

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Überregionale Studien zum Einfluss von
Witterungsparametern auf die Epidemiologie und
Schadensdynamik von Maispathogenen (*Kabatiella zea*,
Exserohilum turcicum, *Fusarium* spp.) und deren
Bekämpfung durch Integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
M. Sc. Christoph Algermissen
aus Hildesheim

Kiel, 2015

Dekan: Prof. Dr. E. Hartung

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. A. Verreet

2. Berichterstatter: Prof. Dr. D. Cai

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Januar 2016

Gedruckt mit Genehmigung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 <i>Kabatiella zeae</i>	3
2.1.1 Nomenklatur und Klassifikation.....	3
2.1.2 Vorkommen und Verbreitung.....	4
2.1.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie	4
2.1.4 Wirtschaftliche Relevanz	6
2.1.5 Bekämpfung	7
2.2 <i>Exserohilum turcicum</i>	9
2.2.1 Nomenklatur und Klassifikation.....	9
2.2.2 Vorkommen und Verbreitung.....	10
2.2.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie	10
2.2.4 Wirtschaftliche Relevanz	14
2.2.5 Bekämpfung	15
2.3 Mykotoxine.....	18
2.3.1 <i>Fusarium</i> spp.....	19
2.3.2 Deoxynivalenol	22
2.3.3 Zearalenon	23
2.3.4 Grenz- und Richtwerte in Lebens- und Futtermitteln.....	24
2.3.5 Zusammenhang zwischen Witterung und Auftreten der Mykotoxine.....	25
2.3.6 Wirtschaftliche Relevanz	26
2.3.7 Bekämpfung	27
3. Material und Methoden.....	31
3.1 Standorte	31
3.1.1 Hohenschulen	31
3.1.2 Reding.....	32

3.1.3 Versuchsstandorte des LfL-Projektes in Bayern	33
3.2 Witterungsdaten.....	35
3.2.1 Meteorologische Messstationen an den Standorten Hohenschulen und Reding...35	
3.2.2 Agrarmeteorologisches Messnetz der LfL.....	36
3.2.3 Berechnung der Temperatursumme	37
3.3 Versuchsaufbau und Applikationstechnik.....	37
3.3.1 Standorte Hohenschulen und Reding	37
3.3.2 Standorte des LfL-Projektes	38
3.4 Bonitur der Blattpathogene	38
3.5 Maissorten und Anbauumfang	40
3.6 Fungizide und Applikationstechnik.....	42
3.7 Probenaufbereitung und Trockenmassebestimmung	44
3.8 Materialien zur Laboranalyse	45
3.8.1 Technische Geräte und Verbrauchsmaterialien	45
3.8.2 Chemikalien.....	45
3.9 Mykotoxinanalyse	46
3.10 Differentialdiagnose der Blattpathogene im Labor.....	46
3.11 Statistische Analysen.....	47
4. Ergebnisse	49
4.1 Versuchsstandort Hohenschulen (Schleswig-Holstein 2012 – 2014).....	49
4.1.1 Witterung Hohenschulen	49
4.1.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten.....	54
4.1.3 Populationsdynamik von <i>Kabatiella zea</i>	55
4.1.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes.....	56
4.1.3.2 Populationsaufbau von <i>Kabatiella zea</i>	63
4.1.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke	65
4.1.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von <i>Kabatiella zea</i>	68
4.1.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von <i>Kabatiella zea</i> und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte	76

4.1.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungsereignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen	81
4.1.4 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf das Auftreten von Mykotoxinen	83
4.1.4.1 Mykotoxine im Silomais	83
4.1.4.2 Mykotoxine im Körnermais	85
4.1.5 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf die Erträge von Silo- und Körnermais	86
4.2 Versuchsstandort Reding (Bayern) 2012 - 2014	90
4.2.1 Witterung Reding	90
4.2.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten	94
4.2.3 Populationsdynamik von <i>Exserohilum turcicum</i>	96
4.2.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes	97
4.2.3.2 Populationsaufbau von <i>Exserohilum turcicum</i>	99
4.2.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke	102
4.2.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von <i>Exserohilum turcicum</i>	105
4.2.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von <i>Exserohilum turcicum</i> und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte	107
4.2.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungsereignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen	114
4.2.4 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf das Auftreten von Mykotoxinen	115
4.2.4.1 Mykotoxine im Silomais	115
4.2.4.2 Mykotoxine im Körnermais	117
4.2.5 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf die Erträge von Silo- und Körnermais	119
4.3 Versuchsstandorte des LSV Bayern 2012 - 2013	123
4.3.1 Witterungsverläufe an den Standorten des LSV Bayern	123
4.3.1.1 Witterung der Standorte des LSV Bayern 2012	123
4.3.1.2 Witterung der Standorte des LSV Bayern 2013	127
4.3.2 Mykotoxingehalte an den Versuchsstandorten des LSV Bayern 2012	130

4.3.3 Mykotoxingehalte an den Versuchsstandorten des LSV Bayern 2013	134
4.3.4 Aussagekraft der Referenzsorten im Bezug zur Mykotoxinbelastung der Standorte des LSV 2012 und 2013	138
4.3.5 Weiterführende Untersuchungen zum Einfluss der Witterung während der Maisblüte auf den DON-Gehalt im Erntegut.....	140
4.3.5.1 Korrelation zwischen der Witterung zur Blüte und dem DON-Gehalt aller Sorten auf Standortbasis in den Jahren 2012 - 2014.....	141
4.3.5.2 Korrelation zwischen der Witterung zur Blüte und dem DON-Gehalt langjährig angebauter Sorten in den Jahren 2010 – 2014.....	143
5. Diskussion.....	147
5.1 Blattpathogene.....	147
5.1.1 <i>Kabatiella zeae</i>	148
5.1.1.1 Befallsverlauf während der Vegetationsperiode.....	149
5.1.1.2 Befallsverlauf in Abhängigkeit der Blattetage.....	154
5.1.1.3 Einfluss der Witterung	156
5.1.1.4 Einfluss einer Fungizidapplikation	158
5.1.2 <i>Exserohilum turcicum</i>	160
5.1.2.1 Befallsverlauf.....	160
5.1.2.2 Einfluss der Witterung	163
5.1.2.3 Einfluss einer Fungizidapplikation	166
5.2 Mykotoxine.....	167
5.2.1 Einfluss der Sorte	168
5.2.2 Einfluss der Witterung	169
5.2.3 Einfluss der Fungizidapplikation	171
5.3 Erträge.....	172
6. Zusammenfassung.....	176
7. Summary.....	178
8. Literaturverzeichnis	180
9. Anhang.....	199

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Taxonomische Einordnung von <i>Kabatiella zea</i> (ANONYMUS, 2015n).....	3
Tab. 2:	Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von <i>K. zea</i>	7
Tab. 3:	Taxonomische Einordnung von <i>Exserohilum turcicum</i> (anamorph) (ANONYMUS, 2015o).....	9
Tab. 4:	Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von <i>E. turcicum</i>	15
Tab. 5:	Grenzwerte für die <i>Fusarium</i> -Toxine DON und ZEA in Lebensmitteln (ANONYMUS, 2007).....	24
Tab. 6:	Richtwerte für die <i>Fusarium</i> -Toxine DON und ZEA in Futtermitteln (ANONYMUS, 2006).....	25
Tab. 7:	Daten der Aussaat und der Ernte von Silo- und Körnermais am Standort Hohenschulen in den drei Versuchsjahren 2012 - 2014	32
Tab. 8:	Daten der Aussaat und der Ernte von Silo- und Körnermais am Standort Hohenschulen in den drei Versuchsjahren 2012 - 2014	33
Tab. 9:	Standorte des LfL-Projektes in Bayern in Jahr 2012 mit Angaben zur Vorfrucht, Aussaat und Ernte des Körnermaises	34
Tab. 10:	Standorte des LfL-Projektes in Bayern in Jahr 2013 mit Angaben zur Vorfrucht, Aussaat und Ernte des Körnermaises	35
Tab. 11:	Verwendete Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes der LfL und Entfernung zu den Versuchsstandorten (Fortsetzung auf der nächsten Seite) ...	36
Tab. 12:	Formel zur Berechnung der täglichen Temperatursumme mit einer Basistemperatur von 6°C (ANONYMUS, 2015p)	37
Tab. 13:	Übersicht und Einteilung der verwendeten Maissorten und Standorte beim Sortenversuch 2012 in Bayern (Fortsetzung auf der nächsten Seite).....	40
Tab. 14:	Übersicht und Einteilung der verwendeten Maissorten und Standorte beim Sortenversuch 2013 in Bayern (Fortsetzung auf nächster Seite).....	41
Tab. 15:	Formel zur Bestimmung der Trockensubstanzgehaltes in Silomaisproben.....	44
Tab. 16:	Formel zur Bestimmung des Ertrages bei Körnermais mit einer Basisfeuchte von 14 %.....	44
Tab. 17:	Witterungsdaten in der Phase der Maisblüte von BBCH 63 (Spitzen der Narbenfäden) bis BBCH 67 (Narbenfäden beginnen zu vertrocknen) in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen	51

Tab. 18:	Durchschnittstemperatur und Niederschlagssumme des Versuchsstandortes Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04.-31.10. aus den Jahren 2012 – 2014 im Vergleich zu den LMW der Station Ostenfeld bei Rendsburg	53
Tab. 19:	Daten zu den Niederschlagsereignissen der Witterungsszenarien 3 und 4 aus Abb. 38 und Abb. 39	70
Tab. 20:	Anzahl von spezifischen Witterungsereignissen pro Monat, definiert als rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$ mit einer Dauer von ≥ 36 h in der Maisparzelle, in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen; Daten gelten jeweils bis zum Zeitpunkt der Silomaisernte.....	75
Tab. 21:	Witterungsdaten in der Phase der Maisblüte von BBCH 63 (Spitzen der Narbenfäden) bis BBCH 67 (Narbenfäden beginnen zu vertrocknen) in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Reding.....	91
Tab. 22:	Durchschnittstemperatur und Niederschlagssumme des Versuchsstandortes Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04.-31.10. aus den Jahren 2012 - 2014 im Vergleich zu den LMW der Station Bärnau	93
Tab. 23:	Gleichungen der Trendlinien aus den Abb. 73 und Abb. 74 mit errechnetem Bestimmtheitsmaß R^2 aus dem Verhältnis von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke; die letzten beiden Spalten zeigen markante Punkte des Kurvenverlaufes	105
Tab. 24:	Standort Reding, 2014: Wirkungsgerade einer Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo [®] Plus gegen den Blattfleckenerreger <i>Exserohilum turcicum</i> in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes und des Applikationszeitpunktes im Vegetationsverlauf zur Silomaisernte im Stadium BBCH 85	111
Tab. 25:	Mittlere Temperatur und Niederschlagssumme in der Vegetationsphase des Maises (01.04. – 31.10.) und zur berechneten Blühphase des Maises bei 700 – 900°C Temperatursumme ab Aussaat an den Standorten des Sortenversuches in 2012.....	124
Tab. 26:	Mittlere Temperatur und Niederschlagssumme in der Vegetationsphase des Maises (01.04. – 31.10.) und zur berechneten Blühphase des Maises bei 700 – 900°C Temperatursumme ab Aussaat an den Standorten des Sortenversuches in 2013.....	127

Tab. 27:	Ergebnis der statistischen Datenanalyse zur Kennzeichnung von sign. Unterschieden zwischen den Befallswerten der einzelnen Standorte hinsichtlich der Mykotoxine DON und ZEA; dargestellt sind die p-Werte aus der Verrechnung der Standorte gegeneinander; links unten befinden sich die Ergebnisse hinsichtlich DON, rechts oben die Ergebnisse hinsichtlich ZEA; sign. Standortunterschiede sind „fett“ markiert und mit dem folgenden Signifikanzniveau versehen: $P \leq 0,05 = *$, $P \leq 0,01 = **$, $P \leq 0,001 = ***$; Multipler Kontrasttest.....	133
Tab. 28:	Ergebnis der statistischen Datenanalyse zur Kennzeichnung von sign. Unterschieden zwischen den Befallswerten der einzelnen Standorte hinsichtlich der Mykotoxine DON und ZEA; dargestellt sind die p-Werte aus der Verrechnung der Standorte gegeneinander; links unten befinden sich die Ergebnisse hinsichtlich DON, rechts oben die Ergebnisse hinsichtlich ZEA; sign. Standortunterschiede sind „fett“ markiert und mit dem folgenden Signifikanzniveau versehen: $P \leq 0,05 = *$, $P \leq 0,01 = **$, $P \leq 0,001 = ***$; Multipler Kontrasttest.....	137
Tab. 29:	Bestimmtheitsmaße der Regression (R^2) zwischen den Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag und der DON-Kontamination des Erntegute Körnermais als Mittel aller Sorten und aller Standorte bei verschiedenen Temperatursummenbereichen nach der Aussaat des Maises über die Jahre 2012 - 2014.....	143
Tab. 30:	Übersicht über die Güte der Regressionen, dargestellt als Bestimmtheitsmaß R^2 zwischen den Witterungsparametern Niederschlag und Temperatur zur den verschiedenen Temperatursummenbereichen und dem DON-Gehalt im Erntegut Körnermais bei Maissorten, die fünf Jahre lang (2010 – 2014) im LSV Bayern vertreten waren; „---“ = keine Berechnung möglich; ns = nicht signifikant; $p \leq 0,001 = ***$; $p \leq 0,01 = **$; $p \leq 0,05 = *$;	146

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Symptomausprägung von <i>K. zeae</i> in verschiedenen Phasen der Epidemie: A: Nahansicht eines ersten Flecks; B: Beginn der Progressionsphase; C: Fortgeschrittene Progressionsphase; D: Läsionen laufen zusammen und bilden nekrotisierte Areale auf der Blattspreite.....	5
Abb. 2:	Symptomausprägung von <i>E. turcicum</i> in verschiedenen Phasen der Epidemie: A: Beginn eines Flecks mit wässriger Blattaufhellung; B: Fortgeschrittener Blattfleck; C und D: Vollständige Symptomausprägung	12
Abb. 3:	Symptome von <i>Fusarium</i> spp. im Maisbestand: A und B: Befall des sekundären Kolbens zur Siloreife in BBCH 85; C: Infizierter Hauptkolben	20
Abb. 4:	Wöchentliche Aufnahmen der fortschreitenden Infektion der Maispflanze mit <i>Fusarium</i> spp.: Ausgehend von einer Mischung aus Staubbeutel, Pollen und Wasser bildet der Pilz ein Myzel und infiziert in der Folge die Blattachsen des Maises nach der Blüte; gut zu sehen ist der Verlauf der Besiedlung von wenigen Flecken ausgehend über den Fluss der Konidienlösung zwischen Blattscheide und Stängel bis zum Erscheinen des lachsrosanen Myzels an der Außenseite der Blattscheide, Standort Hohenschulen 2014.....	21
Abb. 5:	Strukturformel von Deoxynivalenol (SOBROVA et al., 2010).....	23
Abb. 6:	Strukturformel von Zearalenon (DÖLL & DÄNICKE, 2011).....	24
Abb. 7:	Lage des Versuchsstandortes Hohenschulen und der DWD-Wetterstation Osterfeld im Bundesland Schleswig-Holstein; Entfernung zwischen beiden Orten: 11,2 km (Luftlinie).....	31
Abb. 8:	Lage des Versuchsstandortes Reding und der LfL-Wetterstation Bärnau im Bundesland Bayern; Entfernung zwischen beiden Orten: 6,0 km (Luftlinie).....	32
Abb. 9:	Lage der Landessortenversuches des Projektes zur Mykotoxinanalyse im Körnermais in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in den Jahren 2012 und 2013 im Bundesland Bayern	34
Abb. 10:	Wetterstationen an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Maisbestandes; die Positionierung mitten im Bestand dient der Erfassung des Mikroklimas.....	36
Abb. 11:	Schema für die Bonitur der Befallsstärke des Maisblattpathogens <i>Exserohilum turcicum</i>	39
Abb. 12:	Schema für die Bonitur der Befallsstärke des Maisblattpathogens <i>Kabatiella zeae</i>	39
Abb. 13:	Neu entwickelte Versuchsspritze zur Applikation von Mais in einem Bereich von 0,7 bis 4,0 m Höhe	43

Abb. 14:	Binokular- bzw. Mikroskopansicht der Blattpathogene <i>Kabatiella zae</i> (A, B) und <i>Exserohilum turcicum</i> (C, D); bei <i>K. zae</i> sind die sichelförmigen, hyalinen, unseptierten Konidien ein Unterscheidungsmerkmal; bei <i>E. turcicum</i> können die rel. großen Konidien vor allem wegen des deutlich hervortretenden Hylums (Pfeil) von anderen Arten unterschieden werden.....	47
Abb. 15:	Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2012 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte	49
Abb. 16:	Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2012 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostenfeld bei Rendsburg.....	50
Abb. 17:	Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2013 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte	50
Abb. 18:	Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2013 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostenfeld bei Rendsburg.....	51
Abb. 19:	Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2014 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte	52
Abb. 20:	Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2014 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostenfeld bei Rendsburg.....	52
Abb. 21:	Verlauf der Temperatursummen am Versuchsstandort Hohenschulen in den Jahren 2012 – 2014 von der jahresspezifischen Aussaat bis zur Silomaisernte, Pfeile zeigen optimalen theoretischen Erntetermin für frühe Silomaisarten bei ca. 1430°C (ANONYMUS, 2015p), das Ende der Graphen zeigt den jahresspezifischen, realen Erntetermin.....	53
Abb. 22:	Befallshäufigkeit der Blattpathogene <i>Kabatiella zae</i> (KAB), <i>Phoma zae-maydis</i> (PHO) und <i>Exserohilum turcicum</i> (TUR) als Mittelwert der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt BBCH 75 in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen.....	54

Abb. 23:	Befallsverläufe der Blattkrankheit <i>K. zeae</i> , dargestellt als Mittelwert der Befallsstärken der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den Jahren 2012 – 2014 am Standort Hohenschulen; n = 4 Wdh. (2012 – 2014)	55
Abb. 24:	Standort Hohenschulen, 2012: Befallsverlauf von <i>K. zeae</i> in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) zu den Boniturterminen BBCH 37, 55, 65, 75 an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.....	56
Abb. 25:	Standort Hohenschulen, 2012: Zuwachsraten der Befallsstärke von <i>K. zeae</i> auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 55 und 65, sowie BBCH 65 und 75; der Mittelwert dieser beiden Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben	58
Abb. 26:	Standort Hohenschulen, 2013: Befallsverlauf von <i>K. zeae</i> in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) von zweiwöchentlichen Boniturterminen ab 15.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.....	59
Abb. 27:	Standort Hohenschulen, 2013: Zuwachsraten der Befallsstärke von <i>K. zeae</i> auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 63 und 71, BBCH 71 und 75, BBCH 75 und 79, sowie BBCH 79 und 85; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben	60
Abb. 28:	Standort Hohenschulen, 2014: Befallsverlauf von <i>K. zeae</i> in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) von zweiwöchentlichen Boniturterminen ab 15.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.....	61
Abb. 29:	Standort Hohenschulen, 2014: Zuwachsraten der Befallsstärke von <i>K. zeae</i> am auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 53 und 65, BBCH 65 und 73, BBCH 73 und 79, sowie BBCH 79 und 85; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben; für das Pflanzensegment „unten“ konnten keine Zuwachsraten berechnet werden	62
Abb. 30:	Standort Hohenschulen, 2013: Exponentieller Populationsaufbau von <i>K. zeae</i> , dargestellt als Summe der gezählten Blatfflecken auf den Blättern 6 - 14 mit normaler (A) und halblogarithmischer Skalierung (B); Boniturintervall von vier Tagen in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); Bestimmtheitsmaß gilt für beide Trendlinien	63

Abb. 31:	Standort Hohenschulen, 2014: Exponentieller Populationsaufbau von <i>K. zeae</i> , dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 mit normaler (A) und halblogarithmischer Skalierung (B); Boniturntervall von vier Tagen in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); Bestimmtheitsmaß gilt für beide Trendlinien	64
Abb. 32:	Standort Hohenschulen, 2012 – 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallen Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) der unbehandelte Kontrollen, n = 4 Wdh., alle Blattsegmente.....	65
Abb. 33:	Standort Hohenschulen 2013 – 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (ermittelte Flecken pro Blatt) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallen Blätter einer Blattetage) der unbehandelten Kontrollen, n = 4 Wdh., alle Blattetagen.....	66
Abb. 34:	Blattetage L 2 (2. Blatt über dem Kolben): Vergleich der Boniturergebnisse von <i>K. zeae</i> anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014).....	67
Abb. 35:	Blattetage L 1 (1. Blatt über dem Kolben): Vergleich der Boniturergebnisse von <i>K. zeae</i> anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014).....	67
Abb. 36:	Blattetage L 0 (Kolbenblatt): Vergleich der Boniturergebnisse von <i>K. zeae</i> anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014)	67
Abb. 37:	Szenario 1: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand an durchschnittlichen Sommertagen am Standort Hohenschulen im Zeitraum vom 29.08. – 01.09.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$	68
Abb. 38:	Szenario 2: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 01.09. – 04.09.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$	69
Abb. 39:	Szenario 3: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 29.07. – 31.07.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$	70
Abb. 40:	Szenario 4: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 18.07. – 20.07.2012; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$	70

- Abb. 41: Standort Hohenschulen, 2013: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K.zeae* und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallshäufigkeit der Blätter 6-1472
- Abb. 42: Standort Hohenschulen, 2014: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K. zea*e und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 -14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallshäufigkeit der Blätter 6-1473
- Abb. 43: Standort Hohenschulen, 2012: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K. zea*e und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$; BSB ist dargestellt als prozentual befallene Blattfläche als Mittel der drei Pflanzensegmenten unten, mitte, oben in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallsstärke der drei Pflanzensegmente74
- Abb. 44: Standort Hohenschulen 2012: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) zu verschiedenen Stadien des Maises auf die Befallsstärke von *Kabatiella zea*e auf den einzelnen Segmenten der Maispflanze (ohne Berücksichtigung des Segmentes „unten“) im Vegetationsverlauf vom 30.07 – 06.10.; zeitliche Abstände der Boniturtermine nicht gleich;.....77
- Abb. 45: Standort Hohenschulen, 2012: Befallsstärke von *Kabatiella zea*e und prozentuale Gesamtnekrose an der Gesamtpflanze (Mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“) zur Silomaisreife BBCH 85 in Abhängigkeit der Terminierung der Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus; *K. zea*e-Befallsstärke der Kontrolle geschätzt; MW + Stabw; n = 4 Wdh; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34; V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65; V6 = BBCH 37 + BBCH 65 79
- Abb. 46: Standort Hohenschulen, 2013: weitere Erläuterungen siehe Abb. 4479
- Abb. 47: Standort Hohenschulen, 2014: weitere Erläuterungen siehe Abb. 4479
- Abb. 48: Standort Hohenschulen, 2012: Weitere Erläuterungen, siehe unten.....82
- Abb. 49: Standort Hohenschulen, 2013: Weitere Erläuterungen, siehe unten.....82

- Abb. 50: Standort Hohenschulen, 2014: Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungsereignissen mit längeren Phasen (≥ 36 h) rel. Luftfeuchtigkeit ≥ 85 % im Maisbestand und den verschiedenen Applikationsterminen des Fungizids Retengo[®] Plus mit Wirkungsdauer von kurativer und protektiver Phase; Variante 6 (nicht aufgeführt) ist eine Doppelbehandlung aus V3 und V582
- Abb. 51: Standort Hohenschulen, Silomais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo[®] Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 6584
- Abb. 52: Standort Hohenschulen, Silomais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 50.84
- Abb. 53: Standort Hohenschulen, Silomais 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 50..84
- Abb. 54: Standort Hohenschulen, Körnermais, 2013: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo[®] Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$;86
- Abb. 55: Standort Hohenschulen, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo[®] Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65; Beschriftung der Balken entspricht absoluter Abweichung der Variante zur unbehandelten Kontrolle.....87
- Abb. 56: Standort Hohenschulen, 2013: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 54.....87
- Abb. 57: Standort Hohenschulen, 2014: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; V3, V6 und Nutzungsrichtung Körnermais wurden 2014 nicht durchgeführt; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 54.....87

Abb. 58: Standort Hohenschulen, 2012 - 2014: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 3 Jahre mit Ausnahme der Nutzungsrichtung Körnermais (n = 2 Jahre) und den Silomais Varianten V3 und V6 (n = 2 Jahre); MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65; Beschriftung der Balken entspricht absoluter Abweichung der Variante zur unbehandelten Kontrolle89

Abb. 59: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2012 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte90

Abb. 60: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2012 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau.....90

Abb. 61: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2013 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte91

Abb. 62: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2013 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau.....92

Abb. 63: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2014 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte92

Abb. 64: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2014 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau.....93

Abb. 65: Verlauf der Temperatursummen am Versuchsstandort Reding in den Jahren 2012 – 2014 von der jahresspezifischen Aussaat bis zur Silomaisernte, Pfeile zeigen optimalen theoretischen Erntetermin für frühe Silomaisarten bei ca. 1430°C (ANONYMUS, 2015p), das Ende der Graphen zeigt den jahresspezifischen, realen Erntetermin.....94

Abb. 66:	Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Blattpathogene <i>Kabatiella zaeae</i> (KAB), <i>Phoma zaeae-maydis</i> (PHO), <i>Exserohilum turcicum</i> (TUR) und <i>Puccinia sorghi</i> (PUC) als Mittelwert der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt BBCH 75 in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Reding95
Abb. 67:	Befallsverläufe der Blattkrankheit <i>E. turcicum</i> , dargestellt als Mittelwert der Befallsstärken der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den Jahren 2012 – 2014 am Standort Reding; n = 4 Wdh. (2012 + 2013); n = 10 Wdh. (2014)96
Abb. 68:	Standort Reding, 2014: Befallsverlauf von <i>E. turcicum</i> in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) zu den wöchentlichen Boniturterminen ab 16.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 10 Wdh.....98
Abb. 69:	Standort Reding, 2014: Zuwachsraten der Befallsstärke von <i>E. turcicum</i> auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen 13.-20.08., 20.-27.08., 27.08.-03.09. und 03.-10.09.; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben99
Abb. 70:	Standort Reding, 2014: Prozentualer wöchentlicher Fleckenzuwachs an den vor Befallsbeginn zufällig ausgewählten Pflanzen der unbehandelten Kontrolle mit n = 5 Wdh.; pro Wdh. 10 Pflanzen mit max. drei Blattflecken; Prozentzahlen zeigen das Verhältnis von möglichem wöchentlichem Zuwachs zu tatsächlichem wöchentlichem Zuwachs100
Abb. 71:	Standort Reding, 2014: Relatives und absolutes Blattfleckenwachstum von <i>Exserohilum turcicum</i> in der unbehandelten Kontrolle (n = 5 Wdh.); dargestellt sind Mittelwerte als Wachstumsraten in den angegebenen Zeiträumen; n kennzeichnet die Anzahl betrachteter Blattflecken100
Abb. 72:	Standort Reding, 2014: Entwicklung der durchschnittlichen Läsionsgröße von <i>E. turcicum</i> -Blattflecken ab deren Erstauftreten zu den entsprechenden Boniturterminen; n = 5 Wdh.; gestrichelte Linien zeigen exponentielle Trendlinien mit dem aufgeführten Bestimmtheitsmaß102
Abb. 73:	Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) der unbehandelten Kontrolle; n = 10 Wdh.; alle Pflanzensegmente berücksichtigt; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014.....102

- Abb. 74: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) auf verschiedenen Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle (Pflanzensegment „unten“ siehe nächste Seite); n = 10 Wdh.; es sind die Einzelwerte jeder Wiederholung aufgeführt; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014.....103
- Abb. 75: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) auf dem Pflanzensegment „unten“ der unbehandelten Kontrolle; n = 10 Wdh.; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014104
- Abb. 76: Standort Reding, 2014: Ordinate: Dauer der Phasen mit hoher rel. Luftfeuchte ≥ 90 % im Maisbestand in den Monaten Juli und August; Abszisse: durchschnittlicher Temperatur während der Phasen hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; jeder Punkt stellt eine Phase dar; Kurve stellt Grenze dar, ab der eine vollständige Konidienbildung möglich ist (LEACH et al., 1977)106
- Abb. 77: Standort Reding, 2014: Tage mit potentieller Konidienbildung aus Abb. 75; dargestellt sind die Stunden mit einer rel. Luftfeuchte ≥ 90 % im Maisbestand (schwarze Balken); gestrichelte Balken zeigen Stunden mit einer Blattnässe ≥ 90 %; Infektionen sind nur möglich, wenn ausreichend Blattnässe ($> 5 - 6$ h) vorhanden ist107
- Abb. 78: Standort Reding, 2014: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Befall mit *Exserohilum turcicum*; Ausführliche Beschriftung siehe nächste Seite109
- Abb. 79: Standort Reding, 2014: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) zu verschiedenen Stadien des Maises auf die Befallsstärke von *Exserohilum turcicum* auf den einzelnen Segmenten der Maispflanze im Vegetationsverlauf vom 16.07. bis zum 10.09.; die Ergebnisse des letzten Boniturtermines konnten im Bereich „unten“ in den Varianten K, V4 und V5 aufgrund von seneszenzbedingter Nekrotisierung nicht erhoben werden; n = 10 Wdh.110
- Abb. 80: Standort Reding, 2012: Befallsstärke von *Exserohilum turcicum* und prozentualer Gesamtnekrose an der Gesamtpflanze (mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“) zur letzten Bonitur am 17.09.2012 in Abhängigkeit der Terminierung der Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$;112

Abb. 81:	Standort Reding, 2013: Bonitur am 09.09.2013 (BBCH 75!); geänderter Wertebereich der Ordinate!); weitere Erläuterungen, siehe Abb. 79.....	112
Abb. 82:	Standort Reding, 2014: Bonitur am 10.09.2014; n = 10 Wdh.; weitere Erläuterungen siehe Abb. 79.....	112
Abb. 83:	Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungsereignissen mit optimalen Bedingungen zur Konidiogenese (rel. Luftfeuchte ≥ 90 % bei entsprechender Dauer und Temperatur, Abb. 75) und Infektion (Blattnässe ≥ 90 % für > 5 - 6 h, Abb. 76) von <i>Exserohilum turcicum</i> im Maisbestand und den verschiedenen Applikationsterminen des Fungizids Retengo® Plus mit Wirkungsdauer von kurativer und protektiver Phase; Variante 6 (nicht aufgeführt) ist eine Doppelbehandlung aus V3 und V5	114
Abb. 84:	Standort Reding, Silomais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65	116
Abb. 85:	Standort Reding, Silomais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 83	116
Abb. 86:	Standort Reding, Silomais, 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 83	116
Abb. 87:	Standort Reding, Körnermais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh;	118
Abb. 88:	Standort Reding, Körnermais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 86	118
Abb. 89:	Standort Reding, Körnermais, 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 86.....	118
Abb. 90:	Standort Reding, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo Plus® (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 4 Wdh. (2014: n = 5 Wdh.); MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle;.....	120
Abb. 91:	Standort Reding, 2013: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen;	120
Abb. 92:	Standort Reding, 2014: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen;	120
Abb. 93:	Standort Reding, 2012 - 2014: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 3 Jahre.....	122

Abb. 94:	Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2012 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat).....	125
Abb. 95:	Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2012 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat).....	126
Abb. 96:	Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2013 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat).....	128
Abb. 97:	Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2013 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat).....	129
Abb. 98:	DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „früh“ (Versuch Nr. 340) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte (n = 6); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$	131
Abb. 99:	DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelfrüh“ (Versuch Nr. 341) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte (n = 8); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$	131
Abb. 100:	DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Versuch Nr. 342) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte (n = 6); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$	131
Abb. 101:	DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais der drei Reifegruppen früh (Vers. 340), mittelfrüh (Vers. 341) und mittelspät (Vers. 342) des LSV Bayern in 2012; MW + Stabw aller Sorten an den jeweiligen Standorten; vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$	132

- Abb. 102: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais an den Standorten des LSV Bayern in 2012, angegeben als Mittelwert und Standardabweichung der angebauten Sorten (Klammerwert = Anzahl der Sorten); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte (gestrichelt), bzw. EU-Grenzwert (durchgezogene Linie); sign. Unterschiede werden in nachfolgender Tabelle dargestellt133
- Abb. 103: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „früh“ (Versuch Nr. 340) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 6); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$ 135
- Abb. 104: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelfrüh“ (Versuch Nr. 341) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 7); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$135
- Abb. 105: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Versuch Nr. 342) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 3); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$135
- Abb. 106: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais der drei Reifegruppen früh (Vers. 340), mittelfrüh (Vers. 341) und mittelspät (Vers. 342) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Sorten an den jeweiligen Standorten; vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$136
- Abb. 107: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais an den Standorten des LSV Bayern in 2013, angegeben als Mittelwert und Standardabweichung der angebauten Sorten (Klammerinhalt = Anzahl Sorten); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte (gestrichelt), bzw. EU-Grenzwert (durchgezogene Linie); sign. Unterschiede werden in nachfolgender Tabelle dargestellt137
- Abb. 108: Vergleich der DON-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2012 an den jeweiligen Standorten.....138
- Abb. 109: Vergleich der ZEA-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2012 an den jeweiligen Standorten.....139
- Abb. 110: Vergleich der DON-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2013 an den jeweiligen Standorten.....139

Abb. 111: Vergleich der ZEA-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2013 an den jeweiligen Standorten.....	140
Abb. 112: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat an allen Standorten des LSV der Jahre 2012 - 2014 und dem DON-Gehalt im Erntegut Körnermais; n = 33.....	142
Abb. 113: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais als Mittel von allen Sorten über alle Standorte in Abhängigkeit von den beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2012 - 2014.....	142
Abb. 114: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat in den Jahren 2010 - 2014 und dem DON-Gehalt der Sorte „Torres“ im Erntegut Körnermais; n = 14.....	144
Abb. 115: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais der Sorte „Torres“ über alle Standorte in Abhängigkeit der beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2010 - 2014.....	144
Abb. 116: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat in den Jahren 2010 - 2014 und dem DON-Gehalt der Sorte „Susann“ im Erntegut Körnermais; n = 14.....	145
Abb. 117: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais der Sorte „Susann“ über alle Standorte in Abhängigkeit der beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2010 - 2014.....	145
Abb. 118: Beziehungen der nicht-steuerbaren Einflussgröße „Witterung“ und der steuerbaren Einflussgröße „Fungizid“ in Bezug auf die ertragsbildenden Faktoren „Pathogen“ und „Abiotischer Stress der Pflanze“.....	175

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abk.	Abkürzung
AGPM	Association générale des producteurs de maïs
Appl.	Applikation
BBCH	Code für das morphologische Entwicklungsstadium einer Pflanze
BHB	Befallshäufigkeit im Bestand
BSB	Befallsstärke im Bestand
BUC	Buchhofen
EHL	Ehlheim
EU	Europäische Union
EUE	Euerfeld
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FHS	Formulierungshilfsstoff
FRA	Frankendorf
FRO	Frontenhausen
gesNEK	Gesamtnekrose
GÜN	Günzburg
Ha	Hafer
HPLC	High performance liquid chromatography
INZ	Inzing
K-Zahl	Kornreifezahl
k.A.	keine Angabe
Ka	Kartoffel
KAB	<i>Kabatiella zaeae</i>
KM	Körnermais
L -1	erstes Blatt unter dem Kolbenblatt
L -2	zweites Blatt unter dem Kolbenblatt
L 0	Kolbenblatt
L 1	erstes Blatt über dem Kolbenblatt
L 2	zweites Blatt über dem Kolbenblatt
LC/MS	Liquid chromatography/mass spectrometry
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

LMW	langjähriger Mittelwert
MW	Mittelwert
NaCl	Natriumchlorid
NEU	Neuhof
NÖT	Neuötting
o.g.	oben genannte
pH	potentia hydrogenii
PHO	<i>Phoma zeae-maydis</i>
REG	Regenstauf
REI	Reith
rel.	relative
rLF	relative Luftfeuchtigkeit
RS	Referenzsorte
rpm	revolutions per minute
S-Zahl	Siloreifezahl
SCH	Scheßlitz
SCU	Schwarzenau
SEN	Sengkofen
SM	Silomais
Stabw	Standardabweichung
STR	Straßmoos
Tab.	Tabelle
Temp.	Temperatur
THA	Thann
T _{max}	Maximaltemperatur
T _{min}	Minimaltemperatur
T _{sum}	Temperatursumme
TUR	<i>Exserohilum turcicum</i>
VE	vollentsalzt
WG	Wintergerste
WRo	Winterroggen
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

1. Einleitung

Die Bedeutung, die Mais als Ackerkultur in jüngster Zeit erlangt hat, lässt sich nach den neuesten Zahlen der FAO durch die weltweite Erntemenge von über einer Milliarde Tonnen Mais im Jahr 2013 verdeutlichen, womit die erzeugte Menge noch vor den beiden anderen wichtigen Getreidearten Weizen und Reis liegt (ANONYMUS, 2015q). Die Gründe dafür liegen in den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten, die Mais als Nahrungsmittel oder Tierfutter, Letzteres auch in Form von Silomais bei der Beerntung der gesamten Pflanze, erlangt. Ein weiterer Grund für den hohen Anbauumfang von Mais ist die Verwendung als nachwachsender Rohstoff, der vor allem in den USA als Weltmarktführer bei der Produktion von Bioethanol aus Körnermais (ANONYMUS, 2015r) und in Deutschland in Form von Silomais zur Verwendung als Substrat bei der Erzeugung von Biogas zum tragen kommt.

Deutschlandweit legte die Gesamtanbaufläche von Mais in den Jahren 2001 bis 2012 um 68 % zu (ANONYMUS, 2015s). Seitdem stagniert die Entwicklung der Fläche bei ca. 2,5 Millionen Hektar, was 14,9 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland entspricht (ANONYMUS, 2015t). Als Beispiel für eine starke Ausweitung der Produktionsfläche für Mais kann an dieser Stelle das Bundesland Schleswig-Holstein genannt werden, dass im Zeitraum von 2001 bis 2011, bei der vorwiegend angebauten Nutzungsrichtung Silomais, einen Anstieg von 137 % verzeichnete, wobei ab dem Jahr 2012 die Anbaufläche erstmals seit 20 Jahren rückläufig gewesen ist und dieser Trend bis 2015 fortgesetzt wurde (ANONYMUS, 2015u). Nicht zuletzt durch schnelle Ertragsfortschritte bei der Hybridzüchtung, sowie der hohen Nährstoffverträglichkeit und der Möglichkeit des Anbaus in Selbstfolge über viele Jahre, ist der Mais zu einer optimalen Feldfrucht für die Rinderfütterung und die Biogaserzeugung geworden. Der Vorteil der Selbstverträglichkeit von Mais kann allerdings auch zu einem Nachteil werden, da die unmittelbare Einengung der Fruchtfolge zu einer Akkumulation von phytopathogenen Schaderregern auf Pflanzenresten im Boden führen kann (HALLMANN et al., 2007). Weiterhin ist in der Praxis eine Tendenz zur nicht wendenden Bodenbearbeitung zu beobachten, die das Problem des Verbleibs von Stoppelresten auch dem Boden mit infektiionsfähigen, pilzlichen Überdauerungskörpern verschärft (ANONYMUS, 2014d).

In den letzten Jahren mehren sich die Meldungen in der Fachpresse, wonach der Mais, als ursprünglich gesund angesehene Frucht, einem zunehmenden Befall von Krankheiten unterliegt (vgl. JØRGENSEN, 2012; SCHLÜTER, 2012; GROH, 2013). Dabei spielt vor allem die in der vorliegenden Arbeit behandelte Augenfleckenkrankheit, ausgelöst durch den Erreger *Kabatiella zea*, die Blattdürre des Mais, verursacht durch das Pathogen *Exserohilum turcicum* und *Fusarium* spp. als Erreger der Stängel- und Kolbenfäule eine Rolle. Bei Letzteren ist die Problematik besonders in der Produktion von sekundären Stoffwechselprodukten, den sogenannten Mykotoxinen, namentlich als Deoxynivalenol und Zearalenon, zu sehen, die eine Gefahr bei der Verwendung der Maisernteprodukte als Lebens- und Futtermittel darstellt.

In anderen Kulturen des Ackerbaus wird das höhere Aufkommen von Schaderregern, neben der Verwendung von resistenteren Genotypen, mit einem Einsatz von Pflanzenschutzmittel in Form von Fungiziden begegnet. Diese Art der Gefahrenabwehr ist in der Maiskultur allerdings aus verschiedenen Gründen umstritten, bisweilen in Deutschland nur in sehr begrenztem Umfang erlaubt und vor allem aus dem Grund problematisch, dass integrierte Maßnahmen, wie z.B. die Applikation nach Schadschwellen, bisher nicht etabliert wurden. Der gezielte Einsatz von Fungiziden setzt nämlich voraus, die Populationsdynamik der Pathogene genau zu kennen, um sie in der empfindlichsten Phase mit einem Minimum an eingesetztem Wirkstoff nachhaltig zu schädigen. Die Epidemiologie hängt dabei entscheidend von der übergeordneten Einflussgröße Witterung ab, die als nicht steuerbarer Produktionsfaktor die Ausbreitung der Pathogene fördern oder behindern kann. Aus der genannten Problematik können die Ziele, die mit der vorliegenden Arbeit erörtert wurden, abgeleitet werden:

Sie setzen sich zusammen aus (1) der exakten Bestimmung der aufgetretenen Blattpathogene im Labor als Grundlage für eine einwandfreie Bonitur im Feld, (2) der Darstellung der Verlaufskurven der Blattfleckenerreger und ihrem Auftreten an der Pflanze, (3) der Analyse von Gesetzmäßigkeiten, die sich bei der Betrachtung der Schadensdynamik in Verbindung mit der Witterung des Maisbestandes ergeben und (4) der Einfluss von Fungizidmaßnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf die Epidemie der Blattpathogene.

2. Literaturübersicht

2.1 *Kabatiella zea*

2.1.1 Nomenklatur und Klassifikation

Das Blattpathogen *Kabatiella zea* Narita & Hiratsuka ist in Deutschland als Verursacher der sog. „Augenfleckenkrankheit“ an Mais bekannt. Im angloamerikanischen Sprachraum wird der Name „Eyespot disease“ für die Krankheit verwendet (ARNY et al., 1971). *K. zea* ist das anamorphe Genus des Pathogens, da eine Hauptfruchtform nicht existent ist, bzw. noch nicht entdeckt wurde. Der erste Nachweis dieses Pathogens wurde im Jahr 1959 in Japan geführt (NARITA & HIRATSUKA, 1959). Die Namensgeber fanden morphologische Ähnlichkeiten zu dem Erreger der Anthraknose bei Rotklee, die unter dem Namen *Kabatiella caulivora* (Kirchn.) Karakulin bekannt ist. Im Jahr 1973 wurde von DINGLEY angemerkt, dass aufgrund ähnlicher Verhaltensweisen der beiden *Kabatiella*-Erreger im Vergleich zu *Aureobasidium*-Arten, alle Arten in einer Gattung vereint werden sollten. Da *Aureobasidium* Viala & Boyer 1891 Vorrang vor *Kabatiella* Burbak 1907 hatte, schlug er als Bezeichnung den Namen *Aureobasidium zea* (Narita & Hiratsuka) nov. comb. vor.

Bei einer späteren Überarbeitung der Gattung *Aureobasidium* wurde *Kabatiella zea* aufgrund von synchron ausgebildeten Konidien ebenfalls dieser Gattung zugeordnet, womit das Pathogen den Namen *Aureobasidium zea* (Narita & Hiratsuka) Dingley erhielt (HERMANNIDES-NIJHOF, 1977). Neuere phylogenetische Untersuchungen zeigen allerdings, dass *Kabatiella zea* genetisch nur in einer abgelegenen Position zum *Aureobasidium*-Komplex liegt (YURLOVA et al., 1999). Da die Bezeichnung nach wie vor nicht eindeutig ist, wird der Name in der heutigen Literatur oftmals mit *Kabatiella zea* (syn. *Aureobasidium zea*), bzw. vice versa angegeben. In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich der Name *Kabatiella zea* verwendet. Die weitere taxonomische Einteilung zeigt Tab. 1:

Tab. 1: Taxonomische Einordnung von *Kabatiella zea* (ANONYMUS, 2015n)

Reich	Fungi
Abteilung	Ascomycotina
Unterabteilung	Pezizomycotina
Klasse	Dothideomycetes
Unterklasse	Dothideomycetidae
Ordnung	Dothideales
Familie	Dothioraceae
Unterfamilie	Discosphaerina
Gattung	<i>Kabatiella</i> (anamorph)
Art	<i>Kabatiella zea</i>

2.1.2 Vorkommen und Verbreitung

Kabatiella zae kommt in vielen Maisanbaugebieten der Erde vor. Nach der Entdeckung in Japan wurden in vielen Ländern konkrete Nachweise geführt, darunter USA und Kanada (ARNY et al., 1971; CHEZ & HUDON, 1975), Frankreich (CASSINI, 1971), Argentinien (FREZZIE et al., 1972), Neuseeland (DINGLEY, 1973), Jugoslawien (PENCIC & SMILJAKOVIC, 1971), Ungarn (HAUSZ & FRISCHL, 1977), Österreich (BOHM & GLAESER, 1979), Bulgarien (HOOKER & SMILJAKOWIC, 1979), Brasilien (ESTEVES, 1984), Kroatien (LEVIC, 1987), Schweiz (WINTER & MENZI, 1991), Indien (KAISER, 1994), Polen (PRONCZUK et al., 1994), Großbritannien (SANSFORD & COOPER, 1998), Südafrika (FLETT & NOWELL, 1995) und Dänemark (JØRGENSEN, 2012). In Deutschland wurde das Pathogen erstmalig in einem Maisbestand in der Nähe von München aufgefunden und durch SCHNEIDER & KRÜGER (1972) nachgewiesen. In der heutigen Zeit sind vor allem Meldungen aus Norddeutschland bekannt, wonach die Krankheit auf Praxisschlägen zu finden ist (GROH, 2013; ALGERMISSEN et al., 2014; BORNEMANN & STEINGRÖVER, 2015; RAMOS & VON TIEDEMANN, 2015).

Die einzige bekannte Wirtspflanze für *K. zae* ist im Freiland die Kulturpflanze Mais (CASSINI, 1971, SHURTLEFF, 1977). Mit Hilfe von künstlichen Infektionen unter Gewächshausbedingungen ist es REIFSCHNEIDER & ARNY (1980) gelungen, auf vier weiteren Spezies, bzw. Subspezies (*Zea diploperennis*, *Z. perennis*, *Z. mays* ssp. *luxurians* und *Z. mays* ssp. *mexicana*) typische Symptome der Krankheit zu erzeugen.

2.1.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie

Das Pathogen *Kabatiella zae* überwintert nach der Ernte des Maises in infiziertem Pflanzengewebe (LIPPS & MILLS, 2005) als sog. Hyphengeflecht (Stroma) (ARNY et al., 1971; CHINCHILLA, 1987a). Der Zeitraum der maximalen Überdauerung ist unbekannt, wird aber in direktem Zusammenhang zur Zersetzungsrate der einzelnen Pflanzenreste gesehen (CHINCHILLA, 1987a). Im Frühjahr kommt es bei Temperaturen von 10°C zur Keimung der Strukturen (ANONYMUS, 2014c) und der Bildung von Konidien, die durch Regen und Wind an junge Maispflanzen getragen werden (CHIANG et al., 1990; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001). Die Übertragung dieses Primärinokulums ist somit über weitere Distanzen möglich und nicht auf die Fläche mit den Pflanzenrückständen begrenzt (ARNY et al., 1971). Nach einer kontinuierlichen Blattnässeperiode von ca. sieben Stunden, können die Konidien mit einer Größe von 18,0 - 33,0 µm x 3,0 - 4,0 µm (SHURTLEFF, 1977) auskeimen (ANONYMUS, 2014c). Unmittelbar vor der Keimung quellen die Konidien auf (27,0 - 40,0 µm x 3,5 - 4,5 µm) und es kann teilweise zu einer Septenbildung kommen (DINGLEY, 1973), wobei in vielen Literaturangaben stets von unseptierten Konidien gesprochen wird (vgl. SCHNEIDER & KRÜGER, 1972). Bei der Infektion des Wirtes wird die Ausformung eines Appresoriums nicht beobachtet (DINGLEY, 1973).

Nach der Penetration der Epidermis wachsen die Hyphen des Pilzes innerhalb des Blattes intra- und interzellulär (CHINCHILLA, 1987b; LIPPS & MILLS, 2005). Das Myzel ist dabei hyalin oder leicht pigmentiert mit einem Durchmesser von 2 - 5 µm. Teilweise kommt es bei der Besiedlung zu Myzelverdichtungen, aus denen dann die Konidiophoren hervorgehen (SCHNEIDER & KRÜGER, 1972; DINGLEY, 1973). Die Konidienträger brechen vorwiegend durch die Stomata, seltener direkt durch die Epidermis, und bilden sichelförmige Blastosporen, die von Wind und Regen auf weiteren Blätter verteilt werden (SCHNEIDER & KRÜGER, 1972).

Die Inkubationszeit von der Landung der Spore bis zum sichtbaren Blattfleck variiert je nach Temperatur zwischen sieben und zehn Tagen (CHINCHILLA, 1987b; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001; LIPPS & MILLS, 2005). In der Vegetation treten die Blattflecken frühestens im Zweiblattstadium auf (ANONYMUS, 2014c). Die zunächst unscheinbaren Symptome sind auf den älteren, vollentwickelten Blättern im unteren Segment der Pflanze zu finden (CHINCHILLA, 1987b). Bei günstiger Witterung mit viel Feuchtigkeit werden hohe Mengen an neuen Sporen gebildet, die sich dann auch auf den jüngeren Blättern verbreiten (SCHLÜTER, 2012). Dabei erscheinen nach der Inkubationszeit die typischen „Augenflecken“, die der Krankheit ihren Namen geben. Es handelt sich dabei um runde bis ovale Flecken mit einem Durchmesser von 1 - 4 mm, die ein nekrotisiertes Zentrum besitzen, umgeben von einem braunen Ring, der wiederum von einem markanten gelben Hof umschlossen wird und damit den Fleck zum gesunden, grünen Blattgewebe abgrenzt (Abb. 1).

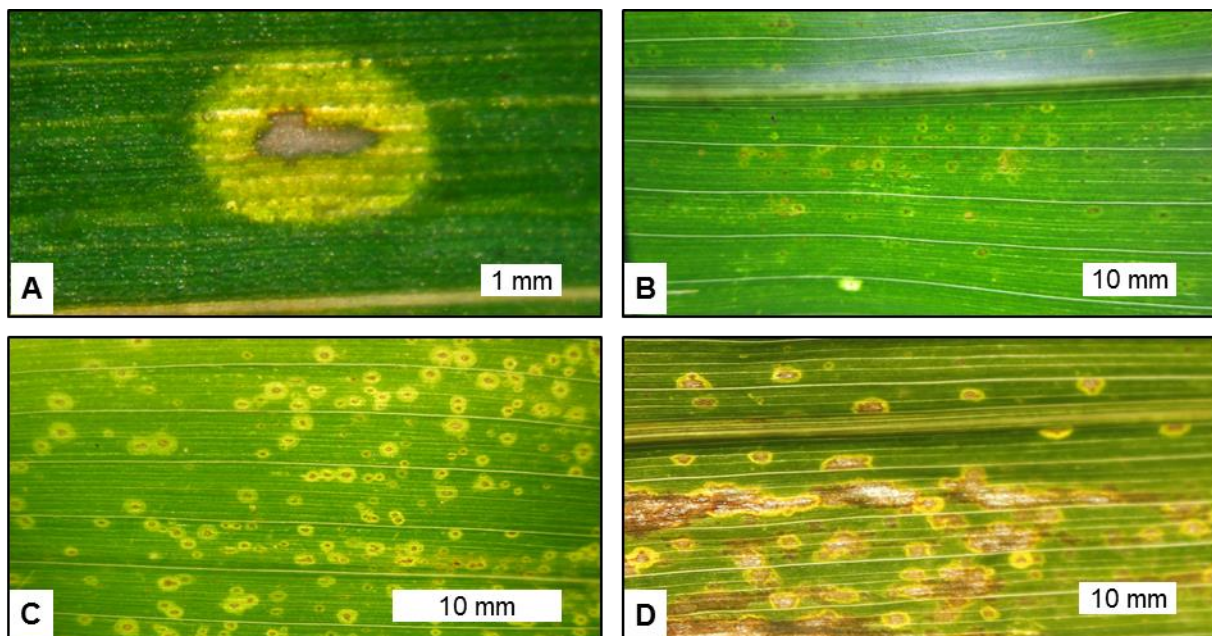


Abb. 1: Symptomausprägung von *K. zeae* in verschiedenen Phasen der Epidemie: **A:** Nahansicht eines ersten Flecks; **B:** Beginn der Progressionsphase; **C:** Fortgeschrittene Progressionsphase; **D:** Läsionen laufen zusammen und bilden nekrotisierte Areale auf der Blattspreite

Nach zunächst vereinzelt auftretenden Flecken, kann die Anzahl an Symptomen rapide zunehmen (PRONCZUK et al., 2004). Die Flecken können zusammenfließen und größere, nekrotisierte Areale auf der Blattspreite bilden, welche dann im späteren Verlauf der Krankheit den Verlust an Assimilationsfläche und somit die Ertragsreduktion ausmachen (ARNY et al., 1971; DINGLEY, 1973; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001). Neben der Blattspreite wurden ebenfalls Flecken auf den Blattscheiden, sowie den Hüllblättern des Kolbens gefunden (ARNY et al., 1971). Verwechslungsgefahr beim Ansprechen der Flecken besteht zu *Curvularia*-Blattflecken und frühen Symptomen von *Bipolaris zeicola* oder *Cercospora zea-maydis*, sowie genetisch bedingten Blattflecken, abiotischem Stress oder Stichwunden von Insekten (MUNKVOLD & MADISON, 2001). Weiterhin können Blattflecken von *Phoma zea-maydis* im frühen Stadium Ähnlichkeiten besitzen (ALGERMISSEN & VERREET, 2014a). Die durch starken Befall ausgelöste, vorzeitige Seneszenz der Pflanze kann andere Krankheiten, wie die Stängelfäule, ausgelöst durch *Fusarium* spp., begünstigen (PRONCZUK et al., 2004).

Beobachtungen aus Praxisversuchen zeigen, dass zunächst ältere Blätter der Maispflanzen erkranken, bzw. anfälliger werden, nachdem sie vollständig entwickelt sind (CHINCHILLA, 1987b; SCHLÜTER, 2012). *K. zea* ist geprägt von einer zunächst langsamen Entwicklung, die allerdings, bei optimalen Bedingungen für den Erreger, ab der Blüte in einen schnellen Krankheitsverlauf übergehen kann (PRONCZUK et al., 2004). In diesem Zuge wurde eine stärkere Anfälligkeit bei früh abreifenden Maissorten beobachtet (CHINCHILLA, 1987b).

Feucht-kühle Witterung bei 14 - 17°C und ausreichend Feuchtigkeit für die wiederholte Sporenbildung begünstigen die Entwicklung einer Epidemie von *K. zea* (ARNY et al., 1971; RAMOS & VON TIEDEMANN, 2015). Die mögliche Sporenkeimung des Erregers ab 4 - 8°C (ARNY et al., 1971) und die höchste Anfälligkeit der Maispflanzen bei 10 - 12°C (ANONYMUS, 2014c) kann weiterhin zu einer starken, sekundären Vermehrung des Pathogens führen.

Die Tatsache, dass *K. zea* selbst in isolierten Gebieten wie Neuseeland auftritt (DINGLEY, 1973), spricht für eine Übertragung mit dem Saatgut (REIFSCHNEIDER & ARNY, 1979). CASSINI (1971) deutet ebenfalls auf diesen Sachverhalt hin, da auch die körnerumhüllenden Lieschblätter stark befallen werden können. In Versuchen von REIFSCHNEIDER & ARNY (1979) mit künstlich infizierten Maissamen konnten in 2 % der Samen Konidien von *K. zea* nachgewiesen werden. JONAS & BAKER (2007) gehen ebenfalls von einer Einführung mittels Saatgut nach Großbritannien aus.

2.1.4 Wirtschaftliche Relevanz

Bei dem Blattpathogen *Kabatiella zea* entsteht der wirtschaftliche Schaden durch die vorzeitige Nekrotisierung der Blätter, ausgelöst durch das starke Auftreten und das Zusammenfließen der Blattflecken. In der Literatur gibt es einige Angaben, wie stark ein solcher Schaden im Bezug zum Ernteverlust beziffert werden kann (Tab. 2).

Werden keine konkreten Zahlen genannt, sind die überwiegenden Einschätzungen einstimmig, wonach eine Ertragsdegression durch die Blattschädigung infolge starker Infektionen des Pilzes stattfindet (SCHNEIDER & KRÜGER, 1972; REIFSCHNEIDER & ARNY, 1983a; CHINCHILLA, 1987b; CHIANG et al., 1990). Das Potential einer Reduktion ist umso höher, je früher Infektionen des Erregers im Maisbestand zu finden sind (LIPPS & MILLS, 2005).

Tab. 2: Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von *K. zeae*

Literatur	Ertragsverlust [%]	Bemerkung	Land
CASSINI, 1971	50		Frankreich
BOOTHROYD, 1977	68 - 72	Verlustminderung durch Pflugeinsatz	USA
	21	Verlustminderung durch Fungizideinsatz	
REIFSCHNEIDER & ARNY, 1983a	9	Durchschnitt der Bodenbearbeitungsvarianten im Vergleich zu einer Variante mit Fungizidbehandlung	USA
LEVIC, 1987	1,7 - 14,5		Kroatien
PRONCZUK et al., 2004	2,7 - 14,1	je nach Jahreswitterung in Kombination mit dem Auftreten von Stängelfäule	Polen
SCHLÜTER, 2012	10 - 21	Mulchsaat Monokultur im Vergleich zur Pflugsaat nach Weizen	Deutschland
JØRGENSEN, 2012	50 - 60	Mulchsaat, Maisvorfrucht	Dänemark
POPE, 2009	bis zu 80	nur bei einzelnen Standorten	Großbritannien

2.1.5 Bekämpfung

Da der Blattfleckererreger *Kabatiella zeae* in Pflanzenresten der Vorfrucht bis zur nächsten Vegetationsperiode des Maises überdauert, trägt die Förderung einer schnellen Verrottung durch z.B. Zerkleinerung der Erntereste dazu bei, das Infektionspotential des Pathogens zu senken (BORNEMANN & STEINGRÖVER, 2015). Des Weiteren kann eine weitgestellte Fruchtfolge, bei der Mais mindestens mit einjähriger Zwischenfrucht angebaut wird, dazu beitragen, die Krankheit einzudämmen. Werden Verfahren mit reduzierter Bodenbearbeitung bis hin zur No-till-Aussaat verwendet, erweitern sich die erforderlichen Zeiträume entsprechend (MUNKVOLD & MARTINSON, 2001). In Dänemark kam es im Jahr 2011 zu einem hohen Ertragsverlust von 50 - 60 % infolge eines starken Auftretens von *K. zeae* an Standorten mit minimaler Bodenbearbeitung und Mais als Vorfrucht (JØRGENSEN, 2012). Ähnliche Vergleiche konnte SCHLÜTER (2012) in Schleswig-Holstein mit der Auswirkung von unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten zur Maisaussaat machen (vgl. Tab. 2), wohin gehend der Pflugsaat-Mais nach Weizen in den Jahren 2011 und 2012 10 - 21 % mehr Ertrag brachte als ein vergleichbarer Mulchsaat-Mais mit Maisvorfrucht. CHINCHILLA (1986) zeigt ebenfalls diese Tendenzen bei dem Vergleich von vier Bodenbearbeitungsvarianten vor der Maisaussaat im Zusam-

menhang zur späteren Befallsstärke von *K. zeae*. Der Autor vermutet, dass bereits geringe Rückstände der Maisvorfrucht auf der Bodenoberfläche zu einem erheblichen Befall mit dem Erreger führen können. BOOTHROYD (1977) berichtet von einer Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges in der Größenordnung von 68 - 72 % nur durch den Einsatz des Pfluges.

In vielen Literaturquellen werden Beobachtungen gemacht, wonach einzelne Genotypen eine höhere Resistenz gegenüber *K. zeae* haben (ARNY et al., 1971; REIFSCHNEIDER & ARNY, 1983b; CHIANG et al., 1990; PRONCZUK et al., 2004). CHINCHILLA (1987c) zeigt anhand von zehn getesteten Maishybriden, dass die Unterschiede in den Befallskurven, die den Verlauf des Befalles in Abhängigkeit der Zeit zeigen, gute Indikatoren für die Resistenzeigenschaften eines Genotyps sind. Nach seinen Untersuchungen sind vor allem frühreifende Genotypen anfällig für das Blattpathogen (CHINCHILLA, 1987b).

Über die genaueren Hintergründe der Resistenzvererbung von Maissorten gegenüber *K. zeae* ist bislang wenig bekannt. REIFSCHNEIDER & ARNY (1983b) gehen davon aus, dass die Vererbung der Resistenz partiell dominant und qualitativ ist, wobei minimal zwei Gene beteiligt sind. Bei den Untersuchungen von CHIANG et al. (1990) sind vier Gene involviert. Neuere Forschungsergebnisse zeigen eher eine Tendenz zur quantitativen Vererbung der Resistenz (MELANI & CARENA, 2006).

Landwirte können indes bei der Auswahl der Sorte in einigen Ländern wie Großbritannien oder Dänemark, Listen mit offiziellen Blattfleckenbonituren einzelner Sorten zu *K. zeae* benutzen (PEDERSEN & PEDERSEN, 2013; ANONYMUS, 2015f). In Deutschland wurden bisher keine Erhebungen zur Anfälligkeit von Maissorten in der Beschreibenden Sortenliste aufgenommen (ANONYMUS, 2015g).

Wird nach dem System des integrierten Pflanzenschutzes vorgegangen, könnte nach der Ausschöpfung aller oben beschriebenen Maßnahmen, ein Fungizideinsatz zur Bekämpfung von *K. zeae* in Betracht gezogen werden.

CASSINI & GAY (1973) testeten in ihren Feldversuchen die Wirkstoffe Maneb, Mancozeb und Benomyl, wobei nur der Letztgenannte gegen *K. zeae* wirksam war. Bei Untersuchungen von PRONCZUK et al. (2004) zeigten sich mit dem Wirkstoff Prochloraz gute Ergebnisse in der Bekämpfung von *K. zeae*. In Dänemark konnte *K. zeae* mit der Wirkstoffgruppe der Strobilurine gut kontrolliert werden, wobei sich herausstellte, dass der Wirkstoff Pyraclostrobin eine bessere Wirkung hatte als der Wirkstoff Picoxystrobin. Eine gute Reduktion der Blattkrankheit zeigte sich auch bei der Anwendung des Mittels Opera[®], bestehend aus den Wirkstoffen Epoxiconazol und Pyraclostrobin. Das Mittel Pyraclostrobin solo und in Kombination mit Epoxiconazol konnte vor allem in einer Splittinganwendung mit zweimaliger Applikation der halben Aufwandmenge hohe Wirkungsgrade gegen *K. zeae* und im Endeffekt hohe Verlustminderungen in Form von Ertragsanstiegen generieren (JØRGENSEN, 2012). Die Kombination

aus Epoxiconazol und Pyraclostrobin erzeugte auch bei URBAN (2012) hohe Reduktionen von *K. zeae* bei starkem Befall im Jahr 2011.

In Deutschland sind seit Juni 2014 zwei Fungizide zugelassen, die allerdings nur eine Indikation gegen das Blattpathogen *Exserohilum turcicum* besitzen (ANONYMUS, 2015e). Die beiden zugelassenen Pflanzenschutzmittel Quilt Xcel[®] (Azoxystrobin: 141,4 g/l + Propiconazol: 122,4 g/l) von der Firma Syngenta und Retengo[®] Plus (Pyraclostrobin: 133 g/l + Epoxiconazol: 50 g/l) von der Firma BASF zeigen allerdings auch eine Wirkung gegen *K. zeae* (SCHULTE, 2015; ERVEN, 2015).

2.2 *Exserohilum turcicum*

2.2.1 Nomenklatur und Klassifikation

Das Blattpathogen *Exserohilum turcicum* (Passerini) Leonard & Suggs (teleomorph = *Setosphaeria turcica* (Luttrell) Leonard & Suggs) ist Auslöser der als Blattdürre in Deutschland bekannten Maiskrankheit. Allerdings ist er auch unter anderen Namen, besonders als *Helminthosporium turcicum* (Pass.), aber auch *Bipolaris turcica* (Pass.) Shoemaker, *Drechslera turcica* (Pass.) Subramanian & Jain, *Helminthosporium inconspicuum* (Coke & Ellis) und in der teleomorphen Form als *Keisleriella turcica* (Luttr.) Arx, *Luttriella turcica* (Pass.) Khokhar, *Trichometasphaeria turcica* (Luttr.) bekannt (ANONYMUS, 2015a; ANONYMUS, 2015b; ANONYMUS, 2015c). In der vorliegenden Arbeit wird der momentan gültige Name des Erregers in seiner anamorphen Form, *Exserohilum turcicum*, verwendet. Im angloamerikanischen Sprachraum wird die Krankheit in der Regel als Northern (Corn) Leaf Blight (NCLB) oder vereinzelt auch als *Turcicum* Leaf Blight (TLB) bezeichnet.

Tab. 3: Taxonomische Einordnung von *Exserohilum turcicum* (anamorph) (ANONYMUS, 2015o)

Reich	Fungi
Abteilung	Ascomycotina
Unterabteilung	Pezizomycotina
Klasse	Dothideomycetes
Unterklasse	Pleosporomycetidae
Ordnung	Pleosporales
Familie	Pleosporaceae
Gattung	<i>Setosphaeria</i>
Art	<i>Setosphaeria turcica</i>

Eine weitere Unterteilung des Pathogens ist anhand der Wirtsspezifität (BERQUIST & MASIAS, 1974) und durch neuere Analysemethoden auch anhand molekularbiologischer Untersuchungen in forma specialis *zeae*, für wirtsspezifische Stämme an Mais und f. sp. *sorghii*, für wirtsspezifische Stämme an Sorghum möglich (TANG et al., 2015).

E. turcicum ist ein nekrotropher, bzw. hemibiotropher, phytopathogener Pilz aus der Abteilung der Ascomyceten (vgl. Tab. 3), der sich zunächst in dem lebenden Gewebe der Pflanze

verbreitet, bevor er besiedelte Pflanzenareale abtötet, um sich von dem Substrat zu ernähren (KNOX-DAVIES, 1974, WHITE, 2000).

2.2.2 Vorkommen und Verbreitung

Exserohilum turcicum tritt weltweit in allen humid-geprägten Gebieten auf, in denen Mais angebaut wird (WHITE, 2000; ANONYMUS, 2015a). Die Erstbeschreibung erfolgte durch den italienischen Botaniker GIOVANNI PASSERINI im Jahr 1876 (DRECHSLER, 1923). In Deutschland fand der erste Nachweis 119 Jahre später im Jahr 1995 im oberen Rheingraben bei der Produktion von Saatmais statt (WELZ et al., 1996). In diesem Artikel wird ebenfalls die Aleppohirse als neuer Schaderreger in Deutschland beschrieben, dessen Name auch als Synonym für das Ungras *Sorghum halepense*, ebenfalls bekannt als Johnsongras oder Wilde Mohrenhirse, verwendet wird. *S. halepense* kommt ursprünglich aus den Gebieten des östlichen Mittelmeers und kann als Zwischenwirt für *E. turcicum* fungieren (ANONYMUS, 2015a). Neben *Zea mays* und *Zea mays* ssp. *mays* (Zuckermais) kann es an den Kulturpflanzen *Sorghum bicolor* (Zuckerhirse) oder auch dem in Deutschland teilweise für die Biogasproduktion verwendeten *Sorghum sudanense* (Sudangras) auftreten. Weiterhin sind verschiedene Grasarten als Zwischenwirte bekannt (ANONYMUS, 2015a, WATHANEEYAWECH et al., 2015).

2.2.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie

Die Überwinterung, bzw. die generelle Überdauerung des Erregers, erfolgt an Pflanzenmaterial im oder auf dem Boden als Myzel, Konidie oder Chlamydo-spore, sowie am Zwischenwirt *Sorghum halapense* L. (BOOSALIS et al., 1967; FULLERTON & FLETCHER, 1974; LEVY, 1984; LEVY & PATAKY, 1992; IMGRABEN, 2002; BESENHOFER & ZEDERBAUER, 2002; HUGGER, 2007; RAMOS & V. TIEDEMANN, 2015). Laut BOOSALIS et al. (1967) spielen dabei, im Gegensatz zum Myzel, eher die Konidien eine Rolle für die Primärinfektionen im Frühjahr, da sie sowohl mit als auch ohne Pflanzenmaterial im Boden überleben können. FULLERTON & FLETCHER (1974) fanden heraus, dass der Erreger bis zu sieben Monate in Ernterückständen auf, sowie im Boden überleben kann. Dabei ist die Mulchauflage für das Blattpathogen eher von Bedeutung, da eingearbeitete Pflanzenreste schneller verrotten und nicht mehr als Substratgrundlage zur Verfügung stehen. Weitere in der Literatur genannte Überdauerungszeiträume reichen von vier Monaten (LEVY, 1984) und einem Jahr (ROBERT & FINDLEY, 1952) bis zu vier Jahren (HUGGER, 2007). Laut LEVY (1984) können diese Unterschiede durch unterschiedliche Umweltbedingungen und/oder anderen Maissorten bzw. unterschiedlichen Rassen des Pathogens zustande kommen. Nach ROBERT (1964) sind die Konidien von *E. turcicum* bei einer Lagerungstemperatur von 0°C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 49 % auch noch nach 12 Jahren befähigt, Infektionsstrukturen aufzubauen und Maispflanzen zu infizieren. Bei einer höheren Temperatur von 25°C und einer gesteigerten rel. Luftfeuchte verlieren die Sporen allerdings innerhalb eines Jahres ihre Fähigkeit zu infizieren (ROBERT, 1964).

Von entscheidender Bedeutung für das Fortleben von *E. turcicum* ist die Überdauerungsform als Chlamydospore (BOOSALIS et al., 1967). Chlamydosporen sind Dauersporen, die sich in erster Linie bei veränderten Umweltbedingungen, wie kälteren Temperaturen ($< 10^{\circ}\text{C}$) und verringerter Sonneneinstrahlung mit kürzeren Tageszeiten gegen Ende der Vegetationsperiode aus herkömmlichen Sporen entwickeln (LEACH et al., 1977a; LEACH et al. 1977b; SHURTLIFF, 1977; LEVY, 1984). In diesem Zusammenhang berichten BOOSALIS et al. (1967), dass über 50 % der überwinternden Konidien in Nebraska Chlamydosporen enthalten.

Im späten Frühjahr und im Frühsommer werden bei Temperaturen von $23 - 29^{\circ}\text{C}$ neue Sporen auf den Stoppelresten gebildet und durch Regentropfen und Wind auf junge Maispflanzen verbreitet (HUGGER, 2007; WISE, 2011; SCHUBIGER, 2015). Die Erstinfektionen können etwa ab dem Entwicklungsstadium BBCH 17 des Maises erfolgen. Die optimalen Temperaturen für die einzelnen Schritte während der Besiedlung des Blattes müssen differenziert betrachtet werden: Für das Auskeimen der Sporen und die Bildung eines Appressoriums sind, laut LEVY & COHEN (1983b), Temperaturen von 25°C , bzw. 15°C optimal, wohingegen die Ausbildung einer Infektionshyphe bei 20°C am besten verläuft. Die Penetration erfolgt dabei zumeist direkt durch die Epidermis, weniger durch die Stomata (KNOX-DAVIES, 1974) und verursacht zunächst punktförmige Flecken, denen 80 - 100 tote Pflanzenzellen zugrunde liegen (HILU & HOOKER, 1964). Diese Punkte können innerhalb von 24 - 48 h nach der Penetration sichtbar werden (LEACH et al., 1977b). Das Auskeimen der Sporen sowie die Infektion selbst sind dabei weder vom Alter der Pflanze noch vom Alter des Blattes abhängig (LEVY & PATAKY, 1992).

Neben der Temperatur erweist sich die Blattnässedauer als ein wichtiger Parameter für eine erfolgreiche Infektion. Nach LEVY & COHEN (1983b) werden minimal fünf Stunden Blattnässe bei 20°C benötigt. In weiteren Untersuchungen stellten sie fest, dass die Anzahl an gebildeten Turcicum-Flecken ansteigt, je länger die Dauer der Blattnässeperiode beträgt und je höher die Konzentration des Inokulums ist. Des Weiteren kann Lichteinfluss die konidiale Keimung hemmen und so zu einer Inhibierung des Infektionsprozesses während der Blattnässephase führen (LEVY & COHEN, 1983a).

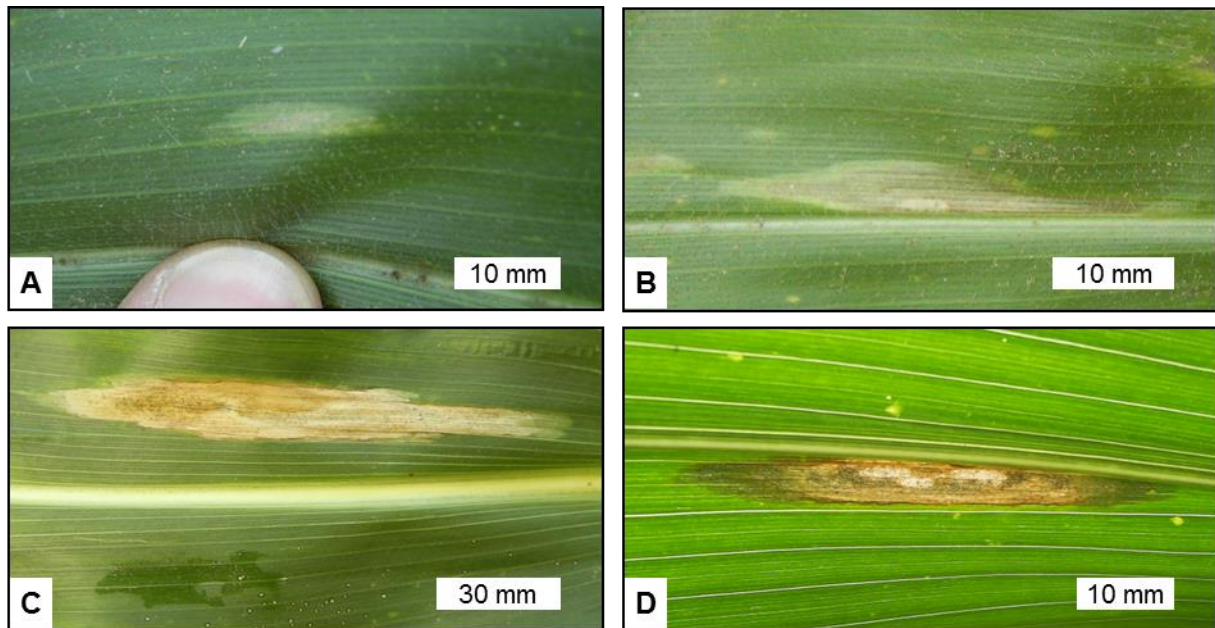


Abb. 2: Symptomausprägung von *E. turcicum* in verschiedenen Phasen der Epidemie: **A:** Beginn eines Flecks mit wässriger Blattaufhellung; **B:** Fortgeschrittener Blattfleck; **C und D:** Vollständige Symptomausprägung

Die weitere Ausbreitung des Schadpathogens erfolgt im Blattgewebe vor allem intrazellulär durch entsprechende Vesikel mit Kolonisationshyphen. Nach der Entwicklung in der ersten Zelle werden benachbarte Zellen besiedelt und die Infektion nimmt ihren Lauf (KNOX-DAVIES, 1974).

Sieben bis 10 (HUGGER, 2007), bzw. 7 bis 12 Tage nach einer erfolgreichen Infektion werden erste Symptome auf den Blättern sichtbar (WISE, 2011). Die Läsionen erstrecken sich zunächst über einen Bereich von zwei bis drei schmalen Blattadern, können aber ab diesem Zeitpunkt stark expandieren, wenn die Hyphen aus dem Xylem zunächst in die Bündelscheidenzellen und dann in die Mesophyllzellen vordringen (HILU & HOOKER, 1964).

Die Flecken sind zu diesem Zeitpunkt graugrün, wässrig-durchscheinend und treten in der Regel erst ab BBCH 55/65 in größerem Umfang in Erscheinung (vgl. Abb. 2). Sie entwickeln sich im Laufe der weiteren Infektion zu spindelförmig-langgestreckten, beidseitig spitzen, graugrün bis hellbraunen Flecken mit einer Breite von 0,5 - 5 cm und einer Länge von 15 - 20 cm und können einen lila bis dunkelbraunen Rand besitzen. Sie verlaufen immer in Längsrichtung des Blattes und fließen bei starkem Befall zusammen, wodurch große Teile der Blattspreite absterben. Ebenso können Flecken auf den Lieschblättern des Kolbens auftreten (PATAKY, 1992; ANONYMUS, 2015d). Im Verlauf der Epidemie kommt es zu einem kontinuierlichen Anstieg der Läsionszahl und -größe, was aber wesentlich von der Maissorte, der Rasse des Pathogens und den Umweltbedingungen abhängt (BERGER, 1973; RAYMUNDO & HOOKER, 1981; IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; GROH, 2013; SCHUBIGER, 2015).

Nach LEACH et al. (1977b) erfolgt die Konidienbildung nachts, da mindestens 4 Stunden kontinuierliche Dunkelheit benötigt wird. Essentiell ist dabei auch eine hohe relative Luftfeuchtig-

keit > 90 % im Bestand, die 10 - 12 h anhält. Im Gegensatz zur Infektion ist aber für die Konidienbildung kein freies Wasser auf den Blättern notwendig. Dieser Aussage gegenüber stehen Beobachtungen von LEVY & COHEN (1980), die bei Experimenten in der Klimakammer für die Sporenbildung eine Tauperiode von mindestens 14 h bei 20 - 25°C benötigten. Bei der Auswertung von Sporenfallendaten konnte ein Zusammenhang von Regenereignissen am vorigen Tag zu hohen Fängen von Konidien hergestellt werden (MEREDITH, 1965). Zwar konnte beobachtet werden, dass bei kürzeren Tauperioden die Ausformung der Konidien in der darauffolgenden Nacht bei entsprechendem Tau fortgesetzt werden kann (LEVY & PATAKY, 1992), allerdings ist nicht sicher, ob dieses auch für die Phasen erhöhter rel. Luftfeuchtigkeit gilt (LEACH et al., 1977b). BERGER (1970) entwickelte ein Vorhersagemodell für starke Infektionen, wonach er für *E. turcicum* „vorteilhafte Stunden“ (BFH = blight favorable hours) während des Witterungsverlaufes tagessummierte. „Vorteilhaft“ für den Erreger sind dabei eine rel. Luftfeuchtigkeit nahe 100 % für min. 7 Stunden bei Temperaturen > 15°C. Für die spätere Diskussion der Ergebnisse in dieser Arbeit ist ein Zusammenhang zwischen der Dauer der Phasen hoher rel. Luftfeuchte (> 90 %) und der Temperatur während dieser Phasen wichtig. Es gilt dabei der Grundsatz, dass, je niedriger die Temperatur ist, desto länger muss die Phase mit hoher rel. Luftfeuchtigkeit andauern, um die Konidienbildung abzuschließen. Der theoretische Temperaturbereich für die Bildung von Konidien erstreckt sich von 9 - 30°C, wobei der optimale Bereich bei 20 - 26°C liegt (LEACH et al., 1977b).

Nachdem die Sporen in der Nacht gebildet wurden, konnte im Anschluss vielfach ein Anstieg des Sporenfluges am Vormittag bis Mittag des nächsten Tages beobachtet werden (BERGER, 1970; MEREDITH, 1965). Für die Sporenfreisetzung werden von LEACH et al. (1977a) drei hauptsächliche Ursachen genannt: der täglich wiederkehrende Ausstoß durch den schnellen Anstieg der rel. Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung am Vormittag, Verbreitung durch Wind bei Windgeschwindigkeiten > 3 m/s und die Verbreitung durch Regen. Die Autoren machen deutlich, dass alle drei Ursachen auch parallel vorkommen können, hauptsächlich aber die Erstgenannte von Bedeutung ist. Dass die Sporen bei der Windverbreitung nur eine geringe Entfernung zurücklegen, begründet MEREDITH (1966) mit der Beobachtung, wonach größere Sporenfänge nur nach lokalen Regenereignissen festgestellt werden konnten. Dabei werden auch „Sporenschauer“ genannt, die vorwiegend die Sekundärinfektionen auf den mittleren und oberen Blattetagen bewirken (HUGGER, 2007). An anderer Stelle ist aus der Praxis von einem zunächst nesterweisen Befall die Rede, der sich weiter in Hauptwindrichtung auch über weitere Strecken ausbreitet (ERHARDT, 2008).

Weiterhin ist der Ort der Sporenbildung an der Pflanze maßgeblich für die Effektivität der Infektion verantwortlich. Auf dem oberen Drittel der Maispflanze werden ca. 90 % der Konidien verbreitet, können aber nur 30 % der Infektionen erfolgreich abschließen (LEVY, 1995). Der Autor begründet die geringere Vitalität der Konidien mit der Exposition zum Sonnenlicht,

wodurch eine verringerte Respiration und Uridin-Einlagerung stattfindet. Im Gegensatz dazu können im unteren Drittel durch geringere Witterungseinflüsse zwar nur 20 % der Konidien verbreitet werden, schließen aber in 90 % der Fälle eine Blatinfektion erfolgreich ab. Dies kann eine Erklärung für das zunächst „nesterweise“ Auftreten von *E. turcicum* im Bestand sein. Bei optimalen Witterungsbedingungen können 10.000 - 40.000 Konidien pro cm² infizierter Blattfläche gebildet werden (LEVY & COHEN, 1981).

Die teleomorphe Form der Turcicum-Blattdürre, *Setosphaeria turcica*, ist in gemäßigten Klimaten deutlich weniger anzutreffen als in tropischen Umgebungen. Für die sexuelle Rekombination des Ascomyceten ist das Auftreten zweier Paarungstypen an einem Ort essentiell (BORCHARDT et al., 1998).

2.2.4 Wirtschaftliche Relevanz

Der Blattkrankheitserreger *Exserohilum turcicum* verursacht wirtschaftlichen Schaden, in dem er durch die Nekrotisierung von Blattarealen die Assimilationsfläche der Maispflanze reduziert und somit die Versorgung des Kolbens verringert. In vielen Literaturquellen aus verschiedenen Ländern und Jahren wird daher von Ertragsverlusten berichtet (Tab. 4).

Neben relativ pauschalen Aussagen, die aus Praxisbeobachtungen gewonnen wurden und zumeist zwischen hohen Verlusten bei Infektionen vor der Blüte und geringen Verlusten, wenn die Infektionen nach der Blüte bis vor der Ernte erfolgen, unterscheiden (vgl. BESENHOFER & ZEDERBAUER, 2002; IMGRABEN, 2002; ERHARDT, 2008; KLOPPERS & TWEER, 2009), machen viele Autoren Angaben zu Ertragsverlusten in Abhängigkeit bestimmter Merkmale. Bei RAYMUNDO & HOOKER (1981) werden Sorten mit verschiedenen Abreifegraden und Resistenzeigenschaften verglichen. Es zeigt sich, dass in Abhängigkeit von beiden Eigenschaften erhebliche Unterschiede in der Befallsstärke von *E. turcicum* bestehen. An anderer Stelle wird ebenfalls von dem Ausbleiben von Verlusten durch polygene Resistenzen gesprochen (PERKINS & PEDERSEN, 1987). PATAKY & EASTBURN (1993) zeigen die Ergebnisse von Versuchen, bei denen vier verschiedene Resistenzgerade von Maispflanzen gegen *E. turcicum* verglichen wurden. Anfällige Sorten unterlagen dabei einem Ertragsverlust von 12 - 45 %. Interessant sind die Darstellungen von SOLOMONOWITZ et al. (1992), bei denen der Verlust an Erträgen in Abhängigkeit des inokulierten Segments der Maispflanzen (oben, mitte, unten) untersucht wurden. Dabei wird deutlich, dass die Pflanzen vor allem bei Inokulation des mittleren Drittels im Bereich um den Hauptkolben mit hohen Ertragsverlusten bis zu 55 % reagieren.

Konkrete Angaben zu den Ertragsverlusten durch *E. turcicum* können gemacht werden, wenn anstelle von absoluten Verlustzahlen relative Ertragsverluste in Abhängigkeit der tatsächlichen Befallsstärke genannt werden. Laut der Studie von FISHER et al. (1976) ist der durchschnittliche Ertragsverlust mit dem prozentualen Blattbefall von *E. turcicum* signifikant negativ korreliert. Die gleiche Beobachtung wurde durch PERKINS & PEDERSEN (1987) ge-

2. Literaturübersicht

macht, die den prozentualen Ertragsverlust pro Prozentpunkt an befallener Blattfläche auf 0,2 - 0,5 schätzten. Ähnliche Resultate wurden von PATAKY et al. (1988) mit einem Koeffizienten von 0,3 - 0,8 und PATAKY (1992) mit 0,3 - 0,7 veröffentlicht. Letzterer schränkte die Angabe des Ertragsverlustes pro Prozentpunkt Befallsstärke weiter ein, indem er den Zusatz versah, dass die Befallsstärke in den oberen 75 % des Blattapparates der Maispflanze mindestens 8 % betragen muss. Lag der Befall unter 8 % wurden keine Ertragsverluste durch *E. turcicum* verzeichnet. Neben Verlusten weisen FISHER et al. (1976) in zwei von 20 getesteten Hybriden auf leichte Ertragssteigerungen gegenüber der unbehandelten Kontrolle hin, wenn die Pflanzen einen leichten Befall mit *Turcicum*-Blattflecken hatten.

Tab. 4: Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von *E. turcicum*

Literatur	Ertragsverlust [%]	Bemerkung	Land
FISHER et al., 1976	3 - 29	teilw. höhere Erträge bei geringem Befall	USA
	62	frühreif, anfällige Sorte	
RAYMUNDO & HOOKER, 1981	43	mittlereif, polygenetische Resistenz	USA
	17	spätreif, mono- und polygenetische Resistenz	
PERKINS & PEDERSEN, 1987	max. 18	Keine Verluste bei Hybriden mit hoher polygener Resistenz	USA
	0,2 - 0,5	pro Prozentpunkt Befallsstärke	
PATAKY et al., 1988	0,3 - 0,8	pro Prozentpunkt Befallsstärke	USA
GOWDA et al., 1992	max. 46		Indien
	max. 10	nach Inokulation des unteren Drittels	
SOLOMONOWITZ et al., 1992	4 - 55	nach Inokulation des mittleren Drittels	Israel
	1 - 28	nach Inokulation des oberen Drittels	
PATAKY, 1992	0,3 - 0,7	pro Prozentpunkt Befallsstärke, wenn BS > 8 % in den oberen 75 % des Blattapparates; < 8 %, kein Ertragsverlust	USA
	max. 8	resistente Sorten	
PATAKY & EASTBURN, 1993	5 - 10	moderat resistente Sorten	USA
	8 - 25	moderat anfällige Sorten	
	12 - 45	anfällige Sorten	
TEFFERI et al., 1996	13 - 50		Äthiopien
BESENHOFER & ZEDERBAUER, 2002	max. 30	bei Infektionen vor der/zur Blüte und starker Ausbreitung	Österreich
	10 - 30	bei anfälligen Sorten	
IMGRABEN, 2002	50 - 60	Infektionen vor der Blüte	Deutschland
ERHARDT, 2008	max. 20	bei Befall ab Mitte August	Deutschland
KLOPPERS & TWEER, 2009	15 - 30		Südafrika
HARLAPUR et al., 2009	3 - 52		Indien

2.2.5 Bekämpfung

Wie bei anderen Krankheiten an ackerbaulichen Kulturen sollten bei der Bekämpfung des Blattfleckenenerregers *Exserohilum turcicum* zunächst nicht-chemische Bausteine des inte-

grierten Pflanzenschutzes genutzt werden. An erster Stelle steht dabei die Erweiterung der Fruchtfolge, um die Frequenz des Maises als Wirt des Pathogens über die Jahre einzuschränken und mit der Reduzierung des Inokulums am Pflanzenresten zu verhindern, dass sich der Erreger dauerhaft etabliert (RAMOS & VON TIEDEMANN, 2015). Wenn es sich nicht vermeiden lässt, Mais in Selbstfolge anzubauen, sollten alle ackerbaulichen Maßnahmen, wie die Zerkleinerung der Rückstände durch Mulchen der Stoppeln, getroffen werden, um eine schnelle Verrottung der Erntereste zu gewährleisten. Die wendende Bodenbearbeitung kann ebenfalls dazu beitragen, durch Vergraben der Pflanzenreste das Infektionspotential zu senken (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; ANONYMUS, 2015d). Des Weiteren kann der Befall geschwächter Maisbestände im Allgemeinen durch die Vermeidung von Nährstoffunterversorgungen, z.B. von Phosphor und Kalium (PELMUS et al., 1986), Stress durch Herbizidschäden und Staunässe in Folge von Bodenverdichtung verringert werden, da gesunde Pflanzen eine geringere Anfälligkeit gegenüber dem Schadpathogen haben (HUGGER, 2007).

Sind alle oben beschriebenen Möglichkeiten der Schadensvermeidung ausgeschöpft, können Fungizide zur Bekämpfung von *E. turcicum* im Mais eingesetzt werden. Seit Juni 2014 sind in Deutschland zwei Pflanzenschutzmittel zugelassen, die allerdings nur nach Auflagen, wie der Anwendung nach Warndienstaufruf durch die Landesstellen der Officialberatung in hochanfälligen Sorten in Verbindung mit den Befall fördernden Standorten und Witterungsverhältnissen, angewendet werden dürfen (ANONYMUS, 2015e). Das Mittel Quilt Xcel[®] der Firma Syngenta besteht dabei im Einzelnen aus einer Kombination der Wirkstoffe Azoxystrobin (141,4 g/l) und Propiconazol (122,4 g/l), wohin gehen das Mittel Retengo[®] Plus von der Firma BASF aus den Komponenten Pyraclostrobin (133 g/l) und Epoxiconazol (50 g/l) generiert wurde (ANONYMUS, 2014a; ANONYMUS, 2014b). Die Ergebnisse offizieller Feldversuche in Deutschland zur Notwendigkeit einer Fungizidmaßnahme mit den o.g. Mitteln gegen *E. turcicum* sind gegensätzlich. So zeigen Versuche der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, dass mit einer Maßnahme zur Blüte des Maises Wirkungsgrade von bis zu 70 % realisierbar sind (HANHART, 2012). Die durchschnittlichen 5-6 dt/ha Mehrerträge bei Körnermais schwanken über die Jahre z.T. stark und können nicht allein auf die Krankheitsbekämpfung zurückgeführt werden. So wurde in den Versuchen weiterhin festgestellt, dass eine Minderung des Stresses der Maispflanzen, ausgelöst durch anhaltende Trockenheit auf Sandböden im Gegensatz zu einem Lössboden, mitunter für die höheren Erträge verantwortlich war. Der Einfluss auf physiologische Reaktionen der Pflanzen, die im Allgemeinen als „Greening Effekt“ insbesondere beim Einsatz von strobilurinhaltigen Mitteln bekannt sind, wird diskutiert. Auch bei der Erstbewerbung des Mittels Retengo[®] Plus wurde aktiv mit der Senkung des „Ertragskillers Stress“ geworben (ANONYMUS, 2011a). Andere Officialberatungen der Bundesländer, wie die Landwirtschaftskammer Niedersachsen oder die Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern können keine relevanten Mehrleistungen im Ertrag

durch den Einsatz von Fungiziden ermitteln und verweisen diesbezüglich auf die Einhaltung der guten fachlichen Praxis, um das Aufkommen des Erregers zu minimieren (BORNEMANN & STEINGRÖVER, 2014; ANONYMUS, 2015d).

Studien aus Italien mit dem Mittel Quilt Xcel[®] zeigen zwar eine statistisch abgesicherte Wirkung gegen *E. turcicum* bei der Applikation in späteren Stadien, allerdings befindet sich die Befallsstärke des Erregers in beiden Versuchsjahren auf einem sehr niedrigen Niveau < 3 % des mittleren Blattsegmentes in der unbehandelten Kontrolle. Die Autoren berufen sich dabei auf physiologische Effekte, die den Mehrertrag gegenüber der Kontrolle ausmachen (BLANDINO et al., 2012). DA COSTA & BOLLER (2008) berichten von Feldversuchen in Brasilien, bei denen Wirkungsgrade von bis zu 96,6 % mit dem Fungizid Opera[®] (identische Wirkstoffe wie Retengo[®] Plus) gegen *E. turcicum* erreicht werden. Eine signifikante Ertragssteigerung gegenüber der Kontrolle kann allerdings nur mit einer späten Applikationen mittels Flugzeug erzielt werden. Weitere Studien mit teilweise anderen Wirkstoffen, wie z.B. Mancozeb, zeigen Kontrollmöglichkeiten gegen *E. turcicum* (BERGER, 1973; BOWEN & PEDERSEN, 1988). Bei den Untersuchungen von RAID (1991) besteht eine hohe Korrelation zwischen der Befallsstärke von *E. turcicum* und dem Anteil an nicht-marktfähigen Zuckermais Kolben. Der Erreger kann der Studie zufolge vor allem durch das systemische Propiconazol effektiv bekämpft werden.

Bei allen chemischen Gegenmaßnahmen sollte die Terminierung der Anwendung Beachtung finden. BERGER (1970) fand heraus, dass eine genaue Fungizidapplikation anhand der Entwicklung des Erregers in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen zu einem hohen Bekämpfungserfolg führt. Im Rahmen eines Vorhersagemodells formulierte er sog. „Blight favorable hours“ (BFH), bei denen eine rel. Luftfeuchte nahe 100 % für mindestens sieben Stunden bei Temperaturen über 15°C herrschen müssen, um eine signifikante Sporulation von *E. turcicum* zu generieren (vgl. Kap. 2.2.3). Anhand der Summierung der BFH/Tag kann die Entscheidung über eine Fungizidmaßnahme getroffen werden. Aktuelle Forschungen befassen sich ebenfalls mit einem Vorhersagemodell u.a. basierend auf Witterungsparametern (ORTEGA et al., 2014).

Die Übertragung von *E. turcicum* durch das Saatgut bedarf noch weiterer Forschung. Zwar gibt es Studien, die keinen Zusammenhang zwischen dem Blattbefall und einer Übertragung in, bzw. an die Körner belegen (MARKOV, 1966), doch konnte durch neuere Testverfahren mit selektiven Medien ein Nachweis des Vorhandenseins von *E. turcicum* am Saatkorn, wenn auch in sehr geringen Mengen, zeigen (de ROSSI & REIS, 2014). Mit Fungiziden gebeiztes Saatgut kann aber standardmäßig gegen einen Frühbefall eingesetzt werden (HÄNI et al., 2008).

