

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

**Analyse des epidemiologischen Ausbreitungsmusters (Infektion,
Besiedlung, Progression) verschiedener *Fusarium*-Arten sowie
Effekte der Beize und fungizider Blattbehandlungen in der
Maiskultur 2012 – 2014**

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

vorgelegt von
M.Sc. Christiane Wiese
aus Neumünster

Kiel, 2015

Dekan: Prof. Dr. Hartung

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Verreet

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Cai

Tag der mündlichen Prüfung: 04.11.2015

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

Natürlicher Verstand kann fast jeden Grad von Bildung ersetzen,
aber keine Bildung den natürlichen Verstand.

Arthur Schopenhauer
(1788 – 1860)

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | XII |
| Abkürzungsverzeichnis | XVII |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Literaturübersicht | 3 |
| 2.1 <i>Fusarium</i> spp. - Erregerkomplex der Kolben- und Stängelfäule an Mais..... | 3 |
| 2.1.1 Taxonomische Einordnung..... | 3 |
| 2.1.2 Symptomatik | 4 |
| 2.1.3 Biologie und Infektionszyklus | 7 |
| 2.1.4 Mykotoxine..... | 10 |
| 2.1.4.1 Trichothecene | 14 |
| 2.1.4.2 Zeralenon..... | 16 |
| 2.2 Blattkrankheiten an Mais..... | 17 |
| 2.2.1 <i>Kabatiella zeae</i> | 17 |
| 2.2.2 <i>Phoma zeae-maydis</i> | 19 |
| 2.2.3 <i>Exserohilum turcicum</i> | 21 |
| 2.3 Strategien zur Vermeidung des <i>Fusarium</i> -Befalls in der Maiskultur | 23 |
| 2.3.1 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen | 23 |
| 2.3.2 Fungizide | 25 |
| 3. Material und Methoden | 28 |
| 3.1 Verwendete Materialien | 28 |
| 3.1.1 Technische Geräte..... | 28 |
| 3.1.2 Verbrauchsmaterialien und molekularbiologische Kits..... | 28 |
| 3.1.3 Chemikalien | 29 |
| 3.1.4 Enzyme..... | 29 |
| 3.1.5 Organismen | 29 |
| 3.1.6 Fungizide | 30 |
| 3.2 Feldversuche Silomais und Körnermais..... | 31 |
| 3.2.1 Versuchsstandorte und Versuchsanlage | 31 |
| 3.2.2 Anbauparameter und Maßnahmen der Bestandesführung | 33 |
| 3.2.3 Versuchsdurchführung und Fungizidapplikation | 36 |
| 3.2.4 Visuelle Bonitur | 39 |
| 3.2.5 Erfassung meteorologischer Daten | 40 |
| 3.2.6 Probenahme und Vorbereitung des Probenmaterials | 40 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3 | Molekularer Erregernachweis | 43 |
| 3.3.1 | DNA-Extraktion aus Pflanzenmaterial | 43 |
| 3.3.2 | qPCR | 44 |
| 3.4. | Mykotoxinanalyse | 47 |
| 3.4.1 | Mykotoxinextraktion | 47 |
| 3.4.2 | Parameter der Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometrie- Kopplung (LC/MS)..... | 48 |
| 3.5 | Statistische Auswertung und graphische Datenaufbereitung | 49 |
| 4. | Ergebnisse..... | 51 |
| 4.1 | Darstellung des Witterungsverlaufs | 51 |
| 4.1.1 | Witterungsverhältnisse am Standort Hohenschulen (S.-H.) in den Versuchsjahren 2012 – 2014 | 52 |
| 4.1.2 | Witterungsverhältnisse am Standort Reding (BY) in den Versuchsjahren 2012 und 2014 | 55 |
| 4.1.3 | Witterungsverhältnisse am Standort Liesborn (NRW) im Versuchsjahr 2013 | 58 |
| 4.1.4 | Witterungsverhältnisse am Standort Brockum (NS) im Versuchsjahr 2014 | 59 |
| 4.2 | Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte Lorado) und Reding (BY; Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2012 | 61 |
| 4.2.1 | Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte Lorado) | 61 |
| 4.2.1.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten | 61 |
| 4.2.1.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 62 |
| 4.2.1.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 63 |
| 4.2.1.4 | Silomais TM-Erträge | 65 |
| 4.2.2 | Versuchsstandort: Reding (BY, Sorte NK Nekta) | 66 |
| 4.2.2.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten | 66 |
| 4.2.2.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 67 |
| 4.2.2.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 68 |
| 4.2.2.4 | Körnermais TM-Erträge..... | 70 |
| 4.3 | Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte NK Nekta und Multitop) und Liesborn (NRW; Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2013 | 71 |
| 4.3.1 | Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte NK Nekta und Multitop).. | 71 |
| 4.3.1.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge | 71 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.3.1.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 74 |
| 4.3.1.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten über die Mais-Vegetation | 77 |
| 4.3.1.4 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 84 |
| 4.3.1.5 | Silomais TM-Erträge | 88 |
| 4.3.2 | Versuchsstandort: Liesborn (NRW, Sorte NK Nekta) | 90 |
| 4.3.2.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge | 90 |
