

Hochschule Weihenstephan - Triesdorf

Fakultät Umweltingenieurwesen

Studiengang Umweltsicherung

B a c h e l o r a r b e i t

Thema:

**„Erfassung der Blütenanzahl an Hecken am Beispiel von Crataegus spp.
und Cornus sanguinea – ein methodischer Vergleich“**

eingereicht von: Magdalena Heger

Erstkorrektor: Prof. Dr. Michael Rudner

Tag der Abgabe: 16.09.2024

Danksagung

Zuallererst möchte ich mich für die vielen Anregungen und die kompetente Betreuung bei Prof. Dr. Michael Rudner bedanken.

Außerdem gilt mein besonderer Dank Prof. Dr. Noack und seinem Team des Kompetenzzentrums Digitale Agrarwirtschaft (KoDA), die mir die Hyperspektralkamera zur Verfügung gestellt und mich bei der Datenverarbeitung der Fernerkundungsdaten unterstützt haben.

Des Weiteren möchte ich Michael Liepold danken, ohne den die Datenaufnahme mit der Drohne nicht umsetzbar gewesen wäre.

Ein Dankeschön gebührt auch Marvin Hofmann und dem Team der Werkstatt der HSWT, die für mich den Bau der Blende übernommen haben.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Euch, Adrian, Jakob, Sofia und Simon, für die Begleitung bei den nächtlichen Datenerfassungen herzlich bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern, besonders bei meinem Vater, für die Geduld und Unterstützung bedanken.

Mein ausdrücklicher Dank gilt Allen, die hier nicht namentlich erwähnt sind, mich aber auf direkte oder indirekte Weise bei der Durchführung und Erarbeitung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
Verzeichnis der digitalen Anlagen	VIII
1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Stand der Wissenschaft und Arbeitshypothesen.....	3
2.2 Biologie und Struktur der untersuchten Arten.....	6
3 Material und Methoden.....	8
3.1 Untersuchungsgebiet	8
3.2 Kartierung.....	8
3.3 Methodik Einzelblüten	11
3.3.1 Manuelle Methode (Blende).....	11
3.3.1.1 Idee und Vorüberlegungen.....	11
3.3.1.2 Umsetzung	12
3.3.2 Digitale Erfassungsmethoden.....	15
3.3.2.1 Idee und Vorüberlegungen.....	15
3.3.2.2 Umsetzung maschinelles Lernen	16
3.3.2.3 Umsetzung Datenerhebung aus der Luft.....	17
3.3.2.4 Umsetzung RGB-Daten	18
3.3.2.5 Umsetzung Datengrundlage Hyperspektrale Information	24
3.4 Methodik Blütenschirme	29
3.4.1 Idee und Vorüberlegungen	29
3.4.2 Umsetzung.....	32

3.5	Auswertungsverfahren.....	32
3.5.1	Manuelle Methode (Blende).....	32
3.5.2	Digitale Erfassungsmethoden.....	33
3.5.3	Gegenüberstellung Einzelblüten	33
3.5.4	Blütenschirme.....	34
4	Ergebnisse.....	35
4.1	Manuelle Methode (Blende).....	35
4.2	Digitale Erfassungsmethoden	39
4.3	Gesamtvergleich Einzelblüten.....	45
4.4	Blütenschirme	47
5	Diskussion.....	48
5.1	Grenzen der Arbeit und Übertragbarkeit	48
5.2	Maschinelles Lernen.....	49
5.3	Datenerhebung aus der Luft	50
5.4	Methodenkritik	52
5.4.1	Manuelle Methode (Blende).....	52
5.4.2	Digitale Methoden.....	53
5.4.3	Blütenschirme.....	55
5.5	Gegenüberstellung der Methoden bezüglich des Aufwands für Organisation und Durchführung	56
5.5.1	Einarbeitung in die Methode und Zugänglichkeit.....	56
5.5.2	Materialaufwand und methodenspezifische Kosten.....	57
5.5.3	Zeitaufwand für Vorbereitung, Erfassung und Nachbereitung	59
5.5.4	Notwendiger Personaleinsatz	61
5.5.5	Wetterabhängigkeit	61
5.6	Gegenüberstellung der Methoden bezüglich der Ergebnisse.....	62
5.6.1	Manuelle Methode (Blende).....	63

5.6.2	Digitale Erfassungsmethoden.....	64
5.6.3	Blütenschirme.....	67
5.7	Erfahrungen, Hinweise und Tipps für die Anwendung.....	67
5.7.1	Manuelle Methode (Blende).....	67
5.7.2	Digitale Erfassungsmethoden.....	68
5.7.3	Blütenschirme.....	68
6	Schlussfolgerung und Ausblick	69
7	Zusammenfassung	70
8	Anhang.....	71
8.1	Skizze der Blende	71
8.2	Vorgehen: Anleitung zur Hyperspektralkamera.....	72
8.3	SpecimIQ Studio.....	75
8.4	Technische Daten	81
8.4.1	Datenblatt RGB-Kamera Drohne	81
8.4.2	Datenblatt Multispektralkamera Drohne	82
8.4.3	Datenblatt Hyperspektralkamera.....	83
9	Literatur	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der untersuchten Gehölze im Luftbild (Quelle: eigene Erstellung).	10
Abbildung 2: Versuchsaufbau mit der Blende (links). Lichtflecken der Blende auf einem Weißdorn (rechts; Quelle: eigene Aufnahmen).	12
Abbildung 3: Skizze des Versuchsaufbaus (Quelle: eigene Anfertigung).	13
Abbildung 4: Farbiges Ergebnisbild der Kombination aller Kriterien.	19
Abbildung 5: Beispielbild für Kategorie A, Weißdorn Nr. 56, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).	21
Abbildung 6: Beispielbild für Kategorie B, Weißdorn Nr. 54, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).	22
Abbildung 7: Beispielbild für Kategorie C, Weißdorn Nr. 48, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).	23
Abbildung 8: Beispielbild für Kategorie C, Weißdorn Nr. 621, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).	24
Abbildung 9: Graphen verschiedener Blütenpixel, bei denen die markanten Abschnitte hervorgehoben werden (Quelle: SpecimIQ Studio).	25
Abbildung 10: Original- und Ergebnisbilder des Weißdorns mit der Nummer 54. Links sind die beiden Originalbilder zu sehen, rechts die Ergebnisbilder mit Hintergrund (Quelle: eigene Aufnahmen).	27
Abbildung 11: Exemplarische Berechnung der gesamten Deckungsgrads am Beispiel des Weißdorns Nr. 54 (Quelle: eigene Excel-Datei).	28
Abbildung 12: Darstellung der 40 Mittelwerte für jede Stichprobe. Die orangefarbenen Kreuze markieren die obere und untere Grenze, nachdem jeweils fünf Prozent ausgeschlossen wurden. Die gestrichelten Linien stellen die 15- Prozent-Fehlertoleranz dar. Die berechnete Werte der Fehlertoleranz ist Abbildung 27 in Kapitel 4.4 zu entnehmen.	31
Abbildung 13: Lineare Regression der Summe der Blüten in den Lichtflecken und tatsächliche Blütenzahl.	35
Abbildung 14: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.	36
Abbildung 15: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.	37
Abbildung 16: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.	38
Abbildung 17: Lineare Regression des Deckungsgrads weißer Pixel und der tatsächlichen Blütenzahl.	39

Abbildung 18: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.	40
Abbildung 19: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.	41
Abbildung 20: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.....	41
Abbildung 21: Lineare Regression des Deckungsgrads weißer Pixel und der tatsächlichen Blütenzahl.	42
Abbildung 22: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.	43
Abbildung 23: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.	44
Abbildung 24: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.....	44
Abbildung 25: Der Vergleich der tatsächlichen und modellierten Blütenzahlen aller Methoden. Für die Weißdorne mit den Nummern 52 und 57 wurden mit der Hyperspektralkamera sowohl ein Gesamtbild als auch zwei einzelne Bilder aufgenommen. Der Unterstrich steht jeweils für das Gesamtbild.	45
Abbildung 26: Ergebnisse des Vergleichs des relativen Fehlers aller Methoden zur Erfassung von Einzelblüten.	46
Abbildung 27: Ergebnis der Datenaufnahme. Die aufgeführten Werte sind das arithmetische Mittel bzw. der Median der Einzelblüten der jeweils 25 ausgezählten Blütenstände. Spalte B und C geben die Werte für die beiden Erstauszählungen an. Im unteren Teil der Tabelle finden sich die berechneten Werte der oberen und unteren Grenzen für die Fehlertoleranz von Abbildung 12 (Quelle: eigene Exceldatei).	47
Abbildung 28: Vergleich der Ergebnisbilder: Links oben und unten die Ergebnisbilder des Weißdorns Nr. 54 (Hyperspektralkamera), rechts Ergebnisbild des Weißdorns Nr. 541 (RGB). Die ausgewählten Ergebnisbilder sind die mit dem geringsten relativen Fehler jeder Methode (Quelle: eigene Aufnahmen).	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Kriterien. Damit ein Pixel als „Blüte“ klassifiziert wird, müssen alle Kriterien für dieses Pixel erfüllt sein In den Formeln sind die Buchstaben zur Bezeichnung RGB (Rot-Grün-Blau) äquivalent (Quelle: eigene Darstellung).....	19
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Methoden im Überblick.	56
Tabelle 3: Vergleichende Übersicht über die Werte für das Bestimmtheitsmaß und des relativen Fehlers jeder Methode zur Erfassung von Einzelblüten. Für die digitalen Erfassungsmethoden fließen in die Berechnung ausschließlich die als „gut“ oder „mittel“ eingestuften Bilder und ihre Auswertung ein..	62

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CNN	Convolutional Neuronal Network
Gand.	Michel Gandoger
ebd.	ebenda
EU	Europäische Union
FCN	Fully Convolutional Network
ggf.	gegebenenfalls
HSL	Hue, Saturation, Lightness (Farbe, Sättigung, Helligkeit)
JAQC.	JACQ consortium
KoDA	Kompetenzzentrum für Digitale Agrarwirtschaft
L.	Carl von Linné
LLA	Landwirtschaftliche Lehranstalten Triesdorf
m	Meter
mündl.	mündlich
Nr.	Nummer
Poir.	Jean Louis Marie Poiret
spp.	subspecies (lat.)
RGB	Rot Grün Blau

Verzeichnis der digitalen Anlagen

Digitale Anlage 1: Bachelorarbeit Gesamtdatei [PDF]

Digitale Anlage 2: Bachelorarbeit Zusammenfassung [PDF]

Digitale Anlage 3: Bilder Drohne [jpg]

Digitale Anlage 4: Bilder RGB-Daten (Original- und Ergebnisbilder) [jpg]

Digitale Anlage 5: Bilder Hyperspektralkamera (Original- und Ergebnisbilder) [jpg]

Digitale Anlage 6: Auswertungsdatei Blende [Excel]

Digitale Anlage 7: Auswertungsdatei RGB-Daten [Excel]

Digitale Anlage 8: Auswertungsdatei Hyperspektralbilder [Excel]

Digitale Anlage 9: Python-Skript Verarbeitung und Deckungsgrad RGB-Daten [txt]

Digitale Anlage 10: Python-Skript Deckungsgrad Hyperspektralbilder [txt]

Digitale Anlage 11: Modell SpecimIQ Studio „Weissdornblueten-6.0“

Digitale Anlage 12: R-Skript Blütenschirme Vorversuch [txt]

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Defaunation. Artenschwund. Insektensterben. Die natürliche Aussterberate wird durch die derzeitige durch menschliches Handeln verursachte Aussterberate um den Faktor 100 bis 1000 übertroffen, schätzen die Autoren um (ROCKSTRÖM et al. 2009) den immer drastischeren Artenrückgang ein. Immer wieder machen neue Studien, die das Ausmaß der weltweiten Biodiversitätskrise immer genauer beschreiben können und immer düstere Prognosen liefern, Schlagzeilen. Beispielsweise die sogenannte „Krefelder Studie“ aus dem Jahr 2017, veröffentlicht von dem Wissenschaftsjournal „PlosOne“, die das erste Mal den Rückgang der Insekten quantifizierte. Sie belegte einen Biomassenschwund bei der gesamten Anzahl fliegender Insekten um 75 Prozent in den letzten 27 Jahren. Damit ist nicht nur ein Rückgang der Artenzahl, sondern auch der Anzahl an Individuen innerhalb einer Art zu verzeichnen. Die Studie hat zudem gezeigt, dass dieser Verlust von Insekten überall stattfindet, auch in Schutzgebieten, und er betrifft alle Biotoptypen (HALLMANN et al. 2017). Die Gründe für den Verlust von Arten und Individuen sind bekannt und umfassen unter anderem den Klimawandel, den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln und den Druck durch invasive Arten. Als wichtigster Faktor gilt der Lebensraumverlust durch die Landnutzung (BECKER et al. 2023). Mittlerweile gibt es viele Bestrebungen, den Artenrückgang aufzuhalten. Das Engagement ist auf allen Ebenen zu beobachten: Naturschutzverbände geben Tipps zur ökologischen Gestaltung des eigenen Gartens (BUND NATURSCHUTZ 2024). Durch das Bürgerbegehren „Rettet die Bienen!“ in Bayern aus dem Jahr 2019 wurde das bayerische Naturschutzgesetz grundlegend geändert (KRUMENACKER 2023). Die EU unterstützt mit ihrer Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) Landwirtinnen und Landwirte in einer nachhaltigen Bewirtschaftung ihrer Flächen (BECKER et al. 2023). Die Anlage von Blühstreifen ist wohl das prominenteste Beispiel dafür. Richtig angelegt erhöhen sie das Blühangebot für Wildbienen, beispielsweise für die Fuchsrote Sandbiene (*Andrena fulva*) oder Tagfalter wie dem Schachbrettfalter (*Melanargia galathea*) (ebd.). Zur Wirksamkeit von Blühstreifen ist 2022 eine neue Studie der Universität Freiburg erschienen. Das Ergebnis zeigt, dass die Wirkung von Blühstreifen auf Wildbienen am größten ist, wenn sie mehrjährig und in räumlicher Nähe zu artenreichen Hecken angelegt werden, weil sich somit das Blühangebot im Jahresverlauf ergänzt (VON KÖNIGSLÖW et al. 2022). Da bisherige Studien meist das Blütenangebot auf lokaler Ebene erforschen, wurde 2023 das Forschungsprojekt Agrarpflanzen für Bestäuber (APART) initiiert.

Dieses Projekt ist eine Zusammenarbeit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und der Technischen Universität München (TUM). Das Ziel des APART-Projekts ist es unter anderem, das Blütenangebot auf Landschaftsebene sowie dessen Qualität für bestäubende Insekten zu analysieren. Zum Aufgabebereich der HSWT zählt die Erfassung der Verteilung des Blühangebots auf und um landwirtschaftlichen Nutzflächen (HSWT 2024). Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen dieser Bachelorarbeit Methoden zur zahlenmäßigen Erfassung des Blütenangebots an Hecken untersucht und verglichen. Somit kann die Kernfrage dieser Arbeit formuliert werden:

Wie können Blüten an Hecken möglichst effizient mit möglichst hoher Genauigkeit quantifiziert werden?

2 GRUNDLAGEN

2.1 Stand der Wissenschaft und Arbeitshypothesen

Mit großem Interesse wird an Methoden zur effizienten Zählung und Klassifizierung von Blüten geforscht. Obst-, Gemüse- und Weinbauern wollen ihren Ertrag, die zugehörigen Prognosen, die Gesundheit ihrer Pflanzen und die Schädlingsbekämpfung verbessern. Bisher werden dazu meist visuelle Schätzungen angewendet, die fehleranfällig sowie nicht repräsentativ sind und unter Umständen einen hohen Personaleinsatz erfordern (YUAN et al. 2023). Allgemein ist es bei der Erfassung von Vegetation als Herangehensweise weit verbreitet, eine kleine Stichprobe mittels Zählung oder Schätzung zu erfassen und diese Daten auf die gesamte Fläche zu projizieren (TREMP 2005).

Mit digitalen Erfassungsmethoden soll die Ertragsabschätzung, Ressourcenzuteilung und das allgemeine Management im Obstanbau präzisiert werden (HIPHEN 2023). Wie die Literaturauswertung von ZHANG et al. (2021) zeigt, gibt es eine Vielzahl an Studien zur Fernerkundung im Bereich des Managements von Obstplantagen. Dabei liegen die Themenschwerpunkte Effizienz der Datenerfassung sowie die Überwachung der Pflanzen im Fokus (ebd.). Insgesamt wächst das Forschungsinteresse an der Fernerkundung im landwirtschaftlichen Kontext stetig und in der Praxis ist ein Aufkommen von Firmen, die verschiedene digitale Dienstleistungen erbringen, zu verzeichnen (YUAN et al. 2023).

Um Pflanzen oder Pflanzenteile einem Phänotyp zuzuordnen, werden die Daten mit verschiedenen Technologien erhoben. In den meisten Studien werden Methoden untersucht, die zur Datenerfassung Rot-Grün-Blau-Bilder (RGB) oder multispektrale Bilder verwenden. Der Einsatz von Hyperspektralkameras oder thermischen Sensoren zur Erfassung der Infrarotstrahlungsenergie erfolgte bisher eher weniger (ZHANG et al. 2021). Wenn hyperspektrale Bildgebung oder thermische Sensoren eingesetzt werden, zielt die Erhebung von Daten meist nicht auf die Objektebene (beispielsweise einzelne Blüten oder Pflanzen), sondern eher auf physiologische Eigenschaften der gesamten Kultur (ebd.). Beispielsweise kann hier die Studie des Teams um SUN et al. (2021) angeführt werden, die einen neuen Vegetationsindex auf der Grundlage von Hyperspektralbildern entwickelten. Des Weiteren gibt es Veröffentlichungen, die beispielsweise Methoden zur Erkennung des Krankheitsbefalls auf Basis von hyperspektralen Daten (ABDULRIDHA et al. 2019) oder Veränderungen des Chlorophyllgehalts anhand Hyperspektralbildern untersuchten, um Rückschlüsse auf die Wasserversorgung von Obstplan-

tagen zu ziehen (CALDERÓN et al. 2013; ZARCO-TEJADA et al. 2013). Studien zur Quantifizierung von Blüten unter Einsatz von Hyperspektralbildern konnten im Rahmen der Literaturrecherche dieser Bachelorarbeit nicht gefunden werden.

Mittlerweile ist die Fernerkundung sowohl aus der Luft als auch bodengestützt weit verbreitet. So werden Handheld-Systeme, Bodenfahrzeuge, satellitengestütztes Sensoring sowie unbemannte (UAV) und bemannte Luftfahrzeuge eingesetzt (ZHANG et al. 2022).

Nicht nur bei der Datenerfassung, sondern auch bei den computerbasierten Bildanalysetechniken gibt es eine Vielzahl an Ansätzen, die erforscht, miteinander kombiniert und verglichen werden. Zum einen gibt es das Themenfeld der klassischen Bildverarbeitung, in dem Algorithmen entwickelt werden, die eine Klassifizierung der Pixel über ihre Farbwerte vornehmen (YUAN et al. 2023). Beispielsweise ist hier eine Studie anzuführen, die Auswertungsmethoden für hochauflösende RGB-Bilder zur Erkennung einzelner Pflanzen miteinander vergleicht (DAVID et al. 2023). In einem der Ansätze wird eine Segmentierung von Pixeln in grüne Pixel und Hintergrundpixel vorgenommen (ebd.). Ähnlich gingen die Autoren um HOČEVAR et al. (2014) vor, die in ihrer Veröffentlichung die aufgenommenen RGB-Bilder in HSL-Daten (Farbton-Sättigung-Intensität) transformierten und die Apfelblütenzahl anhand von HSL-Grenzwerten und der Größe der Objekte ermittelten. Sie erreichten ein Bestimmtheitsmaß von bis zu 59 Prozent. Die Autoren um YUAN et al. (2023) schlugen einen Algorithmus vor, mit dem 3D-Modelle anhand von mit einer Drohne aufgenommenen RGB-Bildern entwickelt wurden. Sie erstellten eine Punktwolke der Apfelplantage, aus der sie in mehreren Arbeitsschritten die Blütenpunktwolke auf Basis der Pixelfarbe extrahierten. Auch sie wandelten die RGB-Werte in HSL-Werte um. Die HSL-Werte weißer Pixel zeigen eine niedrige Sättigung oder eine hohe Intensität. Das Forschungsteam hat anhand dieser Beobachtung Schwellenwerte erprobt, die die Blüten in der Punktwolke identifizieren. In der Annahme, dass die Blütenpunkte und die tatsächliche Blütenzahl positiv miteinander korrelieren, wendeten sie eine lineare Regression an. Das Ergebnis mit dem Bestimmtheitsmaß von 85 Prozent zeigt, dass der erprobte Ansatz erfolgreich ist.

Andererseits treibt das Aufkommen von Künstlicher Intelligenz die Erforschung von Objekterkennungsmethoden auf Basis von Convolutional Neural Networks (CNN), im Deutschen oft mit „faltbaren“ neuronalen Netzwerken übersetzt, immer weiter voran (ZHANG et al. 2021). Die CNN sind ein Teilbereich des maschinellen Lernens. Mittlerweile gibt es zahlreiche Studien, die auf einstufigen sowie zweistufigen Detektionsalgorithmen zur Erkennung von Blüten

basieren. Das Team um WANG et al. (2020) präsentierten eine Methode zur Klassifizierung von Apfelblüten auf Pixelebene mit einer Genauigkeit von 86 Prozent unter Verwendung eines Fully Convolutional Network (FCN). Die Autoren einer weiteren Studie schlugen eine Methode zur Schätzung des Blühzustands unter Einbezug eines auf Deep-Learning basierendem, einstufigen Detektionsmodells zur Erkennung von Apfelblüten vor (CHEN et al. 2022). Die Erfassung der Blüten erfolgte mit einer durchschnittlichen Genauigkeit von 77 Prozent (ebd.). Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die gleichzeitige Erkennung und Quantifizierung von Tomatenblüten und -früchten unter Verwendung desselben Modells mit einer Präzision von 99 Prozent für grüne Tomaten, 85 Prozent für rote Tomaten und 50 Prozent für Tomatenblüten (EGI et al. 2022). Als Grund für die niedrige Qualität der Blütenerfassung geben die Autoren eine niedrige Blütenzahl im Trainingsdatenset an.

Die beiden Themenkomplexe der Datenverarbeitung sind jeweils mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen verbunden. Beim Vergleich der Genauigkeit zeigt sich aber, dass einfache Deep-Learning-Methoden einfachen traditionellen Bildverarbeitungsmethoden überlegen sind (DAVID et al. 2023).

In dieser Bachelorarbeit werden drei verschiedene Methoden zur Erfassung von Einzelblüten erprobt und verglichen sowie eine Methode zur Quantifizierung der Blütenzahl in doldigen Blütenständen an Sträuchern untersucht. Dazu werden sowohl verschiedene Datenerhebungsmethoden als auch verschiedene Verarbeitungsmethoden herangezogen. Bei der Erfassung von Einzelblüten soll eine manuelle Zählung einer kleinen Stichprobe und eine anschließende Hochrechnung der Blütenzahl mit der Ermittlung der Blütenzahl mittels digitaler Fernerkundungsmethoden verglichen werden. Zudem werden RGB-Bilder einer Smartphonekamera einerseits mit maschinellem Lernen und andererseits basierend auf Farbwerten verarbeitet. Außerdem wird die Quantifizierung der Blütenzahlen aus Hyperspektralbildern in Verbindung mit klassischen Verarbeitungsmethoden und maschinellem Lernen untersucht. Zusätzlich wurde die Datenaufnahme mit einer Drohe sowie die Erstellung eines 3D-Modells erprobt. Die Bestimmung der Blütenzahl an Gehölzen mit doldigen Blütenstände in Hecken erfolgt manuell mittels Zählung einer kleinen Stichprobenzahl und anschließender Hochrechnung.

Unter Einbezug der genannten Studien werden folgende Arbeitshypothesen aufgestellt:

1. Die manuelle Methode zur Erfassung von Einzelblüten liefert genauere Ergebnisse als die digitalen Erfassungsmethoden.
2. Die Auswertung von Hyperspektralbildern liefert genauere Ergebnisse als die Auswertung von RGB-Bildern.
3. Der Mittelwert der Einzelblütenanzahl weniger Dolden der untersuchten Art lässt sich auf die gesamte Pflanze übertragen.

2.2 Biologie und Struktur der untersuchten Arten

Um das Blühangebot an Hecken repräsentativ erfassen zu können, wurden Untersuchungen an Heckenpflanzen mit Einzelblüten und mit doldigen Blütenständen durchgeführt. Als Gehölz für die Untersuchung der Einzelblüten wurde *Crataegus spp.* (Weißdorn) gewählt, für die doldig stehenden Blüten wurde *Cornus sanguinea* L. (Blutroter Hartriegel) bestimmt. Nach botanischer Definition trägt der Blutrote Hartriegel Trugdolden (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2024a). Im Folgenden werden diese vereinfacht als „Blütenschirme“ und „Dolden“ bezeichnet.

Im Folgenden wird die Biologie und Struktur der untersuchten Sträucher beschrieben. Die Nomenklatur der wissenschaftlichen Pflanzennamen richtet sich nach ROTHMALER (2021).

Artengruppe der Weißdorne

Die zur Familie der *Rosaceae* (Rosengewächse) gehörende Gattung *Crataegus spp.* ist auf der gesamten nördlichen Halbkugel verbreitet (HIEKE 1989). In Mitteleuropa sind drei Arten einheimisch: *C. laevigata* POIR., *C. monogyna* JACQ. und *C. rhipidophylla* GAND. (WEBER 2003). *C. rhipidophylla* (Großkelch-Weißdorn) ist sehr selten und spielt mit Ausnahme ihrer Hybride für die Gebüschvegetation Mitteleuropas nur eine untergeordnete Rolle (ebd.). Deshalb wird diese Art im Folgenden nicht weiter betrachtet. Die beiden anderen *Crataegus*-Arten haben ähnliche Standorte: Sie kommen in trockenen bis frischen Gebüsch, Hecken, Waldrändern und lichten Laubmischwäldern vor (ROTHMALER 2021). Die Gehölze der Gattung *Crataegus spp.* haben keine besonderen Ansprüche an die Lichtverhältnisse, bevorzugen aber Standorte in der Sonne oder im Halbschatten (HIEKE 1989). Die Arten vertragen arme, trockene und sandige Böden und sind basenhold (ebd.). Zudem hybridisieren sie untereinander (WEBER 2003). *C. monogyna* (Eingrifflicher Weißdorn) und *C. laevigata* (Zweigrifflicher Weißdorn) unterschei-

den sich in der Blühstruktur nicht signifikant (HIEKE 1989), weshalb im Folgenden nicht zwischen den beiden Arten unterschieden wird. Die Blüten der untersuchten Gehölze messen ein- einhalb bis zwei Zentimeter im Durchmesser (ebd.). Die fünfzählige Blüte ist weiß (ebd.). Ihre Anordnung wird als locker und flach doldenförmig beschrieben (ebd.). Aufgrund der Größe und der unregelmäßigen Organisation der Blüten kann die Anordnung der Blüten dennoch als einzeln gewertet werden. Der Beginn der Hauptblütezeit der meisten *Crataegus*-Arten liegt im Mai oder Juni, die Blühdauer beträgt circa vier Wochen (ebd.). Die grünen Blätter sind wechselständig angeordnet (ebd.). Die Gattung *Crataegus* trägt sehr spitze Sprossdornen (WEBER 2003). In Mitteleuropa ist der Wuchs von *Crataegus* spp. oft strauchig und nur vereinzelt baum- artig (HIEKE 1989).

Blutroter Hartriegel

Cornus sanguinea (Blutroter Hartriegel) ist eine in Mitteleuropa heimische Pflanzenart aus der Familie der *Cornaceae* (Hartriegelgewächse) (ROTHMALER 2021). Die Standorte von *C. san- guinea* ähneln denen der *Crataegus*-Arten: Das Gehölz steht in frischen bis trockenen Laub- mischwäldern, in Gebüsch und deren Rändern und in Hecken (ebd.). Die Art steht bevorzugt in der Sonne, im Halbschatten entwickeln sich die Blüten nicht vollständig (HIEKE 1989). Bei den Bodenverhältnissen ist *C. sanguinea* anspruchslos, hat aber eine Präferenz für basische Böden (ebd.). Das Gehölz verträgt trockene Verhältnisse (ebd.). Die kleinen, vierzähligen Blü- ten stehen in dichten und eher breiten Trugdolden (ebd.). Wie die meisten Arten der Gattung *Cornus* trägt *C. sanguinea* weißgelbe Blüten (ebd.). So wie bei den *Crataegus*-Arten liegt die Blütezeit von *C. sanguinea* im Mai und Juni (ROTHMALER 2021). Seine grünen Blätter sind gegenständig (HIEKE 1989). Das Erscheinungsbild von *C. sanguinea* lässt sich in Mitteleuropa meist als strauchig beschreiben, nur selten ist das Gehölz baumartig ausgeprägt (ebd.).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Untersuchungsgebiet

Alle untersuchten Sträucher befinden sich in der unmittelbaren Umgebung des Markts Weidenbach im Landkreis Ansbach, welcher im Regierungsbezirk Mittelfranken liegt. Das Untersuchungsgebiet gehört zu der Naturraum-Haupteinheit Fränkisches Keuper-Lias-Land. Die durchschnittliche Lufttemperatur lag für das Jahr 2023 bei 10,4° Celsius, der Mittelwert der Referenzlufttemperatur im vieljährigen Mittel der Jahre 1961 – 1990 betrug 7,7° Celsius. Die Niederschlagssumme belief sich im Jahr 2023 auf 671,4 mm, was einer Zunahme von 39 mm im Vergleich zum vieljährigen Mittel entspricht. Die Messstation Triesdorf (Markt Weidenbach) befindet sich auf 440 m ü. NN (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2024b). Der vorherrschende Bodentyp im Untersuchungsgebiet ist Braunerde über Sand, aber auch Pararendzina, (Braunerde-) Pseudogley und ein Bodenkomplex aus Gleyen und anderen grundwasserbeeinflussten Böden können vorgefunden werden.

Vier der Weißdornsträucher (W 281 sowie W 67 – 69) liegen auf den Projektflächen des APART-Projekts, welche von den Landwirtschaftlichen Lehranstalten (LLA) verwaltet werden. Auf diesen Flächen wachsen weitere Crataegus-Sträucher, die für die Datenerhebung aus unterschiedlichen Gründen nicht geeignet waren. Die untersuchten Hartriegelsträucher liegen alle auf den Projektflächen des Forschungsprojekts.

3.2 Kartierung

Für die Kartierung der Sträucher wurden alle Hecken auf dem APART-Projektgebiet auf geeignete Weißdorn- und Hartriegelsträucher untersucht. Zur Kartierung der einzelnen Sträucher wurden Ortsmarken in Google Earth gesetzt (GOOGLE IRELAND LIMITED 2024). Dabei wurden die Sträucher in der Reihenfolge, wie sie bei der Kartierung vorgefunden wurden, durchnummeriert. Ungeeignete Sträucher wurden nicht in den Datensatz mitaufgenommen. Bei der Eignung der Sträucher für die Datenaufnahme wurden die Zugänglichkeit sowie die Höhe und die Breite des jeweiligen Strauchs beachtet. Vor Ort wurden die Sträucher in die zwei Kategorien, „a“ und „b“ eingeteilt: Der Kategorie „a“ wurden Sträucher zugeordnet, die als sehr zugänglich eingestuft wurden. Das beinhaltete eine ebene Bodenoberfläche und keinen Bewuchs durch andere Arten in einem potenziellen Zählrahmen. Als „b“ wurden Sträucher kategorisiert, bei denen die eben genannten Kriterien nicht vollständig erfüllt waren. Leichte Stei-

gungen des Geländes und für die Datenaufnahme unerheblicher Bewuchs, beispielsweise einzelne Äste, die für die Dauer der Datenaufnahme außerhalb des Zählrahmens gebogen werden konnten, wurden toleriert. Da sich die Zuordnung zu den Kategorien nur auf die Zugänglichkeit bezog, wurden die Kategorien für die Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Aus den kartierten Sträuchern wurden 23 Weißdorne und acht Hartriegel für die Datenerhebung ausgewählt.