Seit der ersten Veröffentlichungen von JENKINS & ROBERT (1952) ist die Resistenzzüchtung von Maisgenotypen ein Baustein der Kontrolle von *E. turcicum*. Die heute verwendeten Re-

sistenzen beruhen zum einen auf einer polygenen (quantitativen) Resistenz, an deren Ausprägung viele Gene beteiligt sind (GROH, 2013). Die Merkmalsausprägung der einzelnen Genotypen variiert dabei je nach genetischer Zusammensetzung von hochanfällig bis hochresistent. Unterschiede in der Ausprägung der polygenen Resistenz sind daher abhängig von der Zusammensetzung der beteiligten Gene (CARSON & VAN DYKE, 1994; GROH, 2013). Daneben wird in der Züchtung vermehrt die monogene (qualitative) Resistenz genutzt, bei der bisher acht monogen vererbte Resistenzen beschrieben wurden, von denen in aktuellen Zuchtprogrammen vier (*Ht1*, *Ht2*, *Ht3*, *Htn*) genutzt werden (HANEKAMP et al., 2013). Bei einem europaweiten Rassenscreening wurde festgestellt, dass sich 50,2 % der untersuchten Isolate avirulent gegenüber den genannten Resistenzgenen verhalten (Rasse 0). Der Anteil von auf *Ht1* virulenten Isolate (Rasse 1) beträgt beim bisherigen Stand der Untersuchungen 23,1 %, wobei der Anteil in wärmeren Regionen mit intensivem Maisanbau, z.B. Südwestfrankreich oder der Oberrheinregion, mit über 50 % deutlich höher ist (HANEKAMP et al., 2014). Die Resistenzgene sind für die Erkennung des Pathogens und die Auslösung einer Resistenzreaktion verantwortlich, die den programmierten Zelltod an der Einstichstelle durch eine hypersensitive Reaktion einleitet (BALINT-KURTI & JOHAL, 2009). In der Praxis zeigt die Pflanze um die Läsionsstelle des Pilzes eine chlorotische Reaktion, die eine weitere Ausbreitung der Flecken und ein Zusammenfließen verhindert (GROH, 2013). Aufgrund der Wirksamkeit dieser monogenen Resistenz wurde *E. turcicum* den hemibiotrophen Schadpilzen zugeordnet (KNOX-DAVIES, 1974).

Mono- und polygener Resistenz führen unabhängig voneinander zu einer signifikanten Befallsreduktion im Vergleich zu Sorten ohne jegliche Resistenzeigenschaften (LIPPS et al., 1997). Dennoch besteht der optimale Schutz, aus züchterischer Sicht, aus einer Kombination von beiden Resistenzen (RAYMUNDO & HOOKER, 1982).

In der Literatur sind weitere Untersuchungen zur Bekämpfung von *E. turcicum* zu finden, die nicht den Themengebieten phytosanitäre Aspekte des Ackerbaus, Resistenzeigenschaften der Maispflanzen oder chemische Kontrolle zugeordnet werden können. In Plattentests von SARTORI et al. (2015) wurden in ersten Untersuchungen 11 mögliche epiphytische Antagonisten zu *E. turcicum* selektiert. Des Weiteren konnten HARLAPUR et al. (2007) in vitro *Trichoderma harzianum* als Bioagent gegen das Blattpathogen identifizieren, sowie antagonistische Eigenschaften von Neem Extrakt und Aloe Vera nachweisen. Darüber hinaus sind Veröffentlichungen von Laboruntersuchungen zum Einsatz von Silbernanopartikeln gegen *E. turcicum* zu finden (QIU et al., 2015), sowie Gewächshausversuche zum Einsatz von Wachsen und Kunststoffpolymeren auf der Blattoberfläche (ZIV & FREDERIKSEN, 1983).

2.3 Mykotoxine

Sekundäre Metaboliten von Schimmelpilzen werden Mykotoxine genannt, wenn sie in sehr geringen Mengen Vergiftungen in höheren Organismen hervorrufen (DÖLL & DÄNICKE, 2011).

Diese natürlichen Stoffwechselprodukte zahlreicher Pilze sind schädlich für Menschen und Tiere (PAPST et al., 2012) und können durch Ernte und nachfolgende Behandlungen nur unzureichend beseitigt werden (MIEDANER, 2012). Laut Schätzungen der FAO sind mindestens 25 % der pflanzlichen Erzeugnisse, die für die menschliche Ernährung verwendet werden, mit Mykotoxinen kontaminiert (BOUTRIF & CANET, 1998). Andere Literaturquellen geben an, dass es kaum noch Getreidepartien gibt, die vollständig frei von Mykotoxinen sind, was allerdings auch der Tatsache geschuldet ist, dass inzwischen mit sehr empfindliche Nachweismethoden selbst Spuren von Substanzen detektiert werden können (MIEDANER, 2012). Dabei muss zwischen den Pilzgiften unterschieden werden, die bei der Lagerung des Erntegutes entstehen, z.B. durch Pilze der Gattung *Aspergillus* oder *Penicillium*, und den Mykotoxinen, die bereits auf dem Feld vor der Ernte gebildet werden (SWEENEY & DOBSON, 1998). Letztere Mykotoxine werden durch die phytopathogenen Pilze der Gattung *Fusarium* produziert, die mit über 140 bekannten Metaboliten die größte Gruppe mykotoxinbildender Pilze ausmacht (SOBROVA et al, 2010). Hierbei sind vor allen die Arten *Fusarium graminearum* Schwabe (teleomorph: *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch) und *Fusarium culmorum* (Smith) Saccardo zu betrachten, die u.a. an Mais und Weizen parasitieren und die potentesten Produzenten der Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) sind (CHELKOWSKI, 1998; PAPST et al., 2007; MIEDANER, 2012). Aufgrund ihrer Gefährlichkeit hat die EU-Kommission Grenz- und Richtwerte in Lebens- und Futtermitteln erlassen (vgl. Kap. 2.3.4). Diese beiden Mykotoxine werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelt und im Folgenden zusammen mit den Verursacher-Pathogenen näher erläutert.

2.3.1 *Fusarium* spp.

Weltweit werden eine Vielzahl von Pflanzen durch die ubiquitär auftretenden Pilze der Gattung *Fusarium* befallen (GOSWAMI & KISTLER, 2004). An der Wirtspflanze Mais werden *Fusarium* spp. als Fäulniserreger angesehen, da sie Auslöser der Stängel- und Kolbenfäule darstellen (MUNKVOLD, 2003). Als wenig spezialisierte, bodenbürtige Pilze haben sie einen einfachen Lebenszyklus, der zunächst als saprotrophe Phase mit der Überdauerung an organischer Bodensubstanz oder Pflanzenresten beginnt (MIEDANER, 2012). Zur Blütezeit des Maises werden Sporen durch Regenspritzer auf die Blätter und Kolben verteilt und mit den kapillaren Kräften durch die engliegenden Narbenfäden unter die Lieschblätter direkt an die Körner transportiert (OBST & GEHRING, 2002). Besonders in den ca. sechs Tagen der Blüte sind die frischen Narbenfäden hochanfällig, wodurch die Periode mit der höchsten Anfälligkeit der Maispflanze gegenüber *Fusarium* ssp. resultiert (XU, 2003). Die Folge der Infektion ist das typische Erscheinungsbild der Kolbenfusariose, bei der ein zunächst weißliches Myzel, meist an der Kolbenspitze, im späteren Verlauf zu einer pink-rötlichen Erscheinung wechselt (MUNKVOLD, 2003). Dabei wird in der Literatur zwischen zwei Krankheitserscheinungen un-

terschieden: Die sog. „Pinke Kolbenfusariose“ (*Fusarium ear rot*), wird durch die *Fusarium*-Arten *F. verticillioides*, *F. proliferatum* und *F. subglutinans* ausgelöst, wohingegen die sog. „Rote Kolbenfusariose“ (Gibberella ear rot) vor allem durch die *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. subglutinans* hervorgerufen wird (LOGRIECO et al., 2002; LOGRIECO et al., 2003). Dabei konnte durch LOGRIECO et al. (2002) weiterhin festgestellt werden, dass in Nord- und Mitteleuropa, mit Ausnahme von *F. verticillioides*, vor allem die Verursacher der Roten Kolbenfusariose anzutreffen sind, die, im Gegensatz zu den *Fusarium*-Arten der Pinken Kolbenfusariose, die Mykotoxine DON und ZEA synthetisieren. Werden die Körner im späteren Verlauf der Vegetation nach der Blüte hin zur Abreife hart, kann der Pilz ohne mechanische Verletzung des Korns von dritter Seite nicht mehr infizieren (REID & SINHA, 1998).

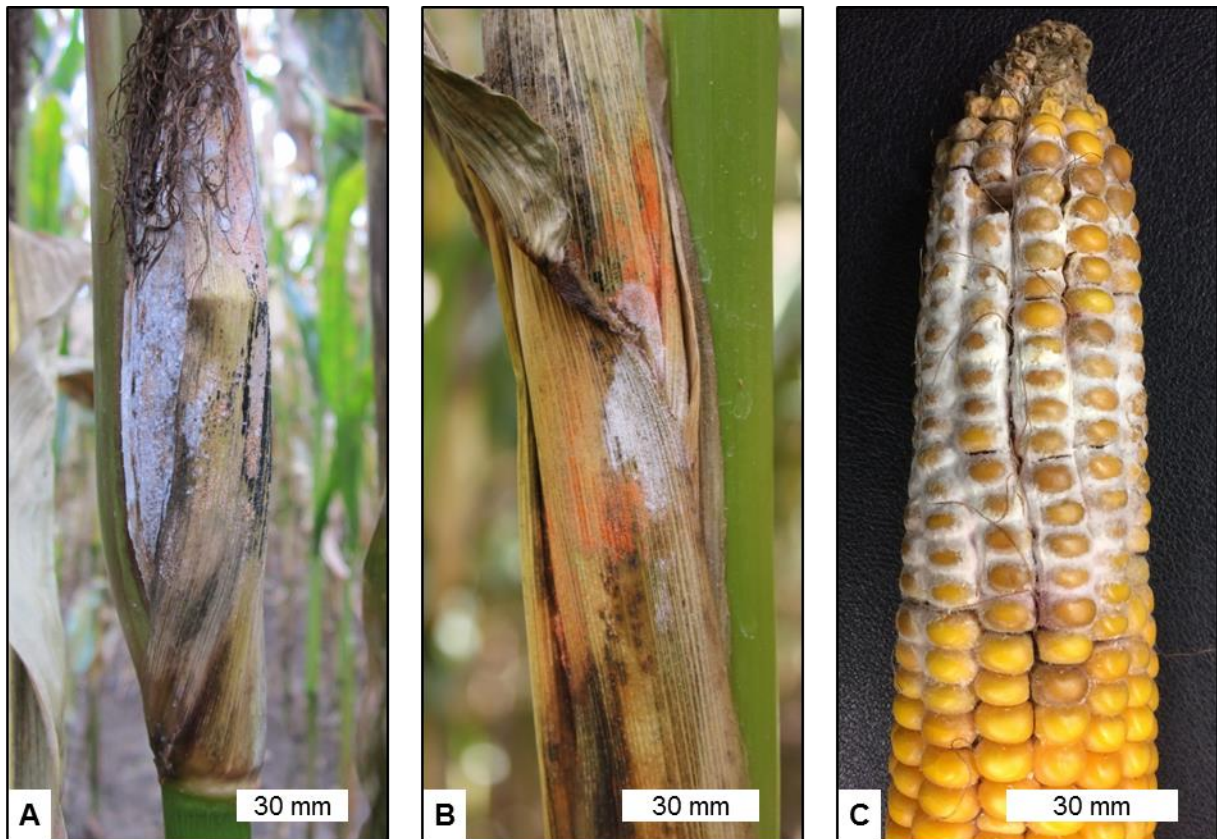


Abb. 3: Symptome von *Fusarium* spp. im Maisbestand: **A und B:** Befall des sekundären Kolbens zur Siloreife in BBCH 85; **C:** Infizierter Hauptkolben

Ein weiterer Infektionsweg kann über die Blattachseln erfolgen. Nach der Blüte sammeln sich dort abgeworfene Staubbeutel mit Maispollen und Wasser, woraus sich optimale Bedingungen für die Entwicklung von *Fusarium* spp. ergeben (HANHART 2012; ALGERMISSEN & VERREET, 2014a). Dabei sind zunächst bräunliche Flecken an den Blattscheiden und am Blattgrund, besonders auch am nicht ausgebildeten Sekundärkolben sichtbar (Abb. 3), die mit der Zeit im Zentrum nekrotisieren und oftmals ein lachsfarbenes Myzel bilden (Abb. 4).

Untersuchungen von NAIK & BUSCH (1978) zeigen, dass der Maispollen dabei eine Infektion der Blattscheide mit *F. graminearum* fördern kann. *Fusarium* spp., die auf diesem Wege in die Pflanze gelangen, können durch einhergehende Mykotoxinproduktion während des Infektionsprozesses zu einer Erhöhung der Gehaltes im Erntegut Silomais führen (BOTTALICO et al., 1985). Auch die Verlagerung der Toxine über den Saftstrom in den Kolben, was zu einer gesteigerten Kontamination im Körnermais führt, wird diskutiert.

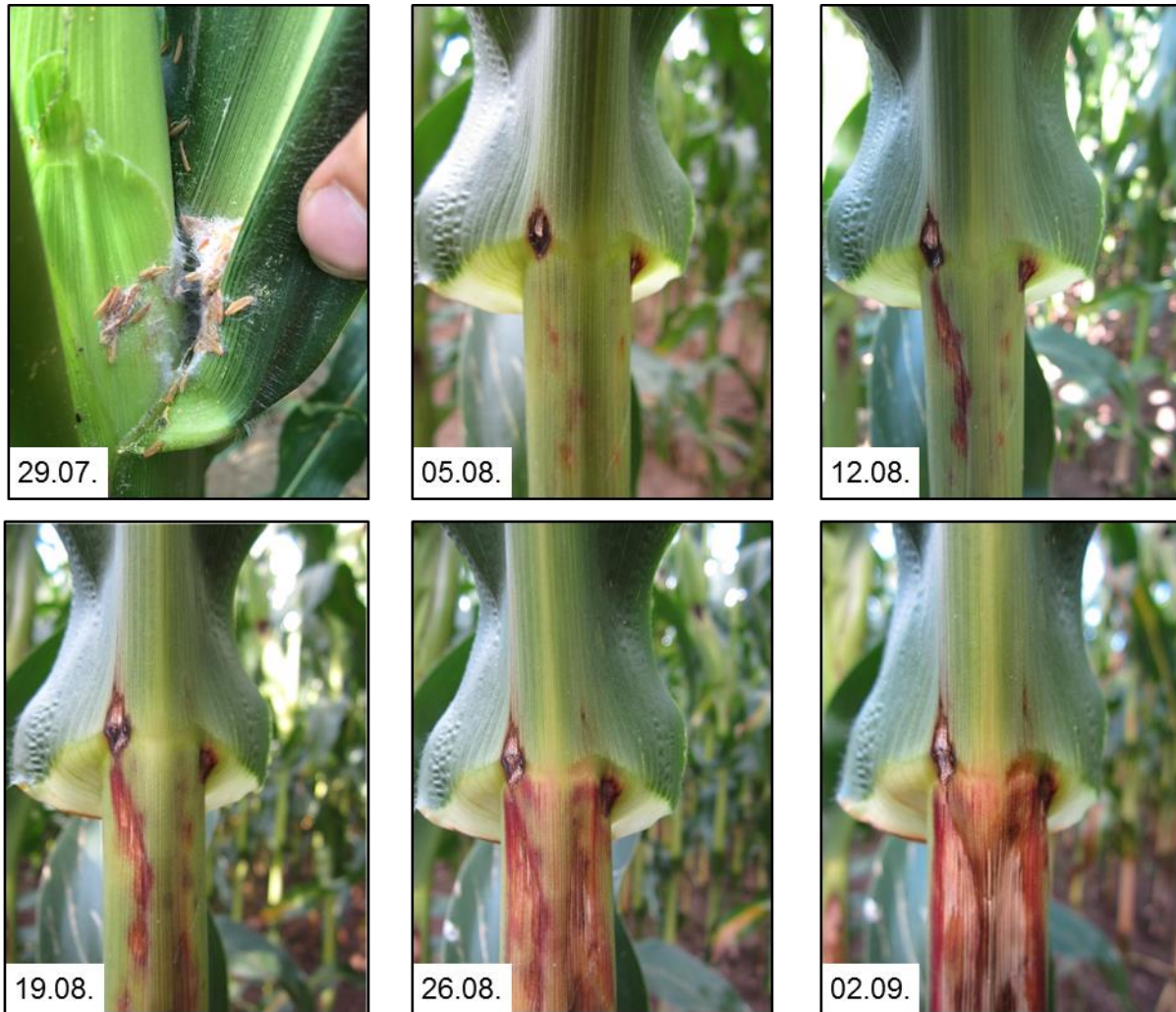


Abb. 4: Wöchentliche Aufnahmen der fortschreitenden Infektion der Maispflanze mit *Fusarium* spp.: Ausgehend von einer Mischung aus Staubbeutel, Pollen und Wasser bildet der Pilz ein Myzel und infiziert in der Folge die Blattachseln des Maises nach der Blüte; gut zu sehen ist der Verlauf der Besiedlung von wenigen Flecken ausgehend über den Fluss der Konidienlösung zwischen Blattscheide und Stängel bis zum Erscheinen des lachsrosanen Myzels an der Außenseite der Blattscheide, Standort Hohenschulen 2014

Als dritter Infektionsweg ist das Eindringen der *Fusarium*-Erreger über die Maiswurzel denkbar, da bereits eine Infektion von *F. culmorum* über die Wurzel an Weizenpflanzen nachge-

wiesen wurde (SCHLÜTER et al., 2006). Weiterhin kann eine Infektion über infiziertes Saatgut erfolgen (KABEERE et al., 1997; LOGRIECO et al., 2003; MIEDANER, 2012).

Eine Korrelation zwischen der gebildeten pilzlichen Biomasse von *F. graminearum* und *F. culmorum* und dem Gehalt an DON in Silomaisproben konnte bei Analysen von NICOLAISEN et al. (2009) nachgewiesen werden. Für die Region Schleswig-Holstein wird dies von BIRR (2013) auch für die Korrelation zwischen den beiden *Fusarium*-Arten und ZEA bestätigt. Andere Untersuchungen können keine ausreichend qualifizierte Korrelation zwischen Erreger und Mykotoxin feststellen, was mit dem großen Einfluss abiotischen Stresses der Umwelt begründet wird (MAGAN, 2006).

Als Schlussfolgerung der Überlegungen zu den verschiedenen Pilzen der Gattung *Fusarium* und der einhergehenden Mykotoxinbelastung bleibt festzuhalten, dass die Erreger *F. graminearum* und *F. culmorum* für die Kontamination des Erntegutes mit DON und ZEA verantwortlich sind. Eine geografische Unterscheidung muss hinsichtlich der Temperatursprüche der Erreger getroffen werden, wonach *F. graminearum*, bezogen auf Deutschland, eher im Süden als Hauptverursacher der o.g. Toxine zu finden ist, wohingegen *F. culmorum* die eher kühleren Temperaturen Norddeutschlands bevorzugt.

2.3.2 Deoxynivalenol

Das Mykotoxin Deoxynivalenol (DON) gehört zu der Gruppe der Trichothecene und wird in erster Linie von den *Fusarium*-Pilzen gebildet, um die Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen pilzlichen Pathogenen zu erhöhen (DESJARDINS, 2006). Trotz dieser Tatsache konnte bei den Trichothecenen weiterhin festgestellt werden, dass sie auch als Virulenzfaktoren des Erregers gegenüber der Pflanze eingesetzt werden (DESJARDINS et al., 1993). Somit werden die Penetration des pflanzlichen Gewebes und die Ausbreitung in der Pflanze durch die Mykotoxine begünstigt. Die Wasserlöslichkeit von DON trägt weiterhin zu einer guten Verteilung in der Pflanze bei (LUDEWIG et al., 2005). Strukturell gesehen ist das Mykotoxin DON eine polare, organische Verbindung mit dem chemischen Namen 12,13-Epoxy-3 α , 7 α , 15-trihydroxytrichothec-9-en-8-on (Abb. 5). In dem Molekül sind drei freie Hydroxygruppen (-OH), welche die Toxizität der Verbindung ausmachen (SOBROVA et al., 2010).

Die Auswirkungen zu hoher Aufnahmen von DON bei Säugetieren sind vielfältig. Die Gruppe der Trichothecene, zu denen das Mykotoxin DON gehört, sind bekannt als Inhibitoren der Proteinbiosynthese und haben Auswirkungen auf die Nukleinsäuresynthese, mitochondriale Funktionen, Membranintegrität und die Zellteilung. Ebenso wie in Pflanzenzellen können sie bei Säugern die Apoptose auslösen (DESJARDINS et al., 1993; FOUROUD & EUDES, 2009).

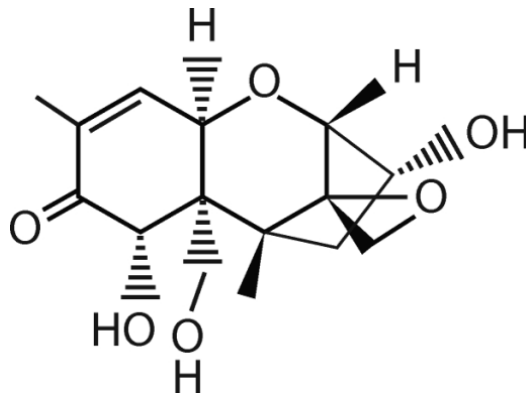


Abb. 5: Strukturformel von Deoxynivalenol (SOBROVA et al., 2010)

Epithelzellen und Lymphozyten sind dabei durch ihre starke Abhängigkeit zur Proteinbiosynthese besonders betroffen (ERIKSEN, 2003). Bei den Vergiftungserscheinungen aufgrund zu hoher Aufnahme von DON muss zwischen einer akuten und einer chronischen Aufnahme unterschieden werden. Hohe Dosen von DON nach akuter Aufnahme führen zu Durchfall, Erbrechen, Blutungen und Kreislaufzusammenbrüchen bis hin zum Tod. Dagegen können, bei der längerfristigen Aufnahme, geringe Konzentrationen von DON zu Appetitlosigkeit, neuroendokrinen Effekten und Immunsuppressionen führen. Bei Nutztieren sind zusätzlich eine reduzierte Gewichtszunahme und ein verminderter Futterumsatz zu beobachten (DESJARDINS et al., 1993). Das Krankheitsbild ist dabei abhängig von der Tierart. Während Wiederkäuer als Polygastrier relativ tolerant gegenüber DON sind, können z.B. bei Hühnern stärkere Reaktionen auslöst werden (ERIKSEN, 2003). Am stärksten sind die Reaktionen in der Nutztierfütterung beim Schwein, das auf höhere Konzentrationen von DON mit einer Abnahme der Futteraufnahme reagiert (DÖLL & DÄNICKE, 2011). Obwohl DON eines der am wenigsten akut toxischen Mykotoxine aus der Gruppe der Trichothecene ist, sollte es im Bezug zur Lebensmittelsicherheit mit höchster Priorität behandelt werden, da Getreide sehr häufig kontaminiert ist (ROTTER et al., 1996).

2.3.3 Zearalenon

Das Mykotoxin Zearalenon wird vor allem durch die *Fusarium*-Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* gebildet (ATOUI et al., 2011). Es wurde bereits in vielen landwirtschaftlichen Kulturen festgestellt, allerdings ist das Vorkommen in Mais besonders hoch (LOGRIECO et al., 2002; ZINEDINE et al., 2007). ZEA ist ein makrozyklisches Resorcylsäurelacton (VERREET & KNOTT, 2012) und wird anhand der Struktur in die Gruppe der Lactone eingeordnet (Abb. 6) (ZINEDINE et al., 2007).

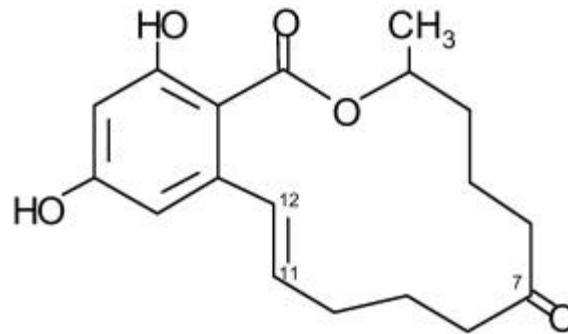


Abb. 6: Strukturformel von Zearalenon (DÖLL & DÄNICKE, 2011)

Im Gegensatz zu DON wirkt ZEA nicht akut toxisch, kann aber aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit zu Östrogen an spezifische Östrogenrezeptoren von Säugetieren binden und damit den Hormonspiegel beeinflussen (MINERVINI & DELL'AQUILA, 2008). Weiterhin erzeugt ZEA bei weiblichen Schweinen Fruchtbarkeitsstörungen mit einer krankhaften Vergrößerung von Vulva und Uterus bis hin zu einem Absterben des Fötus (DÖLL & DÄNICKE, 2011; VERREET & KNOTT, 2012).

2.3.4 Grenz- und Richtwerte in Lebens- und Futtermitteln

Weltweit betrachtet hatten im Jahr 2003 insgesamt 99 Staaten Höchstmengenregulierungen für Mykotoxine in Lebens- und/oder Futtermitteln. Das ist ein Anstieg von 30 % im Vergleich zu einer im Jahr 1995 durchgeführten Studie, was die Bedeutung dieser unerwünschten Inhaltsstoffe deutlich macht (VAN EGMOND & JONKER, 2004). Die EU-Kommission hat im Jahr 2006 Richtwerte für Mykotoxine in Futtermitteln empfohlen und im Jahr 2007 die Verordnung über die Grenzwerte der Pilzgifte in Lebensmitteln in einer Neufassung erlassen (ANONYMUS, 2006; ANONYMUS, 2007). Die genauen Werte geben die Tab. 5 Tab. 6 wieder. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal der Grenz- und Richtwerte ist die juristische Verbindlichkeit der Grenzwerte im Gegensatz zu den juristisch nicht-bindenden Empfehlungen für die Richtwerte.

Tab. 5: Grenzwerte für die *Fusarium*-Toxine DON und ZEA in Lebensmitteln (ANONYMUS, 2007)

Produkt	DON	ZEA
	µg/kg	
Unverarbeitet:		
Weichweizen, Triticale, Roggen	1250	100
Hartweizen, Hafer	1750	100
Mais	1750	350
Verarbeitet:		
Getreidemehl, Kleie, Keime zum unmittelbaren Verzehr	750	75
Teigwaren (trocken)	750	---
Brot, Backwaren, Frühstückscerealien, Getreide-Snacks, Kekse	500	50
Säuglings- und Kleinkinderbeikost	200	20

Tab. 6: Richtwerte für die *Fusarium*-Toxine DON und ZEA in Futtermitteln (ANONYMUS, 2006)

Futtermittel	DON	ZEA
	µg/kg	
Futtermittelausgangserzeugnisse:		
Getreide und Getreideerzeugnisse außer Mais	8000	2000
Maisnebenprodukte	12000	3000
Ergänzungs- und Alleinfuttermittel:		
Milchkühe, Rinder	5000	500
Sauen und Mastschweine	900	250
Ferkel und Jungsauen	900	100
Kälber (< 4 Monate), Lämmer, Ziegenlämmer	2000	500

Im Bezug zu den Erzeugnissen der Maisproduktion sind aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsrichtungen beide Tabellen wichtig. Bei der Produktion von Körnermais als Lebensmittel darf z.B. der DON-Gehalt des rohen Erntegutes einen Wert von 1750 µg/kg nicht überschreiten. Allerdings wird eine Verwendung als Ergänzungsfutter, z.B. in der Schweineproduktion, ebenfalls kritisch, da die Empfehlung für die Höchstgrenze an DON bei 900 µg/kg liegt. Für die Nutzungsrichtung Silomais gilt aufgrund der alleinigen Verwendung als Futtermittel ausschließlich die Tab. 6.

2.3.5 Zusammenhang zwischen Witterung und Auftreten der Mykotoxine

Besonders zur Phase der Maisblüte ist die Witterung ein entscheidender Faktor in Bezug auf das Wachstum der *Fusarium*-Pilze und des damit verbundenen Auftretens von Mykotoxinen im Erntegut. Bei Betrachtung der beiden Hauptproduzenten für DON und ZEA, *F. graminearum* und *F. culmorum*, werden unterschiedliche Ansprüche an die übergeordnete Einflussgröße Witterung deutlich. So konnten BRENNAN et al. (2003) für *F. graminearum* ein optimales Myzelwachstum bei 25°C nachweisen, wohingegen sich der Bereich für *F. culmorum* von 20 - 25°C als günstig darstellte. Ein weiterer Unterschied hinsichtlich der Temperaturansprüche der zwei Arten wurde von ROSSI et al. (2001) berichtet. Danach liegt die optimale Temperatur für eine Infektion der Pflanze durch *F. graminearum* bei 29°C. Im Vergleich dazu konnte bei *F. culmorum* bereits bei 26,5°C dieser Zustand festgestellt werden. Diese Untersuchungen spiegeln die Ergebnisse einiger Literaturquellen wider, die *F. graminearum* eher in den wärmeren Gebieten zeigen, wohingegen *F. culmorum* die kühleren Gebiete Nord- und Mitteleuropas bevorzugt (PARRY et al., 1995; BOTTALICO, 1998). Dabei begünstigen Temperaturen über 25°C und Perioden mit langanhaltender Feuchtigkeit > 24 h beide Erreger gleichermaßen (SUTTON, 1982; CAMPBELL & LIPPS, 1998).

Viele der o. g. Literaturquellen beziehen sich auf die Situation in der Weizenkultur, bei der die beiden *Fusarium*-Arten für die Krankheit „Partielle Taubährigkeit“ (*Fusarium* Head Blight

= FHB) verantwortlich sind. Für den Weizen gibt es inzwischen eine Reihe von Vorhersagemodellen, die eine Prognose zum möglichen Mykotoxinaufkommen im Erntegut anhand der Analyse von verschiedenen Witterungsparametern im Zeitraum der Weizenblüte zulassen.

Im Einzelnen handelt es sich dabei z.B. um die Dauer von Regenereignissen und Phasen mit Temperaturen zwischen 15 - 30°C an den sieben Tagen vor der Blüte, oder die Dauer der Phasen mit einer relativen Luftfeuchtigkeit > 90 % zwischen 15 - 30°C an den zehn Tagen nach der Blüte (DE WOLF et al., 2003). Demgegenüber gestaltet sich die Prognose der Mykotoxinkontamination im Mais aufgrund einiger Unterschiede zur Weizenkultur als ungleich schwieriger. SCHAAFSMA & HOOKER (2007) gehen davon aus, dass die Praxisreife solcher Modelle weitaus länger dauert, da die *Fusarium*-Epidemie in Mais eine höhere Komplexität im Vergleich zu Weizen darstellt. Die schwache Charakterisierung bezüglich der Resistenzeigenschaften gegen *Fusarium* spp. und der breite Markt an neuen Maissorten stellt die Forschung ebenfalls vor große Herausforderungen. Nicht zuletzt ist die Hauptinfektionsphase von *Fusarium* spp. in der Blüte des Mais variabler als bei Weizen, was den genauen Ansatzpunkt für die Messungen der Witterungsparameter erheblich erschwert (SCHAAFSMA & HOOKER 2007).

Trotz der genannten Schwierigkeiten konnten DE LA CAMPA et al. (2005) ein von Weizen adaptiertes Modell entwickeln, welches die wichtigsten Witterungsparameter Niederschlag und Temperatur zur Berechnung der zu erwartenden Mykotoxinmenge berücksichtigt. Dabei erfolgte eine spezielle Berechnung der Witterungsparameter, die in vier kritischen Phasen vor und nach der Blüte des Mais erfasst wurden. Für die Blüte wurde anhand visueller Bonituren ein Zeitpunkt bestimmt, an dem die Narbenfäden des Kolbens zu 50 % geschoben sind.

2.3.6 Wirtschaftliche Relevanz

Fusarium-Infektionen und einhergehende Mykotoxinbildung haben in zweierlei Hinsicht wirtschaftliche Relevanz. Zum einen ist der direkte Effekt auf die Menge an Ertrag zu sehen, zum anderen sind vor allem die Qualitätseinbußen durch die gebildeten Mykotoxine von Bedeutung (HARRIS et al., 1999).

Zwar ist in vielen Literaturquellen von einer Ertragsreduzierung durch *Fusarium* spp. die Rede, genauere Daten mit der Angabe von Zahlen werden hingegen nur selten gemacht. MIEDANER (2012) spricht von bis zu 30 % Ertragsausfall durch verringertes Tausendkorngewicht aufgrund einer Infektion durch *Fusarium* spp. An anderer Stelle wird von bis zu 48 % Ertragsreduktion aufgrund von mittelschweren Symptomen der Kolbenfusariose gesprochen (VIGIER et al., 2001).

Neben den Verlusten bei der Ernte, kann *Fusarium* spp. schon beim Keimling der Maispflanze eine Nekrotisierung verursachen (MUNKVOLD & O'MARA, 2002). Des Weiteren wurden eine verringerte Keimfähigkeit und reduzierter Feldaufgang bei Befall festgestellt (SUTTON, 1982). Der Schwerpunkt der wirtschaftlichen Relevanz liegt damit vor allem auf der Qualitätsreduzierung durch die Kontamination mit Mykotoxinen. Die Verluste dadurch sind aber ebenfalls schwer zu quantifizieren, besonders vor dem Hintergrund den Schaden einzelnen Mykotoxinen zuzuordnen. Das durch einige Arten der Pilzgattung *Aspergillus* spp. gebildete Lagertoxin „Aflatoxin“ verursachte in den Jahren 1998 und 1999 in den US-Bundesstaaten Texas und Mississippi einen Verlust von ca. 17 Millionen US-\$ (ROBENS & CARDWELL, 2003). SCHIER (2008) berichtet von einer nicht näher genannten US-Studie, wonach sich der Schaden durch Fumonisine im Futtermais in Jahren mit durchschnittlichen Befall auf bis zu 20 Millionen US-\$ beläuft. In Jahren mit starkem Befall kann sich der Verlust in einer Größenordnung von 31 - 46 Millionen US-\$ befinden. Nähere Angaben zu den Verlusten durch DON oder ZEA konnten der Literatur nicht entnommen werden.

Indirekt kann die Problematik des qualitativ mangelhaften Maises aufgrund der Belastung mit Mykotoxinen durch die Lebensmittelkontrollen des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit dargestellt werden. Überschreitet ein Produkt die zulässigen Grenzwerte für DON und ZEA, wird die Bevölkerung im Rahmen einer Rückrufaktion des Herstellers dazu aufgerufen, etwaige Produkte zurückzugeben oder zu entsorgen. Als Beispiel kann die Rückrufaktion von Cornflakes genannt werden, die aufgrund einer Grenzwertüberschreitung des Mykotoxins DON am 23.02.2015 im Internet veröffentlicht wurde (ANONYMUS, 2015h). Des Weiteren wurden am 13.08.2015 in Paniermehl aus Maisgrieß zu hohe DON und ZEA Werte analysiert (ANONYMUS 2015i).

2.3.7 Bekämpfung

Im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes sollten bei der Bekämpfung von Fusariosen vorrangig nicht-chemische Maßnahmen eingesetzt werden. Da die Pilze der Gattung *Fusarium* vorwiegend an Stoppelresten von Getreide und Mais überdauern, können die Maßnahmen Fruchtfolge und Bodenbearbeitung entscheidend zur Reduzierung des Inokulumpotentials beitragen. In einer Studie von BECK & LEPSCHY (2000) konnte gezeigt werden, dass vor allem die Vorfrucht Mais in der nachfolgenden Kultur Winterweizen den DON-Wert zu einem erheblichen Teil erhöhte. Getrennt nach Nutzungsrichtungen wurde beim Silomais als Vorfrucht ein vierfach höherer DON-Gehalt im Winterweizen gemessen, als nach Gerste. Stand Körnermais als Vorfrucht auf dem Feld, zeigte die Analyse sogar eine achtfach höhere DON-Kontamination im Erntegut Weizen. Ein Grund für die Verdoppelung der Toxinwerte kann in dem höheren Anteil an Ernterückständen bei der Körnermaisernte gesehen werden (KROPF & SCHLÜTER, 2013). Ähnliche Ergebnisse beschreiben DILL-MACKY & JONES (2000), die in

den USA signifikante Unterschiede in der Kontamination des Weizens in Bezug zur Vorfrucht feststellten, wobei der Mais die höchsten und die Sojabohne die geringsten DON-Werte im Weizen verursachten.

Die Diskussion um die Vorfrucht zur Verringerung des Inokulumpotentials von *Fusarium* spp. ist zwingend mit der Frage nach der Bearbeitung der Pflanzenrückstände und der Bodenbearbeitung zur nachfolgenden Frucht verknüpft. Ist die Fruchtfolge aufgrund von ökonomischen Gesichtspunkten für den Landwirt festgeschrieben, ist die Bodenbearbeitung aufgrund des hohen Wirkungsgrades die wichtigste, steuerbare Maßnahme (MIEDANER, 2012). Dabei kann das Vergraben der Maisstoppeln durch Pflügen den DON-Gehalt des nachfolgenden Weizens um das zehnfache im Vergleich zu einer Variante mit minimaler Bodenbearbeitung reduzieren (OBST et al. 1997). Allerdings ist diese Vorgehensweise z.B. bei *F. culmorum* unwirksam, da der Erreger in der Lage ist Dauersporen zu bilden die über viele Jahre eine Infektion der Wurzel möglich machen (KROPF & SCHLÜTER, 2013). Aus diesem Grund muss vor der wendenden Bodenbearbeitung ein Arbeitsgang zur Zerkleinerung der Ernterückstände des Maises stattfinden, um deren Abbau durch Bodenorganismen zu fördern, da die stärkste Vermehrungsphase von *Fusarium* spp. nach der Ernte auf dem Substrat stattfindet (MIEDANER, 2012).

Die Düngung kann ebenfalls die Befallsstärke von *Fusarium* spp. beeinflussen. REID et al. (2001) führten Versuche mit unterschiedlichen Stickstoffmengen durch, die zu dem Ergebnis kamen, dass eine hohe Stickstoffdüngung zu einer erhöhten Befallsstärke mit *Fusarium* spp. führt.

Maissorten können sich in ihrer Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. unterscheiden (PLIENEGER & LEMMENS, 2002), wobei die Ausprägungen der Resistenz stark von Umwelteinflüssen abhängen kann (PAPST et al., 2007). Auf genetischer Ebene ist eine Differenzierung zwischen einer geringen Anfälligkeit gegenüber der Pinken- (CLEMETS et al., 2003) und der Roten Kolbenfusariose möglich (REID & HAMILTON, 1996). PRESELLO et al. (2006) berichten davon, dass alte Landsorten die besten Kandidaten für die Resistenzzüchtung darstellen, aber nur geringe agronomische Eigenschaften besitzen. Des Weiteren können auch aus der Phänologie der Pflanze resistente Eigenschaften des Maises gegen *Fusarium* spp. gewonnen werden. Die Länge der Lieschblätter, die den Kolben umhüllen, ist ein Merkmal, wonach mit zunehmenden Grad der Bedeckung die Anfälligkeit abnimmt (WARFIELD & DAVIS, 1996; MASTEL, 2003). Weiterhin konnte die Dicke des Perikarps der Maiskörner als Resistenzfaktor gegenüber den *Fusarium*-Pilzen ausfindig gemacht werden (HOENISCH & DAVIS, 1994).

Generell kann durch beschädigtes Gewebe der Maispflanze eine starke Besiedlung von *Fusarium* spp. mit einhergehender Mykotoxinbildung erfolgen (PLIENEGER & LEMMENS, 2002). Maiszünslerlarven sind somit durch ihre physikalischen Beschädigungen der Maispflanzen in der Lage, die Besiedlung mit dem Erreger zu fördern. Versuche mit Maissorten,

die das *Bacillus thuringiensis* (Bt)-Toxin-Gen tragen und dadurch hoch resistent gegen Fraßtätigkeiten sind, zeigen geringere *Fusarium*-Infektionen und in der Folge eine geringere Kontamination mit Mykotoxinen (MUNKVOLD et al., 1997a; MAGG et al., 2002).

REID et al. (1992) berichten von einem Inokulationsversuch an verschiedene Maishybriden, bei dem Unterschiede in der Befallshäufigkeit von *F. graminearum* in Abhängigkeit des Alters der Narbenfäden auftreten. Es zeigte sich, dass nur bei Inokulation bis zum siebten Tag nach Erscheinen der Narbenfäden Differenzierungen zwischen den Maissorten möglich waren.

Seitens des Integrierten Pflanzenschutzes sind chemische Maßnahmen, nach Ausnutzung aller o.g. ackerbaulichen und züchterischen Möglichkeiten, das letzte Mittel zur Bekämpfung des Schaderregers. Die Bekämpfung von *Fusarium* spp. in der Blühphase des Weizens und die damit verbundene Reduktion von Mykotoxinen im Erntegut konnte mit verschiedenen Wirkstoffen vielfach aufgezeigt werden und wird für die Praxis empfohlen und angewandt (BARTELS & RODEMANN, 2003; HAIDUKOWSKY et al., 2005; SUPRONIENE et al., 2011).

Die Situation im Mais zeigt sich etwas differenzierter. Zwar existiert eine Zulassung von Fungiziden im Mais in Deutschland, allerdings sind die Indikationen ausschließlich gegen das Blattpathogen *Exserohilum turcicum* gerichtet und mit hohen Auflagen versehen (vgl. Kap. 2.2.5). Trotz dieser Tatsache bestand im Zeitraum vom 16. Juni 2015 bis zum 13. Oktober 2015 eine Zulassung für Notfallsituationen für das Fungizid Retengo® Plus gegen *Fusarium*-Arten in Körnermais zur Reduzierung der Mykotoxinbelastung im Erntegut (ANONYMUS, 2015j). Die Wirkung einer solchen Maßnahme ist allerdings umstritten. Versuchsergebnisse des Jahres 2014 aus Bayern zeigen stark erhöhte Mykotoxinwerte im Vergleich zu den Vorjahren. Bei Fungizidversuchen mit verschiedenen Wirkstoffen zu unterschiedlichen Wachstumsstadien des Maises konnte in den beiden Nutzungsrichtungen Silo- und Körnermais kein nennenswerter Einfluss der Fungizide auf den Mykotoxingehalt zur Ernte festgestellt werden (ZELLNER et al., 2014). Auch im Bundesland Sachsen konnte durch den amtlichen Pflanzenschutzdienst anhand von Versuchen mit Fungiziden im Mais keine generelle Reduzierung der Mykotoxingehalte abgeleitet werden (KUPFER et al., 2015). Im Gegensatz dazu stehen Versuchsergebnisse der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, die in den Jahren 2010 und 2011, insbesondere mit einer Applikation bei einer Wuchshöhe von 120 cm, den DON-Gehalt im Körnermais reduzieren konnten (HANHART, 2012). In Österreich ist bereits das Fungizid Provaro® mit den Wirkstoffen Prothioconazol und Tebuconazol mit der Indikation gegen Kolbenfusariosen durch *Fusarium* spp. zur Reduktion der Mykotoxinbildung zugelassen (ANONYMUS, 2015k). In weiteren Untersuchungen aus Österreich aus dem Jahr 2014 konnten verschiedene Fungizide zu unterschiedlichen Terminen den Gehalt an DON im Körnermais stark reduzieren (ROSNER, 2015). Interessant sind dabei die Ergebnisse des Fungizids Quilt Xcel®, da trotz der Beteiligung des Wirkstoffes Azoxystrobin eine Reduzierung des

DON-Gehaltes möglich ist, obwohl dies in der Weizenkultur mehrfach zu einer Erhöhung des DON-Gehaltes geführt hat (SIMPSON et al., 2001; ELLNER, 2005). Die widersprüchlichen Ergebnisse legen nahe, dass weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Wirkung eines Fungizids auf die Erregerbekämpfung und die einhergehende Mykotoxinbelastung besteht.

Neben der Diskussion um die Applikation von Fungiziden mit Spritztechnik gegen *Fusarium* spp. kann die Saatgutbeizung als weiterer chemischer Baustein die Maispflanze vor dem Erreger schützen. In einer Studie von MUNKVOLD & O'MARA (2002) wurde festgestellt, dass die Wirkstoffe Fludioxonil und Captan als breit wirksame Kontaktherbizide eine Aktivität gegen *Fusarium* spp. aufweisen. Des Weiteren zeigte der Wirkstoff Difenconazole ebenfalls gute Wirkung. In den USA wird der größte Anteil des Maissaatgutes mit Metalaxyl-M (Synonym: Mefenoxam), Fludioxonil und/oder einem Strobilurin gebeizt (SOLORZANO & MALVICK, 2011). Ein Beispiel dafür ist das in Deutschland ebenfalls als Standardbeize verwendete Produkt Maxim[®] XL mit den Wirkstoffen Metalaxyl-M und Fludioxonil.

Generell kann die fungizide Beizung die Photosyntheserate in Maiskeimlingen erhöhen und durch Reduzierung des Befalls an der Wurzel auch im späteren Vegetationsverlauf für einen geringeren Befall mit *Fusarium* spp. an der Gesamtpflanze sorgen (RODRIGUEZ-BRLJEVICH et al., 2010). MUNKVOLD & O'MARA (2002) weisen in ihren Ausführungen darauf hin, dass die Wirkung von Beizstoffen gegen *Fusarium* spp. in Feldversuchen schwierig zu erfassen ist, da auch andere im Boden lebende Erreger, wie z.B. *Pythium* spp., als potentielle infizierende Pathogene in Frage kommen. So zeigen SOLORZANO & MALVICK (2011), dass die größten Effekte einer Beize nach der künstlichen Infektion mit *Stenocarpella maydis* in Erscheinung traten.

Aus einer Reihe von Literaturquellen können zum biologischen Pflanzenschutz zwei Beispiele angeführt werden, wonach der Antagonist *Stenotrophomonas maltophilia* gegen eine Auf-
laufnekrotisierung durch *Fusarium* spp. bei Mais eingesetzt werden kann (DAL BELLO et al., 2002). MAO et al. (1997) zeigten weiterhin eine gute Wirkung von *Trichoderma virens* gegen bodenbürtige Erreger.

3. Material und Methoden

3.1 Standorte

3.1.1 Hohenschulen

Der Standort für die Feldversuche zur Erforschung der Epidemiologie von *Kabatiella zea* in Schleswig-Holstein befand sich auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel in der Gemeinde 24239 Achterwehr, Landkreis Rendsburg-Eckernförde, westlich von Kiel (Abb. 7) Die Anlage der Parzellen wurde in allen drei Versuchsjahren von 2012 bis 2014 auf einem ca. 1,8 ha großen Teil des Flurstücks „Viehkoppel“ durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine Parabraunerde der Bodenart sandiger Lehm bis toniger Lehm mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 50. Seit dem Jahr 2009 wird auf diesem Schlag Mais in Selbstfolge angebaut und dabei auf eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug verzichtet, um optimale Bedingungen für ein natürliches Erregeraufkommen zu schaffen.

Mit Ausnahme der Fungizidapplikation wurden alle ackerbaulichen Maßnahmen, wie Düngung und Herbizideinsatz, im Rahmen der Bewirtschaftung des Versuchsgutes nach Betriebsstandard vollzogen und sind im Anhang (Kapitel 9) aufgelistet. Die Aussaat- und Erntedaten sind in Tab. 7 aufgelistet. Es wurden in jedem Jahr jeweils 10 Körner/m² ausgesät.

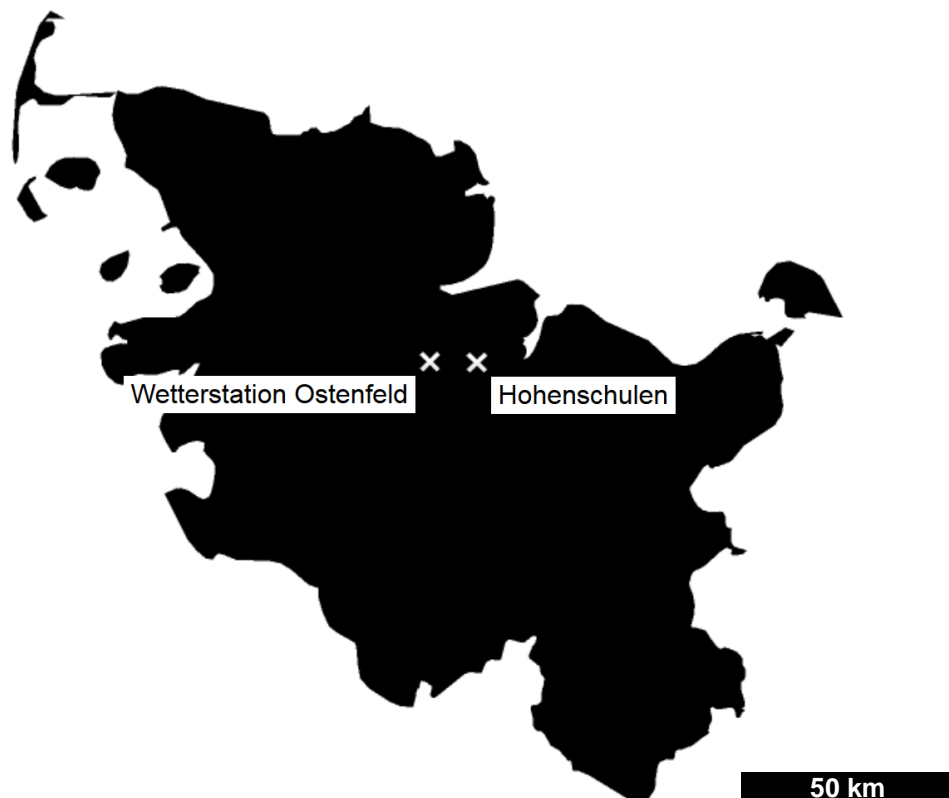


Abb. 7: Lage des Versuchsstandortes Hohenschulen und der DWD-Wetterstation Ostenfeld im Bundesland Schleswig-Holstein; Entfernung zwischen beiden Orten: 11,2 km (Luftlinie)

Die Körnermaisenernte im Jahr 2014 konnte am Standort Hohenschulen aufgrund der Zerstörung der Parzellen durch frühzeitiges Häckseln nicht beerntet werden.

Tab. 7: Daten der Aussaat und der Ernte von Silo- und Körnermais am Standort Hohenschulen in den drei Versuchsjahren 2012 - 2014

Jahr	Aussaat	Ernte	
		Silomais	Körnermais
2012	20.04.	11.10.	02.11.
2013	24.04.	26.09.	25.10.
2014	28.04.	19.09.	---*

* Beerntung nicht möglich

3.1.2 Reding

Der Standort für die Feldversuche zur Erforschung der Epidemiologie von *Exserohilum turcicum* in Bayern befand sich im Ortsteil Reding der Gemeinde 94152 Neuhaus am Inn, Landkreis Passau (Abb. 8).



Abb. 8: Lage des Versuchsstandortes Reding und der LfL-Wetterstation Bärnau im Bundesland Bayern; Entfernung zwischen beiden Orten: 6,0 km (Luftlinie)

Die Anlage der Parzellen wurde in allen drei Versuchsjahren von 2012 bis 2014 auf einem ca. 2,7 ha großen Teil des Flurstücks „Schnelldorfer Au“ durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen Alluvialboden der Bodenart sandiger Lehm mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 52. Mit Ausnahme eines Fruchtwechsels im Jahr 2011 wurde seit 2009 kontinuierlich Mais in Selbstfolge angebaut. Im Gegensatz zum Versuchsstandort Hohenschulen wurde allerdings eine wendende Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug durchgeführt. Mit Ausnahme der Fungizidapplikation wurden alle ackerbaulichen Maßnahmen, wie Düngung und Herbizideinsatz, im Rahmen der Bewirtschaftung des Versuchsgutes nach Betriebsstandard vollzogen und sind im Anhang (Kapitel 9) aufgelistet. Die Aussaat- und Erntedaten liegen in Tab. 8 vor. Aufgrund eines Hochwasser Anfang Juni im Jahr 2013 und der damit verbundenen Zerstörung des Feldversuches, musste der Mais am 17.06. wiederholt ausgesät werden.

Tab. 8: Daten der Aussaat und der Ernte von Silo- und Körnermais am Standort Hohenschulen in den drei Versuchsjahren 2012 - 2014

Jahr	Aussaat	Ernte	
		Silomais	Körnermais
2012	20.04.	17.09.	02.10.
2013 (1)*	23.04.	---	---
2013 (2)	17.06.	15.10.	29.10.
2014	12.04.	12.09.	14.10.

* Pflanzen der ersten Aussaat durch Hochwasser am 02.06. zerstört

3.1.3 Versuchsstandorte des LfL-Projektes in Bayern

Das untersuchte Probenmaterial stammte von Feldversuchen in Bayern, die durch das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung sowie das Institut für Pflanzenschutz (beide LfL) koordiniert und durch die regionalen Einrichtungen der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt wurden. In Abb. 9 erfolgt ein Überblick über die Lage der Versuchsstandorte in den Jahren 2012 und 2013, die weiterhin in Tab. 9 und Tab. 10 mit Informationen zu Vorfrucht, Aussaat- und Ernteterminen angegeben sind. Die an den Standorten verwendeten Sorten werden in Kapitel 3.5 näher erläutert. Weitere Informationen zur Stickstoffdüngung und dem Herbizideinsatz an den einzelnen Standorten in beiden Versuchsjahren können dem Anhang (Kapitel 9) entnommen werden. Im Versuchsjahr 2012 standen für den Sortenversuch insgesamt 11 Standorte in den wichtigsten Anbaugebieten des Körnermaises in Bayern zur Verfügung. Die überwiegende Vorfrucht war Winterweizen und vereinzelt Wintergerste. Teilweise dienten Sommerungen wie Hafer, Kartoffeln oder Zuckerrüben als Vorfrüchte.

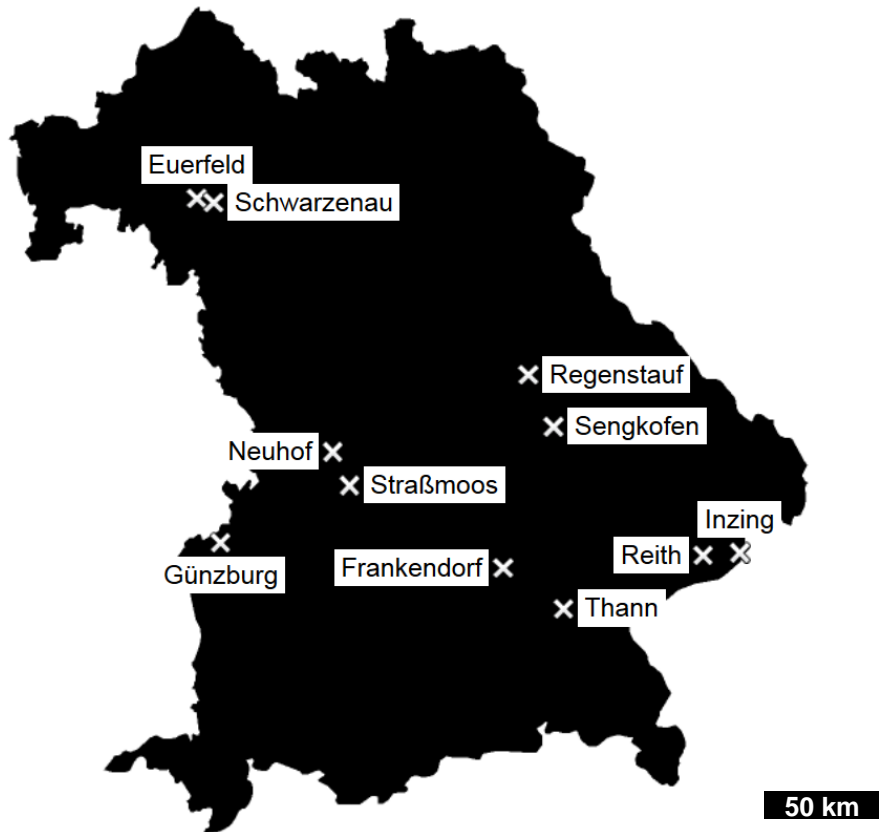


Abb. 9: Lage der Landessortenversuches des Projektes zur Mykotoxinanalyse im Körnermais in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in den Jahren 2012 und 2013 im Bundesland Bayern

Tab. 9: Standorte des LfL-Projektes in Bayern in Jahr 2012 mit Angaben zur Vorfrucht, Aussaat und Ernte des Körnermaises

Standort	Abkürzung	Vorfrucht	Aussaat	Ernte
Ehlheim	EHL	WW	28.04.	26.09.
Frankendorf	FRA	Ha	25.04.	18./24.10.
Günzburg	GÜN	WW	29.04.	12.10.
Inzing	INZ	WW	30.04.	25.10.
Neuhof	NEU	WG	20.04.	23.10.
Regenstauf	REG	WG	18.04.	10.10.
Reith	REI	WW	25.04.	11.10.
Schwarzenau	SCU	WW	17.04.	20.10.
Sengkofen	SEN	WW	18.04.	10.10.
Straßmoos	STR	Ka	20.04.	20./22.10.
Thann	THA	ZR	27.04.	08.10.

Im Versuchsjahr 2013 war mit 9 Standorten nicht exakt die gleiche Anzahl an Versuchsstandorten für den Sortenversuch vorhanden (Tab. 10). Für den Standort Schwarzenau rückte der in unmittelbarer Nähe gelegene Standort Euerfeld auf. Auch in 2013 wurden als Vorfrüchte vorwiegend Wintergetreidearten angebaut.

Tab. 10: Standorte des LfL-Projektes in Bayern in Jahr 2013 mit Angaben zur Vorfrucht, Aussaat und Ernte des Körnermaises

Standort	Abkürzung	Vorfrucht	Aussaat	Ernte
Ehlheim	EHL	WG	26.04.	26.10.
Euerfeld	EUE	WW	17.04.	11.11.
Frankendorf	FRA	Ha	24.04.	18./21.10.
Günzburg	GÜN	WW	02.05.	28.10.
Inzing	INZ	WW	18.04.	18.10.
Regenstauf	REG	WRo	16.04.	15.10.
Reith	REI	WW	18.04.	18.10.
Straßmoos	STR	Ka	29.04.	31.10.
Thann	THA	k.A.	24.04.	27.10.

3.2 Witterungsdaten

3.2.1 Meteorologische Messstationen an den Standorten Hohenschulen und Reding

An den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding kam jeweils eine Wetterstation (Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen) zum Einsatz. Dabei wurden die Parameter Temperatur in °C, relative Luftfeuchte in %, Niederschlag in l/m² und Blattnässe im stündlichen Rhythmus aufgezeichnet. Wichtig war dabei die Positionierung der Station mitten in der Versuchsfläche (Abb. 10), da das Mikroklima durch den in späteren Stadien hochgewachsenen Maisbestand entscheidend beeinflusst wird. Diese Beeinflussung, z.B. die langanhaltend hohe Luftfeuchtigkeit im abtrocknenden Maisbestand nach einem Regenschauer, hat wiederum Einfluss auf die

Maispathogene. Die Messhöhe von Temperatur, rel. Luftfeuchte und Blattbenetzung wurde jeweils der Bestandeshöhe angepasst.

Um die Witterungsverläufe der Versuchsjahre 2012 bis 2014 an den Wetterstationen Hohenschulen und Reding einordnen zu können, wurden offizielle Messstationen in unmittelbarer Umgebung genutzt. Für den Versuchsstandort Hohenschulen wurde die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Osterfeld (Landkreis Rendsburg-Eckernförde) benutzt, die in einer Entfernung von 11,2 km Luftlinie westlich liegt (Abb. 7). Am bayerischen Versuchsstandort liegt südlich in einer Entfernung von 6,0 km Luftlinie die Wetterstation Bärnau (Abb. 8) des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern (ANONYMUS, 2015m). Als Referenzzeit-

raum dienten die Messwerte der Jahre von 1990 bis 2014 an beiden Stationen, die zu langjährigen Mittelwerten (LMW) von Temperatur und Niederschlag auf Monatsbasis verrechnet und mit den aktuellen Versuchsjahren verglichen wurden.



Abb. 10: Wetterstationen an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Maisbestandes; die Positionierung mitten im Bestand dient der Erfassung des Mikroklimas

3.2.2 Agrarmeteorologisches Messnetz der LfL

An den bayerischen Versuchsstandorten der LfL wurden ausschließlich Daten von Messstationen des Agrarmeteorologischen Messnetzes (Tab. 11) in unmittelbarer Nähe zum Versuchsstandort herangezogen. Zur Verwendung kamen dabei die Messgrößen Minimum- und Maximumtemperatur in °C, sowie der Niederschlag in l/m² jeweils als Stundenwerte. Die Witterungsdaten aller Wetterstationen des Agrarmeteorologischen Messnetzes in Bayern sind im Internet frei verfügbar (ANONYMUS, 2015m).

Tab. 11: Verwendete Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes der LfL und Entfernung zu den Versuchsstandorten (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Versuchsjahr	Versuchsstandort (A)	Wetterstation (B)	ca. Entfernung Luftlinie (A → B)
2012/2013	Ehlheim	Windsfeld	3 km
2012/2013	Frankendorf	Frankendorf	vor Ort
2012/2013	Günzburg	Weißingen	12 km
2012/2013	Inzing	Bärnau	3 km
2012/2013	Neuhof	Neuhof	vor Ort
2012/2013	Regenstauf	Sarching	18 km

Tab. 11: (Fortsetzung)

Versuchsjahr	Versuchsstandort (A)	Wetterstation (B)	ca. Entfernung Luftlinie (A → B)
2012/2013	Reith	Rotthalmünster	3 km
2012	Schwarzenau	Schwarzenau	vor Ort
2012	Sengkofen	Köfering	8 km
2012/2013	Straßmoos	Burgheim	4 km
2012/2013	Thann	Lochheim	14 km
2013	Euerfeld	Seligenstadt	2 km
2013	Puch	Puch	vor Ort

3.2.3 Berechnung der Temperatursumme

Aus den stündlichen Temperaturwerten konnte nach folgender Formel die Temperatursumme für jeden Tag berechnet werden (Tab. 12). Die aufsummierte Temperatursumme ab Aussaat des Maises kann für die Prognose der Blühphase herangezogen werden.

Tab. 12: Formel zur Berechnung der täglichen Temperatursumme mit einer Basistemperatur von 6°C (ANONYMUS, 2015p)

$$T_{\text{sum}} = (T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) / 2 - 6$$

$$T_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{max}} > 30^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{sum}} < 0^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{C}$$

3.3 Versuchsaufbau und Applikationstechnik

3.3.1 Standorte Hohenschulen und Reding

Der Grundgedanke der Versuchsserie an den Standorten Hohenschulen und Reding war, neben der Studien zur Epidemiologie des jeweiligen Leitblattpathogens, mit einem Fungizidversuch den optimalen Applikationszeitpunkt zur Bekämpfung der Erreger, sowie der Minimierung der Mykotoxinbelastung im Erntegut, zu finden. Dazu wurden insgesamt sechs Varianten angelegt, die aus einer unbehandelten Kontrolle (K) und vier Einfachbehandlungsvarianten mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha in den Wachstumsstadien BBCH 34 (V2), BBCH 37 (V3), BBCH 55 (V4) und BBCH 65 (V5) bestanden. Der sechsten Variante (V6) lag eine Doppelbehandlung zu BBCH 37 und BBCH 65 zugrunde, die jeweils mit der vollen Aufwandmenge von 1,5 l/ha durchgeführt wurde.

Diese Doppelapplikation mit der jeweils vollen Aufwandmenge ist für die Praxis nicht zulässig und diente in der vorliegenden Arbeit lediglich der Abbildung einer sog. „Gesundvariante“, zur Darstellung der genetisch verankerten Höchstleistung der Sorte hinsichtlich des Ertrages.

An beiden Standorten wurden pro Versuchsjahr insgesamt 48 Einzelparzellen angelegt (Versuchsplan siehe Anhang). Diese bestanden aus 24 Parzellenpaaren, die jeweils aus den Nutzungsrichtungen Silomais und Körnermais bestanden. In der Mitte wurden die beiden Nutzungsrichtungen jeweils von einer Maisreihe getrennt, die im frühen Stadium BBCH 14 mit einem Totalherbizid entfernt wurde. Der freie Bereich mit einer Breite von 1,50 m zwischen den verbliebenen Maisreihen wurde im weiteren Verlauf des Versuches als Fahrgasse für die Applikationstechnik genutzt.

Die Feldversuche an den Standorten Hohenschulen und Reding wurden in einem randomisierten Blockdesign mit vier Wiederholungen angelegt. Die einzelnen Parzellen bestanden dabei aus vier Maisreihen mit einer Länge von 10 m. Der Reihenabstand betrug 0,75 m, womit eine Brutto-Parzellengröße von 30 m² vorhanden war. Nur die mittleren beiden Reihen wurden als Silomais oder Körnermais mit einer Nettofläche von 15 m² pro Wiederholung pro Variante geerntet (Kernbeerntung). Die Ernte erfolgte maschinell mit einem Parzellenhäcksler für Silomais und einem Parzellendrescher für Körnermais.

3.3.2 Standorte des LfL-Projektes

Die Landessortenversuche (LSV) in Bayern dienen vorrangig zur Testung und Anbaueignung ausgewählter Maissorten an verschiedenen Standorten des heterogenen Naturraumes im Bundesland. In der vorliegenden Arbeit wurden die Körnermaissorten in drei Reifegruppen nach folgendem Schema unterteilt: Reifegruppen „früh“ (Versuchsnummer 340, bis Reifezahl K 220), „mittelfrüh“ (Versuchsnummer 341, Reifezahl K 230 bis K 250) und „mittelspät“ (Versuchsnummer 342, Reifezahl K 260 bis K 300).

Entsprechend der Reifegruppen wurden die Sorten an den jeweils geeigneten Standorten angebaut, um Erkenntnisse über die Verwendung in der Region zu gewinnen. Die Feldversuche wurden als Gitteranlage mit drei Wiederholungen angelegt. Eine Parzelle bestand aus vier Maisreihen, wobei nur die mittleren beiden Reihen für die Beerntung herangezogen wurden (Kernbeerntung).

3.4 Bonitur der Blattpathogene

Die Blattpathogene im Maisbestand wurden mit Hilfe von Boniturschemata auf ihre Befallsstärke pro Blatt geschätzt. Die verwendeten Boniturschemata der beiden Leitpathogene *Kabatiella zea* und *Exserohilum turcicum* sind in den Abb. 11 und Abb. 12 dargestellt. Die Bonitur der Blattfleckererreger in Epidemie-, bzw. Applikationsversuchen erfolgte im Versuchsjahr 2012 in den Stadien BBCH 34, 37, 55, 65, 75 und 85. Da dieses System die Befallsdynamik in der wichtigen Zeit nach der Blüte nur unzureichend darstellte, wurden die zeitlichen Boniturabstände ab dem Versuchsjahr 2013 in zweiwöchige Intervalle umgeändert. Zwecks strukturierter Bonitur wurde die Pflanze in drei Segmente unterteilt, wobei im mittleren Seg-

ment das Kolbenblatt des Hauptkolbens (L 0), sowie die zwei darüber liegenden Blätter (L 1 und L 2) und die zwei darunter liegenden Blätter jeweils einzeln auf prozentuale Befallsstärke aller auftretenden Blattpathogene und der abiotischen Nekrose bonitiert wurden. Die verbleibenden Blätter über und unter dem mittleren Teil wurden als Pflanzensegmente „oben“ und „unten“ zusammengefasst.

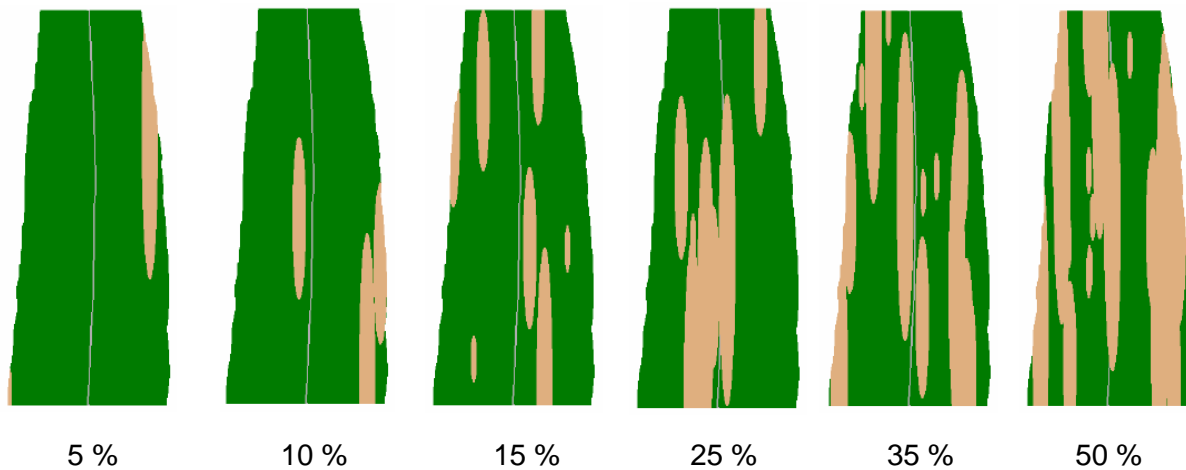


Abb. 11: Schema für die Bonitur der Befallsstärke des Maisblattpathogens *Exserohilum turcicum* (ESKER, 2010)

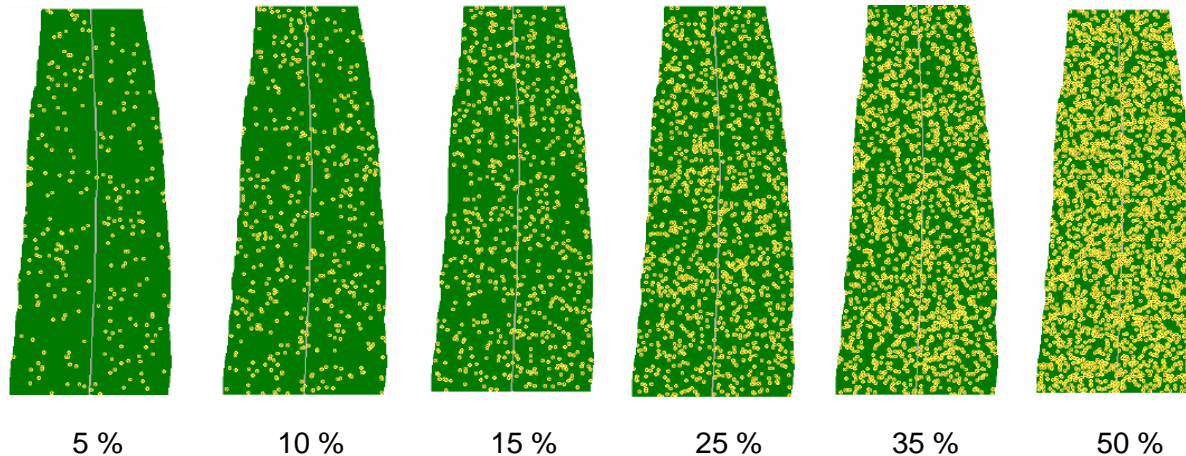


Abb. 12: Schema für die Bonitur der Befallsstärke des Maisblattpathogens *Kabatiella zeae* (ESKER, 2011)

Somit erhielten z.B. alle Blätter im oberen Pflanzensegment einen Boniturwert, der als Mittelwert aller vorhandenen Blätter geschätzt wurde. Vorteil dieses kombinierten Systems aus Einzelblattbonitur und Pflanzensegmentbonitur war die Konformität zur offiziellen Boniturvorgabe der European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO), die nur die Bonitur der mittleren fünf Blätter vorsieht (ANONYMUS, 2011b). Auf der anderen Seite konnte aber durch den Einbezug der Befallsstärken der Segmente „oben“ und „unten“ die Befallsdynamik des Blattpathogens besser abgebildet werden. Die Erfassung erfolgte dabei an zehn

Pflanzen pro Wiederholung, wobei in jeder Erntereihe jeweils fünf aufeinanderfolgende Pflanzen bonitiert wurden. Die erste Pflanze in jeder Reihe erhielt beim ersten Boniturtermin eine Markierung, mit der bei jeder Bonitur sichergestellt werden konnte, dass die gleichen Pflanzen bonitiert wurden.

Die Erforschung zur Verknüpfung zwischen der übergeordneten Einflussgröße Witterung und der hohen Dynamik von *K. zeae* im Maisbestand machte es ab dem Versuchsjahr 2013 notwendig, am Standort Hohenschulen ein weiteres Bonitursystem zu etablieren. Zur Erfassung der Progressionsphase des Erregers wurde zum einen das Bonitursintervall auf vier Tage verkürzt und zum anderen die Befallsstärke nicht prozentual, sondern anhand des Auszählens der Blattflecken auf jeder Blattetage festgehalten. Die Bonitur der Blattflecken erfolgte an fünf zufällig ausgewählte Pflanzen pro Wiederholung, bei vier Wiederholungen in einer randomisierten Blockanlage.

3.5 Maissorten und Anbauumfang

In den nachfolgenden Tabellen Tab. 13 und Tab. 14 werden die verwendeten Sorten aus den Jahren 2012 und 2013 dargestellt. In den beiden Versuchsjahren konnten nicht exakt dieselben Sorten verwendet werden. In der Reifegruppe früh wurden die Sorten „Amanatidis“, „NK Ravello“, „Silvinio“ und „Sulexa“ gegen die Sorten „Farmanager“, „Laurinio“, „LG 30222“ und

Tab. 13: Übersicht und Einteilung der verwendeten Maissorten und Standorte beim Sortenversuch 2012 in Bayern (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Reifegruppe	Sorte	Kornreifezahl	Standorte
340 Frühe Sorten	Amagrano	210	
	Amanatidis	220	
	NK Ravello	190	EHL, FRA, GÜN, NEU, REG, STR
	Ricardinio	220	
	Silvinio	210	
341 Mittelfrühe Sorten	Sulexa	220	
	Avixxene	250	
	Grosso	250	
	LG 3258	250	FRA, GÜN, INZ, NEU, SCU, SEN, STR, THA
	Lindsey	250	
	Luigi CS	240	
	Zidane	240	

Tab. 11: (Fortsetzung)

Reifegruppe	Sorte	Kornreifezahl	Standorte
342 Mittelspäte Sorten	DKC 4371	280	FRA, INZ, REI, SEN, STR, THA
	Lavena	260	
	Maxxis	290	
	Susann	280	
	Suzy	260	
	Torres	260	
Referenzsorten	RS 1	160	alle Standorte, außer REI
	RS 2	240	

„Sunshinos“ getauscht. In der Reifegruppe mittelfrüh wurde lediglich für die Sorte „Zidane“ aus 2012 die Sorte „P8400“ verwendet. Die Sorten „DKC 4371“ und „Lavena“ wurden gegen „KWS 9361“ und „P9494“ gewechselt. Zur Beurteilung und zum Vergleich des regionalen Befallsdrucks mit Maispathogenen wurden zwei Referenzsorten (RS 1 und RS 2) verwendet. Außer am Standort Thann in 2013 wurden sie in beiden Jahren an allen Standorten zusätzlich zum Sortensortiment angebaut.

Tab. 14: Übersicht und Einteilung der verwendeten Maissorten und Standorte beim Sortenversuch 2013 in Bayern (Fortsetzung auf nächster Seite)

Reifegruppe	Sorte	Kornreifezahl	Standorte
340 Frühe Sorten	Amagrano	210	EHL, FRA, GÜN, REG, STR, THA
	Farmanager	220	
	Laurinio	200	
	LG 30222	220	
	Ricardinio	220	
	Sunshinos	210	
341 Mittelfrühe Sorten	Avixxene	250	EUE, FRA, GÜN, INZ, REI, STR, THA
	Grosso	250	
	LG 3258	250	
	Lindsey	250	
	Luigi CS	240	
	P8400	240	

Tab. 14: (Fortsetzung)

Reifegruppe	Sorte	Kornreifezahl	Standorte
342 Mittelspäte Sorten	KWS 9361	280	INZ, REI, STR
	P9494	280	
	Maxxis	290	
	Susann	280	
	Suzy	260	
	Torres	260	
Referenzsorten	RS 1	160	alle Standorte, außer THA
	RS 2	240	

Für das Projekt der zur Epidemiologie und der terminierten Fungizidanwendungen an den Standorten Hohenschulen und Reding wurde die Sorte „Lorado“ (ca. S 170, K 160) von Limagrain angebaut.

3.6 Fungizide und Applikationstechnik

Das Fungizid Retengo® Plus wird von der BASF SE in Deutschland als Mittel mit protektiver und kurativer Wirkung zur Bekämpfung des Erregers der Blattdürre an Mais, *Exserohilum turcicum*, seit der Saison 2014 vertrieben. Es enthält die Wirkstoffe Pyraclostrobin (133 g/l) und Epoxiconazol (50 g/l). Der Wirkstoff Pyraclostrobin hemmt neben der Sporenkeimung und der Ausbildung von Infektionsstrukturen auch das Myzelwachstum, was im Endeffekt die Sporulation des Erregers und die damit verbundene Verbreitung stark beeinträchtigt (ANONYMUS, 2013). Der Wirkort des Pyraclostrobins liegt in der Atmungskette, genauer im Komplex III im Cytochrom bc1, wo es den Elektronentransport an der Außenseite blockiert (BALBA, 2007), weshalb man diese Wirkstoffgruppe auch als Quinone outside inhibitors (Qoi) bezeichnet. Die Aufnahme des Wirkstoffs erfolgt über das Blatt, nur kleine Mengen des Wirkstoffs werden im Xylem der Pflanze verlagert. Somit zeigt sich die Aktivität des Wirkstoffs vorwiegend lokalsystemisch und translaminar (ANONYMUS, 2013).

Der Wirkstoff Epoxiconazol zeichnet sich durch eine gute Aufnahme und systemische Verteilung innerhalb der Pflanze aus (AKERS et al., 1990). Er ist ein starker Inhibitor der C₁₄-Demethylase, weshalb die Wirkstoffgruppe der Triazole auch als Demethylaseinhibitoren (DMI) bezeichnet wird. Die C₁₄-Demethylasen katalysieren einen wichtigen Zwischenschritt der Ergosterolbiosynthese (HALLMANN et al., 2007). Epoxiconazol ist ein Breitbandfungizid vor allem gegen Blattflecken an Getreide (KRÄMER & SCHIRMER, 2007).

Zur Ausbringung des Fungizids auch bei hohen Maisbeständen wurde im Jahr 2012 eine Maisversuchsspritze komplett neu entwickelt (Abb. 13). Zur Einhaltung einer konstanten Ge-

schwindigkeit bei der Applikation wurde ein Trägersystem verwendet, das aus einem Einachsschlepper (5,6 PS) mit Anhänger bestand. Mit dem aufgebauten Mast kann Mais mit einer Höhe von 0,7 bis 4,0 m appliziert werden, wobei die Höhenverstellung stufenlos durch eine Bedienperson durchgeführt werden kann. Es werden beide Nutzungsrichtungen parallel mit dem 2 x 3,0 m breiten Gestänge behandelt, eine einseitige Abschaltung des Gestänges ist aber auch möglich. Für die Lagerung und Zuleitung der Spritzbrühe zum Gestänge wurde Drucklufttechnik benutzt, die in herkömmlichen Versuchsspritzen standardmäßig verbaut ist. Die erste Applikation zu BBCH 34 erfolgte dabei mit 2,0 bar Druck, 3,6 km/h Fahrgeschwindigkeit und einer Wasseraufwandmenge von 200 l/ha. Bei späteren Applikationen wurde die Wasseraufwandmenge auf 400 l/ha erhöht, um eine nahezu vollständige Durchdringung des Maisbestandes mit der Spritzbrühe zu gewährleisten.



Abb. 13: Neu entwickelte Versuchsspritze zur Applikation von Mais in einem Bereich von 0,7 bis 4,0 m Höhe

3.7 Probenaufbereitung und Trockenmassebestimmung

Von den maschinell geernteten Silo-, bzw. Körnermaisproben wurde jeweils 1 kg Frischmasse aus dem Gutfluss der Erntemaschine entnommen und in luftdurchlässigen Crispac-Beuteln im Trockenschrank bei 60°C getrocknet.

Die Trockenmassebestimmung der Silomaisproben zur Ertragsfeststellung orientierte sich an den „Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen“ (ANONYMUS, 2008b). Dabei wurde vor und nach der Trocknung im Trockenschrank das Gewicht der Probe bestimmt. Das getrocknete Erntegut wurde im Anschluss mit der Rottorschnellmühle auf eine Partikelgröße von 1,0 mm vermahlen. Aus dieser Probe wurden zwei mal 10 g im Trockenschrank bei 105°C getrocknet, im Exsikkator abgekühlt, rückgewogen und der Mittelwert beider Probengewichte gebildet. Aus den vier Werten der Wiegeungen wurde als letzter Schritt der Trockensubstanzgehalt (TS) in % nach folgender Formel berechnet:

Tab. 15: Formel zur Bestimmung der Trockensubstanzgehaltes in Silomaisproben

	A = Frischmasse der Ernteprobe
	B = Masse der Ernteprobe nach 1. Trocknung
TS (%) = B * D * 100 / (A * C)	C = Einwaage der gemahlene Probe
	D = Auswaage der gemahlene Probe nach 3 h bei 105°C

Die auf 1,0 mm vermahlene Proben konnten ebenfalls für die Mykotoxinextraktion verwendet werden.

Analog zu den Silomaisproben wurden auch die Körnermaisproben in luftdurchlässigen Crispac-Beuteln im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Vor und nach der Trocknung wurde die Masse jeder Probe bestimmt. Mit den Werten der Ein- und Auswaage konnte zunächst der Rohertrag der einzelnen Probe berechnet werden. Mit einem geeichten Feuchtigkeitsmessgerät wurde im Anschluss bei jeder Probe die Restfeuchte bestimmt und anhand folgender Formel der Ertrag auf einer einheitlichen Basis von 14,0 % Feuchtigkeit berechnet:

Tab. 16: Formel zur Bestimmung des Ertrages bei Körnermais mit einer Basisfeuchte von 14 %

	E = Ertrag (auf Basis von 14 % Restfeuchte)
E = (RE * (100 – F)) / 86	RE = Rohertrag mit gemessener Restfeuchte
	F = Restfeuchte [%]

3.8 Materialien zur Laboranalyse

3.8.1 Technische Geräte und Verbrauchsmaterialien

Verwendete technische Geräte und Verbrauchsmaterialien für die Analyse von Mykotoxinen (Ordnung nach Reihenfolge des Gebrauchs)

Bezeichnung/Fabrikat	Hersteller	Ort/Land
Feuchtemesser HE 60	Pfeuffer GmbH	Kitzingen, GER
Rotormühle Pulverisette 14	Fritsch	Idar-Oberstein, GER
Faltenfilter MN 615 ¼, 125 mm	Macherey-Nagel GmbH	Düren, GER
MycoSep® 226 AflaZon+	Romer Labs®	Union, MO, USA
Horizontalschüttler	Edmund Bühler GmbH	Hechingen, GER
Vortex Genie Mixer 2	Eydam KG	Kiel, GER
Einmalspritze, 5 ml	Braun AG	Melsungen, GER
Spritzenfilter, 13 mm	VWR	West Chester, PA, USA
Vacuum Pump V700	BÜCHI Labortechnik AG	Flavil, CH
Vakuumentrifuge S Concentrator BA-VC-300H	H. Saur Laborbedarf	Reutlingen, GER
Zentrifuge Biofuge pico	Heraeus	Osterode, GER
Zentrifuge Centrifuge 5804R	Eppendorf	Hamburg, GER
Ultraschallbad Sonorex Super RK 103 H	Bandelin electronic	Berlin, GER
LC/MS 500-MS IT Massen- spektrometer	Varian Inc.	Palo Alto, CA, USA
Polaris 5 C18-A-Säule (150 x 3,0 mm)	Varian Inc.	Palo Alto, CA USA

3.8.2 Chemikalien

Verwendete Chemikalien für die Analyse von Mykotoxinen und *Fusarium*-DNA

Bezeichnung	Hersteller	Ort/Land
Acetonitril (LC/MS-Grade)	VWR	West Chester, PA, USA
Acetonitril (HPLC-Grade)	VWR	West Chester, PA, USA
Natriumchlorid (p. a.)	Carl Roth GmbH & Co. KG	Karlsruhe, GER
Stickstoff (flüssig)	Linde	Höllriegelskreuth, GER
VE-Wasser (HPLC-Grade)	VWR	West Chester, PA, USA
n-Hexan	VWR	West Chester, PA, USA
VE-Wasser (LC/MS-Grade)	VWR	West Chester, PA, USA
Deoxynivalenol	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH	Taufkirchen, GER
Zearalenon	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH	Taufkirchen, GER

3.9 Mykotoxinanalyse

Für die Mykotoxinextraktion aus Silo- und Körnermais wurden 10 g des gemahlene Probenmaterials in einen 250 ml Erlenmeyerkolben eingewogen und mit 50 ml (70 ml bei Silomais) Extraktionsmittel (4:1, Acetonitril:H₂O) 60 min auf einem Horizontalschüttler extrahiert. Im Fall des Körnermaises wurden nach der Filtration über einen Faltenfilter 20 ml des Filtrats in ein 50 ml Zentrifugenbecher überführt und mit 10 ml Hexan gevortext. Nach der anschließenden Phasentrennung (nach ca. 10 - 15 Minuten) wurde die untere Phase in einen neuen 50 ml Zentrifugenbecher mit 1 g NaCl überführt und wieder gevortext. Bei der Extraktion aus Silomais wurde der Hexan-Schritt weggelassen und das Filtrat sofort in das neue Gefäß mit 1 g NaCl überführt und gevortext.

Bei beiden Nutzungsrichtungen wurden nach der erneuten Phasentrennung 8 ml des Überstandes in ein Reagenzglas überführt und mittels MycoSep[®]226 AflaZon+ Columns aufgereinigt, wobei der Inhalt des Reagenzglases innerhalb von mindestens 30 Sekunden durch die Aufreinigungssäule gedrückt wurde. Das Eluat wurde mittels einer Einmalspritze durch einen 0,2 µm Spritzenfilter filtriert und 4,5 ml des Filtrats in ein 15 ml Zentrifugenbecher pipettiert. Mittels Vakuumzentrifuge wurde das Filtrat bei 60°C und 800 rpm auf ca. 0,1 ml eingedampft. Die Restflüssigkeit wurde in ein 1,5 ml Reaktionsgefäß überführt und der Zentrifugenbecher zweimal mit 100 µl Acetonitril (HPLC) gespült, wobei der Spülschritt aus der Zugabe von 100 µl Acetonitril (HPLC) mit anschließendem Vortexen bestand. Die Flüssigkeit wurde im Anschluss bis zur vollständigen Trocknung eingedampft. Danach wurde die Probe mit 60 µl Acetonitril (HPLC) aufgenommen, gevortext und für 15 min zur Lösung der Probe in ein Ultraschallbad gegeben. Dann wurden die Reaktionsgefäße gevortext, bei 11 000 rpm 1 min zentrifugiert, 50 µl der Probe aus den Reaktionsgefäßen in LC/MS Proben-Vials überführt und 10 µl zur Analyse in das LC/MS-System injiziert. Für die spätere Quantifizierung wurden zu jeder Charge jeweils eine Standardprobe, die keine Toxine enthielt, mit jeweils 50 nmol DON und 10 nmol ZEA versetzt.

Die Quantifizierung der Mykotoxine DON und ZEA erfolgte mittels Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometrie Kopplung (Liquid Chromatography Mass Spectrometry, LC/MS) nach der Standardmethode des Instituts für Phytopathologie, Kiel (BIRR, 2013).

3.10 Differentialdiagnose der Blattpathogene im Labor

Zur einwandfreien Diagnose der Blattpathogene musste zu Beginn des Projektes und in unregelmäßigen Abständen zwischendurch Laboruntersuchungen durchgeführt werden. Aus den betreffenden Maisblättern wurden kleine Stücke ausgeschnitten und zur Inkubation in eine feuchte Kammer bei Raumtemperatur gelegt. Die feuchte Kammer bestand dabei aus einer Petrischale, die mit zwei Lagen Filterpapier und einem Kunststoffnetz ausgelegt war. Das Filterpapier wurde zu Beginn der Inkubation mit VE-Wasser befeuchtet. Eine Oberflächenste-

rilisation der Maisblattproben war in der Regel nicht notwendig. Die Kontrolle auf gewachsenen Pilzstrukturen auf den Blättern erfolgte 12-stündig. Wurden mit dem Binokular etwaige Myzelbestandteile gefunden, konnte mit Hilfe einer Nadel eine Probe der Strukturen auf einen Objektträger gegeben werden. Anhand der Größe und der sonstigen, äußeren Merkmale konnten die einzelnen Blattfleckenerreger differenziert werden (Abb. 14).

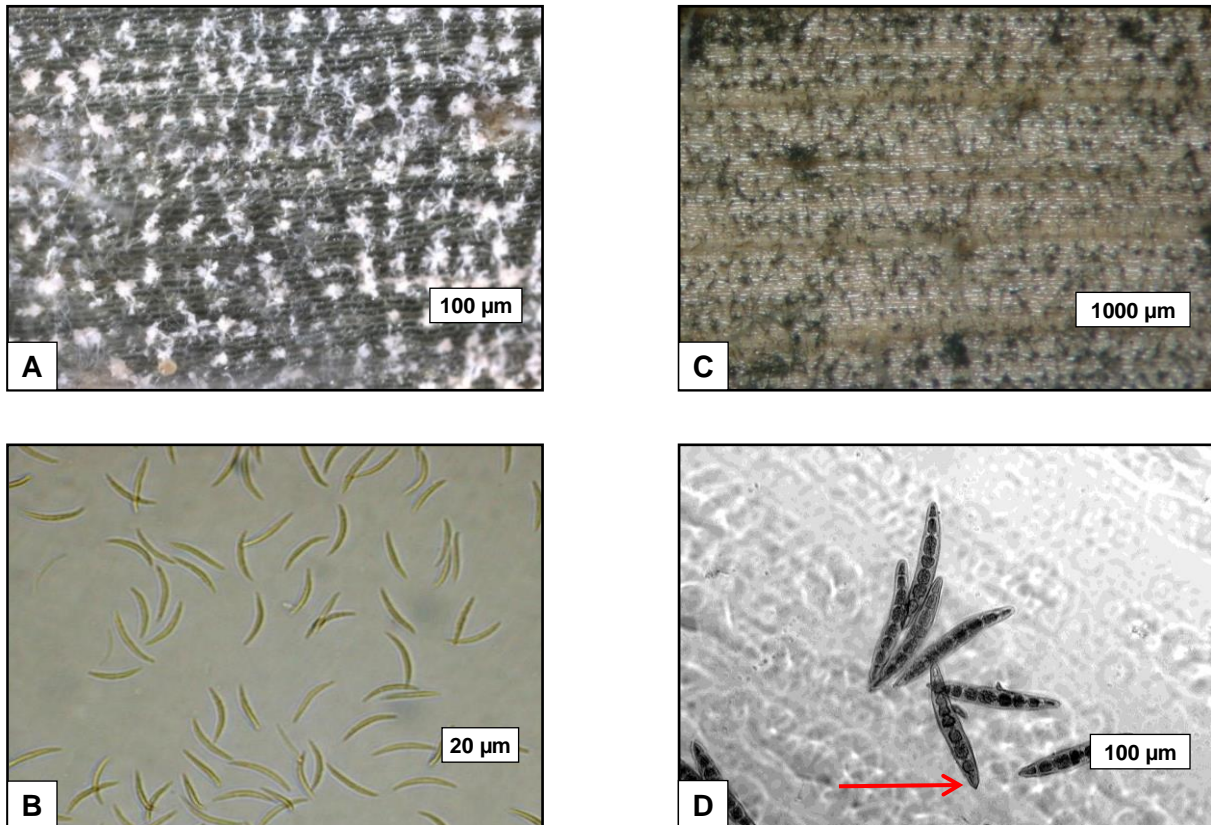


Abb. 14: Binokular- bzw. Mikroskopansicht der Blattpathogene *Kabatiella zeae* (A, B) und *Exserohium turcicum* (C, D); bei *K. zeae* sind die sichelförmigen, hyalinen, unseptierten Konidien ein Unterscheidungsmerkmal; bei *E. turcicum* können die rel. großen Konidien vor allem wegen des deutlich hervortretenden Hylums (Pfeil) von anderen Arten unterschieden werden

3.11 Statistische Analysen

Die Verarbeitung der Daten, sowie die Erstellung eines Großteils der Grafiken erfolgten mit dem Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel 2013“. Weitere spezielle Grafiken konnten mit dem Programm „SigmaPlot 13.0“ erstellt werden.

Grundlegende statistische Elemente, wie die Berechnung des Mittelwertes, der Standardabweichung und Regressionen mit zwei Faktoren wurden ebenfalls mit „Microsoft Excel 2013“ berechnet.

Weiterführende Statistik wurde mit dem Programm „R 3.1.3“ durchgeführt. Je nach Fragestellung wurde dabei zunächst ein gemischtes, statistisches Modell definiert (LAIRD & WARE, 1982; VERBEKE & MOLENBERGHS, 2000). Die Annahme der Normalverteilung beruhte dabei

auf einer grafischen Residien-Analyse. Je nach Relevanz wurden Kovariablen in das Modell mit aufgenommen. Es folgte eine Varianzanalyse (ANOVA), bzw. eine Kovarianzanalyse (ANCOVA). Letztendlich folgten multiple Kontrasttest um die verschiedenen Werte miteinander zu vergleichen (SCHAARSCHMIDT & VAAS, 2009; BRETZ et al., 2011). Je nach Fragestellung wurde dabei die Signifikanz zur unbehandelten Kontrolle getestet (z.B. Fungizidversuche), oder alle Werte untereinander verglichen (z.B. Sortenversuche). Bei Letzteren können die Werte, die mit einem gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, nicht signifikant voneinander unterschieden werden ($P > 0,05$).

4. Ergebnisse

Der Ergebnisteil dieser Arbeit gliedert sich anhand der Versuchsstandorte. Der zunächst in Kapitel 4.1 behandelte Standort Hohenschulen steht vor allem für die epidemiologischen Untersuchungen am Blattpathogen *Kabatiella zea*. Außerdem wurde an diesem Standort ein Versuch mit stadienorientierten Fungizidapplikationen durchgeführt, der neben den Auswirkungen auf das Blattpathogen, die Folgen für die Mykotoxingehalte im Silo- und Körnermais zur Ernte skizzieren sollte. Exakt derselbe Versuchsaufbau wurde am Standort Reding (Kap. 4.2) durchgeführt, wobei das Hauptaugenmerk auf dem Blattpathogen *Exserohilum turcicum* lag. Darüber hinaus wurden ebenfalls Untersuchungen zu etwaigen Auswirkungen einer Fungizidbehandlung auf den Toxingehalt im Erntegut durchgeführt. Das letzte Ergebniskapitel 4.3 beschäftigt sich mit einer Gruppe von Versuchsstandorten in Bayern, von denen in den Jahren 2012 und 2013 Proben des Erntegutes Körnermais für die Mykotoxinanalyse zur Verfügung standen. Weiterhin werden in diesem Kapitel Berechnungen mit Hilfe von Daten der LfL angestellt, die über die Analysejahre 2012 und 2013 hinausgehen.

4.1 Versuchsstandort Hohenschulen (Schleswig-Holstein 2012 – 2014)

4.1.1 Witterung Hohenschulen

Die Darstellung der Witterungsverläufe erfolgt anhand der Parameter „Temperatur“ und „Niederschlag“ im Vegetationszeitraum des Maises von April bis Oktober. Die Grafiken basieren dabei einerseits auf Tagesmitteltemperaturen bzw. Tagesniederschlagssummen, bei denen die für *Fusarium*-Infektionen wichtige Phase der Blüte eingezeichnet wurde. Andererseits werden Monatsmittelwerte genutzt, um die Daten aus den Versuchsjahren 2012 - 2014 anhand von langjährigen Mittelwerten (LMW) naheliegender Wetterstationen einzuordnen. Der Witterungsverlauf für das Jahr 2012 zeigte eine kontinuierliche Verteilung der Regenmengen, wobei keine Woche ohne Niederschlagsereignis aufgezeichnet wurde (Abb. 15).

