

Analyse der mehrjährigen Versuche zur Heterogenität eines Weizenbestandes, deren Detektion mittels Multispektralkamera und die daran angepasste kamerabasierte, teilflächenspezifische Fungizidapplikation – unter Betrachtung klimatischer, bestands- und infektionsspezifischer Unterschiede

Dissertation
zur Erlangung des
Doktorgrades der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Geowissenschaften und Informatik

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Frau Tackenberg, Maria

Geb. am 05.10.1988 in Querfurt

Gutachter: 1. Prof. Dr. Chr. Volkmar
 2. Dr. habil. K.-H. Dammer
 3. Dr. E.-C. Oerke

Verteidigung: 08.04.2019

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Vorwort.....	X
1. Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	3
1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	7
2. Material und Methoden.....	8
2.1 Standortbeschreibung der Versuchsflächen bei Wittenberg.....	8
2.2 Langjährige Klimadatenauswertung am Standort bei Wittenberg (Schlag Seefeld).....	10
2.3 Beschreibung des Kamerasensors als Grundlage für die variable Applikation.....	15
2.4 Erfassung von Pflanzenparametern als Grundlage für die Applikationslogik.....	18
2.5 Darstellung des Zusammenhangs zwischen kamerabasiertem Deckungsgrad und Pflanzenparametern 2013/14 (BM, LAI) als Grundlage für die Entwicklung der Applikationslogik.....	20
2.6 Kamerabasierte variable Fungizidapplikation – Darstellung der Feldversuche 2014 – 2016.....	35
2.7 Statistik.....	45
3. Ergebnisse.....	46
3.1 Klimadatenauswertung unter Berücksichtigung der Bestands- unterschiede.....	47
3.2 Darstellung der Boniturergebnisse (Krankheiten, Seneszenz) nach erfolgreicher variabler Applikation 2014-2016.....	51
3.3 Darstellung der Ertragsergebnisse nach erfolgreicher variabler Applikation 2015-2016.....	67
4. Diskussion und Schlussfolgerung.....	69

5. Zusammenfassung.....	74
6. Summary.....	76
Literaturverzeichnis.....	77
Anhang.....	84

Abkürzungsverzeichnis

BM	-	Biomasse
DG	-	Deckungsgrad
DTR	-	Drechslera tritici repentis
dt/ha	-	Dezitonne/Hektar
DWD	-	Deutscher Wetterdienst
FLAT	-	Flatrate (einheitlich)
kg	-	Kilogramm
km/h	-	Kilometer/Stunde
l/ha	-	Liter/Hektar
LAI	-	Leaf Area Index (Blattflächenindex)
LF	-	Luftfeuchte
LFmean	-	mittlere Luftfeuchte
m	-	Meter
m ²	-	Quadratmeter
mm	-	Millimeter
N	-	Stickstoff
NDVI	-	Normalisierter Differenzierter Vegetationsindex
nm	-	Nanometer
PAR	-	Photosynthetically active radiation (Photosynthetisch aktive Strahlung)
R ²	-	Bestimmtheitsmaß
RMSE	-	Root Mean Square Error
Tmax	-	Maximumtemperatur
Tmin	-	Minimumtemperatur

- T_{quer} - Durchschnittstemperatur
- VRA - Variable rate application

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der Fruchtfolge Schlag Seefeld.....	10
Tabelle 2: Geokoordinaten, Boniturdaten und EC-Stadien an den vier untersuchten Standorten 2013.....	20
Tabelle 3: Darstellung des kamerabasierten DG und der Pflanzenparameter 2013 (min. /max.)	21
Tabelle 4: Darstellung der Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen LAI und BM 2013; *Signifikanz $p \leq 0.05$	23
Tabelle 5: Darstellung der Parameter des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG und LAI (x-Variable) 2013; * Signifikanz $p \leq 0.05$	26
Tabelle 6: Darstellung der Parameter des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG und BM (x-Variable) 2013; * Signifikanz $p \leq 0.05$	28
Tabelle 7: Felder, Sorten, Bonitur und EC-Stadium in vier Winterweizenfeldern 2014.....	30
Tabelle 8: Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen DG und BM 2014; * Signifikanz $p \leq 0.05$	32
Tabelle 9: Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen DG und LAI 2014; * Signifikanz $p \leq 0.05$	33
Tabelle 10: Einstufung Winterweizensorten durch das BSA – Versuche 2014 – 2016.....	34
Tabelle 11: Darstellung der mittleren Differenz der Befallsstärke und Seneszenz mittels Wilcoxon Rangsummentest (N=10)	65
Tabelle 12: Mittlere Ertragsdifferenz der kamerabasierten und einheitlichen Applikationsvariante, *Signifikanz $p \leq 0.05$	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Agrarstrukturelle Entwicklung in Deutschland seit 1950.....	1
Abbildung 2: Weizenerträge in dt/ha im internationalen Vergleich.....	2
Abbildung 3: Darstellung der Temperaturanomalie April-Juli in Deutschland.....	3
Abbildung 4: Regenradar RADOLAN-DWD zeigt kleinräumige Niederschlagsunterschiede.....	4
Abbildung 5: Elbauen bei Wittenberg.....	8
Abbildung 6: CROP-Meter Pendelsensor (Entwicklung ATB 2004).....	9
Abbildung 7: Darstellung der Klimadatenmessungen 2014 an verschiedenen Messpunkten.....	11/12
Abbildung 8: Darstellung der LAI – Messungen zu unterschiedlichen Terminen für die Klassifizierung der Bestandsdichte 2005.....	13
Abbildung 9: Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandsdichten.....	14
Abbildung 10: Multispektralkamera MS2100 mit Traktormontage.....	15
Abbildung 11: Kameraaufnahme eines Pflanzenbestandes in unterschiedlichen Wellenlängen mit Berechnung des NDVI und Binärbildes (Darstellung nach Garz, ATB 2013)	16
Abbildung 12: Darstellung unterschiedlicher Wellenlängenbereiche und des daraus entwickelten Binärbildes.....	17
Abbildung 13: Sun Scan Messgerät für den LAI.....	22
Abbildung 14: Sun Scan Hauptkomponenten und deren Verbindungen.....	19
Abbildung 15: Darstellung der linearen Beziehung zwischen BM (y-Variable) und LAI (x-Variable), Beispiel Rackith 2-2013.....	20
Abbildung 16: Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und LAI (x-Variable) 2013, Beispiel Dabrun 2.....	24/25
Abbildung 17: Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und BM (x-Variable) 2013, Beispiel Dabrun 2.....	27

Abbildung 18: Aufnahme Getreidebestand mit dem Fisheye Objektiv.....	28
Abbildung 19: Aufnahme Getreidebestand mit aspherical Sigma Objektiv.....	29
Abbildung 20: Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamera- basierten DG (y-Variable) und der BM (x-Variable) 2014, Beispiel Dabrun 2.....	31
Abbildung 21: Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamera- basierten DG (y-Variable) und dem LAI (x-Variable) 2014, Beispiel Dabrun 2.....	32/33
Abbildung 22: Kamerabasierte Fungizidapplikation (variabel) in den Feldversuchen.....	36
Abbildung 23: Detektion des DG „Seefeld“ 2014.....	37
Abbildung 24: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamerabasierten DG Versuch 2014 Schlag „Seefeld“ bei Dabrun.....	38
Abbildung 25: As applied Karte der variablen Applikation.....	38
Abbildung 26: Ertragseffekte einzelner Pflanzenorgane – eigene Darstellung nach BASF 2016.....	39
Abbildung 27: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamerabasierten DG Versuche 2015, Dabrun.....	40/41
Abbildung 28: Variable Applikation – Sorte „Linus“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha] Versuch 2015-1, Dabrun.....	41
Abbildung 29: Variable Applikation – Sorte „JB Asano“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha] Versuch 2015-2, Dabrun.....	42
Abbildung 30: Variable Applikation – Sorte „Patras“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha] Versuch 2015-3, Dabrun.....	42
Abbildung 31: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamerabasierten DG Versuch 2016, Dabrun.....	43
Abbildung 32: Variable Applikation – Sorte „KWS Montana“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha] Versuch 2016, Dabrun.....	44

Abbildung 33: Darstellung Wetterparametervergleich innerhalb von 17 Jahren im Versuchsfeld „Seefeld“ bei Dabrun.....	47
Abbildung 34: Darstellung der Befallsmuster von Krankheiten in einem Pflanzenbestand.....	48
Abbildung 35: Darstellung der Befallsstärke anhand der LAI Klassifizierung 2004, Dabrun.....	49
Abbildung 36: Darstellung der Befallsstärke anhand der LAI Klassifizierung 2014, Dabrun.....	50
Abbildung 37: expert.Grafik 2014.....	51
Abbildung 38: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des Fahnensblattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen <i>Zymoseptoria tritici</i> und <i>Puccinia striiformis</i>), Dabrun.....	52/53
Abbildung 39: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des 2. Blattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen <i>Zymoseptoria tritici</i> und <i>Puccinia striiformis</i>), Dabrun.....	54
Abbildung 40: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des dritten Blattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen <i>Zymoseptoria tritici</i> und <i>Puccinia striiformis</i>), Dabrun.....	55
Abbildung 41: Verbreitung von <i>Zymoseptoria tritici</i> im Bestand.....	56
Abbildung 42: expert.Grafik 2015.....	57
Abbildung 43: linearer Zusammenhang zwischen Applikationsmenge und kamera-basiertem DG 2015.....	58
Abbildung 44: Seneszenzbonitur Versuch 2015/1 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante.....	59
Abbildung 45: Seneszenzbonitur Versuch 2015/2 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante.....	60
Abbildung 46: Seneszenzbonitur Versuch 2015/3 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante.....	61

Abbildung 47: Darstellung seneszenten Blattfläche [%] der verschiedenen Blattetagen in der unbehandelten Kontrolle in unterschiedlichen LAI-Bereichen zu vier Terminen 2015.....	62
Abbildung 48: expert.Grafik 2016.....	63
Abbildung 49: Darstellung der Infektionsbedingungen 2016.....	63
Abbildung 50: Darstellung der Befallsstärke [%] der verschiedenen Blattetagen in der unbehandelten Kontrolle in unterschiedlichen LAI-Bereichen zu zwei Terminen 2016.....	64
Abbildung 51: Darstellung der Ertragsdifferenz zwischen kamerabasierter und einheit- licher Variante in drei Versuchen 2015 und einem Versuch 2016.....	67
Abbildung 52: Auftreten von Resistenzen der <i>Zymoseptoria</i> -Blattdürre gegenüber unterschiedlichen Gruppen fungizider Wirkstoffe im Zeitverlauf.....	71

Vorwort

Die hier dargestellten Feldversuche wurden als ein Teil des Verbundprojektes „Fungi Precise“ durchgeführt. Ein großer Dank gilt an dieser Stelle der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2814704511) für die Finanzierung dieses Projektes.

Ebenso gilt mein Dank den beiden Agrarbetrieben „Landwirtschaftliche Produktivgenossenschaft Dabrun e.G.“ und der „Agrargenossenschaft Rackith e.G.“ für die Bereitstellung der Ackerfläche und deren Assistenz während der Applikationsversuche.

Zudem möchte ich Frau Prof. Dr. Christa Volkmar für ihre Betreuung und als Gutachterin danken.

Ein weiterer großer Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Technik im Pflanzenbau am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie in Potsdam-Bornim. Hier besonders Herrn Dr. agr. habil. Karl-Heinz Dammer als Betreuer, Gutachter und fachlichem Ansprechpartner sowie Frau Agraring. Antje Giebel für die statistische Betreuung während der Versuchsjahre.

Ebenso gilt mein Dank meiner Familie, die mich durch die Höhen und Tiefen begleitet hat und mit Rat und Tat zur Seite stand, meinen Schwestern für ihre Hilfe beim Korrekturlesen - an alle, die mir immer wieder Mut und Zuversicht zugesprochen haben.

1. Einleitung

Die Landwirtschaft unterliegt, genau wie andere Bereiche, einem ständigen Wandel. Dabei hat sich die Landwirtschaft in den letzten 50 Jahren grundlegend verändert (Internetquelle Nr. 1). Nach einer Zeit mit weit überwiegend händischer Arbeit, was viele Menschen benötigt hat, ging der Trend immer mehr in Richtung Modernisierung und Technisierung. Arbeitsprozesse wurden mit maschineller Hilfe deutlich vereinfacht, beschleunigt und präzisiert. So war ein Landwirt in der Lage mehr Fläche in gleicher Zeit zu bewirtschaften und viel mehr Leute zu ernähren. Um 1950 konnte ein Landwirt etwa 17 Personen ernähren und heutzutage rein rechnerisch zehnmal so viel (siehe Abb. 1). Die Prognosen zeigen, dass dieser Prozess in den kommenden Jahren noch ansteigen wird und dabei immer weniger Menschen in der Landwirtschaft arbeiten werden. Zudem zeigt die Prognose, dass es immer weniger Unternehmen geben wird, wobei jeder mehr Fläche bewirtschaften wird.

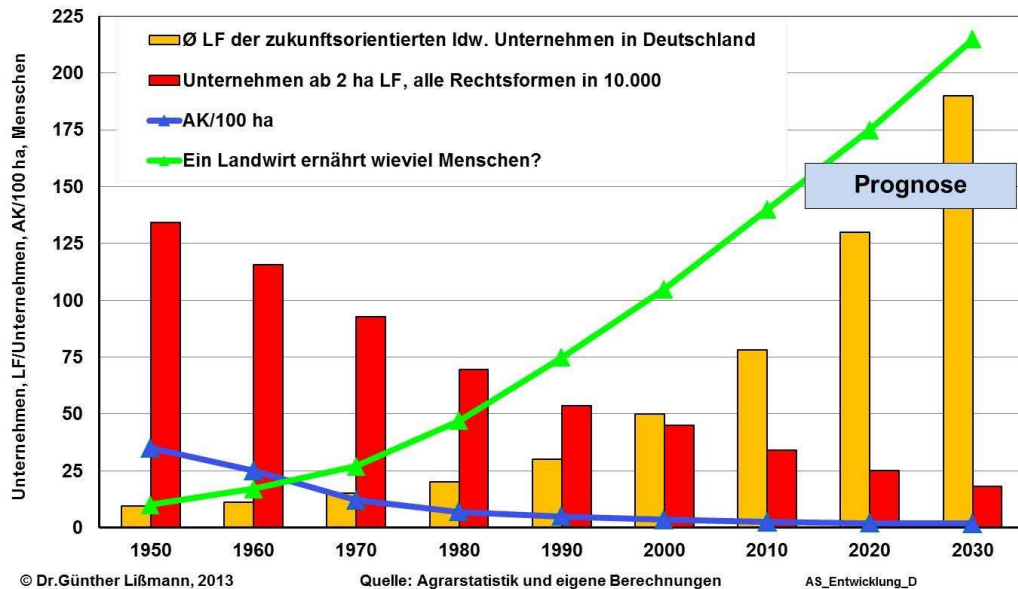


Abbildung 1: Agrarstrukturelle Entwicklung in Deutschland seit 1950 (Internetquelle Nr. 1)

Grund hierfür sind immer wieder neue Entwicklungen in den verschiedenen Bereichen der Landwirtschaft, wie Technik, Pflanzenbau und auch dem Pflanzenschutz.

Weizen ist in Deutschland die wichtigste Ackerkultur und weltweit auf Rang zwei (Internetquelle Nr. 2). Die Erträge konnten in den letzten 100 Jahren in Deutschland auch aufgrund der Sortenzüchtungen gesteigert werden. Das zeigt sich auch im internationalen Vergleich der Weizenerträge (siehe Abb. 2).

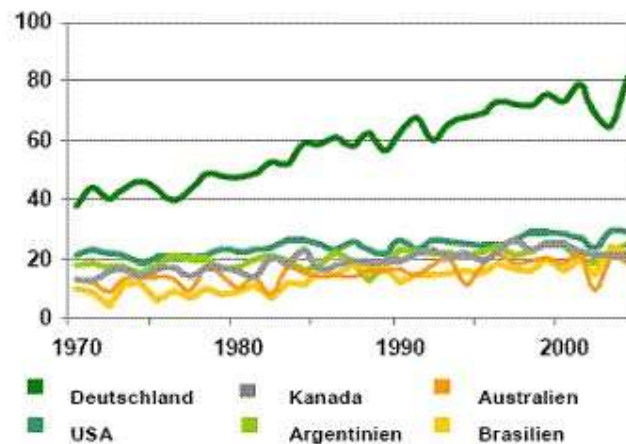


Abbildung 2: Weizenerträge in dt/ha im internationalen Vergleich (Internetquelle Nr. 3)

Damit kommt dem Weizen eine große Bedeutung bei der Ernährungssicherung zu und bedarf einer guten saisonalen Betreuung sowie besonderem Schutz gegen Krankheiten und Insekten. Ein optimaler Schutz der Kultur bis zur Ernte muss mit Hilfe von chemischen und technischen Weiterentwicklungen gewährleistet werden.

Dabei kann das Auftreten der Krankheiten sowie der Ertrag stark durch die Witterung beeinflusst werden.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der zunehmende Druck auf die Landwirtschaft aus den verschiedenen Bereichen wie Politik, Sozialem, Pflanzenbau und unvorhersehbare Wetterextreme stellt den Ackerbau und damit auch den Weizenanbau vor immer neue Herausforderungen. Entscheidungen und Erfolge von Landwirten werden in der Saison stark durch das Wetter beeinflusst. Das wird bereits bei der Aussaat, bei Pflanzenschutzmaßnahmen und letztlich im Ernteergebnis ersichtlich. Jedoch zeigt sich in den letzten Jahren ein immer stärkerer Trend zu extremeren Wetteranomalien (siehe Abb. 3). Das hat sich gerade in diesem Jahr 2018 deutlich gezeigt.

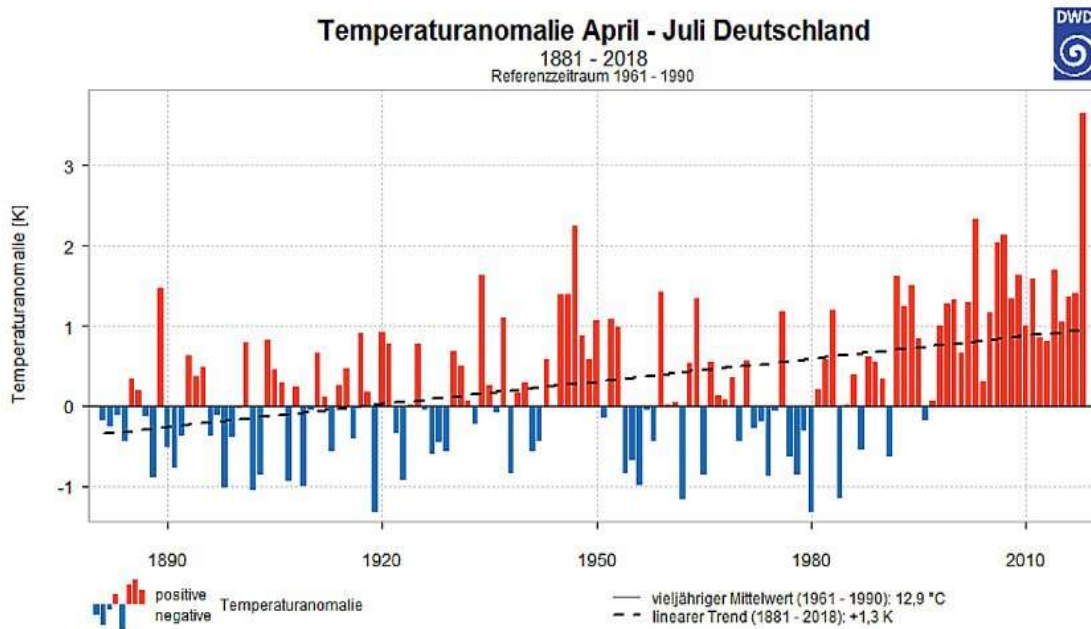


Abbildung 3: Darstellung der Temperaturanomalie April-Juli in Deutschland (Internetquelle Nr. 4)

„Höhere Temperaturen, längere Trockenphasen und mehr Wetterextreme wie Stürme und Starkregen [letztlich] der Klimawandel“ (Internetquelle Nr. 5) bringen immer neue Probleme mit sich. Durch Trockenstress und Wassermangel während der Kornfüllung werden Schmachtkörner gebildet und das Ertragspotential eines Schlages kann so nicht mehr erzielt werden. Die Witterung hat in der Landwirtschaft den stärksten Einfluss auf den Pflanzenbau. Sie ist nicht veränderbar und bereits kleinräumige Niederschläge (siehe Abb. 4) können dabei eine hohe Relevanz für das Pflanzenwachstum oder die Krankheitsentwicklung haben.

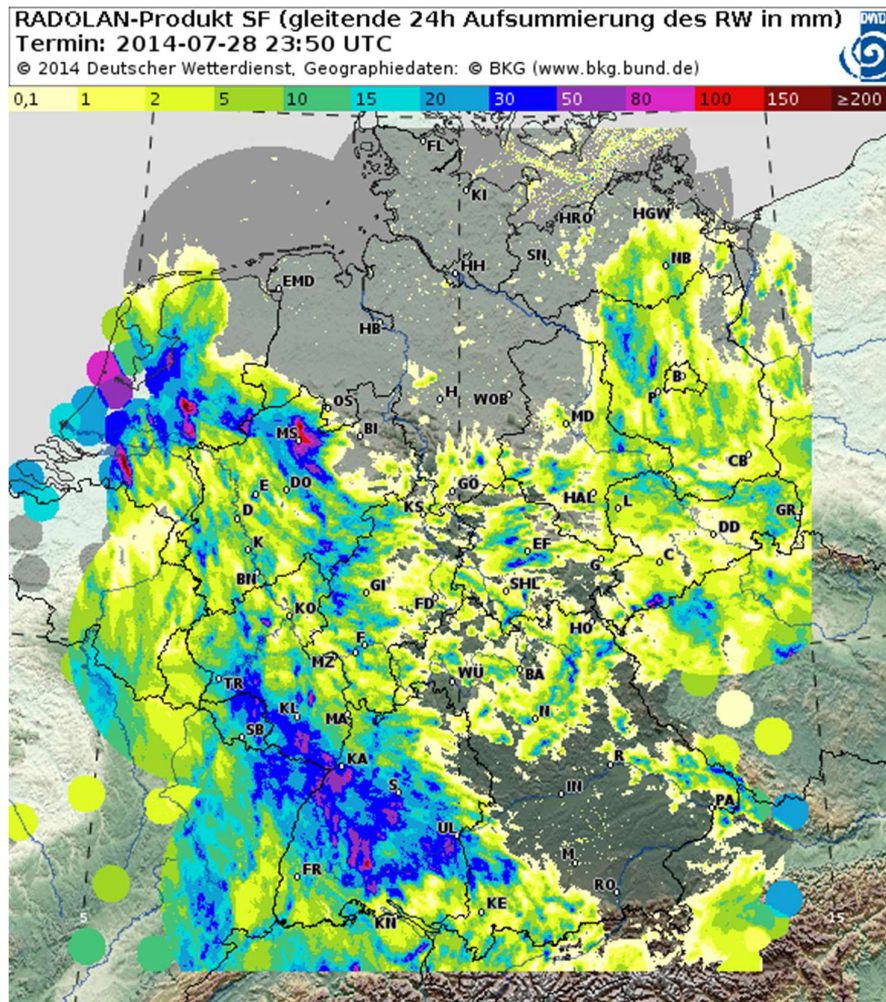


Abbildung 4: Regenradar RADOLAN-DWD zeigt kleinräumige Niederschlagsunterschiede

Neben der Witterung spielen auch andere Herausforderungen im Ackerbau eine immer wichtigere Rolle. Mit Hilfe der Sortenzüchtung können Sorten insgesamt ein gewisses Ertragspotential erreichen und sind für bestimmte Krankheiten weniger anfällig. So kann ein Landwirt in seiner Region am besten entscheiden, welche Sorten zum jeweiligen Standort passen. Zukünftig werden stresstolerante Sorten immer mehr an Bedeutung gewinnen, um noch besser auf Witterungseinflüsse und Krankheiten zu reagieren. Dabei wird mit der aktuellen „Entscheidung des EuGHs über die zukünftigen Züchtungstechniken eine große Chance vertan“ (Internetquelle Nr. 6) und hat damit einen großen Negativ-Einfluss auf das Vorankommen der Sortenzüchtung in Richtung Toleranzen.

Aus politischer Sicht sollten die Pflanzenschutzanwendungen auf ein notwendiges Maß reduziert werden, um die „Risiken, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entstehen können“ (Internetquelle Nr. 7), zu minimieren. Das zeigen unter anderem die deutschen und französischen Zielvorgaben des Nationalen Aktionsplans. Es geht um eine Reduzierung von Gebrauch, Risiken und Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln soll in Frankreich bis 2025 um 50 % und in Deutschland bis 2023 um 30 % verringert werden (Internetquelle Nr. 7). Insgesamt soll sich die Sicherheit im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln verbessern, sodass neue Pflanzenschutzverfahren anerkannt und weiterentwickelt werden. Das dient zum einen dem Schutz von Mensch, Umwelt und Natur, soll aber auch verhindern, dass unnötige Applikationen erfolgen und so Resistenzbildung durch Shifting vermieden werden. Um das zu erreichen, ist die Entwicklung von unterschiedlichen neuen Techniken gerade im Pflanzenschutzbereich (variable Applikationen) und die Nutzung von Tools wie Prognosesystemen sinnvoll.

Mit der Nutzung neuer Techniken und Tools wie Applikationstechniken (Pflanzenschutzspritze und Düsen), Terminals, Sensoren und Expertensysteme kann die landwirtschaftliche Produktion deutlich präziser, effizienter, schneller und nachhaltiger gestaltet werden. Mit Hilfe von Sensoren könnten Landwirte weitere Informationen zu ihrem Schlag bekommen (SCHWARZ ET AL. 2004), um diesen noch besser zu verstehen.

Es gibt mittlerweile eine Vielzahl von Düsentypen, die eine Abdriftminderung von 50 % - 90 % erzielen (Internetquelle Nr. 8) und damit zum Schutz von empfindlichen Habitaten beitragen können. Mit Hilfe von verschiedenen Spritzen können Pflanzenschutzmittel beispielsweise schon variabel ausgebracht werden. Dies kann und wird derzeit auf den verschiedensten Terminals visualisiert und mit Hilfe von einem ISOBUS Anschluss als Befehl an die Spritze weitergeleitet.

Mit Hilfe von Sensoren können bestimmte Parameter wie Pflanzenbedeckungsgrad noch präziser determiniert werden, um beispielsweise eine Düngung oder Applikationen durchzuführen. Eine variable Düngung ist bereits durch die Verfügbarkeit von Sensorik wie dem Yara N-Sensor (LINK-DOLEZAL ET AL., 2012 & RECKLEBEN 2010) möglich und findet bereits Anwendung. Zudem applizieren einige Landwirte bereits jetzt Wachstumsregler variabel. So können aufgrund „besserer Verteilung der Wirkstoffe [...] rund 5 bis 10 % der Mittelmenge ein[gespart] werden“ (Internetquelle Nr. 9). Mit dieser variablen Applikation werden Mehrerträge von 2 bis 5 % erzielt (Internetquelle Nr. 9). Für eine variable Applikation durch den Sensor werden derzeit Parameter wie BM, NDVI oder N-Aufnahme herangezogen.

Aktuell spielt auch die variable Ausbringung von Fungiziden eine zunehmend größere Rolle, ist aber nach wie vor noch nicht die gängige Praxis. Das liegt zunächst an den technischen Voraussetzungen in einem Betrieb. Terminal und Spritze müssen die variablen Befehle erhalten, verarbeiten und umsetzen können. Dafür kann eine Modernisierung der Spritze notwendig werden, was Investitionen bedarf. Zudem müssen die Landwirte Zugriff auf ein System (Prognosesystem) oder Sensoren haben, mit denen die variable Applikation ermöglicht wird. Dann gibt es noch die großen Bedenken hinsichtlich der guten Wirksamkeit von Fungiziden bei variabler Ausbringung, mit der Sorge um die Resistenzbildung. Diese hier dargestellten Fälle führen dazu, dass Fungizidmaßnahme noch immer einheitlich über das gesamte Feld appliziert werden. Und das ohne Berücksichtigung von Bodenunterschieden, Bestandsunterschieden und Krankheitsauftreten, denn diese können in unterschiedlichen Bereichen auftreten (MOSHOU ET AL., 2006).

Aufgrund von Bodenunterschieden, Wasserverfügbarkeit, Nährstoffversorgung oder Saatstärken kann der Bestand eines Feldes sehr heterogen sein, was sich letztlich in unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der BM, des Krankheitsauftretens und des Ertrages widerspiegelt. „Krankheitsbefall beginnt oft in einzelnen Befallsnestern, da die Pathogene an einzelnen Foci im Bestand überwintern oder zufallsbedingt durch den Wind eingetragen werden, bzw. weil das Mikroklima im Bestand heterogen ist und einen Befall nur in einigen Bereichen ermöglicht“ (STEINER ET AL., 2008). Aus diesem Grund kann die Verteilung einer Krankheit im Feld sehr verschieden sein. So konnte in Versuchen von KOCH 1980, BJERRE ET AL. 1998 und SECHER ET AL. 1995 im Weizen ein höherer Befall von Echtem Mehltau aufgrund höherer Feuchtigkeit in Randbereichen festgestellt werden. Laut BØDKER ET AL. 1994 kann Mehltau aber auch in dichten Beständen aufgrund guter N-Versorgung vorkommen. Mehltau ist in der früheren Saison auf die unteren Blätter begrenzt und in der späteren Saison geht Mehltau auf die oberen Blätter über (ROUSE ET AL. 1981).

Bei *Zymoseptoria tritici* haben verschiedene Studien von JORGENSON 1997, BJERRE ET AL. 1998 und OLESEN ET AL. 2000a gezeigt, dass das Auftreten sehr unterschiedlich sein kann. Der Infektionsdruck von *Zymoseptoria tritici* ist in dünnen Beständen höher. Jedoch haben Studien von BROSCIOUS ET AL. 1985 und TOMPKINS ET AL. 1992 auch das Gegenteil des *Zymoseptoria tritici* Aufkommens gezeigt. Zudem hat das Mikroklima im Bestand eine große Bedeutung für die Entwicklung und Ausbreitung von Pilzen, wobei dichtere Bestände förderlicher für bestimmte Erreger sein können als dünnere Bereiche.

Mit einer variablen Applikation von Fungiziden liegen Vorteile wie weniger Verluste von Fungiziden auf der Erdoberfläche, Reduktion von Fungiziden und ein generell einheitlicherer Ertrag klar auf der Hand (OLESEN ET AL. 2008).

In dieser Arbeit sollen neben Analysen zu klimatischen Unterschieden innerhalb eines Bestandes und den damit verbundenen Infektionsbedingungen vor allem die Möglichkeiten beleuchtet werden, Unterschiede im Feld zu detektieren und daran angepasst, neuartige Fungizidapplikationen durchzuführen. Damit sollen Verbesserungen oder Lösungsansätze für die aufgeführten Herausforderungen (wie z.B. aus der Politik) in der zukünftigen Landwirtschaft angeboten werden.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist im Folgenden in vier aufeinander aufbauende Abschnitte gegliedert.

Im zweiten Kapitel werden nach der Beschreibung des Versuchsstandortes, mit seinen sehr heterogen geprägten Flächen, die mehrjährigen Klimadatenauswertungen dargestellt. Diese wurden hier an verschiedenen Messpunkten aufgenommen und anhand von LAI und Krankheitsdruck in Bezug auf die unterschiedlichen Biomassen beleuchtet. Auf diesen heterogenen Weizenflächen wurden mehrjährig, teilflächenspezifische Applikationsversuche durchgeführt. Die dafür notwendigen Grundlagenforschungen zum Zusammenhang des kamerabasierten DG und der Pflanzenparameter (BM, LAI) wurden in den Jahren 2013 und 2014 durchgeführt. Für die Ermittlung des DG wurde die Multispektralkamera verwendet. Der Pflanzenparameter LAI wurde mit dem Sun Scan und die BM durch Einwaage ermittelt. Die daraus entwickelte lineare Applikationslogik wurde genutzt, um die variable Fungizidapplikation durchzuführen.

Das dritte Kapitel stellt die Ergebnisse dar. Zunächst wurden anhand von Biomasseunterschieden die Wetterdatenauswertung beschrieben und Unterschiede detektiert. Die hier dargestellten Unterschiede wurden dann auf den Zusammenhang mit den bonitierten Krankheiten untersucht, um so einen Aufschluss über die Verteilung von Krankheiten im Bestand zu bekommen. Die ermittelte Applikationslogik wurde dann mehrjährig in Versuchen eingesetzt und bewertet. Es wurden statistische Untersuchungen, bezüglich der derzeit praxisüblichen einheitlichen versus der variablen Fungizidapplikation im Hinblick auf Infektionsdruck und Ertrag, durchgeführt.

Das vierte Kapitel bildet die Bewertung der Ergebnisse. Hier wird vor allem auf die aus den Ergebnissen ermittelten Erkenntnisse eine Schlussfolgerung für den großen Nutzen des Feldverständnisses, die Infektionsbedingungen im Bestand, Unterstützung mit Prognosesystem und vor allem der enorme Wert der variablen Applikation in heterogenen Beständen, gezogen.

Abschließend wird die Arbeit im fünften Kapitel zusammengefasst.

2. Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung der Versuchsfelder bei Wittenberg

Die mehrjährigen Messungen der Klimadaten und die Fungizidversuche wurden in der Nähe von Wittenberg in Sachsen-Anhalt durchgeführt. Die Flächen wurden während der gesamten Versuchsserie durch die „Landwirtschaftliche Produktivgenossenschaft Dabrun e.G.“ und die „Agrargenossenschaft Rackith e.G.“ bewirtschaftet. Die Versuchsfelder liegen in den Elbauen, haben eine Ackerzahl von 60 und sind besonders in der Bodenstruktur variabel, geprägt durch die Eiszeiten. Da der größte Effekt hinsichtlich einer variablen Applikation auf sehr heterogenen Böden erzielt wird, boten sich diese Flächen in besonderem Maße als Versuchsfelder an.



Abbildung 5: Elbauen bei Wittenberg

Zudem hat dieser Schlag einen hohen Getreideanteil in der Fruchtfolge, weshalb ein hoher Krankheitsdruck (auch aufgrund der konservierenden Bodenbearbeitung) und damit auch mögliche Ertragseinbußen zu erwarten wären. Die Bodenunterschiede variieren hier bereits in einem sehr kleinen Umkreis (siehe Abb. 5). Dabei zeigen sandigere Bereiche, sogenannte Sandlinsen, einen deutlich schwächeren Wuchs. Diese dünnen, meist auf Sandkuppen gelegenen Feldbereiche zeichnen sich aufgrund der geringeren Wasserhaltefähigkeit und dem

Bodentyp durch eine deutlich schnellere Abreife des Bestandes gerade in sehr trockenen Sommern aus. Gerade in trockenen Jahren reifen diese Bereiche bis zu einem Monat eher ab (TACKENBERG ET AL. 2017) und können hier auch zu deutlichen Ertragsunterschieden führen.

Die Bodenunterschiede der Elbauen wurden zum Anlass genommen, um Versuche im Winterweizen mit variabler Fungizidapplikation sensorbasiert zu testen. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB) durchgeführt, welches bereits über langjährige Erfahrungen mit der Entwicklung von Sensoren zur variablen Anpassung der Applikationsmenge verfügt. Das ATB hat beispielsweise das CROP-Meter, ein mechanischer Pendel-Sensor (siehe Abb. 6), entwickelt, was die Applikationsmenge anhand von Pflanzenparametern wie BM mittels Widerstand angepasst hat. Hierbei handelt es sich um eine Methode zur indirekten Bestandsmerkmalbestimmung der Bestandesdichte. Krankheiten können hiermit nicht detektiert werden.



Abbildung 6: CROP-Meter Pendelsensor (Entwicklung ATB 2004)

Durch die Nutzung dieses Sensors ergeben sich die folgenden Potentiale (nach: MÜLLER-ELEKTRONIK GmbH (2004)):

- Wirtschaftlich: Optimierung der Bestandsführung (Einsparungen)
- Management: Qualifizierung pflanzenbaulicher Entscheidungen und deren Auswirkungen
- Umwelt: Erhöhung der Nachhaltigkeit durch einen verringerten oder besser angepassten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln

2.2 Langjährige Klimadatendatenmessungen am Standort bei Wittenberg (Schlag Seefeld)

Um das Auftreten von Krankheiten zu bestimmen, sind neben den bereits beschriebenen technischen Methoden wie Pendelsensor oder die hier im Versuch verwendete Multispektralkamera auch befallsrelevante Klimadaten ein wichtiger Indikator für das Auftreten von Krankheiten im Bestand.

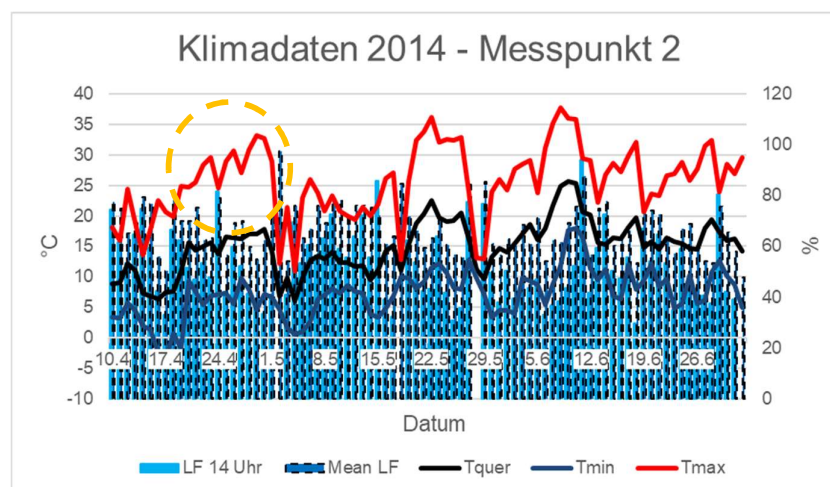
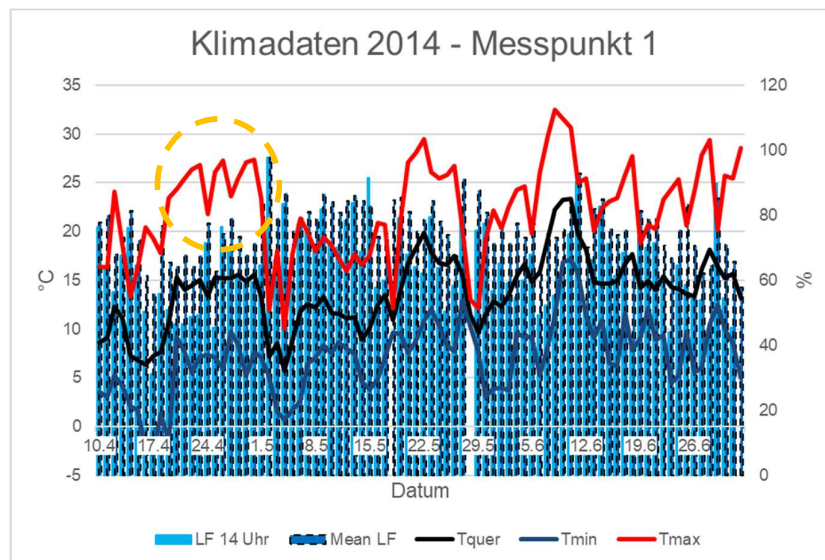
Im Versuchsfeld Seefeld wurden in unterschiedlichen Bestandsbereichen (geringe, mittlere, hohe BM) Klimasensoren aufgestellt, die seit 2001 Daten zur Temperatur und Luftfeuchte gemessen haben. Von Interesse wäre hier noch die Aufnahme der Niederschläge, die einen großen Einfluss auf das Krankheitsvorkommen haben. Bereits kleinräumige Unterschiede können zu unterschiedlichen Infektionsbedingungen führen. Jedoch wurde dieser Parameter bei den Messungen nicht erhoben. Die Sensoren haben alle 15 Minuten Werte aufgezeichnet, die dann zu Tageswerten zusammengefasst wurden. Die erfassten Daten sind aufgrund der Fruchtfolge nicht immer im Weizen aufgenommen worden (siehe Tab. 1).

Tabelle 1: Darstellung der Fruchtfolge Schlag Seefeld

Jahr	Standort im Versuch	Fruchtart
2001	Nordteil	Winterweizen
2002	Nordteil	Winterweizen
2003	Südteil	Winterweizen
2004	Südteil	Winterweizen
2005	Südteil	Wintergerste
2006	Südteil	Winterraps
2007	Südteil	Winterweizen
2008	Südteil	Winterweizen
2009	Südteil	Winterraps
2010	Südteil	Winterweizen
2011	Südteil	Winterweizen
2012	Südteil	Wintergerste
2013	Südteil	Winterraps
2014	Südteil	Winterweizen
2015	Südteil	Winterweizen
2016	Südteil	Winterraps
2017	Südteil	Winterweizen

Zudem wurden Pflanzenparameter wie EC, LAI und auch Krankheiten im Weizen und anderen Kulturen bonitiert. Es soll geprüft werden, wie sich neben möglichen klimatischen Unterschieden an den einzelnen Messpunkten und damit unterschiedlichen Bestandsbereichen, die Krankheitsentwicklung in der Saison gezeigt hat.

Dabei zeigen sich bereits Unterschiede hinsichtlich der aufgenommenen Wetterparameter (Tmax, Tquer, Tmin, LF um 14 Uhr, Mean LF) an den verschiedenen Messpunkten (siehe Abb. 7). Als Beispiel wird hier das Jahr 2014 gezeigt und weitere Darstellungen der anderen Jahre sind im Anhang I einsehbar.



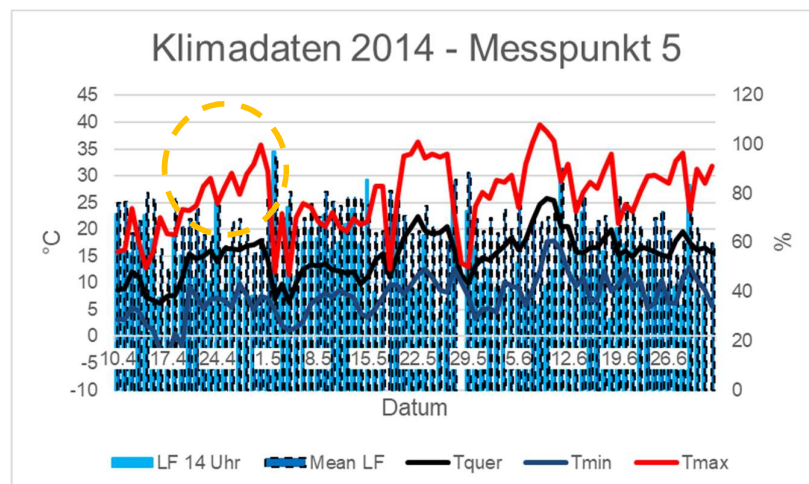
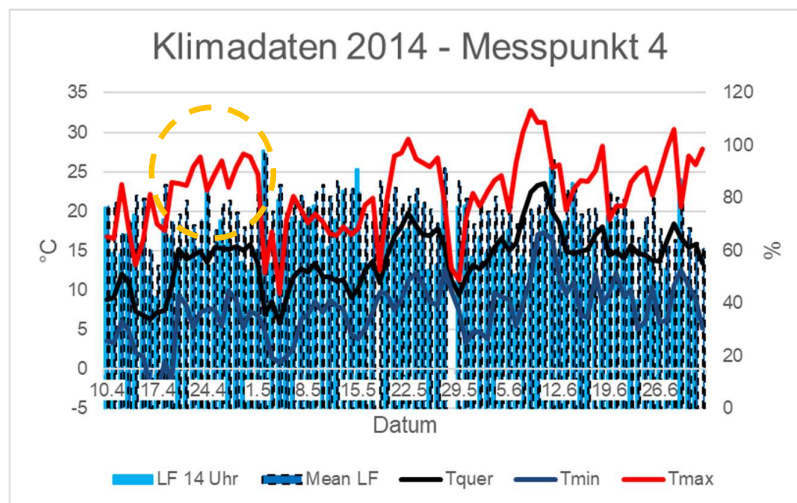
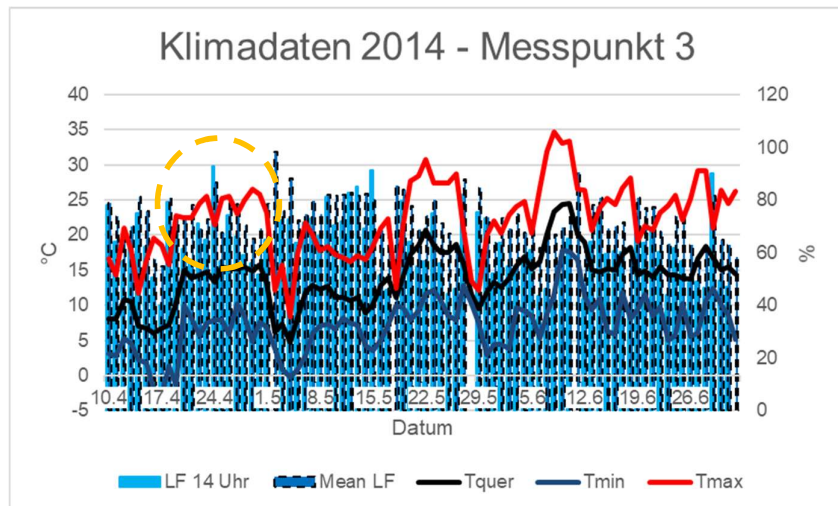


Abbildung 7: Darstellung der Klimadatenmessungen 2014 an verschiedenen Messpunkten

Die Klimadaten der verschiedenen Messpunkte zeigen, dass die Messfühler in unterschiedlichen Bestandsdichten gestanden haben, da die verschiedenen Wetterparameter an allen Messpunkten Unterschiede zeigen (siehe Markierung). Die LF um 14 Uhr und die Mean LF sind, wie in der Abb. 7 sichtbar, vergleichbar und so wird in allen folgenden Beschreibungen nur die LF um 14 Uhr beleuchtet.

Anhand der bestimmten Unterschiede wurde anschließend der detektierte LAI herangezogen und eine Klassifizierung der Bestandsdichte vorgenommen. Hierzu wurde der Verlauf der LAI-Messungen analysiert. Als Beispiel soll hier das Versuchsjahr 2005 gezeigt werden (siehe Abb. 8). Weitere Darstellungen zu den LAI-Entwicklungen sind im Anhang II zu finden.

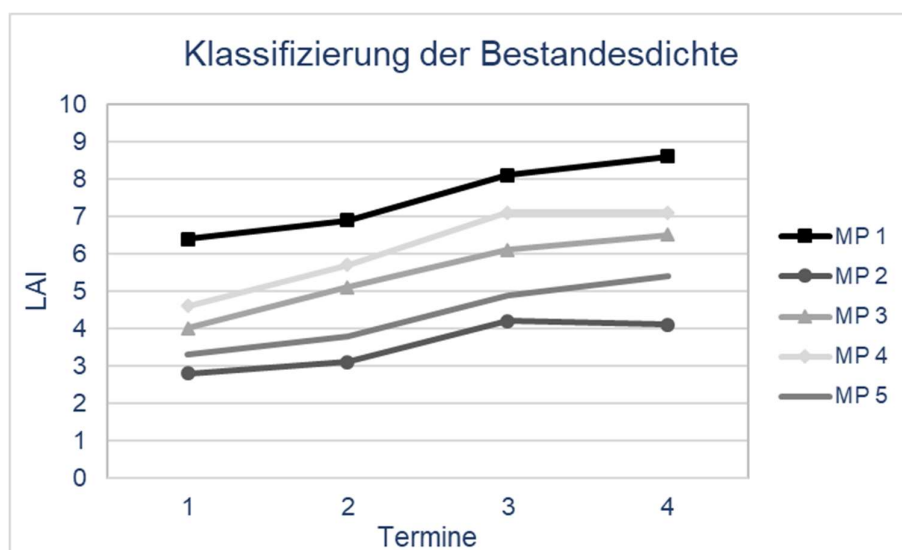


Abbildung 8: Darstellung der LAI-Messungen zu unterschiedlichen Terminen für die Klassifizierung der Bestandsdichte 2005

Wie in der Abb. 8 zu erkennen ist, können die Messpunkte 1 und 4 als hohe, die Messpunkte 3 und 5 als mittlere und der Messpunkt 2 als geringe Bestandsdichte klassifiziert werden.