Die folgende Karte zeigt die Lage der untersuchten Gehölze in der Umgebung des Markts Weidenbach (Abbildung 1). Die Luftbilder werden durch das Landesamt für Breitband, Digitalisierung und Vermessung bereit gestellt (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG 2023).

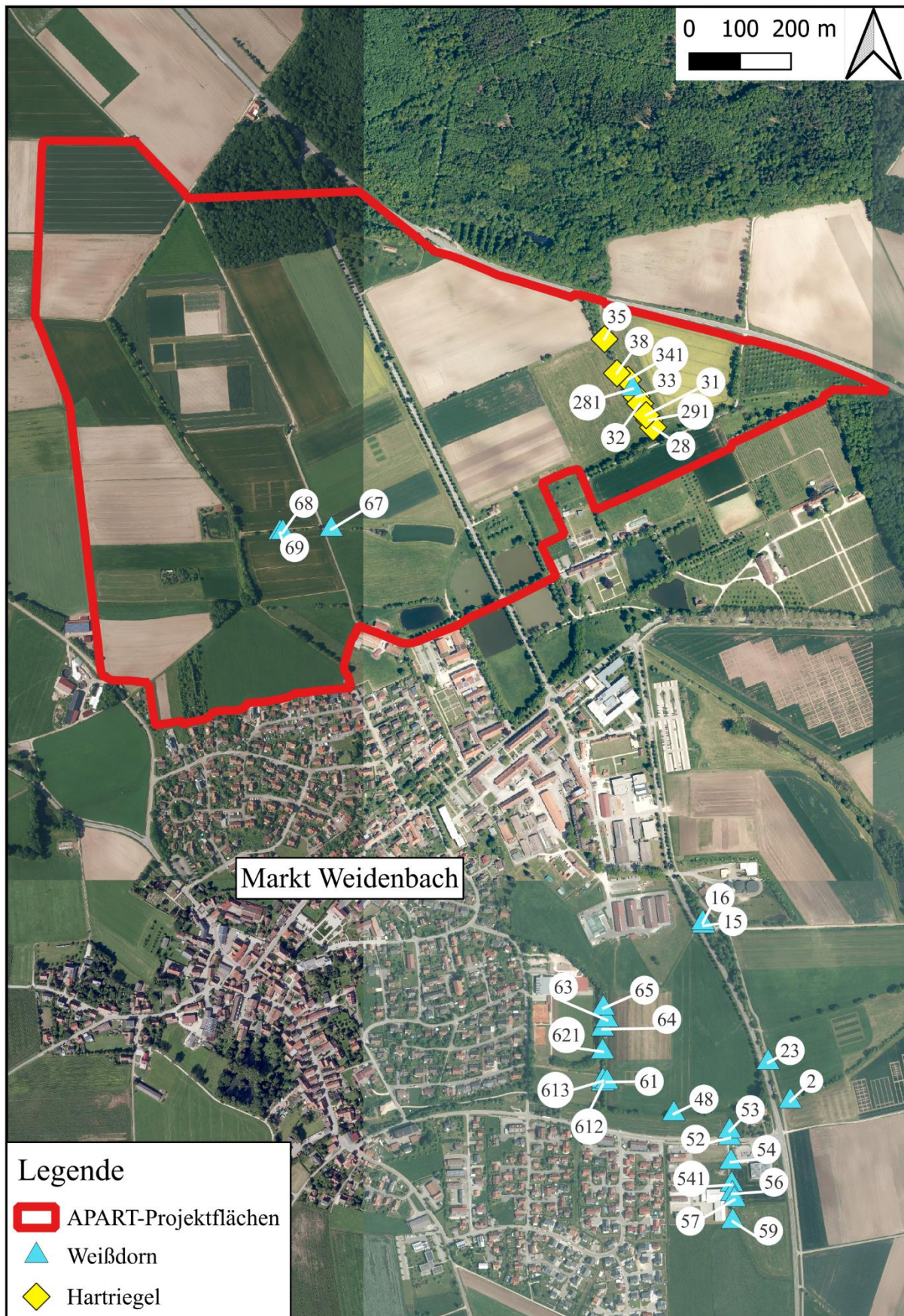


Abbildung 1: Lage der untersuchten Gehölze im Luftbild (Quelle: eigene Erstellung).

3.3 Methodik Einzelblüten

3.3.1 Manuelle Methode (Blende)

3.3.1.1 Idee und Vorüberlegungen

Bei den Überlegungen zur manuellen Erfassung von Einzelblüten wurde schnell klar: Zur effizienten Gestaltung dieser Aufgabe führt kein Weg daran vorbei, nur einen kleinen Teil der Blüten händisch auszuzählen und dann auf eine größere Fläche, in diesem Fall auf den gesamten Zählrahmen hochzurechnen. Die Schwierigkeit lag bei der Begrenzung dieser kleinen Fläche. Es galt eine Methode zu finden, bei der die Erhebung repräsentativ, gleichmäßig anwendbar und möglichst ohne subjektive Entscheidungen erfolgte. Außerdem musste sie praktikabel und umsetzbar sein. Da die zu untersuchenden Arten in einer Hecke und somit einem linienförmigen Element stehen, war die Erfassungsfläche auf eine Seite des Weißdorns beschränkt. Dort musste der Zählrahmen platziert werden. Da die Oberfläche des Weißdorns aber nicht eben, sondern eine dreidimensionale Struktur mit herausragenden Ästen ist, wurden feste Zählrahmen, beispielsweise in Form eines Gitters, als impraktikabel empfunden. Deshalb fiel die Entscheidung auf eine Vorgehensweise, in der Licht und Schatten die Grenzen der auszuzählenden Fläche festlegen. Eine naheliegende Umsetzung wäre eine tragbarer Beamer gewesen, wobei diese Idee unter anderem aufgrund der Feuchte der Nacht wieder verworfen wurde. Aus diesem Grund wurde die Idee weiterentwickelt, sodass die finale Umsetzung mittels einer Konstruktion aus einer Blende und einer dahinter befestigten Taschenlampe erfolgte. Dabei sollte der Schatten, den die Blende wirft, den Zählrahmen abgrenzen. Löcher in der Blende sollten kreisförmige Flächen auf dem Weißdorn beleuchten, in denen die Blüten dann ausgezählt werden sollten.

Um diesen Plan konkret werden zu lassen, wurde das Vorhaben anhand eines Kartons mit unterschiedlich großen Löchern zuerst in einem Innenraum erprobt. Dazu wurde der Abstand des Kartons als auch der der Taschenlampe von der Wand, auf der ein potenzieller Zählrahmen abgemessen wurde, variiert. Der Zählrahmen wurde auf zwei Meter Höhe und einem Meter Breite festgelegt. Die Höhe des Zählrahmens wurde dabei durch die Körpergröße begrenzt, damit alle Blüten für die Zählung erreichbar bleiben. Die Breite wurde auf einen Meter festgelegt, was einen Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit darstellt. Dann wurde eine Skizze angefertigt und die Größe der Blende und der Löcher so definiert, dass die Löcher zusammen 30 Prozent der Blende und somit auch 30 Prozent des Zählrahmens ergeben. Dieser Wert wurde empirisch ebenso als Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit festgelegt. Es wurde sich für insgesamt sechs Löcher in zwei vertikalen Reihen á drei Löchern entschieden. Die

beiden Reihen wurden in vertikaler Richtung gegeneinander versetzt, sodass die zu erfassenden Lichtflecken ein breites Höhenspektrum abbilden. Die unteren 50 Zentimeter der Weißdorne wurden ausgespart, da davon auszugehen ist, dass dort keine oder vernachlässigbar wenige Blüten aufgrund der Lichtverhältnisse vorhanden sind.

Die fertige Skizze wurde an die Werkstatt der HSWT gegeben, in der die Konstruktion angefertigt wurde. Die Skizze befindet im Anhang. Im Folgenden wird die gesamte Anordnung inklusive aller Teile nur noch als Blende bezeichnet.



Abbildung 2: Versuchsaufbau mit der Blende (links). Lichtflecken der Blende auf einem Weißdorn (rechts; Quelle: eigene Aufnahmen).

3.3.1.2 Umsetzung

Da die Kartierung vor der Blütezeit der Weißdorne erfolgte, wurden die Weißdornsträucher vor der nächtlichen Datenerhebung zuvor bei Tageslicht auf ihre Blühaktivität geprüft. Da einzelne der ausgewählten Weißdorne aus der Kategorie „a“ keine Blüten ausgebildet hatten, wurden diese von der Datenaufnahme ausgeschlossen. Diese wurden durch Weißdorne, die bei der Kartierung als Kategorie „b“ aufgenommen wurden, ersetzt.

Vor dem Weißdorn wurde das Stativ mit der Blende im Abstand von 1,10 Metern aufgestellt und die Taschenlampe eingeschaltet. Die Höhe des unteren Rands der Blende auf dem Stativ über dem Erdboden wurde auf einen 99 Zentimeter eingestellt (vgl. Abbildung 3).

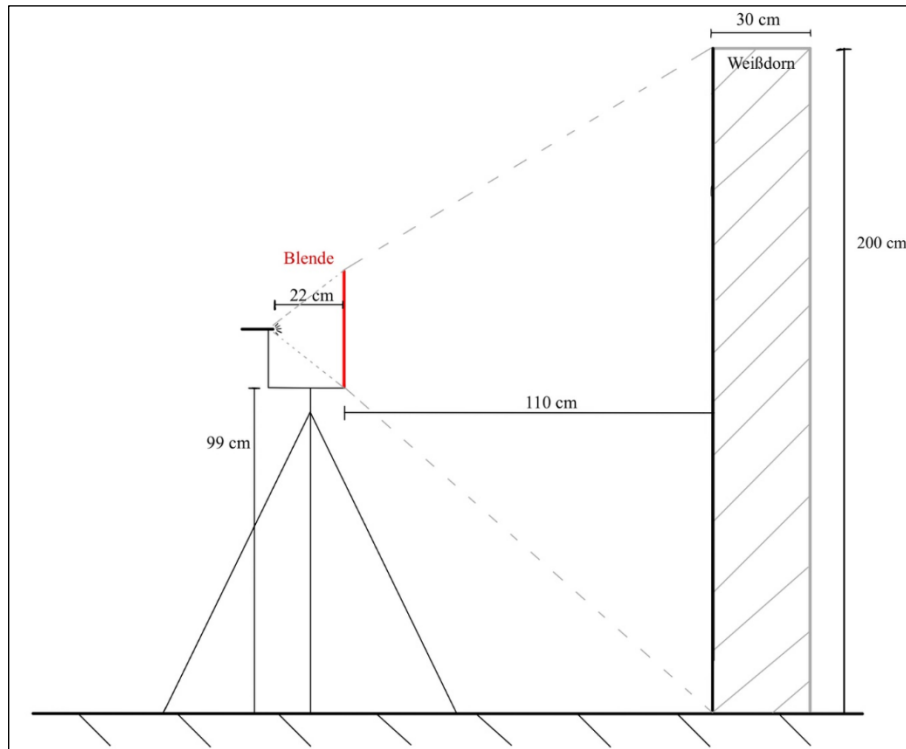


Abbildung 3: Skizze des Versuchsaufbaus (Quelle: eigene Anfertigung).

Mit dem Meterstab wurde der Zählrahmen vermessen. Dazu wurde der Meterstab an den Weißdorn gestellt und die Höhe von zwei Metern abgemessen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Zählebene für alle Weißdorne gleich ist. Der Meterstab legt dabei die Lage der Zählebene fest, die sich möglichst auf einer Ebene mit den Enden der meisten blütentragenden Äste befinden sollte. Im nächsten Schritt wurde die Blende durch das Variieren des Abstands korrekt ausgerichtet. Der obere Rand des Schattenwurfs muss auf der oberen Grenze des Zählrahmens liegen. Das untere Ende des Schattenwurfs soll unten durch die Bodenoberfläche begrenzt werden. Um den Schattenwurf an den Zählrahmen anzupassen, muss der Abstand zwischen der Blende und dem Weißdorn 1,10 Meter betragen. Da das Seitenverhältnis der Blende 2:1 ist, sollte die Breite des Schattens auf dem Weißdorn von einem Meter bereits gegeben sein. Diese sollte aber trotzdem mit dem Meterstab kontrolliert werden. Wenn die Blende korrekt ausgerichtet ist, wird der Meterstab nochmal an die gleiche Stelle gestellt, um zu prüfen, ob der untere Rand des ersten Lichtflecks in 50 Zentimetern Höhe über der Bodenoberfläche liegt. Ist dies

der Fall, ist die Blende richtig ausgerichtet. Dann können die oberen sowie die unteren Ecken des Zählrahmens mit einem Forstmarkierungsband gekennzeichnet werden. Dazu wurde von dem Band ein circa 20 bis 30 Zentimeter langes Stück abgeschnitten und mit einem einfachen Knoten an einem Ast befestigt. Um den Zählrahmen präzise abzugrenzen, können weitere Bändchen an den vertikalen Grenzen angebracht werden. Meist wurde jeweils ein weiteres Band in circa einem Meter Höhe rechts und links angebracht. Abhängig von der Geometrie des Weißdorns wurden teilweise zwei Bänder verwendet, um die Ecke des Weißdorns zu markieren. Dieser Fall trat ein, wenn an der Stelle, an der das Band angebracht werden müsste, kein Zweig war, um es zu befestigen. Dann wurden die Bänder unterhalb der Ecke und auf der horizontalen oberen Grenze befestigt, um mit deren Schnittpunkt die Ecke zu markieren. Da für diese Arbeit eine Kontrollzählung des gesamten Zählrahmens für jeden Weißdorn durchgeführt wurde, wurden die unteren 50 Zentimeter auf den vertikalen Grenzen des Zählrahmens ebenfalls markiert.

Für künftige Datenerhebungen ist es gegebenenfalls nicht notwendig, den Zählrahmen dauerhaft mit Forstmarkierungsband zu markieren. In diesem Fall können zum Beispiel Wäscheklammern verwendet werden, um den Zählrahmen für die Dauer der Zählung zu markieren.

Nach der Kennzeichnung musste noch die Tiefe des Zählrahmens bestimmt werden. Dazu wurden mit dem Meterstab 30 Zentimeter in den Weißdorn im ersten zu zählenden Lichtfleck hineingemessen. Die Tiefe des Zählrahmens wurde mittels einer Wäscheklammer an einen Zweig gekennzeichnet. Um eine einheitliche Tiefe zu gewährleisten, wurde für jedes Lichtfleckenpaar die 30 Zentimeter nach innen abgemessen und markiert. Schließlich konnte die Zählung der Blüten in den Lichtflecken mithilfe des Handzählers begonnen werden.

Für jeden Lichtfleck wurde die Anzahl der Blüten in einer Excel-Tabelle notiert. Außerdem müssen noch weitere Informationen festgehalten werden, wie das Aufnahmedatum und die Nummer des Weißdorns. Auch Fotos sind zur Dokumentation sinnvoll, um später die Lichtflecken bei Bedarf wiederfinden beziehungsweise mit den Ergebnissen abgleichen zu können. Dazu kann jeweils ein Foto mit und ohne zusätzliche Beleuchtung durch eine weitere Taschenlampe oder dem Blitz aufgenommen werden. Abschließend wurde die Summe der Blüten in den Lichtflecken gebildet.

Um Verzerrungen durch die fortschreitende Phänologie, Verbiss oder sonstigen Beeinträchtigungen zu verhindern, wurde angestrebt, dass die Datenaufnahme in der Nacht und die Gesamtzählung zeitlich möglichst nah beieinander liegen. Das war aber aufgrund der Wetterbedingungen nicht gänzlich möglich.

Bei der Durchführung der Gesamtzählung wurden mithilfe des Handzählers alle Blüten im Zählrahmen erfasst. Dabei wurde die Markierung der Tiefe der Zählung mit der Blende berücksichtigt, welche anhand der Wäscheklammern gekennzeichnet wurde. Dies ist besonders wichtig, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen.

3.3.2 Digitale Erfassungsmethoden

3.3.2.1 Idee und Vorüberlegungen

Im Zeitalter von Digitalisierung und dem Aufkommen von für jeden zugänglicher Künstlicher Intelligenz ist die Idee nicht weit hergeholt, die eher banale Aufgabe des Zählens von Blüten mittels maschinellen Lernens zu erfüllen. Im Austausch mit dem Kompetenzzentrum für Digitale Agrarwirtschaft (KoDA) der HSWT wurde sich für ein Vorgehen mit einem frei verfügbaren Programm entschieden, mit dem ein Modell trainiert werden kann, welches die Blüten auf einem Bild eines Weißdorns erkennt und quantifiziert. Dieser Ansatz wird unter dem Punkt 3.3.2.2 weiter beschrieben.

Wie anfangs erläutert, ist die Erfassung von Daten mit der Drohne im Agrarsektor mittlerweile weit verbreitet. Deshalb wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit untersucht, ob sich diese Weg der Datenerfassung auch für die Quantifizierung des Blütenangebots eignet. Die Umsetzung in die Praxis findet sich unter Abschnitt 3.3.2.3.

Um mit dem Smartphone aufgenommene Bilder auszuwerten, wird oft der Weg der Verarbeitung mit klassischen Bildverarbeitungsmethoden gewählt. Im Unterschied zum vorher beschriebenen Modell auf Basis von künstlicher Intelligenz werden nur die Farbwerte und nicht die Form des gewünschten Objekts einbezogen. Beim Ansatz über klassische Bildverarbeitungsmethoden werden Kriterien, mit welchen eine Blüte auch als solche klassifiziert wird, händisch festgelegt und erprobt. Nachdem die Kriterien festgelegt sind, können sie auf die aufgenommenen Bilder angewendet und der Prozentanteil der als „Blüte“ klassifizierten Pixel ausgelesen werden. Abschließend kann ein potenzieller Zusammenhang zwischen den als Blüte klassifizierten Pixeln sowie der tatsächlichen Blütenzahl geprüft werden. In Kapitel 3.3.2.4 wird dieser Vorgang näher erläutert.

Ähnlich ist das Vorgehen mit der Hyperspektralkamera: Der Ansatz ist derselbe, nur werden die Blüten in dem zur Kamera gehörenden Programm anhand des Spektrums jedes Pixels klassifiziert. Das Programm verbindet zur Kategorisierung der Daten sowohl Methoden aus der klassischen Bildverarbeitung als auch künstliche Intelligenz. Auch hier wird ein Modell trainiert, das die Blüten auf den Bildern als weiße Pixel markieren soll. Der Rest des Bildes soll auf dem Ergebnisbild dunkel erscheinen, sodass das Ergebnisbild ein binäres Bild ist. Da die Hyperspektralkamera Informationen auf 15 verschiedenen Kanälen aufnehmen kann, können Pixel, die für das menschliche Auge in derselben Farbe erscheinen, anhand der weiteren Informationen auf den verschiedenen Kanälen innerhalb des Programms trotzdem unterschieden werden. Dies hängt mit den Reflexionseigenschaften der verschiedenen abgebildeten Objekte zusammen. Zum Vergleich: eine gängige Kamera oder ein durchschnittliches Smartphone können Daten auf drei Kanälen aufnehmen. Wie bei der vorherigen Methode mit den Smartphone-Fotos wird der Anteil der weißen Pixel anschließend für jedes Bild ermittelt und eine mögliche Korrelation mit der Gesamtzählung geprüft. Dies wird ausführlich im Abschnitt 3.3.2.5 beschrieben.

3.3.2.2 Umsetzung maschinelles Lernen

Zur Verarbeitung der Bilder wurde die kostenlose Computer Vision und KI Plattform „Roboflow“ (ROBOFLOW INC. 2024) herangezogen. In dieser Bachelorarbeit wurde das Modell „Roboflow 3.0 Objekt Detection“ im Modus „Fast“ verwendet, welches auf dem Basis-Datensatz „COCO“ aufgebaut ist (ROBOFLOW INC. 2024). Nachdem ein Benutzeraccount angelegt wurde, wurden 21 Fotos der Weißdorne in ein dort zuvor erstelltes Projekt hochgeladen. Mit der Unterstützung des Studenten Michael Liepold, der bereits Erfahrung mit der Software gesammelt hatte, wurde den Bildern die programminternen Kategorien „train“, „valid“ und „test“ zugeordnet. Wie ROBOFLOW INC. (2024) auf ihrer Website schreibt, ist dies wichtig, um eine Überanpassung des Modells auf den Trainingsdatensatz zu verhindern und eine genauere Bewertung der Güte des Modells vornehmen zu können. Jede Datei sollte dabei nur einer der drei Kategorien zugeordnet werden. Die Bilder in der Kategorie „train“ werden zur Annotation der Bilder verwendet. Das bedeutet, dass die Zielobjekte durch eine manuelle Umrandung, in diesem Fall der Blüten, festgelegt werden. Um schon während des Trainings zu sehen, wie gut das Modell auf Bildern, die nicht im Trainingsdatensatz verwendet werden, funktioniert, können die Bilder der Kategorie „valid“ herangezogen werden. Wie der Name der dritten Kategorie „test“ impliziert, werden diese Dateien zum Testen des Modells verwendet. Für diese

Bachelorarbeit wurden 14 Bilder der Kategorie „train“, drei Bilder der Kategorie „valid“, und vier Bilder der Kategorie „test“ zugeordnet.

Zur Annotation wurden manuell pro Bild circa 20 bis 40 Blüten einzeln eingerahmt und als „Bluete“ klassifiziert. Dabei wurden nur Blüten zur Klassifizierung ausgewählt, die auf dem Foto scharf, einzeln und von dem Hintergrund gut abgrenzbar waren. Zusätzlich wurden jeweils circa zehn Knospen auf fünf Bildern annotiert und als „Bluetenknospe“ kategorisiert. Diese geringe Zahl an annotierten Knospen wurde ausgewählt, da der Fokus der digitalen Bildauswertung nicht auf den geschlossenen Blüten lag, weil diese nur eine geringe Anzahl an der Gesamtzahl der Blüten ausmachten. Dies war ein Versuch, die Güte des Modells auf Basis einer nur geringen Zahl an annotierten Objekten zu testen.

Nachdem die Bilder annotiert waren, wurde ein Testlauf des Modells gestartet. Da keine Blüten erkannt wurden, wurden weitere Bilder in der Annahme, das Ergebnis ließe sich durch einen größeren Trainingsdatensatz verbessern, annotiert. Nach einem weiteren Testlauf wurde der Versuch abgebrochen, da das Modell nur sehr vereinzelt Blüten erkannt hat. Im Vergleich zum ersten Testergebnis war eine leichte Besserung des Ergebnisses festzustellen. Der Zeitaufwand für eine deutliche Verbesserung des Ergebnisses war nicht abzuschätzen, weshalb diese Methode nicht weiterverfolgt wurde. Auf die potenziellen Gründe für das Scheitern dieses Vorgehens wird in der Diskussion unter 5.2 eingegangen, von der Auswertung sowie dem Ergebnisteil wird diese Methode ausgenommen.

3.3.2.3 Umsetzung Datenerhebung aus der Luft

Für die Datenerhebung wurde die Drohne „DJI Mavic 3 Enterprise Multispectral“ verwendet (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD. 2021a). Die technischen Daten zu den verwendeten Kameras finden sich im Anhang. Weitere technische Daten sind auf der Website des Herstellers zu finden (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD. 2021b).

Der Drohnenflug wurde von Michael Liepold umgesetzt. Er nahm mit der Drohne Weißdorne in unterschiedlichen Höhen auf und von verschiedenen Seiten auf, mit dem Ziel, in der Software Agisoft Metashape im Anschluss anhand der gesammelten Daten 3D-Punktwolken zu erstellen (AGISOFT 2024). Die Drohne nahm neben RGB-Bildern auch multispektrale Bilder sowie Uhrzeit und GPS-Position des jeweiligen Fotos auf. Die Maximalhöhe, in der Bilder aufgenommen wurden, beträgt circa 13 Meter. Die maximale Windgeschwindigkeit während der Datenaufnahme betrug 4,5 km/h. Während der Datenaufnahme wurde festgestellt, dass der Kontrast

auf dem Bildschirm des Steuerungspads schwach ausgeprägt war, was dazu führte, dass die roten Forstmarkierungsbänder nur schwer zu erkennen waren.

3.3.2.4 Umsetzung RGB-Daten

Die bei der Gesamtzählung aufgenommenen Bilder mit dem Smartphone stellen die Datengrundlage für diese Methode dar. Dafür wurde eine Smartphone-Kamera mit einer Auflösung von 8192×6144 Pixeln verwendet. Die Bilder der Sträucher wurden frontal in einer Höhe von circa 1,30 Metern und mit einem Abstand von circa 1,40 Metern bei Tageslicht ohne zusätzliche Beleuchtung oder Blitz aufgenommen. Es wurde so fotografiert, dass der gesamte Zählrahmen vollständig auf dem Bild zu sehen ist. Außerdem wurde ein Meterstab als Referenz für den Maßstab mit abgebildet. Dieser wurde teilweise im Zählrahmen, teilweise daneben platziert. Da die Farbe eines Pixels über die Werte der Farbkanäle rot, grün und blau (RGB) definiert werden, wird im Folgenden die Datengrundlage als RGB-Daten oder -Bilder bezeichnet.

Mithilfe des Programms QGIS in der Version 3.36 konnten Farbwerte für einzelne Pixel ausgelesen werden (QGIS DEVELOPMENT TEAM 2024). Durch Anklicken der Pixel verschiedener Objekte auf dem Bild mit dem Tool „Objekte abfragen“ konnten die Werte für die Kanäle rot, grün und blau abgelesen werden. Durch Ausprobieren und Vergleichen der Werte wurden Kriterien erarbeitet, die die verschiedenen Objekte beschreiben sollen. Im nächsten Schritt konnten die zuvor erarbeiteten Kriterien mithilfe des „Rasterrechners“ visualisiert werden. Dazu wurden die Kriterien mit den Farbwerten rot, grün und blau jedes Pixels, im Rasterrechner als „Rasterkanäle“ bezeichnet, im Rasterrechner in Formeln übersetzt. Beispielsweise wurde für die Blütenpixel die Formel $((w@1+w@2+w@3)/3 > 150=1)$ verwendet. Das „w“ ist der Dateiname des Bilds, „@1“ bezeichnet den ersten Kanal, also den roten Farbwert des jeweiligen Pixels. Die anderen beiden Kanäle bezeichnen die Farbwerte grün und blau.

Vor die Bezeichnung des Objekts, das das Kriterium beschreibt, wurde ein „nicht“ eingefügt, um zu verdeutlichen, dass wenn das Kriterium zutrifft, es als Blüte klassifiziert wird und nicht zum Hintergrund des Bilds gehört. Tabelle 1 zeigt die so erstellten Kriterien.

Tabelle 1: Übersicht über die Kriterien. Damit ein Pixel als „Bluete“ klassifiziert wird, müssen alle Kriterien für dieses Pixel erfüllt sein. In den Formeln sind die Buchstaben zur Bezeichnung RGB (Rot-Grün-Blau) äquivalent (Quelle: eigene Darstellung).

Bezeichnung des Kriteriums	Formel
Bluete	$(R+G+B)/3 > 150$
Nicht Hell Grün	$R > 185$
Nicht Ast dunkel	$(R+G+B)/3 > 60$
Nicht Gelbe Pixel	$(R+G)/2 < (3*B)$
Nicht Rest Gelb	$B > 100$
Nicht Himmel	$(R+G)/2 > B$
Nicht Rest Himmel	$(R+G+B)/3 < 250$

Dabei wurde das Kriterium „Bluete“ als „1“ klassifiziert, die restlichen Kriterien wurden der Kategorie „0“ zugeordnet. Im nächsten Schritt wurde das Ausgangsbild in ein binäres Bild anhand der Kriterien transformiert. Das bedeutet, dass alle Pixel, die in die Kategorie „1“ fallen, also das Kriterium „Bluete“ erfüllen, im neu erzeugten Bild in der Farbe Weiß dargestellt werden sollen. Alle Pixel, denen der Wert „0“ zugeschrieben wird, werden im Ergebnisbild schwarz dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit wurde zusätzlich ein farbiges Ergebnisbild erstellt, in dem die als Blüte klassifizierten Pixel rosa dargestellt werden (Vgl. Abbildung 4). Die Kriterien wurden so lange verbessert, bis das Ergebnisbild zufriedenstellend war.



Abbildung 4: Farbiges Ergebnisbild der Kombination aller Kriterien.

Mit der Unterstützung von Herrn Prof. Dr. Patrick Noack, Leiter des Kompetenzzentrums für Digitale Agrarwirtschaft, wurde das beschriebene Vorgehen in Python programmiert, um es auf alle auszuwertenden Bilder gleichzeitig anwenden zu können (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION 2024). Das zugehörige Python-Skript befindet sich im Anhang. Zusätzlich zum schwarz-weißen Ergebnisbild wird für jedes Kriterium, das im Python-Skript enthalten ist, ein binäres Bild erstellt. Zur besseren Einordnung des Ergebnisses wurde so programmiert, dass ein weiteres Ergebnisbild erzeugt wird, welches die als „Blüte“ klassifizierten Pixel mit der Farbe Rosa mit dem Originalbild als Hintergrund zeigt. Außerdem wurde in dem Programm im selben Schritt der Anteil der als „Blüte“ klassifizierten Pixel für jedes Bild berechnet und in einer txt-Datei aufgelistet. Bevor das Python-Skript auf alle Bilder angewendet werden konnte, mussten diese noch auf den Zählrahmen zugeschnitten und der weiße Meterstab übermalt werden, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. Dafür wurde die Windows Fotoanzeige (MICROSOFT CORPORATION 2024) benutzt. Die Abdeckung des Meterstabs wird auf dem Bild des Weißdorns mit der Nummer 54 (Abbildung 5) deutlich. Wenn die Bilder vorbereitet sind, können sie mit dem Python-Skript verarbeitet werden. Sobald dieser Prozess abgeschlossen ist, kann die txt-Datei in eine Excel-Tabelle zur Vorbereitung der Auswertung übertragen werden.

Für jeden Weißdorn wurden die beiden durch das Python-Skript entstandenen Ergebnisbilder, genauer das schwarz-weiße und das Ergebnisbild mit Hintergrund, mit dem Originalbild verglichen und einer der drei Kategorie „A“, „B“ und „C“ zugeordnet. Die Zuweisung zu den Kategorien erfolgte anhand des Grads der Fehlzugeordnung. Die Fehlzugeordnung beschreibt sowohl Pixel, die fälschlicherweise der Kategorie „Blüte“ zugeordnet wurden, als auch Pixel, die als „Blüte“ kategorisiert werden müssten, dies aber nicht erfolgte. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei der Erläuterung der Kategorien für den Vergleich der beiden Ergebnisbilder mit dem Originalbild nur das Ergebnisbild mit Hintergrund herangezogen.