| 4.3.2.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 92 |
| 4.3.2.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten über die Mais-Vegetation | 93 |
| 4.3.2.4 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 97 |
| 4.3.2.5 | Silomais TM-Erträge | 99 |
| 4.3.3 | Zusammenhang zwischen der <i>Fusarium</i> -Befallsintensität und der Mykotoxinkontamination im Erntegut des Versuchsjahres 2013..... | 100 |
| 4.4 | Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte NK Nekta und Multitop), Brockum (NS; Sorte NK Nekta) und Reding (BY; Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014..... | 103 |
| 4.4.1 | Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte NK Nekta und Multitop) | 103 |
| 4.4.1.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge | 103 |
| 4.4.1.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 106 |
| 4.4.1.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten über die Mais-Vegetation | 109 |
| 4.4.1.4 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 116 |
| 4.4.1.5 | Silomais TM-Erträge | 120 |
| 4.4.2 | Versuchsstandort: Brockum (NS, Sorte NK Nekta)..... | 122 |
| 4.4.2.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge | 122 |
| 4.4.2.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 124 |
| 4.4.2.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten über die Mais-Vegetation | 125 |
| 4.4.2.4 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 128 |
| 4.4.2.5 | Silomais TM-Erträge | 131 |
| 4.4.3 | Versuchsstandort: Reding (BY, Sorte NK Nekta) | 132 |
| 4.4.3.1 | Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge | 132 |
| 4.4.3.2 | Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen | 133 |
| 4.4.3.3 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten über die Mais-Vegetation | 135 |
| 4.4.3.4 | Auftreten von <i>Fusarium</i> -Arten und deren Mykotoxine im Erntegut..... | 138 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.4.3.5 | Körnermais TM-Erträge..... | 140 |
| 4.4.4 | Zusammenhang zwischen der <i>Fusarium</i> -Befallsintensität und der Mykotoxinkontamination im Erntegut des Versuchsjahres 2014..... | 141 |
| 4.5 | Epidemiologisches Ausbreitungsmuster verschiedener <i>Fusarium</i> -Arten in der Maiskultur in der Sorte NK Nektar über die Maisvegetation 2014..... | 144 |
| 5. | Diskussion..... | 148 |
| 6. | Zusammenfassung | 169 |
| 7. | Summary | 172 |
| 8. | Literaturverzeichnis | 174 |
| 9. | Anhang | 190 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|----------|---|
| Abb. 1: | <i>Fusarium</i> spp. verursachte Auflaufkrankheiten: Samen- und Keimlingsfäule... 5 |
| Abb. 2: | Symptome der Stängel- und Kolbenfäule. Links: weißliches Mycel am Stängel. Mitte: Befallende Körner am Hauptkolben überzogen mit lachsfarbenen Mycel. Rechts: <i>Fusarium</i> -Befall am Sekundärkolben..... 6 |
| Abb. 3: | Lebenszyklus von <i>F. graminearum</i> (Telemorph: <i>G. zeae</i>) an Mais. (Quelle: verändert nach TRAIL, 2009) 8 |
| Abb. 4: | Grundstruktur der Trichothecene (Quelle: BERTHILLER et al., 2005).....15 |
| Abb. 5: | Grundstruktur von Zearalenon (ZEA) (Quelle: BERTHILLER et al., 2005)16 |
| Abb. 6: | Symptomausbildung von <i>K. zeae</i> an Mais (Quelle: SCHAUBIGER, 2015).....18 |
| Abb. 7: | Symptomausbildung von <i>P. zeae-maydis</i> an Mais (Quelle: SCHULTE, 2014) ..20 |
| Abb. 8: | Symptomausbildung von <i>E. turcicum</i> an Mais22 |
| Abb. 9: | Geographische Lage der Maisfeldversuchsstandorte (ArcGIS)32 |
| Abb. 10: | Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding in dem Versuchsjahr 2012. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle.....37 |
| Abb. 11: | Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Liesborn in dem Versuchsjahr 2013. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle.....37 |
| Abb. 12: | Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen, Brockum und Reding in dem Versuchsjahr 2014. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle.....38 |
| Abb. 13: | Einteilung der Boniturbereiche in oberer, mittlerer und unterer Bereich (Quelle: verändert nach ANONYM, 2015)40 |
| Abb. 14: | Fraktionierung der Maispflanzen in Nodium, Internodium, Kolben und Restpflanze. Links: Maispflanzen mit den einzelnen Fraktionen zu EC 33. Rechts: Probenahmeterminale mit den entsprechenden Fraktionen. N = Nodium; IN = Internodium; Rest = Restpflanze.....42 |
| Abb. 15: | Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2012 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte53 |
| Abb. 16: | Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2013 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte54 |
| Abb. 17: | Witterungsverlauf vom 08. Mai bis 02. Oktober 2014 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte55 |