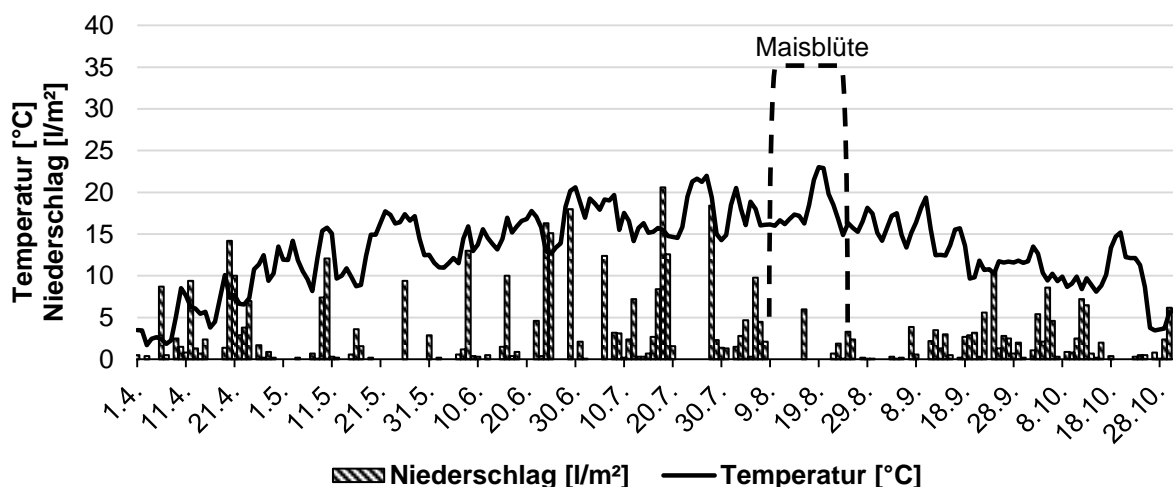


Abb. 15: Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2012 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

Lag die Temperaturdifferenz im April noch um 1,6°C niedriger gegenüber den LMW der Station Ostenfeld bei Rendsburg, konnte im Mai eine um 1,3°C höhere Monatsmitteltemperatur am Standort Hohenschulen gemessen werden (Abb. 16).

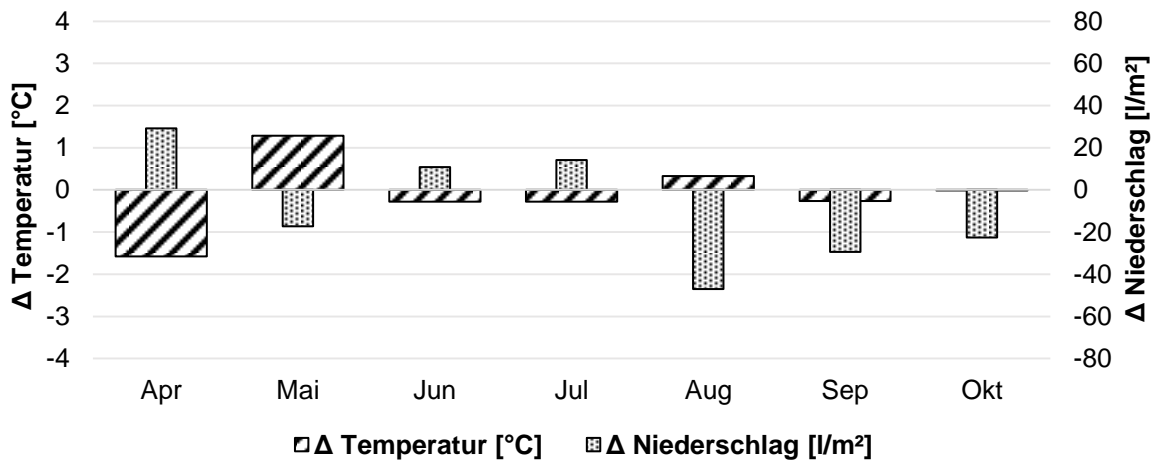


Abb. 16: Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2012 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostenfeld bei Rendsburg

Die Niederschlagsdifferenzen verhielten sich in den Startmonaten der Maisvegetation mit +29,2 l/m² und -17,3 l/m² gegensätzlich zu den Temperaturdifferenzen. Ab Juni konnte im Fall der Temperaturdifferenzen ein durchschnittliches Jahr festgestellt werden, dass nur geringe Abweichungen zum LMW aufwies. Dahingegen wurden für die Niederschlagsdaten besonders im August mit -47,1 l/m² hohe Defizite gemessen. Somit ergab sich auch für die gesamte Vegetationsperiode von April bis Oktober mit 440,1 l/m² ein um 62,2 l/m² niedrigerer Niederschlagswert als im LMW gemessen wurde (Tab. 18). Zum Stadium der Maisblüte vom 10.08.2012 bis 24.08.2012 konnten eine Durchschnittstemperatur von 18,2°C und eine Niederschlagssumme von 8,7 l/m² ermittelt werden (Tab. 17).

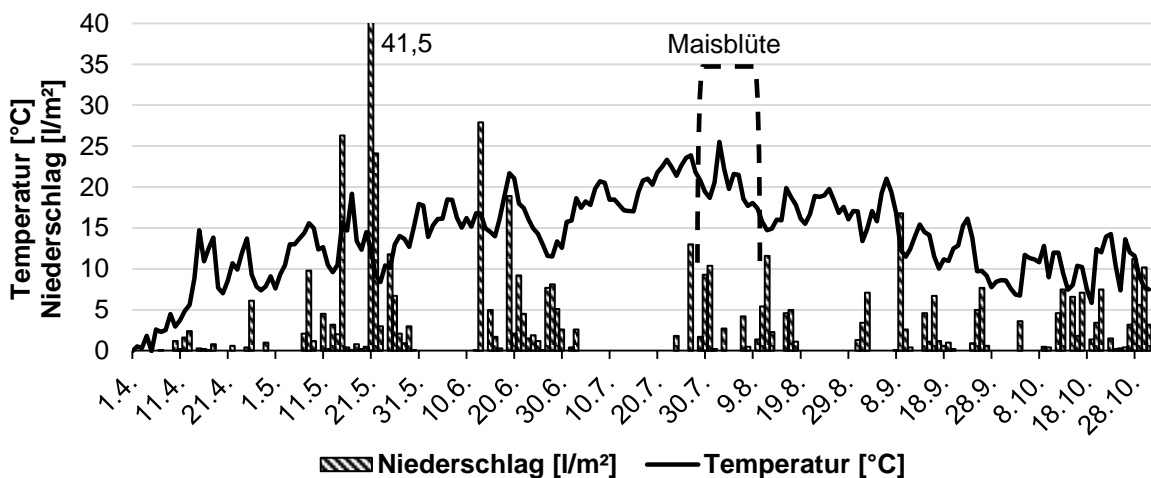


Abb. 17: Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2013 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

4. Ergebnisse

Der Witterungsverlauf aus dem Jahr 2013 vom Standort Hohenschulen (Abb. 17) zeigte gegenüber dem Jahr 2012 einige Unterschiede, besonders im Hinblick auf die Verteilung der Niederschläge. Im Monat Mai fielen dabei 87,9 l/m² mehr, als im LMW vorgegeben (Abb. 18), mit der höchsten Tagesniederschlagsmenge am 21.05. mit 41,5 l/m².

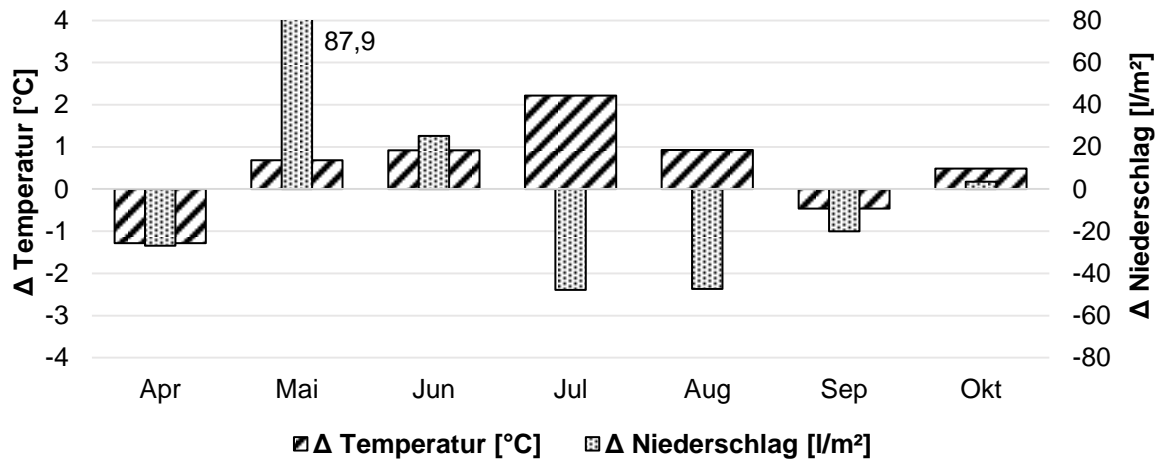


Abb. 18: Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2013 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostfeld bei Rendsburg

Nach dieser Periode mit starken Niederschlägen konnte in der ersten Dekade des Monats Juni eine trockene Phase beobachtet werden, die wieder von einer relativ niederschlagsreichen Phase in der zweiten und dritten Juni-Dekade abgelöst wurde. Die Monate Juli und August wiesen wiederum abwechselnde Phasen von Trockenheit und Niederschlägen auf, wobei in beiden Fällen die langjährigen Mittelwerte um 47,7 l/m² für Juli und 47,3 l/m² für August unterschritten wurden. Trotz dieser Tatsache fielen in der Phase der Maisblüte am Versuchsstandort Hohenschulen vom 28.07. bis 11.08.2013 35,8 l/m² Niederschlag (Tab. 17). Im Vergleich zum LMW konnte in der Vegetationsperiode 2013 mit 477,2 l/m² 25,1 l/m² weniger Niederschlag gemessen werden (Tab. 18).

Tab. 17: Witterungsdaten in der Phase der Maisblüte von BBCH 63 (Spitzen der Narbenfäden) bis BBCH 67 (Narbenfäden beginnen zu vertrocknen) in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen

Jahr	Beginn	Ende	Mittelwert Temperatur [°C]	Summe Niederschlag [l/m ²]
2012	10.08.	24.08.	18,2	8,7
2013	28.07.	11.08.	20,0	35,8
2014	20.07.	03.08.	22,0	8,2

Waren die Durchschnittstemperaturen im Monat April des Jahres 2013 noch um 1,3°C kälter als die des LMW, so wurden ab Mai bis August jeweils höhere Werte gemessen, wobei der

Monat Juli mit 2,2°C deutlich wärmer war. Hohe Temperaturen zeigten sich auch während der Maisblüte mit Durchschnittstemperaturen von 20,0°C. In dieser Phase fiel auch der 02.08.2013, der mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von 25,5°C der heißeste Tag der dreijährigen Versuchsserie am Standort Hohenschulen war.

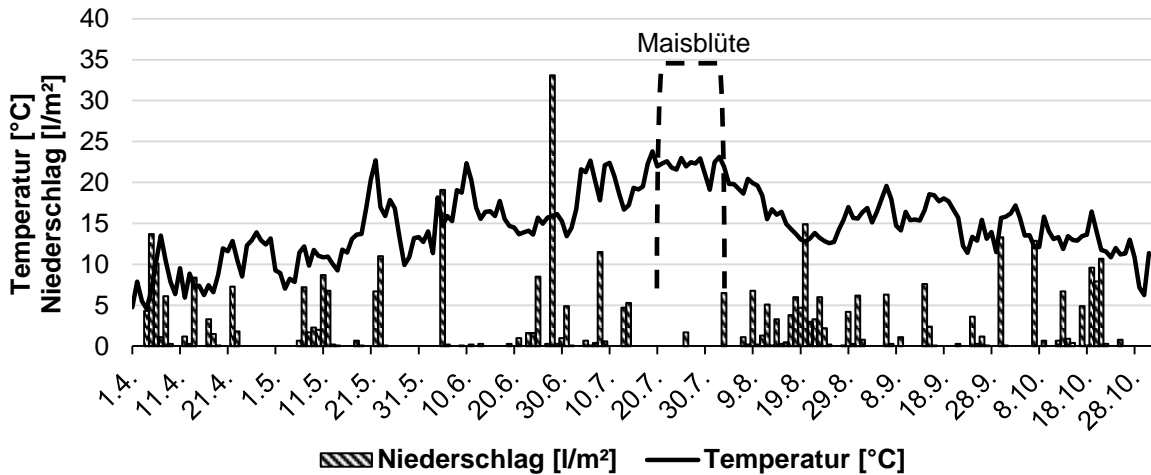


Abb. 19: Witterungsverlauf am Standort Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2014 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlags-summen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

Der Witterungsverlauf des Jahres 2014 zeigte zu Beginn der Vegetationsphase des Maises am Standort Hohenschulen ein heterogenes Auftreten von Niederschlagsereignissen (Abb. 19), die in den Monaten April bis Juni nur gering von den durchschnittlichen Niederschlags-mengen des LMW abwichen (Abb. 20). Auch die Temperaturen lagen trotz einer warmen Phase mit Tagesdurchschnittstemperaturen von über 20,0°C während der dritten Juni-dekade im Monatsmittel nur gering über dem LMW.

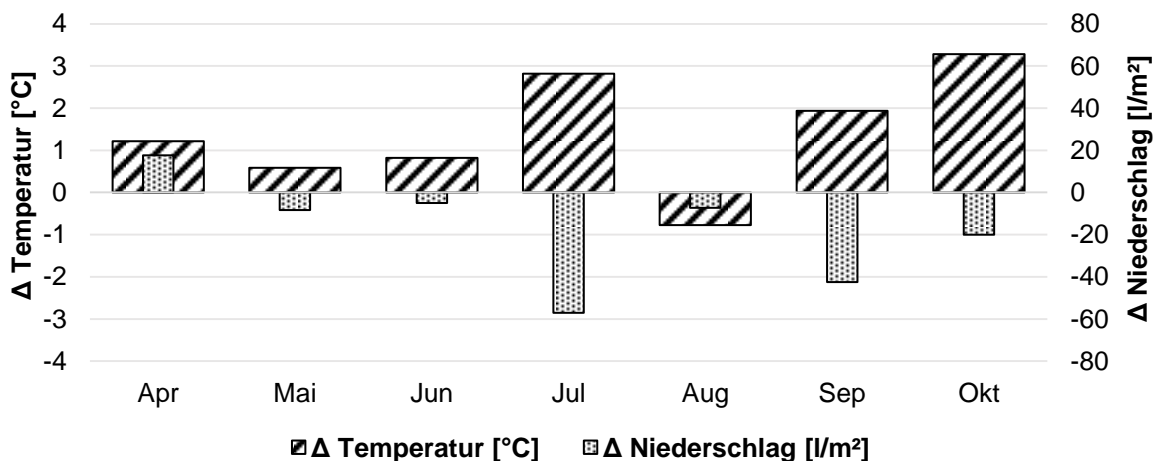


Abb. 20: Witterung am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2014 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Ostentfeld bei Rendsburg

4. Ergebnisse

Tab. 18: Durchschnittstemperatur und Niederschlagssumme des Versuchsstandortes Hohenschulen in der Vegetationsperiode des Mais vom 01.04.-31.10. aus den Jahren 2012 – 2014 im Vergleich zu den LMW der Station Osterfeld bei Rendsburg

Jahr	Mittelwert Temperatur [°C]	Veränderung zu LMW [°C]	Summe Niederschlag [l/m ²]	Veränderung zu LMW [l/m ²]
2012	13,2	+ 0,1	440,1	- 62,2
2013	13,8	+ 0,5	477,2	- 25,1
2014	14,7	+ 1,4	379,8	- 122,5

Der Juli 2014 zeigte mit +2,8°C und -57,0 l/m² hohe Abweichungen zum LMW. In die warme und trockene Witterung fiel auch die Maisblüte 2014, die mit 22,0°C Durchschnittstemperatur und 8,2 l/m² vom 20.07. bis 03.08.2014 datiert wurde. Mit Ausnahme des Monats August zeigte auch der Rest der Vegetationsphase 2014 am Standort Hohenschulen überdurchschnittliche Temperaturen und damit einhergehend eher geringe Niederschlagsmengen im Vergleich zum LMW. In der Gesamtansicht hatte die Vegetationsphase 2014 mit 379,8 l/m² ein Defizit von 122,5 l/m² gegenüber dem LMW, wohingegen die Durchschnittstemperatur mit 14,7°C um 1,4°C höher lag (Tab. 18).

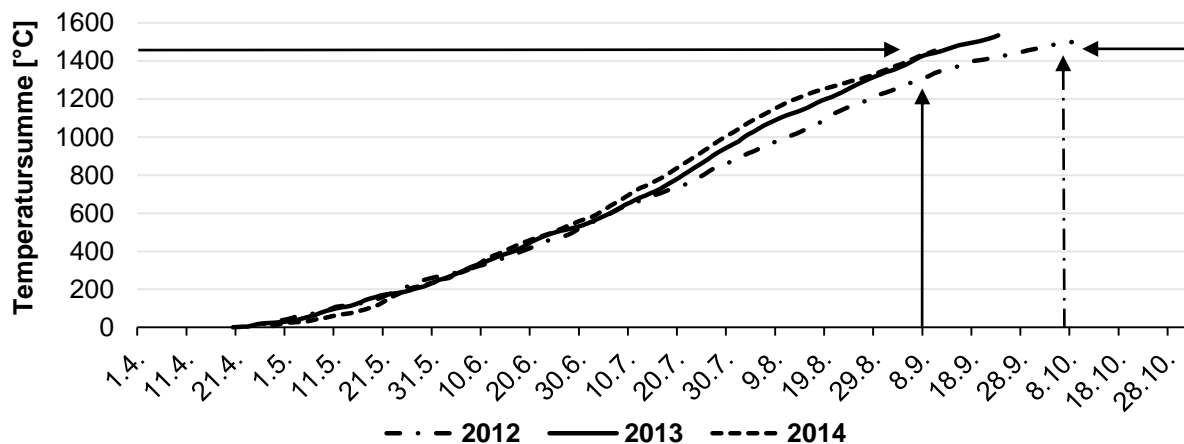


Abb. 21: Verlauf der Temperatursummen am Versuchsstandort Hohenschulen in den Jahren 2012 – 2014 von der jahresspezifischen Aussaat bis zur Silomaisenernte, Pfeile zeigen optimalen theoretischen Erntetermin für frühe Silomaisorten bei ca. 1430°C (ANONYMUS, 2015p), das Ende der Graphen zeigt den jahresspezifischen, realen Erntetermin

Zur Veranschaulichung des Verlaufes der Pflanzenentwicklung kann die Temperatursumme ab der jahresspezifischen Aussaat des Mais am Versuchsstandort Hohenschulen betrachtet werden (Abb. 21). Bis zur dritten Junidekade konnte trotz leicht variierender Aussattermine (vgl. Tab. 7) eine annähernd gleiche Verlaufskurve über die Jahre festgestellt werden. Ab diesem Zeitpunkt waren die Steigungen der Jahre 2013 und insbesondere von 2014 steiler als die Verlaufskurve des Jahres 2012. Die optimalen theoretischen Erntetermine für Silomais bei ca. 1430°C wurden in den Jahren 2013 und 2014 ca. 4 Wochen früher erreicht als im Versuchsjahr 2012.

4.1.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten

Zu Beginn des Kapitels über die Ergebnisse der Blattbonituren am Standort Hohenschulen, soll zunächst ein Überblick über die dort vorgefundenen Blattpathogene gegeben werden. Eine Aussage darüber kann die Betrachtung der Befallshäufigkeit im Bestand (BHB) geben, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Vegetationsverlauf der Pflanze erfasst wird. Abb. 22 zeigt das Auftreten der Pathogene *Kabatiella zae* (KAB), *Phoma zae-maydis* (PHO) und *Exserohilum turcicum* (TUR) als Mittelwert der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ zum Entwicklungsstadium BBCH 75 in den Jahren 2012 - 2014. Das Pflanzensegment „unten“ wurde dabei außer Acht gelassen, da zu dem relativ späten Zeitpunkt bereits ein Großteil der unteren Blattetage nekrotisiert gewesen ist und der Einbezug dieser Daten zu verfälschten Ergebnissen im Bezug zu dem Auftreten einer Krankheit führen kann. Für die Übersicht wurde das Stadium der Milchreife (BBCH 75) gewählt, da es zum späteren Termin der Silomaisenernte je nach Befallsstärke mit einzelnen Pathogenen bereits zu einer vorzeitigen Nekrose des mittleren und oberen Pflanzenapparates kommt, dessen befallene Bereiche dann nicht mehr einwandfrei einer Blattkrankheit zugeordnet werden können.

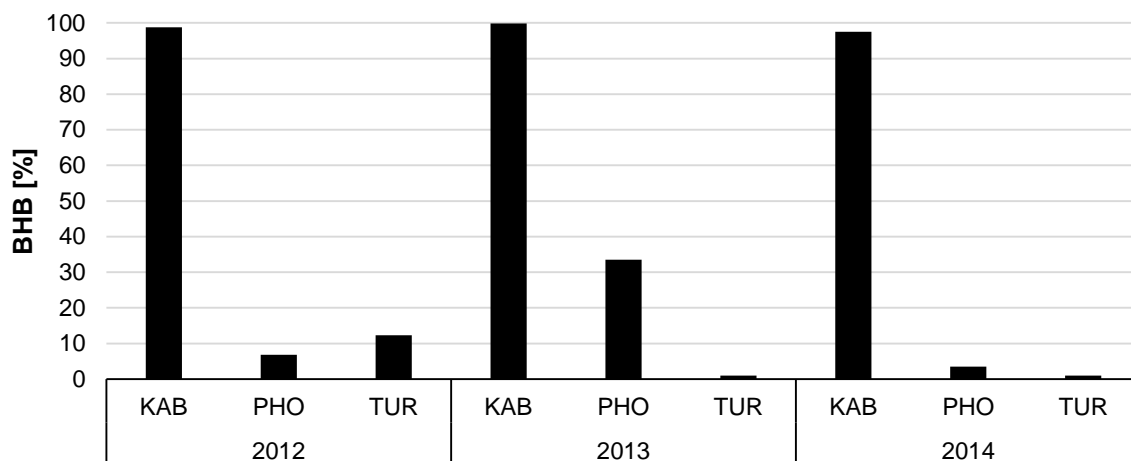


Abb. 22: Befallshäufigkeit der Blattpathogene *Kabatiella zae* (KAB), *Phoma zae-maydis* (PHO) und *Exserohilum turcicum* (TUR) als Mittelwert der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt BBCH 75 in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen

K. zae (KAB) ist mit $\geq 97,5$ % BHB in allen Versuchsjahren die dominierende Blattkrankheit. *P. zae-maydis* (PHO) zeigt zwar in 2013 mit 33,5 % BHB ein erhöhtes Auftreten in den unbehandelten Kontrollen, bleibt aber in den Jahren 2012 und 2014 jeweils unter 10,0 % BHB auf den ertragsrelevanten Blattetagen, wozu die Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ zählen. Die eher in Süddeutschland vorkommende Blattkrankheit *E. turcicum* (TUR) hatte im Jahr 2012 am Versuchsstandort Hohenschulen eine BHB von über 10,0 %, konnte in den folgenden Jahren allerdings nicht mehr dieser Wert erreichen. Im Gegensatz zu den flächig-vertretenen Blattkrankheiten *K. zae* und *P. zae-maydis*, d.h. die gesprenkelten Flecken waren über das gesamte Versuchsfeld relativ homogen verteilt, trat *E. turcicum* eher nesterweise im Bestand auf. Trotz dieser Ausbreitungsform wurde neben den Befallshäufigkeiten in

den Kontrollvarianten kein nennenswerter Befall mit dieser Blattkrankheit bonitiert. Aufgrund der geringen Bedeutung der Blattkrankheitserreger *P. zeae-maydis* und *E. turcicum* am Standort Hohenschulen, wird sich der weitere Verlauf der Ergebnisdarstellung auf das Maisblattpathogen *K. zeae* beziehen.

4.1.3 Populationsdynamik von *Kabatiella zeae*

In Abb. 23 erfolgt die Darstellung der Befallsverläufe von *K. zeae* als BSB der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den Jahren 2012, 2013 und 2014. Zunächst muss darauf hingewiesen werden, dass der letzte Datenpunkt im Jahr 2012, anders als in den beiden Folgejahren, bereits zu BBCH 75 gesetzt wurde. Der Grund liegt in der fortgeschrittenen Nekrotisierung der Kontrollvariante, die im Entwicklungsstadium BBCH 85, dem Termin der Silomaiserte, einen hohen Wert erreichte, wodurch der vollständige, prozentuale Blattbefall von *K. zeae* nicht mehr erfasst werden konnte. Die Befallsverlaufskurve für *K. zeae* wäre von Termin BBCH 75 zu Termin BBCH 85 gefallen, was anhand der Biologie eines perthotrophen Erregers nicht möglich ist.

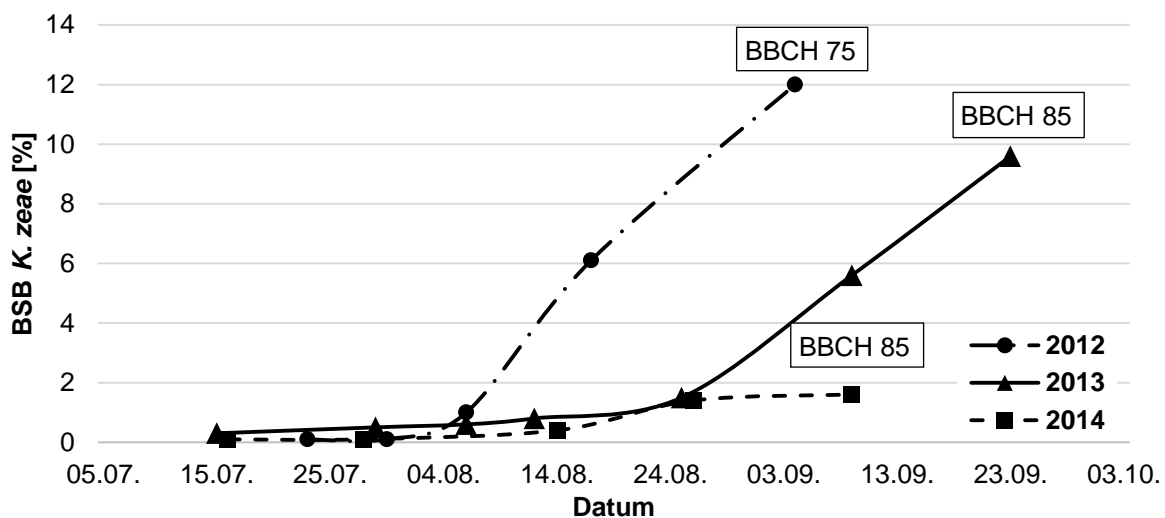


Abb. 23: Befallsverläufe der Blattkrankheit *K. zeae*, dargestellt als Mittelwert der Befallsstärken der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den Jahren 2012 – 2014 am Standort Hohenschulen; n = 4 Wdh. (2012 – 2014)

Das Versuchsjahr 2014 zeigt über den gesamten Boniturzeitraum einen schwachen Befall mit *K. zeae*, der bis zur Silomaiserte in BBCH 85 unter 2,0 % Befallsstärke auf den ertragsrelevanten Blättern bleibt. Mit 12,0 % BSB zu BBCH 75 im Jahr 2012 und 9,6 % BSB zu BBCH 85 im Jahr 2013 sind die übrigen Versuchsjahre von einem höheren Endbefall gekennzeichnet. Dabei fällt auf, dass die Verlaufskurven des Befalls zeitlich parallel verschoben sind. Während der Übergang von der Latenz- in die Progressionsphase im Jahr 2012 bereits Anfang August stattfindet, ist dieser Punkt in 2013 erst Mitte bis Ende August erreicht. Trotz dieses späteren Anstiegs der Erregerpopulation von *K. zeae* zeigte sich bereits

ab dem ersten Boniturtermin Mitte Juli, dass der Befall ca. 0,5 Prozentpunkte höher ist, als im Jahr 2012.

4.1.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes

Für die vollständige Erfassung der Epidemiologie von *K. zeae* an Mais ist es wichtig, neben dem Befall der Gesamtpflanze auch den Krankheitsverlauf an den einzelnen Pflanzensegmenten zu betrachten. Für die Bonitur wurde am Kolbenblatt, sowie an jeweils zwei Blättern oberhalb und unterhalb des Hauptkolbens der prozentuale Befall mit dem Blattfleckenerreger geschätzt. Weiterhin wurden die Blätter oberhalb dieses Mittelbereiches (in der R. drei Blätter) zu einem Boniturwert zusammengefasst. Mit den restlichen Blättern unterhalb des Mittel-

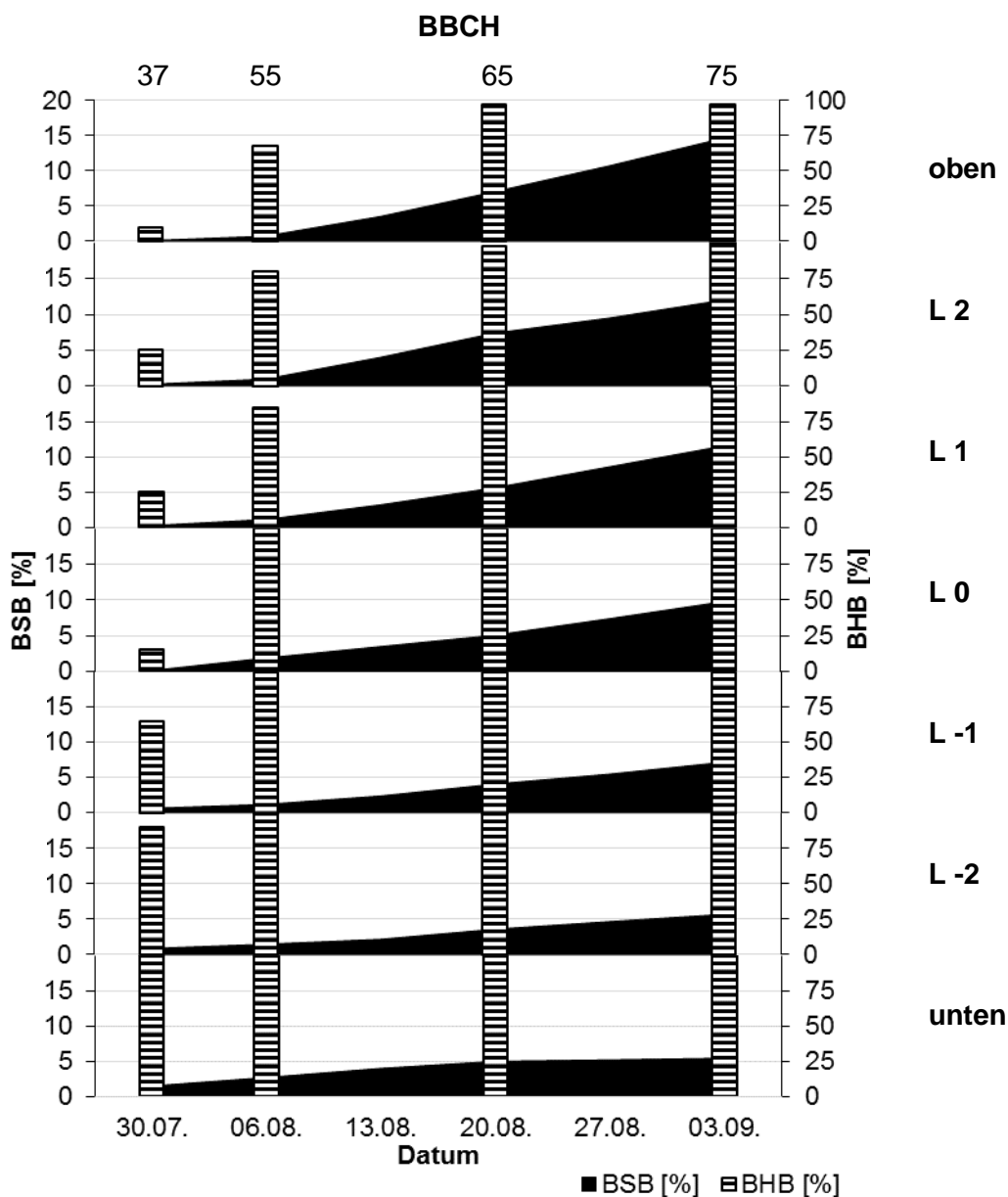


Abb. 24: Standort Hohenschulen, 2012: Befallsverlauf von *K. zeae* in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) zu den Boniturterminen BBCH 37, 55, 65, 75 an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.

bereiches (in der Regel drei Blätter) wurde analog verfahren. Diese beiden Bereiche sind in den Grafiken als „oben“ und „unten“ gekennzeichnet.

Die Ergebnisse dieser Bonitur aus dem Jahr 2012 zeigt Abb. 24. Da die Boniturtermine im ersten Versuchsjahr an die Entwicklungsstadien der Maispflanzen angelegt waren (BBCH 37, 55, 65 und 75), ergibt sich zeitlich gesehen ein unregelmäßiger Boniturabstand von einer, bzw. zwei Wochen. Das Stadium BBCH 85, was als Teigreife gleichzeitig den optimalen Erntetermin für Silomais entspricht, wurde ebenfalls in einer Bonitur festgehalten, kann aber aufgrund der bereits stark nekrotisierten Blätter nicht in die Grafik zum Befallsverlauf von *K. zeae* mit aufgenommen werden. Eine Differenzierung zwischen der erregerbedingten Nekrose und der abiotischen, durch die natürliche Seneszenz ausgelösten Nekrose, konnte zu dem Zeitpunkt nicht mehr einwandfrei erfolgen. Schon zu Beginn des Boniturzeitraumes in BBCH 37 zeigt sich mit 100,0 % und 90,0 % BHB in dem unteren Blattbereich, respektive dem zweiten Blatt unter dem Hauptkolben (L -2) eine hohe Präsenz des Pathogens.

Die Befallsstärken liegen zu diesem Zeitpunkt, bis auf den unteren Bereich, noch unter 1,0 %, was darauf schließen lässt, dass *K. zeae* auf den Blättern zwar vorhanden ist, dabei aber nur die Fläche von einem nekrotischen Punkt, bzw. einer kleinen Punktgruppe einnimmt. Bis zum nächsten Boniturtermin in BBCH 55 am 06.08.2012 steigt die BHB ab dem Kolbenblatt (L 0) aufwärts mit einem durchschnittlichen Zuwachs von 64,4 Prozentpunkten stark an, während die BSB im Mittel relativ unverändert bei 1,4 % liegt. Das Kolbenblatt zeigt hier mit 1,9 % BSB, mit Ausnahme des unteren Pflanzensegmentes, den höchsten Befall.

Ab dem dritten Boniturtermin am 20.08.2012 zu BBCH 65 ist *K. zeae* nahezu vollständig auf allen Blättern der unbehandelten Kontrolle verteilt. Die BHB liegt im Mittel aller Pflanzensegmente bei 99,3 %, womit die vertikale Verteilung des Erregers auf der Pflanze abgeschlossen ist. Im Vergleich zum letzten Boniturtermin zu BBCH 55 ist ebenfalls die BSB angestiegen und beträgt im Mittel über alle Pflanzenteile 5,4 %. Ab diesem Zeitpunkt wird deutlich, dass sich die Befallsstärken der oberen Pflanzensegmente ab dem Kolbenblatt von den restlichen Teilen unterhalb des Kolbenblattes stärker erhöhen. Die höchste Befallsstärke erreicht bei dieser Bonitur das Blatt L 2 mit 7,4 % BSB. Damit ist die prozentual befallene Blattfläche dieses Blattes im Vergleich zum vorigen Boniturtermin um 6,4 Prozentpunkte gestiegen, was den höchsten Zuwachs im Vergleich zu allen anderen Pflanzensegmenten darstellt.

Zum letzten dargestellten Boniturtermin zu BBCH 75 am 03.09.2012 zeigt sich ein Anstieg der Befallsstärken besonders im oberen Bereich der Pflanze ab dem Kolbenblatt (L 0) aufwärts. Die prozentual am stärksten befallene Fläche findet sich mit 14,7 % BSB im oberen Segment der Pflanze. Damit hat im Vergleich zum vorigen Boniturtermin eine Verdoppelung der Befallsstärke stattgefunden. Eine differenzierte Darstellung der Zunahme der BSB zeigt Abb. 25. Hierbei sind die prozentualen Zuwachsraten zwischen den für die Epidemie wichtigsten Entwicklungsstufen „Rispschieben“ (BBCH 55) und „Blüte“ (BBCH 65), sowie „Blü-

te“ (BBCH 65) und „Milchreife“ (BBCH 75) dargestellt. Anhand dieser Abbildung wird deutlich, dass die frühere Zuwachsrate vom Rispenschieben zur Blüte über alle Pflanzensegmente, aber besonders im oberen Pflanzenbereich mit bis zu 869 %, höhere Werte als der zweite betrachtete Zeitraum erzielt. Im zweiten betrachteten Zeitraum zwischen BBCH 65 und BBCH 75 werden maximale Wachstumsraten von 109 % auf den oberen Pflanzensegmenten erzielt, was eine Verdopplung der Pathogenflecken bedeutet. Die zunehmenden Wachstumsraten vom unteren Pflanzenbereich aufwärts kann bei der Mittelung der beiden Wachstumsratenbereiche anhand einer linearen Trendlinie mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,90$ dargestellt werden. Die Wachstumsraten des Blattpathogens *K. zeae* unterliegen somit einer stetigen Steigung, je höher die betrachteten Pflanzensegmente an der Maispflanze liegen.

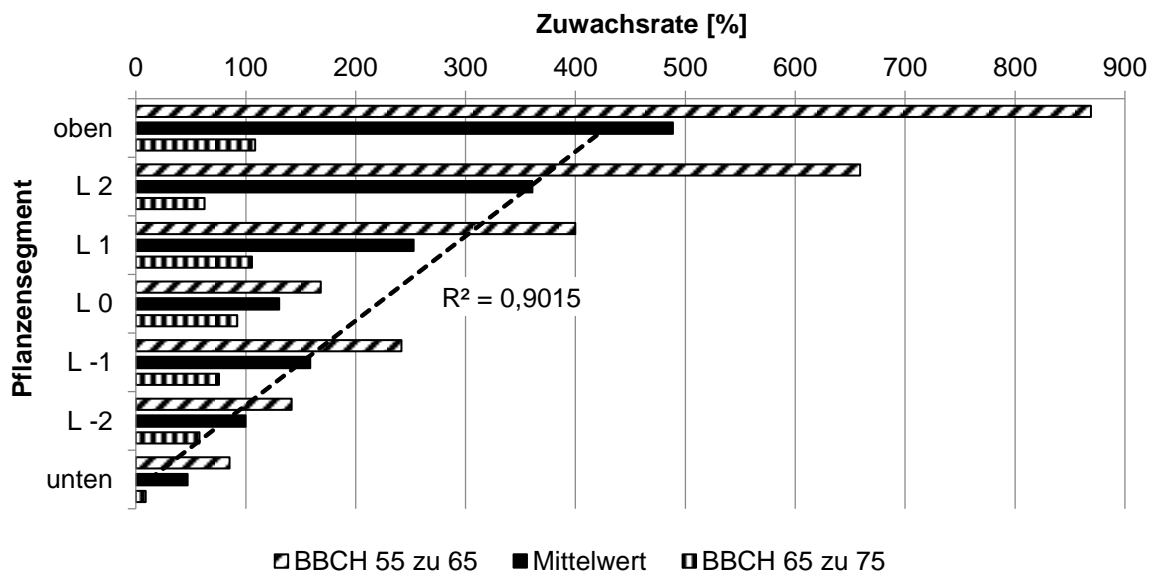


Abb. 25: Standort Hohenschulden, 2012: Zuwachsraten der Befallsstärke von *K. zeae* auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 55 und 65, sowie BBCH 65 und 75; der Mittelwert dieser beiden Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben

Den Befallsverlauf von *K. zeae* anhand von BHB und BSB der unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2013 zeigt die Abb. 26. Aufgrund der Nachteile der Ergebnisdarstellung in 2012 wurde das Bonitursystem im Versuchsjahr 2013 dahingehend angepasst, wodurch sich feste, zweiwöchentliche Boniturtermine, unabhängig vom BBCH-Stadium ergaben.

Zum ersten Boniturtermin in BBCH 35 am 15.07.2013 war der Erreger bereits auf 70 % der bonitierten Kolbenblätter zu finden. Die Pflanzensegmente darüber waren mit BHB-Werten von 35 %, 5 % und 0 % (L 1, L 2, oben) noch weitgehend befallsfrei. Die Befallsstärke befanden sich zu diesem Zeitpunkt in einem Bereich von 0 % auf dem oberen Pflanzensegment bis zu 2,4 % auf dem unteren Pflanzensegment. Es war bereits eine Abstufung der Befallsstärke zwischen diesen beiden Werten über die restlichen Pflanzensegmente erkenn-

bar. Bis zur dritten Bonitur zu BBCH 71 am 12.08.2013 fand für einen vierwöchigen Zeitraum beim direkten Vergleich zum Versuchsjahr 2012 nur ein schwacher Anstieg der BHB- und BSB-Werte statt. Die BHB-Werte lagen nun bei 80 % auf dem Kolbenblatt, das obere Pflanzensegment war zu diesem Zeitpunkt über die Hälfte (55 %) mit *K. zeae*-Flecken befallen. Bis auf die unteren drei Pflanzensegmente lagen die BSB-Werte weiterhin unter 1 %.

Zu BBCH 79 am 09.09.2013 lagen alle Pflanzensegmente, bis auf das zweite Blatt (L 2) über dem Kolbenblatt mit 98 %, bei 100 % BHB. Die Bonitur des unteren Pflanzensegmentes konnte zu diesem Zeitpunkt nicht mehr weitergeführt werden, da die Nekrotisierung keine einwandfreie Trennung zwischen erregerbedingter Nekrose und seneszenzbedingter Nekrose mehr zuließ. Die BSB lag bei diesem Boniturtermin im Mittel über alle Blattetagen bei

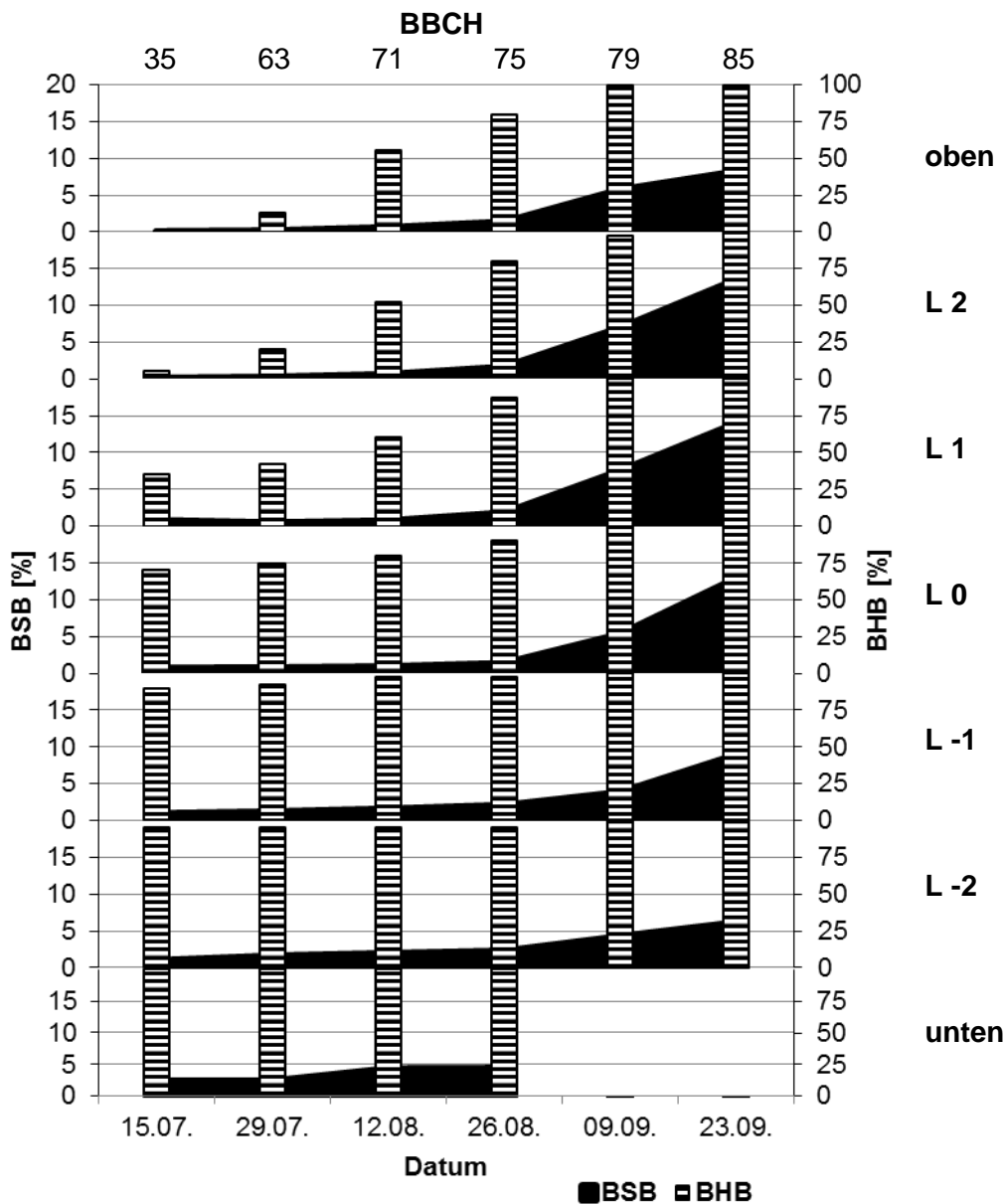


Abb. 26: Standort Hohenschulen, 2013: Befallsverlauf von *K. zeae* in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) von zweiwöchentlichen Boniturterminen ab 15.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.

4. Ergebnisse

5,7 % in einem Bereich von 3,8 % auf L -1 bis zu 7,5 % auf L 1. Hohe Befallsstärken waren im Bereich über dem Hauptkolben, jedoch nicht im oberen Pflanzensegment vorzufinden.

Zur Silomaisreife in BBCH 85 am 23.09.2013 waren alle Pflanzensegmente zu 100 % mit dem Blattpathogen befallen. Die BSB-Werte hatten sich im Vergleich zum vorangegangenen Boniturtermin verdoppelt und lagen im Mittel über alle Pflanzensegmente bei 10,6 % mit Minimal- und Maximalwerten von 6,1 % auf L -2, respektive 14,0 % auf L 1. Mit Ausnahme des unteren Bereiches begann die Progressionsphase des Erregers zwischen den Boniturterminen von BBCH 75 und BBCH 79 auf allen Pflanzensegmenten.

Die Zuwachsraten der Befallsstärke (Abb. 27) folgten im Mittelwert der Boniturtermine von BBCH 63 bis BBCH 85 über alle Pflanzensegmente einer Regressionsgeraden mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,97$. Dabei war der Verlauf vom unteren Teil der Pflanze ansteigend bis zum oberen Pflanzensegment. Die höchsten Zuwachsraten wurden im Zeitraum zwischen den Wachstumsstadien BBCH 75 und 79 generiert und lagen bei bis zu 339 % (oberes Pflanzensegment), womit auch in dieser Form der Grafik der Beginn der Progressionsphase deutlich wird. Im Vergleich zu den Wachstumsraten aus dem Versuchsjahr 2012 lagen die Ergebnisse aus 2013 bis zu 530 Prozentpunkte unter den damals bonitierten Werten. Damit kann von einer, zumindest zeitweise, langsamer verlaufenden Epidemie gesprochen werden.

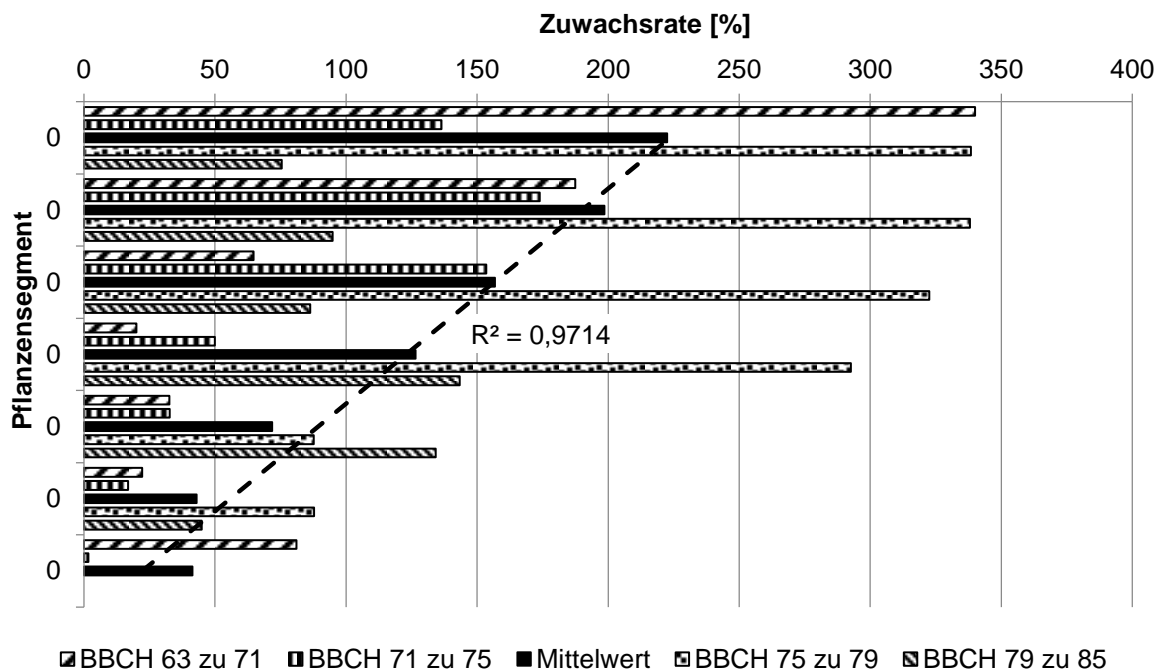


Abb. 27: Standort Hohenschulen, 2013: Zuwachsraten der Befallsstärke von *K. zeae* auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 63 und 71, BBCH 71 und 75, BBCH 75 und 79, sowie BBCH 79 und 85; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben

4. Ergebnisse

Wie schon in der Gesamtübersicht der Befallsverläufe für *K. zeae* am Standort Hohenschulen gezeigt (vgl. Abb. 23), zeichnete sich das Versuchsjahr 2014 durch einen sehr niedrigen Befall, im Vergleich zu den Vorjahren 2012 und 2013, aus. Die Befallshäufigkeit hatte bis zum Silomais-Erntetermin in Stadium BBCH 85 am 09.09.2014 nicht vollständig über alle Pflanzensegmente 100 % erreicht. Die Befallsstärke erreichte zu diesem Termin im Mittel über alle bonitierten Segmente bei 1,9 %, wobei die unteren Blattbereiche ab dem dritten Boniturtermin zu BBCH 73 aufgrund der bereits oben erwähnten Problematik der einwandfreien Identifizierung des Pathogens abgrenzend zu der Nekrotisierung, nicht mehr in der Statistik mit aufgenommen werden konnten.

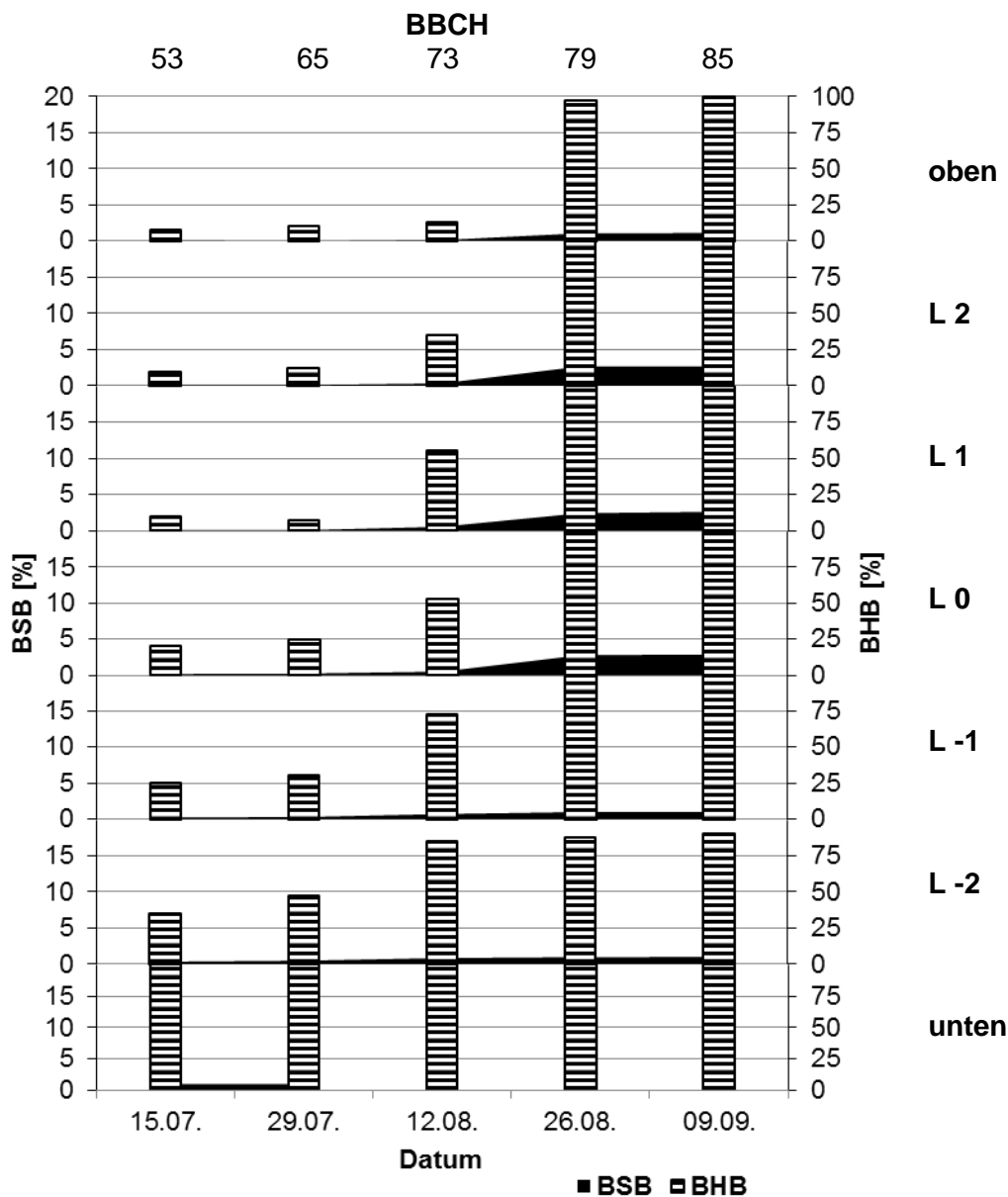


Abb. 28: Standort Hohenschulen, 2014: Befallsverlauf von *K. zeae* in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) von zweiwöchentlichen Boniturterminen ab 15.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 4 Wdh.

Trotz des niedrigen Befallsniveaus in absoluten Zahlen, konnten relative Zuwachsraten anhand der Boniturwerte für alle Pflanzensegmente, mit Ausnahme des unteren Bereiches, aus den Zahlen des Jahres 2014 berechnet werden (Abb. 29). Es stellte sich heraus, dass die höchsten Zuwachsraten zwischen den Entwicklungsstadien BBCH 73 und BBCH 79 erfasst werden konnten. In diesem Zeitraum hatte wiederum eine Progressionsphase des Blattpathogens stattgefunden, die aufgrund der niedrigen absoluten Befallsstärken aber kaum in erregerbedingter Nekrose auf den Maisblättern resultierte. Nach dem Eintritt in die Progressionsphase war in den Versuchsjahren 2012 und 2013 ein weiterer Anstieg der Befallsstärke des Erregers detektierbar, der in 2014 ausblieb. Stattdessen stagnierten die BSB-Werte auf einem niedrigen Niveau bis zur Ernte des Silomaises in BBCH 85.

Obwohl das Jahr 2014 durch ein niedriges Pathogenaufreten gekennzeichnet war, kann anhand der Mittelung der Zuwachsraten zu den einzelnen Boniturterminen eine Trendlinie mit hohem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,85$ erzeugt werden. Wie auch in den vorangegangenen Fallstudien, zeigte diese Gerade eine Ausbreitung von *K. zeae*, die auf den Blättern über dem Kolben schneller ist, als auf den restlichen Blättern der Pflanze.

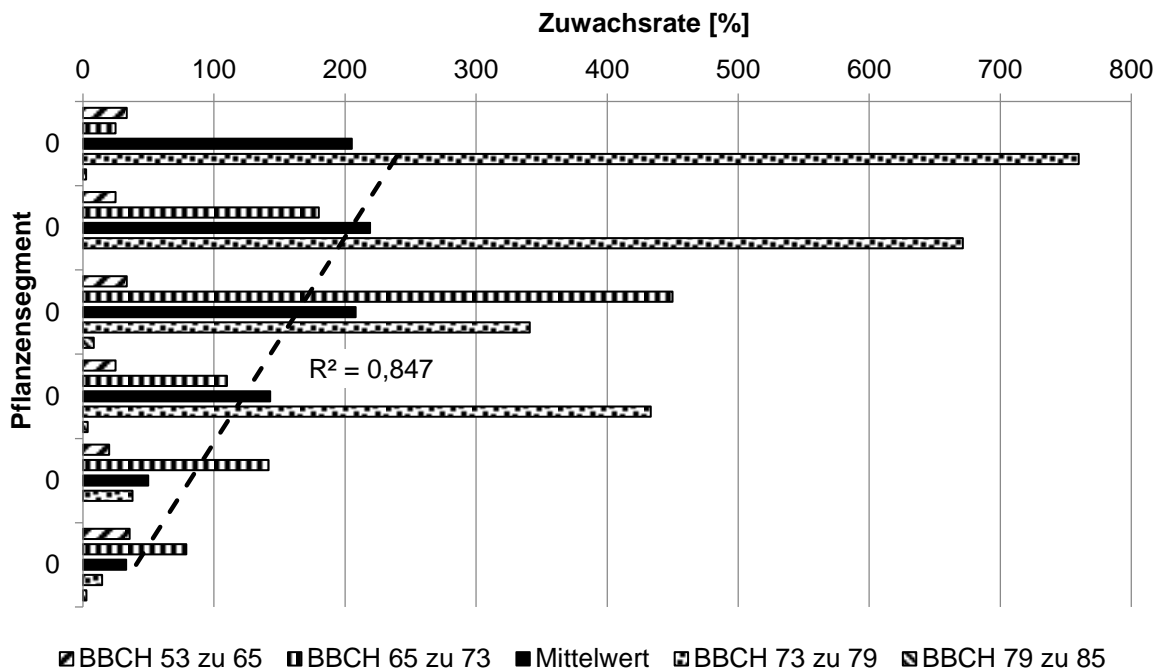


Abb. 29: Standort Hohenschulen, 2014: Zuwachsraten der Befallsstärke von *K. zeae* am auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen BBCH 53 und 65, BBCH 65 und 73, BBCH 73 und 79, sowie BBCH 79 und 85; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben; für das Pflanzensegment „unten“ konnten keine Zuwachsraten berechnet werden

4.1.3.2 Populationsaufbau von *Kabatiella zea*

Aus der Biologie des Erregers *K. zea* ist bekannt, dass der Epidemieverlauf unter günstigen Witterungsbedingungen sehr schnell fortschreiten kann. Für eine genaue Erfassung des Befallsverlaufes ist es daher sinnvoll, die gebräuchlichen Boniturntervale von zwei Wochen zu verkürzen, um detailliertere Aufzeichnungen der Epidemie zu erhalten. Da *K. zea* relativ einheitliche Blattfleckenengrößen ausbildet, kann neben der Schätzung der prozentual befallenen Blattfläche (vgl. Abb. 24 bis Abb. 29) das Bonitursystem des genauen Zählens der Erregerflecken sinnvoll sein. Mit einem entsprechend angepassten Boniturntervall von vier Tagen können auch minimale Veränderungen in der Erregerausbreitung auf den Maispflanzen detektiert werden.

Die Ergebnisse dieser Bonitur, die in den Versuchsjahren 2013 und 2014 angewendet wurde, zeigen die folgenden Abbildungen (Abb. 30, Abb. 31). In Teil A ist die Summe der Blattflecken von den Blättern 6 - 14 dargestellt. Die Zählweise der Blätter beginnt vom unteren Teil der Pflanze, womit Blatt sechs das vierte Blatt unterhalb des Hauptkolbens darstellt, das 14. Blatt hingegen das letzte Blatt an der Fahne der Maispflanze. Die Blätter unterhalb des sechsten Blattes werden in der Auswertung nicht berücksichtigt, da sie bis zur Silomaisernte vollständig nekrotisiert sind. Unabhängig vom Entwicklungsstadium der Maispflanzen zeigen die Grafiken der Jahre 2013 und 2014 die Entwicklung der Blattfleckenanzahl. Diese befanden sich in 2013 ab Ende Juli auf einem Niveau von 250 Blattflecken, welches erst Ende des Monats August innerhalb kurzer Zeit von acht bis zwölf Tagen anstieg. In beiden Teilen der Abb. 30 sind Trendlinien eingezeichnet, die mit einem $R^2 = 0,79$ den exponentiellen Charak-

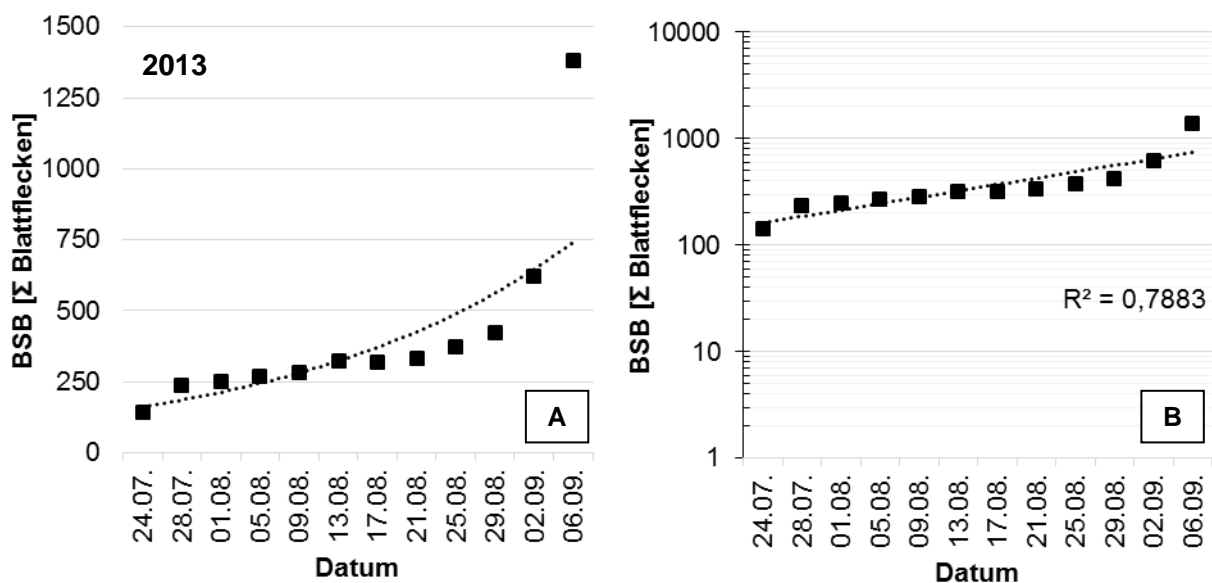


Abb. 30: Standort Hohenschulen, 2013: Exponentieller Populationsaufbau von *K. zea*, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 mit normaler (A) und halblogarithmischer Skalierung (B); Boniturntervall von vier Tagen in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); Bestimmtheitsmaß gilt für beide Trendlinien

ter der Kurve beschreiben, wobei in Teil B die Benutzung einer logarithmischen Skalierung erfolgt. Zur Prüfung des exponentiellen Befallsverlaufes wurde dabei die Exponentialfunktion zu einer Geraden transformiert. Die überproportionale Zunahme von 869 Flecken innerhalb von vier Tagen zwischen den Boniturterminen vom 02.09.2013 und 06.09.2013 bedingt eine nicht optimale Anpassung an den exponentiellen Trendlinienverlauf. Zum letzten Boniturtermin befanden sich die Maispflanzen im Entwicklungsstadium BBCH 75 - 79. Bis zur Silomaisreife in BBCH 85 am 23.09.2013 nahm die Anzahl an Blattflecken weiter zu, konnte allerdings aufgrund der hohen Dichte mit dieser Boniturmethode nicht mehr erfasst werden.

Analog zu 2013 wurde bei dem Hohenschulener Feldversuch in 2014 am 24. Juli mit der Bonitur gestartet. Die Anzahl an Blattflecken auf den Maispflanzen bewegte sich zunächst bis Mitte August auf einem niedrigen Niveau bei durchschnittlich 21 Flecken im genannten Boniturbereich an der Pflanze. Der Anstieg um 59 Blattflecken zum 17.08.2014 wurde gefolgt von einem überproportionalen Symptomzuwachs, der bei der letzten Bonitur am 06.09.2014 bei 1290 Blattflecken endete. Die Silomaisreife wurde drei Tage später erreicht.

Die Trendlinie zeigt einen Kurvenverlauf mit einem stärkeren exponentiellen Charakter als im Versuchsjahr 2013. Dies wird durch das höhere Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,93$ bestätigt. Zwar konnten in den beiden Versuchsjahren ähnliche exponentielle Verlaufsformen der Epidemie von *K. zea* festgestellt werden, jedoch führte dieser Anstieg im Jahr 2013 zu einem höheren Endbefall, bezogen auf die prozentual befallene Blattfläche zu BBCH 85.

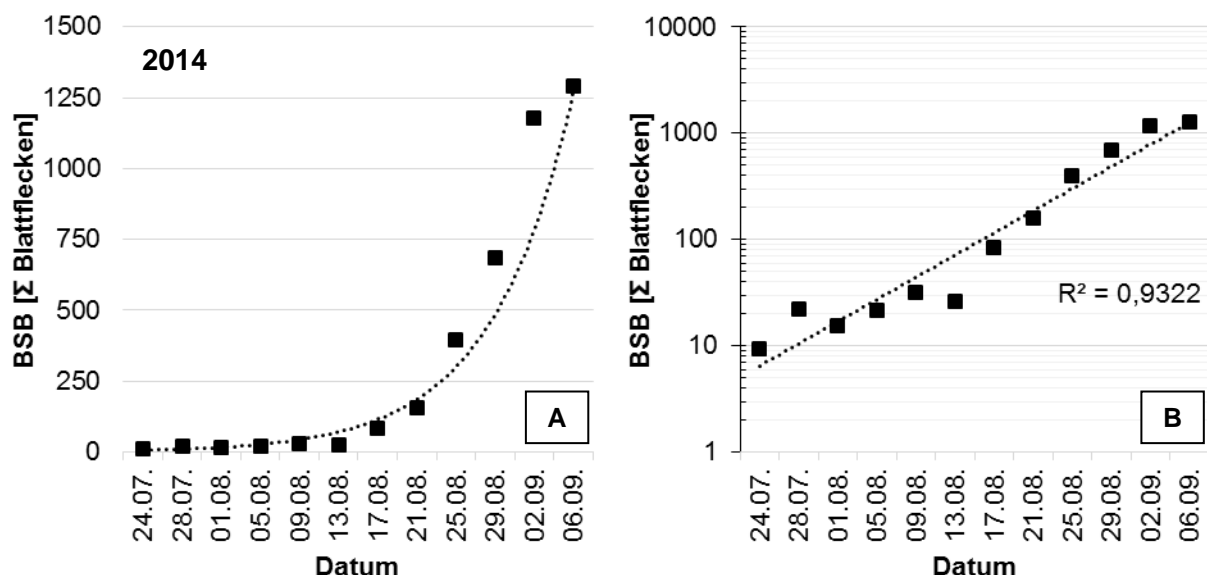


Abb. 31: Standort Hohenschulden, 2014: Exponentieller Populationsaufbau von *K. zea*, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 mit normaler (A) und halblogarithmischer Skalierung (B); Boniturnterintervall von vier Tagen in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); Bestimmtheitsmaß gilt für beide Trendlinien

4.1.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke

Für eine gezielte Betrachtung der Ausbreitung des Blattfleckenerregers auf der Maispflanze kann das Verhältnis von Befallshäufigkeit und Befallsstärke herangezogen werden. Abb. 32 zeigt die Ergebnisse der Bonitur nach prozentual befallener Blattfläche der unbehandelten Kontrollen in den Jahren 2012 - 2014. Bis ca. 70 % BHB verläuft die Beziehung nahezu linear. Die BSB liegt dabei in einem Bereich von 0 - 1 %, womit in dem in Kapitel 3.4 erläuterten Boniturschema ein Fleck pro Pflanzensegment geschätzt wird. Oberhalb von BHB 70 % beginnen die Werte für die Befallsstärke zu differieren bis 100 % BHB erreicht sind. Die Minimum-Maximum-Werte für das Erreichen von 100 % BHB liegen bei 1,0 - 2,5 % BSB. Mit höheren Befallsstärken auf den Pflanzensegmenten oberhalb von 2,5 % liegen bis auf wenige Ausnahmen die BHB-Werte bei 100 %. Die Beziehung zwischen beiden Befallswerten kann mit einer logarithmischen Trendlinie beschrieben werden, die mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,78$ eine gute Beziehung wiedergibt.

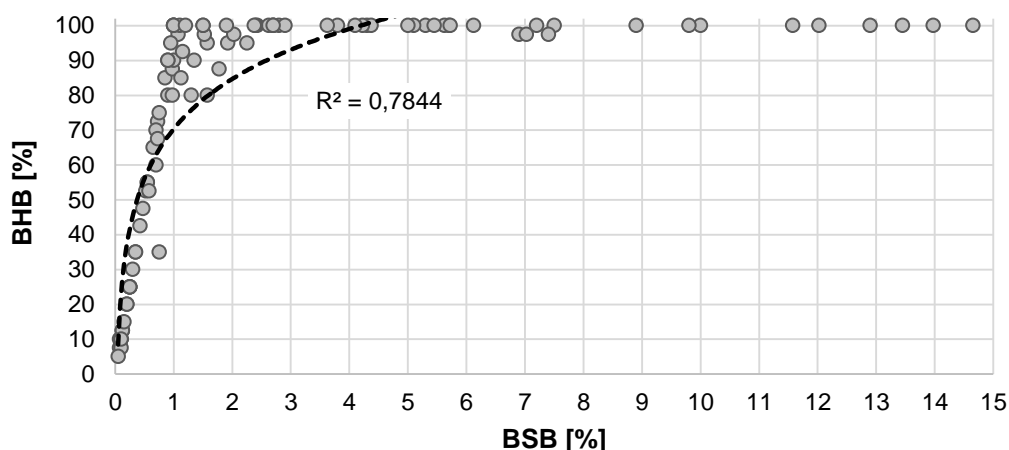


Abb. 32: Standort Hohenschulen, 2012 – 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) der unbehandelten Kontrollen, $n = 4$ Wdh., alle Blattsegmente

Aus den Ergebnissen der Exaktbonitur, bei der einzeln auftretende Flecken des Blattpathogens auf den Blattspreiten in einem kurzen Zeitintervall von vier Tagen quantifiziert werden, kann ebenfalls eine BHB-BSB-Beziehung grafisch veranschaulicht werden (Abb. 33). Die Werte für die Befallsstärke resultieren hierbei nicht aus der Schätzung der prozentual befallenen Blattfläche, sondern aus der Anzahl an gezählten Blattflecken pro Blatt. Die Befallshäufigkeit sagt in diesem Fall aus, wie viel Prozent der Blätter befallen waren. Für jeden Datenpunkt liegt eine Stichprobenzahl von $n = 20$ zugrunde, die sich auch fünf Pflanzen in vier Wiederholungen der unbehandelten Kontrolle ergibt. Alle Blattetagen wurden dabei gleichberechtigt gewichtet.

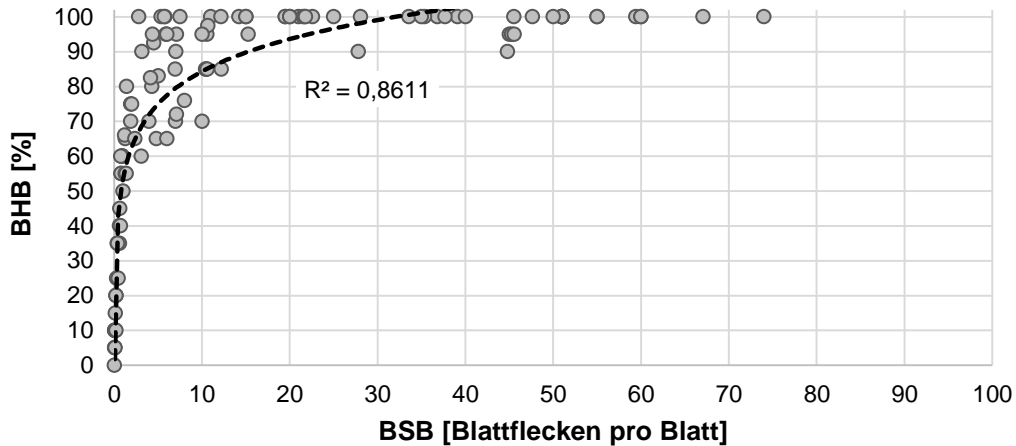


Abb. 33: Standort Hohenschulen 2013 – 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (ermittelte Flecken pro Blatt) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter einer Blattetage) der unbehandelten Kontrollen, $n = 4$ Wdh., alle Blattetagen

Analog zu den Daten aus Abb. 32 zeigt sich, dass bis zu einer BHB von 60 - 70 % nur ein schmaler Bereich der Befallsstärke von 0,1 bis 3,0 Flecken pro Blatt möglich ist. Oberhalb dieses Bereiches variieren die Werte stärker, womit es auf der einen Seite Blattetagen gibt, die eine Befallshäufigkeit von 100 % haben, aber jeweils nur mit einem Fleck befallen sind. Auf der anderen Seite kommen Blattetagen vor, die bei einem BHB-Wert von 85 % bereits mehr als 10 Flecken pro Blatt besitzen. Insgesamt kann aus den Ergebnissen entnommen werden, dass die maximale Befallsstärke in dem Bereich von 0 - 90 % BHB bei 13 Blattflecken pro Blatt liegt.

Die in den Abb. 32 und Abb. 33 dargestellten Erkenntnisse beruhen auf der Zusammenfassung der Boniturergebnisse von allen Blattsegmenten, im Fall der Bonitur nach prozentual befallener Blattfläche, bzw. allen Blattetagen, wenn mittels Exaktbonitur die Anzahl an Flecken auf den Blattspreiten ermittelt wurde. Für die mögliche Formulierung von Bekämpfung-, bzw. Schadschwellen ist es allerdings notwendig, sog. Indikationsblattetagen zu formulieren, die infolgedessen nach vorgegebenen Kriterien (BHB-Bonitur) bonitiert werden. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 34, Abb. 35, Abb. 36) zeigen die als Beispiel ausgewählten Blattetagen des Kolbenblattes, sowie der beiden Blätter über dem Hauptkolben (L 1 und L 2). Es wird deutlich, dass der Krankheitsbefall auf jeder der drei Blattetagen mit einer logarithmischen Funktion mit hohem Bestimmtheitsmaß ($R^2 \geq 0,82$) beschrieben werden kann. Somit kann eine allgemeingültige Aussage erfolgen, wonach zunächst eine Besiedlung der Blattetagen bis zu einer BHB von mind. 70 % mit wenigen Symptomen erfolgt, woran sich eine starke Ausbreitung auf der Blattspreite anschließt, die durch eine exponentiell steigende Befallsstärke bei Annäherung an eine BHB von 100 % gekennzeichnet ist. Dieses geschah auf den beispielhaft gezeigten Blattetagen allerdings nicht zum gleichen Zeitpunkt, sondern zeitlich versetzt (vgl. Abb. 24, Abb. 26, Abb. 28). Dabei sind die Zusammenhänge zur übergeordneten Einflussgröße Witterung von großer Bedeutung (siehe nächstes Kapitel).

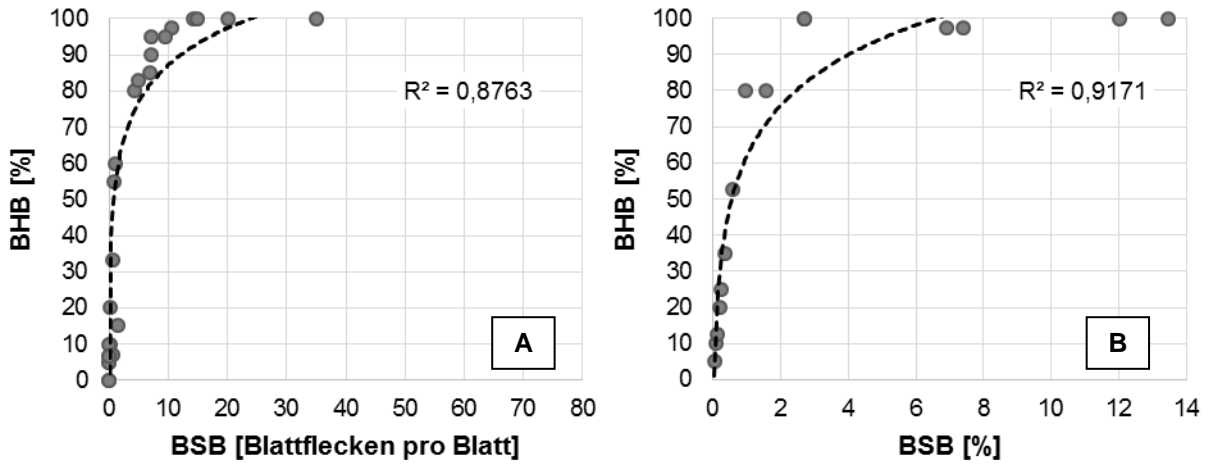


Abb. 34: Blattstage L 2 (2. Blatt über dem Kolben): Vergleich der Boniturergebnisse von *K. zeae* anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014)

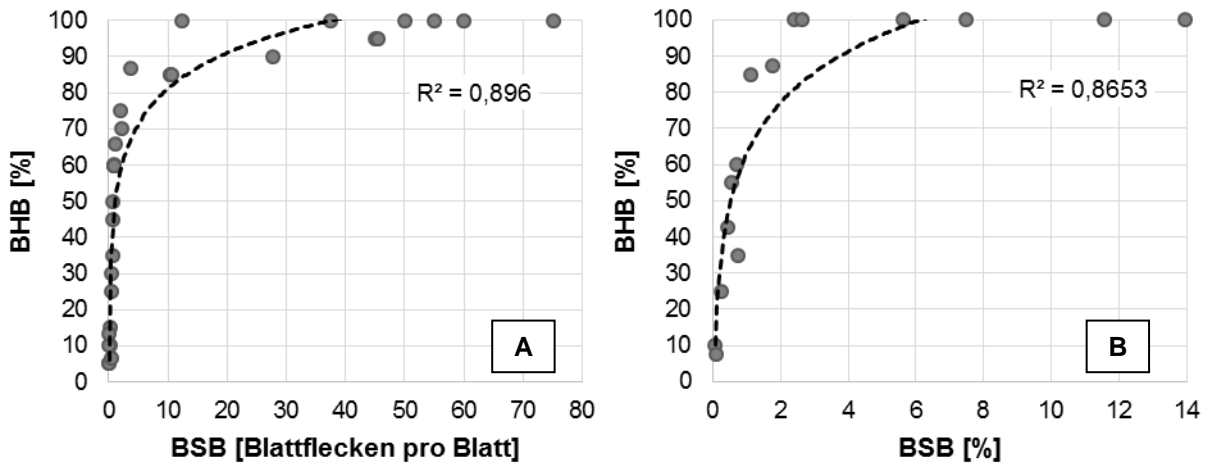


Abb. 35: Blattstage L 1 (1. Blatt über dem Kolben): Vergleich der Boniturergebnisse von *K. zeae* anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014)

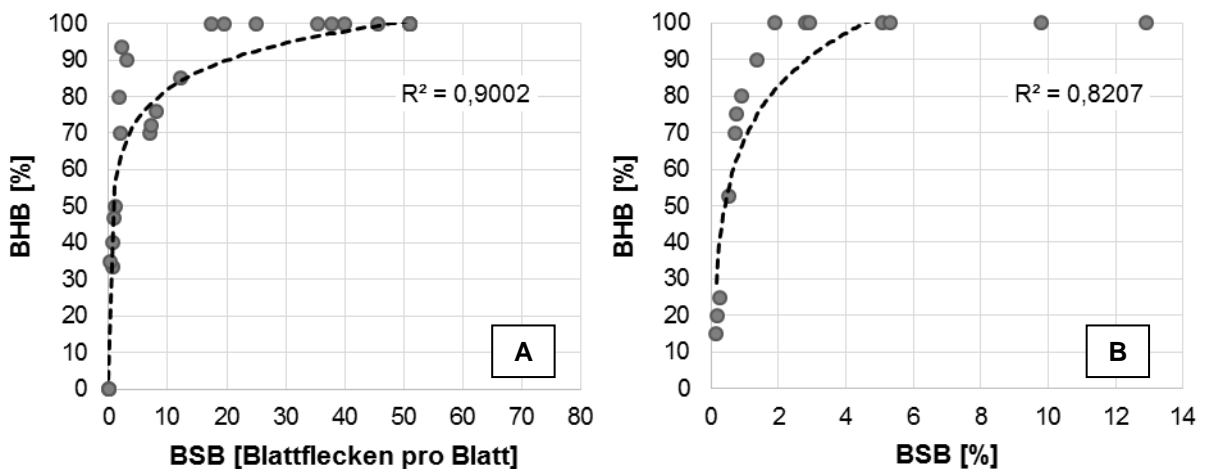


Abb. 36: Blattstage L 0 (Kolbenblatt): Vergleich der Boniturergebnisse von *K. zeae* anhand der quantitativen Bestimmung der Blattflecken pro Blatt (A, 2013/14) und der Bestimmung der prozentual befallenen Blattfläche (B, 2012-2014)

4.1.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von *Kabatiella zae*

Jedes Blattpathogen hat einen Präferenzbereich der übergeordneten Einflussgröße Witterung, in dem es sich, bezogen auf die Witterungsparameter Temperatur, Niederschlag und der daraus resultierenden rel. Luftfeuchte, optimal entwickeln kann. Anhand von verschiedenen Witterungsszenarien, die in den Versuchsjahren 2012 und 2013 am Standort Hohenschulen mit Wetterstationen direkt im Maisbestand erfasst wurden, wird im folgenden Kapitel der Einfluss der Witterung, insbesondere der Höhe der rel. Luftfeuchte und der Dauer anhaltend hoher Luftfeuchtwerte, auf die Etablierung und Ausbreitung von *Kabatiella zae* erläutert. Für die Darstellung eines „besonderen Witterungsereignisses“ ist es notwendig einen Vergleich zu einer „typischen“ Witterungskurve während der Maisvegetation zu ziehen. Abb. 37 zeigt die Verlaufskurve der Witterungsparameter Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Versuchsstandort Hohenschulen im Zeitraum vom 29.08. bis 01.09.2013. Die rel. Luftfeuchte folgte dabei einem Zyklus, der durch die Tag- bzw. Nachtphasen beeinflusst war. Zu Beginn einer Nachtphase ab 20 Uhr stieg die rel. Luftfeuchte im Maisbestand stark an, bis sie in einem Zeitraum von 22 - 2 Uhr die Plateauphase bei ca. 90 % erreichte. Diese Plateauphase wird ca. 2 - 4 h nach Beginn der Tagphase durch absinken der rel. Luftfeuchte beendet. Von entscheidender Bedeutung war dabei die Sonneneinstrahlung, die eine Erwärmung der Luft verursachte, infolgedessen die Luft mehr Wasser binden konnte und somit der rel. Luftfeuchtwert absank. Hierzu ist in Abb. 37 die frühe Tagphase des 31.08.2013 zu nennen, in der die Temperaturkurve, im Gegensatz zu den anderen betrachteten Tagen, erst um ca. 12 Uhr anstieg und die rel. Luftfeuchte im Maisbestand sinken ließ. Die Dauer der Plateauphasen mit hohen rel. Luftfeuchten waren für eine Erregeretablierung-, bzw. Ausbreitung von hoher Bedeutung. Bei Annahme eines Schwellenwertes bei einer rel. Luftfeuchte von 85 % betrug die Dauer der Plateauphasen in Szenario 1 (Abb. 37) 8 bis 14 Stunden (schraffierte Fläche). In der restlichen Zeit fiel oder stieg die rel. Luftfeuchte in

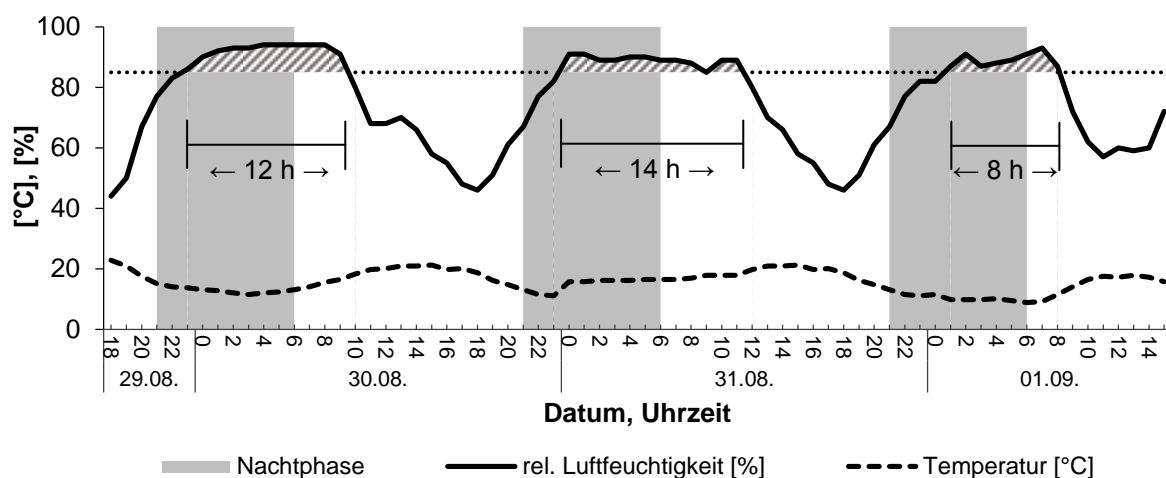


Abb. 37: Szenario 1: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand an durchschnittlichen Sommertagen am Standort Hohenschulen im Zeitraum vom 29.08. – 01.09.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$

einem Bereich von 44 - 84 %. Die niedrigsten Werte wurden im Maisbestand in einem Zeitraum von 17 - 19 Uhr gemessen.

Im Vergleich zu einem „typischen“ Witterungsverlauf während der Maisvegetationsphase zeigt das Szenario 2 (Abb. 38) einen „atypischen“ Verlauf von Temperatur und rel. Luftfeuchte am Standort Hohenschulen im Zeitraum von 01.09. - 04.09.2013. Anders als im Szenario 1 bedingte die Tagphase am 02.09.2013 kein Absinken der rel. Luftfeuchte unter den Schwellenwert von 85 %, trotz einer Temperaturerhöhung im Zeitraum von 6 Uhr (13,1°C) bis 14 Uhr (16,5°C). Der niedrigste Wert zwischen 6 Uhr und 20 Uhr wurde um 16 Uhr mit 88 % rel. Luftfeuchte gemessen. Der Zeitraum einer hohen rel. Luftfeuchte über dem Schwellenwert betrug somit 39 h. Die Folgetage 03.09. und 04.09.2013 zeigte wieder den Witterungszyklus, der bereits in Szenario 1 (Abb. 37) ausführlich beschrieben wurde. Auffällig ist, dass der rel. Luftfeuchtwert während der Tagphase ab ca. 10 Uhr zwar absank, der niedrigste Wert mit 68 % um 14 Uhr allerdings um 24, bzw. 26 Prozentpunkte höher lag als der niedrigste Tagphasenwert aus Szenario 1.

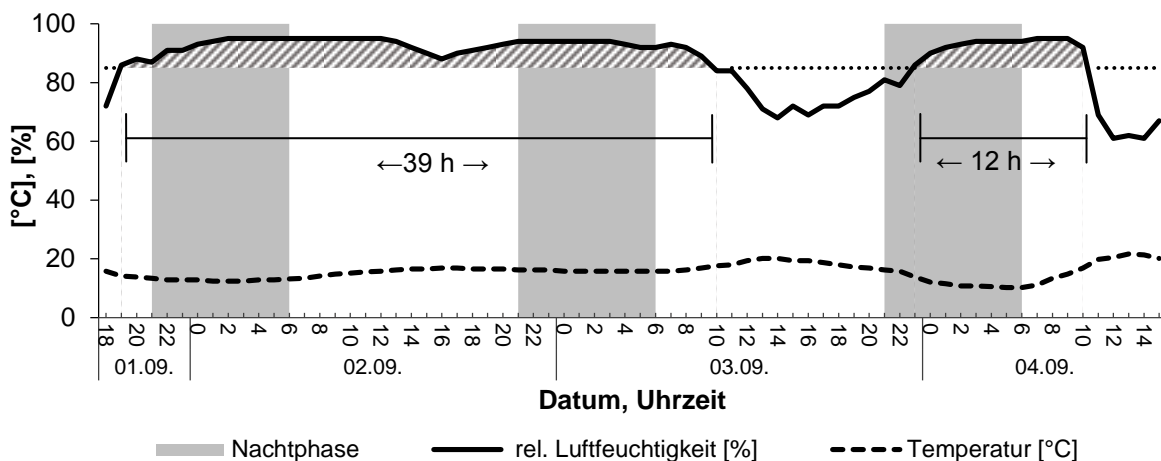


Abb. 38: Szenario 2: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 01.09. – 04.09.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$

Wie bereits erwähnt hat der Witterungsparameter Temperatur, der vorwiegend durch die Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, Einfluss auf die rel. Luftfeuchte, da bei steigenden Temperaturen die Luft imstande ist mehr Wasser aufzunehmen, woraus bei gleichbleibender Wassermenge in der Luft ein Absinken der rel. Luftfeuchte resultiert. Durch Erhöhung der Wassermenge in der Luft erfolgt demzufolge eine Erhöhung der rel. Luftfeuchte bei gleichbleibender Temperatur. Der Witterungsparameter Niederschlag, der bisher in den Szenarien 1 und 2 keine Berücksichtigung fand, nimmt somit Einfluss auf die rel. Luftfeuchte im Maisbestand, dessen Höhe und die Dauer von hohen Werten direkten Einfluss auf die Erreger Etablierung und Verbreitung haben. In den nachfolgenden Szenarien 3 und 4 wird daher ein direkter Bezug von Niederschlag und Niederschlagsverteilung zu der rel. Luftfeuchte dargestellt.

4. Ergebnisse

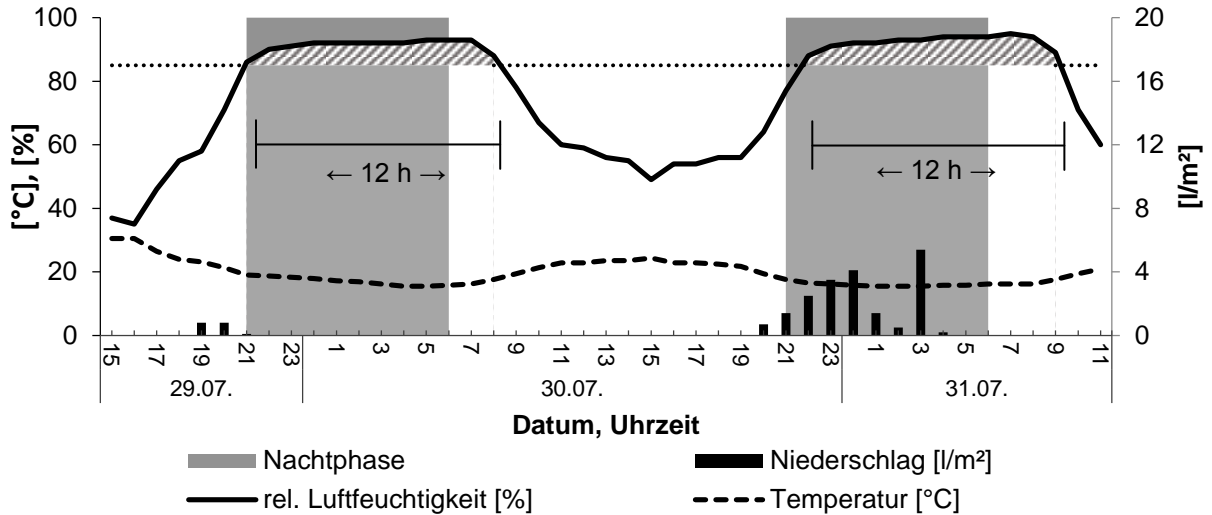


Abb. 39: Szenario 3: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 29.07. – 31.07.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$

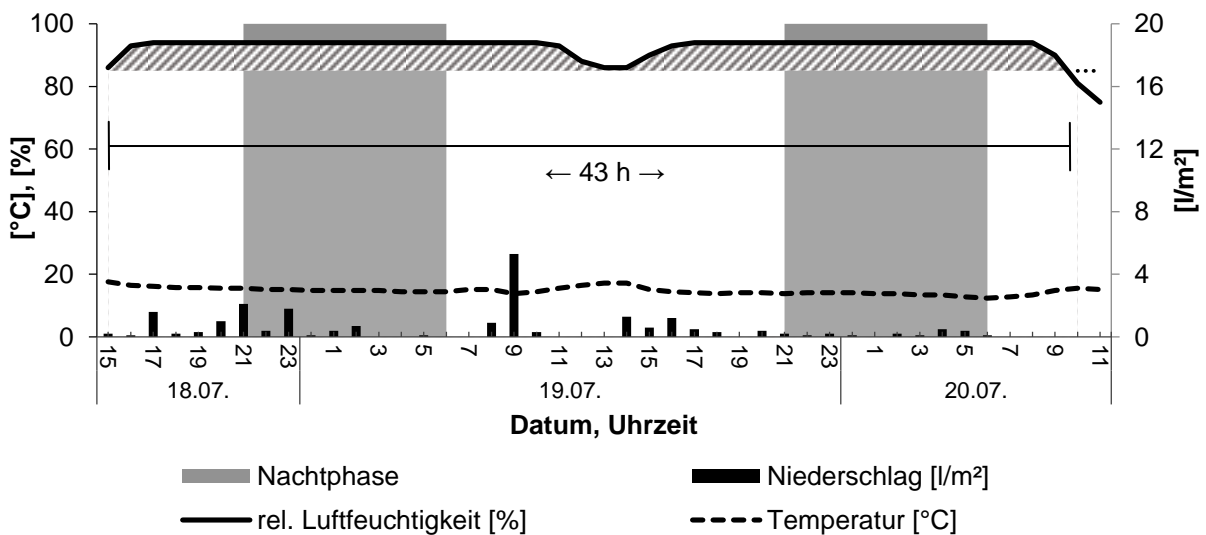


Abb. 40: Szenario 4: Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Maisbestand am Standort Hohenschulen im Zeitraum 18.07. – 20.07.2012; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$

Tab. 19: Daten zu den Niederschlagsereignissen der Witterungsszenarien 3 und 4 aus den Abb. 39 und Abb. 40

Szenario 3		Szenario 4	
Datum	Niederschlag [l/m ²]	Datum	Niederschlag [l/m ²]
29.07.2013	1,7	18.07.2012	7,7
30.07.2013	8,1	19.07.2012	12,6
31.07.2013	11,6	20.07.2012	1,4
Summe:	21,4	Summe:	21,7

Szenario 3 (Abb. 39) zeigt in Anlehnung an Szenario 1 (Abb. 37) eine „typische“ Witterung im Maisbestand während der Vegetationsperiode, die über eine Dauer von 44 h vom 29.07. - 31.07.2013 am Standort Hohenschulen aufgezeichnet wurde. Die Verlaufskurven von Temperatur und rel. Luftfeuchte wurden bereits eingehend erläutert. Die Plateauphasen der rel. Luftfeuchte über dem Schwellenwert von 85 % betragen dabei jeweils 12 h. Die Niederschlagsereignisse werden in dieser Darstellung durch die schwarzen Balken abgebildet. Im Vergleich zu Szenario 1, in dessen Zeitraum keine Niederschlagsereignisse registriert wurden, wird deutlich, dass die Kurve der relativen Luftfeuchte in Szenario 3 nicht durch die Niederschläge beeinflusst wurde.