Kategorie A

Ein Ergebnisbild wurde der Kategorie A zugeordnet, wenn geschätzt mindestens 80 Prozent der tatsächlichen Blütenfläche als „Bluete“ erkannt wurde und der Anteil der Fehlzurordnung insgesamt kleiner war als die tatsächliche Fläche der Blüten. Diese Werte wurden anhand des Vergleichs mit dem Originalbild abgeschätzt. In der Annahme, bei geringerem Anteil der korrekten Erkennung von Blüten wäre eine potenzielle Korrelation des Deckungsgrads mit der tatsächlichen Blütenzahl nur auf den Zufall zurückzuführen, wurde der Grenzwert von 80 Prozent festgelegt. Exemplarisch für die Kategorie A ist das Ergebnisbild des Weißdorns Nr. 56. Wie deutlich zu erkennen ist, wurden fast alle Blüten auf dem Bild auch als „Bluete“ kategorisiert und die Fehleinschätzung ist als sehr gering einzustufen.



Abbildung 5: Beispielbild für Kategorie A, Weißdorn Nr. 56, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).

Kategorie B

In die Kategorie B wurde ein Ergebnisbild eingeteilt, wenn sich der Anteil der Nichterkennung von Pixeln als „Blüte“ mit denen der fälschlichen Klassifizierung als „Blüte“ ungefähr deckten. Die beiden Anteile wurden hierzu abgeschätzt. Als Beispiel wurde das Bild des Weißdorns mit der Nummer 54 ausgewählt.



Abbildung 6: Beispielbild für Kategorie B, Weißdorn Nr. 54, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).

Beim Ergebnisbild des Weißdorns Nr. 54 ist anzunehmen, dass der Anteil der fälschlicherweise als „Blüte“ erkannten Pixel, beispielsweise auf dem Stamm des Weißdorns, sich in etwa mit dem Anteil der nicht erkannten Blütenfläche deckt.

Kategorie C

Wenn schätzungsweise weniger als 80 Prozent der Blüten auf einem Bild erkannt wurden oder der Anteil der Fehlzuzuordnung größer war als der Anteil der Blüten auf dem Bild insgesamt, wurde das Ergebnisbild der dritten Kategorie C zugeordnet.

Als Beispiel wird hier das Bild des Weißdorns Nr. 48 angeführt, da der Mindestanteil von 80% nicht erfüllt wurde, wie deutlich zu erkennen ist.



Abbildung 7: Beispielbild für Kategorie C, Weißdorn Nr. 48, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).

Ein weiteres Beispiel stellt das Ergebnisbild des Weißdorns Nr. 621 dar, auf dem der Anteil der Fehleinschätzung den Anteil der tatsächlichen Blütenfläche übertrifft.



Abbildung 8: Beispielbild für Kategorie C, Weißdorn Nr. 621, original und verarbeitet (Quelle: eigene Aufnahme).

Der letzte Schritt vor Beginn der Auswertung war die Eintragung der Zuordnung zu den Kategorien in die Excel-Tabelle zu den Werten des Deckungsgrads der „Blüte“-Pixel.

3.3.2.5 Umsetzung Datengrundlage Hyperspektrale Information

Für die Datenerhebung wurde die Hyperspektralkamera Specim IQ verwendet (SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. 2024). Technische Details befinden sich im Anhang.

Nach einer Einarbeitung in die Anwendung der Hyperspektralkamera wurde die Datenaufnahme begonnen. Dazu wurde das Stativ vor dem zu untersuchenden Weißdorn aufgebaut und die Kamera darauf befestigt. Es wurde eine Messlatte in oder neben den Zählrahmen gestellt, um den Maßstab auf dem Foto mit abzubilden. Der Abstand der Kamera von dem Weißdorn wurde so gewählt, dass auf dem Foto die beiden senkrechten Grenzen des Bildrands den seitlichen Grenzen des Zählrahmens entsprachen. Da die Hyperspektralkamera nur im quadratischen Format Bilder aufnehmen kann, wurden bei der Datenaufnahme teilweise zwei Bilder in unterschiedlichen Höhen für denselben Weißdorn aufgenommen. Bei manchen Weißdornen war aufgrund der Verteilung der Blüten ein Bild ausreichend, um alle Blüten im Zählrahmen zu fotografieren. Die Anteile des Zählrahmens, die keine Blüten beinhalteten, wurden nicht durch die Bilder erfasst. Diese Entscheidung wurde getroffen, um die Datenmenge zu reduzieren.

Anfangs wurden Testaufnahmen gemacht, um die richtige Einstellung für beispielsweise die Belichtung zu erproben. Die Testaufnahmen wurden nicht in die Auswertung miteinbezogen. Die genaue Vorgehensweise der Bedienung der Kamera und den verwendeten Modi und Einstellungen kann der für diese Bachelorarbeit geschriebenen Anleitung im Anhang unter 8.2 entnommen werden. Auch die Verarbeitung der gesammelten Daten mit der zur Hyperspektralkamera gehörenden Software SpecimIQ Studio (SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. 2021) ist im Anhang detailliert im Kapitel 8.3 beschrieben. Das mit SpecimIQ Studio erstellte Modell ist im digitalen Anhang zu finden und kann in die Software importiert werden. Hier wird im Folgenden nur kurz ein Überblick über die Verarbeitung der Hyperspektralbilder gegeben.

In der Software SpecimIQ Studio wurde ein Modell erstellt, welches Pixel aufgrund der gesuchten Eigenschaften klassifizieren und markieren sollte. Dazu wurden die Spektren der gewünschten Pixel miteinander verglichen und auf Gemeinsamkeiten geprüft. Der Verlauf der Graphen von Blütenpixeln fiel durch eine zuerst negative Steigung und dann einen sich abflachenden Anstieg auf. Der Graph des Spektrums unterschied sich in den absoluten Werten zwischen den einzelnen Blütenpixeln, war aber in seinem Verlauf markant (vgl. Abbildung 9).

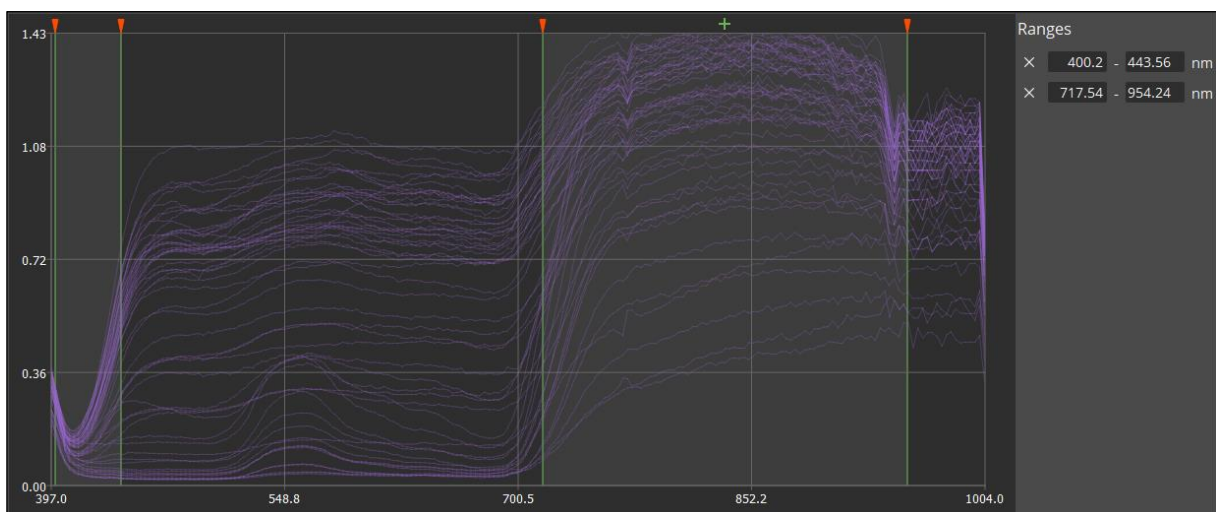


Abbildung 9: Graphen verschiedener Blütenpixel, bei denen die markanten Abschnitte hervorgehoben werden (Quelle: SpecimIQ Studio).

Basierend auf dem Verlauf der Graphen wurden Pixel entweder als Blüte klassifiziert oder dunkel eingefärbt. Dadurch ist wie bei den RGB-Daten ein binäres Bild entstanden. Bevor der Deckungsgrad der weißen Pixel mithilfe des Python-Skripts ermittelt werden konnte, mussten die Hyperspektralbilder zugeschnitten werden. Da das Zuschneiden der Bilder vor der Anwendung des Modells nicht möglich war, konnten dies erst nach der Klassifizierung durch das Modell erfolgen. Im Vergleich mit dem Originalbild wurde das binäre Ergebnisbild maßstabsgerecht

unter Beachtung der Messlatte auf den Zählrahmen zugeschnitten. Da sowohl ein Bild als auch zwei Bilder für denselben Weißdorn nie den gesamten Zählrahmen abdeckten, musste beim Zuschneiden die obere und untere Grenze des Bildes anhand der Messlatte in Zentimetern notiert werden. Die Differenz der beiden Werte bildete den Bildausschnitt, der ebenfalls in Zentimetern angegeben wurde. Anschließend wurde der prozentuale Anteil des Bildausschnitts von der Höhe des Zählrahmens, das heißt von zwei Metern, berechnet. Danach wurde der Anteil, der nicht durch das Bild oder die beiden Bilder erfasst wurde, berechnet. Dieser wurde als fehlender Anteil bezeichnet.

Die Formel für die Berechnung des theoretischen Deckungsgrad der Bilder bezogen auf den gesamten Weißdorn anhand des Maßstabs wurde in die Excel-Tabelle eingetragen. Der Deckungsgrad wurde wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Deckungsgrad gesamt} &= \text{Deckungsgrad Bild oben} * \text{Anteil Bildausschnitt von 2 m} \\ &+ \text{Deckungsgrad Bild unten} * \text{Anteil Bildausschnitt von 2 m} \\ &+ 0 * \text{Fehlender Anteil} \end{aligned}$$

Für Weißdorne, bei denen alle Blüten mit einem Gesamtbild erfasst werden konnten, wurde dieselbe Berechnung, aber mit nur einem Bild durchgeführt.

Das gesamte Vorgehen wird im Folgenden anhand des Beispiels des Weißdorns mit der Nummer 54 näher erläutert.

Für diesen Weißdorn wurden zwei Bilder in unterschiedlicher Höhe aufgenommen (vgl. Abbildung 10). Diese wurden anhand des Modells klassifiziert. Die als Blüte klassifizierten Pixel sind in der Farbe Weiß markiert. Zur Bestimmung des Deckungsgrads wurde das binäre Ergebnisbild verwendet, auf dem die als Blüte markierten Pixel ebenfalls weiß und der Hintergrund dunkel dargestellt wird. Zum besseren Verständnis wird in diesem Beispiel das Vorgehen anhand des Ergebnisbilds mit Hintergrund erläutert.

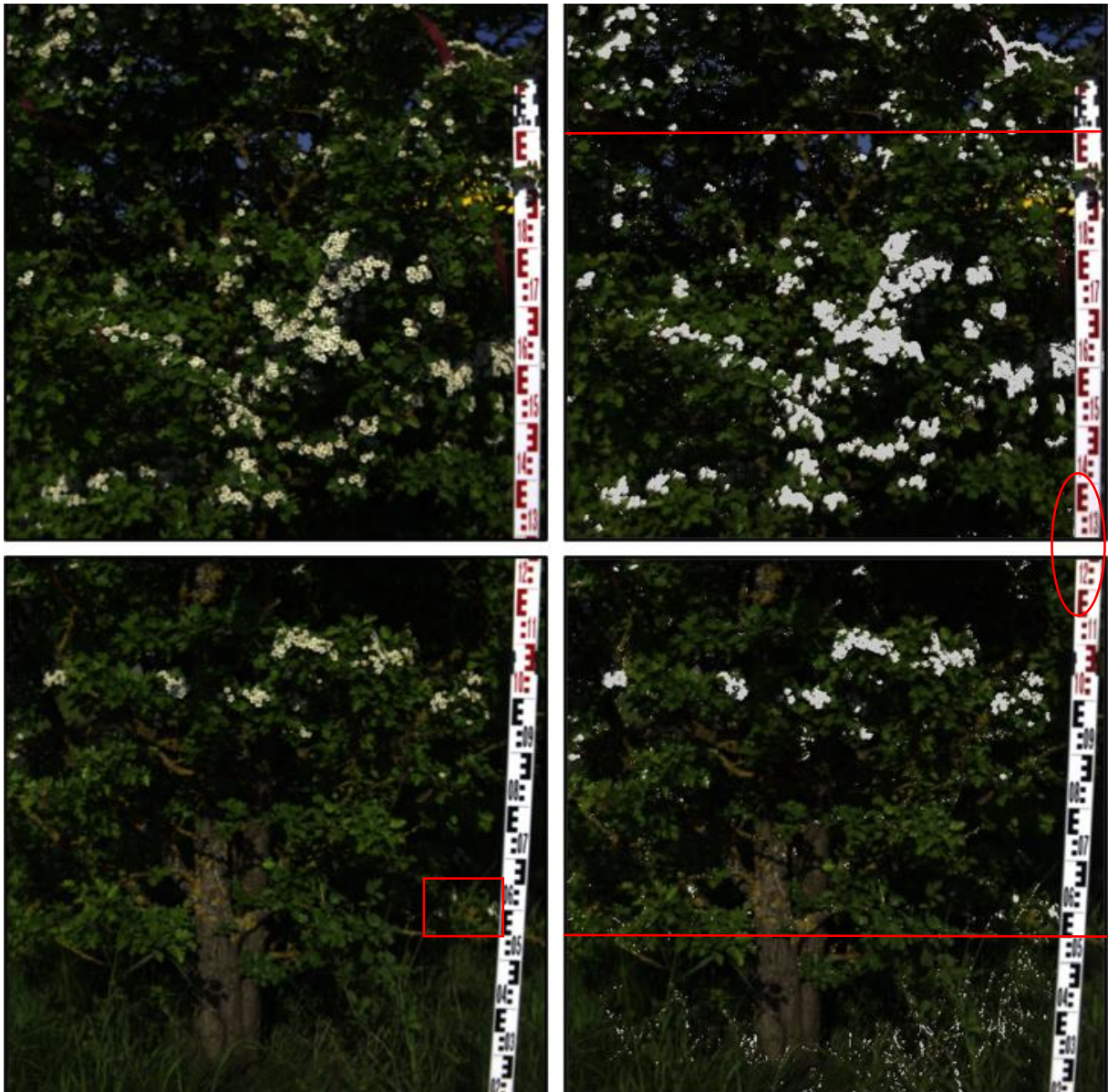


Abbildung 10: Original- und Ergebnisbilder des Weißdorns mit der Nummer 54. Links sind die beiden Originalbilder zu sehen, rechts die Ergebnisbilder mit Hintergrund (Quelle: eigene Aufnahmen).

Da das obere Originalbild nicht an der Grenze des Zählrahmens endet, wurde im oberen Teil des Bildes auf die zwei Meter der Messlatte zugeschnitten. Dies wird durch die eingezeichnete rote Linie symbolisiert. Da sich die erfassten Höhen in den Bildern nicht überschneiden, was an der Messlatte abzulesen ist, musste hier kein Zuschnitt erfolgen. Es ist zu beachten, dass die Bildausschnitte unbeabsichtigt fünf Zentimeter des Zählrahmens, nämlich zwischen 125 und 130 Zentimetern, nicht erfassen (vgl. rote Ellipse). Dies wurde als Fehler erkannt und sich dafür entschieden, in der Berechnung des Deckungsgrads als Grenze für beide Bilder 130 Zentimeter anzunehmen, um den Fehler zu vermindern. Dadurch wird der Deckungsgrad, der für das untere

Bild mittels des Python-Skripts berechnet wird, auf eine größere Fläche als tatsächlich vorhanden projiziert. Wären diese fünf Zentimeter als fehlender Anteil eingetragen worden, wäre damit impliziert worden, dass dort keine Blüten sind. Der Gesamtaufnahme des Weißdorns für die RGB-Bilder ist aber zu entnehmen, dass sich auch dort Blüten befinden. Dieser Weißdorn wurde aufgrund der geringen Stichprobenanzahl trotz dieses Fehlers in der Auswertung berücksichtigt.

Als untere Grenze für den Zuschnitt der Ergebnisbilder wurden die untersten sichtbaren Blüten, in Abbildung 10 mit einem Kästchen umrandet, herangezogen. Die abgelesenen Werte von der Messlatte werden in Zentimetern in die Excel-Tabelle eingetragen. Ein exemplarischer Ausschnitt aus der erstellten Tabelle wird in Abbildung 11 gezeigt.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J
1	W.Nr.	Bild Nr.	Bedeckungsgrad	Messlatte oben [cm]	Messlatte unten [cm]	Bildausschnitt [cm]	Anteil Bildausschnitt von 2 m [%]	Fehlender Anteil [%]	Deckungsgrad gesamt
2	54	119	0,067	200	130	70	0,350	0,275	0,0315
3		121	0,022	130	55	75	0,375		

Abbildung 11: Exemplarische Berechnung der gesamten Deckungsgrads am Beispiel des Weißdorns Nr. 54 (Quelle: eigene Excel-Datei).

Um die Lesbarkeit zu erhöhen, wurde in Abbildung 11 die Spalte D mit der Zuordnung der Bilder zu oben, unten oder gesamt ausgeblendet. Für diesen Weißdorn zeigt die obere Zeile das obere Bild, welches sich auch in Abbildung 10 oben befindet. Da der Deckungsgrad erst in den nächsten Schritten ermittelt wurde, konnten die zugehörigen Werte erst im weiteren Verlauf eingetragen und der gesamte Deckungsgrad erst am Ende berechnet werden.

Nachdem die Bilder zugeschnitten und die Grenzen des Bildausschnitts eingetragen waren, wurde wie bei den RGB-Daten eine Zuordnung der Ergebnisbilder zu den Kategorien A, B und C vorgenommen. Die Kategorisierung entspricht dem zuvor beschriebenen Vorgehen für die RGB-Daten, weshalb dies an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt wird. Als Letztes erfolgte die Ermittlung des Deckungsgrads anhand des Python-Skripts und der anschließenden Übertragung der Werte in die Excel-Tabelle. Mit dem berechneten Gesamtdeckungsgrad konnte die Auswertung begonnen werden.

3.4 Methodik Blütenschirme

3.4.1 Idee und Vorüberlegungen

Es wurde eine Herangehensweise gesucht, die möglichst effizient die Gesamtblütenzahl innerhalb des Zählrahmens an einem Hartriegel ermittelt. Auch für diese Methode lag wieder die Idee zugrunde, eine kleine Stichprobenzahl zu erfassen und auf den gesamten Zählrahmen zu übertragen.

Als Zählrahmen wurden die Höhe von zwei Metern und die Breite von einem Meter festgelegt, um Blütenstände aus allen Höhen einzubeziehen und den Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht zu sprengen.

In der Annahme, dass die Zahl der Einzelblüten einer bestimmten Anzahl an Blütenschirme repräsentativ für den gesamten Strauch sein könnte (Hypothese 3), wurde ein Vorexperiment durchgeführt. Dieses hatte die Ermittlung der auszuzählenden Dolden als Ziel. Dazu wurden die Einzelblüten bei allen sich innerhalb des Zählrahmens befindenden Blütenständen bei einem zufällig ausgewählten Hartriegel ausgezählt. In dem Zählrahmen befanden sich 120 Dolden. Für jede Dolde wurde die Anzahl der Einzelblüten pro Dolde in einer Excel-Tabelle notiert. Während der Datenerhebung wurde beobachtet, dass endständige Dolden mehr Einzelblüten ausbilden als nicht-endständige Dolden. Hierbei ist nicht die enge botanische Definition gemeint, als „Enddolde“ werden im Folgenden Dolden bezeichnet, die sich am Ende eines Haupttriebs befinden. Mit nicht-endständige Dolden sind Dolden an den Seitentrieben gemeint. Bei einem zweiten, sich auf der gleichen Fläche befindenden Hartriegel wurden ebenso die Einzelblüten von 120 Dolden gezählt. Bei dieser Datenerfassung wurde zusätzlich notiert, ob die ausgezählte Dolde eine Enddolde ist. Die 240 Werte beider Zählungen wurden in eine Excel-Tabelle als Vorbereitung für die Auswertung mit dem Statistikprogramm R zusammengetragen.

In R wurde eine theoretische Versuchsreihe erstellt, die eine Auszählung von einer bestimmten Anzahl an Blütenständen simuliert. Das R-Skript befindet sich im Anhang. In dem Versuch stieg die Anzahl der auszuzählenden Blütenstände (nachfolgend als Stichprobenumfang n bezeichnet, vgl. Abbildung 12), in Fünferschritten beginnend bei fünf bis 95 an. Der Stichprobenumfang gab die Anzahl der Werte für die Einzelblüten an, die zufällig aus den 240 erhobenen Werten ausgewählt wurden. Aus diesen Werten wurde dann der Durchschnitt der Einzelblütenzahl pro Dolde gebildet. Für jede Stichprobe wird aus der Gesamtheit aller Werte ausgewählt, vorige Ziehungen schließen den jeweiligen Wert nicht aus. Beispielsweise gibt der Stichpro-

benumfang mit $n=5$ die Anzahl der in die Mittelwertbildung einfließenden fünf Werte für Einzelblüten von fünf zufällig aus 240 ausgewählten Dolden an. Das bedeutet, dass für $n=5$, fünf der erhobenen Werte für die Einzelblüten pro Dolde zufällig ausgewählt werden und aus diesen ein Mittelwert gebildet wird. Für jede Stichprobe wurden 40 Wiederholungen festgelegt, um eine repräsentative Verteilung der berechneten Mittelwerte zu erhalten. Das bedeutet, dass der Vorgang der zufälligen Auswahl von Werten aus der Gesamtmenge für jede Stufe 40-mal wiederholt wird, sodass für $n=5$ genau 40 Mittelwerte für Einzelblüten pro Dolde vorliegen. So wird exemplarisch gezeigt, welche Mittelwerte erhalten werden, wenn an einem Hartriegel fünf Dolden ausgezählt werden würden. Danach wurde die Streuung der Mittelwerte jeder Stufe des Stichprobenumfangs untersucht.

Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, wurde die Grenze der Toleranz für den relativen Fehler der gebildeten Mittelwerte zu dem Mittelwert der 240 ausgezählten Dolden auf 15 Prozent festgelegt. Diese Fehlertoleranz stellt einen akzeptablen Mittelweg zwischen Aufwand und Genauigkeit dar.

Um die Fehlertoleranz miteinzubeziehen, wurde der Mittelwert der 240 Werte für die Blüten pro Dolde gebildet. Dieser beläuft sich auf 41,6 Einzelblüten pro Dolde. Dann wurden die jeweils obere und untere Fehlertoleranzgrenze berechnet. Die obere und untere Grenze des 15 Prozent -Fehlertoleranzbereichs liegt bei $y_1=47,9$ und $y_2=35,4$.

Um die Wahrscheinlichkeit des Fehlers einzurechnen, wurden die drei höchsten und niedrigsten Mittelwerte jeder Stufe ausgeschlossen. Diese sechs Werte haben einen Anteil von 15 Prozent an den 40 Mittelwerten jeder Stufe.

Die Verteilung der 40 Mittelwerte sowie die Fehlertoleranzgrenzen wurde wie folgt in einem Box-Plot-Diagramm (Abbildung 12) visualisiert.

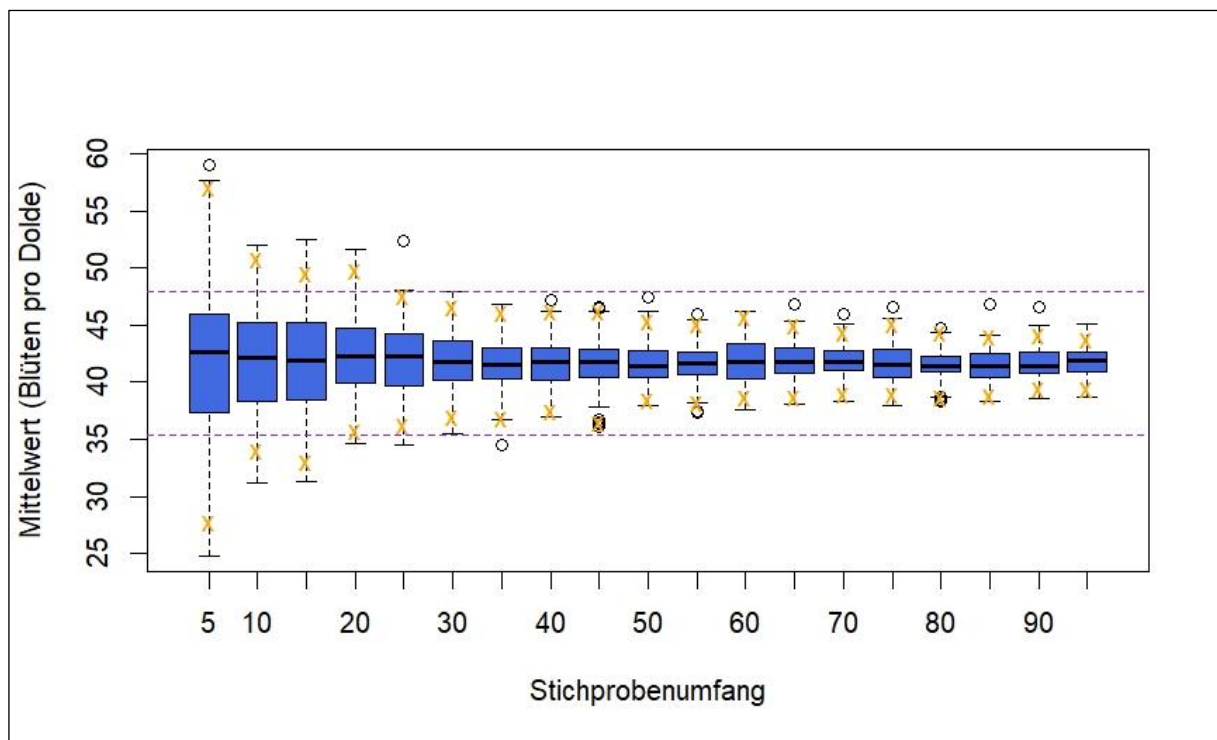


Abbildung 12: Darstellung der 40 Mittelwerte für jede Stichprobe. Die orangefarbenen Kreuze markieren die obere und untere Grenze, nachdem jeweils fünf Prozent ausgeschlossen wurden. Die gestrichelten Linien stellen die 15-Prozent-Fehlertoleranz dar. Die berechnete Werte der Fehlertoleranz ist Abbildung 27 in Kapitel 4.4 zu entnehmen.

Das Diagramm zeigt die Zahl an Dolden, welche ausgezählt werden müssen, um mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % eine Fehler von 15 Prozent zu erreichen. Die 15 Prozent rühren daher, dass sechs von 40 Werten in der Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Dieser Wert wird dann erreicht, wenn der höchste und niedrigste betrachtete Mittelwert pro Stichproben- gruppe beide innerhalb der Grenzen der Fehlertoleranz liegen. Dies wird hier bei einem Stich- probenumfang von $n = 25$ erreicht.

Aufgrund der fehlenden Daten zur Anzahl an ausgezählten Enddolden für den ersten Hartriegel wurde die Enddoldenanzahl des zweiten Hartriegels auch für den ersten Hartriegel angenom- men. Beim zweiten ausgezählten Hartriegel lag der Anteil der Enddolden bei 23 Prozent. Für die weitere Datenaufnahme war damit der Wert von gerundet sechs Enddolden bei insgesamt 25 auszuzählenden Blütenständen ermittelt.

3.4.2 Umsetzung

Nachdem ermittelt wurde, dass mit 85-prozentiger Wahrscheinlichkeit ein Fehler von 15 Prozent zutrifft, wenn 25 Blütenstände pro Hartriegel ausgezählt werden, wurden an weiteren sechs Hartriegeln jeweils 25 Dolden innerhalb des Zählrahmens von zwei Metern Höhe und einem Meter Breite erfasst. Da eine umfassende Datenerhebung den Rahmen dieser Bachelorarbeit sprengen würde, wurde sich auf die kleine Stichprobe von sechs Hartriegeln beschränkt.

Wie zuvor beschrieben, wurden an jedem Strauch sechs Enddolden und 19 nicht-endständige Dolden gezählt. Die auszuzählenden Dolden wurden vor der Zählung mit Wäscheklammern markiert, um die Zählung nicht subjektiv zu gestalten. Zur möglichst objektiven Abbildung des gesamten Höhenspektrums wurde bei der Auswahl der auszuzählenden Dolden ein Zickzack-Muster im Zählrahmen angewendet. Außerdem diente dies dazu, die Auszählung von 23 Prozent an Enddolden zu gewährleisten, da für die Enddolden farbig markierte Wäscheklammern verwendet wurden. Die Zählung der Einzelblüten erfolgte mit einem Handzähler.

Zur Vorbereitung der Auswertung wurde für jeden Hartriegel das arithmetische Mittel aus den Werten der 25 ausgezählten Blütenstände gebildet.

3.5 Auswertungsverfahren

Die Auswertung der Daten erfolgte mithilfe des Programms Microsoft Excel (MICROSOFT 2024) und des Statistikprogramms R bzw. RStudio in der Version 4.3.2 (THE R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING 2023) mit den Packages „ggplot2“ (WICKHAM 2016), „car“ (FOX und WEISBERG 2019) und „rstatix“ (KASSAMBARA 2023).

3.5.1 Manuelle Methode (Blende)

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde eine lineare Regression genutzt. Hierbei wurde die Summe der Blüten in den Lichtflecken und die tatsächliche Blütenzahl in einem Punktdiagramm gegeneinander aufgetragen. Dabei wurde die Summe der Blüten in den Lichtflecken auf die x-Achse, die tatsächliche Blütenzahl auf die y-Achse aufgetragen. Die Formel der daraus entstehenden Trendlinie wurde als Modell genutzt, um eine Prognose der Blütenzahlen geglättet über alle Werte zu erstellen. Die Prognosen für die Blütenzahlen werden als modellierte Blütenzahlen bezeichnet. Zur Beurteilung der Güte der Regression wurde das Bestimmtheitsmaß genutzt, welches Werte zwischen 0 (ungenügendes Modell) und 1 (perfekte Vorhersage) annimmt (UNIVERSITÄT ZÜRICH 2023a). Die absolute und relative Fehler der modellierten

zur tatsächlichen Blütenzahl wurde berechnet und wird jeweils als Punktdiagramm dargestellt, um die Streuung der Werte zu visualisieren. Zur Prüfung von Hypothese 1 wurden die jeweiligen relativen Fehler herangezogen, um einen Vergleich zwischen der Blende und den digitalen Methoden zu ermöglichen.

3.5.2 Digitale Erfassungsmethoden

Die Datengrundlage für die Auswertung der digitalen Erfassungsmethoden stellten sowohl die Zuordnung der Ergebnisbilder in die Kategorien A, B und C als auch der Deckungsgrad jedes Bilds mit weißen Pixeln dar. Zuerst wurden die Kategorien nach der Qualität der richtigen Klassifikation von Blüten als „Blüte“-Pixel beurteilt. Die Kategorie A wurde als „gut“, Kategorie B als „mittel“ und Kategorie C als „schlecht“ bewertet. Die Bilder, die der Kategorie „schlecht“ zugeordnet wurden, wurden in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt, um eine fundierte Beurteilung bezüglich der jeweiligen Methodik vornehmen zu können. Diese Entscheidung erfolgte in der Annahme, in einer potenziellen künftigen Anwendung der Methode würden diese Bilder aufgrund der hohen Fehlzuordnung ebenfalls verworfen werden.

