



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.



Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Verfahrenstechnik
Prof. Dr. Ludwig Popp

Bachelorthesis

Detektion von Sporenbelägen (*Fusarium spp.*) an Weizenähren durch digitale Farbbildanalyse

von

Daniel Göring

Juli 2010

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2010-0073-5

Erstprüfer: Prof. Dr. Ludwig Popp
Land- und Verfahrenstechnik, Dekan Fachbereich Agrarwirtschaft
und Lebensmittelwissenschaften der Hochschule Neubrandenburg

Zweitprüfer: PD Dr. agr. habil. Karl-Heinz Dammer
Wissenschaftler am Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V. Abteilung 4 Technik im Pflanzenbau

Vorgelegt von: Daniel Göring

Fachsemester: 6

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
1. Einleitung.....	3
2. Material und Methoden.....	7
2.1 Feldversuche.....	7
2.1.1 Dabrun.....	7
2.1.2 Braunschweig.....	7
2.1.3 Potsdam Bornim.....	8
2.2 Methoden der Bildanalyse.....	8
2.2.1 Bestimmung der Graustufenwerte.....	8
2.2.2 Objektklassifizierung durch Definition von Thresholds (Schwellenwerten).....	9
2.2.3 Form- und Größenanalyse des Sporenbelages.....	11
2.2.4 Verringern von Missklassifikationen durch morphologische Methoden.....	12
3. Ergebnisse.....	13
3.1 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom Ort	13
3.2 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium	14
3.3 Unterschiede der Objektklassifizierung zwischen Nah- und Fernaufnahmen	14
3.4 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit von der Bildebene.....	18
3.5 Analyse von Größe und Form des Sporenbelages.....	19
3.6 Objektklassifizierung unter Anwendung morphologischer Methoden.....	20
4. Diskussion	22
5. Zusammenfassung.....	27
6. Dank.....	29
7. Literaturverzeichnis.....	30
8. Selbstständigkeitserklärung.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestimmung der Graustufenwertebereiche mit Optimas an Bild Nr. 249.....	9
Abbildung 2: Eingabe eines Mittelwertes und Klassifizierung der erkannten Objekte in Optimas.....	10
Abbildung 3: durch Optimas ermittelte Größenparameter eines Objekts.....	11
Abbildung 4: Binärbild vor Erode.....	12
Abbildung 5: Binärbild nach Erode.....	12
Abbildung 6: Verteilung der Graustufenwerte der einzelnen Farbkanäle in den drei Versuchsstandorten.....	13
Abbildung 7: Veränderung der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom BBCH-Stadium.....	14
Abbildung 8: Unterschiede der Graustufenverteilung zwischen Nah- und Fernaufnahmen....	15
Abbildung 9: Nahaufnahme Nr. 249 gelb dargestellt, Pixel die im Median des Minimum und Maximum der Graustufenwerte liegen.....	16
Abbildung 10: Fernaufnahme Nr. 260 gelb dargestellt, Pixel die im arithmetischen Mittelwert des Minimum und Maximum der Graustufenwerte liegen.....	17
Abbildung 11: Veränderung der Graustufenwerte in Abhängigkeit von der Bildebene.....	18
Abbildung 12: Sporenbelag auf Ährchen	19
Abbildung 13: detektiertes Objekt	19
Abbildung 14: Häufigkeit Breiten-Längen-Verhältnis der Objekte der Nahaufnahmen aus Braunschweig.....	19
Abbildung 15: Erodeanzahl in Abhängigkeit von der detektierten Objektanzahl pro Bild.....	20
Abbildung 16: Objektanzahl vor und nach der Erodemethode.....	21
Abbildung 17: Eine mit Ährenfusarium und Schwärzepilzen befallene Weizenähre.....	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Graustufen-Mittelwerte als Threshold in den 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig.....	16
Tabelle 2: Vergleich der Graustufen-Mittelwerte als Threshold in den 9 Fernaufnahmen aus Braunschweig.....	17

1. Einleitung

Weizen (*Triticum aestivum*) ist neben dem Reis (*Oryza sativa*) die wichtigste Nahrungspflanze der Welt. Im Jahr 2009 wurde Weizen weltweit auf einer Fläche von 225,4 Millionen Hektar angebaut. Die gesamte Erntemenge betrug 678,4 Millionen Tonnen (TOEPFER INTERNATIONAL, 2010). In Deutschland wurden auf 3,164 Millionen Hektar Weizen angebaut und mit einem durchschnittlichen Hektarertrag von 81,3 dt/ha 25,7 Millionen Tonnen geerntet (BMELV, 2010). Zu den größten Weizenproduzenten der Welt zählen China, Indien und die USA. In der Europäischen Union, sind Frankreich und Deutschland die bedeutendsten Weizenproduzenten (FAO, 2008).

Durch die gezielte Züchtung, Verbesserungen im Pflanzenschutz und effizientere Düngung konnte der Weizenertrag pro Hektar deutlich gesteigert werden. Doch nach wie vor entstehen immer noch jährlich beträchtliche Ertragsverluste, die aufgrund der immer knapper werdenden landwirtschaftlich nutzbaren Fläche und der schnell wachsenden Weltbevölkerung drastisch verringert werden müssen. Grund dafür sind zahlreiche Schadorganismen. Vor allem Ährenfusariosen zählen neben Septoria-Blattdürre (*Septoria tritici*), Blatt- und Spelzenbräune (*Septoria nodorum*) und den Gelbrosten (*Puccinia striiformis*) zu den bedeutendsten pilzlichen Schaderregern im Weizen (ENTRUP, OEHMISCHEN, 2000). Durch die zunehmende Anzahl an Biogasanlagen und dem damit verbundenen verstärkten Maisanbau verschlechtert sich die Situation zusätzlich. Denn die verschiedenen *Fusarium*-Arten befallen Weizen, Mais und andere Getreidearten gleichermaßen (VAN EEUWIJK et al., 1995).

Der Trend zur reduzierten Bodenbearbeitung und die saprophytische Lebensweise einiger *Fusarium*-Arten (*F. culmorum* und *F. graminearum*) ermöglichen dem Pilz das Überwintern auf den Ernteresten zum Beispiel den Maisstoppel. Beide Pilze vermehren sich asexuell durch Konidien, welche sich hauptsächlich durch spritzenden Regentropfen ausbreiten. Es gibt Untersuchungen die zeigen, dass sich Konidien von *F. culmorum* ca. 100 cm in horizontaler und 60 cm in vertikaler Richtung ausbreiten können (JENKINSON UND PARRY, 1994).

Der Trend zu immer kurzstrohigeren Weizensorten und der Einsatz von Wachstumsregulatoren begünstigt die Verbreitung zusätzlich. Die Infektion der Ähre erfolgt hauptsächlich zum Beginn der Blüte (BBCH-Stadium 60-65) bei ausreichend Feuchtigkeit und einer Temperatur von mindestens 15 °C und höchstens 32 °C (SUTTON, 1982).

Dann kommt es zu Kümmerkornbildung oder zu völlig tauben Ährenteilen. Dies führt zu einem geringeren Tausendkorngewicht sowie einer reduzierten Kornzahl pro Ähre. Dadurch kann es zu Ertragsverlusten bis zu 70% kommen (MARTIN UND JOHNSTON, 1982). Tritt die

Infektion erst mitten in der Blüte oder zu Beginn der Milchreife (BBCH-Stadium 73) auf, entwickeln sich die Ähren und Körner weitestgehend normal. Eine Belastung mit Mykotoxinen kann aber dennoch möglich sein. Der Befall mit *Fusarium*-Arten kann außerdem die Kornqualität, wie zum Beispiel die Backeigenschaften, negativ beeinflussen (DEXTER ET AL., 1997). Die Kontamination des Ernteguts durch eine Reihe von toxischen Metaboliten die die verschiedenen *Fusarium*-Arten bilden können, ist aber das größere Problem. Die wichtigsten gebildeten Mykotoxine in Getreide kann man im wesentlichen in drei Hauptgruppen einteilen: die Gruppe der Trichothecene (z.B. Deoxynivalenol (DON), Nivalenol (NIV)) der Zearalenone (ZEA) und der Fumonisine (KEHL, 2005). Der Verzehr von kontaminiertem Getreide verursacht beim Menschen beispielsweise Erbrechen, Durchfall und Hautreaktionen. Die Verwendung als Futtermittel, verursacht ebenfalls gesundheitliche Schäden bei Nutztieren. Die Empfindlichkeit ist stark von der Tierart abhängig. Monogastrier, also besonders Schweine, die sehr sensibel gegenüber den genannten Toxinen sind, zeigen im Gegensatz Wiederkäuer und Geflügel eine höhere Toleranz (TRENHOLM ET AL., 1984). Das Östrogen wirksame Zearalenon (ZEA) zum Beispiel führt vor allem bei Schweinen zu Fruchtbarkeitsstörungen, Hyperöstrogenismus und Totgeburten (ZINEDINE ET AL., 2006). Seit dem 01. Juli 2006 gelten EU-weite Grenzwerte für Fusarientoxine. Die gesetzlichen Höchstmengen für Deoxynivalenol zum Beispiel, liegen bei anderem unverarbeiteten Getreide als Hartweizen, Hafer und Mais bei 1250 µg/kg, für Getreideerzeugnisse bei 750 µg/kg und für Brot, Kleingebäck und Feine Backwaren bei 500 µg/kg (DIE KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT, 2006).

Momentan erfolgen die Untersuchungen auf Fusariumbefall erst bei der Anlieferung des Ernteguts beim Getreidehändler. Zur Zeit besteht nur die Möglichkeit einer visuellen Bonitur auf „Fusarien-Körner“ um eine Partie im „Schnellverfahren“ toxikologisch zu bewerten.

Dazu wird mit einem Rohrprobenstecher an mindestens 10 Stellen der Partie eingestochen und Proben werden entnommen, so dass man eine repräsentative Mischprobe mit ca. 1 kg Kornmaterial erhält. Aus der 1 kg Mischprobe sollten ca. 17 – 20 g Körner als letzte Teilmenge mit dem Probenteiler erzeugt werden („Herunterteilen“ der Probe). Bei Partien mit weniger als 10 t sollten mindestens 400 Körnern ausgezählt werden. Bei größeren Erntemengen sollte die Probemenge entsprechend, mit mehr Einstichen bis auf 10 kg Probenmaterial und die Zahl der auszuzählenden Körner ebenfalls im gleichen Umfang erhöht werden. Danach wird diese Mischprobe solange über einen Probenteiler (Riffelteiler mit 6-8 Kanälen) geführt, bis die gewünschte Auszählmenge angefallen ist.

