Überregionale Studien zum Einfluss von Witterungsparametern auf die Epidemiologie und Schadensdynamik von Maispathogenen (Kabatiella zeae, 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

tergelegt 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
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 Kabatiella zeae ............................................................................................................ 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 Exserohilum turcicum............................................................................................... 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 Fusarium 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
## Inhaltsverzeichnis

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kapitel</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.1.3 Versuchsstandorte des LfL-Projektes in Bayern</td>
<td>33</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2 Witterungsdaten</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2.1 Meteorologische Messstationen an den Standorten Hohenschulen und Reding</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2.2 Agrarmeteorologisches Messnetz der LfL</td>
<td>36</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2.3 Berechnung der Temperatursumme</td>
<td>37</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3 Versuchsaufbau und Applikationstechnik</td>
<td>37</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3.1 Standorte Hohenschulen und Reding</td>
<td>37</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3.2 Standorte des LfL-Projektes</td>
<td>38</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4 Bonitur der Blattpathogene</td>
<td>38</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5 Maissorten und Anbauumfang</td>
<td>40</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6 Fungizide und Applikationstechnik</td>
<td>42</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7 Probenaufbereitung und Trockenmassebestimmung</td>
<td>44</td>
</tr>
<tr>
<td>3.8 Materialien zur Laboranalyse</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>3.8.1 Technische Geräte und Verbrauchsmaterialien</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>3.8.2 Chemikalien</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>3.9 Mykotoxinanalyse</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>3.10 Differentialdiagnose der Blattpathogene im Labor</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>3.11 Statistische Analysen</td>
<td>47</td>
</tr>
<tr>
<td>4. Ergebnisse</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1 Versuchsstandort Hohenschulen (Schleswig-Holstein 2012 – 2014)</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.1 Witterung Hohenschulen</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten</td>
<td>54</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3 Populationsdynamik von <em>Kabatiella zeae</em></td>
<td>55</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3.2 Populationsaufbau von <em>Kabatiella zeae</em></td>
<td>63</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke</td>
<td>65</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von <em>Kabatiella zeae</em></td>
<td>68</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von <em>Kabatiella zeae</em> und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte</td>
<td>76</td>
</tr>
</tbody>
</table>
4.1.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungseignissen 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 Exserohilum turcicum .................................... 96

4.2.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes ...................... 97

4.2.3.2 Populationsaufbau von Exserohilum turcicum .................................... 99

4.2.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke .......... 102

4.2.3.4 Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung von Exserohilum turcicum .... 105

4.2.3.5 Einfluss von Fungizidapplikationen auf die Entwicklung von Exserohilum turcicum und die Gesamtnekrotisierung zur Ernte ........................................ 107

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

Tab. 1: Taxonomische Einordnung von *Kabatiella zeae* (ANONYMUS, 2015n) .................................. 3
Tab. 2: Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von *K. zeae* .......................................................................................................................... 7
Tab. 3: Taxonomische Einordnung von *Exserohilum turcicum* (anamorph) (ANONYMUS, 2015o) ................................................................................................................................. 9
Tab. 4: Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von *E. turcicum* ................................................................................................................................. 15
Tab. 5: Grenzwerte für die *Fusarium*-Toxine DON und ZEA in Lebensmitteln (ANONYMUS, 2007) ........................................................................................................................................... 24
Tab. 6: Richtwerte für die *Fusarium*-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 Trockensubstanzzgehaltes 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
<table>
<thead>
<tr>
<th>Tabellenverzeichnis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Tab. 18</strong>: 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</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 19</strong>: Daten zu den Niederschlagsereignissen der Witterungsszenarien 3 und 4 aus Abb. 38 und Abb. 39 ..................................................................................................................70</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 20</strong>: Anzahl von spezifischen Witterungseignissen pro Monat, definiert als rel. Luftfeuchtigkeit ≥ 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 Silomaisenernte ..........................................................75</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 21</strong>: 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</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 22</strong>: 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</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 23</strong>: Gleichungen der Trendlinien aus den Abb. 73 und Abb. 74 mit errechnetem Bestimmtheitsmaß R² aus dem Verhältnis von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke; die letzten beiden Spalten zeigen markante Punkte des Kurvenverlaufes ..........105</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 24</strong>: Standort Reding, 2014: Wirkungsgerade einer Fungizidapplikation mit 1,5 l/ha Retengo® Plus gegen den Blattfleckenerreger Exserohilum turcicum in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes und des Applikationszeitpunktes im Vegetationsverlauf zur Silomaisenernte im Stadium BBCH 85 .............................................111</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 25</strong>: 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</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Tab. 26</strong>: 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</td>
</tr>
</tbody>
</table>
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: $P \leq 0,05 = \ast, P \leq 0,01 = \ast\ast, P \leq 0,001 = \ast\ast\ast$; Multipler Kontrasttest.

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: $P \leq 0,05 = \ast, P \leq 0,01 = \ast\ast, P \leq 0,001 = \ast\ast\ast$; Multipler Kontrasttest.

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.

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; $p \leq 0,001 = \ast\ast\ast; p \leq 0,01 = \ast\ast; p \leq 0,05 = \ast$;
Abbildungsverzeichnis

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 .......................................................... 5

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 .............................................. 12

Abb. 3: Symptome von Fusarium 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 Fusarium spp.: Ausgehend von einer Mischung aus Staubbeuteln, 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 aus gehend 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 Ostenfeld 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 Landessortenversuchs des Projektizes 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 Exserohilum turcicum ................................................................................................................. 39

Abb. 12: Schema für die Bonitur der Befallsstärke des Maisblattpathogens Kabatiella zeae ......................................................................................................................... 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 *Kabatiella zeae* (A, B) und *Exserohilum turcicum* (C, D); bei *K. zeae* sind die scharfegemigen, 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.................................................................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. 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. ..................................................................................................................56


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. ..................................................................................................................59

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 ..................................................................................................................60

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. ..................................................................................................................61

Abb. 29: Standort Hohenschulen, 2014: Zuwachsraten der Befallsstärke von *K. zeae* 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 *K. zeae*, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken 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 K. zeae, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken 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 .......................................................... 64


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 ≥ 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 ≥ 85 % .................................................................................................................. 69


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 ≥ 85 %; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschnittlichen Befallshäufigkeit der Blätter 6-14 ......72

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 ≥ 85 %; BSB ist dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken auf den Blättern 6 - 14 in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschnittlichen Befallshäufigkeit der Blätter 6-14 ......73

Abb. 43: Standort Hohenschulen, 2012: Zusammenhang zwischen dem Befall mit *K. zeae* 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 Pflanzensegmenten unten, mitte, oben in der unbehandelten Kontrolle (4 Wdh.); BHB entspricht der durchschnittlichen Befallsstärke der drei Pflanzensegmente ..............................................................74

Abb. 44: Standort Hohenschulen 2012: Einfluss einer Fungizidmaßnahme mit Retengo® Plus (1,5 l/ha) zu verschiedenen Stadien des Maiswuchses auf die Befallsstärke von *Kabatiella zeae* 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 zeae* 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. 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 79

Abb. 46: Standort Hohenschulen, 2013: weitere Erläuterungen siehe Abb. 44 ..................79

Abb. 47: Standort Hohenschulen, 2014: weitere Erläuterungen siehe Abb. 44 ..................79

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 Witterungseignissen 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 V5 82

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 ≤ 0,001 = ***; P ≤ 0,01 = **; P ≤ 0,05 = *; K = Kontrolle; Applikationen erfolgten zu: V2 = BBCH 34, V3 = BBCH 37; V4 = BBCH 55; V5 = BBCH 65, V6 = BBCH 37 + BBCH 65 84

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 ≤ 0,001 = ***; P ≤ 0,01 = **; P ≤ 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 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 ≤ 0,001 = ***; P ≤ 0,01 = **; P ≤ 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 Kontrolle ...

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

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

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

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

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

Abbildungsverzeichnis

Abb. 66: Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Blattpathogene Kabatiella zeae (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 .................................................................95


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..........................................................98


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 möglichen wöchentlich Zuwachs zu tatsächlichem wöchentlichen Zuwachs .................................................................100

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 .........................................................100

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 ..............................................................102

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. 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 ist .......................................................... 107

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 .......................................................... 109


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
Abbildungsverzeichnis

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 Witterungseignissen 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 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 .................................................................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 ≤ 0,001 = ***; P ≤ 0,01 = **; P ≤ 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 dargestellt ..................133

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 dargestellt ..................137