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 18: | Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2012 am Standort Reding (BY). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte..... | 57 |
| Abb. 19: | Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2014 am Standort Reding (BY). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte..... | 57 |
| Abb. 20: | Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2013 am Standort Liesborn (NRW). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte..... | 59 |
| Abb. 21: | Witterungsverlauf vom 08. Mai bis 01. Oktober 2014 am Standort Brockum (NS). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte..... | 60 |
| Abb. 22: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle..... | 63 |
| Abb. 23: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle..... | 64 |
| Abb. 24: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle..... | 67 |
| Abb. 25: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Körnermais am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle | 68 |
| Abb. 26: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 75 |
| Abb. 27: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 76 |

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 28: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 78 |
| Abb. 29: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 79 |
| Abb. 30: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 80 |
| Abb. 31: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 81 |
| Abb. 32: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 82 |
| Abb. 33: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 83 |
| Abb. 34: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 85 |
| Abb. 35: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 87 |

- Abb. 36: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle93
- Abb. 37: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle94
- Abb. 38: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle95
- Abb. 39: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle96
- Abb. 40: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle97
- Abb. 41: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Versuchsvarianten im Mittel der Standorte (Hohenschulen, Liesborn) im Jahr 2013 100
- Abb. 42: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2013. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus NRW = NK Nekta aus Liesborn (NRW).....101
- Abb. 43: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem ZEA- Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2013. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus NRW = NK Nekta aus Liesborn (NRW).....102
- Abb. 44: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle 107

| | | |
|----------|--|-----|
| Abb. 45: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 108 |
| Abb. 46: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 110 |
| Abb. 47: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 111 |
| Abb. 48: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 112 |
| Abb.49: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 113 |
| Abb. 50: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 114 |
| Abb. 51: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 115 |
| Abb. 52: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 117 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Abb. 53: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 119 |
| Abb. 54: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 125 |
| Abb. 55: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 126 |
| Abb. 56: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 127 |
| Abb. 57: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 128 |
| Abb. 58: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 129 |
| Abb. 59: | Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von <i>K. zeae</i> (%), <i>P. zeae-maydis</i> (%) und <i>E. turcicum</i> (%) in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle..... | 134 |
| Abb. 60: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 135 |
| Abb. 61: | Befallsstärken nachgewiesener <i>Fusarium</i> -Arten (Verhältnis <i>Fusarium</i> -DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle | 136 |