Erst wenn eine bestimmte Anzahl an Fusarium-Körnern auftritt werden weitere labortechnische Untersuchungen angeordnet (MUNZERT, LEPSCHY, 2004). Visuelle Bonituren sind immer subjektiv, mit Unsicherheiten behaftet und genügen selten den wissenschaftlichen Ansprüchen. Eine automatische Detektion von Fusarium, schon auf dem Feld würde zu folgendem Nutzen führen:

1. Eine GPS-gestützte Detektion von Fusariumsymptomen an Weizenähren durch digitale Bildauswertung würde Informationen liefern, wo sich Feldbereiche mit hohem Fusariumbefall befinden.
2. Das kontaminierte Getreide in diesen Feldbereichen könnte man separat ernten oder durch Maßnahmen des Flottenmanagements getrennt transportieren und bei der Ankunft im Lager mit labortechnischen Methoden genauer auf seinen Mykotoxingehalt untersuchen und anschließend, wenn nötig separat lagern bzw. vermarkten.
3. Ein potenzielles optisches Messverfahren, würde berührungslos und zerstörungsfrei arbeiten. Zum messen wird lediglich eine handelsübliche Digitalkamera benötigt. Die Digitalkamera könnte an ein Trägerfahrzeug angebaut werden. Auf diese Weise könnte eine schnelle objektive Bonitur mit einer hinreichend hohen Stichprobenanzahl durchgeführt werden.

Fusariosen zeigen 2 charakteristische Symptomausprägungen, die partielle Taubährigkeit (ein Chlorophylldefekt) und später, bei günstiger Witterung einen roten Sporenbelaag. Die Weiß- bzw. Taubährigkeit kann mit anderen phytopathologischen Schädlingen oder pflanzenphysiologischen Mangelerscheinungen verwechselt werden. Häufig führen verschiedene Fußkrankheiten, verursacht durch Pilze oder durch Insekten wie z.B. der Erreger der Halmbruchkrankheit (*Pseudocercospora herpotrichoides*) und die Getreidehalmwespe (*Cephus pygmaeus*), auch zu Weiß- bzw. Taubährigkeit. Auch ein akuter Mangel des Mikronährstoffs Kupfer kann diese Symptome verursachen (AMT FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN AUGSBURG, 2010).

Fusariosen hingegen verursachen eine partielle Weiß- bzw. Taubährigkeit, die nur Teile der Ähre bzw. einzelne Ährchen befällt. Hervorgerufen wird die Krankheit hauptsächlich durch fünf Arten: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae* und *Microdochium nivale*

(PARRY ET AL., 1995). Weltweit haben *F. culmorum* und *F. graminearum* die größte Bedeutung, wobei *F. Graminearum* in Gebieten mit kontinentalen Klima (z.B. in der USA) dominiert, während *F. culmorum* eher ein kühleres maritimes Klima (wie in Nordeuropa) bevorzugt (PARRY ET AL., 1995; BOTTALICO UND PERRONE, 2002). Der rote Sporenbelag des Pilzes, der sich bei günstiger Witterung bildet, ist jedoch der eindeutige Beweis (SPAAR, KLEINHEMPEL, FRITZSCHE, 1988), dass es sich um eine Infektion mit *Fusarium spp.* handelt.

Zielstellung dieser Arbeit ist die Analyse der Farbausprägungen (Graustufenwerte) des roten Sporenbelages unter verschiedenen Einflussfaktoren wie den standortspezifischen Umweltbedingungen, dem Entwicklungsstadium (BBCH-Stadium), Unterschiede zwischen Nah- und Fernaufnahmen, der Position der untersuchten Weizenähre auf dem Foto (Vorder- oder Hintergrund) und die Größe und Form des vermeintlichen Sporenbelages.

Es sollte weiterhin geprüft werden ob ein einheitliches Verfahren der Bildverarbeitung entwickelt werden kann, was eine Detektion des roten Sporenbelages von *Fusarium spp.* an Weizenähren ermöglicht.

2. Material und Methoden

2.1 Feldversuche

2.1.1 Dabrun

Am 21. und 22. Juni 2007 wurden Nahaufnahmen mit einer handelsüblichen Digitalkamera (der Firma Kodak Modell Easyshare Z1275) in einem Weizenfeld der Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaft Dabrun e. G aufgenommen. Von diesen Aufnahmen zeigten 13 Fotos Weizenähren mit dem roten Sporenbelag des Fusariumpilzes. Am 06. Juli 2007 wurden weitere Fotos aufgenommen um die Entwicklung der Symptomstärke der partiellen Taubährigkeit anhand von mit Fusarium infiziertem Weizenpflanzen zu dokumentieren. Von diesen Bildern enthielten 3 Fotos Weizenähren mit dem roten Sporenbelag. Die Aufnahmen erfolgten mit einer Auflösung von 12 Megapixel und Autofocus und wurden im jpg-Dateiformat abgespeichert. Der Weizenbestand am 21. und 22. Juni war im BBCH-Stadium 77 (späte Milchreife) und der im 06 Juli aufgenommene Weizenbestand war im BBCH-Stadium 85 (Teigreife).

2.1.2 Braunschweig

Um den Einfluss der Entfernung der Ähren zum Objektiv der Kamera zu untersuchen wurden am 15. Juli 2008 Aufnahmen von mit *Fusarium spp.* infizierten Weizensorten eines Sortenversuches des Julius Kühn Institutes in Sike/Braunschweig aufgenommen. Von diesen Fotos waren 21 für weitere Analysen geeignet. Von diesen Bildern sind 12 Nahaufnahmen und 9 Fernaufnahmen.

Für diese Versuche wurde eine digitale Spiegelreflexkamera der Firma Canon Modell EOS 400D verwendet. Die Aufnahmen erfolgten mit einer Auflösung von 10,1 Megapixel und Autofocus und wurden im jpg-Dateiformat abgespeichert. Die fotografierten Weizenpflanzen befanden sich im BBCH-Stadium 87 (späte Teigreife).

2.1.3 Potsdam Bornim

Um den Fusarium-Befall an einzelnen Weizenähren zu einem Zeitpunkt zu untersuchen, wurden am 17., 20. und 23. Juli 2009 Fotos aus einem Parzellenversuch mit 15 künstlich infizierten Weizensorten auf den Flächen des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam Bornim e.V. aufgenommen. Die Fotos vom 17. und 20. Juli sind Nahaufnahmen von einzelnen Weizenähren vor weißem Hintergrund. Die Fotos vom 23. Juli sind Fernaufnahmen. Von den Nahaufnahmen zeigten 46 den roten Sporenbelag. Bei den Fernaufnahmen waren das 11 Fotos. Auch für diese Aufnahmen wurde die digitale Spiegelreflexkamera der Firma Canon Modell EOS 400D verwendet. Die Fotos wurden ebenfalls mit einer Auflösung von 10,1 Megapixel, Autofocus und im jpg-Format aufgenommen. Die am 17. und 20. Juli aufgenommenen Weizenpflanzen befanden sich im BBCH-Stadium 89. Die Weizenpflanzen die am 23. Juli aufgenommen wurde im BBCH-Stadium 92.

2.2 Methoden der Bildanalyse

2.2.1 Bestimmung der Graustufenwerte

Das sichtbare Licht in den digitalen Farbaufnahmen wird in drei Farbbereiche, in Rot (R), Grün (G) und Blau (B) unterteilt. Jedem dieser Farbbereiche oder auch Farbkanäle stehen 8 Bit zur Verfügung. Damit kann man 256 verschiedene Graustufenwerte in jedem Bereich bzw. Kanal erfassen. Die Farbe jedes aufgenommenen Fotopixels wird durch 3 Graustufenwerte zwischen 0 (schwarz) und 255 (weiß) beschrieben. Um die charakteristischen Graustufenwerte des Fusariumsporenbelages in allen Nah- und Fernaufnahmen aus Dabrun, Braunschweig und Potsdam zu ermitteln, wurde das Bildbearbeitungsprogramm Optimas Version 6.51 der Firma MediaCybernetics verwendet. Dabei handelt es sich um ein spezielles Bildbearbeitungsprogramm zur digitalen Farbbildanalyse. Die Graustufenwerte des Sporenbelages wurden durch „subjektive Klassifizierung“ ermittelt. Das heißt der Sporenbelag auf den Aufnahmen wurde per Hand mit dem Mauszeiger markiert. Dabei wurde per Mauszeiger ein Pixelkreis mit einstellbarem Radius über den Sporenbelag geführt und in einem separaten Fenster (siehe Abbildung 1 in der unteren linken Ecke) das Minimum und das Maximum der Graustufenwerte sowie eine Häufigkeitsverteilung pro Kanal ermittelt.

Um mögliche Beeinflussungen der Graustufenwerte durch die vermeintlichen Einflussfaktoren zu ermitteln, wurden die Analysen getrennt, nach Faktor (Ort, BBCH-

Stadium, Bildebene Größe und Form) durchgeführt. Für die Analyse des Einflusses der Bildebene wurde jedes Foto in 3 Bereiche unterteilt. In den Nah-, Mittel-, und Fernbereich. Der Nahbereich ist der, mit der geringsten Entfernung zur Digitalkamera, der Mittelbereich ist der zwischen Nah- und Fernbereich und der Fernbereich ist die Bildebene mit der größten Entfernung zur Digitalkamera.