Da an allen Messpunkten Klimadaten erhoben wurden, können auch Unterschiede zwischen den Wetterparametern Tmax, Tmin, Tquer und LF der verschiedenen Bestandsbereiche ermittelt werden. Abhängig vom Wetterparameter (z.B. bei der LF) und dem Zeitpunkt (z.B. im April) und dem Biomassebereich schwanken die aufgezeichneten Werte an den einzelnen Messpunkten stärker.

Als Beispiel werden aus dem Jahr 2014 die Wetterparameter in den drei BM klassifiziert dargestellt (siehe Abb. 9). Weitere Darstellungen dazu siehe Anhang III.

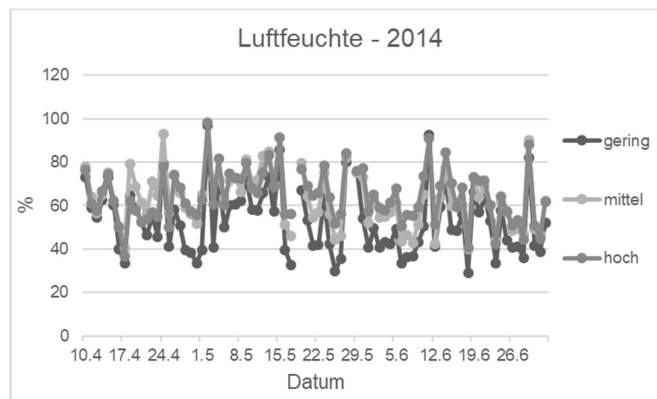
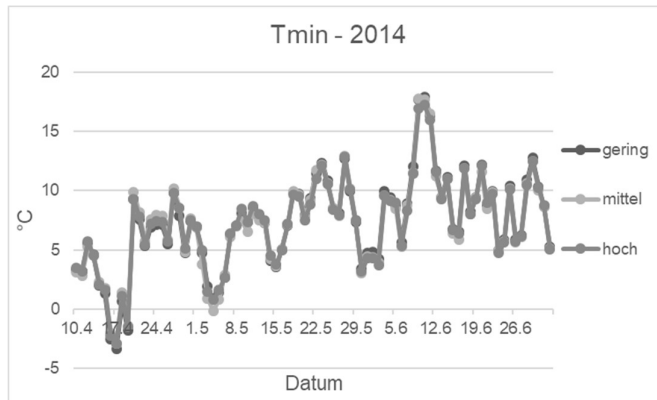
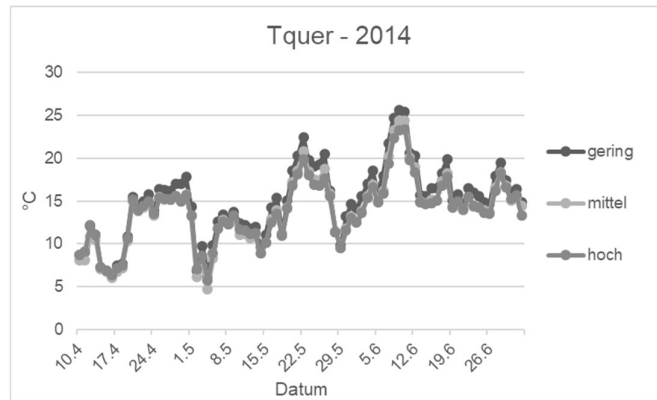
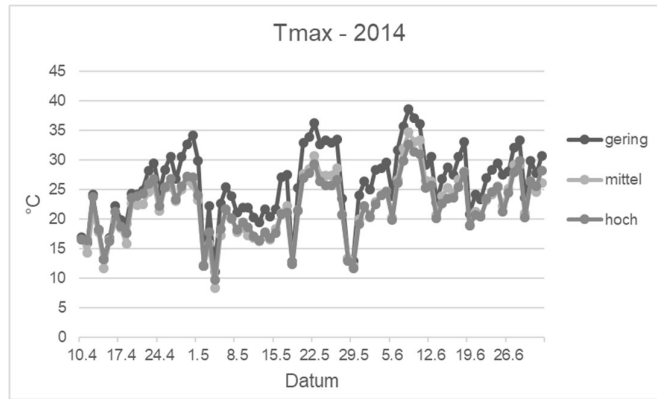


Abbildung 9: Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandsdichten

Zudem sollte mit Hilfe der detektierten klimatischen Unterschiede auch das Krankheitsauftreten in den einzelnen Versuchsjahren untersucht werden.

2.3 Beschreibung des Kamerasensors als Grundlage für die variable Applikation

Der Fokus lag zu Beginn der Applikationsversuche auf der Determinierung eines Zusammenhangs zwischen den beiden Pflanzenparametern, BM und LAI einerseits und dem sensorbasierten DG. Zur Ermittlung des DG im Pflanzenbestand wurde der Kamerasensor im Versuch verwendet. Die Multispektralkamera arbeitet kontaktlos und war in einer Höhe von 2,80 m am Traktor montiert. Der detektierte DG wird aus dem Unterschied grün als Pflanze und braun als Boden oder seneszente Pflanze bestimmt. Auf Basis des DG sollte die Fungizidaufwandsmenge angepasst werden. Die Applikationen wurden mit Hilfe einer 3-Chip-CCD Multispektralkamera (MS 2100) durchgeführt (siehe Abb. 10).



Abbildung 10: Multispektralkamera MS2100 mit Traktormontage

Die Kamera liefert ein zweidimensionales Signal von der aufgenommenen Fläche und nimmt gleichzeitig Bilder in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen für rot, infrarot und grün auf.

Aufgrund des Pathogenbefalls wird sich der Chlorophyllanteil im Blatt reduzieren. Nekrotische oder chlorotische Bereiche werden am besten durch das sichtbare und rote Spektrum (550 nm; 650-720 nm) erfasst (FRANKE ET AL. 2007). Bräunliche Bereiche auf der Blattoberfläche, sei es durch Seneszenz oder andere dunkle Infektionsbereiche werden durch das sichtbare und Nahinfrarote Spektrum (680-800 nm) am besten erfasst (FRANKE ET AL. 2007).

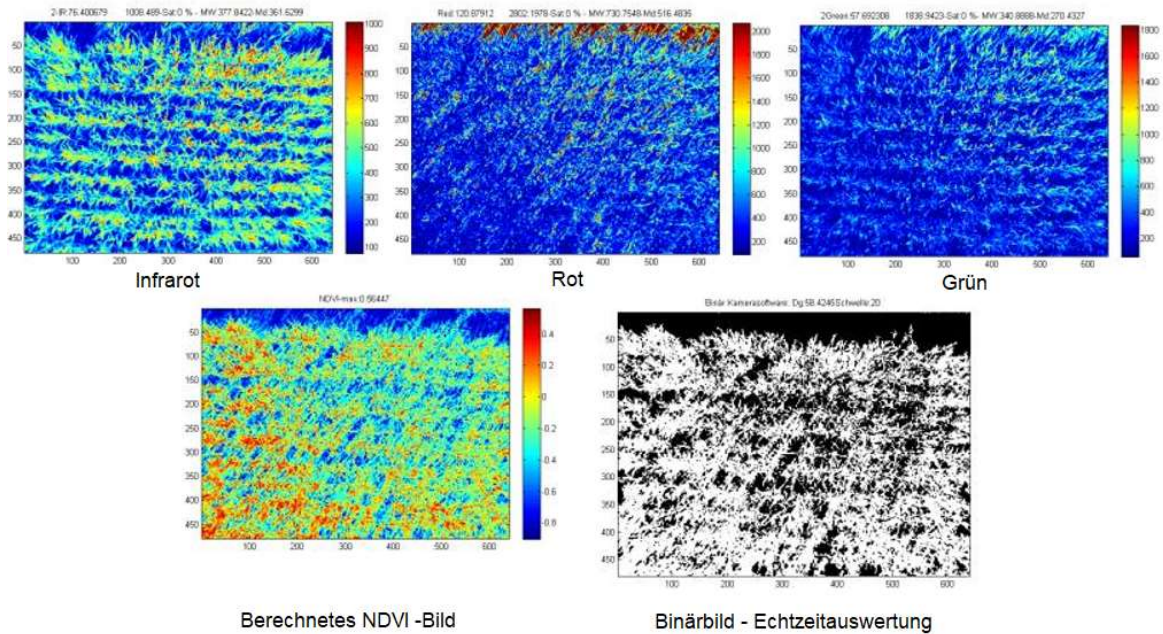


Abbildung 11: Kameraaufnahme eines Pflanzenbestandes in unterschiedlichen Wellenlängen mit Berechnung des NDVI und Binärbildes (Darstellung nach GARZ, ATB 2013)

Im Versuch wurde aus den Rot- R und Infrarot- IR Bildern ein „Graubild“ erzeugt (siehe Abb. 11). Aus diesem Bild kann die Information zum normalisierten differenzierten Vegetationsindex $NDVI = (IR-R) / (IR+R)$ ermittelt werden, was den Grad oder den Wert des vorhandenen Grüns determiniert. Um das Binärbild zu erzeugen wurde ein Schwellenwert bestimmt, um den Hintergrund (Abb. 12) von der grünen Pflanze zu unterscheiden. Alle Pixel, die diesen bestimmten Schwellenwert überstiegen haben, wurden als weiß markiert. Die Anzahl dieser Pixel wurde dann als Prozentwert ermittelt und lässt die Aussage Bedeckungsgrad der Pflanze zu, was hier den Sensorwert repräsentiert.

Im Infrarotbereich erscheinen Pflanzen weiß und im Rotbereich dunkel (siehe Abb. 12). Bereits JACOBI ET AL., 2005 konnten mit Hilfe des NDVI zwischen infizierter und nicht infizierter Pflanze unterscheiden.

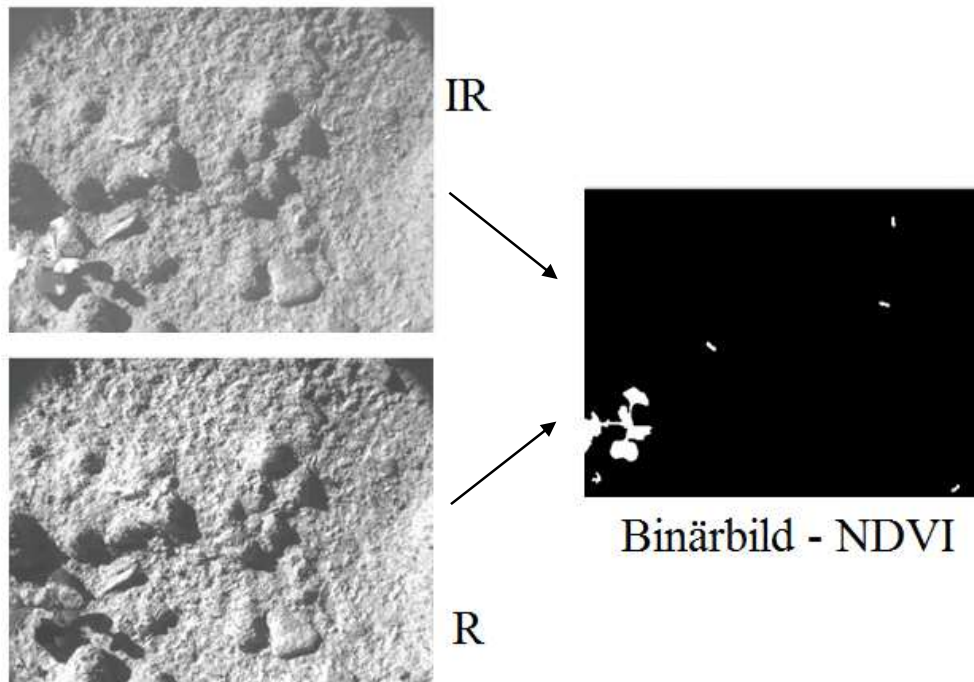


Abbildung 12: Darstellung unterschiedlicher Wellenlängenbereiche und des daraus entwickelten Binärbildes

Der Kamerasensor fand bereits in vorherigen Projekten wie bei der Bestimmung der Pflanzenparameter in Winterraps (DAMMER, 2005), die Fusarium-Erkennung in Winterweizen (DAMMER ET AL., 2011) und die Herbizidapplikation in Wintergerste (DAMMER ET AL., 2012) seine erfolgreiche Anwendung.

2.4 Erfassung von Pflanzenparametern als Grundlage für die Applikationslogik

Die folgenden Pflanzenparameter wurden erstmals im Versuchsjahr 2013 erhoben, um einen Ansatz für die Zusammenhänge zwischen dem kamerabasierten DG und dem jeweiligen Pflanzenparameter LAI/BM zu identifizieren, um damit die Applikationslogik aufzubauen:

- Blattflächenindex (LAI)
- Pflanzenhöhe (m)
- Pflanzendichte (Halme je m²)
- BM (kg)

Diese Parameter wurden in den folgenden Versuchsjahren für Auswertungen weiterhin erhoben.

Der LAI beschreibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche eines Pflanzenbestandes zur überwachsenen Bodenfläche (m²/m²). Die manuelle Bestimmung des LAI ist sehr zeitaufwändig. Aus diesem Grund wurde das optische Messgerät Sun Scan in den Versuchen verwendet.



Abbildung 13: Sun Scan Messgerät für den LAI

„Das Sun Scan-System ermittelt auf Basis der Messung der Photosynthetisch-Aktiven-Strahlung (PAR) Informationen zum LAI und zur BM-Produktion“ (Internetquelle Nr. 10). Dabei wird das einfallende, durchdringende Licht und die PAR innerhalb des Bestandes ermittelt (siehe Abb. 14).

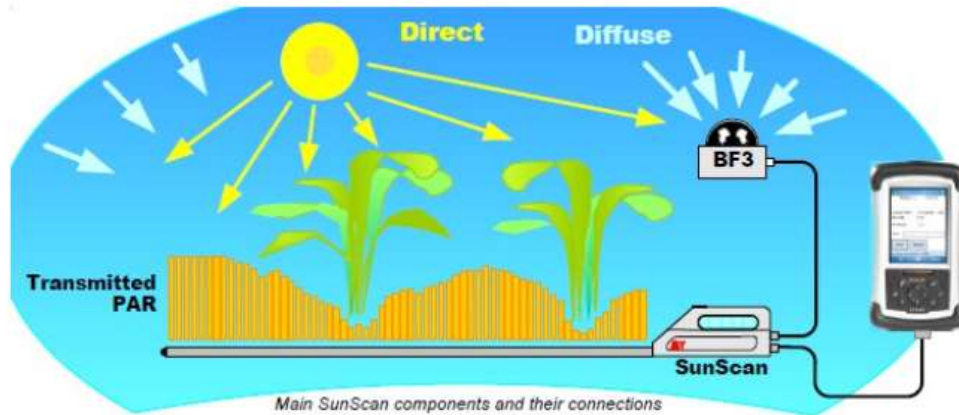


Abbildung 14: Sun Scan Hauptkomponenten und deren Verbindungen
(Internetquelle Nr. 10)

„Der Index ist ein dimensionsloser Parameter, der die Einheit Pflanzenoberfläche zur Bodenoberfläche bestimmt“ (WATSON 1947). Der Referenzsensor (BF5-Sensor) erfasst dabei die einfallende Strahlung über dem Pflanzenbestand. Mit der ein Meter langen Lanze (mit 64 Photodioden besetzt) misst man die einfallende Strahlung, die durch den Bestand am Boden ankommt. Die Messungen wurden in den Versuchen mit zehn Wiederholungen in einem Radius von etwa zwei Metern um einen Boniturpunkt im Bestand durchgeführt. An jedem Boniturpunkt wurde so ein Durchschnittswert des LAI ermittelt.

Die Pflanzenhöhe wurde zu den unterschiedlichen Terminen als Abstand zwischen Boden und oberstem Blatt oder Ähre mit einem Zollstock gemessen. Zudem wurden ährentragende Halme je m² bestimmt (1 m x 4 Saatzeilen).

Für die Bestimmung der BM wurde an den Boniturpunkten jeweils eine Fläche von 2,10 m x 1,40 m (entspricht Aufnahmefläche der Kamera-2013) mit einer Sense gemäht und mit einer elektronischen Waage im Feld gewogen. Zu den letzten, sehr späten Terminen 2013/2014 wurde keine BM mehr bestimmt, da der Weizen schon zu stark im Abreifeprozess war. Mit Hilfe der durch die Kamera ermittelten DG und den beschriebenen Pflanzenparametern ist eine Grundlage für die Entwicklung der Applikationslogik möglich.

2.5 Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG und den Pflanzenparametern 2013 und 2014 (BM, LAI) als Grundlage für die Entwicklung der Applikationslogik

In den Jahren 2013 und 2014 wurden die Pflanzenparameter LAI, BM, BBCH-Stadium und andere bestimmt. In Tab. 2 kann man hierzu die Sorten, Boniturdaten und EC-Stadien erkennen.

Tabelle 2: Geokoordinaten, Boniturdaten und EC-Stadien an den vier untersuchten Standorten 2013

Feld/Sorte	Geokoordinaten		Bonituren	BBCH - Stadien
	N°	E°		
Dabrun I Brilliant (A)	51.82	12.71	15.05.2013 05.06.2013 19.06.2013 04.07.2013	33 – 34 51 – 61 69 – 71 75 – 85
Dabrun II Famulus (E)	51.82	12.72	16.05.2013 06.06.2013 20.06.2013 09.07.2013	34 51 – 61 69 – 71 77 – 87
Rackith I Brilliant (A)	51.79	12.68	03.05.2013 24.05.2013 17.06.2013 08.07.2013	32 39 – 47 65 – 71 75 – 87
Rackith II JB Asano (A)	51.82	12.67	13.05.2013 13.06.2013 28.06.2013 10.07.2013	33 65 75 83 – 85

Neben den in Tab. 2 gezeigten Bonituren werden in Tab. 3 auch die Messungen von den Pflanzenparametern LAI und BM dargestellt. Zudem wurden auch Aufnahmen durch die Multispektralkamera gemacht. So konnten die für eine variable Applikation ausschlaggebenden Pflanzenparameter auf den Zusammenhang zum kamerabasierten DG untersucht und Korrelationen geprüft und dargestellt werden.

Tabelle 3: Darstellung des kamerabasierten DG und der Pflanzenparameter 2013 (min./max.)

Feld/Datum	DG (%)		LAI		Pflanzenhöhe (m)		Stängel/m ²		BM (kg)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Rackith I 03.05.2013	74.01	99.69	1.47	3.62	0.25	0.34	188	552	1.50	4.36
Rackith I 24.05.2013	56.00	98.00	1.28	3.15	0.48	0.64	266	496	4.00	10.02
Rackith I 17.06.2013	64.60	83.73	1.40	5.00	0.77	0.92	314	530	5.42	12.14
Rackith I 08.07.2013	50.80	86.03	1.80	5.80	0.72	0.89	328	536	-	-
Rackith II 13.05.2013	48.00	98.00	1.74	5.81	0.25	0.43	204	454	2.00	7.42
Rackith II 13.06.2013	89.06	98.36	3.40	6.30	0.75	0.90	334	496	7.36	11.14
Rackith II 28.06.2013	52.16	89.14	2.90	7.80	0.82	0.93	384	616	7.88	12.33
Rackith II 10.07.2013	43.00	92.00	3.70	6.50	0.81	0.90	450	664	-	-
Dabrun I 15.05.2013	68.00	98.00	2.25	5.23	0.41	0.52	356	734	3.68	6.72
Dabrun I 05.06.2013	46.00	99.00	2.50	6.00	0.48	0.80	280	584	4.90	11.62
Dabrun I 19.06.2013	40.00	99.00	0.40	3.80	0.57	0.89	370	666	4.38	10.86
Dabrun I 04.07.2013	19.00	94.00	1.80	4.70	0.56	0.87	380	750	-	-
Dabrun II 16.05.2013	80.00	94.00	2.35	5.91	0.44	0.58	308	744	3.80	8.50
Dabrun II 06.06.2013	77.54	98.08	2.70	6.60	0.63	0.80	368	750	6.18	11.74
Dabrun II 20.06.2013	74.00	100.00	1.40	6.10	0.69	0.93	362	716	5.26	11.56
Dabrun II 09.07.2013	46.00	92.00	2.10	5.30	0.65	0.92	326	646	-	-

Zunächst wurden 2013 die Wechselwirkungen von LAI und BM analysiert, um eine mögliche Korrelation beider Parameter zu überprüfen. Der LAI wurde mit dem Sun Scan bestimmt und die BM durch Mahd und Einwaage (absoluter Wert) ermittelt.

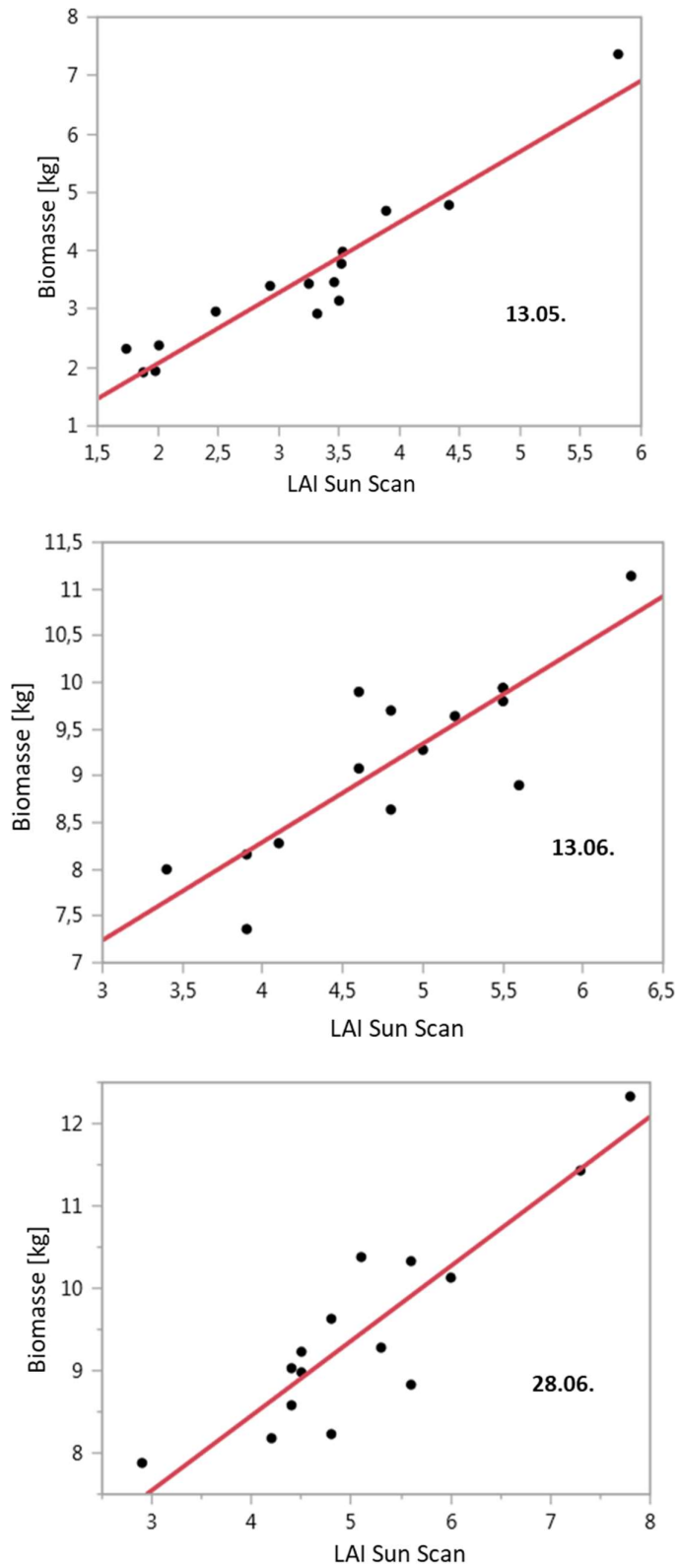


Abbildung 15: Darstellung der linearen Beziehung zwischen BM (y-Variable) und LAI (x-Variable), Beispiel Rackith 2-2013

Abb. 15 zeigt für einen Standort in der Versuchsserie 2013 den mittels Regressionsanalyse bestehenden linearen Zusammenhang zwischen den Pflanzenparametern BM und LAI.

Lineares Regressionsmodell:

$$y = a + b \cdot x$$

a: Schnittpunkt mit der y-Achse

b: Anstieg der Regressionsgeraden

Der dargestellte lineare Zusammenhang lässt den Schluss zu, dass man für die Entwicklung der Applikationslogik und damit für eine variable Applikation selbst den LAI oder die BM heranziehen kann. Die Punktwolken und Linearitäten sind an allen Standorten (Dabrun & Rackith) vergleichbar (siehe Anhang IV). Mit zunehmendem Pflanzenwachstum nimmt der LAI zu, was wiederum auf die Biomasseerhöhung einen Einfluss hat.

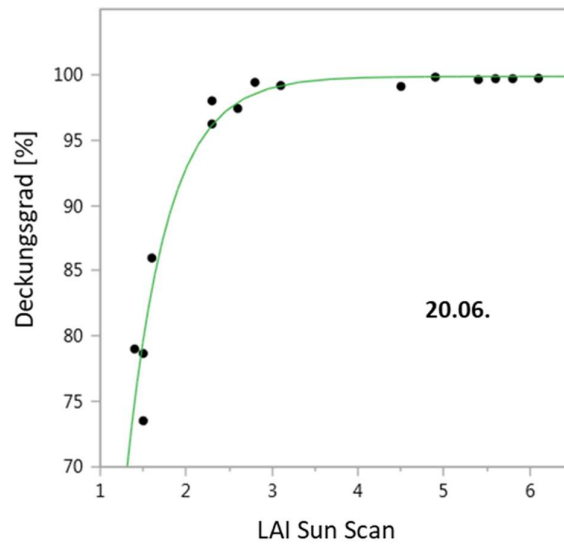
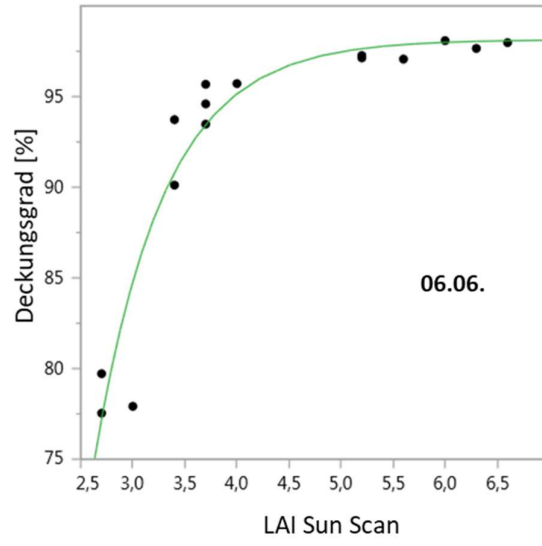
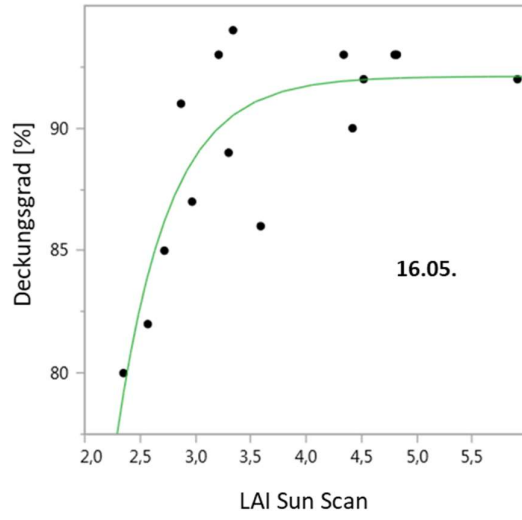
Das Bestimmtheitsmaß, was die Güte der Regression vom Zusammenhang LAI und BM wiedergibt, lag im Jahr 2013 zwischen 0.72 und 0.96 und zeigt, dass dieser Zusammenhang signifikant ist (*). Die Parameter der Analyse sowie deren Signifikanzen werden in Tab. 4 dargestellt.

Tabelle 4: Darstellung der Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen LAI und BM 2013; * Signifikanz $p \leq 0.05$

	Rackith 1			Rackith 2			Dabrun 1			Dabrun 2		
Datum	03.05.	24.05.	17.06.	13.05.	13.06.	28.06.	15.05.	05.06.	19.06.	16.05.	06.06.	20.06.
a	-0.18	1.69*	3.76*	-0.35	4.08*	4.83*	1.92*	0.83	3.46*	0.81*	3.25*	3.66*
b	1.21*	1.12*	1.61*	1.21*	1.05*	0.91*	0.83*	1.75*	1.93*	1.39*	1.38*	1.36*
R²	0.96*	0.92*	0.89*	0.91*	0.72*	0.80*	0.74*	0.95*	0.88*	0.95*	0.85*	0.94*
RMSE	0.23	0.64	0.85	0.43	0.54	0.57	0.46	0.52	0.85	0.34	0.8	0.61

Dabei beschreibt der Wert RMSE die Güte der Prognose und gibt an wie gut eine Funktionskurve an die Vorliegende angepasst ist. Die geringen Werte in der Tab. 4 zeigen, dass die Anpassung des Modells gut ist.

Neben der Prüfung der Korrelation zwischen den Pflanzenparametern wurde der DG mit der Multispektralkamera an den gleichen Messpunkten bestimmt. Die Messungen begannen Mitte Mai und wurden im Rhythmus von etwa 14 Tagen durchgeführt. In der Darstellung DG mit LAI (siehe Abb. 16) zeigt sich ein nicht-linearer Zusammenhang für das Versuchsjahr 2013.



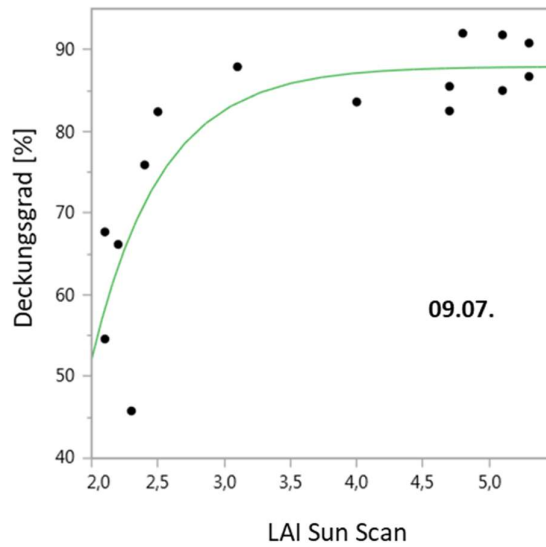


Abbildung 16: Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und LAI (x-Variable) 2013, Beispiel Dabrun 2

Dieser nicht-lineare Zusammenhang wird mit dem folgenden Modell beschrieben.

Nicht-Lineares Regressionsmodell:

$$y = a + b * e(c * x)$$

a: Asymptote (oberste Grenze der Funktion); wenn $x = \infty$, dann $y = a$

a + b: Schnittpunkt; wenn $x = 0$, dann $y = a + b$

c: Wachstumskonstante

Die dazugehörigen statistischen Auswertungen aller Standorte sind in Tab. 5 zu sehen. Dabei variiert R^2 zwischen 0.11 (nicht signifikant) und 0.96 (signifikant).

Tabelle 5: Darstellung der Parameter des nicht-linearen Zusammenhangs 2013 zwischen DG und LAI (x-Variable); * Signifikanz $p \leq 0.05$

Datum	Rackith 1				Rackith 2			
	03.05.	24.05.	17.06.	08.07.	13.05.	13.06.	28.06.	10.07.
a	97.65*	92.75*	97.62*	70.13*	-250.19*	96.59*	79.72*	84.66*
b	-414.26*	-439.16	-45.47*	0.05	298.44	-5459540*	-19050.79*	-66358.43*
c	-1.31*	-1.06*	-0.68*	0.99	0.03*	-3.99*	-2.25*	-2.36*
R²	0.96*	0.85*	0.89*	0.11	0.44	0.5*	0.71*	0.07
RMSE	5.03	5.78	2.28	16.7	11.48	1.92	4.85	12.81

Datum	Dabrun 1				Dabrun 2			
	15.05.	05.06.	19.06.	04.07.	16.05.	06.06.	20.06.	09.07.
a	96.09*	95.32*	100.51*	102.56*	92.11*	98.14*	99.86*	87.93*
b	-1733	-341.04	-102.11	-209.08*	-1892.31	-1191.89	-478.34	-1616.63
c	-1.82*	-0.89	-1.27*	-0.62	2.12*	-1.49*	-2.11*	-1.91
R²	0.90*	0.74*	0.93*	0.66*	0.72*	0.91*	0.94*	0.71*
RMSE	2.87	8.79	5.08	14.93	2.51	2.42	2.36	8.14

Die Auswertungen haben gezeigt, dass bei einem zunehmenden LAI (bis etwa LAI 3-4) ein nahezu konstanter DG von 90 – 100 % erzielt wurde. Nach dem linearen Anstieg verläuft die Funktion parallel zur x-Achse (siehe Abb. 16 - alle Standorte sind vergleichbar), was bedeutet, dass sich der DG bei ansteigendem LAI nicht mehr verändert (siehe Anhang V). Grund dafür ist, dass mit zunehmendem LAI die Pflanzenoberfläche größer wird und damit die Bodenoberfläche überwächst. Diesen Unterschied nimmt die Kamera war, indem der DG maximal wird und kein Anstieg mehr erfolgt. Zu den jeweilig letzten Bonituren wurde keine Analyse durchgeführt, da die Streuung der Punktwolke so stark war, dass eine Regression nicht erkennbar war. Das kann verschiedene Ursachen, wie unterschiedliche Abreife oder Seneszenz am Bonitурpunkt, haben.

Eine vergleichbare Beziehung zeigt sich auch bei der Analyse des DG und der BM (siehe Abb. 17). Auch hier wurde wieder ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen beiden Parametern festgestellt.

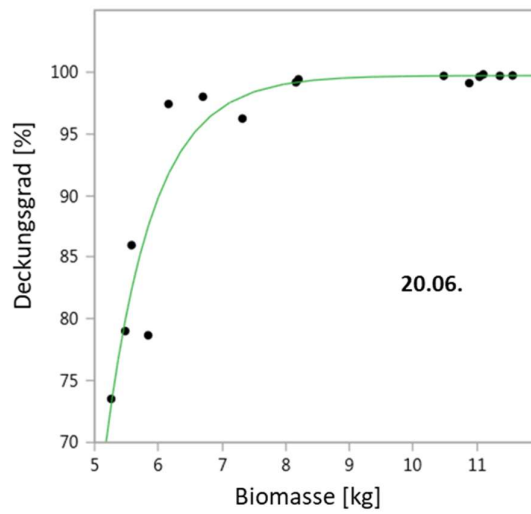
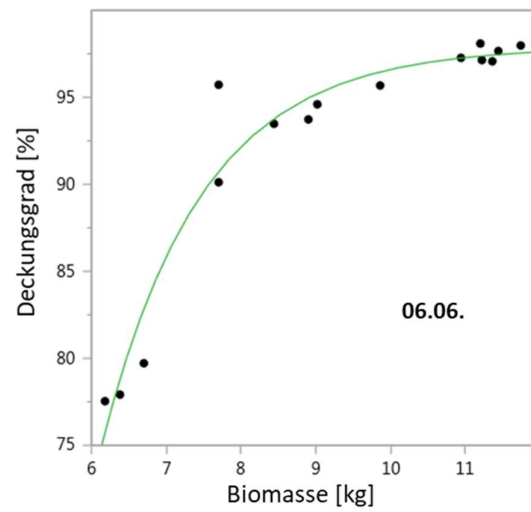
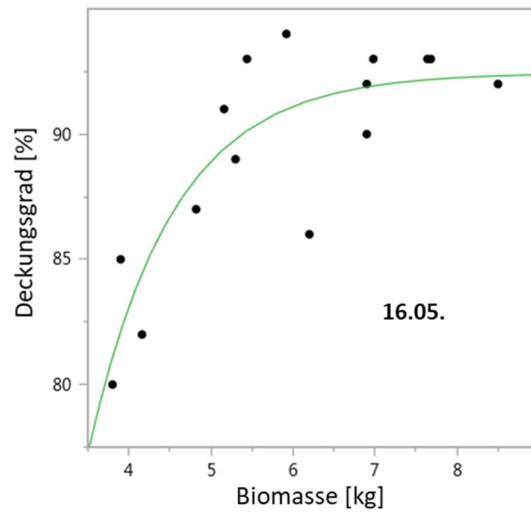


Abbildung 17: Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und BM (x-Variable) 2013, Beispiel Dabrun 2

In Tab. 6 werden die Parameter der Regressionsanalyse dargestellt. Auch hier ist erkennbar, dass der Zusammenhang zwischen dem Pflanzenparameter BM und dem kamerabasierten DG signifikant ist. Und das auch bei den übrigen Standorten (siehe Anhang VI).

Tabelle 6: Darstellung der Parameter des nicht-linearen Zusammenhangs 2013 zwischen DG und BM (x-Variable); * Signifikanz $p \leq 0.05$

	Rackith 1			Rackith 2			Dabrun 1			Dabrun 2		
Datum	03.05.	24.05.	17.06.	13.05.	13.06.	28.06.	15.05.	05.06.	19.06.	16.05.	06.06.	20.06.
a	106.65*	93.18*	101.15*	-44.64	96.83*	80.92*	94.35*	100.77*	99.75*	92.44*	97.90*	99.70*
b	-204.84*	-384.55	-83.92	100.84	-21.22*	-14217824*	-440367.8	-197.3	-671.98	-458.21	-2188.48	-31300.35
c	-0.71*	-0.63	-0.24	0.047*	-0.35*	-1.74*	2.68*	-0.31	-0.62	-0.97*	-0.74*	-1.34*
R²	0.98*	0.83*	0.96*	0.33	0.01	0.31	0.82*	0.78*	0.85*	0.73*	0.95*	0.89*
RMSE	3.64	6.05	1.35	12.57	2.697	7.48	3.94	8.14	7.44	2.45	1.88	3.31

Der ermittelte Zusammenhang zwischen den Pflanzenparametern und dem kamerabasierten DG ist signifikant, sodass basierend darauf eine Applikationslogik aufgebaut werden könnte. Allerdings war dieser Zusammenhang nicht wie erwartet.

Der hier als nicht-linear dargestellte Zusammenhang vom kamerabasierten DG und den Pflanzenparametern war das Resultat der Aufnahmequalität der Multispektralkamera. Es wurde bei den ersten Messungen 2013 eine Fisheye Linse (SIGMA Fisheye 8 mm, F3.5 EX DG) verwendet (siehe Abb. 18).

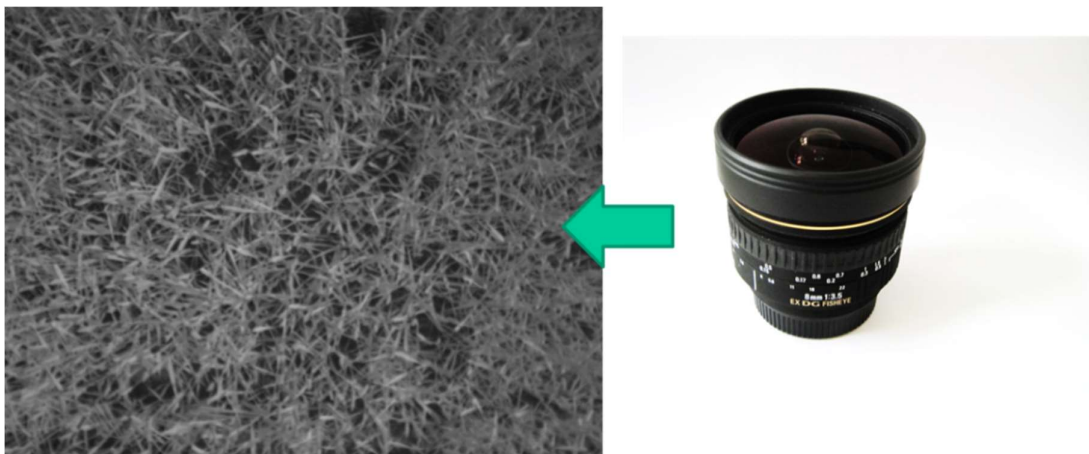


Abbildung 18: Aufnahme Getreidebestand mit dem Fisheye Objektiv

Durch die Nutzung der Fisheye Linse konnte eine größere Fläche des Pflanzenbestandes aufgenommen werden (3 m²), was der Fläche der BM-Messungen entsprach. Damit sollte gewährleistet sein, dass eine größere Bestandesfläche aufgenommen wird. Jedoch zeigt sich auf dem dargestellten Graubild (siehe Abb. 18), dass die Ränder des Bildes verzerrt und die

Pflanzen aus einem schrägen Winkel aufgenommen wurden. Der DG wurde aufgrund der Aufnahme überschätzt und wesentlich höher eingestuft, als tatsächlich im Pflanzenbestand vorhanden.

Nachdem bei den ersten Parametererhebungen und Messungen 2013 ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen kamerabasiertem DG und Pflanzenparametern festgestellt wurde (Nutzung Fisheye-Linse), konnten die Versuche 2014 unter Nutzung eines anderen Objektivs (aspherical SIGMA 14 mm - HSM 1:2.8 D) erneut auf den Flächen bei Wittenberg durchgeführt werden (siehe Abb. 19).

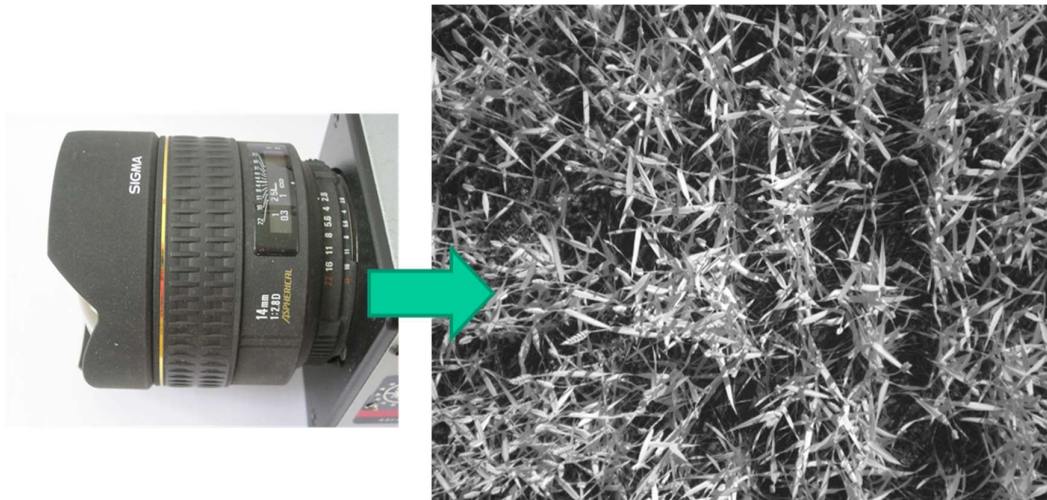


Abbildung 19: Aufnahme Getreidebestand mit aspherical Sigma Objektiv

Die Pflanzenparameter wurden auch hier wieder auf den vier Flächen an 15 Boniturpunkten zu unterschiedlichen Terminen aufgenommen (siehe Tab. 7).

Tabelle 7: Felder, Sorten, Bonitur und EC-Stadium in vier Winterweizenfeldern 2014

Feld/Sorte	Bonitur 2014	EC-Stadium
Dabrun I „Kerubino“	April 23	32
	Mai 14	49-51
	Juni 02	69-71
Dabrun II „Potenzial“	April 24	30-31
	Mai 16	43-51
	Juni 06	71-75
Rackith I „JB Asano“	April 22	31-32
	April 30	32-33
	Mai 23	59-65
Rackith II „Glaucus“	April 25	32
	Mai 22	51-59
	Juni 03	69-71

Mit dem aspherical Objektiv konnte nur noch eine kleinere Fläche des Bestandes ($\sim 1 \text{ m}^2$) aufgenommen werden. Die Bestimmung des DG wurde jedoch durch die verbesserte Aufnahmequalität wesentlich genauer. Der Pflanzenbestand wurde ohne Verzerrungen an den Rändern von oben aufgenommen (deutlichere Erkennung von Boden und Pflanze möglich). Dabei ergab sich zwischen dem kamerabasierten DG und den Pflanzenparametern eine lineare Beziehung (Nutzung lineares Modell). Die Aufnahmen begannen Ende April und wurden etwa alle drei Wochen wiederholt.

Der lineare Zusammenhang zwischen beiden Parametern wird in den Abb. 20 (DG/BM) und Abb. 21 (DG/LAI) für einen Standort dargestellt und konnte an allen Standorten zu den jeweiligen Boniturterminen determiniert werden. Im Anhang VII und Anhang VIII wird dieser Zusammenhang auch an den übrigen drei Standorten dargestellt.

In den Tab. 8 und 9 werden zudem die evaluierten Parameter der einzelnen Beziehungen dargestellt. Aufgrund des determinierten linearen Zusammenhangs konnte die variable Applikationslogik mit einem linearen Zusammenhang aufgebaut und im Feldversuch getestet werden.

