulgare* Ssp. *Hirtum* (Link) Ietswaart). - In: Industrial Crops and Products, 32(3), S. 450 - 457.

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001a): Agrargeschichte. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/agrargeschichte/164> [30.06.2021].

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001b): Monokultur. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/monokultur/5216> [30.06.2021].

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001c): Orthophoto. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/orthophoto/5740> [21.07.2021].

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001d): Zentralperspektive. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/zentralperspektive/9217> [21.07.2021].

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001e): Bildüberlappung. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/bildueberlappung/967> [28.07.2021].

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG (2001f): Rasterdaten. Lexikon der Geographie. - URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/rasterdaten/6416> [20.08.2021].

UNITED NATIONS (2019): World Population Prospects 2019. Highlights. New York, Vereinigte Staaten von Amerika.

VANINO, S./FARINA, R./HÜPPI, R./PENNELLI, B./SIX, J. (2019): Crop diversification and low-input farming across Europe: from practitioners' engagement and ecosystems services to increased revenues and value chain organisation. A toolkit of indicators for characterising productivity and sustainability, D7.1. - URL: http://www.diverfarming.eu/images/deliverables/D7_1.pdf [03.07.2021].

WARNER, W.S./GRAHAM, R.W./READ, R.E. (1996): Small format aerial photography. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Whittles Publishing, Caithness, Großbritannien.

WEINGUT DR. FREY (2021): Wein und Lagen. - URL: https://weingutdrfrey.de/weine_und_lagen.htm [01.07.2021].

WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer Verlag, New York, Vereinigte Staaten von Amerika.

WILLER, H./YUSSEFI, M./STHAMER, D. (2007): The Global Survey on Organic Farming 2007. Main Results. - In: The World of Organic Agriculture. Statistics and emerging trends 2007. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) und IFOAM – Organics International, S. 23 - 44.

XU, G./ZHANG, H./CHEN, B./ZHANG, H./INNES, J.L./WANG, G./YAN, J./ZHENG, Y./ZHU, Z./MYNENI, R.B. (2014): Changes in Vegetation Growth Dynamics and Relations with Climate over China's Land-mass from 1982 to 2011. - In: Remote Sensing, 6, S. 3263 - 3283.