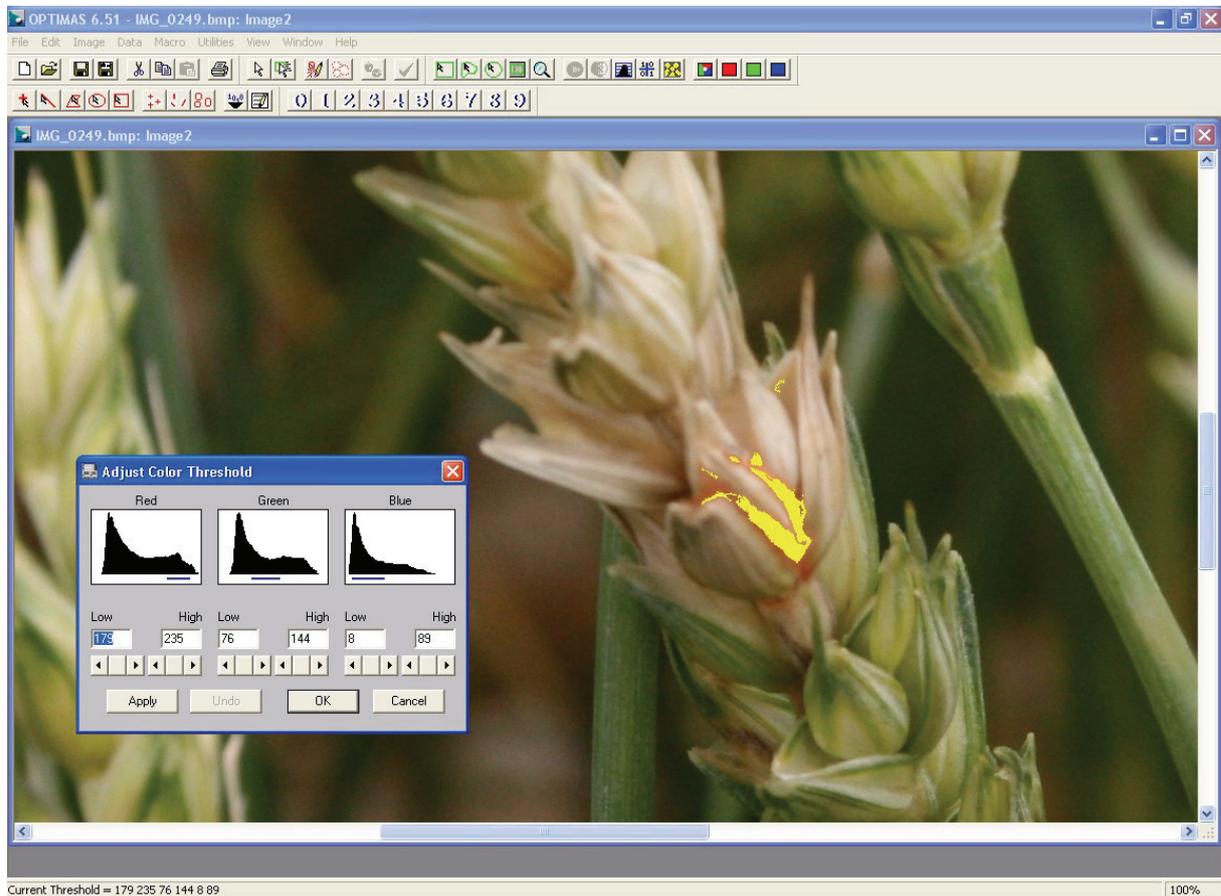


Abbildung 1: Bestimmung der Graustufenwertebereiche mit Optimas an Bild Nr. 249

Die Abbildung 1 zeigt wie das Programm Optimas alle Pixel auf dem Farbbild, deren Graustufenwerte innerhalb der gesuchten Schwellenwerte (vorher definierte Minimal- und Maximalwerte) liegen, gelb markiert, um den Bereich, der die Farben des Sporenelages enthält, zu kennzeichnen.

2.2.2 Objektklassifizierung durch Definition von Thresholds (Schwellenwerten)

Für die Objektklassifizierung wurden die Graustufenwertebereiche und deren Schwellenwerte (Minima und Maxima der Graustufenwerte = Thresholds) in den 3 Farbkanälen (R,G,B) in Optimas eingegeben um alle Pixel bzw. Objekte zu kennzeichnen, die in diesem Graustufenwertebereich liegen. Die Wahl der möglichen Thresholds viel auf den Median und den arithmetischen Mittelwert. Weil diese beiden Lageparameter sich in der digitalen

Bildverarbeitung gut automatisieren lassen. Um die Wirkung von verschiedenen Thresholds auf die Objektklassifizierung zu analysieren, wurden das arithmetische Mittel und der Median der Minimum- und Maximumwerte der Graustufenwerte verglichen, um zu überprüfen ob ein gemeinsamer Threshold für alle RGB-Fotos möglich ist. Dazu wurden das arithmetische Mittel und der Median des Minimums und Maximums der Graustufenwerte als Threshold in Optimas für jedes RGB-Bild einzeln eingegeben (siehe roter Pfeil Abbildung 2). Zur Beurteilung ob der jeweilige Mittelwert (arithmetisches Mittel, Median) den roten Sporenbelag auf jedem Bild richtig erkennt, wurden die Anzahl automatisch erkannter Objekte mit der visuell erkannten Objektanzahl verglichen. Mit der Funktion Particle Count (siehe Abbildung 3 rot umrandeter Bereich) in Optimas wurden die detektierten Objekte dann gezählt. Diese Analyse wurde nur mit den 21 Aufnahmen aus Braunschweig durchgeführt weil nur von diesem Standort sowohl Nah- als auch Fernaufnahmen zur Verfügung stehen die alle mit der selben Digitalkamera und am selben Tag aufgenommen wurden. Außerdem sind dadurch auf allen Fotos nur Weizenpflanzen im gleichen BBCH-Stadium.

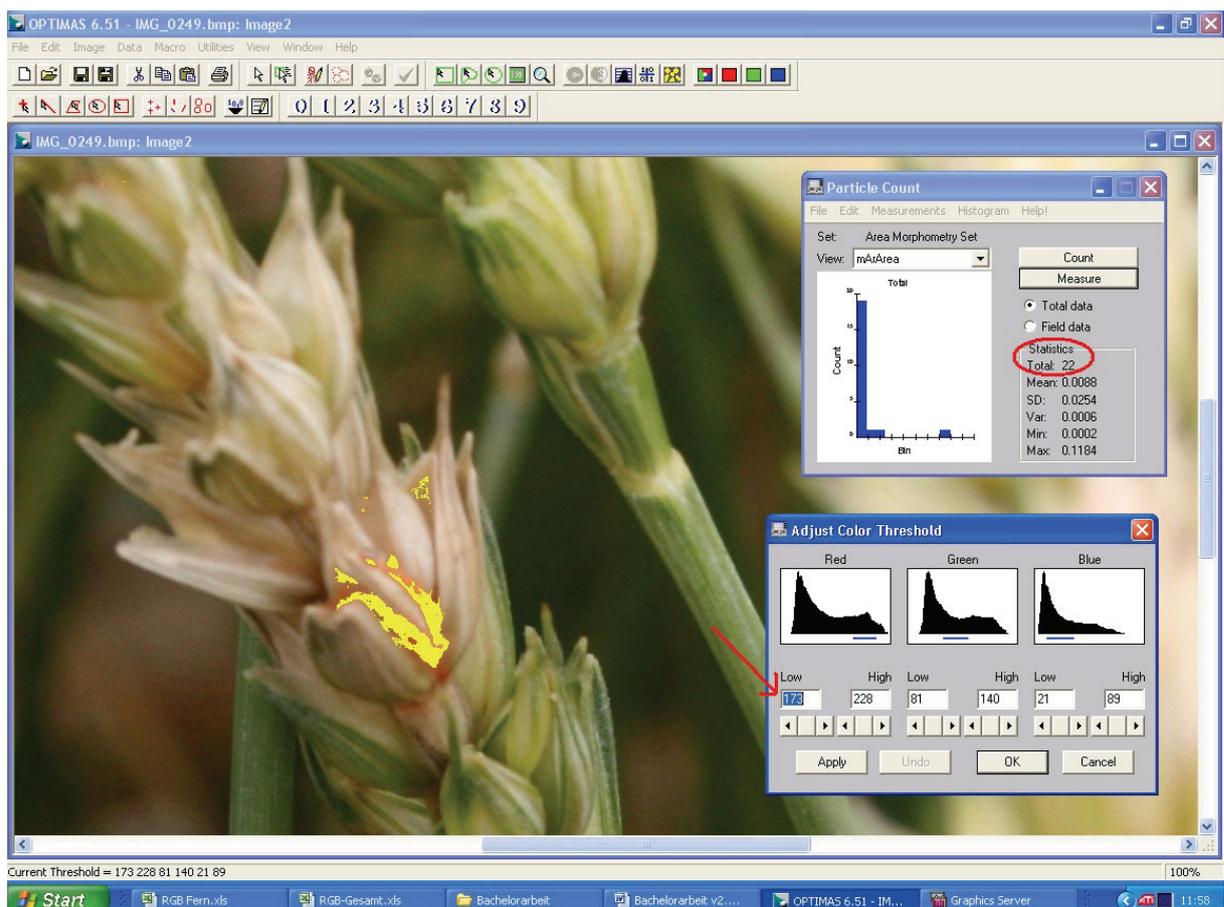


Abbildung 2: Eingabe eines Mittelwertes und Klassifizierung der erkannten Objekte in Optimas

2.2.3 Form- und Größenanalyse des Sporenbelages

Durch die in Optimas verfügbare Funktion Area Morphometry (siehe Abbildung 3) konnten die klassifizierten Objekte auf ihre wesentlichen Größenparameter untersucht werden.

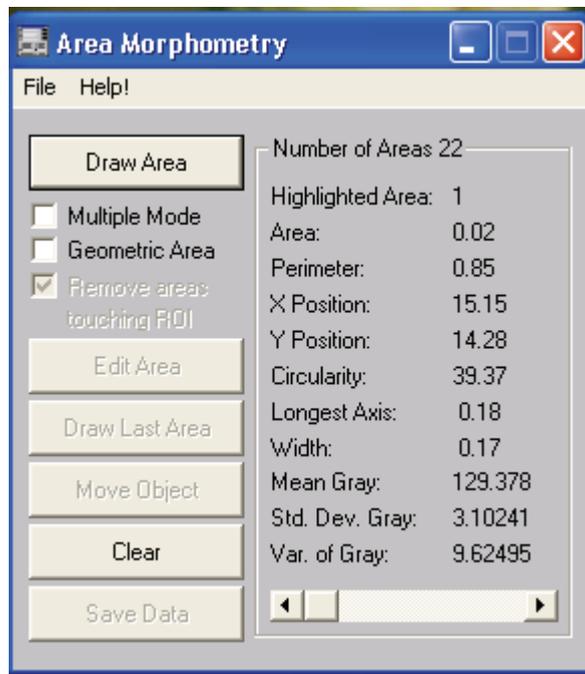


Abbildung 3: durch Optimas ermittelte Größenparameter eines Objekts

Da diese Größenparameter auf den Bildern verzerrt sind (Ähren sind auf dem Feld ähnlich groß aber im Bild nimmt die Größe vom Vordergrund zum Hintergrund ab) und nicht die wahren Größenverhältnisse wiedergeben, wurden Verhältniszahlen ermittelt. Da das Verhältnis unabhängig von der Größenverzerrung innerhalb des Bildes ist.

Dadurch konnten auch Rückschlüsse auf die Form des detektierten Objektes ermittelt werden. Dazu wurde die Width (Breite) und die Longest Axis (längste Achse) analysiert und das Breiten-Längen-Verhältnis ermittelt. Diese Analysen wurden nur bei den Nahaufnahmen mit der größten Anzahl an gut sichtbaren roten Sporenbelägen des Fusariumpilzes durchgeführt. Aus diesem Grund wurden die 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig für diese Analyse verwendet.