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. 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
<table>
<thead>
<tr>
<th>Abkürzung</th>
<th>Deutscher Name</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Abb.</td>
<td>Abbildung</td>
</tr>
<tr>
<td>Abk.</td>
<td>Abkürzung</td>
</tr>
<tr>
<td>AGPM</td>
<td>Association générale des producteurs de maïs</td>
</tr>
<tr>
<td>Appl.</td>
<td>Applikation</td>
</tr>
<tr>
<td>BBCH</td>
<td>Code für das morphologische Entwicklungsstadium einer Pflanze</td>
</tr>
<tr>
<td>BHB</td>
<td>Befallshäufigkeit im Bestand</td>
</tr>
<tr>
<td>BSB</td>
<td>Befallsstärke im Bestand</td>
</tr>
<tr>
<td>BUC</td>
<td>Buchhofen</td>
</tr>
<tr>
<td>EHL</td>
<td>Ehlheim</td>
</tr>
<tr>
<td>EU</td>
<td>Europäische Union</td>
</tr>
<tr>
<td>EUE</td>
<td>Euerfeld</td>
</tr>
<tr>
<td>FAO</td>
<td>Food and Agriculture Organization of the United Nations</td>
</tr>
<tr>
<td>FHS</td>
<td>Formulierungshilfsstoff</td>
</tr>
<tr>
<td>FRA</td>
<td>Frankendorf</td>
</tr>
<tr>
<td>FRO</td>
<td>Frontenhausen</td>
</tr>
<tr>
<td>gesNEK</td>
<td>Gesamtnekrose</td>
</tr>
<tr>
<td>GÜN</td>
<td>Günzburg</td>
</tr>
<tr>
<td>Ha</td>
<td>Hafer</td>
</tr>
<tr>
<td>HPLC</td>
<td>High performance liquid chromatography</td>
</tr>
<tr>
<td>INZ</td>
<td>Inzing</td>
</tr>
<tr>
<td>K-Zahl</td>
<td>Kornreifezahl</td>
</tr>
<tr>
<td>k.A.</td>
<td>keine Angabe</td>
</tr>
<tr>
<td>Ka</td>
<td>Kartoffel</td>
</tr>
<tr>
<td>KAB</td>
<td>Kabatiella zeae</td>
</tr>
<tr>
<td>KM</td>
<td>Körnermais</td>
</tr>
<tr>
<td>L -1</td>
<td>erstes Blatt unter dem Kolbenblatt</td>
</tr>
<tr>
<td>L -2</td>
<td>zweites Blatt unter dem Kolbenblatt</td>
</tr>
<tr>
<td>L 0</td>
<td>Kolbenblatt</td>
</tr>
<tr>
<td>L 1</td>
<td>erstes Blatt über dem Kolbenblatt</td>
</tr>
<tr>
<td>L 2</td>
<td>zweites Blatt über dem Kolbenblatt</td>
</tr>
<tr>
<td>LC/MS</td>
<td>Liquid chromatography/mass spectrometry</td>
</tr>
<tr>
<td>LfL</td>
<td>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft</td>
</tr>
<tr>
<td>Abkürzung</td>
<td>Deutscher Begriff</td>
</tr>
<tr>
<td>-----------</td>
<td>------------------</td>
</tr>
<tr>
<td>LMW</td>
<td>langjähriger Mittelwert</td>
</tr>
<tr>
<td>MW</td>
<td>Mittelwert</td>
</tr>
<tr>
<td>NaCl</td>
<td>Natriumchlorid</td>
</tr>
<tr>
<td>NEU</td>
<td>Neuhof</td>
</tr>
<tr>
<td>NÖT</td>
<td>Neuötting</td>
</tr>
<tr>
<td>o.g.</td>
<td>oben genannte</td>
</tr>
<tr>
<td>pH</td>
<td>potentia hydrogenii</td>
</tr>
<tr>
<td>PHO</td>
<td>Phoma zeae-maydis</td>
</tr>
<tr>
<td>REG</td>
<td>Regenstauf</td>
</tr>
<tr>
<td>REI</td>
<td>Reith</td>
</tr>
<tr>
<td>rel.</td>
<td>relative</td>
</tr>
<tr>
<td>rLF</td>
<td>relative Luftfeuchtigkeit</td>
</tr>
<tr>
<td>RS</td>
<td>Referenzsorte</td>
</tr>
<tr>
<td>rpm</td>
<td>revolutions per minute</td>
</tr>
<tr>
<td>S-Zahl</td>
<td>Siloreifezahl</td>
</tr>
<tr>
<td>SCH</td>
<td>Scheßlitz</td>
</tr>
<tr>
<td>SCU</td>
<td>Schwarzenau</td>
</tr>
<tr>
<td>SEN</td>
<td>Sengkofen</td>
</tr>
<tr>
<td>SM</td>
<td>Silomais</td>
</tr>
<tr>
<td>Stabw</td>
<td>Standardabweichung</td>
</tr>
<tr>
<td>STR</td>
<td>Straßmoos</td>
</tr>
<tr>
<td>Tab.</td>
<td>Tabelle</td>
</tr>
<tr>
<td>Temp.</td>
<td>Temperatur</td>
</tr>
<tr>
<td>THA</td>
<td>Thann</td>
</tr>
<tr>
<td>T&lt;sub&gt;max&lt;/sub&gt;</td>
<td>Maximaltemperatur</td>
</tr>
<tr>
<td>T&lt;sub&gt;min&lt;/sub&gt;</td>
<td>Minimaltemperatur</td>
</tr>
<tr>
<td>T&lt;sub&gt;sum&lt;/sub&gt;</td>
<td>Temperatursumme</td>
</tr>
<tr>
<td>TUR</td>
<td>Exserohilum turcicum</td>
</tr>
<tr>
<td>VE</td>
<td>vollentsalzt</td>
</tr>
<tr>
<td>WG</td>
<td>Wintergerste</td>
</tr>
<tr>
<td>WRo</td>
<td>Winterroggen</td>
</tr>
<tr>
<td>WW</td>
<td>Winterweizen</td>
</tr>
<tr>
<td>ZR</td>
<td>Zuckerrübe</td>
</tr>
</tbody>
</table>
1. Einleitung


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. JÖRGENSEN, 2012; SCHLÜTER, 2012; GROH, 2013). Dabei spielt vor allem die in der vorliegenden Arbeit behandelte Augenfleckenerkranke, ausgelöst durch den Erreger Kabatiella zeae, die Blattdürre des Maises, 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.
2. Literaturübersicht

2.1 Kabatiella zeae

2.1.1 Nomenklatur und Klassifikation


<table>
<thead>
<tr>
<th>Reich</th>
<th>Fungi</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Abteilung</td>
<td>Ascomycotina</td>
</tr>
<tr>
<td>Unterabteilung</td>
<td>Pezizomycotina</td>
</tr>
<tr>
<td>Klasse</td>
<td>Dothideomycetes</td>
</tr>
<tr>
<td>Unterklasse</td>
<td>Dothideomycetidae</td>
</tr>
<tr>
<td>Ordnung</td>
<td>Dothideales</td>
</tr>
<tr>
<td>Familie</td>
<td>Dothioraceae</td>
</tr>
<tr>
<td>Unterfamilie</td>
<td>Discosphaerina</td>
</tr>
<tr>
<td>Gattung</td>
<td><em>Kabatiella</em> (anamorph)</td>
</tr>
<tr>
<td>Art</td>
<td><em>Kabatiella zeae</em></td>
</tr>
</tbody>
</table>
2.1.2 Vorkommen und Verbreitung


2.1.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie


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


2.1.4 Wirtschaftliche Relevanz

Bei dem Blattpathogen Kabatiella zeae 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; Reifsneider & 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Literatur</th>
<th>Ertragsverlust [%]</th>
<th>Bemerkung</th>
<th>Land</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Cassini, 1971</td>
<td>50</td>
<td>Verlustminderung durch Pflugeinsatz</td>
<td>Frankreich</td>
</tr>
<tr>
<td>Boothroyd, 1977</td>
<td>68 - 72, 21</td>
<td>Verlustminderung durch Fungizideinsatz</td>
<td>USA</td>
</tr>
<tr>
<td>Reifsneider &amp; Arny, 1983a</td>
<td>9</td>
<td>Durchschnitt der Bodenbearbeitungsvarianten im Vergleich zu einer Variante mit Fungizideinzelbehandlung</td>
<td>USA</td>
</tr>
<tr>
<td>Levic, 1987</td>
<td>1,7 - 14,5</td>
<td>je nach Jahreswitterung in Kombination mit dem Auftreten von Stängelfäule</td>
<td>Kroatien</td>
</tr>
<tr>
<td>Pronczuk et al., 2004</td>
<td>2,7 - 14,1</td>
<td>Mulchsaaat Monokultur im Vergleich zur Pflugsaaat nach Weizen</td>
<td>Polen</td>
</tr>
<tr>
<td>Schüter, 2012</td>
<td>10 - 21</td>
<td>Mulchsaaat, Maisvorfrucht</td>
<td>Deutschland</td>
</tr>
<tr>
<td>Jörgensen, 2012</td>
<td>50 - 60</td>
<td>nur bei einzelnen Standorten</td>
<td>Dänemark</td>
</tr>
<tr>
<td>Pope, 2009</td>
<td>bis zu 80</td>
<td>Mulchsaaat, Maisvorfrucht</td>
<td>Großbritannien</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**2.1.5 Bekämpfung**

2. Literaturübersicht


aus Epoxiconazol und Pyraclostrobin erzeugte auch bei URBAN (2012) hohe Reduktionen

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® (Azoxytrobin: 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 (Luttreil) Leonard & Suggs) ist Auslöser der als Blatttürre 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 inconvicium (Coke & Ellis) und in der teleomorphen Form als Keisleriella turcica (Lutt.) Arx, Luttriella turcica (Pass.) Khokhar, Trichometasphaeria turcica (Lutt.) 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)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Reich</th>
<th>Fungi</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Abteilung</td>
<td>Ascomycotina</td>
</tr>
<tr>
<td>Unterabteilung</td>
<td>Pezizomycotina</td>
</tr>
<tr>
<td>Klasse</td>
<td>Dothideomycetes</td>
</tr>
<tr>
<td>Unterkasse</td>
<td>Pleosporomycetidae</td>
</tr>
<tr>
<td>Ordnung</td>
<td>Pleosporales</td>
</tr>
<tr>
<td>Familie</td>
<td>Pleosporaceae</td>
</tr>
<tr>
<td>Gattung</td>
<td>Setosphaeria</td>
</tr>
<tr>
<td>Art</td>
<td>Setosphaeria turcica</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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. sorghi, 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**


**2.2.3 Symptomatik, Biologie und Epidemiologie**

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°C) und verringriger Sonneneinstrahlung mit kürzeren Tageszeiten gegen Ende der Vegetationsperiode aus herkömmlichen Sporen entwickeln (LEACH et al., 1977a; LEACH et al. 1977b; SHURTLEFF, 1977; LEVY, 1984). In diesem Zusammenhang berichten BOOSALIS et al. (1967), dass über 50 % der überwinternden Konidien in Nebraska Chlamydosporen enthalten.