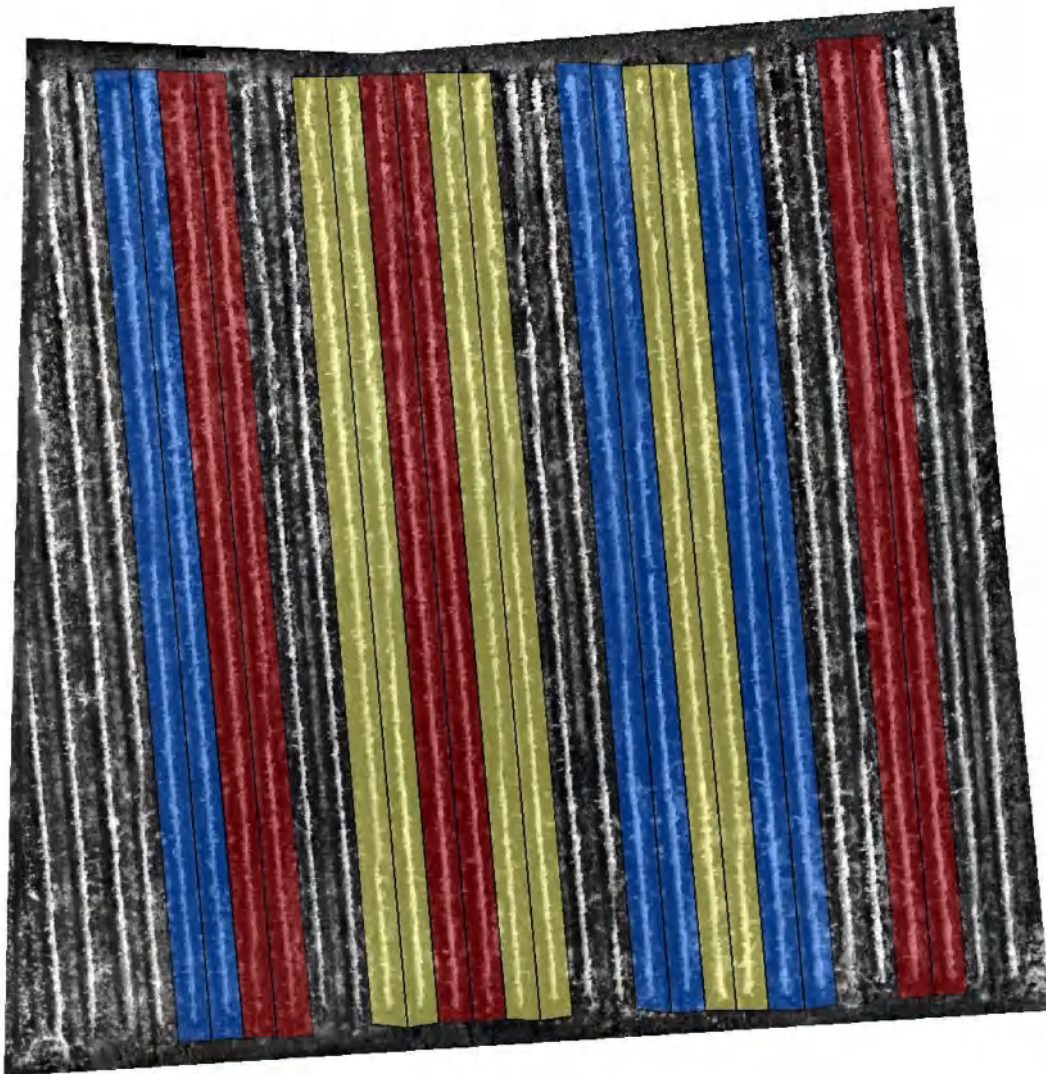
Anhang

A. Kennwerte Klassifizierung

Explorativ nach AGISOFT (2017, S. 67) festgelegte Kennwerte für die Klassifizierung in PS:

- Max angle: bestes Ergebnis erreicht entsprechend der maximalen Hangneigung - 30,5°
- Max distance: Distanz vom Boden bis zur unteren Grenze der Reben - 0,6 ms
- Cell-Size: größte Fläche ohne Bodenpunkte - 1 m (Dach des Autos)

B. Einteilung des WJB mithilfe des Tools „Cut-Raster“



Anhang B 1: Einteilung des WJB in die einzelnen Rebzeilen, Tool "Cut Raster". Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll
(eigene Darstellung)

C. Inhalt der Remap-File für das Tool „Reclass by ASCII File“

-1 : 0	...
-1 -0,99 : 1	0,94 0,95 : 195
-0,99 -0,98 : 2	0,95 0,96 : 196
-0,98 -0,97 : 3	0,96 0,97 : 197
-0,97 -0,96 : 4	0,97 0,98 : 198
-0,96 -0,95 : 5	0,98 0,99 : 199
...	0,99 1 : 200