Szenario 4 (Abb. 40) wurde analog zu Szenario 3 über 44 h, allerdings im Zeitraum vom 18.07. - 20.07.2012 im Maisbestand des Versuchsstandortes Hohenschulen aufgenommen. Im Gegensatz zu Szenario 3 erfolgte eine starke Beeinflussung der Kurve der rel. Luftfeuchte durch die detektierten Niederschlagsereignisse. Die Plateauphase der rel. Luftfeuchte über dem Schwellenwert von 85 % erstreckte sich über einen Zeitraum von 43 h. Dabei zeigten sich sowohl Wechselwirkungen zwischen den Witterungsparametern Niederschlag und Temperatur, als auch zwischen Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit. Nach der Niederschlagsstundensumme von 5,3 l/m² (19.07.2012, 9 Uhr) blieb die Temperatur im Maisbestand trotz fortschreitender Tagphase und zuvor registriertem Anstieg auf einem niedrigen Niveau. Ab 10 Uhr zeigte sich ein erneuter Anstieg der Temperaturkurve, infolgedessen die Messkurve der rel. Luftfeuchte bis auf einen Wert von 86 % absank. Weitere Niederschlagsereignisse ab 14 Uhr führten zu einer Senkung der Temperatur und einem Anstieg der rel. Luftfeuchtigkeit, die somit über den Rest der Tagphase auf konstant hohem Niveau blieb.

Tab. 19 dokumentiert die Einzelheiten der Niederschlagsereignisse zwischen den Witterungsszenarien 3 und 4. Da in den restlichen, nicht dargestellten Zeiträumen der Tage 29.07. und 31.07., sowie 18.07. und 20.07. keine Niederschläge aufgezeichnet wurden, gelten die Werte der dargestellten Niederschläge als vollständige Tagessummen. Trotz annähernd gleich hoher Niederschlagssummen über den Zeitraum von 44 h (Abweichung: 0,3 l/m²) und der Tagesniederschlagssummen (durchschn. Abweichung: 0,6 l/m²) hat der Witterungsparameter unterschiedliche Auswirkungen auf die rel. Luftfeuchte im Maisbestand. Es zeigt sich, dass die bloße Kenntnis von Tagesniederschlagssummen nicht dazu beiträgt, spezifische Witterungsereignisse zu erkennen, welche für die Ausbreitung von Blattpathogenen günstige Bedingungen darstellen. Im Folgenden wird anhand von Fallstudien dargestellt, inwieweit die im Vorhinein beschriebenen Witterungsereignisse die Populationsdynamik von *K. zeae* beeinflussen.

Zur Prüfung der Arbeitshypothese, wohin gehend die bereits beschriebenen, spezifische Witterungsereignisse zur Progression von *K. zeae* beitragen, ist es notwendig, die detaillierte Bonitur der Blattflecken in einem zeitlichen Rahmen den Witterungsbedingungen gegenüberzustellen. Die folgenden Abb. 41 Abb. 42 zeigen die Fallstudien aus den Jahren 2013 und 2014, mit Boniturdaten, die am Versuchsstandort Hohenschulen in den unbehandelten Kontrollen in einem viertägigen Rhythmus erfasst wurden. Als Startpunkt wurde in 2013 das Datum gewählt, an dem die Maispflanzen ihren vollen Habitus entwickelt hatten (BBCH 51, 24.07.2013). In 2014 beginnt die Grafik, zur Vergleichbarkeit der beiden Jahre, am gleichen Datum, an dem die Pflanzen allerdings schon das Stadium BBCH 65 erreicht hatten. Das Ende bildet im Jahr 2013 der starke Anstieg während der Progressionsphase, an dem das Zählen der Flecken aufgrund der hohen Anzahl nicht mehr fortgeführt werden konnte. Analog dazu wurde in 2014 wiederum das gleiche Datum als Endpunkt gewählt. Die Grafiken zeigen außerdem graue Balken mit unterschiedlicher Dicke, welche die zeitlich genauen Phasen von hoher rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$ im Maisbestand dokumentieren.

Die Daten der Phasen hoher rel. Luftfeuchte zeigen, dass es an nur zwei von 45 Tagen im Jahr 2013 nicht zu einer Überschreitung des Wertes von 85 % rel. Luftfeuchte gekommen ist. Im Durchschnitt dauerten die Phasen 10,9 h und fanden in der Regel zwischen 21 Uhr abends und 10 Uhr morgens statt.

Zwischen dem 24.07. und 29.08.2013 stieg die BSB im Mittelwert um 28,3 Flecken auf den untersuchten acht Blättern. Die BHB stieg im gleichen Zeitraum um 3,0 Prozentpunkte pro Boniturtermin und erreichte am 02.09. mit 100 % BHB den Höhepunkt. Zwischen dem 29.08. und 02.09. stieg die BSB zunächst um 202 Flecken an, während sie sich vom 02.09. auf den

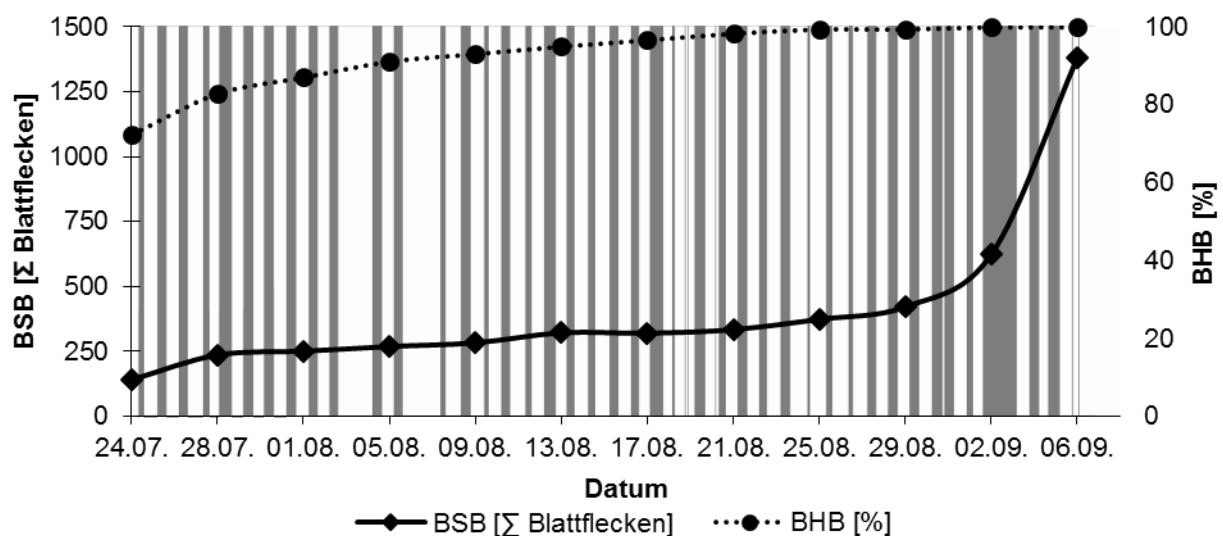


Abb. 41: Standort Hohenschulen, 2013: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K.zeae* und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den

4. Ergebnisse

Blättern 6 - 14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallshäufigkeit der Blätter 6-14

06.09. um weitere 756 Flecken erhöhte. Im erstgenannten Zeitraum wurde im Maisbestand eine Phase mit 25 h rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$ mit einer Unterbrechung von 1 h aufgezeichnet. Des Weiteren fand vom 01.09. bis zum 03.09. eine 39-stündige Periode mit anhaltend hoher rel. Luftfeuchte statt.

Im Zeitraum vom 24.07. bis 13.08. stieg die BSB mit einem durchschnittlichen Zuwachs von 4,8 Flecken nur sehr gering, die BHB zeigte mit einer durchschnittlichen Steigerung von 7,8 Prozentpunkten ebenfalls einen schwachen positiven Trend. Vom 13.08. bis zum nächsten Boniturtermin konnte ein Fleckenanstieg um 59,3 Flecken registriert werden. Auch die BHB stieg im gleichen Zeitraum um 13,9 Prozentpunkte. Der höchste Fleckenzuwachs zwischen zwei Boniturterminen wurde bei der Bonitur am 02.09. registriert, bei der 491,2 neue Blattflecken bonitiert wurden. Den Höhepunkt erreichte die BHB bei der Bonitur am 29.08.

Die Perioden mit hohen rel. Luftfeuchten konnten im Messzeitraum vom 24.07. – 06.09.2014 an allen Tagen erfasst werden. Im Durchschnitt betrug ihre Dauer 13,5 h. Lang andauernde Feuchtphasen wurden sowohl vom 13.08. bis zum 15.08. mit 36 h gemessen, als auch vom 16.08. bis zum 18.08. mit 37 h, sowie vom 31.08. - 02.09. mit 40 h von der Wetterstation aufgezeichnet.

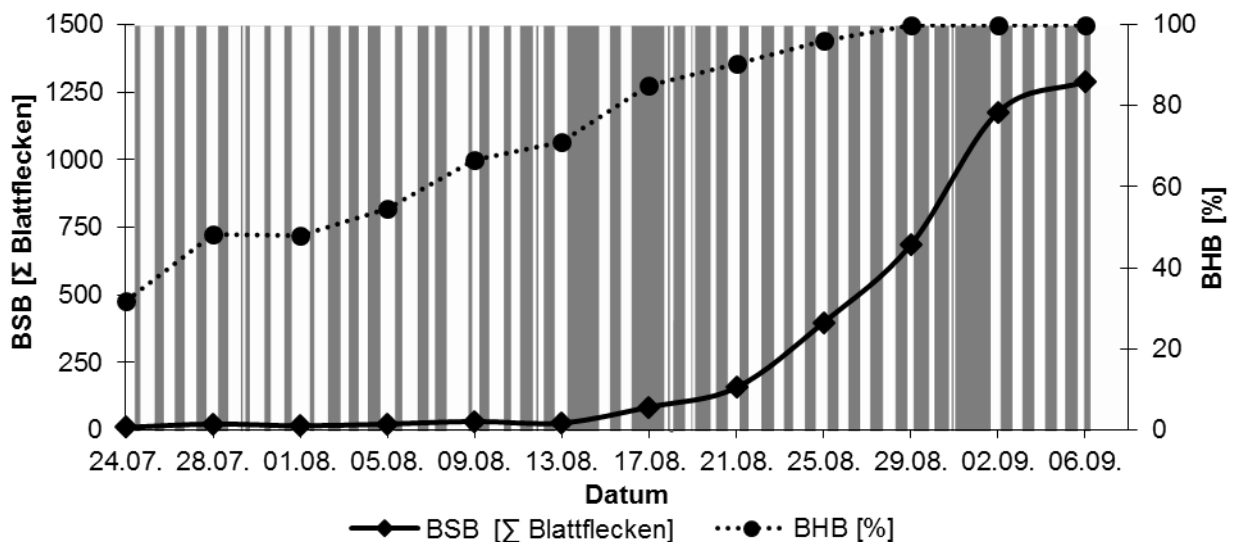


Abb. 42: Standort Hohenschulen, 2014: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K. zeae* und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 -14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallshäufigkeit der Blätter 6-14

Da im Versuchsjahr 2012 keine Auszählung der Blattflecken in einem Vier-Tage-Rhythmus stattgefunden hat, sondern in stadienorientierter Bonitur die prozentual befallene Blattfläche geschätzt wurde, kann Abb. 43 nur bedingt mit den Ergebnissen der Exaktbonituren in 2013 und 2014 verglichen werden. Allerdings soll aufgrund der interessanten Witterungskonstellation im betrachteten Zeitraum im Rahmen einer weiteren Fallstudie ein Trend zum Zusammenhang der Populationsdynamik von *K. zea* und den speziellen Witterungsereignissen mit langandauernden Phasen hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand aufgezeigt werden.

Zu Beginn des betrachteten Zeitraumes am 24.07.2012 befand sich der Mais, anders als die weit fortgeschrittenen Pflanzen in 2013 und 2014, in BBCH 35. Die BSB lag bei 0,7 %, steigerte sich allerdings bis zum Folgebönetur-Termin auf 1,6 %. Es folgte ein stetiger Anstieg auf 9,8 % bis zur letzten Bonitur am 02.09.2012. Die BHB erreichte in der letzten Augustdekade die 100 %.

An allen Tagen im betrachteten Zeitraum konnte mindestens eine Phase mit einer rel. Luftfeuchtigkeit ≥ 85 % detektiert werden. Die durchschnittliche Dauer dieser Phasen betrug 13,7 h und war damit um 0,2 h länger als in 2014 und 2,8 h länger als im gleichen Zeitraum des Versuchsjahres 2013. Zusammenhängende Phasen mit dauerhaft hoher rel. Luftfeuchtigkeit konnten Ende Juli (28.-30.07.) mit 39 h, Anfang August (03.-05.08.) mit 40 h, Mitte August (15.-17.08.) mit 37 h und eine Woche später (23.-25.08.) mit 39 h ausgemacht werden. Weiterhin ist eine Phase zu erkennen, die von einzelnen Stunden unter dem Wert von 85 % rel. Luftfeuchtigkeit unterbrochen ist (25.-27.08. mit 25 + 12 h).

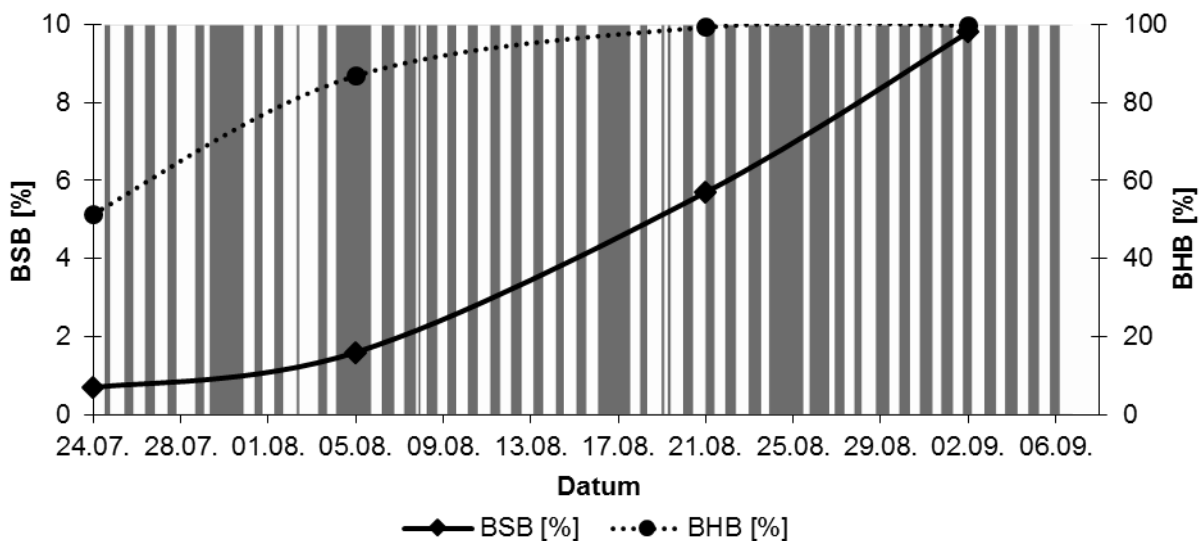


Abb. 43: Standort Hohenschulen, 2012: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K. zea* und den Zeiträumen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; Breite der Balken entspricht Phasen mit rel. Luftfeuchte ≥ 85 %; BSB ist dargestellt als prozentual befallene Blattfläche als Mittel der drei Pflanzensegmente unten, mitte, oben in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschn. Befallsstärke der drei Pflanzensegmente

Zusammenfassend wird in Tab. 20 eine Übersicht über die Anzahl von spezifischen Witterungsereignissen in der Hauptvegetationszeit des Maises von Mai bis September der Jahre 2012 – 2014 am Standort Hohenschulen gegeben. Diese spezifischen Witterungsereignisse werden anhand von Beobachtungen auf einen rel. Luftfeuchtigkeitswert von $\geq 85\%$ festgelegt, der in dem Mikroklima der Maisparzelle für mindestens 36 h vorherrschen muss. Die 36 h ergeben sich aus den durchschnittlichen Längen der Phasen in der Nachtperiode, in denen die rel. Luftfeuchtigkeit über dem Wert von 85 % liegt, in Addition zu den Längen der Phasen am Tag, in denen die hohe Luftfeuchte der Nachtphase in der Regel durch ein Absinken auf Werte unter 85 % unterbrochen, aber durch ein Niederschlagsereignis auf einem hohen Wert gehalten werden kann.

Das Jahr 2012 zeichnete sich einerseits durch mindestens ein Witterungsereignis pro Monat aus, andererseits durch eine Häufung von spezifischen Witterungsereignissen in den Monaten Juli, August und September, in denen jeweils drei Phasen hoher Luftfeuchtigkeit durch die Wetterstation aufgezeichnet wurden. Demgegenüber steht die Verteilung der Phasen im Jahr 2013, wonach zwar zu Beginn der Vegetationsperiode annähernd eine gleiche, bzw. höhere Dichte von Witterungsereignissen als in 2012 herrschte (Mai: +1; Juni: ± 0), die Monate Juli und August dagegen durch insgesamt trockenes Wetter keine spezifischen Witterungsereignisse enthielten. Der September 2013 war dagegen wiederum durch zwei Witterungsereignisse gleichauf mit dem September in 2012. Im Jahr 2014 wurden insgesamt weniger Witterungsereignisse als in den Jahren 2012 (-6) und 2013 (-1) aufgezeichnet. Die Anfangsmonate Mai und Juni waren diesbezüglich mit einem Witterungsereignis deutlich unter der Anzahl von 2012 (3) und 2013 (4). Im August wurde, im Unterschied dazu, mit drei Witterungsereignissen eine hohe Anzahl detektiert.

Tab. 20: Anzahl von spezifischen Witterungsereignissen pro Monat, definiert als rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$ mit einer Dauer von ≥ 36 h in der Maisparzelle, in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen; Daten gelten jeweils bis zum Zeitpunkt der Silomaisernte

Monat	Jahr		
	2012	2013	2014
	Anzahl Witterungsereignisse		
Mai	2	3	1
Juni	1	1	0
Juli	3	0	1
August	3	0	3
September	3	2	0
Summe:	12	6	5

4.1.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von *Kabatiella zea* und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte

In den Versuchsjahren 2012 – 2014 wurden am Standort Hohenschulen, neben den allgemeinen, epidemiologischen Untersuchungen zu den auftretenden Blattkrankheiten am Mais, Versuche zum Einfluss einer Fungizidmaßnahme auf das Auftreten und die Verbreitung von *Kabatiella zea* durchgeführt. Dazu wurde das Fungizid Retengo® Plus verwendet, welches mit den Wirkstoffen Epoxiconazol (50 g/l) und Pyraclostrobin (133 g/l) mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha appliziert wurde. Die Varianten unterschieden sich in den Terminen für die Applikationen, die im Folgenden mit den Abkürzungen V2 - V6 versehen sind (vgl. Abb. 44). Dabei wird zwischen Einmalbehandlungen (V2 - V5) und einer Doppelbehandlung (V6) unterschieden. Als Betrachtungsbeispiel dient die Fallstudie des Jahres 2012, da die Stärke des Auftretens in diesem Jahr am Standort Hohenschulen, gegenüber den restlichen Versuchsjahren, am höchsten war und somit differenzierbare Effekte zu sehen sind.

Die Abb. 44 zeigt die Ergebnisse der Bonitur von *K. zea* als prozentual befallene Fläche in Abhängigkeit der Zeit und des Pflanzensegmentes. Das ebenfalls bonitierte Pflanzensegment „unten“ ist hierbei nicht abgebildet, da es ähnliche Ergebnisse zeigt wie das Pflanzensegment „L -2“ und somit der Befall insgesamt wenig durch eine Fungizidmaßnahme beeinflusst wird. Die Befallswerte der Kontrollparzelle (K) wurden bereits ausführlich in Abb. 24 erläutert, mit Ausnahme der Daten des Boniturtermines am 08.10.2012. Wie bereits erwähnt fand zu diesem Zeitpunkt eine starke Nekrotisierung des Bestandes statt, wodurch eine weitere Bonitur nach prozentual befallener Blattfläche mit identifizierbaren Blattflecken von *K. zea* nicht stattfinden konnte. Zum Vergleich mit den restlichen Applikationsterminen werden allerdings Werte angegeben, die nach den Erfahrungen mit der Beschreibung der Epidemiologie dieses Erregers vertretbar sind.

Bereits acht Tage vor dem ersten Boniturtermin erfolgte am 22.07.2012 die erste Fungizidapplikation zu BBCH 34. Die Daten der Bonitur dieser Fungizidvariante sind als „V2“ dargestellt. Der Befall mit *K. zea* stieg in dieser Variante über die Zeit gesehen zwar an, allerdings deutlich geringer als in der fungizidfreien Kontrollvariante. Besonders auf den oberen Blattetagen L 2, L 1 und L 0 ist ein starker Anstieg zwischen den Bonituren am 03.09. und 08.10. zu sehen. Bis zu diesem Zeitpunkt differierte die Befallsstärken auf den oben Blattsegmenten um bis zu 6,3 Prozentpunkte (L 2, 20.08.) im Vergleich zur Kontrolle. Auf dem Pflanzensegment „oben“ ist der Befall bis zur letzten Bonitur in der Variante 2 eher moderat anzusehen.

Die Applikation der Variante 3 (V3) wurde am 29.07. durchgeführt. Im Vergleich zur eben betrachteten Variante 2 und zu allen anderen Varianten, mit Ausnahme der Variante mit Zweifachapplikation (V6), zeigte sie über den gesamten Boniturzeitraum weniger Befall. Die höchste Befallsstärke dieser Variante zur Endbonitur lag bei 7,6 % auf der Blattetage L 2.

4. Ergebnisse

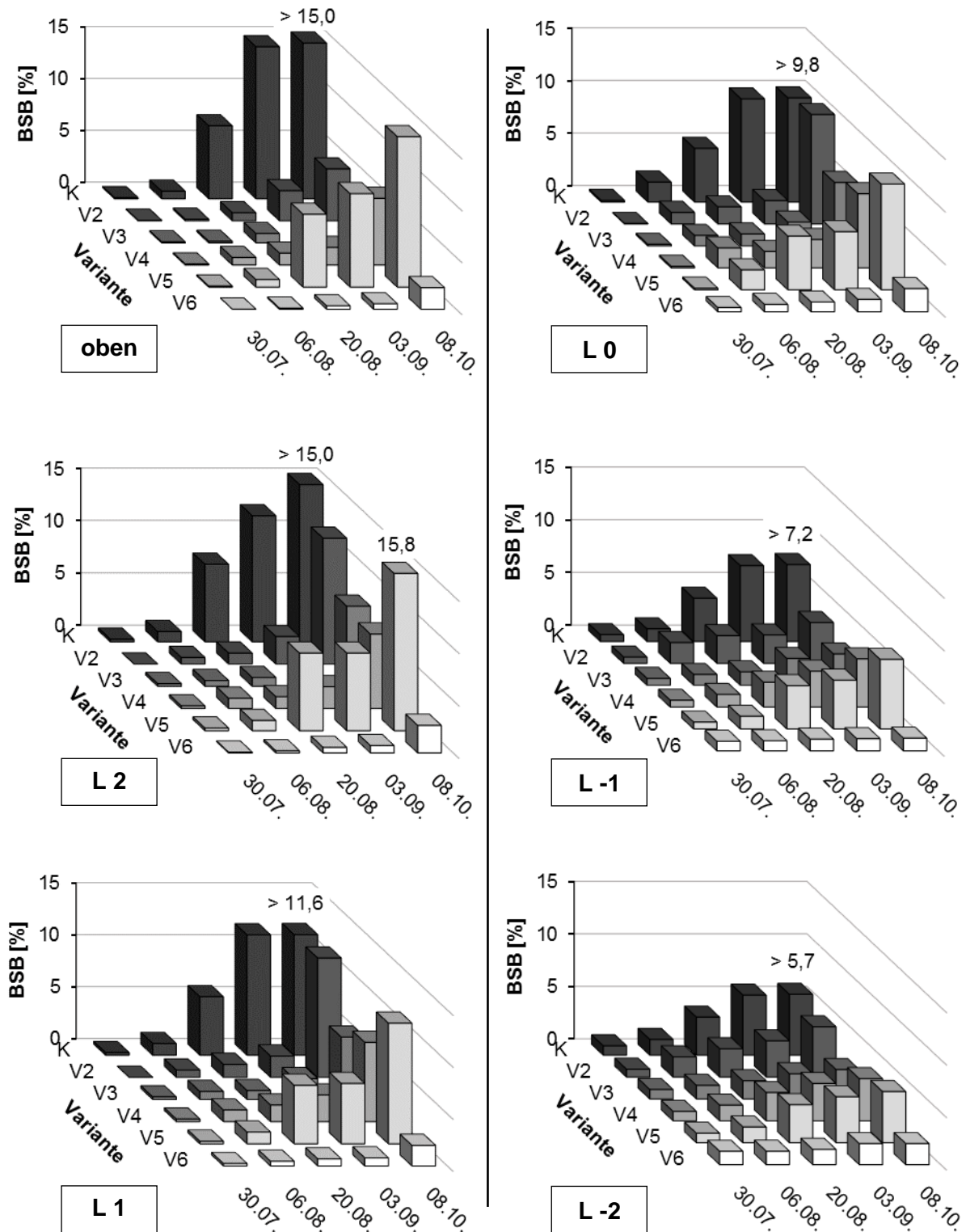


Abb. 44: Standort Hohenschulen 2012: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) zu verschiedenen Stadien des Maises auf die Befallsstärke von *Kabatiella zea* auf den einzelnen Segmenten der Maispflanze (ohne Berücksichtigung des Segmentes „unten“) im Vegetationsverlauf vom 30.07 – 06.10.; zeitliche Abstände der Boniturtermine nicht gleich;

K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu:
 V2 = BBCH 34 am 22.07.;
 V3 = BBCH 37 am 29.07.;
 V4 = BBCH 55 am 06.08.;
 V5 = BBCH 65 am 14.08.; V6 = BBCH 37 + BBCH 65

Variante 4, mit einer Applikation zum Rispenschieben in BBCH 55 am 06.08., deutete bis zum letzten Boniturtermin auf eine ähnlich hohe Befallsstärke wie die Variante 2 mit der Applikation zu BBCH 34 hin. Beide Varianten unterschieden sich am 08.10. mit durchschnittlichen 1,8 Prozentpunkten, wonach die früher applizierte Variante mehr Befall aufwies. Der größte Unterschied war dabei mit 3,9 Prozentpunkten auf der Blattetage L 1 zu finden.

Die Variante 5 mit einer Applikation zur Blüte des Mais (BBCH 65) am 14.08. zeigte auf allen Blattetagen mit die höchsten Befallsstärken von *K. zea* gegenüber den anderen Behandlungsvarianten.

Die Doppelbehandlung zu BBCH 37 und BBCH 65, mit jeweils der vollen Aufwandmenge von 1,5 l/ha, generierte die geringsten Befallsstärken auf allen Blattetagen.

Insgesamt war bei der Betrachtung aller in der Untersuchung bonitierten Blattetagen ein Trend zu beobachten, wonach die höher gelegenen Pflanzensegmente oberhalb des Kolbenblattes zwar einen höheren Befall aufwiesen, allerdings dadurch auch eine höhere Befallsreduktion durch eine Fungizidmaßnahme in allen Varianten erfuhren.

Alle Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklung von *K. zea* in Abhängigkeit einer terminierten Fungizidmaßnahme der drei Versuchsjahre 2012 - 2014 zeigen die Abb. 45 bis Abb. 47. Neben den Daten der Endbonitur bezüglich des Blattfleckererregers, werden die Boniturdaten der Gesamtnekrose gezeigt. Die Gesamtnekrose beinhaltet alle biotischen und abiotischen Ursachen, die zur Verbräunung der Blattfläche der Maispflanze führen. *K. zea* als Hauptblattpathogen am Standort Hohenschulen nahm dabei den größten Teil der biotischen Ursachen ein. Das Auftreten anderer Blattfleckererregere wie *Phoma zea-maydis* oder *Exserohilum turcicum* bewegte sich über alle drei Versuchsjahre im Mittel bei unter 1,0 % befallener Blattfläche.

In Anlehnung an die Abb. 44 zeigt Abb. 45 die zusammengefassten Werte des *K. zea*-Befalls über alle Blattetagen mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“ im Versuchsjahr 2012. Der untere Bereich der Pflanze war aufgrund der fortgeschrittenen Reife bereits vielfach seneszenzbedingt nekrotisiert. Die Applikationstermine zu BBCH 34 (V2) und BBCH 65 (V5) können im Bezug zum *K. zea*-Befall nicht signifikant verschieden zur Kontrolle angesehen werden. Beide Varianten zeigten zur Silomaisernte höhere Befallswerte als die Varianten zu BBCH 37 (V3) und BBCH 55 (V4), die sich höchst und hoch signifikant im Vergleich zur Kontrollvariante unterschieden. Bei der sog. „Gesundvariante“ (V6) mit einer Doppelapplikation in BBCH 37 und BBCH 65 war der Befall mit *K. zea* am geringsten. Mit Blick auf den Grad der Nekrose zur Ernte zeigte sich ein leicht differenziertes Bild gegenüber dem *K. zea*-Befall. Hierbei nahmen die verbräunten Blattareale von der Kontrolle ausgehend kontinuierlich zur Variante V6 ab. Alle Varianten hatten hinsichtlich der Gesamtnekrose signifikant niedrigere Werte an verbräunter Blattfläche als die Kontrolle mit 80,2 %.

4. Ergebnisse

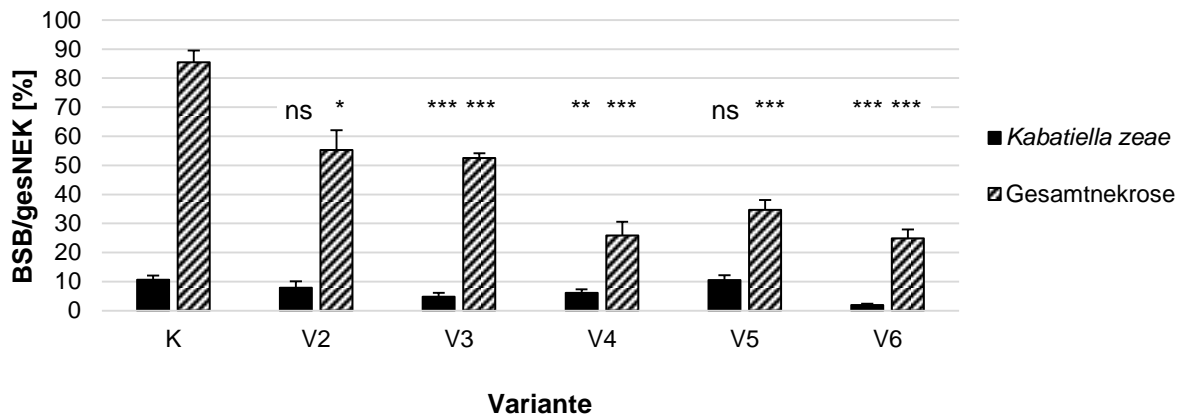


Abb. 45: Standort Hohenschulen, 2012: Befallsstärke von *Kabatiella zeae* und prozentuale Gesamtnekrose an der Gesamtpflanze (Mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“) zur Si-lomaisreife BBCH 85 in Abhängigkeit der Terminierung der Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus; *K. zeae*-Befallsstärke der Kontrolle geschätzt; MW + Stabw; n = 4 Wdh; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34; V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65; V6 = BBCH 37 + BBCH 65

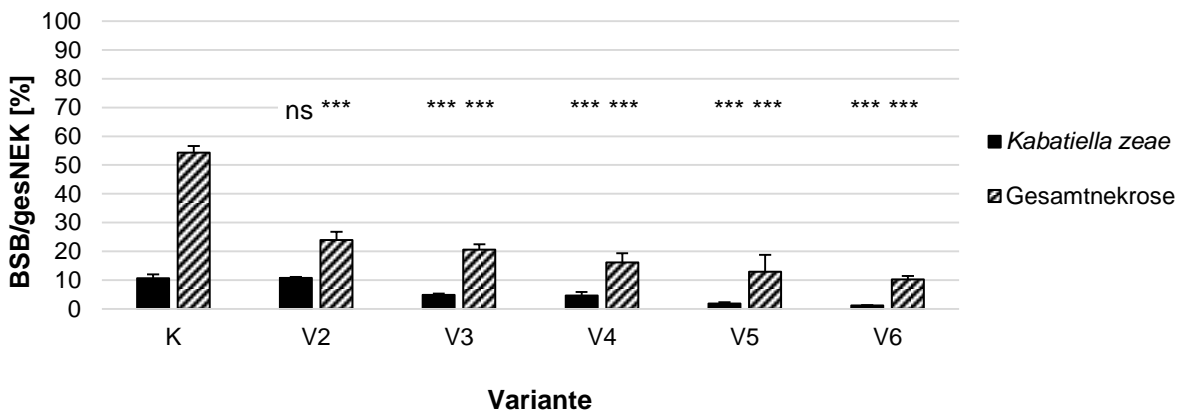


Abb. 46: Standort Hohenschulen, 2013: weitere Erläuterungen siehe Abb. 45

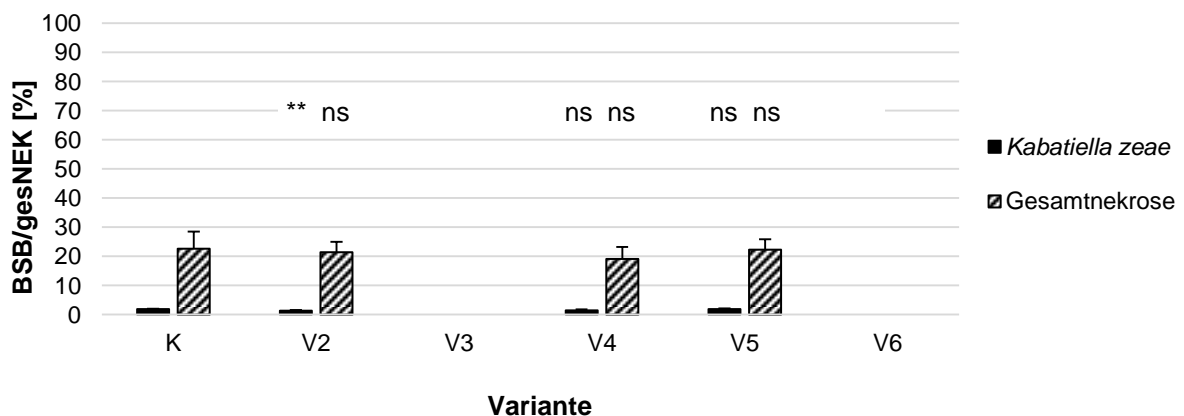


Abb. 47: Standort Hohenschulen, 2014: weitere Erläuterungen siehe Abb. 45

Die Applikationstermine, bei denen die Stadien des Rispen-schiebens oder der Blüte mit eingeschlossen waren, zeigten weniger Gesamtnekrose als vorherige Stadien. Applikationen zu BBCH 55 und 65 konnten im Mittel eine Verlustminderung in Form der Erhaltung von grüner Blattmasse in Höhe von 35,5 % oder 55,2 Prozentpunkten realisieren. Beide Termine sind hinsichtlich der Nekrotisierung statistisch nicht voneinander unterscheidbar (nicht dargestellt).

Im Versuchsjahr 2013 (Abb. 46) war die Korrelation zwischen der Befallsstärke von *K. zeae* und dem Gesamtnekrosewert stärker ausgeprägt als im Versuchsjahr 2012. Die Kontrolle und die frühe Fungizidvariante mit der Behandlung zu BBCH 34 zeigen mit 10,6 %, bzw. 10,8 % keinen statistisch absicherbaren Unterschied. Bei den Einzelbehandlungen zeigt sich ein Trend, wohin gehend eine spätere Fungizidbehandlung eine stärkere Reduktion der Befallsstärke von *K. zeae* zur Folge hat. Die Applikation zu BBCH 65 zeigt demnach mit 1,9 % BSB, mit Ausnahme der Doppelbehandlung mit 1,2 %, den geringsten Befall im Versuchsjahr. Eine spätere Behandlung hat auch im Hinblick auf die Gesamtnekrose geringere Werte zur Ernte in BBCH 85 zur Folge. Mit 54,3 % Gesamtnekrose unterschied sich die unbehandelte Kontrolle signifikant von allen Behandlungsvarianten, die im Bereich von 10,0 - 25,0 % Gesamtnekrose lagen.

Aufgrund von sehr wüchsigen Bedingungen im Versuchsjahr 2014 konnte keine eindeutige Differenzierung des Stadiums BBCH 37 (7. Stängelknoten wahrnehmbar) erfolgen (Abb. 47). Der Übergang zum Stadium BBCH 51 - 55, in dem die Fungizidmaßnahme zum Rispen-schieben erfolgen sollte, war fließend innerhalb von 3 Tagen durchlaufen. Dadurch konnten die vorgesehenen Varianten V3 und die Doppelbehandlung als V6 nicht durchgeführt werden. Die Ergebnisse der restlichen Varianten zeigten zum Boniturtermin vor der Silomaisern-te keine statistischen Signifikanzen, mit Ausnahme des *K.zeae*-Befalls in der Behandlungs-variante zu BBCH 34 (V2), der signifikant niedriger war als der Kontrollwert. Da die Befalls-werte im Jahr 2014 tendenziell niedriger waren als in den vorherigen Versuchsjahren, trat der statistisch absicherbare Unterschied dieser beiden Varianten mit einer Differenz von 0,5 Prozentpunkten in der Praxis kaum in Erscheinung. Die BSB für das Blattpathogen lag über alle Varianten im Bereich von 1,4 % bis 1,9 %, die Gesamtnekrose wurde kurz vor der Ernte mit 19,7 % (V4) bis 22,7 % (K) erfasst.

4.1.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungsereignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen

Als Zusammenfassung der vorangegangenen Unterkapitel bleibt an dieser Stelle zu klären, inwieweit der Befall mit dem Blattfleckererreger *Kabatiella zea*, welcher in Zusammenhang zu den bereits beschriebenen, spezifischen Witterungsereignissen steht, durch die festen, stadienorientierten Fungizidapplikationen erklärt werden kann. Da gezeigt werden konnte, dass ein, zwar niedriger, aber in vielen Fällen statistisch signifikant unterschiedlicher Befall zur Endbonitur der Fungizidvarianten auftrat, soll in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 48 bis Abb. 50) der zeitliche Zusammenhang der steuerbaren und nicht steuerbaren Einflussgröße betrachtet werden.

In Abb. 48 zeigt die Fallstudien aus dem Jahr 2012 vom Standort Hohenschulen, dass im Betrachtungszeitraum 01.07. - 30.09. insgesamt neun spezifische Witterungsereignisse mit einer Dauer von ≥ 36 h bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von ≥ 85 % in der Maisparzelle auf dem Versuchsfeld durch die Wetterstation aufgezeichnet werden konnten. Die Ereignisse waren im Zeitraum der Fungizidbehandlungen relativ homogen verteilt, womit jede Applikation inklusive der kurativen und protektiven Leistung des Fungizids von 5, bzw. 21 Tagen mindestens zwei (BBCH 65), in der Regel allerdings drei Phasen hoher Luftfeuchte im Bestand abdeckten. Die nicht abgebildete Variante 6 mit einer Doppelbehandlung zu den Stadien BBCH 37 und BBCH 65 überdeckte einen Großteil der eingetretenen Witterungsereignisse.

In der Fallstudie aus dem Versuchsjahr 2013 (Abb. 49) wurde zu keinem Zeitpunkt während der Wirkungsdauer des Fungizids ein Witterungsereignis detektiert. An anderer Stelle (vgl. Tab. 20) wurde bereits erwähnt, dass in den Monaten Juni und insbesondere im Monat Mai diverse spezifische Witterungskonstellationen eintraten. In Anlehnung an Abb. 46 wird mit abnehmendem Zeitraum zwischen Wirkungsbereich des Fungizids und Witterungsereignis der zunehmende Wirkungsgrad der Maßnahme in Form von reduziertem Befall mit *K. zea* und reduzierter Gesamtnekrose zur Erntebonitur deutlich.

Auch das Versuchsjahr 2014 war geprägt von einer langen Phase zwischen Juli und August, in der kein Witterungsereignis von der Wetterstation aufgezeichnet werden konnte (Abb. 50). Da die Fungizidbehandlung zu BBCH 37 (V3) entfallen ist, führte nur die Applikation zum frühen Stadium BBCH 34 (V2) zu einer Überlappung mit einem detektierten Witterungsereignis. Erst nach der Wirkungsdauer der Maßnahme zur Maisblüte in BBCH 65 (V5) wurden vermehrt lange Phase mit hoher rel. Luftfeuchte registriert. Da die Endbonitur des Versuches und die kurz darauf folgende Ernte aufgrund der guten Reifeverhältnisse bereits am 09.09.2014 erfolgte, sind die ab Mitte September registrierten Witterungsereignisse nicht mehr der Erregerentwicklung hinzu zu rechnen.

4. Ergebnisse

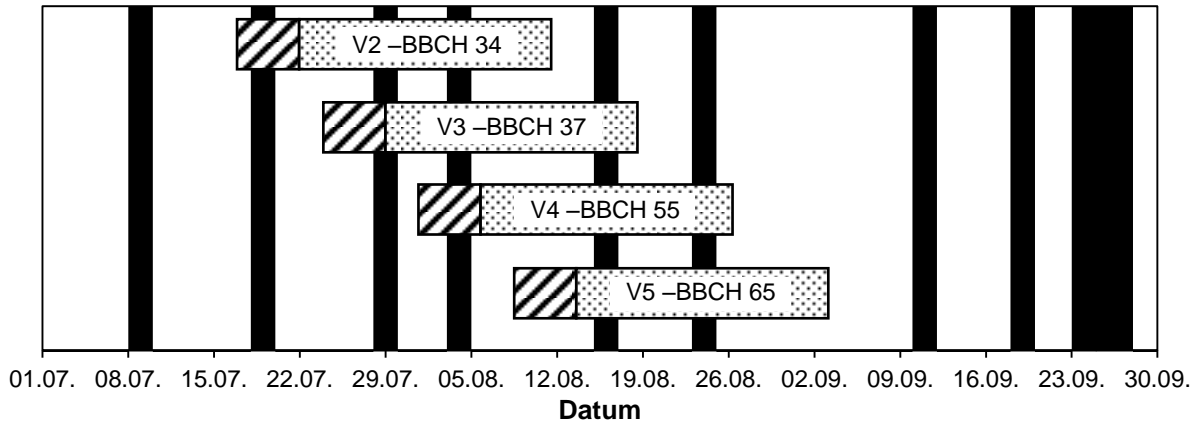


Abb. 48: Standort Hohenschulen, 2012: Weitere Erläuterungen, siehe unten

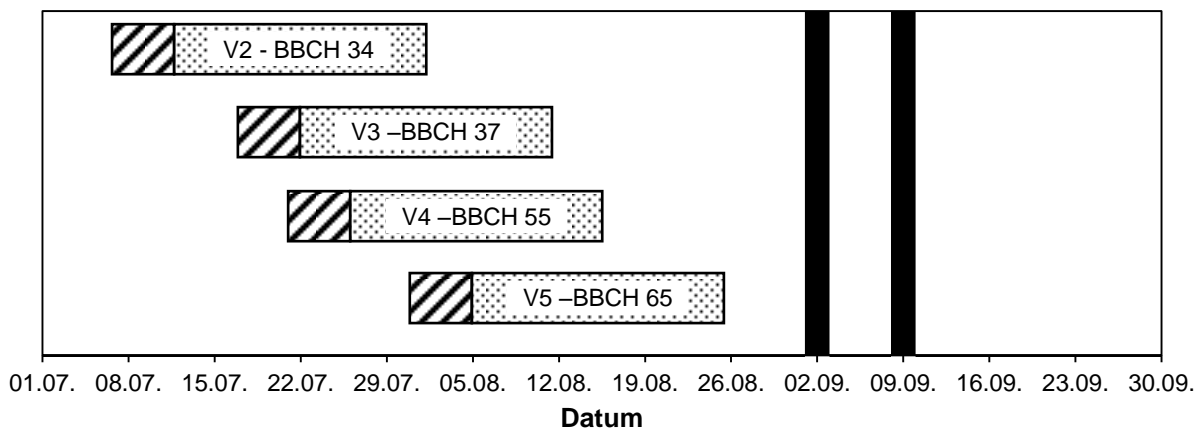


Abb. 49: Standort Hohenschulen, 2013: Weitere Erläuterungen, siehe unten

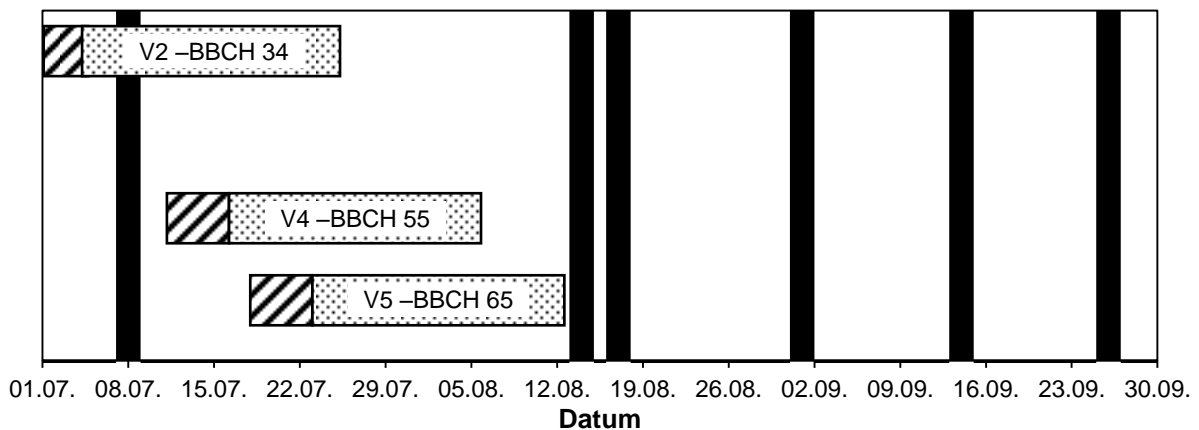


Abb. 50: Standort Hohenschulen, 2014: Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungsereignissen mit längeren Phasen (≥ 36 h) rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$ im Maisbestand und den verschiedenen Applikationsterminen des Fungizids Retengo[®] Plus mit Wirkungsdauer von kurativer und protektiver Phase; Variante 6 (nicht aufgeführt) ist eine Doppelbehandlung aus V3 und V5

- = Zeiträume mit rel. Luftfeuchtigkeit $\geq 85\%$ im Maisbestand
- = Kurative Phase des Fungizids (5 Tage)
- = Protektive Phase des Fungizids (21 Tage)

4.1.4 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf das Auftreten von Mykotoxinen

4.1.4.1 Mykotoxine im Silomais

Die Ergebnisse der Mykotoxinanalyse der Nutzungsrichtung Silomais von 2012 bis 2014 am Standort Hohenschulen zeigen die nachfolgenden Abb. 51 bis Abb. 53. Aufgeführt sind die Ergebnisse als Mittelwert mit Standardabweichung der vier Wiederholungen in Abhängigkeit der Applikationsvarianten, die in der mittleren Spalte zwischen den Balkendiagrammen für DON und ZEA aufgetragen sind.

Im Versuchsjahr 2012 war die Kontamination mit dem Mykotoxin ZEA in fünf von sechs Varianten des Versuches höher als der Gehalt an DON in den Ernteproben (Abb. 51). Dazu waren die Belastungen der einzelnen Wiederholungen sehr unterschiedlich, was durch die Höhe der Standardabweichungen deutlich wird. Die Kontrolle hatte mit 319,7 µg/kg TM den höchsten Gehalt an ZEA, zeigte aber auch mit einer Standardabweichung von 412,7 µg/kg TM ein starke Streuung, die durch Werte in den Wiederholungen von unterhalb der Detektionsgrenze der LC/MS in Wiederholung A bis hin zu 1027,6 µg/kg TM in Wiederholung C reichten. Die weiteren Ergebnisse zur ZEA-Belastung kann der Höhe nach in drei Gruppen geteilt werden: Die späten Applikationstermine zu BBCH 55 und BBCH 65 zeigten Werte im Bereich von 217,0 µg/kg TM und 173,9 µg/kg TM und waren damit nach der Kontrolle die am höchsten kontaminierten Proben. Die nächste Gruppe bildet sich auch den frühen Behandlungen zu BBCH 34 und BBCH 37, die Gehalte von 154,9 µg/kg TM und 139,9 µg/kg TM aufwiesen. Die niedrigsten Belastungen wurden mit einer Doppelbehandlung zu BBCH 37 + 65 erreicht. Die Höhe des Mykotoxins ZEA in dieser Variante lag mit 32,0 µg/kg TM 90 % unterhalb des Wertes der unbehandelten Kontrolle. Alle Varianten mit Fungizideinsatz waren in den Ergebnissen beider Nutzungsrichtungen im Jahr 2012 ohne signifikante Unterschiede zu den Werten der unbehandelten Kontrolle. Die DON-Kontamination der Silomaisproben zeigte im Jahr 2012 eine geringe Belastung mit einem Wert von 218,2 µg/kg TM in der Kontrollvariante. Die weiteren Ergebnisse der Varianten mit Fungizideinsatz waren weniger belastet, je später die Applikation durchgeführt wurde. Neben der Doppelbehandlung (V6), deren geringer Wert nicht mehr durch die Analysetechnik erfasst werden konnte, hat die beste Einzelbehandlung zur Blüte des Maises in BBCH 65 (V5) eine Kontamination von 93,1 µg/kg TM. Kein Wert der dargestellten Applikationsvarianten konnte statistisch signifikant zur Kontrollvariante gesehen werden. Im Versuchsjahr 2013 (Abb. 52) waren die DON- und ZEA-Werte um das 10,7-, bzw. 2,1-fache höher als im Jahr zuvor. Zum anderen zeigten in 2013 auch die ZEA-Werte einen Gradienten, wonach eine spätere Fungizidanwendung zu einem niedrigeren Mykotoxingehalt im Erntegut Silomais führte, die bei allen Varianten einen hoch, bzw. höchst signifikanten Unterschied zu der Kontrollvariante aufwies. Den höchsten Wirkungsgrad zeigte dabei die Variante V5 zur Blüte des Maises, welche die ZEA-Belastung der Kontrollvariante in Höhe von 759,4 µg/kg TM um 78,7 % auf 161,4 µg/kg TM senken konnte.

4. Ergebnisse

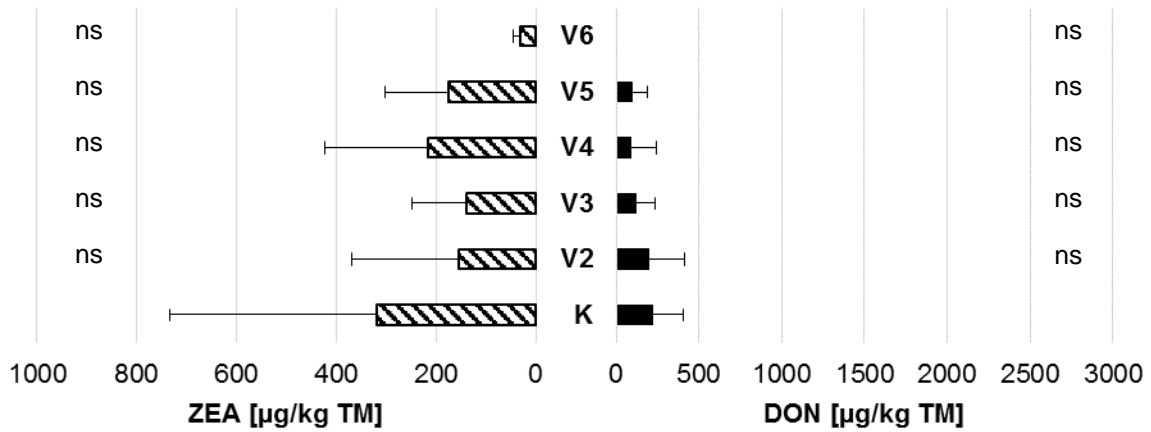


Abb. 51: Standort Hohenschulen, Silomais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

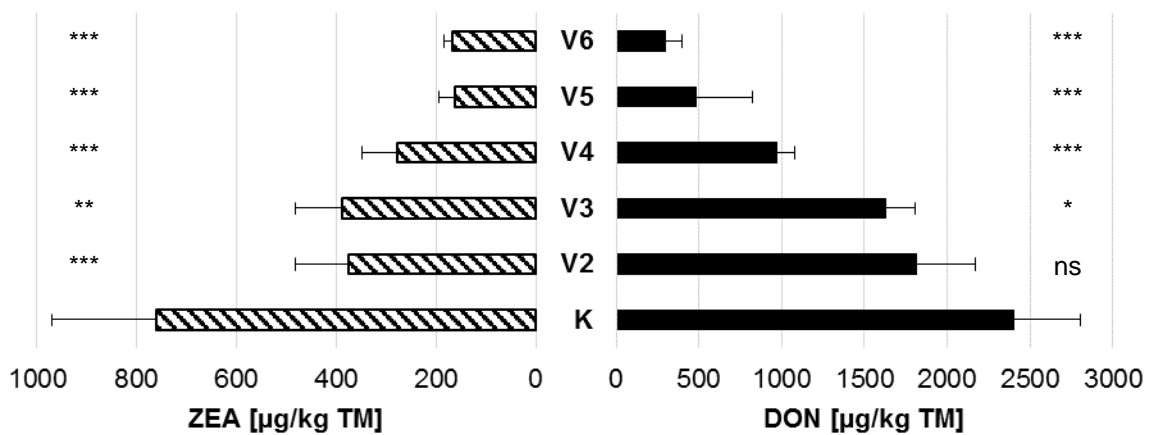


Abb. 52: Standort Hohenschulen, Silomais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 51

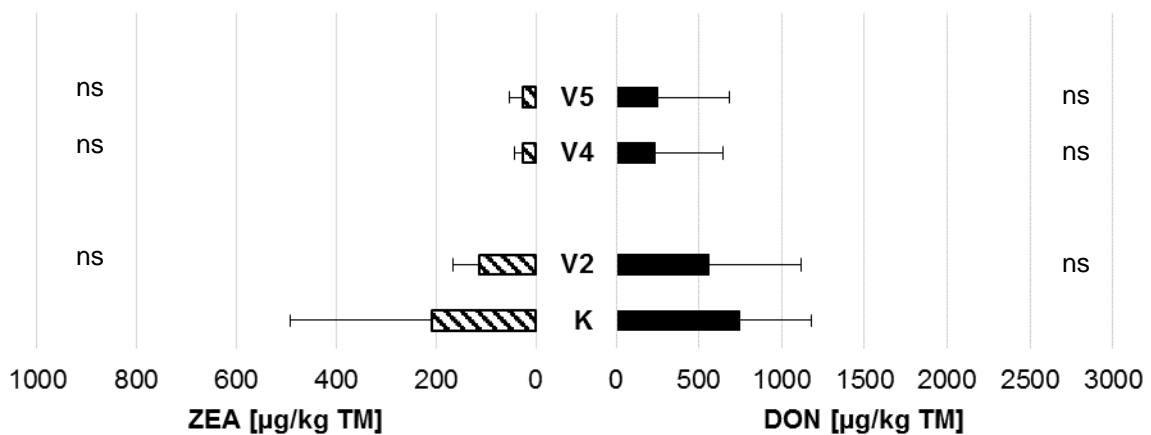


Abb. 53: Standort Hohenschulen, Silomais 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 51

Bereits frühe Applikationen des Fungizids zu BBCH 34 oder BBCH 37 senkten die ZEA-Kontamination im Durchschnitt um 49,8 % auf 374,2 µg/kg TM, bzw. 388,5 µg/kg TM. Die DON-Gehalte konnten in ähnlichem Maße durch eine Fungizidanwendung gesenkt werden, wobei die früheste Variante zu BBCH 34 zwar eine Reduktion von 24,5 % aufwies, allerdings als einzige Variante statistisch nicht signifikant verschieden zur Kontrolle war. Die Belastung der Kontrolle mit 2398,3 µg/kg TM wurde mit der höchsten Wirkung der Einzelbehandlungen von der Variante V5 (BBCH 65) um 79,7 % auf 485,9 µg/kg TM reduziert. Nur die Variante V6 mit einer Doppelbehandlung zu BBCH 37 und 65 (297,8 µg/kg TM, 87,6 %) konnte den Gehalt an DON stärker verringern.

Im Versuchsjahr 2014 konnten am Standort Hohenschulen die Varianten V3 und V6 nicht durchgeführt werden, wodurch sich die Darstellung der Ergebnisse der Mykotoxinanalyse auf insgesamt vier Varianten beschränkt (Abb. 53). Die Kontrollvariante zeigte sowohl für DON als auch für ZEA mit 745,3 µg/kg TM bzw. 208,8 µg/kg TM die höchsten Belastungen des Versuches. Diese Werte konnten durch fungizide Gegenmaßnahmen in allen übrigen Varianten gesenkt werden, allerdings zeigten sich diese Ergebnisse als statistisch nicht signifikant zu den Werten der Kontrollvariante. Ein Trend, wonach spätere Behandlungen eine höhere Reduktion der Mykotoxine zur Folge hatten, kann allerdings aufgezeigt werden. Die höchste Reduktion konnte mit 68,4 % des DON-Wertes und 87,8 % des ZEA-Wertes in der Variante 4 (BBCH 55) zum Rispschieben des Maises erfasst werden.

4.1.4.2 Mykotoxine im Körnermais

Die Körnermaisproben des Fungizidversuches aus dem Jahr 2012 am Standort Hohenschulen waren sehr gering mit Mykotoxinen belastet. Die DON-Gehalte lagen in allen Varianten unter der Detektionsschwelle der LC/MS und auch die ZEA-Werte bewegten sich lediglich in einer Schwankungsbreite von 0,1 - 0,5 µg/kg TM, so dass keine Darstellung der Analyseergebnisse erfolgt. Weiterhin sind die Analyseergebnisse aus dem Jahr 2014 in der Nutzungsrichtung Körnermais nicht verfügbar, da der Versuchsteil durch eine frühzeitige Fehlbeernte zerstört wurde.

Die verbliebenen Ergebnisse aus dem Jahr 2013 werden in Abb. 54 dargestellt. Sie zeigen eine ähnliche Abstufung der Belastungen mit DON und ZEA, wie sie bereits in den Silomaisernteproben zu erkennen waren, wonach ein Trend der geringeren Belastung bei späterem Fungizideinsatz besteht. Die Kontrollvariante war in Höhe von 236,5 µg DON/kg TM sowie 164,5 µg ZEA/kg TM kontaminiert. Die stärksten Reduktionen von 94,8 % des DON-Wertes, bzw. 95,6 % des ZEA-Wertes wurden mit den Varianten V5 (BBCH 65) und V6 (Doppelbehandlung zu BBCH 37 + BBCH 65) erzielt, bei denen die Mykotoxingehalte gleich hoch waren. Die statistische Analyse ergibt signifikante Unterschiede zur Kontrolle bei beiden Toxinen in den Varianten V4, V5 und V6.

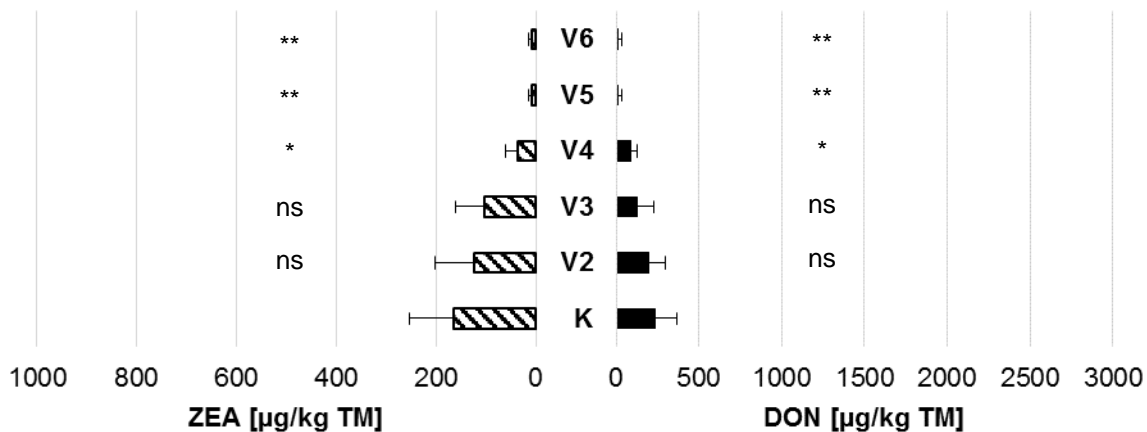


Abb. 54: Standort Hohenschulen, Körnermais, 2013: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

4.1.5 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf die Erträge von Silo- und Körnermais

In diesem Kapitel werden die Erträge der beiden Nutzungsrichtungen Silo- und Körnermais vom Standort Hohenschulen jahresspezifisch in kombinierten Grafiken dargestellt. Die Ertragsberechnung erfolgte im Fall des Silomaises auf 100 % Trockenmasse, wohingegen beim Körnermais, wie bei anderen Getreidearten auch, alle Ergebnisse auf eine Restfeuchtigkeit von 14 % (86 % Trockenmasse) berechnet wurden.

Im Durchschnitt aller Varianten mit Fungizideinsatz zeigte der Silomais am Standort Hohenschulen im Jahr 2012 eine Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges von 19,2 dt TM/ha gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Abb. 55). Mit einer Applikation des Fungizids zur Blüte des Maises in BBCH 65 ist V5 mit einem Ertragsanstieg von 28,6 dt TM/ha die Variante mit dem höchsten Ertrag in diesem Versuch. Als einzige kann sie auch im Hinblick auf die statistische Auswertung einen signifikanten Ertragsunterschied zur Kontrollvariante aufzeigen. Alle anderen Varianten hatten trotz eines positiven Ertragseffekts durch die Fungizidapplikation keine statistische Signifikanz zur Kontrolle. Bei den Ertragsergebnissen der Nutzungsrichtung Körnermais konnte ebenfalls die Variante 5 (BBCH 65) mit einer Verlustminderung von 25,0 dt TM/ha den höchsten Ertrag generieren. Die Ertragssteigerung der fungiziden Varianten gegenüber der Kontrolle lag im Durchschnitt bei 19,2 dt TM/ha. Im Gegensatz zu

4. Ergebnisse

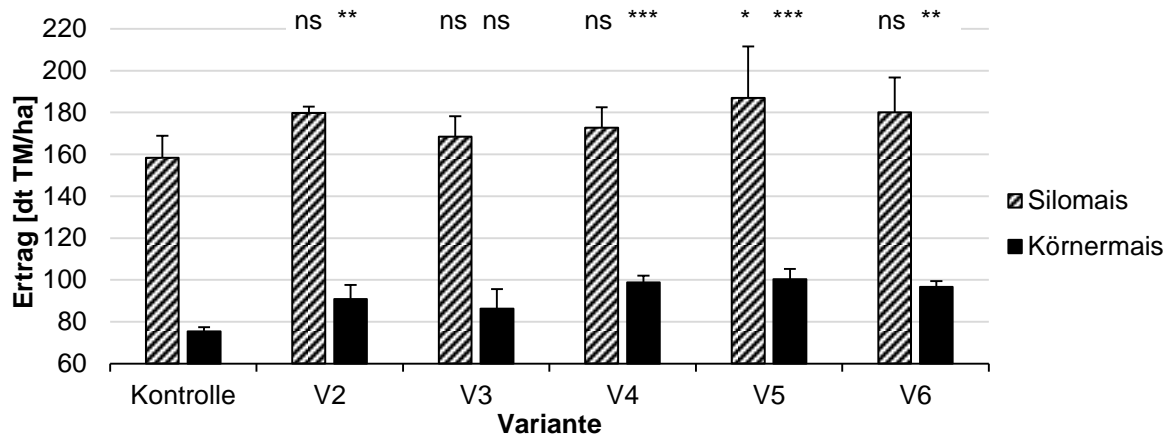


Abb. 55: Standort Hohenschulen, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65; Beschriftung der Balken entspricht absoluter Abweichung der Variante zur unbehandelten Kontrolle

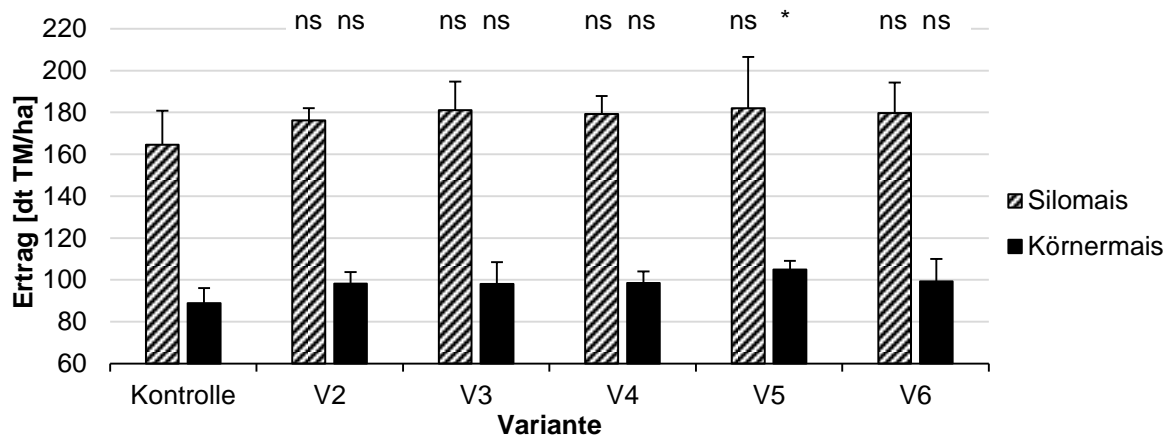


Abb. 56: Standort Hohenschulen, 2013: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 55

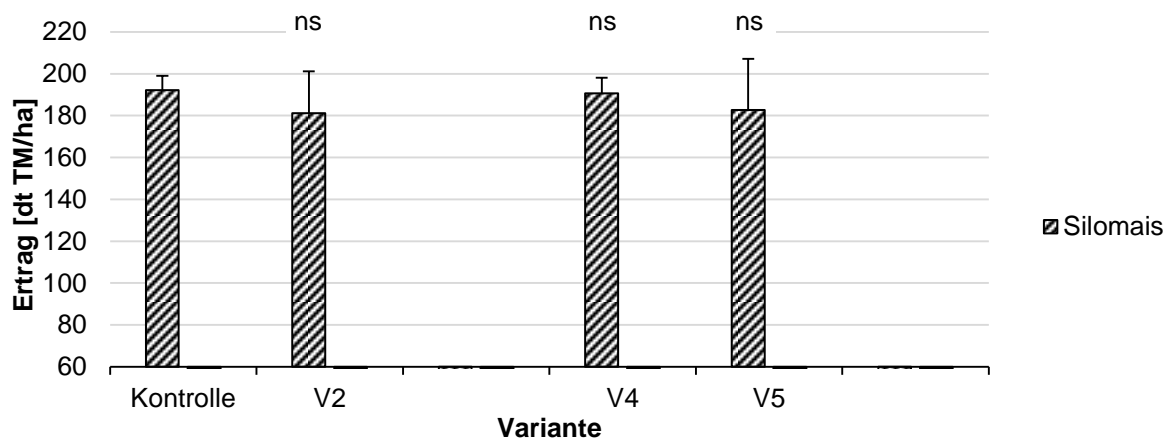


Abb. 57: Standort Hohenschulen, 2014: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; V3, V6 und Nutzungsrichtung Körnermais wurden 2014 nicht durchgeführt; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 55

den Ergebnissen des Silomaises hatten vier der fünf Varianten im Bezug zur Erntemenge Körnermais mit Fungizideinsatz hohe und höchst signifikante Unterschiede zur Kontrollvariante. Bei beiden Nutzungsrichtungen ist der Ertrag der Variante mit einer Fungizidbehandlung zu BBCH 37 am niedrigsten im Vergleich zu den übrigen fungiziden Varianten. Das Verhältnis von Silomais- zu Körnermaisertrag kann im Durchschnitt aller Varianten mit einem Faktor von 0,52 beschrieben werden.

Auch im Versuchsjahr 2013 treten in beiden Nutzungsrichtungen positive Effekte einer Fungizidapplikation zu allen Terminen im Hinblick auf die Ertragsergebnisse auf (Abb. 56). Im Durchschnitt aller Varianten mit fungizider Anwendung werden 15,1 dt TM/ha Verlustminderung durch einen Anstieg des Ertrages verzeichnet. Wiederum kann die Variante zur Blüte des Maises in BBCH 65 den höchsten Ertrag generieren, der 17,4 dt TM/ha über dem Ergebnis der Kontrollvariante liegt. Trotz der positiven Effekte in allen Fungizidvarianten ist keines der Ergebnisse der Nutzungsrichtung Silomais im Rahmen der statistischen Auswertung signifikant unterschiedlich zur Kontrollvariante. Auch die Körnermaisergebnisse zeigten in der Fungizidbehandlung zur Maisblüte in der Variante V5 die höchsten Erträge. Mit einer Ertragssteigerung von 16,1 dt TM/ha ist das Ergebnis signifikant unterschiedlich zum Kontrollertrag.

Die Ertragsergebnisse des Jahres 2014 zeigt Abb. 57. Wegen der genannten Umstände sind lediglich die Ergebnisse der Nutzungsrichtung Silomais und dabei die Kontrolle, sowie die Varianten V2, V4 und V5 abgebildet. Keine der Fungizidvarianten führte zu einer Ertragssteigerung gegenüber der Kontrollvariante. Die Varianten V2 (BBCH 34) und V5 (BBCH 65) waren gegenüber den Ertragsergebnissen der Kontrolle und der V4 durch höhere Standardabweichungen gekennzeichnet. Hinzu kam, dass keine der Fungizidvarianten ein signifikant unterschiedliches Ergebnis zu der Kontrolle aufwies.

Durch die Betrachtung der drei Versuchsjahre 2012 - 2014 (Körnermais: 2012 - 2013) am Standort Hohenschulen in zusammengefasster Form können unabhängig von den spezifischen Gegebenheiten eines Jahres die Auswirkungen der terminierten Fungizidanwendungen im Mais auf den Ertrag in den jeweiligen Nutzungsrichtungen dargestellt werden (Abb. 58). Die Grafik gibt an, dass, im Durchschnitt von drei Jahren, jede Fungizidanwendung unabhängig von der Terminierung zu einer Ertragssteigerung in den beiden Nutzungsrichtungen Silo- und Körnermais führte. In Zahlen ausgedrückt lag diese Verlustminderung im Durchschnitt für Silomais bei 8,0 dt TM/ha (4,7 %) und für Körnermais bei 15,1 dt TM/ha (18,4 %). Die Terminierung des Fungizides mit den stärksten Ertragseffekten ist in beiden Fällen Variante 5 mit einer Fungizidanwendung zur Blüte des Maises in BBCH 65. Die Verlustminderungen lagen hier im Durchschnitt der Jahre für Silomais bei 12,2 dt TM/ha (7,1 %) und für Körnermais aus den beiden Jahren 2012 und 2013 bei 20,6 dt TM/ha (25,1 %). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Nutzungsrichtung Silomais, bei der nur das Ertragser-

4. Ergebnisse

gebnis der Variante 5 signifikant unterschiedlich zur Kontrollvariante war, zeigt die statistische Analyse bei der Nutzungsrichtung Körnermais für alle Varianten signifikante bis höchst signifikante Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle auf. Das Verhältnis von Silomais- zu Körnermaisertrag kann, im Durchschnitt aller Varianten in allen Jahren, in denen die jeweiligen Nutzungsrichtungen am Standort Hohenschulen angebaut wurden, mit einem Faktor von 0,52 beschrieben werden.

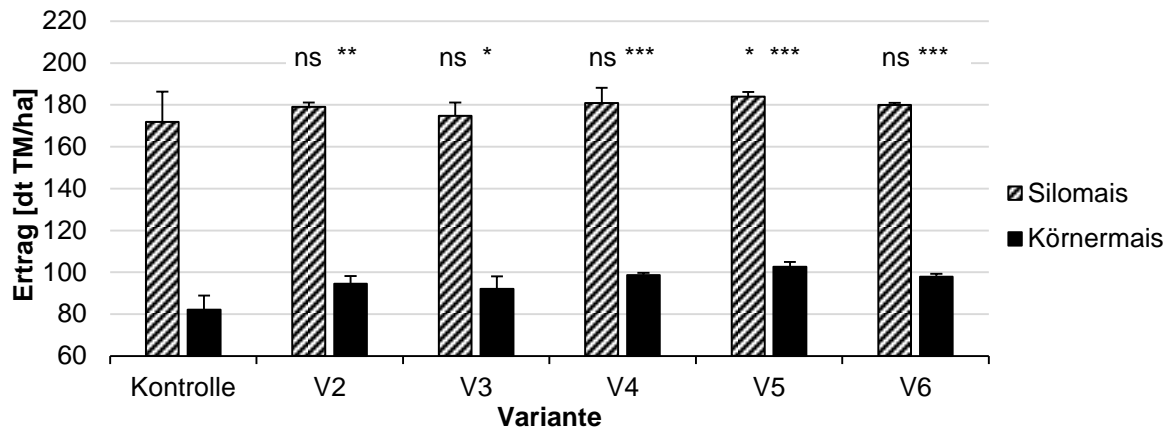


Abb. 58: Standort Hohenschulen, 2012 - 2014: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 3 Jahre mit Ausnahme der Nutzungsrichtung Körnermais (n = 2 Jahre) und den Silomais Varianten V3 und V6 (n = 2 Jahre); MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65; Beschriftung der Balken entspricht absoluter Abweichung der Variante zur unbehandelten Kontrolle

4.2 Versuchsstandort Reding (Bayern) 2012 - 2014

4.2.1 Witterung Reding

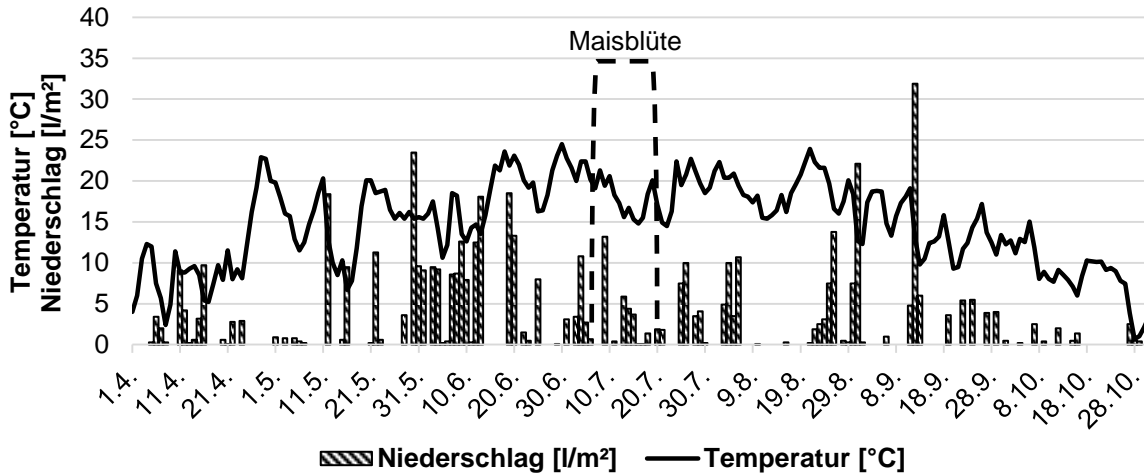


Abb. 59: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2012 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

Der Witterungsverlauf am Standort Reding im Jahr 2012 zeigte zu Beginn der Vegetationsperiode des Maises in den Monaten April und Mai wechselhafte Temperaturbedingungen mit Schwankungen in der Tagesmitteltemperatur $> 10^{\circ}\text{C}$ (Abb. 59). Vom Monatsmittel aus betrachtet glichen sich diese Temperaturschwankungen aus, so dass sich positive Werte von jeweils $0,6^{\circ}\text{C}$ im Vergleich zum LMW ergaben (Abb. 60). Diese Tendenz galt auch für die übrigen Monate des Jahres 2012, womit insgesamt gesehen eine Durchschnittstemperatur von $15,0^{\circ}\text{C}$ resultierte, die $0,6^{\circ}\text{C}$ über dem LMW lag.

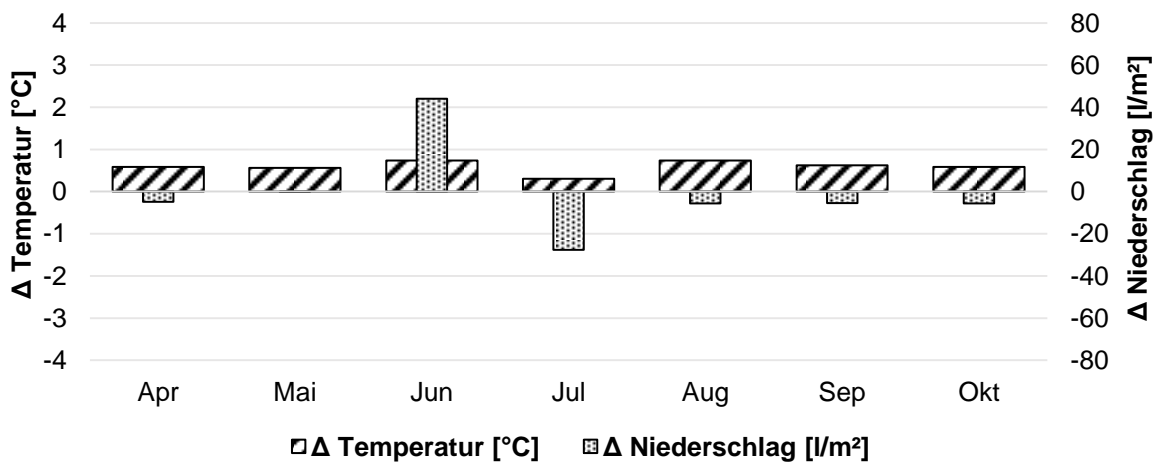


Abb. 60: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2012 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau

Die Niederschlagsverteilung für das Jahr 2012 zeigte bis auf die Monate Juni und Juli kaum Abweichung vom LMW, wobei keine Woche ohne Niederschläge verzeichnet wurde. Der Überschuss an Niederschlägen im Monat Juni ($+44,1 \text{ l/m}^2$) wurde durch das Defizit des Mo-

4. Ergebnisse

nats Juli (-27,5 l/m²) ausgeglichen, so dass sich bei der Betrachtung des gesamten Vegetationszeitraumes lediglich ein Niederschlagsdefizit von -4,7 l/m² ergab (Tab. 22). Im Zeitraum der Blüte vom 06.07. – 20.07.2012 wurden bei einer Durchschnittstemperatur von 18,0°C 31,8 l/m² gemessen (Tab. 21).

Tab. 21: Witterungsdaten in der Phase der Maisblüte von BBCH 63 (Spitzen der Narbenfäden) bis BBCH 67 (Narbenfäden beginnen zu vertrocknen) in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchstandort Reding

Jahr	Beginn	Ende	Mittelwert Temperatur [°C]	Summe Niederschlag [l/m ²]
2012	06.07.	20.07.	18,0	31,8
2013	18.08.	30.08.	16,8	57,6
2014	16.07.	30.07.	20,6	16,8

Vom Temperaturverlauf über die Vegetationsperiode 2013 zeigte sich der Mai 1,3°C kühler als der LMW, die Monate Juli, August und September mit 1,6°C, 0,8°C bzw. 0,1°C dagegen wärmer (Abb. 62). Über den gesamten Zeitraum gesehen ergab dies eine um 0,3°C wärmere Witterung als beim LMW (Tab. 22). Der heißeste Tag der Versuchsserie Reding 2012 – 2014 wurde am 19.06.2013 mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von 27,2°C detektiert.

Die Niederschlagsverteilung im Vegetationsjahr 2013 war unregelmäßig. In den Monaten Mai und Juni fielen im Vergleich zum LMW 73,1 l/m² bzw. 77,2 l/m² mehr, im darauffolgenden Monat Juli dagegen 82,7 l/m² weniger (Abb. 62). Bedingt durch die hohen Niederschlagswerte um den Monatswechsel Mai/Juni 2013, zerstörte ein mehrere Tage andauerndes Hochwasser die Versuchspartellen am Standort Reding, wodurch eine Neuansaat des Maises am 17.06.2013 notwendig war.

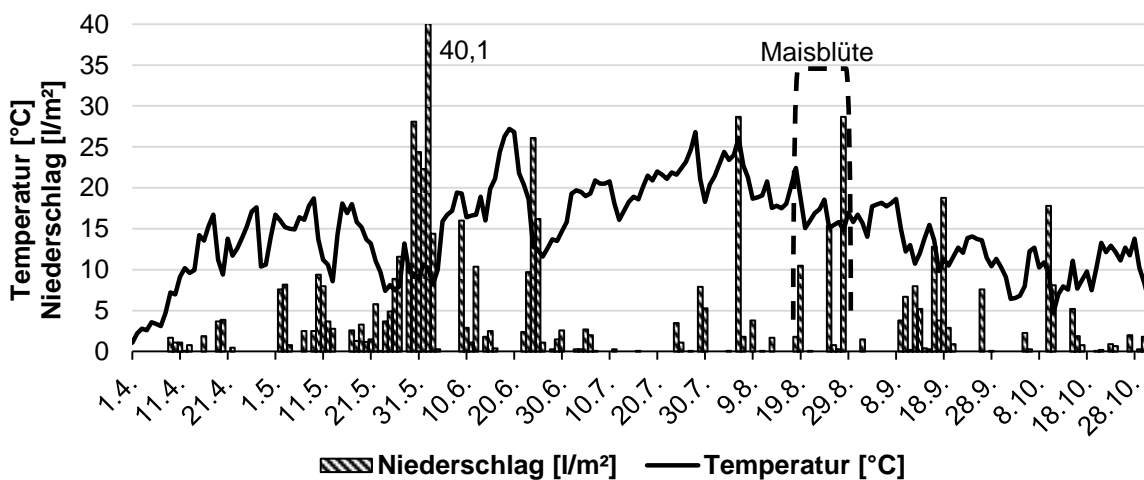


Abb. 61: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2013 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

4. Ergebnisse

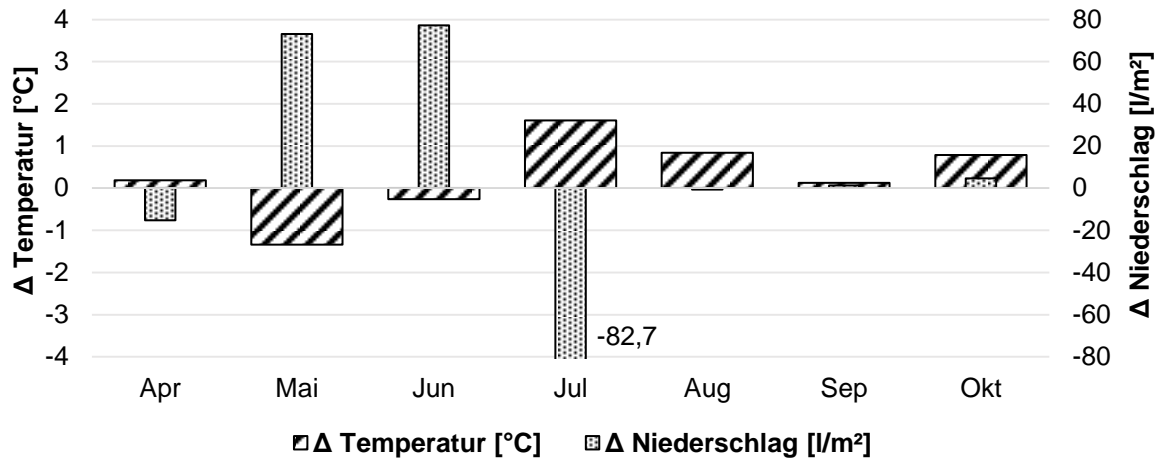


Abb. 62: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2013 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau

Der Monat Juli war wiederum durch ein Niederschlagsdefizit von $-82,7 \text{ l/m}^2$ gekennzeichnet, was bei durchschnittlichen Niederschlägen in den restlichen Monaten zu einem Saldo von $+57,4 \text{ l/m}^2$ für die gesamte Vegetationsperiode führte.

Zum Blühstadium, das bedingt durch die Neuansaat des Maises um fünf Wochen verzögert vom 18.08. bis 30.08.2013 stattfand, wurden eine Durchschnittstemperatur von $16,8^\circ\text{C}$ einhergehend mit einer Niederschlagssumme von $57,6 \text{ l/m}^2$ gemessen.

Während der Monat April im Vegetationszeitraum 2014 am Standort Reding verhältnismäßig warm war, $+1,1^\circ\text{C}$ im Vergleich zum LMW, konnte diese Tendenz im Folgemonat Mai mit einem Temperaturdefizit von $-1,1^\circ\text{C}$ nicht fortgesetzt werden (Abb. 64). Trotz warmer Phasen mit Tagesdurchschnittstemperaturen $> 20,0^\circ\text{C}$ bewegten sich die Monate Juni und Juli mit $+0,4^\circ\text{C}$ und $+0,7^\circ\text{C}$ nahe dem LMW.

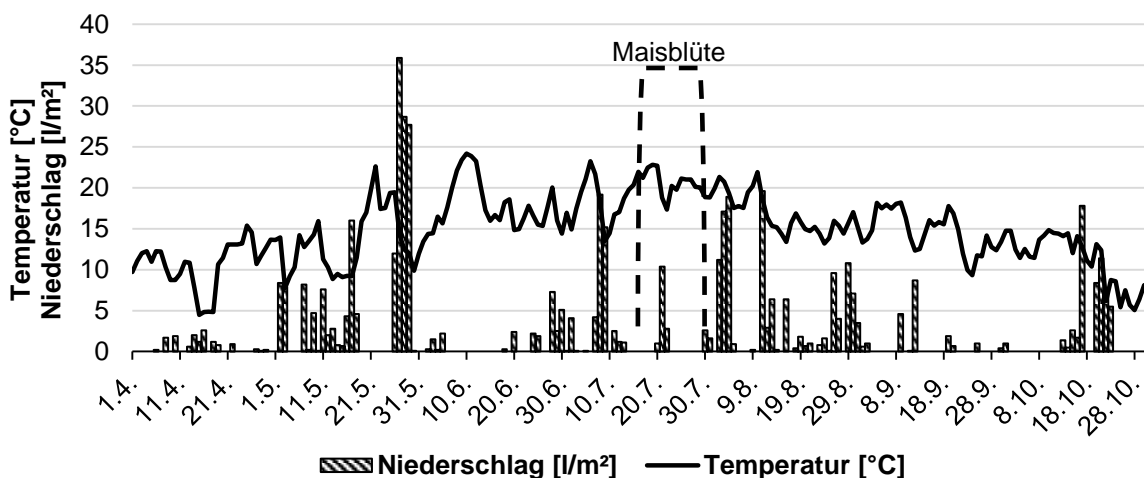


Abb. 63: Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04. bis 30.10.2014 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte

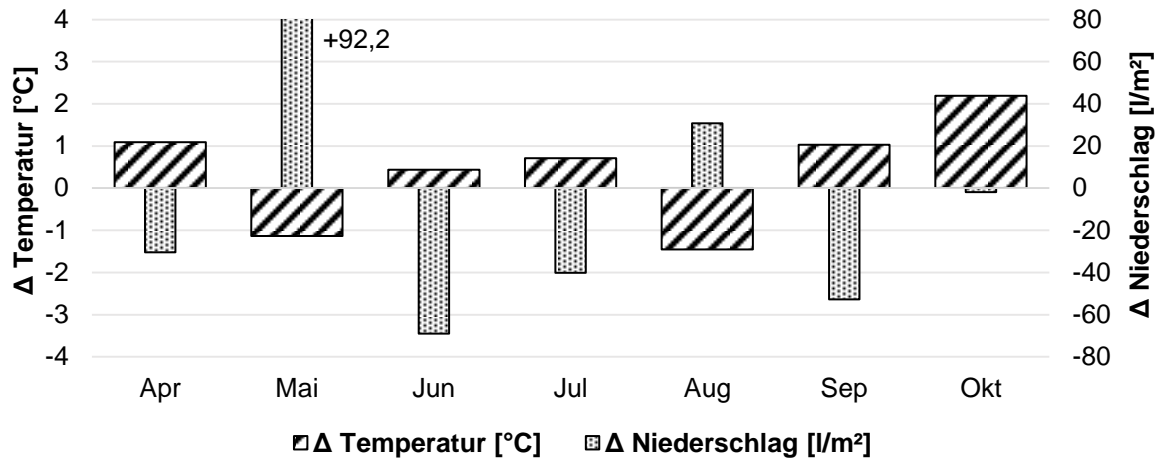


Abb. 64: Witterung am Standort Reding im Versuchsjahr 2014 dargestellt als monatliche Temperatur- und Niederschlagsdifferenz zu den langjährigen Daten der Referenzstation Bärnau

Erst die letzten drei Monate zeigten wieder stärkere Abweichungen, wobei der August ein Temperaturdefizit von $-1,5^{\circ}\text{C}$ aufwies, die Monate September und Oktober hingegen mit $+1,0^{\circ}\text{C}$ und $+2,2^{\circ}\text{C}$ über den Werten des LMW lagen. Mit einem Durchschnittswert von $+0,4^{\circ}\text{C}$ war die Vegetationsperiode des Maises am Standort Reding tendenziell wärmer als der LMW der Referenzstation (Tab. 22).

Die Messungen der Niederschläge zeigten im Jahr 2014 im Vergleich zum LMW ein differenziertes Bild (Abb. 64). Konnte im April noch ein Niederschlagsdefizit von $-30,4 \text{ l/m}^2$ verzeichnet werden, so sorgte ein regenreicher Mai mit hohen Niederschlägen in der dritten Dekade zu einem Überschuss von $92,2 \text{ l/m}^2$. In den Folgemonaten Juni und Juli sowie im September lagen hingegen wieder Defizite von $-69,0 \text{ l/m}^2$, $-40,2 \text{ l/m}^2$ bzw. $-52,8 \text{ l/m}^2$ vor. Trotz vieler Niederschläge im Monat August ($+30,7 \text{ l/m}^2$) fiel der Gesamtsaldo für die Vegetationsperiode des Maises am Standort Reding 2014 mit $-71,4 \text{ l/m}^2$ negativ aus.

Die Maisblüte fiel 2014 in einen Bereich der zweiten und dritten Julidekade, die durch eher trocken-warme Witterung mit $20,6^{\circ}\text{C}$ Durchschnittstemperatur und einer Niederschlagssumme von $16,8 \text{ l/m}^2$ gekennzeichnet war (Tab. 21, Abb. 63).

Tab. 22: Durchschnittstemperatur und Niederschlagssumme des Versuchsstandortes Reding in der Vegetationsperiode des Maises vom 01.04.-31.10. aus den Jahren 2012 - 2014 im Vergleich zu den LMW der Station Bärnau

Jahr	Mittelwert Temperatur [°C]	Veränderung zu LMW [°C]	Summe Niederschlag [l/m²]	Veränderung zu LMW [l/m²]
2012	15,0	+ 0,6	547,1	- 4,7
2013	14,7	+ 0,3	609,2	+ 57,4
2014	14,8	+ 0,4	480,4	- 71,4

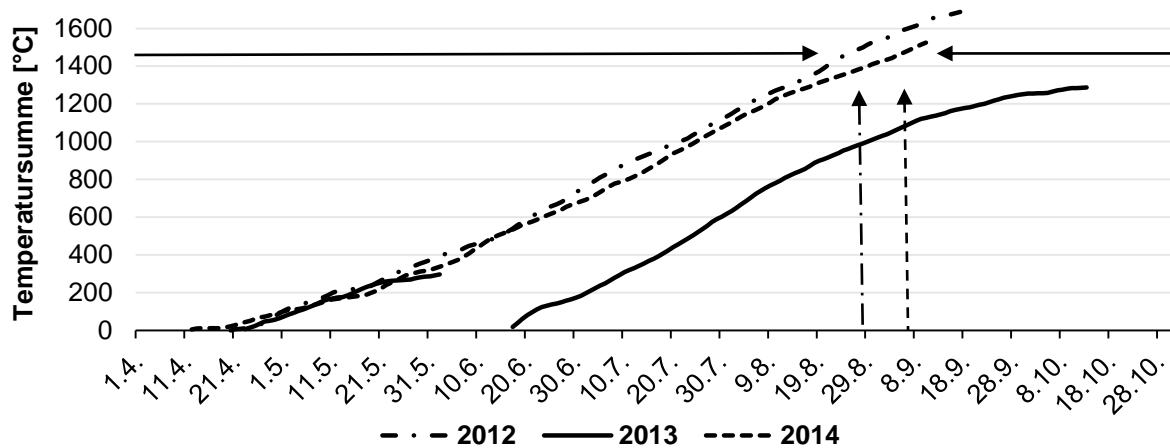


Abb. 65: Verlauf der Temperatursummen am Versuchsstandort Reding in den Jahren 2012 – 2014 von der jahresspezifischen Aussaat bis zur Silomaisерnte, Pfeile zeigen optimalen theoretischen Erntetermin für frühe Silomaisarten bei ca. 1430°C (ANONYMUS, 2015p), das Ende der Graphen zeigt den jahresspezifischen, realen Erntetermin

Die Verlaufskurven der Temperatursumme für den Versuchsstandort Reding 2012 und 2014 zeigen bis zur dritten Junidekade keine nennenswerten Unterschiede (Abb. 65). Ab diesem Zeitpunkt zeigt das wärmere Vegetationsjahr 2012 mit einer höheren Steigung, die im weiteren Zeitabschnitt in eine parallele Verlaufskurve im Vergleich zum Jahr 2014 mündet. Der optimale theoretische Erntetermin bei 1430°C wurde im Jahr 2012 ca. 2 Wochen früher erreicht als in 2014. Der reale jahresspezifische Erntetermin lag im Jahr 2012 ca. 3 Wochen später als es der theoretische Erntetermin vorgab. Die Verlaufskurve des Vegetationsjahres 2013 weist vom 03.06. bis zum 16.06. eine Lücke auf, dessen Grund das bereits oben erwähnte Hochwasser mit einhergehender, vollständiger Vernichtung der Versuchspartzen ist. Der Start der zweiten Temperatursummenkurve in 2013 ist der Neuaussaattermin am 17.06. Der optimale theoretische Erntetermin für Silomais wurde am Standort Reding im Versuchsjahr 2013 nicht erreicht.