2.2.4 Verringern von Missklassifikationen durch morphologische Methoden

Im Ergebnis der Objektklassifizierung mit der Schwellenwertmethode kann es zu Missklassifikationen kommen (Pixel die im Schwellenwertebereich liegen aber nicht zum roten Sporenbelag gehören). Bei einzelnen Pixeln und kleinen Objekten die nicht Bestandteil größerer Cluster sind, ist die Wahrscheinlichkeit einer Missklassifikation hoch. Um diese Missklassifikationen zu eliminieren wurden morphologische Methoden der Bildbearbeitung angewendet. Um diese Methoden anwenden zu können, müssen die RGB-Bilder in Binärbilder umgewandelt werden. Binärbilder bestehen nur aus 2 Graustufenwerten, 0 (schwarz) und 255 (weiß). Die so erzeugten Bilder zeigen nur die durch den Threshold erkannten Objekte in weiß und den Hintergrund des Bildes in schwarz an (siehe Abbildung 4 und 5). Es wurde die morphologische Methode Erosion in Optimas „Erode“ genannt (v. lat.: *erodere* = abnagen), verwendet. Bei dieser Methode wird jedes Thresholdpixel was nicht von 8 Thresholdpixeln (an allen 4 Ecken und 4 Kanten) umgeben ist, zu einem Hintergrundpixel also schwarz (STRASSER, 1994). Dadurch werden die Thresholdpixel dargestellten Objekte nach jedem „Erode“ von Außen nach innen immer kleiner.



Abbildung 4: Binärbild vor Erode



Abbildung 5: Binärbild nach Erode

Es wurden nur die 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig mit der Methode „Erode“ bearbeitet, da sich diese Aufnahmen aufgrund der hohen Anzahl und Größe der Sporenbeläge am besten für diese Analyse eignen. Dabei wurde jedes Foto einzeln, so oft mit der Erode-Methode bearbeitet bis nur noch die visuell erkennbaren Objekte also der eindeutig erkennbare Sporenbelag auf dem Binärbild vorhanden war. Die benötigte Anzahl von Erodes pro Binärbild wurde einer Häufigkeitsanalyse unterzogen um für alle Bilder eine allgemeingültige Erodeanzahl zu ermitteln.

3. Ergebnisse

Es waren bereits, mit bloßem Auge, deutliche Unterschiede in den Farben des roten Fusarium Sporenbelages zu erkennen. Die Umweltbedingungen am jeweiligen Versuchsstandort, das Entwicklungsstadium (BBCH-Stadium) der fotografierten Weizenpflanze, die Entfernung zur Digitalkamera und die Position des Sporenbelages auf dem Foto (Vorder- oder Hintergrund) haben einen Einfluss auf die Graustufenwerte.

3.1 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom Ort

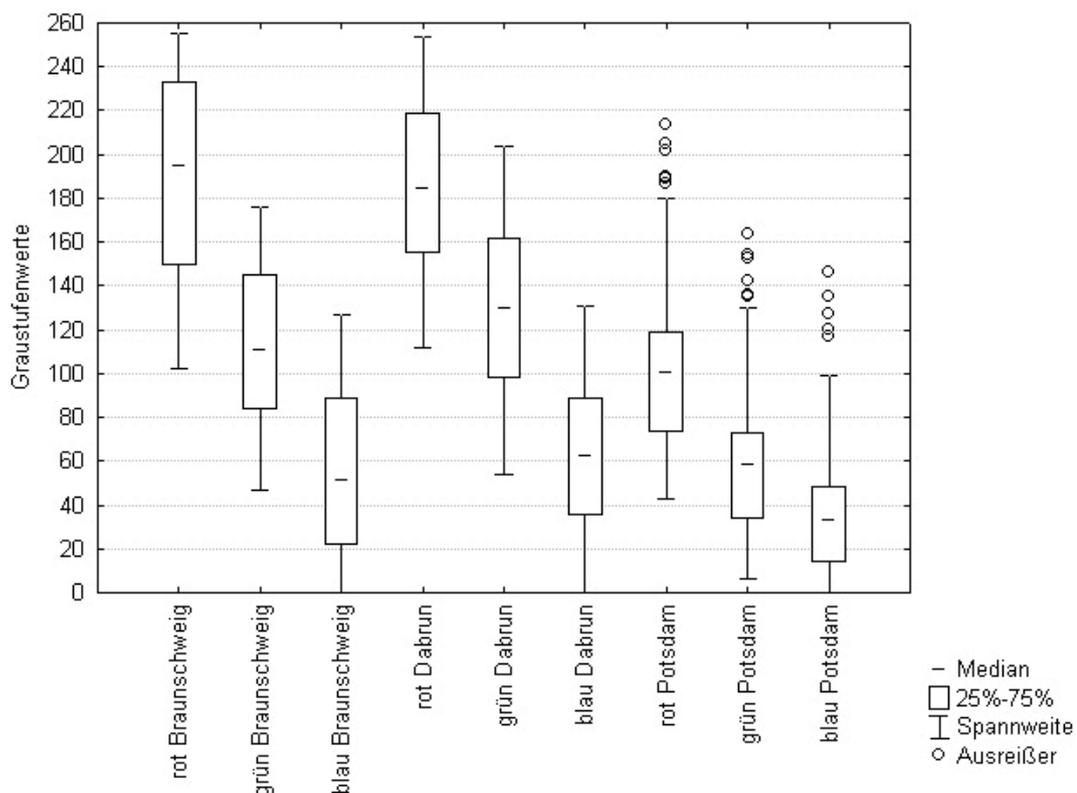


Abbildung 6: Verteilung der Graustufenwerte der einzelnen Farbkanäle in den drei Versuchsstandorten

Die Abbildung 6 zeigt, dass die Ausprägung der Graustufenwerte des Fusariumsporenbelages bei allen Aufnahmen (Nah- und Fernaufnahmen) der einzelnen Versuchsstandorten vom rot-Kanal zum blau-Kanal deutlich abfällt. Die Verteilung der Graustufenwerte aus Braunschweig und Dabrun unterscheiden sich nur gering. Die Graustufenwerte aus Dabrun im grün-Kanal sind höher also heller und die Werte im rot-Kanal sind niedriger also dunkler als auf den Fotos aus Braunschweig. Die Graustufenwerte der untersuchten Fotos aus Potsdam unterscheiden sich dagegen deutlich zu denen aus Braunschweig und Dabrun. Sie zeigen ein niedrigeres Niveau in allen 3 Farbkanälen sowie Ausreißer nach oben.

3.2 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium

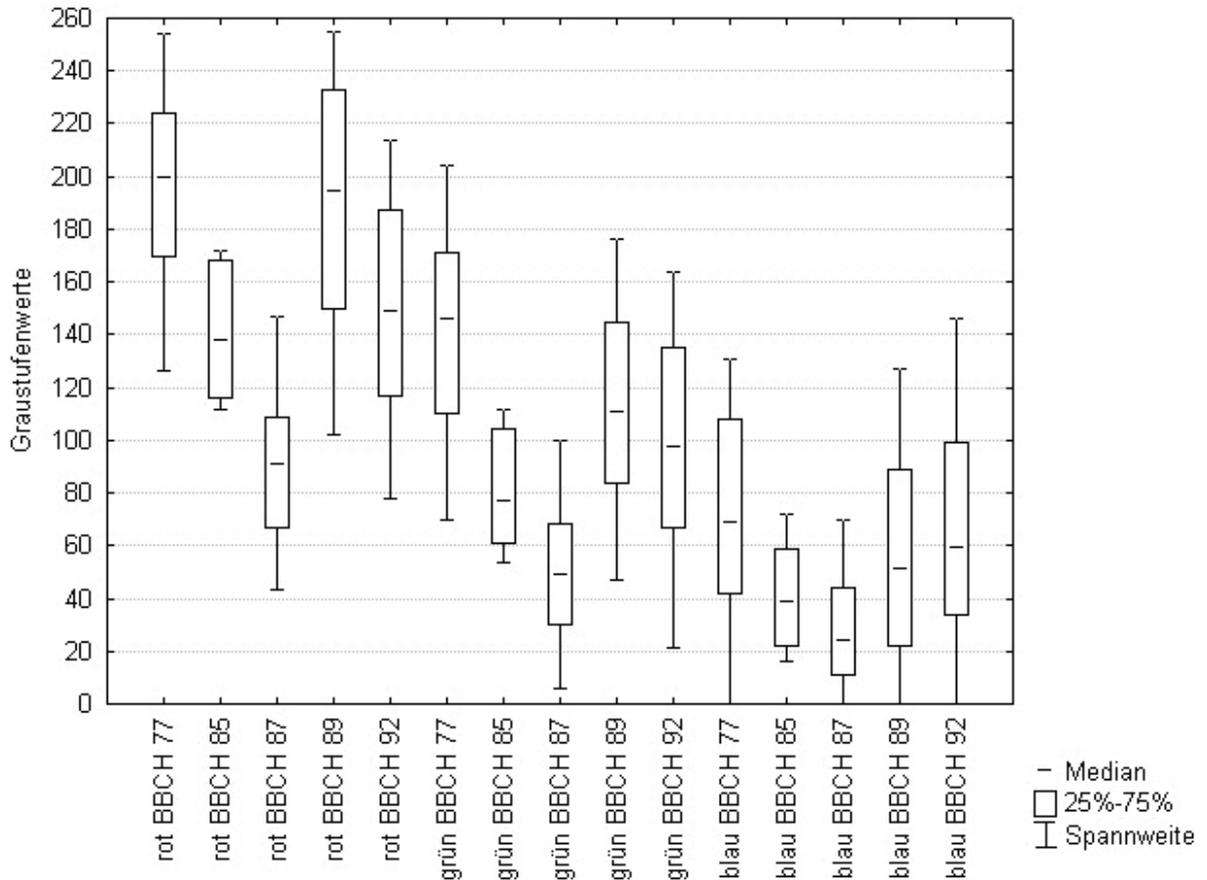


Abbildung 7: Veränderung der Graustufenwerte in Abhängigkeit vom BBCH-Stadium

Bei der Untersuchung der einzelnen Nahaufnahmen und Fernaufnahmen zeigte sich, dass die ermittelten Graustufenwerte des roten Sporenbelages des Fusariumpilzes je nach BBCH-Stadium des Weizens variierten. Wie die Abbildung 7 zeigt, ist die Helligkeit tendenziell in allen Farbbereichen im BBCH-Stadium 77 am größten, nimmt dann bis zum BBCH-Stadium 87 ab, und steigt dann wieder an. Die Farbe des Fusariumsporenbelages ändert sich also in Abhängigkeit zum Wachstumsstadium.

3.3 Unterschiede der Objektklassifizierung zwischen Nah- und Fernaufnahmen

Die Analyse der Graustufenwerte des Fusariumsporenbelages zeigte Unterschiede zwischen den Nah- und Fernaufnahmen. Wie die Abbildung 8 darstellt, sind die Graustufenwerte der Nahaufnahmen geringer und damit dunkler auf dem Bild als die der Fernaufnahmen.