D. Programmcode zur Erstellung von Scatter- und Violin Plots in RStudio

Beispielhaft für den Datensatz von Juni 2020.

```
library(ggplot2)

group.colors$g <- c(k1 = "#FFC000", k2 = "#FFC000", k3 = "#FFC000", k4 =
"#FFC000", k5 = "#FFC000", k6 = "#FFC000", o1 = "#4472C4", o2 = "#4472C4",
o3 = "#4472C4", o4 = "#4472C4", o5 = "#4472C4", o6 = "#4472C4", t1 =
"#CC0000", t2 = "#CC0000", t3 = "#CC0000", t4 = "#CC0000", t5 = "#CC0000",
t6 = "#CC0000")

group.colors$z <- c(Kontroll = "#FFC000", Oregano = "#4472C4", Thymian =
"#CC0000")

means$g <- function(x)
{return(c(y = mean(x)*0.75, label = round(mean(x),2)))}

means$z <- function(x)
{return(c(y = mean(x)*0.85, label = round(mean(x),2)))}

means$z32 <- function(x)
{return(c(y = mean(x)*0.925, label = round(mean(x),2)))}

savi06s <- savi06
savi06g <- savi06

savi06s$typ <- factor(savi06s$typ, levels = c("o1", "o2", "t1", "t2",
"k1", "k2", "t3", "t4", "k3", "k4", "o3", "o4", "k5", "k6", "o5", "o6",
"t5", "t6"))

savi06g$typ <- factor(savi06g$typ, levels = c("o1", "o2", "o3", "o4",
"o5", "o6", "t1", "t2", "t3", "t4", "t5", "t6", "k1", "k2", "k3", "k4",
"k5", "k6"))

savi06z$typ <- factor(savi06z$typ, levels = c("Oregano", "Thymian", "Kon-
troll"))

savi06z32$typ <- factor(savi06z32$typ, levels = c("Oregano", "Thymian",
"Kontroll"))

plot(savi06$Count, savi06$savi, col=group.colors$z, cex=1, pch=20,
main="SAVI im Juni, Scatter", xlab="Anzahl Pixel (absolut)", ylab="SAVI-
Wert") + legend(x=41500, y=1, c("Oregano","Thymian","Kontroll"),
```

```

col=c("#0066ff","#b30000","#b2b201"), pch=c(20,20,20))

plots <- ggplot(savi06s, aes(x = typ, y = savi, width = Count, fill =
typ)) + geom_violin(trim = TRUE) + geom_boxplot(width = 0.1, color =
"black") + scale_fill_manual(values = group.colorssg) + stat_sum-
mary(fun.data = meansg, geom = "text", size = 3, fun = mean, colour =
"black") + labs(title = "SAVI im Juni 2020, sortiert", x = "Rebzeile", y =
"SAVI-Wert") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), legend.posi-