4.2.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten

Im Vorfeld des Projektes zur Untersuchung von Blattpathogenen am Mais wurde der bayerische Standort Reding ausgewählt, da die differenzierten Witterungsbedingungen im Vergleich zu Schleswig-Holstein ein verändertes Pathogenspektrum zur Folge haben, welches durch den langjährigen, teilweise über Jahrzehnte in Selbstfolge praktizierten Maisanbau, optimale Bedingungen für die Analyse auch in befallsschwachen Jahren bildet. Abb. 66 gibt dabei eine Übersicht über die in den Versuchsjahren 2012 bis 2014 bonitierten Blattkrankheiten. Analog zu der Abb. 22, die das relative Vorkommen der Blattpathogene am Standort Hohenschulen beschreibt, wird hierbei der Mittelwert der Befallshäufigkeit aus den ertragsrelevanten Blattsegmenten „mitte“ und „oben“ im Entwicklungsstadium BBCH 75 verwendet. Das Auftreten der Pathogene *Kabatiella zeaе* (KAB), *Phoma zeaе-maydis* (PHO), *Exserohi-*

lum turcicum (TUR) und *Puccinia sorghi* (PUC) zeigte sich demnach über die Jahre gesehen sehr heterogen. Während *K. zea* in den Jahren 2012 und 2014 mit 67,3 % und 100,0 % am häufigsten auf den entsprechenden Pflanzensegmenten anzutreffen war, wies der Maisrost *P. sorghi* im Jahr 2013 mit einer BHB von 87,3 % den höchsten Anteil an befallenen Blattbereichen auf. Allerdings spiegelt die alleinige Betrachtung der BHB-Daten ein falsches Bild der wahren Erregersituation vor Ort wider, da die Krankheiten zwar auf vielen Blattbereichen vertreten sind, aber keinen hohen, prozentualen Wert der Blattfläche einnehmen.

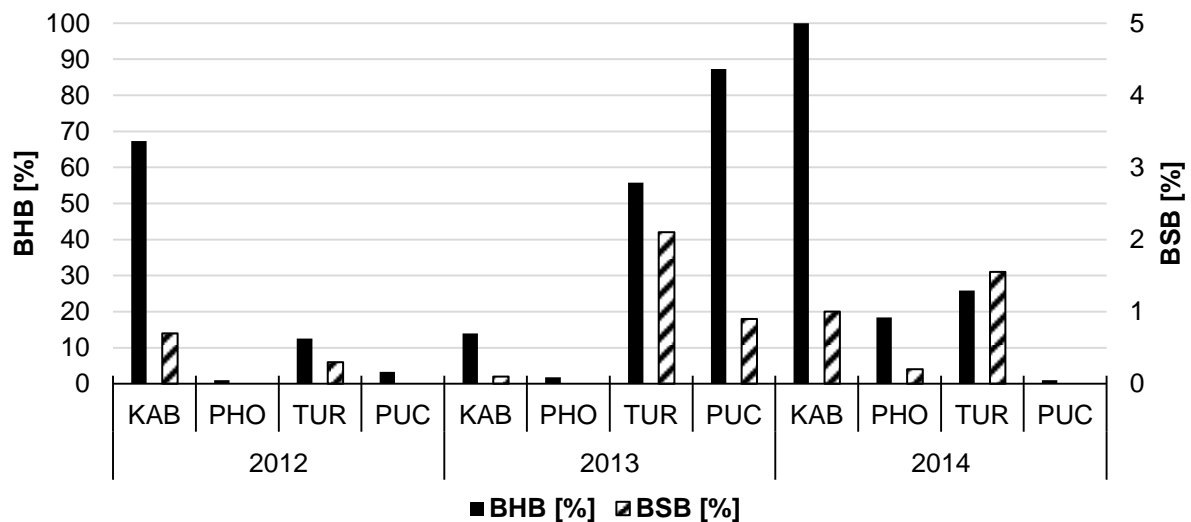


Abb. 66: Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Blattpathogene *Kabatiella zea* (KAB), *Phoma zeae-maydis* (PHO), *Exserohilum turcicum* (TUR) und *Puccinia sorghi* (PUC) als Mittelwert der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt BBCH 75 in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Reding

Aus diesem Grund muss für eine genauere Aussage zur wahren Erregerrelevanz in den Versuchsjahren der Boniturwert „Befallsstärke im Bestand“ (BSB) hinzugezogen werden. Bei der Betrachtung dieser Werte ist zu erkennen, dass *E. turcicum* mit 2,1 % BSB in 2013 und 1,6 % BSB in 2014 auf den relevanten Pflanzenteilen die am stärksten auftretende Blattkrankheit gewesen ist. Die hohen BHB-Anteile der anderen Blattpathogene können durch die niedrigen BSB-Werte in ihrer Relevanz relativiert werden, da bereits ein Blattfleck bei den sog. „Sprenkelkrankheiten“ *K. zea*, *P. zeae-maydis* und *P. sorghi* als einprozentige Befallsstärke gilt. Da die typischen Blattflecken von *E. turcicum* ein größeres Ausmaß haben, kann ein Blattfleck auch mehr als ein Prozent nekrotisierte Blattfläche auf der Maispflanze generieren. Die Darstellung der Blattkrankheiten im Stadium BBCH 75, und nicht im Stadium der Silomaisreife zu BBCH 85, hat den Vorteil, dass die einzelnen Erreger einwandfrei in der Stärke des Auftretens erfasst werden können, ohne durch vorzeitige Nekrosen mit beginnender Abreife oder erhöhtem Erregeraufkommen verfälscht zu werden.

Trotz der niedrigen Befallswerte von *E. turcicum* in Versuchsjahr 2012 kann dieses Blattpathogen als das Relevanteste am Standort Reding angesehen werden, worauf sich auch die weitere Ergebnisdarstellung bezieht.

4.2.3 Populationsdynamik von *Exserohilum turcicum*

Einen zusammenfassenden Überblick der Befallsverläufe von *Exserohilum turcicum* in der unbehandelten Kontrolle am Standort Reding in den Jahren 2012 bis 2014 gibt Abb. 67. Bis auf die Befallskurve im Jahr 2014 befanden sich die Maispflanzen am jeweils letzten Datenpunkt im Entwicklungsstadium BBCH 75. Die Gründe dafür waren unterschiedlich. Im Jahr 2012 wurde die letzte Bonitur am 17.09. durchgeführt, wobei die unbehandelte Kontrolle be-

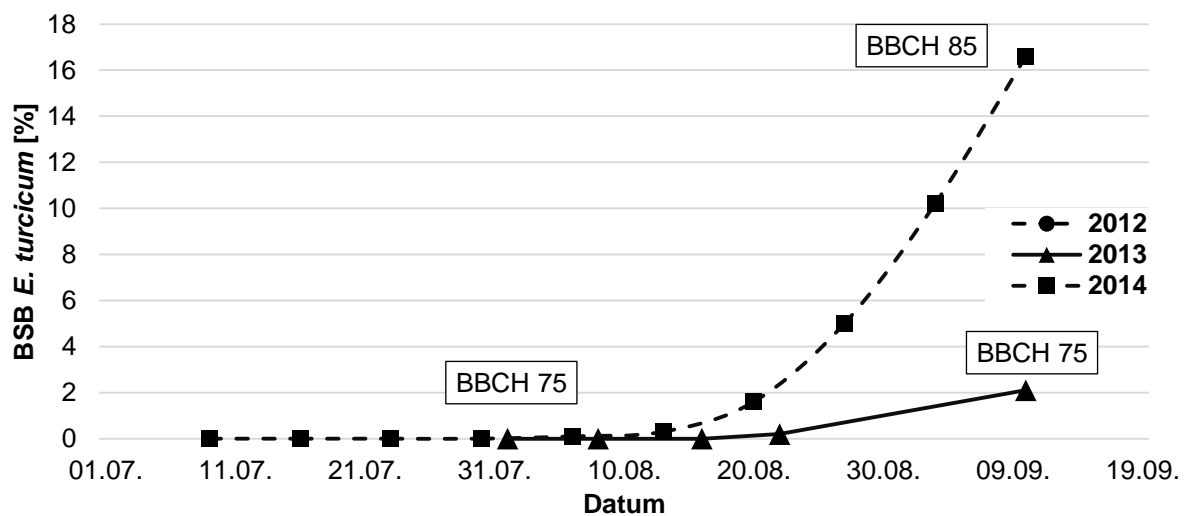


Abb. 67: Befallsverläufe der Blattkrankheit *E. turcicum*, dargestellt als Mittelwert der Befallsstärken der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“ in den Jahren 2012 – 2014 am Standort Reding; n = 4 Wdh. (2012 + 2013); n = 10 Wdh. (2014)

reits einen Nekrotisierungsgrad von 100 % über die gesamte Pflanze aufwies. Eine Trennung von abiotischer und erregerrinduzierter Nekrose war somit nicht mehr möglich. Im Jahr 2013 wurde Anfang Juni bei einem Hochwasser der Feldversuch komplett vernichtet (vgl. Kap. 4.2.1). Der Mais aus der Neuansaat am 17.06. entwickelte sich aufgrund der früh abreifenden Sorte und der wüchsigen Bedingungen zügig und konnte auch das Stadium BBCH 85 zur Silomaisenernte am 13.10.2013 erreichen. Allerdings traten bereits eine Woche vor der Ernte tiefe Nachttemperaturen um 2,0°C auf, die eine Nekrotisierung des Blattapparates der Maispflanze von dem Hauptkolben aufwärts verursachten. Eine Bonitur war in diesem Fall aufgrund der starken Verbräunung des Großteils der relevanten Blätter nicht möglich. Für das Versuchsjahr 2012 konnte somit lediglich eine Befallsstärke von 0,3 % am 01.08. bonitiert werden. Die letzte mögliche Bonitur im Versuchsjahr 2013 wurde am 10.09. durchgeführt und ergab, im Mittel der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“, 2,1 % BSB. Dagegen konnte im Jahr 2014 zum Zeitpunkt der Silomaisenernte am 10.09. eine Befallsstärke von 16,6 % festgestellt werden. Die Boniturintervalle konnten im letzten Versuchsjahr während der

gesamten Zeit auf eine Woche verkürzt werden. Des Weiteren erfolgte eine Ausweitung der Wiederholungszahl von vier auf 10 Wiederholungen.

Die Gegenüberstellung der Befallskurven von *E. turcicum* in den drei Versuchsjahren am Standort Reding zeigt, dass vor allem die Daten aus dem Jahr 2014 Anlass geben, weiterführende Untersuchungen im Hinblick auf das Verhalten des Blattfleckenerregers durchzuführen. Aus diesem Grund werden sich die weiteren Ausführungen ausschließlich auf diese Fallstudie beziehen.

4.2.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes

Analog zu der Blattkrankheit *Kabatiella zea* am Versuchsstandort Hohenschulen werden zum besseren Verständnis der Epidemiologie von *Exserohilum turcicum* an der Maispflanze, die Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes erläutert. Die in Abb. 68 dargestellten Boniturdaten stellen den Mittelwert von 100 bonitierten Pflanzen dar, die sich aus zehn unbehandelten Kontrollen zu je zehn Maispflanzen zusammensetzen. Es wurde eine wöchentliche Bonitur ab dem Erstauftreten der Blattflecken in einer der Kontrollparzellen durchgeführt.

Das Auftreten von *E. turcicum* auf allen Pflanzensegmenten war erst ab dem Boniturtermin am 06.08. zu sehen. Die Maispflanzen, die sich zu diesem Zeitpunkt im Entwicklungsstadium BBCH 71 befanden, waren auf den unteren Blättern zu 23,0 % befallen, wohingegen sich der Befall auf dem oberen Pflanzensegment und der Blattetage L 2 zunächst auf 1,0 % belief. Parallel stieg zu diesem Zeitpunkt die Befallsstärke auf dem unteren Teil der Pflanze bis zum Kolbenblatt L 0 im Mittelwert auf 0,2 % an. Eine Woche später zur Bonitur am 13.08. hatte die Befallsstärke im Mittel aller Pflanzensegmente einen Wert von 0,5 %. Sie war damit auf allen Pflanzensegmenten im Bereich von 1,1 % (unten) bis 0,1 % (oben) im Durchschnitt der 100 bonitierten Pflanzen erfassbar und folgte einem linearen Trend, wonach die Befallsstärke von unten nach oben sukzessive abnahm. Parallel zum Anstieg der Befallsstärke stieg auch die Befallshäufigkeit. Sie konnte allerdings bis zum Datum der Endbonitur am 10.09. keines der bonitierten Pflanzensegmente im Mittel der Pflanzen vollständig befallen, so dass die höchsten erfassten Befallshäufigkeiten auf dem oberen Pflanzensegment und der Blattetage L 2 sich auf 98,8 % beliefen. Die Befallsstärke zeigte auf den Pflanzensegmenten vom Kolbenblatt aufwärts einen linearen Befallsverlauf, die im Maximum 20,1 % befallene Blattfläche auf L 0 zur Endbonitur betrug. Die Blattetagen L 1 und L 2 zeigten mit 19,5 %, bzw. 18,2 % ähnlich hohe Werte, wohingegen sich die Befallsstärke auf dem oberen Pflanzensegment mit 15,8 % um 4,3 Prozentpunkte vom dem Kolbenblatt unterschied. Die Ergebnisse des unteren Pflanzensegmentes konnten aufgrund der starken Nekrotisierung zur Abreife der Pflanze am letzten Boniturtermin nicht mehr aufgeführt werden.

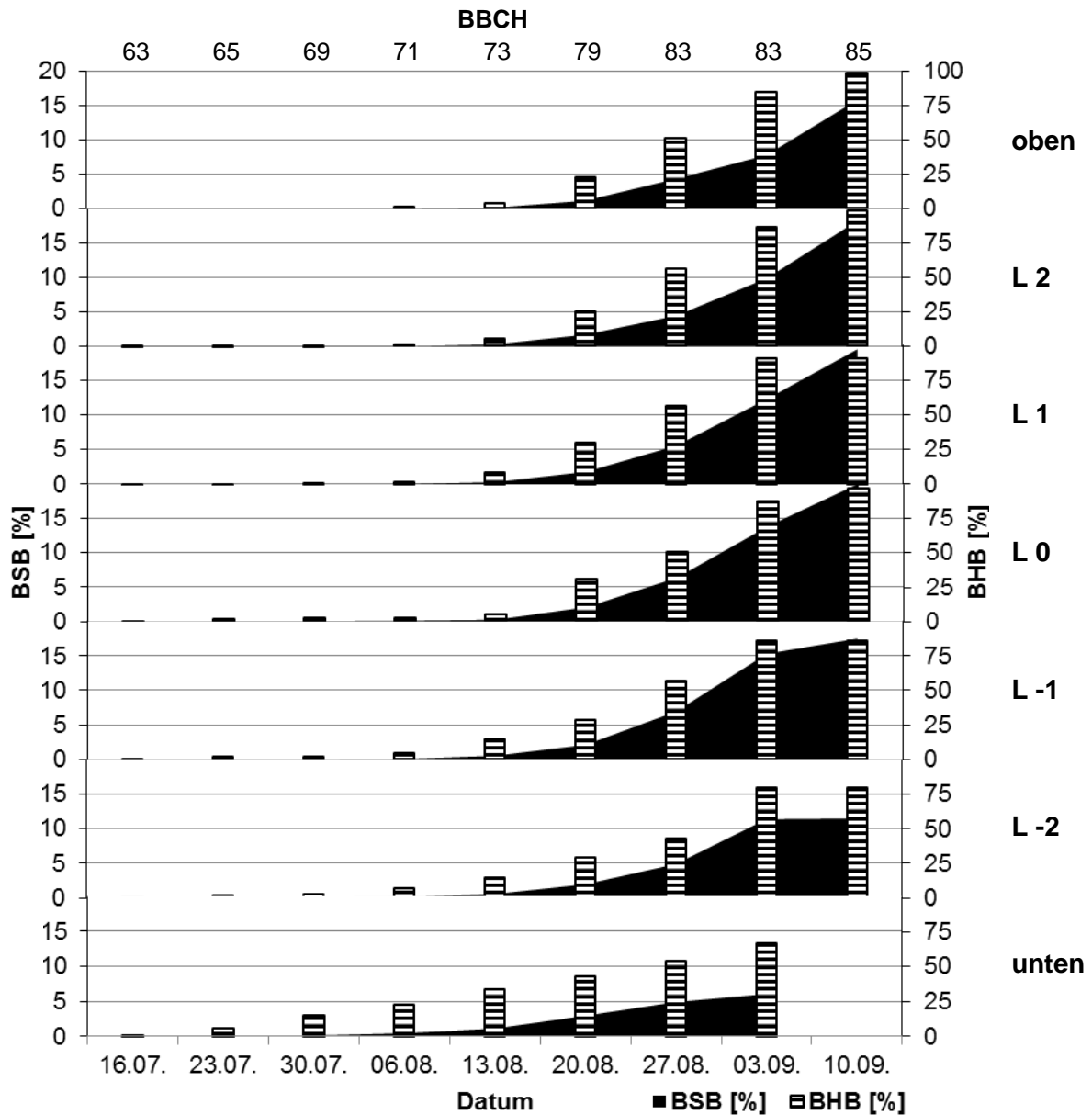


Abb. 68: Standort Reding, 2014: Befallsverlauf von *E. turcicum* in der unbehandelten Kontrolle; dargestellt sind Befallshäufigkeit (BHB) und Befallsstärke (BSB) zu den wöchentlichen Boniturterminen ab 16.07. an unterschiedlichen Abschnitten der Pflanze; n = 10 Wdh.

Abb. 69 zeigt die prozentualen Zuwachsraten der Blattkrankheit *Exserohilum turcicum* zwischen den Boniturterminen ab dem 13.08.2014 in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes. Die höchsten Zuwachsraten wurden zu Beginn des betrachteten Zeitraumes generiert, wobei das Maximum im oberen Pflanzensegment mit 850 % erreicht wurde. Wurden zu Beginn der Bonituren relativ heterogene Zuwachsraten in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes beobachtet, so gleichen sich Werte mit fortschreitender Zeit an. Generell gilt die Aussage, wonach die Zuwachsraten im Laufe des Boniturzeitraumes in ihren Wert abnehmen. Zwischen den letzten beiden Bonituren betrug die Zuwachsrate im Mittel aller Segmente 51,0 %. Der schwarze Balken im Diagramm stellt den Mittelwert den Zuwachsraten zu den verschiedenen Boniturterminen eines Pflanzensegmentes dar. Die Höhe dieser Werte kann durch eine lineare

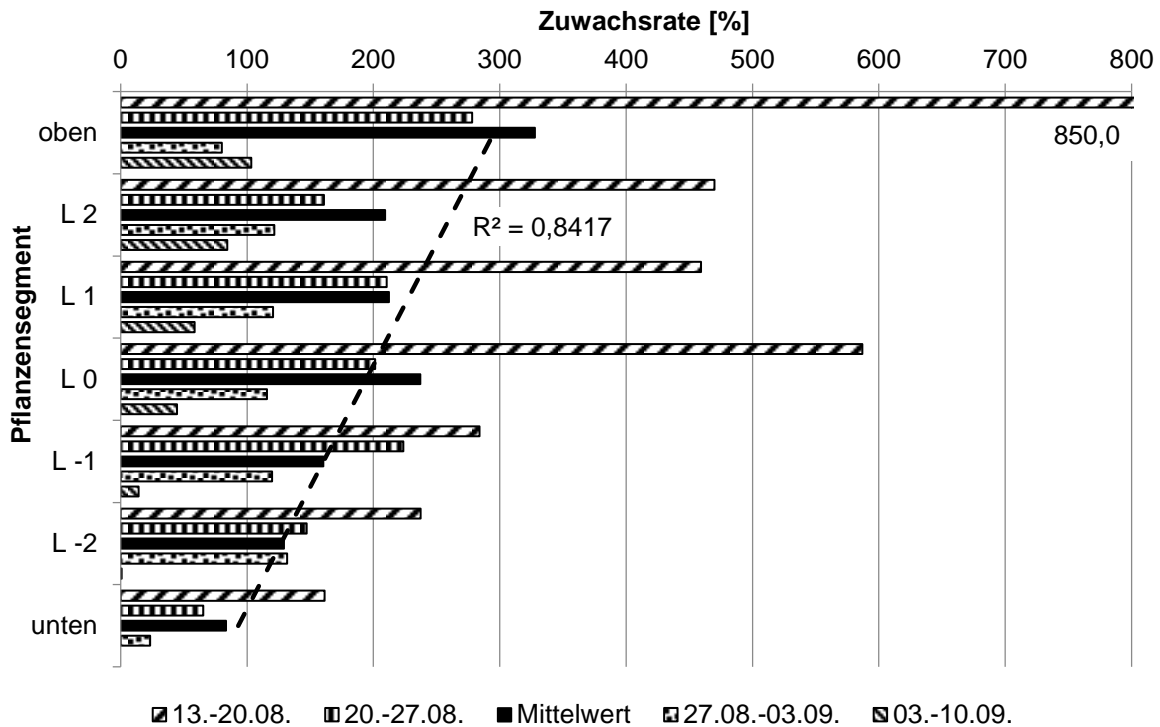


Abb. 69: Standort Reding, 2014: Zuwachsraten der Befallsstärke von *E. turcicum* auf den Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle zwischen den Boniturterminen 13.-20.08., 20.-27.08., 27.08.-03.09. und 03.-10.09.; der Mittelwert dieser Wachstumsraten ist mit einer linearen Trendlinie beschrieben

Trendlinie beschrieben werden, wonach die Zuwachsraten mit zunehmender Höhe des Pflanzensegmentes anstiegen. Während die Einzelblätter des mittleren Segmentes L 0, L 1 und L 2 in den Zuwachsraten keine großen Differenzen zeigten (237,3 %, 212,3 % und 209,4 %), war das obere Pflanzensegment, auch aufgrund des starken Anstiegs zwischen den ersten beiden betrachteten Boniturzeiträumen, mit 327,9 %, der Bereich der Pflanze, in dem die Zunahme des Befalls von *E. turcicum* am höchsten war.

4.2.3.2 Populationsaufbau von *Exserohilum turcicum*

Zur weiteren Betrachtung des Populationsaufbaus von *Exserohilum turcicum* können die Werte des prozentualen Fleckenzuwachses betrachtet werden, die im Rahmen der wöchentlichen Bonituren in den unbehandelten Kontrollen am Standort Reding in 2014 erfasst wurden (Abb. 70). Zu beachten ist dabei, dass die mit den Blattflecken einhergehende Nekrotisierung des Blattes differenziert zu den Zusammenhängen bei der Blattkrankheit *Kabatiella zae* betrachtet werden muss. Die von *K. zae* verursachte, nekrotisierte Fläche kann, zumindest im Anfangsstadium der Besiedlung, proportional zu der Anzahl der Blattflecken gesehen werden. Die Blattflecken von *E. turcicum* hingegen wuchsen im Verlauf ihrer Entwicklung, so dass die nekrotisierte Blattfläche pro Blattfleck stetig stieg. Dieser Zusammenhang wird später in Abb. 72 geschildert.

Abb. 70 zeigt, dass die Anzahl an neu gebildeten Blattflecken in der ersten vier Wochen der Boniturperiode stagnierte. Nach dem Ende Juli beobachteten Erstauftreten konnte bis Mitte August ein wöchentlicher Fleckenzuwachs von unter 10,0 % erfasst werden. Bei der Bonitur am 20.08. im Entwicklungsstadium BBCH 79 der Maispflanze verdreifachte sich der Fleckenzuwachs auf 31,8 %. In den folgenden Wochen konnte bis zum BBCH-Stadium 83 am 03.09. ein stetiger Zuwachs von Blattflecken beobachtet werden.

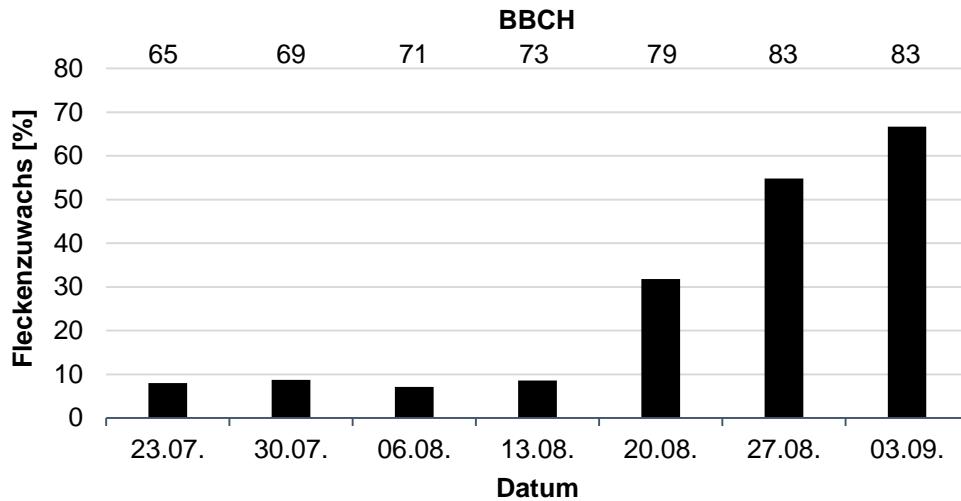


Abb. 70: Standort Reding, 2014: Prozentualer wöchentlicher Fleckenzuwachs an den vor Befallsbeginn zufällig ausgewählten Pflanzen der unbehandelten Kontrolle mit n = 5 Wdh.; pro Wdh. 10 Pflanzen mit max. drei Blattflecken; Prozentzahlen zeigen das Verhältnis von möglichem wöchentlichem Zuwachs zu tatsächlichem wöchentlichem Zuwachs

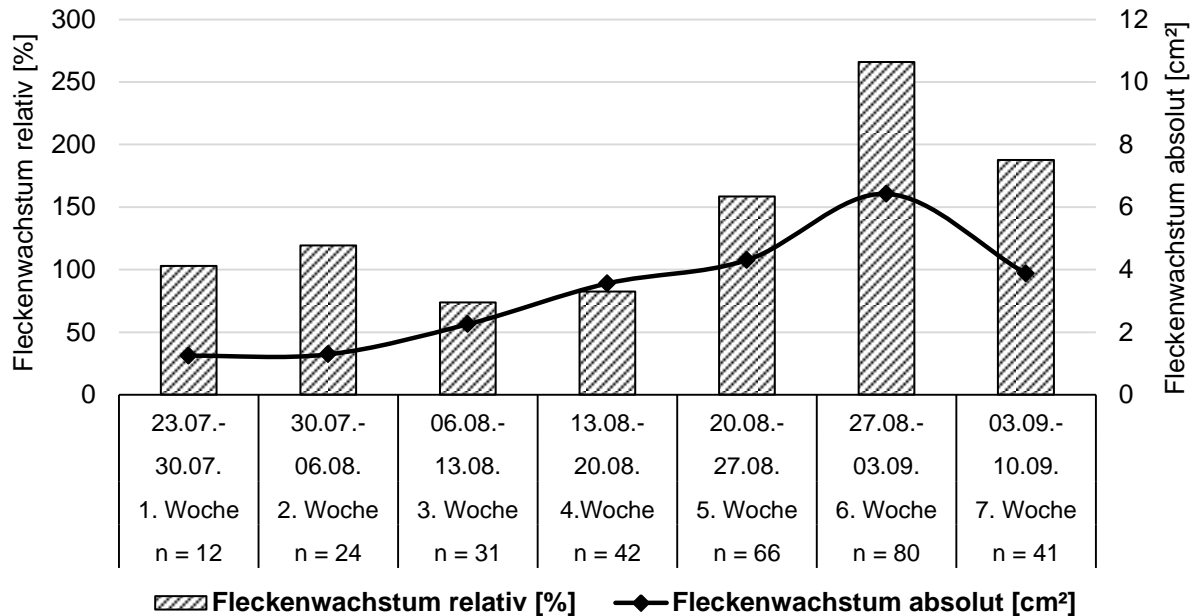


Abb. 71: Standort Reding, 2014: Relatives und absolutes Blattfleckenwachstum von *Exserohilum turcicum* in der unbehandelten Kontrolle (n = 5 Wdh.); dargestellt sind Mittelwerte als Wachstumsraten in den angegebenen Zeiträumen; n kennzeichnet die Anzahl betrachteter Blattflecken

Neben der Erfassung der Anzahl der Blattflecken von *E. turcicum* erfolgte eine Vermessung der Läsionen, um eine Ausbreitung der Nekrotisierung der Blattflächen mit potenzieller Vermehrungsfläche für den Erreger zu dokumentieren (Abb. 71).

Die schwarze Linie stellt in der Grafik das absolute Fleckenwachstum in der Flächeneinheit cm^2 als Mittelwert der erfassten Blattflecken zu dem jeweiligen Boniturtermin dar. Es wird ersichtlich, dass das Wachstum der einzelnen Blattflecken in den ersten Wochen der Boniturperiode bei einem Wert von $1,2 \text{ cm}^2$ pro Woche stagnierte. Ein Anstieg erfolgte ab der dritten Boniturwoche vom 06.08. bis zum 13.08., der sich stetig fortsetzte und im Höhepunkt am 03.09. bei $6,4 \text{ cm}^2$ Zuwachs lag. In der letzten Boniturperiode ging das absolute Wachstum auf $4,3 \text{ cm}^2$ Zuwachs pro Woche zurück. Zu beachten ist bei der Betrachtung dieser absoluten Werte, dass neu hinzugekommene Blattflecken aufgrund ihrer zunächst geringen besiedelten Blattfläche auch einen geringen Zuwachs verzeichneten und somit den in der Grafik aufgeführten Mittelwert niedrig halten. Aus diesem Grund sollten weiterhin für die Beschreibung des Fleckenwachstums über die Zeit die relativen Wachstumswerte betrachtet werden. Diese Werte sind ebenfalls Mittelwerte aller bonitierten Flecken, aber durch den relativen Bezug der neu besiedelten Fläche im Vergleich zur bereits vorhandenen nekrotisierten Blattfläche unabhängig von der tatsächlichen Fleckengröße zu sehen.

Die Betrachtung der als Balken dargestellten Mittelwerte folgen in weiten Bereichen den in Abb. 70 dargestellten Zuwachs an neuen Blattflecken. Bei den ersten beiden Bonituren lag der relative Zuwachs bei $102,9 \%$, bzw. bei $119,3 \%$. Alle Blattflecken zeigten damit im Schnitt eine wöchentliche Verdoppelung der besiedelten Blattfläche. Bei den nächsten beiden Boniturterminen wurden diese Werte mit $73,7 \%$ und $82,4 \%$ unterschritten. In der Woche vom 20.08. bis zum 27.08. erfolgte wiederum ein stärkerer Zuwachs, bei dem die Flecken im Mittel um $158,4 \%$ ihrer am 20.08. gemessenen Fläche zulegten. Der höchste relative Zuwachs an erregerinduzierter, nekrotisierter Blattfläche wurde in der Woche vom 27.08. bis zum 03.09. erzielt. Er betrug im Mittel mit $265,8 \%$ einer Steigerung um das 2,5-fache der Ursprünglichen Fläche. Zum Ende der Boniturperiode war das Fleckenwachstum mit $187,5 \%$ rückläufig.

Abb. 72 zeigt die Entwicklung der Läsionsgröße der bonitierten Blattflecken von *E. turcicum* ab dem Erstauftreten. Bei jeder Reihe von Datenpunkten, mit Ausnahme der Reihen mit weniger als vier Datenpunkten, kann eine exponentielle Trendlinie mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,94$ bis $R^2 = 0,99$ dargestellt werden. Ein Vergleich des Flächenzuwachses zu Flecken, die am 23.07., bzw. am 27.08. in Erscheinung traten, zeigt, dass die später entwickelten Flecken (wöchentlicher Zuwachs: $+ 5,3 \text{ cm}^2$) ein vielfach höheres Fleckenwachstum generieren als die früh sichtbaren Flecken (wöchentlicher Zuwachs: $+ 1,2 \text{ cm}^2$).

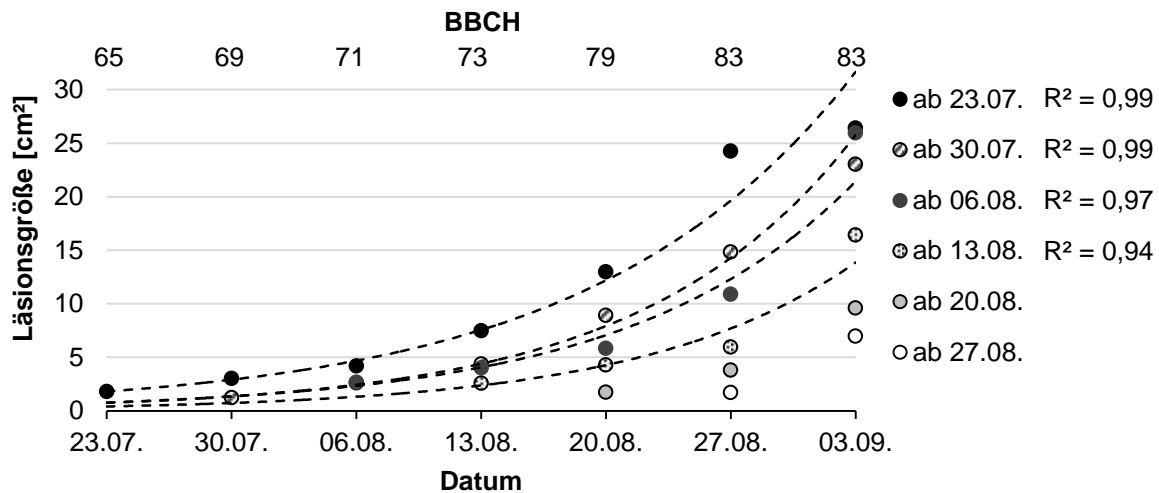


Abb. 72: Standort Reding, 2014: Entwicklung der durchschnittlichen Läsionsgröße von *E. turcicum*-Blattflecken ab deren Erstauftreten zu den entsprechenden Boniturterminen; n = 5 Wdh.; gestrichelte Linien zeigen exponentielle Trendlinien mit dem aufgeführten Bestimmtheitsmaß

4.2.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke

Zu einer detaillierten Analyse der Ausbreitung des Blattfleckenerregers *Exserohilum turcicum* trägt eine Übersicht zum Zusammenhang zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke bei (Abb. 73). Die Grafik zeigt wöchentliche Boniturwerte von allen Pflanzensegmenten der bonitierten Maispflanzen aus 10 Wiederholungen über den Zeitraum vom 09.07. - 10.09.2014. Jeder aufgeführte Datenpunkt zeigt somit den Befall eines Pflanzensegmentes als Mittelwert von 100 Pflanzen. Der Verlauf der Datenpunkte, kann mit einer logarithmischen Trendlinie mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,82$ beschrieben werden. Das Verhältnis zwischen BHB und BSB kann aber auch annähernd linear dargestellt werden. Ab einem BHB-Wert von 20,0 % stiegen auch die BSB-Werte an. Erst bei einem BSB-Wert von 16,0 % zeigten erste Datenpunkte eine maximale BHB von 100 %. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde der Wertebereich der Abzisse in Abb. 73 dem Wertebereichen in Abb. 74 angepasst.

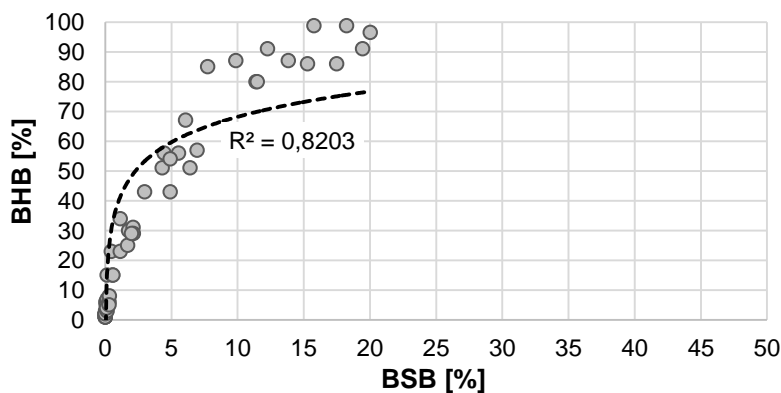


Abb. 73: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) der unbehandelten Kontrolle; n = 10 Wdh.; alle Pflanzensegmente berücksichtigt; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014

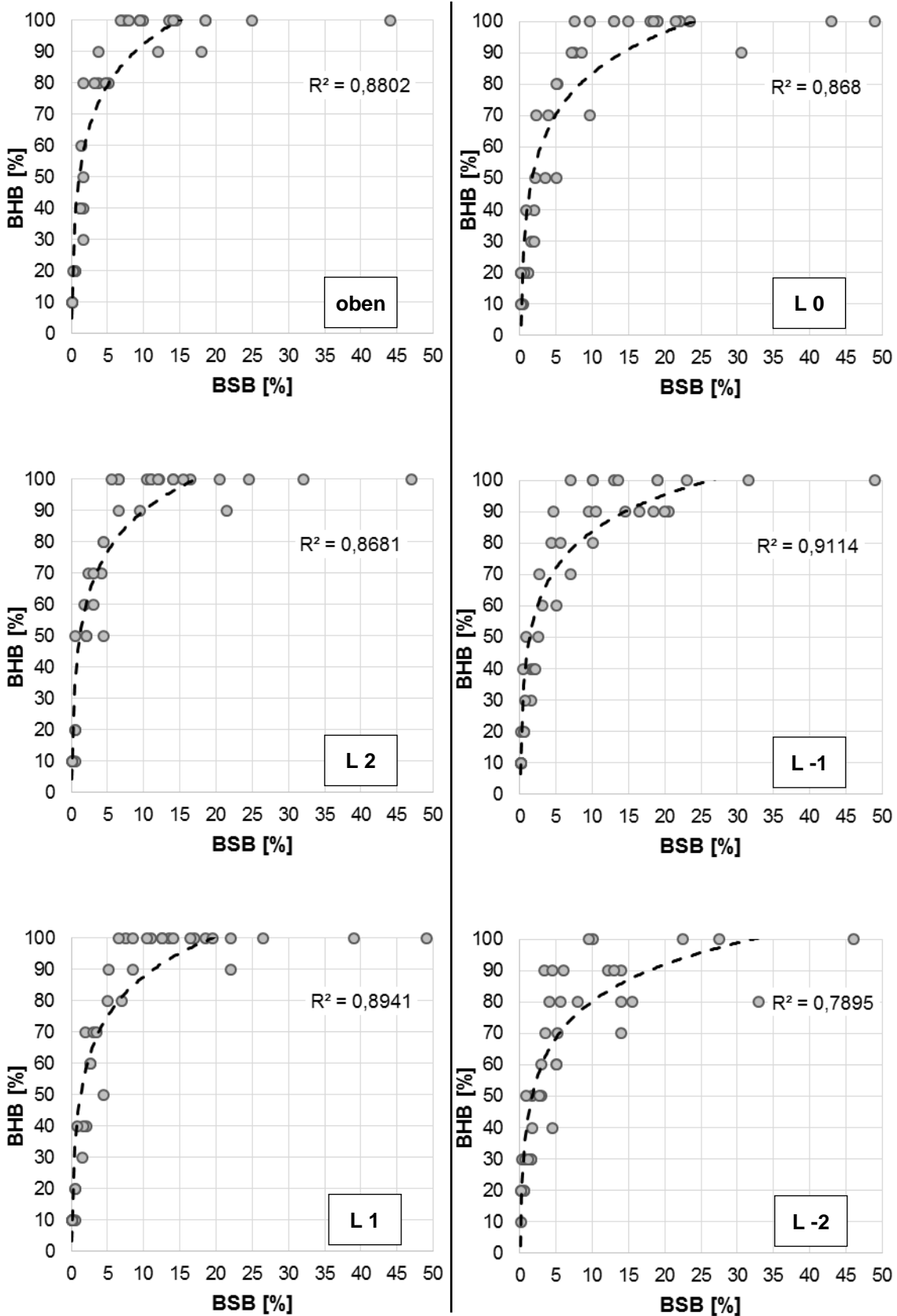


Abb. 74: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) auf verschiedenen Pflanzensegmenten der unbehandelten Kontrolle (Pflanzensegment „unten“ siehe nächste Seite); n = 10 Wdh.; es sind die Einzelwerte jeder Wiederholung aufgeführt; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014

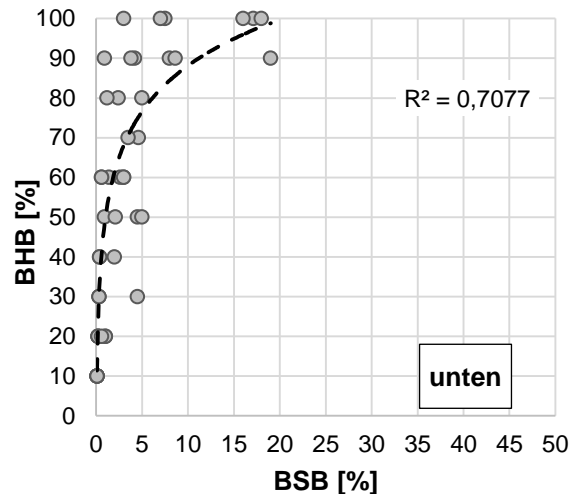


Abb. 75: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallene Blattfläche) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) auf dem Pflanzensegment „unten“ der unbehandelten Kontrolle; n = 10 Wdh.; Daten aus zehn wöchentlichen Boniturterminen vom 09.07. – 10.09.2014

Die gemittelten Werte aus den 10 Wiederholung, die in Abb. 73 dargestellt wurden, werden in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 74 und Abb. 75) in die einzelnen Werte jeder Wiederholung, sowie in die bonitierten Pflanzensegmente aufgeteilt.

Es zeigen sich sieben Verlaufskurven, von denen fünf mit einer besseren Güte der logarithmischen Trendlinie dargestellt sind. Lediglich die Bestimmtheitsmaße der Kurven der Pflanzensegmente L -2 und „unten“ zeigen mit $R^2 = 0,79$ und $R^2 = 0,71$ niedrigere Werte. Im Allgemeinen kann zu den Verläufen der Datenpunkte gesagt werden, dass die Trendlinien steiler angelegt sind und in der Folge ein Anstieg der BSB-Werte erst bei höheren BHB-Werten als in der Gesamtzusammenfassung zu sehen ist. In dieser Darstellung treten ebenfalls vergleichbare Befallsmuster zu den Boniturergebnissen von *Kabatiella zae* auf (Abb. 36), wonach erst ab einer Befallshäufigkeit von 60 - 70 % auf den oberen Pflanzensegmenten, höhere Befallsstärken > 5 % BSB auftreten. Trotz der offensichtlichen Gemeinsamkeiten der Trendlinien verschiedener Pflanzensegmente, können Unterschiede bei näherer Betrachtung deutlich gemacht werden. Die Gleichungen der Trendlinien verschiedener Pflanzensegmente sind in Tab. 23 aufgeführt. Zusätzlich werden BSB-Werte der Kurve bei den markanten BHB-Werten 50 % und 95 % dargestellt. Es zeigt sich, mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“, dass mit höher liegenden Pflanzensegmenten der BSB-Wert bei 95 % BHB kontinuierlich von 23,9 % auf 11,5 % absank, obwohl die BSB-Werte bei 50 % BHB im Bereich von 1,1 % bis 1,7 % BSB verbleiben. Die Kurven sind demzufolge steiler, womit eine BHB-Sättigung von 100 % in Form eines Befalls mit *E. turcicum* auf allen untersuchten Blättern eines Pflanzensegmentes früher eintrat, je höher das Pflanzensegment angesiedelt war.

Tab. 23: Gleichungen der Trendlinien aus den Abb. 74 und Abb. 75 mit errechnetem Bestimmtheitsmaß R^2 aus dem Verhältnis von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke; die letzten beiden Spalten zeigen markante Punkte des Kurvenverlaufes

Pflanzen-segment	Gleichung der Trendlinie	R^2	BSB-Wert bei	
			50 % BHB	95 % BHB
			%	
oben	$y = 19,00 \ln(x) + 48,65$	0,88	1,1	11,5
L 2	$y = 18,61 \ln(x) + 47,21$	0,87	1,2	13,1
L 1	$y = 18,32 \ln(x) + 45,58$	0,89	1,3	14,9
L 0	$y = 18,87 \ln(x) + 40,11$	0,87	1,7	18,4
L -1	$y = 16,80 \ln(x) + 45,13$	0,91	1,3	19,5
L -2	$y = 16,92 \ln(x) + 41,34$	0,79	1,7	23,9
unten	$y = 16,66 \ln(x) + 49,79$	0,71	1,0	15,1

4.2.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von *Exserohilum turcicum*

Wie bereits in dem vorangegangenen Kapitel gezeigt wurde, sind besonders die Monate Juli und August interessant für die Beschreibung des Befallsverlaufes von *Exserohilum turcicum* am Standort Reding im Jahr 2014. Nach dem dokumentierten Erstauftreten bei der Bonitur am 16.07. konnte durch weitere wöchentliche Befallserhebungen die Populationsdynamik des Erregers abgebildet werden. Im diesem Kapitel soll eine Verbindung zur übergeordneten Einflussgröße Witterung hergestellt werden, die maßgeblichen Einfluss auf die Ausbreitung der Krankheit hat.

Zur nachfolgenden Beschreibung der speziellen Witterungsereignisse am Versuchsstandort Reding werden aus der Literatur bereits bekannte Präferenzen des Erregers an die Parameter rel. Luftfeuchte und Blattnässe auf die dortigen Verhältnisse projiziert. Wie bereits im Kapitel 2.2.3 erwähnt, zeigten LEACH et al. (1977b) anhand von Praxisversuchen, dass für die Konidienbildung von *E. turcicum* mindestens vier Stunden Dunkelheit und lange Phasen hoher rel. Luftfeuchte $\geq 90\%$ benötigt werden. Die Mindestlänge dieser Phasen ist temperaturabhängig, wobei eine höhere durchschnittliche Temperatur während der Phase einen kürzeren, benötigten Zeitraum von hoher rel. Luftfeuchte zur Folge hat. In Abb. 76 sind alle Phasen hoher rel. Luftfeuchte am Standort Reding in den Monaten Juli und August aufgetragen. Dabei zeigt sich, dass 93,5 % der Tage in der entsprechenden Zeit solche Phasen mit unterschiedlicher Dauer aufwiesen. Die kürzeste Phase wurde dabei am 05.07. mit einer Länge von sechs Stunden von der Wetterstation erfasst. Demgegenüber steht die Phase vom 21.07., in der im Maisbestand über 39 h über 90 % rel. Luftfeuchtigkeit verzeichnet wurden. Weiterhin sind in der Grafik auf der Abszisse die durchschnittlichen Temperaturen aufgetragen, die während der entsprechenden Luftfeuchtephasen aufgezeichnet wurden. Hierbei erstreckt sich der Bereich von 8,0°C am 26.08. bis zu 18,7°C, die jeweils am 29.07. und 30.07. erreicht wurden. Die bei LEACH et al. (1977) genannten Kombinationen von der Dauer

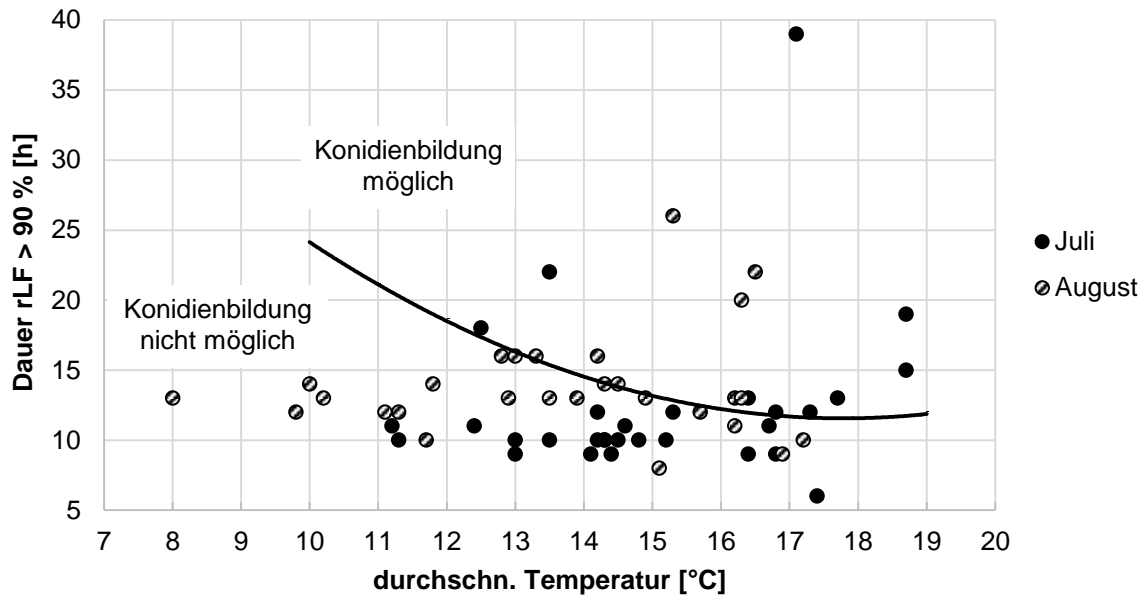


Abb. 76: Standort Reding, 2014: Ordinate: Dauer der Phasen mit hoher rel. Luftfeuchte $\geq 90\%$ im Maisbestand in den Monaten Juli und August; Abszisse: durchschnittlicher Temperatur während der Phasen hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand; jeder Punkt stellt eine Phase dar; Kurve stellt Grenze dar, ab der eine vollständige Konidienbildung möglich ist (LEACH et al., 1977)

der rel. Luftfeuchtephasen in Kombination mit der durchschnittlichen Temperatur während dieser Phasen sind in Abb. 76 als schwarze Grenzlinie eingezeichnet. Alle Werte, die demnach über dieser Linie liegen, stellen potentielle Phasen für eine vollständige Konidienbildung dar. Bei den Werten unterhalb der Linie wird die Mindestdauer für die Phase einer hohen Luftfeuchtigkeit $\geq 90\%$ nicht erreicht und somit die Konidiogenese nicht abgeschlossen. Im weiteren Verlauf der Ergebnisdarstellung werden die in Abb. 76 gezeigten Werte oberhalb der Grenzlinie dahingehend untersucht, ob neben der abgeschlossenen Konidienbildung auch eine Infektion möglich ist. Für eine erfolgreiche Infektion ist im Gegensatz zur Konidiogenese freies Wasser auf den Maisblättern für min. 5 - 6 h obligat (LEVY & COHEN, 1983b; LEVY & PATAKY, 1992). In der nachfolgenden Grafik (Abb. 77) sind daher zusammen mit den Phasen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit weitere Messwerte der Wetterstation bezüglich der Dauer der Blattnässeperioden im Maisbestand aufgeführt. Es zeigt sich, dass an neun von 17 Tagen zwar die Dauer der Phase mit hoher rel. Luftfeuchtigkeit für eine Konidienbildung ausreichend war, die Phase der Blattnässedauer im Anschluss daran aber nicht die für eine Infektion minimale Dauer von $>5 - 6$ h hatte. Die spezifischen Witterungsereignisse, die maßgeblich zur Ausbreitung von *E. turcicum* im Maisbestand beigetragen haben, konnten somit auf wenige Tage im Juli und August eingegrenzt werden (08.07.; 21.07.; 29. – 30.07.; 04.08.; 11.-12.08.).

4.2.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von *Exserohilum turcicum* und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte

Analog zu den Fungizidversuchen am Standort Hohenschulen wurde in den Jahren 2012 - 2014 am Standort Reding das Fungizid Retengo® Plus mit 1,5 l/ha zu verschiedenen Terminen im Vegetationsverlauf der Maispflanze appliziert. Die Hauptindikation war hierbei die Blattkrankheit *Exserohilum turcicum*, deren Entwicklung unter dem Einfluss einer Fungizidbehandlung detailliert mit Bonituren des Blattapparates festgehalten wurde. Die Varianten unterschieden sich in der Terminierung des Fungizids als Einmalbehandlung (V2 - V5), sowie einer Doppelbehandlung (V6). Als Beispiel wird nachfolgend die Fallstudie aus den Jahr 2014 aufgeführt, da sie mit einer hohen Boniturfrequenz und Wiederholungszahl die höchste Aussagekraft besitzt.

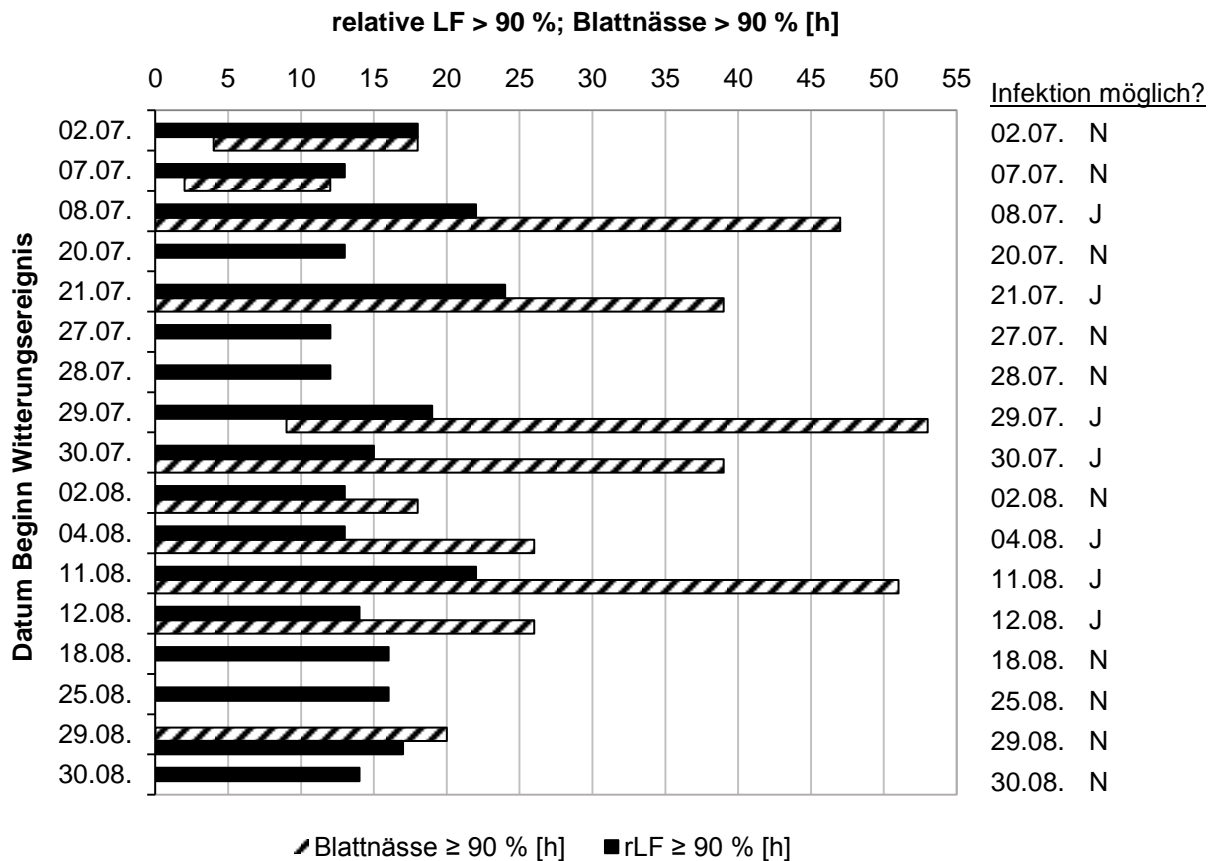


Abb. 77: Standort Reding, 2014: Tage mit potentieller Konidienbildung aus Abb. 76; dargestellt sind die Stunden mit einer rel. Luftfeuchte ≥ 90 % im Maisbestand (schwarze Balken); gestrichelte Balken zeigen Stunden mit einer Blattnässe ≥ 90 %; Infektionen sind nur möglich, wenn ausreichend Blattnässe (> 5 - 6 h) vorhanden ist

Die Ergebnisse der Befallsbonituren der verschiedenen Fungizidvarianten zeigen die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 78, Abb. 79). In den Grafiken sind insgesamt drei Faktoren (Pflanzensegment, Varianten und Boniturdatum), die die Messgröße „Befallsstärke“ von *E. turcicum* beeinflussen. In allen Grafiken der einzelnen Pflanzensegmente zeigt sich, dass die unbehandelten Kontrollen (K) jeweils am stärksten mit dem Erreger befallen sind. Die höchste Befallsstärke trat dabei am letzten Boniturtermin auf dem Kolbenblatt (L 0) mit 20,0 % BSB auf. In jeder Variante mit Fungizidmaßnahme ist zu dem genannten Zeitpunkt eine geringere Befallsstärke zu sehen, die in der Einzelbehandlung zur Maisblüte in BBCH 65 (V5) bei 2,3 % BSB lag, wobei eine Doppelbehandlung zu BBCH 37 und BBCH 65 (V6) eine noch geringere Befallsstärke von 1,0 % verzeichnete. Eine Einmalbehandlung mit dem Fungizid zum frühesten Termin im Entwicklungsstadium BBCH 34 (V2, 25.06.) kann bereits eine Reduzierung von 8,0 Prozentpunkten gegenüber der unbehandelten Kontrolle bewirken. Die Varianten V3 und V4 zeigen während des gesamten Befallsverlaufes auf allen Pflanzensegmenten nur geringe Unterschiede. Auf den Pflanzensegmenten „L -2“ und „unten“ trat ein insgesamt geringerer Befall mit dem Pathogen auf, wobei zur letzten Bonitur in den Varianten K, V4 und V5 aufgrund von seneszenzbedingter Nekrotisierung keine Daten erhoben werden konnten.

Da die Progressionsphase in der Entwicklung des Erregers *E. turcicum* mit späteren Applikationsterminen später erfolgte, wurde zur Endbonitur eine ebenfalls kontinuierlich abnehmende Befallsstärke detektiert.

4. Ergebnisse

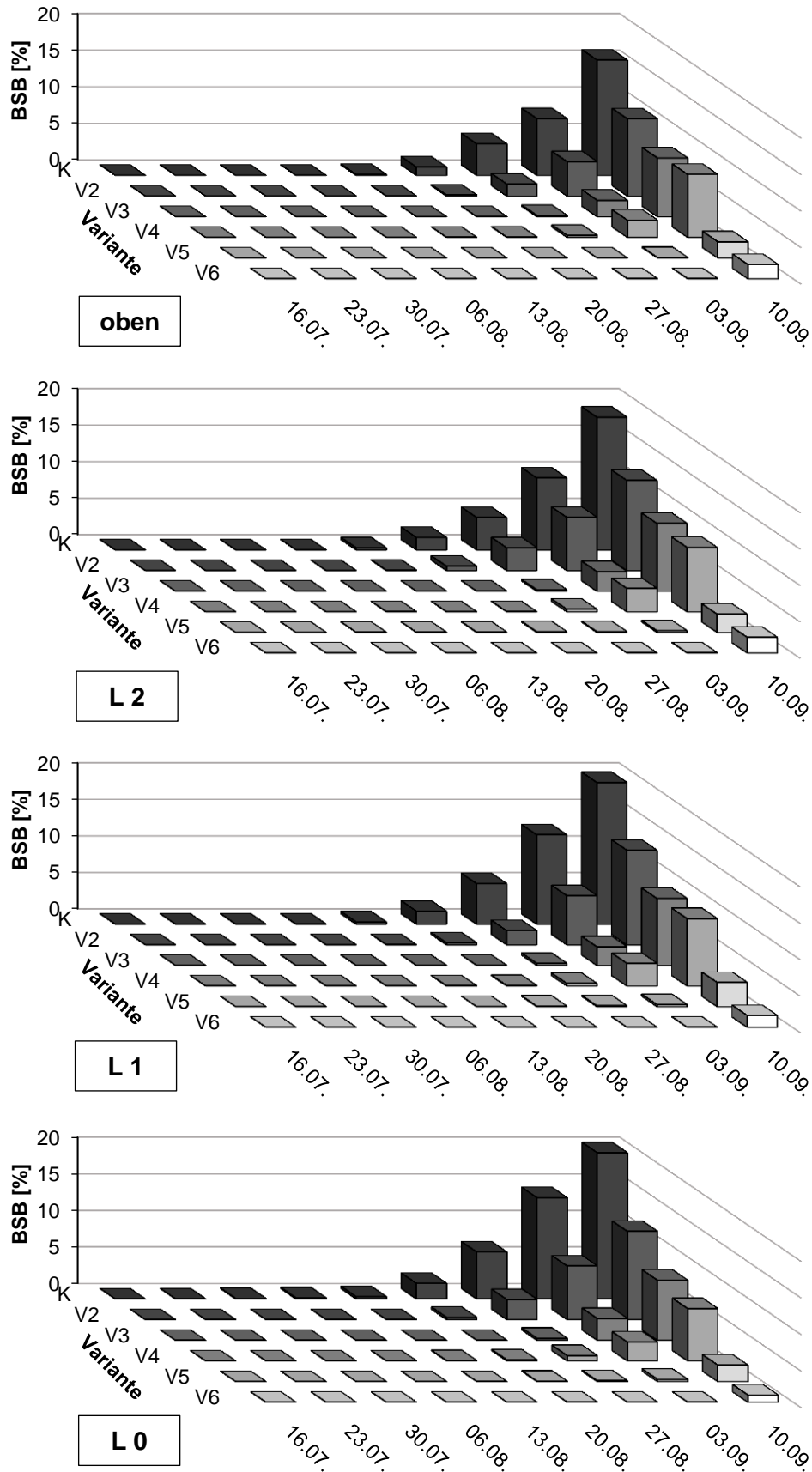


Abb. 78: Standort Reding, 2014: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Befall mit *Exserohilum turcicum*; Ausführliche Beschriftung siehe nächste Seite

4. Ergebnisse

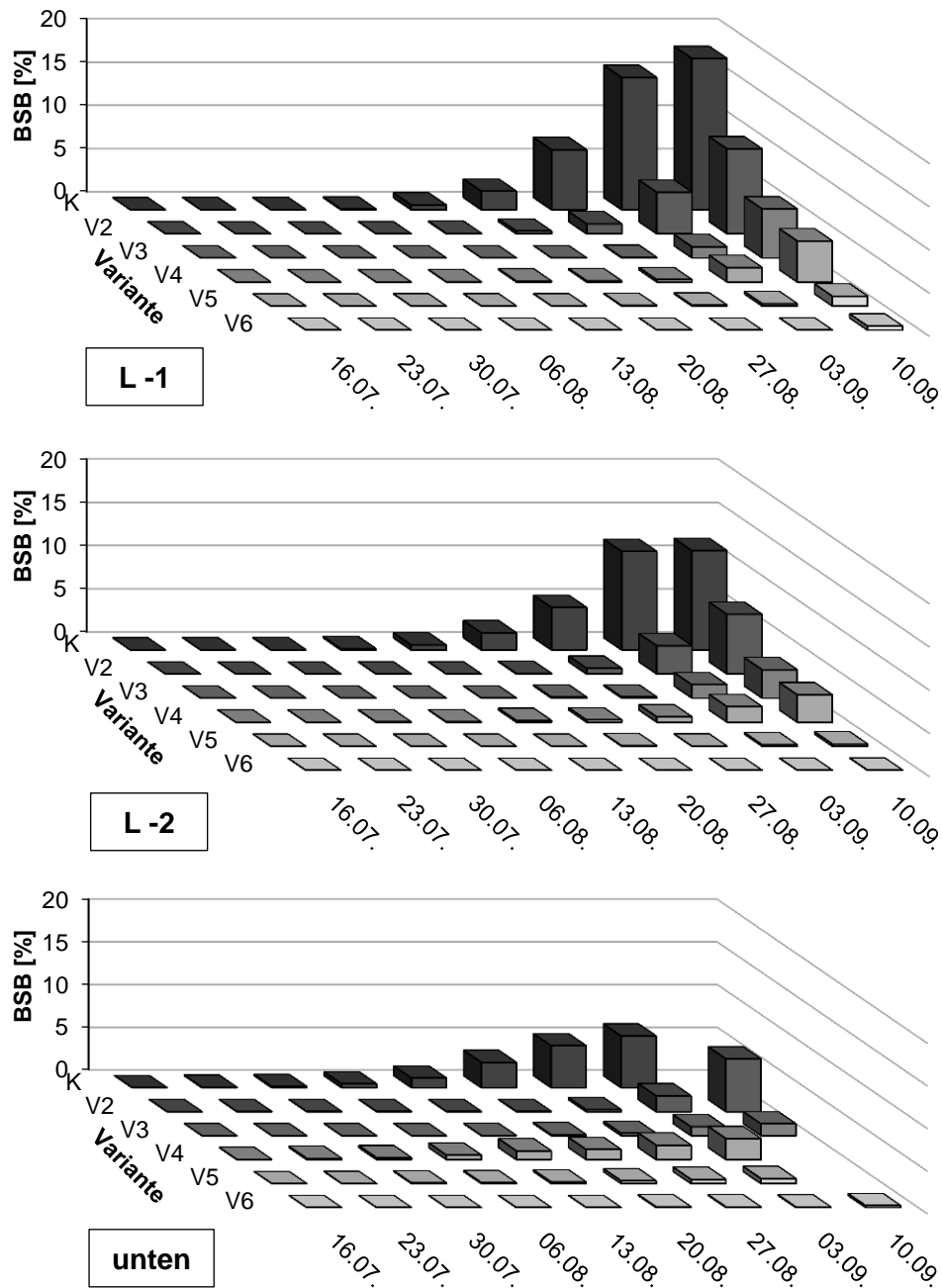


Abb. 79: Standort Reding, 2014: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) zu verschiedenen Stadien des Maises auf die Befallsstärke von *Exserohilum turcicum* auf den einzelnen Segmenten der Maispflanze im Vegetationsverlauf vom 16.07. bis zum 10.09.; die Ergebnisse des letzten Boniturtermines konnten im Bereich „unten“ in den Varianten K, V4 und V5 aufgrund von seneszenzbedingter Nekrotisierung nicht erhoben werden; n = 10 Wdh.

K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu den Terminen:

V2 = BBCH 34 am 25.06.;

V3 = BBCH 37 am 09.07.;

V4 = BBCH 55 am 15.07.;

V5 = BBCH 65 am 24.07.;

V6 = BBCH 37 + BBCH 65

Als grobe Einteilung können die Applikations-Varianten im Hinblick auf den Wirkungsgrad gegen den Blattfleckererreger in drei Gruppen eingeteilt werden (Tab. 24):

Die erste Applikation zu BBCH 34 hatte, bezogen auf die Pflanzensegmente „oben“ und „mitte“, einen Wirkungsgrad von 37,0 % und bildete somit die erste Gruppe. Als zweite Gruppe konnten die Varianten V3 und V4 angesehen werden, die mit Wirkungsgraden von 58,2 % und 59,8 % im Mittelfeld der Wirksamkeit lagen. Die höchste Erregerreduktion konnte bei Gruppe drei festgestellt werden, die 89,2 % (V5) und 93,3 % (V6) Wirkungsgrad der Fungizidapplikation über alle Ertragsrelevanten Blattetagen aufwies. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei der Variante V6 um eine Doppelbehandlung handelte. Diese Doppelbehandlung war dabei im Bezug zum Wirkungsgrad auf einem ähnlichen Niveau wie die Einzelbehandlung zur Blüte des Mais in BBCH 65. Weiterhin konnte eine stetige Abnahme des Wirkungsgrades der Fungizidbehandlung vom oberen Teil der Pflanze zum zweiten Blatt unter dem Hauptkolben (L -2) beobachtet werden, die in allen Behandlungsvarianten unabhängig vom Applikationstermin vorhanden war.

Tab. 24: Standort Reding, 2014: Wirkungsgerade einer Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus gegen den Blattfleckererreger *Exserohilum turcicum* in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes und des Applikationszeitpunktes im Vegetationsverlauf zur Silomaisernte im Stadium BBCH 85

Pflanzensegment	Variante/Entwicklungsstadium der Fungizidapplikation				
	V2 BBCH 34	V3 BBCH 37	V4 BBCH 55	V5 BBCH 65	V6 BBCH 37+65
	Wirkungsgrad [%]				
Oben	33,0	49,1	45,4	85,8	87,7
L 2	32,1	49,0	51,6	86,3	88,2
L 1	33,3	52,8	52,4	82,9	91,7
L 0	39,8	59,0	64,3	88,8	95,0
L -1	43,9	67,6	72,9	93,5	97,3
L -2	39,9	71,4	72,4	97,7	99,8
Mittelwert:	37,0	58,2	59,8	89,2	93,3

Trotz der eingangs erwähnten, versuchstechnischen Probleme in den Jahren 2012 und 2013 am Standort Reding, wird das Kapitel über die Auswirkungen einer Fungizidmaßnahme auf den Befallsverlauf von *E. turcicum* mit den Ergebnissen über Befallsstärke und Gesamtnekrotisierung der einzelnen Varianten zum Zeitpunkt der Silomaisernte abgeschlossen. Die Gesamtnekrotisierung ist dabei die Summe aus der abiotischen Nekrose, die in der Regel dem Abreifeprozess der Pflanze unterlag, sowie der biotischen, erregerinduzierten Nekrose, welche am Standort Reding vor allem durch *E. turcicum*, aber auch durch andere Blattkrankheiten wie *Kabatiella zea* oder *Puccinia sorghi* verursacht wurde.

4. Ergebnisse

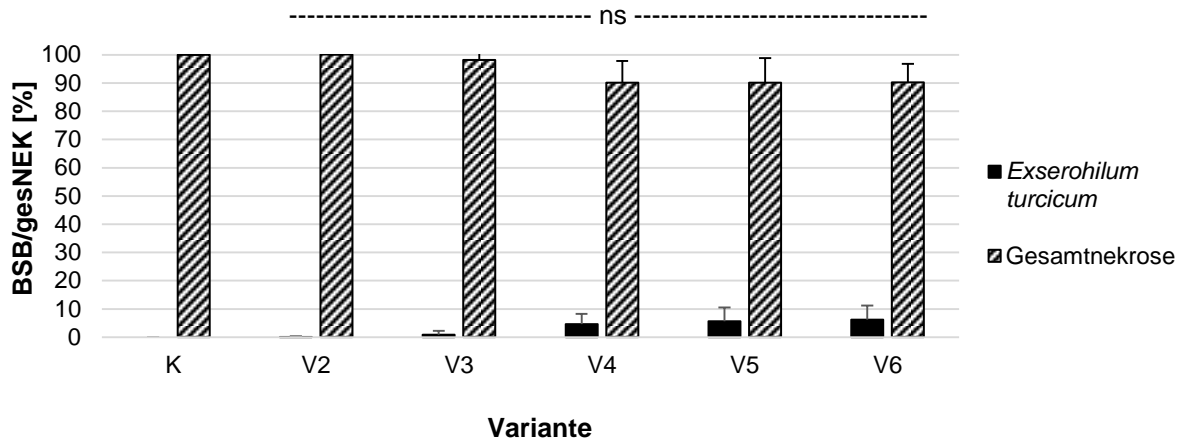


Abb. 80: Standort Reding, 2012: Befallsstärke von *Exserohilum turcicum* und prozentualer Gesamtnekrose an der Gesamtpflanze (mit Ausnahme des Pflanzensegmentes „unten“) zur letzten Bonitur am 17.09.2012 in Abhängigkeit der Terminierung der Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; n = 4 Wdh.; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34; V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65; V6 = BBCH 37 + BBCH 65

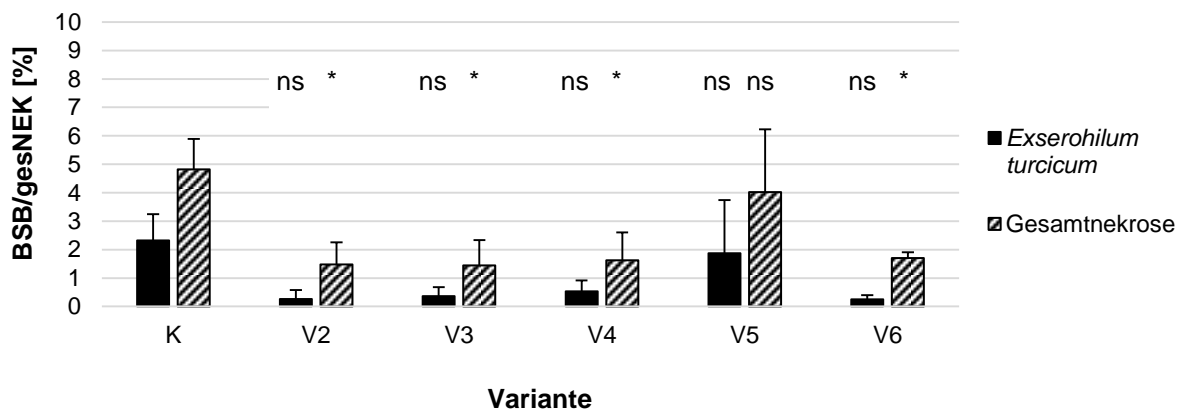


Abb. 81: Standort Reding, 2013: Bonitur am 09.09.2013 (BBCH 75!); geänderter Wertebereich der Ordinate!); weitere Erläuterungen, siehe Abb. 80

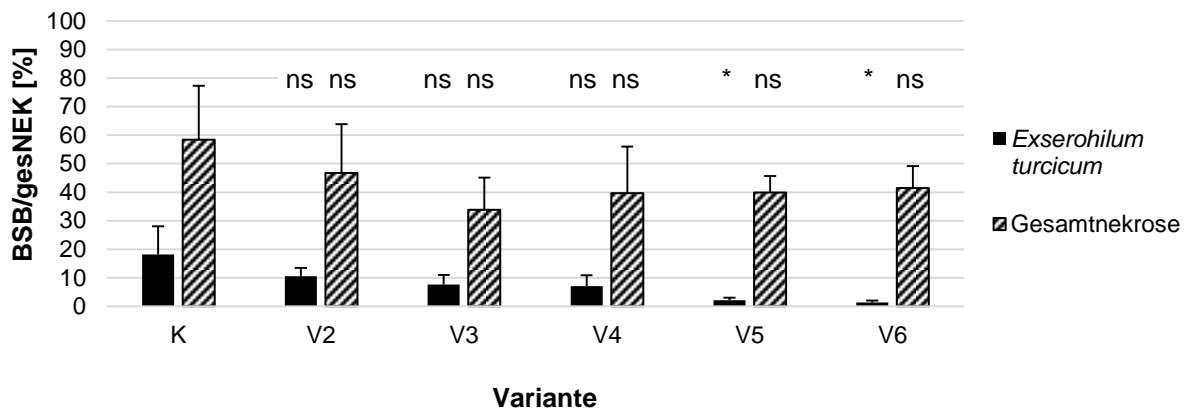


Abb. 82: Standort Reding, 2014: Bonitur am 10.09.2014; n = 10 Wdh.; weitere Erläuterungen siehe Abb. 80

Abb. 80 gibt dabei eine Übersicht der letzten Bonitur im Versuchsjahr 2012, die, wie bereits erwähnt, zu einem Zeitpunkt stattfand, an dem der Bestand bereits zu einem Großteil nekrotisiert gewesen war. Trotz dieser Tatsache zeigten sich kleine Unterschiede in der Gesamtnekrose zwischen den einzelnen Applikationsvarianten, die allerdings statistisch nicht voneinander unterscheidbar sind. Dahingehend waren die Varianten mit einer späten Applikation zum Rispschieben (BBCH 55, V4) oder zur Blüte des Maises (BBCH 65, V5) mit jeweils 90,2 % bzw. 90,1 % Gesamtnekrose weniger nekrotisiert als die Varianten mit einer frühen Fungizidbehandlung zu BBCH 34 oder BBCH 37. Auch die Doppelbehandlung war mit einer Nekrotisierungsfläche von 90,2 % weniger stark verbräunt. Der zu diesem Zeitpunkt bonitierte Befall mit *E. turcicum* stützte sich alleine auf die Tatsache, wonach bei einer nicht vollständig nekrotisierten Pflanze eine Erregerdifferenzierung nach wie vor möglich war. Die Aussage, wonach der höchste Befall in der Variante mit der Doppelbehandlung zu finden war, ist demnach nicht mit der Befallssituation vor der Ernte gleichzusetzen.

Im Versuchsjahr 2013 wurde nach einem Hochwasserereignis Anfang Juni eine Neuaussaat des Maises am 17.06. vollzogen. Zwar konnten die Pflanzen zur Ernte im Oktober eine Siloreife aufweisen, jedoch wurde durch die bereits angesprochenen, tiefen Nachttemperaturen eine Woche vor der Ernte der Bestand vom Kolbenblatt aufwärts nekrotisiert. Eine aussagekräftige Bonitur konnte somit nicht mehr erfolgen, weshalb in Abb. 81 lediglich eine Darstellung der Ergebnisse aus der vorangegangenen Bonitur zu BBCH 75 am 09.09.2013 erfolgt. Dabei muss auf die geänderte Darstellungsform der Ordinate geachtet werden, die im Gegensatz zu den Jahren 2012 und 2014 lediglich einen Wertebereich von 0 - 10 % BSB anzeigt. Trotz des in einem frühen Stadium befindlichen Befallsverlaufes zeigte die Kontrolle mit 4,8 % Gesamtnekrose im mittleren und oberen Bereich der Maispflanze den höchsten Wert, der signifikant unterschiedlich zum Nekrotisierungsgrad aller Behandlungsvarianten mit Ausnahme der einmaligen Blütenapplikation (BBCH 65, V5) war. Die Varianten mit frühen Applikationen des Fungizids (V2 BBCH 34, V3 BBCH 37) hatten mit einer Gesamtnekrose von jeweils 1,5 % die niedrigsten Werte gefolgt von 1,5 % Gesamtnekrose bei einer Applikation zum Rispschieben (BBCH 55). Die *E. turcicum*-Befallswerte lagen zu diesem Zeitpunkt in der unbehandelten Kontrolle bei 2,3 % und bei der am stärksten befallenen Applikationsvariante zu BBCH 65 bei 1,9 % BSB. Die Doppelbehandlung war dabei mit einem Befall von 0,3 % BSB auf gleicher Höhe wie die Solo-Behandlungsvariante zu BBCH 37. Keine Behandlungsvariante war zu diesem Zeitpunkt signifikant unterschiedlich zum Befallswert der Kontrolle. Das bereits ausführlich betrachtete Versuchsjahr 2014 wird in Abb. 82 dargestellt. Die unbehandelte Kontrolle wies mit 52,9 % Gesamtnekrose und einem davon anteiligen Befall mit *E. turcicum* von 16,7 % die höchsten Boniturwerte auf. Im Fall der Gesamtnekrose konnte zwischen der Kontrolle und den Behandlungsvarianten keine statistische Signifikanz hergestellt werden, jedoch zeigte sich ein Trend der eine Abnahme der Gesamtnekrose

bei allen Behandlungsvarianten andeutete. Der *E. turcicum*-Befallswert war nur in den Varianten V5 (BBCH 65) und V6 (BBCH 37 + 65) signifikant niedriger als in der Kontrolle.

Da die restlichen Befallswerte der Blattkrankheiten konstant bei 1,0 – 1,5 % lagen, konnte bei dem Abzug des *E. turcicum*-Befallswertes von der Gesamtnekrose die abiotische Nekrose ermittelt werden. Diese waren in den Varianten V5 und V6 mit 35,7 %, bzw. 38,5 % auf der Höhe der abiotischen Nekrose in der unbehandelten Kontrolle mit 39,0 %. Die BSB von *E. turcicum* war von der Kontrolle ausgehend über allen Varianten konstant niedriger. Ein großer Schritt war dabei von der Variante 4 (BBCH 55) zur Variante 5 (BBCH 65) zu erkennen, wonach der Befall 5,0 Prozentpunkte weniger betrug.

4.2.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungsereignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen

Anhand der Fallstudie aus dem Versuchsjahr 2014 vom Standort Reding wird in diesem Kapitel ein Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungsereignissen zur schnellen Etablierung von *E. turcicum* im Maisbestand (vgl. Kap. 4.2.3.4) und den Gegenmaßnahmen in Form von stadienorientierten Fungizidapplikationen (vgl. Kap. 4.2.3.5) hergestellt. Es wurde gezeigt, dass spezifische Witterungsereignisse, die bereits aus der Literatur bekannte Präferenzen des Erregers an die übergeordnete Einflussgröße Witterung darstellen, durch Analyse der Witterungsdaten des Jahres 2014 hergeleitet werden können.

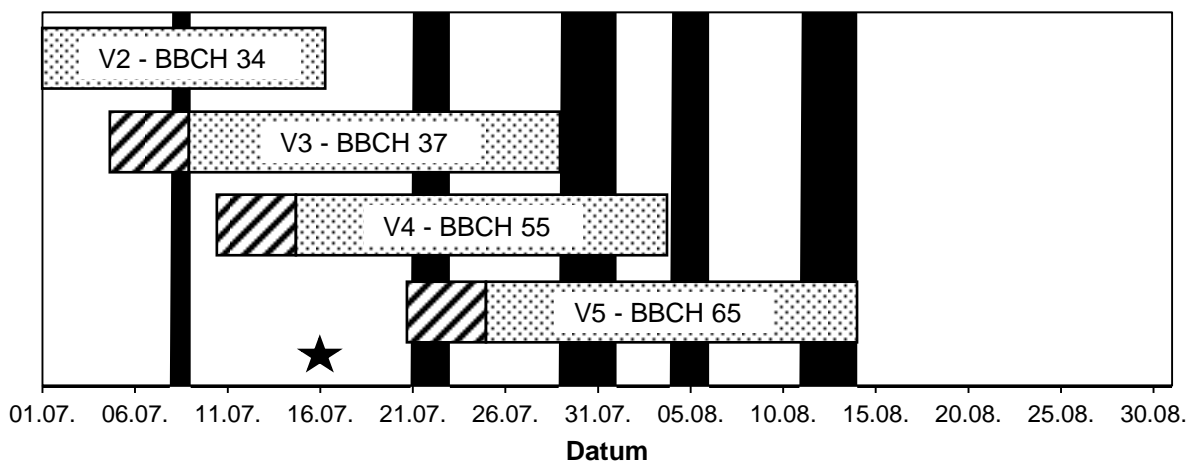


Abb. 83: Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungsereignissen mit optimalen Bedingungen zur Konidiogenese (rel. Luftfeuchte ≥ 90 % bei entsprechender Dauer und Temperatur, Abb. 76) und Infektion (Blattnässe ≥ 90 % für $> 5 - 6$ h, Abb. 77) von *Exserohilum turcicum* im Maisbestand und den verschiedenen Applikationsterminen des Fungizids Retengo[®] Plus mit Wirkungsdauer von kurativer und protektiver Phase; Variante 6 (nicht aufgeführt) ist eine Doppelbehandlung aus V3 und V5

- = Zeiträume spezifischer Witterungsereignisse
- ▨ = Kurative Phase des Fungizids (5 Tage)
- ▤ = Protektive Phase des Fungizids (21 Tage)
- ★ = Erstauftreten von *Exserohilum turcicum* im Maisbestand

Die in Abb. 77 genannten Zeitpunkte, bestehend aus andauernden Phasen hoher rel. Luftfeuchte in Kombination mit andauernden Phasen hoher Blattnässe im Maisbestand, sind in anderer Darstellungsform in Abb. 83 aufgetragen. Des Weiteren wurden die stadienorientierten Applikationszeitpunkte des Fungizids Retengo® Plus mit 1,5 l/ha hinzugefügt, wobei Kurativ- und Protektivleistungen von 5, bzw. 21 Tagen unterstellt wurden.

Die erste Applikation zum Wachstumsstadium BBCH 34 fand am 25.06. statt, womit die protektive Phase des Fungizids das erste Witterungsereignis, beginnend am 08.07., abdeckt. Das protokollierte Erstauftreten, d.h. das sichtbare erste Symptom von *E. turcicum*, wurde am 16.07. und somit acht Tage nach dem ersten Witterungsereignis lokalisiert. Von den Applikationen in der Variante 3 und 4 zu BBCH 37 und BBCH 55 wurden jeweils zwei Witterungsereignisse durch die protektive und kurative Phase überlagert. Im Anschluss an die Maßnahme zum Rispschieben wurde die Applikation zur Blüte des Maises in BBCH 65 am 24.07. durchgeführt. Anhand des Schemas kann nachvollzogen werden, dass bei voller Inanspruchnahme der Kurativ- und Protektivleistung alle vier Witterungsereignisse im Zeitraum von 21.07. bis zum 14.08. durch diese Maßnahme abgedeckt wurden. Die Variante 6 als Doppelbehandlung mit jeweils voller Aufwandmenge zu BBCH 37 und BBCH 65 hätte den Maisbestand über alle Witterungsereignisse hinweg abgedeckt (nicht dargestellt).

4.2.4 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf das Auftreten von Mykotoxinen

4.2.4.1 Mykotoxine im Silomais

Die Ergebnisse der Mykotoxinanalyse der Nutzungsrichtung Silomais von 2012 bis 2014 am Standort Reding zeigen die nachfolgenden Abb. 84 bis Abb. 86. Aufgeführt sind die Ergebnisse als Mittelwert mit Standardabweichung der vier Wiederholungen in Abhängigkeit der Applikationsvarianten, die in der mittleren Spalte zwischen den Balkendiagrammen für DON und ZEA aufgetragen sind.

Im Jahr 2012 zeigte die Kontamination der Varianten mit den Mykotoxinen ein uneinheitliches Bild ohne sichtbaren Gradienten. Die stärkste Belastung hatten die Ernteproben der Applikationsvariante V2 mit DON- und ZEA-Gehalten von 430,5 µg/kg TM, bzw. 175,6 µg/kg TM. Die Werte lagen damit um 12,1 %, respektive um 77,2 % in Bezug auf DON und ZEA über den Gehalten der unbehandelten Kontrolle (K). Eine geringe Kontaminationshöhe wurde bei den Varianten V4 (Applikation zum Rispschieben in BBCH 55) und V6 (Doppelbehandlung BBCH 37 und 65) gemessen. Ihre Werte lagen bei ZEA mit 54,7 µg/kg TM und 32,9 µg/kg TM deutlich unter den Werten der unbehandelten Kontrolle, bzw. der höchsten kontaminierten Applikationsvariante V2. Die Werte für das Mykotoxin DON waren in diesen Proben unterhalb der Detektionsschwelle der LC/MS. Keine der Fungizidvarianten zeigte einen signifikant unterschiedlichen Wert im Bezug zur unbehandelten Kontrolle.

4. Ergebnisse

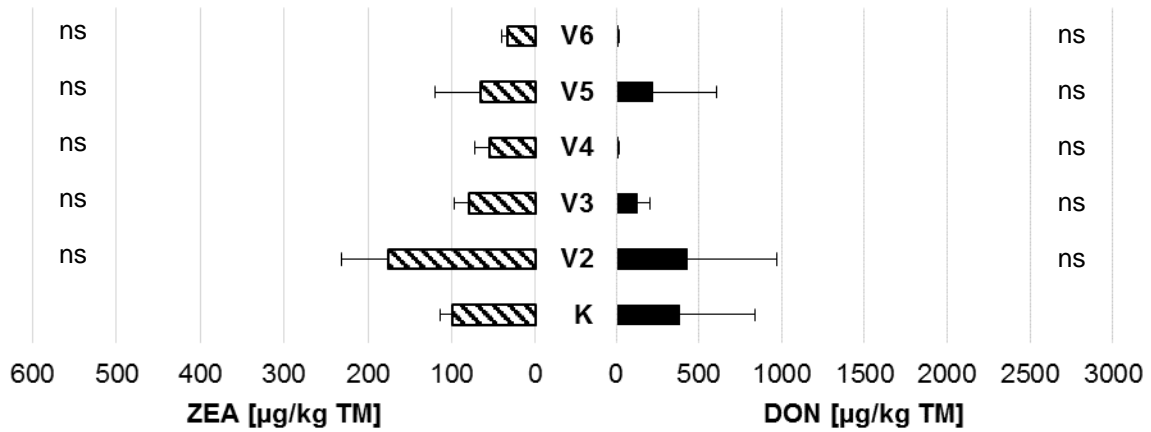


Abb. 84: Standort Reding, Silomais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh.; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

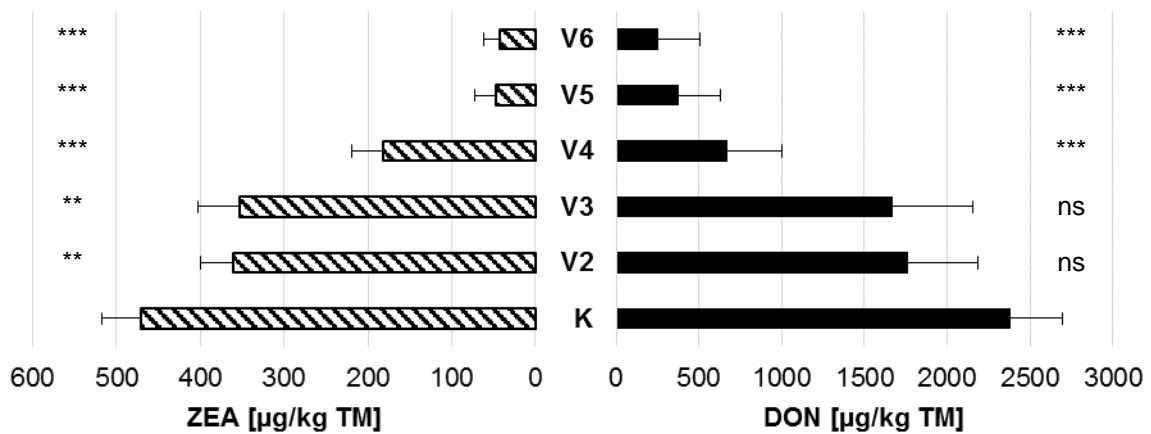


Abb. 85: Standort Reding, Silomais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 84

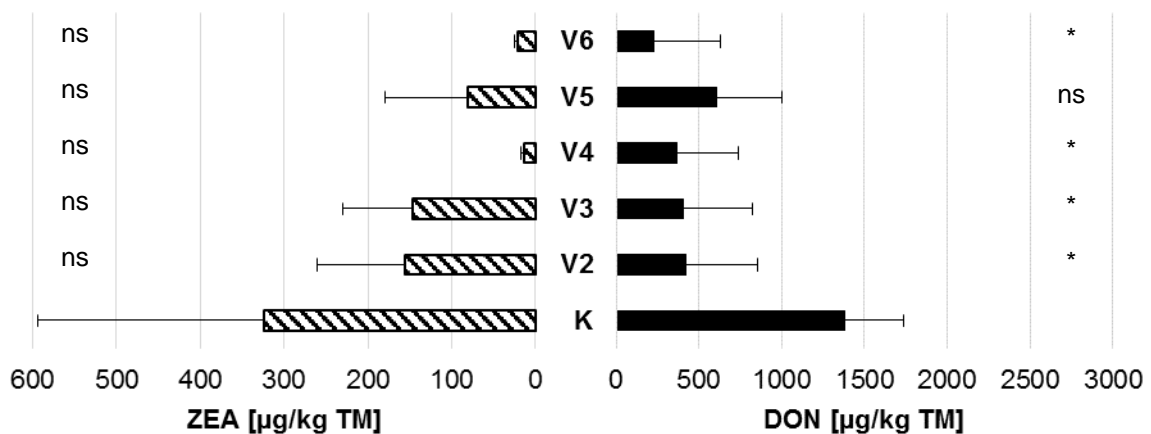


Abb. 86: Standort Reding, Silomais, 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 84

Bei den Ernteproben des Silomaises im Versuchsjahr 2013 war bei der Kontamination mit Mykotoxinen ein starker Trend zu erkennen, wonach die Proben geringer belastet waren, je später sie mit dem Fungizid behandelt wurden (Abb. 85). Die DON- und ZEA-Gehalte waren in der unbehandelten Kontrolle mit 2377,6 µg/kg TM und 471,2 µg/kg TM am höchsten. Im Vergleich dazu lagen die Proben der am niedrigsten kontaminierten Einfachbehandlung V5 bei 377,4 µg DON/kg TM und 46,9 µg ZEA/kg TM und somit 84,2 %, bzw. 88,8 % niedriger als die Werte der Kontrollvariante. Auf Seiten der ZEA-Analyse waren alle Ergebnisse der Fungizidvarianten hoch oder höchst signifikant verschieden zu der unbehandelten Kontrolle. Die Analyseergebnisse der DON-Messungen zeigten, mit Ausnahme der frühen Applikationsvarianten V2 und V3 ein ähnliches Bild. Beim Vergleich der Blütenapplikation (BBCH 65, V5) mit der Doppelapplikation (BBCH 37 + 65, V6) gab es bei beiden gemessenen Mykotoxinen nur geringe Unterschiede von +0,8 µg DON/kg TM und -3,8 µg ZEA/kg TM.

Trotz eines ähnlich ausgeprägten Trends im Vergleich der ZEA-Analysen des Jahres 2014 mit dem Versuchsjahr 2013, waren die Kontaminationen der Fungizidvarianten statistisch nicht von dem Ergebnis der unbehandelten Kontrolle zu unterscheiden (Abb. 86). Die hohe Standardabweichung der Kontrolle gab Auskunft über die Schwankung der einzelnen Wiederholungswerte, die sich im Bereich von 47,4 µg ZEA/kg TM in Wiederholung D bis zu 679,6 µg ZEA/kg TM in Wiederholung B befanden (nicht dargestellt). Trotz dieser Tatsache konnte bei beiden Mykotoxinen von einem Trend gesprochen werden, wonach jede Fungizidvariante die Höhe der Kontamination verringerte. Auf der Seite der DON-Analyse waren die Ergebnisse der Applikationsvarianten, mit Ausnahme der Variante V5 (BBCH 65) signifikant niedriger als die Werte der unbehandelten Kontrolle. Trotz der zeitlich differenzierten Applikationsterminen zeigten sich die DON-Gehalte des Erntegutes Silomais bei den signifikanten Varianten in einem Bereich von 229,7 µg/kg TM (BBCH 37 + 65, V6) bis 420,1 µg/kg TM (BBCH 34, V2) relativ ähnlich. Bei den Fungizidvarianten mit einmaliger Anwendung konnte die V4 (BBCH 55) mit einer Reduzierung der Kontamination um 73,3 % bei DON und 95,7 % bei ZEA im Vergleich zur Kontrolle am stärksten senken.

4.2.4.2 Mykotoxine im Körnermais

Die Ergebnisse der Mykotoxinanalyse der Körnermaisproben am Standort Reding zeigten in den Jahren 2012 - 2014 ähnliche Trends wie die Analyseergebnisse der Nutzungsrichtung Silomais.

Die Proben des Jahres 2012 befanden sich auf einem niedrigen Niveau ohne sichtbaren Trend (Abb. 87). Die Varianten V3 (BBCH 37) wiesen bei der DON-Analyse mit 320,7 µg/kg TM die höchsten Gehalte auf, wohingegen die Variante V5 (BBCH 65) mit 30,7 µg/kg TM die höchsten ZEA-Gehalte verzeichnete auch inklusive der Kontrollvariante. Alle Ergebnisse der Varianten sind statistisch zur unbehandelten Kontrolle nicht unterscheidbar.