- Abb. 62: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle138
- Abb. 63: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Körnermais am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle139
- Abb. 64: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Versuchsvarianten im Mittel der Standorte (Hohenschulen, Brockum, Bayern) im Jahr 2014.....142
- Abb. 65: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2014. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus NS = NK Nekta aus Brockum (NS); NK aus BY = NK Nekta aus Reding (BY).....143
- Abb. 66: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2014. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus NS = NK Nekta aus Brockum (NS); NK aus BY = NK Nekta aus Reding (BY).....144
- Abb. 67: Schematische Darstellung des systemischen Wachstums von *Fusarium* spp. (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nekta über die Maisvegetation 2014 (EC 33 / EC 65 / EC 75 / EC 85) am Versuchsstandort Hohenschulen. N1 – N9 = Nodium 1 – Nodium 9; IN1 – IN9 = Internodium 1 – Internodium 9; Rest = Restpflanze; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben.....145
- Abb. 68: Schematische Darstellung des systemischen Wachstums der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Silomais (EC 85) der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nekta im Jahr 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen. N1 – N9 = Nodium 1 – Nodium 9; IN1 – IN9 = Internodium 1 – Internodium 9; Rest = Restpflanze; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben147

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| Tab. 1: | An der Maiskultur nachgewiesene <i>Fusarium</i> -Arten mit Haupt- und Nebenfruchtform | 4 |
| Tab. 2: | Mykotoxin bildende <i>Fusarium</i> -Arten und deren jeweiligen Mykotoxine | 12 |
| Tab. 3: | Höchstgehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$) für die <i>Fusarium</i> -Toxine DON und ZEA in unverarbeitetem Speisegetreide und Lebensmitteln (Quelle: verändert nach ANONYM, 2007)..... | 13 |
| Tab. 4: | Richtwerte für die <i>Fusarium</i> -Toxine DON und ZEA in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen (Quelle: verändert nach ANONYM, 2006) | 14 |
| Tab. 5: | Für die qPCR als Positivkontrolle genutzte <i>Fusarium</i> -Isolate sowie deren Herkunft | 30 |
| Tab. 6: | Übersicht der Maisfeldversuche von 2012 – 2014 | 31 |
| Tab. 7: | Geographische Lage, Bodentypen, -arten und Ackerzahlen der Versuchsfelder | 32 |
| Tab. 8: | Bodenbearbeitungsverfahren auf den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014 | 34 |
| Tab. 9: | Aussaattermine und Aussaatstärke an den Versuchsstandorten in den Versuchsjahren 2012 – 2014..... | 35 |
| Tab. 10: | Stickstoff-, Kalium- und Phosphorversorgung auf den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014 | 36 |
| Tab. 11: | Aufwandmengen der Saatgutbeizen (Maxim [®] XL, Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro) und des Blattfungizids (Quilt [®] Xcel) in den Maisfeldversuchen von 2012 – 2014 | 39 |
| Tab. 12: | Übersicht der Probenahme und Fraktionierung der Versuchsstandorte Hohenschulen und Liesborn (Versuchsjahr 2013) und der Versuchsstandorte Hohenschulen, Brockum und Reding (Versuchsjahr 2014)..... | 41 |
| Tab. 13: | Artspezifische Primer zur Identifikation und Quantifizierung verschiedener <i>Fusarium</i> -Arten (NICOLAISEN et al., 2009)..... | 45 |
| Tab. 14: | Pipettierschema für einen Reaktionsansatz der qPCR | 45 |
| Tab. 15: | Mittels LC/MS messbare Mykotoxine sowie mykotoxinspezifische Parameter für die LC/MS-Messung. Fettgedruckte Fragmente wurden für die Quantifizierung genutzt. pos. = positiv; neg. = negativ; Neg.-lon = Negativ-Ion. | 49 |
| Tab. 16: | Witterungsparameter des Versuchsstandortes Hohenschulen der Jahre 2012 – 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Rendsburg). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015)..... | 52 |
| Tab. 17: | Witterungsparameter des Versuchsstandortes Reding der Jahre 2012 und 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Simbach). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015)..... | 56 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tab. 18: | Witterungsparameter des Versuchsstandortes Liesborn im Jahr 2013 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Osnabrück). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015) | 58 |
| Tab. 19: | Witterungsparameter des Versuchsstandortes Brockum im Jahr 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Diepholz). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015) | 60 |
| Tab. 20: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m ⁻²) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Maxim [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Versuchsjahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)..... | 61 |
| Tab. 21: | DON- und ZEA-Gehalte (µg · kg ⁻¹ TM) im Silomais der Sorte Lorado am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05) | 65 |
| Tab. 22: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha ⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Versuchsjahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05) | 66 |
| Tab. 23: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m ⁻²) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Maxim [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)..... | 66 |
| Tab. 24: | DON-, und ZEA-Gehalte (µg kg ⁻¹ TM) im Körnermais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Reding im Jahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05) | 69 |