tion="none") + scale_y_continuous(breaks=c(-0.2, -0.1, 0.0, 0.1, 0.2, 0.3,
0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0), limits=c(-0.2, 1))

plots

plotg <- ggplot(savi06g, aes(x = typ, y = savi, width = Count, fill =
typ)) + geom_violin(trim = TRUE) + geom_boxplot(width = 0.1, color =
"black") + scale_fill_manual(values = group.colorssg) + stat_sum-
mary(fun.data = meansg, geom = "text", size = 3, fun = mean, colour =
"black") + labs(title = "SAVI im Juni 2020, gruppiert", x = "Rebzeile", y
= "SAVI-Wert") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), legend.po-
sition="none") + scale_y_continuous(breaks=c(-0.2, -0.1, 0.0, 0.1, 0.2,
0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0), limits=c(-0.2, 1))

plotg

plotz <- ggplot(savi06z, aes(x = typ, y = savi, width = Count, fill =
typ)) + geom_violin(trim = TRUE) + geom_boxplot(width = 0.075, color =
"black") + scale_fill_manual(values = group.colorsz) + labs(title = "SAVI
im Juni 2020, zusammengefasst", x = "", y = "SAVI-Wert") + stat_sum-
mary(fun.data = meanz, geom = "text", size = 3.5, fun = mean, colour =
"black") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), legend.posi-
tion="none") + scale_y_continuous(breaks=c(-0.2, -0.1, 0.0, 0.1, 0.2, 0.3,
0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0), limits=c(-0.2, 1))

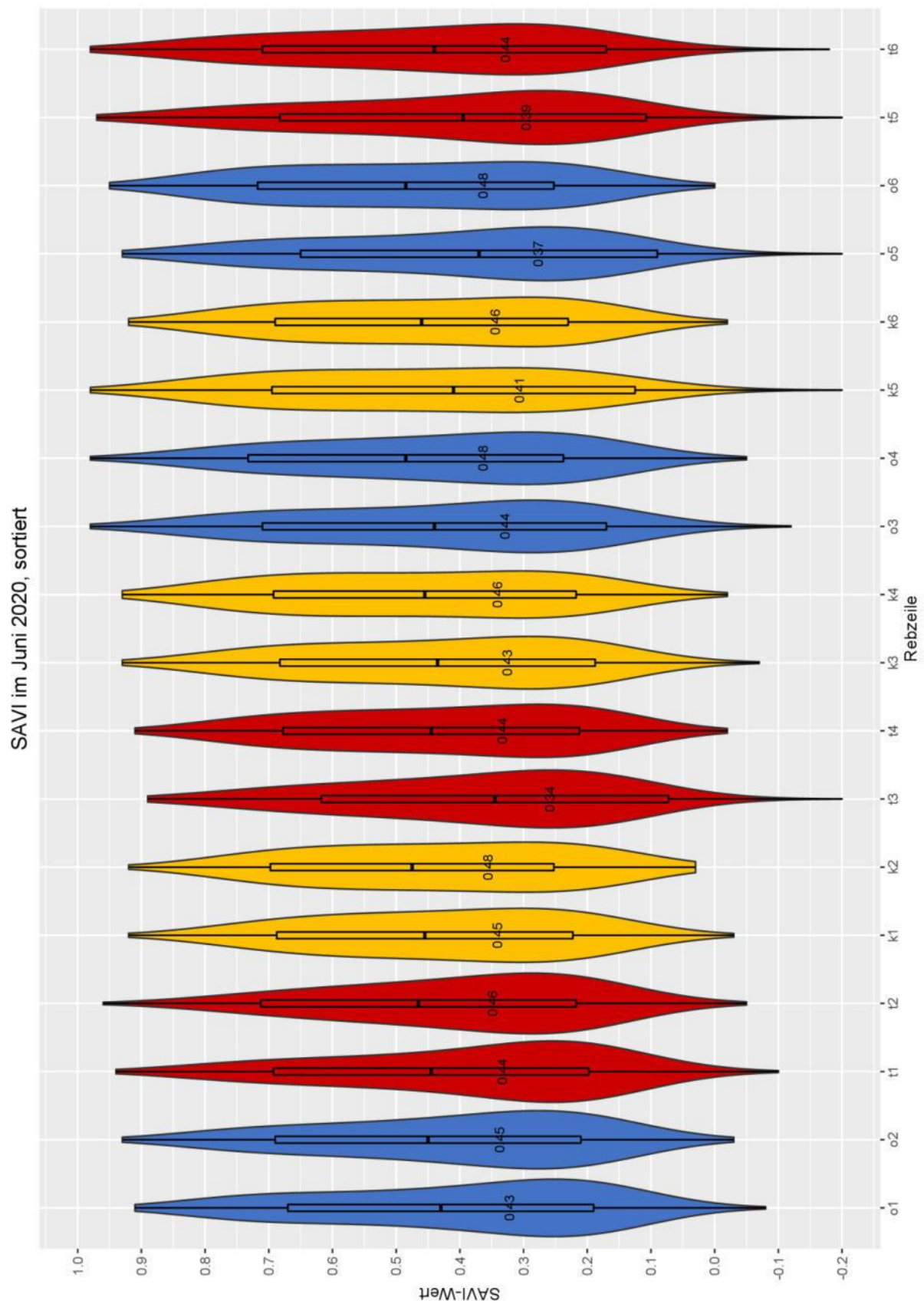
plotz

plotz32 <- ggplot(savi06z32, aes(x = typ, y = savi, width = Count, fill =
typ)) + geom_violin(trim = TRUE) + geom_boxplot(width = 0.075, color =
"black") + scale_fill_manual(values = group.colorsz) + labs(title = "SAVI
im Juni 2020, zusammengefasst & clipped bei 0,32", x = "", y = "SAVI-
Wert") + stat_summary(fun.data = meanz, geom = "text", size = 3.5, fun =
mean, colour = "black") + theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
legend.position="none") + scale_y_continuous(breaks=c(0.3, 0.4, 0.5, 0.6,
0.7, 0.8, 0.9, 1.0), limits=c(0.3, 1))

plotz32

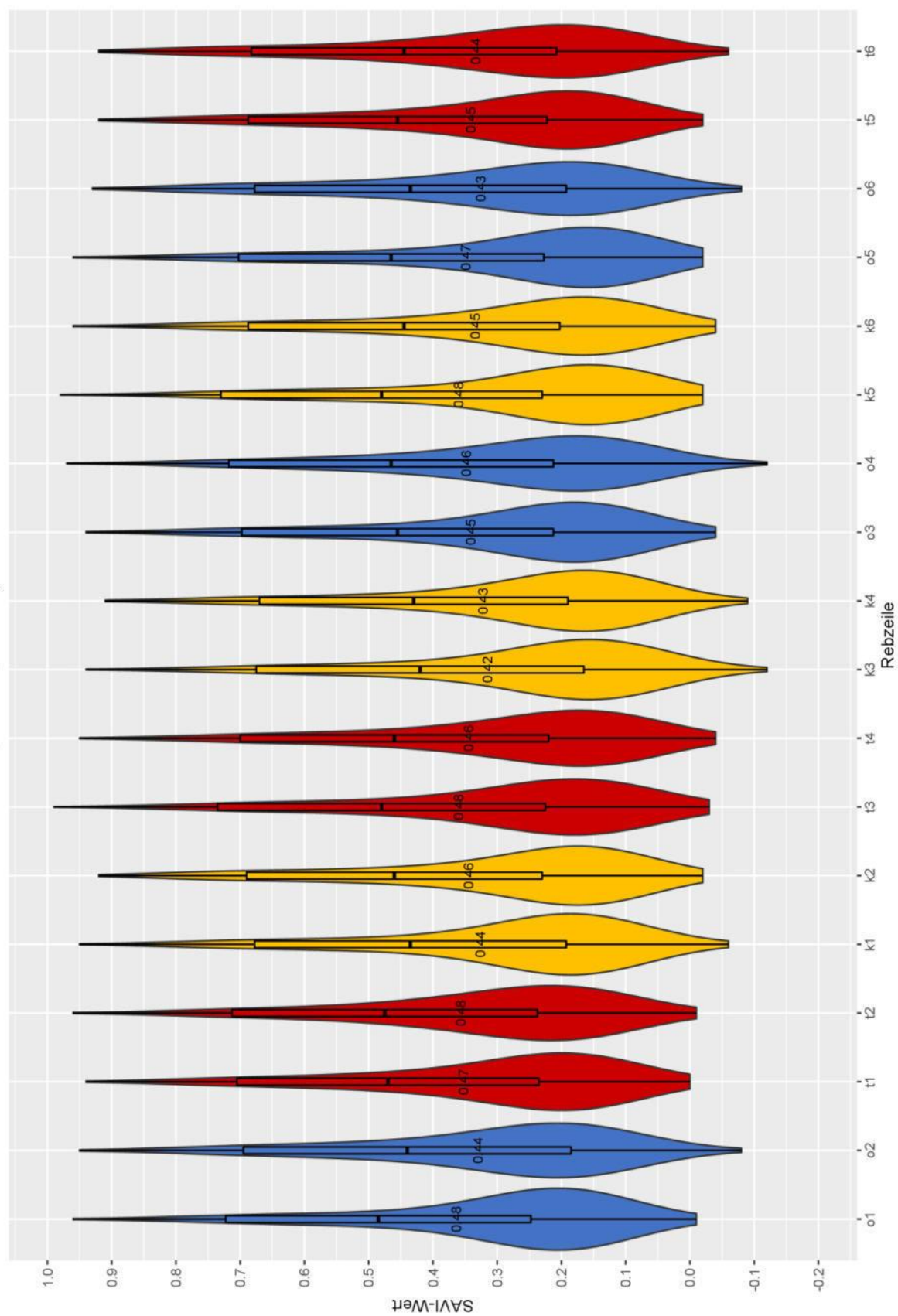
```