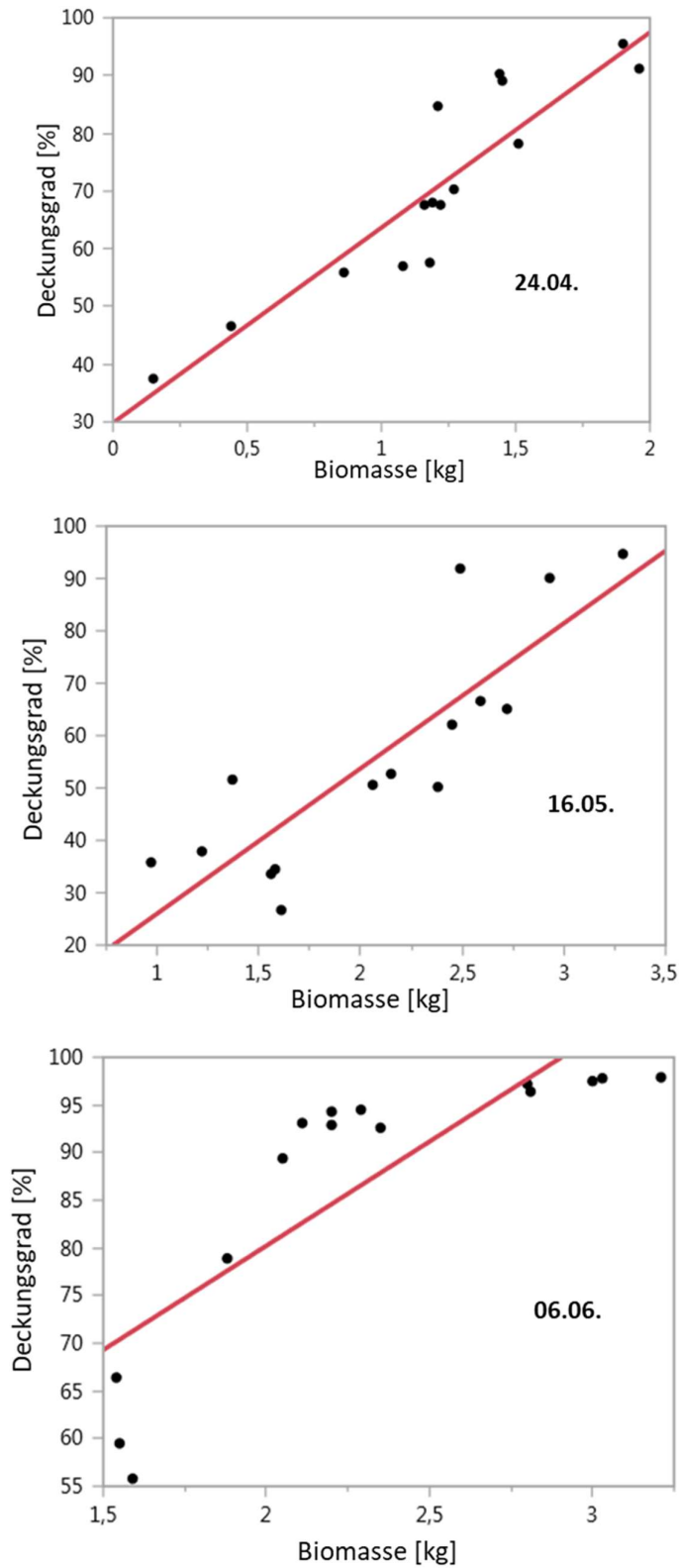
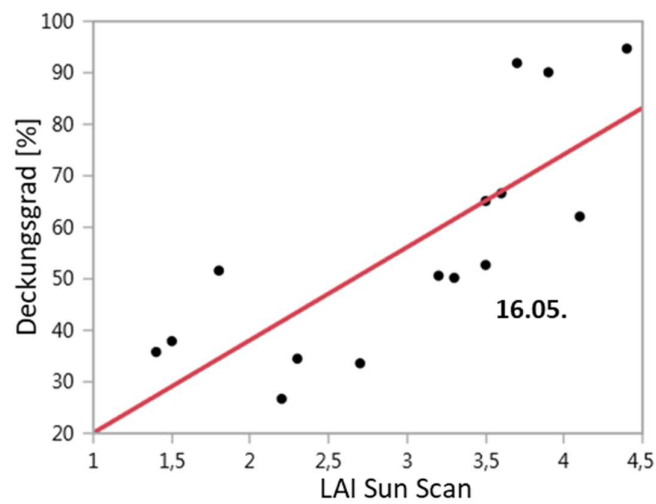
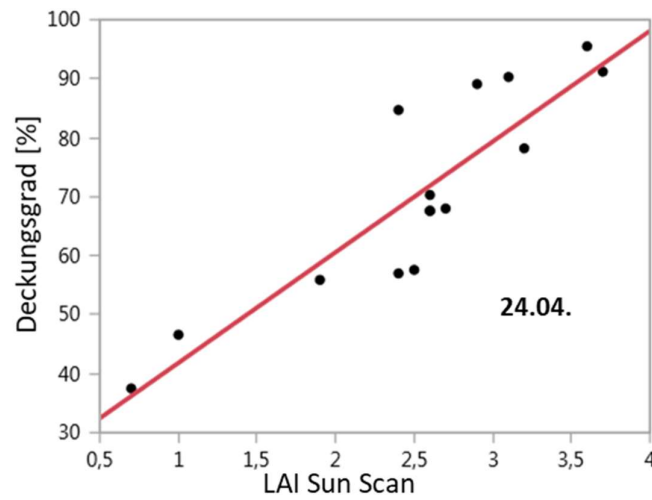


Abbildung 20: Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG (y-Variable) und der BM (x-Variable) 2014, Beispiel Dabrun 2

Tabelle 8: Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen DG und BM 2014;

*Signifikanz $p \leq 0.05$

	Rackith 1			Rackith 2			Dabrun 1			Dabrun 2		
Datum	22.04.	30.04.	23.05.	25.04.	22.05.	03.06.	23.04.	14.05.	02.06.	24.04.	16.05.	06.06.
a	46.03*	46.18*	-1.83	37.62*	51.44*	27.49*	-39.21*	-19.43	-6.33	29.84*	-1.69	36.52*
b	18.57*	14.31*	22.75*	29.34*	10.68*	15.77*	77.86*	35.30*	30.19*	33.82*	27.72*	21.85*
R²	0.82*	0.79*	0.84*	0.48	0.66*	0.76*	0.93*	0.84*	0.84*	0.83*	0.73*	0.69*
RMSE	6.84	7.39	8.42	16.55	4.45	8.49	6.28	10.85	10.85	7.59	11.96	8.42



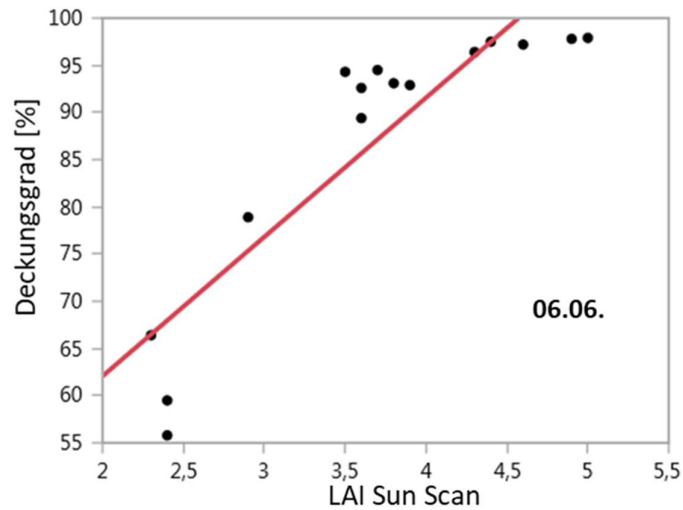


Abbildung 21: Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG (y-Variable) und dem LAI (x-Variable) 2014, Beispiel Dabrun 2

Tabelle 9: Parameter des linearen Zusammenhangs zwischen DG und LAI 2014;

* Signifikanz $p \leq 0.05$

	Rackith 1			Rackith 2			Dabrun 1			Dabrun 2		
Datum	22.04.	30.04.	23.05.	25.04.	22.05.	03.06.	23.04.	14.05.	02.06.	24.04.	16.05.	06.06.
a	49.96*	46.32*	-13.91	42.34*	54.00*	37.04*	3.66	-20.07	-14.90	23.07*	2.07	32.57*
b	12.04*	12.83*	19.09*	11.66*	5.71*	7.76*	32.02*	24.46*	21.14*	18.76*	18.03*	14.75*
R²	0.84*	0.89*	0.86*	0.43	0.66*	0.79*	0.89*	0.81*	0.93*	0.79*	0.62*	0.79*
RMSE	6.37	5.42	7.96	17.40	4.47	7.88	7.59	12.64	7.38	8.4	14.22	6.85

Die Durchführung der Versuche 2013 und 2014 mit unterschiedlichen Weizensorten soll die unterschiedliche Krankheitsanfälligkeit (siehe Tab. 10) in unterschiedlichen Jahren zeigen. Ist ein gewisser Befallsdruck vorhanden, so können unter Umständen auch unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich einer Krankheitsentwicklung nach der variablen Applikation und Fungiziddefekte betrachtet werden.

Tabelle 10: Einstufung Winterweizensorten durch das Bundessortenamt – Versuche 2014-2016 (BUNDESSORTENAMT 2017)

Sortenbezeichnung	Sortenübersicht																
	Ährenschieben	Reife	Pflanzenlänge	Neigung zu		Anfälligkeit für						Ertrags-eigenschaften					
			Auswinterung	Lager	Pseudocercospora	Mehltau	Blattseptoria	Drechslera tritici-repentis	Gelbrost	Braunrost	Ährenfusarium	Spelzenbräune	Bestandesdicke	Kornzahl / Ähre	Tausendkornmasse	Kornertag Stufe 1	Kornertag Stufe 2

Winterweichweizen (*Triticum aestivum* L.)

Mit Voraussetzung des landeskulturellen Wertes in Deutschland zugelassen

Glaucus	6	7	5	5	4	6	4	4	5	2	5	4	5	4	4	7	6	6
JB Asano	4	4	5	6	5	5	3	7	5	8	5	6	7	4	4	7	3	6
Julius	5	6	5	3	4	5	4	4	5	3	4	5	5	6	4	6	7	6
Kerubino	4	4	5	4	5	6	5	5	4	7	5	4	6	7	3	5	4	6
KWS Montana	5	5	5	4	6	6	4	5	5	2	4	4	3	5	6	4	5	5
Patras	5	5	4	4	5	6	3	5	5	3	5	4	6	4	4	7	6	6
Potenzial	5	5	4	6	3	6	3	5	5	2	6	5	-	6	6	4	5	5

Mit der Sortenwahl konnten in den Versuchsjahren hoch anfällige Sorten wie JB Asano (hoch anfällig für Rost) und geringer anfälligen Sorten wie Glaucus nebeneinander betrachtet werden.

2.6 Kamerabasierte variable Fungizidapplikation – Darstellung der Feldversuche 2014 - 2016

Für eine variable Applikation von Pflanzenschutzmitteln können zwei Ansätze zur Durchführung einer Behandlung in Frage kommen:

1. Mapping / Kartenansatz - offline
2. Echtzeitbetrieb - online

Der Kartenansatz findet bereits in der Düngung aber auch im Pflanzenschutz Anwendung. Bei der Düngung werden sogenannte Streukarten produziert, mit denen Dünger nach Bedarf ausgebracht werden kann. „Fritzmeier Umwelttechnik setzt beim N-Sensor Isaria auf eine Kombination von Applikationskarte und Sensortechnik“ (Internetquelle Nr. 11). Mit Hilfe des xarvio™ Field Managers können nun auch satellitenbasiert Applikationskarten für eine Fungizidapplikation im Weizen genutzt werden (Internetquelle Nr. 12). Neben diesen zwei Anwendungsbeispielen wird es in Zukunft weitere Entwicklungen im Bereich Kartennutzung geben.

Dem gegenüber steht der online-Ansatz mit der Applikation im Echtzeitbetrieb. Auch hier werden verschiedene Sensortypen oder neue Generationen bestehender Sensoren zukünftig für eine Nutzung in der Landwirtschaft zur Verfügung stehen. Bei den durchgeführten Applikationsversuchen im Raum Wittenberg wurde das online-Verfahren einer Applikation mit der Multispektralkamera geprüft. Dabei wurde der Pflanzenbestand durch die Kamera während der Überfahrt detektiert, um darauf aufbauend den DG zu bestimmen. Auf dieser Basis erfolgte dann die Zuordnung der min/max. Dosis für die Applikation. Die Information aus der Auswertung der Messungen des DG wurde durch einen Jobrechner analysiert und an die Spritze weitergeleitet und das Fungizid variabel appliziert (siehe Abb. 22).

Die Applikationsversuche wurden mit einer Amazone BBG 4000 Liter Spritze (Amazone Werke, Hasbergen-Gaste, Germany) durchgeführt. Mit einer Arbeitsbreite von 24 Metern verfügt die Spritze über Mehrfachdüsenträger mit Vario Select System (Lechler GmbH, Metzingen, Germany). Die Spritzbrühe kann damit in einem Mengenbereich von 1:8 ausgebracht werden. Aufgrund der Ausstattung mit unterschiedlichen Düsentypen wie ID 015, 02, 04 ist eine Variation der Aufwandmenge von 40 - 200 l/ha bei 8 km/h Fahrgeschwindigkeit (praxisüblich) möglich. Dabei darf die Geschwindigkeit nicht zu hoch sein, da sie die Verteilung der Tropfen im Bestand beeinflusst.



Abbildung 22: Kamerabasierte Fungizidapplikation (variabel) in den Feldversuchen

Damit eine Fungizidapplikation online und variabel durchführbar ist, müssen bestimmte Voraussetzung gegeben sein. So sollten aus technischer Sicht verschiedene verarbeitende Geräte (z.B. Terminal, Jobrechner, Spritze) verfügbar sein, mit deren Hilfe die eingehenden Informationen aufgenommen, bearbeitet, in neue Befehle umgewandelt und ausgeführt werden können. Hierzu muss zunächst eine Schnittstelle zwischen dem Terminal (Basic Terminal Top – Müller Elektronik) und dem Job-Rechner via LBS (Basis ISO 11783) vorhanden sein. Damit ist gewährleistet, dass beide Techniken miteinander kommunizieren können.

Zudem ist neben der technischen Verfügbarkeit auch agronomisches Wissen nötig, um das Pflanzenschutzmittel nach guter fachlicher Praxis zu applizieren. Dafür sind die Auswahl des Pflanzenschutzmittels und die benötigte Aufwandmenge zu wählen.

Der Prozess der Applikation startet während der Überfahrt mit der Aufnahme des DG durch die Multispektralkamera. Dieser aufgenommene DG wird in eine Spannung transformiert und so an den Job Terminal der Spritze gesendet.

Durch das eingehende Signal konnte die Spritze die variable Applikation des Fungizids nach der entwickelten linearen Applikationslogik ausführen.

Während der Überfahrt wurde neben der Position (basierend auf Ag GPS 132 DGPS) auch der DG und die Applikationskarte (as applied Karte) aufgezeichnet. Generell können auch Applikationskarten durch VRA-fähige Terminals (Lizenzen nötig) aufgezeichnet und für Auswertungen herangezogen werden.

Im Feldversuch wurde zunächst die FLAT Variante (einheitliche Applikation) durchgeführt. Hier wurden durch den Bordcomputer (Schnittstelle zur Kamera) die DG des Feldes während der Überfahrt aufgezeichnet. Dadurch wurde die Heterogenität im Feld dargestellt. Dabei beschreibt der minimale DG die schlechter entwickelten Feldbereiche (Sandkuppen, schlechter Feldaufgang etc.) und der maximale DG beschreibt die besseren Bestandsbereiche in einem Feld.

Im Versuchsjahr 2014 wurde die variable Applikation am 20. Mai nur auf dem Schlag Seefeld bei Dabrun durchgeführt. Wie bereits beschrieben wurde der DG in % während der Überfahrt aufgenommen und zeigt die Heterogenität im Feld (siehe Abb. 23). Dabei stellen die helleren Stellen in der Abb. 23 die schlechter entwickelten Pflanzenbereiche dar.

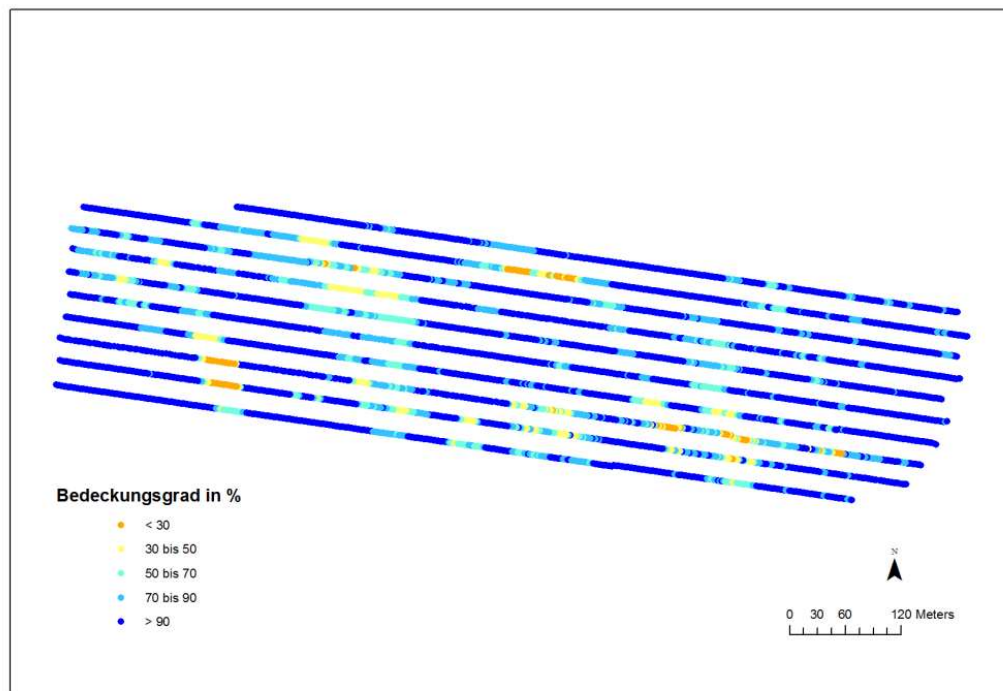


Abbildung 23: Detektion des DG „Seefeld“ 2014, Dabrun

Unter zu Hilfenahme des ermittelten DG konnte der Applikationsalgorithmus mit minimaler und maximaler Applikationsmenge bestimmt werden. Dabei wurde dem minimalen DG die geringe Applikationsmenge zugewiesen und dem maximalen DG die höchste Applikationsmenge (siehe Abb. 24).

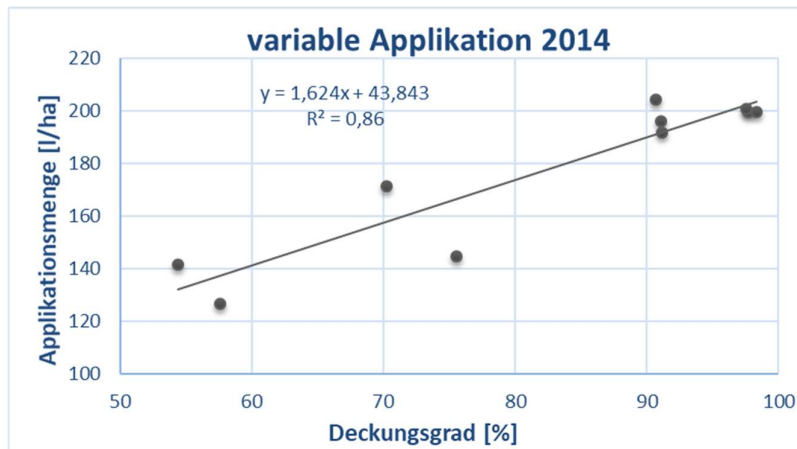


Abbildung 24: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamera-basierten DG Versuch 2014 Schlag „Seefeld“ bei Dabrun

Die Applikation wurde anhand des ermittelten DG mit Aviator Xpro Duo mit einer Aufwandmenge von 0,75 l/ha und einem Herbizid Agro MCPA 500 (Vorkommen Ackerkratzdistel - *Cirsium arvense*) mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha in 200 l/ha Wasser durchgeführt. Aviator Xpro Duo besteht aus den folgenden Wirkstoffen und hat eine gute bis sehr gute Wirkung gegen die im Versuchsfeld vorgekommenen Krankheiten: 75 g/l Bixafen, 150 g/l Prothioconazol, 100 g/l Prothioconazol, 100 g/l Fluoxastrobin.

Die volle Aufwandmenge (200 l/ha) wurde dem DG ab 90 % zugeordnet und die reduzierte Menge einem DG unter 45 %. Damit wird gewährleistet, dass auch schlechter entwickelte Bestandesbereiche die ausreichende Wirkstoffkonzentration erhalten.

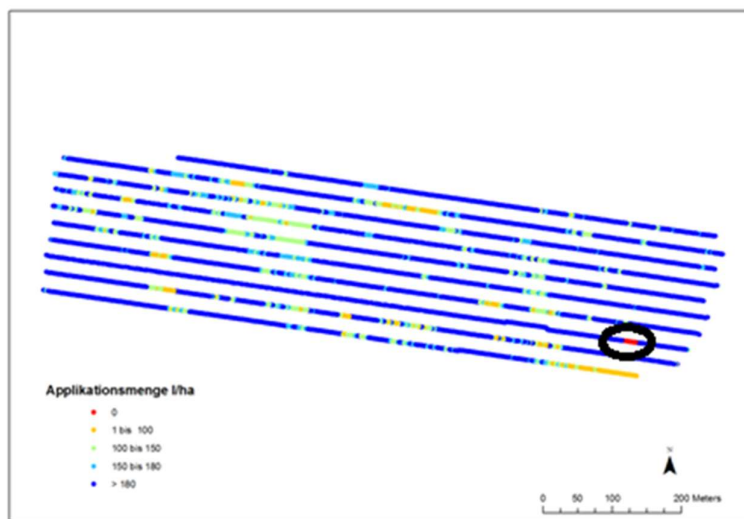


Abbildung 25: As applied Karte der variablen Applikation

Durch die vorherige Detektion des DG konnten die Schwellenwerte für die Applikation festgelegt und so, je nach Ergebnis, die volle oder reduzierte Aufwandmenge ausgebracht werden. In Abb. 25 markiert ein schwarzer Kreis die unbehandelte Kontrolle (Spritzfenster mit einer Länge von 15 m). Das Spritzfenster lag zudem in der einheitlich applizierten Variante. Für diese Fahrspur wurde der Sensor während der Überfahrt ausgeschaltet und die Spritze hat die normale Sollmenge von 200 l/ha ausgebracht. Der Rest des Feldes wurde ebenfalls mit Hilfe des Sensors variabel appliziert. Das Spritzfenster ist die Referenzfläche für das Krankheitsauftreten während der Saison ohne jegliche Fungizidmaßnahmen.

Für die Auswertungen wurden lediglich einzelne Fahrspuren im Feld betrachtet. So wurden in diesen Streifen in beiden Varianten (FLAT/VRA) zehn Bonitурpunkte anhand von Pflanzendichte bestimmt. In der unbehandelten Kontrolle wurden die Bonituren an drei Punkten durchgeführt.

An den Bonitурpunkten wurden an 30 Pflanzen zu drei Terminen nach der Fungizidmaßnahme auf Befallsstärke (% befallene Blattfläche) auf den drei obersten Blättern bonitiert. Da diese neben der Ähre den Ertrag wesentlich beeinflussen können (siehe Abb. 26), werden diese Blätter als Qualitätsmerkmal für den Erfolg der Maßnahme betrachtet.

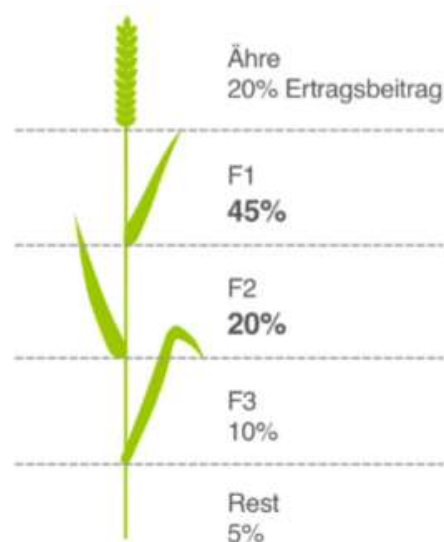
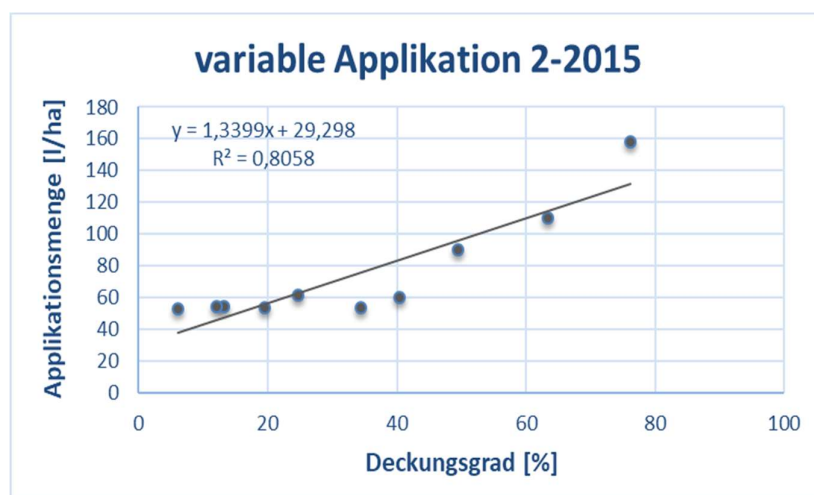
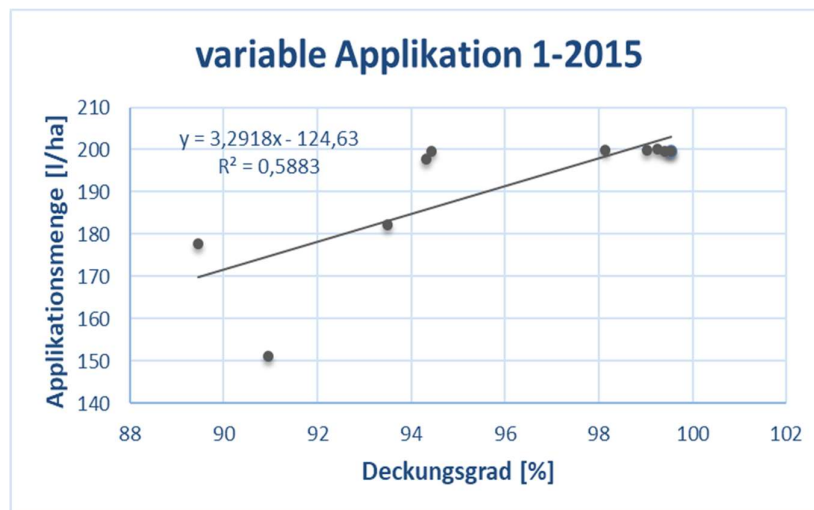


Abbildung 26: Ertragseffekte einzelner Pflanzenorgane – eigene Darstellung nach BASF 2016

In beiden Varianten wurden in Summe etwa 900 Blätter und im Spritzfenster etwa 270 Blätter auf Krankheiten untersucht. In der Versuchsfläche kamen vor allem *Zymoseptoria tritici* und *Puccinia striiformis* var. *striiformis* vor. Zudem wurden neben den Blättern auch noch die Ähren bonitiert und keine Ährenkrankheiten festgestellt (Darstellung Bonituren im Ergebnisteil).

Um die Applikationslogik ein weiteres Jahr zu testen (Test unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen), wurden 2015 drei Felder mit unterschiedlichen Sorten variabel behandelt. Die Flächen befinden sich, genau wie die bisherigen Versuche, am gleichen Standort bei Wittenberg. Auf den Versuchsflächen wurden Linus, JB Asano und Patras (Sortenanfälligkeiten siehe Tab. 10) angebaut. Die variable Fungizidmaßnahme wurde mit 2 l/ha Osiris am 05.06.2015 in Kombination mit dem Herbizid Agro MCPA 500 (*Cirsium arvense*) - 1,5 l/ha durchgeführt.

Osiris ist in der Breite gegen die wichtigsten Blatt- und Ährenkrankheiten sicher wirksam und beinhaltet die folgenden Wirkstoffe: 37,5 g/l Epoxiconazol, 27,5 g/l Metconazol. Die Anpassung der variablen Applikation an die DG in allen Flächen im Jahr 2015 ist in Abb. 27 dargestellt.



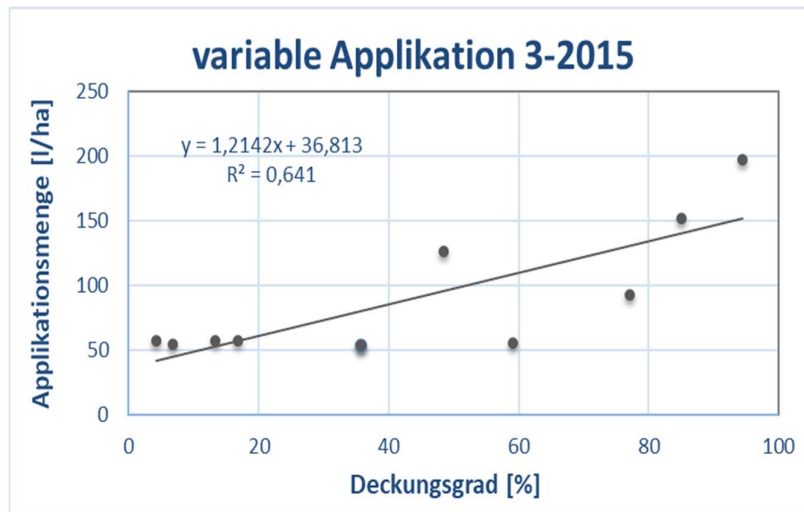


Abbildung 27: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamera-basierten DG Versuche 2015, Dabrun

Zur Darstellung der Krankheiten wurden wieder 10 Boniturspunkte à 30 Pflanzen in beiden Varianten zu vier Terminen analysiert. Die unbehandelte Kontrolle wurde ebenfalls an drei Punkten (Bestandsdichten visuell unterschieden) durchgeführt. In den Abb. 28, 29 und 30 werden jeweils die detektieren DG [%] und as applied [l/ha] Karten mit den jeweiligen Werten und Applikationsmengen zusammen dargestellt. Die Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Variabilitäten des DG im Feld (obere zwei Fahrspuren im Bild), weshalb die Applikationskurven in allen drei Flächen verschieden sind (siehe Abb. 27). Allerdings sind die Heterogenitäten von Schlag 1 und 2 höher als im Schlag 3.

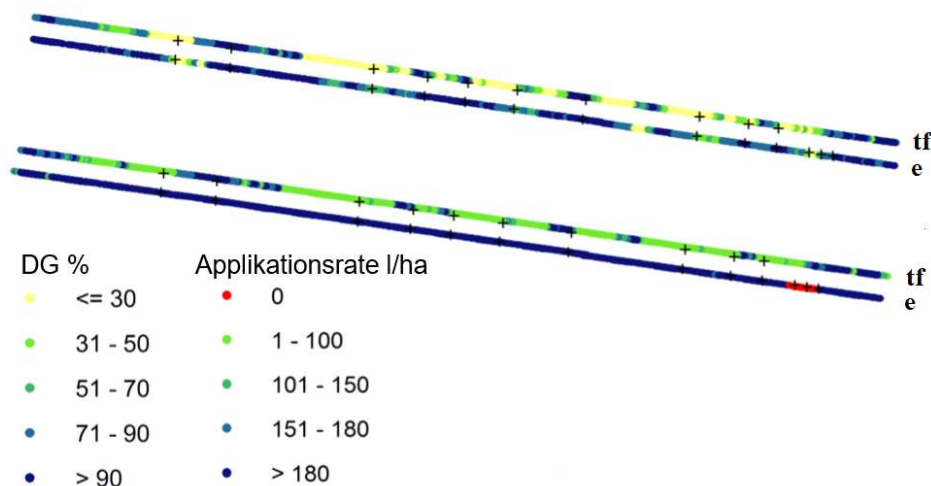


Abbildung 28: Variable Applikation – Sorte „Linus“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha], Versuch 2015-1, Dabrun

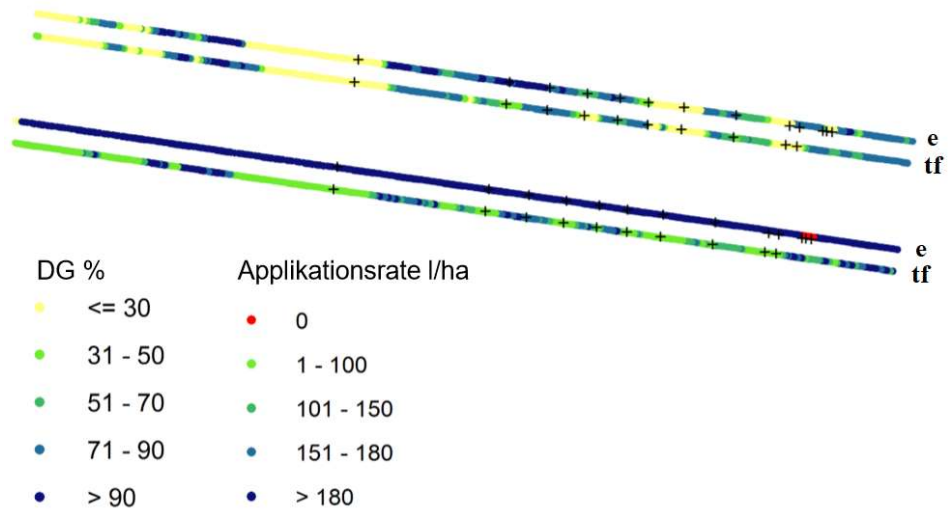


Abbildung 29: Variable Applikation – Sorte „JB Asano“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha], Versuch 2015-2, Dabrun

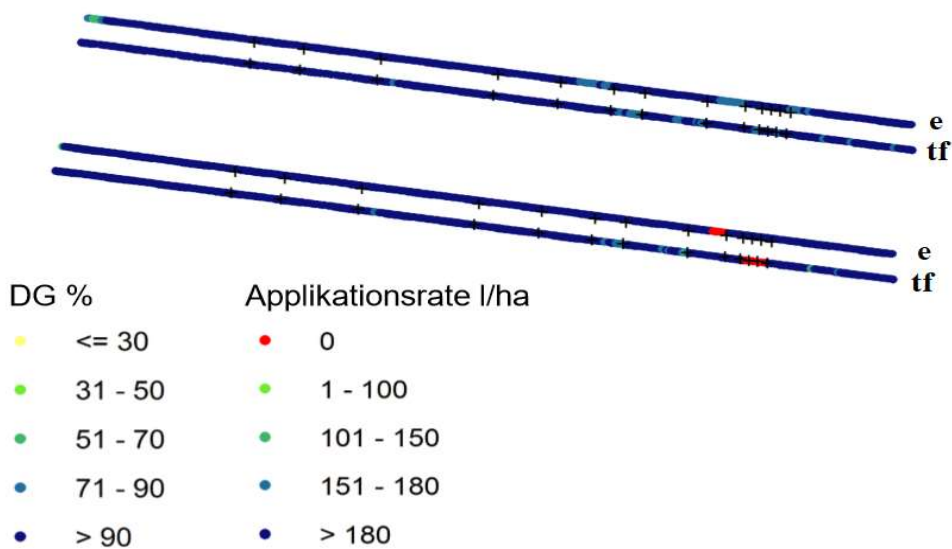


Abbildung 30: Variable Applikation – Sorte „Patras“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha], Versuch 2015-3, Dabrun

Die in den Abb. 28, 29 und 30 dargestellten Buchstaben „e“ und „tf“ beschreiben die Applikationsart. Dabei bedeutet e - einheitliche und tf - teilflächenspezifische Applikation. Die geringen DG bzw. Applikationsmengen werden heller dargestellt und die roten Bereiche im Feld sind die unbehandelten Spritzfenster.

Aufgrund der trockenen Witterungen und damit auch des geringen Krankheitsauftretens mussten insgesamt nur wenige Maßnahmen durchgeführt werden. Die Pflanzen litten vielmehr unter Trockenstress. Dennoch kam *Zymoseptoria tritici* in den Beständen vor, die einer Fungizidbehandlung bedingten. Ährenfusarien spielten aufgrund der Trockenheit zum Zeitpunkt der Blüten ebenfalls keine Rolle. Die Auswertungen werden im Ergebnisteil näher erläutert.

In den Feldversuchen 2016 wurde ein Feld mit der Sorte KWS Montana (siehe Tab. 10) variabel appliziert. Die Applikation erfolgte als Abschlussbehandlung am 30.05.2016 mit Osiris 2 l/ha. Dabei wurde die Applikation, wie in Abb. 31 dargestellt, an den detektierten DG angepasst.

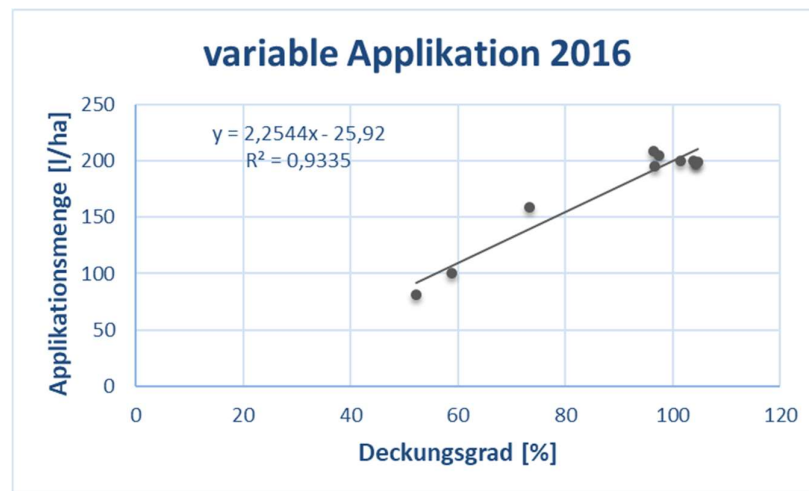


Abbildung 31: Darstellung der Linearität zwischen der Applikationsmenge und dem kamera-basierten DG Versuch 2016, Dabrun

Bonituren nach der Applikation wurden aufgrund der weit voran geschrittenen Seneszenz wegen der Trockenheit an zwei Terminen mit dem bisher bekannten Boniturschema vorgenommen.

Während der Applikation wurde der DG und die Aufwandmengen aufgezeichnet (siehe Abb. 32).

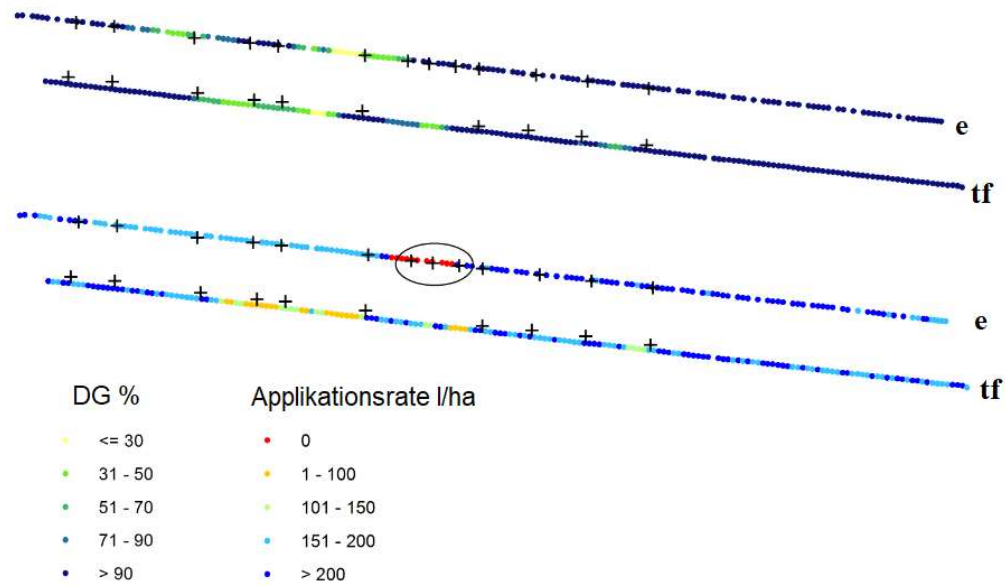


Abbildung 32: Variable Applikation – Sorte „KWS Montana“: DG [%] und Spritzmenge [l/ha]
Versuch 2016, Dabrun

Insgesamt konnte in allen drei Versuchsjahren der lineare Zusammenhang zwischen der variablen Applikationsmenge und dem DG festgestellt werden. Das ergibt sich aus R^2 :

- **2014:** 0.86
- **2015:** 0.58; 0.81; 0.64
- **2016:** 0.93

Die Abbildungen 24, 27, 31 zeigen, dass die Applikationen mit dem Applikationsalgorithmus gut funktioniert haben und damit keine Applikationsfehler aufgetreten sind.

Die Versuchsflächen wurden in jedem Jahr mit Ertragskartierung aufgenommen. So wird neben dem Krankheitsauftreten auch eine Aussage zu möglichen Ertragsunterschieden in den beiden Varianten möglich sein.

2.7 Statistik

Die Zusammenhänge zwischen dem kamerabasierten DG und den beiden Pflanzenparametern wurden mit Hilfe der Software JUMP 11 (JMP®11.0.0, SAS Institute Inc. 2013) statistisch analysiert. Im Hinblick auf die Korrelation zwischen beiden Pflanzenparametern zeigte sich ein linearer Zusammenhang. Die Analyse der Korrelation zwischen DG mit den Pflanzenparametern oder der Applikationsmenge wurde mit dem gleichen Analysetool durchgeführt.

Zur Untersuchung der Krankheitsentwicklung wurden die Blattetagen in den Varianten getrennt analysiert, um heraus zu finden, ob es Unterschiede zwischen beiden Applikationsvarianten gibt. Diese Analyse wurde mit dem Wilcoxon Rangsummentest durchgeführt und in den Ergebnissen dargestellt. Die Ergebnisse der Varianten wurden dann der unbehandelten Kontrolle gegenübergestellt.

Der Test auf Signifikanz des Ertrages zwischen kamerabasierter und einheitlicher Applikation wurde mittels paarweisem t-Test mit Hilfe von SAS Analyst Application Version 9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Hier wurde die mittlere Ertragsdifferenz mit der Nullhypothese verglichen. Für dieses Prozedere wurden die benachbarten Werte mittels Nutzung des „Spatial Join“ Werkzeuges aus dem Arc-GIS 9.3 (ESRI, Redlands, CA, USA) extrahiert. Ertragswerte ohne benachbarte Werte wurden nicht in die Analyse einbezogen. Die Analyse der lokalen Ertragsdifferenz mit der jeweiligen Streuung der Varianten wurde mit Box-Whisker Plot dargestellt.

Sollte das Ergebnis des t-Tests zeigen, dass die mittlere Ertragsdifferenz sich nicht von Null unterscheidet, heißt das, dass die variabel applizierte Variante keinen Einfluss auf den Ertrag hatte. Nähere Informationen zu den Auswertungen werden in den Ergebnissen zu finden sein.

3 Ergebnisse

Das Ernteergebnis einer Saison in der Landwirtschaft wird durch verschiedenste Parameter beeinflusst. Bereits bei der Sortenwahl entscheidet sich ein Landwirt für gewisse Qualitätsparameter wie Lager-, Krankheitsanfälligkeit und Ertrag.

Dann kommt die Witterung dazu, die die Qualität einer Sorte positiv oder negativ beeinflussen kann. Bereits kleinräumige Niederschlagsereignisse können zu unterschiedlichen Infektionsbedingungen im Feld führen. Hitze und Trockenheit können einen Bestand bzw. einzelne Pflanzen stark im Wachstum und Entwicklung beeinflussen. Zudem kann das Mikroklima einen Einfluss auf den Bestand oder einzelne Pflanzen haben. Das zeigen die mehrjährigen Messungen der Klimadaten in einem Feld. Bereits hier zeigen sich Unterschiede bei den gemessenen Wetterparametern, die ein unterschiedliches Krankheitsauftreten vermuten lassen. Um das zu prüfen, wurden die Messstellen in Biomasseklassen (gering, mittel, hoch) eingeordnet.

Fungizidapplikationen während der Saison sind notwendig, sofern die angestrebte Pflanzen- bzw. Bestandsqualität nicht ohne Fungizid zu erreichen ist. Da heute noch immer die einheitliche Applikation über das gesamte Feld gängige Praxis ist, wurden die nun bereits über drei Jahre durchgeführten Applikationsversuche in den Elbauen durchgeführt. Sie haben viele Daten erbracht, anhand derer man Rückschlüsse auf Vorteile einer variablen Fungizidanwendung mit neuartigen Möglichkeiten (z.B. Sensoren) ziehen kann. Aufgrund der starken Heterogenität im Feld konnten Unterschiede im Bestand detektiert und entsprechend angepasst Fungizide appliziert werden.

Im Folgenden sollen hier die langjährigen Klimadaten sowie die Witterung der Versuchsjahre mit dem Krankheitsauftreten, Applikationen, Einsparungen der Fungizide und Erträgen beleuchtet werden.

3.1 Klimadatenauswertung unter Berücksichtigung der Bestandsunterschiede

Die Analyse der Klimadaten hat bei den gemessenen Parametern Unterschiede in allen Jahren gezeigt (siehe Abb. 33). Um hier die Unterschiede zwischen hoher und geringer BM darzustellen, wurden Differenzen beider Werte gebildet.

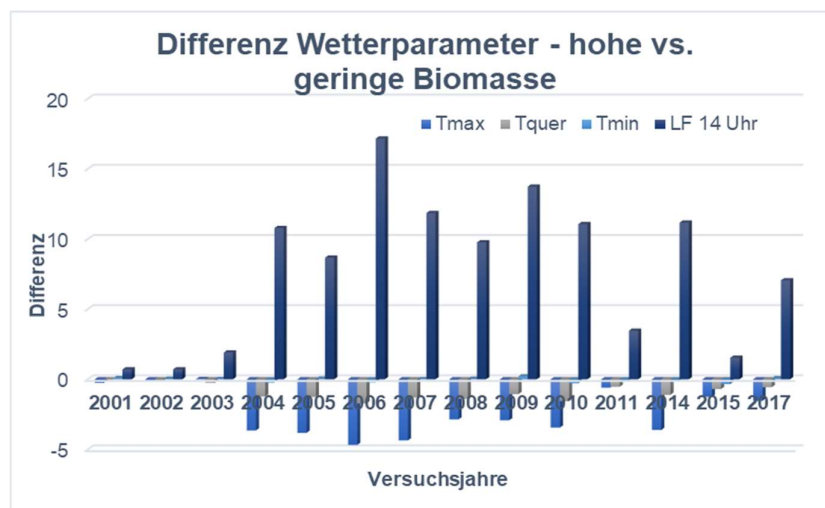


Abbildung 33: Darstellung Wetterparametervergleich über 17 Jahren im Versuchsfeld „See-feld“ bei Dabrun

Dabei zeigen sich die größten Differenzen der Messungen bei der Luftfeuchte und der Maximumtemperatur im Bestand. Alle Balken, die > 0 sind, zeigen eine höhere Luftfeuchte um 14 Uhr (vergleichbar mit der mittleren LF) in den dichteren Beständen an. Alle Balken im Diagramm, die < 0 sind, stellen die höhere Maximumtemperatur in dem schlechter entwickelten Bestand dar. Insgesamt zeigt sich, dass die Jahre deutliche Unterschiede zeigen, was gerade ab 2004 immer extremer erscheint. Das kann verschiedene Gründe haben. Es kann zum einen an dem sich stärker ändernden Klima wie in Abb. 3 beschrieben liegen. Es wäre aber auch möglich, dass eine Neukalibrierung der Messsensoren stattgefunden hat und die Werte so noch genauer ermittelt wurden.

Die Analyse der Wetterparameter zeigt, dass die Maximumtemperatur in der geringen BM höher als in der dichteren Bestandsbereichen ist. Ursächlich dafür ist der geringere Bedeckungsgrad, durch den die Erwärmung der durch die Blätter sichtbaren Erdoberfläche stärker ist und damit höhere Temperatur gemessen werden konnte. Die Minimumtemperatur ist in der hohen BM niedriger. Bedingt durch das dichtere Blattwerk erfolgt der Wärmeaustausch nicht so schnell und die nächtlichen Temperaturen werden hier länger gehalten. Die mittlere Temperatur als Differenz zwischen Tmax und Tmin zeigt das gleiche Verhältnis wie die Maximumtemperatur. Die Luftfeuchte um 14 Uhr sowie die durchschnittliche Luftfeuchte sind in der höheren

BM größer als in den dünneren Bestandsbereichen. Das bedeutet, dass aufgrund höherer Feuchte auch längere Blattfeuchten möglich sind und damit Infektionsbedingungen in diesen Bereichen wahrscheinlicher sind.

Damit spielen „der Zustand der Wirtspflanze – Vitalität, Nährstoffversorgung, Exposition zur Sonne, etc. – bzw. deren Heterogenitäten und das Mikroklima [eine große Rolle und] wirken sich modifizierend auf die Art der Ausbreitung im Bestand aus, die zu einer unterschiedlichen Verteilung des Befalls im Bestand führt.“ (STEINER ET AL. 2008) (siehe Abb. 34).

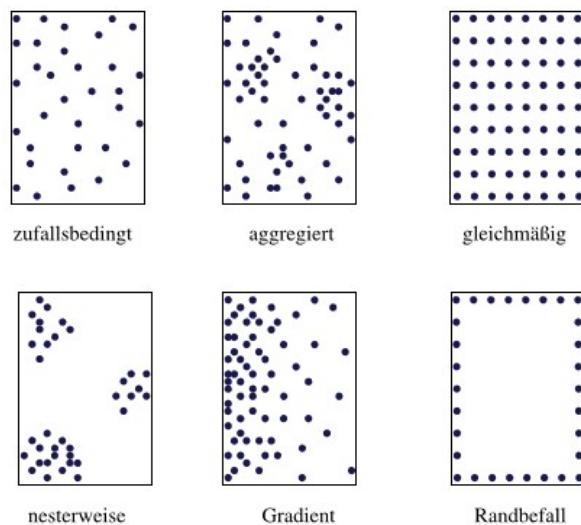


Abbildung 34: Darstellung der Befallsmuster von Krankheiten in einem Pflanzenbestand (STEINER ET AL. 2008)

Dabei kann ein Auftreten der Krankheiten von Erreger zu Erreger verschieden sein. Bei *Puccinia striiformis* spricht man aufgrund der windbürtigen Verbreitung von einem nesterweisen Auftreten. Das kann auch für Erreger der Fall sein, deren Ausgangsinoculum bereits im Bestand vorhanden ist. In variablen Fungizidversuchen von KOCH 1980 & BJERRE 1999 konnte auch für den windbürtigen Echten Mehltau sowie Blatt *Zymoseptoria tritici* an Weizen ein verstärkter Befall an den Rändern bzw. eine Heterogenität des Befalls im Bestand festgestellt werden.