Wie bei der vorigen Auswertung der Werte der Blende wurde sowohl für die RGB-Daten als auch für die Daten der Hyperspektralkamera zur Prüfung eines potenziellen Zusammenhangs zwischen dem Deckungsgrad und der tatsächlichen Blütenzahl eine lineare Regression angewendet. Anstatt der Summe der Blüten in den Lichtflecken wurde dafür der Deckungsgrad der verarbeiteten Bilder herangezogen. Da das weitere Vorgehen im vorigen Kapitel 3.5.1 bereits ausführlich beschrieben wurde, wird an dieser Stelle darauf verzichtet. Zur Bestätigung oder Verwerfung der Hypothesen 1 und 2 werden jeweils das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression sowie der relative Fehler herangezogen.

3.5.3 Gegenüberstellung Einzelblüten

Zur Überprüfung der Hypothesen 1 und 2 wurde mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests der relativen Fehler jeder Methode verglichen. Die Nullhypothese „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Gruppen“ wurde bei einem α -Wert von 5 % abgelehnt.

Der Kruskal-Wallis-Test wurde hierbei als statistische Methode ausgewählt, da die zugrunde liegenden Daten zwar Varianzgleichheit, aber keine Normalverteilung aufwiesen. Entsprechend konnte eine ANOVA, welche ansonsten aufgrund der Skalierung der Daten das Mittel der Wahl gewesen wäre, nicht durchgeführt werden, da sowohl Varianzgleichheit zwischen den Gruppen als auch Normalverteilung innerhalb der Gruppen Voraussetzungen für selbige sind

(UNIVERSITÄT ZÜRICH 2023b). Die Varianzgleichheit wurde mithilfe des Levene-Tests und die Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Testes überprüft. Als post-hoc-Test wurde auf den Dunn-Test mit Bonferroni-Korrektur zurückgegriffen.

3.5.4 Blütenschirme

Für die Auswertung der erhobenen Daten wurden die Mittelwerte für die Einzelblüten pro Dolde an den sechs ausgezählten Hartriegeln mit der Gesamtzählung der ersten beiden Hartriegel verglichen und geprüft, ob die Ergebnisse im erwarteten Bereich liegen. Der erwartete Bereich wird als Streuung um die Mittelwerte der ersten beiden Zählungen definiert. Die Streuung der Mittelwerte sollte dabei in der Größenordnung des Mittelwerts der Blüten pro Dolde der Erstzählung liegen.

4 ERGEBNISSE

Für jede Methode wird zuerst der Zusammenhang zwischen den erhobenen Daten und der tatsächlichen Blütenzahl untersucht, dann folgt die Beschreibung des absoluten und relativen Fehlers. Ein Vergleich der drei Methoden zur Erfassung von Einzelblüten wird unter Einbezug weiterer statistischen Größen in dem sich anschließenden Unterkapitel unter 4.3 vorgenommen.

Bei der Beschreibung der Ergebnisse wird die gezählte Blütenzahl im gesamten Zählrahmen als tatsächliche Blütenzahl bezeichnet. Alle Diagramme wurden mithilfe von Excel erstellt.

4.1 Manuelle Methode (Blende)

Das folgende Diagramm zeigt die Summe der Blütenzahlen in den Lichtflecken und die tatsächliche Blütenzahl innerhalb des Zählrahmens.

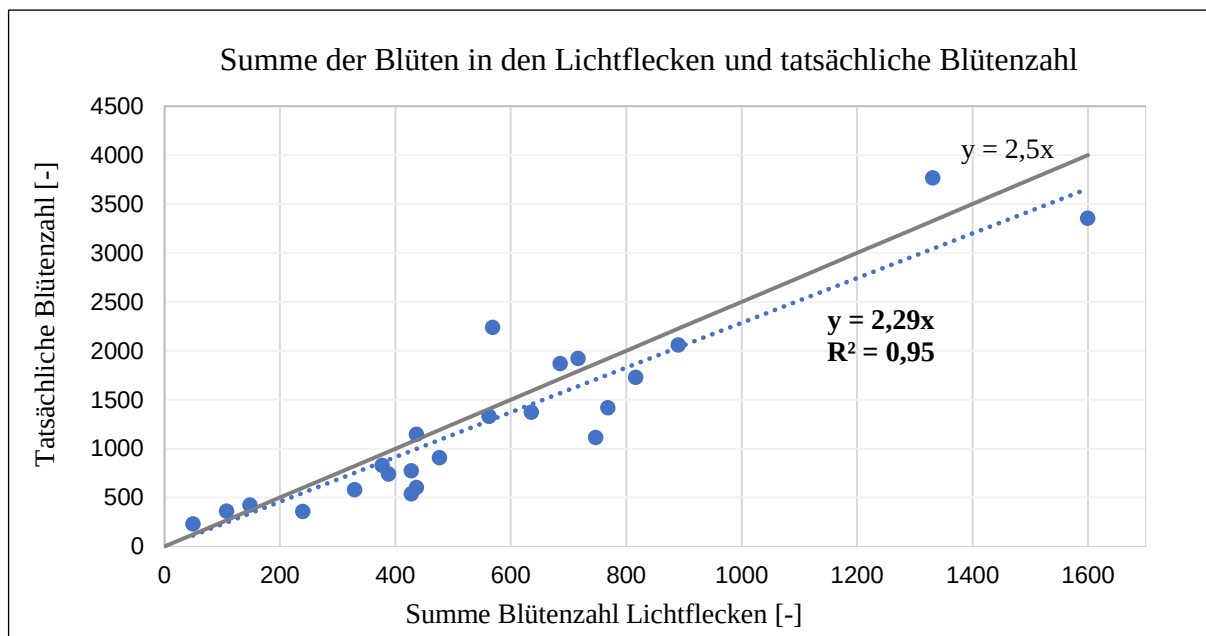


Abbildung 13: Lineare Regression der Summe der Blüten in den Lichtflecken und tatsächliche Blütenzahl.

Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Summe der Blüten in den Lichtflecken und der tatsächlichen Blütenzahl: Mit Zunahme der Blütenzahlen in den Lichtflecken steigt linear die tatsächliche Blütenzahl. Der ideale lineare Zusammenhang wird durch die durchgezogene Referenzlinie mit der Formel $y=2,5x$ dargestellt. Der Idealwert für die Steigung liegt bei $m=2,5$, weil 40 Prozent der Fläche des Zählrahmens durch die Lichtflecken beleuchtet wurden. Daher sollte die tatsächliche Blütenzahl 2,5-mal größer als die Summe der Blüten in den Lichtflecken sein. Die Trendlinie (gepunktete Linie) verläuft durch den Ursprung, da bei

keinen Blüten in den Lichtflecken eine Blütenzahl von Null zu erwarten ist. Die Regression deckt einen großen Teil der Varianz ab, was durch das hohe Bestimmtheitsmaß von 95 Prozent nachgewiesen wird. Damit weist diese Funktion eine hohe Güte auf.

Wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, wird die lineare Regression als Modell herangezogen. Die daraus entstehende Formel der Trendlinie wird verwendet, um eine Berechnung der Blütenzahl geglättet über alle Werte abhängig von der Summe der Blütenzahl in den Lichtflecken zu erstellen. Im nachstehenden Diagramm wird das Ergebnis dargestellt.

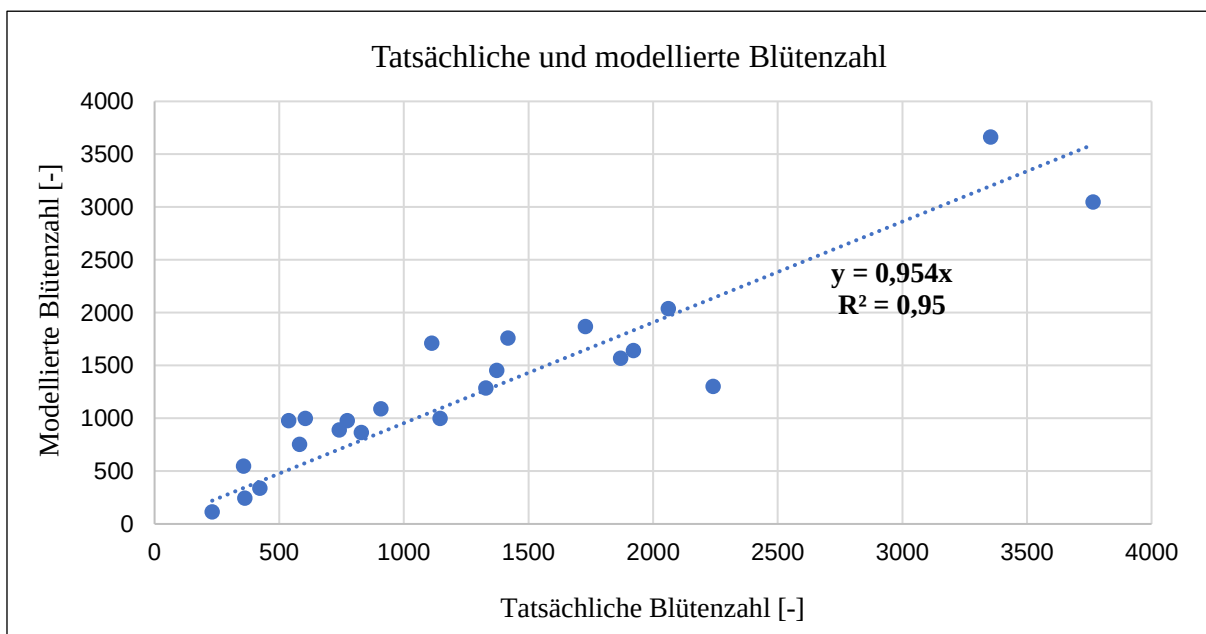


Abbildung 14: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.

Die Steigung liegt mit $m=0,954$ nah am Wert 1. Das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt auch hier den Wert 0,95. Die Trendlinie verläuft aus demselben, bereits oben beschriebenen Zusammenhang auch hier durch den Ursprung. Der Mittelwert für die tatsächliche Blütenzahl beträgt 1289, der Mittelwert der modellierten Blütenzahlen beläuft sich auf 1310. Die Differenz beträgt 21 Blüten. Der Median der modellierten Blütenzahlen liegt bei 1090 und unterschreitet damit den Median für die tatsächliche Blütenzahl von 1112 um 22 Blüten.

Des Weiteren wurden der absolute und der relative Fehler der modellierten Blütenzahl von der tatsächlich gezählten Blütenzahl berechnet, nachfolgend werden sie für die Werte der Blende visualisiert und beschrieben.

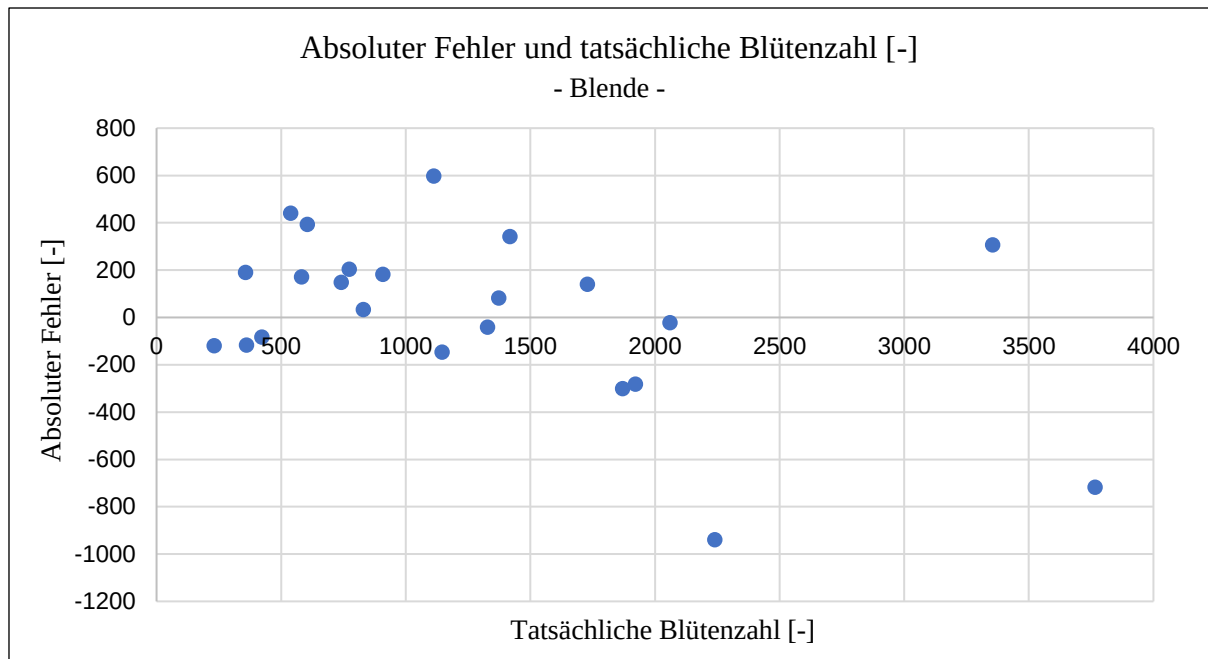


Abbildung 15: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Abweichung der modellierten Blütenzahl von der tatsächlichen Blütenzahl sowohl im positiven Bereich als auch im negativen Bereich erfolgt. Die modellierten Werte streuen zufällig, es ist kein Muster bei der Streuung zu erkennen. Außerdem ist zu beobachten, dass die Werte für die kleineren Blütenzahlen etwas weniger um die tatsächliche Blütenzahl streuen als die der größten drei Blütenzahlen.

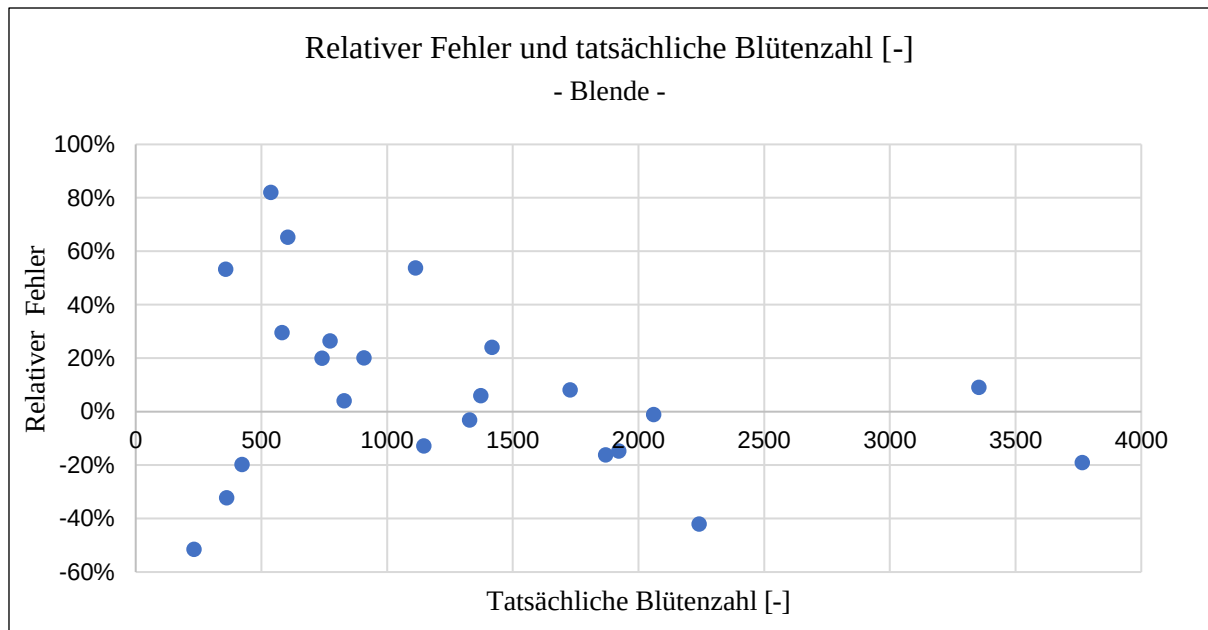


Abbildung 16: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Bei der Darstellung des relativen Fehlers ist im Diagramm zu erkennen, dass die Streuung bei kleinen Blütenzahlen größer ist als bei großen Blütenzahlen. Von den 16 Weißdornen mit weniger als 1500 Blüten weisen immerhin fünf einen relativen Fehler von über 50% im Betrag auf, bei den sieben Weißdornen mit mehr als 1500 Blüten keiner.

4.2 Digitale Erfassungsmethoden

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der RGB-Daten präsentiert, danach wird auf die Ergebnisse der Daten der Hyperspektralkamera eingegangen.

RGB-Daten

Wie das folgende Diagramm zeigt, besteht ein Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad und der tatsächlichen Blütenzahl.

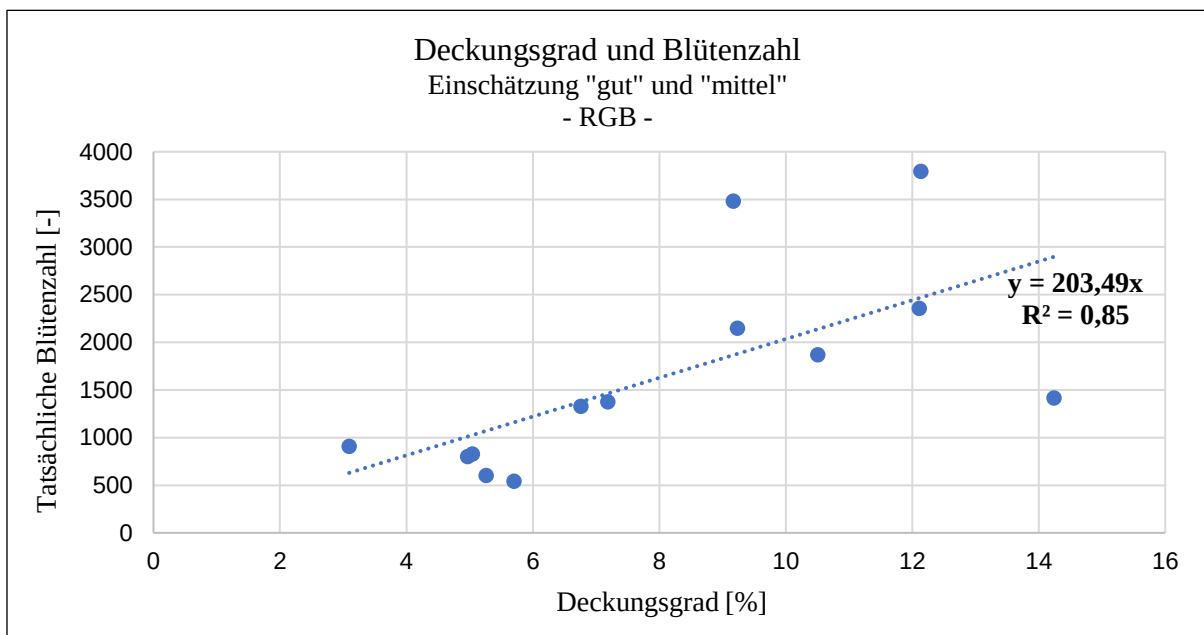


Abbildung 17: Lineare Regression des Deckungsgrads weißer Pixel und der tatsächlichen Blütenzahl.

Es ist zu beobachten, dass mit Zunahme des Deckungsgrads die Anzahl der Blüten im Zählrahmen steigt. Auch diese Trendlinie verläuft durch den Ursprung des Koordinatensystems, da bei einem Deckungsgrad von 0 Prozent keine Blüten zu erwarten sind. Das Bestimmtheitsmaß von 85 Prozent zeigt, dass diese Funktion einen hohen Teil der Streuung abdeckt und somit eine hohe Güte aufweist. Außerdem ist zu beobachten, dass die Werte der größeren Blütenzahlen eine höhere Streuung aufweisen als die Werte für die kleineren Blütenzahlen.

Die aus diesem Zusammenhang modellierte Blütenzahl wurde gegen die tatsächliche Blütenzahl aufgetragen. Das nachstehende Diagramm zeigt das Ergebnis.

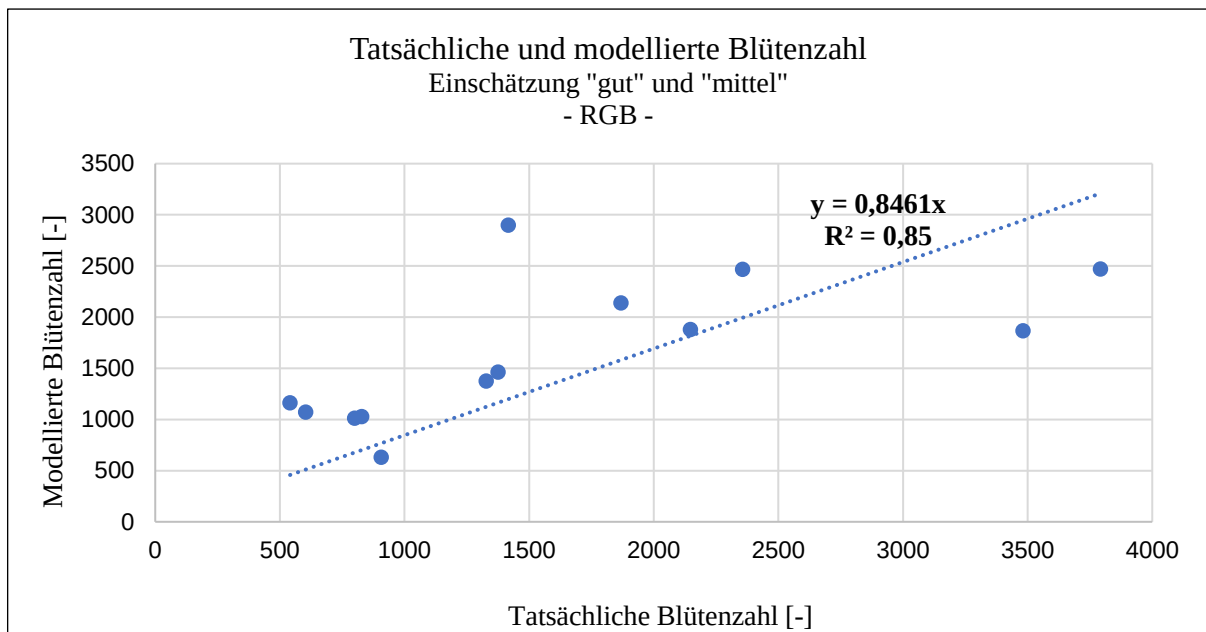


Abbildung 18: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.

Die Steigung der Trendlinie liegt bei $m=0,8461$, das Bestimmtheitsmaß hat den Wert 85 Prozent. Da bei einer tatsächlichen Blütenzahl von Null keine Blüten in der Prognose zu erwarten sind, wurde die Trendlinie durch den Ursprung gelegt. Fast alle modellierten Blütenzahlen liegen für kleine Werte der tatsächlichen Blütenzahl über der Trendlinie, bei den beiden mit Abstand größten tatsächlichen Blütenzahlen liegt die modellierte darunter. Ferner sind in diesem Diagramm drei Werte auffällig, welche bei der Analyse des absoluten und relativen Fehlers genauer untersucht werden.

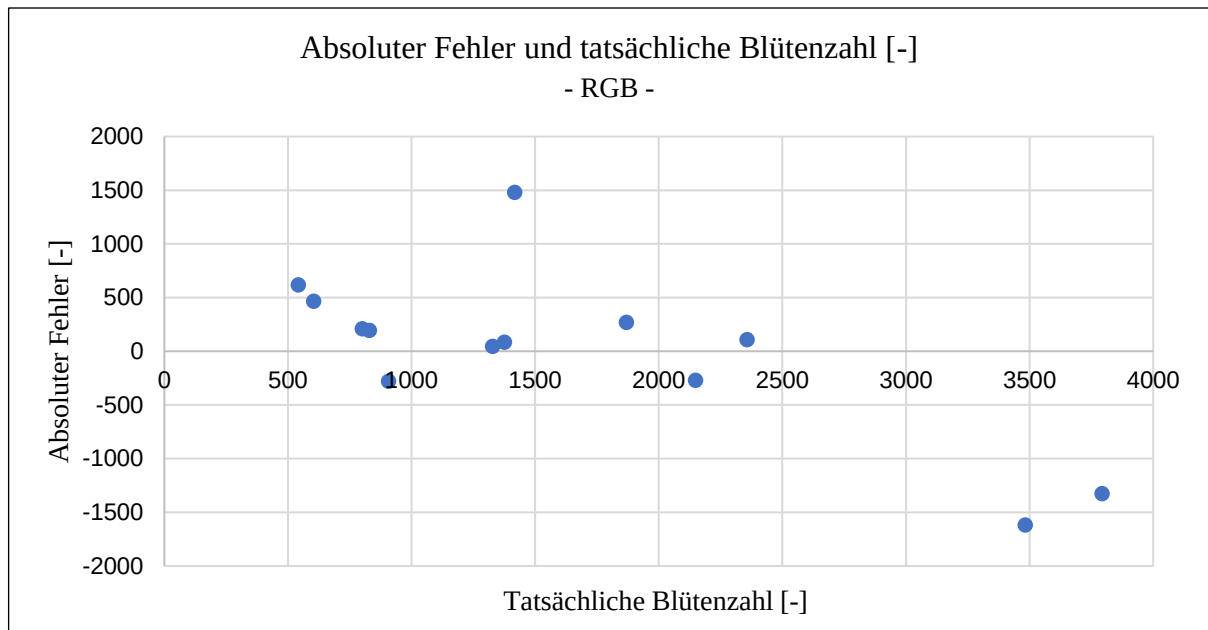


Abbildung 19: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Insgesamt streuen die Werte für den absoluten Fehler sowohl im positiven als auch im negativen Bereich. Die Streuung erscheint zufällig, sodass hier ein systematischer Fehler ausgeschlossen werden kann. Auffällig sind jedoch die beiden kleinsten und größten Werte: der absolute Fehler bei den beiden niedrigsten Blütenzahlen liegt bei 620 bzw. 467 für die Blütenzahlen 541 bzw. 604, was eine sehr hohe Abweichung im Vergleich zur jeweiligen Blütenzahl darstellt. Bei den zwei größten Werten der Blütenzahlen ist ebenfalls der absolute Fehler mit -1616 und -1324 sehr hoch. Ein weiterer Wert sticht mit dem absoluten Fehler von 1482 heraus.

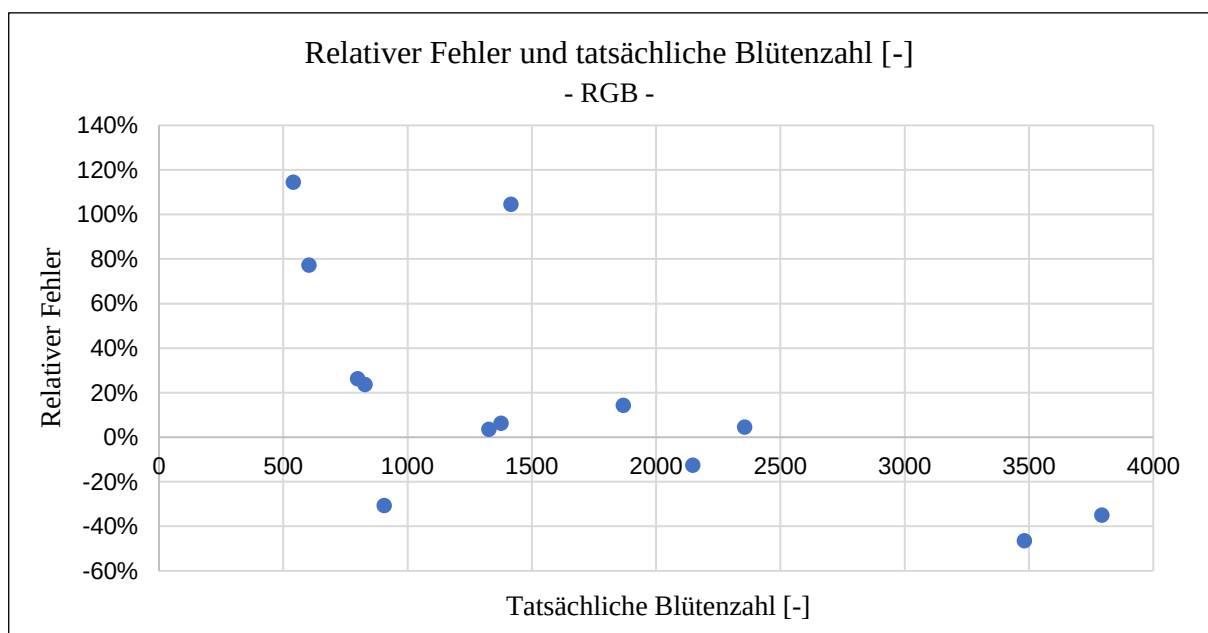


Abbildung 20: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Bei der Betrachtung des relativen Fehlers wird deutlich: Die Werte für die beiden kleinsten Blütenzahlen haben einen hohen relativen Fehler mit 115 Prozent bzw. 77 Prozent gegenüber der tatsächlichen Blütenzahl. Gleiches gilt auch für den Weißdorn mit der Blütenzahl 1417, für welchen der relative Fehler bei 105 Prozent liegt. Dagegen ist der relative Fehler für die beiden höchsten Blütenzahlen im Vergleich zu den restlichen Werten mit 46 Prozent bzw. 35 Prozent zwar hoch, aber unterschreitet dennoch den relativen Fehler von 50 Prozent. Von den insgesamt 13 Werten für die modellierte Blütenzahl weisen zehn einen relativen Fehler von unter 50 Prozent auf.

Hyperspektrale Information

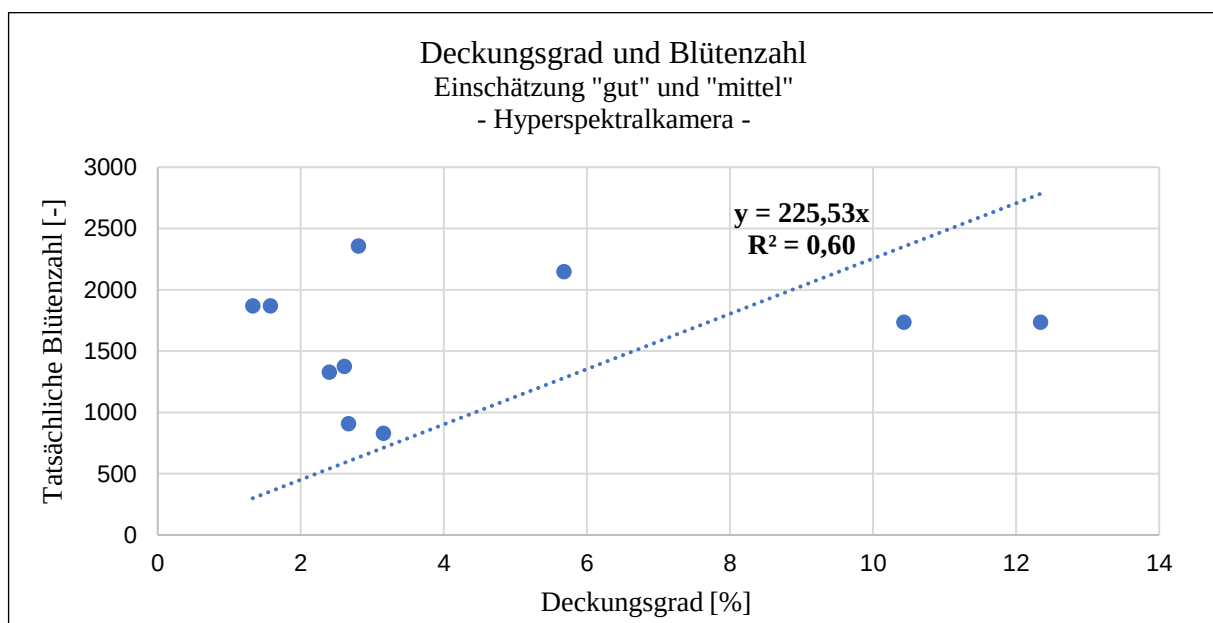


Abbildung 21: Lineare Regression des Deckungsgrads weißer Pixel und der tatsächlichen Blütenzahl.