E. Violin Plots des SAVI, geographisch sortiert

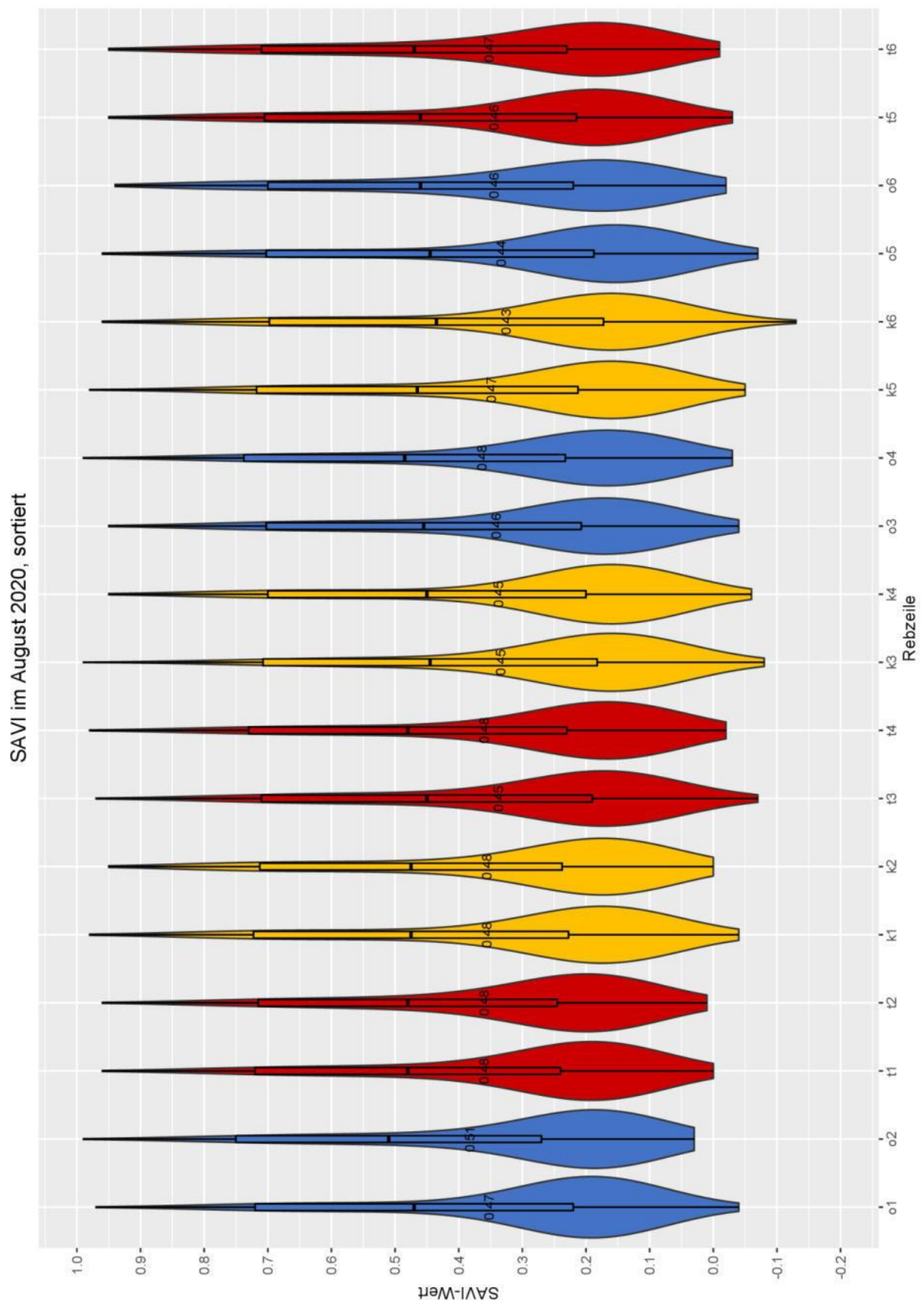


Anhang E 1: Violin Plots des SAVI im Juni 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll (eigene Darstellung)