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).


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-

---

**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


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 Blattinfektion 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


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 Blattpapparates der Maispflanze mindestens 8 % betragen muss. Lag der Befall unter 8 % wurden keine Ertragsverluste durch \textit{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 \textit{Turcicum}-Blattflecken hatten.

\textbf{Tab. 4:} Literaturangaben zu Ertragsverlusten in Verbindung mit dem Auftreten von \textit{E. turcicum}

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

2.2.5 Bekämpfung

Wie bei anderen Krankheiten an ackerbaulichen Kulturen sollten bei der Bekämpfung des Blattfleckenerregers \textit{Exserohilum turcicum} zunächst nicht-chemische Bausteine des inte-

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).


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).


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


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


2.3 Mykotoxine


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 allem die Arten Fusarium graminearum Schwabe (teleomorph: Gibberella zea (Schwein.) Petch) und Fusarium culmorum (Smith) Saccardo zu betrachten, die u.a. an Mais und Weizen parasitieren und die potenztesten 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.


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).

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

*Abb. 4:* Wöchentliche Aufnahmen der fortschreitenden Infektion der Maispflanze mit *Fusarium* spp.: Ausgehend von einer Mischung aus Staubbeuteln, 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).


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 Temperaturansprüche 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 bevorzugen.

### 2.3.2 Deoxynivalenol


### 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).
2. Literaturübersicht

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


2.3.4 Grenz- und Richtwerte in Lebens- und Futtermitteln


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Produkt</th>
<th>DON µg/kg</th>
<th>ZEA µg/kg</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Unverarbeitet:</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Weichweizen, Triticale, Roggen</td>
<td>1250</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>Hartweizen, Hafer</td>
<td>1750</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>Mais</td>
<td>1750</td>
<td>350</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Verarbeitet:</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Getreidemehl, Kleie, Keime zum unmittelbaren Verzehr</td>
<td>750</td>
<td>75</td>
</tr>
<tr>
<td>Teigwaren (trocken)</td>
<td>750</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td>Brot, Backwaren, Frühstückscerealien, Getreide-Snacks, Kekse</td>
<td>500</td>
<td>50</td>
</tr>
<tr>
<td>Säuglings- und Kleinkinderbeikost</td>
<td>200</td>
<td>20</td>
</tr>
</tbody>
</table>
2. Literaturübersicht

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Futtermittelausgangserzeugnisse:</th>
<th>DON µg/kg</th>
<th>ZEA µg/kg</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Getreide und Getreideerzeugnisse außer Mais</td>
<td>8000</td>
<td>2000</td>
</tr>
<tr>
<td>Maisnebenprodukte</td>
<td>12000</td>
<td>3000</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Ergänzungs- und Alleinfuttermittel:</th>
<th>DON µg/kg</th>
<th>ZEA µg/kg</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Milchkühe, Rinder</td>
<td>5000</td>
<td>500</td>
</tr>
<tr>
<td>Sauen und Mastschweine</td>
<td>900</td>
<td>250</td>
</tr>
<tr>
<td>Ferkel und Jungsauen</td>
<td>900</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td>Kälber (&lt; 4 Monate), Lämmer, Ziegenlämmer</td>
<td>2000</td>
<td>500</td>
</tr>
</tbody>
</table>


2.3.5 Zusammenhang zwischen Witterung und Auftreten der Mykotoxine


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 Vorhersage-
modellen, 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 My-
kotoxinkontamination 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 Resisten-
zeigenschaften gegen Fusarium spp. und der breite Markt an neuen Maissorten stellt die
Forschung ebenfalls vor große Herausforderungen. Nicht zuletzt ist die Hauptinfektionspha-
se von Fusarium spp. in der Blüte des Maises 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 Mykotoxinnmenge berücksichtigt. Dabei
erfolgte eine spezielle Berechnung der Witterungsparameter, die in vier kritischen Phasen
vor und nach der Blüte des Maises 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 wirt-
schaftliche 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 Be-
deutung (HARRIS et al., 1999).
Zwar ist in vielen Literaturquellen von einer Ertragsreduzierung durch Fusarium spp. die Re-
de, genauere Daten mit der Angabe von Zahlen werden hingegen nur selten gemacht. MI-
EDANER (2012) spricht von bis zu 30 % Ertragsausfall durch verringertes Tausendkornge wicht
aufgrund einer Infektion durch Fusarium spp. An anderer Stelle wird von bis zu 48 % Ertrags-
reduktion aufgrund von mittelschweren Symptomen der Kolbenfusariose gesprochen (VIGIER
et al., 2001).


### 2.3.7 Bekämpfung

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 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.


Generell kann durch beschädigtes Gewebe der Maispflanze eine starke Besiedlung von *Fusarium* spp. mit einhergehender Mykotoxinbildung erfolgen (PLENEGGER & 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).


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; HAJDUKOWSKY et al., 2005; SUPRONIENE et al., 2011).

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.


3. Material und Methoden

3.1 Standorte

3.1.1 Hohenschulen


Mit Ausnahme der Fungizidapplikation wurden alle ackerbau- lichen Maßnahmen, wie Düngung und Herbizideinsatz, im Rahmen der Bewirtschaftung des Versuchsgutes nach Betriebssstandard vollzogen und sind im Anhang (Kapitel 9) aufgelistet. Die Aussaat- und Ernte- daten 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)
3. Material und Methoden

Die Körnermaisernte 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Aussaat</th>
<th>Silomais</th>
<th>Körnermais</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012</td>
<td>20.04.</td>
<td>11.10.</td>
<td>02.11.</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>28.04.</td>
<td>19.09.</td>
<td>---*</td>
</tr>
</tbody>
</table>

* 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)

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Aussaat</th>
<th>Ernte</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Silomais</td>
</tr>
<tr>
<td>2012</td>
<td>20.04.</td>
<td>17.09.</td>
</tr>
<tr>
<td>2013 (1)*</td>
<td>23.04.</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td>2013 (2)</td>
<td>17.06.</td>
<td>15.10.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

* Pflanzen der ersten Aussaat durch Hochwasser am 02.06. zerstört

3.1.3 Versuchsstandorte des LfL-Projektes in Bayern

Abb. 9: Lage der Landessortenversuches des Projektes zur Mykotoxinaanalyse 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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Standort</th>
<th>Abkürzung</th>
<th>Vorfrucht</th>
<th>Aussaat</th>
<th>Ernte</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Euerfeld</td>
<td>EUE</td>
<td>WW</td>
<td>17.04.</td>
<td>11.11.</td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>FRA</td>
<td>Ha</td>
<td>24.04.</td>
<td>18./21.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>GÜN</td>
<td>WW</td>
<td>02.05.</td>
<td>28.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>INZ</td>
<td>WW</td>
<td>18.04.</td>
<td>18.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>REG</td>
<td>WRo</td>
<td>16.04.</td>
<td>15.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>REI</td>
<td>WW</td>
<td>18.04.</td>
<td>18.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>STR</td>
<td>Ka</td>
<td>29.04.</td>
<td>31.10.</td>
</tr>
<tr>
<td>Thann</td>
<td>THA</td>
<td>k.A.</td>
<td>24.04.</td>
<td>27.10.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

3.2 Witterungsdaten

3.2.1 Meteorologische Messstationen an den Standorten Hohenschulen und Reding


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 Ostenfeld (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-
3. Material und Methoden

raum dienten die Messwerte der Jahre von 1990 bis 2014 an beiden Stationen, die zu lang-
jährigen Mittelwerten (LMW) von Temperatur und Niederschlag auf Monatsbasis verrechnet
und mit den aktuellen Versuchs/jahren verglichen wurden.

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

3.2.2 Agrarmeteorologisches Messnetz der LfL
An den bayerischen Versuchsstandorten der LfL wurden ausschließlich Daten von Messsta-
tionen des Agrarmeteorologischen Messnetzes (Tab. 11) in unmittelbarer Nähe zum Ver-
suchsstandort 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 Entfer-
nung zu den Versuchsstandorten (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Versuchszeitraum</th>
<th>Versuchsstandort (A)</th>
<th>Wetterstation (B)</th>
<th>ca. Entfernung Luftlinie (A → B)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Ehlheim</td>
<td>Windsfeld</td>
<td>3 km</td>
</tr>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Frankendorf</td>
<td>Frankendorf</td>
<td>vor Ort</td>
</tr>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Günzburg</td>
<td>Weißingen</td>
<td>12 km</td>
</tr>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Inzing</td>
<td>Bärnau</td>
<td>3 km</td>
</tr>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Neuhof</td>
<td>Neuhof</td>
<td>vor Ort</td>
</tr>
<tr>
<td>2012/2013</td>
<td>Regenstauf</td>
<td>Sarching</td>
<td>18 km</td>
</tr>
</tbody>
</table>
3. Material und Methoden

### Tab. 11: (Fortsetzung)

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

### 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)

\[
T_{\text{sum}} = \frac{T_{\text{min}} + T_{\text{max}}}{2} - 6
\]

- \( T_{\text{min}} < 0°C = 0°C \)
- \( T_{\text{max}} > 30°C = 30°C \)
- \( T_{\text{sum}} < 0°C = 0°C \)

### 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 Einfachbehandlungs­terminen 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.