Um hier einen Ansatz für die klimatischen Unterschiede und die Befallsstärke in unterschiedlichen Bestandsdichten zu identifizieren, sollen hier die Ergebnisse der Klimadatenauswertung aus den Weizenjahren 2004 und 2014 dargestellt werden. Denn in den übrigen Jahren standen entweder andere Kulturen auf dem Schlag oder die Bonituren sind nicht vollständig. Dabei werden die drei ertragsrelevanten Blättagen mit ihrem Befall in den unterschiedlichen Bestandsdichten dargestellt (siehe Abb. 35 und 36).

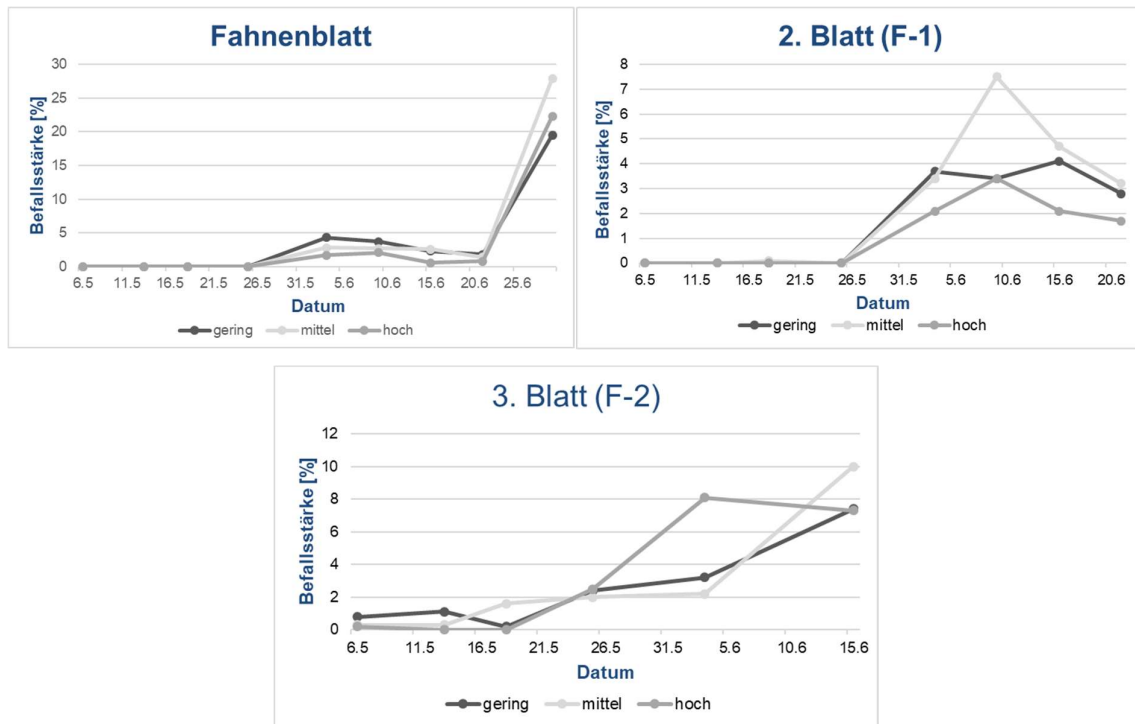


Abbildung 35: Darstellung der Befallsstärke anhand der LAI Klassifizierung 2004, Dabrun

Im Jahr 2004 kamen *Zymoseptoria tritici*, DTR und später Mehltau vor. In Abb. 35 wird deutlich, dass das Krankheitsauftreten hier nicht an einer bestimmten Bestandsdichte festzumachen ist, was sich mit den Aussagen von KOCH 1980 & BJERRE 1999 deckt. Auffällig ist bei allen Blattetagen, dass die geringen und mittleren Bestandsbereich eine höhere mittlere Befallsstärke aufweisen, was mit einer besseren N-Versorgung zusammenhängen kann. Dennoch kann hieraus auch nicht abgeleitet werden in wie weit eine bestimmte Krankheit immer in einer bestimmten BM vorkommt, denn meist kamen die Krankheiten als Mischinfektionen und im Bestand unterschiedlich verteilt vor.

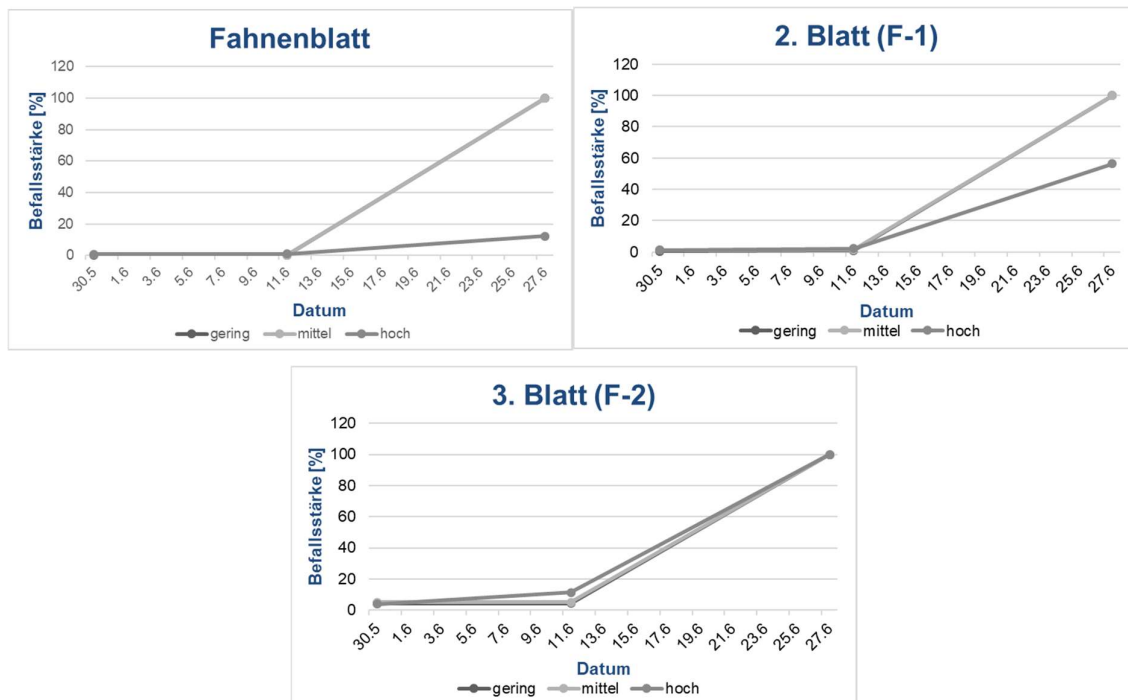


Abbildung 36: Darstellung der Befallsstärke anhand der LAI Klassifizierung 2014, Dabrun

Im Jahr 2014 wurden im Bestand hauptsächlich Gelbrost und *Zymoseptoria tritici* bonitiert. In der Abb. 36 sieht man, dass beide Krankheiten vor allem im geringen und mittleren Biomassebereich stärker vorkamen. Dabei ist der Befall der unteren Blätter stärker, was hier bspw. mit dem Infektionsweg von *Zymoseptoria tritici* begründet werden kann. Die Infektionen sind im unteren Pflanzenbereich bereits gesetzt worden und noch nicht bis auf die oberen Blätter vorgedrungen.

Die hier gezeigten Beispiele lassen keine generelle Aussage über die Höhe der Infektionen in den unterschiedlichen Bestandsbereichen zu, die eine Signifikanz zeigen würden. Zudem ist auch keine Aussage möglich, ob die bevorzugten Infektionsbedingungen aufgrund der Witterung aufgetreten sind. Hierbei hängt es vor allem an den bevorzugten Infektionsbedingungen, Reproduktionszyklen und Ausbreitung der Krankheiten im Bestand ab.

3.2 Darstellung der Boniturergebnisse (Krankheiten, Seneszenz) nach erfolgreicher variabler Applikation 2014-2016

Neben der Verteilung der Krankheiten im Feld ist jedoch die Diagnose dieser am wichtigsten. Um ein zeitliches Auftreten von Erregern zu bestimmen, sind Prognosesysteme, die anhand von Witterungsbedingungen in der Region Infektionsbedingungen voraussagen können, sehr wichtig. Mit Hilfe der expert-Grafiken der Digital Farming GmbH sollen im Folgenden die Infektionsbedingungen der einzelnen Versuchsjahre dargestellt werden, anhand derer eine Behandlungsentscheidung von 2014 bis 2016 möglich war.

Im Prognosesystem wurde die nächstgelegene Wetterstation, hier Wittenberg, ausgewählt. In Form von gelben und roten Punkten für die folgenden acht Krankheiten können günstige und optimale Infektionsbedingungen beschrieben werden.

Krankheiten im Prognosesystem:

- *Blumeria graminis* (DC.) Speer
- *Zymoseptoria tritici*
- *Puccinia triticina* Eriks
- *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler
- *Puccinia striiformis f.sp. tritici*
- *Phaeosphaeria nodorum* (E. Müll.) Hedjar.
- *Pseudocercospora herpotrichoides*
- *Fusarium graminearum* Schwabe

Die Infektionsbedingungen für das Versuchsjahr 2014 sind in Abb. 37 dargestellt.

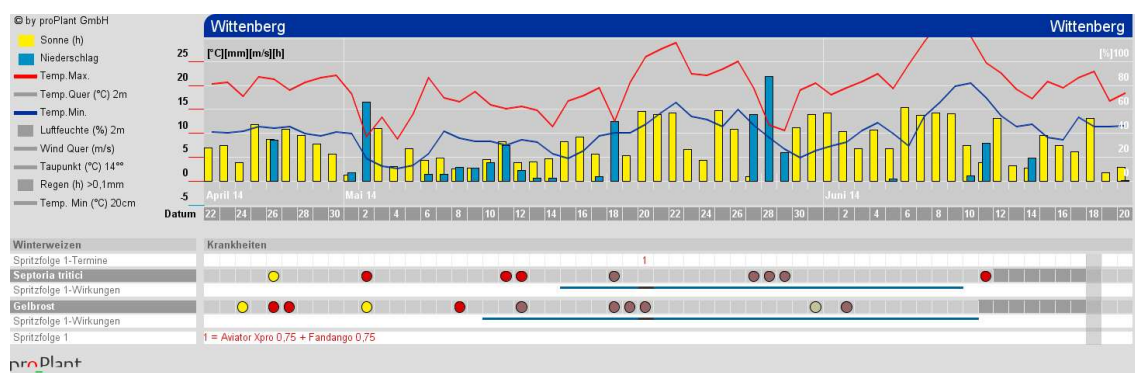
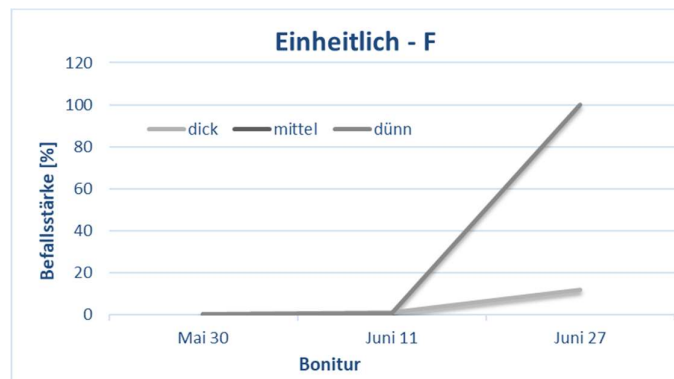
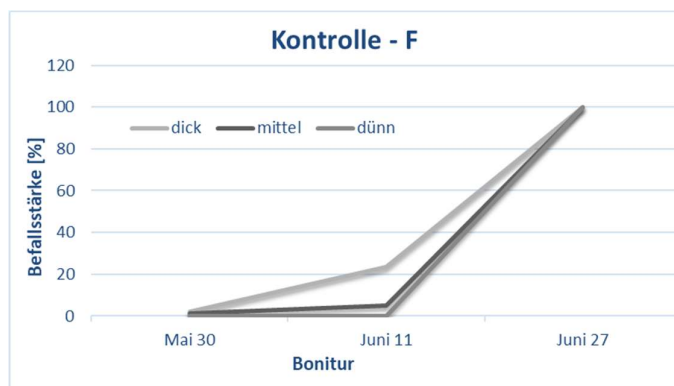


Abbildung 37: expert. Grafik 2014

Wie man sehen kann, sind immer wieder Infektionen in der Saison möglich gewesen, die aber anhand der Bonituren kaum gesetzt wurden. Die Behandlung fand hier am 20. Mai statt und wurde hier gezielt nach Niederschlägen, aber noch vor erneuten Niederschlägen Ende Mai gesetzt. Damit konnten die Infektionen kurativ aber vor allem protektiv (Fahnenblatt bereits vorhanden) bekämpft werden. Gerade bei der Bekämpfung von *Zymoseptoria tritici* sollte zeitnah nach oder gar vor Niederschlägen bei Infektionsdruck aufgrund schlechterer Befahrbarkeit eine Maßnahme durchgeführt werden.

Anhand des LAI konnte eine Unterteilung des Krankheitsauftretens in Bezug auf die Bestandsdichte an den drei Boniturterminen nach der Applikation in dick, mittel und dünn vorgenommen werden. Der Wertebereich des LAI schwankte hierbei zwischen 1.8 und 7.7, womit die Klassifizierung in die jeweilige Stufe möglich war. Das wird in den Abb. 38, 39 und 40 anhand der drei obersten, ertragsrelevanten Blätter dargestellt. Dabei beschreibt F das Fahnenblatt, F-1 das 2. Blatt und F-2 ist das 3. Blatt. Die unbehandelte Kontrolle wird neben den beiden Varianten Blatt für Blatt dargestellt.



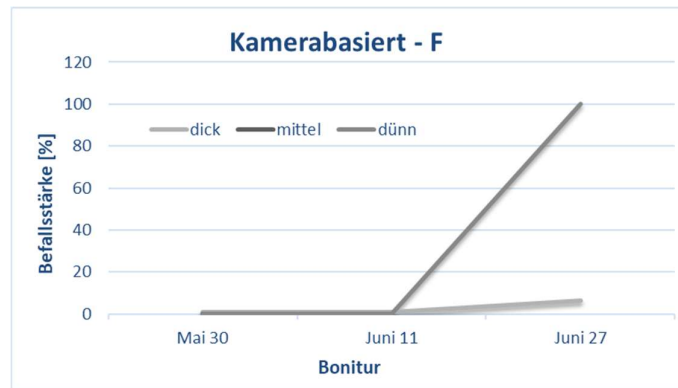


Abbildung 38: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des Fahnenblattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen *Zymoseptoria tritici* und *Puccinia striiformis*), Dabrun

Das Fahnenblatt ist in beiden behandelten Varianten (einheitlich und kamerabasiert) etwa 30 Tage nach der Behandlung noch befallsfrei und das in allen Bestandsdichten gleichermaßen. Damit wurde die gleiche Wirkstoffkonzentration in allen Bereichen appliziert und die Pflanzen wurden optimal geschützt. Zum letzten Termin (etwa 50 Tage nach Applikation) zeigt sich ein leicht höherer Befall in den dichteren Bestandsbereichen in der einheitlich applizierten Variante, was hier aber nicht unmittelbar mit der Applikationsweise zusammenhängt. Vielmehr von Interesse ist, dass die dünnen und mittleren Bestandsbereiche bereits vollkommen seneszent sind. Was auch hier mit der schlechteren Versorgung durch Wasser einhergeht.

Ein ähnliches Bild zeigt sich beim 2. Blatt, wobei hier die Befallsstärke etwas erhöht ist. Ansonsten sind nach der Applikation in beiden Varianten die Befälle etwa 50 Tage nach der Behandlung vergleichbar (siehe Abb. 39).

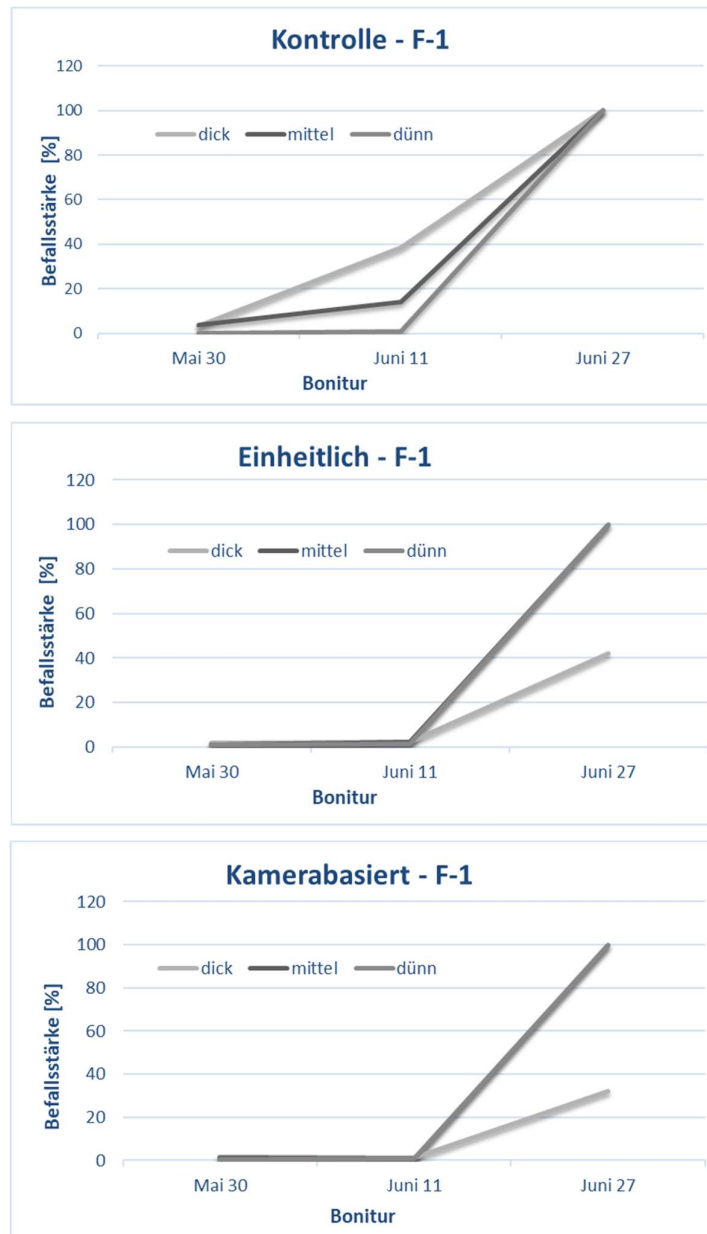


Abbildung 39: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des 2. Blattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen *Zymoseptoria tritici* und *Puccinia striiformis*), Dar-
brun

Auch die Abb. 40 zeigt den Behandlungserfolg der durchgeführten Maßnahme. Zum zweiten Termin (etwa 30 Tage nach der Applikation) zeigt sich in der einheitlichen Variante in den dicken Bestandsbereichen eine Befallsstärke von etwa 10 % im Durchschnitt. Bei der kamerabasierten Variante konnte zum gleichen Zeitpunkt kein Befall ermittelt werden. Das liegt hier nicht an der Behandlungsart, sondern könnte vielmehr an der Blattbenetzung durch das Fungizid in der einheitlichen Variante, durch unterschiedliche Fahrgeschwindigkeit liegen. Sind die

Bestände sehr dicht und die Blattstellung nicht ideal, kann die Benetzung unterschiedlich ausfallen. Das hängt zudem auch stark von der Fahrtgeschwindigkeit ab. Versuche haben gezeigt, dass bei einer Geschwindigkeit von 4 km/h nur eine geringe Reduktion des Fungizids auf F-1 im Vergleich zu F, aber schon 25 % Reduktion auf F-2 im Vergleich zum F mit sich bringt. Bei der praxisüblichen Geschwindigkeit von 8 km/h wurde eine Reduktion auf F-2 von 60 % im Vergleich zum Fahnenblatt gefunden (OLESEN ET AL. 2008); d.h. eine zu geringe Aufwandmenge sollte aufgrund der Resistenzvermeidung nicht verwendet werden.

Zum letzten Termin waren die drei Blätter in allen Varianten bereits seneszent und zum Teil konnte optisch keine Unterscheidung mehr zwischen Seneszenz und Krankheitsbefall durchgeführt werden.

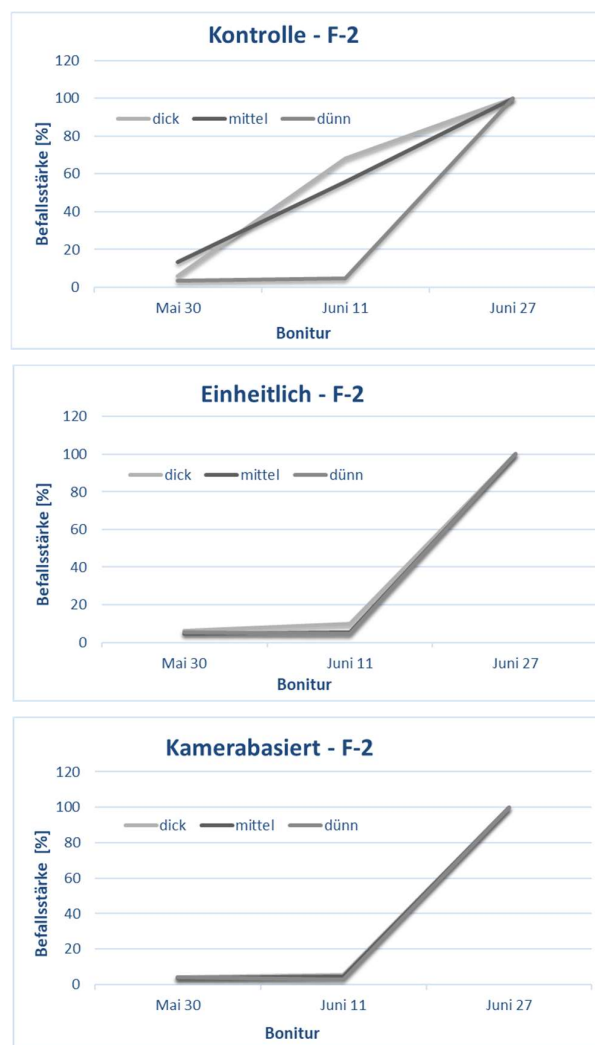


Abbildung 40: Darstellung durchschnittliches Krankheitsauftreten 2014 des 3. Blattes in den verschiedenen Varianten (Mischinfektionen *Zymoseptoria tritici* und *Puccinia striiformis*), Darbrun

Die Bonituren zeigen ganz deutlich wie sich Krankheiten im Bestand generell ohne eine Behandlung auf der einen Seite entwickeln und wie sich auf der anderen Seite die Erregerentwicklung zwischen den Bestandesdichten unterscheiden kann. Dabei zeigt sich auch, dass die Fungizidmaßnahme einen gewissen Greening Effekt aufwies, sodass zum Beispiel die Vegetationsperiode der oberen beiden Blätter verlängert wurde. Deutlich erkennbar war, dass die variable Applikation mit standortangepassten Aufwandmengen die Krankheiten in der gleichen Qualität wie die einheitliche Applikation bekämpfen konnte und das bei einem Einsparungseffekt von 8 % im Versuchsjahr 2014 über das gesamte Feld (TACKENBERG ET AL., 2016). Damit führte die variable Applikation zu keinem höheren Infektionsdruck und war erfolgreich.

Der Befall der unbehandelten Variante beginnend beim 3. Blatt und dann aufsteigend bis zum Fahnenblatt folgt dem normalen Infektionsweg (Internetquelle Nr. 13) von *Zymoseptoria tritici*, wobei es sich bei den Bonituren meist um eine Bonitur von Mischinfektionen handelte.

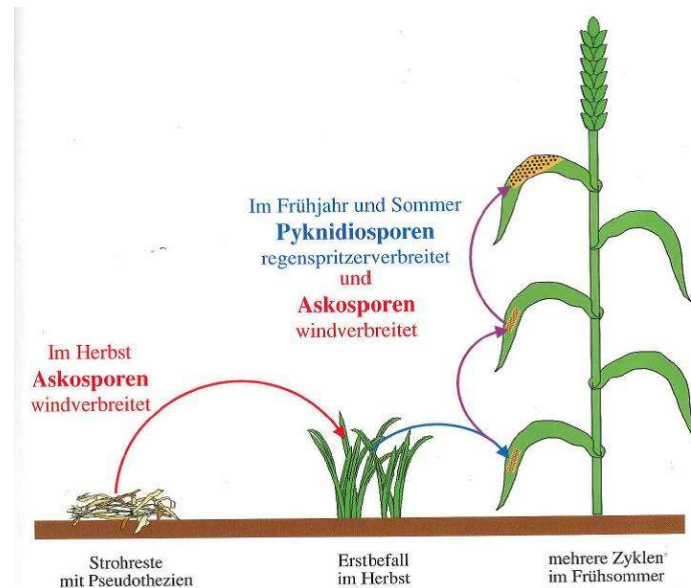


Abbildung 41: Verbreitung von *Zymoseptoria tritici* im Bestand

Die Ausbreitung der Sporen von *Zymoseptoria tritici* erfolgt durch Regenspritzer oder Wind auf die nächst höheren Blattetagen. Wird nach günstigen Infektionsbedingungen keine Fungizidmaßnahme durchgeführt, ist ein verfrühtes Absterben der Pflanze mit Ertragseinbußen vorprogrammiert. Aus diesem Grund sollte man hier auf die kurative und vor allem protektive Wirkung von Fungiziden mit einer ausreichenden Wirkungsdauer zurückgreifen. Neben der Wirkung des Fungizids ist vor allem der Termin einer Applikation wichtig. Optimal ist die Applikation nahe eines Infektionsereignisses mit der richtigen Aufwandmenge.

Die Infektionsbedingungen 2015 zeigen, dass Krankheiten eine geringere Rolle gespielt haben (siehe Abb. 42). Die Applikation wurde am 05.06.2015 durchgeführt. Aufgrund geringen Krankheitsauftretens war diese Maßnahme die Abschlussbehandlung und wurde hier passend platziert, um die Infektionen durch den folgenden Niederschlag noch zu bekämpfen bzw. die Pflanzen in diesem Fall zu schützen.

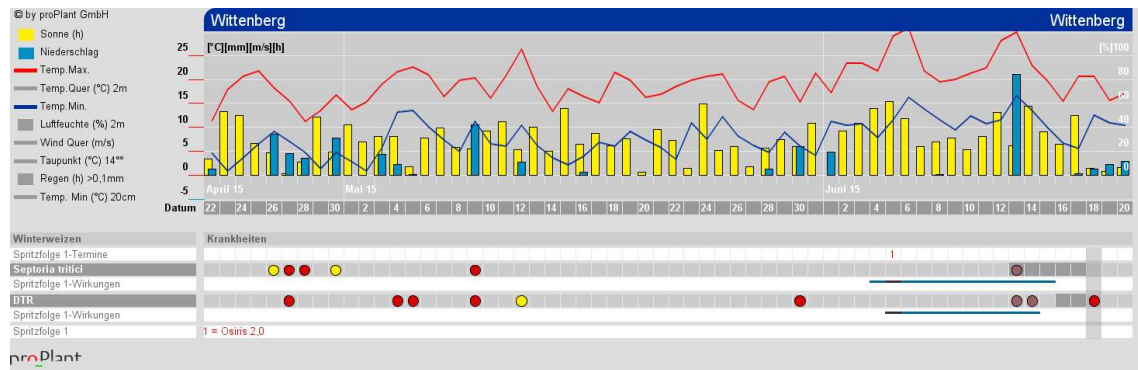


Abbildung 42: expert. Grafik 2015

Im Versuchsjahr 2015 wurden weniger Pflanzenparameter erhoben, jedoch wurde der DG detektiert, um die variable Applikation durchzuführen. Die Aufzeichnung des DG zeigte eine hohe Heterogenität im Bestand von Versuch 1 und 2 (siehe Abb. 28 und 29), wohingegen der Versuch 3 deutlicher homogener war. Die daran angepasste Fungizidmenge konnte im Vergleich zu einer einheitlichen Applikation im Versuch 1 und 2 Einsparungen um 44 % und 45 % erbringen. Im Versuch 3 konnte lediglich 1 % Spritzbrühe eingespart werden, da die variable Applikation nahezu konstant (200 l/ha) aufgrund hoher DG war (TACKENBERG ET AL., 2017). Dass die lineare Anpassung der Applikationsmenge an die detektierten Sensorwerte funktioniert hat, zeigt die signifikante lineare Beziehung ($p \leq 0.05$) anhand von zehn Probeentnahmestellen entlang des variabel applizierten Streifens (siehe Abb. 43).

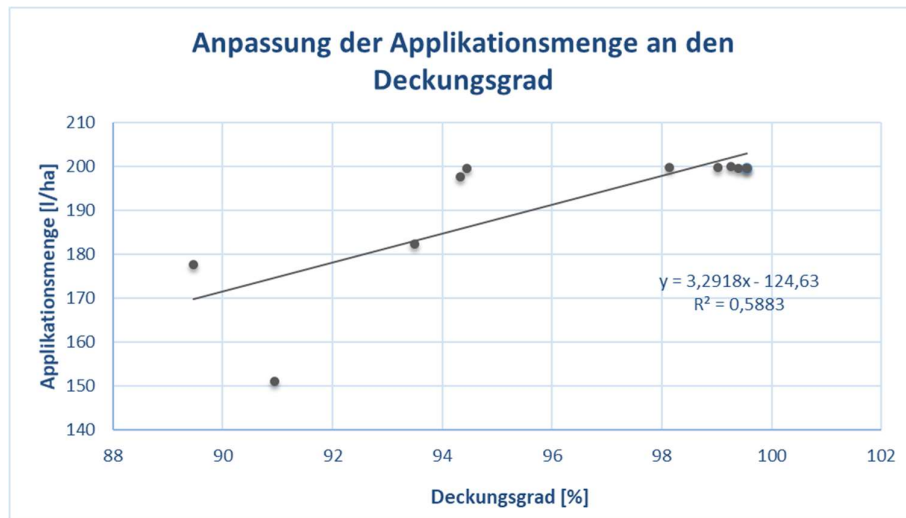


Abbildung 43: linearer Zusammenhang zwischen Applikationsmenge und kamerabasiertem DG 2015

In den folgenden Abbildungen werden die Bonituren auf Seneszenz in den drei Feldversuchen dargestellt, da Krankheiten aufgrund der Trockenheit kaum eine Rolle spielten. An den vier Boniturterminen nach der Applikation (08.06.; 16.06.; 24.06.; 01.07.) wurden seneszente Blätter (Fahnenblatt, F-1, F-2) im Vergleich unbehandelt zu behandelt und in der unbehandelten Kontrolle anhand des LAI in geringe, mittlere und hohe Bestandsdichte eingeteilt und dargestellt.

Vergleicht man die Kontrolle mit den beiden Varianten, dann zeigt sich deutlich der Effekt, den das Fungizid auf die Pflanzenvitalität hat (siehe Abb. 44, 45 und 46). In den drei Versuchen ist die unbehandelte Kontrolle deutlich früher seneszent. Dabei ist das 2. Blatt bereits 2,5 Wochen nach der Applikation in der Kontrolle abgestorben.

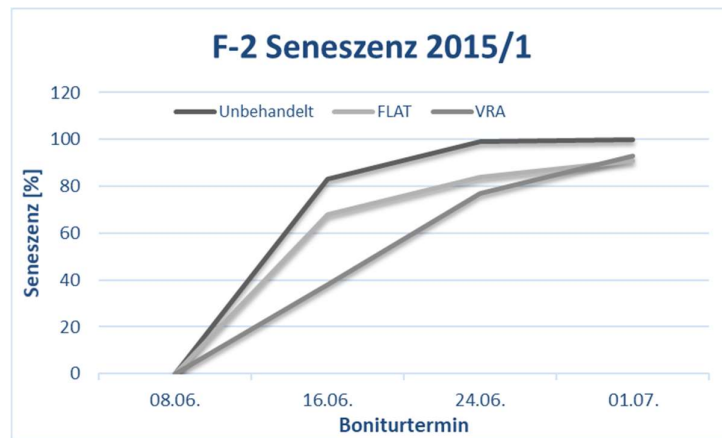
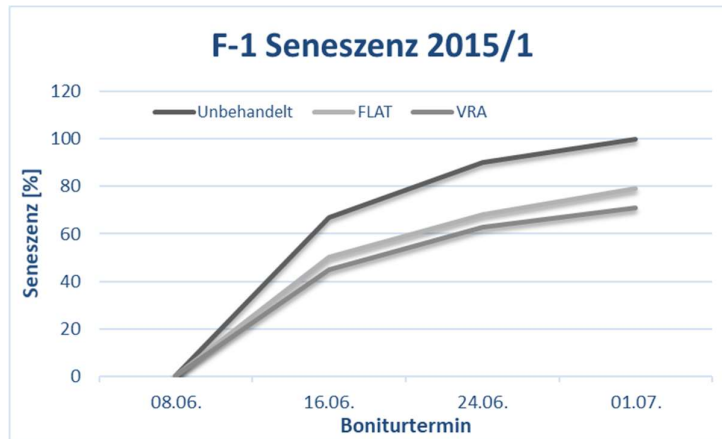
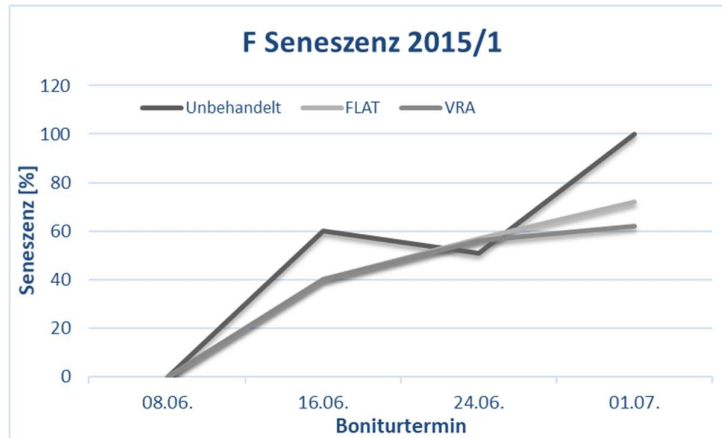


Abbildung 44: Seneszenzbonitur Versuch 2015/1 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante

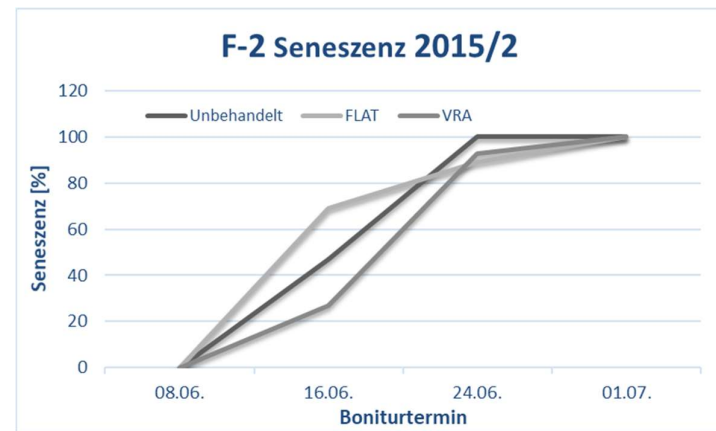
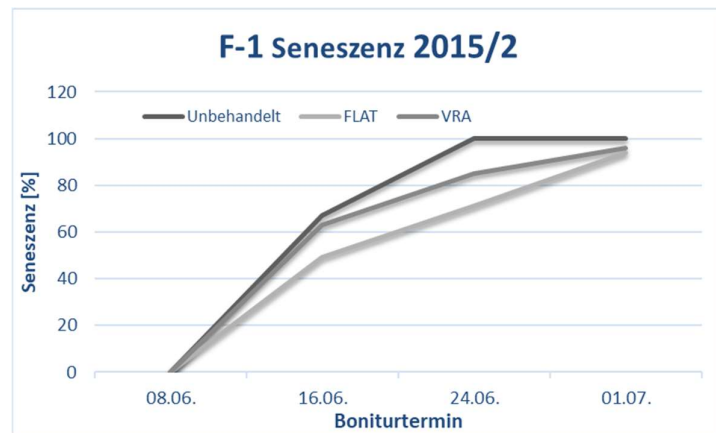
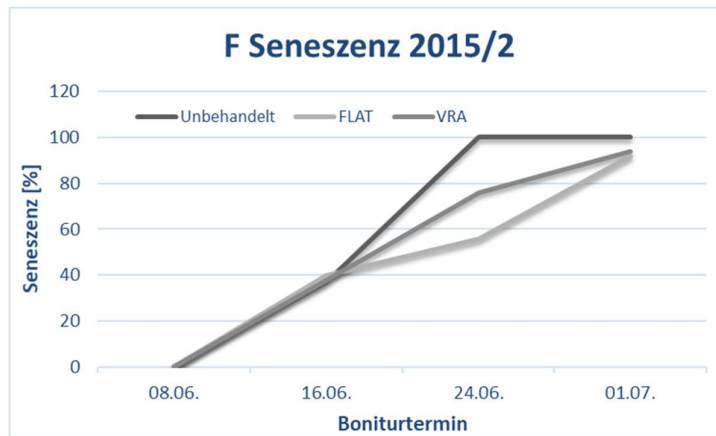


Abbildung 45: Seneszenzbonitur Versuch 2015/2 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante

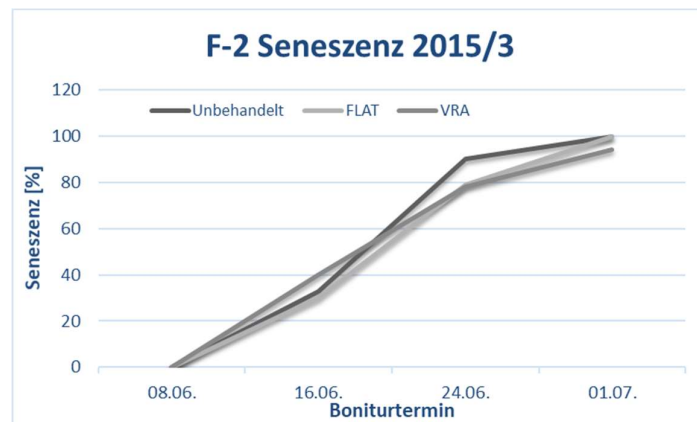
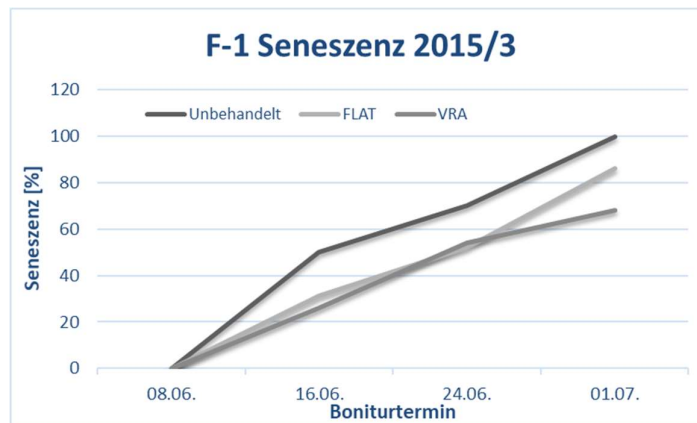
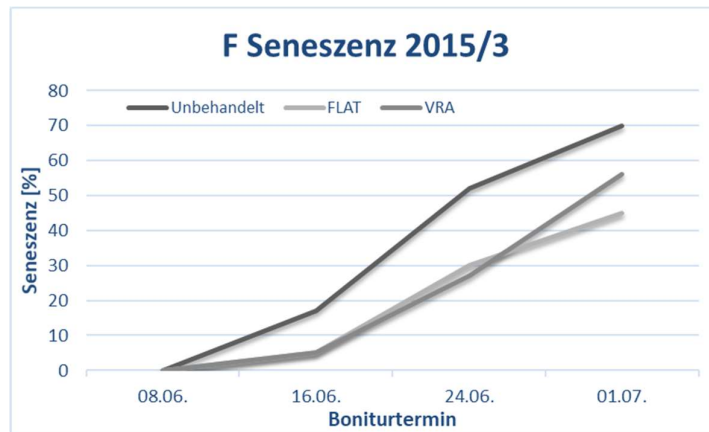


Abbildung 46: Seneszenzbonitur Versuch 2015/3 Vergleich Kontrolle zur FLAT und VRA Variante

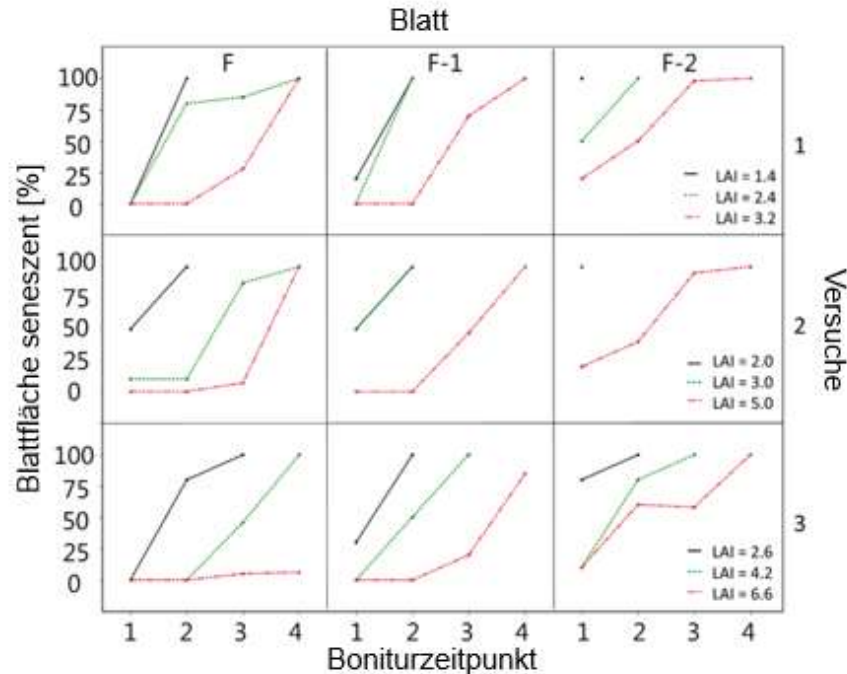


Abbildung 47: Darstellung seneszenten Blattfläche [%] der verschiedenen Blattetagen in der unbehandelten Kontrolle in unterschiedlichen LAI Bereichen zu vier Terminen 2015

Die Grafik zeigt anhand von Boniturpunkten in der unbehandelten Kontrolle, dass die dünneren Bestandsbereiche deutlich eher seneszent (2,5 - 3 Wochen) waren. Das ist auch mit den Bonituren aus den Spritzversuchen vergleichbar. Bei einem höheren LAI und damit einem dichteren Bestand konnte die Seneszenz erst zum letzten Termin festgestellt werden. Aufgrund der Bodenunterschiede können in sandigeren Bereichen die Pflanzen schneller abreifen, als in lehmigen Bereichen (DAMMER, 2005).

Zum Zeitpunkt der Abreife des Bestandes kamen vereinzelt noch *Zymoseptoria tritici* und DTR im Bestand vor, die hier aber aufgrund der bereits fortgeschrittenen Seneszenz kaum zu größeren Verlusten des Ertrages geführt haben sollten.

Insgesamt war das Krankheitsauftreten auch in 2015 gering bis mittel, weshalb 2016 Versuche erneut unter anderen Witterungsbedingungen und damit Krankheitsdruck durchgeführt werden sollten.

Doch schon die Infektionsgrafik (siehe Abb. 48) zeigt, dass es kaum Infektionsbedingungen im Jahr 2016 aufgrund starker Trockenheit gab. Auch in diesem Jahr hatten die Pflanzen deutlich unter Trockenstress gelitten. Die Behandlung wurde am 30.05.2016 durchgeführt und konnte damit die Infektionen weitestgehend bekämpfen. Die Aufzeichnung des DG zeigte die Heterogenität im Bestand (siehe Abb. 32). Die daran angepasste Fungizidmenge konnte, im

Vergleich zu einer einheitlichen Applikation, um 12 % eingespart werden (TACKENBERG ET AL., 2017).

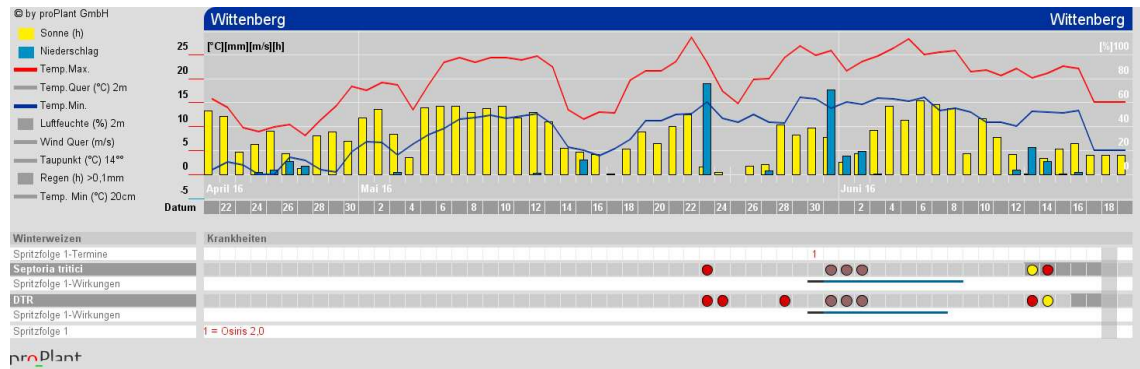


Abbildung 48: expert. Grafik 2016

An zwei Terminen wurden Bonituren (eine Woche und drei Wochen nach der Applikation) im Versuchsfeld durchgeführt (siehe Abb. 49).

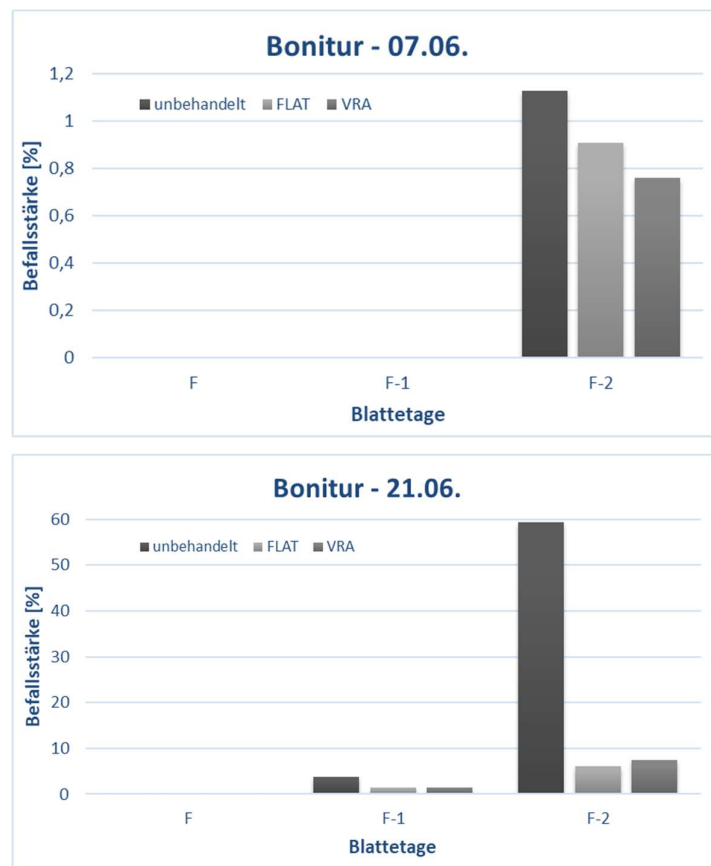


Abbildung 49: Darstellung Infektionsbedingungen 2016 (TACKENBERG ET AL. 2017)

In der Abb. 49 ist ersichtlich, dass die Blätter nach der Applikation frei von Krankheiten waren. Zu einem späteren Zeitpunkt kamen dann vor allem *Zymoseptoria tritici* und DTR im Bestand vor. Wie schon zuvor sind in den Grafiken Mischinfektionen beider Krankheiten dargestellt. Zudem trat schon bei der letzten Bonitur verstärkt Seneszenz auf. Die Pflanzen in der unbehandelten Kontrolle zeigten deutlich schneller seneszenten Blattverbräunungen, die bei den beiden Varianten aufgrund des Greening Effekts etwas später eintraten. In Abb. 50 wurden erneut zehn Boniturspunkte der unbehandelten Kontrolle genutzt, um anhand der Bestandsklassifizierung die Befallsstärke zu beschreiben.