SAVI im Juli 2020, sortiert

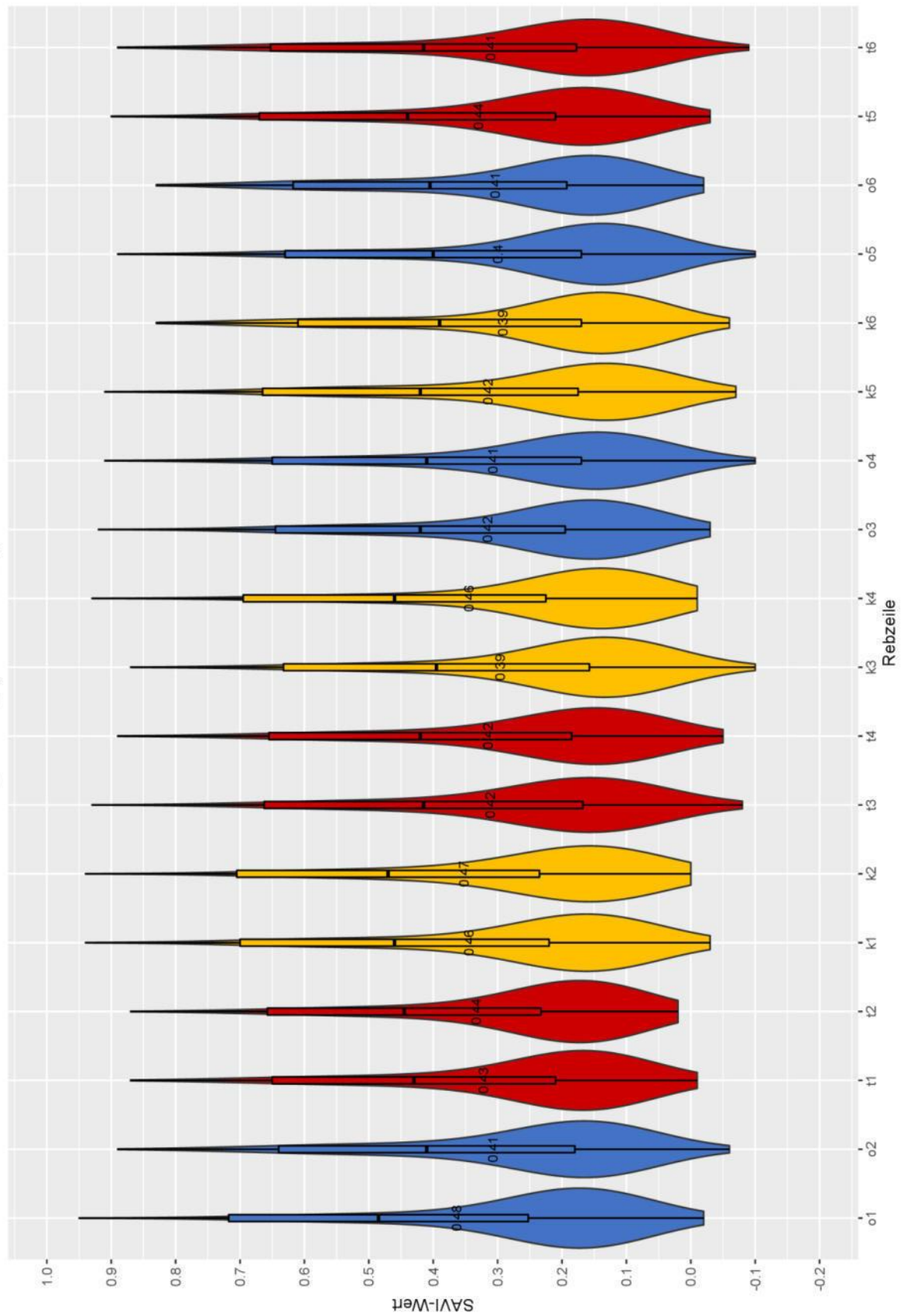


Anhang E 2: Violin Plots des SAVI im Juli 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll (eigene Darstellung)



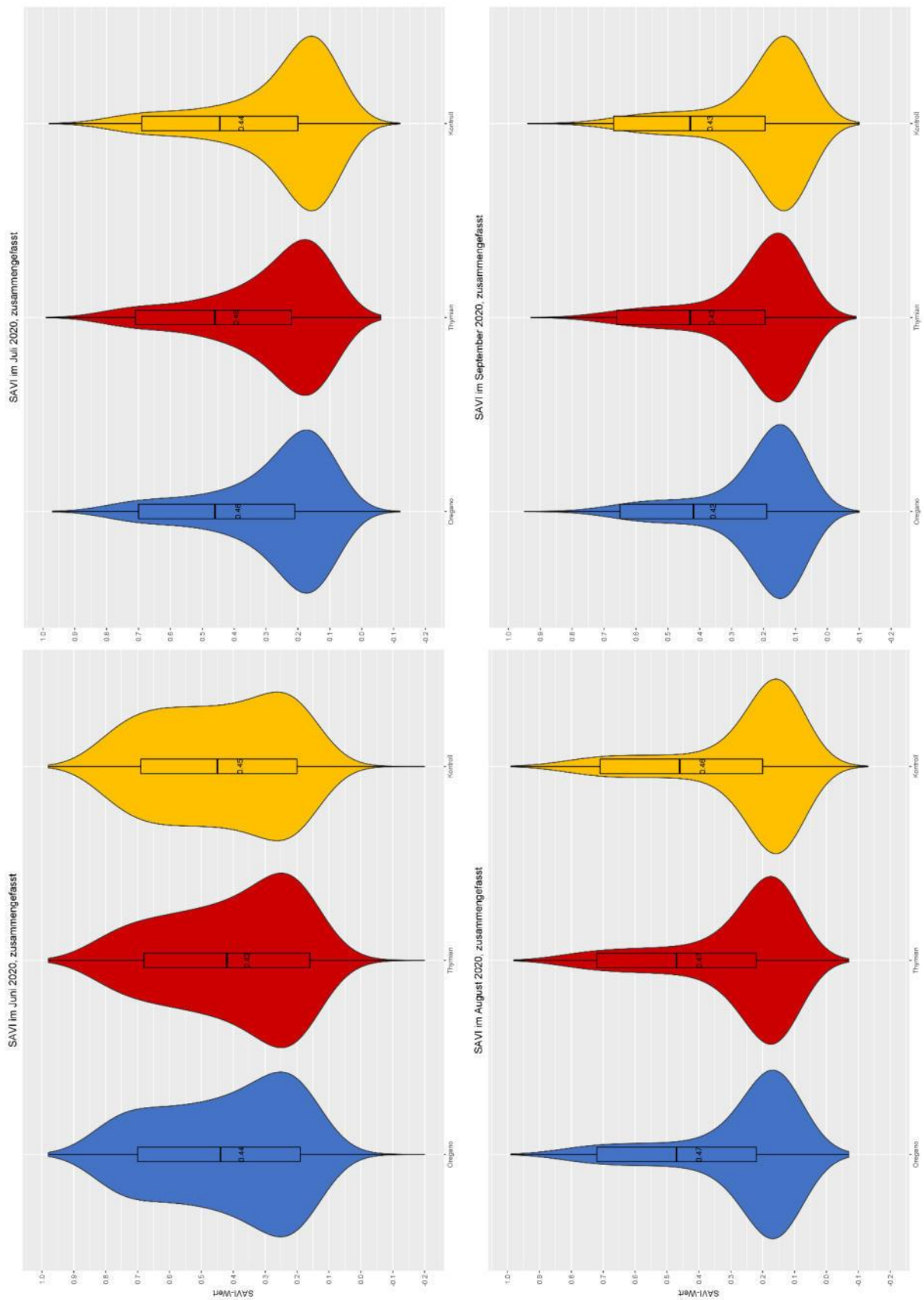
Anhang E 3: Violin Plots des SAVI im August 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll (eigene Darstellung)