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

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 Beersntung herangezogen wurden (Kernbeerntung).

3.4 Bonitur der Blattpathogene
3. Material und Methoden

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)

3. Material und Methoden

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.


3.5 Maissorten und Anbauumfang


<table>
<thead>
<tr>
<th>Reifegruppe</th>
<th>Sorte</th>
<th>Kornreifezahl</th>
<th>Standorte</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>340 Frühe Sorten</td>
<td>Amanatidis</td>
<td>220</td>
<td>EHL, FRA, GÜN, NEU, REG, STR</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Amagrano</td>
<td>210</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>NK Ravello</td>
<td>190</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Ricardinio</td>
<td>220</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Silvinio</td>
<td>210</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Sulexa</td>
<td>220</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>341 Mittelfrühe Sorten</td>
<td>Avixxene</td>
<td>250</td>
<td>FRA, GÜN, INZ, NEU, SCU, SEN, STR, THA</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Grosso</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>LG 3258</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Lindsey</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Luigi CS</td>
<td>240</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Zidane</td>
<td>240</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
3. Material und Methoden

Tab. 11: (Fortsetzung)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Reifegruppe</th>
<th>Sorte</th>
<th>Kornreifezahl</th>
<th>Standorte</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Mittelspäte Sorten</td>
<td>DKC 4371</td>
<td>280</td>
<td>FRA, INZ, REI, SEN, STR, THA</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Lavena</td>
<td>260</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Maxxis</td>
<td>290</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Susann</td>
<td>280</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Suzy</td>
<td>260</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Torres</td>
<td>260</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Referenzsorten</td>
<td>RS 1</td>
<td>160</td>
<td>alle Standorte, außer REI</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>RS 2</td>
<td>240</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Reifegruppe</th>
<th>Sorte</th>
<th>Kornreifezahl</th>
<th>Standorte</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Frühe Sorten</td>
<td>Amagrano</td>
<td>210</td>
<td>EHL, FRA, GÜN, REG, STR, THA</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Farmanager</td>
<td>220</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Laurinio</td>
<td>200</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>LG 30222</td>
<td>220</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Ricardinio</td>
<td>220</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Sunshinos</td>
<td>210</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Mittelfrüh Sorten</td>
<td>Avixxene</td>
<td>250</td>
<td>EUE, FRA, GÜN, INZ, REI, STR, THA</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Grosso</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>LG 3258</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Lindsey</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Luigi CS</td>
<td>240</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>P8400</td>
<td>240</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

3.6 Fungizide und Applikationstechnik


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, dass aus einem Ein-
achsschlepper (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 Fahrgeschwin-
digkeit 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 Versuchsspritz zur Applikation von Mais in
einem Bereich von 0,7 bis 4,0 m Höhe
3. Material und Methoden

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 Rotorschnellmühle 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 Wiegungen wurde als letzter Schritt der Trockensubstanzgehalt (TS) in % nach folgender Formel berechnet:

\[ TS (%) = \frac{B \times D \times 100}{(A \times C)} \]

A = Frischmasse der Ernteprobe
B = Masse der Ernteprobe nach 1. Trocknung
C = Einwaage der gemahlenen Probe
D = Auswaage der gemahlenen Probe nach 3 h bei 105°C

Die auf 1,0 mm vermahlenen 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:

\[ E = \frac{(RE \times (100 - F))}{86} \]

E = Ertrag (auf Basis von 14 % Restfeuchte)
RE = Rohertrag mit gemessener Restfeuchte
F = Restfeuchte [%]
3. Material und Methoden

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)

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

3.8.2 Chemikalien

Verwendete Chemikalien für die Analyse von Mykotoxinen und Fusarium-DNA

<table>
<thead>
<tr>
<th>Bezeichnung</th>
<th>Hersteller</th>
<th>Ort/Land</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Acetonitril (LC/MS-Grade)</td>
<td>VWR</td>
<td>West Chester, PA, USA</td>
</tr>
<tr>
<td>Acetonitril (HPLC-Grade)</td>
<td>VWR</td>
<td>West Chester, PA, USA</td>
</tr>
<tr>
<td>Natriumchlorid (p. a.)</td>
<td>Carl Roth GmbH &amp; Co. KG</td>
<td>Karlsruhe, GER</td>
</tr>
<tr>
<td>Stickstoff (flüssig)</td>
<td>Linde</td>
<td>Höllriegelskreuth, GER</td>
</tr>
<tr>
<td>VE-Wasser (HPLC-Grade)</td>
<td>VWR</td>
<td>West Chester, PA, USA</td>
</tr>
<tr>
<td>n-Hexan</td>
<td>VWR</td>
<td>West Chester, PA, USA</td>
</tr>
<tr>
<td>VE-Wasser (LC/MS-Grade)</td>
<td>VWR</td>
<td>West Chester, PA, USA</td>
</tr>
<tr>
<td>Deoxynivalenol</td>
<td>SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH</td>
<td>Taufkirchen, GER</td>
</tr>
<tr>
<td>Zearalenon</td>
<td>SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH</td>
<td>Taufkirchen, GER</td>
</tr>
</tbody>
</table>
3.9 Mykotoxinanalyse

Für die Mykotoxinextraktion aus Silo- und Körnermais wurden 10 g des gemahlenen Probematerials 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 aufge- reinigt, 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 zwischen 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-

Abb. 14: Binokular- bzw. Mikroskopansicht der Blattpathogene *Kabatiella zeae* (A, B) und *Exserohilum 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


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; RETZ 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


4.1 Versuchsstandort Hohenschulen (Schleswig-Holstein 2012 – 2014)

4.1.1 Witterung Hohenschulen


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).

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).
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 Ostenfeld 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 (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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Beginn</th>
<th>Ende</th>
<th>Mittelwert Temperatur [°C]</th>
<th>Summe Niederschlag [l/m²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012</td>
<td>10.08.</td>
<td>24.08.</td>
<td>18,2</td>
<td>8,7</td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>28.07.</td>
<td>11.08.</td>
<td>20,0</td>
<td>35,8</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>20.07.</td>
<td>03.08.</td>
<td>22,0</td>
<td>8,2</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Niederschlagsmengen 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 Ostenfeld bei Rendsburg
4. Ergebnisse

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Mittelwert Temperatur [°C]</th>
<th>Veränderung zu LMW [°C]</th>
<th>Summe Niederschlag [l/m²]</th>
<th>Veränderung zu LMW [l/m²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012</td>
<td>13,2</td>
<td>+ 0,1</td>
<td>440,1</td>
<td>- 62,2</td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>13,8</td>
<td>+ 0,5</td>
<td>477,2</td>
<td>- 25,1</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>14,7</td>
<td>+ 1,4</td>
<td>379,8</td>
<td>- 122,5</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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).


4.1.2 Allgemeines Auftreten von Blattpathogenen in den fungizidfreien Varianten


K. zeae (KAB) ist mit ≥ 97,5 % BHB in allen Versuchsahren die dominierende Blattkrankheit. P. zeae-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. zeae und P. zeae-maydis, d.h. die gesprenkelten Flecken waren über das gesamte Versuchsziel 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 \textit{P. zeae-maydis} und \textit{E. turcicum} am Standort Hohenschulen, wird sich der weitere Verlauf der Ergebnisdarstellung auf das Maisblattpathogen \textit{K. zeae} beziehen.

\textbf{4. Ergebnisse}

\textbf{4.1.3 Populationsdynamik von \textit{Kabatiella zeae}}


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

**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, das *K. zeae* auf den Blättern zwar vorhanden ist, dabei aber nur die Fläche von einem nekrotischen Punkt, bzw. einer kleinen Punktegruppe 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 „Rispenschieben“ (BBCH 55) und „Blüte“ (BBCH 65), sowie „Blü-

![Zuwachsrate [%](attachment:Zuwachsrate.png)

**Abb. 25:** Standort Hohenschulen, 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.


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-
4. Ergebnisse

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 erregerspezifischer 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.

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.

**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.

Obwohl das Jahr 2014 durch ein niedriges Pathogeneauftreten 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 zeae*


Abb. 30: Standort Hohenschulen, 2013: Exponentieller Populationsaufbau von *K. zeae*, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken 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


**Abb. 31:** Standort Hohenschulen, 2014: Exponentieller Populationsaufbau von $K. zeae$, dargestellt als Summe der gezählten Blattflecken 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
4. Ergebnisse

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 Befallsparametern kann mit einer logarithmischen Trendlinie beschrieben werden, die mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,78$ eine gute Beziehung widerspiegelt.

\[\text{Abb. 32: } \text{Standort Hohenschulen, 2012 – 2014: Zusammenhang zwischen der Befallsstärke (prozentual befallener Blattflächen) und der Befallshäufigkeit (prozentual befallene Blätter eines Pflanzensegmentes) der unbehandelten Kontrollen, } n = 4 \text{ Wdh., alle Blattsegmente}\]

4. Ergebnisse


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.

4. Ergebnisse


Abb. 36: Blattetage 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. Ergebnisse

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


**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 ≥ 85 %
einem Bereich von 44 - 84 %. Die niedrigsten Werte wurden im Maisbestand in einem Zeit-
raum 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. Luftfeuch-
te 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. Luftfeuchtewert während der Tagphase ab ca. 10 Uhr zwar absank, der nied-
rigste Wert mit 68 % um 14 Uhr allerdings um 24, bzw. 26 Prozentpunkte höher lag als der niedrigste Tagphasenwert aus Szenario 1.