| Tab. 25: | TM-Erträge der Körnermaisproben (dt ha ⁻¹) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05) | 70 |
| Tab. 26: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m ⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)..... | 72 |
| Tab. 27: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m ⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW ± STABW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)..... | 72 |
| Tab. 28: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05) | 73 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Tab. 29: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$). | 74 |
| Tab. 30: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 86 |
| Tab. 31: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte Multitop am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 88 |
| Tab. 32: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 89 |
| Tab. 33: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 90 |
| Tab. 34: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)..... | 91 |
| Tab. 35: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) .. | 91 |
| Tab. 36: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Liesborn im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 98 |
| Tab. 37: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Liesborn im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 99 |
| Tab. 38: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)..... | 104 |
| Tab. 39: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 104 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Tab. 40: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 105 |
| Tab. 41: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$). | 106 |
| Tab. 42: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 118 |
| Tab. 43: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte Multitop am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 120 |
| Tab. 44: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 121 |
| Tab. 45: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 122 |
| Tab. 46: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)..... | 123 |
| Tab. 47: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 123 |
| Tab. 48: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Brockum im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 130 |
| Tab. 49: | TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Brockum im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 131 |
| Tab. 50: | Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron [®] XL, Maxim [®] Quattro) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)..... | 132 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Tab. 51: | Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 133 |
| Tab. 52: | DON-, und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Körnermais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Reding im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 140 |
| Tab. 53: | TM-Erträge der Körnermaisproben (dt ha^{-1}) am Standort Reding im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron [®] XL und Maxim [®] Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt [®] Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$) | 141 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|---|
| °C | Grad Celsius |
| % | Prozent |
| ‰ | Promille |
| µg | Mikrogramm |
| µl | Mikroliter |
| Abb. | Abbildung |
| BHB | Befallshäufigkeit im Bestand |
| BSA | Bundessortenamt |
| BSB | Befallsstärke im Bestand |
| BVL | Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit |
| BY | Bayern |
| bzw. | beziehungsweise |
| CAU | Christian-Albrechts-Universität |
| cm | Zentimeter |
| DAP | Diammonphosphat |
| DM | dry matter |
| DMIs | Demethylierungs-Inhibitoren |
| DMK | Deutsches Maiskomitee |
| DNA | Desoxyribonukleinsäure |
| DON | Deoxynivalenol |
| DSMZ | Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| EC | phänologisches Entwicklungsstadium (Eucarpia code) |
| EEG | Erneuerbaren-Energie-Gesetz |
| engl. | englisch |
| ESI | Elektrospray-Ionisation |
| et al. | et alii (und andere) |
| <i>F.</i> | <i>Fusarium</i> |
| FB1 | Fumonisin B1 |
| FB2 | Fumonisin B2 |
| fwd | forward |
| g | Gramm |
| <i>G.</i> | <i>Gibberella</i> |
| ha | Hektar |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|---|
| HT2 | HT-2 Toxin |
| <i>K.</i> | <i>Kabatiella</i> |
| Kap. | Kapitel |
| l | Liter |
| L. | Linné |
| LC/MS | Liquid chromatography/mass spectrometry |
| LMW | Langjähriger Mittelwert |
| Luttr. | Luttrell |
| m ² | Quadratmeter |
| min | Minuten |
| mg | Milligramm |
| ml | Milliliter |
| mm | Millimeter |
| MW | Mittelwert |
| N | Stickstoff |
| NaCl | Natriumchlorid |
| NIV | Nivalenol |
| NP | Stickstoff-Phosphat |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |
| NS | Niedersachsen |
| P | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| <i>P.</i> | <i>Phoma</i> |
| Pass. | Passerini |
| Pfl. | Pflanzen |
| PCR | Polymerase-Kettenreaktion |
| qPCR | Quantitative PCR |
| rev | reverse |
| RNAse | Ribonuklease |
| rpm | rounds per minute |
| SBI | Sterol-Biosyntheseinhibitoren |
| sec | Sekunde |
| Sign. | Signifikanz |
| S.-H. | Schleswig-Holstein |
| sL | sandiger Lehm |
| SI | anlehmiger Sand |
| spp. | Species |
| T | T-2 Toxin |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|------------------|
| Tab. | Tabelle |
| tL | toniger Lehm |
| u. a. | unter anderem |
| uS | schluffiger Sand |
| TM | Trockenmasse |
| z.B. | zum Beispiel |
| ZEA | Zearalenol |