SAVI im September 2020, sortiert



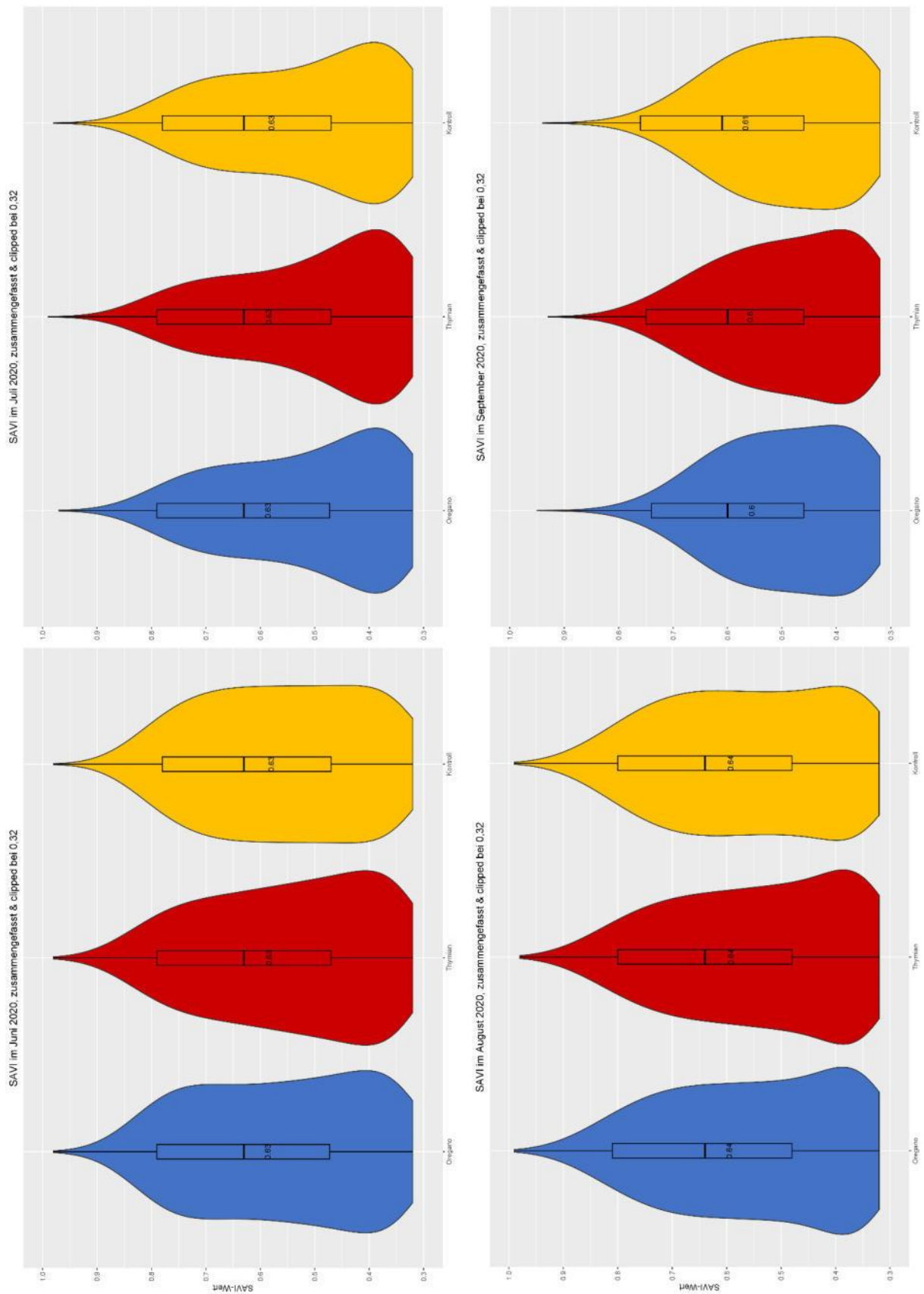
Anhang E 4: Violin Plots des SAVI im September 2020, geographisch sortiert. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll (eigene Darstellung)