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 gleich-
bleibender Temperatur. Der Witterungsparameter Niederschlag, der bisher in den Szenarien 1 und 2 keine Berücksichtigung fand, nimmt somit Einfluss auf die rel. Luftfeuchte im Mais-
bestand, 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 darge-
stellte.
4. Ergebnisse

Abb. 39: **Szenario 3**: Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit in einem Maisbestand am Standort Hohenschu- len im Zeitraum 29.07. – 31.07.2013; schraffierte Fläche entspricht Zeiträumen mit rel. Luft- feuchtigkeit ≥ 85 %

Abb. 40: **Szenario 4**: Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit in einem Maisbestand am Standort Hohenschu- len im Zeitraum 18.07. – 20.07.2012; schraffierte Fläche entspricht Zeitträumen mit rel. Luft- feuchtigkeit ≥ 85 %

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Szenario 3</th>
<th>Szenario 4</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Datum</td>
<td>Niederschlag [l/m²]</td>
</tr>
<tr>
<td>29.07.2013</td>
<td>1,7</td>
</tr>
<tr>
<td>30.07.2013</td>
<td>8,1</td>
</tr>
<tr>
<td>31.07.2013</td>
<td>11,6</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Summe:</strong></td>
<td><strong>21,4</strong></td>
</tr>
</tbody>
</table>
4. Ergebnisse


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. an 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 ≥ 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. bis 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 ≥ 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

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 %, stieg sich allerdings bis zum Folgebonitur-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 %.


**Tab. 20:** Anzahl von spezifischen Witterungereignissen pro Monat, definiert als rel. Luftfeuchtigkeit ≥ 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 Silomaiserrete

<table>
<thead>
<tr>
<th>Monat</th>
<th>2012</th>
<th>2013</th>
<th>2014</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Mai</td>
<td>2</td>
<td>3</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>Juni</td>
<td>1</td>
<td>1</td>
<td>0</td>
</tr>
<tr>
<td>Juli</td>
<td>3</td>
<td>0</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>August</td>
<td>3</td>
<td>0</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>September</td>
<td>3</td>
<td>2</td>
<td>0</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Summe:</strong></td>
<td><strong>12</strong></td>
<td><strong>6</strong></td>
<td><strong>5</strong></td>
</tr>
</tbody>
</table>
4. Ergebnisse

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


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. zeae* 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 Befallsstärke 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.
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 zeae 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
4. Ergebnisse

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 Maises (BBCH 65) am 14.08. zeigte auf allen Blattetagen mit den höchsten Befallsstärken von K. zeae 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 bonitierter 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.


4. Ergebnisse

**Abb. 45:** Standort Hohenschulen, 2012: Befallsstärke von *Kabatiella zeae* 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. 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
4. Ergebnisse


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.

4. Ergebnisse

4.1.3.6 Zeitliche Zusammenhänge zwischen den spezifischen Witterungseignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen

Als Zusammenfassung der vorangegangenen Unterkapitel bleibt an dieser Stelle zu klären, inwieweit der Befall mit dem Blattfleckenerreger *Kabatiella zeae*, welcher in Zusammenhang zu den bereits beschriebenen, spezifischen Witterungseignissen 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.


Auch das Versuchsjahr 2014 war geprägt von einer langen Phase zwischen Juli und August, in der kein Witterungseignis 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 Witterungseignis. 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 Witterungseignisse 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 Witterungereignissen 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 V5

= Zeiträume mit rel. Luftfeuchtigkeit ≥ 85 % im Maisbestand
= Kurative Phase des Fungizids (5 Tage)
= Protektive Phase des Fungizids (21 Tage)
4.2 Ergebnisse

4.1.4 Einfluss stadienorientierter Fungizidapplikationen auf das Auftreten von Mykotoxinen

4.1.4.1 Mykotoxine im Silomais


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 ähnlicher Weise 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.


4.1.4.2 Mykotoxine im Körnermais


4. Ergebnisse

**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.

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 + Stab: 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
4. Ergebnisse

den Ergebnissen des Silomaisen 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.


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 Ertrageffekten 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

gergebnis 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. Ergebnisse

4.2 Versuchsstandort Reding (Bayern) 2012 - 2014
4.2.1 Witterung Reding

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°C (Abb. 59). Vom Monatsmittel aus betrachtet glichen sich diese Temperaturschwankungen aus, so dass sich positive Werte von jeweils 0,6°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°C resultierte, die 0,6°C über dem LMW lag.

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 l/m²) wurde durch das Defizit des Mo-
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 verrotten) in den Jahren 2012 – 2014 am Versuchsstandort Reding

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Beginn</th>
<th>Ende</th>
<th>Mittelwert Temperatur [°C]</th>
<th>Summe Niederschlag [l/m²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012</td>
<td>06.07.</td>
<td>20.07.</td>
<td>18,0</td>
<td>31,8</td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>18.08.</td>
<td>30.08.</td>
<td>16,8</td>
<td>57,6</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>16.07.</td>
<td>30.07.</td>
<td>20,6</td>
<td>16,8</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Versuchsparzellen am Standort Reding, wodurch eine Neuansaat des Maises am 17.06.2013 notwendig war.

**Abb. 61:** Witterungsverlauf am Standort Reding in der Vegetationsperiode des Maizes vom 01.04. bis 30.10.2013 dargestellt als Tagesmitteltemperaturen und Tagesniederschlagssummen; Markierung kennzeichnet Zeitraum der Maisblüte
Der Monat Juli war wiederum durch ein Niederschlagsdefizit von -82,7 l/m² gekennzeichnet, was bei durchschnittlichen Niederschlägen in den restlichen Monaten zu einem Saldo von +57,4 l/m² 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°C einhergehend mit einer Niederschlagsumme von 57,6 l/m² gemessen.

Während der Monat April im Vegetationszeitraum 2014 am Standort Reding verhältnismäßig warm war, +1,1°C im Vergleich zum LMW, konnte diese Tendenz im Folgemonat Mai mit einem Temperaturdefizit von -1,1°C nicht fortgesetzt werden (Abb. 64). Trotz warmer Phasen mit Tagesdurchschnittstemperaturen > 20,0°C bewegten sich die Monate Juni und Juli mit +0,4°C und +0,7°C nahe dem LMW.
Erst die letzten drei Monate zeigten wieder stärkere Abweichungen, wobei der August ein Temperaturdefizit von -1,5°C aufwies, die Monate September und Oktober hingegen mit +1,0°C und +2,2°C über den Werten des LMW lagen. Mit einem Durchschnittswert von +0,4°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 l/m² verzeichnet werden, so sorgte ein regenreicher Mai mit hohen Niederschlägen in der dritten Dekade zu einem Überschuss von 92,2 l/m². In den Folgemonaten Juni und Juli sowie im September lagen hingegen wieder Defizite von -69,0 l/m², -40,2 l/m² bzw. -52,8 l/m² vor. Trotz vieler Niederschläge im Monat August (+30,7 l/m²) fiel der Gesamtsaldo für die Vegetationsperiode des Maises am Standort Reding 2014 mit -71,4 l/m² negativ aus.

Die Maisblüte fiel 2014 in einen Bereich der zweiten und dritten Julidekade, die durch eher trocken-warme Witterung mit 20,6°C Durchschnittstemperatur und einer Niederschlagssumme von 16,8 l/m² 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 |
4. Ergebnisse

Abb. 65: Verlauf der Temperatursummen am Versuchsstandort Reding in den Jahren 2012 – 2014 von der jahressepsifischen Aussaat bis zur Silomaisernte, Pfeile zeigen optimalen theoreti- 
schen Erntetermin für frühe Silomaissorten bei ca. 1430°C (ANONYMUS, 2015p), das Ende 
der Graphen zeigt den jahressepsifischen, 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 weite-
ren 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 er-
reicht als in 2014. Der realen jahressepsifische 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 Versuchsparzellen 
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 
Versuchsbyte 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 bayeri-
sche Standort Reding ausgewählt, da die differenzierten Witterungsbedingungen im Ver-
gleich 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 Versuchsjiahren 2012 bis 2014 bonitierten Blattkrankhei-
ten. Analog zu der Abb. 22, die das relative Vorkommen der Blattpathogene am Standort 
Hohenschulen beschreibt, wird hierbei der Mittelwert der Befallshäufigkeit aus den ertragsre-
levanten Blattsegmenten „mitte“ und „oben“ im Entwicklungsstadium BBCH 75 verwendet. 
Das Auftreten der Pathogene Kabatiella zeae (KAB), Phoma zeae-maydis (PHO), Exserohi-

4. Ergebnisse

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

**4.2.3 Populationsdynamik von *Exserohilum turcicum***


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 Silomaisernte am 10.09. eine Befallsstärke von 16,6 % festgestellt werden. Die Boniturintervalle konnten im letzten Versuchsjahr während der

**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; 
4. Ergebnisse


4.2.3.1 Befallsverläufe in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes

Analog zu der Blattkrankheit *Kabatiella zeae* 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 unteren Pflanzensegment und der Blattetage L 2 sich auf 98,8 % beliehen. 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 Nekrosisierung zur Abreife der Pflanze am letzten Boniturtermin nicht mehr aufgeführt werden.
4. Ergebnisse