1. Einleitung

Die Kulturart Mais (*Zea mays* L.) gehört zu den bedeutendsten Kulturarten weltweit und gewann aufgrund seiner ökologischen Aspekte auch in der deutschen Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Dies trifft im Besonderen neben dem Körnermais- und CCM-Anbau auf die Nutzungsrichtung Silomais zu, da der Mais als energiereiche Futterpflanze in der Milchviehhaltung sowie der Rindermast als Hauptbestandteil in der Futtermittelherstellung Verwendung findet (ZSCHEISCHLER et al., 1990; HAGGAG, 2013).

Zusätzlich stieg die Maisanbaufläche durch die Verabschiedung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 (LOIBL et al., 2009; TAUBE und HERMANN, 2009), in dessen Rahmen der Silomais zur Energiegewinnung in Biogasanlagen genutzt wird (HERRMANN et al., 2011). So konnte in den vergangenen 10 Jahren (2004 – 2014) in Deutschland ein Anstieg der Maisanbaufläche um 51 % von 1.710.000 ha auf 2.573.900 ha verzeichnet werden, wobei im Jahr 2013 erstmalig ein Anbaurückgang auf 2.500.000 ha dokumentiert wurde (ANONYM, 2015 d). Ein weiterer Grund für den Flächenausbau ist durch den Fortschritt in der Maiszüchtung, insbesondere der Entwicklung anpassungsfähiger, kältetoleranter Sorten, welche den Anbau auch auf ungünstigen norddeutschen Anbaustandorten ermöglichen, gegeben (SCHLÜTER und KROPF, 2006). Dieser Wandel geht einher mit immer enger gestellten Fruchtfolgen bis hin zum Anbau als Monokultur sowie der Tendenz zur reduzierten Bodenbearbeitung (MUNKVOLD, 2003 a; EDWARDS, 2004; BEYER et al., 2006, BLANDINO et al., 2008 b).