Wie bei den zuvor ausgewerteten RGB-Daten wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad des Bilds mit „Blüte“-Pixeln und der tatsächlichen Blütenzahl untersucht. Auch für diese Auswertung führt aus demselben Grund wie bei den RGB-Daten die Trendlinie durch den Ursprung. Im Diagramm ist klar zu erkennen, dass sich kein linearer Zusammenhang zeigt. Zwar liegt das Bestimmtheitsmaß mit 60 Prozent im mittleren Feld, wodurch die Güte der Regression als in Ordnung zu betrachten ist. Bei genauerer Untersuchung der Werte kann aber festgestellt werden, dass zwischen zwei und vier Prozent des Deckungsgrads die tatsächliche Blütenzahl eine Spanne von 1528 Blüten aufweist. Wenn die beiden Werte für den Deckungsgrad mit dem größten Unterschied betrachtet werden, wird deutlich: Während der Deckungsgrad Werte zwischen 1,3 und 12,3 Prozent annimmt, bewegt sich die jeweils modellierte Blütenzahl für beide Deckungsgrade um den Wert 1800. Insgesamt weisen

die Werte eine hohe Streuung auf. Aus diesen Beobachtungen ist zu schließen, dass das Bestimmtheitsmaß in diesem Fall keine Aussagekraft hat.

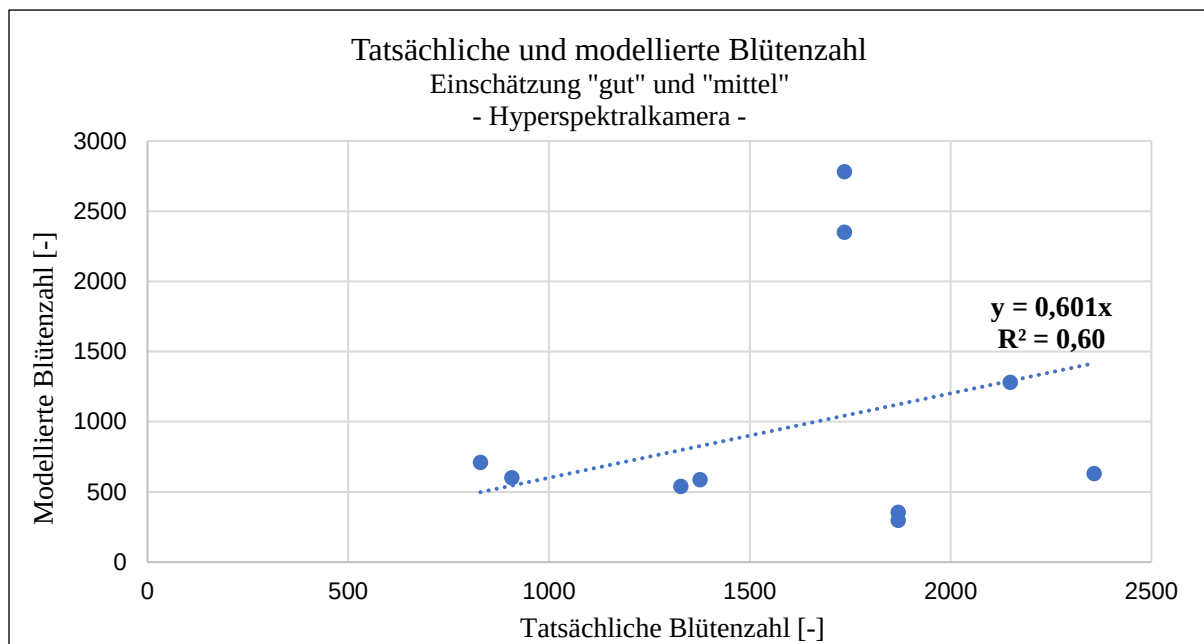


Abbildung 22: Lineare Regression der tatsächlichen und modellierten Blütenzahl.

Die vorherigen Beobachtungen lassen sich auch auf die modellierte Blütenzahl übertragen. Die Streuung der Werte ist sehr hoch und das Modell liefert eine Prognose ohne Aussagekraft für die Blütenzahlen. Während die tatsächliche Blütenzahl Werte zwischen 829 und 2357 annimmt, liegen sieben der zehn modellierten Blütenzahlen unter dem Wert 711. Im Gegensatz zu den steigenden Werten der tatsächlichen Blütenzahl bewegt sich die modellierte Blütenzahl bis auf zwei Ausnahmen auf einem niedrigen Niveau.

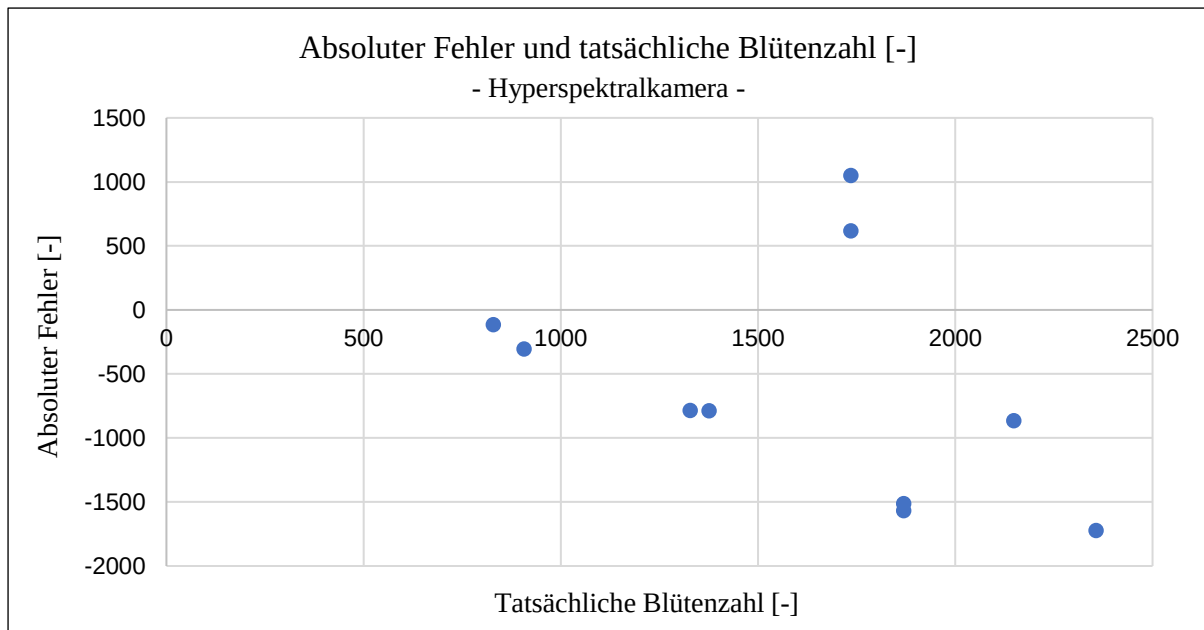


Abbildung 23: Absoluter Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Mit Blick auf den absoluten Fehler lässt sich ein Trend erkennen. Je höher die tatsächliche Blütenzahl, desto weiter sinkt der absolute Fehler in den negativen Bereich, was ein Indiz für einen systematischen Fehler ist.

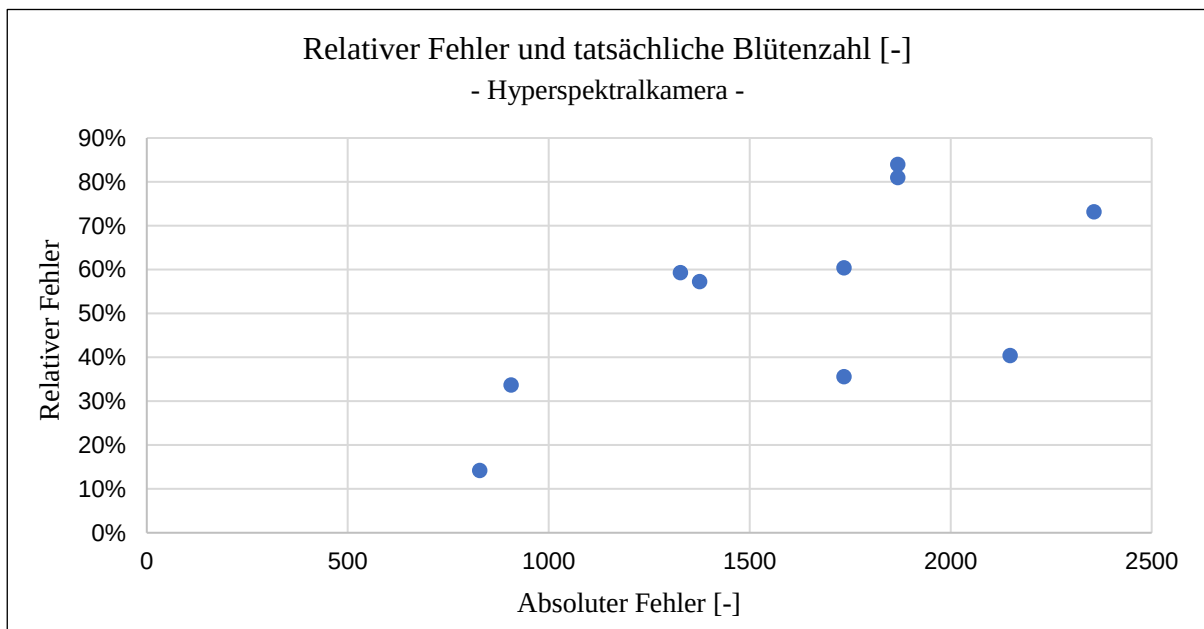


Abbildung 24: Relativer Fehler und tatsächliche Blütenzahl.

Auch bei dem relativen Fehler ist eine Tendenz zu erkennen: Mit zunehmender tatsächlicher Blütenzahl steigt auch der relative Fehler. Dies deutet ebenfalls auf einen systematischen Fehler hin.

4.3 Gesamtvergleich Einzelblüten

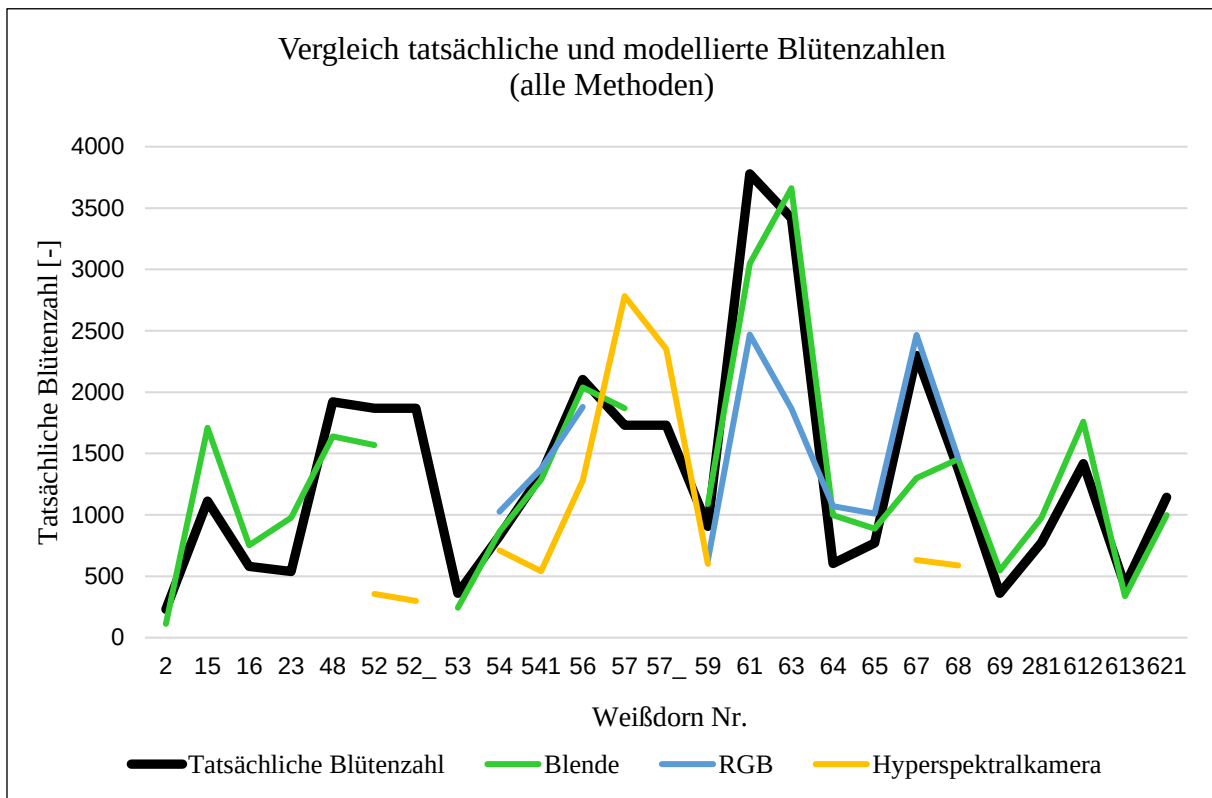


Abbildung 25: Der Vergleich der tatsächlichen und modellierten Blütenzahlen aller Methoden. Für die Weißdorne mit den Nummern 52 und 57 wurden mit der Hyperspektralkamera sowohl ein Gesamtbild als auch zwei einzelne Bilder aufgenommen. Der Unterstrich steht jeweils für das Gesamtbild.

Das obige Diagramm ist ein Vergleich der modellierten Blütenzahlen aller drei Methoden mit der tatsächlichen Blütenzahl. Die Lücken im Verlauf der Linien sind dadurch zu begründen, dass bei den digitalen Methoden einerseits die Stichprobenanzahl geringer war als bei der Erfassung mit der Blende, und andererseits Daten aufgrund der Beurteilung als „schlecht“ von der weiteren Auswertung ausgeschlossen wurden.

Der Verlauf der Linie der modellierten Blütenzahlen mit der Blende folgt bis auf kleinere Abweichungen nahezu deckungsgleich der tatsächlichen Blütenzahl. Auch der Graph der RGB-Daten folgt der Linie der tatsächlichen Blütenzahl stellenweise genau, aber im Bereich der Weißdorne mit den Nummern 61 und 63 ist eine größere Abweichung zu verzeichnen. Der Graph der Hyperspektralkamera weist deutliche Abweichungen zur tatsächlichen Blütenzahl auf, hat wenig Ähnlichkeit mit dem Graph der tatsächlichen Blütenzahl und nähert sich diesem nur in wenigen Punkten an.

Zuletzt wurde statistisch untersucht, ob ein signifikanter Unterschied der relativen Fehler von allen drei Methoden im Vergleich vorliegt. Nach Prüfung und Bestätigung der Varianzgleichheit wurde mittels dem Shapiro-Wilk-Test untersucht, ob eine Normalverteilung vorliegt. Da die Daten nicht normalverteilt sind, wurde im nächsten Schritt der Kruskal-Wallis-Test angewendet werden. Zwischen der Erfassung der Blüten mit der Blende und der Erfassung mittels RGB-Daten konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Gleiches gilt für den Vergleich der Erfassungen mit den RGB-Daten und der Hyperspektralkamera. Allerdings unterscheiden sich die relativen Fehler der Methoden der Blende und der Hyperspektralkamera signifikant voneinander, wobei der relative Fehler bei der Methode mit der Blende signifikant geringer ist als bei der Erfassung der Blüten mit der Hyperspektralkamera.

Der Vergleich des relativen Fehlers wird im nachstehenden Box-Plot-Diagramm visualisiert.

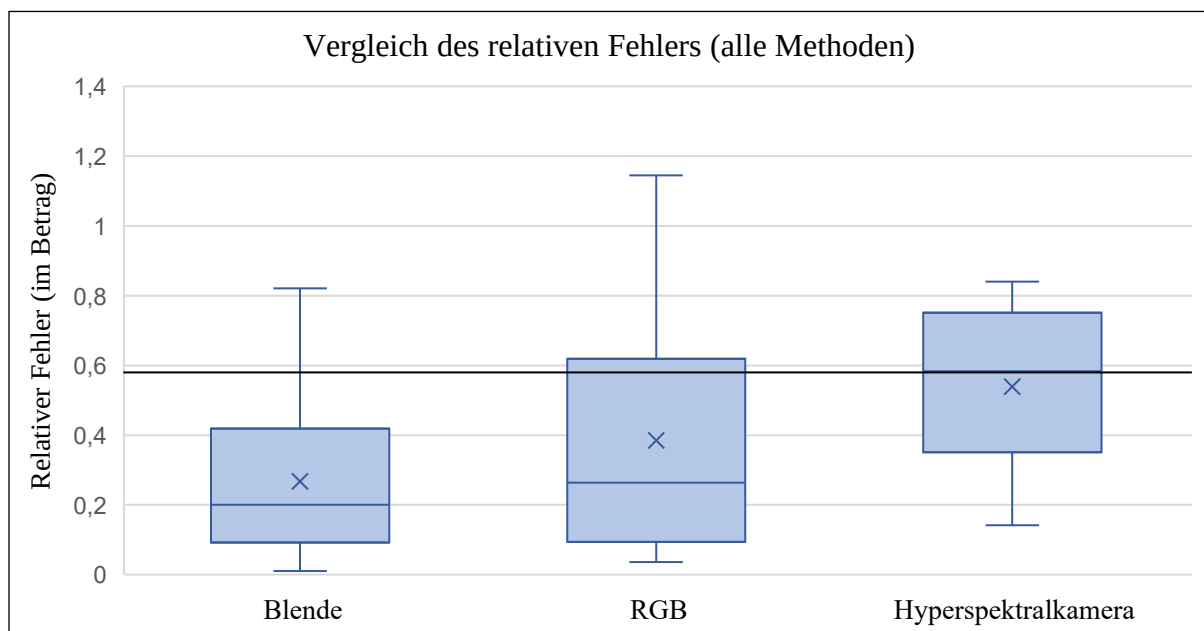


Abbildung 26: Ergebnisse des Vergleichs des relativen Fehlers aller Methoden zur Erfassung von Einzelblüten.

Die schwarze durchgezogene Linie dient als Referenzlinie für den relativen Fehler von 50 Prozent. Dieser Wert wurde in bisherigen Studien evaluiert, eine geringere Abweichung ist meist nicht zu erreichen (mündl. Anmerkung Prof. Rudner). Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass das arithmetische Mittel sowie der Median des relativen Fehlers bei der Blende und den RGB-Daten unter 50 Prozent liegen, wobei die Blende in allen Aspekten der Verarbeitung der RGB-Daten überlegen ist. Bei der Hyperspektralkamera übersteigen beide statistische Größen die Grenze von 50 Prozent.

4.4 Blütenschirme

In der nachstehenden Abbildung 27 sind die Ergebnisse dargelegt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Hartriegel Nr.	31	38	Erstzählung gesamt	28	291	32	33	341	35
2	Mittelwert	41,4	41,8	41,6	49	57	56	55	52	48
3	Median	40	41	40,3	51	55	55	52	50	48
4	15% Abweichung	6	6	6,2	7	9	8	8	8	7
5	+	47	48	47,9	57	65	65	63	59	55
6	-	36	36	35,4	42	48	48	46	44	41

Abbildung 27: Ergebnis der Datenaufnahme. Die aufgeführten Werte sind das arithmetische Mittel bzw. der Median der Einzelblüten der jeweils 25 ausgezählten Blütenstände. Spalte B und C geben die Werte für die beiden Erstauszählungen an. Im unteren Teil der Tabelle finden sich die berechneten Werte der oberen und unteren Grenzen für die Fehlertoleranz von Abbildung 12 (Quelle: eigene Exceldatei).

Es ist zu erkennen, dass die Mittelwerte der Einzelblüten pro Dolde alle über den beiden Mittelwerten von 41 bzw. 42 Blüten pro Dolde aus der Erstzählung liegen. Gleiches trifft auf die Mediane der sechs ausgezählten Hartriegel im Vergleich zu den Medianen der Erstzählung von 40 bzw. 41 Blüten pro Dolde zu. Am weitesten von der Erstzählung entfernt liegt der Hartriegel Nummer 291 mit durchschnittlich 57 Einzelblüten pro Dolde. Für diesen Hartriegel liegt der relative Fehler von den Mittelwerten der Erstzählung bei 36,8 Prozent. Der Durchschnitt der Blüten pro Dolde für die sechs Hartriegel liegt bei 53 Blüten, der Median beläuft sich auf 52 Blüten pro Dolde. Damit beträgt der relative Fehler der Werte der sechs Hartriegel von der Erstzählung insgesamt 26,9 Prozent. So befinden sich die Mittelwerte für die Blüten pro Dolde in der Größenordnung der Werte der ersten beiden Hartriegel.

5 DISKUSSION

5.1 Grenzen der Arbeit und Übertragbarkeit

Auch dieser Arbeit sind, wie den meisten wissenschaftlichen Studien, gewisse Grenzen gesetzt. Da diese Arbeit der Erforschung von Methoden zur Quantifizierung von Blüten dient, lag der Fokus dieser Arbeit auf der Erprobung und Evaluation der Methoden. Eine Übertragbarkeit der erhobenen Daten auf die jeweilige gesamte Pflanze wurde nicht untersucht. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Datenerhebung auf wenige Wochen im Jahr, nämlich die Blütezeit der untersuchten Arten, beschränkt ist, da es sich um eine Vegetationserfassung handelt.

Im Folgenden wird die Übertragbarkeit der Methoden auf autochthone Gehölzarten, die primär an linienhaften Landschaftselementen wie Hecken wachsen, diskutiert. Bei windbestäubten Gehölzarten sind die Blüten meist sehr klein und grün, weshalb sich die entwickelten Methoden besser für insektenbestäubte Arten eignen. Außerdem stellen ausschließlich windbestäubte Gehölzarten kein Blühangebot für Insekten dar, welches mit den Methoden innerhalb des APART-Projekts erfasst werden soll. Deshalb werden folgend ausschließlich entomophile Arten betrachtet. Die manuellen Datenerfassungen, also die Erhebungen mit der Blende und die Methode der Blütenschirme sowie die Kontrollzählungen sollten prinzipiell auf die meisten einheimischen Gehölze übertragbar sein. Da sich die Wuchs- und Blühstruktur der untersuchten Arten einerseits auf alle Individuen der jeweiligen Art sowie andererseits auf die meisten in Mitteleuropa heimischen Gehölzpflanzen der Hecken übertragen lässt, ist von einer allgemeinen Übertragbarkeit der Vorgehensweisen auszugehen. Für Gehölze mit insgesamt wenigen Blüten oder wenigen Blüten in erreichbarer Höhe könnte die Gültigkeit dieser These eingeschränkt sein. Ein Beispiel hierfür wäre *Rosa canina* L. (Hunds-Rose), bei der die manuelle Zählung aller Blüten wahrscheinlich schneller und genauer als die Erfassung mittels der Blende durchgeführt werden kann.

Die Kronblattfarben nahezu aller einheimischen, insektenbestäubten Gehölzarten weisen eine weiße oder rote Farbe sowie Übergänge dazwischen auf, wobei nahezu dreiviertel aller Blüten weiß bis blassrosa sind (WEBER 2003). Deshalb sollte die beiden Fernerkundungsmethoden auf die meisten heimischen Heckengehölze übertragen werden können. Unter Umständen müsste die Klassifikation der Pixel als Blüte bei beiden Methoden auf eine nicht-weiße Blütenfarbe angepasst werden. Für die Quantifizierung der Blüten mit den zwei manuellen Methoden ist die Farbe der Blüten irrelevant. Aus diesen Aspekten kann geschlossen werden, dass die Methoden auf einen großen Teil des heimischen Blühangebots von Heckengehölzen anwendbar

sind. Eine Schwierigkeit bei der Erfassung des gesamten Blühangebots könnte aber in den sich überschneidenden Blühzeiträumen liegen, da die meisten weißblühenden Arten, mit der Ausnahme von *Prunus spinosa* L. (Schlehe), ihre Hauptblütezeit im Mai und Juni, genau wie die untersuchten Arten, haben (WEBER 2003). Diesem Problem ist nur mit einem höheren Personalaufwand sowie einer weiteren Blende oder Hyperspektralkamera zu begegnen, wenn die Daten mit diesen zwei Methoden aufgenommen werden. Dieser Aspekt spricht für eine Erfassung der Blüten mittels der RGB-Methode, da die Nutzung des Smartphones als Alltagsgegenstand eine nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit darstellt.

Für die Erfassung der Einzelblüten in doldigen Blütenständen können prinzipiell keine Einschränkungen festgestellt werden, sofern die zu erhebenden Blüten in erreichbarer Höhe und in zugänglicher Umgebung wachsen. Möglicherweise könnte der Mittelwert der Einzelblütenzahl pro Dolde bei anderen Arten sich stark von den Mittelwerten der untersuchten *Cornus sanguinea* unterscheiden, weshalb bei einer Untersuchung anderer Arten ein Vorversuch zur Überprüfung der These und zur Ermittlung des Stichprobenumfangs nötig ist. Außerdem könnte der Stichprobenumfang so groß wie die Gesamtzahl der Dolden am untersuchten Gehölz sein. Insgesamt lässt sich sagen, je weniger die Blütenzahl pro Dolde am Individuum variiert sowie eine ausreichend große Anzahl an Dolden vorhanden ist, ist die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Übertragbarkeit dieser Methode umso höher.

5.2 Maschinelles Lernen

In diesem Kapitel werden potenzielle Gründe für das Scheitern der Vorgehensweise und mögliche Lösungsvorschläge diskutiert.

Wie in 3.3.2.2 beschrieben, wurden 14 Bilder zur Annotation verwendet. Möglicherweise war diese Anzahl an Bildern sowie die jeweilige Anzahl der Annotierungen auf den Bildern zum Trainieren des Modells zu gering. Beim Trainieren einer KI sollte darauf geachtet werden, dass die Trainingsdaten eine ausreichende Vielfalt, Anzahl und Qualität aufweisen (SIRATO RECRUITMENT GMBH 2024). Der Versuch wurde abgebrochen, nachdem nicht abzusehen war, wie viele Bilder annotiert werden müssten, um eine erfolgreiche Klassifizierung der Blüten vorzunehmen. Ein weiteres, großes Problem war, dass die Blüten oft in Clustern stehen. Das bedeutet, dass wenige Einzelblüten nah aneinander wachsen und somit „Gruppen“ aus Blüten bilden. Die Blüten verdecken sich oft gegenseitig und teilweise kann auf den Bildern selbst mit dem menschlichen Auge nicht zwischen den Blüten unterschieden werden, sodass die Blütenzahl nicht genau zu ermitteln ist. Eine Objekterkennung einzelner Blüten ist in solchen Fällen

schwierig. Für die Annotation wurden vorwiegend einzeln stehende Blüten herangezogen, um zu testen, ob diese gut erkannt werden können. Weil dieser Ansatz scheiterte, wurde die Annotation der Blütencluster gar nicht erst begonnen. Das Problem der gegenseitigen Verdeckung von Blütenclustern erwähnen LEE et al. (2022) in ihrer Studie an Apfelbäumen. Dieser Problemstellung begegnen sie mit dem Ansatz, die durchschnittliche Blütenzahl pro Cluster zu ermitteln und trainieren ihr Modell auf die Erkennung von Blütenclustern als Zielobjekte. Ob dieser Ansatz für Weißdorne geeignet ist, müsste erst in weiterer Forschung geprüft werden. Eine weitere Möglichkeit wäre die Aufnahme von mehreren Bildern innerhalb des Zählrahmens. Möglicherweise könnte der Zählrahmen auf mehrere Fotos unterteilt werden, was die Blüten potenziell aufgrund des geringeren Abstands größer und schärfer darstellen würde. Diese Überlegung könnte in Betracht gezogen werden, wenn die Datenaufnahme auf die Gesamtblütenzahl mehrerer Pflanzen zielt, und dabei die Blütenzahl an den einzelnen Pflanzen nicht erhoben werden soll, da dies wahrscheinlich mit zusätzlichem Aufwand verbunden wäre. Des Weiteren könnten eine einheitliche Belichtung sowie eine höhere Bildqualität bessere Ergebnisse liefern. Diese Aspekte spielen aber wahrscheinlich nur eine untergeordnete Rolle bei den Gründen für den ausgebliebenen Erfolg dieser Methode.

In anderen Studien zeigt das verwendete Modell ähnliche Ergebnisse wie andere vergleichbare Modelle (TRIPATHI et al. 2024). Das Scheitern dieses Versuchs kann damit nicht auf das Modell selbst zurückgeführt werden. In den meisten Veröffentlichungen werden meist andere Modelle verwendet (CHEN et al. 2022; YUAN et al. 2023). Aus diesem Grund kann kein Vergleich mit anderen Studien zur Quantifizierung von Blüten gezogen werden.

5.3 Datenerhebung aus der Luft

Auf die Umsetzung der Datenerhebung mit der Drohne sowie die Verarbeitung der Bilder mit dem Programm Agisoft Metashape wurde in 3.3.2.3 eingegangen, weshalb hier Gründe für den ausbleibenden Erfolg dieser Vorgehensweise diskutiert werden. Des Weiteren werden verschiedene Vor- und Nachteile diskutiert, die mit einer Datenerhebung aus der Luft verbunden sind.

Mit der Software Agisoft Metashape wurde ein Versuch gestartet, die Weißdorne mit ihren Blüten als 3D-Punktwolken darzustellen. Dieser Versuch ist möglicherweise gescheitert, da die Software nicht auf diese Art der Anwendung ausgelegt ist (mündl. Anmerkung Michael Liepold). Gegebenenfalls wäre mit einer höheren Bilderanzahl ein passables Ergebnis zu erzielen, dies würde aber nicht im Verhältnis zu dem dafür betriebenen Aufwand stehen (ebd.). Die HSWT besitzt für diese Software eine Lizenz, andere Programme waren somit aufgrund der

hohen Produktkosten nicht für die Auswertung der Daten verfügbar (ebd.). Für die Verarbeitung der Daten in anderen Programmen wird in der Regel ein großes Know-How benötigt, welches im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht zu leisten gewesen wäre. Der ursprüngliche Plan, die von der Drohne aufgenommenen Bilder mit dem in Roboflow trainierten Modell zu verarbeiten, wurde aufgrund der schlechten Ergebnisse der Verarbeitung von Smartphone-Bildern wieder verworfen. Zudem war es während der gesamten Datenaufnahme nicht windstill, was Abweichungen in der Position der Blüten auf den Bildern hervorrufen könnte. Zusätzlich beeinträchtigt dies die Qualität der Bilder.