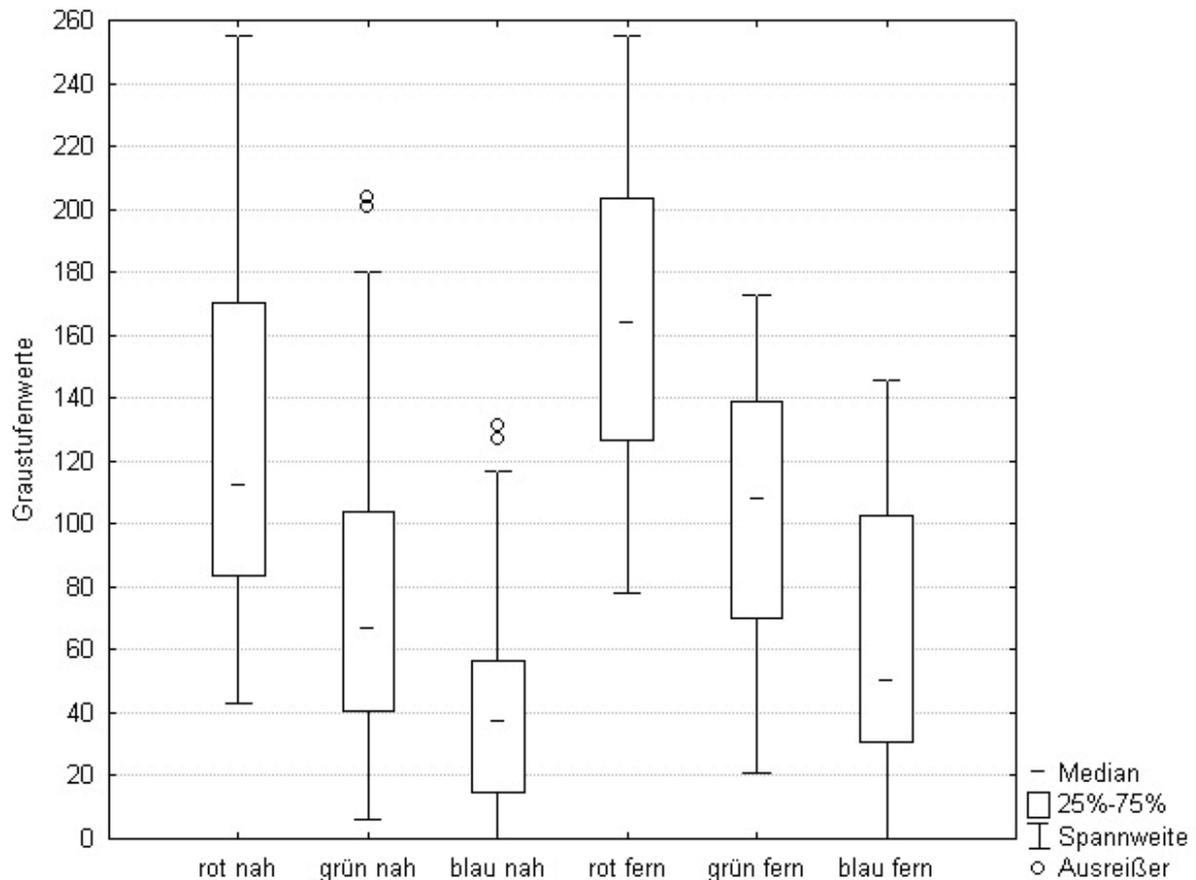


Abbildung 8: Unterschiede der Graustufenverteilung zwischen Nah- und Fernaufnahmen

Auch bei der Suche nach einem geeigneten Threshold für alle Farbaufnahmen (siehe 2.2.2) zeigten sich Unterschiede zwischen den Nah- und Fernaufnahmen (siehe Abbildung 8). Bei den 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig war der Median (siehe Abbildung 9 und Tabelle 1) der besser geeignete Threshold, weil weniger Abweichungen zu den visuell erkennbaren Sporenbelägen vorhanden waren. Bei den 9 Fernaufnahmen war der arithmetische Mittelwert der geeigneter, weil dort weniger Abweichungen auftraten. (siehe Abbildung 10 und Tabelle 2). Außerdem zeigte sich bei den voran gegangenen Analysen, dass Fernaufnahmen für viele Untersuchungen schlechter geeignet sind als Nahaufnahmen. Visuelle Bonituren gestalten (Vergleiche Abbildung 9 und 10) sich schwieriger, der Hintergrund wird unschärfer und die Größenverzerrung im Bild nimmt zu.



Abbildung 9: Nahaufnahme Nr. 249 gelb dargestellt, Pixel die im Median des Minimum und Maximum der Graustufenwerte liegen

Tabelle 1: Vergleich der Graustufen-Mittelwerte als Threshold in den 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig

Bild Nr.	visuell erkennbarer Sporenbelag	detektiert mit dem arithmetischen Mittelwert der RGB-Werte	Differenz zu visuell erkennbarem Sporenbelag (mögliche Missklassifikationen)	detektiert mit dem Median der RGB-Werte	Differenz zu visuell erkennbarem Sporenbelag (mögliche Missklassifikationen)
249	3	55	52	22	19
250	2	672	670	361	359
251	3	140	137	60	57
252	2	88	86	49	47
253	1	73	72	20	19
254	3	187	184	85	82
255	1	121	120	56	55
256	3	218	215	102	99
257	3	60	57	28	25
258	3	119	116	48	45
259	1	86	85	21	20
262	3	221	218	141	138



Abbildung 10: Fernaufnahme Nr. 260 gelb dargestellt, Pixel die im arithmetischen Mittelwert des Minimum und Maximum der Graustufenwerte liegen

Tabelle 2: Vergleich der Graustufen-Mittelwerte als Threshold in den 9 Fernaufnahmen aus Braunschweig

Bild Nr.	visuell erkennbares Rotmyzel	detektiert mit dem arithmetischen Mittelwert der RGB-Werte	Differenz zu den visuell erkannten Sporenbelägen (mögliche Missklassifikationen)	detektiert mit Median der RGB-Werte	Differenz zu den visuell erkannten Sporenbelägen (mögliche Missklassifikationen)
260	6	31	25	103	97
261	5	26	21	46	41
263	7	15	8	42	35
264	4	35	31	113	109
265	2	111	109	159	157
266	2	10	8	42	40
267	2	1	1	57	55
268	5	6	1	45	40
269	2	14	12	59	57

3.4 Analyse der Graustufenwerte in Abhängigkeit von der Bildebene

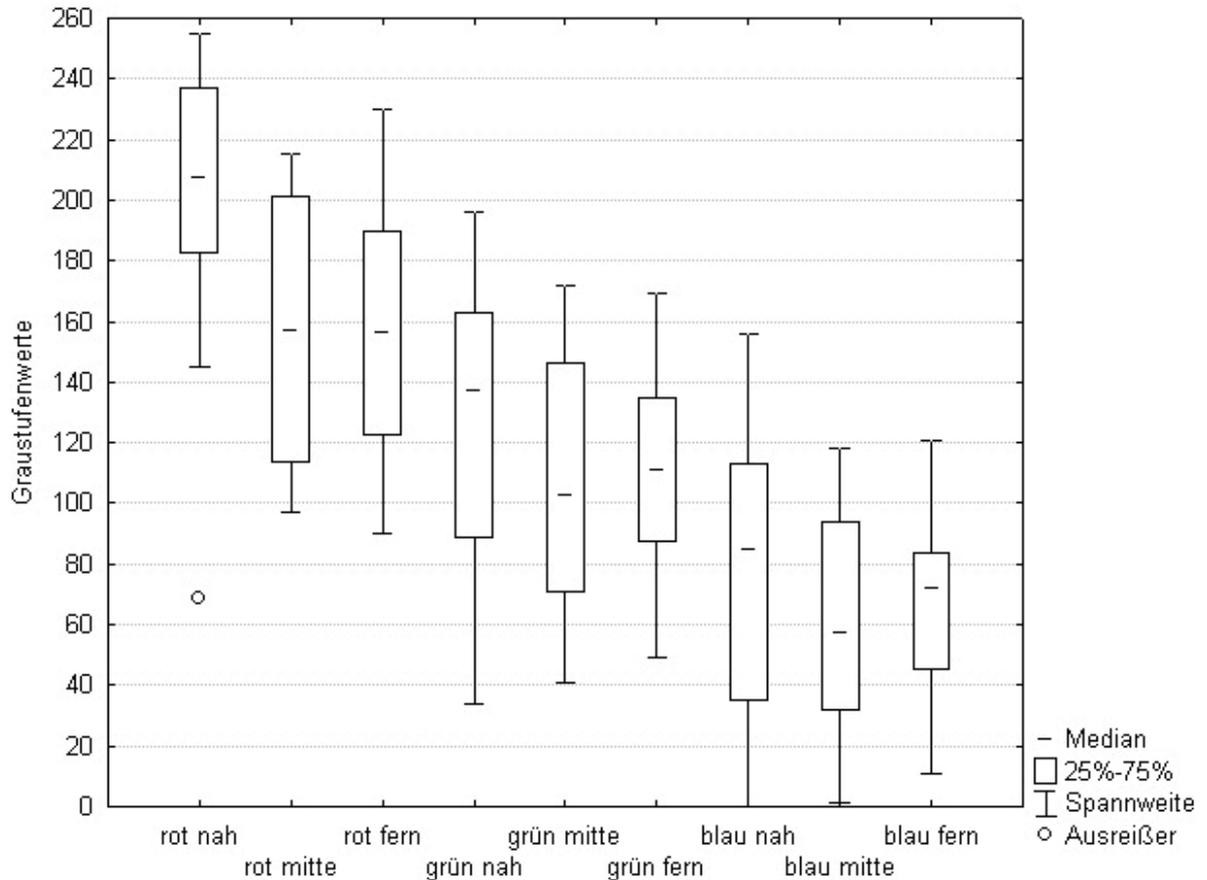


Abbildung 11: Veränderung der Graustufenwerte in Abhängigkeit von der Bildebene

Für die Analyse des möglichen Einflusses unterschiedlicher Bildebenen auf die Ausprägung der Graustufenwerte des roten Fusariumsporenbelages wurden Nahaufnahmen verwendet, weil dort die subjektive Einteilung in die unterschiedlichen Bildebenen und die visuelle Identifizierung des Sporenbelages einfacher möglich ist als in Fernaufnahmen. Da es sich bei Nahaufnahmen aus Potsdam um Einzelährenfotos handelt, konnten diese nicht verwendet werden. Die Nahaufnahmen aus Dabrun wurden an 3 Tagen aufgenommen. Zwischen dem 1. Tag und dem Letzten liegen 15 Tage. Dadurch besteht ein deutlicher Entwicklungsunterschied zwischen den fotografierten Weizenpflanzen, der die Farbausprägung beeinflussen könnte (siehe auch 3.2). Deshalb wurden nur, in den 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig die Graustufenwerte des Sporenbelages in den unterschiedlichen Bildebenen ermittelt und analysiert.