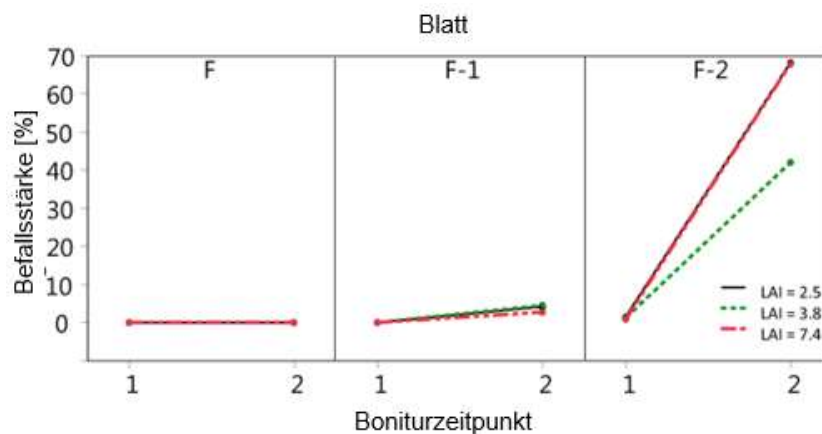


Abbildung 50: Darstellung der Befallsstärke [%] der verschiedenen Blattetage in der unbehandelten Kontrolle in unterschiedlichen LAI Bereiche zu zwei Terminen 2016 (TACKENBERG ET AL. 2017)

Die Abb. 50 zeigt, dass das Fahnenblatt frei von Krankheiten war. Bei F-1 ist der Befall in denen als geringere BM klassifizierten Bereichen leicht höher (um 10 %). Das 3. Blatt (F-2) zeigt zum 2. Termin bereits eine Befallsstärke von 70 % und das vor allem im hohen und geringen Bestandsbereich.

In Tab. 11 wird die mittlere Differenz der Seneszenz (Versuche 2015) und der Befallsstärke (Versuch 2016) zwischen der kamerabasierten und einheitlichen Applikation mittels Wilcoxon Rangsummentest gezeigt (TACKENBERG ET AL., 2017).

Tabelle 11: Darstellung der mittleren Differenz der Befallsstärke und Seneszenz mittels Wilcoxon Rangsummentest (N = 10) (TACKENBERG ET AL. 2017)

Jahr	Boniturdatum	Blatt	Diff. Krankheit/Seneszenz	P-value
2015/1	08.06.	F	0	0,500
		F-1	0	0,250
		F-2	5	0,469
	16.06.	F	0	1,000
		F-1	0	1,000
		F-2	0	0,562
	24.06.	F	0	1,000
		F-1	0	0,625
		F-2	0	0,625
	01.07.	F	0	0,125
		F-1	0	0,625
		F-2	0	1,000
2015/2	08.06.	F	0	1,000
		F-1	15	0,742
		F-2	20	0,344
	16.06.	F	0	1,000
		F-1	0	0,625
		F-2	0	0,812
	24.06.	F	0	0,438
		F-1	-3	0,437
		F-2	0	0,625
	01.07.	F	0	0,375
		F-1	0	0,312
		F-2	0	1,000
2015/3	08.06.	F	0	1,000
		F-1	0	0,625
		F-2	0	0,891
	16.06.	F	0	1,000
		F-1	0	0,688
		F-2	0	0,719
	24.06.	F	-0,5	0,754
		F-1	-3	0,410
		F-2	0	0,742
	01.07.	F	-0,5	0,438
		F-1	-33,5	0,062
		F-2	0	1,000
2016/1	07.06.	F	0	1,000
		F-1	0	1,000
		F-2	-0,15	0,025
	21.06.	F	0	1,000
		F-1	0,15	0,613
	F-2	-0,5	0,035	

Mit diesem Test wird geprüft, in wie weit die unabhängigen Stichproben der beiden Applikationsvarianten sich bezüglich des Mittelwertes unterscheiden. Für die Analyse wurden zehn Stichprobenpunkte auf die Signifikanz $p \leq 0.05$ untersucht.

In den Versuchen 2015 zeigt sich, dass die mittlere Differenz der seneszenten Blattfläche zwischen variabler und einheitlicher Variante fast immer Null war und damit keine Signifikanz aufweist.

Auch 2016 zeigten die Bonituren der oberen Blätter keine Signifikanz zwischen den Befallsstärken der beiden Applikationsvarianten.

Generell kann man zusammenfassend sagen, dass in allen drei Versuchsjahren keine Unterschiede zwischen der einheitlich und der variabel behandelten Variante existieren. Die

sensorbasierte Applikation hat nicht zu einem höheren Krankheitsdruck oder einer schnelleren Krankheitsausbreitung geführt. Dieses mehrjährige Ergebnis ist sehr gut und unterstreicht an dieser Stelle die Sinnhaftigkeit einer variablen Applikation deutlich. Auch konnten in keinem Jahr aufgrund der Witterungsbedingungen Ährenkrankheiten festgestellt werden, selbst wenn es sich bei der variablen Applikation um die Abschlussbehandlung gehandelt hat. Der Anstieg von Infektionen nach einer durchgeführten Applikation hängt mit dem Wirkungsverlust des Fungizids und neuen Infektionsbedingungen zusammen. Jedoch besteht ein großer Vorteil der sensorbasierten variablen Applikation, dass Fungizide unter bestimmten Bedingungen eingespart werden können, ihre Wirksamkeit dennoch nicht verlieren und Krankheiten gut kontrolliert werden. Zudem wird damit Sorge getragen, dass Pflanzenschutzmittel sinnvoll ausgebracht werden und nicht unnötig zu Boden gehen, um hier Mikroorganismen mehr als nötig negativ zu beeinflussen. Dies hat deutliche ökologische und ökonomische Vorteile und trägt dazu bei die in Zukunft verstärkt auftretenden Probleme und Herausforderungen für die Landwirtschaft zu lösen bzw. einen Teil für deren Erfüllung beizutragen.

3.3 Darstellung der Ertragsergebnisse nach erfolgreicher variabler Applikation 2015-2016

Neben den Bonituren zur Pflanzenparameter- und Krankheitsbestimmung wurde auch der Ertrag in den Versuchsjahren 2015 und 2016 durch Ertragskartierung aufgenommen und konnte ausgewertet werden. In den Auswertungen zwischen sensorbasierter und einheitlicher Applikation wurden in den Jahren 2015 und 2016 etwa 2667 Ertragsunterschiede gefunden. Diese Unterschiede wurden mit Box-Whisker Plot in Abb. 51 dargestellt.

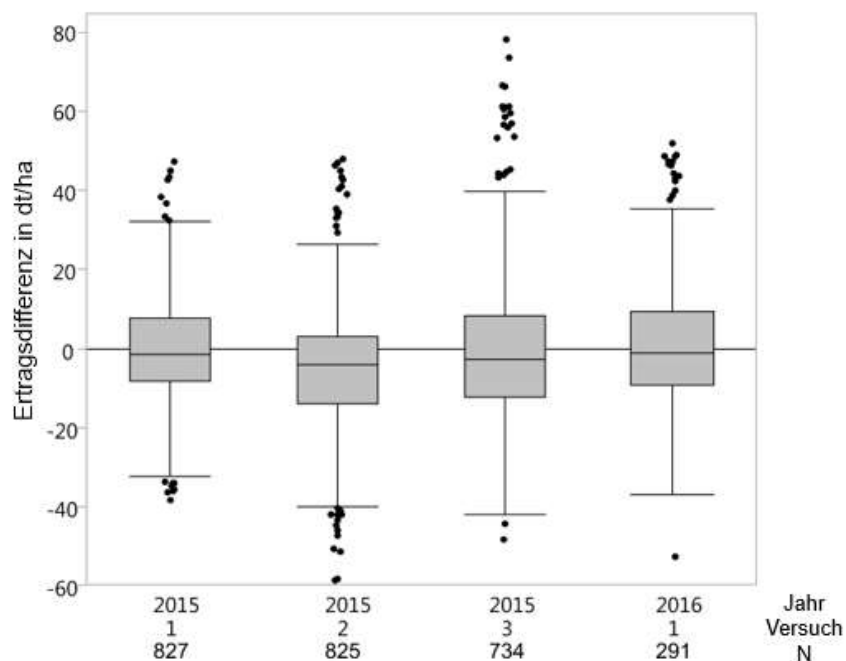


Abbildung 51: Darstellung der Ertragsdifferenz zwischen kamerabasierter und einheitlicher Variante in drei Versuchen 2015 und einem Versuch 2016

Die Normalverteilung der Ertragsdifferenzen in beiden Versuchsjahren sind deutlich erkennbar und können hier gut dargestellt werden. Dabei lagen die Differenzen meist bei dem Wert Null, was schon hier den Schluss zulässt, dass die Unterschiede des Ertrages zwischen beiden Varianten nicht groß sein können. Die Ergebnisse der mittleren Differenzen werden zudem in Tab. 12 dargestellt.

Tabelle 12: Mittlere Ertragsdifferenz der kamerabasierten und einheitlichen Applikationsvariante, *Signifikanz $p \leq 0.05$

	Jahr-Versuch			
	2015-1	2015-2	2015-3	2016-1
N	827	825	734	291
Mittlere Diff.	-0.517	-5.18	-1.0	1.4
p-Wert	0.251	<0.0001*	0.130	0.167

Die analysierte Differenz zeigt, dass es bis auf den Versuch zwei im Jahr 2015 keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Varianten im Hinblick auf den Ertrag gab. Das bedeutet, dass die kamerabasierte Applikation die Bestände genauso geschützt hat, sodass es keine Ertragsverluste gegeben hat bzw. auch die Witterungsbedingungen zu diesem generellen Ertragsergebnis geführt haben. Ein Vergleich mit dem Ertrag der unbehandelten Kontrolle ist aufgrund der geringen Größe des Spritzfensters (15 m) nicht möglich. Um hier Auswertungen zu machen, hätte die Kontrolle eine vergleichbare Ausdehnung (Fahrspur) wie die Applikationsvarianten benötigt. Das Risiko konnte im Versuch nicht eingegangen werden, da damit ein sehr großes Ausgangsinoculum für die kommenden Jahre geschaffen werden würde. Jedoch werden die Ertragsverluste ohne Pflanzenschutzmaßnahmen auf 57 % geschätzt (ZWERTGER ET AL., 2004).

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Die mehrjährigen Aufnahmen der Klimadaten in den Bestandsbereichen sowie die mehrjährigen Applikationsversuche haben die Unterschiede und Wichtigkeit der Witterung auf die Bestandsgesundheit und damit den sinnvollen Einsatz von Pflanzenschutzprodukten mit neuartigen Lösungsansätzen wie Sensoren nach guter fachlicher Praxis aufgezeigt. Aufgrund der in dieser Arbeit beschriebenen Unterschiede im Bestand durch die Heterogenität eines Bestandes ist auch eine heterogene Bewirtschaftung des Feldes sinnvoll.

Die Darstellung der Klimadaten sowie die Darstellung der Witterung durch die expert.Grafiken haben gezeigt, dass es jedes Jahr klimatische Unterschiede aufweist, die sich wiederum sehr unterschiedlich auf die Pflanzengesundheit auswirken können. Angefangen beim Mikroklima im Bestand, über kleinräumige Witterungsereignisse bis hin zu großflächigen Erscheinungen. Somit kann es einen Einfluss auf Infektionsbedingungen in unterschiedlichen Bestandsdichten geben die Krankheiten wie Mehltau oder Roste in ihrer Befallsstärke beeinflussen. Durch kleinräumige Witterungsereignisse wie partielle Niederschläge können nebeneinander liegende Felder mit sonst gleichen Bedingungen ein unterschiedlich starkes Schädlingsauftreten zeigen. Zu großflächigen Witterungserscheinungen zählen Wassermangel, Dauer-/Starkregen, Trockenstress, Hitze u.v.m. Diese können wiederum die Saison, damit die Pflanzengesundheit und letztlich den Ertrag stark beeinflussen. Da Witterungsschwankungen regionsspezifisch sind, sind sie schwer vorherzusagen und kaum zu ändern. „Hitzetage in der Vegetationsperiode werden künftig zunehmen. Mit der Hitze nimmt dann auch die Trockenheit zu. Diese Tendenz war laut Deutschem Wetterdienst bereits in den letzten 50 Jahren zu beobachten.“ (Internetquelle Nr. 14). Deshalb ist es umso wichtiger, die pflanzenbaulichen Voraussetzungen (Sorte, Aussaat, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung), die Infektionsbedingungen oder auch mikroklimatischen Besonderheiten der Pilze genauestens zu kennen. Dabei ist eine genaue Determinierung der klimatischen Unterschiede im Bestand und damit die Bestimmung der Krankheitsverteilung hilfreich, denn unter bestimmten Bedingungen können sich Pathogene über größere Distanzen hinweg verteilen (BROWN ET AL. 2002).

Hierzu gibt es u.a. Untersuchungen, die sich mit den Potentialen von Multispektral Remote Sensing beschäftigen, um so infizierte von nicht infizierten Bestandsbereichen zu unterscheiden (FRANKE ET AL. 2007), oder auch Untersuchungen zur gleichzeitigen Identifikation von Pflanzenstress und Krankheiten unter Nutzung von 'proximal optical sensing' (MOSHOU ET AL. 2006) wurden durchgeführt. Auf diesem Gebiet sind jedoch weitere Forschungen sinnvoll und nötig, da mit neuen Techniken auch neue Erkenntnisse dazu erworben werden könnten.

Bringt man dann das Wissen um den Erreger sowie die Besonderheiten des Bestandes zusammen, ist es möglich, noch besser teilflächenspezifisch auf diese Heterogenitäten im Feld zu reagieren.

Die noch immer gängige Praxis von einer Aufwandmenge auf dem ganzen Feld trotz Variabilität in diesem ist für die Zukunft noch einmal zu überdenken. Die Potentiale einer variablen Applikation gegenüber einer Einheitlichen sind deutlich erkennbar. Durch den Einsatz von Fungiziden, angepasst an die Bestandsdichte, können Pflanzenschutzmittel eingespart werden und das unter voller Kontrolle der Krankheiten. Die Wirksamkeit des Fungizids wurde durch die variable Applikation nicht reduziert. Werden Fungizide zum optimalen Termin und der richtigen Aufwandmenge variabel ausgebracht, können Resistenzen vermieden werden.

Es existieren bereits vielfältigen Möglichkeiten, die aus technischer aber auch pflanzenbaulicher Sicht zur Verfügung gestellt werden. So sind bereits heute Saatmaschinen technisch in der Lage, Saatgut variabel auf dem Feld je nach Bodenunterschieden auszubringen. Dafür ist jedoch klare Voraussetzung, den Boden, seine Beschaffenheit und Zusammensetzung seines Feldes zu kennen und zu verstehen. Hierzu könnten Bodenproben über die Verteilung der Bodentypen im Feld hilfreich sein, womit die Heterogenität im Feld besser beschrieben werden kann. Diese Information kann dann wiederum für den Feldaufgang und die darauffolgende Düngung genutzt werden. Schon heute wird mit Hilfe des Yara N-Sensors variabel je nach Bestandsdichte ausgebracht, denn „wechselnde Bodeneigenschaften und variierende Wachstums-Bedingungen führen zu einer Differenzierung des Stickstoff-Düngebedarfs in einem Pflanzenbestand“ (Internetquelle Nr. 15). Dabei werden durch spektrale Messungen die Reflektion unterschiedlicher Bestandsdichten detektiert und daran angepasst der Dünger ausgebracht. Durch Regelfunktionen und Bestimmung der minimalen Menge wird dem Bordcomputer mitgeteilt, was als Sollmengen und reduzierte Mengen ausgebracht werden soll. Neben Düngern werden von einigen Landwirten zudem bereits Wachstumsregler variabel ausgebracht. Dazu wird zusammen mit N-Sensor und Wachstumsreglermodul die empfohlene Aufwandmenge je nach Bestandszustand ausgebracht. Dabei kann es in sehr schlecht entwickelten Beständen zu einer starken Reduzierung oder dem Herunterregeln auf 0 l/ha der Wachstumsreglermenge kommen (Internetquelle Nr. 9). Mit den hier bereits genutzten variablen Applikationstechniken zeigt sich, dass auf Heterogenitäten im Bestand Einfluss genommen wird und es wichtig scheint, auf diese auch mit richtiger Dosis und Variabilität zu reagieren. Das macht aus ökologischer und ökonomischer Sicht viel Sinn, denn wenn es immer wieder zu Umweltschädigungen durch Pflanzenschutzmittel kommt oder in Zukunft mehr Gesetze erlassen werden, um Reduzierungen oder gar Verbote zu verhängen, wird die Landwirtschaft zukünftig deutlich erschwert.

Aus diesem Grund ist das Handeln nach guter fachlicher Praxis mehr denn je nötig und kann zukünftig durch variable Applikationen in Kombination mit an die Situation angepasste Aufwandmengen unterstützt werden. Aus technischer Sicht sind Pflanzenschutzspritzen durch Teilbreitenschaltung und zukünftig auch durch Einzeldüseneinspeisung (z.B. Section Control Top von Müller Electronis – Internetquelle Nr. 16) fähig, Fungizide noch präziser teilflächenflächenspezifisch zu applizieren. Auch die im Versuch genutzte Damman Spritze mit Vario Select System hat gezeigt, dass mit unterschiedlichen Düsen eine variable Applikation erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Zudem lassen Premiumprodukte bei den Fungiziden aufgrund der guten Wirkung und Effizienz eine gewisse Variabilität zu, um so auch bei einer Reduzierung noch sehr gute Wirkungen gegen die Erreger zu erzielen. In Zukunft gilt es, die wirklichen Abbruchkriterien hinsichtlich des Wirkungsverlustes anhand von Aufwandmengenuntergrenzen der Fungizide zu bestimmen. Des Weiteren sollte die Verwendbarkeit von Pflanzenschutzmitteln bei einer variablen Applikation im Hinblick auf kritische Erreger (z.B. Warrior-Rassen bei Gelbrost) beschrieben werden, sodass in solchen Fällen wohl eher auf den Einsatz voller Aufwandmengen oder nur bestimmter Produkte gesetzt werden muss.

Die Definition von Untergrenzen bei den Aufwandmengen zur Vermeidung von Resistenzen ist nötig, denn in den letzten 30 Jahren sind bereits Wirkstoffgruppen aufgrund der Resistenzentwicklung bei einigen Erregern wie bspw. *Zymoseptoria tritici* (siehe Abb. 52) ermittelt wurden.

Zeitraum des Auftretens	Art
Mitte der 1980er	E198A im beta-Tubulin-Gen vermittelt vollständige Resistenz gegen BCM-Derivate, die bis heute besteht
2002 - 2004	G143A Basensubstitution in Septoria bewirkt einen vollständigen Wirkungsverlust der Strobilurine
2015 - 2017	Berichte über die Entdeckung hochgradig SDHI-resistenter Septoriatypen in Praxisschlägen
1990 bis heute	fortschreitender Wirkungsverlust der Triazole durch verschiedene Basensubstitutionen im CYP-51-Gen

Abbildung 52: Auftreten von Resistenzen der *Zymoseptoria*-Blattdürre gegenüber unterschiedlichen Gruppen fungizider Wirkstoffe im Zeitverlauf (JONAS, 2017)

Eine Entwicklung neuer Wirkstoffe ist sehr langwierig und schwierig. Aus diesem Grund sollten die noch bestehenden Wirkstoffe so lange wie möglich geschützt werden. Das schafft man zum einen mit der beschriebenen Kennzeichnung, aber auch mit dem sinnvollen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. So kann es bei Behandlungen mit immer gleichen Aufwandmengen oder gleichen Wirkstoffen zu Sensitivitäten von Erregern kommen. Bei Wahl einer zu geringen

Aufwandmenge bei einer einheitlichen Behandlung können Bereiche mit hoher BM und damit hohem Infektionsdruck nicht optimal geschützt werden. Der stärkere Befall der dichteren Bestände konnte in den Spritzversuchen anhand der Einteilung in unbehandelt und behandelte Varianten (kamerabasiert vs. einheitlich) dargestellt werden. Man sollte daher darauf achten, diese Bereiche mit einer optimalen Menge zu versorgen. Bei Wahl einer zu hohen Aufwandmenge in bereits seneszenten oder dünnen Bereichen geht das Pflanzenschutzmittel ungenutzt zu Boden und Einsparungen sind so nicht möglich. Beides kann letztlich zu höheren Ertragsverlusten (durch Pflanzenstress) oder Kosten führen.

Insgesamt spricht das für die Vorteile einer variablen Applikation in Kombination mit einem Prognosesystem für den optimalen Applikationstermin. Das haben die mehrjährigen Applikationsversuche im Winterweizen gezeigt (2014 - 2016). Mit Hilfe existierender Prognosemodelle werden die Witterungsdaten regelbasiert (Bestimmung von Infektionsbedingungen) ausgewertet und das Infektionspotential eines Feldes aufgrund der Sorte, Aussaat und Vorfrucht eines Betriebes oder gar einer Region analysiert. Dazu werden neben gemessenen Wetterdaten auch die zukünftig vorhergesagte Witterung ausgewertet mit deren Hilfe aktuelle Infektionen prognostiziert werden. Anhand dieser Informationen können in der Praxis optimale Applikationstermine gefunden werden, an denen aufgrund der fungiziden Wirkung eine Bekämpfung der gesetzten Infektionen möglich ist. Wird neben der Produktwahl noch eine für die jeweilige Situation passende Aufwandmenge des Produktes empfohlen, kann diese variabel über die unterschiedlich detektierten Managementzonen ausgebracht werden. Für die Bestimmung dieser Managementzonen kann, wie beschrieben, die in den Applikationsversuchen verwendete Multispektralkamera eingesetzt werden. Sie ist nah am Boden am Traktor montiert und kann die Bestandsunterschiede deutlich genauer detektieren, könnte bei jeder Überfahrt einfach mitlaufen und ist unabhängig von der Bewölkung. Zudem besteht über die Fernerkundung mit Satelliten eine weitere Alternative zur Detektion von Bestandsunterschieden. Diese nehmen die Heterogenität eines Bestandes ebenfalls gut auf, anhand derer auch heute schon variable Applikationen möglich sind (Internetquelle Nr. 12). Die Multispektralkamera nimmt die Bestandsdichte während der Überfahrt auf und die variable Applikation kann online durchgeführt werden. Dabei können die ermittelten linearen Zusammenhänge zwischen den Pflanzenparametern (LAI und BM) und dem kamerabasierten DG und die darauf aufgebaute lineare Applikationslogik angewendet werden. Dazu ist die Bestimmung des minimalen und maximalen DG notwendig, um so die minimale und maximale Applikationsmenge festzulegen.

Insgesamt haben die Versuche gezeigt, dass variable Applikationen aufgrund der detektierten starken Heterogenität des Feldes sinnvoll sind. Dabei wurden in allen drei Jahren keine Verluste hinsichtlich der Pflanzenqualität bestimmt. Gerade in sehr trockenen Jahren, in denen

Pflanzen deutlich stärker mit Trockenstress und Wassermangel zu kämpfen haben, kann man den Stress durch eine Applikation aufgrund von Prognosesystemen und Reduzierungen minimieren. WU ET AL. 2002 haben in Fungizidversuchen in Sommergerste gezeigt, dass neben dem Ozon auch das Fungizid einen Einfluss auf die Stressphysiologie der Pflanze hat. Deshalb können Prognosesysteme hier helfen, um nach guter fachlicher Praxis zu handeln.

Zudem bringt die variable Applikation den Vorteil, dass Fungizide eingespart werden können und damit nicht ungenutzt in die Umwelt eingetragen werden. Die Einsparungen waren 2015 mit 40 % sehr hoch. Ursächlich dafür ist die starke Seneszenz und die damit verbundenen Blattverbräunungen. Die Kamera nimmt diese braunen Blätter wahr und bewertet den DG so, als ob Boden zu sehen wäre. Da ein Verstoffwechseln von Fungiziden aktive Substanz in Form von grüner Blattmasse benötigt, ist eine Applikation dieser Blätter mit voller Aufwandmenge nicht sinnvoll, was gerade hier für eine Reduzierung der Aufwandmenge spricht. Versuche von SCHWARZ ET AL. 2004 haben Fungizideinsparungen von 25 % erbracht. D.h. unter normalen Infektionsbedingungen ohne diese starke Seneszenz wie im Jahr 2015, erscheinen durchschnittliche Einsparungen zwischen 10 – 15 % sehr realistisch. Das haben die Versuche 2014 und 2016 gezeigt. Hier waren die Pflanzen noch nicht so stark seneszent und damit konnten die normalen Schwankungen des DG behandelt werden.

Die mehrjährigen Versuche haben deutlich gezeigt, dass die variable Behandlung eines Feldes aufgrund unterschiedlicher Krankheitsbedingungen und Bestandsunterschiede wichtig ist und zu einem großen Maß zur guten fachlichen Praxis beitragen wird. Dabei kann diese Applikation mit den bereits verfügbaren Sensoren (z.B. N-Sensor, Multispektralkamera etc.) oder satellitenbasiert durchgeführt werden. Des Weiteren kann durch diesen Ansatz einer variablen Ausbringung auf dem Schlag ein großer Schritt Richtung Erfüllung des Nationalen Aktionsplanes gemacht werden. Damit zeigt der Weg der zukünftigen Landwirtschaft immer weiter in Richtung Digitalisierung und tatsächlichen Nutzung der bereits verfügbaren Lösungen.

5 Zusammenfassung

Zielstellungen der vorliegenden Arbeit waren die Analyse langjähriger Wetterdaten mit ihrem Einfluss auf das Mikroklima und damit die Infektionsbedingungen im Bestand sowie eine neuartige Möglichkeit für variable Fungizidapplikationen im Weizen als Lösungsansatz für die zukünftige digitale Landwirtschaft zu präsentieren.

Dass die Witterung den größten Einfluss auf die Landwirtschaft hat, wird seit den letzten Jahren immer deutlicher und die Jahrhundertsommer 2003 und 2018 haben das gezeigt. Durch fehlende Niederschläge und hohe Temperaturen konnten Pflanzen in verschiedenen Regionen nicht ihr eigentliches Ertragspotential erreichen.

Neben der Witterung haben Krankheiten einen großen Einfluss auf die Pflanzengesundheit und können ebenfalls zu starken Ertragsreduktionen führen. In den Versuchen konnte der Unterschied zwischen nichtbehandelten und behandelten Varianten hinsichtlich der Befallsstärke in verschiedenen Bestandsbereichen dargestellt werden. Dabei zeigten die schlechter entwickelten Bereiche eine bis zu drei Wochen frühere Abreife.

Mehrfährige variable Fungizidmaßnahmen, die mit Hilfe von Prognosesystemen terminiert werden, wurden erfolgreich durchgeführt. Der zuvor ermittelte lineare Zusammenhang zwischen kamerabasiertem DG (mittels Multispektralkamera) und den Pflanzenparametern (BM & LAI) hat die lineare Anpassung der Applikationsmenge an die Bestandsunterschiede ermöglicht. Dabei war die Wahl des richtigen Objektivs entscheidend. Das zunächst verwendete Fisheye Objektiv führte zu verzerrten Bildrändern, weshalb der erwartete Zusammenhang nicht gefunden wurde. Nach dem Tausch des Objektivs (Sigma aspherical) konnte der erwartete lineare Zusammenhang ermittelt werden.

Anhand der entwickelten linearen Applikationslogik konnte die variable Applikation online während der Überfahrt durchgeführt werden. Dabei konnten Einsparungen der Aufwandmenge aufgrund von detektierten Unterschieden im Feld erzielt werden. Die Boniturergebnisse zeigten, dass mit der variablen Applikation der Krankheitsdruck im Vergleich zur FLAT Variante nicht erhöht war, was für den Erfolg der Applikation spricht.

Auch die Ertragserfassung der behandelten Varianten erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Damit stellt der Ansatz einer variablen Applikation eine Lösung für die zukünftige digitale Landwirtschaft dar, um so auch politischen Anforderungen wie der Reduktion von Pflanzenschutzmitteln zu entsprechen.

Der eingesetzte Sensor sowie die entwickelte Applikationslogik würden zudem auch variable Applikationen in anderen Kulturen ermöglichen. Voraussetzung ist dabei vor allem der richtige Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, um die minimalen Aufwandmengen nicht zu unterschreiten und um Resistenzen zu vermeiden.

6 Summary

The aim of the present work was to elucidate the influence of long-term weather data on the microclimate and thus the infection conditions with the crop. Furthermore we aimed to present an innovative possibility for variable fungicide applications in wheat as a solution for future digital agriculture.

The fact that the weather has the biggest impact on agriculture has become ever clearer in recent years, and the summer of 2003 and 2018 have shown that. Lack of rainfall and high temperatures did not allow plants in different regions to reach their normal yield potential.

In addition to weather, diseases have as well a major impact on plant health and can also lead to strong yield reductions. In the trials, the difference between non-treated and treated variants with respect to the infestation strength in different areas could be represented. The less developed areas showed up to 3 - 4 weeks earlier maturity.

Perennial variable fungicide treatments, with help of spray timer, has been successfully completed. The previously determined linear relationship between camera-based coverage level (by using a multi-spectral camera) and the plant parameters (biomass & LAI) has made it possible to linearly adapt the amount of application to plant density differences. The choice of the correct lens was crucial. The prior used fisheye lense led to compressed image edges, so the expected relationship was not found. After the replacement of the objective (Sigma aspherical), the expected linear relationship could be determined.

Using the developed linear application logic, the variable application could be carried out online during the transit. It was possible to achieve savings in the application rate due to detected differences in the field. The scouting results showed that with the variable application the disease pressure wasn't increased compared to the flat treated variant. Which is a big success of the variable application.

Even the recorded yield of the treated variants showed no significant differences. Thus, the approach of a variable application represents a solution for future digital agriculture in order to comply with political requirements such as the reduction of plant protection products.

The sensor used and the application logic developed would also enable variable applications in other cultures. The prerequisite above all is the correct use of pesticides, in order to not reduce the minimum application rates so strong and to avoid resistances.

Literaturverzeichnis

- BASF (2016): Contribution des différents organes au rendement. Hg. v. BASF France Agro
- BJERRE, K.D., JØRGENSEN, L.N., SECHER, B.J.M., (1998): Sygdomskort og positionsbestemt fungicidanvendelse. 15. Danske Planteværnskonference – Sygdomme og skadedyr. DJF rapport no 3, 133-144
- BJERRE, K.D. (1999): Disease maps and site-specific fungicide application in winter wheat. In: Stafford JV (ed) Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11–15 July 1999, pp 495–504
- BØDKER, L., JØRGENSEN, L.N., SECHER, B.J.M. (1994): Meldugudvikling i vinterhvede ved forskellige dyrkningsstrategier. SP rapport 1994-7, 29-46.
- BROSCIOUS, S. C., FRANK, J. A., FREDERICK, J. R., (1985): Influence of winter wheat management practices on the severity of powdery mildew and Zymoseptoria blotch in Pennsylvania. *Phytopathology* 75, 538-542
- BROWN, J.K.M., & HOVMØLLER, M.S. (2002): Epidemiology—aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science* 297, 537–541
- BUNDESSORTENAMT (2017): Beschreibende Sortenliste
- DAMMER, K.-H. (2005): Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter, Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 41
- DAMMER, K.-H. (2005): On-the-go detection of plant parameters by camera vision in rape. In: *Precision Agriculture* 5:289-296, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands (eds JV Stafford)
- DAMMER, K.-H., BÖTTGER, H., WARTENBERG, G., ROSENAU, R. (2012): Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors. *Julius-Kühn-Archiv* 434, 191-198
- DAMMER, K.-H., MOELLER, B., RODEMANN, B., HEPPNER, D. (2011): Detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses. *Crop Protection* 30, 420-428
- FRANKE, H., MENZ, G. (2007): Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing, *Precision Agric* (2007) 8,161–172

JACOBI, J., KÜHBAUCH, W. (2005): Site-specific identification of fungal infection and nitrogen deficiency in wheat crop using remote sensing. In: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture, edited by J.V. Stafford (Wageningen Academic Publishers, Netherlands), 73–80

JONAS, H. (2017): Ansätze zur Sicherung des Wirkstoffspektrums ernst nehmen, Bauernblatt, 22.04.2017; S. 32-36

OLESEN, J.E., JØRGENSEN, L.N., JENSEN, P.K., THOMSEN, A.G. (2008): Sensor-based graduation of fungicide application in winter wheat, Pesticides Research No. 116 2008

JØRGENSEN, L.N., SECHER, B.J.M., OLESEN, J.E., MORTENSEN, J., (1997): Need for fungicide treatments when varying agricultural parameters. Aspects of Applied Biology 50, 285-292

KOCH, H. (1980): Spatial pattern of barley powdery mildew. Z Pflkrank Pflschutz 87:731–737

LINK-DOLEZAL, J., ZECHA, CH., CLAUPEIN, W. (2012): Sensoreinsatz und Datenanalyse in der Landwirtschaft, 16. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2012, DOI 10.5162/sensoren2012/1.2.1

MOSHOU, D., BRAVO, C., WAHLEN, S., WEST, J., MCCARTNEY, A., DE BAERDEMAEKER, J., RAMON, H. (2006): Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps, Precision Agric 7:149-164

MÜLLER-ELEKTRONIK GMBH (2004): Anbau und Bedienungsanleitung Crop-Meter, 04.2004

OLESEN, J.E., MORTENSEN, J.V., JØRGENSEN, L.N., ANDERSEN, M.N. (2000a): Nitrogen application, irrigation strategy and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. I. Yield, yield components and nitrogen uptake. Journal of Agricultural Science, Cambridge 134, 1-11

PLAN ECOPHYTO II (2015): Nationaler Aktionsplan vom 20. Oktober 2015 des Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. Republique Francaise S. 3-4

RECKLEBEN, Y. (2010): Sensorschwemme, Stickstoffdüngung mit Sensoren – welche gibt es und was können sie? Neue Landwirtschaft 4:481-84

ROUSE, D.I., MACKENZIE, D.R., NELSON, R. R., ELLIOTT, V. J. (1981): Distribution of Wheat Powdery Mildew Incidence in Field Plots and Relationship to Disease Severity, Phytopathology 71: 1015-1020

SCHWARZ, J., SCHLAUDERER, R. (2004): Ökonomische und ökologische Aspekte des Sensoreinsatzes im Pflanzenschutz, Landtechnik 5:264-266

- SECHER, B.J.M., MURALI, N.S., GADEGÅRD, K.E. (1995): Site specific control of plant diseases - a great potential. In Olesen, S.E. (red.): Seminar on sitespecific farming. SP-report no. 26, 165-169.
- STEINER, U.; BÜRLING, K.; OERKE, E.-CHR. (2008): Sensorik für einen präzisierten Pflanzenschutz, *Gesunde Pflanze* (2008) 60:131-141
- TACKENBERG, M., DAMMER, K.-H. AND VOLKMAR, C. (2016): Sensor-based variable-rate fungicide spraying in winter wheat. *Pest Manag Sci* 72:1888–1896
- TACKENBERG, M., VOLKMAR, C., SCHIRRMANN, M., GIEBEL, A., DAMMER, K.-H. (2017): Impact of sensor-controlled variable-rate fungicide application on yield, senescence and disease occurrence in winter wheat fields, *Pest Manag Sci*. 2018 Jun; 74(6):1251-1258
- TOMPKINS, D. K., WRIGHT, A. T., FOWLER, D. B. (1992): Foliar disease development in no-till winter wheat: influence of agronomic practices on powdery mildew development. *Canadian Journal of Plant Science* 72, 965-972
- WATSON, D. J. (1947): Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11:41-76.
- WU, Y.-X. & A.V. TIEDEMANN (2002): Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone, *Environmental Pollution* 116: 37-47
- ZWERGER, P., MALKOMES, H., NORDMEYER, H., SÖCHTING, A., VERSCHWELE, A. (2004): Unkrautbekämpfung: Gegenwart und Zukunft – aus deutscher Sicht, *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIX*, S. 27-38

Internetartikel:

- 1 http://www.lissmann.eu/_agrarstruktur_91484566.html, 06.07.2018; 12:41
- 2 https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iem/dateien/02_getreide_by.pdf,
Stand: 01.08.2017; 14:25
- 3 <https://www.bzfe.de/inhalt/wetter-und-landwirtschaft-29515.html>, 06.07.2018; 12:48
- 4 <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/hitze-sommer-weist-hoechste-temperatur-anomalie-seit-1881-auf-a-1221615.html>, 20.09.2018; 17:12
- 5 <http://www.bdp-online.de>, 10.07.2018; 15:19
- 6 <https://www.topagrar.com/news/Acker-Agrarwetter-Ackernews-DLG-EuGH-verhindert-Zuechtungsfortschritte-zur-Ertragssicherung-9494751.html>, 30.07.2018; 08:53
- 7 <https://www.nap-pflanzenschutz.de/ueber-den-aktionsplan/ziele/>, 10.07.2018; 15:57
- 8 www.lechler.com, 20.08.2018; 09:10
- 9 <https://www.topagrar.com/archiv/Kampf-dem-Lager-mit-variabler-Behandlung-560662.html>, 12.07.2018; 17:30
- 10 https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/050_SunScan.pdf,
02.03.2016; 10:25
- 11 <https://www.topagrar.com/archiv/Praeziser-Duengen-mit-Sensor-und-Karte-847816.html>, Landtechnik Ausgabe 06/2012
- 12 <https://www.xarvio.com/de/field-Manager>, 08.08.2018; 11:20
- 13 <https://www.saatbau.com/uploads/media/default/0001/03/d468ac7b2198fb35cbb8eca67c5ea9d20bdefc53.jpeg>,
01.08.2018; 11:45
- 14 <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wie-trockenheit-der-landwirtschaft-schadet/>, 01.08.2018; 10:30
- 15 <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-services/n-sensor/>, 20.08.2018; 10:35
- 16 <https://www.mueller-elektronik.de/produkte/section-control-top-2/>, 20.08.2018; 13:20

Eidesstattliche Erklärung / Declaration under Oath

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare under penalty of perjury that this thesis is my own work entirely and has been written without any help from other people. I used only the sources mentioned and included all the citations correctly both in word or content.

Datum / Date

Unterschrift des Antragstellers /
Signature of the applicant

Lebenslauf

Name: Tackenberg

Vorname: Maria

Geburtsdatum: 05.10.1988

Geburtsort: Querfurt

Schulausbildung

1995 – 1999: Grundschule Saubach

1999 – 2007: Gymnasium Klosterschule Roßleben

06/2007: Abitur am Gymnasium Klosterschule Roßleben

Wissenschaftlicher Werdegang

Studium:

10/2007 – 09/2012: Studium der Agrarwissenschaften an der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg

Abschluss: Bachelor of Science (B.Sc.) – 05.10.2010 „*Untersuchung zur Abundanzdynamik der Elateriden-Imagines in Sachsen-Anhalt*“

Abschluss: Master of Science (M.Sc.) – 19.07.2012
„*Zur Diversität von Elateriden in der Kulturlandschaft Sachsen-Anhalts – Möglichkeiten zur Regulation-*“

Promotion:

12/2013 – 04/2019 Doktorand am Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Beruflicher Werdegang

11/2012 – 12/2015: **proPlant GmbH:** Tätigkeit als Agraringenieurin Pflanzenproduktion im Bereich Prognosesysteme und teilflächenspezifischer Fungizidapplikation

12/2015 – 07/2018: **Bayer Digital Farming GmbH:** Tätigkeit als Agraringenieurin im Bereich Digitalisierung der Landwirtschaft, Prognosesystemen, Aufbau von variablen Logiken im Pflanzenschutz, Versuchsdurchführung

07/2018 – jetzt: **BASF Digital Farming GmbH:** Tätigkeit als Agraringenieurin im Bereich Digitalisierung der Landwirtschaft, Prognosesystemen, Aufbau von variablen Logiken im Pflanzenschutz, Versuchsdurchführung

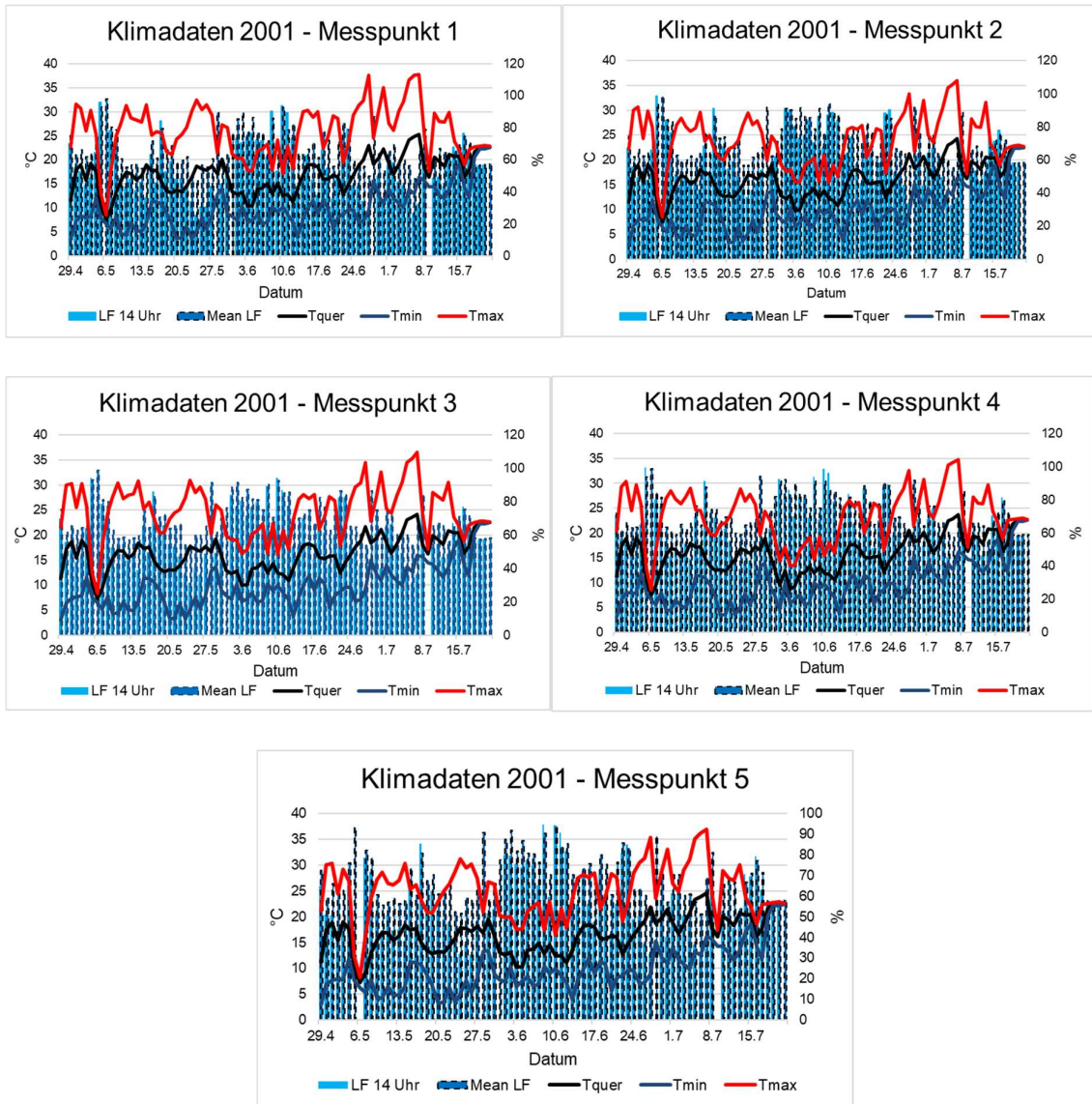
Ort, Datum

Unterschrift

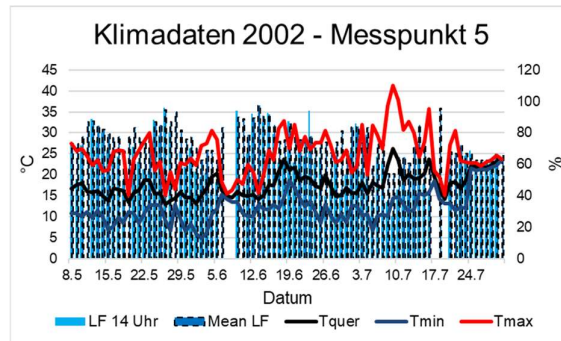
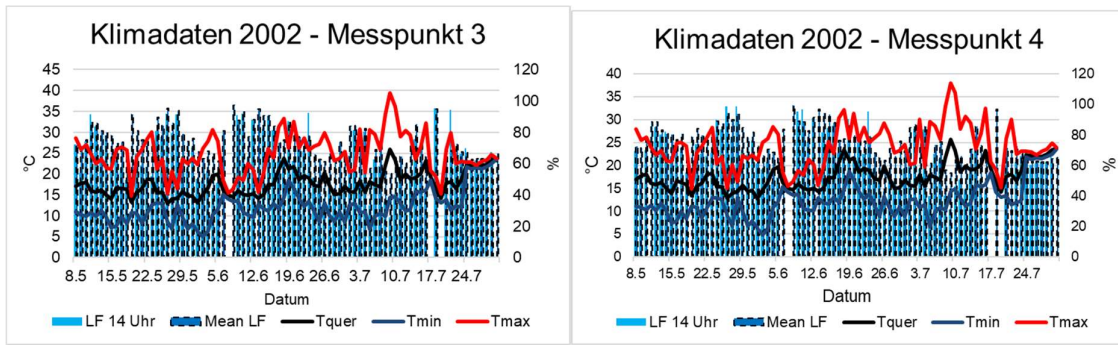
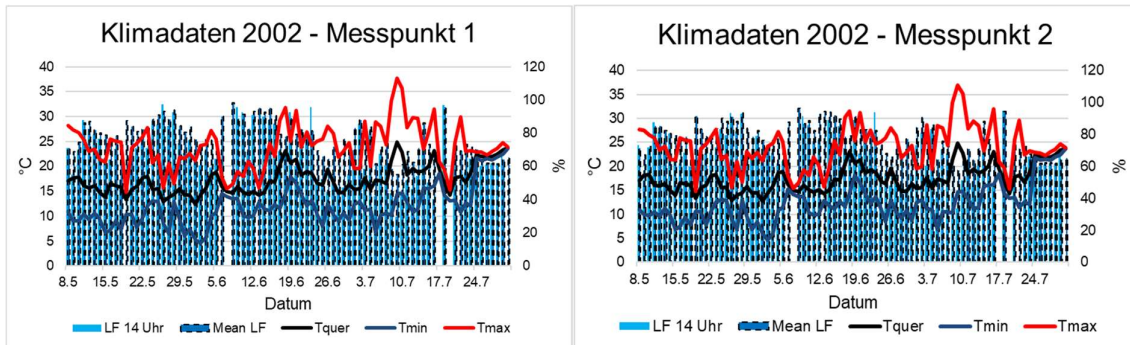
Anhang