Die Vorgehensweise, Vegetationsdaten mit der Drohne aufzunehmen, ist mittlerweile im landwirtschaftlichen Sektor weit verbreitet (ZHANG et al. 2021). Die Vorteile dieser Erhebungsmethode sind offensichtlich: Es lässt sich eine große Datenmenge mit wenig Aufwand erheben, der Personeneinsatz ist gering und die Bilder sind von hoher Qualität. Mit Drohnen können zusätzlich multispektrale oder hyperspektrale Daten erhoben werden. Zudem erleichtert die Drohne Datenerhebungen in unwegsamem Gelände und in Höhen, beispielsweise Baumkronen, die für Menschen ohne Hilfsmittel wie Leitern nicht erreichbar sind, was die Sicherheit für die Person erhöht. Eine Drohnenbefliegung birgt aber auch Nachteile: Für die großen Datenmengen ist viel Speicherplatz nötig, von Personen und manchen Infrastrukturelementen müssen bestimmte Abstände eingehalten werden, was nicht immer möglich ist und gegebenenfalls eine Ausnahmegenehmigung einzuholen ist. Zudem gibt es einige Flugbeschränkungen, beispielsweise in der Umgebung zu Militärflächen, Nationalparks oder Stadtgebieten. Auch hier ist gegebenenfalls eine Genehmigung erforderlich. Des Weiteren könnten Schwierigkeiten bei einem Drohnenflug in der Nähe von Stromleitungen und Windrädern auftreten. Außerdem muss die Befliegung mit einer Drohne von einer dafür ausgebildeten Person durchgeführt werden. Bei der Befliegung für diese Bachelorarbeit konnten manche Weißdorne nicht aufgenommen werden, da in manchen Fällen der Abstand zu umstehenden Bäumen zu gering war. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die Wetterabhängigkeit dieser Methode. Aufgrund des geringen zeitlichen und logistischen Aufwands ist die Erhebung mit der Drohne als sehr effizient einzustufen. Wie andere Veröffentlichungen zeigen, birgt die Vegetationserfassung und -auswertung mithilfe von Drohnen großes Potenzial (ZHANG et al. 2021). Leider war die Auswertung der Drohnenbilder im Rahmen dieser Bachelorarbeit erfolglos.

5.4 Methodenkritik

Gewisse Ungenauigkeiten traten schon bei den Datenaufnahmen auf. So können menschliche Zählfehler sowohl bei der Durchführung der jeweiligen Methode als auch bei der Kontrollzählung nicht ausgeschlossen werden. Zudem ist die Platzierung des Zählrahmen immer gewissermaßen subjektiv, auch wenn der Zählrahmen selbst immer dieselbe Größe hat. Eine hieraus resultierende Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit kann nicht ausgeschlossen werden, wird aber aufgrund der geringen Platzierungsmöglichkeiten, die durch die Breite der untersuchten Sträucher limitiert sind, als unwahrscheinlich erachtet.

Eine Schwäche dieser Arbeit wird in den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten gesehen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wäre eine Durchführung aller drei Methoden für die Erfassung der Einzelblüten an einem Weißdorn am selben Tag vorteilhaft gewesen. Dies war teilweise aus logistischen Gründen nicht möglich, hätte aber von vornherein bewusster gestaltet werden können. Für die Datenerhebung mit der Blende wurde die Kontrollzählung möglichst am nächsten Tag durchgeführt, der Zeitabstand zwischen den Datenerhebungen mit dem Smartphone für die RGB-Bilder bzw. den Aufnahmen der Hyperspektralbilder und der Kontrollzählung variierte. Hieraus haben sich wahrscheinlich Ungenauigkeiten ergeben, da die tatsächliche Blütenanzahl zwischen den Erhebungen durch Fraß oder die fortschreitende phänologische Entwicklung potenziellen Veränderungen unterlag. Ein weiteres Problem ist die Verdeckung von Blüten durch andere Blüten oder Blätter bei den Fernerkundungsmethoden. Dies wirkt sich auf die ermittelte Blütenzahl aus, wird aber in 5.6.2 genauer ausgeführt.

Im Folgenden wird in den Unterkapiteln näher auf mögliche Fehlerquellen und Schwächen der einzelnen Methoden eingegangen.

5.4.1 Manuelle Methode (Blende)

Als wahrscheinlich größte Fehlerquelle kann hier die schwierige eindeutige Abgrenzung der Zählebene genannt werden. In der Praxis ist die klare Abgrenzung schwierig, da zuerst die Zählebene festgelegt werden muss und danach die maximale Tiefe der Zählung sowie die Grenze zur Auszählung der vorderen Äste markiert werden muss. Zwar wurden dazu Wäscheklammern verwendet, diese Hilfestellung kann dieses Problem aber trotzdem nicht vollständig lösen. Eine weitere Schwierigkeit sind die sich öffnenden Lichtkegel in Kombination mit der dreidimensionalen Struktur der Weißdorne. Die sich öffnenden Lichtkegel sind als Problem anzusehen, da der Zählrahmen in der Höhe von zwei Metern die auszuzählende Fläche begrenzt. Nachdem die Blüten mit etwa insgesamt 30 Zentimeter Tiefe in den Weißdorn gezählt

wurden, schneidet der Zählrahmen einen Teil der beiden oberen Lichtkegel ab. Da dies als systematischer Fehler angesehen werden kann, wird dieser Fehler innerhalb der linearen Regression vermindert. Zudem ist in der Praxis die Ausrichtung des Stativs und damit der Blende insgesamt nicht ideal. Die bestrahlte Fläche, die als Zählrahmen definiert wird, ist unter Umständen nicht exakt 1,5 Quadratmeter groß. Als weitere Fehlerquelle sind die sich am Rand der Lichtflecken befindenden Blüten zu nennen. Da die Taschenlampe keine physikalisch ideale Punktlichtquelle darstellt, bilden die Lichtkegel keine scharfe Grenze zwischen Licht und Schatten aus. Es entsteht ein Teilverschattungsbereich mit einem fließenden Übergang. Aufgrund des geringen Abstands zwischen Blende und dem Weißdorn variiert die Schärfe der Grenzlinien innerhalb des Zählrahmens stark. Je größer der Abstand der Blende zur zu zählenden Blüte ist, desto unschärfer ist die Grenze zwischen Licht und Schatten. So ist die klare Abgrenzung zwischen Licht und Schatten bei weiter innen liegenden Blüten nicht immer möglich gewesen. Außerdem ist die Abgrenzung des Zählrahmens mit dem Forstmarkierband nicht ideal. So kann eine geringe Abweichung zwischen der Nachtaufnahme und der Kontrollzählung nicht ausgeschlossen werden.

5.4.2 Digitale Methoden

In diesem Kapitel wird zuerst die Methode der Datenerhebung und -Verarbeitung der RGB-Daten kritisch diskutiert, danach folgt die Auseinandersetzung mit der Methode der Hyperpektralkamera.

Datenaufnahme RGB-Daten

Als Hauptfehlerquelle ist die unterschiedliche Belichtung bei der Aufnahme der Fotos anzuführen. Eine einheitliche Belichtung würde bessere Ergebnisse in der Verarbeitung der Daten liefern (SA et al. 2016). Außerdem wurden die Bilder in unterschiedlichen Abständen aufgenommen und später auf den Zählrahmen zugeschnitten. Eine von vornherein genauere Arbeitsweise würde hier eventuelle Ungenauigkeiten ausräumen. Auch könnten dadurch potenzielle Fehler beim Zuschnitt und der nachträglichen Abdeckung des weißen Meterstabs auf den Bildern vermindert werden.

Datenverarbeitung RGB-Daten

Die Festlegung und Erprobung der Kriterien erfolgten ausschließlich an einem Bild. Zur Verbesserung der Ergebnisse könnten mehrere Bilder einbezogen werden, da auf dem Ausgangsbild beispielsweise Farben, die auf anderen Bildern vorkommen, fehlen. Dadurch könnte die

Fehlzuordnung von Pixel verringert werden. Eine weitere Fehlerquelle könnte die Zuordnung der Bilder in die Kategorien A, B und C sein. Trotz der genauen Definition der Kategorien ist eine gewisse Subjektivität des Betrachters nicht auszuschließen. Eine weitere potenzielle Fehlerquelle stellen die Binarisierung und Berechnung des Deckungsgrads dar, auch hier könnten Fehler unterlaufen sein.

Datenaufnahme Hyperspektrale Information

Wie bei der Erhebung der RGB-Daten könnte auch bei dieser Methode eine einheitliche Belichtung bessere Ergebnisse liefern. Möglicherweise könnte ein einheitlicher Wert für die Belichtungszeit festgelegt werden, um dieses Problem zu verringern. Da die Belichtung aber auch stark von den Wetterverhältnissen abhängt, ist eine optimale Belichtung eventuell nur unter Laborbedingungen zu erreichen. Deshalb könnte für künftige Erhebungen eine künstliche Beleuchtung zur Schaffung von immer gleichbleibenden Bedingungen diskutiert werden.

Für die Maßstabsreferenz wurde eine Messlatte teilweise in oder neben den Zählrahmen gestellt. Einerseits könnte die Messlatte sich dahinter befindende Blüten verdeckt haben. Andererseits stimmten möglicherweise die Standorte der Messlatte mit der Zählebene nicht überein, was dazu geführt haben könnte, dass beim Zuschnitt der Bilder Fehler aufgetreten sind. Dieses Problem könnte durch eine einheitliche, exakte Definition der Zählebene sowie der Datenaufnahme am selben Tag wie die Kontrollzählung vermindert werden.

Datenverarbeitung Hyperspektrale Information

Ein großes Problem der Methode besteht darin, dass mit der Hyperspektralkamera nur Bilder im 2:1-Format aufgenommen werden können. Deshalb musste für einige der Weißdorne der Zählrahmen geteilt und der Deckungsgrad anteilig für jedes Bild berechnet werden. Es könnte sein, dass diese Vorgehensweise so große Abweichungen hervorruft, dass die Ergebnisse stark verzerrt werden. In Kombination mit der geringen Stichprobenzahl könnte dies der Grund dafür sein, dass keine Korrelation zwischen den klassifizierten Blütenpixeln und der tatsächlichen Blütenzahl festgestellt werden konnte. Diesem Problem könnte in Zukunft mit einem quadratischen, möglicherweise etwas größerem Zählrahmen entgegnet werden. Bei der Anpassung des Zählrahmens muss aber auf den Abstand zwischen Kamera und Zielobjekt geachtet werden, um weiteren Ungenauigkeiten aufgrund durch potenziell erzeugter Unschärfe vorzubeugen (BARGOTI und UNDERWOOD 2017). Die geringe Stichprobenzahl von zehn Weißdornen könnte das Ergebnis insofern verzerren, dass wenige Bilder mit einer hohen Abweichung oder

alle Bilder mit mittlerer Abweichung keine gute Aussage ermöglichen (MATTHÄUS und MATTHÄUS 2016).

Die Fehlzuzuordnung von Pixeln zu Blüte oder Hintergrund kann bei der Betrachtung der Ergebnisbilder als Grund für die fehlende Korrelation nahezu ausgeschlossen werden, da die Fehlzuzuordnung bei den ausgewerteten Bildern gering ist. Eine weitere Fehlerquelle könnte ein Fehler in den Python-Skripten zur Binarisierung der Bilder und zur Ermittlung des Deckungsgrads sein, was aber nach wiederholter Prüfung eher unwahrscheinlich erscheint. Aus diesen Gründen wird angenommen, dass die fehlende Korrelation auf menschliche Fehler bei der Erhebung, dem Zuschchnitt der Bilder oder die geringe Stichprobenzahl zurückzuführen ist. Denkbar ist auch die Kombination der angeführten Aspekte.

5.4.3 Blütenschirme

Bei der Erhebung der Einzelblüten in den doldigen Blütenständen ist eine gewisse Subjektivität der Verteilung der auszuzählenden 25 Dolden nicht auszuschließen. Als Gegenmaßnahmen sind hier der bei der Erstzählung erhobene Prozentanteil der ausgezählten Enddolden sowie die Verteilung der auszuzählenden Dolden entlang eines vertikalen Zickzack-Musters anzuführen. Weil der Prozentanteil nur für den zweiten Hartriegel bei der Erstzählung erhoben wurde, sind hier Ungenauigkeiten für die nachfolgende Datenerfassung nicht auszuschließen. Da sich die Definition der ausgezählten Enddolden nicht nach der botanischen Definition richtet, wie in 3.4.1 beschrieben, sind auch hier gewisse Ungenauigkeiten nicht auszuschließen. Potenziell ist in der Praxis die klare Unterscheidung von Haupttrieb und Nebentrieb nicht immer präzise erfolgt. Außerdem beruht die Vermutung, dass Enddolden mehr Einzelblüten ausbilden als nicht-endständige Dolden, auf der Beobachtung bei der Datenerhebung der Erstauszählung an einem der beiden Hartriegel. Diese These konnte im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht näher untersucht oder wissenschaftlich bestätigt werden. Auch das Zickzackmuster unterliegt der Subjektivität der Daten erhebenden Person, da keine Angaben zur Breite und Höhe gemacht wurden. Zwar wurde ein Zählrahmen für die 25 auszuzählenden Dolden festgelegt, aber die Auszählung der Blütenstände erfolgte trotzdem subjektiv. Da die Aufnahmen aber alle von derselben Person gemacht wurden, ist die Vergleichbarkeit trotzdem gegeben.

5.5 Gegenüberstellung der Methoden bezüglich des Aufwands für Organisation und Durchführung

In den folgenden Unterkapiteln werden verschiedene relevante Aspekte für die Durchführung der Methoden diskutiert. Tabelle 2 gibt einen kurzen Überblick über die Ergebnisse.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Methoden im Überblick.

Diskutierter Aspekt	Blende	RGB-Daten	Hyperspektral-kamera	Blütenschirme
Einarbeitung	gering	gering	mittel	gering
Materialaufwand	gering	gering	gering*	gering
Zeitaufwand Vorbereitung	gering	gering	gering	gering
Zeitaufwand Erfassung	mittel	gering	mittel	mittel
Zeitaufwand Nachbereitung	/	gering – hoch**	gering – hoch**	/
Personaleinsatz	1 - 2	1	1	1
Wetterabhängigkeit	mittel	mittel - hoch	hoch	gering

*wenn Hyperspektralkamera ausgeliehen werden kann.

**abhängig davon, ob neue Modelle erstellt oder die in dieser Bachelorarbeit entwickelten genutzt werden.

5.5.1 Einarbeitung in die Methode und Zugänglichkeit

Blende

Bei der manuellen Erfassung der Weißdornblüten mit der Blende bedarf es keiner theoretischen Einarbeitung. Das Aufstellen und Ausrichten der Blende ist trivial, anfangs wird möglicherweise etwas mehr Zeit benötigt, um die Blende korrekt auszurichten. Es bedarf keiner weiteren Einarbeitung für die anschließende Auswertung der aufgenommenen Daten. Deshalb ist diese Methode insgesamt sehr zugänglich.

RGB-Daten

Für die Datenaufnahme der RGB-Daten wird die Kamerafunktion eines handelsüblichen Smartphones oder eine andere geeignete Kamera verwendet, weshalb hier keine Einarbeitung nötig ist. Zur Auswertung der Daten müssen die Bilder gegebenenfalls zugeschnitten werden und mit dem Python-Skript aus dieser Arbeit verarbeitet werden. Auch hierfür ist keine tiefere Einarbeitung nötig, möglicherweise müssen zuerst eine geeignete Python-Version sowie die passenden Software-Packages installiert werden. Außerdem sind Grundkenntnisse in der Arbeit mit Python von Vorteil. Da die Deckungsgrade der einzelnen Bilder als txt-Datei zur Verfügung gestellt werden, ist die Umwandlung oder Übertragung in eine Excel-Datei einfach. Danach

können die Daten in der Excel-Datei weiterverarbeitet werden. Insgesamt wird der Einarbeitungsaufwand für diese Datenerhebung und -auswertung als eher niedrig eingestuft.

Hyperspektrale Information

Durch die sich im Anhang befindende detaillierte Anleitung zur Bedienung der Hyperspektralkamera ist für diese Methode zur tatsächlichen Erfassung der Daten nur wenig Einarbeitung nötig. Für das Erstellen eines Modells im Programm SpecimIQ Studio ist der Aufwand für eine Einarbeitung hoch. Da im Rahmen dieser Bachelorarbeit bereits ein Modell für die Auswertung erstellt wurde, bedarf es auch hier eher geringen Aufwand, um die Daten aus der Hyperspektralkamera weiterzuverarbeiten. Für einen zukünftigen Einsatz kann das trainierte Modell in die Software der Kamera übertragen werden, sodass bereits während der Datenerhebung das Modell auf die entstehenden Fotos angewendet wird. Damit sind die Bilder schon vorverarbeitet und die weiteren Bearbeitungsschritte können direkt angeschlossen werden. Die Bilder müssen ebenso wie bei dem Vorgehen für die RGB-Daten in einem Python-Skript verarbeitet und anschließend in Excel ausgewertet werden. Aufgrund der Einarbeitung in die korrekte Benutzung der Kamera und die dazugehörige Softwareanwendung SpecimIQ Studio wird für diese Methode der Aufwand als mittel klassifiziert. Trotzdem wird die Methode als zugänglich eingestuft, weil Anleitungen zur korrekten Vorgehensweise im Rahmen dieser Bachelorarbeit erstellt wurden und die Durchführung der Methode kein tieferes Informatikwissen – entgegen möglicher Erwartungen - voraussetzt.

Eine theoretische Einarbeitung in die Datenerhebung und Auswertung der Blütenschirme ist nicht erforderlich. Die Datenerhebung wird als gut nachvollziehbar gewertet und kann deshalb als zugänglich eingestuft werden. Auch für die Auswertung der aufgenommenen Daten sind keine Vorkenntnisse erforderlich.

5.5.2 Materialaufwand und methodenspezifische Kosten

Für die Datenaufnahme sind für alle Methoden möglicherweise Fahrtkosten zu beachten. Die Auswertungssoftware ist für alle hier diskutierten Methoden entweder frei verfügbar oder meist im Arbeitsalltag verfügbar, weshalb dafür potenziell auftretende Kosten in diesen Kapiteln nicht berücksichtigt werden.

Blende

Die Fertigung der Blende wurde von der Hochschule übernommen. Bei Nachbau müssten geringe Materialkosten und der Zeitaufwand berücksichtigt werden, welche aber beide einmalig

anfallende Kosten sind. Das Kamerastativ, auf dem die Blende und die Taschenlampe befestigt sind, konnte ebenfalls von der Hochschule geliehen werden. Dazu kommen vernachlässigbare Kosten für Wäscheklammern zur Orientierung beim Zählen, ein Meterstab mit zwei Metern Höhe, eine wasserfeste Taschenlampe (2000 Lumen), ein Handzähler sowie Schreibmaterial zur Dokumentation der aufgenommenen Daten. Da verschiedene Methoden an denselben Weißdornen miteinander verglichen wurden, wurden jeweils die Ecken der Zählrahmen mit rotem Forstmarkierungsband gekennzeichnet. Auch dieses ist günstig im Handel zu erwerben. Für eine spätere Anwendung der Erfassung des Blühangebots mittels der Blende ist dies nicht notwendig. Zum Schneiden des Bands ist ein Cuttermesser oder eine Schere nötig. Abgesehen von der Blende und dem Stativ ist insgesamt mit sehr geringen Kosten zu rechnen.

RGB-Daten

Zur Aufnahme der Fotos ist ein handelsübliches Smartphone oder eine sonstige geeignete Kamera ausreichend. Je besser die Bildqualität, desto besser sind die Ergebnisse. Außerdem ist ein Meterstab oder eine Messlatte mit zwei Metern Höhe nötig. Es ist von Vorteil, einen Meterstab oder eine Messlatte nicht in der Farbe der Blüten zu verwenden. Für die Auswertung ist ein Desktop-PC oder ein sonstiges geeignetes Gerät nötig. Da diese Technik heute weit verbreitet ist, ist mit keinen zusätzlichen Kosten zu rechnen.

Hyperspektrale Information

Die Hyperspektralkamera inklusive dem zugehörigen Stativ konnte von der Hochschule, genauer dem Kompetenzzentrum für Digitale Agrarwirtschaft, ausgeliehen werden. Die Software zur Verarbeitung der Bilder SpecimIQ Studio ist frei verfügbar. Für der Anwendung des Programms reicht die Rechenleistung eines durchschnittlichen Laptops aus. Außerdem ist trotz der Vielzahl an Informationen in einer einzigen Bilddatei nicht übermäßig viel Speicherplatz nötig. Für ein Bild ohne Verarbeitung werden durchschnittlich 305 MB in Anspruch genommen. Zudem werden pro Bild für die verarbeiteten Version ohne Hintergrundbild etwa 32 KB und mit Hintergrundbild etwa 75 KB belegt. Das bedeutet, es werden für zehn Bilder in allen drei Versionen ungefähr drei Gigabyte verwendet. Die vorigen Angaben zu Dateigrößen basieren ausschließlich auf den in dieser Bachelorarbeit verwendeten und erzeugten Dateien. Bei größeren Datenmengen kann die Verwendung einer externen Festplatte oder Ähnlichem in Betracht gezogen werden. Des Weiteren ist der Transport der Hyperspektralkamera in ihrem Koffer handlich, jedoch für weitere Strecken zu Fuß nur bedingt geeignet. Die Materialkosten sind ohne Möglichkeit zur Ausleihe der Hyperspektralkamera sehr hoch. Des Weiteren ist wie bei

der RGB-Methode ein Meterstab oder eine Messlatte als Maßstabsreferenz nötig. Da sonstiges Equipment meist vorhanden oder frei verfügbar ist, ist nicht mit weiteren Kosten zu rechnen.

Blütenschirme

Die Materialkosten für die Quantifizierung der Einzelblüten pro Dolde sind äußerst gering. Zur Ausmessung des Zählrahmens für die Ersterfassung wurde ein Meterstab verwendet. Im weiteren Verlauf ist kein Meterstab mehr notwendig. Die Zählung der Blüten erfolgte mit einem Handzähler. Zur vorübergehenden Markierung der auszuzählenden Dolden werden 25 Wäscheklammern, davon sechs farblich markierte, gebraucht. Außerdem werden Schreibunterlagen zur Dokumentation der erhobenen Daten benötigt. Da das erforderliche Material zu niedrigen Preisen zu erwerben ist, sind die Materialkosten insgesamt als sehr gering einzustufen.

5.5.3 Zeitaufwand für Vorbereitung, Erfassung und Nachbereitung

Der Zeitaufwand für die Vorbereitung ist bei allen drei Methoden zur Erfassung der Einzelblüten eher gering. Die meiste Zeit nimmt die Kartierung in Anspruch. Abgesehen von dem Bau der Blende ist keine weitere Vorbereitung nötig. Bei den RGB-Daten ist gar keine Vorbereitung vor der Datenerfassung notwendig. Im Gegensatz dazu steht die Erfassung der Blüten mit der Hyperspektralkamera, hier muss genügend Zeit zur Einarbeitung in die Verwendung der Kamera eingeplant werden. Durch die Anleitung im Anhang unter 8.2 sollte der Zeitaufwand eher überschaubar bleiben. An dieser Stelle ist noch die lange Ladezeit des Akkus von 12 Stunden zu nennen, der Ladevorgang sollte rechtzeitig begonnen werden. Außerdem sollte die Speicherkarte überprüft werden. Alte Dateien sind ggf. zu entfernen.

Bei der Quantifizierung der Blüten an einem einzelnen Weißdorn mit der Blende ist für die Durchführung - je nach Blütenzahl – mit bis zu einer halben Stunde zu rechnen. Die Zeitangabe beinhaltet das Aufstellen des Stativs und Ausrichten der Blende, das Zählen der Blüten in den Lichtflecken sowie den Abbau. Deutlich schneller kann die Datenerhebung mittels der Smartphone-Bilder für die RGB-Methode durchgeführt werden. Innerhalb weniger Sekunden kann der Meterstab aufgestellt und ein Foto aufgenommen werden. Dazwischen kann der Zeitaufwand für die Datenerhebung mit der Hyperspektralkamera angesetzt werden. Das Aufstellen des Stativs, die Befestigung und korrekte Ausrichtung der Kamera kostet nur wenige Minuten. Das Einstellen der Belichtungszeit sowie die Aufnahme und Speicherung des Fotos können abhängig von der Belichtung mehrere Minuten andauern. Anfangs ist der Zeitaufwand mit bis zu 15 Minuten pro Bild inklusive aller Arbeitsschritte vor Ort, bei routinemäßiger Anwendung zwischen fünf und zehn Minuten pro Bild einzuplanen.

Für die aufgenommenen Daten mit der Blende ist keine Nachbereitung erforderlich, die Auswertung kann direkt begonnen werden. Anders bei den digitalen Erfassungsmethoden: Die meisten Bilder müssen auf den Zählrahmen zugeschnitten werden. Zusätzlich musste bei den Smartphonefotos der abgebildete weiße Meterstab überdeckt werden. Vor der Auswertung der Daten muss die Vorverarbeitung der Fotos erfolgen. Das Erproben der Kriterien bei den RGB-Daten sowie das Trainieren des Modells für die Hyperspektralbilder nimmt mehrere Stunden in Anspruch. Da Optimierungen meist möglich sind, ist der Zeitaufwand nach oben nicht limitiert. Zudem wurden beide Bildtypen in jeweils dafür programmierten Python-Skripten weiterverarbeitet. Für beide Bildverarbeitungsmethoden ist mit einem einmaligen Aufwand von mindestens einem Arbeitstag je Methode zu rechnen, welcher bei auftretenden Problemen oder weiterer Verbesserung der Präzision der Modelle beliebig ausgeweitet werden könnte. Der Zeitaufwand zur Anwendung der Modelle und der weiteren Verarbeitung in Python ist als gering einzustufen.

Der Zeitaufwand dieser Methoden für diese Bachelorarbeit war hoch, da die jetzt verfügbaren Verarbeitungsprozesse erst erarbeitet und erprobt werden mussten. Da dies ein einmaliger Aufwand ist, ist der Zeitaufwand für eine kleine Stichprobenzahl gegenüber der Erfassung mit der Blende immens, bei Datenerfassungen im großen Stil ist der Zeitaufwand pro erfasstem Strauch im Vergleich zur Blende deutlich geringer. Wo diese Grenze liegt, ist aus dieser Bachelorarbeit nicht abzuleiten.

Für die Erfassung der Blüten pro Dolde ist ein ähnlicher Zeitaufwand wie bei der Erfassung mit der Blende einzuplanen. Außer der Kartierung ist der Vorversuch nötig, aber der Hauptzeitaufwand ist für die tatsächliche Erhebung der Daten im Feld zu verzeichnen. Der Zeitaufwand für die Durchführung und Auswertung des Vorversuchs ist ein einmaliger Aufwand, weshalb dieser für künftige Erhebungen nicht mit einzuberechnen ist. Die beiden Erstauszählungen haben zusammen ungefähr 3,5 Stunden in Anspruch genommen. Die Verarbeitung der Daten des Vorversuchs ist in wenigen Stunden abgeschlossen, wobei diese erst erprobt werden musste. Der Zeitaufwand für die eigentliche Erfassung eines Hartriegels bei der Auszählung von 25 Dolden belief sich im Durchschnitt ungefähr auf 25 Minuten, wobei die Zeiten stark von der durchschnittlichen Einzelblütenzahl pro Dolde abhängig sind. Eine Nachbereitung der Daten ist nicht erforderlich. Insgesamt ist der Zeitaufwand für die Vorbereitung als gering, die Erfassung der Blüten pro Dolde als mittel einzustufen.

5.5.4 Notwendiger Personaleinsatz

Alle Methoden können sowohl bei der Datenerhebung als auch bei der Auswertung von einer einzelnen Person ohne fremde Hilfe durchgeführt werden. Aus Sicherheitsgründen ist es empfehlenswert, bei Erfassungen in der Dunkelheit von einer weiteren Person begleitet zu werden.

5.5.5 Wetterabhängigkeit

Insgesamt besteht für alle Methoden eine Abhängigkeit von den Wetterverhältnissen, da es sich um eine Erfassung von Vegetationsdaten handelt. Möglicherweise könnten sich Spätfröste oder Unwetterereignisse wie Hagel auf die Qualität der Blüten zum Zeitpunkt der Datenaufnahme auswirken. Bei der Datenaufnahme der Fernerkundungsmethoden sollte auf einheitliche Lichtverhältnisse geachtet werden. Eine starke Sonneneinstrahlung wirkt sich auf die Auswertung aufgrund der Reflexionen tendenziell negativ aus.

Blende

Der ausschlaggebende Faktor für die Durchführung der Methode ist die Windstärke. Bei leichtem Wind können die Daten noch erhoben werden. Bei stärkerem Wind sind einerseits die Grenzen der Lichtflecken nicht klar, andererseits sollte bedacht werden, dass die spitzen Sprossdornen an den Zweigen der Weißdorne beim Zählen der Blüten gegen den Körper schlagen könnten. Da die Lichtflecken der Taschenlampe nur bei ausreichender Dunkelheit sichtbar sind, kann die Erhebung der Daten nur in der Dämmerung oder nachts stattfinden. Zur Blütezeit der Weißdorne sollte deshalb auf die vorhergesagte Temperatur geachtet werden. Insgesamt ist die Datenerhebung in Bezug auf das Wetter vor allem vom Wind und dem eigenen Wohlbefinden abhängig.

RGB-Daten

Da ein Smartphone oder ein anderes Gerät mit Kamerafunktion verwendet wird, ist Regen zur Datenaufnahme ungünstig. Außerdem beeinträchtigt Wind die Qualität der Bilder, da die Inhalte der Fotos undeutlich werden. Damit ist diese Datenerhebung stärker abhängig von den Wetterbedingungen als die vorherige Methode.

Hyperspektrale Information

Am stärksten ist die Erfassung mittels der Hyperspektralkamera von den Wetterverhältnissen betroffen. Die Datenaufnahme kann bei Niederschlag aufgrund des sensiblen Geräts nicht durchgeführt werden. Selbst leichter Wind macht die Fotos unbrauchbar, da die Kamera eine

vergleichsweise lange Belichtungszeit, unter Umständen zehn Sekunden überschreitend, aufweist. Während der Erstellung des Bilds muss es windstill sein, um ein Verschwimmen der Inhalte zu vermeiden. Außerdem ist die Tageszeit aufgrund der Belichtungsverhältnisse zu beachten. Die Bilder sollten alle zur selben Tageszeit aufgenommen werden, da dies bei der Erstellung des Modells von Vorteil ist. Je ähnlicher sich die Bilder in Bezug auf die Belichtung sind, desto bessere Ergebnisse erzielt das Modell, da es anhand weniger Bilder erstellt und auf alle anderen Bilder übertragen wird. Prinzipiell können auch mehrere Modelle, angepasst an die Tageszeit, entwickelt werden. Das bedeutet einen höheren Aufwand und sollte deshalb von vornherein beachtet werden. Das Modell, welches für diese Bachelorarbeit erstellt wurde, funktioniert für Bilder, die zur Blütezeit zwischen 17:30 Uhr und 20:45 Uhr aufgenommen wurden, am besten. Insgesamt ist die Datenerhebung mit der Hyperspektralkamera sowohl von der Tageszeit und stark von den Wetterverhältnissen abhängig.

Blütenschirme

Die Wetterabhängigkeit für die Durchführung der Methode ist insgesamt als gering einzustufen. Da keine elektronischen Geräte für die Datenerhebung nötig sind, entscheidet allein das Wohlbefinden der datenerhebenden Person.