Wie die Abbildung 11 zeigt nimmt die Helligkeit mit zunehmender Entfernung zur Digitalkamera kontinuierlich in allen Farbbereichen ab. Die Schlussfolgerung ist, dass sich Farbe in Abhängigkeit zur Bildebene ändert.

3.5 Analyse von Größe und Form des Sporenbelages

Es zeigte sich, dass die größten detektierten Objekte, sich an den gleichen Positionen auf dem Foto befanden, wie auch der größte visuell ermittelte Sporenbelag. (Beispiel: Abbildung 12 und 13).

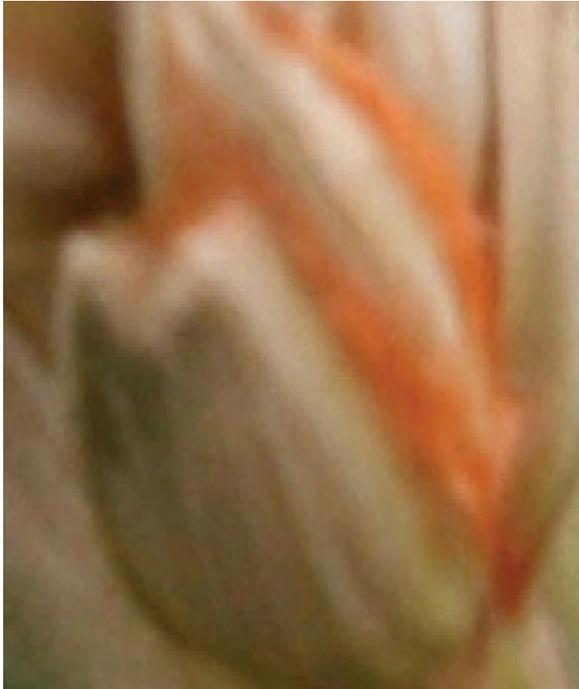


Abbildung 12: Sporenbelag auf Ährchen



Abbildung 13: detektiertes Objekt

Der größte Teil des visuell auf den digitalen Farbbildern identifizierten Fusariumsporenbelages, hatte eine ähnliche runde bis ovale Erscheinungsform wie das befallene Ährchen.

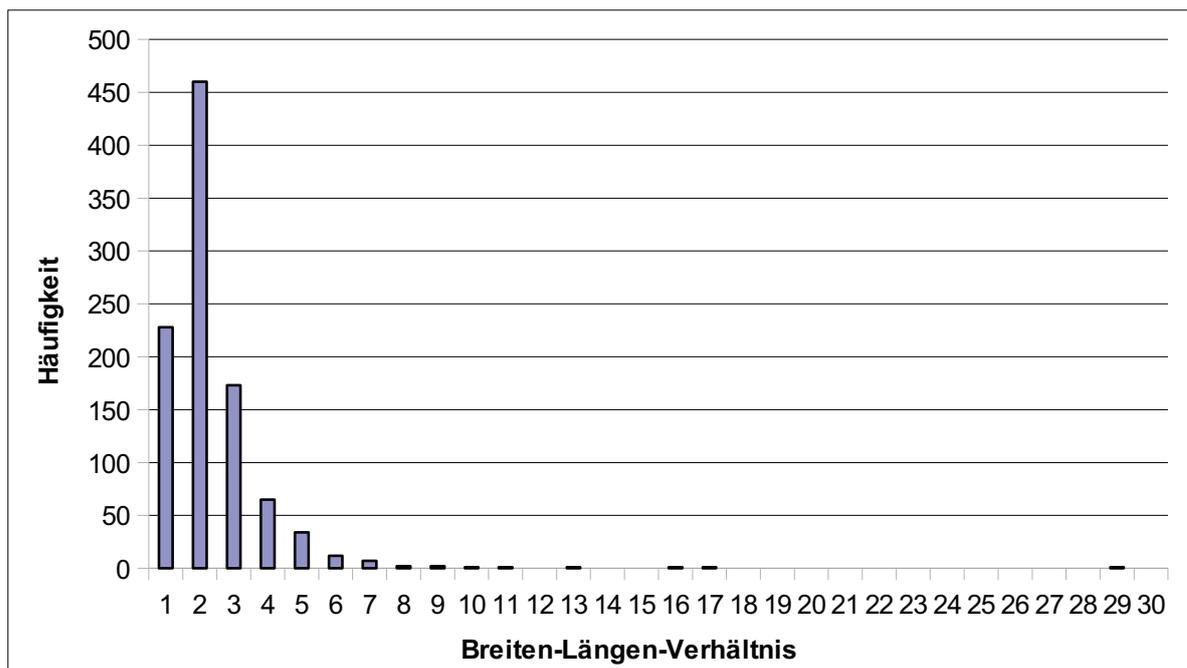


Abbildung 14: Häufigkeit Breiten-Längen-Verhältnis der Objekte der Nahaufnahmen aus Braunschweig

Die Abbildung 14 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Breiten-Längen-Verhältnisses aller 989 mit dem Median der Minima und Maxima der Graustufenwerte, der in den 12 Nahaufnahmen detektierten Objekte. Fast 50% aller detektierten Objekte hatten ein Breiten-Längen-Verhältnis von 1:2, ca. 20% 1:1 und ca. 15% 1:3.

3.6 Objektklassifizierung unter Anwendung morphologischer Methoden

Da bei der Objektklassifizierung mit dem Median und dem arithmetischen Mittel der Minima und Maxima der Graustufenwerte noch eine große Anzahl an kleinen Clustern bzw. Einzelpixel auftreten (siehe auch Tabelle 1 und 2) bei der die Wahrscheinlichkeit einer Missklassifikation höher ist als bei größeren Clustern, wurde versucht nach der Objektklassifizierung die Anzahl einzelner Pixeln zu verringern. Dazu wurden, wie in 2.2.4 beschrieben, aus den 12 Nahaufnahmen aus Braunschweig Binärbilder erzeugt und diese mit der morphologischen Methode Erode bearbeitet. Die Anzahl der benötigten Erodes pro Bild ist dabei unterschiedlich und nicht nur abhängig von der Größe sondern auch von der Anzahl der zu Anfang detektierten Objekte. Wie die Abbildung 15 zeigt werden bei geringerer Anzahl an Objekten tendenziell weniger Erodes benötigt um eine Übereinstimmung mit den visuellen Bonituren zu erreichen.

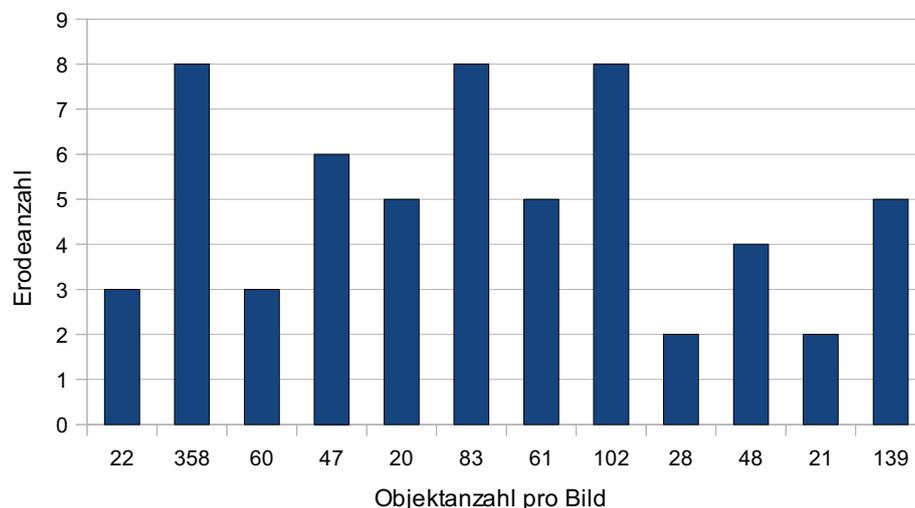


Abbildung 15: Erodeanzahl in Abhängigkeit von der detektierten Objektanzahl pro Bild

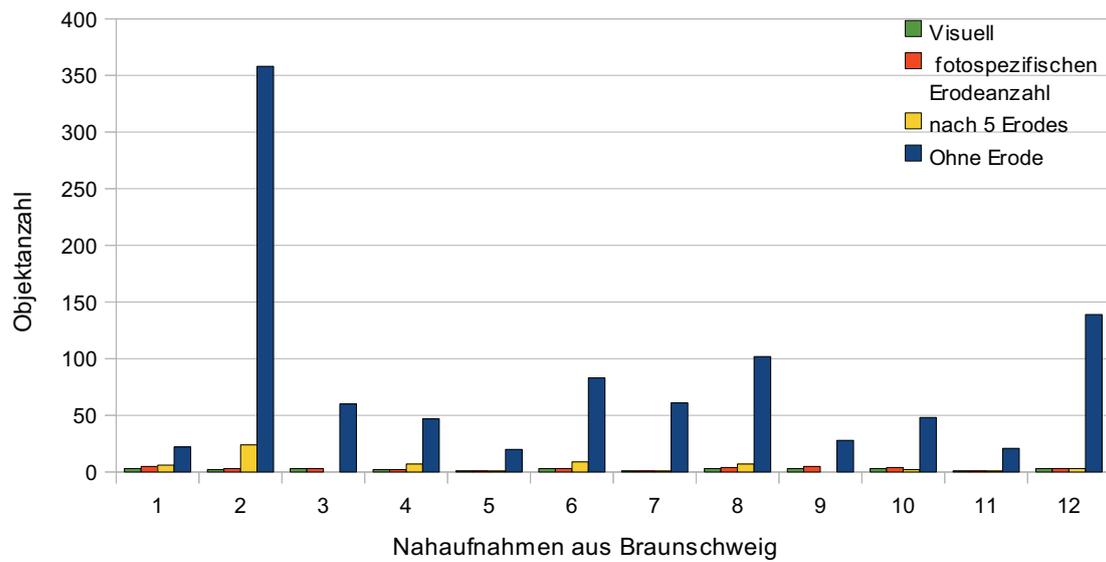


Abbildung 16: Objektanzahl vor und nach der Erodemethode

Wie die Abbildung 16 zeigt, kann durch den Einsatz der Morphologischen Methode Erode die Anzahl der kleineren Objekte und so wahrscheinlich auch möglicher Missklassifikationen deutlich reduziert werden.

Zur Festlegung einer Erodeanzahl für einen automatisierten Bildbearbeitungsschritt sind noch weitere Untersuchungen nötig.

4. Diskussion

Die Ermittlung der Graustufenwerte des roten Sporenelages ist der erste Schritt hin zu einer automatischen Detektion des roten Sporenelages von *Fusarium spp.* an der Weizenähre. Wie die Abbildungen 6, 7, 8 und 11 zeigen wird deren Ausprägung bzw. Farbspektrum von verschiedenen Faktoren beeinflusst.