ANHANG I

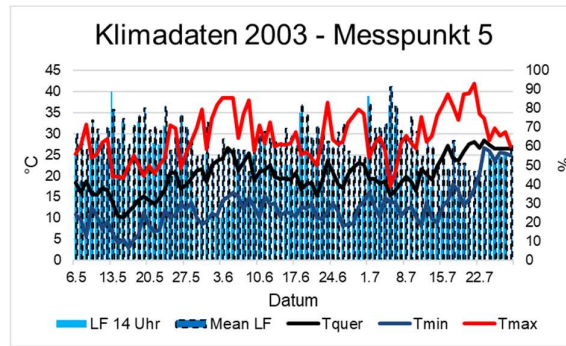
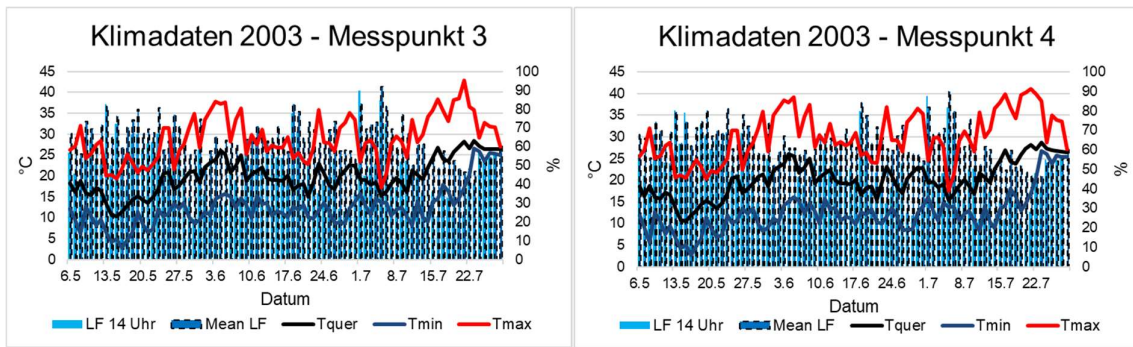
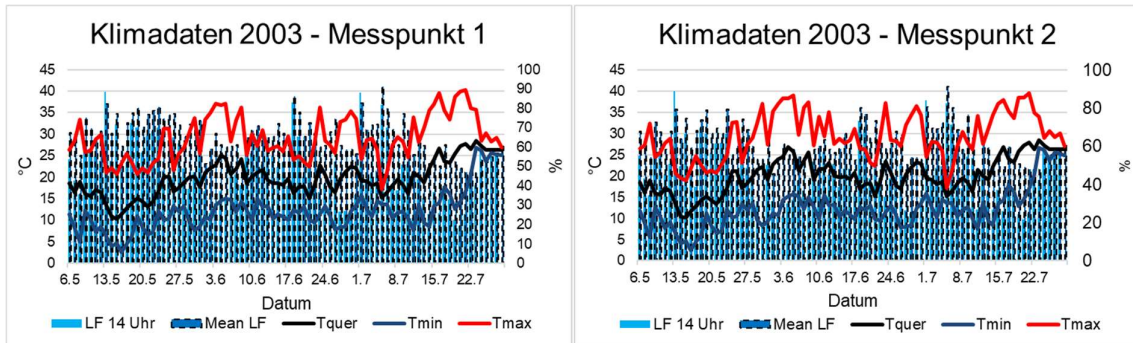
Wetterdaten 2001



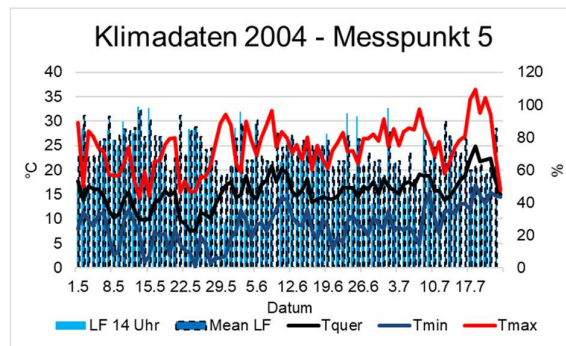
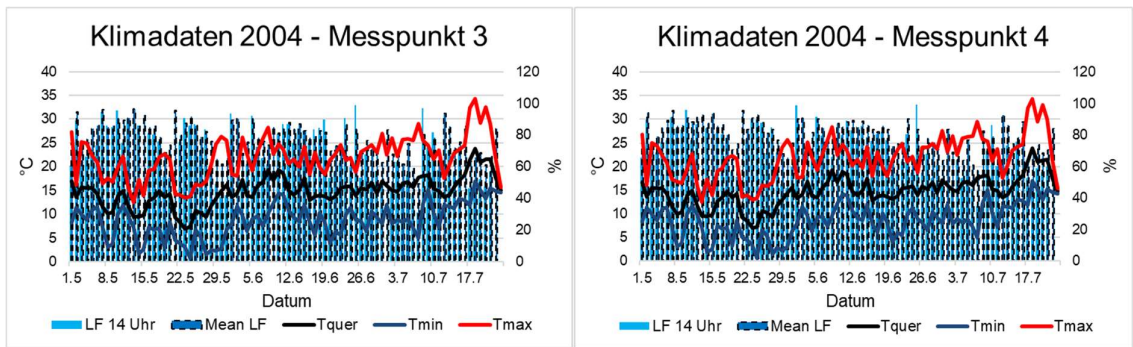
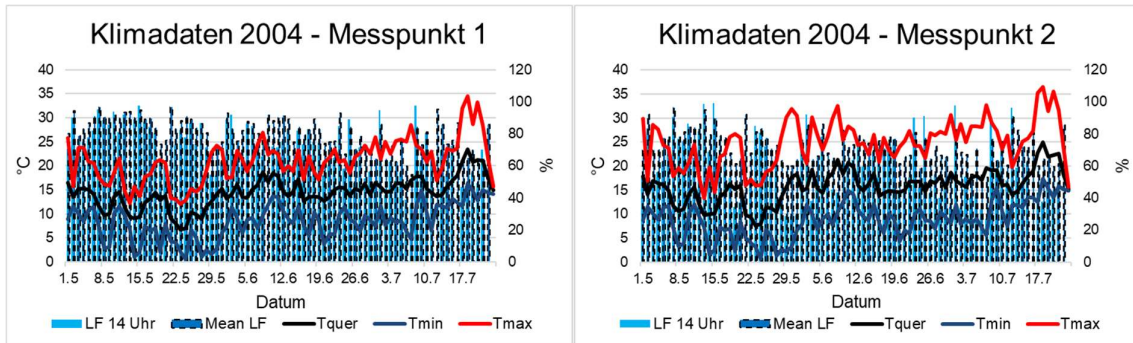
Wetterdaten 2002



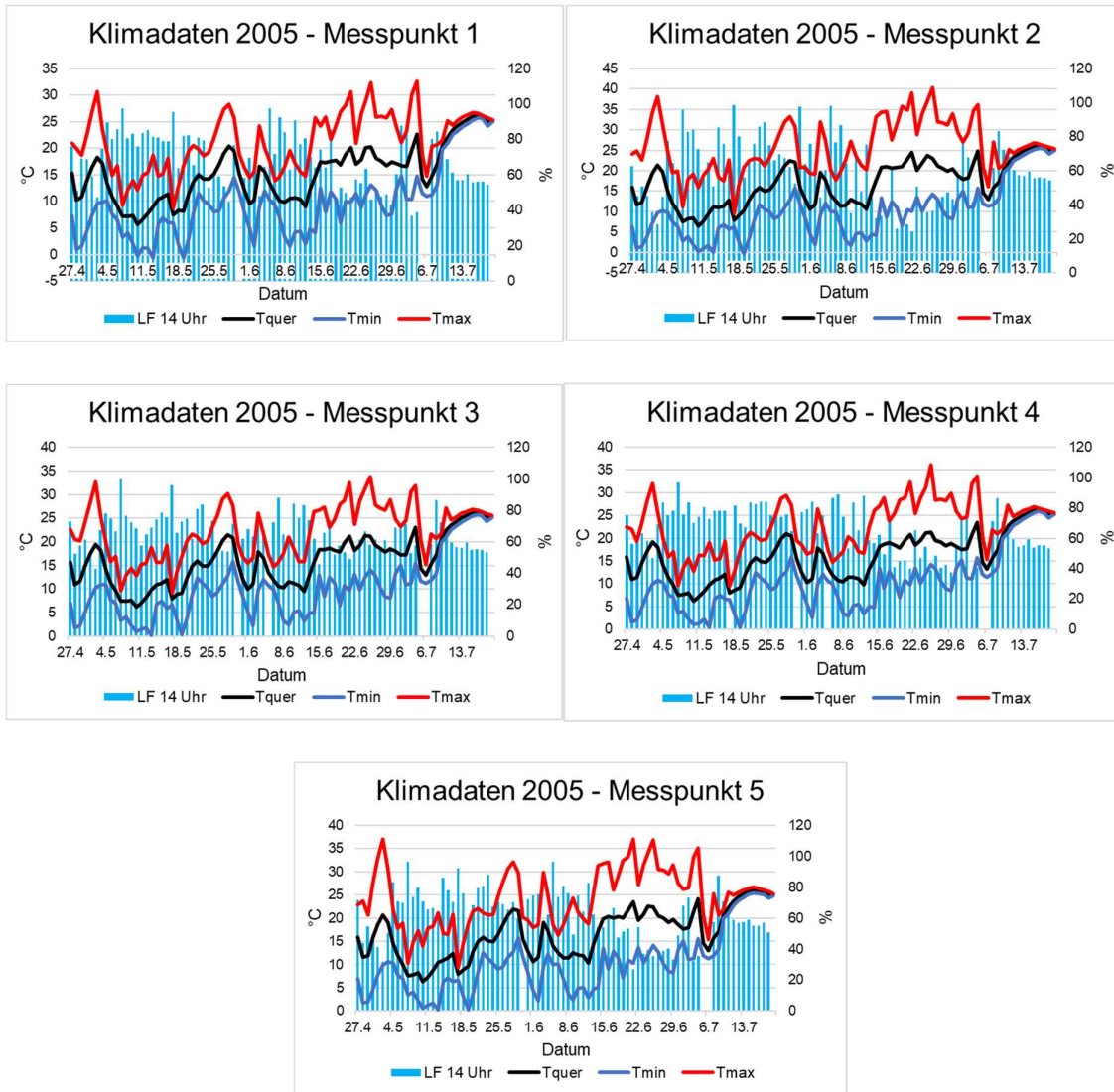
Wetterdaten 2003



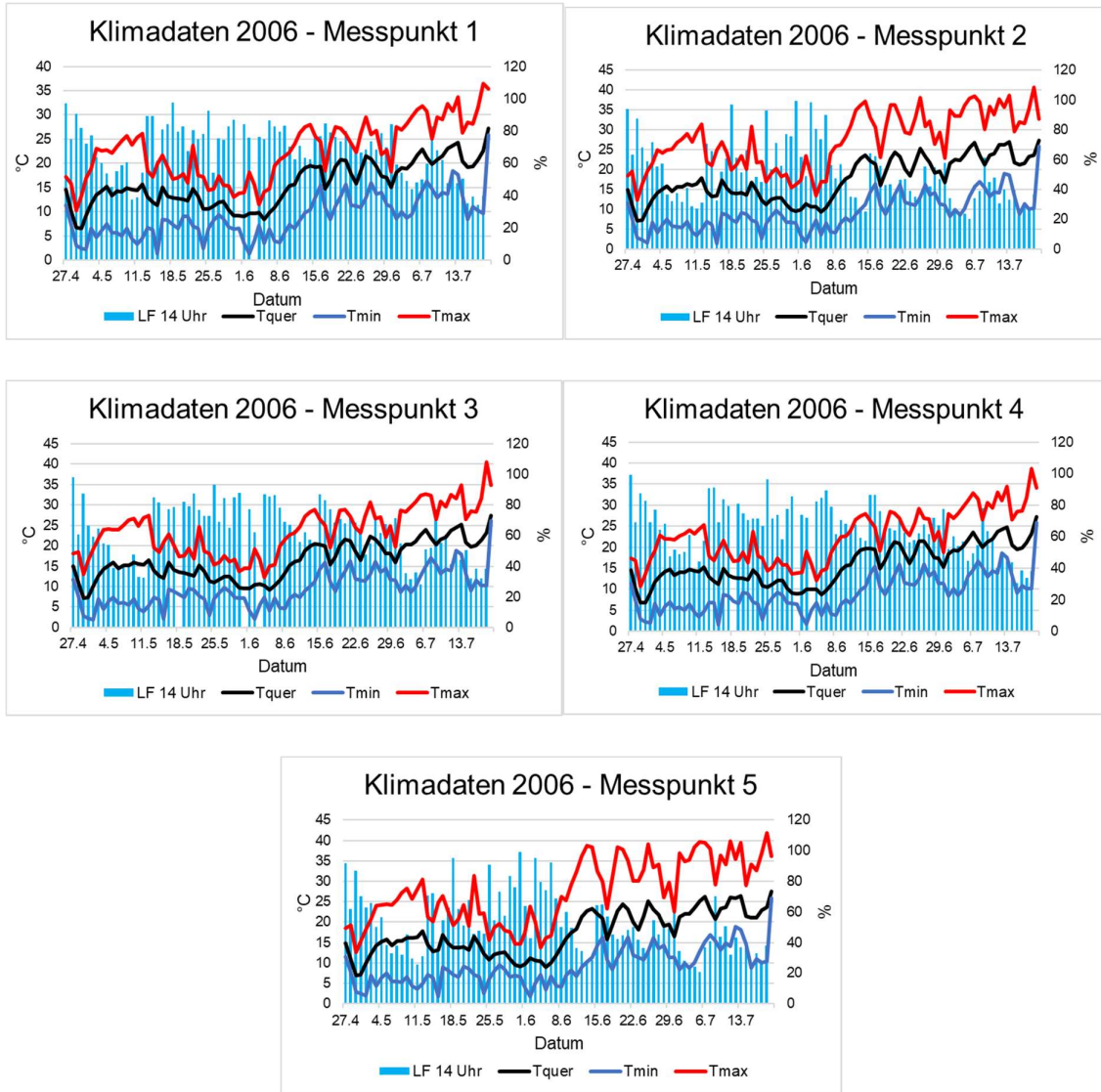
Wetterdaten 2004



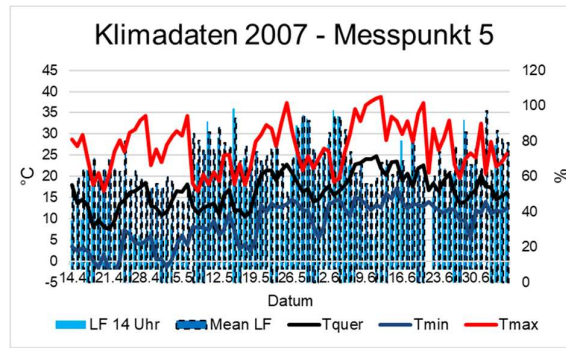
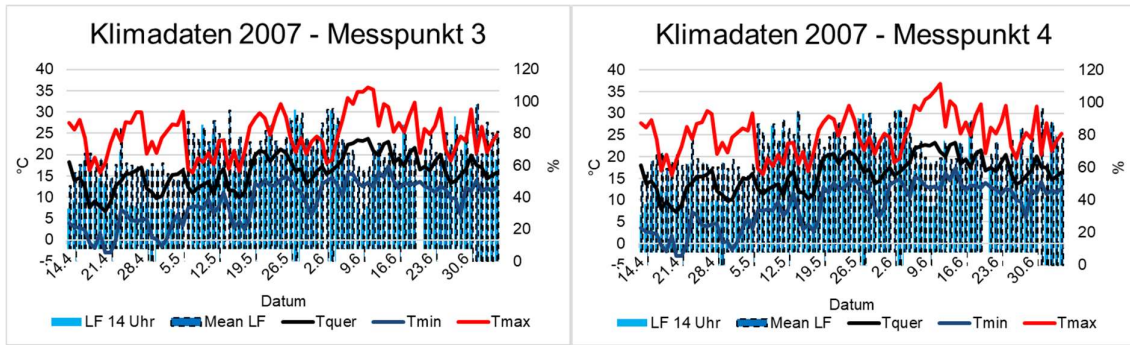
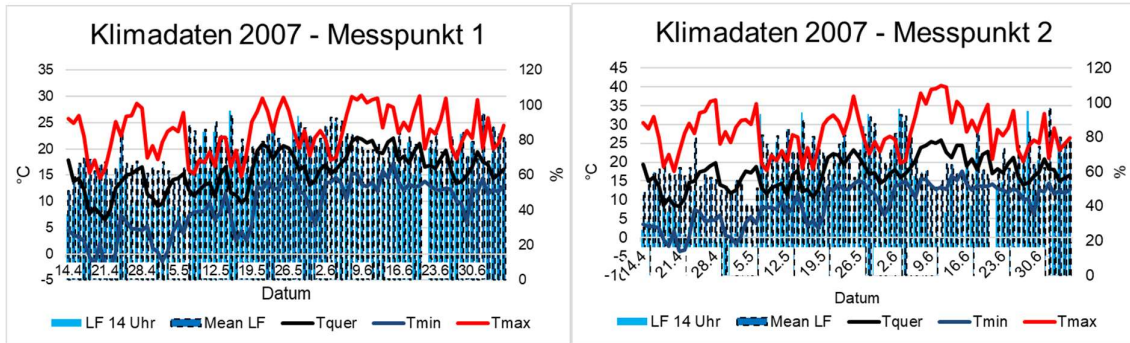
Wetterdaten 2005



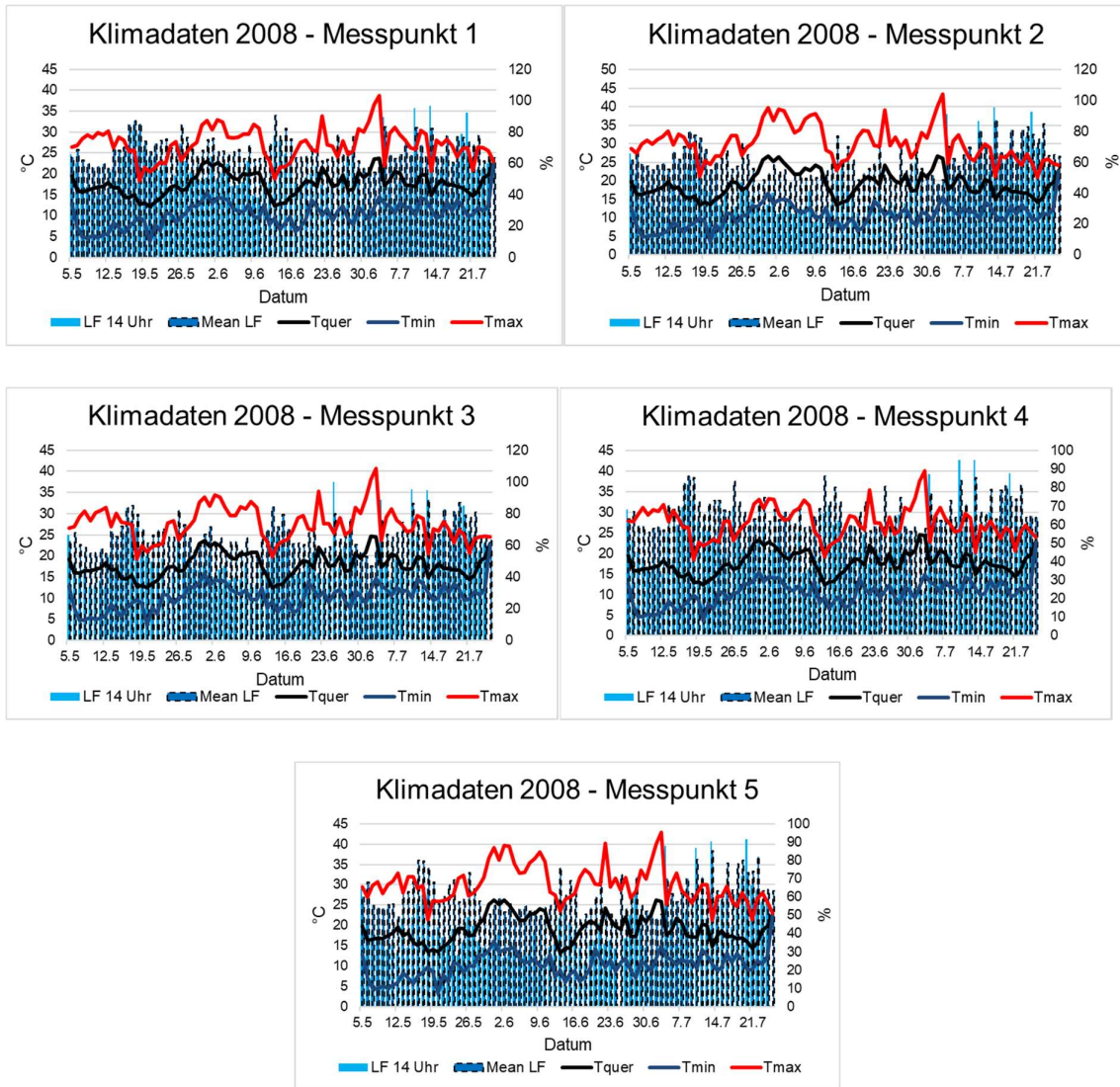
Wetterdaten 2006



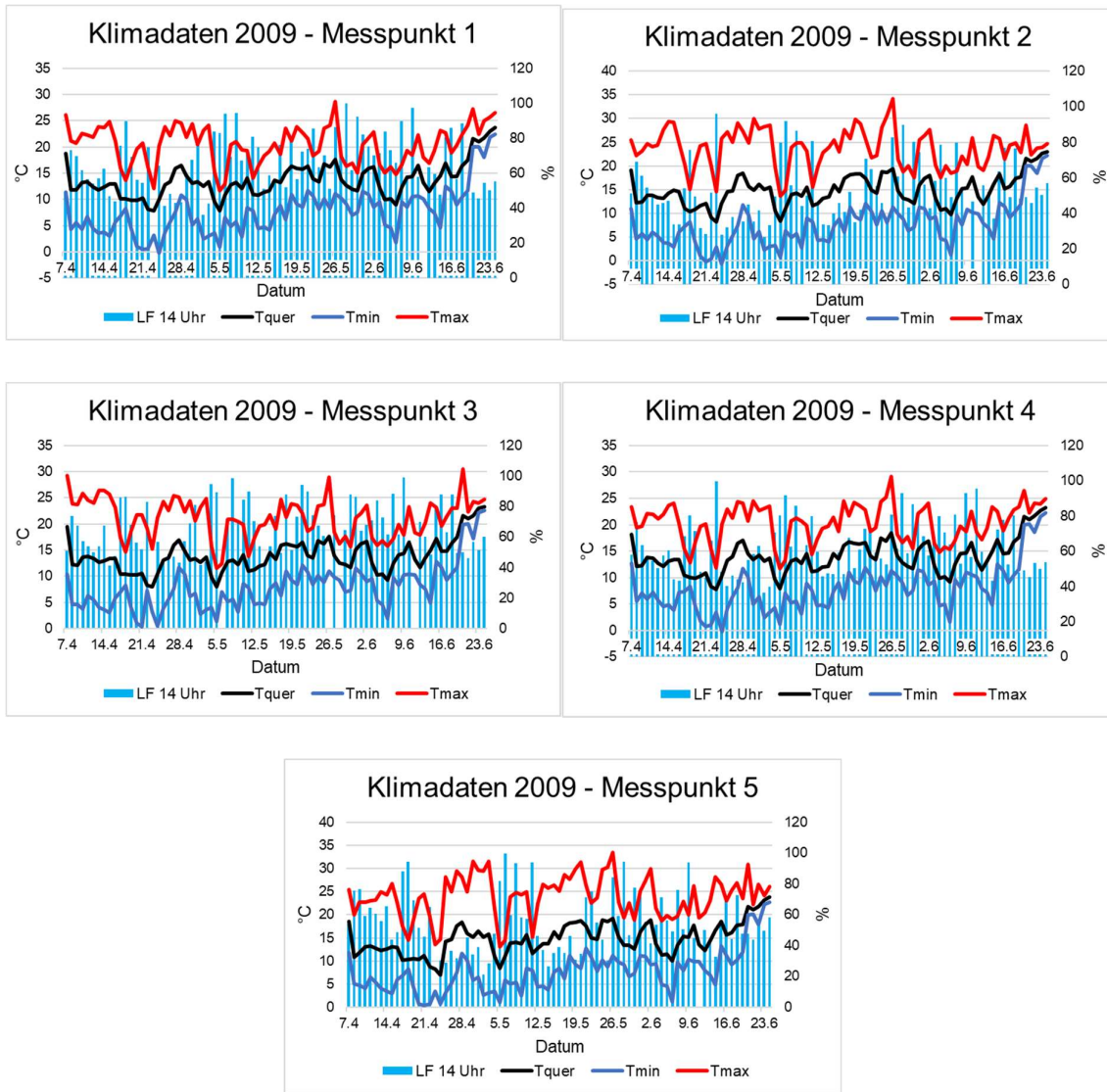
Wetterdaten 2007



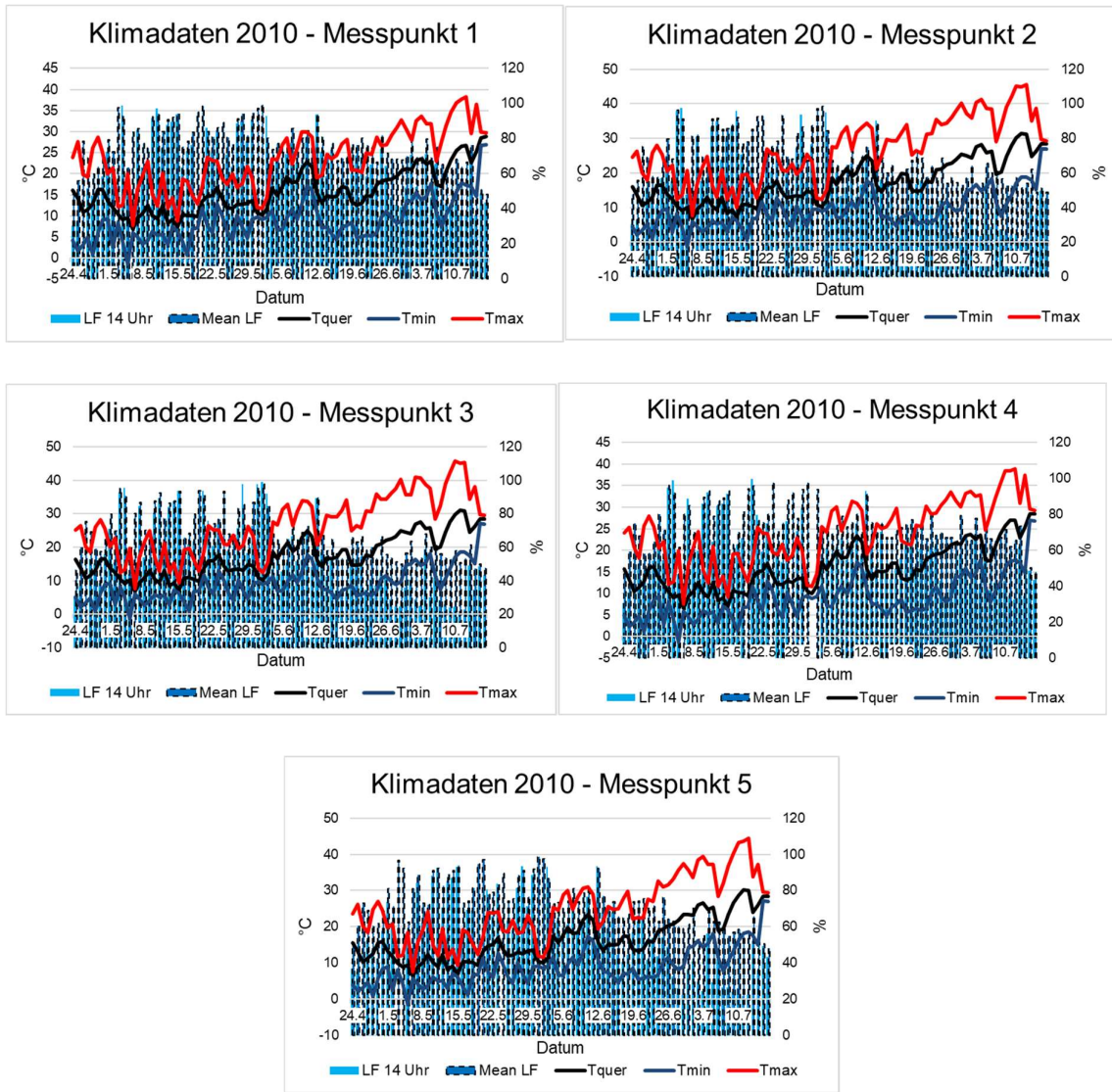
Wetterdaten 2008



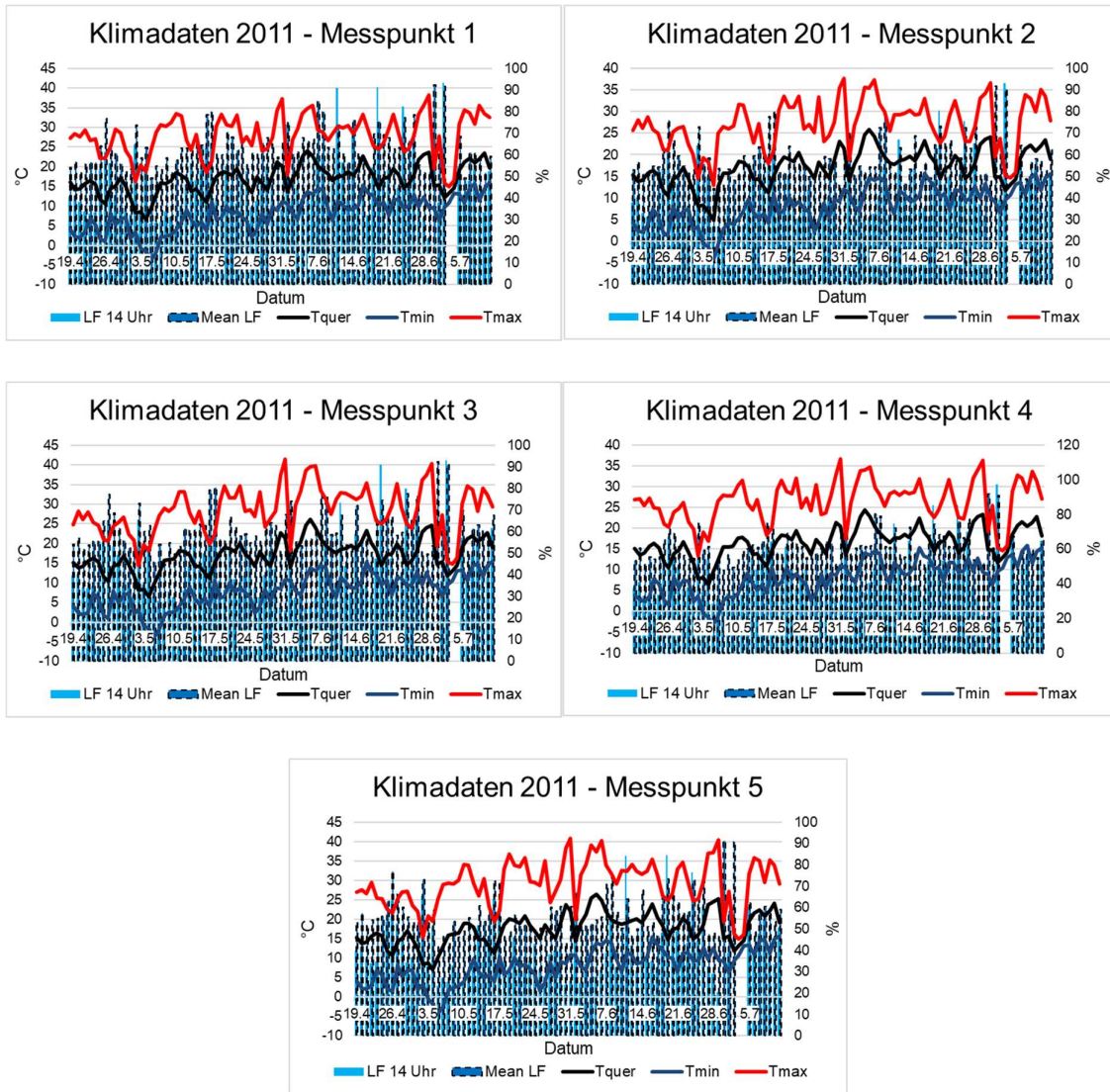
Wetterdaten 2009



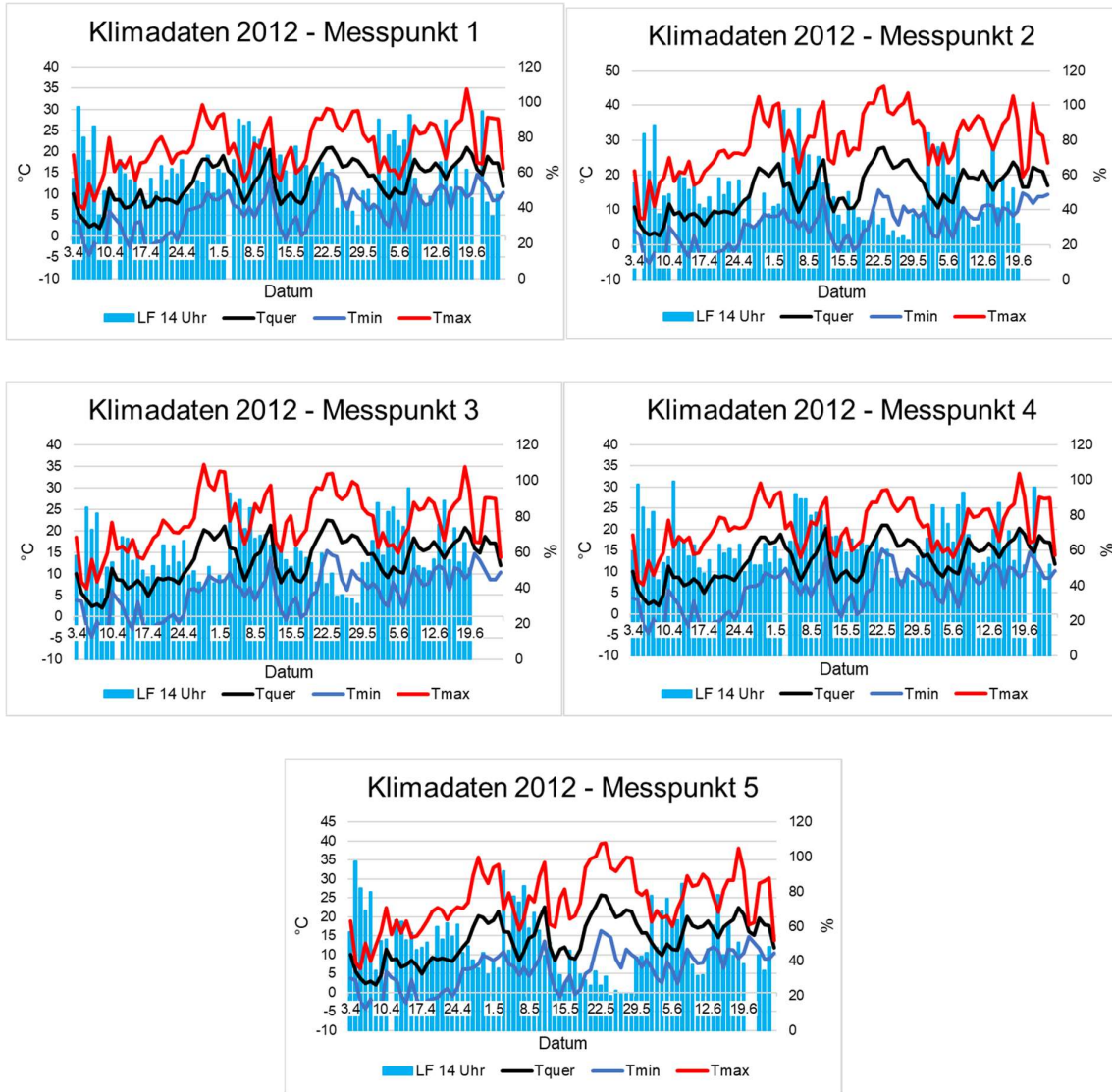
Wetterdaten 2010



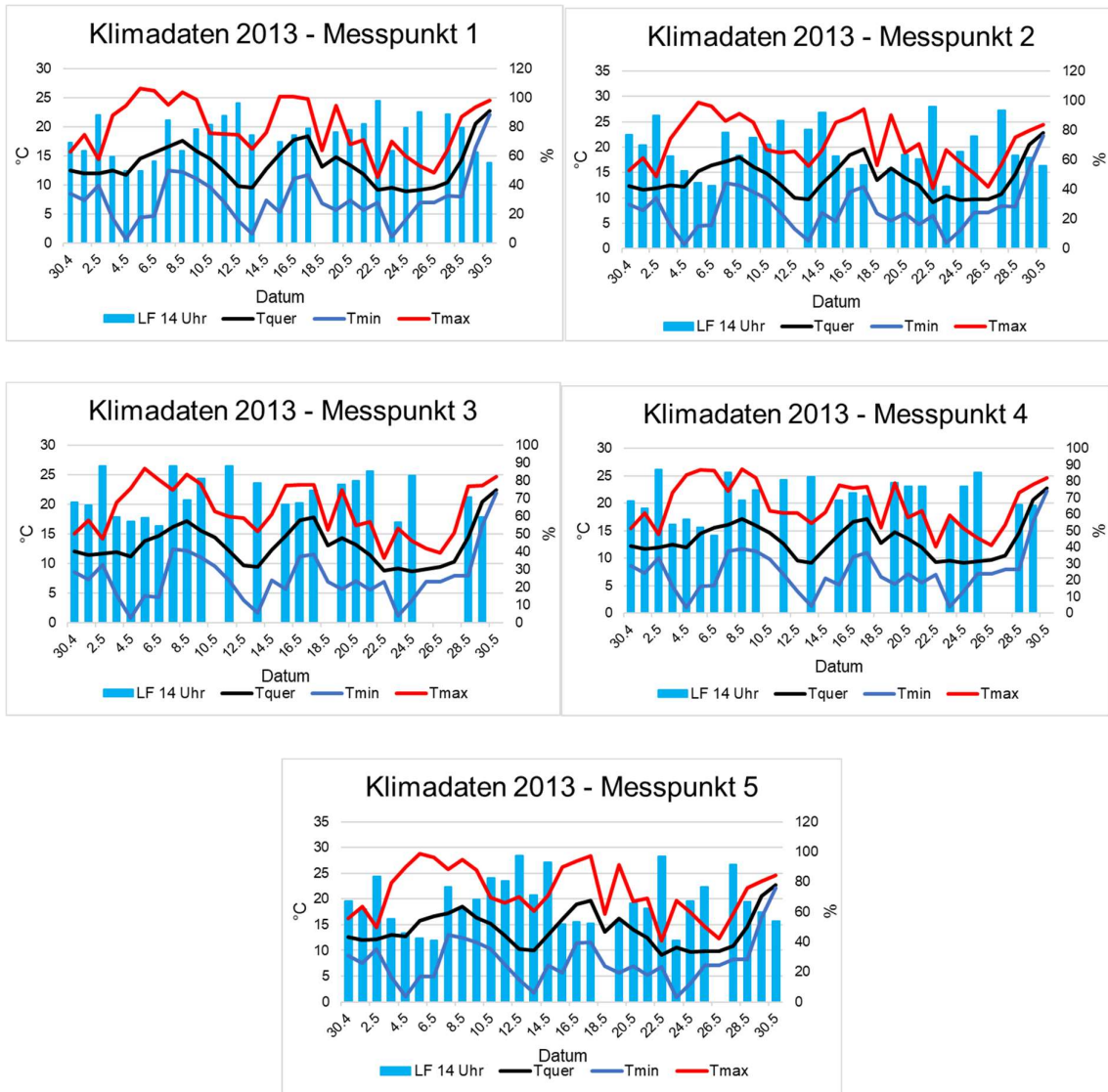
Wetterdaten 2011



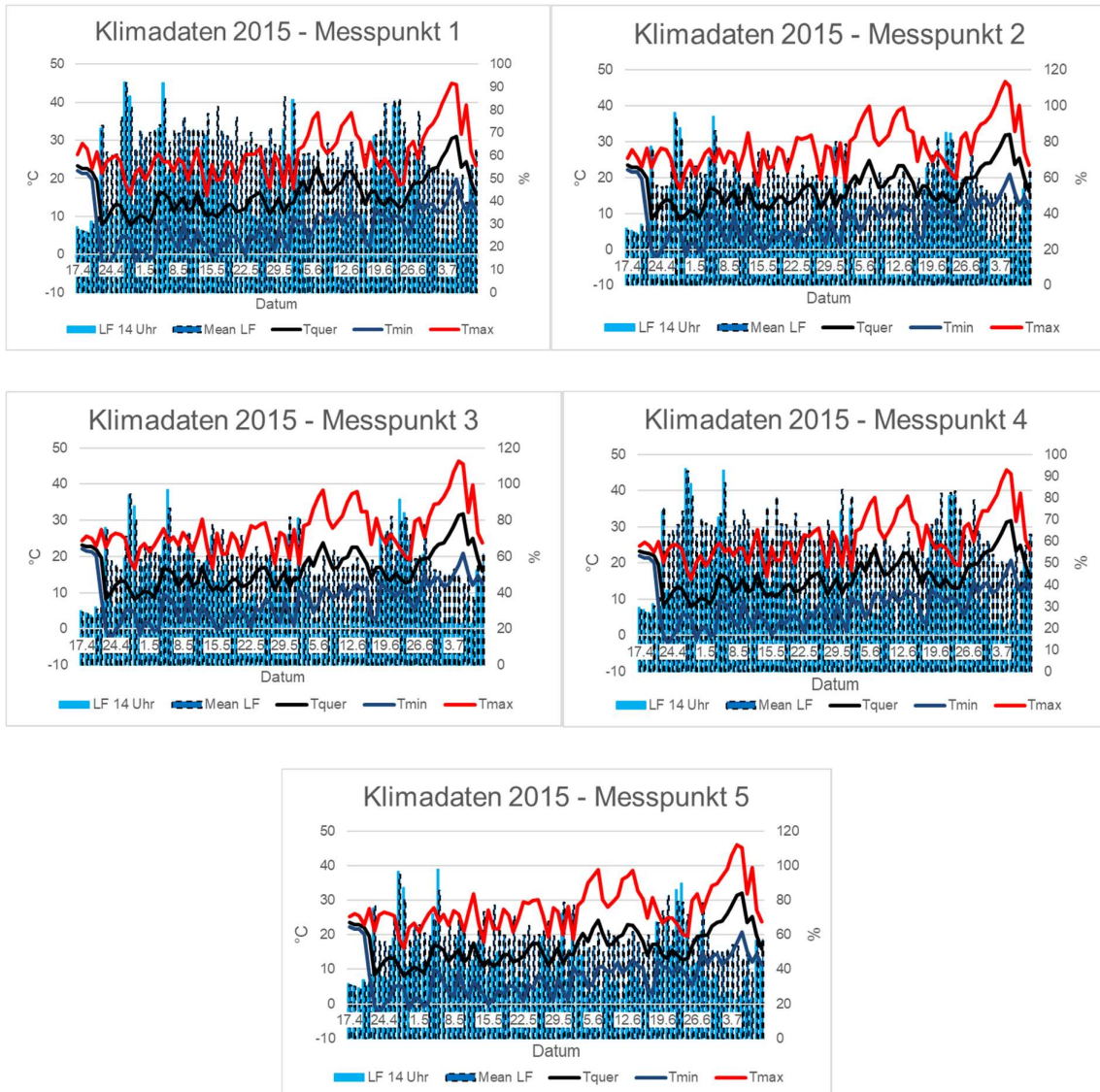
Wetterdaten 2012



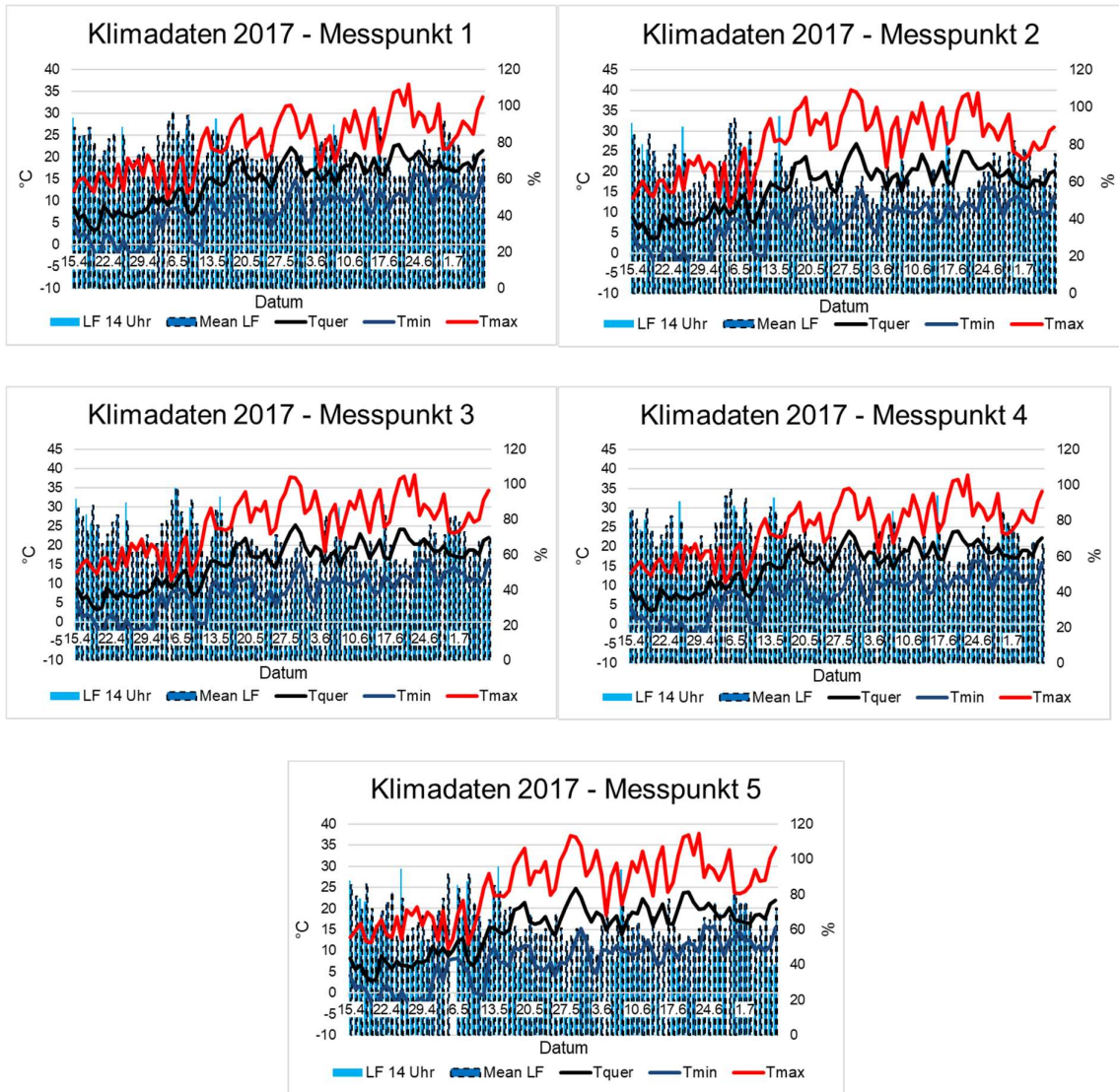
Wetterdaten 2013



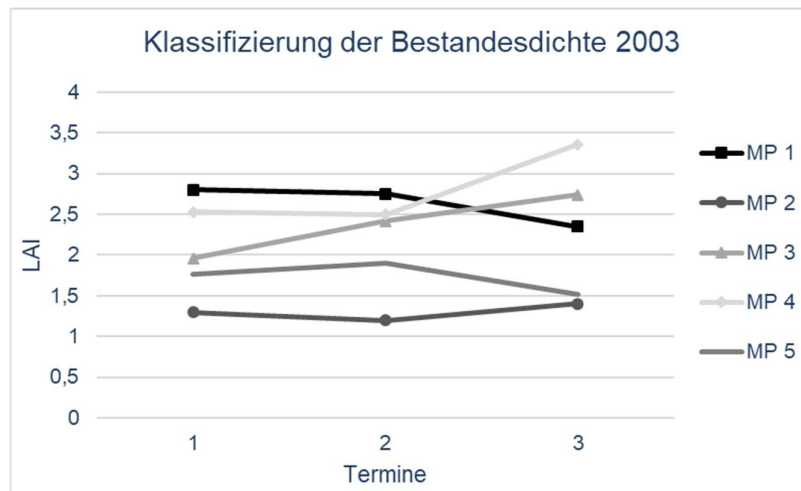
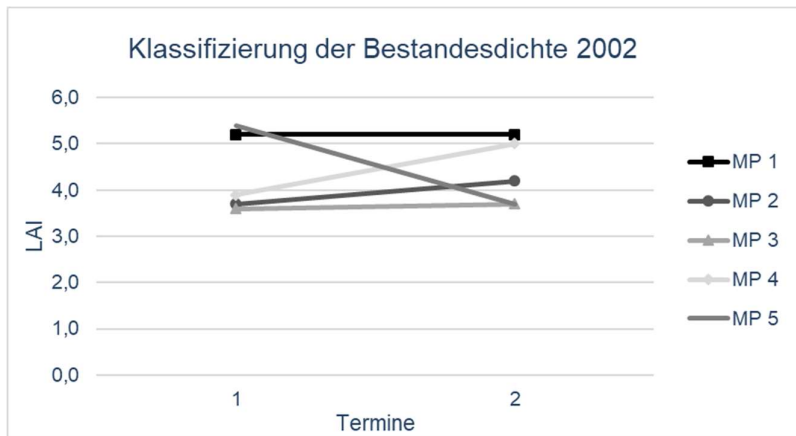
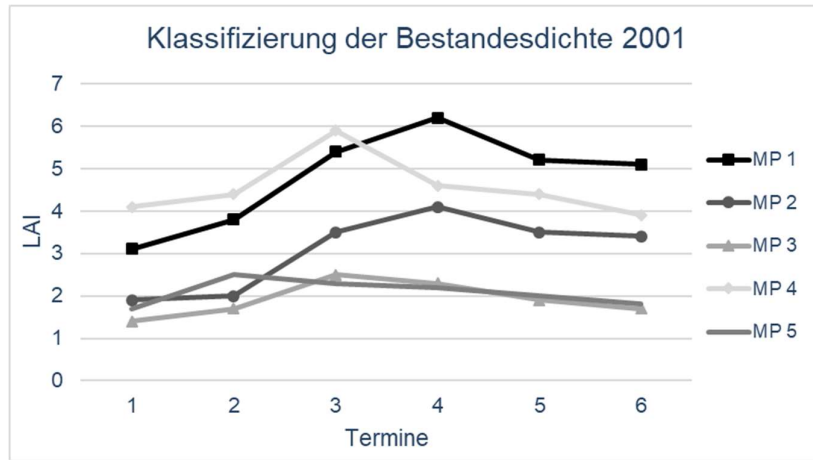
Wetterdaten 2015