5.6 Gegenüberstellung der Methoden bezüglich der Ergebnisse

Anhand der in Kapitel 4 präsentierten Ergebnissen werden die anfangs aufgestellten Hypothesen diskutiert. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Werte des Bestimmtheitsmaßes sowie die relativen Fehler der Methoden.

Tabelle 3: Vergleichende Übersicht über die Werte für das Bestimmtheitsmaß und des relativen Fehlers jeder Methode zur Erfassung von Einzelblüten. Für die digitalen Erfassungsmethoden fließen in die Berechnung ausschließlich die als „gut“ oder „mittel“ eingestuft Bilder und ihre Auswertung ein..

	Blende	RGB-Daten	Hyperspektralkamera
Bestimmtheitsmaß (R^2)	0,95	0,85	(0,60)
Mittelwert des relativen Fehlers	8%	19%	-35%
Mittelwert des relativen Fehlers (Betrag)	27%	38%	54%

Aufgrund des höchsten Werts für das Bestimmtheitsmaß sowie den niedrigsten Mittelwert des relativen Fehlers kann Hypothese 1: *Die manuelle Methode zur Erfassung von Einzelblüten liefert genauere Ergebnisse als die digitalen Erfassungsmethoden* eindeutig bestätigt werden. Dies wird auch im Gesamtvergleich der Methoden zur Erfassung der Einzelblüten (vgl. 4.3) deutlich.

Bezogen auf die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit kann Hypothese 2: *Die Auswertung von Hyperspektralbildern liefert genauere Ergebnisse als die Auswertung von RGB-Bildern* nicht bestätigt werden. Wie im Kapitel Methodenkritik (vgl. 5.4.2) sowie im folgenden zugehörigen Unterkapitel (5.6.2) erklärt, muss dies differenzierter betrachtet werden und ist nicht im Allgemeinen auf die Objekterkennung auf Grundlage von hyperspektralen Daten übertragbar.

Des Weiteren ist eine Bestätigung oder Verwerfung von Hypothese 3: *Der Mittelwert der Einzelblütenanzahl weniger Dolden der untersuchten Art lässt sich auf die gesamte Pflanze übertragen* aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht möglich. Dies wird im folgenden Kapitel 5.6.3 weiter ausgeführt.

5.6.1 Manuelle Methode (Blende)

Die Grafik der modellierten und tatsächlichen Blütenzahl in Kapitel 5.6.1 in Abbildung 11 mit dem Bestimmtheitsmaß von 95 Prozent zeigt, dass die Vorhersage des Modells sehr gut ist (UNIVERSITÄT ZÜRICH 2023). Bei der Betrachtung des relativen Fehlers auf, dass die Abweichungen für Blütenzahlen unter 1500 etwas höher sind als die der größeren Blütenzahlen. Eine Erklärung dafür könnte eine potenzielle unregelmäßige Verteilung der Blüten an den untersuchten Weißdornen sein. Je unregelmäßiger die Blüten verteilt sind, desto unwahrscheinlicher ist es, mithilfe der Lichtflecken eine repräsentative Stichprobe für den gesamten Zählrahmen zu erfassen. Dies wirkt sich besonders auf Weißdorne mit insgesamt wenigen Blüten aus. Die Varianzhomogenität ist aber weiterhin gegeben, da die Varianz mit der Größe der Werte nicht bedeutend abnimmt.

Zudem liefert die Modellierung der Blütenzahl mittels der linearen Regression möglicherweise bessere Ergebnisse als die direkte Hochrechnung der Blütenzahl über den Flächenanteil der Stichproben von 40 Prozent des Zählrahmens, da kleinere systematische Abweichungen wie die durch die sich öffnenden Lichtkegel entstehenden Ungenauigkeiten (vgl. 5.4.1) durch die Glättung über alle Werte ausgeglichen werden könnten.

Die Ergebnisse sind aufgrund des Stichprobenumfangs von 23 Erhebungen als repräsentativ einzuordnen. Die Korrelation zwischen der Summe der Blütenzahlen der Lichtflecken und der tatsächlichen Blütenzahl war erwartbar, da der Ansatz der Erfassung von Stichproben und die Übertragung auf den gesamten Zählrahmen bzw. die Bezugsfläche eine gängige Methode in der Vegetationserfassung darstellt (TREMP 2005). Dass sich dieser Zusammenhang mit einem so hohen Bestimmtheitsmaß von 95 Prozent sowie die Quantifizierung der Gesamtblütenzahl mit einem relativen Fehler von 27 Prozent erfolgte, war nicht zu erwarten.

Insgesamt ist die Methode in Bezug auf die Genauigkeit als sehr erfolgreich einzuordnen.

5.6.2 Digitale Erfassungsmethoden

In diesem Unterkapitel werden zuerst die Ergebnisse der RGB-Daten diskutiert, danach wird auf die Ergebnisse der Daten der Hyperspektralkamera eingegangen.

RGB-Daten

Der Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der Blütenpixel und der tatsächlichen Blütenzahl hat sich bestätigt (vgl. 4.2). Dies war aufgrund der Ergebnisse anderer Veröffentlichungen mit ähnlicher Methodik zu erwarten (ZHANG et al. 2021). Das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression mit 85 Prozent zeigt, dass das Modell insgesamt eine gute Prognose für die tatsächliche Blütenzahl liefert. Andere Studien, die auch eine Klassifizierung von Pixeln aufgrund ihrer Farbwerte zur Erkennung von Objekten vornahmen, kamen mit beispielsweise 59 Prozent bzw. 85 Prozent zu ähnlichen Ergebnissen (HOČEVAR et al. 2014; YUAN et al. 2023). Eine Transformation der RGB-Daten in HSL-Werte könnte die Genauigkeit der Klassifikation erhöhen (YUAN et al. 2023), wurde aber im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht untersucht.

Es konnte beobachtet werden, dass viele der kleineren Werte der modellierten Blütenzahl über der tatsächlichen Blütenzahl liegen. Besonders gut ist dies in der Darstellung des absoluten Fehlers abzulesen (vgl. Abbildung 19). Die beiden Werte der größten Blütenzahlen haben dagegen einen negativen absoluten Fehler. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte die Verdeckung von Blüten durch andere Blüten oder Blätter sein (YUAN et al. 2023). Wenn der Weißdorn insgesamt mehr Blüten trägt, ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine größere Anzahl an Blüten auf dem Bild verdeckt werden, höher. Möglicherweise könnte eine nicht-lineare Regression statt einer einfachen linearen Regression des Deckungsgrads und der tatsächlichen Blütenzahl bessere Ergebnisse liefern, da die Verdeckung von Blüten bei großen Gesamtblütenzahlen einbezogen werden würde (UNIVERSITÄT ZÜRICH 2023). Einen Hinweis darauf liefert auch

das Diagramm des relativen Fehlers (vgl. Abbildung 20). Der relative Fehler bewegt sich insgesamt bis auf drei Ausreißer bei den Werten für die kleineren Blütenzahlen auf einem niedrigen Niveau, der relative Fehler der höchsten beiden Blütenzahlen ist ausgenommen dieser drei Werte am höchsten. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl, besonders bei den größeren Gesamtblütenzahlen, kann dies aus den Ergebnissen aber nicht mit Sicherheit abgeleitet werden. Zudem wären bei weiterer Verbesserung der Kriterien zur Klassifikation der Pixel sowie einer optimierten Arbeitsweise bessere Ergebnisse zu erwarten (vgl. 5.4.2).

Alles in allem stimmen die Ergebnisse mit ähnlichen Studien zu diesem Thema überein und liegen damit im erwarteten Bereich.

Hyperspektrale Information

Wie bei der Erläuterung der Ergebnisse in Abschnitt 4.2 beschrieben, lässt sich kein Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der weißen Pixel mit der tatsächlichen Blütenzahl feststellen. Das Bestimmtheitsmaß ist in diesem Fall als Indikator für die Güte der Regression nicht aussagekräftig (vgl. 4.2). Mögliche Gründe für dieses Ergebnis werden in der Methodenkritik diskutiert (vgl. 5.4.2).

Die fehlende Korrelation zwischen dem Deckungsgrad und der tatsächlichen Blütenzahl kann nicht auf den Ansatz dieser Methode zurückgeführt werden, da die Modellierung der Blütenzahl anhand des Deckungsgrads der weißen Pixel im Bild erfolgte. Diese Vorgehensweise wurde bei den RGB-Daten erfolgreich umgesetzt und ähnelt, wie zuvor beschrieben, bisherigen Veröffentlichungen dazu. Die Ergebnisbilder der Verarbeitung der hyperspektralen Daten zeigen, dass die Klassifizierung der Pixel in Blüte und Nicht-Blüte bis auf kleine Ungenauigkeiten gut funktionierte. Entgegen der Erwartung konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad und der tatsächlichen Blütenzahl nicht gezeigt werden. Wie in der Methodenkritik unter 5.4.2 beschrieben, ist dieses Ergebnis wahrscheinlich nicht auf technische Fehler in der Verarbeitung der Daten, sondern auf menschliche Fehler bei der Datenerhebung oder dem Zuschnitt der Bilder zurückzuführen. Für bessere Resultate könnte künftig eine klare Definition und Abgrenzung der Zählebene, in die die Messlatte als Maßstabsreferenz gestellt wird, oder eine Anpassung des Zählrahmens vorgenommen werden. Zudem sollte das Fotografieren und die Gesamtzählung mit möglichst kurzem zeitlichen Abstand erfolgen.

Möglicherweise ist zudem der relative Fehler jedes Wertes so hoch, dass aufgrund der geringen Stichprobenzahl von zehn Weißdornen kein Trend zu erkennen ist.

Da keine Veröffentlichung zur Erkennung von Blüten auf Objektebene auf der Basis von hyperspektralen Daten bekannt ist, können hier keine anderen Studien referenziert werden. Die Hyperspektralbilder erscheinen trotz der fehlenden Korrelation als Datengrundlage geeignet, da die Gründe für das Scheitern nicht auf den Typus der Bilder zurückzuführen sind. Der Vergleich der Ergebnisbilder mit denen der RGB-Daten zeigt, dass die Klassifikation als Blüte anhand des Spektrums jedes Pixels besser funktioniert als die alleinige Verwendung der Farbwerte für rot, grün und blau (vgl. Abbildung 28).



Abbildung 28: Vergleich der Ergebnisbilder: Links oben und unten die Ergebnisbilder des Weißdorns Nr. 54 (Hyperspektralkamera), rechts Ergebnisbild des Weißdorns Nr. 541 (RGB). Die ausgewählten Ergebnisbilder sind die mit dem geringsten relativen Fehler jeder Methode (Quelle: eigene Aufnahmen).

Die Ergebnisse zeigen entgegen der Erwartung keine Korrelation. Eine korrekte Prognose für die Blütenzahl kann in diesem Fall ausgeschlossen werden. Aufgrund der erfolgreichen Zuordnung der Pixel als Blüte oder Hintergrund mit SpecimIQ Studio, der geringen Stichprobenzahl und dem bei den RGB-Daten erfolgreichen Ansatzes der Modellierung der Blütenzahl über den Prozentanteil der weißen Pixel im Bild sollten die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit nicht zum Verwerfen der hyperspektralen Datengrundlage zur Objekterkennung führen. In künftigen Umsetzungen sollten die hier erfolgten Fehler vermieden und die Vorschläge zur genaueren Arbeitsweise berücksichtigt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass unter diesen Bedingungen die Quantifizierung der Gesamtblütenzahl eine höhere Genauigkeit aufweist als die der modellierten Blütenzahl anhand der Smartphonebilder. Diese Bachelorarbeit konnte Hypothese 2 nicht bestätigen. Weitere Untersuchungen könnten jedoch zeigen, dass Hypothese 2 nicht verworfen werden muss.

5.6.3 Blütenschirme

Da nur an zwei Hartriegeln die Zählung der Einzelblüten von jeweils 120 Dolden erfolgte, sind die dabei erhobenen Daten nicht repräsentativ. Der Vergleich des arithmetischen Mittels der Einzelblüten pro Dolde mit sechs weiteren Hartriegeln, an denen jeweils 25 Dolden ausgezählt wurden, lässt keine Übertragung auf andere Hartriegel zu. Die Methode kann mit dieser Bachelorarbeit nicht ausreichend evaluiert werden. Da die Mittelwerte der Blüten pro Dolde der Zweitählung in derselben Größenordnung wie die ersten beiden Hartriegel liegen, ist ein Indiz für das Potenzial dieser Methode. Für eine eindeutige statistische Bestätigung dieser Erhebungsmethode müssten weitere Untersuchungen in größerem Maßstab folgen, was aber den Rahmen dieser Bachelorarbeit gesprengt hätte. Aus diesem Grund lässt sich Hypothese 3 weder eindeutig bestätigen noch verwerfen.

5.7 Erfahrungen, Hinweise und Tipps für die Anwendung

Dieses Kapitel beinhaltet keine Methodenkritik, sondern lediglich Vorschläge für eine effiziente Arbeitsweise basierend auf den während der Datenerhebung gemachten Erfahrungen.

5.7.1 Manuelle Methode (Blende)

Für eine zeitsparende Ausrichtung der Blende wäre ein Kugelkopf auf dem Stativ empfehlenswert. Außerdem könnten bei einer neuen Konstruktion der Blende die Abstände so berechnet werden, dass der Abstand zwischen Blende und Weißdorn etwas größer ist, um eine größere

Bewegungsfreiheit beim Zählen zu gewährleisten. Möglicherweise könnten leuchtende Bänder oder Ringe an den Füßen des Stativs die Sicherheit erhöhen. Eine weitere Anregung ist die Benutzung einer Taschenlampe mit mehr Akkuleistung. Die Taschenlampe hat bei voller Akkuladung zwischen eineinhalb und zwei Stunden geleuchtet, was teilweise die Zähldauer am Stück etwas reduziert hat. Der nächste Hinweis bezieht sich auf den Bau der Blende. Falls eine andere Ausführung der Blende geplant werden sollte, sollte einbezogen werden, dass wenn die Löcher in der Blende kleiner werden als die verwendeten Größen, könnte es bei gleicher Taschenlampenleistung zu einem insgesamt dunkleren Erscheinungsbild jedes Lichtflecks führen, was die Zählung der Blüten anstrengender machen würde. Das Forstmarkierungsband hat sich zur festen Markierung des Zählrahmens bewährt. Außerdem haben sich eine Warnweste bei den nächtlichen Erfassungen sowie ausreichend dicke Handschuhe gegen die sehr spitzen Sprossdornen des Weißdorns bewährt. Zudem ist es sinnvoll, wenn möglich, sich über Mahdtermine der Fläche, an oder auf der der Weißdorn steht, zu informieren, um eine Verzerrung in den Daten aufgrund abgemähter Äste zu vermeiden.

5.7.2 Digitale Erfassungsmethoden

Die Maßstabsreferenz auf den Bildern sollte, wenn möglich, nicht ein Meterstab oder eine Messlatte in der Farbe der Blüten sein, da die spätere Klassifizierung anhand der Farbwerte erfolgt. Auch im Modell der Hyperspektralkamera war es anfangs schwierig, die weiße Messlatte von den Blütenpixeln zu unterscheiden. Die Hyperspektralkamera hat eine sehr lange Akkuladezeit von 12 Stunden. Der Mindestakkustand für die Aufnahme eines Bilds liegt bei 40 Prozent. Es ist möglich, das in SpecimIQ Studio erstellte Modell in die Hyperspektralkamera zu importieren. Dazu müssen zuvor in dem Programm einige Einstellungen zur Kamera vorgenommen werden. Somit besteht die Möglichkeit, schon während der Aufnahme des Fotos eine Klassifizierung der Pixel in Blüte oder nicht Blüte vorzunehmen, um eine sofortige Erfolgskontrolle durchführen zu können.

5.7.3 Blütenschirme

Der einzige, aber wichtige Hinweis, der in Bezug auf die Einzelblütenerfassung in doldigen Blütenständen gegeben werden kann, ist die Zählung der Blütenknospen und nicht der offenen Blüte. Die Knospen sind gut voneinander zu unterscheiden und lassen sich deshalb viel schneller zählen.

6 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Kernfrage dieser Bachelorarbeit *Wie können Blüten an Hecken möglichst effizient mit möglichst hoher Genauigkeit quantifiziert werden?* lässt sich in zwei Teilaspekte unterteilen: die Effizienz und die Genauigkeit. In die Bewertung der Effizienz spielen die verschiedenen, diskutierten Aspekte eine Rolle. Für Erhebungen im großen Maßstab sind die digitalen Methoden gegenüber der Blende überlegen, da die Erfassungszeit vor Ort geringer ist. Da die digitalen Methoden noch nicht ausgereift sind und durchaus weiteres Potenzial zeigen, könnten die Ergebnisse mit weiterer Forschungsarbeit verbessert werden.

Die Kernfrage kann somit nicht eindeutig beantwortet werden:

Für eine möglichst genaue Quantifizierung der Blüten ist die manuelle Erfassung mit der Blende die Methode der Wahl, da hier der relative Fehler am geringsten ist. Wenn die Erhebung der Gesamtblütenzahl möglichst effizient erfolgen soll, dafür aber eine etwas geringere Genauigkeit toleriert werden kann, sollte die Blütenzahl auf der Grundlage der mit dem Smartphone aufgenommenen RGB-Bilder modelliert werden. Hierzu könnte die Verarbeitung der Bilder mit dem Python-Skript durchgeführt werden.

Leider hat die Modellierung der Blütenzahlen mithilfe der Hyperspektralkamera in dieser Arbeit nicht funktioniert. Wie die Diskussion gezeigt hat, liegen die möglichen Gründe dafür aber nicht im Datentypus.

Die erprobte Methode zur Erfassung von Einzelblüten in doldigen Blütenständen konnte aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht vollständig evaluiert werden. Die Ergebnisse in der erwarteten Größenordnung sind aber ein Hinweis darauf, dass mit dieser Methode die Quantifizierung der Gesamtblütenzahl effizient gestaltet werden könnte.

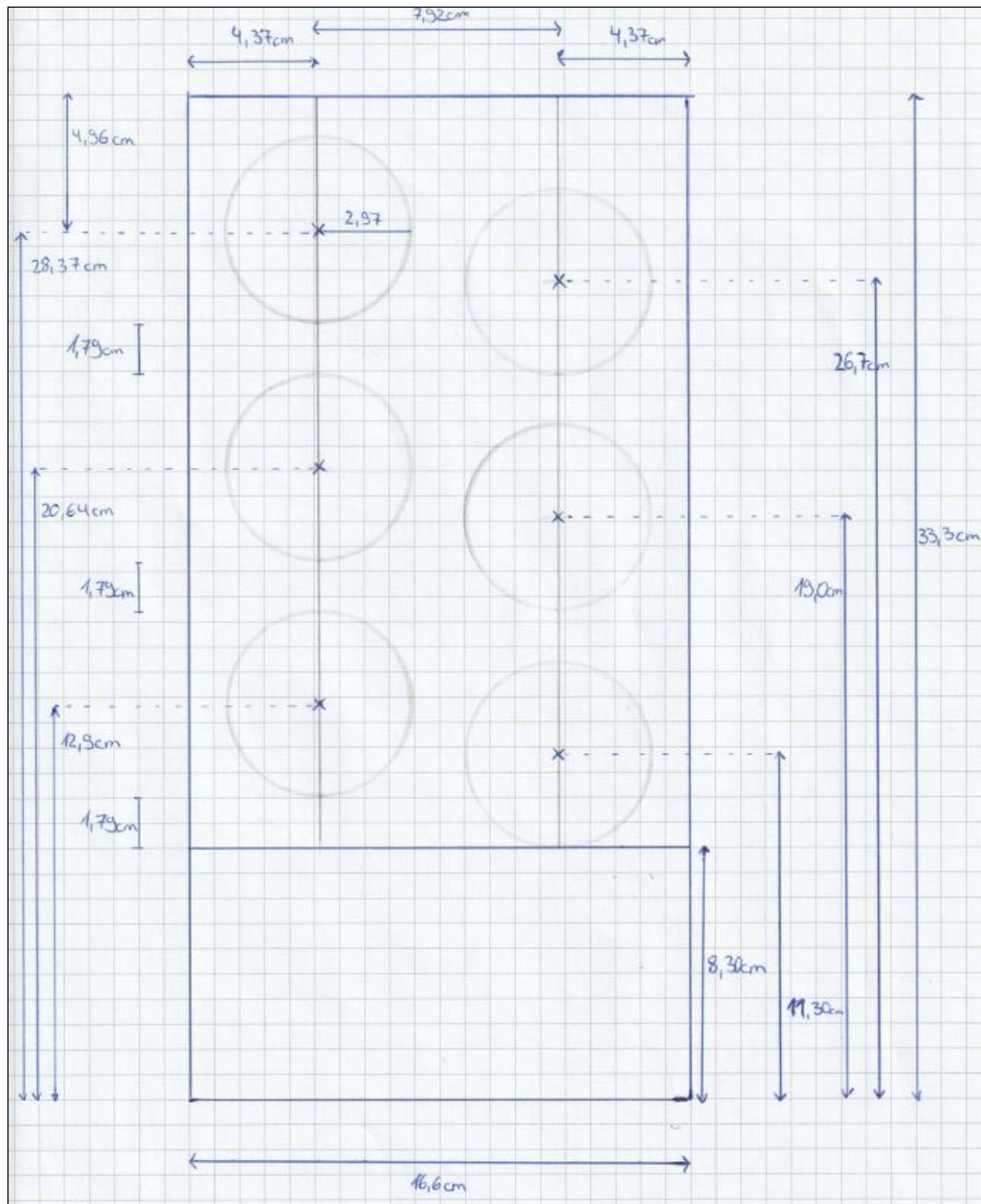
Da sich die Quantifizierung von Blüten einem wachsendem Forschungsinteresse erfreut, sind in naher Zukunft weitere Veröffentlichungen zu erwarten. Gerade in der digitalen Erhebung und Auswertung ist weitere Forschungsarbeit nötig, um solche Datenerfassungen im großen Stil erfolgreich umzusetzen. Ein direkter Vergleich von klassischen Bildverarbeitungsmethoden mit einer Bildauswertung unter Einsatz von Künstlicher Intelligenz war in dieser Arbeit leider nicht möglich. Die Erforschung der Kombinationen aus verschiedenen Datenerhebungsmethoden und verschiedenen Auswertungsmethoden bleibt weiter spannend, diese Bachelorarbeit konnte einen kleinen Teil dazu beitragen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurden verschiedene Methoden mit unterschiedlichen Datengrundlagen zur Quantifizierung der Blütenzahl von Heckengehölzen beispielhaft an Weißdorn und Blutrotm Hartriegel untersucht und mit einer Gesamtzählung verglichen. Für die Erfassung von einzeln stehenden Blüten wurden eine manuelle sowie zwei Fernerkundungsmethoden erprobt. Die manuelle Erfassung erfolgte nachts mit einer Konstruktion aus einer Blende mit Löchern und einer sich dahinter befindenden Taschenlampe. Die beleuchteten Blüten wurden gezählt und die Gesamtblütenzahl wurde mittels einer linearen Regression modelliert. Für die Fernerkundungsmethoden wurden Bilder mit einem Smartphone und mit einer Hyperspektralkamera aufgenommen. Auf den Bildern wurde der Deckungsanteil der weißen Blütenpixel berechnet und mithilfe einer linearen Regression eine Prognose für die Gesamtblütenzahl berechnet. Dafür wurden die Pixel der Smartphone-Bilder anhand ihrer RGB-Werte klassifiziert. Bei den hyperspektralen Bildern wurde die Klassifizierung der weißen Blütenpixel anhand ihrer Spektren vorgenommen. Der geringste relative Fehler mit 27 Prozent bei der Prognose der Blütenzahl lieferte die manuelle Erfassung. Für eine Erfassung von Blütenzahlen im großen Stil ist die Erhebung und Verarbeitung der Smartphone-Bilder mit einem relativen Fehler von 38 Prozent aufgrund der Zeitersparnis am effizientesten. Die Modellierung der Blütenzahlen auf Basis der hyperspektralen Daten hat in dieser Arbeit nicht funktioniert, da wahrscheinlich Fehler bei der Datenerhebung und dem Zuschnitt der Bilder unterlaufen sind. Die verarbeiteten Bilder zeigen jedoch, dass die Klassifikation von Pixeln mit diesem Datentypus erfolgreich umgesetzt werden kann, weshalb auch aufgrund desselben Ansatzes wie bei den Smartphone-Bildern von einem hohen Potenzial auszugehen ist. Außerdem wurden mithilfe einer Drohne Bilder aus der Luft aufgenommen. Ein Verarbeitungsversuch zur Ermittlung der Blütenzahl ist aber gescheitert. Zudem wurde eine Klassifizierung von Blüten auf Smartphone-Bildern mit maschinellem Lernen getestet. Dieser Versuch wurde abgebrochen, da eine erfolgreiche Auswertung im Zeitrahmen der Bachelorarbeit nicht abzusehen war. Für die Erhebung der Blütenzahl in doldigen Blütenständen wurde eine umfassende Datenerhebung an zwei Hartriegeln durchgeführt. Aus der Blütenzahl pro Dolde wurde in einem Vorversuch untersucht, wie viele Blütenstände an einem Hartriegel ausgezählt werden müssen, um einen für diese Pflanze repräsentativen Mittelwert für die Blütenzahl pro Dolde zu ermitteln. Mit dem Ergebnis von 25 Dolden pro Hartriegel wurde eine zweite Datenerhebung an sechs Hartriegeln durchgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl konnte die These nicht bestätigt werden, die in der erwarteten Größenordnung liegenden Ergebnisse liefern darauf aber einen Hinweis.

8 ANHANG

8.1 Skizze der Blende



8.2 Vorgehen: Anleitung zur Hyperspektralkamera

Dieses Kapitel ist eine detaillierte Anleitung zur Benutzung der Hyperspektralkamera. So wie das Vorgehen hier beschrieben wird, wurde die Hyperspektralkamera für diese Arbeit eingesetzt. Diese Anleitung ist an der Bedienungshilfe der Herstellerfirma, dem SpecimIQ Quick Guide, orientiert (SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. 2024).

POWER ON

4. Akku aufladen (bei leerem Akku: Ladedauer circa 12 Stunden).
5. Akku einsetzen.
6. Speicherkarte einsetzen.
7. Kamera an den Einsatzort bringen.
8. Kamera auf dem Stativ befestigen.
9. Kamera einschalten (Power Button gedrückt halten, bis ein Signal ertönt).

DEVICE SETUP

10. Auf den „Set“-Button drücken, um das Menü aufzurufen.
11. Im Menü den Modus DRM auswählen.
12. Für „White Reference“ den Modus Simultaneous auswählen.
 - Für dieses Projekt wird keine Weiß-Referenz benötigt, da der Unterschied in den Spektren entscheidend ist, und nicht die absoluten Werte in den Spektren.
 - Deshalb muss keine Weiß-Referenz im Bild platziert werden.

DATA RECORDING SETTINGS

13. Kamera zum Zielobjekt ausrichten
14. Mit einem kurzen (!) Druck auf den zweistufigen Auslöser-Knopf werden einerseits die Einstellungen zur Bildaufnahme aufgerufen. Andererseits dient die erste Stufe des Auslöser-Knopfs auch als Befehl zum Speichern der geänderten Einstellungen.
15. Durch den kurzen Druck auf den Auslöser-Knopf ändert sich auf dem Bildschirm die Anzeige zu der Übersicht der „Data Recording Settings“.
 - In dieser Übersicht kann die Belichtungszeit eingestellt werden. Dazu den Regler rechts auf der Bildschirmanzeige verschieben, sodass möglichst viel Fläche im innenliegenden Kästchen orange markiert wird.

- Die optimale Belichtungszeit hängt von den äußeren Bedingungen ab. Bei direkter Sonneneinstrahlung zur Mittagszeit reicht eine kurze Belichtungszeit (oberes Ende des Reglers). Bei Bewölkung oder in den Morgen-und Abendstunden sollte der Regler etwas nach unten verschoben werden, sodass eine längere Belichtungszeit verwendet wird. In diesem Projekt konnte er dabei im oberen Drittel des Balkens belassen werden.
- Die Kamera schlägt einen Bereich optimaler Belichtung vor (grün hinterlegt), welcher aber in der Praxis nicht unbedingt der optimalen Belichtung entsprechen muss. In diesem Projekt wurden auch Belichtungen außerhalb des grün hinterlegten Bereichs verwendet.

16. Durch Drehen des Objektivs wird die Schärfe des Bildes eingestellt. Das Objektiv so drehen, dass möglichst viel des innenliegenden Kästchens orange markiert wird.

- Nach dem Einstellen der Schärfe kann ggf. die Belichtungszeit nochmals angepasst werden. In der Praxis müssen die Kameraeinstellungen für optimale Bildaufnahmen erprobt werden, da die Bilder nicht unter Laborbedingungen aufgenommen werden und die äußeren Einflüsse die Qualität der Daten maßgeblich beeinflussen.

CAPTURE THE DATA

17. Den Auslöser-Knopf tief drücken, sodass die erste Stufe überwunden wird. Jetzt wird das Foto aufgenommen.

VALIDATE THE DATA

18. Die entstandenen Daten werden jetzt auf dem Bildschirm angezeigt.

- Neben dem Foto werden zwei Diagramme angezeigt: „Maximum Values“ und „Minimum Values“.
- Für dieses Projekt war nur die Kontrolle des Diagramms der „Maximum Values“ von Bedeutung. Das Diagramm zeigt für jedes Pixel den Maximalwert des zugehörigen Spektrums an.
- Wenn rot blinkende Bereiche auf dem Bild zu erkennen sind, muss überprüft werden, ob diese Bereiche vernachlässigbar oder für die Auswertung relevant sind. Diese Bereiche blinken rot, da dort nicht auf allen Kanälen der Hyperspektralkamera Informationen aufgenommen werden konnten. Dies ist auch im Diagramm zu

sehen: Das angezeigte Diagramm kann rot eingefärbt als Warnung verstanden werden, wenn jedes Pixel essenziell für die Auswertung ist. In diesem Projekt waren kleine Stellen, die Himmel oder starke Lichtreflexionen abbildeten, rot blinkend eingezeichnet und damit für die Auswertung nicht brauchbar. Dies führte dazu, dass das gesamte Diagramm rot eingefärbt wurde. Wenn relevante Bereiche (Blüten) betroffen sind, das Foto nochmal aufnehmen und die Belichtungszeit ändern. Wenn keine relevanten Bereiche betroffen sind, kann das Foto gespeichert werden. In der Auswertung sind die Graphen betroffener Pixel nicht verfügbar.

19. Das Foto mit „Keep“ speichern oder mit „Discard“ verwerfen.

WR SELECTION

20. Jetzt muss eine „White Reference Area“ (Weiß-Referenz) ausgewählt werden. Durch den Regler können die Kriterien für die Weiß-Referenz gelockert oder enger gefasst werden.

- Da in diesem Projekt keine Weiß-Referenz benötigt wurde, sich dieser Schritt aber nicht überspringen lässt, wurde die vorgeschlagene Weiß-Referenz so übernommen.
- Den Regler gegebenenfalls verschieben und auf „Set“ drücken.

RESULT VIEW

21. In der Ergebnis-Übersicht hat drei verschiedene Funktionen:

a) Target Spectrum:

Durch Antippen eines Pixels wird das zugehörige Spektrum angezeigt.

b) Tags:

Durch Verfassen von Tags können die Daten kategorisiert werden.

c) Data Info:

Es werden einige Informationen zum Bild angezeigt. Hier kann es hilfreich sein, Informationen zum Bild einzutragen.