Einen großen Einfluss üben die standortspezifischen Umweltbedingungen (siehe Abbildung 6) aus. Dazu gehören das Klima, denn nur unter, für den Fusariumpilz günstigen Umweltbedingungen, bei ausreichender Feuchtigkeit und einer Temperatur von mindestens 15 °C und höchstens 32 °C (SUTTON, 1982) bildet sich der rote Sporenelag. Hinzu kommen ebenfalls die Jahresunterschiede im Klima. Aber auch die angebaute Weizensorte könnte Unterschiede in der Ausprägung der Graustufenwerte verursachen. Die Fusariumanfälligkeit und damit auch die Symptomausprägung variiert dabei zwischen den unterschiedlichen Weizensorten. Es gibt anfälligeren Sorten und Sorten mit einer gewissen Toleranz. Das zeigte sich besonders bei den in Potsdam aufgenommenen Einzelährenfotos. Von den 46 Fotos mit dem roten Sporenelag des Fusariumpilzes waren 24 aus Parzellen mit Weizensorten die eine Fusariumanfälligkeit von 7 (stark) hatten. Der Fusariumbefall hängt auch von der Fruchtfolge ab. Beim Anbau von Stoppelweizen oder von Weizen nach Mais bzw. umgekehrt kann sich der Fusariumdruck erhöhen (ENTRUP, OEHMICHEN, 2000). Die Standortunterschiede könnten auch von den unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Weizenbestände beeinflusst werden. Denn die fotografierten Weizenpflanzen in Potsdam waren am weitesten entwickelt und auch schon teilweise mit saprophytischen Schwärzepilzen (z.B. *Alternaria spp.* und *Cladosporium spp.*) befallen, die die befallenen Weizenähren abgedunkelt haben könnten. Schwärzepilze werden häufig auch als „Schwächeparasiten“ bezeichnet, da sie häufig Indikatoren für vorhergegangene Krankheiten und „geschwächte“ Pflanzenbestände sind (HOFFMANN, SCHMUTTERER, 1983). Durch die künstliche Infektion der Weizenpflanzen in Potsdam mit *F. Culmorum*, waren diese sicherlich geschwächt. Bei den Aufnahmen waren auch zahlreiche Sekundärinfektionen mit Schwärzepilzen sichtbar (siehe Abbildung 17). Durch die subjektive Ermittlung der Graustufenwerte ist nicht auszuschließen, dass solche dunklen Pixel im Threshold vorhanden waren.



Abbildung 17: Eine mit Ährenfusarium und Schwärzepilzen befallene Weizenähre

Die Abbildung 7 bestätigt zusätzlich, dass das Wachstumsstadium der Weizenpflanzen einen Einfluss auf die Verteilung der Graustufenwerte des roten Fusariumsporenbelages haben. Die Ausprägung der Graustufenwerte variiert deutlich zwischen den unterschiedlichen BBCH-Stadien und Farbkanälen. Die Helligkeit ist im BBCH-Stadium 77 in allen 3 Farbkanälen am größten. In diesem Entwicklungsabschnitt war die Farbe des roten Sporenbelages besonders intensiv ausgeprägt und gut sichtbar. Ursache dafür könnte sein, dass dem Pilz in diesem Entwicklungsstadium im Vergleich zur Reifen Ähre, also späteren Entwicklungsstadien, mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen oder diese durch die noch weichere Samenschalen leichter zu erreichen sind. Das Absinken bis zum BBCH-Stadium 87 und das dann folgende Ansteigen könnte durch die Reife und auch durch die subjektive Ermittlung der Graustufenwerte verursacht worden sein. Denn der dunklere Grünanteil der noch unreifen Ähre wird durch den Reifeprozess immer gelber, also heller und solche Pixel, die zum Threshold gehören, könnten sich ähnlich verhalten. Die Art der Aufnahme (Nah- oder Fernaufnahme) beeinflusst ebenfalls die Ausprägung der Graustufenwerte des roten

Sporenelagen wie die Abbildung 8 zeigt. Die Nahaufnahmen sind tendenziell etwas dunkler als die Fernaufnahmen. Das liegt sicher an den besser sichtbaren Sporenelagen. Sie werden größer dargestellt und die Farben sind intensiver auf den Fotos. Bei den Fernaufnahmen steigt auch aufgrund der geringen Größe der sichtbaren Sporenelagen die Wahrscheinlichkeit von Missklassifikationen, die viele Pixel der helleren Ähren im Threshold enthalten könnten. Die Unterschiede zeigen sich auch bei der Suche nach einem geeigneten gemeinsamen Threshold. Bei den Nahaufnahmen waren die Abweichungen, die mit dem Median der Graustufenwerte detektierten Objekte, im Vergleich zur visuellen Bonitur am geringsten. Bei den Fernaufnahmen zeigte die Detektion mit dem arithmetischen Mittelwert die geringste Abweichung zur visuellen Bonitur (vergleiche Tabelle 1 und 2).

Auch die Position auf dem Foto also die Bildebene (nah, mittel, fern) beeinflusst die Graustufenwerte des roten Sporenelages. Mit steigender Entfernung im Bild, nimmt tendenziell die Helligkeit der Graustufenwerte ab (siehe Abbildung 11). Das widerspricht der Abbildung 8. Aber es könnte auch daran liegen, dass diese Untersuchung nur exemplarisch an Nahaufnahmen aus den in 3.3 genannten Gründen, durchgeführt wurden. Diese könnten durch den geringen Abstand und dem kleineren Aufnahmewinkel zum Boden und der daraus resultierenden kleineren fotografierten Fläche, weniger hell bzw. belichtet sein.

Um die mögliche Beeinflussung durch verschiedene Lichtverhältnisse entgegen zu wirken, wäre eine Eichung mit einer Art Farbtabelle auf einem Rahmen mit einem genau definierten Graustufenwert für die Aufnahmen wünschenswert. Auch der Einsatz eines Luxmeters oder Photometers könnte in Zukunft helfen, um die Schwankung der Graustufenwerte durch die variierenden Lichtverhältnisse zu berücksichtigen. Dadurch hätte man einen definierten Referenzwert in jedem Foto und könnte mögliche Abweichung erkennen und nachträglich korrigieren. Ein Eichverfahren, was ähnlich wie ein Weißabgleich funktioniert, wäre auch eine Möglichkeit um Veränderungen der Graustufenwerte durch geänderte Lichtverhältnisse zu reduzieren. Beim Weißabgleich wird die Kamera auf die Farbtemperatur des Lichtes am Aufnahmeort eingestellt. (KINDERMANN, 2008). Der Vorteil eines solchen Eichverfahrens wäre, dass die Eichung nur einmal am jeweiligen Aufnahmeort unter den dort herrschenden Lichtverhältnissen nötig wäre und nicht mehr für jedes Foto einzeln. Die Aufnahme der Fotos sollte bei zukünftigen Untersuchungen weiter standardisiert werden um mögliche Beeinflussungen so gering wie möglich zu halten. Der Einsatz einer fest auf einem Fahrzeug installierten Digitalkamera mit genau definierten Aufnahmeeinstellungen (z.B. Focus, Brennweite, Auflösung etc.), konstantem Abstand und Winkel zum Boden bzw. zum untersuchten Pflanzenbestand und einer Lichtquelle würden sicherlich auch einen Teil der

Schwankungen in der Ausprägung der Graustufenwerte verringern. Zusätzlich zu den beschriebenen und durch verschiedene Einflüsse hervorgerufenen Schwankungen enthält der ermittelte Graustufenwertebereich aufgrund der subjektiven Ermittlung noch viele Graustufenwerte, die nicht ausschließlich zum Sporenbelag gehören, weshalb noch häufig Missklassifikationen auftreten.

Es zeigte sich aber, dass die größten durch Optimas detektierten Objekte, sich immer an der selben Stelle auf dem digitalen Farbbild befanden, wie der visuell bonitierte Sporenbelag (vergleiche Abbildung 9,10, 12 und 13).

Die Analyse der Größe und Form des vermeintlichen Sporenbelages bestätigte diese Erkenntnis. Aufgrund der Größenverzerrung im Bild könnten jedoch nicht die wahren Größenverhältnisse aller auf dem Foto detektierten Objekte ermittelt werden. Durch eine Kalibrierung, bei der eine Entfernung (in Pixel oder cm) in Form einer Strecke auf dem Farbbild festgelegt werden kann, ist es jedoch möglich von einzelnen Objekten in einer Bildebene die wahren Größenverhältnisse zu ermitteln. Allerdings muss die kalibrierte Strecke genau definiert sein und die ermittelten Größenverhältnisse gelten auch nur für die jeweilige Bildebene in der die Kalibrierung durchgeführt würde. Um die Größenverhältnisse in allen Bildebenen in einer Aufnahme zu ermitteln sind weitere komplexere mathematische Berechnungen nötig.

Außerdem zeigte sich schon bei der visuellen Bonitur, dass die größten detektierten Objekte immer eine ähnliche ovale Form wie das infizierte Ährchen hatten. Durch die Berechnung des Breiten-Längen-Verhältnisses aus den zuvor ermittelten Größenparametern (Width und Longest Axis), wie sie auch in Abbildung 3 zu sehen sind, konnten Rückschlüsse auf die Form gezogen werden. Dieses Verhältnis wird auch nicht von der Größenverzerrung im Bild beeinflusst und könnte in späteren Verfahren die Genauigkeit der Objektklassifizierung verbessern. Es zeigte sich, dass 50 % der detektierten Objekte ein Breiten-Längen-Verhältnis von 1:2, ca. 20% 1:1 und ca. 15% 1:3 hatten (siehe Abbildung 14). Dadurch könnten auch Verwechslungsmöglichkeiten mit anderen Weizenkrankheiten zum Beispiel Gelbrost (*Puccinia striiformis*) leichter ausgeschlossen werden. Dessen Sporenbelag besitzt ähnliche Farben wie der des Fusariumpilzes aber hat eine völlig andere Größe und Form. Gelbrost bildet viel kleinere zu Streifen aneinander gereihete Sporenlager (Uredolager)(HOFFMANN, SCHMUTTERER, 1983). Auch durch den Einsatz der morphologischen Methode Erode, wurde die Anzahl zu kleiner Objekte, bei der automatischen Detektion reduziert. Dadurch konnte man sich der Anzahl visuell erkannter Objekte weiter annähern und die Genauigkeit der Detektion verbessern, wie Abbildung 16 zeigt. Die genaue Anzahl an falsch detektierten Objekten auf

einem Foto zu ermitteln war nicht möglich. Grund dafür könnte zum Beispiel sein, dass von Optimas korrekt erkannte Objekte, besonders in den hinteren Bildebenen, die durch Größenverzerrung sehr klein auf dem Foto dargestellt werden und beim visuellen Vergleich durch die eingeschränkte Sehfähigkeit des menschlichen Auges nicht als solches identifiziert und als „falsch erkannt“ eingestuft werden. Eine einheitliche Anzahl von Eroses, für alle untersuchten Farbaufnahmen konnte nicht ermittelt werden, da die Anzahl der detektierten Objekte die Anzahl der benötigten Eroses beeinflusst. Tendenziell zeigt die Abbildung 15, dass mit steigender Anzahl an Objekten auch mehr Eroses pro Farbbild benötigt werden. Daraus könnte man auch schlussfolgern, dass die Anzahl an notwendigen Eroses pro Bild mit der Befallshäufigkeit zusammenhängt.