4. Ergebnisse

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*

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 Fleckenwachstum von unter 10,0 % erfasst werden. Bei der Bonitur am 20.08. im Entwicklungsstadium BBCH 79 der Maispflanze verdreifachte sich der Fleckenwachstum 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 Fleckenwachstum 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 möglichen wöchentlichem Zuwachs zu tatsächlichem wöchentlichen 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
4. Ergebnisse

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 cm² 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 cm² 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 cm² Zuwachs lag. In der letzten Boniturperiode ging das absolute Wachstum auf 4,3 cm² 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 cm²) ein vielfach höheres Fleckenwachstum generieren als die früh sichtbaren Flecken (wöchentlicher Zuwachs: + 1,2 cm²).
4. Ergebnisse

4.2.3.3 Zusammenhänge zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke


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

Die gemittelten Werte aus den 10 Wiederholungen, 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 stärker 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 zeae auf (Abb. 36), wohnach 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.
4. Ergebnisse

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

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

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


4. Ergebnisse

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)

der rel. Luftfeuchtphasen 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 ≥ 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 (LEY & 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 Witterungssereignisse, 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. Ergebnisse

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


![Diagramm](image)

**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 Befallsverlaufs 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

109
4. Ergebnisse


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
4. Ergebnisse

Als grobe Einteilung können die Applikations-Varianten im Hinblick auf den Wirkungsgrad gegen den Blattfleckenerreger 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 Maises 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 Blattfleckenerreger Exserohilum turcicum in Abhängigkeit des Pflanzensegmentes und des Applikationszeitpunktes im Vegetationsverlauf zur Silomaisernte im Stadium BBCH 85

<table>
<thead>
<tr>
<th>Pflanzensegment</th>
<th>V2 BBCH 34</th>
<th>V3 BBCH 37</th>
<th>V4 BBCH 55</th>
<th>V5 BBCH 65</th>
<th>V6 BBCH 37+65</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Oben</td>
<td>33,0</td>
<td>49,1</td>
<td>45,4</td>
<td>85,8</td>
<td>87,7</td>
</tr>
<tr>
<td>L 2</td>
<td>32,1</td>
<td>49,0</td>
<td>51,6</td>
<td>86,3</td>
<td>88,2</td>
</tr>
<tr>
<td>L 1</td>
<td>33,3</td>
<td>52,8</td>
<td>52,4</td>
<td>82,9</td>
<td>91,7</td>
</tr>
<tr>
<td>L 0</td>
<td>39,8</td>
<td>59,0</td>
<td>64,3</td>
<td>88,8</td>
<td>95,0</td>
</tr>
<tr>
<td>L -1</td>
<td>43,9</td>
<td>67,6</td>
<td>72,9</td>
<td>93,5</td>
<td>97,3</td>
</tr>
<tr>
<td>L -2</td>
<td>39,9</td>
<td>71,4</td>
<td>72,4</td>
<td>97,7</td>
<td>99,8</td>
</tr>
<tr>
<td>Mittelwert:</td>
<td>37,0</td>
<td>58,2</td>
<td>59,8</td>
<td>89,2</td>
<td>93,3</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Rispenschieben (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 Versuchs Jahr 2013 wurde nach einem Hochwasserereignis Anfang Juni eine Neuauansaatzung des Maises am 17.06. vollzogen. Zwar konnten die Pflanzen zur Ernte im Oktober eine Siloreife aufweisen, jedoch wurde durch die bereits angesprochenen, tiefen Nachtemperaturen 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 Befallsverlaufs 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 Rispenschieben (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 Befallsgrad der Kontrolle. Das bereits ausführlich betrachtete Versuchs Jahr 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 Witterungserignissen und den stadienorientierten Fungizidapplikationen

Anhand der Fallstudie aus dem Versuchsjahr 2014 vom Standort Reding wird in diesem Kapitel ein Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungserignissen 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 Witterungserignisse, 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.

![Diagramm mit spezifischen Witterungserignissen und Fungizidapplikationen](image)

**Abb. 83:** Standort Reding, 2014: Zusammenhang zwischen den spezifischen Witterungserignissen mit optimalen Bedingungen zur Konidiogenese (rel. Luftefeuchte ≥ 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

![Diagrammlegende](image)

**Legende:**
- = Zeiträume spezifischer Witterungserignisse
- = Kurative Phase des Fungizids (5 Tage)
- = Protektive Phase des Fungizids (21 Tage)
★ = Erstauftreten von *Exserohilum turcicum* im Maisbestand


### 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 Kotamination 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 Rispenschieben 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

### 4.2.4.2 Mykotoxine im Körnermais

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
4. Ergebnisse

Im Jahr 2013 war bei den Mykotoxinsanalysen 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 Rispenschieben 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 Silomais auf 100 % Trockenmasse, wohingegen beim Körnermais, wie bei anderen Getreidearten auch, alle Ergebnisse auf eine Restfeuchtigkeit von 14 % (86 % TM) berechnet wurden.

4. Ergebnisse

**Abb. 90:** Standort Reding, 2012: Einfluss von stadienorientierten Applikationen des Fungizids Reten-go 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
4. Ergebnisse

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.


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

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. Ergebnisse

4.3 Versuchsstandorte des LSV Bayern 2012 - 2013

4.3.1 Witterungsverläufe an den Standorten des LSV Bayern


4.3.1.1 Witterung der Standorte des LSV Bayern 2012

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.


<table>
<thead>
<tr>
<th>Standort</th>
<th>Witterung Vegetationsphase</th>
<th>Witterung Blühphase</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Ø Temperatur [°C]</td>
<td>Σ Niederschlag [l/m²]</td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>14,1</td>
<td>417,4</td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>14,0</td>
<td>705,0</td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>13,6</td>
<td>550,6</td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>14,8</td>
<td>535,3</td>
</tr>
<tr>
<td>Neuhof</td>
<td>14,1</td>
<td>382,9</td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>14,4</td>
<td>516,3</td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>14,6</td>
<td>468,2</td>
</tr>
<tr>
<td>Schwarzenau</td>
<td>14,9</td>
<td>325,8</td>
</tr>
<tr>
<td>Sengkofen</td>
<td>14,7</td>
<td>480,7</td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>14,0</td>
<td>403,2</td>
</tr>
<tr>
<td>Thann</td>
<td>14,2</td>
<td>536,1</td>
</tr>
<tr>
<td>Ø</td>
<td>14,3</td>
<td>483,8</td>
</tr>
</tbody>
</table>
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)
4. Ergebnisse

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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Standort</th>
<th>Witterung Vegetationsphase</th>
<th>Witterung Blühphase</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Ø Temperatur [°C]</td>
<td>Σ Niederschlag [l/m²]</td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>13,8</td>
<td>545,1</td>
</tr>
<tr>
<td>Euerfeld</td>
<td>14,0</td>
<td>542,1</td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>13,7</td>
<td>616,1</td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>13,4</td>
<td>575,4</td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>14,6</td>
<td>605,2</td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>14,3</td>
<td>540,5</td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>14,5</td>
<td>476,7</td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>13,8</td>
<td>567,1</td>
</tr>
<tr>
<td>Thann</td>
<td>14,2</td>
<td>644,9</td>
</tr>
<tr>
<td>Ø</td>
<td>14,0</td>
<td>568,1</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 hohen 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


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.

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 $P \leq 0,05$
4. Ergebnisse


![Diagramm der ZEA- und DON-Gehalte im Körnermais der drei Reifegruppen frühe (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 $P \leq 0,05$]


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: \( P \leq 0.05 = \ast, P \leq 0.01 = \ast\ast, P \leq 0.001 = \ast\ast\ast\); Multipler Kontrasttest

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 \( \ast\ast\ast \)-Wert-Tabelle (Tab. 27) zeigt in diesem Fall signifikant niedrigere Werte als die der Sortenmittel der Stand-
orte Frankendorf (FRA), Inzing (INZ), Neuhof (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 Standorten Günzburg (GÜN), Regenstau (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 Mykotoxine 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

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 $P \leq 0.05$


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
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: $P \leq 0,05 = \ast$, $P \leq 0,01 = \ast \ast$, $P \leq 0,001 = \ast \ast \ast$; Multipler Kontrasttest

<table>
<thead>
<tr>
<th>Standorte</th>
<th>EHL</th>
<th>EUE</th>
<th>FRA</th>
<th>GÜN</th>
<th>INZ</th>
<th>REG</th>
<th>REI</th>
<th>STR</th>
<th>THA</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>EHL</td>
<td>0,671</td>
<td>0,977</td>
<td>1,000</td>
<td>1,000</td>
<td>0,969</td>
<td>1,000</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>1,000</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>EUE</td>
<td>1,000</td>
<td>0,352</td>
<td>0,971</td>
<td>1,000</td>
<td>1,000</td>
<td>0,817</td>
<td>0,006**</td>
<td>0,995</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>FRA</td>
<td>0,974</td>
<td>0,240</td>
<td>0,992</td>
<td>0,988</td>
<td>0,850</td>
<td>1,000</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>0,979</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GÜN</td>
<td>0,925</td>
<td>0,170*</td>
<td>1,000</td>
<td>1,000</td>
<td>0,996</td>
<td>1,000</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>1,000</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>INZ</td>
<td>0,986</td>
<td>0,138</td>
<td>1,000</td>
<td>0,853</td>
<td>1,000</td>
<td>1,000</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>1,000</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>REG</td>
<td>1,000</td>
<td>0,935</td>
<td>0,992</td>
<td>0,902</td>
<td>0,988</td>
<td>0,973</td>
<td>0,033*</td>
<td>0,999</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>REI</td>
<td>0,779</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>0,920</td>
<td>0,374</td>
<td>$0,010 \ast \ast$</td>
<td>0,513</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>1,000</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>STR</td>
<td>0,994</td>
<td>0,945</td>
<td>0,022*</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>$0,007 \ast \ast$</td>
<td>0,384</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>0,002**</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>THA</td>
<td>0,865</td>
<td>0,003*</td>
<td>0,995</td>
<td>0,986</td>
<td>0,209</td>
<td>0,740</td>
<td>0,320</td>
<td>$&lt; 0,001 \ast \ast \ast$</td>
<td>1,000</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Günsburg (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 Myktoxins 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


![Graphik: Vergleich der DON-Gehalte zwischen den Referenzsorten RS 1 und RS 2 und dem Mittelwert der Sorten des LSV 2012 an den jeweiligen Standorten](attachment:graph.png)

**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
4. Ergebnisse


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 Versuchs-jahr 2013 weiterhin, dass die die DON-Werte von RS 2 und Sortenmittel stark untereinander abwichen (bis zu Faktor 4).