4. Ergebnisse

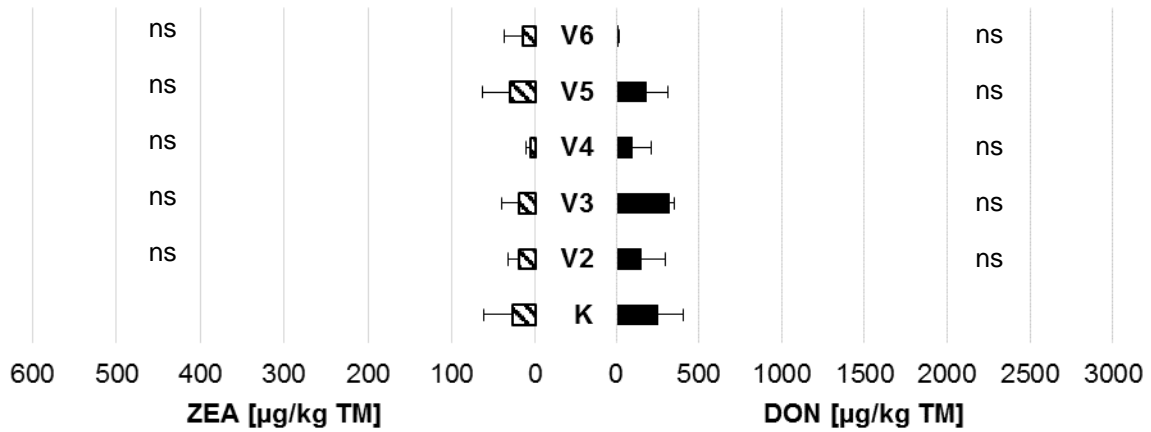


Abb. 87: Standort Reding, Körnermais, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf das Auftreten der Mykotoxine DON und ZEA; n = 4 Wdh; MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

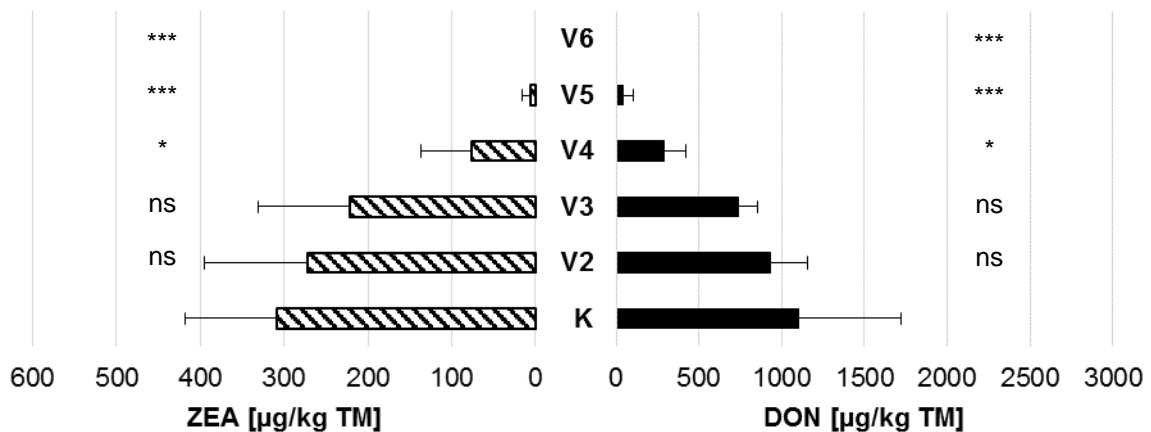


Abb. 88: Standort Reding, Körnermais, 2013: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 87

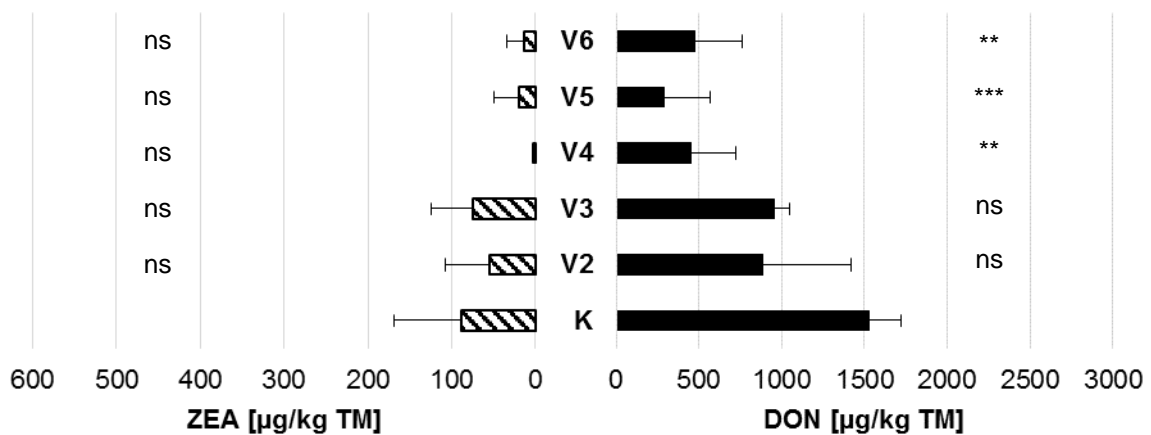


Abb. 89: Standort Reding, Körnermais, 2014: weitere Erläuterungen, siehe Abb. 87

Im Jahr 2013 war bei den Mykotoxinanalysen der Körnermaisproben ein ähnlicher Trend wie bei den Silomaisproben zu erkennen (Abb. 88). Die Kontamination der Proben sank, je später das Fungizid auf die Maispflanzen appliziert wurde. Die unbehandelten Kontrollen zeigten dabei mit 1101,2 µg DON/kg TM und 308,5 µg ZEA/kg TM die höchsten Gehalte. Signifikante Unterschiede zu den Kontrollwerten bestanden bei beiden analysierten Toxinen in den Varianten, in denen das Fungizid spät zum Rispschieben oder zur Blüte appliziert wurde. Weiterhin zeigte die Doppelbehandlung eine höchst signifikante Reduktion der Sekundärmetaboliten, die unterhalb der Analysegrenze der LC/MS lag und somit eine 100-prozentige Verminderung darstellte. Die beste Variante mit Einfachapplikation war zu BBCH 65, wodurch der Gehalt an Mykotoxinen um 96,6 % bei DON und 98,2 % bei ZEA verringert werden konnte.

Die Ergebnisse der ZEA-Analyse in den Körnermaisproben des Jahres 2014 zeigten bei den Fungizidvarianten im Bezug zur unbehandelten Kontrolle keine signifikanten Unterschiede. Zwar konnten insbesondere die späten Behandlungen zu BBCH 55 und 65, sowie die Doppelbehandlung die Mykotoxingehalte reduzieren, aber die Werte der Kontrollwiederholungen zeigten ebenfalls eine hohe Varianz. Trotz dieser Tatsache war die unbehandelte Kontrolle mit 88,8 µg ZEA/kg TM am höchsten belastet. Ebenfalls am höchsten von allen Varianten lag der DON-Gehalt dieser Probe mit 1526,2 µg/kg TM. Statistisch absicherbare Unterschiede sind dabei gegenüber den späten Applikationsvarianten zu BBCH 55 und 65, sowie wiederum der Doppelbehandlung vorhanden. Die höchste Reduzierung konnte durch eine Fungizidanwendung zur Blüte des Maises (BBCH 65) erfolgen, die im Versuch die Kontamination um 81,3 % der Menge verringerte. Die Wirkung der Doppelbehandlung fiel im diesem Versuch mit einer Reduzierung von 68,9 % geringer aus.

4.2.5 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf die Erträge von Silo- und Körnermais

In diesem Kapitel werden die Erträge der beiden Nutzungsrichtungen Silo- und Körnermais vom Standort Reding jahresspezifisch in kombinierten Grafiken dargestellt. Die Ertragsberechnung erfolgte im Fall des Silomaises auf 100 % Trockenmasse, wohingegen beim Körnermais, wie bei anderen Getreidearten auch, alle Ergebnisse auf eine Restfeuchtigkeit von 14 % (86 % TM) berechnet wurden.

Im Versuchsjahr 2012 zeigte sich im Silomais im Durchschnitt aller Varianten eine Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges gegenüber der Kontrolle von 8,7 dt TM/ha (Abb. 90). Mit Ausnahme der Variante 3 brachten dabei alle Fungizidvarianten höhere Erträge als die Kontrolle. Die Variante mit Applikation zur Blüte des Maises (V5, BBCH 65) konnte dabei mit +17,3 dt TM/ha die höchste Verlustminderung generieren. Alle Varianten des Silomaises waren dabei, wie auch bei den Ergebnissen der Nutzungsrichtung Körnermais, statistisch nicht signifikant zu den Erträgen der unbehandelten Kontrolle.

4. Ergebnisse

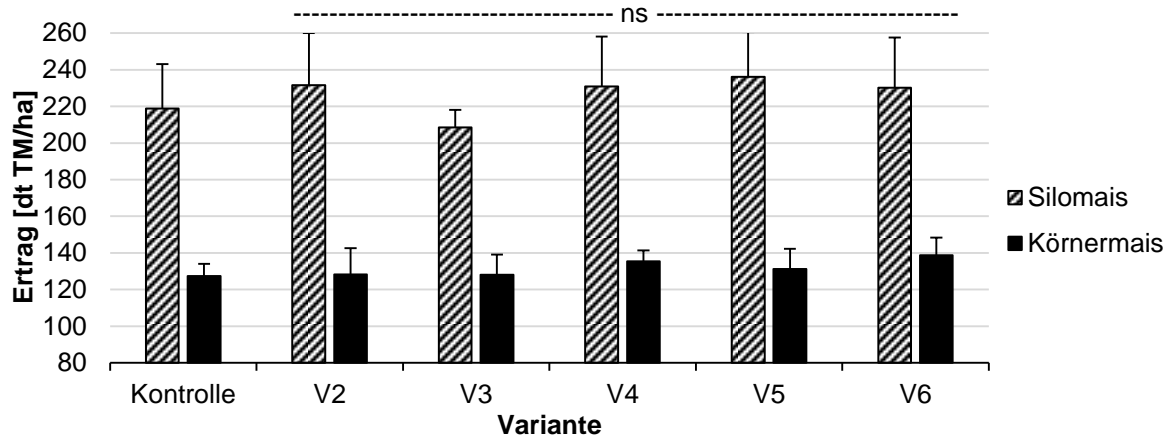


Abb. 90: Standort Reding, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo Plus® (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 4 Wdh. (2014: n = 5 Wdh.); MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

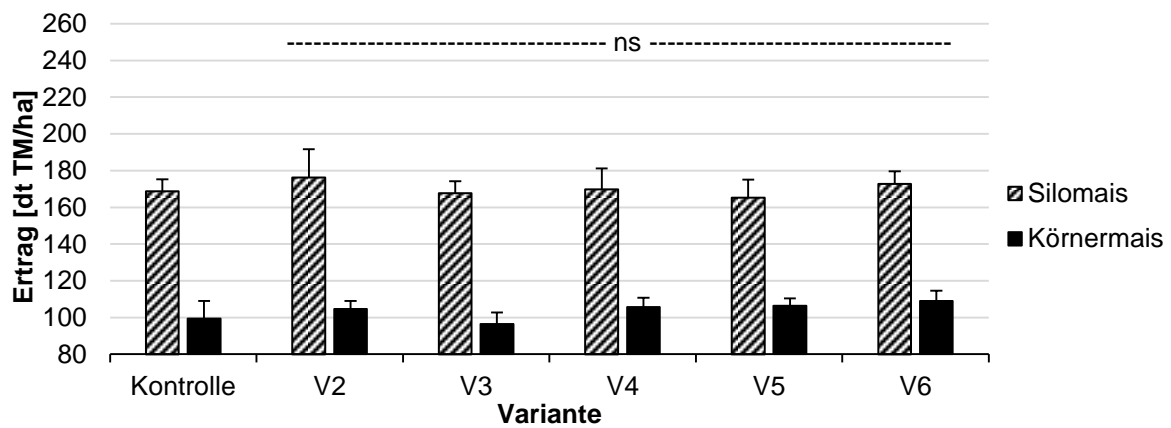


Abb. 91: Standort Reding, 2013: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 90

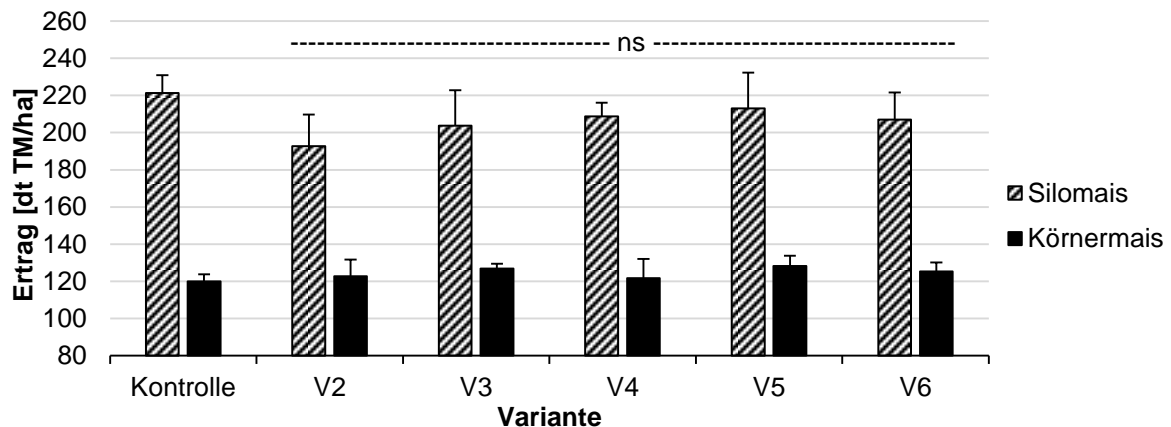


Abb. 92: Standort Reding, 2014: Ertragsergebnisse beider Nutzungsformen; weitere Erläuterungen, siehe Abb. 90

Bei den Ernteergebnissen des Körnermaises aus dem Jahr 2012 konnte über alle Varianten eine Ertragssteigerung verzeichnet werden. Der höchste Zuwachs von +11,4 dt TM/ha wurde dabei in der Variante 6 mit einer Doppelbehandlung des Fungizids zu BBCH 37 und BBCH 65 erreicht. Kaum positive Ertragswirkungen wurden dagegen bei den frühen Applikationsterminen in BBCH 34 und BBCH 37 mit +0,8 dt TM/ha und +0,7 dt TM/ha gemessen. Das Verhältnis zwischen den Erträgen der Nutzungsrichtungen konnte dabei von Silomais zu Körnermais mit Faktoren im Schwankungsbereich von 0,55 (V2) bis 0,61 (V3) beschrieben werden.

Die, relativ zu den anderen Jahren gesehenen, niedrigeren Erträge in 2013 sind eine Folge des Hochwassers Anfang Juni, wodurch die Vegetationsperiode des Mais verkürzt wurde (Abb. 91). Durch die statistische Analyse wurden in beiden Nutzungsrichtungen keine Signifikanzen festgestellt. Die höchste Verlustminderung konnte im Fall des Silomaises mit +7,6 dt TM/ha in der Variante 2 mit einer frühen Applikation zu BBCH 34 erzielt werden. Analog dazu war der Zugewinn bei Körnermais in der Variante 6 mit der Doppelbehandlung zu BBCH 37 und BBCH 65 mit +9,6 dt TM/ha am höchsten. Wie auch schon im Versuchsjahr 2012 konnte in 2013 ein durchschnittliches Verhältnis der Erntemenge von Silo- zu Körnermais mit einem Faktor von 0,61 angegeben werden.

Im 2014 lagen beim Silomais die Mittelwerte der Wiederholungen der unbehandelten Kontrolle in allen vier Fällen über dem Durchschnitt der Ertragsergebnisse der Fungizidvarianten. Somit ergaben sich für allen Applikationen negative Ertragsergebnisse im Vergleich zur Kontrolle. Bei Vernachlässigung des Kontrollwertes zeigte sich ein Trend, wonach die Verlustminderung zunimmt, je später die Fungizidanwendung erfolgte. Dabei konnte ein Unterschied von der geringsten Verlustminderung in V2 (BBCH 34) mit 192,7 dt TM/ha zu der höchsten Verlustminderung in V5 (BBCH 65) mit 213,0 dt TM/ha von 20,3 dt TM/ha verzeichnet werden. Die Doppelbehandlung (V6) lag im Jahr 2014 unter den Ertragsergebnissen der späten Einzelbehandlungen V5 (BBCH 65) und V4 (BBCH 55).

Durch eine zusammengefasste Betrachtung aller drei Versuchsjahre 2012 - 2014 am Standort Reding können unabhängig von den spezifischen Gegebenheiten eines Jahres die Auswirkungen von terminierten Fungizidanwendungen im Mais auf den Ertrag in den jeweiligen Nutzungsrichtungen dargestellt werden (Abb. 93). Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass im Fall des Silomaises nur in den Behandlungsvarianten mit späten Applikationen positive Ertragswirkungen erfasst werden können. Die Verlustminderungen liegen über alle drei Versuchsjahre gesehen in einem Schwankungsbereich von +0,2 dt TM/ha bei einer Applikation in BBCH 55 bis +1,9 dt TM/ha, die in der Variante mit einer Applikation zu BBCH 65 erreicht werden konnten.

Im Fall der Nutzungsrichtung Körnermais konnten die zusammengefassten Daten über drei Versuchsjahre eine tendenzielle Steigerung des Ertrages bei späterer Applikation des Fungi-

zids darstellen. Parallel zu den Ergebnissen aus dem Silomais war hier die Variante V5 zur Blüte des Maises mit +6,3 dt TM/ha die einmalige Anwendung mit der höchsten Verlustmin- derung ggü. der unbehandelten Kontrolle. Die Doppelbehandlung zu BBCH 37 und BBCH 65 unterschieden sich mit einer Ertragssteigerung von +8,8 dt TM/ha statistisch signifikant von der Ertragshöhe der Kontrolle. Diese Signifikanz wurde bei der Betrachtung der Einzeljahre in keinem der Versuchsjahre erreicht. Das durchschnittliche Verhältnis zwischen dem Ertrag von Silomais und Körnermais kann mit dem Faktor 0,6 berechnet werden.

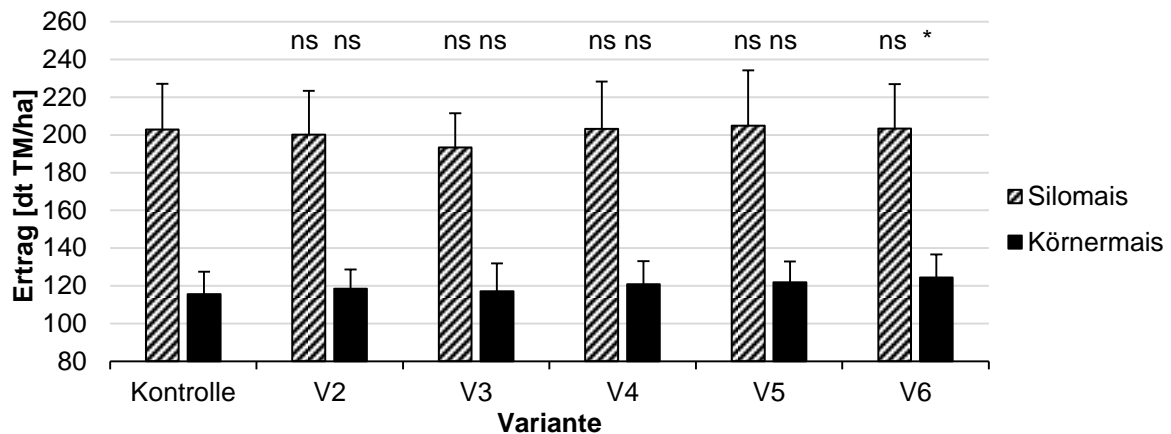


Abb. 93: Standort Reding, 2012 - 2014: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Retengo® Plus (1,5 l/ha) auf den Ertrag der beiden Nutzungsformen; Silomaiserträge berechnet auf 100 % TM; Körnermaiserträge berechnet auf 86 % TM; n = 3 Jahre MW + Stabw; Multipler Kontrasttest; Vergleich der Applikationsvarianten mit der Kontrolle; ns = nicht signifikant; $P \leq 0,001 = ***$; $P \leq 0,01 = **$; $P \leq 0,05 = *$; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65

4.3 Versuchsstandorte des LSV Bayern 2012 - 2013

4.3.1 Witterungsverläufe an den Standorten des LSV Bayern

In einem zweiten Abschnitt der vorliegenden Arbeit wurden unter Mithilfe der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Bayern Körnermais-Ernteproben der Landessortenversuche (LSV) aus den Jahren 2012 und 2013 auf die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) untersucht. Ziel dieser Analyse war zum einen Einblicke in die Leistung einzelner Sorten im Bezug zu einer möglichen Resistenz gegenüber den mykotoxinbildenden *Fusarium*-Pilzen zu bekommen. Auf der anderen Seite wurden die individuellen Witterungsgegebenheiten an den Standorten auf befallsfördernde Parameter besonders zum Zeitpunkt der Blüte des Maises untersucht, wodurch zukünftig Aussagen zur Kontamination des Erntegutes mit Mykotoxinen bereits während des Vegetationsverlaufes möglich sein sollen. Für eine hohe Aussagekraft der Ergebnisse ist eine große Anzahl an Proben notwendig. Die Standorte in Bayern boten neben einer großen Anzahl an verschiedenen Maissorten, unterschiedliche klimatische Gegebenheiten, die durch ein dichtes agrarmeteorologisches Messnetz der LfL in hohem Maße die tatsächliche Witterung an den jeweiligen Versuchsstandorten abbilden konnten. Im folgenden Kapitel wird darauf für die Jahre 2012 und 2013 eingehend Bezug genommen.

4.3.1.1 Witterung der Standorte des LSV Bayern 2012

Im Folgenden werden Temperatur und Niederschlag von den Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes der LfL erläutert. In Tab. 25 ist eine Übersicht über die durchschnittlichen Temperaturen und die Niederschlagssummen während der Vegetationsphase des Maises (01.04.2012 – 31.10.2012), sowie zu der theoretisch errechneten Blühphase des Maises (700 – 900°C Temperatursumme zur Basis 6°C ab Aussaat) dargestellt. Die Herleitung zur errechneten Blühphase wird in Kapitel 3.2.3 erläutert. Die Vorgehensweise entstammt der Notwendigkeit nach genauerer Kenntnis des Zeitraumes der Maisblüte, da die übergeordnete Einflussgröße Witterung während dieser Phase einen entscheidenden Einfluss auf die Infektion und resultierend die Kontamination des Erntegutes mit *Fusarium*-Erregern und der einhergehenden Mykotoxinbelastung hat. In den Abb. 94 und Abb. 95 findet ein visueller Überblick über die wichtige Wachstumsphase des Maises von Juni - September 2012 Darstellung. Hierbei sind die theoretischen Blühzeitpunkte (Tab. 25) als Bereich innerhalb der gestrichelten Linien dargestellt. Die Betrachtung des überregionalen phänologischen Blühzeitraumes der Maissorten verdeutlicht bei Analyse der durchschnittlichen Temperatur während der Vegetationsphase des Maises auch aufgrund des relativ langen Zeitraumes nur geringe Abweichungen zwischen den Standorten.

Der höchste Messwert wurde in 2012 am Standort Schwarzenau mit 14,9°C ermittelt, wohingegen der Standort Günzburg mit 13,6°C die niedrigste durchschnittliche Temperatur aufwies. Beide Standorte liegen damit +6°C, bzw. -7°C vom mittleren Wert aller Standorte entfernt. Die Niederschlagssummen variieren von 325,8 l/m² am Standort Schwarzenau bis zu 705,0 l/m² am Standort Frankendorf.

Die Witterung zur errechneten Blühphase deckt sich nicht 100-prozentig mit dem Trend der Extrema aus der gesamten Vegetationsperiode. So zeigte sich am Standort Schwarzenau mit 58 l/m² die dritthöchste Niederschlagsmenge im Zeitraum der Temperatursumme von 700 – 900°C. Auch das Witterungsdiagramm (Abb. 95) zeigt relativ konstante Niederschlagsereignisse von Anfang Juni bis Mitte Juli, was jedoch die anhaltende Trockenheit des Standortes während der gesamten Wachstumsphase des Maises verfälscht. Die trockensten Bedingungen während der theoretischen Blühphase wurden am Standort Reith mit 29,0 l/m² nachgewiesen. Bei den Temperaturen zeigen sich Messwerte in einem Bereich von 2,6°C die sich aus den durchschnittlichen Temperaturen vom Standort Neuhof (16,9°C) und Schwarzenau (19,5°C) ableiten.

Tab. 25: Mittlere Temperatur und Niederschlagssumme in der Vegetationsphase des Maises (01.04. – 31.10.) und zur berechneten Blühphase des Maises bei 700 – 900°C Temperatursumme ab Aussaat an den Standorten des Sortenversuches in 2012

Standort	Witterung Vegetationsphase		Witterung Blühphase	
	Ø Temperatur [°C]	Σ Niederschlag [l/m ²]	Ø Temperatur [°C]	Σ Niederschlag [l/m ²]
Ehlheim	14,1	417,4	17,5	30,1
Frankendorf	14,0	705,0	17,1	71,3
Günzburg	13,6	550,6	17,0	38,4
Inzing	14,8	535,3	18,6	43,4
Neuhof	14,1	382,9	16,9	36,5
Regenstauf	14,4	516,3	19,2	76,1
Reith	14,6	468,2	18,6	29,0
Schwarzenau	14,9	325,8	18,6	58,9
Sengkofen	14,7	480,7	19,5	43,2
Straßmoos	14,0	403,2	17,1	36,5
Thann	14,2	536,1	17,1	43,9
Ø	14,3	483,8	17,9	46,1

4. Ergebnisse

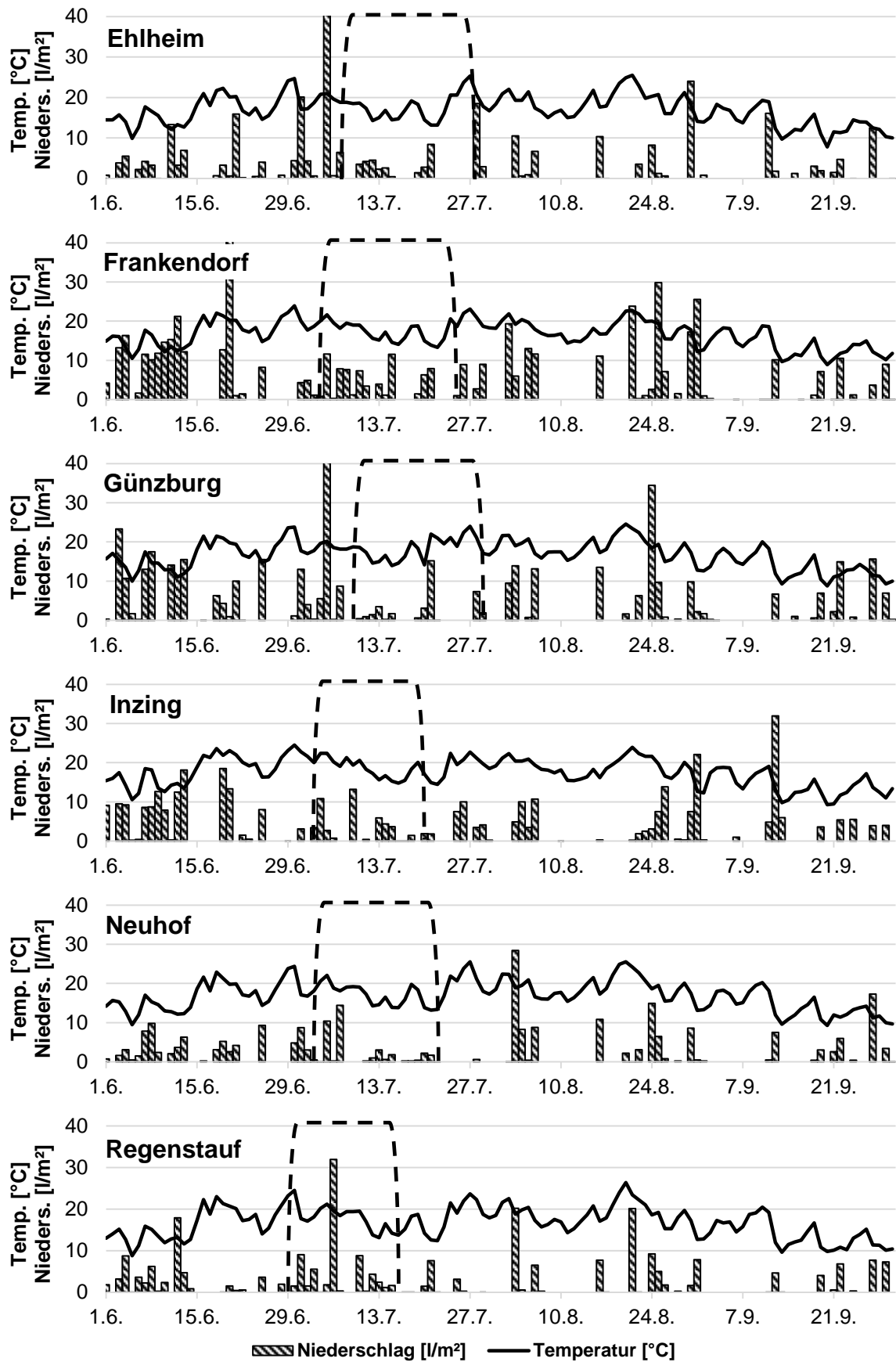


Abb. 94: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2012 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat)

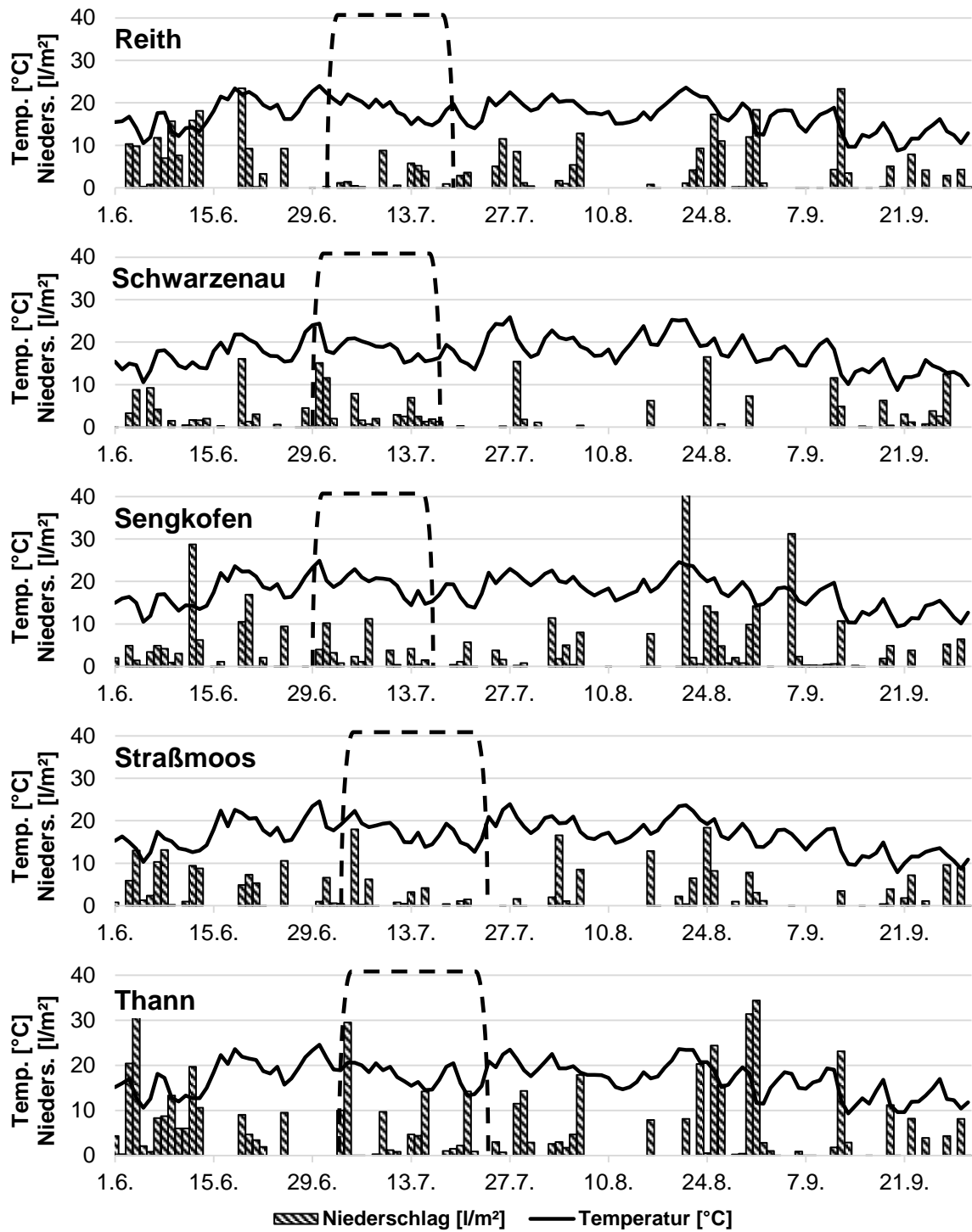


Abb. 95: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2012 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat)

4.3.1.2 Witterung der Standorte des LSV Bayern 2013

In Tab. 26 sind die spezifischen Witterungsdaten des Versuchsjahres 2013 dargestellt. In den Abb. 96 und Abb. 97 findet ein visueller Überblick über die wichtige Wachstumsphase des Maises von Juni - September 2013 Darstellung. Der Vergleich zum Versuchsjahr 2012 verdeutlicht, dass die durchschnittliche Temperatur während der Vegetationsphase an den Versuchsstandorten mit 14,0°C um 0,3°C niedriger war. Die Schwankungsbreite von 1,2°C zwischen dem kältesten Standort (Günzburg: 13,4°C) und dem wärmsten Standort (Inzing: 14,6°C) liegt auf dem Niveau von 2012 (Schwankungsbreite 1,2°C). Wiederum wurden die niedrigsten Temperaturen am Standort Günzburg gemessen. Die Niederschlagssummen während der Vegetationsphase variierten in 2013 zwischen 476,7 l/m² am Standort Reith und 644,9 l/m² am Standort Thann.

Tab. 26: Mittlere Temperatur und Niederschlagssumme in der Vegetationsphase des Maises (01.04. – 31.10.) und zur berechneten Blühphase des Maises bei 700 – 900°C Temperatursumme ab Aussaat an den Standorten des Sortenversuches in 2013

Standort	Witterung Vegetationsphase		Witterung Blühphase	
	Ø Temperatur [°C]	Σ Niederschlag [l/m ²]	Ø Temperatur [°C]	Σ Niederschlag [l/m ²]
Ehlheim	13,8	545,1	21,7	28,6
Euerfeld	14,0	542,1	20,9	39,1
Frankendorf	13,7	616,1	21,2	23,5
Günzburg	13,4	575,4	21,1	25,3
Inzing	14,6	605,2	19,5	5,2
Regenstauf	14,3	540,5	20,7	0,0
Reith	14,5	476,7	20,0	0,0
Straßmoos	13,8	567,1	22,0	16,5
Thann	14,2	644,9	22,0	7,8
Ø	14,0	568,1	21,0	16,2

Somit liegt die Schwankungsbreite der Niederschläge in 2013 um 168,2 l/m² unterhalb der Werte des Jahres 2012 (379,0 l/m²). Das Jahr 2013 kann somit zum einen deutlich ausgeglichener in Bezug auf die Niederschlagsverteilung, zum anderen deutlich niederschlagsreicher (+ 84,3 l/m²) als das Jahr 2012 angesehen werden.

Die Witterungsdaten zum errechneten Blühzeitpunkt in 2013 zeigen deutliche Unterschiede zum Versuchsjahr 2012. Die durchschnittliche Temperatur lag mit 21,0°C um 3,1°C höher, wobei die Schwankungsbreite mit 2,5°C bei einem ähnlichen Wert lag wie in 2012. Bei der Niederschlagsverteilung fielen im Durchschnitt der Standorte mit 16,2 l/m² ca. 30,0 l/m² weniger als in 2012. Die Schwankungen reichten hierbei von ausbleibendem Niederschlag (Regenstauf, Reith), bis zu hohem Niederschlag in Höhe von 39,1 l/m² (Euerfeld).

4. Ergebnisse

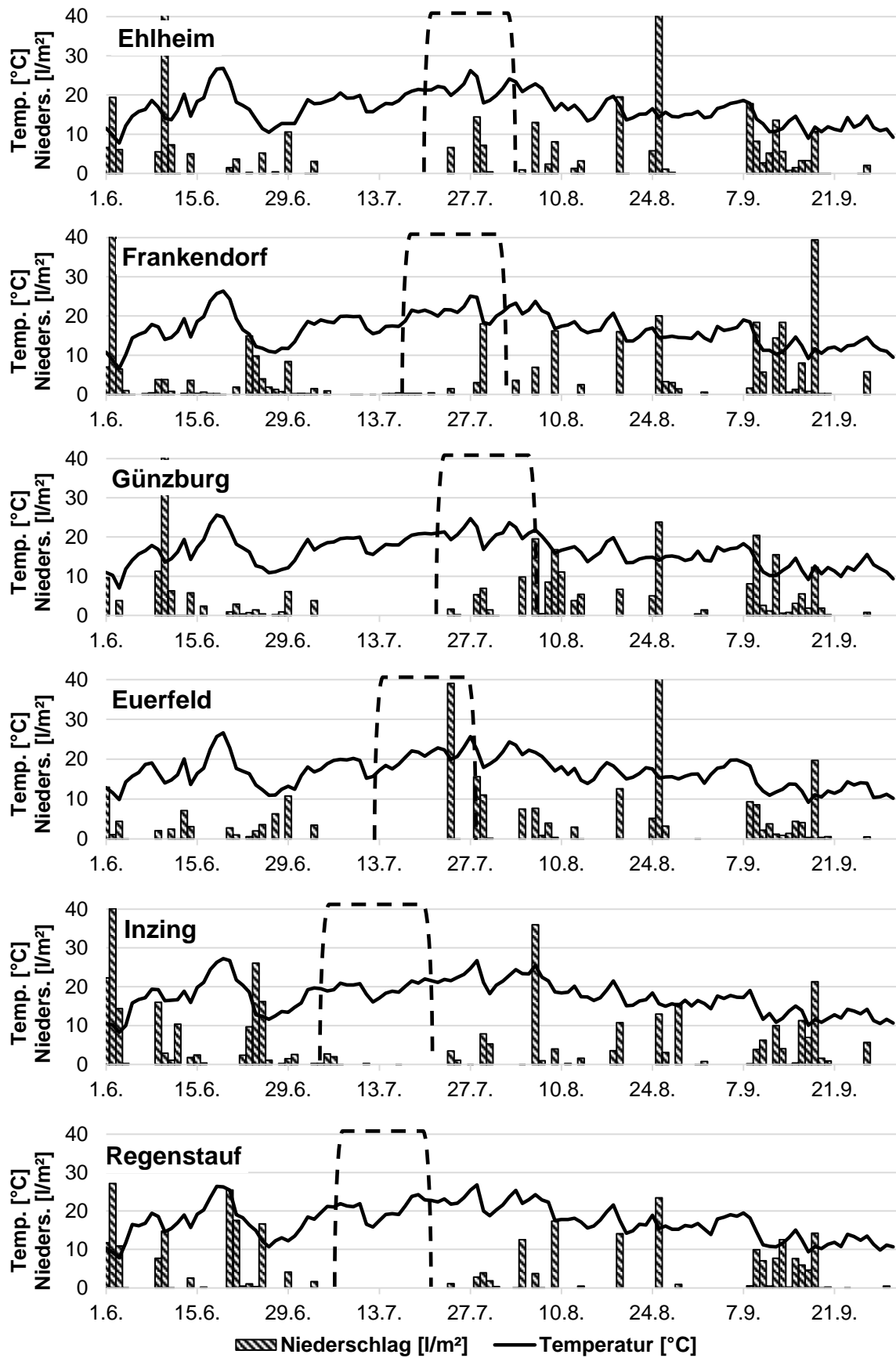


Abb. 96: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2013 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat)

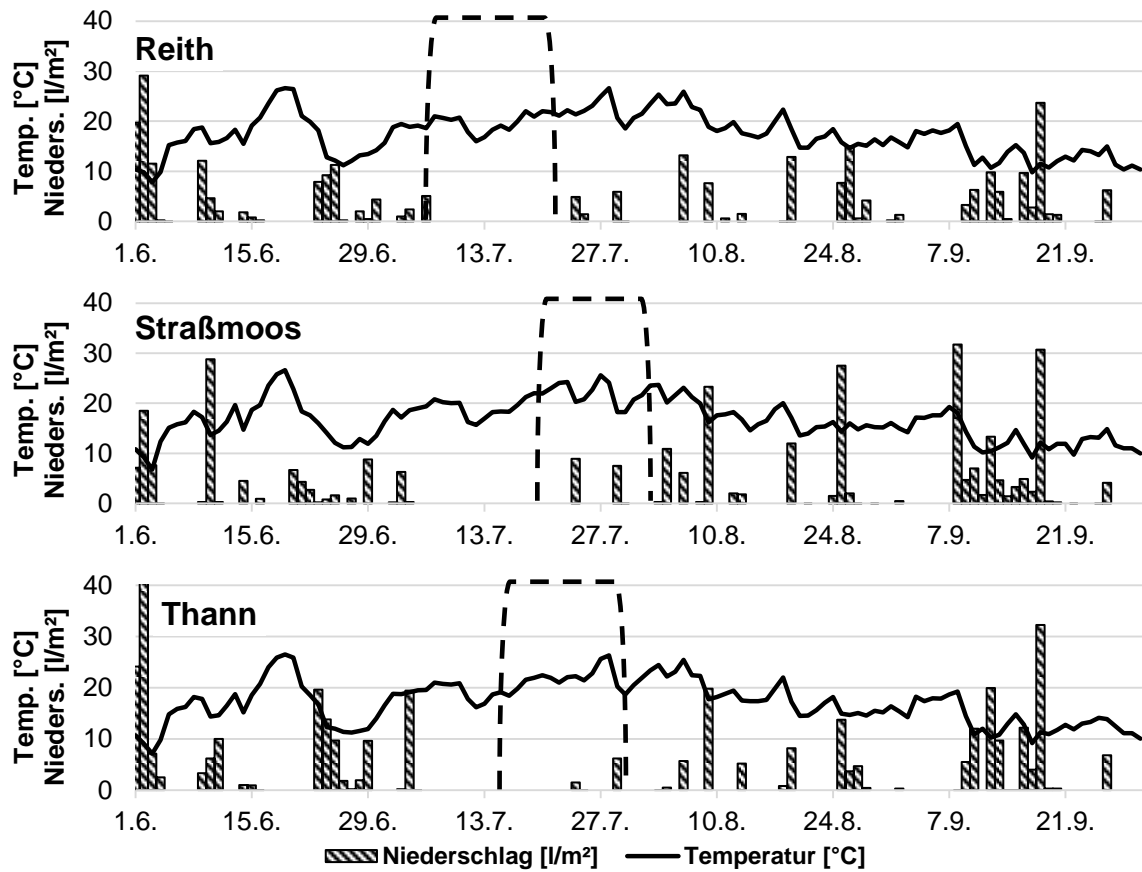


Abb. 97: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 01.06. – 30.09.2013 an den Versuchsstandorten des LSV Bayern dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet errechneten Zeitraum der Maisblüte (700 – 900°C ab Aussaat)

4.3.2 Mykotoxingehalte an den Versuchsstandorten des LSV Bayern 2012

Die Ergebnisse der Mykotoxinanalyse des LSV-Probenmaterials aus dem Jahr 2012 sind in den Abb. 98 bis Abb. 100 aufgeteilt nach den Reifegruppen „früh“, „mittelfrüh“ und „mittelspät“ dargestellt. Neben den mittig angeordneten Namen der Sorte befinden sich auf der linken Seite die Ergebnisse der ZEA-Untersuchungen, dargestellt als Mittelwerte mit Standardabweichungen, die aus Standorten mal Wiederholungen generiert wurden. In derselben grafischen Aufbereitung werden rechts neben den Namen die Ergebnisse DON-Untersuchung beschrieben. Unterschiedliche Buchstaben an den Balken des Diagramms kennzeichnen dabei statistisch signifikante Differenzen zwischen den Werten.

In der Reifegruppe „früh“ (Abb. 98) wiesen die Sorten „Ricardinio“ und „Silvinio“ eine signifikant höhere Kontamination mit dem Mykotoxin DON auf als die drei Sorten „Amagrano“, „Amanatidis“ und „NK Ravello“. Bezieht man die Höhe der ZEA-Gehalte in die Betrachtung mit ein, so zeigt gerade die letztgenannte Sorte einen sehr niedrigen analytischen Nachweis der betrachteten Mykotoxine. Trotz der Unterschiede in der ZEA-Kontamination können aufgrund der hohen Standardabweichungen keine signifikanten Differenzen zwischen den einzelnen Sorten ausgemacht werden. Unabhängig von der Varianz zwischen den Mykotoxingehalten in den Wiederholungen einer Sorte an einem Standort, waren bei den über den Standort gemittelten Sortenbefallswerten (Abb. 98, Abb. 99, Abb. 100) die Unterschiede in der Standorten Auslöser der streuenden Werte. Keine der Sorten überschritt die vorgegebenen Richtwerte für die Schweinefütterung.

In der Reifegruppe „mittelfrüh“ (Abb. 99) zeigte die Sorte „Avixxene“ hinsichtlich der DON-Analysewerte eine hohe Kontamination, die mit 1800,0 µg/kg TM doppelt so hoch ist, als es der Richtwert von 900 µg/kg TM vorgibt. Im Fall der ZEA-Analyse wurden bei den Sorten „Grosso“ und „Zidane“ hohe Analysewerte nachgewiesen, die im Fall der erstgenannten Sorte den vorgegebenen EU-Richtwert für die Schweinefütterung von 100,0 µg/kg TM um 19,3 µg/kg TM überschritten. Die Sorten „Avixxene“, „LG 3258“ und „Luigi CS“ lagen signifikant unter dem Befallswert der restlichen Sorten in dieser Reifegruppe.

Die Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Abb. 100) wiesen im Fall des Mykotoxins DON geringe Kontaminationen auf, die in keinem Fall den vorgegebenen Richtwert überschritten. Im Vergleich zu den Sorten „Torres“ und „DKC 4371“ konnten bei der Sorten „Lavena“ signifikant niedrigere DON-Werte festgestellt werden. Bezüglich des Mykotoxins ZEA lagen die Werte in dieser Reifegruppe tendenziell höher als in den vorher betrachteten Reifegruppen. Die Sorte „Maxxis“ überschritt dabei mit einem Wert von 107,7 µg/kg TM knapp den Richtwert für die Schweinefütterung. Durch die relativ geringen Unterschiede in der Kontamination der einzelnen Sorten und der hohen Varianz können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

4. Ergebnisse

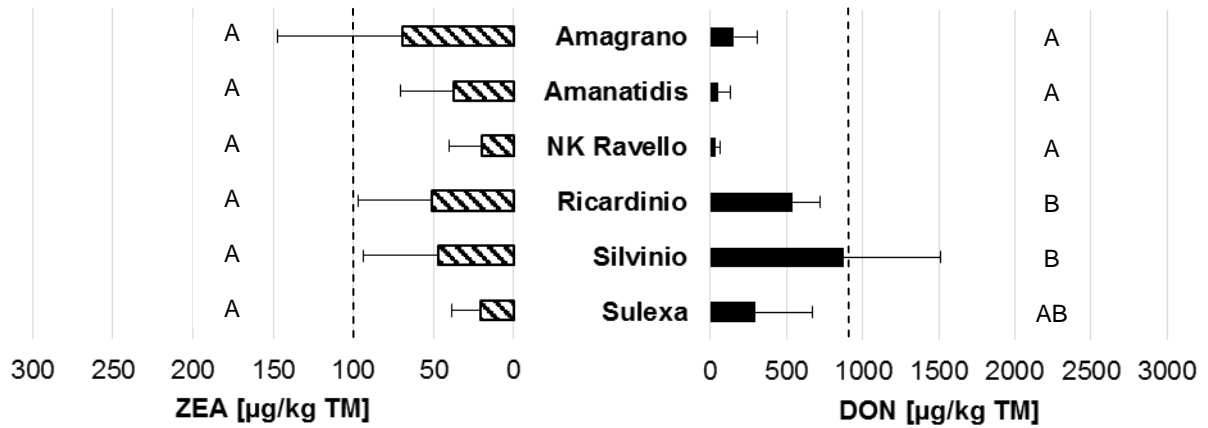


Abb. 98: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „früh“ (Versuch Nr. 340) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte ($n = 6$); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

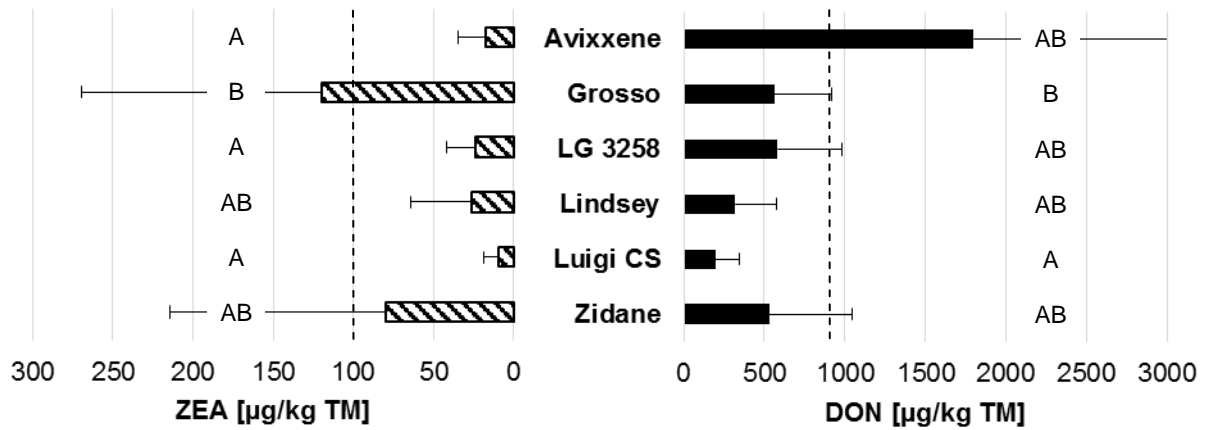


Abb. 99: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelfrüh“ (Versuch Nr. 341) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte ($n = 8$); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$



Abb. 100: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Versuch Nr. 342) des LSV Bayern in 2012; dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen aller Standorte ($n = 6$); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

Um Unterschiede in den Mykotoxinbelastungen der einzelnen Reifegruppen sichtbar zu machen, sind in der Abb. 101 die gemittelten Standortwerte der einzelnen Sorten aus dem LSV 2012 in Bayern dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Reifegruppen können zwar statistisch nicht abgesichert werden, bezüglich des Mykotoxins ZEA zeigte sich jedoch ein klarer Trend zu einer höheren Kontamination bei später abreifenden Sorten. Keiner der zusammengefassten Gruppenmittelwerte von DON und ZEA überschritt im Versuchsjahr 2012 die vorgegebenen EU-Richtwerte für die Schweinefütterung.

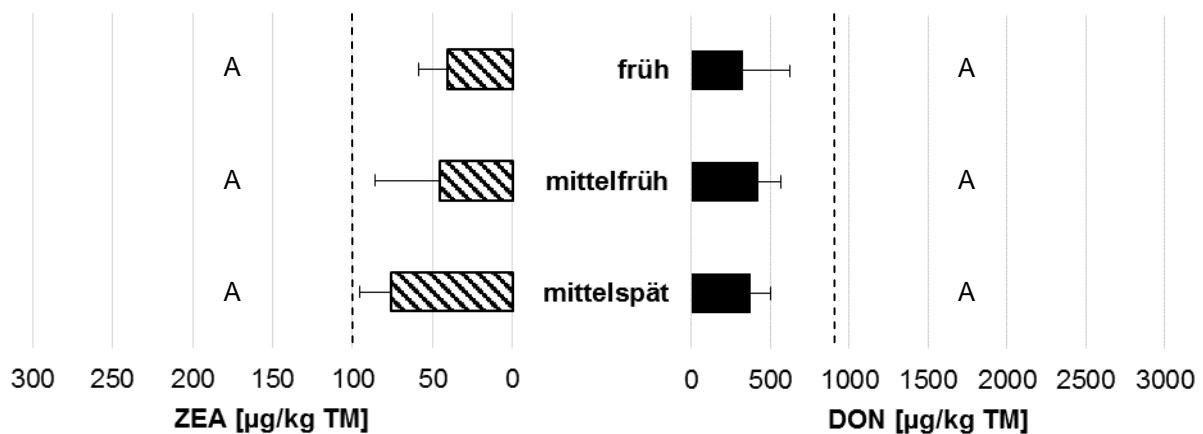


Abb. 101: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais der drei Reifegruppen früh (Vers. 340), mittelfrüh (Vers. 341) und mittelspät (Vers. 342) des LSV Bayern in 2012; MW + Stabw aller Sorten an den jeweiligen Standorten; vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

Neben den Mittelwerten der Sorten an den Standorten der drei Reifegruppen, ergibt sich eine weitere interessante Übersicht, wenn alle angebauten Sorten an einem Standort gemittelt werden. Mit den dann generierten Werten kann eine Einschätzung über das Vorhandensein und das Schadpotential von *Fusarium*-Arten und einhergehender Mykotoxinbelastung erfolgen.

In Abb. 102 finden die Durchschnittswerte der Sorten an den in der Mitte der Grafik aufgeführten Standorten Darstellung. Die Klammerzahl hinter dem Standortnamen dokumentiert, wie viele einzelne Sortenwerte in den angegebenen Wert eingeflossen sind, da, wie bereits erwähnt, nicht alle Sorten an jedem Standort zur Verfügung gestanden haben. Zur besseren Übersicht über die statistische Analyse wird auf eine Buchstaben-Kennzeichnung zur Darstellung von signifikant Verschiedenen Ergebnissen verzichtet und stattdessen auf die aus der Berechnung erhaltenen p-Werte (Tab. 27) zurückgegriffen.

4. Ergebnisse

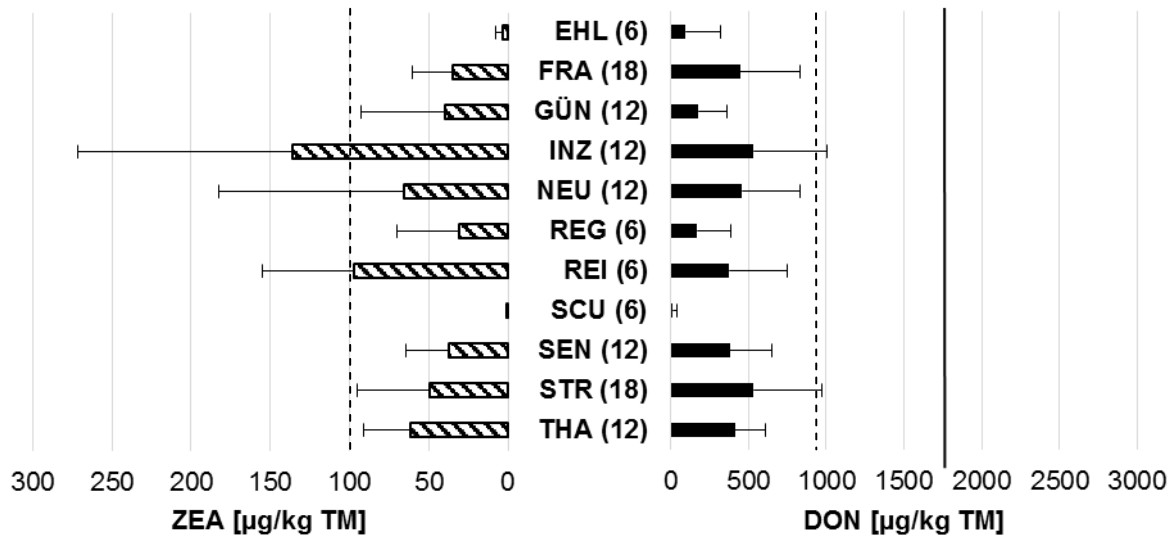


Abb. 102: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais an den Standorten des LSV Bayern in 2012, angegeben als Mittelwert und Standardabweichung der angebauten Sorten (Klammerwert = Anzahl der Sorten); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte (gestrichelt), bzw. EU-Grenzwert (durchgezogene Linie); sign. Unterschiede werden in nachfolgender Tabelle dargestellt

Tab. 27: Ergebnis der statistischen Datenanalyse zur Kennzeichnung von sign. Unterschieden zwischen den Befallswerten der einzelnen Standorte hinsichtlich der Mykotoxine DON und ZEA; dargestellt sind die p-Werte aus der Verrechnung der Standorte gegeneinander; links unten befinden sich die Ergebnisse hinsichtlich DON, rechts oben die Ergebnisse hinsichtlich ZEA; sign. Standortunterschiede sind „fett“ markiert und mit dem folgenden Signifikanzniveau versehen: $P \leq 0,05 = *$, $P \leq 0,01 = **$, $P \leq 0,001 = ***$; Multipler Kontrasttest

Standorte	p-Wert Zearalenon (ZEA)										
	EHL	FRA	GÜN	INZ	NEU	REG	REI	SCU	SEN	STR	THA
EHL		< 0,010**	0,481	0,050*	0,797	0,846	0,021*	0,813	0,042*	0,032*	< 0,001***
FRA	0,402		1,000	0,264	0,998	1,000	0,320	< 0,001***	1,000	0,991	0,360
GÜN	1,000	0,135		0,470	1,000	1,000	0,700	0,340	1,000	1,000	0,991
INZ	0,466	1,000	0,359		0,934	0,295	1,000	0,040*	0,316	0,507	0,721
NEU	0,568	1,000	0,332	1,000		0,997	0,999	0,735	0,999	1,000	1,000
REG	1,000	0,050*	1,000	0,294	0,295		0,417	0,710	1,000	0,997	0,787
REI	0,871	1,000	0,890	1,000	1,000	0,854		0,014*	0,420	0,734	0,943
SCU	0,998	< 0,010**	0,167	< 0,01**	< 0,01**	0,167	0,200		0,012*	0,012*	< 0,001***
SEN	0,770	1,000	0,602	0,997	1,000	0,484	1,000	< 0,010**		0,999	0,674
STR	0,173	1,000	0,032*	1,000	0,999	< 0,010**	1,000	< 0,001***	0,975		0,997
THA	0,529	1,000	0,023*	1,000	1,000	0,108	1,000	< 0,001***	1,000	0,995	

p-Wert Deoxynivalenol (DON)											
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Im Fall des DON-Wertes blieben alle Standorte im Durchschnitt unter dem von der EU festgesetzten Richtwert von 900 µg/kg TM. Besonders niedrig war der Mittelwert der Sorten am Standort Schwarzenau (SCU), der sich bei 12,8 µg/kg TM befindet. Die P-Wert-Tabelle (Tab. 27) zeigt in diesem Fall signifikant niedrigere Werte als die der Sortenmittel der Stand-

orte Frankendorf (FRA), Inzing (INZ), Neuhoﬀ (NEU), Sengkofen (SEN), Straßmoos (STR) und Thann (THA). Die Darstellung der *P*-Werte erlaubt im Gegensatz zur Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede mit Buchstaben die Einschätzung, inwieweit die zu vergleichenden Werte von einer Signifikanz von mindestens $P \leq 0,05$ entfernt sind. Im Fall des Standortes Schwarzenau und der Kontamination mit DON zeigte sich, dass auch die als nicht signifikant-unterschiedlich gekennzeichneten Standorte Günzburg (GÜN), Regenstauﬀ (REG) und Reith (REI) mit *P*-Werten von 0,167, bzw. 0,200 in der Nähe von derartigen Ergebnissen lagen. Lediglich der Standort Ehlheim (EHL) wies mit seinem relativ niedrigen Wert bezüglich der DON-Analyse statistisch gesichert bei einem *P*-Wert von 0,998 keinen Unterschied zu dem Wert am Standort Schwarzenau auf. Die höchsten Werte wiesen die Standorte Straßmoos und Inzing auf, die im Versuchsjahr 2012 bei DON in beiden Fällen über 500 µg/kg TM lagen. Bei der Betrachtung der ZEA-Werte im Mittel der Sorten der Standorte wurde eine höhere Heterogenität als im Fall der DON-Werte aus 2012 dokumentiert. Wiederum war der Standort Schwarzenau (SCU) mit 0,3 µg/kg TM der am niedrigsten kontaminierte. Im Gegensatz dazu lagen die Werte der Standorte Inzing (INZ) und Reith (REI) mit 136,6 µg/kg TM und 97,2 µg/kg TM oberhalb, bzw. nahe unterhalb des Richtwertes für die Schweinefütterung. Trotz dieses hohen Wertes am Standort Inzing (INZ) konnte ein statistisch gesicherter Unterschied laut Tabelle nur zu den Standorten Schwarzenau (SCU) und Ehlheim (EHL) erfolgen. Ausschlaggebend dafür war die hohe Varianz der Messwerte, die keine weiteren signifikanten Unterschiede zuließ. Es kann aber von einem Trend der hohen Kontamination der Sorten am Standort Inzing (INZ) gegenüber den anderen Standorten gesprochen werden. Werden die Sortenmittel der Standorte im Bezug zu den beiden Mykotoxinen DON und ZEA gesamtheitlich betrachtet, so ist die Bedeutung bei der Überschreitung des untersten Richtwertes im LSV 2012 eher im ZEA nachzuweisen als im DON.

4.3.3 Mykotoxingehalte an den Versuchsstandorten des LSV Bayern 2013

Die Analyseergebnisse der Reifegruppe „früh“ (Abb. 103) dokumentieren, dass die Sorte „Farmanager“ im Fall von DON als einzige Sorte einen DON-Gehalt oberhalb des Richtwertes für die Schweinefütterung von 900 µg/kg TM lag. Auch kennzeichnet diese Sorte in dieser Reifegruppe eine hohe Belastung durch ZEA. Insgesamt unterliegen die Messergebnisse der einzelnen Sorten mit ihren Wiederholungen einer hohen Streuung. So war wiederum bei der Sorte „Farmanager“ bei beiden Toxinen eine sehr hohe Standardabweichung zu verzeichnen. Der Grund für diese Ergebnisse besteht weniger in der Streuung der einzelnen Wiederholungen an einem Standort, als vielmehr in der Bildung eines Mittelwertes aus den Werten der Sorte an verschiedenen Standorten. Die Standorte hatten dabei ein unterschiedliches Befallsniveau, was zur Streuung des Mittelwertes der Sorte und einer nicht gegebenen Signifikanz führte.

4. Ergebnisse

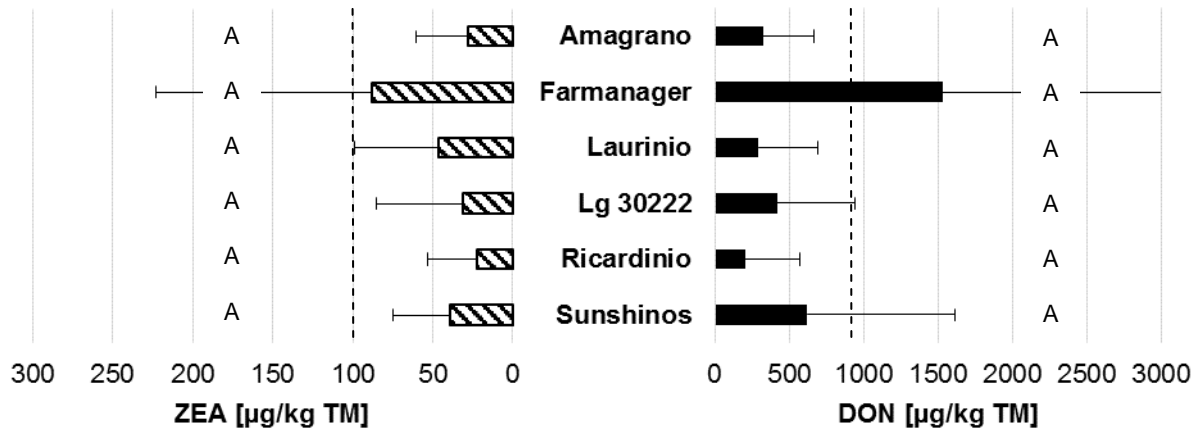


Abb. 103: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „früh“ (Versuch Nr. 340) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 6); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

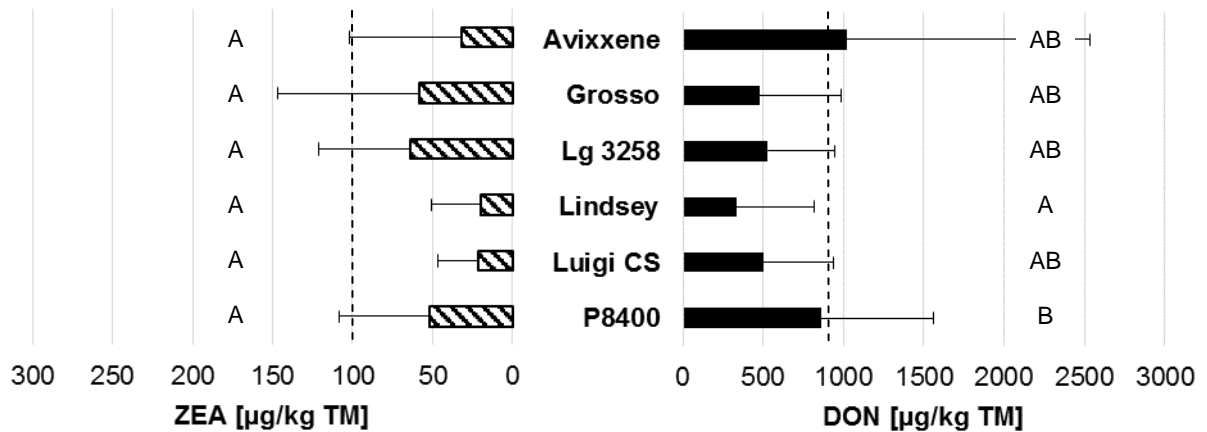


Abb. 104: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelfrüh“ (Versuch Nr. 341) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 7); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

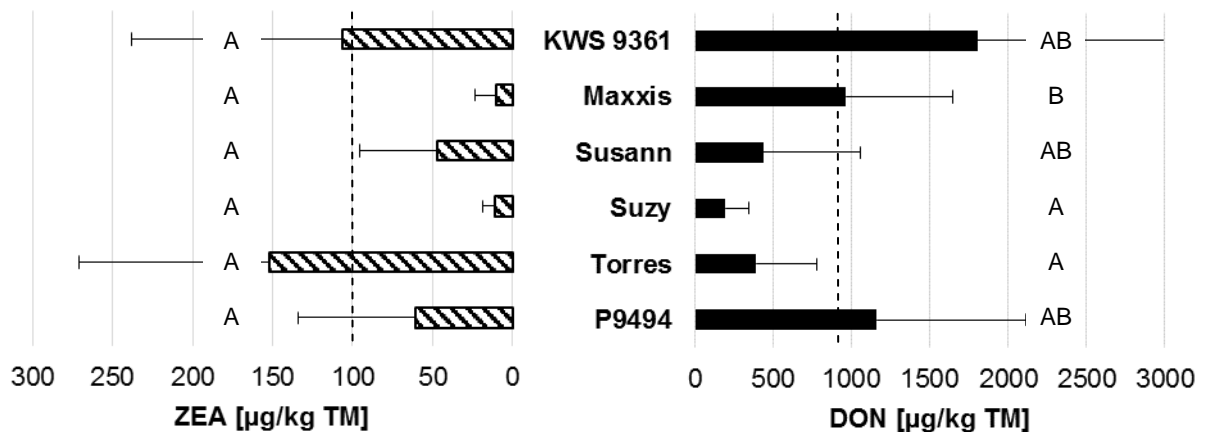


Abb. 105: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais von sechs Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Versuch Nr. 342) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Standorte (n = 3); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

Die Sorten „Lindsey“ und „P8400“ zeigten einen signifikant niedrigeren, bzw. höheren Kontaminationsgrad mit dem Mykotoxin DON als die übrigen Sorten in dieser Reifegruppe. Alleinig in der Sorte „Avixxene“ wird der Richtwert für die Schweinefütterung um 120,6 µg/kg TM überschritten. Eine Überschreitung des ZEA-Richtwertes erfolgt von keiner Sorte der Reifegruppe „früh“. Ebenfalls können trotz des Trends der geringeren ZEA-Kontamination in den Sorten „Lindsey“ und „Luigi CS“ statistisch keine Signifikanzen abgeleitet werden.

Die Sorten der Reifegruppe „mittelspät“ (Abb. 105) zeigten im LSV 2013 die höchsten Kontaminationen mit den Mykotoxinen DON und ZEA. Drei Sorten bei DON („KWS 9361“, „Maxxis“ und „P9494“) und zwei Sorten bei ZEA („KWS 9361“ und „Torres“) überschritten den jeweiligen Richtwert für die Rinderfütterung. Auffällig ist, dass die Sorte „Torres“ trotz eines signifikant niedrigeren Gehaltes an DON gegenüber vier anderen Sorten der Reifegruppe mit 152,3 µg/kg TM den höchsten Gehalt an ZEA verzeichnete. Die Sorte „Suzy“ wies mit Abstand die niedrigsten Gehalte an DON und ZEA auf, die im Fall von DON auch statistisch signifikant niedriger liegen.

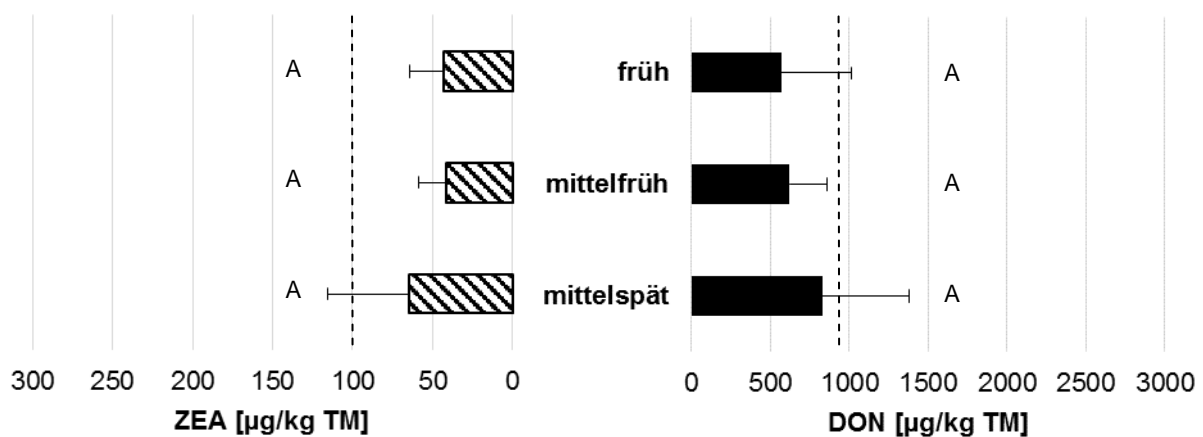


Abb. 106: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais der drei Reifegruppen früh (Vers. 340), mittelfrüh (Vers. 341) und mittelspät (Vers. 342) des LSV Bayern in 2013; MW + Stabw aller Sorten an den jeweiligen Standorten; vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte; Multipler Kontrasttest; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P \leq 0,05$

Wie in 2012 können auch in der zusammenfassenden Grafik der gemittelten Sortenwerte der einzelnen Reifegruppen des LSV 2013 (Abb. 106) keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Trotz hoher Standardabweichungen, die eine statistische Absicherung verhindern, kann von einem Trend gesprochen werden, wohin gehend mittelspäte Sorten zur Ernte des Körnermaises höhere Gehalte an DON und ZEA aufwiesen als frühreifende Sorten.

In Abb. 107 werden die Durchschnittswerte der Sorten an den in der Mitte der Grafik aufgeführten Standorten dargestellt. Die Klammerzahl hinter dem Standortnamen verdeutlicht, wie viele einzelne Sortenwerte in den angegebenen Wert eingeflossen sind. Für das Mykotoxin DON wird im Mittel der Sorten an drei Standorten der festgesetzte Richtwert von 900 µg/kg

4. Ergebnisse

TM überschritten. Zur besseren Übersicht der statistischen Analyse wird auf eine Buchstaben-Kennzeichnung zur Darstellung von signifikant verschiedenen Ergebnissen verzichtet und stattdessen auf die aus der Berechnung erhaltenen p-Werte zurückgegriffen. Der Grenzwert von 1750 µg/kg TM bei Körnermais-Proben, die für die Lebensmittelproduktion vorgesehen sind, wird an keinem Standort erreicht. Lediglich der am höchsten belastete Standort Straßmoos (STR) ist mit einem Durchschnittswert von 1619,5 µg/kg TM kurz unterhalb dieses Wertes.

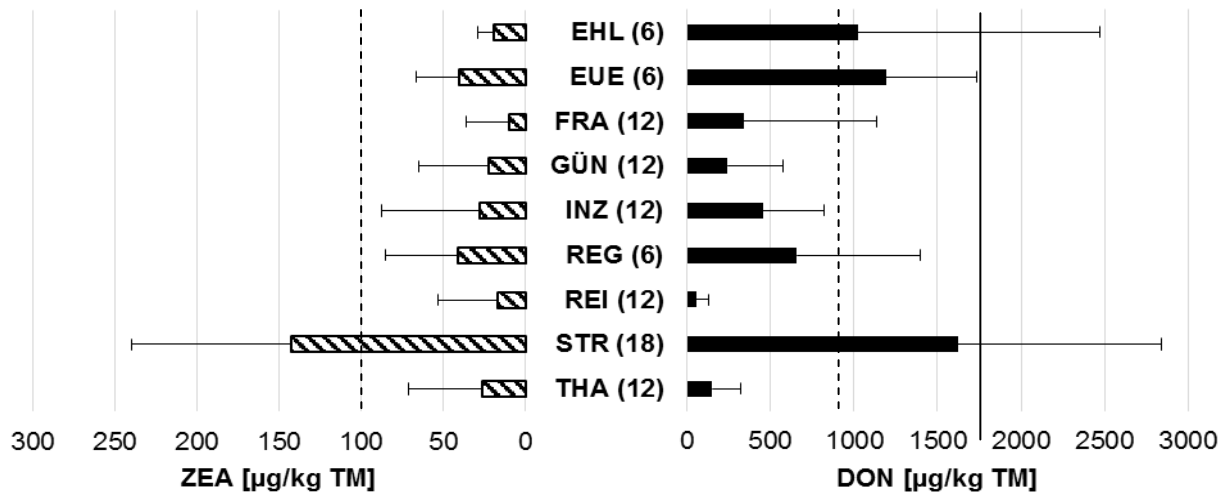


Abb. 107: DON- und ZEA-Gehalte im Körnermais an den Standorten des LSV Bayern in 2013, angegeben als Mittelwert und Standardabweichung der angebauten Sorten (Klammerinhalt = Anzahl Sorten); vertikale Linien zeigen niedrigste EU-Richtwerte (gestrichelt), bzw. EU-Grenzwert (durchgezogene Linie); sign. Unterschiede werden in nachfolgender Tabelle dargestellt

Tab. 28: Ergebnis der statistischen Datenanalyse zur Kennzeichnung von sign. Unterschieden zwischen den Befallswerten der einzelnen Standorte hinsichtlich der Mykotoxine DON und ZEA; dargestellt sind die p-Werte aus der Verrechnung der Standorte gegeneinander; links unten befinden sich die Ergebnisse hinsichtlich DON, rechts oben die Ergebnisse hinsichtlich ZEA; sign. Standortunterschiede sind „fett“ markiert und mit dem folgenden Signifikanzniveau versehen: $P \leq 0,05 = *$, $P \leq 0,01 = **$, $P \leq 0,001 = ***$; Multipler Kontrasttest

Standorte	p-Wert Zearalenon (ZEA)								
	EHL	EUE	FRA	GÜN	INZ	REG	REI	STR	THA
EHL		0,671	0,977	1,000	1,000	0,969	1,000	< 0,001***	1,000
EUE	1,000		0,352	0,971	1,000	1,000	0,817	0,006**	0,995
FRA	0,974	0,240		0,992	0,988	0,850	1,000	< 0,001***	0,979
GÜN	0,925	0,170*	1,000		1,000	0,996	1,000	< 0,001***	1,000
INZ	0,986	0,138	1,000	0,853		1,000	1,000	0,007***	1,000
REG	1,000	0,935	0,992	0,902	0,998		0,973	0,033*	0,999
REI	0,779	< 0,001***	0,920	0,374	0,010**	0,513		< 0,001***	1,000
STR	0,994	0,945	0,022*	< 0,001***	0,007**	0,384	< 0,001***		0,002**
THA	0,865	0,003*	0,995	0,986	0,209	0,740	0,320	< 0,001***	
	p-Wert Deoxynivalenol (DON)								

Anhand der Betrachtung der p-Werte (Tab. 28) wird ersichtlich, dass der Standort Straßmoos (STR) im Sortenmittel eine höhere Kontamination von DON aufwies, als die Standorte Günzburg (GÜN), Inzing (INZ), Reith (REI) und Thann (THA). Die restlichen Standorte dokumentieren ebenfalls niedrigere DON-Werte, können aber aufgrund der hohen Standardabweichungen dieser Werte und auch am Standort Straßmoos, nicht als abgesichert verschieden dokumentiert werden. Den niedrigsten DON-Wert wurde beim Sortenmittel des Standortes Thann (THA) mit 149,1 µg/kg TM analysiert.

Im Fall des Mykotoxins ZEA wird wiederum vom Sortenmittel des Standortes Straßmoos (STR) der Richtwert für die Schweinefütterung von 100 µg/kg TM mit einem Wert von 142,3 µg/kg TM überschritten. Trotz hoher Standardabweichung kann anhand der statistischen Analyse (Tab. 28) eine signifikant höhere Kontamination als an allen anderen Standorten des LSV 2013 festgestellt werden. Die Proben der übrigen Standorte weisen ZEA-Werte unter 50 µg/kg TM auf und sind anhand der p-Werte der statistischen Analyse nicht voneinander unterscheidbar. Eine geringe Korrelation zwischen der Höhe von DON- und ZEA-Werten auf Basis der gemittelten Sortenwerte an den Standorten ist zu erkennen.

Vergleichend zum Versuchsjahr 2012 war die Überschreitung des DON-Richtwertes im Versuchsjahr 2013 von größerer Bedeutung als die Überschreitung des ZEA-Richtwertes.

4.3.4 Aussagekraft der Referenzsorten im Bezug zur Mykotoxinbelastung der Standorte des LSV 2012 und 2013

Um eine generelle Aussage über die Belastung des Standortes mit Mykotoxinen zu machen, wurden genetisch einheitlichen Sorten an den entsprechenden Versuchsstandorten als „Referenzsorten“ geführt. In den Versuchsjahren 2012 und 2013 wurden an jedem Standort mit Landessortenversuchen, entsprechende Sorten mit den Kürzeln „RS 1“ und „RS 2“ mit angebaut.

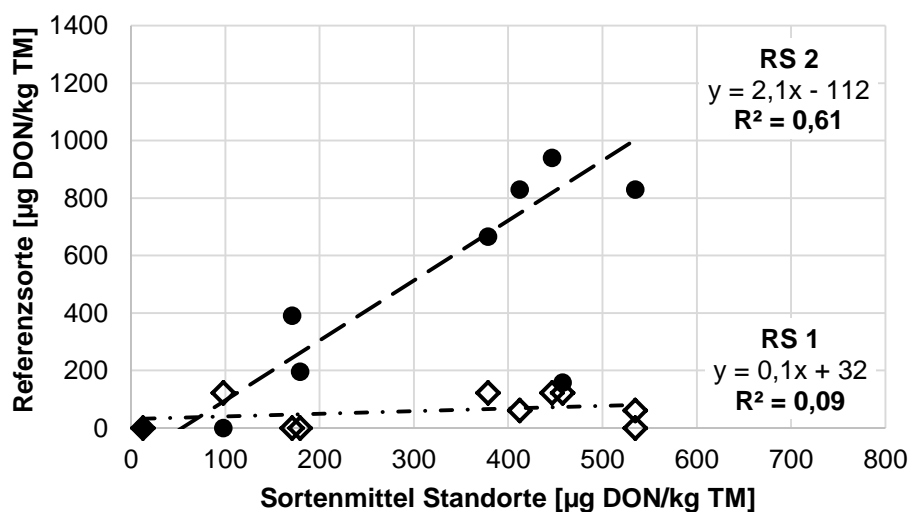


Abb. 108: Vergleich der DON-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2012 an den jeweiligen Standorten

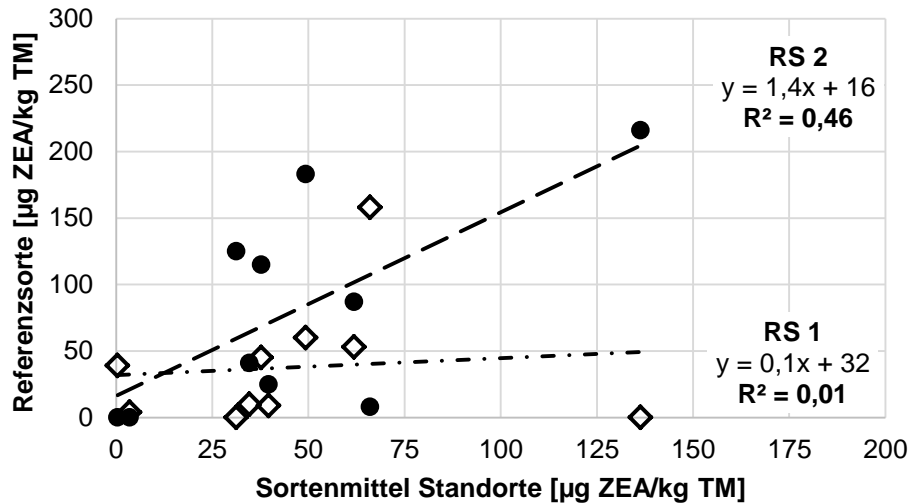


Abb. 109: Vergleich der ZEA-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2012 an den jeweiligen Standorten

Die Abbildungen Abb. 108 Abb. 109 dokumentieren, inwieweit eine Aussage von den Referenzsorten auf die tatsächliche Belastung des Standortes mit Mykotoxinen im Erntegut zu machen ist. Der Vergleich im Jahr 2012 zeigt, dass die RS 2 bei dem Mykotoxin DON, wie auch bei ZEA höhere Bestimmtheitsmaße bei der Korrelation mit den Sortenmitteln der Standorten aufwies, als die RS 1. Die DON-Werte der RS 1 bleiben dabei unabhängig von der Höhe des Sortenmittels jedes Standortes auf einem Niveau von unter 200 µg/kg TM. Eine ähnliche Aussagekraft besitzt der Vergleich der ZEA-Werte, wobei teilweise hohe Schwankungen keine Korrelation der Daten ermöglichen. Der Vergleich der Referenzsorten mit dem Sortenmittel der Standorte im Versuchsaufbau des Jahres 2013 zeigt ein ähnliches Bild wie in 2012 (vgl. Abb. 108, Abb. 109). Wiederum konnte die RS 2 im Vergleich der DON-Werte mit einem $R^2 = 0,58$ ein höheres Bestimmtheitsmaß generieren als die RS 1.

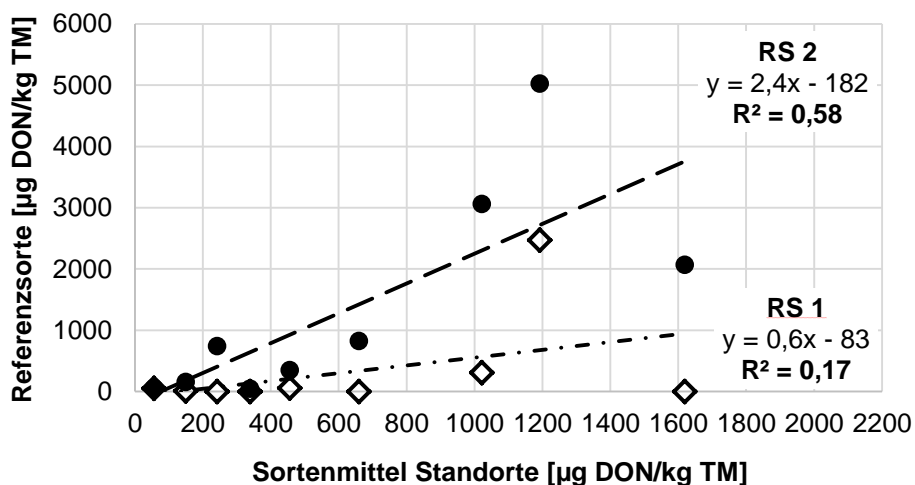


Abb. 110: Vergleich der DON-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2013 an den jeweiligen Standorten

Die Höhe der DON-Kontamination blieb trotz teilweise hoher Sortenmittelwerte bei der RS 1 konstant auf einem niedrigen Niveau unter 300 µg/kg TM. Auffällig zeigte sich im Versuchsjahr 2013 weiterhin, dass die die DON-Werte von RS 2 und Sortenmittel stark untereinander abwichen (bis zu Faktor 4).

Die Ergebnisse des Vergleiches der ZEA-Gehalte der Referenzsorten zum Sortenmittel der Standorte im LSV 2013 (Abb. 111) dokumentieren, dass kein Zusammenhang zwischen den Werten besteht. Nur wenige liegen nicht in einem Bereich unter 50 µg/kg TM auf Seiten der Referenzsorten bzw. des Sortenmittels des Standortes. Werte außerhalb des Bereiches schwanken allerdings stark, so dass es nicht möglich ist, von den Analyseergebnissen beider Referenzsorten auf das Niveau der Mykotoxinbelastung an den Versuchsstandorten zu schließen.

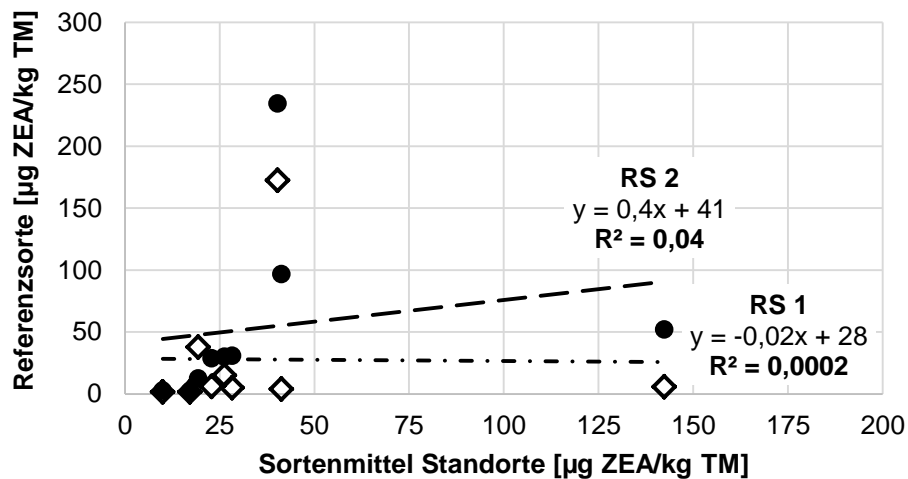


Abb. 111: Vergleich der ZEA-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2013 an den jeweiligen Standorten

4.3.5 Weiterführende Untersuchungen zum Einfluss der Witterung während der Maisblüte auf den DON-Gehalt im Erntegut

Die Kontamination des Erntegutes mit Mykotoxinen wird einerseits durch eine Reihe Anbausystemfaktoren wie Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Sorte und Düngung beeinflusst. Andererseits spielt neben diesen steuerbaren Faktoren die übergeordnete Einflussgröße Witterung als nicht-steuerbarer Faktor eine entscheidende Rolle in der Besiedlung und Ausbreitung von Pilzen der Gattung *Fusarium*. Wie in der Weizenkultur, so ist auch und insbesondere als Infektionsweg im Mais die Phase der Blüte entscheidend für die spätere Mykotoxinbelastung im Korn. Soll nun die Witterung in Bezug zur Kontamination des Erntegutes gesetzt werden, ist die genaue Kenntnis der Blühphase des Mais, vom Spitzten der Narbenfäden bis zu deren Vertrocknung, unabdingbar. Da die genaue Bonitur der Blüte, besonders der exakte Zeitraum, bei einer Vielzahl von Feldversuchen sehr zeit- und arbeitsintensiv ist und nach der Ernte nicht mehr nachvollzogen werden kann, besteht die Möglichkeit, die

Blühphase anhand der Temperatursumme ab dem Zeitpunkt der Aussaat für jeden Standort individuell zu berechnen.

Nach einer Veröffentlichung von RATH et al. (2005) befindet sich die Blüte des Maises, wenn man das Temperatursummenmodell nach AGPM mit einer Basistemperatur von 6°C zugrunde legt, in einem Zeitraum von 700 - 1050°C Temperatursumme ab der Aussaat. Diese Werte entstammen vierjährigen Bonituren von 27 Versuchsstandorten über ganz Deutschland verteilt. Zur Bonitur standen Sorten mit Körnermaisreifezahlen von K 210 - K 280 zur Verfügung, was die große Schwankungsbreite des Zeitraums erklärt, da der Blühzeitpunkt in gewissem Maße von der Reifezahl der Sorte abhängt. Legt man bei dem genannten Zeitraum von 300°C eine durchschnittliche Temperatursumme eines Sommertages von 13 - 15°C zugrunde, kann der Zeitraum ca. 23 - 27 Tage betragen. Da der Blühzeitraum des Maises in der Regel kürzer ist (10 - 14 Tage), wurde in der vorliegenden Arbeit der Zeitraum von 750 - 1050°C in vier sich überlappende Teile geteilt (700 - 900°C, 750 - 950°C, 800 - 1000°C, 850 - 1050°C), um herauszufinden, mit welcher Witterung (Temperatur, Niederschlag) das Auftreten des Mykotoxins DON im Erntegut am besten korreliert werden kann. Es zeigte sich, dass besonders die Witterung im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Aussaat zu einer hohen Korrelation mit der Mykotoxinkontamination zur Ernte beinhaltet. Nachfolgend wird dieser Zusammenhang anhand einiger Beispiele verdeutlicht.

4.3.5.1 Korrelation zwischen der Witterung zur Blüte und dem DON-Gehalt aller Sorten auf Standortbasis in den Jahren 2012 - 2014

In Abb. 112 ist exemplarisch am Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat dargestellt. Hierbei wurden die Witterungsparameter des Versuchsjahres 2014 in die Berechnungen mit eingeschlossen. Ebenfalls flossen die Analysen der Mykotoxingehalte aus dem Landessortenversuch mit ein, die durch die LfL routinemäßig in 2014 untersucht wurden.

Es wird deutlich, dass die Höhe der Durchschnittstemperatur kaum in Zusammenhang zum DON-Gehalt des Körnermais zur Ernte stand. Jeder Punkt in der Grafik bezeichnet einen Standort, an dem die DON-Gehalte aller Sorten gemittelt wurden. In einigen Fallstudien war ein Trend zu höheren DON-Werten bei Temperaturen zwischen 18,5 und 20,0°C zu erkennen. Auf der anderen Seite gab es auch Fallstudien, bei denen gleiche Temperaturen herrschten, die Mykotoxingehalte zur Ernte aber wesentlich geringer waren. Demgegenüber war die Beziehung zwischen Niederschlag im angegebenen Zeitraum und DON-Gehalt zur Ernte wesentlich ausgeprägter. Das Bestimmtheitsmaß von R^2 von 0,55 gibt einen Trend an, wonach höhere Niederschlagssummen im Zeitraum der berechneten Maisblüte von 700 - 900°C zu höheren DON-Gehalten im Erntegut führen. Insgesamt muss allerdings festgestellt werden, dass die getrennte Betrachtung von Temperatur und Niederschlag ein unbefriedigendes Ergebnis hinsichtlich der Rückschlüsse auf die Höhe des DON-Gehaltes zur Ernte zulässt.

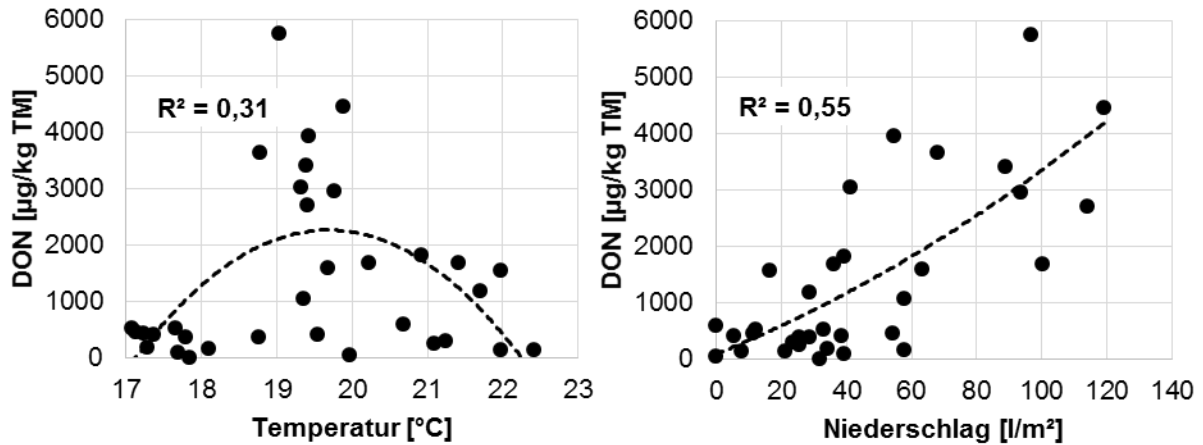


Abb. 112: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat an allen Standorten des LSV der Jahre 2012 - 2014 und dem DON-Gehalt im Erntegut Körnermais; n = 33

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn eine Kombination der Witterungsparameter Temperatur und Niederschlag zur angegebenen Zeitraum mit dem DON-Gehalt im Erntegut in Verbindung gesetzt wird (Abb. 113).

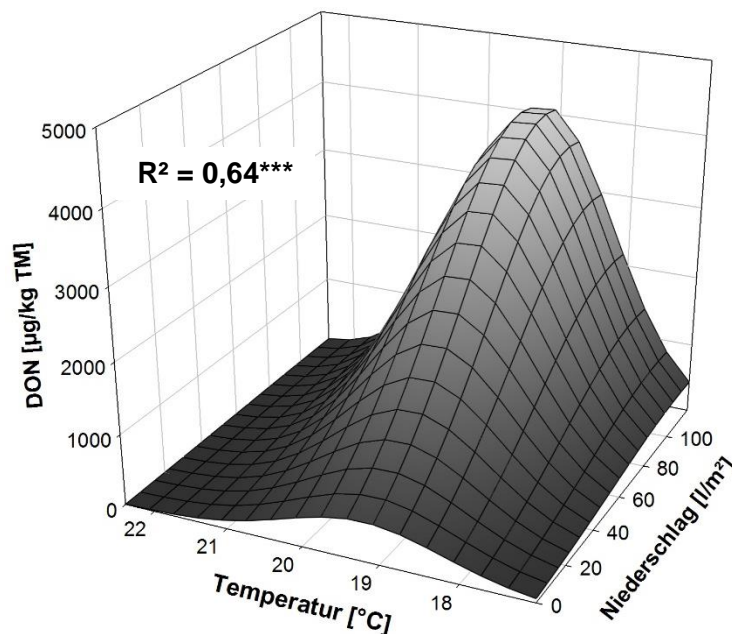


Abb. 113: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais als Mittel von allen Sorten über alle Standorte in Abhängigkeit von den beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2012 - 2014

Die dreidimensionale Grafik verdeutlicht, inwieweit der DON-Gehalt im Körnermais zur Ernte variiert, wenn sich die Witterungsparameter Temperatur und Niederschlag im berechneten Blühzeitraum von 700 – 900°C nach der Aussaat verändern. Unabhängig von der Niederschlagssumme kann aus Sicht der Temperatur gesagt werden, dass die höchsten Mykotoxingehalte bei einer Durchschnittstemperatur von 19,0°C erreicht werden. Mit steigender

Niederschlagssumme bei gleich bleibender Temperatur steigt auch der Mykotoxingehalt. Für die dreidimensionale Fläche ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,64$, was die entsprechenden Bestimmtheitsmaße der einzeln betrachteten Witterungsparameter (vgl. Abb. 112) übersteigt.

Werden weitere Temperatursummenbereiche nach der Aussaat des Maises betrachtet (Tab. 29), zeigt sich mit zunehmender Temperatursummenkonstellation ein abnehmender Zusammenhang (niedrigeres Bestimmtheitsmaß) der Witterungsparameter zum DON-Gehalt im Erntegut. Als Schlussfolgerung resultiert daraus, dass eine höhere Vorhersagegenauigkeit der realen DON-Kontamination im Erntegut, je früher die Witterung im o.g. Bereich der Blüte von 700 - 1050°C beachtet wird.