- In diesem Projekt wurde die jeweilige Nummer des fotografierten Weißdorns eingetragen sowie vermerkt, ob der untere Meter oder der obere Meter des Zählrahmens fotografiert wurde.

- Da die Speicherung der Standortinformationen bei Bildaufnahme grundsätzlich möglich ist, kann vor Bildaufnahme sichergestellt werden, dass diese Funktion der Kamera aktiviert ist. Somit ist eine Beschreibung des Standorts gegebenenfalls nicht erforderlich.

8.3 SpecimIQ Studio

Dieses Kapitel erklärt detailliert die Erstellung eines Modells in der Software SpecimIQ Studio. So wie das Vorgehen hier beschrieben wird, wurde die Software für diese Arbeit eingesetzt. Die Beschreibung basiert auf den Herstellervideos zu SpecimIQ Studio auf der Website der Firma sowie auf eigenen Erfahrungen. Die Prozessschritte, welche in der Software links oder oben auf dem Bildschirm zu sehen sind, sind in Großbuchstaben geschrieben. Mit einem Pfeil als Aufzählungszeichen sind projektspezifische Informationen gekennzeichnet.

DATEN IMPORTIEREN – MODELL ERSTELLEN

1. Daten in den Catalog laden.
2. Application im General-Menü auswählen.
3. „Models“ auswählen.
4. Im Burger-Menü links „Create new“ auswählen.

PROJEKT

1. Projekt- Informationen eingeben.
 - Projektname, ggf. Autor*in, Beschreibung, Versionsnummer.
 - In der Beschreibung können Informationen beispielsweise zur verwendeten Wellenlänge angegeben werden.
2. Auf „Create Projekt“ klicken.
3. Fenster öffnet sich, bei dem der Speicherort ausgewählt werden muss.

DATA

1. Rechts von Dataset im Burger-Menü auf „Open“ und aus dem Catalog die gewünschten Daten auswählen (entweder „select all“ oder STRG gedrückt halten und anklicken, und dann „Open“).
 - In der Reihenfolge, in der die Bilder angeklickt werden, erscheinen sie auch danach in der Auflistung für die weiteren Schritte.

➔ Für dieses Projekt hat es ausgereicht, zwei Bilder auszuwählen.

2. Areas of Interest (AOIs) erstellen.

- Ziel der AOIs ist es, nur die für das Ziel der Bildauswertung relevanten Bereiche einzubeziehen. So können zum Beispiel unscharfe Bereiche ausgespart werden. AOIs dienen aber auch dazu, Rechenleistung in den weiteren Schritten einzusparen, da dann nur Rechenleistung für einen Teil des Bildes und nicht für das gesamte Bild aufgewendet werden muss. Dies spart bedeutend Zeit ein.
 - Entweder über das Burgermenü bei AOI auf „Create new“ tippen oder Doppelklick auf das Bild.
 - Es öffnet sich das „Create AOI“- Fenster.
 - Zuerst einen Bereich auf der Bildfläche auswählen mittels gedrückt halten des Mauszeigers und über die Bildfläche ziehen. Dieser abgegrenzte Bereich wird als „Area of Interest“ (AOI) bezeichnet.
 - Durch das Klicken auf das Bild werden Punkte markiert, von welchen anschließend das zugehörige Spektrum angezeigt wird. Hier kann es sinnvoll sein, sich die Spektren von verschiedenen Punkten anzusehen, um eine geeignete AOI auszuwählen. Im nächsten Prozessschritt unter „Wavelength“ werden diese weiterverarbeitet. Falls die ausgewählten Punkte nicht einbezogen werden sollen, werden sie auf „Clear Spectra“ wieder verworfen. Dies kann auch nachträglich passieren.
 - Die AOI wird rechts als „New AOI“ bezeichnet. Es ist sinnvoll, sie für die weiteren Schritte umzubenennen und im Namen der AOI beispielsweise die Bildnummer zu nennen.
 - Eine AOI kann auch einfach durch das Klicken auf das „X“ neben ihrem Namen wieder entfernt werden. Es ist auch möglich, mehrere AOIs auf einem Bild zu erstellen.
- ➔ In diesem Projekt wurden mehrere AOIs auf mehreren Bildern erstellt, welche meist circa ein Viertel der Bildfläche einnahmen.
- ➔ In diesem Projekt wurden 30 Punkte auf den Blüten mittels Anklicken auf dem Bild ausgewählt. Diese Entscheidung wird im nächsten Prozessschritt erklärt.

3. Projekt speichern.

WAVELENGTH

1. Gegebenenfalls muss dieser Prozessschritt erst oben rechts unter „Include to the workflow“ aktiviert werden.
2. Die gewünschte AOI anklicken (einen Haken links neben dem Namen setzen).
3. Die Diagramme werden für die ausgewählte AOI berechnet.
4. Bei Bedarf können auch mehrere AOIs ausgewählt werden.
5. **Wichtig:** Im „RAW-Spectra“-Diagramm werden die Spektren der zuvor ausgewählten Punkte verwendet. Wenn keine Punkte ausgewählt wurden, dann werden 30 zufällige Punkte ausgewählt und verwendet. Wenn weniger als 30 Punkte von dem/der Benutzer*in ausgewählt wurden, werden trotzdem 30 Spektren angezeigt: die ausgewählten Punkte werden durch zufällig vom Programm ausgewählte Punkte ergänzt.
 - ➔ In diesem Projekt hat es sich als sinnvoll erwiesen, im DATA-Prozessschritt 30 Punkte bei Erstellung der AOIs auf Blüten auszuwählen. Dabei reicht es aus, 30 Punkte nur in einer AOI auszuwählen. Dies ist besonders hilfreich beim Aufteilen des Spektrums, da nur die Spektren des/der Zielobjekte angezeigt werden.
6. Durch Doppelklick das „RAW-Spectra“-Diagramm öffnen.
7. Durch das „+“ auf der oberen Seite des Diagramms kann das Spektrum aufgeteilt werden. Dadurch werden nur die ausgewählten Bereiche (hell hinterlegt) in die weitere Berechnung einbezogen. Die Bereiche können durch gedrückt-halten der Regler verändert werden oder die Wellenlängen können auch direkt eingegeben werden. Dadurch können die Bereiche ausgewählt werden, die für das Zielobjekt **charakteristisch** sind. Außerdem spart auch dieser Schritt Rechenleistung ein.
 - ➔ In diesem Projekt war das Aufteilen des Spektrums der **entscheidende** Schritt, um die weißen Blüten von der ebenfalls weißen Messlatte zu unterscheiden.
8. In diesem Prozessschritt kann auch das sogenannte „Binning“ eingestellt werden. Beim Binning werden ähnliche Werte verschiedener Spektren gebündelt, sodass die Kurven der Spektren geglättet werden.
 - ➔ In diesem Projekt wurde das Binning nicht angewendet.

CLASSES

1. Beim Burger-Menü auf „Create new“ klicken.
2. Das „Create class“-Fenster öffnet sich.

3. Durch Klicken auf das Bild wird ein Punkt ausgewählt. Das (aufgeteilte) Spektrum wird im Diagramm angezeigt.
 - Hier ist es hilfreich, verschiedene Punkte auf dem oder den Zielobjekten auszuwählen und ein möglichst charakteristisches Spektrum ausgewählt zu lassen. Bei diesem Schritt kann das Spektrum nochmal mit den Spektren aus dem WAVELENGTH-Prozessschritt verglichen werden (wenn es nicht aus der Erinnerung gelingt, dann kann das „Create class“-Fenster nochmal geschlossen werden und der WAVELENGTH-Prozessschritt aufgerufen werden).
 - Zur Info: die 30 ausgewählten Punkte bei der Erstellung der AOI sind hier auf dem Bild auch eingezeichnet.
4. Nachdem ein Punkt ausgewählt wurde, auf „Add as reference“ klicken und dem Referenz-Spektrum einen Namen geben und mit ENTER bestätigen.
5. Danach die Maske klassifizieren („Class mask“).
 - Auf dem Balken kann der Regler entweder direkt verschoben oder mittels der Pfeile rechts verschoben werden. Durch das Verschieben des Reglers werden die Kriterien für die Klasse gelockert bzw. Enger gefasst. Da die Richtung, in welche die Kriterien gelockert werden, variiert, muss dies durch Ausprobieren ermittelt werden.
 - Den Regler so verschieben, dass möglichst viel Fläche des Zielobjekts farbig markiert wird. Dabei aber darauf achten, dass die Bereiche, welche fälschlicherweise als Zielobjekt markiert werden, minimal bleiben.
 - Wenn beim Verschieben des Reglers auffällt, dass die Markierung des Zielobjekts nicht gut funktioniert, ggf. den Vorgang wiederholen und einen anderen Punkt als Referenzspektrum auswählen (hierzu entweder auf das Bild klicken und einen neuen Punkt auswählen und dann auf „Add as Reference“ oder das Referenzspektrum durch Klick auf das „X“ entfernen).
 - Wenn die Markierung zufriedenstellend ist: Wenn beispielsweise die Mitte der Zielobjekte gut erfasst wird, die Randbereiche aber noch nicht, kann es sinnvoll sein, die Randbereiche vorerst als eigene Klasse zu erfassen. Die beiden Klassen (auch mehr als zwei) können nachträglich zu einer Klasse zusammengefasst werden.
6. Einen Namen für die Klasse eintragen (z.B. die Bezeichnung des Zielobjekts) und eine Farbe für die Markierung, wie die Klasse im Bild angezeigt wird, auswählen.
7. Um die Klasse zu speichern, unten auf „Create“ klicken.

8. Gegebenenfalls mehrere Klassen erstellen, um das Zielobjekt möglichst präzise erfassen zu können. Die Klassen können in der Übersicht von CLASSES vereint werden.
9. Gegebenenfalls mehrere Klassen vereinen: gewünschte Klassen durch STRG gedrückt halten und Mausklick auswählen. Einen Namen für die zusammengeführten Klassen eintragen. Bei Bedarf eine Farbe für die zusammengeführten Klassen wählen. Zum Speichern auf „Apply“ klicken.
10. Die erstellten Klassen können an den AOIs getestet werden. Dazu eine AOI und einer oder mehrerer Klassen auswählen und unten auf „Compute“ tippen.
11. Die Klassen (auch zusammengeführte Klassen) können in der erscheinenden Übersicht unabhängig voneinander durch den Regler angepasst werden und damit kann die Erfassung des Zielobjekts optimiert werden.
12. Bei Bedarf weitere Klassen erstellen.
13. Das Projekt speichern.

PREPROCESSING

➔ In dieser Arbeit wurde dieser Prozessschritt nicht bearbeitet.

CLASSIFICATION

In diesem Prozessschritt können die Klasse/n auf die AOIs angewendet werden.

1. Eine oder mehrere Klassen auswählen (bei mehreren STRG gedrückt halten).
2. Die AOI, für die die Klassen berechnet werden sollen, auswählen.
3. Unter dem angezeigten Bild auf „Compute“ klicken.
4. Nun beginnt die Berechnung. Falls diese andauert, können danach ggf. die AOIs verkleinert werden und/oder das verwendete Spektrum angepasst werden.
5. Die Ergebnisse der Berechnung werden unten angezeigt. Die Bilder können sowohl mit als auch ohne Hintergrund („Show background“) angezeigt werden. Durch Doppelklick auf ein Bild wird eine vergrößerte Ansicht geöffnet. Unter „Save Image as“ kann das Bild gespeichert werden.
6. Neben der Auflistung der Klassen kann ausgewählt werden, ob die Markierung im Bild als „heat mask“ oder als „binary mask“ dargestellt werden soll. Bei der „binary mask“ werden im Gegensatz zur „heat mask“ alle Bereiche, die die Kriterien erfüllen, in einer Farbe dargestellt. Bei der „heat mask“ wird ein Farbverlauf dargestellt.

7. Falls die Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind, muss in den vorherigen Prozessschritten eventuell nachgebessert werden.
8. Projekt speichern.

TEST RUN

In diesem Prozessschritt kann das Modell an weiteren Bildern aus dem Catalog getestet werden.

1. Die Daten, an denen das Modell getestet werden soll, können über das Burger-Menü über „Open“ ausgewählt werden. Dann öffnet sich ein Fenster, in dem die „Catalogs“ angezeigt werden. Den richtigen „Catalog“ anklicken und die gewünschten Bilder entweder über „select all“ oder manuell mit STRG und Mausklick auswählen und dann auf „Open“ klicken.
2. Entweder nur ein Bild oder mehrere Bilder über STRG gedrückt halten und Mausklick auswählen.
3. Auf „Compute“ klicken.
4. Die Ergebnisse der Berechnung werden unter „Results“ angezeigt. Je nach Gerät ggf. nach unten scrollen, um alle Ergebnisse zu sehen.
5. Auch hier können wieder über Doppelklick einzelne Bilder mit oder ohne Hintergrund in vergrößerter Ansicht angezeigt und ggf. abgespeichert werden.
6. Falls die Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind, ggf. eine zusätzliche AOI und/oder Klasse erstellen und vorherige Prozessschritte wiederholen oder unter CLASSES den/die Regler anpassen.
7. Projekt speichern.
8. Wenn das Modell zufriedenstellend und somit fertig ist, kann das Projekt als Modell gespeichert werden („Save Model“). Damit ist das Modell fertig für eine weitere Verarbeitung. Das Modell kann nachträglich noch verändert werden, allerdings muss es dann als neues „Modell“ gespeichert werden.

8.4 Technische Daten

8.4.1 Datenblatt RGB-Kamera Drohne

RGB-Kamera

Kamerasensor	4/3 CMOS, effektive Pixel: 20 MP
Objektiv	Sichtfeld: 84° Äquivalente Brennweite: 24 mm Blende: f/2,8 bis f/11 Fokus: 1 m bis ∞
ISO	100 bis 6400
Verschlusszeit	Elektronischer Verschluss: 8 bis 1/8.000 s Mechanischer Verschluss: 8 bis 1/2.000 s
Max. Bildgröße	5280×3956
Fotomodi	Einzelaufnahme: 20 MP Zeitraffer: 20 MP JPEG: 0,7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorama: 20 MP (Originalmaterial)
Videoauflösung	H.264: 4K: 3840×2160 bei 30 fps FHD: 1920×1080 bei 30 fps
Max. Video-Bitrate	4K: 130 MBit/s FHD: 70 MBit/s
Unterstützte Dateisysteme	exFAT
Bildformat	JPEG/DNG (RAW)
Videoformat	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)

8.4.2 Datenblatt Multispektralkamera Drohne

Multispektralkamera

Kamerasensor	1/2,8" CMOS, effektive Pixel: 5 MP
Objektiv	Sichtfeld: 73,91° (61,2° x 48,10°) Äquivalente Brennweite: 25 mm Blende: f/2,0 Fokus: Festbrennweite
Multispektralkamera-Band	Grün (G): 560 ±16 nm; Rot (R): 650 ±16 nm; Red Edge (RE): 730 ±16 nm; Nahes Infrarot (NIR): 860 ±26 nm;
Verstärkungsbereich	1x bis 32x
Verschlusszeit	Elektronischer Verschluss: 1/30 bis 1/12800 s
Max. Bildgröße	2592×1944
Bildformat	TIFF
Videoformat	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Fotomodi	Einzelaufnahme: 5 MP Zeitraffer: 5 MP TIFF: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Videoauflösung	H.264 FHD: 1920×1080 bei 30 fps Video-Inhalt: NDVI/GNDVI/NDRE
Max. Video-Bitrate	Stream: 60 MBit/s

8.4.3 Datenblatt Hyperspektralkamera

SPECIM IQ

DATA SHEET

Specim IQ is a portable carry on hyperspectral camera that contains features needed for hyperspectral data capturing, data processing, and result visualization.

MAIN FEATURES

Spectral camera
Viewfinder camera
Scanner & motor
Embedded data processing unit
Operating software for data acquisition and processing
Replaceable data storage
Touch screen display and physical buttons
Rechargeable battery power supply

MAIN FUNCTIONALITIES

Operational modes	Default recording mode
	Automatic Screening mode
	Application mode (user definable)
	Time lapse mode
User adjustments	Remote usage
	Integration time adjustment
	Focus adjustment (manual)
	Metadata and tag addition
Data format	Specim Dataset with ENVI compatible data files
Data export	With SD card, through USB or WiFi connection
Operational time	Appx. 100 measurements with one SD card and battery

TECHNICAL HW SPECIFICATIONS

DEVICE OPERATION

User interface SW	by Specim
-------------------	-----------

DEVICE HARDWARE

Viewfinder camera	5 Mpix (rescaled to 1280*960 pixels)
Focus camera	1.3 Mpix
Spectral camera	by Specim
Sd-card reader	UHS-1 SD (Max. 32 GB SD memory card)
Processor	NVIDIA Tegra K1
Cpu	Kepler Mobile
Memory	2GBytes DDR3L RAM and 8GB EMMC
Gps module	U-BLOX GPS/GNSS MAX-M8Q-0
Operating voltage	3.7 V
Battery	5200mAh Li-Ion battery (Type 26650)
WiFi	IEEE Std 802.11 b / g / n

USER INTERFACE

Buttons	12+1 physical buttons
Display & keyboard	4.3" touch screen
Buzzer	Indication sounds for the user
Usb connector	USB Type-C

DIMENSIONS

Size	207 x 91 x 74 mm (depth with lens 125,5 mm)
Weight	1.3 kg

SPECTRAL CAMERA SPECIFICATIONS

OPTICAL

Wavelength band	400 – 1000 nm
F/number at Sensor	F/1.7
F/number at Slit	F/2.2
Magnification (Sensor / slit)	1/1.3
Keystone	Corrected
Smile	Corrected
Spectral resolution	7 nm
Slit Length	11.70 mm
Slit Height	42 µm

SENSOR

Sensor type	CMOS
Spatial Sampling	512 pix
Spectral Bands	204 (with Bin 2x: 102, Bin 3x: 68)
Image resolution	512 x 512 pix
Pixel size	17.58 µm x 17.58 µm
Data output	12 bit
QE peak	>45 %
Full-well capacity	>32000 e-
Peak SNR	>400:1

OBJECTIVE / FRONT LENS

Object distance	150 - ∞ mm
Focal length	21 mm
F/number at Slit	F/2.2
Full field of view (FOV)	31 x 31 deg
Full field of view (FOV) at 1 m	0.55 x 0.55 m
Filter thread	M40.5 x 0,5

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

DEVICE OPERATION

IP classification	IP5x
Temperature, operational	+5°C - +40°C
Temperature, storage	-20°C - +50°C
Humidity operational	95% non-condensing

STANDARDS

Shock	STD-810G Method 516.6 Procedure VI
EU directive	Radio Equipment Directive 2014/53/EU.
Certificates	CE, FCC, RoHS

9 LITERATUR

ABDULRIDHA, J., BATUMAN, O., AMPATZIDIS, Y. (2019): UAV-Based Remote Sensing Technique to Detect Citrus Canker Disease Utilizing Hyperspectral Imaging and Machine Learning. *Remote Sensing*, 11, 1373. <https://doi.org/10.3390/rs11111373>.

AGISOFT (2024): Agisoft Metashape: Agisoft Metashape. <https://www.agisoft.com/> (Zugriff am 12.09.2024).

BARGOTI, S., UNDERWOOD, J. (2017): Deep fruit detection in orchards. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, 3626-3633. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989417>.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2024a): Roter Hartriegel - Kurzbeschreibung heimischer Gehölze. <https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/143042/index.php> (Zugriff am 01.09.2024).

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2024b): Wetterstation Triesdorf (LfL). <https://www.wetter-by.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/bam-web/a034f5a9c8cd6f58c1257392004964b1?OpenDocument&TableRow=3.2.1,3.7#3.2> (Zugriff am 10.09.2024).

BECKER, N., MUCHOW, T., SCHMELZER, M. (2023): AgrarNatur-Ratgeber: Arten erkennen, Maßnahmen umsetzen, Vielfalt bewahren, Klima schützen. 4. Aufl. Hrsg.: Stiftung Rheinische Kulturlandschaft, Bonn: 2023.

BUND NATURSCHUTZ (2024): Lebensraum Garten – Artenvielfalt im Garten fördern. <https://www.bund-naturschutz.de/oekologisch-leben/naturgarten/lebensraum-garten> (Zugriff am 18.08.2024).

CALDERÓN, R., NAVAS-CORTÉS, J. A., LUCENA, C., ZARCO-TEJADA, P. J. (2013): High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium* wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.031>.

CHEN, Z., SU, R., WANG, Y., CHEN, G., WANG, Z., YIN, P., WANG, J. (2022): Automatic Estimation of Apple Orchard Blooming Levels Using the Improved YOLOv5. *Agronomy* 2022, 12(10), 2483. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102483>.

DAVID, E., DAUBIGE, G., JOUDELAT, F., BURGER, P., COMAR, A., DE SOLAN, B., BARET, F. (2023): Plant detection and counting from high-resolution RGB images acquired from UAVs: comparison between deep-learning and handcrafted methods with application to maize, sugar beet, and sunflower. (*Preprint*). <https://doi.org/10.1101/2021.04.27.441631>.

EGI, Y., HAJYZADEH, M., EYCEYURT, E. (2022): Drone-Computer Communication Based Tomato Generative Organ Counting Model Using YOLO V5 and Deep-Sort. *Agriculture* 2022, 12(9), 1290. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091290>.

FOX, J., WEISBERG, S. (2019): An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks, Kalifornien (Sage).

GOOGLE IRELAND LIMITED (2024): Google Earth. <https://www.google.com/intl/de/earth/> (Zugriff am 05.06.2024).

HALLMANN, C. A., SORG, M., JONGEJANS, E., SIEPEL, H., HOFLAND, N., SCHWAN, H., STENMANS, W., MÜLLER, A., SUMSER, H., HÖRREN, T., GOULSON, D., DE KROON, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.

HIEKE, K. (1989): Praktische Dendrologie. Band 1. Hrsg.: Dt. Landwirtschaftsverlag. Berlin: 1989.

HIPHEN (2023): Hiphen Blog - How To Efficiently Count and Classify Fruits in Orchards? <https://www.hiphen-plant.com/how-to-efficiently-count-and-classify-fruits-in-orchards/> (Zugriff am 31.08.2024).

HOČEVAR, M., ŠIROK, B., GODEŠA, T., STOPAR, M. (2014): Flowering estimation in apple orchards by image analysis. *Precision Agriculture*, 15(4), 466–478. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9341-6>.

HSWT (2024): APART. <https://www.hswt.de/forschung/projekt/2091-apart> (Zugriff am 18.08.2024).

KASSAMBARA, A. (2023): rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.rstatix>.

KRUMENACKER, T. (2023): Vier Jahre Volksbegehren »Rettet die Bienen«: Söder rettet lieber die CSU. <https://www.spektrum.de/news/bilanz-nach-vier-jahren-volksbegehren-rettet-die-bienen/2160423> (Zugriff am 08.09.2024).

LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG (2023): OpenData. <https://geodaten.bayern.de/opengeodata/> (Zugriff am 10.09.2024).

LEE, J., GADSDEN, S. A., BIGLARBEKIAN, M., CLINE, J. A. (2022): Smart Agriculture: A Fruit Flower Cluster Detection Strategy in Apple Orchards Using Machine Vision and Learning. *Applied Sciences*, 12(22), 11420. <https://doi.org/10.3390/app122211420>.

MATTHÄUS, H., MATTHÄUS, W.-G. (2016): Statistik und Excel: Elementarer Umgang mit Daten. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

MICROSOFT (2024): Microsoft Excel. <https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/excel> (Zugriff am 19.08.2024).

MICROSOFT CORPORATION (2024): Verwalten von Fotos und Videos mit der Microsoft Fotos-App - Microsoft-Support. <https://support.microsoft.com/de-de/windows/verwalten-von-fotos-und-videos-mit-der-microsoft-fotos-app-c0c6422f-d4cb-2e3d-eb65-7069071b2f9b> (Zugriff am 21.08.2024).

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION (2024): Welcome to Python.org. <https://www.python.org/> (Zugriff am 11.08.2024).

QGIS DEVELOPMENT TEAM (2024): QGIS Geographic Information System (3.38). <https://www.qgis.org/> (Zugriff am 28.08.2024).

ROBOFLOW INC. (2024): Roboflow: Computer vision tools for developers and enterprises. <https://roboflow.com/> (Zugriff am 20.08.2024).

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E. F., LENTON, T. M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H. J., NYKVIST, B., DE WIT, C. A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P. K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R. W., FABRY, V. J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P., FOLEY, J. A. (2009): A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>.

ROTHMALER, W. (2021): Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland: Gefäßpflanzen: Grundband. 22. Aufl., Berlin: Springer Spektrum.

SA, I., GE, Z., DAYOUB, F., UPCROFT, B., PEREZ, T., MCCOOL, C. (2016): DeepFruits: A Fruit Detection System Using Deep Neural Networks. *Sensors* 16(8), 1222. <https://doi.org/10.3390/s16081222>.

SIRATO RECRUITMENT GMBH (2024): Wie Künstliche Intelligenz trainiert wird: Die Rolle des Menschen - Sirato Group. <https://www.sirato-group.com/insights/wie-kuenstliche-intelligenz-trainiert-wird-die-rolle-des-menschen/> (Zugriff am 10.09.2024).

SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. (2021): Specim IQ Studio. <https://www.specim.com/iq/specim-iq-studio/> (Zugriff am 20.06.2024).

SPECIM, SPECTRAL IMAGING LTD. (2024): Specim IQ Downloads. <https://www.specim.com/iq/iq-downloads/> (Zugriff am 20.06.2024).

SUN, G., JIAO, Z., ZHANG, A., LI, F., FU, H., LI, Z. (2021): Hyperspectral image-based vegetation index (HSVI): A new vegetation index for urban ecological research. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102529. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102529>.

SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD. (2021a): DJI Mavic 3M. <https://ag.dji.com/de/photo> (Zugriff am 12.09.2024).

SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD. (2021b): DJI Mavic 3M - Technische Daten. <https://ag.dji.com/de/mavic-3-m/photo> (Zugriff am 12.09.2024).

THE R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING (2023): R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/> (Zugriff am 19.08.2024).

TREMP, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Stuttgart: Verl. Eugen Ulmer.

TRIPATHI, R. N., RAMACHANDRAN, A., AGARWAL, K., TRIPATHI, V., BADOLA, R., HUSSAIN, S. A. (2024): UAV and Deep Learning: Detection of selected riparian species along the Ganga River. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1–2024, 637–642. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-637-2024>.

UNIVERSITÄT ZÜRICH (2023a): Einfache lineare Regression. https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/ereg.html (Zugriff am 01.09.2024).

UNIVERSITÄT ZÜRICH (2023b): Einfaktorielle Varianzanalyse (ohne Messwiederholung). https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/evarianz.html#1.2._Voraussetzungen_der_einfaktoriellen_Varianzanalyse (Zugriff am 24.04.2024).

VON KÖNIGSLÖW, V., FORNOFF, F., KLEIN, A. (2022): Wild bee communities benefit from temporal complementarity of hedges and flower strips in apple orchards. *Journal of Applied Ecology*, 59(11), 2814–2824. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14277>.

WANG, X. (Annie), TANG, J., WHITTY, M. (2020): Side-view apple flower mapping using edge-based fully convolutional networks for variable rate chemical thinning. *Computers and Electronics in Agriculture* (178), 105673. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105673>.

WEBER, H. E. (2003): Gebüsche, Hecken, Krautsäume. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.

WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer.

YUAN, W., HUA, W., HEINEMANN, P. H., HE, L. (2023): UAV Photogrammetry-Based Apple Orchard Blossom Density Estimation and Mapping. *Horticulture*, 9(2), 266. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020266>.

ZARCO-TEJADA, P. J., MORALES, A., TESTI, L., VILLALOBOS, F. J. (2013): Spatio-temporal patterns of chlorophyll fluorescence and physiological and structural indices acquired from hyperspectral imagery as compared with carbon fluxes measured with eddy covariance. *Remote Sensing of Environment*, 133, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.003>.

ZHANG, C., MOUTON, C., VALENTE, J., KOOISTRA, L., VAN OOTEGHEM, R., DE HOOG, D., VAN DALFSEN, P., FRANS DE JONG, P. (2022): Automatic flower cluster estimation in apple orchards using aerial and ground based point clouds. *Biosystems Engineering* 221, 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.05.004>.

ZHANG, C., VALENTE, J., KOOISTRA, L., GUO, L., WANG, W. (2021): Orchard management with small unmanned aerial vehicles: a survey of sensing and analysis approaches. *Precision Agriculture*, 22(6), 2007–2052. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09813-y>.

Erklärung

Verfasser/in (Name, Vorname): Heger, Magdalena

Betreuer/in (Name, Vorname): Prof. Dr. Michael Rudner

Thema der Arbeit: Erfassung der Blütenanzahl an Hecken am Beispiel

von Crataegus spp. und Cornus sanguinea - ein

methodischer Vergleich

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Weidenbach	13.09.2024	Magdalena Heger
Ort	Datum	Unterschrift Verfasser

Erklärung bzgl. der Zugänglichkeit von Diplom-/Bachelor-/Masterarbeiten

Verfasser/in (Name, Vorname): Heger, Magdalena

Betreuer/in (Name, Vorname): Prof. Dr. Michael Rudner

Thema der Arbeit: Erfassung der Blütenanzahl an Hecken am Beispiel
von Crataegus spp. und Cornus sanguinea - ein
methodischer Vergleich

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Arbeit mit o.g. Titel innerhalb des Bibliothekssystems der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf aufgestellt und damit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Die Arbeit darf im Bibliothekskatalog der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (und zugeordneten Verbundkatalogen) nachgewiesen werden und steht allen Nutzern der Bibliothek entsprechend den jeweils gültigen Nutzungsmodalitäten der Hochschulbibliothek der HSWT zur Verfügung. Ich bin mir auch darüber im Klaren, dass die Arbeit damit von Dritten ohne mein Wissen kopiert werden kann.

Die Veröffentlichung der Arbeit habe ich mit meinem Betreuer und falls zutreffend, mit der Firma/Institution abgesprochen, die eine Mitbetreuung übernommen hatte.

☒	Ja
☐	Ja, nach Ablauf einer Sperrfrist von <u> </u> Jahren
☐	Nein

Weidenbach	13.09.2024	<i>Magdalena Heger</i>
Ort	Datum	Unterschrift Verfasser

Fachgebiet:

Umweltsicherung

- ☐ Abfall
- ☐ Boden
- ☐ Wasser
- ☐ Analytik, Mikrobiologie
- ☐ Ökologie & Naturschutz
- ☐ Umwelttechnik, EDV
- ☐ Verwaltung, Recht, Wirtschaft
- ☐ Umweltmanagement
- ☐ Erneuerbare Energien

- ☐ **Ernährung und Versorgungsmanagement**
- ☐ Lebensmittelmanagement

Master:

- ☐ Energiemanagement und Energietechnik
- ☐ MBA Agrarmanagement
- ☐ MBA Regionalmanagement

Landwirtschaft

- ☐ Pflanzliche Erzeugung
- ☐ Tierische Erzeugung
- ☐ Agrarökonomie
- ☐ Landtechnik
- ☐ Erneuerbare Energien
- ☐ Agrarökologie
- ☐ Vieh und Fleisch

Als Betreuer bin ich mit der Aufnahme in das Bibliothekssystem der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf einverstanden.

Ort	Datum	Unterschrift Betreuer