F. Violin Plots des SAVI, zusammengefasst nach Gruppen



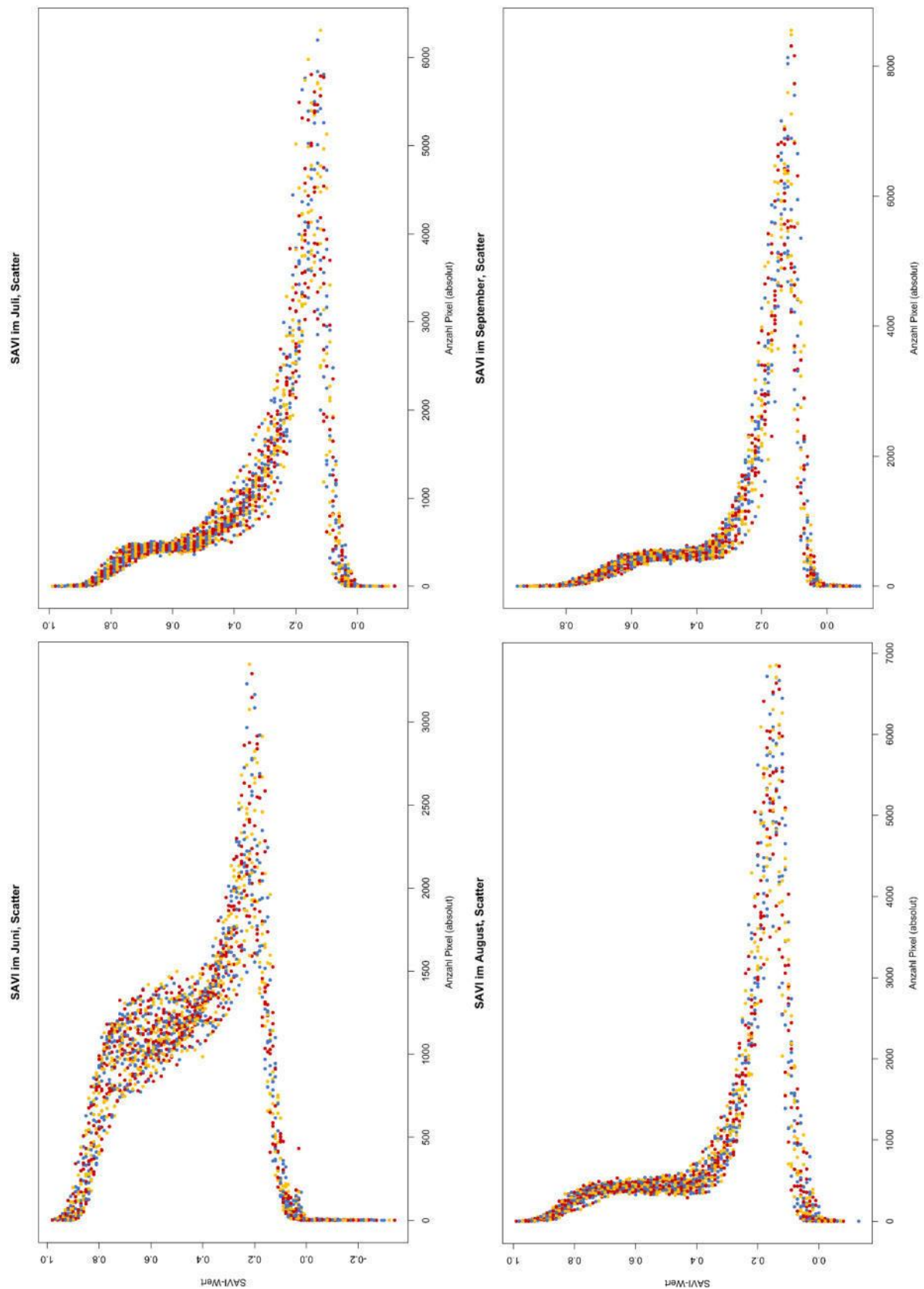
Anhang F 1: Violin Plots des SAVI von Juni bis September 2020, zusammengefasst nach Gruppen. Wertebereich -0,2 bis 1 (eigene Darstellung)

G. Violin Plots des SAVI, zusammengefasst nach Gruppen & Clip bei 0,32



Anhang G 1: Violin Plots des SAVI von Juni bis September 2020, zusammengefasst nach Gruppen. Wertebereich 0,32 bis 1 (eigene Darstellung)

H. Scatterplots des SAVI



Anhang H 1: Scatterplots des SAVI des WJB 2020. Blau = Oregano, Rot = Thymian, Gelb = Kontroll (eigene Darstellung)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit habe ich bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt. Sie wurde bisher nicht veröffentlicht.

Trier, den 7. September 2021