Tab. 29: Bestimmtheitsmaße der Regression (R^2) zwischen den Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag und der DON-Kontamination des Erntegute Körnermais als Mittel aller Sorten und aller Standorte bei verschiedenen Temperatursummenbereichen nach der Aussaat des Maises über die Jahre 2012 - 2014

Temperatursummenbereich [°C]	700 - 900	750 - 950	800 - 1000	850 - 1050
R^2	0,64	0,53	0,41	0,12

4.3.5.2 Korrelation zwischen der Witterung zur Blüte und dem DON-Gehalt langjährig angebauter Sorten in den Jahren 2010 – 2014

In dem vorangegangenen Kapitel 4.3.5 wurde der Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Niederschlag und Temperatur in der berechneten Blühphase zum tatsächlich gemessenen DON-Gehalt im Erntegut Körnermais hergestellt, wobei die Ergebnisse aller Sorten, die an einem Standort im Anbau standen, gemittelt wurden. Dabei kann es zu Ungenauigkeiten in den daraus abgeleiteten Ergebnissen hinsichtlich der Korrelation zwischen diesen einzelnen Parametern kommen, da unterschiedliche Sorten eine differenzierte Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*-Arten besitzen, womit auch im Rahmen der Pathogenese ein erheblicher Einfluss auf die Mykotoxinbildung gegeben ist. Anzustreben ist deshalb die Verwendung einer einheitlichen Sorte, die es ermöglicht über mehrere Versuchsjahre den Sortenfehler, der bei der Mittelung der Analyseergebnisse mehrerer Sorten entsteht, zu vermeiden.

In den Landessortenversuchen der LfL in Bayern werden einzelne Maissorten auch über mehrere Jahre hinweg auf ihre agronomischen Merkmale wie Ertragsfähigkeit und Qualitätseigenschaften geprüft. Die Ergebnisse umfassen u.a. auch die routinemäßig durchgeführte Analyse auf das Mykotoxin DON. Neben diesen Informationen sind die Wetterdaten direkt vom Versuchsstandort oder in der näheren Umgebung (Bayerisches Agrarmeteorologisches

Messnetz) über lange Jahre verfügbar, wodurch eine Korrelation der einzelnen Parameter über mehrere Versuchsjahre mit genetisch einheitlichen Sorten möglich ist.

Die Abb. 114 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Mykotoxingehalten der Ernteproben der Sorte „Torres“ von 2010 bis 2014 in Relation zur Temperatur und dem Niederschlag zum bereits erwähnten, berechneten Blühtermin 700 - 900°C nach der Aussaat der Maiskultur. Erst die Betrachtung der Kombination von allen drei Messgrößen (Temperatur, Niederschlag und DON-Gehalt) (Abb. 115) führt zu einer hohen Korrelation ($R^2 = 0,73$),

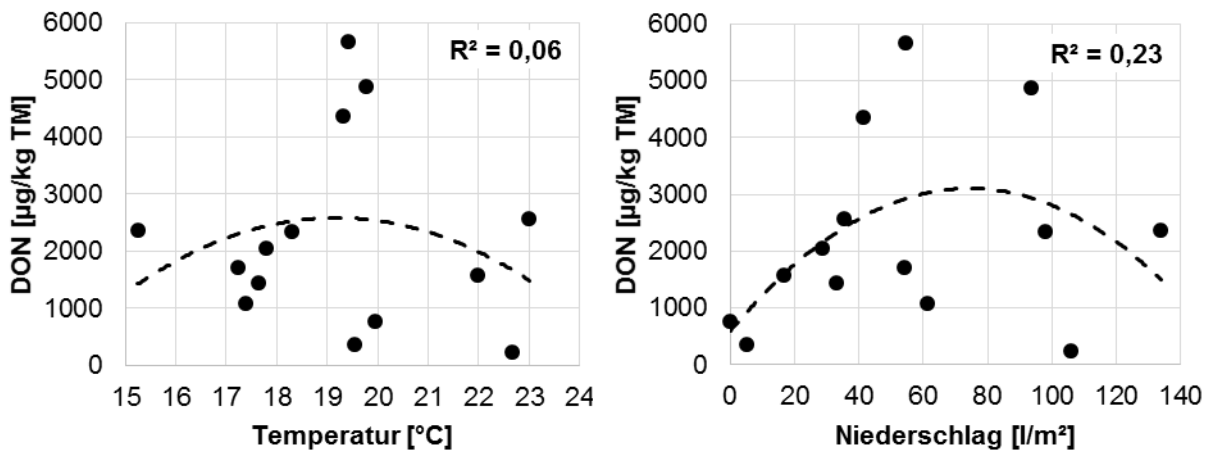


Abb. 114: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat in den Jahren 2010 - 2014 und dem DON-Gehalt der Sorte „Torres“ im Erntegut Körnermais; n = 14

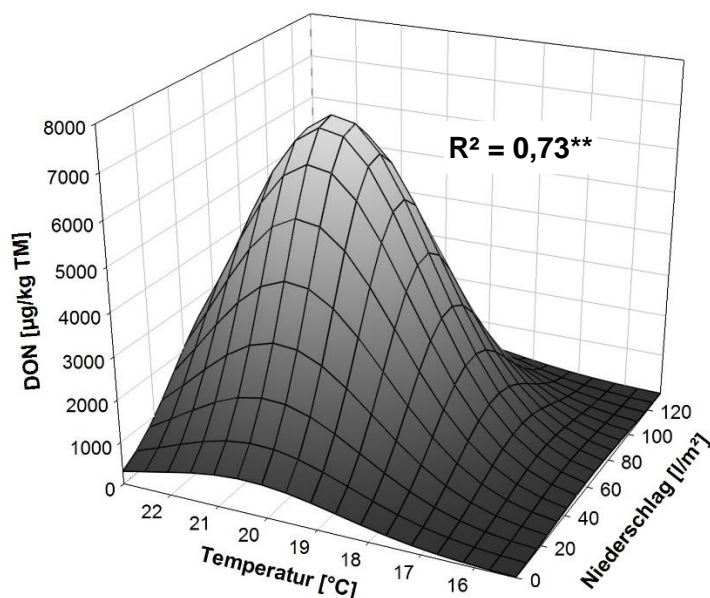


Abb. 115: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais der Sorte „Torres“ über alle Standorte in Abhängigkeit der beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2010 - 2014

womit in 73 % der Fallstudien der Zusammenhang zwischen der Witterung (Temperatur und Niederschlag) zur Zeit der Blüte und dem DON-Gehalt im Erntegut zur Zeit der Abreife erklärt werden können. Die höchsten Gehalte an DON im Erntegut sind damit als Beispiel der Sorte „Torres“ bei der Kombination einer Temperatur von 20,5°C und einem Niederschlag von 60 l/m² während der Maisblüte bei 700 - 900°C nach Aussaat zu erwarten.

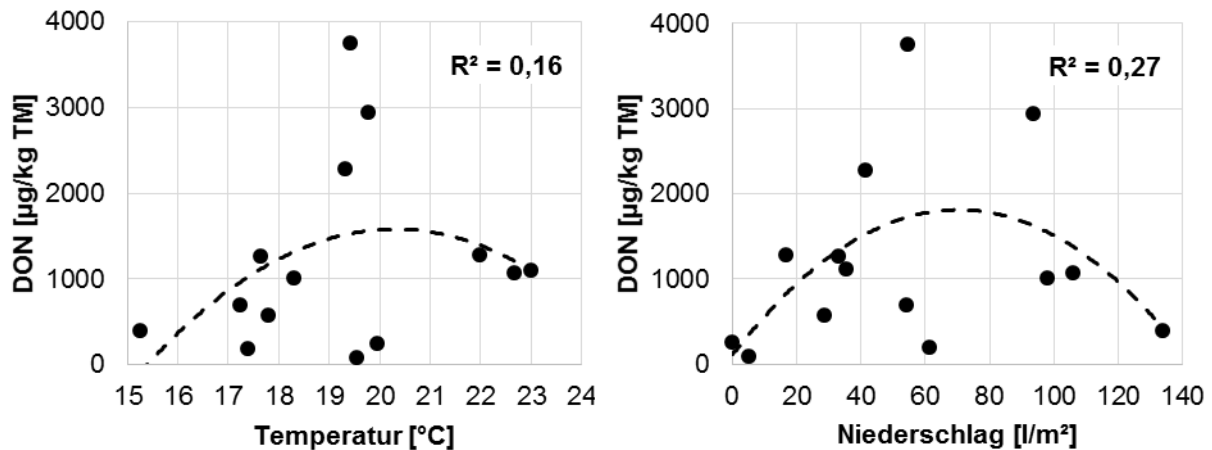


Abb. 116: Zusammenhang zwischen den Witterungsparametern Temperatur, bzw. Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat in den Jahren 2010 - 2014 und dem DON-Gehalt der Sorte „Susann“ im Erntegut Körnermais; n = 14

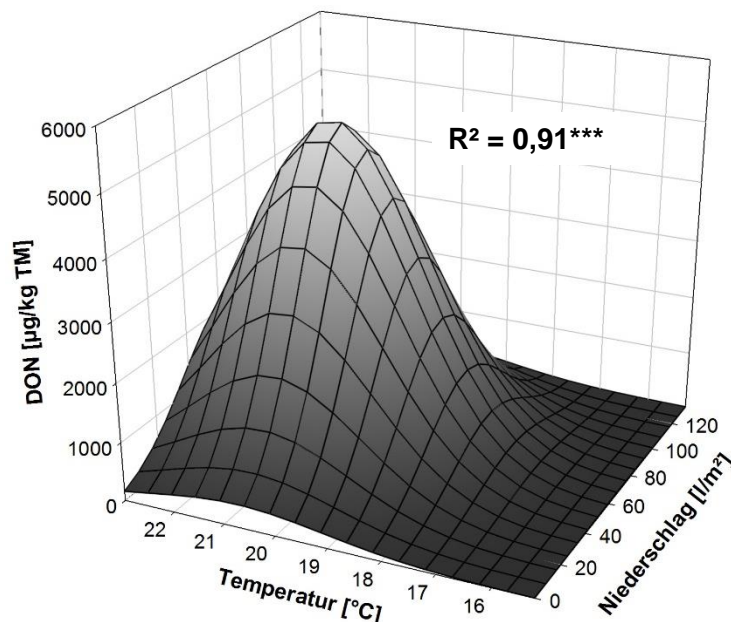


Abb. 117: DON-Gehalt im Erntegut Körnermais der Sorte „Susann“ über alle Standorte in Abhängigkeit der beiden Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 700 - 900°C nach der Maisaussaat der Jahre 2010 - 2014

4. Ergebnisse

Ebenfalls kann bei der langjährig angebauten Sorte „Susann“, eine Regression mit einem sehr hohem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,91$ festgestellt werden (Abb. 117), welches wiederum nicht durch die Betrachtung der Einzelparameter Temperatur und Niederschlag (Abb. 116), sondern durch die kombinierte regressionsanalytische Betrachtung beider Einflussgrößen generiert wird.

Neben den Sorten „Torres“ und „Susann“ gab es weitere Maissorten, die langjährig in den Landessortenversuchen in Bayern vertreten waren. Die Ergebnisse der Regressionen zur Verknüpfung der Witterungsparameter mit der Kontamination von DON zur Ernte sind in Tab. 30 dargestellt. Die Sorten aus der Reifegruppe „mittelspät“ zeigen neben den Ergebnissen des Temperatursummenbereichs zwischen 700 und 900°C auch im Temperatursummenbereich 800 – 1000°C gute Ergebnisse in Bezug auf das Bestimmtheitsmaß. Generell werden die besten Korrelationen im frühen Temperatursummenbereich erzielt.

Tab. 30: Übersicht über die Güte der Regressionen, dargestellt als Bestimmtheitsmaß R^2 zwischen den Witterungsparametern Niederschlag und Temperatur zur den verschiedenen Temperatursummenbereichen und dem DON-Gehalt im Erntegut Körnermais bei Maissorten, die fünf Jahre lang (2010 – 2014) im LSV Bayern vertreten waren; „---“ = keine Berechnung möglich; ns = nicht signifikant; $p \leq 0,001 = ***$; $p \leq 0,01 = **$; $p \leq 0,05 = *$;

Reifegruppe	Sorte	Temperatursummenbereich [°C]			
		700 - 900	750 - 950	800 - 1000	850 - 1050
		R^2			
früh	Amagrano	0,56 ^{ns}	---	0,54 ^{ns}	0,16 ^{ns}
	Ricardinio	---	0,35 ^{ns}	---	---
mittelfrüh	Luigi CS	0,31 ^{ns}	---	---	0,12 ^{ns}
	Grosso	0,36 ^{ns}	---	0,01 ^{ns}	---
	LG 3258	0,40 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,37 ^{ns}
mittelspät	Torres	0,73 ^{**}	0,60 [*]	0,64 [*]	0,44 ^{ns}
	Suzy	0,45 ^{ns}	---	0,61 [*]	0,32 ^{ns}
	Susann	0,91 ^{***}	0,61 [*]	0,67 [*]	0,48 ^{ns}

5. Diskussion

5.1 Blattpathogene

Die Erfassung der Befallsstärke der dargestellten Leitpathogene *Kabatiella zaeae* und *Exserohilum turcicum* anhand von Bonituren an der Pflanze ist das wichtigste Element zur Darstellung der Epidemiologie und Schadensdynamik in Abhängigkeit verschiedener Versuchsparameter. Boniturschemata, denen feste, prozentuale Befallsstärken anhand von Bildern zugrunde liegen, dienen der möglichst nahen Schätzung des tatsächlich auf der Blattspreite auftretenden Befalls. In der vorliegenden Arbeit wurde mit den Boniturschemata von ESKER (2010) und ESKER (2011) gearbeitet, denen Standarddiagramme mit Befallsstärken von 5, 10, 15, 25, 35 und 50 % zugrunde liegen. Ein weiteres, speziell für das Pathogen *K. zaeae* entwickeltes Boniturschema, liegt der Veröffentlichung von CAMOCHENA et al. (2008) zugrunde, welches bebilderte Befallsbereiche von 0,9; 2; 4; 9; 18; 32 und 51 % zeigt. Den Autoren zufolge wurden die Abstände zwischen den Befallsstärken des Diagramms im Einklang mit dem „Weber-Fechner-Gesetz“ gewählt, wonach der subjektiv empfundene, visuelle Reiz proportional zu dem Logarithmus des physischen Stimulus ist. Ursprünglich wurde der Grundgedanke dieses Gesetzes von HORSFALL & BARRATT (1945), bzw. HORSFALL & COWLING (1978) auf phytopathologische Standarddiagramme von Blattkrankheiten übertragen. Konkret wird damit ausgesagt, dass zwar niedrige Befallsstärken vom menschlichen Auge sicher unterschieden werden können, höheren Befallsstärken, z.B. zwischen 25 und 50 % allerdings nur schwer unterscheidbar sind. Standarddiagramme benötigen demnach zum genauen Schätzen mehr Abbildungen mit niedrigeren Befallsstärken (KRANZ, 1996). In neuerer Zeit wurde allerdings anhand von Untersuchungen festgestellt, dass Probanden sehr wohl in der Lage waren eine Unterscheidung zwischen den höheren Befallsstärken zu machen (NUTTER & ESKER, 2006). Der Zusammenhang zwischen wahrer Befallsstärke und geschätzter Befallsstärke ist somit nicht logarithmisch sondern eher linear, wonach auch die Boniturschemata in dieser Arbeit gewählt wurden.

Auch die offizielle Boniturvorlage der European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) zeigt Standarddiagramme, die zwischen den Befallsstärken 25 und 50 % keine weitere Stufe abbilden (ANONYMUS, 2011b). Trotz des Vorhandenseins von adäquaten Boniturschemata für diverse Maisblattpathogene (vgl. ESKER, 2010 und ESKER, 2011) wird in der EPPO-Richtlinie für die Bonitur von *K. zaeae* auf ein Boniturschema von Zwergrost an Gerste verwiesen. Speziell für das Blattpathogen *Exserohilum turcicum* steht seit jüngster Zeit ein neu entwickeltes Boniturschema zur Verfügung (VIEIRA et al., 2014), was älteren Schemata (vgl. PATAKY, 1992), aufgrund der Beachtung des bereits geschilderten „Weber-Fechner-Gesetzes“, überlegen ist.

Alle o.g. Boniturschemata benutzen Relativzahlen (0 - 100 %) zur Beschreibung der Befallsstärken, da die Verwendung von deskriptiven Skalen mit Werten zwischen z.B. 1 und 9 für die Beschreibung von Epidemiologien als ungeeignet betrachtet werden (KRANZ, 1996).

Die Bonitur der Blattpathogene erfolgte in dieser Arbeit zum großen Teil direkt auf dem Feld in den Maisparzellen. Dabei wurde zum einen nach der offiziellen EPPO-Richtlinie 2/272 für Blattkrankheiten im Mais verfahren, wonach die Befallsstärken auf den zwei Blättern oberhalb und unterhalb des Hauptkolben, sowie dem Kolbenblatt geschätzt wurden (ANONYMUS, 2011b). Zum anderen wurde für die restlichen Blätter der Pflanze ein Boniturwert für den oberen Bereich und ein Boniturwert für den unteren Bereich geschätzt, indem die drei bis vier Blätter im jeweiligen Bereich zu einem Wert zusammengefasst wurden.

Dieses System der Maisbonitur wurde bereits von URBAN (2012) im Versuchsjahr 2011 angewendet und vereint die exakte Bonitur der vorwiegend ertragsrelevanten Blättertagen um den Hauptkolben mit der Bonitur der restlichen Pflanze, die vor allem für epidemiologische Fragestellungen zum Ausbreitungsmuster des Blattfleckenerregers auf der Maispflanze interessant ist. Für Feldversuche außerhalb von wissenschaftlichen Fragestellungen reicht eine Drittelbonitur, bei der die Maispflanzen in einen oberen, einen mittleren und einen unteren Bereich aufgeteilt werden (SCHULTE et al., 2014). Die Daten des in dieser Arbeit verwendeten, kombinierten Systems können dabei ohne weiteres in Drittelboniturdaten umgerechnet werden. Ebenfalls kann aufgrund von Zeitersparnis eine Ganzpflanzenbonitur durchgeführt werden. Allerdings sind Boniturergebnisse generell genauer, wenn einzelne Blätter anstelle einer ganzen Pflanze oder Teile davon geschätzt werden (KRANZ, 1996).

5.1.1 *Kabatiella zea*

Das Erscheinungsbild der Blattkrankheit *Kabatiella zea* besteht aus einzelnen Flecken, die bei stärkerem Befall gesprenkelt über die Blattspreiten verteilt sind. Zunächst sind allerdings nur einzelne Flecken sichtbar, die mit anderen auftretenden Blattkrankheiten, z.B. *Phoma zea-maydis* (ALGERMISSEN & VERREET, 2014a) oder *Bipolaris zeicola* (MUNKVOLD & MADISON, 2001) leicht verwechselt werden können, da pflanzliches Gewebe nur in begrenztem Umfang mit unterschiedlichen Symptomen auf Pathogene reagieren kann (KRANZ, 1996). Weiterhin besteht Verwechslungsgefahr mit *Curvularia*-Blattflecken und frühen Symptomen von *Cercospora zea-maydis* (MUNKVOLD & MADISON, 2001), sowie *Ramularia collo-cygni* (HUSS, 2008) die allesamt bisher in Deutschland allerdings nicht nachgewiesen wurden (ERVEN, 2014). Aus diesem Grund ist die einwandfreie Diagnose des Erregers von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit wurden dabei die betroffenen Blattstücke im Labor in einer feuchten Kammer inkubiert, welches ein gängiges Verfahren der Pflanzendiagnostik darstellt und in zahlreichen Literaturquellen beschrieben wird (z.B. STREETS, 1984; MULLEN, 2007).

Neben der in Kapitel 5.1 beschriebenen Boniturmethode zur Bestimmung der Befallsstärke anhand der Schätzung der befallenen Blattfläche, die für alle aufgetretenen Blattkrankheiten angewendet wurde, musste für eine detailliertere Darstellung des Befallsverlaufes von *K. zeae* auf die Bestimmung der absoluten Zahl der Läsionen zurückgegriffen werden. Ziel war hierbei, in kleinerer, zeitlicher Auflösung mit einem Boniturntervall von vier Tagen, etwaige witterungsbedingte Änderungen im Blattfleckenbefall festzustellen, um die präferierte Witterung von *K. zeae* zu ermitteln. Laut KRANZ (1996) eignet sich eine solche Boniturmethode, wenn die Krankheit Läsionen ausbildet, die eine weitgehend einheitliche Größe ausbilden. Neben eigenen Messungen, wonach die Läsionen einen Durchmesser von 1 - 4 mm, werden an anderer Stelle gleiche, oder ähnliche Größenangaben gemacht (ARNY et al., 1971; SCHNEIDER & KRÜGER, 1972; FLETT & NOVELL, 1995), womit die in dieser Arbeit durchgeführte Zählung der Läsionen von *K. zeae* zur Befallsermittlung ein geeignetes Verfahren darstellt, dass auch bereits in anderen Arbeiten verwendet wurde (CHINCHILLA, 1986). Besonders in der Anfangsphase des Befallsverlaufes, mit zunächst wenigen Flecken pro Blatt, kann eine exakte Quantifizierung durchgeführt werden. Erhöht sich der Befall mit starker Zunahme der Läsionen, muss die Anzahl letztendlich geschätzt werden, wobei wiederum Fehler auftreten können (DAAMEN, 1986a; DAAMEN, 1986b). In diesem Zusammenhang kann *Kabatiella zeae*, nach Einschätzung von CHINCHILLA (1987b), bei starkem Befall bis zu 10.000 Läsionen pro durchschnittlichem Maisblatt ausbilden.

Diesbezüglich ist das Zusammenfließen der *K. zeae*-Blattflecken zu nennen, welches in späteren Verlauf der Krankheit, besonders bei starkem Befall, aufgetreten ist. Zu diesem Zeitpunkt kann keine Zählung der Läsionen mehr durchgeführt werden. Allerdings sollte diese Boniturmethode vor allem die Progressionsphase des Erregers aufzeigen, die zeitlich vor einem starken Befall liegen muss.

5.1.1.1 Befallsverlauf während der Vegetationsperiode

Die ersten, sichtbaren Symptome von *K. zeae* am Standort Hohenschulen konnten in den drei Versuchsjahren jeweils im Juni festgestellt werden. Die Maispflanzen befanden sich zu den jeweiligen Zeitpunkten in Entwicklungsstadien von BBCH 16 bis BBCH 19. In der Literatur wird das Erstauftreten von Flecken frühestens bei BBCH 12 beschrieben (ANONYMUS, 2014c).

Dabei hat die Stärke des Ausgangsbefalls, der im Wesentlichen aus der Höhe des überdauernden Inokulums an den Pflanzenresten und dem Zeitpunkt des Auftretens des Primärbefalls resultiert, entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung der Epidemie (KRANZ, 1996). Da auf dem Versuchsgut Hohenschulen auf dem entsprechenden Flurstück bereits seit 2009 Maisfeldversuche zum Thema Blattkrankheiten durchgeführt werden und es im Jahr 2011 zu einem starken Auftreten von *K. zeae* kam (URBAN, 2012), kann der Inokulumvorrat zur Vege-

tationsperiode 2012 als hoch angesehen werden, was die hohen Befallsstärken im Versuchsjahr 2012 z. T. erklären kann.

Für eine hohe Inokulumdichte spricht weiterhin, dass die Parzellen am Standort Hohenschulen in Mulchsaat bewirtschaftet werden, wodurch ein Großteil der Erntereste der Vorfrucht Mais zur Aussaat des neuen Mais im Frühjahr an der Bodenoberfläche verbleibt. Diesbezüglich haben verschiedene Autoren die Beobachtung gemacht, wohin gehend der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug zu einem hohen Befall mit *K. zeae* führt, wenn Mais als Vorfrucht vorhanden war (BOOTHROYD, 1977; JØRGENSEN, 2012; SCHLÜTER, 2012). Nach CHINCHILLA (1986) reichen bereits geringe Rückstände der Maisvorfrucht mit Inokulum, um einen erheblichen Befall mit *K. zeae* auszulösen. Daran anschließend beschreibt der Autor in einer anderen Publikation, dass die Beseitigung der Ernterückstände durch geeignete, ackerbauliche Maßnahmen zu einer signifikanten Verzögerung und Reduzierung des Primärbefalls in der nachfolgenden Maiskultur zur Folge hat (CHINCHILLA, 1987a).

Ausgehend von alten Pflanzenresten können nach dem Auskeimen der Überdauerungsstrukturen die ersten Konidien an junge Pflanzen getragen werden (CHIANG et al., 1990; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001). Die in der Literatur genannten 10°C, die für die Keimung benötigt werden (ANONYMUS, 2014c), können nicht mit den Beobachtungen der ersten Flecken am Standort Hohenschulen bestätigt werden. Diese traten in den drei Versuchsjahren von 2012 bis 2014 erst nach höheren durchschnittlichen Temperaturen von ca. 15°C auf. Der beobachtete Sachverhalt deutet darauf hin, dass entweder die Temperaturangabe zum Erstauftreten der Blattflecken nach oben korrigiert werden muss, oder explizit die erregerspezifische Inkubationszeit von der Landung der Spore auf dem Blatt bis zum Erscheinen der Flecken beachtet werden muss. Diese variiert je nach Literaturquelle zwischen sieben und zehn Tagen (CHIANG et al., 1990; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001; LIPPS & MILLS, 2005). Nach eigenen Untersuchungen im Labor mit Maisblattsegmenten auf einem seneszenzhemmenden Medium konnte festgestellt werden, dass die Inkubationszeit bei 10°C konstanter Temperatur 10,6 Tage beträgt, wohingegen bei 15°C lediglich 6,5 Tage benötigt werden (ALGERMISSEN, unveröffentlicht). Diese Versuche bestätigen zwar die in der Literatur genannten Inkubationszeiten, können aber das verspätete Auftreten auf dem Versuchsfeld nicht erklären. Hierbei müssen eher die nicht-standardisierten, umweltbedingten Einflussgrößen unter Feldbedingungen genannt werden, welche die Diskrepanz zwischen dem Überschreiten der 10°C-Durchschnittstemperatur und dem über einen Monat späteren Erscheinen der ersten *K.zeae*-Blattflecken erklären. Generell kann in diesem Abschnitt der Diskussion auf die Aussage von VERREET (1995) verwiesen werden, wonach die Vielfältigkeit von Interaktionen des Pathogens, die während der Populationsdynamik unter den Bedingungen der Kulturführung und

Umwelt stattfinden, nur schwer durch unter kontrollierten Konditionen erarbeiteten Erkenntnissen in ihrem Gesamtablauf bestimmt werden können.

Die Tatsache, dass die ersten Symptome auf den älteren, vollentwickelten Blättern der jungen Maispflanzen auftreten (CHINCHILLA, 1987b), kann bestätigt werden. Allerdings besteht nach eigenen Erfahrungen in diesem Stadium eine hohe Verwechslungsgefahr zur Blattkrankheit *Phoma zeae-maydis*, die ebenfalls in den letzten Jahren in Schleswig-Holstein vermehrt in Erscheinung trat (ALGERMISSEN & VERREET, 2014a). Auch abiotische Blattflecken, z.B. verursacht durch Sandpartikel des Bodens, die durch Wind kleine punktförmige Läsionen auf den Blattspreiten verursachen, können zu Verwechslungen mit *K. zeae* führen. Hierbei sind die o. g. Exaktbestimmungen im Labor, zum eindeutigen Nachweis des Pathogens, unverzichtbar.

Die höchste ermittelte Befallsstärke im Durchschnitt des mittleren und oberen Pflanzenteils der unbehandelten Kontrolle während des dreijährigen Versuchsaufbaus am Standort Hohenschulen wurde im Jahr 2012 im BBCH-Stadium 75 mit 12,0 % ermittelt. Die ermittelten Befallswerte in den beiden Folgejahren lagen auf einem niedrigeren Niveau. Der Grund für die niedrigen Befallswerte ist natürlich einerseits die übergeordnete Einflussgröße Witterung (siehe Kap. 5.1.1.2). Des Weiteren muss beachtet werden, dass es sich bei den dargestellten Daten um Mittelwerte von acht Blattetagen handelt, die sich aus den fünf Hauptblätter um den Kolben und den drei Blättern des oberen Pflanzenteils zusammensetzen. Die Befallsstärken einzelner Blätter waren somit höher als die angegebenen Durchschnittswerte. Maximale Befallsstärken einzelner Blattetagen betrugen in den Jahren 2012 und 2013 jeweils 40 %. Dieser Wert deckt sich mit der Beobachtung von KRANZ (1977), wonach die maximale Befallsstärke von Blattkrankheiten auf einem Blatt selten über 40 % hinausgeht.

Die maximalen Befallsstärken konnten in den beiden Versuchsjahren 2013 und 2014 im BBCH-Stadium 85 zur Silomaisreife des Maises bonitiert werden. Im Versuchsjahr 2012 mussten dagegen die Boniturdaten des BBCH-Stadiums 75 verwendet werden, da zu BBCH 85 bereits eine starke Nekrose des Bestandes eingesetzt hatte, bei der nicht ermittelt werden konnte, ob die Ursache biotisch, also von *K. zeae* ausgehend, oder abiotisch durch die natürliche Seneszenz verursacht wurde. Das Problem der exakten Bonitur von Blattpathogenen bei fortschreitender Seneszenz der Pflanze tritt auch in anderen wissenschaftlichen Erhebungen auf. CHINCHILLA (1987c) weist darauf hin, dass gerade in den unteren Blattetagen die abiotische Seneszenz die Quantifizierung von *K. zeae* in späteren Entwicklungsstadien erschwert oder unmöglich macht.

Auf der anderen Seite können Bonituren, die unmittelbar vor der Ernte des Maises durchgeführt werden, am sichersten mit etwaigen Ertragseffekten korreliert werden. Da *K. zeae* eine vorzeitige Seneszenz induziert, die sich aufgrund der reduzierten Assimilationsfläche negativ auf die Ertragsentwicklung auswirkt (SCHNEIDER & KRÜGER, 1972; REIFSCHNEIDER & ARNY,

1983a; CHINCHILLA, 1987b; CHIANG et al., 1990), ist die Erfassung der Nekrose zur Ernte ein wichtiger Parameter für die spätere Auswertung der Ertragsergebnisse. Allerdings kann dabei ebenfalls nicht der vollständige Beweis geführt werden, dass die erfasste, abiotische Nekrose erregerinduziert ist und nicht auf Umwelteinflüsse, wie Trockenheit, zurückzuführen ist. REIFSCHNEIDER & ARNY (1983a) erklären in ihren Ausführungen zu *K. zeae*, dass die Maisblüte zum BBCH-Stadium 65 sich am besten für die Bonitur eignete, da die besten Differenzierungen zwischen den zu vergleichenden Sorten erfasst werden konnten.

Entscheidend bei dem Vergleich der Befallsverläufe von *K. zeae* am Standort Hohenschulen über die drei Versuchsjahre 2012 bis 2014 ist die Diskussion des zeitlich verschobenen Einsetzens der Progressionsphasen des Erregers. Bei Betrachtung der Jahre 2012 und 2013 variiert der Start der Befallsanstiege um ca. vier Wochen im August. Allerdings kann ein relativ direkter Bezug zum Rispschieben, bzw. zur Blüte des Maises im BBCH-Stadium 65 aufgezeigt werden, wonach der Anstieg erst ab diesen Entwicklungsstadien verzeichnet wurde. Ähnlich verhielt sich das Pathogen im Versuchsjahr 2014, wobei die Progressionsphase, mit einer maximalen Befallsstärke von unter zwei Prozent über die mittlere und obere Blattetage, weit weniger stark ausgeprägt war wie in 2012 und 2013.

In den beiden Jahren 2013 und 2014, in denen das Auszählen der *K. zeae*-Läsionen mit einem Boniturrhythmus von vier Tagen stattfand, konnte aus den gewonnenen Daten die exponentielle Verlaufsform des Populationsaufbaus nachgewiesen werden (vgl. Abb. 30, Abb. 31), obwohl insgesamt die Stärke des Auftretens von *K. zeae* im Maisbestand der beiden Jahre sehr unterschiedlich war (vgl. Abb. 23). WOLF (1991) erläutert ähnliche Erkenntnisse bei der Beschreibung der Epidemie von *Drechslera tritici-repentis* (DTR) an Weizen. Das Ausgangsinokulum und die Witterung im Vegetationsverlauf haben zwar einen Einfluss auf die Schwere der Epidemie des Pathogens, verändern jedoch nicht deren Charakter der exponentiellen Verlaufsform (WOLF, 1991).

In vielen Literaturquellen werden ähnliche Beobachtungen gemacht, wonach jüngere Pflanzen eher eine geringere Anfälligkeit gegenüber *K. zeae* zeigen als Ältere. Die Veröffentlichungen von SCHNEIDER & KRÜGER (1972) sowie von DINGLEY (1973) beschreiben einen ähnlichen Inokulationsversuch zu *K. zeae*, bei dem Maispflanzen für drei Tage bei vergleichbaren Umweltbedingungen mit gesättigter Atmosphäre und Temperaturen um 24°C inkubiert wurden. SCHNEIDER & KRÜGER (1972) verwendeten bei dem Versuch Maispflanzen im BBCH-Stadium 51, bei denen ab acht Tagen entsprechende Symptome erkannt werden konnten. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von DINGLEY (1973), bei dem sich auf den verwendeten Pflanzen im Stadium BBCH 15 erst nach 14 Tagen erste Läsionen von *K. zeae* zeigten. Die Vermutung der höheren Anfälligkeit von älterem Gewebe wird durch weitere Beobachtungen von SCHNEIDER & KRÜGER (1972) untermauert, wonach die Anzahl der Läsionen auf ein und derselben Pflanze erheblich schwankte. Dabei erwies sich jüngeres

Gewebe im Allgemeinen als weniger anfällig. Gegenteiliges berichten BECKMAN & PAYNE (1982) bei ihren epidemiologischen Ausführungen zur *K. zeae*-ähnlichen Maiskrankheit *Cercospora zeae-maydis*. Nach ihren Untersuchungen hat weder das Pflanzenalter, noch das Blattalter einen Einfluss auf die Anfälligkeit gegenüber dem Blattpathogen.

Speziell zu der zunächst schleppenden und dann im späteren Vegetationsverlauf schnelleren Ausbreitung der Krankheit wurden in der Literatur einige Beobachtungen gemacht (ARNY et al., 1971), welche teilweise mit einer erhöhten Anfälligkeit der Pflanze in späteren Stadien begründet (CHINCHILLA, 1987b), bzw. mit der abgeschlossenen Entwicklung einzelner Blätter erklärt werden (ARNY et al., 1971; CASSINI, 1971). Der schnelle Befallsanstieg des Erregers im späteren Entwicklungsstadium kann nicht an einer Ursache festgemacht werden, sondern muss im Kontext von vielen Umständen gesehen werden, die in der Literatur anhand von anderen Pathogenen bereits formuliert wurden. Als einer der Hauptgründe kann die Witterung genannt werden, die gesondert in Kapitel 5.1.1.3 betrachtet wird. Weiterhin kann die Assimilatverlagerung in der Pflanze nach Erreichen des Blühstadiums als ein möglicher Auslöser genannt werden. Nach ETTLE & SCHWARZ (2003) verändert sich aufgrund der Abreife des Maises die Zusammensetzung der Kohlenhydrate in der Pflanze, womit der Zuckergehalt in der Restpflanze sinkt, weil alle löslichen Kohlenhydrate in den Kolben transportiert werden. In diesem Zusammenhang konnten HORSFALL & DIMOND (1957) bei Untersuchungen verschiedener Pathogen-Wirt-Systeme von Blattfleckenerregern feststellen, dass bei bestimmten perthotrophen Erregern ein niedriger Zuckergehalt im Blattgewebe zu einer erhöhten Anfälligkeit führt, wohingegen bei überwiegend biotrophen Erregern höhere Zuckergehalte im Blatt eher förderlich sind.

WOLF (1991) nennt das stetig wachsende Inokulumpotential von DTR an Weizen, infolge der fortdauernden Epidemie, als Ursache für den starken Anstieg der Befallsstärke. Diese Begründung könnte ebenso auf *K. zeae* übertragen werden, da die typischen Befallskurven beider Erreger, z.B. das Verhältnis von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke, sehr ähnlich sind. Von ähnlichen Beobachtungen wird beim Blattpathogen *C. zeae-maydis* an Mais berichtet, dessen starker Anstieg der Befallsstärke an den oberen Blättern auf eine steigende Inokulumdichte bei optimalen Witterungsbedingungen zurückgeführt wird (HILTY et al., 1979).

Die Verkürzung der Latenzzeit eines Pathogens auf der Wirtspflanze wird ebenfalls in Verbindung mit einer erhöhten Befallsstärke genannt. Bei ihren Untersuchungen von *Septoria nodorum* an Weizen finden AUST & HAU (1983) im Rahmen einer Varianzanalyse heraus, dass die kürzere Latenzzeit des Erregers in späteren Vegetationsverlauf nur zu 16 % mit einer Temperaturwirkung erklärt werden kann, jedoch mit 33 % aus der veränderten Wirtsanfälligkeit resultiert. Ein weiterer Hinweis für die eher untergeordnete Rolle der Temperatur auf das Verhalten des Pathogens.

Anhand den Bonituren zur Befallsentwicklung von *K. zeae* in dieser Arbeit während der Versuchsjahre 2012 bis 2014, unter Einbezug einzelner Literaturquellen mit ähnlichen Beobachtungen, kann geschlussfolgert werden, dass die Befallsstärke von *K. zeae* auf den Maispflanzen, nach dem Erreichen des Blühstadiums BBCH 65, tendenziell stark zunehmen kann, letztendlich die Höhe des Endbefalls aber entscheidend von der herrschenden Witterung und hier insbesondere der Nässe im Maisbestand abhängt, die in Kapitel 5.1.1.3 ausführlich behandelt wird.

5.1.1.2 Befallsverlauf in Abhängigkeit der Blattetage

Neben dem im vorigen Kapitel erläuterten, allgemeinen Befallsverlauf an der Gesamtpflanze, wird im folgenden Kapitel der spezifische Befallsverlauf nach Blattetagen differenziert, um die Ausbreitung des Pathogens an der Maispflanze zu verdeutlichen.

Bei der Betrachtung der Grafiken der Befallsverläufe von *K. zeae* in Abhängigkeit der Blattetage in den Jahren 2012 bis 2014 ist besonders im Jahr 2012 eine relativ hohe Befallsstärke in dem oberen Pflanzensegment zu erkennen. Im Jahr 2013, was einen tendenziell geringeren Befall aufwies als 2012, sind die höchsten Befallsstärken eher in den mittleren Blattetagen, vor allem an den Blättern L 0, L 1 und L 2, aufgetreten. Sehr niedriger Befall, aber relativ am höchsten in den gleichen Blattetagen, zeigte sich *K. zeae* im Jahr 2014. Ausgehend von den Beobachtungen aus diesen drei Fallstudien liegt die Hypothese nahe, wonach bei stärkerem Befall eher die oberen Blattbereiche zur Ernte befallen sind, bei moderatem bis niedrigem Befall die Mitte der Pflanze die höchste Fleckenbildung verzeichnet. Ähnlich differenzierte Ergebnisse sind in der Literatur zu finden. CHINCHILLA (1987b) kann in seiner Arbeit zum Einfluss der Reife der Maispflanze auf das Auftreten von *K. zeae* zur finalen Bonitur vorwiegend in der mittleren Blattetage ein hohes Fleckenaufkommen bonitieren und weniger in den höheren Blattetagen. Dabei beruft er sich auf Beobachtungen von 22 Inzuchtlinien, die parallel in Feldversuchen in Augenschein genommen wurden. In einer weiteren Studie des Autors wird von ähnlichen Erscheinungen berichtet, wonach das Pathogen sich im oberen Teil der Pflanze zunächst sehr verhalten ausbreitete, nach Beginn der Abreife allerdings ein starker Fleckenzuwachs zu verzeichnen war (CHINCHILLA, 1987c). Dabei ist die Rede von einer zunächst höheren Anfälligkeit der mittleren, älteren Blätter gegenüber den oberen, jüngeren Blättern. In Feldversuchen aus Schleswig-Holstein aus dem Jahr 2012 wird in diesem Zusammenhang ebenfalls von einer geringen Befallsstärke des mittleren Blattapparates gesprochen, wohingegen die jüngsten Blätter unterhalb der Fahne pathogenbedingt nekrotisiert waren (SCHLÜTER, 2012). Als Erklärung für diese unterschiedlich auftretenden Befallsstärken an der Maispflanze werden thermische Luftströmungen innerhalb des Maisbestandes genannt, die auf den unteren Blättern gebildete Sporen durch Sonneneinstrahlung nach kühlen Nächten in die Höhe transportieren. Zusätzlich wird durch die nächtliche Abkühlung die Tau-

bildung in den oberen Pflanzenbereichen stärker ausfallen und zur Entwicklung des Pathogens beitragen (KRANZ, 1996).

Weiterhin kann die direkte Exposition der oberen Blattetagen zum Sonnenlicht als einer der Gründe für die höheren Befallsstärken in starken Befallsjahren angesehen werden. Eine hohe Fleckendichte ist vor allem auch an den Stirnrandseiten der Versuchspartzellen zu beobachten, wenn die Zwischenräume eine entsprechende Größe haben und das Sonnenlicht die komplette Tageslänge die Blätter bestrahlen kann. In der Literatur sind eine Reihe von photoaktiven Toxinen, wie z.B. das Cercosporin, beschrieben, die Schadpilzen die Besiedlung des Wirtes vereinfachen (DAUB & CHANG, 2007). Cercosporin kann dabei lichtinduziert in einen aktiven Zustand versetzt werden und durch Reaktion mit O₂ reaktive Sauerstoffspezies produzieren, die in der Lage sind, Zellbestandteile der Pflanze zu zerstören. Ein ähnlicher Vorgang ist bei *K. zeae* denkbar und wird durch eine Entdeckung von EARLE (1983) untermauert, bei der ein toxischer Stoff aus den Läsionen des Blattfleckes extrahiert wurde, der Protoplasten aus dem Mesophyllgewebe anfälliger Maisgenotypen stärker schädigte, als die Protoplasten eines resistenten Genotyps.

Die besondere Stellung der oberen Blattetagen im Hinblick auf die Erregerdynamik von *K. zeae* kann durch die Berechnung der Zuwachsraten zwischen den einzelnen Boniturterminen untermauert werden. Unabhängig von der Höhe des Endbefalls auf den oberen Blattetagen während des dreijährigen Versuches auf Hohenschulen, nehmen die Zuwachsraten der Befallsstärke von *K. zeae*-Blattflecken mit steigender Höhe der Blattinsertion ebenfalls stetig zu.

In Kapitel 4.1.3.1 wurde das Verhältnis zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke auf verschiedenen Blattetagen des mittleren Pflanzensegmentes aufgeführt. Ganz allgemein dienen BHB/BSB-Verhältnisse dem tieferen Verständnis für die Epidemiologie und Schadensdynamik verschiedener Pflanzenkrankheiten und sind Ansatzpunkte für Befalls-Verlust-Relationen (SEEM, 1984). In den aufgeführten Grafiken ist unabhängig von der betrachteten Blattetage (L 0, L 1 oder L2) zu erkennen, dass bis zu einer BHB von 70 % das Verhältnis von BHB zu BSB linear verläuft, ab diesem Wert die BSB aber stark ansteigt. Die BHB erreicht dann sehr rasch 100 %, während die BSB im weiteren Verlauf der Epidemie nur langsam zunimmt, bis sie ihren jeweiligen Endwert erreicht. Diese Verlaufskurven zeigen die typische Schadensdynamik phytopathogener Pilze an Kulturpflanzen, die distinkte Läsionen verursachen, gleichwohl ob es sich dabei um obligat biotrophe Erreger, wie z.B. *Erysiphe graminis* an Gerste (KOCH, 1980), oder perithotrophe Erreger, wie z.B. DTR an Weizen (WOLF, 1991) handelt. Für Blattfleckenenerreger an Mais, im speziellen *K. zeae*, wurden bisher keine epidemiologischen Studien veröffentlicht, die eine solche Erhebung zeigen. Die Aufstellung einer BHB-BSB-Relation anhand von Boniturdaten aus Freilandversuchen ist im Hinblick auf die Defini-

tion einer Schadensschwelle im Rahmen eines Integrierten Pflanzenschutz Systems (IPS) von hoher Bedeutung (WOLF, 1991).

Die vorherrschende BSB kann somit anhand der ermittelten BHB bis zu einem Wert von 70 % in linearer Beziehung berechnet werden. Für die Ermittlung einer Schadschwelle in der Praxis ist die Ermittlung der BHB durch Auszählen der befallenen Blätter (ja/nein-Aussage) wesentlich einfacher, als das Schätzen der Befallsstärke, die im Wesentlichen aus der physiologischen Wahrnehmung des Individuums Mensch (Läsionserkennung) und der physiologischen Verwertung (Zuordnung einer prozentualen Befallsstärke) abhängt (KRANZ, 1996). Wie bei VERREET (1995) an *Septoria nodorum* beschrieben, könnte analog in der Maiskultur eine Indikationsblattetage gewählt werden, die mit einem minimalen, diagnostischen Zeitaufwand dafür verwendet wird, aus einer Stichprobe an Pflanzen eine BHB von *K. zea* zu ermitteln, um die Befallsstärke des Gesamtbestandes einzuschätzen.

5.1.1.3 Einfluss der Witterung

Die übergeordnete Einflussgröße Witterung übt, unabhängig von den im vorigen Kapitel erwähnten Gründen für die Verlaufsform der Befallskurven, einen hohen Einfluss auf die Epidemiologie und Schadensdynamik von *K. zea* aus. Insgesamt trägt das eher maritim als kontinental geprägte Klima in Schleswig-Holstein, mit geringeren Temperaturschwankungen zwischen Sommer- und Winterzeit und einer hohen, relativen Luftfeuchte (ANONYMUS, 2015), zu der Verbreitung des Blattpathogens bei. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang häufig von kalter, humider Witterung gesprochen, die das Auftreten des Erregers begünstigt (CHEZ, 1975; REIFSCHNEIDER & ARNY, 1983a; CHINCHILLA, 1987c).

Generell kann das herrschende Klima in Schleswig-Holstein, im Vergleich zu den Ansprüchen einer C4-Pflanze wie Mais, zu einem hohen Maße als Auslöser des erhöhten Vorkommens der Krankheit in Betracht gezogen werden. Nach EDWARDS & WALKER (1983) liegen die Temperaturen für die maximale Photosyntheserate von C4-Pflanzen bei ca. 33°C. Bei voller Sonneneinstrahlung hat demnach eine C4-Pflanze bei 25 - 35°C die doppelte Photosyntheserate im Vergleich zu einer C3-Pflanze, was im Umkehrschluss eine gewisse Stresssituation für die C4-Pflanze bedeutet. FOYER et al. (2002) bezeichnen in diesem Zusammenhang den Mais als kälteempfindliche Pflanze, wobei bereits Temperaturen unter 15°C gemeint sind, die zu einer Reduzierung des Zellmetabolismus, sowie zu Modifikationen bei Membranlipiden und anderen essentiellen Molekülen führen. Bei Betrachtung der durchschnittlichen Temperaturen der Vegetationsperiode des Mais in den drei Versuchsjahren 2012 - 2014, die bei 13,2°C, 13,8°C und 14,8°C lagen, kann zumindest in Teilen von einer temperaturbedingten Stresssituation des Mais ausgegangen werden.

Neben der Temperatur ist der Niederschlag eine der wichtigsten Einflussgrößen der Witterung, da relative Luftfeuchte, Tau- und Nebelbildung sowie Blattnässe unmittelbar von ihm abhängen und in hohem Maße die Ausbreitung eines Blattpathogens begünstigen (KRANZ, 1996). Die relative Luftfeuchte, bzw. die Dauer von Phasen mit hoher rel. Luftfeuchte dient in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit als Hauptparameter der Witterung, um die Befallsanstiege von *K. zeae* zu erklären. Die Daten des Bestandesklimas wurden dabei ausschließlich von Wetterstationen aufgezeichnet, die direkt in einem geschlossenen Maisbestand standen, da die Werte von frei stehenden Wetterstationen in näherer Umgebung stark abweichen können. Nach KRANZ (1996) haben vor allem Dichte, Struktur und Höhe der Pflanzen entscheidenden Einfluss auf das Klima des Gesamtbestandes. Die Aufzeichnung und Auswertung der einzelnen Messwerte in den benutzten Wetterstationen erfolgte auf Stundenbasis, was den biologischen Abläufen des Erregers und den z.T. sehr kurzen Phasen der Infektion und Sporulation geschuldet ist (KRANZ, 1996). Ein in dieser Arbeit geschilderter Vergleich zwischen Niederschlagsdaten, die mit Tagesmittelwerten und mit Stundenmittelwerten angegeben wurden, zeigt den Unterschied dieser beiden Darstellungsformen (vgl. Abb. 39, Abb. 40, Tab. 19). Trotz ähnlicher Tagesniederschlagssummen an drei aufeinanderfolgenden Tagen ergibt sich durch die zeitliche Verteilung der Niederschläge ein völlig anderes Mikroklima im Bestand, zu erkennen an der Entwicklung der rel. Luftfeuchte. Die beiden dargestellten Szenarien unterscheiden sich in der Dauer hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand, die im „normalen“ Fall mit dem Tag-Nacht-Zyklus ansteigt und absinkt, im „besonderen“ Fall, aufgrund homogener Niederschlagsverteilung über die drei betrachteten Tage, über einen Zeitraum von 43 h konstant hoch bei $\geq 85\%$ rel. Luftfeuchte bleibt. Die Verteilung des Niederschlags spielt dabei eine zentrale Rolle. Im Gegensatz zur Nachtphase, in der sich im Maisbestand durch das Absinken der Temperatur und der einhergehenden Taubildung automatisch eine hohe rel. Luftfeuchte bildet, kann diese hohe rel. Luftfeuchte während der Tagphase nur aktiv durch Niederschlagsereignisse gehalten werden, da sie ansonsten durch einen Anstieg der Temperatur und der damit verbundenen Erhöhung der Wasseraufnahme-Kapazität der Luft absinken würde.

Durch die Einbeziehung der Bonitur mit Auszählung der *K. zeae*-Läsionen in einem Abstand von vier Tagen auf allen Blattetagen der Maispflanze, konnte im Rahmen dieser Arbeit ein Zusammenhang zwischen den dargestellten Witterungsereignissen mit Phasen hoher rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$ im Maisbestand und der Progression der Blattflecken festgestellt werden. In der Literatur ist bei vielen Wirt-Pathogen-Interaktionen bekannt, dass zwischenzeitliche Trockenperioden während der sensiblen Phasen der Erregeretablierung (Sporulation, Keimung, Infektion) aufgrund des Unterschreitens bestimmter, rel. Luftfeuchten, einem zeitweiligen oder vollständigen Stopp der Epidemie zur Folge haben (KRANZ, 1996). Die hier verwendete Marke von 85% rel. Luftfeuchte wurde aufgrund der Beobachtung von starken An-

stiegen der Fleckendichte in Verbindung mit den oben beschriebenen Witterungsereignissen gewählt. Für gewöhnlich liegen die Ansprüche an die rel. Luftfeuchte für Sporulation und Infektion bei über 90 %, allerdings wurden bei einzelnen Erregern auch Ausnahmen beobachtet (KRANZ, 1996). Für eine weitere Etablierung der witterungsbedingten Prognose von *K. zeae* sollte das System in Zukunft an mehreren Orten validiert werden, um eine etwaige Korrektur der Marke von 85 % rel. Luftfeuchte durchzuführen.

Konträr zu den Ergebnissen dieser Arbeit, die eine starke Korrelation zwischen spezifischen Witterungsereignissen mit Phasen hoher, rel. Luftfeuchte im Maisbestand zur Progression des Erregers *K. zeae* sehen, stehen die Aussagen von CHINCHILLA (1987c). Der Autor beschreibt in seinen Ausführungen, dass die Entwicklung des Blattpathogens nicht zufriedenstellend mit den meteorologischen Daten von Niederschlag und Temperatur erklärt werden kann, obwohl ein starker Anstieg der Befallsstärke nach einer vierwöchigen Phase mit kalter und feuchter Witterung Ende August stattfand. Da zu der Methode der Witterungsaufzeichnung aus dem beschriebenen Experiment in Text keine Angaben gemacht werden, unterliegen die Beobachtungen keiner wissenschaftlichen Datengrundlage und können mit einem rein subjektiven Empfinden erklärt werden. Die Aussagen „feucht und kühl“ könnten sich lediglich auf Tagesmittelwerte von Niederschlag und rel. Luftfeuchte beziehen, die für eine Korrelation zu wichtigen Phasen der Erregeretablierung aufgrund ihrer großen Zeitintervalle nicht geeignet sind.

Bei einer Studie zur Blattkrankheit *C. zeae-maydis* gehen die Autoren ebenfalls davon aus, dass der Befallsverlauf im Wesentlichen von langen Phasen mit hoher rel. Luftfeuchte im Maisbestand profitiert (BECKMAN & PAYNE, 1982). Konkrete Angaben zur Länge der benötigten Luftfeuchtephasen oder zur Höhe der benötigten Luftfeuchte liegen aber auch hier nicht vor. Einen Hinweis auf infektionsfördernde Witterungsbedingungen von *K. zeae* geben PRONCZUK et al. (2004), die Maisblätter im Freiland nur bei feucht-regnerischem Wetter künstlich inokuliert haben.

In den Versuchen der vorliegenden Arbeit zur Erklärung der *K. zeae*-Progression können keine konkreten Beziehungen zu den auftretenden Temperaturen während der Witterungsereignisse hergestellt werden.

5.1.1.4 Einfluss einer Fungizidapplikation

Die stadienorientierten Fungizidapplikationen zu BBCH 34, 37, 55, 65 und der Doppelbehandlung zu BBCH 37 + 65 dienten der Ermittlung des optimalen Applikationszeitpunktes zur vorrangigen Bekämpfung des Blattfleckenenerregers *Kabatiella zeae* am Standort Hohenschulen. Appliziert wurde das Fungizid Retengo® Plus mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha, was einer applizierten Wirkstoffmenge von 75 g/ha Epoxiconazol und 199 g/ha Pyraclostrobin entspricht. Für das verwendete Pflanzenschutzmittel gibt es in Deutschland für die Indikation

„*Kabatiella zea*“ keine Zulassung (ANONYMUS, 2015e). Da die angestrebte, maximale Aufwandmenge in der Praxis bei 1,5 l/ha liegt, ist die durchgeführte Doppelmaßnahme der Variante V6 (BBCH 37 + 65) auch bei einer zukünftigen Zulassung des Mittels nicht zulässig und diente in der vorliegenden Arbeit lediglich der Abbildung einer sog. „Gesundvariante“, zur Darstellung der genetisch verankerten Höchstleistung der Sorte hinsichtlich Ertrag.

In den Ergebnissen der dreijährigen Feldversuche wird deutlich, dass in den Jahren 2012 und 2013 mit jeder Applikationsvariante eine Reduzierung des *K. zea*-Befalls zum Zeitpunkt der Ernte des Silomaises stattfand. Ähnlich deutliche Ergebnisse bei der Bekämpfung von *K. zea* durch die genannte Wirkstoffkombination werden bei JØRGENSEN (2012) genannt. Dabei zeigte sich eine Splitting-Variante am wirkungsvollsten, bei der zweimal jeweils 47 g/ha Epoxiconazol und 64 g/ha Pyraclostrobin zu den BBCH-Stadien 37 und 60 appliziert wurden. Ähnliche Wirkungsgrade wurden in dem Versuch bei einer Splitting-Variante von zweimal 100 g/ha Pyraclostrobin solo zu den gleichen Applikationsterminen erreicht. JØRGENSEN (2012) sagt weiterhin aus, dass vor allem die frühen Fungizidanwendungen zu BBCH 37 durchgehend bei allen getesteten Mitteln die besseren Effekte gegen *K. zea* aufwiesen, als die späten Applikationen zu BBCH 60. Dies ist allerdings nicht die Regel. Im Jahr 2011 konnten bei gleichen Wirkstoffmengen von 75 g/ha Epoxiconazol und 199 g/ha Pyraclostrobin deutlich bessere Effekte gegen *K. zea* erzielt werden, wenn anstatt der frühen Behandlung in BBCH 34/37 die späte Behandlung zum Rispschieben des Maises in BBCH 51/55 gewählt wurde (URBAN, 2012). URBAN (2012) verweist dabei auf die zeitliche Nähe zum Infektionsereignis, die eine späte Behandlung wirkungsvoller gemacht hat, wobei keine nähere Definition des genauen Zeitpunktes erfolgt.

Die Aussagen der beiden beschriebenen Feldversuche von JØRGENSEN (2012) und URBAN (2012) decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, wohin gehend die Wirkungsgrade einer Pflanzenschutzmaßnahme im Wesentlichen von dem Zeitraum zwischen Eintritt in die Progressionsphase des Erregers und Applikation des Fungizid abhängen. Die in Kapitel 4.1.3.5 dargestellte Fallstudie aus dem Jahr 2012 vom Standort Hohenschulen zeigt, wie deutlich die Wirkung von unterschiedlich terminierten Fungizidmaßnahmen gegen *K. zea* sein kann (Abb. 44). Die durchgeführten Applikationen in BBCH 34 und BBCH 65 weisen zur Ernte eine höhere Befallsstärke auf, als die Varianten mit fungiziden Anwendungen in BBCH 37 und BBCH 55, die beide signifikant zur unbehandelten Kontrolle weniger Blattflecken aufweisen. Da die Fungizidmaßnahme im BBCH 34 zu früh erfolgte, traten vor allem auf den Blattetagen L 0, L 1 und L 2 höhere Endbefälle im Vergleich zu den späteren Varianten in BBCH 37 und BBCH 55 auf. Im Gegensatz dazu wurde in der Variante 5 zur Blüte des Maises in BBCH 65 das Fungizid zu spät appliziert und somit keine maßgebliche Reduzierung der Befallsstärke erzielt.

Mit Einbezug der in dieser Arbeit definierten Phasen hohen rel. Luftfeuchte im Maisbestand, gilt deduktiv, dass eine dieser Phasen während der Wirkungsdauer der Anwendungen in BBCH 37 oder BBCH 55 maßgeblich für eine starke Erregerausbreitung verantwortlich war (vgl. Abb. 48). Mit dieser Fallstudie können somit, auf diesen Erreger bezogen, erstmals Grundzüge eines Integrierten Pflanzenschutzsystems (IPS) formuliert werden, wonach der Übertritt eines Pathogens in die Progressionsphase auch als Grenzwert der Erregerpopulation definiert ist, nach dessen Eintritt mit hoher Wahrscheinlichkeit ökonomische Verluste auftreten. Das Erreichen dieses Grenzwertes ist mit dem Fungizideinsatztermin verknüpft, um mit dem geringsten Input die beste Wirkung zu erzielen und somit im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes zu handeln (VERREET, 1995).

In den beiden Folgejahren 2013 und 2014 konnte eine klare Differenzierung dieser Art nicht festgestellt werden. In 2013 wurden keine Witterungsereignisse während der verschiedenen Applikationstermine detektiert (vgl. Abb. 49). Somit konnten die Phasen mit dauerhaft hoher rel. Luftfeuchtigkeit die in 2013 im September eintraten, durch keine fungizide Wirkung direkt beeinflusst werden. Lediglich das bereits auf den Pflanzen befindliche Inokulumpotential wurde durch alle Applikationsmaßnahmen in seiner Ausbreitung gehemmt. Je näher der Applikationstermin am Erntetermin des Mais lag, desto höher war letztendlich die Wirkung der Fungizidmaßnahme gegen *K. zeae* (vgl. Abb. 46).

In 2014 konnte aufgrund des geringen Befallsgeschehens keine Aussage zu einer Leistung des eingesetzten Fungizids hinsichtlich Befallsreduktion gemacht werden.

5.1.2 *Exserohilum turcicum*

Um optimale Bedingungen für die Untersuchungen des Blattfleckenerregers *Exserohilum turcicum* zu erhalten, wurde am Versuchsstandort Reding in Bayern in drei aufeinanderfolgenden Jahren von 2012 bis 2014 auf der gleichen Fläche Mais angebaut. Trotz einer wendenden Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug, welche die Pflanzenreste des Vorjahres in den Boden einarbeitete und somit das Infektionspotential des Pathogens senkte (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; ANONYMUS, 2015d), konnte in allen drei Jahren natürliche Infektionen im Maisbestand beobachtet werden. Weiterhin bot die Versuchsfläche mit hohen Verdunstungsraten aufgrund angrenzender Wasserflächen in Verbindung mit hohen, durchschnittlichen Temperaturen, ideale Bedingungen für die Entwicklung des Pathogens (LEVY & PATAKY, 1992). Aufgrund der bereits im Ergebnisteil erläuterten Umstände, konnten die wesentlichen epidemiologischen Studien nur im Versuchsjahr 2014 durchgeführt werden.

5.1.2.1 Befallsverlauf

Im Jahr 2014 konnte die höchste Befallsstärke von *Exserohilum turcicum* an den Maispflanzen der unbehandelten Kontrolle innerhalb der drei Versuchsjahre in BBCH 85 mit 16,6 %

ermittelt werden. Es handelt sich dabei um den Mittelwert der Befallsstärken der Pflanzensegmente „mitte“ und „oben“, wobei einzelne Blattetagen mit bis zu 20,1 % BSB (L 0) befallen waren. Ähnliche Studien aus anderen Ländern, die sich mit der Epidemiologie von *E. turcicum* beschäftigen, weisen sehr viel höhere Befallsstärken auf. So konnten bei einer Studie aus Kenia mit *Sorghum bicolor* als Wirtspflanze und bei Untersuchungen zu *E. turcicum* an Süßmais in Israel jeweils Befallsstärken über 80 % bonitiert werden (NGUGI et al., 2000; LEVY, 1989). Einerseits kann dieses starke Auftreten an der differenzierten Anfälligkeit der verschiedenen Wirtspflanzen im Gegensatz zum normalen Futtermais liegen, oder den klimatischen Gegebenheiten geschuldet sein. Andererseits stellte LEVY (1989) weiterhin in seinen Untersuchungen fest, dass die Stärke einer Epidemie vor allem durch die Aggressivität des einzelnen *E. turcicum*-Isolates hervorgerufen wird. Repräsentative Populationen des Erregers von verschiedenen Standorten wiesen 10 Tage nach Inokulation von Maispflanzen signifikant unterschiedliche Läsionsgrößen auf (LEVY, 1989).

Ergebnisse aus Deutschland zeigen bei URBAN (2012), dass in einem Starkbefallsjahr, wie 2010 in Bayern, BSB-Werte von bis zu 44 % zum Zeitpunkt der Ernte des Silomaises erreicht werden können, ein Jahr später bei geringerem Befall aber nur Maximalwerte von 7 % BSB auftraten. Da die beiden Versuche keine große, räumliche Trennung aufwiesen, womit der Unterschied in den Isolaten nicht übermäßig groß gewesen sein sollte, und eine genetisch einheitliche Sorte benutzt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Witterung eine entscheidende Rolle in der Epidemiologie des Erregers spielte. Diese Beziehung wird ausführlich in Kapitel 5.1.2.2 näher erläutert.

Eine offensichtliche Diskrepanz zeigt sich bei dem Verhältnis von BSB zu BHB zwischen den dargestellten Grafiken im Ergebnisteil. Abb. 73 zeigt in diesen Zusammenhang, auf der Basis von den gemittelten Befallswerten aller betrachteten Pflanzensegmente über alle Wiederholungen, eine Kurve, die bereits bei 50 % BHB eine Häufung von ermittelten Befallsstärken um 5 % aufweist. Die dargestellte Kurve ist eine andere Form der grafischen Darstellung der Daten, die in Abb. 68 gezeigt werden. Demgegenüber stehen die BSB-BHB-Verhältnisse der einzelnen Blattetagen (Abb. 74, Abb. 75), deren Trendlinien deutlich steiler verlaufen und somit erst bei höheren BHB-Werten als 50 % eine Steigerung der BSB erfahren.

Die Ursache dieses Unterschieds liegt in dem Vergleich der Einzelwerte der Pflanzensegmente, die aus den einzelnen Wiederholungen resultieren, mit den Mittelwerten der Wiederholungen sowie der Pflanzensegmente. Aufgrund der Mittelung von extremen Werten, die auf einer Blattetage an Pflanzen in verschiedenen Wiederholungen auftreten (z.B. BHB/BSB-Werte: 90/10 und 10/1), wird im Durchschnitt ein BHB/BSB-Verhältnis von 50/5,5 ausgegeben. Dieser Sachverhalt deutet auf eine sehr heterogene Verteilung des Erregers im Bestand hin. In diesem Zusammenhang sprechen ZADOKS & SCHEIN (1979) auch von einer aggregierten Verteilung des Pathogens, die einen erheblichen Einfluss auf den Start und den Verlauf

einer Epidemie hat (KRANZ, 1996). Da diese Heterogenität bereits in den Versuchsjahren 2012 und 2013 auffiel, wurde das System der Bonitur im Jahr 2014 am Versuchsstandort Reding von ehemals vier Wiederholungen pro Variante auf zehn Wiederholungen ausgeweitet, was allerdings anhand der vorliegenden Ergebnisse als nicht ausreichend bewertet werden kann.

Die geringe räumliche Verteilung von *E. turcicum* im Maisbestand kann u.a. an der Vitalität der Konidien liegen, die maßgeblich vom Ursprungsort der Bildung auf der Pflanze abhängt. LEVY (1995) fand heraus, dass im oberen Drittel der Pflanze durch verschiedene Witterungseinflüsse zwar eine hohe Bildung und Verbreitung der Konidien stattfindet, diese Konidien aber zu einem geringeren Teil in der Lage sind, erfolgreiche Infektionen durchzuführen, wie Konidien aus dem mittleren oder unteren Bereich. Der Autor begründet dies mit einer geringeren Vitalität, die durch die Exposition zur Sonne und einer dadurch auftretenden, verringerten Respiration und Uridin-Einlagerung stattfindet. Demgegenüber stehen Beobachtungen aus der Praxis, die teilweise von „Sporenschauern“ sprechen, welche sich bei Wind über größere Flächen ausdehnen und andere Maisfelder infizieren können (HUGGER, 2007).

Anhand der Aufteilung der BSB-BHB-Relation wird ein weiterer, interessanter Aspekt deutlich. In Tab. 23 erfolgte ein Vergleich der verschiedenen Trendlinien hinsichtlich der BSB-Werte bei 50 und 95 % BHB. Es zeigt sich, dass mit höher liegenden Pflanzensegmenten die BSB-Werte bei 95 % BHB kontinuierlich von 23,9 % auf 11,5 % absinken, während die BSB-Werte bei 50 % BHB nahezu konstant bleiben. Die Kurven sind demzufolge steiler, womit eine BHB-Sättigung von 100 % auf allen untersuchten Blättern eines Pflanzensegmentes früher eintritt, je höher das Pflanzensegment angesiedelt ist. Diese schnellere Ausbreitung des Pathogens auf den oberen Pflanzenteilen wird auch durch die Betrachtung der prozentualen Zuwachsraten in Abb. 69 bestätigt. Zwar ist die Epidemie auf den oberen Pflanzenbereichen schneller fortschreitend, eine höhere Befallsstärke konnte zum Zeitpunkt der Ernte des Silomaises allerdings nicht bestätigt werden. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Beobachtungen von PATAKY (1992), der die höheren Befallsstärken auf den unteren Teilen der Pflanze mit sekundären Infektionen erklärt, die von Konidien aus älteren Läsionen stammen, welche insgesamt mehr Zeit hatten, Blattgewebe zu besiedeln und Flächen zur Reproduktion zu nutzen. LEVY & PATAKY (1992) kommen zu demselben Schluss, verweisen dabei aber auf eine der ersten Standarddiagramme zur Bonitur von *E. turcicum*, welche die ganze Pflanze zeigt und vor allem im unteren Teil Befall aufweist (ELLIOTT & JENKINS, 1946). Im Gegensatz dazu zeigt BERGER (1973) gerade im Bereich vom 8. Blatt (L -2) bis zum 14. Blatt (oberer Bereich) höhere Befallsstärken als im unteren Pflanzenbereich. Das Kolbenblatt (L 0) ist dabei mit 15,2 % BSB am stärksten befallen.

Neben der Bonitur von BSB und BHB wurde anhand markierter Pflanzen im Maisbestand die Entwicklung der Läsionsgröße verfolgt. Die Ausbreitungen der Blattflecken auf der Blattsprei-

te folgen dabei einer exponentiellen Regression, die durch hohe Bestimmtheitsmaße von $R^2 = 0,94$ bis $R^2 = 0,99$ gekennzeichnet sind. Das Läsionswachstum ist bei polyzyklischen Blattfleckenerregern einer der wichtigsten Faktoren, das, neben den bekannten Einflussgrößen wie Ausgangsinokulum, Inkubationszeit, Latenzzeit, tägliche Sporenproduktion pro Läsion und Sporeneffektivität (ZADOKS & SCHEIN, 1980), bei der Beschreibung einer Epidemie unbedingt berücksichtigt werden sollte (BERGER et al., 1997). BERGER et al. (1997) beschreiben dazu das Ergebnis einer Computersimulation, wonach bereits eine Läsionsausbreitung von 0,1 mm pro Tag im Endeffekt über 70 % des erkrankten Bereiches auf der Blattfläche ausmachen im Vergleich zu der komplett durch den Erreger in Anspruch genommenen Blattfläche. Nach VITTI et al. (1995) ist die tägliche Läsionsausbreitung von *E. turcicum* an Mais $> 0,43 \text{ cm}^2$ pro Tag, wobei an anderer Stelle in der Literatur von einer Fleckenausbreitung von $0,25 \text{ cm}^2$ pro Tag gesprochen wird (BERGER, 1973). Die in dieser Arbeit gemessene Läsionsausbreitung von *E. turcicum* passen gut zu den in der Literatur genannten Werten, hängen aber stark von dem Zeitpunkt der Fleckenbildung ab. Im Gegensatz zu den früh gebildeten Läsionen am 23.07.15, die eine tägliche Ausdehnung von durchschnittlich $0,17 \text{ cm}^2$ hatten, konnte bei den später gebildeten Flecken am 27.08.15 ein Wachstum von $0,76 \text{ cm}^2$ pro Tag ermittelt werden.

In den Abb. 70 und Abb. 71 wird mit dem prozentualen Fleckenzuwachs, sowie dem relativen und absoluten Fleckenwachstum der *E. turcicum*-Läsionen in den unbehandelten Kontrollen, die verzögerte Entwicklung des Blattpathogens im Maisbestand gezeigt. Sowohl Fleckenanzahl als auch Fleckengröße verändern sich bis zum Boniturtermin am 13.08.14 kaum, wohingegen nach Mitte August beide Parameter in eine Progressionsphase eintreten. Die kontinuierliche Zunahme von sowohl Fleckenanzahl als auch Fleckengröße im Verlauf der Epidemie wird vielfach in der Literatur genannt, wobei vor allem die Genetik der Sorte, die Rasse des Pathogens sowie die Umweltbedingungen eine Rolle spielen (BERGER, 1973; RAYMUNDO & HOOKER, 1981; IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; GROH, 2013; SCHUBIGER, 2015). Die in den Feldversuchen verwendete Sorte „Lorado“ gilt nach Einschätzung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Blattpathogen *E. turcicum* als „stark anfällig“ (ANONYMUS, 2008a). Weitere Erläuterungen zum Einfluss der Umwelt auf die Epidemie des Blattpathogens werden im folgenden Kapitel diskutiert.

5.1.2.2 Einfluss der Witterung

Die vielfach in der Praxis-, sowie auch in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Aussage, wonach das Blattpathogen *Exserohilum turcicum* bei feuchtwarmer Witterung auftritt (HUGGER, 2007; ERHARDT, 2008; BLANDINO et al., 2012; URBAN, 2012), sollte im Rahmen dieser Arbeit präzisiert werden. Die angeführten Überlegungen zum Zusammenhang zwischen der übergeordneten Einflussgröße Witterung und der Dynamik des Blattpathogens

stützen sich vor allem auf die Ergebnisse der Versuche von LEACH et al. (1977b), LEVY & COHEN (1983) und LEVY & PATAKY (1992). Danach benötigt der Erreger für die wichtige Phase der Konidienbildung mindestens vier Stunden Dunkelheit und lange Phasen hoher rel. Luftfeuchte $\geq 90\%$ im Maisbestand (LEACH et al., 1977b). Die Mindestlänge dieser Phasen ist temperaturabhängig, wobei eine höhere durchschnittliche Temperatur die benötigte Dauer der hohen rel. Luftfeuchte herabsetzt. Im Gegensatz zur Konidienbildung muss für die weitere Infektion freies Wasser auf den Maisblättern, z.B. in Form von Tau, für min. 5 – 6 h vorhanden sein (LEVY & COHEN 1983; LEVY & PATAKY 1992). Für die Betrachtung etwaiger Witterungsereignisse, die zu einer starken Ausbreitung des Erregers führen, wurden die Monate Juli und August des Jahres 2014 ausgewählt, da in diesem Zeitraum die größten Veränderungen bezüglich der Befallshäufigkeit und –stärke des Pathogens stattfanden.

Zur Bestimmung dieser besonderen Phasen, an denen die genannten Witterungsvorgaben zutreffen, wurde nach dem Ausschlussprinzip gearbeitet und fünf Phasen benannt, in denen es dem Blattpathogen aufgrund der Witterung möglich gewesen wäre, sowohl eine vollständige Konidiogenese, durch die lange Periode hoher rel. Luftfeuchte und einer vierstündigen Nachtphase, als auch eine erfolgreiche Infektion, durch die Blattnässedauer von 5 - 6 h, durchzuführen. Trotz der Benennung dieser fünf Phasen kann kein Zeitraum direkt einer Veränderung der Fleckengröße, oder der Anzahl an Flecken von *E. turcicum*, wie bei *Kabatilla zae*, zugeordnet werden. Durch den fehlenden Vergleich zu den Versuchsjahren 2012 und 2013 am Standort Reding ist zu diskutieren, inwieweit diese einzelnen Phasen generell einen entscheidenden Einfluss auf die Erregerausbreitung im Maisbestand gehabt haben.

Die Anforderungen für bestimmte Erregerstadien an die übergeordnete Einflussgröße Witterung werden in der Literatur ebenfalls diskutiert. Im Gegensatz zu LEACH et al. (1977b), die aufgrund der Beobachtungen aus Klimakammerversuchen freies Wasser auf dem Blatt für die Sporulation für nicht notwendig halten, sind LEVY & PATAKY (1992) der Meinung, dass Tauperioden in jedem Fall benötigt werden. Des Weiteren steht für LEVY & PATAKY (1992) fest, dass die mutmaßliche Tauperiode unterbrochen werden kann, ohne die Konidienbildung einzuschränken. Damit wäre eine zu kurze Periode mit freiem Wasser in der Nacht kein Abbruchkriterium für die Sporulation, die somit in der darauffolgenden Nacht fortgesetzt werden könnte. Ähnliche Zusammenhänge, wonach eine unterbrochene Sporulation aufgrund zu kurzer Tauperioden fortgesetzt wird, sind für das Blattpathogen *Bipolaris maydis* in Mais bekannt (NELSON & TUNG, 1973). LEACH et al. (1977b) können dabei nicht bestätigen, ob die von ihnen favorisierte Theorie, wonach nur eine hohe rel. Luftfeuchtigkeit $> 90\%$ für die Konidienbildung ausreicht, ebenfalls unterbrochen werden kann. Trotz dieser Tatsache geben die Verfasser an, dass an Tagen mit einem sehr hohen Sporenaufkommen in den Sporenfallen, in den Nächten zuvor Regen oder Tau vorhanden gewesen ist. Nach den Aussagen der verschiedenen Autoren scheint zwar das freie Wasser auf dem Blatt zur Konidiogenese sehr

förderlich, aber aufgrund der weiteren Untersuchungsergebnisse zur hohen rel. Luftfeuchtigkeit im Maisbestand nicht obligat zu sein.

Des Weiteren muss bei dieser Diskussion beachtet werden, dass es im Hinblick auf die spätere Anwendung von potentiellen Vorhersagemodellen zur Epidemie von *E. turcicum*, wesentlich einfacher ist, von kommerziellen Wetterstationen verlässliche Werte für die rel. Luftfeuchtigkeit, anstatt der Blattnässe oder Blattbenetzung zu bekommen. Probleme könnten bei verschiedenen Messinstrumenten zur Erfassung der Blattnässe z.B. im Hinblick auf das Abtrocknungsverhalten auftreten (KLÖHN, 2011).

In der Literatur sind weitere Arbeiten zur Vorhersage von *E. turcicum* zu finden, die ebenfalls Beachtung finden sollten. BERGER (1970) entwickelte ein Vorhersagemodell für starke Infektionen, wonach er „vorteilhafte Stunden“ (BFH = blight favorable hours) für den Erreger während des Witterungsverlaufes tagessummierte. Als „vorteilhaft“ gelten dabei eine rel. Luftfeuchtigkeit nahe 100 % für min. sieben Stunden bei Temperaturen > 15°C. Wenn z.B. eine Tagessumme bis max. 6,5 BFH erreicht wird, gilt der Maisbestand als wenig gefährdet und muss im Rahmen eines Applikationsplanes nicht mit Fungiziden behandelt werden (BERGER, 1970). Dieses System wurde im Rahmen der Versuche von LEVY (1989) angewendet, allerdings konnte der Autor keine gute Übereinstimmung zwischen der Anzahl an BFH und der Schwere des Befalls feststellen. Es wurde vielmehr darauf hingewiesen, dass dieses System nur bei gleichen Erregerrassen funktioniert, die sich nicht in der Aggressivität unterscheiden. Aktuelle Forschungen befassen sich mit einem Vorhersagemodell für *E. turcicum*, das neben den Witterungsparametern Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag weiterhin Daten zum Primärinokulum und Negativkriterien, wie eine zu hohe Temperatur, mit einschließen (ORTEGA et al., 2014).

Da kein expliziter Startpunkt der Progressionsphase von *E. turcicum* im Rahmen der Feldversuche 2014 mit einem Witterungsereignis verknüpft werden konnte, ist der gemäßigte Anstieg der Befallshäufigkeit und –stärke im Maisbestand eher das Resultat eines ständig steigenden Inokulumpotentials aufgrund des Wachstums und der Alterung der Blatflecken. In diesem Zusammenhang zeigen Untersuchungsergebnisse aus Neuseeland, dass nach trockenen Perioden junge Flecken von 2 bis 10 cm Länge wenige bis keine Konidien und Konidienträger hatten, wohingegen alte Flecken mit 10 bis 30 cm Länge von Konidiophoren übersät waren (LEACH et al., 1977b).

Einige Tatsachen sprechen somit für eine zunächst vollzogene Etablierung des Erregers im Bestand, der dann im Anschluss eine Verbreitung aufgrund von einer stärkeren Ausformung von Konidienträgern und Konidien auf den alternden Blatflecken folgt.

5.1.2.3 Einfluss einer Fungizidapplikation

Zur Fungizidwirkung von Retengo® Plus gegenüber *Exserohilum turcicum* ist anhand der Abb. 78 und Abb. 79 aus dem Versuchsjahr 2014 ein Trend über alle bonitierten Pflanzensegmente zu erkennen, wonach, mit Ausnahme des unteren Pflanzensegmentes, die Befallsstärke mit späteren Applikationen abnimmt. Da die Behandlung der Variante V6 als Doppelbehandlung mit zweimal 1,5 l/ha für die Praxis nicht zulässig ist (ANONYMUS, 2014b), stellt die Variante V5, mit einer Behandlung des Maisbestandes zur Blüte in BBCH 65 die sinnvollste Maßnahme zur Reduzierung des Blattflächenbefalls in dieser Fallstudie, im Bezug zur landwirtschaftlichen Praxis, dar. Diese Ergebnisse decken sich mit Praxisversuchen der Officialberatung in Deutschland, die ebenfalls die höchsten Wirkungsgrade gegen *E. turcicum* mit einer Blütenapplikation erzielt (HANHART, 2012), gleichzeitig aber darauf hinweist, dass für eine solche Applikation Spezialtechnik in Form von Stelzenschleppern benötigt wird (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; ZELLNER, 2012), was die breite Anwendung eines Fungizids erheblich einschränken würde.

In einer wissenschaftlichen Studie aus Italien, bei denen das Fungizid Quilt Xcel® (Azoxytrobin + Propiconazol) gegen *E. turcicum* zu verschiedenen Terminen eingesetzt wurde, ist die Wirkung der späten Stadienspritzungen, analog zu der vorliegenden Arbeit, ebenfalls am besten (BLANDINO et al., 2012). Allerdings waren dabei die Befallsstärken in beiden Versuchsjahren bei < 3 %, was unter anderem mit dem späten Erstaufreten der Symptome des Blattpathogens zur Blüte des Maises in BBCH 65 begründet werden kann. Im Gegensatz dazu konnten bei der vorliegenden Fallstudie des Jahres 2014 am bayerischen Standort Reding etwas früher, im Stadium des Rispschiebens zu BBCH 55, erste Läsionen an den Pflanzen vorgefunden werden. Ganz allgemein gilt nach Beobachtungen aus der Praxis der Grundsatz, wonach der Zeitpunkt des Erstaufretens des Erregers mit der tatsächlichen Schädigung zur Ernte des Maises korreliert (BESENHOFER & ZEDERBAUER, 2002; IMGRABEN, 2002; ERHARDT, 2008; KLOPPERS & TWEER, 2009). Am Standort Reding kann somit zunächst die bessere Wirkung des Fungizids mit späten Applikationen durch die zeitliche Nähe zum Erstaufreten des Blattpathogens erklärt werden. Die Applikation zu BBCH 65, die neun Tage nach dem Erstaufreten durchgeführt wurde, konnte *E. turcicum* in einer entscheidenden Phase der Erregeretablierung treffen. Dies wird durch die Betrachtung der Wirkungsgrade zwischen den Applikationen zu BBCH 55 und BBCH 65 deutlich (Tab. 24), die, trotz der zeitlichen Nähe zueinander, sichtbare Unterschiede hervorbrachten. Konnte zum Rispschieben in BBCH 55 lediglich ein Wirkungsgrad von 59,8 % im Durchschnitt der mittleren und oberen Pflanzensegmente erzielt werden, wurde neun Tage später, bei der Applikation zu BBCH 65 bereits ein Wirkungsgrad von 89,2 % erzielt.

Neben dem Zeitpunkt des Erstaufretens von *E. turcicum* im Maisbestand als Indikator für die Applikationsentscheidung eines Fungizids, kann die Abdeckung von den bereits o.g. Witte-

Witterungsereignissen eine Erklärung für die differenzierte Wirkung der terminierten Applikation liefern. In Abb. 83 wurden den Applikationszeitpunkten des Fungizids mit den dazugehörigen Kurativ- und Protektivphasen die ermittelten Witterungsereignisse gegenübergestellt. Bei Verknüpfung dieser Abbildung mit den Daten zum Wirkungsgrad der Fungizidapplikationen aus Tab. 24 wird ein Zusammenhang zwischen der Anzahl an abgedeckten Witterungsereignissen und dem dadurch erzielten Wirkungsgrad deutlich. Danach kann eine Applikation die Befallsstärke von *E. turcicum* am stärksten mindern, je mehr Witterungsereignisse durch die Kurativ- und Protektivphase des Fungizids erfasst werden. Zu einem gewissen Teil können diese Beobachtungen mit den bereits o.g. Ergebnissen von BERGER (1970) verglichen werden, der ebenfalls Fungizidapplikationen gegen *E. turcicum* im Mais empfahl, sobald eine bestimmte Zeitspanne von vorteilhaften Witterungsbedingungen für den Erreger an einem Tag erreicht wurde.

Trotz einiger Ansätze (ORTEGA, 2014, VOLK, 2014) gibt es bisher kein etabliertes System, was den Fungizideinsatz im Mais gegen *E. turcicum* anhand von Befalls-, oder Witterungsparametern steuern kann.

5.2 Mykotoxine

Neben Blattpathogenen kann die Maiskultur von Pilzen der Gattung *Fusarium* befallen werden. Speziell zu nennen sind dabei die Vertreter *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum*, da sie in der Lage sind die sekundären Stoffwechselprodukte Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) zu bilden. Diese sog. Mykotoxine können in geringen Mengen in höheren Organismen zu Vergiftungen führen (DÖLL & DÄNICKE, 2011) und sind daher für Menschen und Tiere als schädlich anzusehen (PAPST et al., 2012). Neben den steuerbaren Produktionsfaktoren Sorte, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge, kann die nicht-steuerbare Einflussgröße Witterung eine entscheidende Rolle im Auftreten von den genannten Mykotoxinen im Erntegut Silo-, oder Körnermais haben.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde im Zuge einer Analyse von Körnermais-Ernteproben die Fähigkeit von Sorten aufgezeigt, mit einer etwaigen Resistenzausprägung gegenüber *Fusarium* spp. die einhergehende Mykotoxinbelastung zu reduzieren. Durch Einbezug der Witterungsparameter Niederschlag und Temperatur zur empfindlichen Phase der Maisblüte konnte eine Korrelation auf die Mykotoxinmenge im Erntegut formuliert werden. Als letzte, steuerbare Einflussgröße wurde eine Fungizidapplikation zur Minimierung der Mykotoxinbelastung an den beiden Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding untersucht, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten, analog zu den bereits beschriebenen Varianten zur Blatterregerbekämpfung, durchgeführt wurde.

5.2.1 Einfluss der Sorte

Im zweiten Abschnitt der vorliegenden Arbeit wurden Körnermais-Ernteproben der Landessortenversuche (LSV) in Bayern aus den Jahren 2012 ($n = 120$, Ort x Sorte) und 2013 ($n = 96$, Ort x Sorte) auf die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) untersucht. In beiden Jahren sind z.T. signifikante Sortenunterschiede im Hinblick auf DON- und ZEA-Belastung aufgetreten. Die Signifikanz der Sortenergebnisse hängt dabei auch in hohem Maße von der Standardabweichung der aus den Analyseergebnissen gewonnenen Daten ab, die bei einigen Proben sehr hoch ausgefallen ist, die einzelnen Wiederholungswerte also stark voneinander abwichen. Hohe Streuungen der Messergebnisse bei Mykotoxinanalysen aus Mais sind bereits an anderer Stelle, auch bei unterschiedlichen Messverfahren, aufgetreten (PAPST et al., 2007; LEON & ANDERSSON, 2007) und scheinen ein allgemeines Problem zu sein. Die Sortenunterschiede weisen trotz der dargestellten Problematik in der Datenanalyse auf das Vorhandensein von genetischen Resistenzen hin.

Die Einteilung der Sorten in die Reifegruppen „früh“, „mittelfrüh“ und „mittelspät“ erlaubt eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse zu DON und ZEA, die eine Beurteilung der Anfälligkeit für Fusariosen hinsichtlich des Abreifeverhaltens zulassen. Nach den dargestellten Ergebnissen der beiden Versuchsjahre 2012 und 2013 (Abb. 101, Abb. 106) besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Mykotoxinwerten für DON und ZEA in Abhängigkeit der Reifegruppe. Diese Aussage wird in einigen Literaturquellen bestätigt (REID et al., 1992; REID et al., 1996; REID & SINHA, 1998). Trotz dieser Tatsache können die in dieser Arbeit erkennbaren Trends von höheren Mykotoxinbelastungen bei länger abreifenden Sorten durch die Theorie untermauert werden, wonach die Länge der Phase zwischen dem Hauptinfektionspunkt zur Blüte und dem Zeitpunkt der physiologischen Reife, aufgrund einer längeren potentiellen Infektionsphase für *Fusarium* spp. die höheren Mykotoxinwerte generiert (REID & SINHA, 1998).

Gerade aus der Sicht der Maiszüchtung ist der Wunsch nach einer visuellen Boniturmethode, die Rückschlüsse auf den zu erwartenden Mykotoxingehalt im Erntegut zulässt, hoch. Dabei kann nicht auf den Boniturwert „Stängelfäule“ für Maissorten in der Beschreibenden Sortenliste zurückgegriffen werden. Zwar kann die zu bonitierende Stängelfäule u.a. von den gleichen Erregern *F. graminearum* und *F. culmorum* verursacht werden (ANONYMUS, 2008b), jedoch wurde bereits an anderer Stelle mit den Daten der vorliegenden Untersuchung gezeigt, dass keine Korrelation zwischen der Boniturnote der Sorte und dem tatsächlichen Mykotoxingehalt im Erntegut besteht (VERREET et al., 2013). Im Gegensatz dazu konnten bei der Korrelation zwischen einer visuellen Bonitur der Befallsstärke von Kolbenfusariose und den nach der Ernte gemessenen Mykotoxinwerten im Körnermais gute Ergebnisse erzielt werden (REID et al., 1996; LÖFFLER et al., 2010).

Zur generellen Aussage über die Belastung eines Standortes mit Mykotoxinen wurden zwei Referenzsorten (RS) eingesetzt, die in den Abb. 108 bis Abb. 111 mit den Mykotoxingehalten der regulären Sorten an den jeweiligen Standorten verglichen wurden. Dabei zeigten sich Unterschiede bezüglich der Aussagefähigkeit der beiden Sorten zum Standortmittel, wonach vor allem die RS 1 mit sehr geringen Bestimmtheitsmaßen keine Korrelation mit den Ergebnissen der regulären Sorten zuließ. Die RS 2 konnte in allen Fällen höhere Bestimmtheitsmaße bei den Korrelationen erlangen als die RS 1. Mögliche Gründe hierfür können das besser angepasste Abreifeverhalten für die bayerischen Witterungsbedingungen sein, welches durch die höhere Kornreifezahl der RS 2 mit $K = 240$, im Gegensatz zur RS 1 mit $K = 160$, zum Ausdruck kommt. Diese höhere Kornreifezahl reiht sich nahtlos in die an den Versuchsstandorten verwendeten Kornreifezahlen der Sorten ein. Zukünftig sollten allerdings mehr als eine passende Referenzsorte pro Standort angebaut werden, um die Aussagefähigkeit im Bezug zum regional tatsächlichen Auftreten von Mykotoxinen zu verbessern. Die hohe Anfälligkeit der RS 2 gegenüber Fusariosen, die in den Landessortenversuchen der letzten Jahre auffällig war, spielt dabei eine entscheidende Rolle. Sollten zukünftig mehrere Referenzsorten pro Standort benutzt werden, muss ein ausgewogenes Mittelmaß vergleichender Sorten bezüglich der Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*erregern ausgewählt werden.

5.2.2 Einfluss der Witterung

Die übergeordnete Einflussgröße Witterung spielt eine entscheidende Rolle bei der Höhe der Belastungen des Erntegutes Silo- oder Körnermais mit den Mykotoxinen DON und ZEA. Unterschiede in der Witterung können, bei einer homogenen Verteilung der angebauten Sorten im Hinblick auf die Resistenzausprägung gegen mykotoxinbildende Schadpilze, auch durch die differenzierte Belastung der LSV-Standorte in den Jahren 2012 und 2013 deutlich gemacht werden, da die Witterungsbedingungen in Bayern kleinräumig stark differieren (ANONYMUS, 2015m). Nach einer Veröffentlichung von DE LA CAMPA et al. (2005) konnten anhand einer Varianzanalyse 47 % der aufgetretenen Fumonisinwerte im Körnermais mit dem Standort bzw. dem Wetter erklärt werden. Nur 14 % der Varianz entfielen auf die Sorte, wobei die Interaktion Standort x Sorte mit 51 % über die Hälfte der Werte verdeutlicht (DE LA CAMPA et al., 2005). Etwas differenziertere Aussagen sind bei HOOKER & SCHAAFSMA (2005) zu finden. Ihren Angaben zufolge konnten mit der Varianzanalyse nur 12 % der Varianz der DON-Werte und 19 % der Fumonisin-B₁-Werte mit der Witterung des Jahres erklärt werden. Dagegen spielte die Sorte mit 25 % und vor allem die Interaktion zwischen Sorte und Jahr mit 42 %, jeweils bei beiden Mykotoxinen, eine größere Rolle (HOOKER & SCHAAFSMA, 2005). Verschiedene Autoren haben sich in der wissenschaftlichen Literatur damit befasst, allgemeingültige Aussagen über die Witterungsbedingungen zu treffen, die förderlich auf die Höhe der Mykotoxingehalte im Körnermais wirken. Vor allem die Witterungsbedingungen zur

Blühphase des Maises ist dabei das entscheidende Kriterium. Zum Beispiel werden für *F. graminearum* und der einhergehenden DON-Akkumulation moderat-warme Temperaturen und feuchtes Wetter während des Schiebens der Narbenfäden und der späteren Abreife genannt (MUNKVOLD 2003; DOOHAN et al. 2003), während *F. culmorum* ein niedrigeres Temperaturoptimum aufweist (ROSSI et al., 2001).

Im Vergleich zum Weizen, bei dem ebenfalls die Witterungsbedingungen zur Blühphase entscheidend für die spätere Höhe der Mykotoxinwerte zur Ernte sind (BIRR, 2013), ist die Maisblüte, sowie die *Fusarium*-Epidemie und die Interaktion mit der Wirtspflanze komplexer, was die Kommerzialisierung von Vorhersagemodellen für die Mykotoxingehalte im Mais ungleich schwieriger macht (SCHAAF SMA & HOOKER, 2007). Da die genaue Bonitur des Blühzeitraumes, vom Spitzten der Narbenfäden bis zu deren Vertrocknung, in den LSV-Feldversuchen 2012 und 2013 aufgrund des hohen arbeitstechnischen Aufwandes nicht möglich war, wurde im Rahmen dieser Arbeit die Möglichkeit getestet, die Blühphase anhand der Temperatursumme ab dem Zeitpunkt der Aussaat für jeden Standort individuell zu bestimmen. RATH et al. (2005) zeigten in einer Veröffentlichung, dass sich die Blüte von acht verschiedenen Maissorten nach vierjährigen Feldversuchen an 27 Standorten in einem Zeitraum von 700 – 1050°C Temperatursumme ab der Aussaat abspielt. Nach einer Teilung des Betrachtungszeitraumes in vier sich überlappende Teile zeigte sich, dass besonders bei einer Temperatursumme von 700 – 900°C nach der Aussaat des Maises eine höchst-signifikante Korrelation der Witterungsparameter Durchschnittstemperatur und Niederschlagssumme zu den DON-Gehalten des Erntegutes Körnermais vorhanden war. Demnach muss dieser Zeitraum in einem hohen Maße für die spätere Kontamination eine Rolle spielen.

Die Relevanz dieses Zeitraumes wurde auch bei ähnlichen Berechnungen mit genetisch einheitlichen Sorten, die langjährig im Rahmen des LSV angebaut wurden, bestätigt. Neben dem konkreten Blühzeitpunkt zeigt ein von DE LA CAMPA et al. (2005) vorgestelltes Model zur Abschätzung der Fumonisin-Gehalte im Körnermais, vier kritische Phasen die sich zeitlich vor und nach der eigentlichen Blüte befinden. Der Blühzeitpunkt wurde hierbei mit einer visuellen Bonitur bestimmt und als Tag definiert, an dem 50 % der Pflanzen die Narbenfäden geschoben haben. Dabei führen z.B. Niederschläge > 2 l/m² vor der Blüte zu höheren Fumonisinegehalten zur Ernte, wohingegen Regen nach der Blüte in gleicher Größenordnung die Mykotoxingehalte sinken lässt (DE LA CAMPA et al., 2005).

Die Aufgliederung der Phase der Maisblüte in vier kritische Abschnitte und die Verknüpfung der Mykotoxingehalte im Erntegut mit verschiedenen Ansprüchen an die Einflussfaktoren Niederschlag und Temperatur in diesen Phasen, wie sie von DE LA CAMPA et al. (2005) beschrieben wurde, kann einen Teil der Streuung der Ergebnisse aus vorliegender Arbeit begründen. Trotz der Aussage der Regressionsanalyse in Abb. 113, wonach der DON-Gehalt im Körnermais bei gleichbleibender Temperatur mit einer höheren Niederschlagssumme an-

steigt, können z.B. im Jahr 2012 am Standort Regenstauf (REG) zwar die höchsten Niederschläge bei optimaler Temperatur, aber nicht die höchsten DON Gehalte verzeichnet werden. Die Anwendung des „Vier-Phasen-Modells“ könnte hier entscheidend dazu beitragen, die Güte der Regression weiter zu erhöhen.