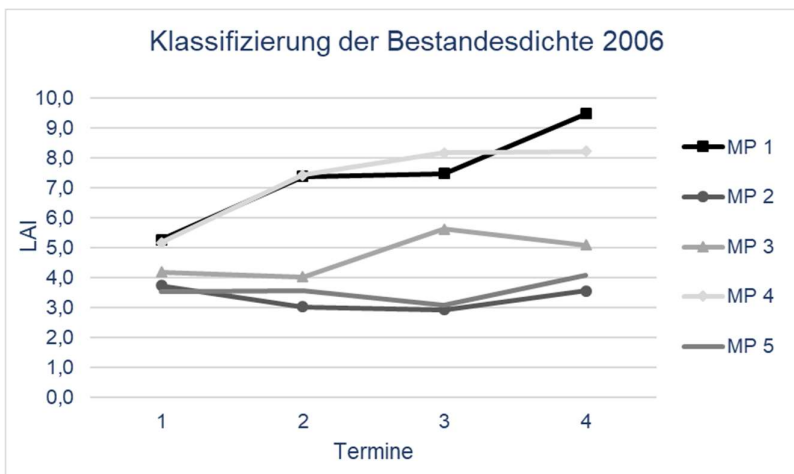
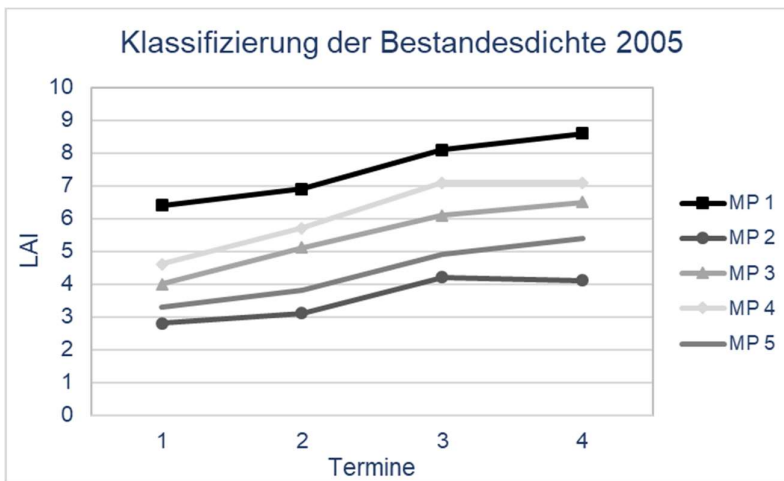
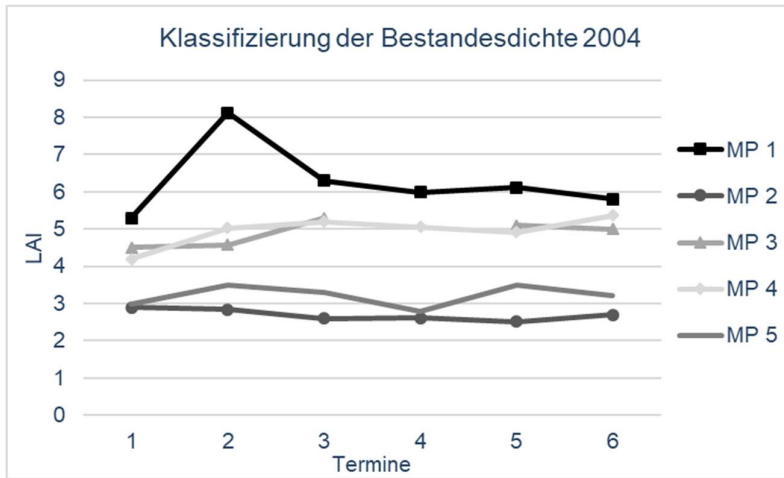


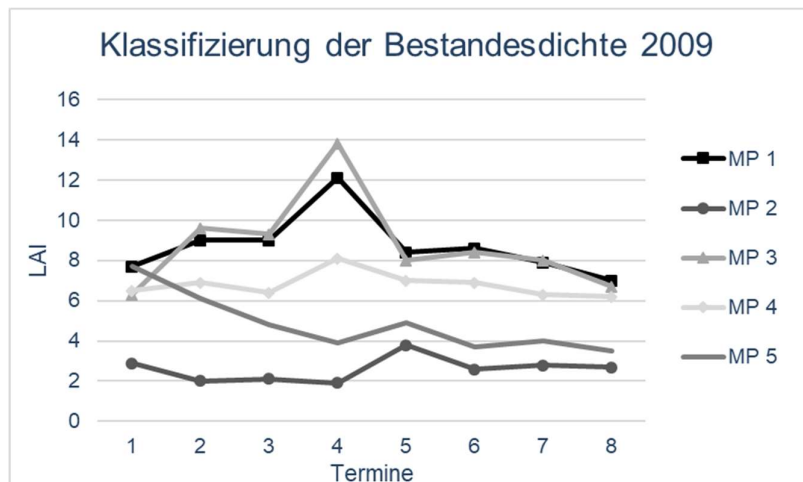
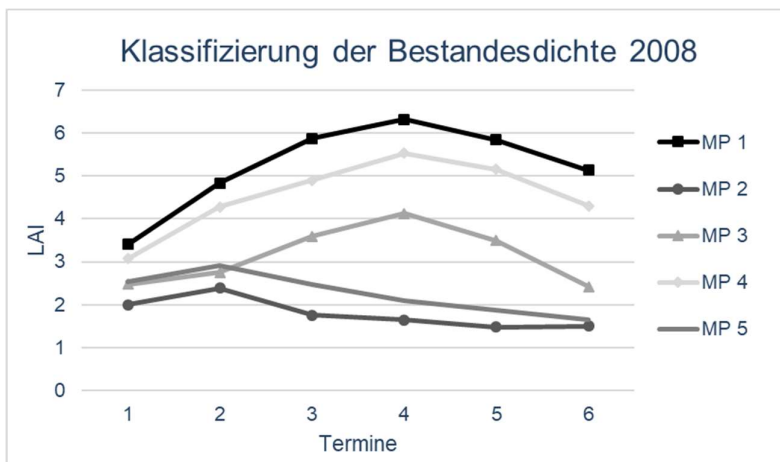
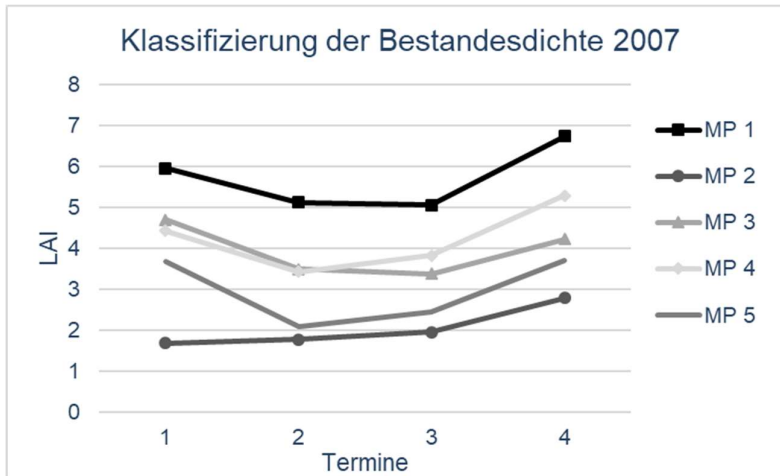
Wetterdaten 2017

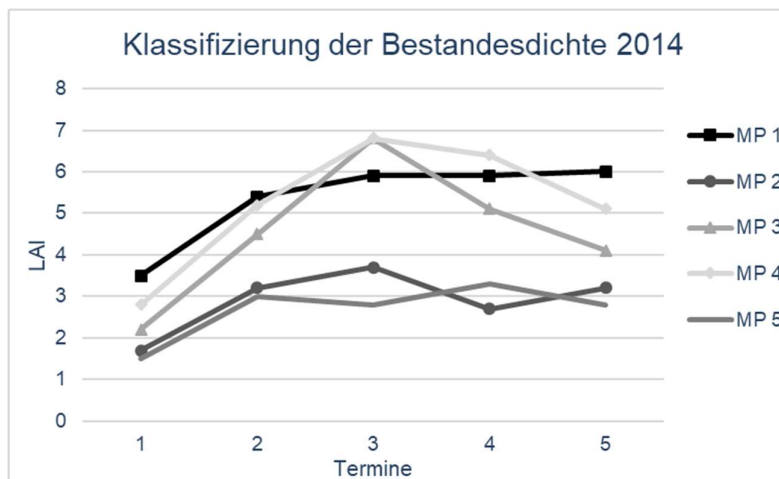
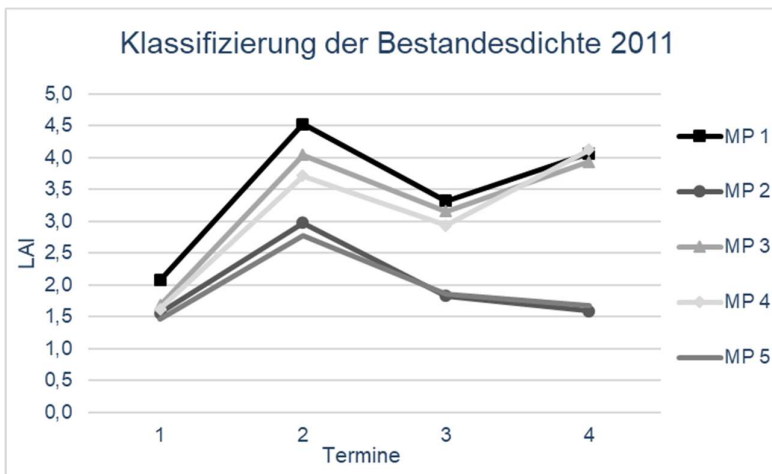
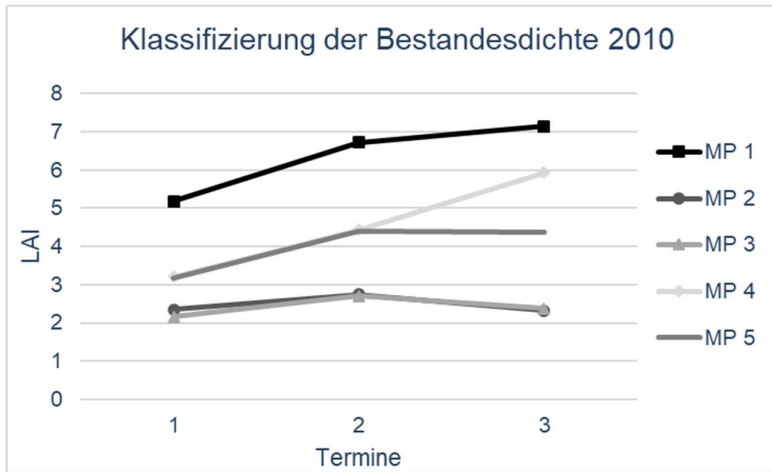


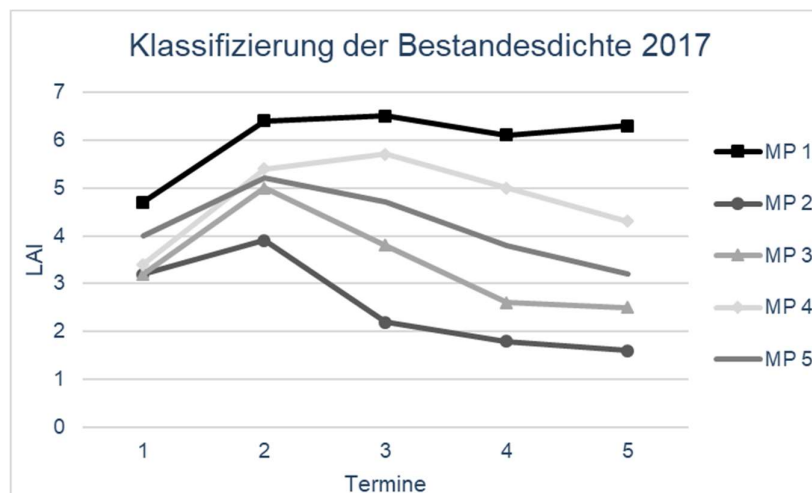
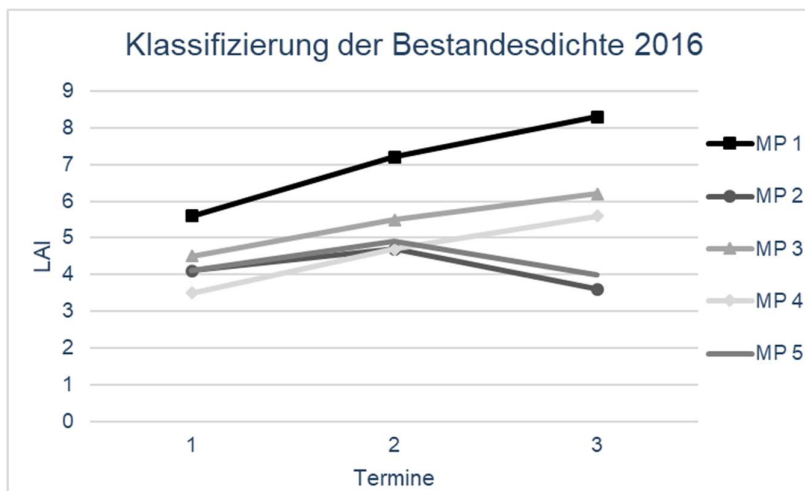
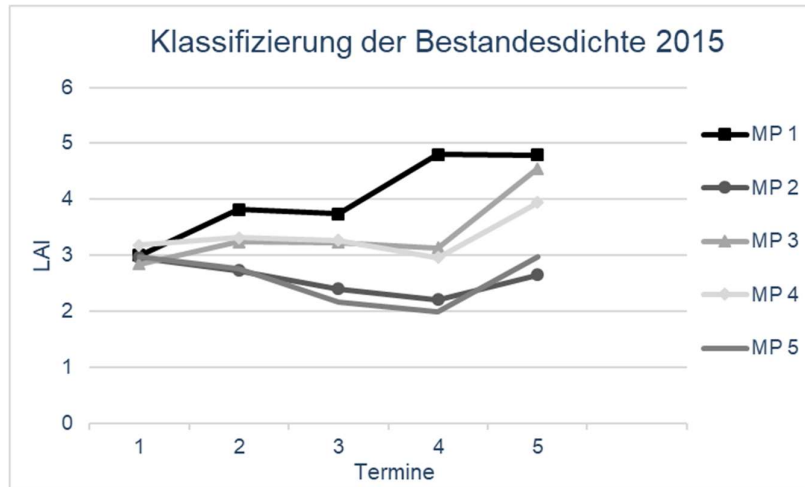
ANHANG II





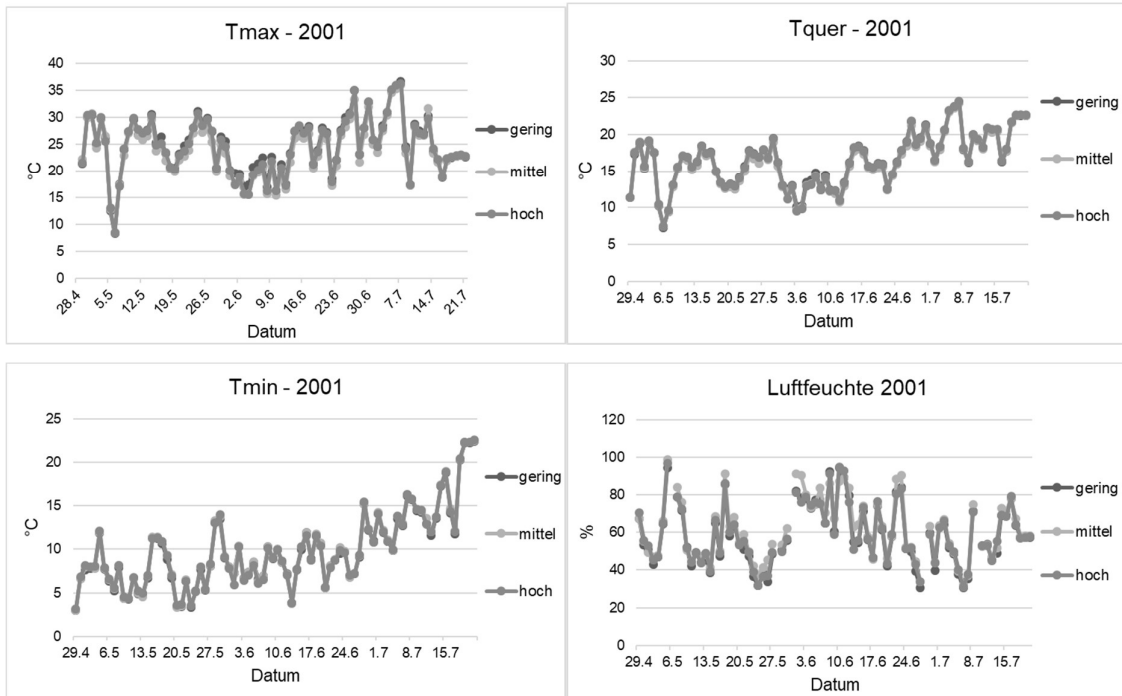




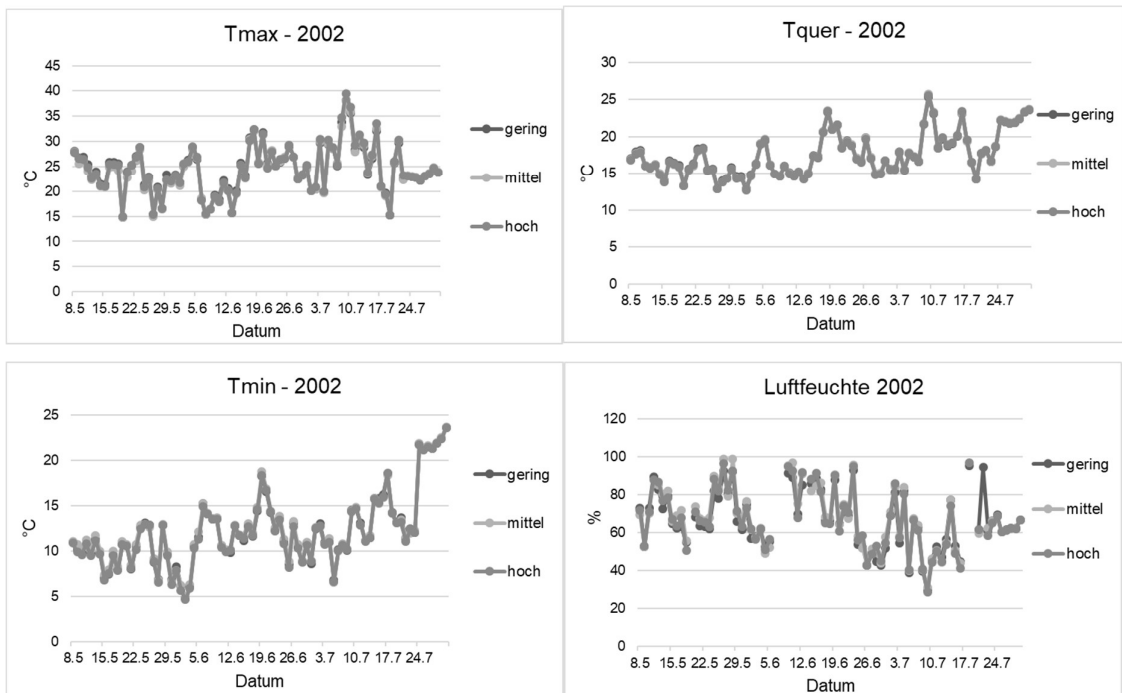


ANHANG III

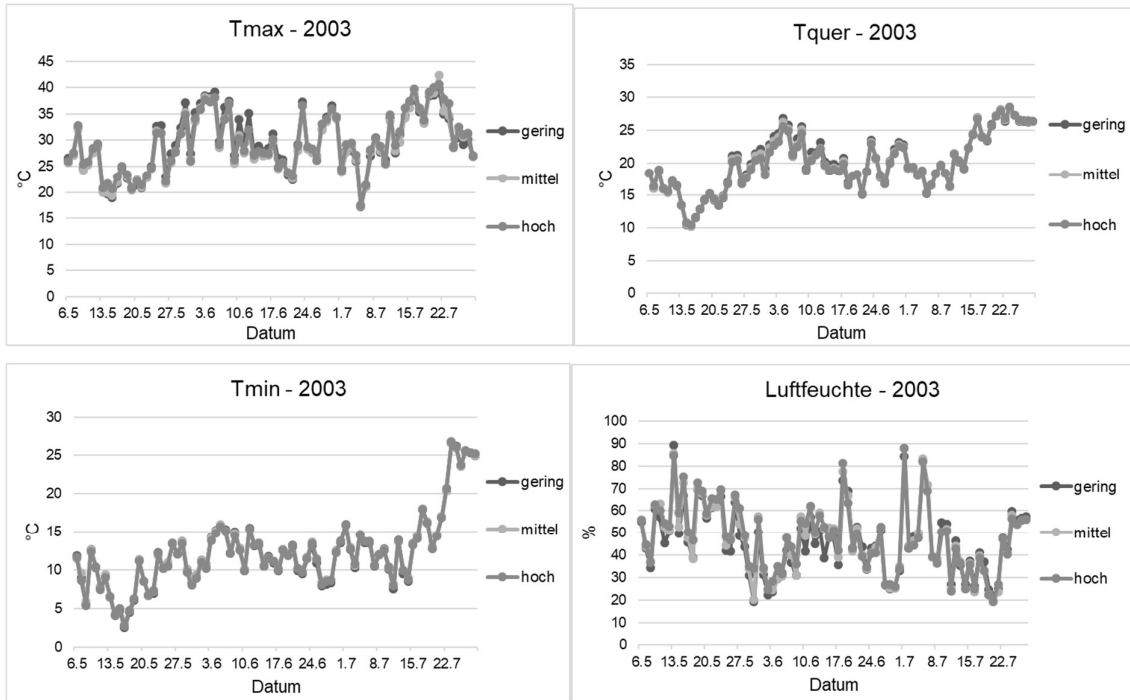
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2001



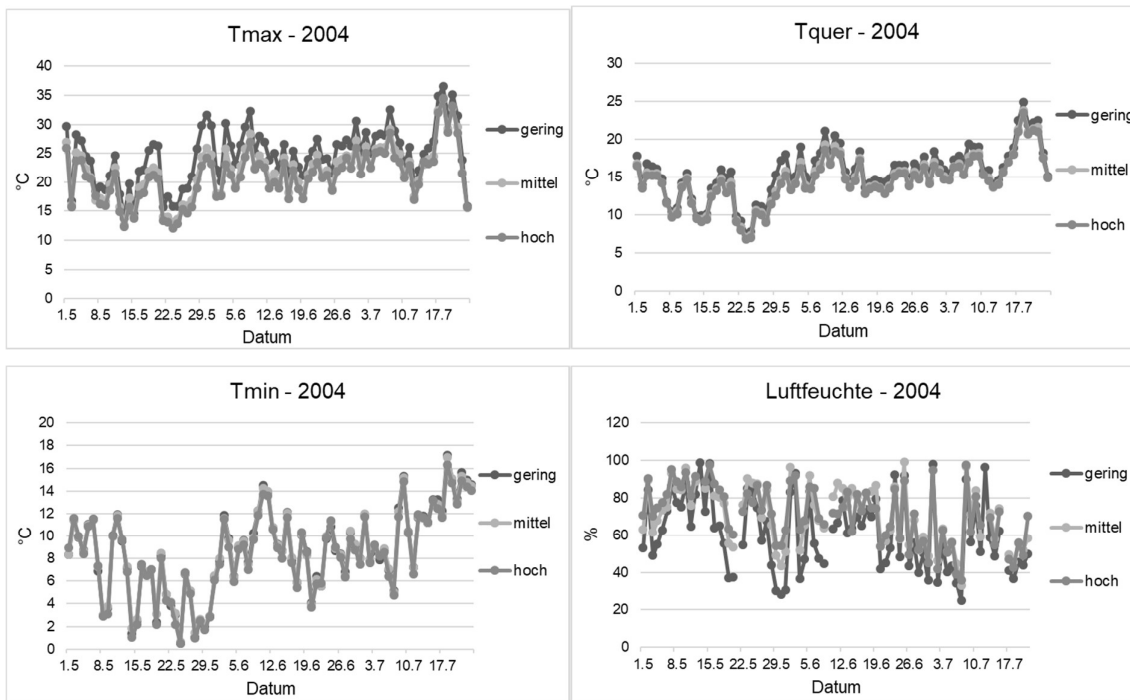
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2002



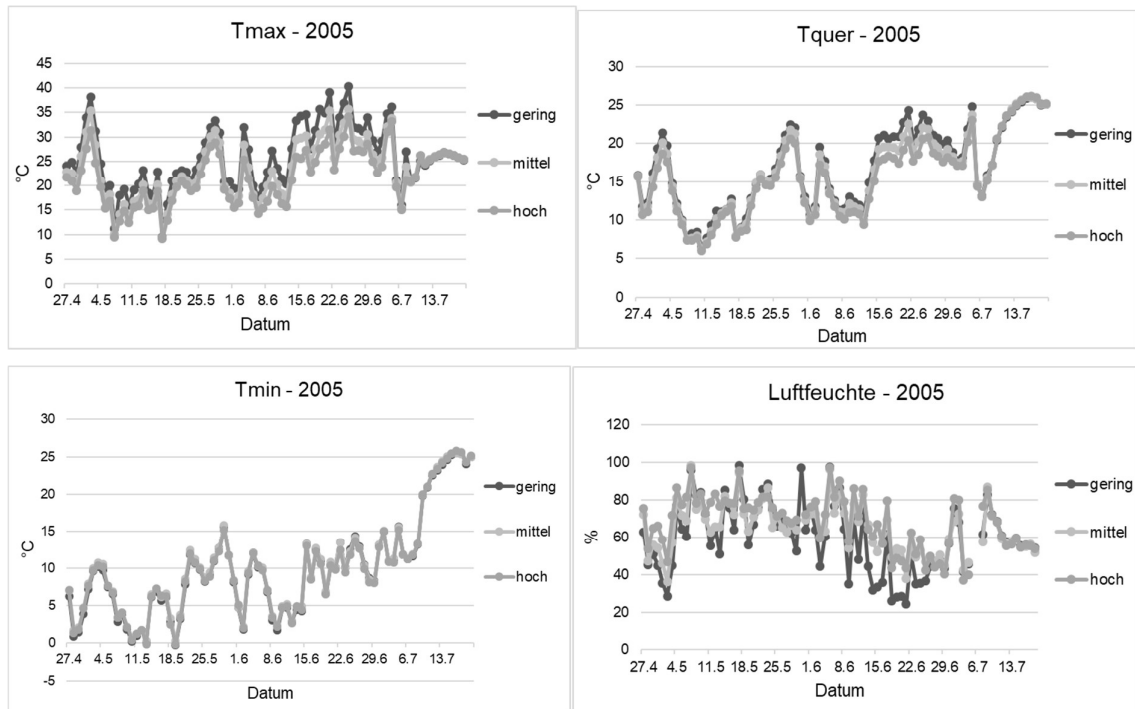
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2003



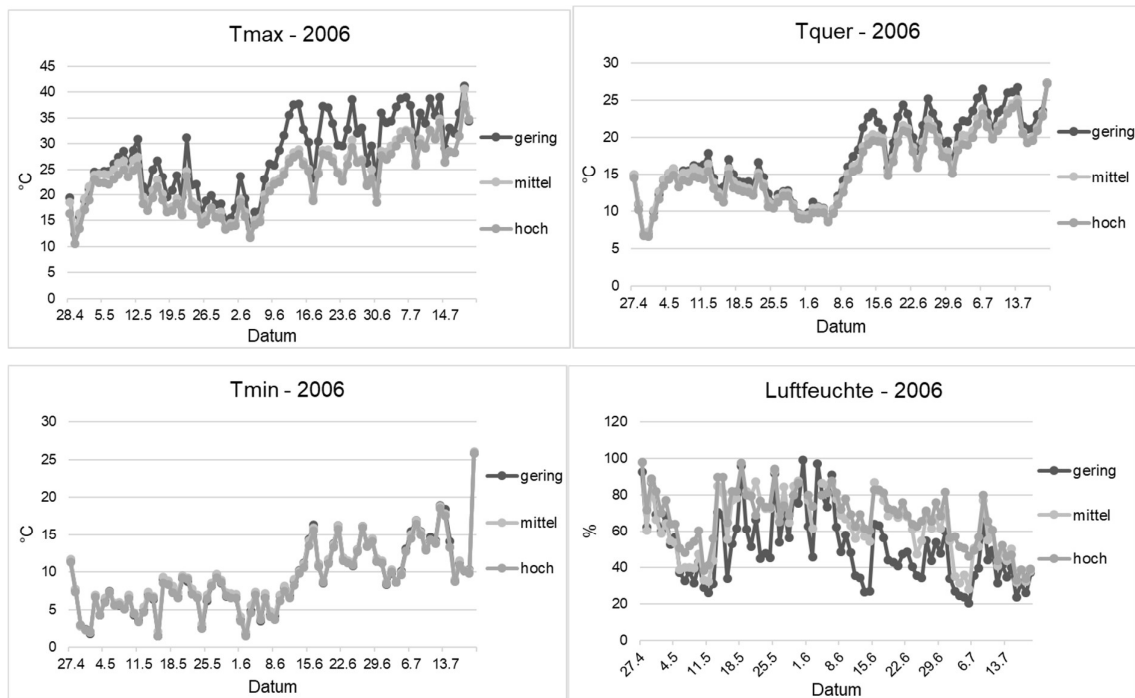
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2004



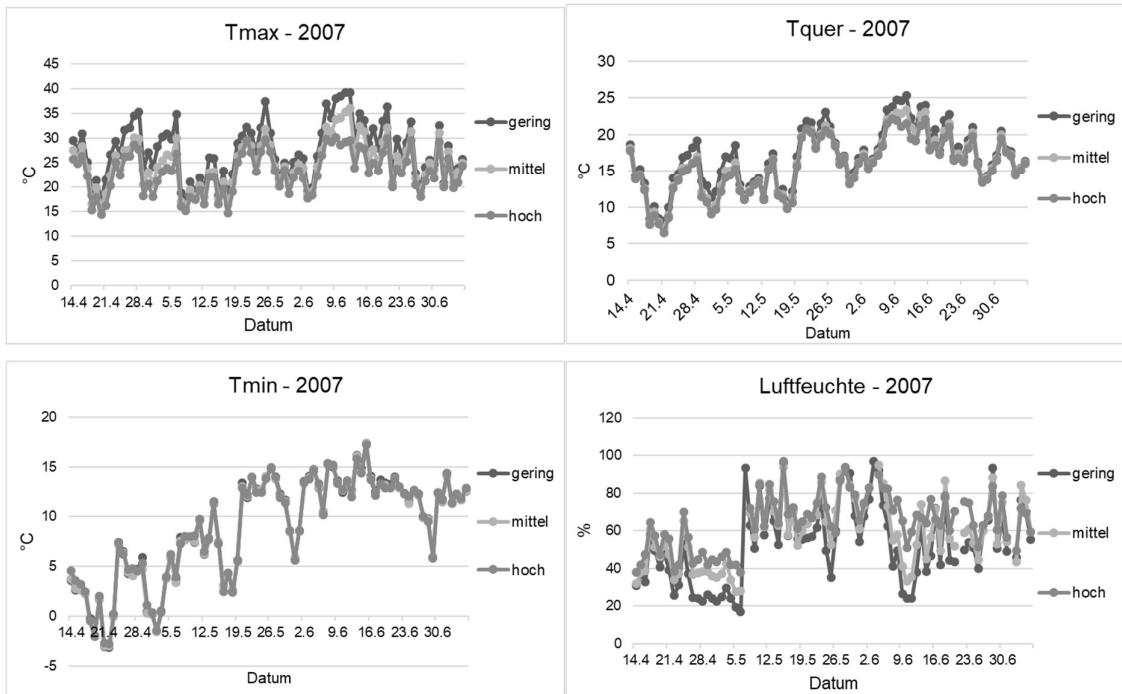
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2005



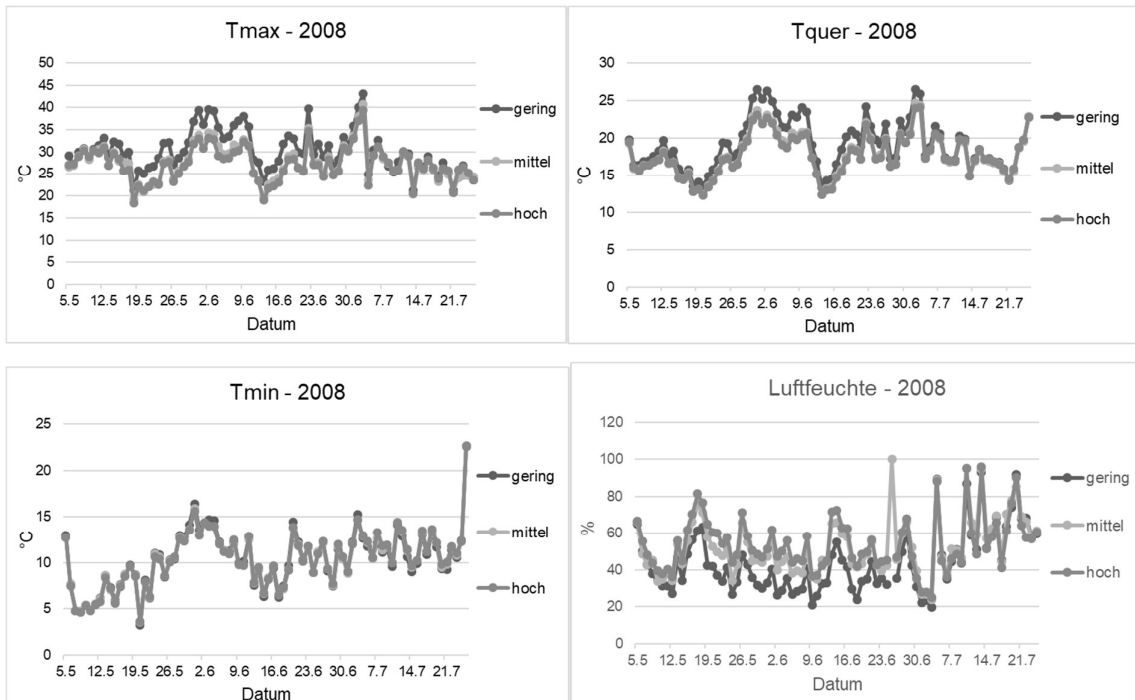
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2006



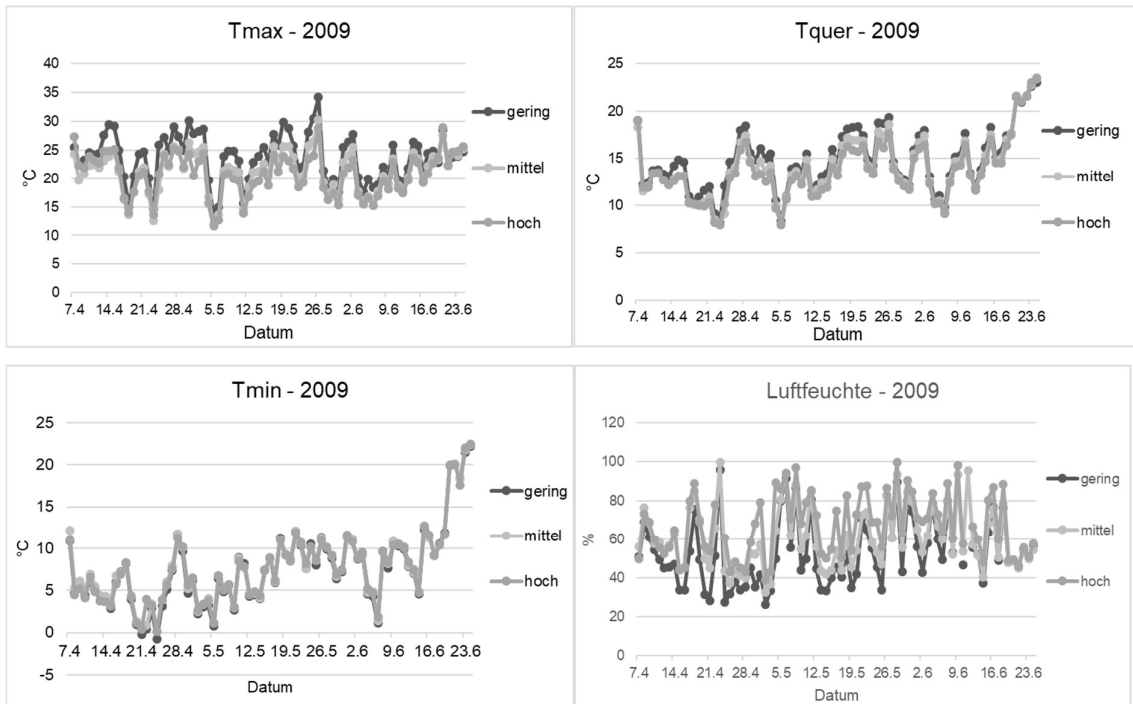
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2007



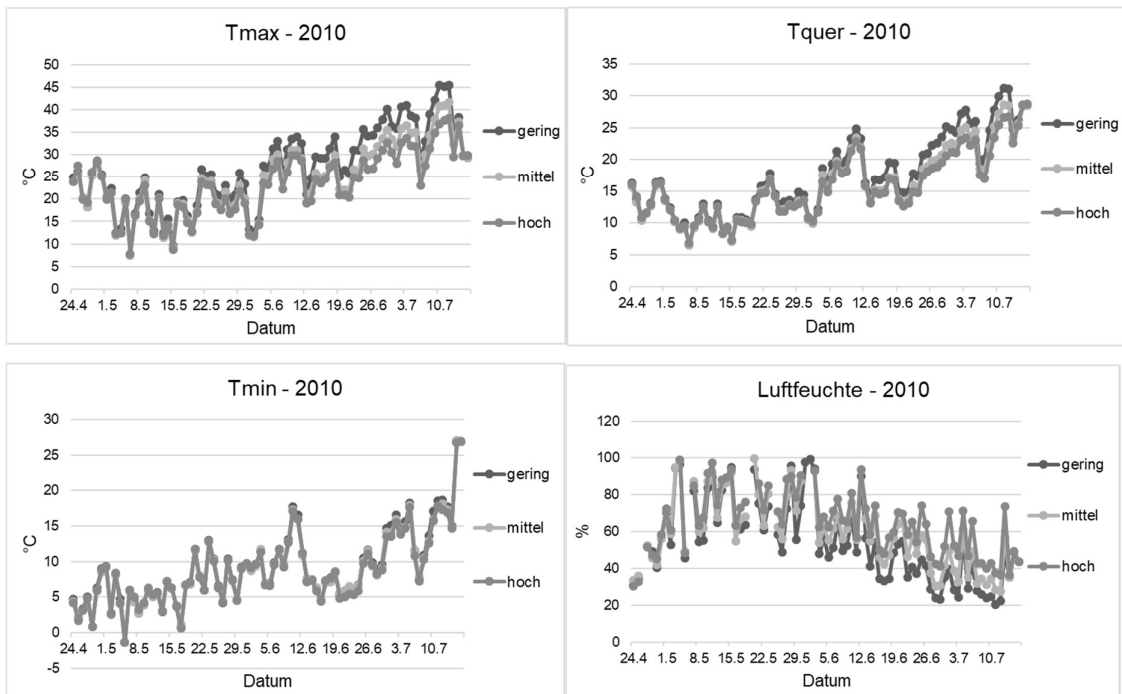
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2008



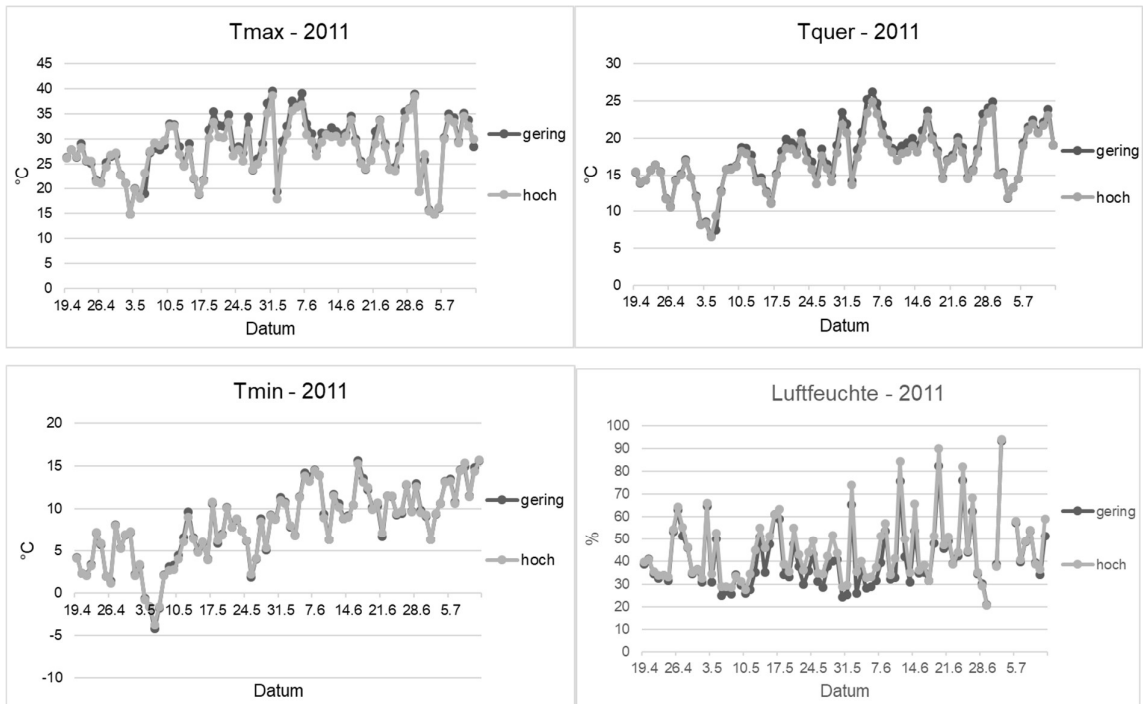
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2009



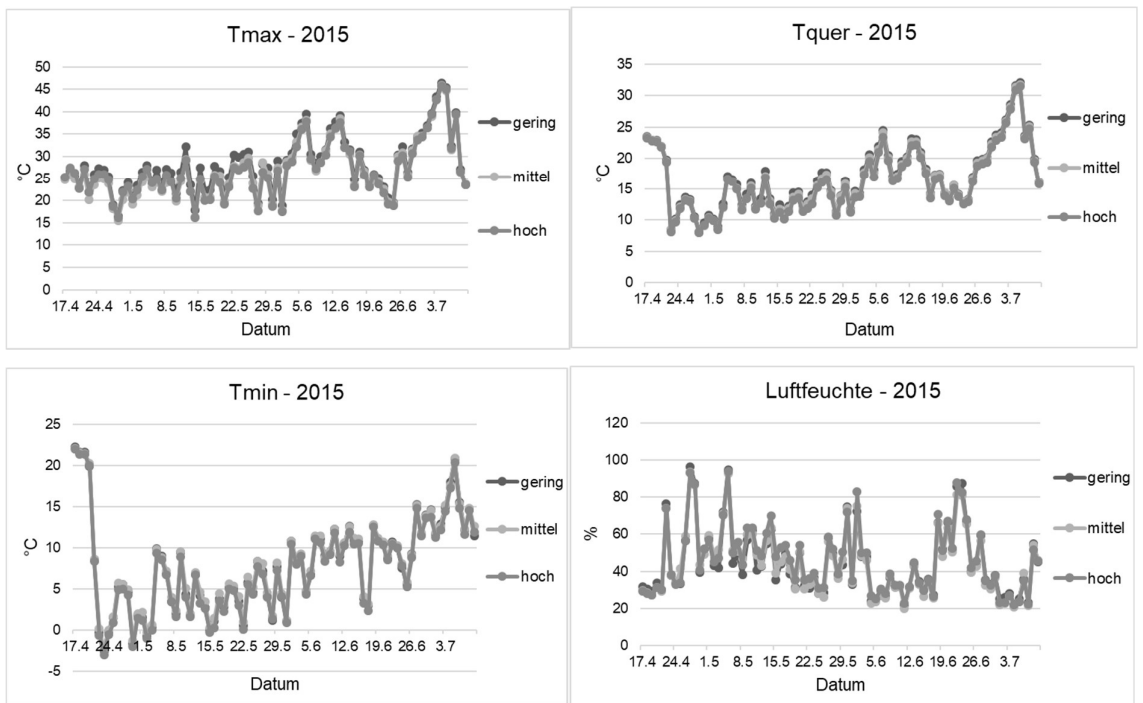
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2010