**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 Anbauystemfaktoren 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 Maises, vom Spitzen 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
4. Ergebnisse

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


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

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).

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.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Temperatursummenbereich [°C]</th>
<th>700 - 900</th>
<th>750 - 950</th>
<th>800 - 1000</th>
<th>850 - 1050</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>$R^2$</td>
<td>0,64</td>
<td>0,53</td>
<td>0,41</td>
<td>0,12</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 tatsächlichen 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 Qualitäts- eigenschaften 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
4. Ergebnisse

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. 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.


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.


**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; \( p \leq 0,001 = ***; p \leq 0,01 = **; p \leq 0,05 = *; \)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Reifegruppe</th>
<th>Sorte</th>
<th>Temperatursummenbereich [°C]</th>
<th>( R^2 )</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>700 - 900</td>
<td>750 - 950</td>
</tr>
<tr>
<td>früh</td>
<td>Amagrano</td>
<td>0,56 (^{ns})</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Ricardinio</td>
<td>---</td>
<td>0,35 (^{ns})</td>
</tr>
<tr>
<td>mittelfrüh</td>
<td>Luigi CS</td>
<td>0,31 (^{ns})</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Grosso</td>
<td>0,36 (^{ns})</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>LG 3258</td>
<td>0,40 (^{ns})</td>
<td>0,34 (^{ns})</td>
</tr>
<tr>
<td>mittelspät</td>
<td>Torres</td>
<td>0,73 (^{**})</td>
<td>0,60 (^{*})</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Suzy</td>
<td>0,45 (^{ns})</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Susann</td>
<td>0,91 (^{***})</td>
<td>0,61 (^{*})</td>
</tr>
</tbody>
</table>
5. Diskussion

5.1 Blattpathogene


5. Diskussion

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).


5.1.1 Kabatiella zeae


### 5.1.1.1 Befallsverlauf während der Vegetationsperiode


tationsperiode 2012 als hoch angesehen werden, was die hohen Befallsstärken im Ver- 
suchsjahr 2012 z. T. erklären kann.
Für eine hohe Inokulumdichte spricht weiterhin, dass die Parzellen am Standort Hohenschul-
en in Mulchsaat bewirtschaftet werden, wodurch ein Großteil der Erntereste der Vorfrucht 
Mais zur Aussaat des neuen Maises im Frühjahr an der Bodenoberfläche verbleibt. Diesbe-
züglich 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 Maisvor-
frucht mit Inokulum, um einen erheblichen Befall mit *K. zeae* auszulösen. Daran anschlie-
ßend beschreibt der Autor in einer anderen Publikation, dass die Beseitigung der Ernterück-
stände 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 Überdauersstruk-
turen die ersten Konidien an junge Pflanzen getragen werden (CHIANG et al., 1990; MUNK-
VOLD & 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 beo-
bachtete Sachverhalt deutet darauf hin, dass entweder die Temperaturangabe zum Erstau-
treten 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 Ta-
gen (CHIANG et al., 1990; MUNKVOLD & MARTINSON, 2001; LIPPS & MILLS, 2005). Nach eig-
en 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 Inkubati-
onszeiten, können aber das verspätete Auftreten auf dem Versuchsland nicht erklären. Hier-
bei müssen eher die nicht-standardisierten, umweltbedingten Einflussgrößen unter Feldbe-
dingungen 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 diesemAbschnitt der Diskussion auf die Aussage von 
VERREET (1995) verwiesen werden, wonach die Vielfältigkeit von Interaktionen des Patho-
gens, 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.


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.


Diskussion


### 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.

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


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 L 2) 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 perthotrophe Erreger, wie z.B. DTR an Weizen (WOLF, 1991) handelt. Für Blattfleckenerreger 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-

Die vorherrschende BSB kann somit anhand der ermittelten BHB bis zu einem Wert von 70% in linearer Beziehung berechnet werden. Für die Ermittlung einer Schadenschwelle 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).


5.1.1.3 Einfluss der Witterung


In den Versuchen der vorliegenden Arbeit zur Erklärung der K. zeae-Progression können keine konkreten Beziehungen zu den auftretenden Temperaturen während der Witterungseereignisse 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 Blattfleckenerregers Kabatiella zeae am Standort Hohen suelen. 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 zeae“ 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 2014 konnte aufgrund des geringen Befallsgeschehens keine Aussage zu einer Leistung des eingesetzten Fungizids hinsichtlich Befallsreduktion gemacht werden.

5.1.2 *Exserohilum turcicum*


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 %

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.

5. Diskussion


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 Ausgangsgrößen, 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 cm² pro Tag, wobei an anderer Stelle in der Literatur von einer Fleckenausbreitung von 0,25 cm² pro Tag gesprochen wird (BERGER, 1973). Die in dieser Arbeit gemessene Läsi onsausbreitung 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 cm² hatten, konnte bei den später gebildeten Flecken am 27.08.15 ein Wachstum von 0,76 cm² pro Tag ermittelt werden.


### 5.1.2.2 Einfluss der Witterung


Da kein expliziter Startpunkt der Progressionsphase von *E. turcicum* im Rahmen der Feldversuche 2014 mit einem Witterungseignis 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 Blattflecken. 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 Blattflecken folgt.
5. Diskussion

5.1.2.3 Einfluss einer Fungizidapplikation


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


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


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 Mykotoxinnenge im Erntegut formuliert werden. Als letzte, steuerbare Einflussgröße wurde eine Fungizidapplikation zur Minimierung der Mykotixinbelastung an den beiden Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding untersucht, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten, analog zu den bereits beschriebenen Varianten zur Blatterregerbekämpfung, durchgeführt wurde.
5. Diskussion

5.2.1 Einfluss der Sorte


5.2.2 Einfluss der Witterung
5. Diskussion


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.


5.2.3 Einfluss der Fungizidapplikation

In den Fallstudien von den Standorten Höhen­schulen 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 Rispenschieben 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 Fumonisins re-

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 Diskussionkapitel 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 Qualitätsicherung 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

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 Blattfleckenerreger Kabatiella zeae aktiv gefördert, wobei eine passive Förderung durch einen gestressten Maisbestand ebenso denkbar ist. In Folge des Fungizideinsatzes wurde zum einen das Aufkommen des Blattfleckenerregers 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 Blattfleckenerreger. Zusätzlich hatte die wesentlich weniger gestresste Maispflanze eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Blattfleckenerreger.

Die einzelnen Beziehungen, die den dargestellten Fallstudien zugrunde lagen und letztendlich in der Ertragsleistung resulteren, sind in Abb. 118 aufgeführt. Das Schaubild soll unterstürend 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. zeae 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.


6. Zusammenfassung


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

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.

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 zeae 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 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. zeae 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. zeae, 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. zeae 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


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


8. Literaturverzeichnis


BERGER, R. D. (1972): Timing of aerially applied sprays to control corn blight. Florida Agricultural Experiment Station Journal Series 4611, 141-143.


8. Literaturverzeichnis


CHINCHILLA, C. M. (1986): Effects of four tillage treatments on Eyespot (Kabatiella zeae Narita and Hiratsuka) development and grain yield in maize. Turrialba 36 (4), 427-430.