Ähnliches gilt für die Ergebnisse der Mykotoxinanalysen an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding in den Jahren 2012 bis 2014, wobei in einem Großteil der Fallstudien die Höhe der Mykotoxingehalte zur Ernte des Maises anhand der Witterung zur Blüte erklärt werden kann. Hierbei ist exemplarisch das Versuchsjahr 2013 zu nennen, in dem die höchsten Gehalte von DON und ZEA an beiden Standorten im Rahmen der dreijährigen Studie gemessen wurden, wobei auch die Niederschlagsmenge zur Blühphase höher war, als in den übrigen Jahren. Lediglich die suboptimalen Temperaturen am Standort Reding, die in der Regel zu niedrigen Toxinwerten führen, werden nicht durch die Modellregression erklärt, wobei das „Vier-Phasen-Modell“ hier Abhilfe schaffen könnte.

Neben den Sorten „Torres“ und „Susann“ gab es weitere Maissorten, die langjährig in den Landessortenversuchen in Bayern vertreten waren. Generell werden die besten Ergebnisse im frühen Temperatursummenbereich erzielt. Dieses Ergebnis ist gerade für die Sorten mit mittelspäter Abreife interessant, da sie von der Phänologie her einen eher späteren Blühzeitpunkt besitzen, als Sorten mit kleineren Reifezahlen. Tab. 30 sagt ebenfalls aus, dass bislang keine generelle Prognose zur DON-Belastung jeder Sorte nur anhand der Witterung in einem bestimmten Temperatursummenbereich abzuleiten ist. Vielmehr sollen die Berechnungen eine Richtung aufzeigen, in wie weit eine Prognose zur Mykotoxinbelastung mit den Witterungsdaten zur Blüte des Maises möglich ist. Zu diesem Datum besteht letztmalig die Möglichkeit eine Applikation von Fungiziden gegen Pilze der Gattung *Fusarium* und der einhergehenden Mykotoxinbelastung im Erntegut durchzuführen. Somit kann eine solche Prognose auch im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes sinnvoll sein, da bis zum Zeitpunkt der Blüte alle Maßnahmen zur Reduzierung des Schaderregers durchgeführt wurden und nur durch einen Eingriff mit Fungiziden als letztes Mittel erhöhte Mykotoxinbelastungen im Erntegut durch entsprechende Witterung zur Maisblüte abgewendet werden können.

5.2.3 Einfluss der Fungizidapplikation

In den Fallstudien von den Standorten Hohenschulen und Reding im Silo- und Körnermais in den Jahren 2012 bis 2014 führte eine terminierte Fungizidapplikation in zwei Drittel der Fälle zu einer signifikanten Verringerung der Mykotoxingehalte im Erntegut gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Dabei zeigen vor allem die einmaligen Behandlungen in späteren Stadien ab dem Rispschieben der Maispflanze die größten Effekte. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen DE CURTIS et al. (2011), die durch einen Fungizideinsatz das Wachstum von *Fusarium proliferatum* und *F. verticillioides* und die einhergehende Produktion von Fumonisin re-

duzieren konnten. Dabei zeigt sich auch die Blühphase als kritischer Zeitraum, in dem die Pilze der Gattung *Fusarium* in der Regel den Maiskolben über die Narbenfäden besiedeln.

Trotz der hohen Wirkung bei später Applikation des Fungizids, gibt es in dieser Arbeit Fallstudien, z.B. im Silomais am Standort Reding im Jahr 2014, bei denen auch ein früher Einsatz des Fungizids in BBCH 34 zu einer signifikanten Reduktion des Gehalts an DON im Erntegut führt. Dabei ist ein Effekt auf die Aktivität von *Fusarium* spp. auf dem Boden oder an den Stoppelresten der Maisvorfrucht nicht ausgeschlossen, so dass keine vorzeitige Besiedlung der Wurzeln oder des Stängels stattfinden konnte (MUNKVOLD et al., 1997b; DUNCAN & HOWARD, 2010).

Von Seiten der praktischen Beratung in Deutschland ist eine Wirkung, unabhängig von der Zulassung eines Fungizids mit der Indikation „Mykotoxinreduktion“, umstritten (HANHART, 2012; ZELLNER et al., 2014; KUPFER et al., 2015). Gleichwohl gibt es in den o.g. Fallstudien bei einem Drittel keinen statistisch gesicherten Effekt einer Fungizidmaßnahme auf die Mykotoxingehalte im Erntegut. In diesem Fall sollte allerdings eher die Frage gestellt werden, ob ein Fungizideinsatz, aufgrund der eher niedrigen Kontaminationen in den unbehandelten Kontrollen, überhaupt notwendig im Sinne einer Erregerbekämpfung gewesen wäre. An dieser Stelle muss auf das nachfolgende Diskussionskapitel 5.3 verwiesen werden, in dem ausführlich erläutert wird, inwieweit ein Fungizideinsatz zwar kein pilzliches Pathogen bekämpft, aber dennoch zu einer Ertragssteigerung aufgrund eines physiologischen Effekts der eingesetzten Wirkstoffe führt.

In der Literatur sind weiterhin Hinweise zu finden, wonach der Einsatz eines Fungizids in höheren Mykotoxinwerten resultierte, als in der unbehandelten Kontrolle gemessen wurden. URBAN (2012) stellte in einer Fallstudie fest, dass besonders die frühen Behandlungen zu BBCH 34/37 mit einer Triazol-Strobilurin-Kombination, oder auch als Solo-Produkte, eine vielfach höhere Kontamination des Körnermaises zur Ernte aufwiesen, als die der unbehandelten Kontrolle. Dieser Sachverhalt kann mit den Ergebnissen aus der Weizenkultur erklärt werden, wo eine Anwendung des Wirkstoffes Azoxystrobin mehrfach zu einer Erhöhung des DON-Gehaltes geführt hat (SIMPSON et al., 2001; ELLNER, 2005). In Rahmen der vorliegenden Arbeit kann dieser Effekt nicht bestätigt werden, da in keinem Fall eine Mykotoxin-Kontamination der unbehandelten Kontrolle vorlag, die signifikant höher war, als in einer vergleichbaren Behandlungsvariante.

5.3 Erträge

Neben der Qualitätssicherung der Ernte, die durch eine Minimierung des Mykotoxingehaltes im Erntegut mit verschiedenen pflanzenbaulichen Werkzeugen als steuerbare Einflussgrößen angestrebt wird, ist für den Landwirt vor allem die Höhe des erzielbaren Ertrages entscheidend. Dabei ist nicht nur eine Gegenüberstellung des Erregeraufkommens, in Form der

Befallsstärke, mit dem Ertrag in Verbindung zu bringen. Vielmehr muss auch die abiotische Nekrose in die Quantifikation des Ertragsverlustes durch aufgetretene Blattkrankheiten eingeschlossen werden, da diese ebenfalls nicht für die Assimilationsleistung zur Verfügung steht (KRANZ, 1996). Nach EIK & HANWAY (1966) ist der Ertrag bei Mais eine Funktion der Photosyntheseleistung, die durch die grüne Blattfläche und deren Fortdauer nach der Blüte bestimmt wird. Da die obersten acht bis neun Blätter 75 bis 90 % der Kornfüllung generieren, ist es wichtig für das Ziel einer Ertragsmaximierung diese Blätter so lange wie möglich in einem grünen Zustand zu halten (ALLISON & WATSON, 1966). Eine Bestätigung dieser Angaben findet sich bei der Fallstudie vom Standort Reding im Jahr 2012. Abb. 80 zeigt die Ergebnisse der Endbonitur mit einem bereits sehr stark nekrotisierten Bestand. Obwohl die Wirkung des Fungizides gegenüber dem Blattfleckenerreger *Exserohilum turcicum* nicht mehr einwandfrei nachzuvollziehen ist, kann gezeigt werden, dass eine späte Applikation zu einer längeren Grünerhaltung der Blätter führt, mit dem Resultat eines höheren Ertrages gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Der Effekt resultiert einerseits aus der Bekämpfung des Erregers, andererseits kann aber ebenfalls ein physiologischer Effekt, vor allem aus dem Wirkstoff Pyraclostrobin als strobiluriner Bestandteil des Fungizids, angenommen werden. Laut KANUNGO & JOSHI (2014) kann das Pyraclostrobin neben der seneszenzhemmenden Wirkung auch einen Anstieg der Nitrataufnahme bewirken, sowie antioxidativen Stress der Pflanze mindern (Stay-green-, oder Greening-Effekt). Gerade der letzte Punkt beschreibt dabei gut die Wirkung auf die Maispflanze, wenn die äußeren Bedingungen für das Wachstum durch diverse Stresseinwirkungen wie Trockenheit, Kälte oder zu hoher Strahlung keinen optimalen Ertrag erwarten lassen. In diesem Zusammenhang formuliert BECK (2004), dass eine Anwendung von strobilurinhaltigen Fungiziden nicht generell zu einer erheblichen Ertragssteigerung, sondern eher zu einer Optimierung des standortspezifischen Ertragspotentials führt. Diese Theorie kann anhand von Beobachtungen aus der Praxis bestätigt werden, wonach in verschiedenen Feldversuchen zur Applikation von Mais, u.a. mit Pyraclostrobin, der positive Ertragseffekt mit der Verminderung des Trockenheitsstress auf einem Sandboden im Unterschied zu einem Lössboden gezeigt wird (HANHART, 2012).

Unterschiede in den Umweltbedingungen und die Wirkung auf den Ertrag können in der vorliegenden Arbeit anhand eines Vergleiches zwischen den beiden Standorten Hohenschulen und Reding in den drei Versuchsjahren nachgewiesen werden. Bei Betrachtung der einzelnen Fallstudien am Standort Reding ist in keinem der drei Jahre, unabhängig von der Nutzungsrichtung Silo- oder Körnermais, ein signifikanter Ertragseffekt gegenüber der unbehandelten Kontrolle absicherbar. Nur bei der Zusammenfassung der drei Jahre in Abb. 93 ist der Ertrag des Körnermaises in Variante 6 (V6) signifikant höher als in der Kontrollvariante, womöglich zurückzuführen auf die höhere Aufwandmenge, die in zwei Applikationen zu BBCH 37 und BBCH 65 mit jeweils 1,5 l/ha auf den Bestand gebracht wurde.

Im Gegensatz dazu konnte am Standort Hohenschulen, besonders im Versuchsjahr 2012, mehrfach ein statistischer Unterschied in beiden Nutzungsrichtungen gegenüber der unbehandelten Kontrolle verzeichnet werden. Aus den Aufzeichnungen zur Witterung 2012 kann entnommen werden, dass die niedrigsten Durchschnittstemperaturen während der drei Versuchsjahre kein optimales Maiswachstum stattfinden lassen konnten (vgl. Tab. 18, Abb. 21). Des Weiteren wurden durch diese Witterungsbedingungen der Blattfleckererreger *Kabatiella zea* aktiv gefördert, wobei eine passive Förderung durch einen gestressten Maisbestand ebenso denkbar ist. In Folge des Fungizideinsatzes wurde zum einen das Aufkommen des Blattfleckererregers gemindert, zum anderen konnte positiv auf den witterungsbedingten Stress mit dem Strobilurin eingewirkt werden. Hingegen konnte am Standort Reding das genetisch fixierte Ertragspotential der Maissorte bereits durch die übergeordnete Einflussgröße Witterung zu einem großen Teil ausgeschöpft werden. Die durchschnittlich höheren Temperaturen während der Maisvegetationsphasen am Standort Reding im Vergleich zum Standort Hohenschulen (vgl. Tab. 18, Tab. 22) sind für die C4-Pflanze Mais wesentlich förderlicher, was nicht zuletzt am höheren Ertragsniveau und dem insgesamt höheren Habitus der Pflanzen am bayerischen Standort (+ 1 m zur Ernte, nicht dargestellt) bestätigt wird. Interessant ist dabei die Fallstudie des Jahres 2014 am Standort Hohenschulen, da durch hohe Temperaturen in der Maisvegetation, in Verbindung mit einem geringen Blattpathogenbefall, die höchsten Maiserträge in der dreijährigen Versuchsphase geerntet werden konnten. Die Witterung hatte dabei nicht nur einen positiven Einfluss auf die C4-Pflanze Mais, sondern auch einen negativen Einfluss auf den Blattfleckererreger. Zusätzlich hatte die wesentlich weniger gestresste Maispflanze eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Blattfleckererreger.

Die einzelnen Beziehungen, die den dargestellten Fallstudien zugrunde lagen und letztendlich in der Ertragsleistung resultieren, sind in Abb. 118 aufgeführt. Das Schaubild soll unterstützend verdeutlichen, dass nicht nur die Bekämpfung des jeweiligen Pathogens mit einem Fungizid in Beziehung zum Ertrag genommen werden darf, sondern vielmehr die Gesamtheit an Einflussfaktoren und ihre Beziehungen untereinander als ganzheitliches System verstanden werden muss. In diesem Zusammenhang berichtet CHINCHILLA (1986), dass keine Korrelation zwischen dem Ertrag und der Befallsstärke mit *K. zea* vorhanden war und andere Einflüsse, wie z.B. Trockenheit einen stärkeren Einfluss auf die Ertragsbildung gehabt haben. Des Weiteren zeigt eine Meta-Analyse zur Verwendung von Fungiziden im Mais von PAUL et al. (2011), dass die Ertragsunterschiede in Relation zur unbehandelten Kontrolle vor allem bei niedrigen Erträgen und hohen Erregeraufkommen sichtbar waren. Keine Ertragsunterschiede konnten dagegen bei hohen Erträgen und niedrigen Befallsstärken generiert werden (PAUL et al., 2011), was wiederum die Theorie unterstützt, wonach ein Fungizidein-

satz aufgrund von bereits optimalen Umweltbedingungen den Ertrag nicht weiter steigern kann.

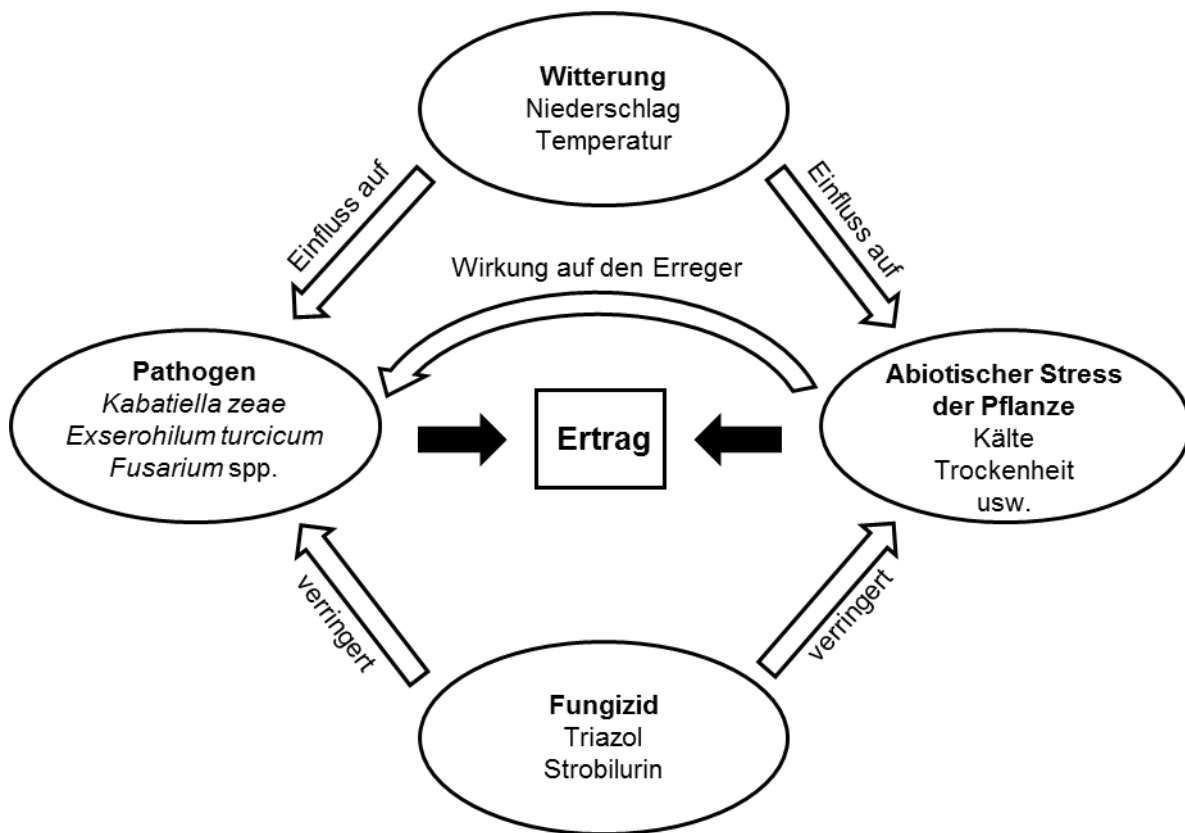


Abb. 118: Beziehungen der nicht-steuerbaren Einflussgröße „Witterung“ und der steuerbaren Einflussgröße „Fungizid“ in Bezug auf die ertragsbildenden Faktoren „Pathogen“ und „Abiotischer Stress der Pflanze“

In Abb. 118 ist nicht die Beeinflussung von den einzelnen Pathogenen untereinander dargestellt. Zwischen den beiden Blattpathogenen *K. zeae* und *E. turcicum* sind anhand der durchgeführten Fallstudien keine Beziehungen bekannt, da an den Versuchsstandorten nur einer der beiden Erreger jeweils das Leitpathogen darstellte. Allerdings sind aus der Literatur zu *K. zeae* und *Fusarium* spp. Untersuchungen durchgeführt worden, wonach die vorzeitige Seneszenz durch ein starkes Auftreten des Blattpathogens zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. führte (PRONCZUK, 2004).

6. Zusammenfassung

Der Anstieg des Maisanbaus in den letzten Jahren ist auf die vielfältige Verwertung der Ernteprodukte zurückzuführen, die, besonders in Deutschland, für die Energie- und Wärmezeugung durch Biogasanlagen genutzt werden, was regional zu einer hohen Anbaudichte von Mais mitunter in Selbstfolge über mehrere Jahre geführt hat. Dem Vorteil der Selbstverträglichkeit von Mais steht der Nachteil von sich akkumulierenden Schaderregern an Stoppelresten im Boden gegenüber, da Krankheitserreger wie die Blattpathogene *Kabatiella zea* und *Exserohilum turcicum*, sowie die für Stängel- und Kolbenfäule verantwortlichen *Fusarium* spp. an ihnen die Winterphase überdauern und in der folgenden Vegetationsperiode erneut den Mais befallen. In den letzten Jahren zeigten Berichte aus der Praxis ein vermehrtes Auftreten der o.g. Erreger, die teilweise sehr heterogen, nicht zuletzt aufgrund von „befallsfördernder Witterung“, in einzelnen Regionen verteilt waren. Zur Reduzierung des Erregerpotentials können produktionstechnische Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Sortenwahl und Fruchtfolge eingesetzt werden. Neben diesen Maßnahmen ist ein Fungizideinsatz, als letztes Mittel des Integrierten Pflanzenschutzes zur Gefahrenabwehr denkbar, allerdings fehlt bisher das Wissen über den genauen Epidemieverlauf der Pathogene, ohne den eine gezielte Applikation nicht mit der höchsten Wirksamkeit bei geringstem Mitteleinsatz realisierbar wäre.

Im ersten Teil dieser Arbeit sollte die genaue Bonitur der beiden Leitpathogene *K. zea* am Standort Hohenschulen in Schleswig-Holstein, sowie *E. turcicum* am Standort Reding in Bayern dargestellt und etwaige Zusammenhänge zwischen der Witterung und der Populationsdynamik aufgezeigt werden. Im Fall von *K. zea* zeigte sich ein Beginn der Progressionsphase des Pathogens, wenn spezifische Witterungsereignisse nach den BBCH-Stadien 55/65 eintraten, bei denen für ≥ 36 h eine relative Luftfeuchte von ≥ 85 % im Maisbestand vorhanden war. Dabei trug die bloße Kenntnis von Tagesniederschlagssummen nicht dazu bei, spezifische Witterungsereignisse zu erkennen, da nicht die Intensität von Niederschlagsereignissen, sondern die Dauer der von ihnen ausgelösten Phasen hoher rel. Luftfeuchte im Vordergrund stand. Des Weiteren ergab eine exakte Auszählung der Blattflecken von *K. zea* einen Zusammenhang zwischen der Befallshäufigkeit und -stärke, wonach erst ab 70 % Befallshäufigkeit der mittleren Blättertagen mit einer Zunahme der Befallsstärke zu rechnen war. Fungizidversuche mit unterschiedlichen Applikationszeitpunkten zeigten weiterhin, dass die Definition eines optimalen Spritzzeitpunktes möglich ist. Zukünftig müssen Feldversuche zur Vereinigung und Validierung der genannten Ergebnisse etabliert werden.

Im Fall des Blattfleckenenerregers *E. turcicum* konnte im Versuchsjahr 2014, neben der Darstellung einer exponentiellen Verlaufskurve der Blattfleckenentwicklung ebenfalls eine Beziehung zwischen Befallshäufigkeit und -stärke dargestellt werden.

Die aggregierte Verteilung des Pathogens innerhalb des Maisbestandes und auf den Blättern der Pflanze zu Beginn der Epidemie macht allerdings eine aussagefähige Befallserhebung bei kleiner Stichprobenzahl schwierig. Eine Fungizidapplikation konnte eher bei fortgeschrittener Epidemie die höchsten Wirkungsgrade erzielen. Einige Tatsachen sprachen somit für eine zunächst vollzogene Etablierung des Erregers im Bestand, der dann im Anschluss eine Verbreitung aufgrund von einer stärkeren Ausformung von Konidienträgern und Konidien auf den alternden Blattflecken folgte.

Bei der als Fungizid eingesetzten Kombination aus Triazol und Strobilurin musste beachtet werden, dass neben der Kontrolle der Blattpathogene physiologische Effekte der Wirkstoffe Auswirkungen auf den resultierenden Ertrag hatten.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden Analysen der Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) aus Körnermaisproben anhand eines breiten Sortenspektrums durchgeführt. Die Witterung während der Blühphase des Maises hat einen entscheidenden Einfluss auf den Mykotoxingehalt im Erntegut, was bereits durch die Ergebnisse an den unterschiedlichen Standorten in Bayern, die jeweils einen Unterschied in der Witterung zeigten, deutlich wurde. Anhand der Temperatursumme ab Aussaat konnten die theoretischen Blühzeitpunkte der Sorten an den einzelnen Standorten berechnet und die Witterungsparametern Niederschlag und Temperatur in dieser Phase mit dem DON-Gehalt im Erntegut in Beziehung gebracht werden. In der Temperatursummenphase von 700 bis 900°C ab Aussaat führen Temperaturen um 19°C zu den höchsten DON-Kontaminationen, wobei weiterhin die Höhe des Niederschlags mit der Höhe des DON-Gehaltes positiv korrelierte.

7. Summary

The expansion of maize production in recent years is due to, particularly in Germany, electricity and heat generation by maize-fed biogas plants. A high maize acreage up to monoculture resulted in some regions. The advantage of self-tolerance of maize is offset by the disadvantage of accumulating pathogens on stubble residues, since overwintering of the foliar pathogens *Kabatiella zae* and *Exserohilum turcicum* and *Fusarium* stem and ear rot reinforce the infection potential in the following year. Farmers reported an increased presence of these pathogens in recent years, which appeared very heterogeneous in some regions due to weather conditions. In order to reduce their infestation potential, agricultural production measures such as tillage, variety selection and crop rotation can be used. Fungicides also efficiently control these pathogens, but a deep knowledge of their epidemiology, which is required for a targeted application with the highest efficacy and a minimal use of pesticide, is still lacking.

In the first part of the work, epidemiological parameters of the maize leaf pathogens *K. zae* and *E. turcicum* were determined in Hohenschulen (Schleswig-Holstein) and in Reding (Bavaria), respectively, and possible correlations between weather conditions and population dynamics of the pathogens were tested.

In case of *K. zae*, the progression phase started when a relative humidity of about 85 % lasted for more than 36 hours after plant growth stage 55/65. The mere knowledge of the total daily rainfall did not help to identify this weather prerequisite, was not the rainfall intensity, but the duration of rainfall-triggered phases with high relative humidity was critical. By counting leaf spots caused by *K. zae* over the whole assessment time, disease incidence and disease severity could be correlated. After disease incidence reached 70 % on the middle leaves of maize, the disease severity increased. Fungicide applications at different growth stages enabled the definition of an optimal application time in order to minimise disease severity until harvest. The results should be consolidated and validated in future experiments.

In case of *E. turcicum*, an exponential disease progress curve and a relationship between disease incidence and disease severity were determined. The aggregated distribution of the pathogen within the field plots at the beginning of the epidemic, however, complicated a meaningful assessment of the infestation with a small sample size. Fungicide applications achieved the highest efficiencies rather in advanced epidemic phases. Thus, some facts spoke for an initial establishment of the pathogen in the maize field, which was then followed by a spread due to an increased formation of conidiophores and conidia on the aging leaf spots. Triazole and strobilurin fungicide mixtures resulted, beside the control of leaf pathogens, in physiological effects which had an impact on yield. In the second part of the thesis, the mycotoxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEA) were analysed in different

varieties of grain maize. The weather conditions during flowering significantly affected the mycotoxin content of the harvested products. The summation of degree-days beginning at maize sowing enabled the prediction of flowering at different trial sites. Within 700 and 900°C from sowing, temperatures about 19°C lead to the highest DON contaminations and precipitation and DON content were positively correlated.

8. Literaturverzeichnis

AKERS, A.; KÖHLE, H. H.; GOLD, R. E. (1990): Uptake, transport and mode of action of BAS 480 F, a new triazole fungicide. Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, Vol. 2, 837-845.

ALGERMISSEN, C.; KLINK, H.; VERREET, J. A. (2014): New insights into the occurrence, infection and epidemiology of *Kabatiella zea* in maize. Report on the annual meeting of the working group 'Mycology', 20.-21.03.2014 in Aachen, Journal of Plant Diseases and Protection 121, 232.

ALGERMISSEN, C.; VERREET, J. A. (2014a): Blattfleckenbefall in Schleswig-Holstein auf niedrigem Niveau. Bauernblatt 37, 50-51.

ALGERMISSEN, C.; VERREET, J. A. (2014b): Vorkommen und Bedeutung von Maisblattpathogenen in Schleswig-Holstein. Bericht der 27. Tagung des Arbeitskreises Krankheiten im Getreide und Mais, 27.-28.01.2014 in Braunschweig, Journal für Kulturpflanzen 66, 215.

ALLISON, J. C. S.; WATSON, D. J. (1966): The production and distribution of dry matter in maize after flowering. Annals of Botany N.S. 30, 365-381.

ANONYMUS (2006): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HAT-2-Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmte Erzeugnisse. Amtsblatt der Europäischen Union L229/7.

ANONYMUS (2007): Verordnung (EG) Nr. 1126/2007 der Kommission vom 28. September 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Fusarientoxinen in Mais und Maiserzeugnissen. Amtsblatt der Europäischen Union L255/14.

ANONYMUS (2008a): Landessortenversuche Silo- und Körnermais 2007 und 2008 – Anfälligkeit der geprüften Maissorten für Turcicum-Blattflecken.

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/tabellen-mais-sorten-turcicum.pdf> [23.05.2013]

ANONYMUS (2008b): Änderungen zu den Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen 2000 – 4.2 Mais. Bundessortenamt.

https://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/RILI_0803_Mais.pdf [06.11.2015]

ANONYMUS (2011a): AgCelence[®] - Erwarten sie mehr! BASF. Werbeprospekt zur nachweislichen Steigerung der Pflanzengesundheit und Vitalität von Maispflanzen durch das AgCelence-Produkt Retengo[®] Plus, 5.

ANONYMUS (2011b): Efficacy evaluation of fungicides – Foliar diseases on maize. European and Mediterranean Plant Protection Organization, PP 1/272 (1). EPPO Bulletin 41, 266-268.

ANONYMUS (2013): Retengo Plus, BASF.

http://www.agrar.basf.at/agroportal/at/media/migrated/at/produkte_neu_1/retengo_plus/Retengo_Plus_210313.pdf [09.04.2014]

ANONYMUS (2014a): Zulassungsbericht Quilt Xcel – Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.

http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/007759-00-00.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [10.08.2015]

ANONYMUS (2014b): Zulassungsbericht Retengo® Plus – Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.
http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/007087-00-00.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [10.08.2015]

ANONYMUS (2014c): Eyespot of maize. Institut National de la Recherche Agronomique.
<http://www7.inra.fr/hyp3/pathogene/6kabzea.htm> [03.09.2014]

ANONYMUS (2014d): Deutsches Maiskomitee. Bodenbearbeitung ohne Pflug auf dem Vormarsch.
<http://www.maiskomitee.de/web/intranet/news.aspx?news=aec34293-71c6-4407-b0d9-a141d3f9672e> [25.06.2015]

ANONYMUS (2015a): Crop Protection Compendium - *Setosphaeria turcica*.
<http://www.cabi.org/cpc/datasheet/49783> [10.08.2015]

ANONYMUS (2015b): Species Fungorum – *Setosphaeria turcica*.
<http://www.speciesfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=323546> [10.08.2015]

ANONYMUS (2015c): Mycobank – *Exserohilum turcicum*.
<http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?Table=Mycobank&Rec=34760&Fields=All> [10.08.2015]

ANONYMUS (2015d): Blattfleckenkrankheiten an Mais. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Institut für Pflanzenschutz.
<http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte/030221/> [01.08.2015]

ANONYMUS (2015e): Fungizide im Mais – Auflagen. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.
http://lksh.de/fileadmin/dokumente/Landwirtschaft/Pflanze/Pflanzenschutz/Fungizide/Mais_F_Auflagen.pdf [10.08.2015]

ANONYMUS (2015f): British Society of Plant Breeders Ltd. Forage maize descriptive list.
http://www.niab.com/uploads/files/BSPB_Forage_Maize_2015_Descriptive_Lists.pdf [13.08.2015]

ANONYMUS (2015g): Beschreibende Sortenliste – Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Bundessortenamt Hannover.

ANONYMUS (2015h): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit – Warnung wegen Überschreitung des Grenzwertes für Deoxynivalenol in Cornflakes.
<http://www.lebensmittelwarnung.de/bvl-lmw-de/app/process/warnung/detail18/15459?execution=e3s1> [16.08.2015]

ANONYMUS (2015i): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit – Warnung wegen Überschreitung des Grenzwertes für Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZON) in Paniermehl aus Maisgries.
http://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/01_Aufgaben/04_Schnellwarnsystem/01_aktuelle_rasff_meldungen/03_LM_laufender_monat/lm_schnellwarnsystem_rasff_lm_Zusammenstellung_im_August_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=407 [16.08.2015]

ANONYMUS (2015j): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit – Zulassungen für Notfallsituationen.
http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/02_Genehmigungen/psm_ZugelPSM_genehmigungen_basepage.html [24.08.2015]

ANONYMUS (2015k): Bundesamt für Ernährungssicherheit – Pflanzenschutzmittelregister – Registerauszug – Prosaro.
http://pmg.ages.at/export/pmg/pmg/web/reg/3054_0.html [24.08.2015]

ANONYMUS (2015l): Deutscher Wetterdienst – Wetterlexikon.
<http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html;jsessionid=F64BF1867D83DE880AE958F8F3125FA3.live11042?lv2=101640&lv3=101708> [27.10.2015]

ANONYMUS (2015m): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Agrarmeteorologie Bayern.
<http://www.lfl.bayern.de/service/agrarwetter/> [06.11.2015]

ANONYMUS (2015n): European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO) – Global Database, *Kabatiella zea*.
<https://gd.eppo.int/taxon/KABAZE> [09.11.2015]

ANONYMUS (2015o): European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO) – Global Database, *Setosphaeria turcica*.
<https://gd.eppo.int/taxon/SETOTU>

ANONYMUS (2015p): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Temperatursumme zur Reifeprognose Silomais.
<http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/027541/index.php?regbez=6> [10.11.2015]

ANONYMUS (2015q): Food and Agricultural Organization of the United Nations – Statistics Divisions (FAOSTAT), Food and Agricultural commodities production.
http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities_by_regions/E [16.11.2015]

ANONYMUS (2015r): United States Energy Information Administration. Fuel Ethanol Production.
<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=79&pid=80&aid=1&cid=r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,&syid=2008&eyid=2012&unit=TBPD> [16.11.2015]

ANONYMUS (2015s): Deutsches Maiskomitee. Maisanbaufläche in Deutschland.
<http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland> [15.11.2015]

ANONYMUS (2015t): Statistisches Bundesamt. Landwirtschaftlich genutzte Fläche nach ausgewählten Hauptnutzungsarten.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/LandwirtschaftlicheBetriebe/Tabellen/LandwirtschaftlicheBetriebeFlaechenHauptnutzungsarten.html> [15.11.2015]

ANONYMUS (2015u): Statistikamt Nord. Landwirtschaftliche Bodennutzung in Schleswig-Holstein.
[http://www.statistik-nord.de/daten/landwirtschaft/bodennutzung/cat_2/0/tx_stancategories_products/?tx_stadocuments_pi_list\[uid\]=1004&cHash=0956f4d2adb92f1e6d1ed4e73e15d8ff](http://www.statistik-nord.de/daten/landwirtschaft/bodennutzung/cat_2/0/tx_stancategories_products/?tx_stadocuments_pi_list[uid]=1004&cHash=0956f4d2adb92f1e6d1ed4e73e15d8ff) [15.11.2015]

ARNY, D. C.; SMALLEY, E. B.; ULLSTRUP, A. J.; WOLF, G. L.; AHRENS, R. W. (1971): Eyespot of maize, a disease new to North America. *Phytopathology* 61, 54-57.

ATOUI, A.; EL KHOURY, A.; KALLASSY, M.; LEBRIHI, A. (2001): Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize. *International Journal of Food Microbiology* 154, 59-65.

- AUST, H. J.; HAU, B. (1983): Die Latenzzeit von *Septoria nodorum* in Abhängigkeit von der ontogenetisch bedingten Anfälligkeit des Sommerweizens. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 90, 55-62.
- BALBA, H. (2007): Review of strobilurine fungicide chemicals. Journal of Environmental Science and Health, Part B., 42, 441-451.
- BALINT-KURTI, P. J.; JOHAL, G. S. (2009): Maize disease resistance. In: Handbook of maize: Its biology. (BENNETZEN, J. L; HAKE, S. C., ed.) Springer Science and Business Media, Dordrecht, 229-250.
- BARTELS, G.; RODEMANN, B. (2003): Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen im Getreide. Gesunde Pflanzen 55 (5), 125-133.
- BECK, R. & J. LEPSCHY (2000): Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989 – 1999. Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau 3, 39-48.
- BECK, C. L. (2004): Einfluss von Fungiziden auf die Ertragsphysiologie von Weizen. Dissertation Universität Bonn.
- BECKMAN, P. M.; PAYNE, G. A. (1982): External growth, penetration, and development of *Cercospora zea-maydis* in corn leaves. Phytopathology 72, 810-815.
- BERGER, R. D. (1970): Forecasting *Helminthosporium turcicum* attacks in Florida sweetcorn. Phytopathology 60, 1284.
- BERGER, R. D. (1972): Timing of aerially applied sprays to control corn blight. Florida Agricultural Experiment Station Journal Series 4611, 141-143.
- BERGER, R. D. (1973): *Helminthosporium turcicum* lesion numbers related to numbers of trapped spores and fungicide sprays. Phytopathology 63, 930-933.
- BERGER, R. D.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIN, L. (1997): Lesion expansion as an epidemic component. Phytopathology 87, 1005-1013.
- BERQUIST, R. R.; MASIAS, O. R. (1974): Physiologic specialization in *Trichometasphaeria turcica* f. sp. *zea* and *Trichometasphaeria turcica* f. sp. *sorghii* in Hawaii. Phytopathology 64, 645-649.
- BESENHOFER, G.; ZEDERBAUER, R. (2002): *Turcicum*-Blattflecken – Eine epidemische Krankheit in Österreich? Mais 29 (1), 24-25.
- BIRR, T. (2013): Überregionales Monitoring zur Epidemie- und Schadensdynamik von *Fusarium*-erregern sowie Strategien zur Befalls- und Risikominimierung der Mykotoxinbelastung in der Weizen- und Maiskultur Schleswig-Holsteins (2008 – 2012). Dissertation, Universität Kiel.
- BLANDINO, M.; GALEAZZI, M.; SAVOIA, W.; REYNERI, A. (2012): Timing of azoxystrobin + propanilazole application on maize to control Northern Corn Leaf Blight and maximize grain yield. Field Crops Research 139, 20-29.
- BOHM, H., GLAESER, G. (1979): Bericht über das Auftreten wichtiger Krankheiten und Schädlinge an Kulturpflanzen in Österreich im Jahre 1977. Pflanzenschutzberichte 45, 145-151.

- BOOSALIS, M. G.; SUMNER, D. R.; RAO, A. S. (1967): Overwintering of conidia of *Helminthosporium turcicum* on corn residue and in soil in Nebraska. *Phytopathology* 57, 990-996.
- BOOTHROYD, C. W. (1977): *Kabatiella* eyespot in a comparison of no-plow and conventional tillage. In: Proceedings of the 32nd Northeastern Corn Improvement Conference, New York, 11.-12.02.1977.
- BORCHARDT, D. S.; WELZ, H. G.; GEIGER, H. H. (1998): Genetic structure of *Setosphaeria turcica* populations in tropical and temperate climates. *Phytopathology* 88, 322-329.
- BORNEMANN, L.; STEINGRÖVER, P. (2015): Blattkrankheiten im Mais – Anbausysteme optimieren. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Bremervörde.
<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/506/article/27571.html>
[10.08.2015]
- BOTTALICO, A.; VISCONTI, A.; LOGRIECO, A.; SOLFRIZZO, M.; MIROCHA, C. J. (1985): Occurrence of zearalenols (diastereomeric mixture) in corn stalk rot and their production by associated *Fusarium* species. *Applied and Environmental Microbiology* 49, 547-551.
- BOTTALICO, A. (1998): *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in *European Journal of Plant Pathology* 80, 85-103.
- BOUTRIF, E.; CANET, C. (1998): Mykotoxin prevention and control: FAO programmes. *Revue de Médecine Vétérinaire* 129 (6), 681-694.
- BOWEN, K. L.; PEDERSEN, W. L. (1988): Effects of propiconazole on *Exserohilum turcicum* in laboratory and field studies. *Plant disease* 72 (10), 847-850.
- BRENNAN, J.M.; FAGAN, B.; VAN MAANEN, A.; COOKE, B.M.; DOOHAN, F.M. (2003) Studies on in vitro growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109, 577-587.
- BRETZ, F.; HOTHORN, T.; WESTFALL, P. (2011): Multiple comparisons using R. Chapman and Hall, CRC, London.
- CAMOCHENA, R. C.; DOS SANTOS, I.; MAZARO, S. M. (2008): Escala diagramática para avaliação da severidade da Mancha Ocular em milho causada por *Kabatiella zae*. *Ciência Rural*, Santa Maria 38 (8), 2124-2131.
- CAMPBELL, K. A. G.; LIPPS P. E. (1998) Allocation of resources: sources of variation in *Fusarium* head blight screening nurseries. *Phytopathology* 88, 1078-86.
- CARSON, M. L.; VAN DYKE, C. G. (1994): Effect of light and temperature on expression of partial resistance of maize to *Exserohilum turcicum*. *Plant disease* 78 (5), 519-522.
- CASSINI, R. (1971): *Helminthosporium maydis*, race T and *Kabatiella zae*, two new pathogens of maize in France. *Bulletin Technique d'Information* 264/265, 1067-1072.
- CASSINI, R.; GAY, J. P. (1973): Possibilities of control of maize diseases by fungicide treatments during growth. *Phytiatrie-Phytopharmacie* 22 (1), 19-26.
- CHELKOWSKI, J. (1998): Distribution of *Fusarium* species and their mycotoxins in cereal grains. In: *Mycotoxins in Agriculture and Food Safety*, (Sinha, K. K.; Bhatnagar, D., ed.), Marcel Dekker AG, New York, Basel, Hongkong.

- CHEZ, D.; HUDON, M. (1975): *Kabatiella zaeae*, a new maize pathogen in Quebec. *Phytoprotection* 56 (2), 90-95.
- CHIANG, M. S.; HUDON, M.; DEVAUX, A. (1990): Inheritance of resistance to *Kabatiella* Eyespot of maize. *Phytoprotection* 71, 107-112.
- CHINCHILLA, C. M. (1986): Effects of four tillage treatments on Eyespot (*Kabatiella zaeae* Narita and Hiratsuka) development and grain yield in maize. *Turrialba* 36 (4), 427-430.
- CHINCHILLA, C. M. (1987a): Survival of *Kabatiella zaeae* Narita and Hiratsuka in maize residues. *Turrialba* 37 (4), 311-316.
- CHINCHILLA, C. M. (1987b): Relationship between host maturity and reaction to the Eyespot disease caused by *Kabatiella zaeae* Narita and Hiratsuka on maize. *Turrialba* 37 (3), 229-237.
- CHINCHILLA, C. M. (1987c): Eyespot (*Kabatiella zaeae* Narita and Hiratsuka) disease progression curves in ten maize hybrids. *Turrialba* 37 (1), 37-43.
- CLEMENTS, M. J.; KLEINSCHMIDT, C. E.; MARAGOS, C. M.; PATAKY, J. K.; WHITE, D. G. (2003): Evaluation of inoculation techniques for *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of corn. *Plant Disease* 87, 147-153.
- DAAMEN, R. A. (1986a): Measures of disease intensity in powdery mildew (*Erysiphe graminis*) of winter wheat. 1. Errors in estimating pustule number. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 92 (5), 197-206.
- DAAMEN, R. A. (1986b): Measures of disease intensity in powdery mildew (*Erysiphe graminis*) of winter wheat. 2. Relationships and errors of estimation of pustule number, incidence and severity. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 92 (5), 207-222.
- DA COSTA, D. I.; BOLLER, W. (2008): Aerial and ground applications of fungicide for the control of leaf diseases in maize crop. In: Proceedings of CICR – International Conference of Agricultural Engineering XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Brazil, August 31 – September 4.
- DAL BELLO, G. M.; MÓNACO, C. I.; SIMÓN, M. R. (2002): Biological control of seedling blight of wheat caused by *Fusarium graminearum* with beneficial rhizosphere microorganism. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18, 627-636.
- DAUB, M. E.; CHUNG, K. R. (2007): Cercosporin: A photoactivated toxin in plant disease. The American Phytopathological Society. www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/Cercosporin.aspx [26.10.2015]
- DE CURTIS, F.; DE CICCIO, V.; HAIDUKOWSKI, M.; PASCALE, M.; SOMMA, S.; MORETTI, A. (2011): Effects of agrochemical treatments on the occurrence of *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of maize in Southern Italy. *Field Crops Research* 123, 161-169.
- DE LA CAMPA, R.; HOOKER, D. C.; MILLER, J. D.; SCHAAFSMA, A. W.; HAMMOND, B. G. (2005): Modeling effects of environment, insect damage, and *Bt* genotypes on fumonisin accumulation in maize in Argentina and the Philippines. *Mycopathologica* 159, 539-552.
- DE ROSSI, R. L.; REIS, E. M. (2014): Semi-selective culture medium for *Exserohilum turcicum* isolation from corn seeds. *Summa Phytopathologica* 40 (2), 163-167.

- DE WOLF, E. D.; MADDEN, L. V.; LIPPS, P. E. (2003) Risk assessment models for wheat *Fusarium* head blight epidemics based on within-season weather data. *Phytopathology* 93:428-435.
- DESJARDINS, A. E.; HOHN, T. M.; MCCORMICK S. P. (1993): Trichothecene biosynthesis in *Fusarium* species: chemistry, genetics, and significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 57 (3), 595-604.
- DESJARDINS, A. E. (2006): *Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA.
- DILL-MACKY, R.; JONES, R. K. (2000): The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease* 84, 71-76.
- DINGLEY, J. M. (1973): 'Eyespot disease' of maize in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 16, 325-328.
- DÖLL, S.; DÄNICKE, S. (2011): The *Fusarium* toxins Deoxynivalenol (DON) and Zearalenone (ZON) in animal feeding. *Preventive Veterinary Medicine* 102 (2); 132-145.
- DOOHAN, F. M.; BRENNAN, J., COOKE, B. M. (2003): Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. In: *Epidemiology of Mycotoxin Producing Fungi*, (X. XU, J. A. BAILEY, B. M. COOKE, eds.), Springer Science + Business Media, Dordrecht, 755-768.
- DRECHSLER, C. (1923): Some graminicolons species of *Helminthosporium*: 1. *Journal of Agricultural Research* 24 (8), 641-739.
- DUNCAN, K.E.; HOWARD, R.J. (2010) Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 23 (1), 6–16.
- EARLE, E. D. (1983): The use of phytotoxins for in vitro selection of disease-resistant plants. In: *Cell and tissue culture techniques for cereal crop improvement*. Science Press, Beijing, China, 265-278.
- EDWARDS, G.; WALKER, D. (1983): C3, C4: Mechanisms, and cellular and environmental regulation, of photosynthesis. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, California.
- EIK, K.; HANWAY, J. J. (1966): Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agronomy Journal* 58, 16-18.
- ELLIOTT, C; JENKINS, M. T. (1946): *Helminthosporium turcicum* leaf blight of corn. *Phytopathology* 36, 660-666.
- ELLNER, F. M. (2005): Results of long-term field studies into the effect of strobilurin containing fungicides on the production of mycotoxins in several winter wheat varieties. *Mycotoxin Research* 21 (2), 112-115.
- ERHARDT, N. (2008): *Turcicum: Die Maissorte nach der Blattgesundheit wählen?* Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.
www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/mais/sorten-turcium.htm
[01.08.2015]
- ERIKSEN, G. S. (2003): *Metabolism and Toxicity of Trichothecenes*. Dissertation, Universität Uppsala.

- ERVEN, T. (2014): Blattkrankheiten im Mais: Aktueller Stand zu Auftreten, Diagnose und Bekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen* 66, 216-217.
- ERVEN, T. (2015): Maispflanzen schützen mit Fungiziden. *Mais* 42 (2), 62.
- ESKER, P. (2010): Standard area diagrams – Northern corn leaf blight
http://fyi.uwex.edu/fieldcroppathology/files/2010/09/Diagram_EyespotCorn.pdf [24.04.2012]
- ESKER, P. (2011): Standard area diagrams – Eyespot of corn
http://fyi.uwex.edu/fieldcroppathology/files/2011/03/Diagrams_NCLB_Corn.pdf [24.04.2012]
- ESTEVEZ, A. (1984): Incidence of diseases under field conditions on maize (*Zea mays*) cultivars in Dourados. *Fitopatologia Brasileira*, 9, 155-160.
- ETTLE, T.; SCHWARZ, F. (2003): Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. *Animal Research* 52 (4), 337-349.
- FISHER, D. E.; HOOKER, A. L.; LIM, S. M.; SMITH, D. R. (1976): Leaf infection and yield loss caused by four *Helminthosporium* leaf diseases of corn. *Phytopathology* 66, 942-944.
- FLETT, B.; NOWELL, D. (1995): First report of maize eyespot caused by *Aureobasidium zeae* in South Africa. *African Plant Protection* 1, 49-50.
- FOUROUD, N. A.; EUDES, F. (2009): Trichothecenes in cereal grains. *International Journal of Molecular Sciences* 10 (1), 147-173.
- FOYER, C. H.; VANACKER, H.; GOMÉZ, L. D.; HARBINSON, J. (2002): Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures: review. *Plant Physiology and Biochemistry* 40, 659-668.
- FREZZIE, M.J. (1972): Maize eyespot (*Kabatiella zeae*) and maize Yellow Leaf Blight (*Phyllosticta zeae*) in Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 5, 101-109.
- FULLERTON, R. A.; FLETCHER, J. D. (1974): Observations on the survival of *Drechslera turcica* in maize debris in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 17 (2), 153-155.
- GOSWAMI, R. S.; KISTLER, H. C. (2004): Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5, 515-525.
- GOWDA, K. T. P.; SHETTY, H. S.; GOWDA, B. J.; PRAKASH, H. S.; LAL, S. (1992): Comparison of two methods for assessment of yield loss due to *Turcicum* Leaf Blight of maize. *Indian Phytopathology* 45 (3), 316-320.
- GROH, S. (2013): Blattkrankheiten im Mais – Welche Möglichkeiten bietet die Züchtung? *Mais* 40 (3), 128-130.
- HÄNI, F. J.; POPOW, G.; REINHARD, H.; SCHWARZ, A.; VOEGELI, U. (2008): Pflanzenschutz im nachhaltigen Ackerbau. Edition LMZ, 7. Auflage.
- HAIKOWSKI, M.; PASCALE, M.; PERRONE, G.; PANCALDI, D.; CAMPAGNA, C.; VISCONTI, A. (2005): Effect of fungicides on the development of *Fusarium* head blight, yield and deoxynivalenol accumulation in wheat inoculated under field conditions with *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum*. *Journal of the Science and Food of Agriculture* 85, 191-198.

- HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; VON TIEDEMANN, A. (2007): Phytomedizin – Grundwissen Bachelor. Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- HANEKAMP, H.; KESSEL, B.; KOOPMANN, B.; VON TIEDEMANN, A. (2013): *Turcicum*-Blattdürre an Mais: Rassenbestimmung und regionales Auftreten von *Exserohilum turcicum* in Europa. Bericht der 26. Tagung des Arbeitskreises Krankheiten im Getreide und Mais, 28.-29.01.2013 in Braunschweig, Journal für Kulturpflanzen 65, 328.
- HANEKAMP, H.; KESSEL, B.; KOOPMANN, B.; VON TIEDEMANN, A. (2014): Regionale Wirksamkeit rassenspezifischer Resistenzen gegen *Exserohilum turcicum*, dem Erreger der *Turcicum*-Blattdürre im Mais. Bericht der 27. Tagung des Arbeitskreises Krankheiten im Getreide und Mais, 27.-28.01.2014 in Braunschweig, Journal für Kulturpflanzen 66, 215.
- HANHART, H. (2012): Mehr Maisertrag durch Fungizide. Top Agrar 10, 56-60.
- HARLAPUR S. I.; KULKARNI M. S.; WALI, M. C.; KULKARNI, S. (2007): Evaluation of plant extracts, bio agents and fungicides against *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs. causing *Turcicum* Leaf Blight of maize. Karnataka Journal of Agricultural Science 20 (3), 541-544.
- HARLAPUR S. I.; KULKARNI M. S.; KULKARNI, S.; PATIL, B. C. (2009): Assessment of crop loss due to *Turcicum* Leaf Blight caused by *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs in maize. Indian Phytopathology 62 (2), 144-154.
- HARRIS, L. J.; DESJARDINS, A. E.; PLATTNER, R. D.; NICHOLSON, P.; BUTLER, G.; YOUNG, J. C.; WESTON, G.; PROCTOR, R. H.; HOHN, T, M. (1999): Possible role of Trichothecene mycotoxins in virulence of *Fusarium graminearum* in maize. Plant disease 83, 954-960.
- HAUSZ, M.; FRISCHL, G. (1977): Data to the occurrence of *Kabatiella zea* Narita and *Hiratsuka* in Hungary. Novenyvedelem 13, 149-151.
- HERMANIDES-NIJHOF, E. J. (1977): *Aureobasidium* and allied genera. In: DE HOOG, G. S.; HERMANIDES-NIJHOF, E. J. (1977): The black yeast and allied Hyphomycetes. Studies in Mycology 15, Centralbureau voor Schimmelcultures (CBS), Fungal Biodiversity Centre, Utrecht.
- NUTTER, F. W.; ESKER, P. D. (2006): The role of psychophysics in phytopathology: The Weber–Fechner law revisited. European Journal of Plant Pathology 114, 199-213.
- HILTY, J. W.; HADDEN, C. H.; GARDEN, F. T. (1979): Response of maize hybrids and inbred lines to gray leaf spot disease and the effects of yield in Tennessee. Plant Disease Reporter 63, 515-518.
- HILU, H. M.; HOOKER, A. L. (1964): Host-pathogen relationship of *Helminthosporium turcicum* in resistant and susceptible corn seedlings. Phytopathology 54, 570-575.
- HOENISCH, R. W.; DAVIS, R. M. (1994): Relationship between kernel pericarp thickness and susceptibility to *Fusarium* ear rot in field corn. Plant Disease 78, 517–519.
- HOOKE, A. L.; SMILJAKOWIC, H. (1979): Maize breeding for disease resistance. Proceedings of the tenth meeting of the Maize and Sorghum Section of Eucarpia, 17-19 September 1979, Varna, Bulgaria, 157-178.
- HOOKE, D. C.; SCHAAFSMA, A. W. (2005): Agronomic and environmental impacts on concentrations of deoxynivalenol and fumonisin B₁ in corn across Ontario. Canadian Journal of Plant Pathology 27, 347-356.

- HORSFALL, J. G.; BARRATT, R. W. (1945): An improved grading system for measuring plant disease. *Phytopathology* 35, 655.
- HORSFALL, J. G.; DIMOND, A. E. (1957): Interactions of tissue sugar, growth substances and disease susceptibility. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 64, 415-421.
- HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (1978): Pathometry: The measurement of plant disease. In: *Plant Disease: An Advanced Treatise*, vol. 2 (J. G. Horsfall und E. B. Cowling eds.) Academic Press, New York, 120-136.
- HUGGER, H. (2007): *Helminthosporium* meldet sich 2007 zurück. *Innovation* 4, 8-9.
- HUSS, H. (2008): Die Sprengelkrankheit nun auch auf Mais! *Der Pflanzenarzt* 11/12, 6-7.
- IMGRABEN, H. (2002): Die *Turcicum*-Blattdürre – Ein neues Problem. *Innovation* 4, 10-11.
- JENKINS, M. T.; ROBERT, A. L. (1952): Inheritance of resistance to the leaf blight of corn caused by *Helminthosporium turcicum*. *Agronomy Journal* 44, 136-140.
- JØRGENSEN, L. N. (2012): Significant Yield Increases from Control of Leaf Diseases in Maize – an overlooked Problem?! *Outlooks on Pest Management* 23, 162-165.
- JONAS, D. R.; BAKER, R. H. A. (2007): Introductions of non-native plant pathogens into Great Britain 1970 – 2004. *Plant Pathology* 56 (5), 891-910.
- KABEERE, F.; HAMPTON, J. G.; HILL, M. J. (1997): Transmission of *Fusarium graminearum* (Schwabe) from maize seeds to seedlings. *Seed Science Technology* 25, 245-252.
- KAISER, S. A. K. M. (1994): Occurrence of *Kabatiella* eyespot disease of maize at Kalimpong hills – a new record. *Advances in Plant Sciences* 7 (2), 405-406.
- KANUNGO, M.; JOSHI, J. (2014): Impact of Pyraclostrobin (F-500) on crop plants. *Plant Science Today* 1 (3), 174-178.
- KLOPPERS, R.; TWEER, S. (2009): Maize diseases – Northern Corn Leaf Blight fact sheet. Pannar Seed Ltd.
<https://www.plantwise.org/FullTextPDF/2011/20117800335.pdf> [08.08.2015]
- KLÖHN, H. (2011): Populationsdynamische Erhebungen von Weizenpathogenen zur Entwicklung eines lernfähigen, telemetriefähigen Gerätesystems zur Pflanzenschutzoptimierung anhand des Modellpathogens *Septoria tritici*. Dissertation, Universität Kiel.
- KNOX-DAVIES, P. (1974): Penetration of maize leaves by *Helminthosporium turcicum*. *Phytopathology* 64, 1468-1470.
- KOCH, H. (1980): Räumliche Befallsmuster beim echten Mehltau der Gerste. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 87 (12), 731-737.
- KRÄMER, W.; SCHIRMER, U. (2007): *Modern Crop Protection Compounds*. Vol 2, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- KRANZ, J. (1977): A study of maximum severity in plant diseases. In *Travaux dédiés à G. Viennot-Bourgin*. Société française de Phytopathologie, 169-173.
- KRANZ, J. (1996): *Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

- KROPF, U.; SCHLÜTER, K. (2013): Fusarien im norddeutschen Maisanbau nehmen zu. *Mais* 40 (3), 124-127.
- KUPFER, S.; WOLFF, C.; PÖLITZ, B. (2015): Aktuelle Informationen der Pflanzenschutzdienste Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt zum Fungizideinsatz in Mais. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/37118.htm> [24.08.2015]
- LAIRD, N. M.; WARE, J. H. (1982): Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics* 38, 963-074.
- LEACH, C. M.; FULLERTON, R. A.; YOUNG, K. (1977a): Northern Leaf Blight of maize in New Zealand: Release and dispersal of conidia of *Drechslera turcica*. *Phytopathology* 67 (3), 380-387.
- LEACH, C. M.; FULLERTON, R. A.; YOUNG, K. (1977b): Northern leaf blight of maize in New Zealand: Relationship of *Drechslera turcica* airtspora to factors influencing sporulation, conidium development and chlamydospore formation. *Phytopathology* 67 (5), 629-636.
- LEON, L.; ANDERSSON, R. (2007): Mykotoxinscreening in Ernteprodukten aus dem ökologischen Landbau – Abschlussbericht. Fachhochschule Osnabrück, University of Applied Sciences. http://www.soel.de/beratung/downloads/veroeffentlichungen_edv_downloads/bericht%20mykotoxine%201_06.pdf [06.11.2015]
- LEVIC, J. (1987): Inheritance of resistance of the leaves of maize (*Zea mays* L.) to *Kabatiella zea* Narita et Hiratsuka and identifying sources of resistance. *Arhiv za Poljoprivredne Nauke* 48, 173-203.
- LEVY, Y. (1984): The overwintering of *Exserohilum turcicum* in Israel. *Phytoparasitica* 12 (3-4), 177-182.
- LEVY, Y. (1989): Analysis of epidemics of Northern Leaf Blight on sweet corn in Israel. *Phytopathology* 79 (11), 1243-1245.
- LEVY, Y. (1995): Inoculum survival of *Exserohilum turcicum* on corn between and during growing periods. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17, 144-146.
- LEVY, Y.; COHEN, Y. (1980): Sporulation of *Helminthosporium turcicum* on sweet corn: Effects of temperature and dew period. *Canadian Journal of Plant Pathology* 2, 65-69.
- LEVY, Y.; COHEN, Y. (1981): Sporulation of *Helminthosporium turcicum* on sweet corn: Effects of light and sugar. *Physiological Plant Pathology* 18, 17-25.
- LEVY, Y.; COHEN, Y. (1983a): Differential effects of light on spore germination of *Exserohilum turcicum* on corn leaves and corn leaf impressions. *Phytopathology* 73, 249-252.
- LEVY, Y.; COHEN, Y. (1983b): Biotic and environmental factors affecting infection of sweet corn with *Exserohilum turcicum*. *Phytopathology* 73, 722-725.
- LEVY, Y.; PATAKY, J. K. (1992): Epidemiology of Northern Leaf Blight on sweet corn. *Phytoparasitica* 20 (1), 53-66.
- LIPPS, P. E.; PRATT, R. C.; HAKIZA, J. J. (1997): Interaction of HT and partial resistance to *Exserohilum turcicum* in Maize. *Plant disease* 81 (3), 277-282.

- LIPPS, P. E.; MILLS, D. R. (2005): Eyespot disease of corn. Ohio State University Extension. <http://ohioline.osu.edu/ac-fact/0021.html> [11.08.2015]
- LÖFFLER, M.; MIEDANER, T.; KESSEL, B.; OUZUNOVA, M. (2010): Mycotoxin accumulation and corresponding ear rot rating in three maturity groups of European maize inoculated by two *Fusarium* species. *Euphytica* 174, 153-164.
- LOGRIECO, A.; MULÉ, G.; MORETTI, A.; BOTTALICO, A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108, 597-609.
- LOGRIECO, A.; BOTTALICO, A.; MULÉ, G.; MORETTI, A.; PERRONE, G. (2003): Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology* 109, 645-667.
- LUDEWIG, A., KABSCH, U., VERREET, J. A. (2005): Mycotoxin production of 31 *Fusarium graminearum* isolates and aggressiveness against wheat seedlings. *Journal of Plant Diseases and Protection* 112 (2), 124-133.
- MAGAN, N. (2006): Mycotoxin contamination of food in Europe: Early detection and prevention strategies. *Mycopathologia* 162, 245-253.
- MAGG, T.; MELCHINGER, A. E.; KLEIN, D.; BOHN, M. (2002): Relationship between European corn borer resistance and concentration of mycotoxins produced by *Fusarium* spp. in grains of transgenic maize hybrids, their isogenic counterparts, and commercial varieties. *Plant Breeding* 121:146–154
- MAO, W.; LEWIS, J. A.; HEBBAR, P. K.; LUMSDEN, R. D. (1997): Seed treatment with a fungal or a bacterial antagonist for reducing corn damping-off caused by species of *Pythium* and *Fusarium*. *Plant disease* 81 (5), 450-454.
- MARKOV, M. (1966): Can *Trichometasphaeria turcicum* be transmitted through maize seeds? *Revue roumaine de biologie, Série de botanique* 11 (1-3), 139-142.
- MASTEL, K. (2003): Wie anfällig ist Mais gegen *Fusarium*? *Mais* 31 (3), 104-105.
- MELANI, M. D.; CARENA, M. J. (2006): Identification of quantitative trait loci for resistance to Eyespot in maize. North Dakota State University. <https://a-c-s.confex.com/crops/responses/2006am/1152.pdf> [13.08.2015]
- MEREDITH, D. S. (1965): Violent spore release in *Helminthosporium turcicum*. *Phytopathology* 55, 1099-1102.
- MEREDITH, D. S. (1966): Airborne conidia of *Helminthosporium turcicum* in Nebraska. *Phytopathology* 56, 949-952.
- MIEDANER, T. (2012): Mykotoxine in Weizen und Mais – Fusarien erfolgreich vorbeugen. *Agarr Praxis Kompakt*, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- MINERVINI, F.; DELL'AQUILA, M. E. (2008): Zearalenone and Reproductive Function in Farm Animals. *International Journal of Molecular Sciences* 9, 2570-2584.
- MULLEN, J. M. (2007): Plant disease diagnosis. In: *Plant Pathology, Concepts and Laboratory excersises*. 2. Edition. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 456.

- MUNKVOLD, G. P.; HELLMICH R. L.; SHOWERS, W.B. (1997a): Reduced *Fusarium* ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87, 1071–1077.
- MUNKVOLD, G.P.; MCGEE, D.C.; CARLTON, W.M. (1997b) Importance of different pathways for maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology* 87, 209–217.
- MUNKVOLD, G. P.; MARTINSON, C. (2001): Eyespot of corn. Iowa State University – University Extension.
<https://store.extension.iastate.edu/Product/pm963-pdf> [12.08.2015]
- MUNKVOLD, G. P.; O'MARA, J. K. (2002): Laboratory and Growth Chamber Evaluation of Fungicidal Seed Treatments for Maize Seedling Blight Caused by *Fusarium* Species. *Plant Disease* 86 (2), 143-150.
- MUNKVOLD, G. P. (2003): Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *European Journal of Plant Pathology* 109, 705-713.
- NAIK, D. M.; BUSCH, L. V. (1978): Stimulation of *Fusarium graminearum* by maize pollen. *Canadian Journal of Botany* 56, 1113-1117.
- NARITA, T.; HIRATSUKA, Y. (1959): Studies on *Kabatiella zaeae* n. sp., the causal fungus of a new leaf spot disease in corn. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 24 (3), 147-153.
- NELSON, R. R.; TUNG, G. (1973): Influence of some climatic factors on sporulation by an isolate of race T of *Helminthosporium maydis* on a susceptible male sterile corn hybrid. *Plant Disease Reporter* 57, 304-307.
- NGUGI, H. K.; JULIAN, A. M.; KING, S. B.; PEACOCKE, B. J. (2000): Epidemiology of sorghum anthracnose (*Colletotrichum sublineolum*) and leaf blight (*Exserohilum turcicum*) in Kenya. *Plant Pathology* 49, 129-140.
- NICOLAISEN, M.; SUPRONIENĖ, S.; KÆRGAARD NIELSEN, L.; LAZZARO, I.; SPLIID, N. H.; FEJER JUSTESEN, A (2009): Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *Journal of Microbiological Methods* 76, 234-240.
- OBST, A.; LEPSCHY-VON GLEISSENTHALL, J.; BECK, R. (1997): On the etiology of *Fusarium* head blight of wheat in South Germany – Preceding crops, weather conditions for inoculum production and head infection, proneness of the crop to infection and mycotoxin production. *Cereal Research Communications* 25 (3), 699-703.
- OBST, A.; GEHRING, K. (2002): *Getreide – Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter*. Thomas Mann Verlag, Gelsenkirchen.
- ORTEGA, V.; VARRAILLON, T.; DUCLAU, S.; BERTHIE, V.; BOURCIER, M.; SCHULTE, M. (2014): Ein Vorhersagemodell für *Exserohilum turcicum* in Mais. In: 59. Deutsche Pflanzenschutztagung Freiburg, 23.-26.09.2014 – Kurzfassung der Beiträge, Julius-Kühn-Archiv 447, 487.
- PAPST, C.; ZELLNER, J.; VENKATARATNAM, S.; EDER, J. (2007): *Fusarium* – Problematik bei Körnermais (*Zea mays* L.). *Gesunde Pflanzen* 59, 7-16.
- PARRY, D. W.; JENKINSON, P.; MCLEOD, L. (1995) *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - A review. *Plant Pathology* 44, 207-238.

- PASSERINI, G. (1876): La nebbia del granoturco. Bollettino del Comizio Agrario, Parmese 10, 3.
- PATAKY, J. K. (1992): Relationship between yield of sweet corn and Northern Leaf Blight caused by *Exserohilum turcicum*. Phytopathology 82, 370-375.
- PATAKY, J. K.; HEADRICK, J. M.; SUPARYONO (1988): Classification of sweet corn hybrid reactions to Common Rust, Northern Leaf Blight, Stewart's Wilt, and Goss' Wilt and associated yield reductions. Phytopathology 78, 172-178.
- PAUL, P. A.; MADDEN, L. V.; BRADLEY, C. A.; ROBERTSON, A. E.; MUNKVOLD, G. P.; SHANER, G.; WISE, K. A.; MALVICK, D. K.; ALLEN, T. W.; GRYBAUSKAS, A.; VINCELLI, P.; ESKER, P. (2011): Meta-analysis of yield response of hybrid field corn to foliar fungicides in the U.S. Corn Belt. Phytopathology 101, 1122-1132.
- PELMUS, V.; CRAIU, D.; CRAICIU, D. (1986): Effect of some ecological factors on *Helminthosporium turcicum* Pass. On successive maize crops. Probleme de Protectia Plantelor 14 (2), 119-132.
- PENCIC, V., SMILJAKOVIC, H. (1971): Diseases and pests of maize during 1970-1971 in Yugoslavia. Agronomski Glasnik 33 (11/12), 675-682.
- PEDERSEN, J. B.; PERDERSEN, C. A. (2013): Oversigt over Landsforsøgene 2013. Videncentret for Landbrug. Aarhus, Dänemark.
- PERKINS, J. M.; PEDERSEN, W. L. (1987): Disease development and yield losses associated with Northern Leaf Blight on Corn. Plant disease 71 (10), 940-943.
- PLIENEGGER, J.; LEMMENS, M. (2002): Kolbenfäule – Gibt es Sortenunterschiede? Mais 30 (2), 95-97.
- POPE, S. (2009): Infection 'not as bad as was first feared'. Farmers Guardian. <http://www.farmersguardian.com/news/livestock/infection-%E2%80%99not-as-bad-as-was-first-feared%E2%80%99/28336.article> [21.01.2013]
- PRESELLO, D. A.; IGLESIAS, J.; BOTTA, G.; REID, L. M.; LORI, G. A.; EYHÉRABIDE, G. H. (2006): Stability of maize resistance to the ear rots caused by *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides* in Argentinian and Canadian environments. Euphytica 147, 403-407.
- PRONCZUK, M., BOJANOWSKI, J., WARZECHA, R. (1994): Eyespot: a new foliage disease of maize in Poland. Genetica Polonica 5B, 361-366.
- PRONCZUK, M., BOJANOWSKI, J., WARZECHA, R. (2004): Effect of leaf infection by *Kabatiella zeae* on Stank Rot prevalence and grain yield of maize hybrids. Journal of Phytopathology 152, 410-415.
- QIU, L.; YANG, H.; WANG, L.; FAN, S.; GAO, J. (2015): Study on the antibacterial effect of silver nanoparticles on the plant pathogenic fungus *Exserohilum turcicum*. Applied Mechanics and Materials 713-715, 2893-2899.
- RAID, R. N. (1991): Fungicidal control of foliar sweet corn diseases in the presence of high inoculum levels. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 104, 267-270.
- RAMOS, L.; VON TIEDEMANN, A. (2015): Blattkrankheiten an Mais in Deutschland – Gibt es Bekämpfungsmöglichkeiten? Mais 42 (2), 56-61.

- RATH, J.; HERMANN, A.; HÖPPNER, F. (2005): MaisProg – Abreife und Ernte von Silomais schätzen. Mais 32 (3), 94-96.
- RAYMUNDO, A. D.; HOOKER, A. L. (1981): Measuring the relationship between Northern Corn Leaf Blight and yield losses. Plant disease 65, 325-327.
- RAYMUNDO, A. D.; HOOKER, A. L. (1982): Single and combined effects of monogenetic and polygenetic resistance on certain components of Northern Corn Leaf Blight development. Phytopathology 72 (1), 99-103.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B.; ARNY, D. C. (1979): Seed infection of maize (*Zea mays*) by *Kabatiella zaeae*. Plant Disease Reporter 63, 352-354.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B.; ARNY, D. C. (1980): Host range of *Kabatiella zaeae*, causal agent of Eyespot of maize. Phytopathology 70 (6), 485-487.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B.; ARNY, D. C. (1983a): Yield loss of maize caused by *Kabatiella zaeae*. Phytopathology 73, 607-609.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B.; ARNY, D. C. (1983b): Inheritance of resistance in maize to *Kabatiella zaeae*. Crop Science 23 (4), 615-616.
- REID, L. M.; BOLTON, A. T.; HAMILTON, R. I.; WOLDEMARIAM, T.; MATHER, D. E. (1992): Effect of silk age on resistance of maize to *Fusarium graminearum*. Canadian Journal of Plant Pathology 14, 293-298.
- REID, L. M.; HAMILTON, R. I. (1996): Screening maize for resistance to *Gibberella* ear rot. Agriculture and Agri-Food Canada Technical Bulletin 5E.
- REID, L. M.; STEWART, D. W.; HAMILTON, R. I. (1996): A four-year study of the association between gibberella ear rot severity and deoxynivalenol concentration. Journal of Phytopathology 144, 431-436.
- REID, L. M.; SINHA, R. C. (1998): Maize maturity and the development of *Gibberella* Ear Rot symptoms and Deoxynivalenol after inoculation. European Journal of Plant Pathology 104, 147-154.
- REID, L. M.; ZHU, X.; MA, B. L. (2001): Crop rotation and nitrogen effects on maize susceptibility to *Gibberella* (*Fusarium graminearum*) ear rot. Plant and Soil 237, 1-14.
- ROBENS, J.; CARDWELL, K. (2003): The Costs of Mycotoxin Management to the USA: Management of Aflatoxins in the United States. Toxin Reviews – Journal of Toxicology 22, 139-152.
- ROBERT, A. L. (1964): The effect of temperature and relative humidity on longevity of *Trichometasphaeria turcica*. Plant Disease Reporter 48, 943-946.
- ROBERT, A. L.; FINDLEY, W. R. (1952): Diseased corn leaves as a source of infection in artificial and natural epidemics of *Helminthosporium turcicum*. Plant Disease Reporter 36, 9-10.
- RODRIGUEZ-BRLJEVICH, C.; KANOBE, C.; SHANAHAN, J. F.; ROBERTSON, A. E. (2010): Seed treatments enhance photosynthesis in maize seedlings by reducing infection with *Fusarium* spp. and consequent disease development in maize. European Journal of Plant Pathology 126, 343-347.

- ROSNER, J. (2015): Fusariosen und Mykotoxine im Mais – Ein lösbares Problem. <http://bauernzeitung.at/?id=2500,1069946>, [24.08.2015]
- ROSSI, V.; RAVANETTI, A.; PATTORI, E.; GIOSUE, S. (2001) Influence of temperature and humidity on the infection of wheat spikes by some fungi causing *Fusarium* head blight. *Journal of Plant Pathology* 83, 189–198.
- ROTTER, B. A.; PRELUSKY, D. B.; PESTKA, J. J. (1996): Toxicology of deoxynivalenol (Vomitoxin). *Journal of Toxicology and Environmental* 48, 1-34.
- SANSFORD, C.; COOPER, J. (1998): *First record of Eyespot (Kabatiella zae) on maize in the United Kingdom. Pest and Disease Notice* 86, York, UK: Central Science Laboratory.
- SCHAAFSMA, A. W.; HOOKER, D. C. (2007): Climatic models to predict occurrence of *Fusarium* toxins in wheat and maize. *International Journal of Food Microbiology* 119, 116-125.
- SCHAARSCHMIDT, F.; VAAS, L. (2009): Analysis of trials with complex treatment structure using multiple contrast tests. *HortScience* 44, 188-195.
- SCHIER, A. (2008): Mykotoxine im Silo- und Körnermais. *Mais* 35 (2), 64-67.
- SCHLÜTER, K. (2012): Blattkrankheiten bei Mais – was hilft? *Bauernblatt* 51, 56-58.
- SCHLÜTER, K.; KROPF, U.; KARLOVSKY, P. (2006): Untersuchungen zur systemischen Infektion von *Fusarium culmorum* an Winterweizen in Schleswig-Holstein. *Gesunde Pflanzen* 58, 107-116.
- SCHNEIDER, R.; KRÜGER, W. (1972): *Kabatiella zae* Narita et Hiratsuka als Erreger einer Blatffleckenkrankheit an Mais in Deutschland. *Phytopathologische Zeitschrift* 74, 238-248.
- SCHUBIGER, F. X. (2015): *Helminthosporium-* oder *Turcicum-*Blatfflecken. Pflanzenkrankheiten erkennen – verstehen – vermeiden. <http://www.pflanzenkrankheiten.ch/de/krankheiten-an-kulturpflanzen/getreide-mais/mais/160-exserohilum-turcicum-mais> [01.08.2015]
- SCHULTE, M. (2015): Welches Potential birgt der Einsatz von Blatffungiziden im Mais? *Mais* 42 (2), 63.
- SCHULTE, M.; RAMOS-ROMERO, L.; VON TIEDEMANN, A. (2014): Pilzkrankheiten im Mais – erkennen und bekämpfen. Syngenta Agro GmbH, Maintal.
- SEEM, R. C. (1984): Disease incidence and severity relationships. *Annual Review of Phytopathology* 22, 133-150.
- SHURTLEFF, M. C. (1977): *Compendium of corn diseases*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
- SIMPSON, D. R.; WESTON, G. E.; TURNER, J. A.; JENNINGS, P.; NICHOLSON, P. (2001): Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology* 107, 421-431.
- SOBROVA, P.; ADAM, V.; VASATKOVA, A.; BEKLOVA, M.; ZEMAN, L.; KIZEK, R. (2010): Deoxinivalenol and its toxicity. *Interdisciplinary Toxicology* 3 (3), 94-99.
- SOLOMONOWITZ, S.; LEVY, Y.; PATAKY, J. K. (1992): Yield loss of sweet corn cultivars in response to defoliation and to infection by *Exserohilum turcicum*. *Phytoparasitica* 20 (2), 113-121.

- SOLORZANO, C. D.; MALVICK, D. K. (2011): Effects of fungicide treatments on germination, population and yield of maize grown from seed infected with fungal pathogens. *Field Crops Research* 122, 173-178.
- STREETS, R. B. (1984): *The Diagnosis of Plant Diseases*. 8. Auflage. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- SUPRONIENE, S.; MANKEVICIENE, A.; GAURILCIKIENE I. (2011): The effects of fungicides on *Fusarium* spp. and their associated mycotoxins in naturally infected winter wheat grain. *Plant Breeding and Seed Science* 64, 123-130.
- SUTTON, J. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4, 195–209.
- SWEENEY, M. J.; DOBSON, A. D. W. (1998): Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology* 43 (3), 141-158.
- TANG, L.; GAO, Z. G.; YAO, Y.; LIU, X. (2015): Identification and genetic diversity of formae speciales of *Setosphaeria turcica* in China. *Plant Disease* 99 (4), 482-487.
- TEFFERI, A.; HULLUKA, M.; WELZ, H. G. (1996): Assessment of damage and grain yield loss in maize caused by Northern Leaf Blight in western Ethiopia. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 103 (4), 353-363.
- ULLSTRUP, A. J.; MILES, S. R. (1957): The effects of some leaf blights of corn on grain yield. *Phytopathology* 77, 393-398.
- URBAN, K. I. (2012): Befalls- und Ertragskontrolle von Maispathogenen (*Kabatiella zaeae*, *Setosphaeria turcica*, *Fusarium* spp.) im Rahmen einer überregionalen, mehrjährigen Untersuchung. Dissertation, Universität Kiel.
- VAN EGMOND, H. P.; JONKER, M. A. (2004): Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. Food and agriculture Organization (FAO) of the United Nations. *FAO Food and Nutrition Paper* 81, 9.
- VERBEKE, G.; MOLENBERGHS, G. (2000): *Linear mixed models for longitudinal data*. Springer.
- VERREET, J. A. (1995): Grundlagen des integrierten Pflanzenschutzes – Das IPS-Modell Weizen. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 48 (1), 122.
- VERREET, J. A.; KNOTT, J. M. (2012): Das Risiko von *Fusarium* im Mais – Mykotoxine im Erntegut. In: *Mais – Potentiale einer bedeutenden Kultur richtig nutzen!* BASF SE, Limburgerhof.
- VERREET, J. A.; ALGERMISSEN, C.; EDER, J.; ZELLNER, M. (2013): Strategien zur Vermeidung von *Fusarium*-Pilzen und Mykotoxinbildung im Mais. In: *Agrarforschung hat Zukunft – Wissenschaftstagung der LfL. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan*, 177-184.
- VIGIER, B.; REID, L. M.; DWYER, L. M.; STEWART, D. W.; SINHA, R. C.; ARNASON, J. T.; BUTLER, G. (2001): Maize resistance to gibberella ear rot: symptoms, deoxynivalenol, and yield. *Canadian Journal of Plant Pathology* 23 (1), 99-105.
- VIEIRA, R. A.; MESQUINI, R. M.; SILVA, C. N.; HATA, F. T.; TESSMANN, D. J.; SCAPIM, C. A. (2014): A new diagrammatic scale for the assessment of northern corn leaf blight. *Crop Protection* 56, 55-57.

- VITTI, A. J.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; FEGIES, N. C. (1995): Comparative epidemiology of common maize rust and northern corn leaf blight. I. Effect of environment on monocyclic parameters. *Summa Phytopathologica* 21:127-130.
- VOLK, T. (2014): Pilzkrankheiten im Mais: wetterbasierte Infektionsbedingungen und infektionsbezogener Fungizidansatz. In: 59. Deutsche Pflanzenschutztagung Freiburg, 23.-26.09.2014 – Kurzfassung der Beiträge, Julius-Kühn-Archiv 447, 207-208.
- WARFIELD, C. Y.; DAVIS, R. M. (1996): Importance of the husk covering on the susceptibility of corn hybrids to *Fusarium* ear rot. *Plant Disease* 80, 208-210.
- WATHANEEYAWECH, S.; SIRITHUNYA, P.; SMITAMANA, P. (2015): Study of the Host Range of Northern Corn Leaf Blight Disease and Effect of *Exserohilum turcicum* Toxin on Sweet Corn. *Journal of Agricultural Technology* 11 (4), 953-963.
- WELZ, H. G.; BASSETTI, P.; GEIGER, H. H. (1996): *Turcicum*-Blattdürre und Aleppohirse: Zwei Schaderreger auf dem Vormarsch. *Mais* 24 (2), 66-68.
- WHITE, D. (2000): Compendium of corn diseases. 3. Auflage, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
- WINTER, W.; MENZI, M. (1991): Befall und Befallssymptome von Mais-Inzuchtlinien mit wichtigen Pilzkrankheiten. *Landwirtschaft Schweiz* 4 (11), 599-606.
- WISE, K. (2011): Diseases of corn – Northern Corn Leaf Blight. Purdue Extension, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
www.extension.purdue.edu/extmedia/BP/BP-84-W.pdf [01.08.2015]
- WOLF, P. F. J. (1991): Biologie, Epidemiologie, Schadrelevanz, Konzeption für eine integrierte Bekämpfung von *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem., (Perfektstadium *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs.), dem Erreger einer Blattfleckenkrankheit an Weizen. Dissertation, Technische Universität München.
- XU, X. (2003): Effects of environmental conditions on the development of *Fusarium* ear blight. *European Journal of Plant Pathology* 109, 683-689.
- YURLOVA, N. A.; DE HOOG, G. S.; GERRITS VAN DEN ENDE, A. H. G. (1999): Taxonomy of *Aureobasidium* and allied genera. *Studies in Mycology* 43, 63-69.
- ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. (1979): Epidemiology and plant disease management. Oxford University Press, New York, Oxford.
- ZADOKS, J. C., SCHEIN, R. D. (1980): Epidemiology and plant disease management, the known and the needed. In: Comparative Epidemiology: A Tool for Better Disease Management. (J. Palti & J. Kranz, eds.) Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- ZELLNER, M. (2012): Blattfleckenkrankheiten an Mais – Welche pilzliche Erreger kommen im Mais vor? *Mais* 39 (3), 123-125.
- ZELLNER, M.; WAGNER, S.; WEBER, B.; HOFBAUER, J. (2014): LfL Pflanzenschutz – Versuchsergebnisse aus Bayern 2014 – Versuch zur Beurteilung der Notwendigkeit und zur optimalen Terminierung einer Fungizidmaßnahme in Mais.
<http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/ISIP.woa/vb/bericht?nr=63285> [24.08.15]

ZINEDINE, A.; SORIANO, J. M.; MOLTO, J. C.; MANES, J. (2007): Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1–18.

ZIV, O.; FREDERIKSEN, R. A. (1983): Control of foliar diseases with epidermal coating materials. *Plant disease* 67 (2), 212-214.

9. Anhang**Tabelle 1:** Düngungsmaßnahmen Versuchsstandort Hohenschulen, 2012 - 2014

Jahr	Datum	Düngerform	Menge pro ha	Nährstoffmenge [kg/ha]		
				N	P	K
2012	---	Kornkali	300 kg	---	---	120
	28.03.	Schweinegülle	35 m ³	133	102	60
	20.04.	NP 20/20, Unterfuß	150 kg	30	30	---
	23.05.	Kieserit	150 kg	---	---	---
2013	22.04.	Schweinegülle	40 m ³	160	116	68
	24.04.	NP 20/20, Unterfuß	150 kg	30	30	---
	07.06.	Kieserit	150 kg	---	---	---
	01.07.	Mikronährstoffe	1,0 l	---	---	---
		Bittersalz	5 kg	---	---	---
2014	06.03.	Kornkali	160 kg	---	---	160
	13.03.	Kalk	4000 kg	---	---	---
	16.04.	Schweinegülle	45 m ³	126	131	77
	28.04.	NP 18/46, Unterfuß	100 kg	18	46	---
	20.05.	Kieserit	150 kg	---	---	---

Tabelle 2: Herbizidmaßnahmen Versuchsstandort Hohenschulen, 2012 - 2014

Jahr	Datum	Handelsname	Aufwand- menge [l/ha]	Wirkstoff	Aktiv- substanz [g/l; g/kg]
2012	22.05.	Clio Super	0,75	Topramezone	32
				Dimethenamid-P	538
	31.05.	Zeagran Ultimate	0,75	Bromoxynil	100
				Terbuthylazin	250
				Topramezone	32
				Dimethenamid-P	538
2013	17.05.	Clio Super	0,7	Topramezone	32
				Dimethenamid-P	538
				Zeagran Ultimate	100
	05.06.	Clio Super	0,7	Bromoxynil	100
				Terbuthylazin	250
				Topramezone	32
	07.06.	Arrat (Teilfläche)	0,2	Topramezone	32
				Dimethenamid-P	538
				Zeagran Ultimate	100
	07.06.	Dash (Teilfläche)	1,0	Bromoxynil	100
				Terbuthylazin	250
				Topramezone	32
07.06.	Kelvin	0,5	Nicosulfuron	40	
			Topramezone	32	
			Dimethenamid-P	538	
2014	20.05.	Clio Super	0,7	Bromoxynil	100
				Terbuthylazin	250
				Topramezone	32
	10.06.	Clio Super	0,7	Topramezone	32
				Dimethenamid-P	538
				Zeagran Ultimate	100
	10.06.	Arrat (Teilfläche)	0,2	Bromoxynil	100
				Terbuthylazin	250
				Topramezone	32
10.06.	Dash (Teilfläche)	1,0	Nicosulfuron	40	
			Topramezone	32	
			Dimethenamid-P	538	
10.06.	Arrat (Teilfläche)	0,2	Tritosulfuron	250	
			Dicamba	500	
			Topramezone	32	
10.06.	Dash (Teilfläche)	1,0	(FHS)		
			Nicosulfuron	40	
			Topramezone	32	

Tabelle 3: Düngungsmaßnahmen Versuchsstandort Reding, 2012 - 2014

Jahr	Düngerform	Menge pro ha	Nährstoffmenge [kg/ha]			
			N	P	K	
2012	jeweils	Kornkali	250 kg	---	---	100
-						
2014		Urea S	470 kg	180	---	---

Tabelle 4: Herbizidmaßnahmen Versuchsstandort Reding, 2012 - 2014

Jahr	Handelsname	Aufwandmenge [l/ha]	Wirkstoff	Aktivsubstanz [g/l; g/kg]	
2012					
-	jeweils	Clio Super	1,25	Topramezone	32
2014					
				Dimethenamid-P	538
		Zeagran Ultimate	1,25	Bromoxynil	100
				Terbutylazin	250

Tabelle 5: N-Düngungsmaßnahmen LfL-Projekt 2012

Standort	Datum	Düngerform	Menge Stickstoff [kg/ha]
Frankendorf	25.04.	NP 20/20	30
	27.04.	ENTEC	130
Neuhof	20.04.	NP 20/20	30
	26.04.	Kalkammonsalpeter	100
Straßmoos	18.04.	Alzon 47 N	110
		Biogasgärrest	80
	20.04.	NP 20/20	30
	12.04.	Rindergülle	60
Regenstauf	16.04.	AHL	80
	18.04.	NP 20/20	30
Ehlheim	28.04.	NP 20/20	30
	24.05.	Kalkammonsalpeter	30
Günzburg	29.04.	NP 20/20	30
	02.05.	AHL	130
Thann	25.04.	ENTEC	130
	27.04.	NP 20/20	30
	31.05.	Kalkammonsalpeter	20
	25.04.	NP 20/20	30
Reith	22.05.	Kalkammonsalpeter	110
	30.04.	NP 20/20	32
Inzing	11.05.	Kalkammonsalpeter	100
	07.04.	Hühnergülle	110
Sengkofen	10.04.	Harnstoff 46	55
	17.04.	NP 20/20	30
Schwarzenau	25.04.	Kalkammonsalpeter	70

Tabelle 6: Herbizidmaßnahmen LfL-Projekt 2012

Standort	Datum	Handelsname	Aufwandmenge [l/ha; kg/ha]
Frankendorf	22.05.	Clio Super	1,5
		Zeagran Ultimate	1,5
Neuhof	22.05.	Calaris	1,5
		Dual Gold	1,25
Straßmoos	08.05.	Calaris	0,75
		Dual Gold	0,63
	23.05.	Calaris	0,75
		Dual Gold	0,63
Regenstauf	11.05.	Spectrum	1,0
		Clio Star	1,0
Ehlheim	25.05.	Sucessor T	3,0
		Laudis	2,0
	09.07.	Steward	0,13
Günzburg	22.05.	Laudis	1,8
		Sucessor T	2,7
	22.05.	Clio Super	1,5
Thann	22.05.	Zeagran Ultimate	1,5
		Clio Super	1,5
Reith	21.05.	Zeagran Ultimate	1,5
		Clio Super	1,5
Inzing	04.05.	Gardo Gold	2,5
		Terano	0,7
	11.05.	Callisto	0,7
Gardo Gold		3,0	
Sengkofen	03.07.	Steward	0,13
	29.05.	Dual Gold	1,25
		Calaris	1,5
Schwarzenau	09.07.	Steward	0,13

Tabelle 7: N-Düngungsmaßnahmen LfL-Projekt 2013

Standort	Datum	Düngerform	Menge Stickstoff [kg/ha]
Frankendorf	24.04.	NP 20/20	30
	29.04.	ENTEC	120
Straßmoos	24.04.	Alzon 47 N	150
	29.04.	NP 20/20	40
Regenstauf	16.04.	ENTEC	80
		AHL	50
		NP 20/20	35
Ehlheim	26.04.	NP 20/20	35
	20.06.	Kalkammonsalpeter	95
Günzburg	02.05.	NP 20/20	30
		AHL	90
Euerfeld	15.04.	Harnstoff 46	80
	17.04.	NP 20/20	30
	08.05.	Kalkammonsalpeter	30
Reith	18.04.	NP 20/20	35
	22.05.	Kalkammonsalpeter	110
Inzing	18.04.	NP 20/20	35
	09.05.	Kalkammonsalpeter	120

Tabelle 8: Herbizidmaßnahmen LfL-Projekt 2013

Standort	Datum	Handelsname	Aufwandmenge [l/ha; kg/ha]
Frankendorf	07.06.	Clio Super	1,5
		Zeagran Ultimate	1,5
Straßmoos	16.05.	Calaris	0,75
		Dual Gold	0,63
	08.06.	Calaris	0,75
		Dual Gold	0,63
Regenstauf	16.05.	Bromoxynil 325	0,4
		Laudis	1,6
Ehlheim	06.06.	Aspect	1,5
		Laudis	2,0
	23.07.	Steward	0,13
Günzburg	28.05.	Laudis	1,7
		Successor T	2,5
	12.07.	Steward	0,13
Euerfeld	12.06.	Calaris	1,5
		Dual Gold	1,25
	25.07.	Steward	0,13
Reith	09.05.	Callisto	1,0
		Gardo Gold	4,0
Inzing	09.05.	Callisto	0,8
		Gardo Gold	3,0

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J.-A. Verreet, der es mir ermöglicht hat, am Institut für Phytopathologie in Kiel meine Dissertation anzufertigen. Herrn Prof. Dr. Cai danke ich für die Übernahme des Korreferates. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und die Hilfe bei jeglichen Fragen zu Literaturquellen danke ich PD Dr. Jens Aumann. Im Bereich der Statistik danke ich PD Dr. Mario Hasler für die Hilfe bei der Verrechnung der umfangreichen Datensätze. Da die Mykotoxinanalyse einen wesentlichen Teil dieser Arbeit ausgemacht hat, danke ich ganz herzlich Herrn Dr. Jürgen Knott und vor allem Herrn Dr. Tim Birr für die große Unterstützung. Die nicht minderwichtige Probenaufbereitung wurde hauptsächlich durch Bettina Bastian realisiert. Vielen Dank für die Bearbeitung von nicht endenden Probenmengen. Im Bereich der DNA-Analyse bedanke ich mich vor allem bei Susanne Kleingarn für die Hilfe bei der qPCR und den wissenschaftlichen Hilfskräften Lena, Julia, Carmen, Susanne und Jannika für die Aufbereitung der Proben. Des Weiteren danke ich Michael Wingen für die Unterstützung bei technischen Fragen, sowie bei der Lösung jedweder Probleme im logistischen Bereich. Herrn Dr. Holger Klink danke ich für die Diskussionsbereitschaft sowie für die Hilfe bei der Kommunikation mit Projektpartnern. Vielen Dank auch an das weitere Personal des Instituts Susanne Hermann und Andrea Ulrich. Nicht zuletzt konnten die von mir betreuten Bachelor- und Masterarbeiten zum Wissensgewinn in dem behandelten Themengebiet beitragen. Herzlichen Dank dafür an Heike, Harm, Tolke, Elisabeth, Paul, Carolin und Katharina für die gute Zusammenarbeit. Bei meinen Kondoktoranden Franziska, Kathrin, Wolfgang, Barah, Christiane, Gesine, Georg, Wanja, Julian und Andreas möchte ich mich für die schöne Zeit im Institut bedanken. Besonderer Dank geht dabei an Christian Engel für die Diskussionsbereitschaft zu allen Themen, für die Motivation in schlechten Zeiten und nicht zuletzt für die langjährige Freundschaft. Keine agrarwissenschaftliche Arbeit ohne Feldversuche: Dazu Dank an das Team des Versuchsgutes Hohenschulen, allen voran an Rüdiger Ströh. Dank an Familie Georg Grill für die Versuchsfläche und die nette Gastfreundschaft am Standort Reding in Bayern. Für die Realisierung der Maisversuchsspritze danke ich Boje Musfeldt von Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik. Vielen Dank an Dr. Jens Marr sowie Dr. Tobias Erven von der BASF für die Unterstützung in Teilen des Projektes. Für die Hilfe im diagnostischen Teil dieser Arbeit danke ich ganz herzlich Herrn Dr. John Bryan Speakman. Des Weiteren danke ich Dr. Helmut Tischner und seinen Kollegen von der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising und an den anderen Standorten. Vielen Dank an Ghita Cordsen Nielsen sowie den weiteren dänischen Mitarbeitern für die gute Zusammenarbeit. Ein ganz großer Dank geht an meine Familie, besonders an meine Eltern für die immerwährende Unterstützung in allen Lebensphasen und ganz besonders an meine liebe Dania für die liebevolle Geduld während der Erstellung dieser Arbeit.

Curriculum vitae

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Christoph Algermissen
Geburtstag und -ort: 12.10.1983 in Hildesheim
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

HOCHSCHULBILDUNG/PROMOTION

03/2012 – 01/2016 Promotionsstudium, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

10/2006 – 08/2011 Studium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität zu Göttingen, Fachrichtung Pflanzenproduktion

08/2011 Abschluss Master of Science
Titel der Masterthesis: „Untersuchungen zur Insektizidresistenz von *Myzus persicae* mittels biologischer und biochemischer Verfahren“

05/2009 Abschluss Bachelor of Science
Titel der Bachelorthesis: „Bedeutung von Wurzelinfektionen durch *Sclerotinia sclerotiorum* an Winterraps“

BERUFSAUSBILDUNG

07/2004 – 07/2006 Berufsausbildung zum Landwirt

GRUNDWEHRDIENST

10/2003 – 06/2004 Grundwehrdienst Weißenfels/Berlin

SCHULABSCHLUSS

06/2003 Abitur, Michelsenschule Hildesheim

PRAKTIKA

07/2003 – 09/2003 Kirsten und Norbert Bruns GbR, Salzgitter-Lichtenberg

07/2006 – 09/2006 Progranus GbR, Ditterke

07/2007 – 09/2007 Agro Service Lensahn, Petersdorf

02/2008 – 04/2008 N.U. Agrar GmbH, Schackenthal

07/2008 – 10/2008 Güterkooperation Erpernborg – Alme – Ringelsbruch, Büren

04/2009 – 06/2009 Hanse Agro Beratung & Entwicklung GmbH, Gettorf

07/2009 – 10/2009 Güterkooperation Erpernborg – Alme – Ringelsbruch, Büren

07/2010 – 09/2010 Landbau Service OHG, Altbülk

10/2010 – 12/2010 Bayer CropScience AG, Monheim

09/2011 – 10/2011 Agro Service Lensahn, Petersdorf