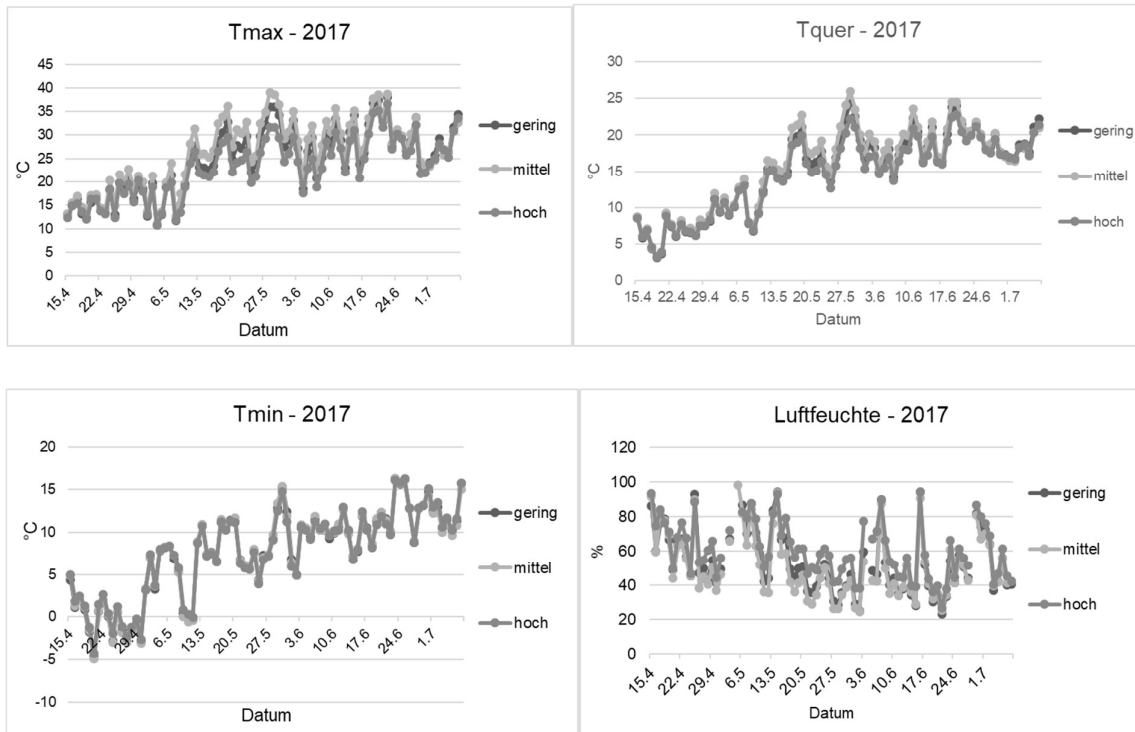
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2011



Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2015



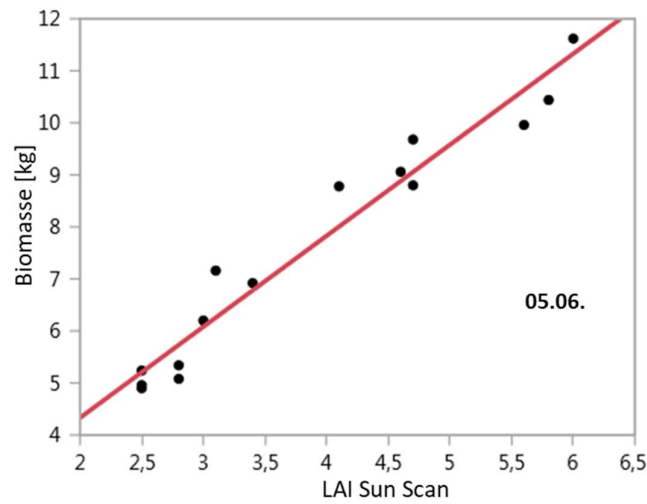
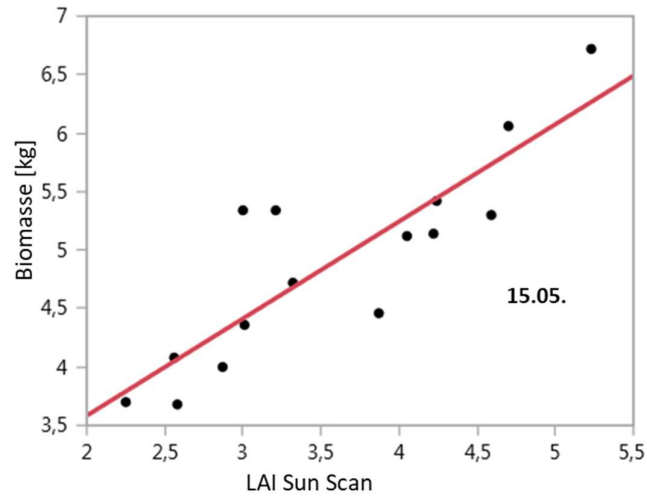
Darstellung der Wetterparameter unterteilt nach Bestandesdichten 2017

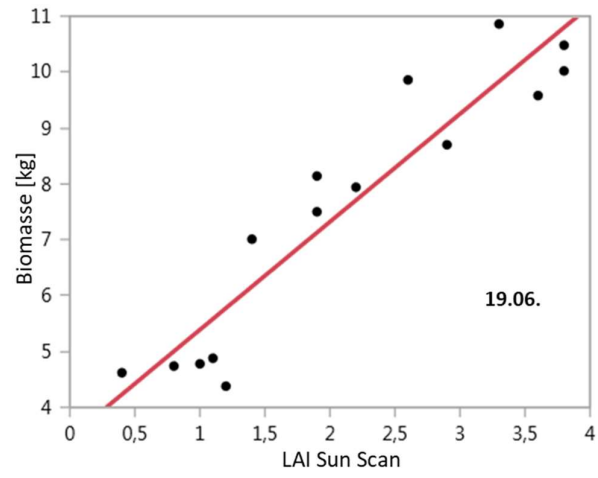


ANHANG IV

Darstellung der linearen Beziehung zwischen BM (y-Variable) und LAI (x-Variable), Beispiel

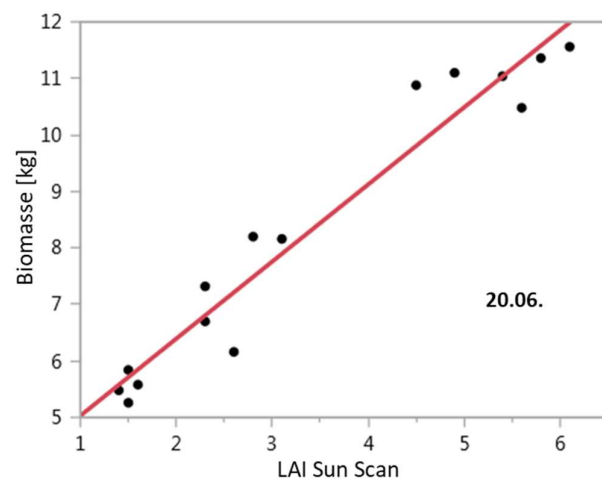
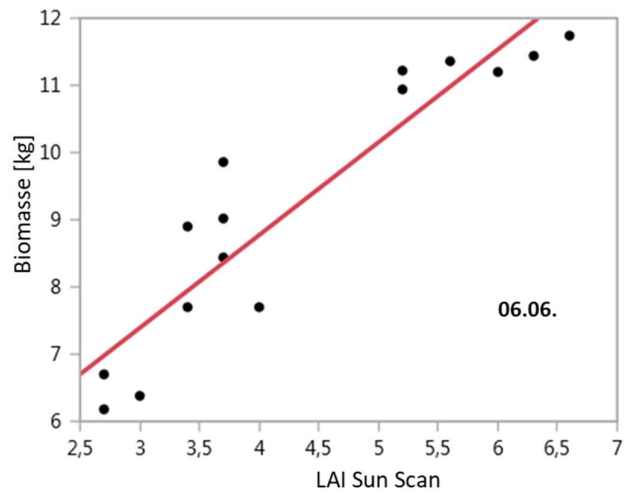
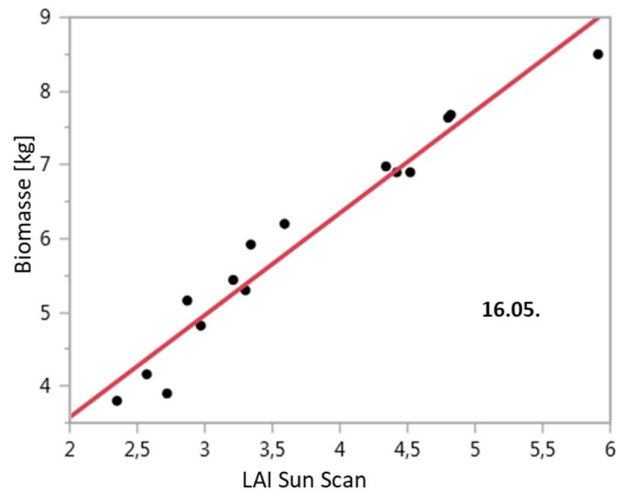
Dabrun 1-2013



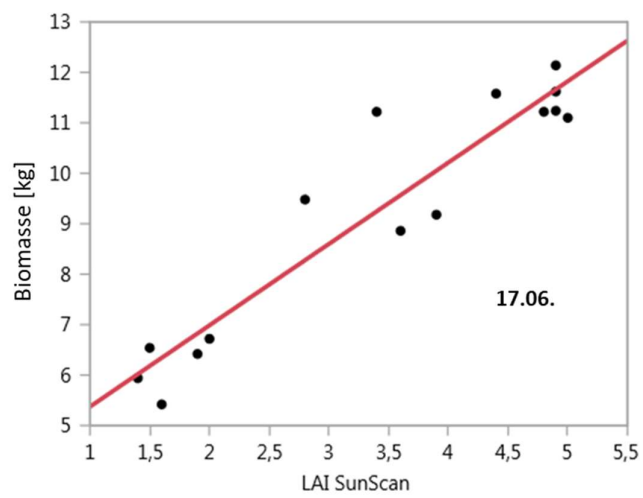
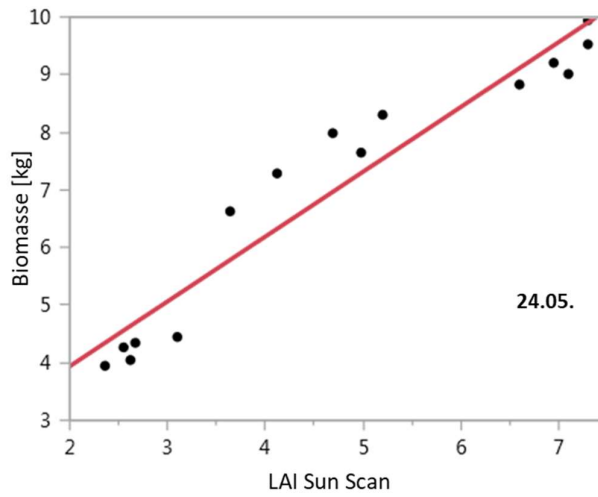
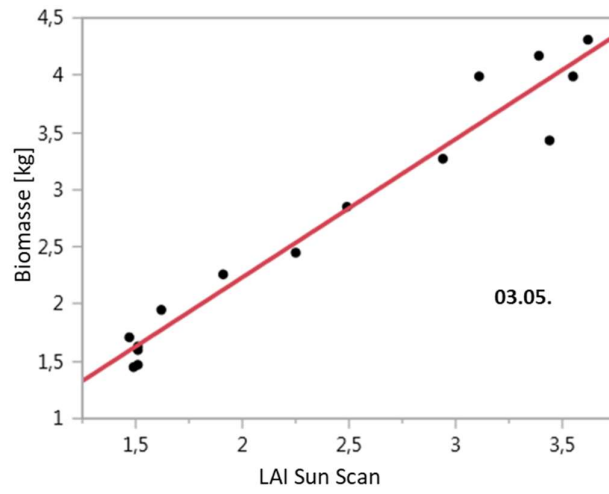


Darstellung der linearen Beziehung zwischen BM (y-Variable) und LAI (x-Variable), Beispiel

Dabrun 2-2013

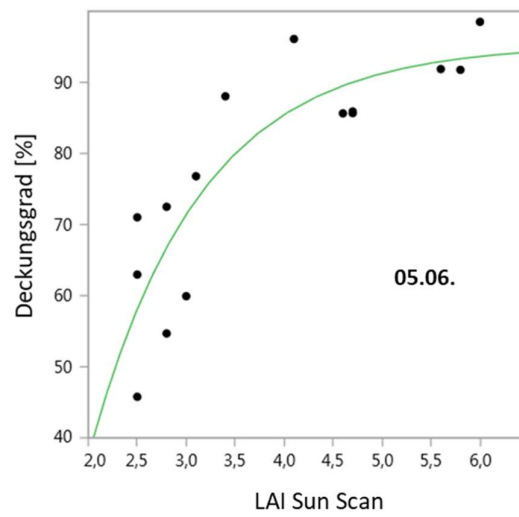
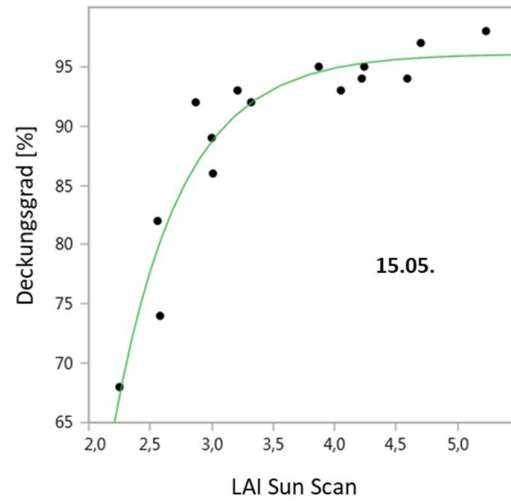


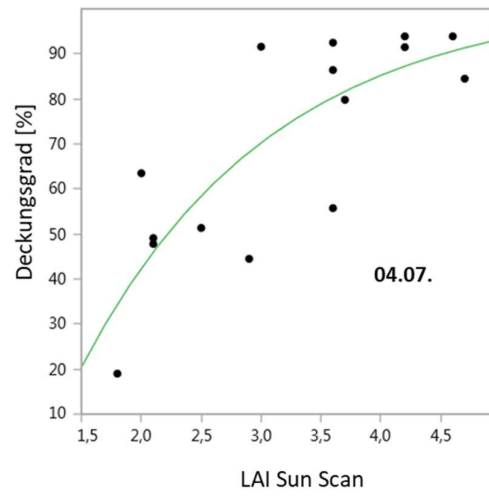
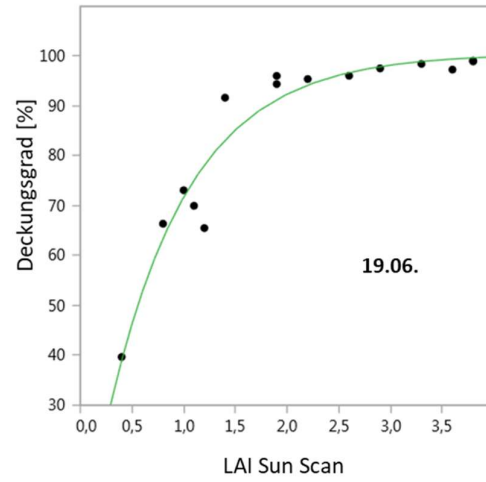
Darstellung der linearen Beziehung zwischen BM (y-Variable) und LAI (x-Variable), Rackith
1-2013



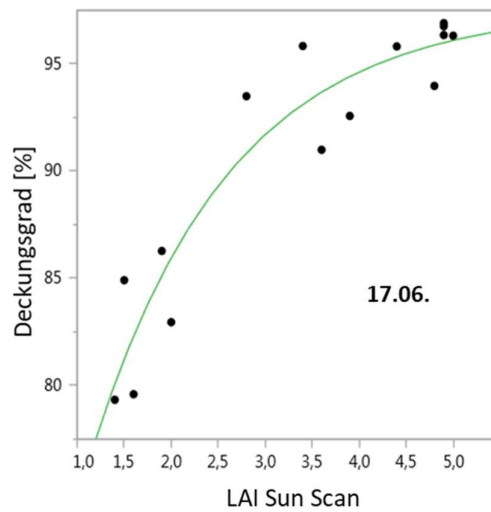
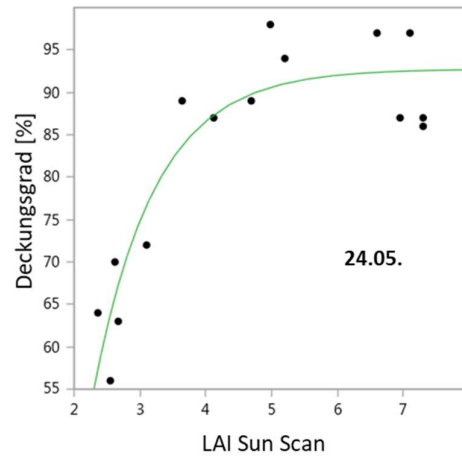
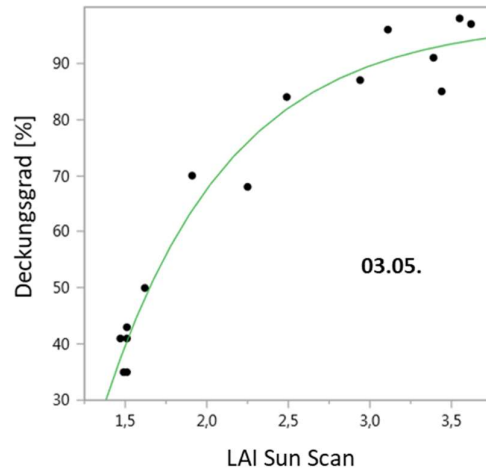
ANHANG V

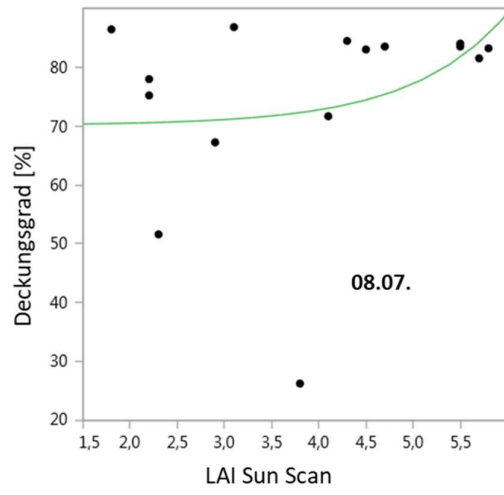
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und LAI (x-Variable) Dabrun 1-2013



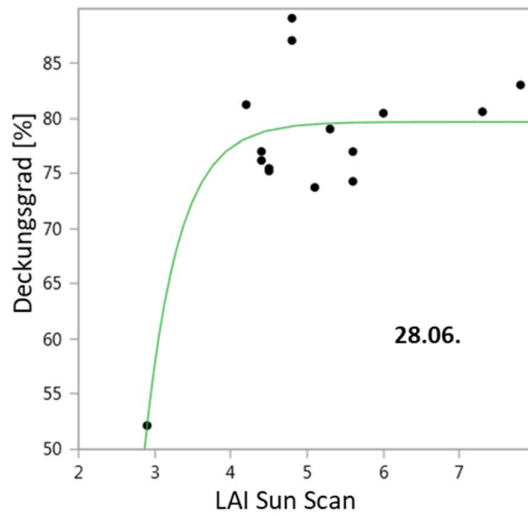
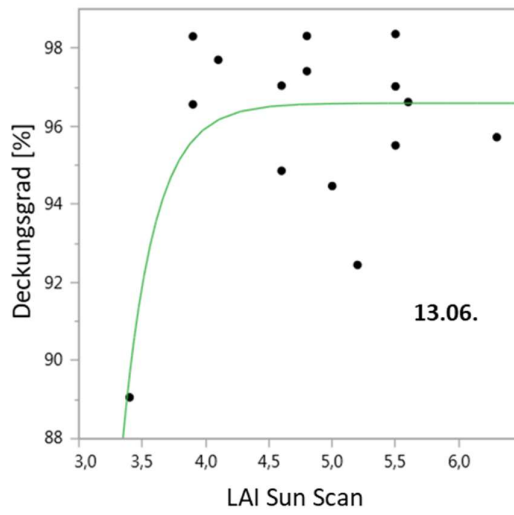
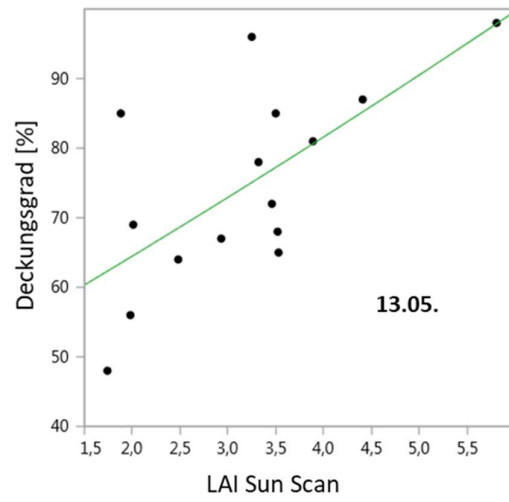


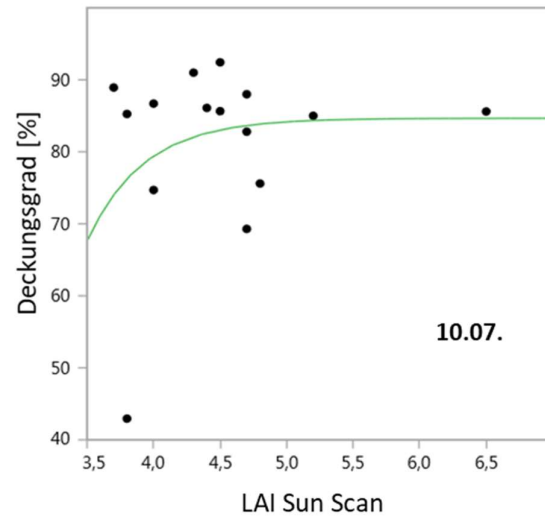
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und LAI (x-Variable) Rackith 1-2013





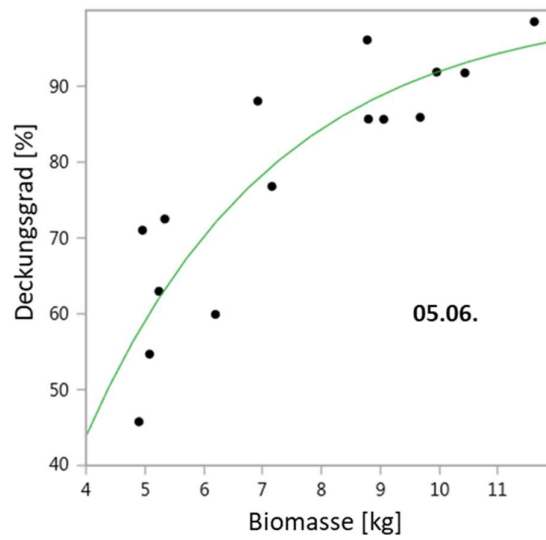
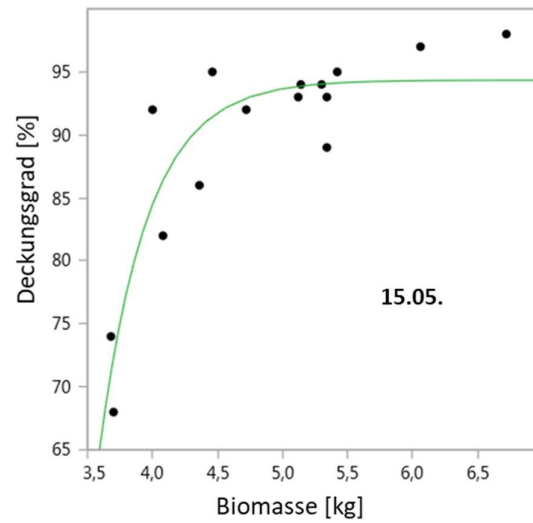
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und LAI (x-Variable) Rackith 2-2013

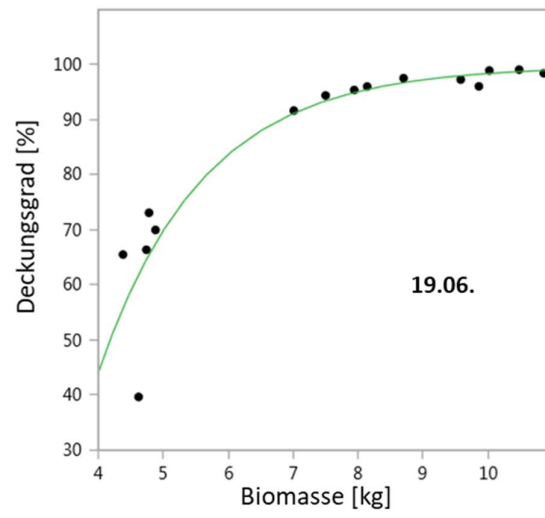




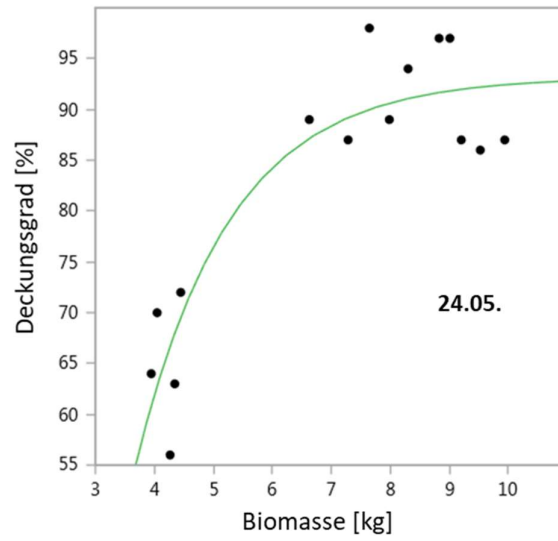
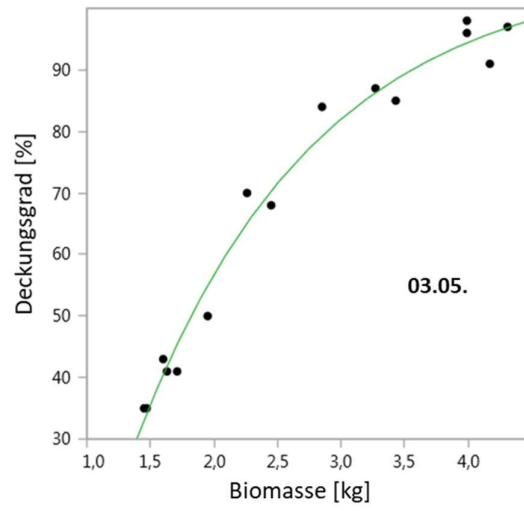
ANHANG VI

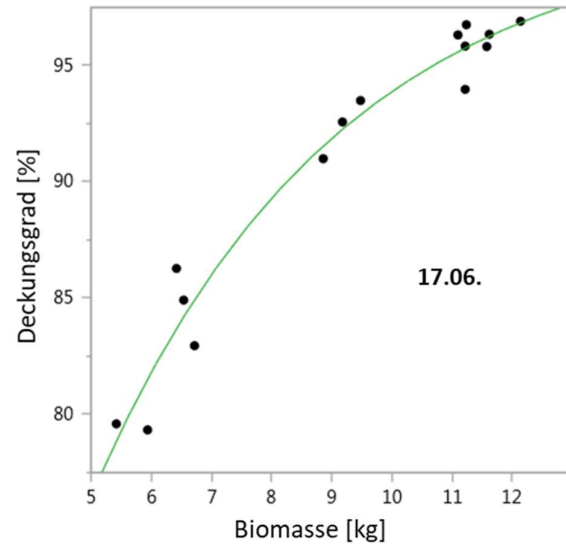
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und BM (x-Variable) Dabrun 1-2013



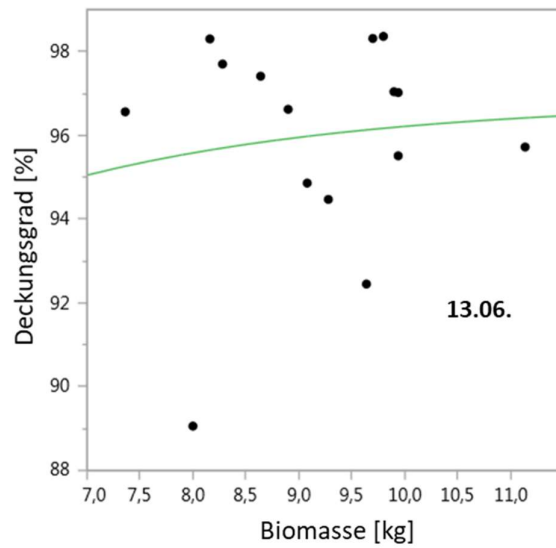
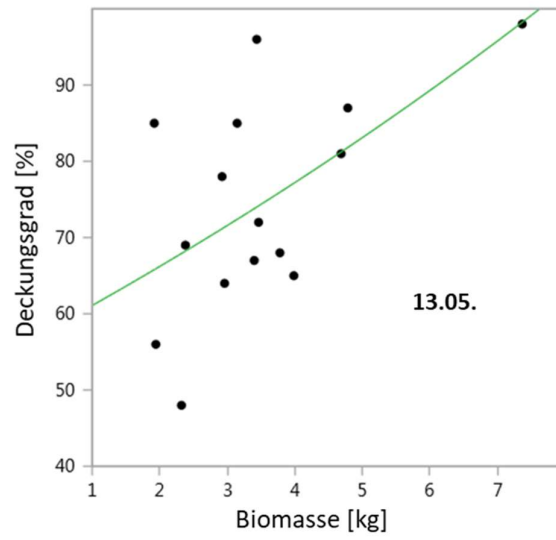


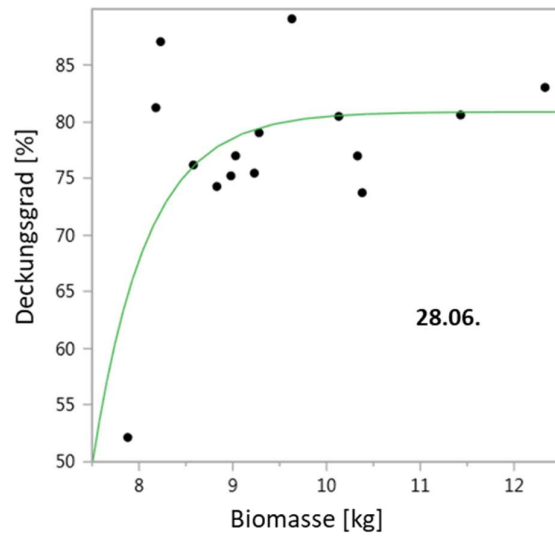
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und BM (x-Variable) Rackith 1-2013





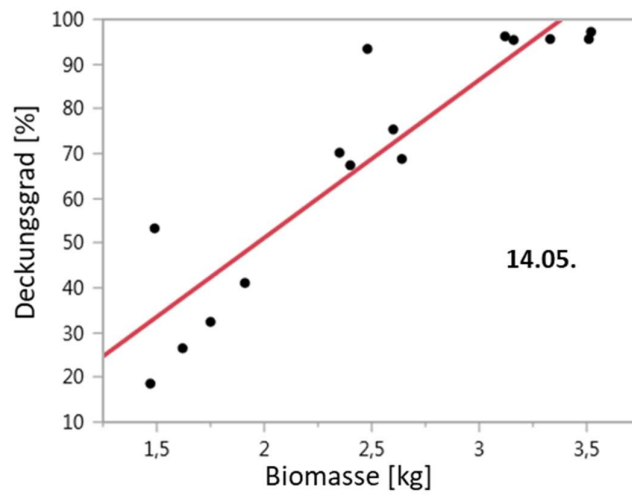
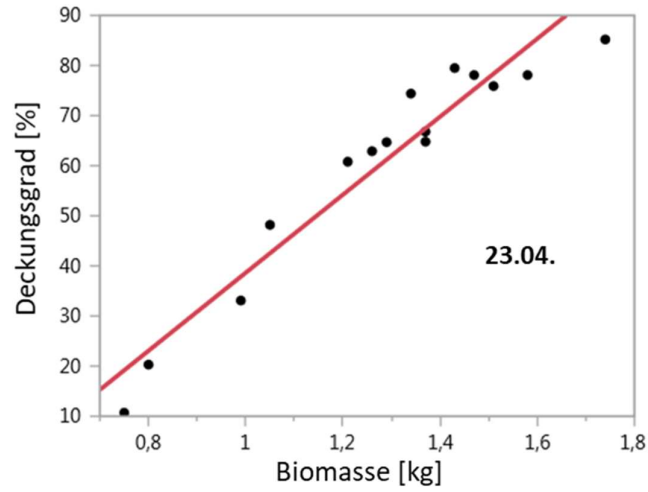
Darstellung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen DG (y-Variable) und BM (x-Variable) Rackith 2-2013

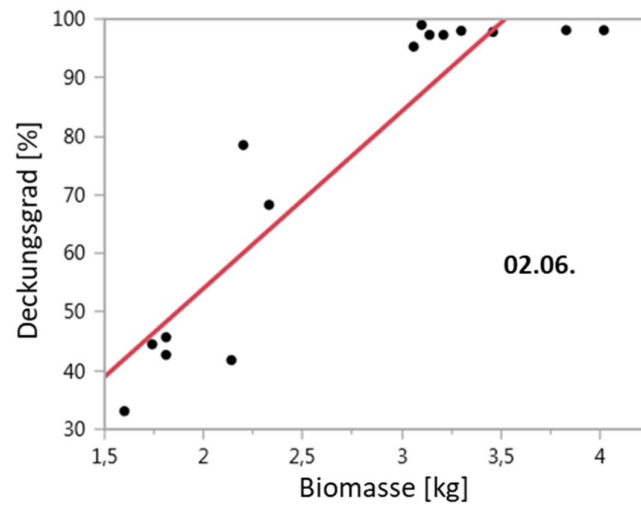




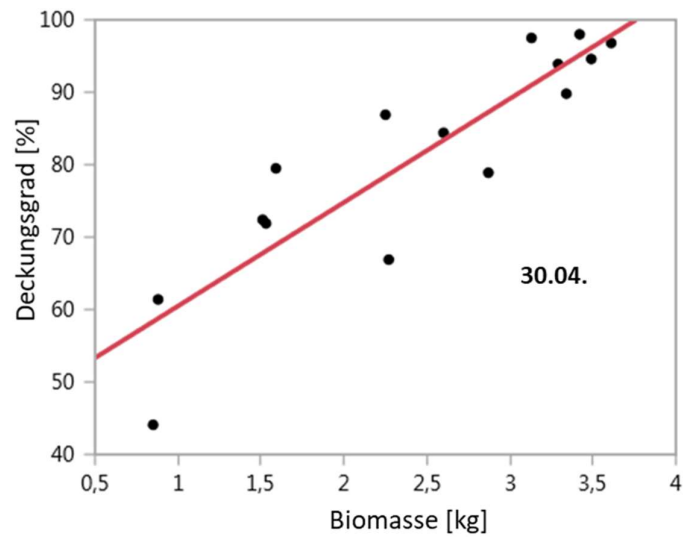
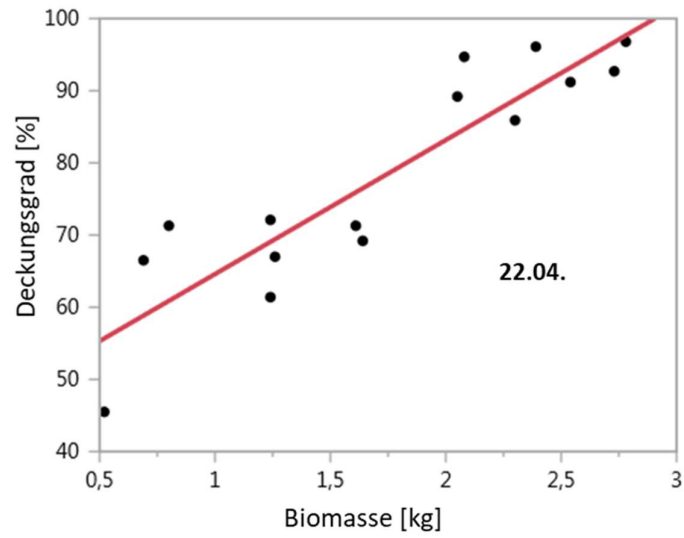
ANHANG VII

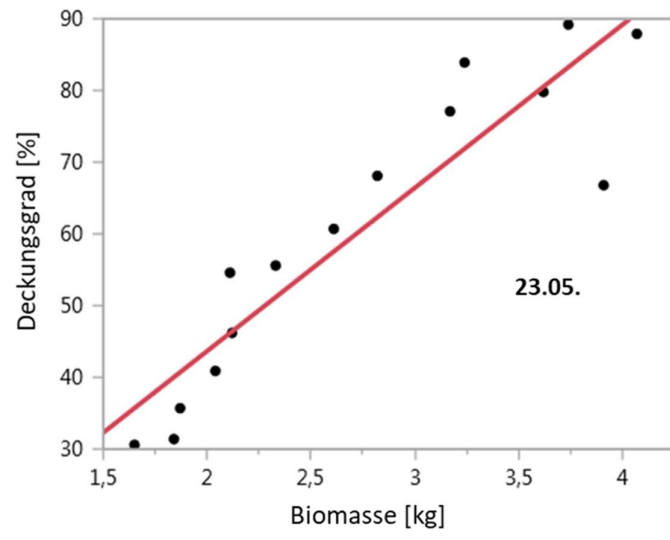
Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen kamerabasierten DG (y-Variable) und der BM (x-Variable) Dabrun 1-2014



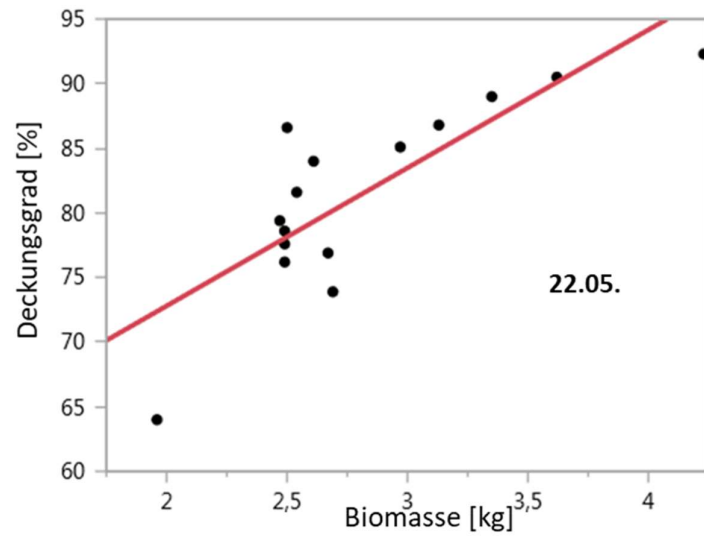
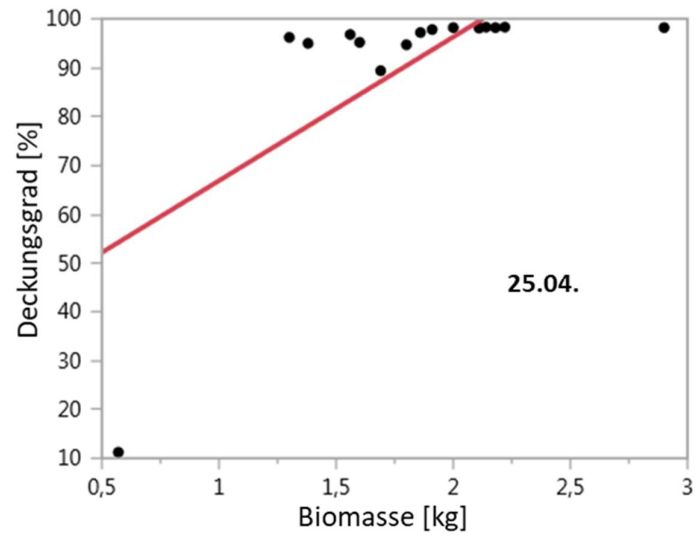


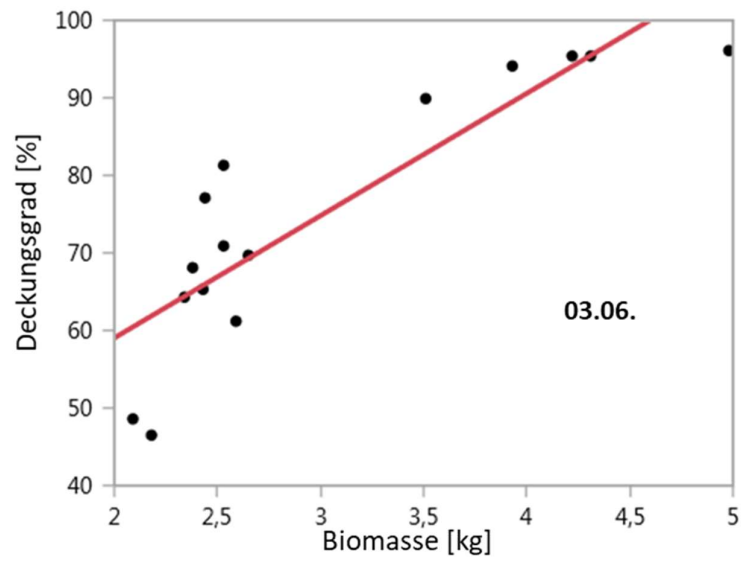
Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen kamerabasierten DG (y-Variable) und der BM (x-Variable) Rackith 1-2014





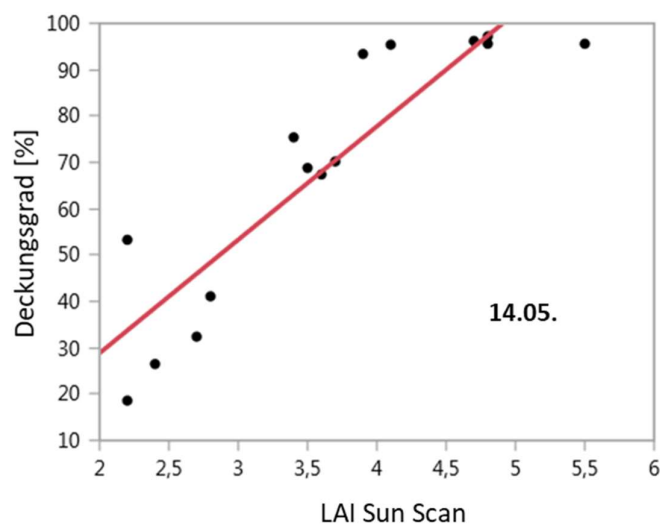
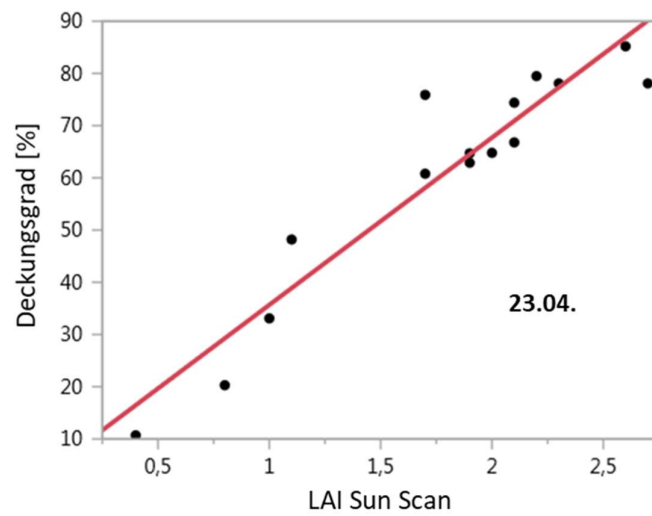
Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen kamerabasierten DG (y-Variable) und der BM (x-Variable) Rackith 2-2014

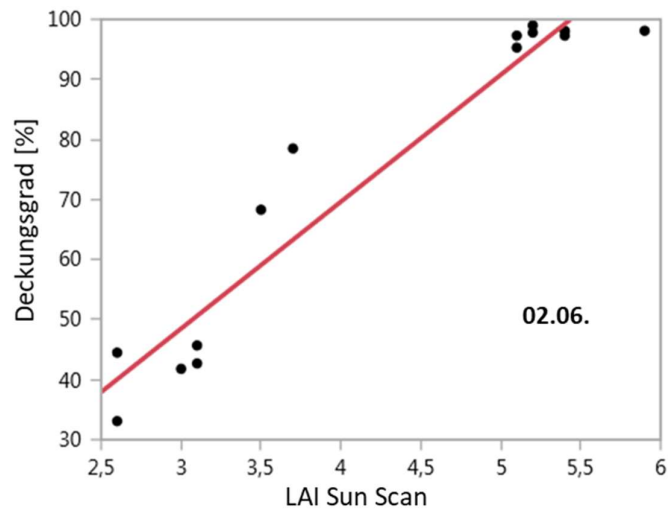




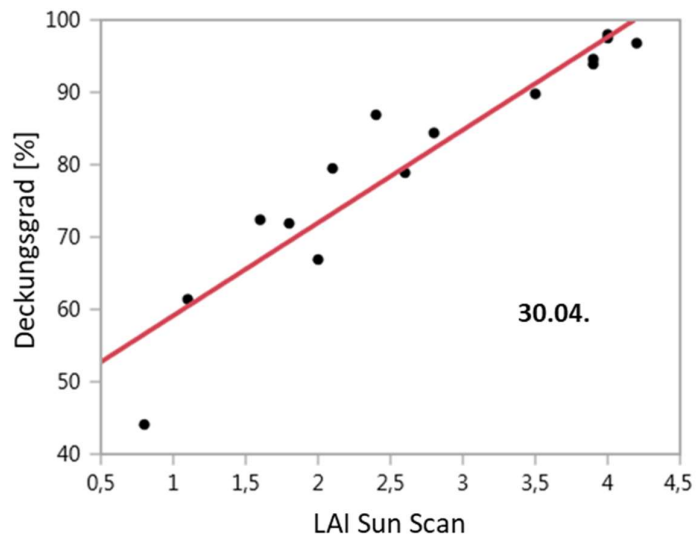
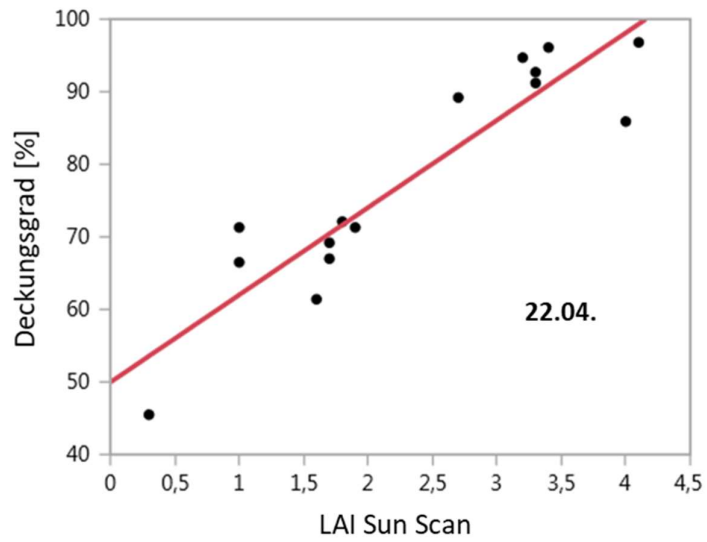
ANHANG VIII

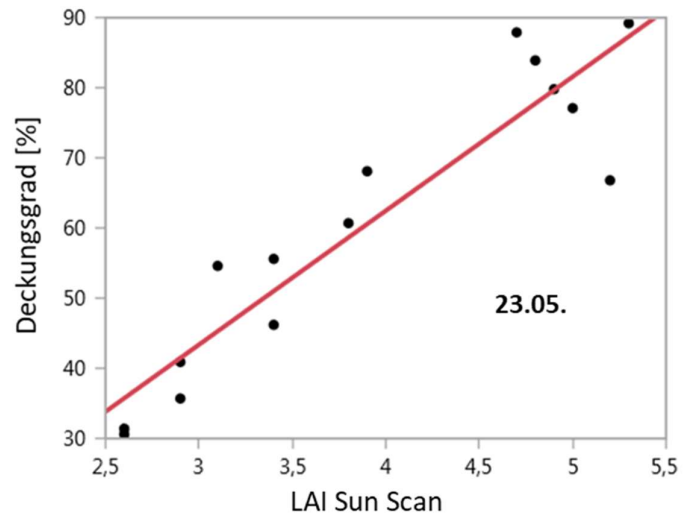
Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG (y-Variable) und dem LAI (x-Variable) Dabrun 1-2014





Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG (y-Variable) und dem LAI (x-Variable) Rackith 1-2014





Darstellung des linearen Zusammenhangs zwischen dem kamerabasierten DG (y-Variable) und dem LAI (x-Variable) Rackith 2-2014