186


9. Anhang

### Tabelle 1: Düngungsmaßnahmen Versuchsstandort Hohenschulen, 2012 - 2014

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Datum</th>
<th>Düngerform</th>
<th>Menge pro ha</th>
<th>Nährstoffmenge [kg/ha]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012</td>
<td>---</td>
<td>Kornkali</td>
<td>300 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>28.03.</td>
<td>Schweinegülle</td>
<td>35 m³</td>
<td>133</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>20.04.</td>
<td>NP 20/20, Unterfuß</td>
<td>150 kg</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>23.05.</td>
<td>Kieserit</td>
<td>150 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>22.04.</td>
<td>Schweinegülle</td>
<td>40 m³</td>
<td>160</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>24.04.</td>
<td>NP 20/20, Unterfuß</td>
<td>150 kg</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>07.06.</td>
<td>Kieserit</td>
<td>150 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>01.07.</td>
<td>Mikronährstoffe</td>
<td>1,0 l</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Bittersalz</td>
<td>5 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>06.03.</td>
<td>Kornkali</td>
<td>160 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>13.03.</td>
<td>Kalk</td>
<td>4000 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>16.04.</td>
<td>Schweinegülle</td>
<td>45 m³</td>
<td>126</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>28.04.</td>
<td>NP 18/46, Unterfuß</td>
<td>100 kg</td>
<td>18</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>20.05.</td>
<td>Kieserit</td>
<td>150 kg</td>
<td>---</td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Tabelle 2: Herbizidmaßnahmen Versuchsstandort Hohenschulen, 2012 - 2014

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Datum</th>
<th>Handelsname</th>
<th>Aufwands-</th>
<th>Wirkstoff</th>
<th>Aktiv-</th>
<th>subsanz</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>menge</td>
<td></td>
<td></td>
<td>[g/l; g/kg]</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>[l/ha]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2012</td>
<td>22.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,75</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,75</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2012</td>
<td>31.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,75</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,75</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>17.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,7</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,7</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>05.06.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,7</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,7</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2013</td>
<td>07.06.</td>
<td>Arrat (Teilfläche)</td>
<td>0,2</td>
<td>Tritosulfuron</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dash (Teilfläche)</td>
<td>1,0</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Kelvin</td>
<td>0,5</td>
<td>Nicosulfuron</td>
<td>40</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>20.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,7</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,7</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>10.06.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>0,7</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>0,7</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Arrat (Teilfläche)</td>
<td>0,2</td>
<td>Tritosulfuron</td>
<td>250</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dash (Teilfläche)</td>
<td>1,0</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>(FHS)</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Tabelle 3: Düngungsmaßnahmen Versuchsstandort Reding, 2012 - 2014

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Düngerform</th>
<th>Menge pro ha</th>
<th>Nährstoffmenge [kg/ha]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012 - 2014 jeweils</td>
<td>Kornkali</td>
<td>250 kg</td>
<td>--- --- 100</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>Urea S</td>
<td>470 kg</td>
<td>180 --- ---</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Tabelle 4: Herbizidmaßnahmen Versuchsstandort Reding, 2012 - 2014

<table>
<thead>
<tr>
<th>Jahr</th>
<th>Handelsname</th>
<th>Aufwandmenge [l/ha]</th>
<th>Wirkstoff</th>
<th>Aktivsubstanz [g/l; g/kg]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2012 - 2014 jeweils</td>
<td>Clio Super</td>
<td>1,25</td>
<td>Topramezone</td>
<td>32</td>
</tr>
<tr>
<td>2014</td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>1,25</td>
<td>Dimethenamid-P</td>
<td>538</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Bromoxynil</td>
<td>100</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>Terbuthylazin</td>
<td>250</td>
</tr>
<tr>
<td>Standort</td>
<td>Datum</td>
<td>Düngerform</td>
<td>Menge Stickstoff [kg/ha]</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>-------------</td>
<td>---------</td>
<td>-------------</td>
<td>-------------------------</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>25.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>27.04.</td>
<td>ENTEC</td>
<td>130</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Neuhof</td>
<td>20.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>26.04.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>18.04.</td>
<td>Alzon 47 N</td>
<td>110</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Biogasgärrest</td>
<td>80</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>20.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>12.04.</td>
<td>Rindergülle</td>
<td>60</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>16.04.</td>
<td>AHL</td>
<td>80</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>18.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>28.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>24.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>29.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>02.05.</td>
<td>AHL</td>
<td>130</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Thann</td>
<td>25.04.</td>
<td>ENTEC</td>
<td>130</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>27.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>31.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>20</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>25.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>22.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>110</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>30.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>32</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>11.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>100</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Sengkofen</td>
<td>07.04.</td>
<td>Hühnergülle</td>
<td>110</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>10.04.</td>
<td>Harnstoff 46</td>
<td>55</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Schwarzenau</td>
<td>17.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>25.04.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>70</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Standort</td>
<td>Datum</td>
<td>Handelsname</td>
<td>Aufwandmenge [l/ha; kg/ha]</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>---------------</td>
<td>--------</td>
<td>----------------------</td>
<td>---------------------------</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>22.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Neuhof</td>
<td>22.05.</td>
<td>Calaris</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dual Gold</td>
<td>1,25</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>08.05.</td>
<td>Calaris</td>
<td>0,75</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>23.05.</td>
<td>Calaris</td>
<td>0,75</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dual Gold</td>
<td>0,63</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>11.05.</td>
<td>Spectrum</td>
<td>1,0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Clio Star</td>
<td>1,0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>25.05.</td>
<td>Successor T</td>
<td>3,0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Laudis</td>
<td>2,0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>09.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>22.05.</td>
<td>Laudis</td>
<td>1,8</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Successor T</td>
<td>2,7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Thann</td>
<td>22.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>21.05.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>04.05.</td>
<td>Gardo Gold</td>
<td>2,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Terano</td>
<td>0,7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Sengkofen</td>
<td>11.05.</td>
<td>Callisto</td>
<td>0,7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Gardo Gold</td>
<td>3,0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>03.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Schwarzenau</td>
<td>29.05.</td>
<td>Dual Gold</td>
<td>1,25</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Calaris</td>
<td>1,5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>09.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Tabelle 7: N-Düngungsmaßnahmen LfL-Projekt 2013

<table>
<thead>
<tr>
<th>Standort</th>
<th>Datum</th>
<th>Düngerform</th>
<th>Menge Stickstoff [kg/ha]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>24.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>29.04.</td>
<td>ENTEC</td>
<td>120</td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>24.04.</td>
<td>Alzon 47 N</td>
<td>150</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>29.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>40</td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>16.04.</td>
<td>ENTEC</td>
<td>80</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>AHL</td>
<td>50</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>NP 20/20</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>26.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>20.06.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>95</td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>02.05.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>AHL</td>
<td>90</td>
</tr>
<tr>
<td>Euerfeld</td>
<td>15.04.</td>
<td>Harnstoff 46</td>
<td>80</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>17.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>08.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>18.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>22.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>110</td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>18.04.</td>
<td>NP 20/20</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>09.05.</td>
<td>Kalkammonsalpeter</td>
<td>120</td>
</tr>
<tr>
<td>Standort</td>
<td>Datum</td>
<td>Handelsname</td>
<td>Aufwandmenge [l/ha; kg/ha]</td>
</tr>
<tr>
<td>------------</td>
<td>----------</td>
<td>-------------------</td>
<td>----------------------------</td>
</tr>
<tr>
<td>Frankendorf</td>
<td>07.06.</td>
<td>Clio Super</td>
<td>1,5</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Zeagran Ultimate</td>
<td>1,5</td>
</tr>
<tr>
<td>Straßmoos</td>
<td>16.05.</td>
<td>Calaris</td>
<td>0,75</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dual Gold</td>
<td>0,63</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>08.06.</td>
<td>Calaris</td>
<td>0,75</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dual Gold</td>
<td>0,63</td>
</tr>
<tr>
<td>Regenstauf</td>
<td>16.05.</td>
<td>Bromoxynil 325</td>
<td>0,4</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Laudis</td>
<td>1,6</td>
</tr>
<tr>
<td>Ehlheim</td>
<td>06.06.</td>
<td>Aspect</td>
<td>1,5</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Laudis</td>
<td>2,0</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>23.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
</tr>
<tr>
<td>Günzburg</td>
<td>28.05.</td>
<td>Laudis</td>
<td>1,7</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Successor T</td>
<td>2,5</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>12.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
</tr>
<tr>
<td>Euerfeld</td>
<td>12.06.</td>
<td>Calaris</td>
<td>1,5</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Dual Gold</td>
<td>1,25</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>25.07.</td>
<td>Steward</td>
<td>0,13</td>
</tr>
<tr>
<td>Reith</td>
<td>09.05.</td>
<td>Callisto</td>
<td>1,0</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Gardo Gold</td>
<td>4,0</td>
</tr>
<tr>
<td>Inzing</td>
<td>09.05.</td>
<td>Callisto</td>
<td>0,8</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Gardo Gold</td>
<td>3,0</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Danksagung

# Curriculum vitae

## Persönliche Daten

<table>
<thead>
<tr>
<th>Name:</th>
<th>Christoph Algermissen</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Geburtsort und -ort:</td>
<td>12.10.1983 in Hildesheim</td>
</tr>
<tr>
<td>Familienstand:</td>
<td>ledig</td>
</tr>
<tr>
<td>Staatsangehörigkeit:</td>
<td>deutsch</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Hochschulbildung/Promotion

<table>
<thead>
<tr>
<th>03/2012 – 01/2016</th>
<th>Promotionsstudium, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>10/2006 – 08/2011</td>
<td>Studium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität zu Göttingen, Fachrichtung Pflanzenproduktion</td>
</tr>
</tbody>
</table>
| **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

<table>
<thead>
<tr>
<th>07/2004 – 07/2006</th>
<th>Berufsausbildung zum Landwirt</th>
</tr>
</thead>
</table>

### Grundwehrdienst

|-------------------|----------------------------------|

### Schulabschluss

<table>
<thead>
<tr>
<th>06/2003</th>
<th>Abitur, Michelsenschule Hildesheim</th>
</tr>
</thead>
</table>

### Praktika

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>07/2007 – 09/2007</td>
<td>Agro Service Lensahn, Petersdorf</td>
</tr>
<tr>
<td>02/2008 – 04/2008</td>
<td>N.U. Agrar GmbH, Schackenthal</td>
</tr>
<tr>
<td>07/2010 – 09/2010</td>
<td>Landbau Service OHG, Altbühl</td>
</tr>
<tr>
<td>10/2010 – 12/2010</td>
<td>Bayer CropScience AG, Monheim</td>
</tr>
<tr>
<td>09/2011 – 10/2011</td>
<td>Agro Service Lensahn, Petersdorf</td>
</tr>
</tbody>
</table>