Durch eine Kombination der hier beschriebenen Verfahren zur Objektklassifizierung könnten in Zukunft, Fehler bei der automatischen Detektion von Fusariumsporenbelägen an Weizenähren reduziert werden. Dazu sind aber noch weitere Untersuchungen zu diesem Thema notwendig.

5. Zusammenfassung

Für die Detektion von Fusariumsporenbelägen an Weizenähren sind mehrere unterschiedliche Farbbildanalysen nötig. Denn die Ausprägung der Graustufenwerte der Farbe des roten Fusariumsporenbelages ist von vielen Faktoren abhängig. Einen Einfluss haben die standortspezifischen Umweltbedingungen. Auch das BBCH-Stadium der fotografierten Weizenpflanzen verändert die Graustufenwerte des Sporenbelages auf den Fotos. Es gibt BBCH-Stadien in denen die Farbe des roten Sporenbelages des Fusariumpilzes besonders intensiv ausgeprägt und gut sichtbar ist. Die Entfernung zur Digitalkamera beeinflusst ebenfalls die Graustufenwerte des Sporenbelages. In den Nahaufnahmen war die Farbe der Sporenbeläge dunkler als bei den Fernaufnahmen. Auch bei den Thresholds zeigten sich Unterschiede. Bei den Nahaufnahmen erzeugte der Median weniger Abweichungen bei der Detektion im Vergleich zur visuellen Bonitur und bei den Fernaufnahmen der arithmetische Mittelwert. Die Entfernungen der Objekte im Bild (z.B. Vorder- oder Hintergrund) verändern ebenfalls die Graustufenwerte. Die Sporenbeläge in den hinteren Bildebenen waren tendenziell dunkler. Durch diese bereits genannten Einflüsse und die subjektive Ermittlung der Graustufenwerte des Fusariumsporenbelages enthält der Threshold auch immer noch Pixel mit Graustufenwerten, die nicht ausschließlich zum roten Fusariumsporenbelag gehören. Es zeigte sich auch, dass bei kleineren Objekten die Wahrscheinlichkeit einer Missklassifikation ansteigt. Deshalb wurde eine Größen- und Formanalyse durchgeführt. Das Ergebnis der Analysen zeigte, dass sich die größten detektierten Objekte an den gleichen Positionen auf dem Foto, wie der größte visuell ermittelte Sporenbelag, befanden. Die genaue Ermittlung der Größenparameter der detektierten Objekte war aufgrund der Größenverzerrung im Bild nicht möglich. Aber mit den ermittelten Objekteigenschaften konnte zusätzlich das Breiten-Längen-Verhältnis der detektierten Objekte ermittelt werden, welches nicht von der Größenverzerrung im Foto betroffen ist. Dabei hatten fast 50% der detektierten Objekte ein Breiten-Längen-Verhältnis von 1:2, ca. 20% 1:1 und ca. 15% 1:3. Eine weitere Methode zur Reduzierung von Missklassifikationen, ist die Anwendung der morphologischen Methode Erode. Es zeigte sich allerdings, dass tendenziell mit steigender Objektanzahl auch die Anzahl der benötigten Erodes zu nimmt. Dadurch konnte keine einheitliche für alle untersuchten Farbbilder gültige Erodeanzahl ermittelt werden. Aber durch den Einsatz der Erodemethode konnte die Anzahl von zu kleinen detektierten Objekten (möglichen Missklassifikationen), reduziert werden. Durch weitere Untersuchungen könnte die Detektion von Fusariumsporenbelägen an Weizenähren noch weiter verbessert werden.

5 . Abstract

To allow the detection of the spores coating of the *Fusarium* fungus on wheat ears, several different color image analysis are needed. The expression of the gray scale values of the color of the red spores coating depends on many factors. A influence are the site-specific environmental conditions. Also, the BBCH-stage of the photographed wheat plants changed the gray scale values of the spore coating on the photos. There are BBCH-stages in which the color of the red spores coating is more intense and better visible. The distance to the digital camera has an impact on the gray scale values of the spore coating. The color of the spore surfaces was more dark and more intense in the close-ups than in the distant photos. Also the Thresholds showed differences. In the close-ups of the median showed less deviations compared to the visual rating. In the distant photos the arithmetic mean was the better Threshold. The distances of the objects in the image (foreground or background) change the gray scale values. The spore fur in the rear image layers are more dark than the ones in the front images layers. Taking all of these influences and the subjective determination of the gray scale values of the *Fusarium* spore coating contains the threshold also still pixels with pixel values that do not belong exclusively to the red *Fusarium* spore coating. It also appeared that smaller objects increases the likelihood of miss classifications. Therefore, a size and shape analysis was performed. The result of the analysis showed that the largest objects detected at the same positions in the photo, like largest visually identified spore coating. The exact determination of the size parameters of the detected objects was not possible because of the size distortion in the image. But with the determined object properties it was possible to calculate the width-length ratio of the detected objects, which is not affected by the size of distortion in the photo. Almost 50% of the detected objects, had a width-length ratio of 1:2, 1:1 about 20% and 15% 1:3. Another method to reducing miss classifications, is the application of the morphological method Erode. But with a increasing number of objects, the number of required Erode increasing too. This was the cause that no single valid number of Erodes for all investigated color images could be determined. But by using the Erodemethode, the number of detected objects that are to small (potential miss classifications), could be reduced. Further investigations could improve the detection of *Fusarium* spore coating on wheat spikes.

6. Dank

Als erstes möchte ich mich natürlich bei meinen beiden Betreuern Prof. Dr. Ludwig Popp und PD Dr. agr. habil. Karl-Heinz Dammer bedanken. Außerdem bei Isabell Kleinhardt und meiner Familie für die moralische Unterstützung.

7. Literaturverzeichnis

Amt für Ernährung Landwirtschaft und Forsten Augsburg, 2010. 18. Beratungshinweis vom 10. Mai 2010. Online in Internet.

URL: http://www.alf-au.bayern.de/pflanzenbau/17830/linkurl_0_186.pdf (Stand 22.06.2010).

Bundes Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2010. Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) 2009. Online in Internet.

URL:<http://berichte.bmelv-statistik.de/EQB-1002000-2009.pdf> (Stand 22.06.2010).

Bottalico A., Perrone G., 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. Eur. J. Plant Pathol. 108: 611-624.

Dexter J. E., Marchylo R. M., Clear R. M., Clarke J. M., 1997. Effect of *Fusarium* head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. Cereal Chem. 74: 519-525.

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006. EU-Verordnung 1881/2006. Online in Internet. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:DE:PDF:13>. (Stand 23.06.2010)

Entrup L., Oehmichen J., 2000. Lehrbuch des Pflanzenbaus, Band 2 Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann :304-305, 407.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2009. Statistik der FAO 2008. Online in Internet. URL: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (Stand 22. Juni 2010).

Hoffmann G. M., Schmutterer H., 1983. Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Ulmer Verlag: 54, 88.

Jenkinson P., Parry D. W., 1994. Isolation of *Fusarium* species from common broadleaved weeds and their pathogenicity to winter wheat. Mycol Res. 98: 776-780.

Kehl B.,2005. Fusariumtoxine am Beispiel der drei Hauptgruppen: Trichothecene, Zearalenone, Fumonisine. Abschlussarbeit Postgradualstudium Toxikologie und Umweltschutz der Universität Leipzig. Online in Internet.

URL:

http://toxi.dl.unileipzig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/PGSToxi_derivate_00000479/179_Kehl_Birgit.pdf :9 (Stand 29.06.2010)

Kindermann K.,2008. Fotografieren für Fortgeschrittene. Franzis Verlag GmbH: 100-103.

Martin R. A., Johnston H. W., 1982. Effects and control of *Fusarium* diseases of cereal grains in the Atlantic Provinces. Can. J. Plant Pathol. 4: 210-216.

McLaughlin C. S., Vaughn M. H., Campbell J. M., Wei C. M., Stafford M. E., Hansin B. S., 1977. Inhibition of protein synthesis by trichothecenes. Pages 263-273 in : Mycotoxins in Human and Animal Health. Rodricks H. V., Hesseltine C. W., Mehlman M. A., ed. Pathotoxin Publishers, Park Forest South, IL.

Munzert M., Lepschy J., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, 2004. Verfahren zur Abschätzung des DON-Gehalts. Online in Internet.

URL: http://www.lfl.bayern.de/labor_aktuell/artikel/08627/. (Stand 22. Juni 2010).

Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L., 1995. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. Plant Pathol. 44: 207-238.

Spaar, D., Kleinhempel, H., Fritzsche, R. 1988, Diagnose von Krankheiten und Beschädigungen an Kulturpflanzen, Getreide, Mais und Futtergräser. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin: 268.

Strasser, E.,1994, Simulation von Topographieprozessen in der Halbleiterfertigung. Online in Internet. URL:

<http://www.iue.tuwien.ac.at/phd/strasser/node32.html#SECTION00712000000000000000>
(Stand 28.06.2010)

Sutton J. C., 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Can. J. Plant Pathol. 4: 195-209.

Toepfer International, 2010. Marktbericht April 2010. Online in Internet.

URL: http://www.acti.de/media/MB_dt_04-10.pdf (Stand 27.06.2010).

Trenholm H. L., Hamilton R. M. G., Friend D. W., Thompson K. E., Hartin D. V. M., 1984. Feeding trials with vomitoxin (deoxynivalenol)-contaminated wheat: Effects on swine, poultry, and dairy cattle. J. Am. Vet. Med. Assoc. 185: 527-531.

Van Eeuwijk F. A., Mesterhazy A., Kling C. I., Ruckebauer P., Saur L., Buerstmayr H., Lemmens M., Keizer L. C. P., Maurin N., Snijders C. H. A., 1995. Assessing non-specificity of resistance in wheat to head blight caused by inoculation with European strains of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. nivale* using a multiplicative model for interaction. Theor. Appl. Genet. 90: 221-228.

Zinedine A., Soriano J. M., Moltó J. C., Manes J., 2006. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. Food Chem. Toxicol. 45: 1-18.

8. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die hier vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Cölpin, den 30.06.2010

Daniel Göring