Diese ackerbaulichen Verfahren in Kombination mit der Ausdehnung der Maisanbauflächen bringen eine Erhöhung des Pflanzenpathogendruckes mit sich. In diesem Zusammenhang stehen insbesondere die plurivoren Schaderreger der Gattung *Fusarium*. Diese Pilzart gehört zu den weltweit wichtigsten Krankheiten im Ackerbau, da eine Vielzahl an ökonomisch bedeutenden Nutzpflanzen als Wirte fungieren. Vor allem Arten der Familie *Poaceae* wie Mais (*Zea mays* L.), Reis (*Oryza sativa* L.), Weizen (*Triticum aestivum* L.), Gerste (*Hordeum vulgare* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.) werden mit *Fusarium* spp. infiziert. Pilze dieser Gattung sind in der Lage, die Maispflanze während der gesamten Vegetationsperiode zu infizieren und führen somit im Maisanbau zu Auflaufkrankheiten, Keimlings-, Stängel- und Kolbenfäulen. Neben quantitativen Ertragsdepressionen sind Qualitätsbeeinträchtigungen durch die von *Fusarium* spp. gebildeten Mykotoxinen festzustellen. Diese sekundären Metaboliten der Pilze reichern sich in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen in Lebens- und Futtermitteln an und stellen global ein ernsthaftes Gefährdungsrisiko für Mensch und Tier dar (PARRY et al., 1995; BOTTALICO und PERRONE, 2002; LOGRIECO et al., 2003; DESJARDINS, 2006; PAPST et al., 2007; KUMAR et al., 2008; DÖLL und DÄNICKE, 2011; RIOS und ORTEGA, 2012). Infolgedessen sprach die

EU-Kommission eine Empfehlung für Richtwerte und Höchstmengen ausgewählter Mykotoxine in Futtermitteln und unverarbeiteten Speisegetreiden sowie Lebensmitteln aus (ANONYM, 2006; ANONYM, 2007).

Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war es, im Rahmen einer experimentellen Untersuchung das epidemiologische Ausbreitungsmuster verschiedener *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxinbildung sowie Hintergrundinformationen über deren qualitatives und quantitatives Auftreten über die Vegetation in der Maiskultur in Schleswig-Holstein (Nutzungsrichtung Silomais; Versuchsjahre 2012 bis 2014), Bayern (Nutzungsrichtung Körnermais; Versuchsjahre 2012 und 2014), Nordrhein-Westfalen (Nutzungsrichtung Silomais; Versuchsjahr 2013) und Niedersachsen (Nutzungsrichtung Silomais; Versuchsjahr 2014) zu erarbeiten. Darüber hinaus sollten unter Beachtung verschiedener Saatgutbeizungen und zusätzlicher chemisch therapeutischer Maßnahmen in verschiedenen Entwicklungsstadien der Maiskultur Veränderungen in der Befallsstärke, Zusammensetzung des Artenspektrums und Kontaminationen des Ernteguts mit Mykotoxinen bestimmt werden, um fungizide Bekämpfungsstrategien zu entwickeln, welche das Auftreten und die Mykotoxinbildung durch Fusariosen während der Vegetationsperiode im Feld in der Maiskultur reduzieren.

2. Literaturübersicht

2.1 *Fusarium* spp. - Erregerkomplex der Kolben- und Stängelfäule an Mais

Schadpilze der Gattung *Fusarium* sind in der Lage, weltweit bedeutende Kulturarten wie Weizen (*Triticum aestivum* L.), Gerste (*Hordeum vulgare* L.), Mais (*Zea mays* L.) oder Reis (*Oryza sativa* L.) zu befallen (DESJARDINS, 2003; LESLIE und SUMMERELL, 2006). Diese bedeutungsvolle, komplexe Gattung beinhaltet eine Vielzahl ökonomisch wichtiger Pflanzenpathogene (LESLIE und SUMMERELL, 2006), welche die Landwirtschaft global beeinflussen (SUMMERELL et al., 2010).

Aufgrund ihres ubiquitären Auftretens zählen *Fusarium* spp. zu den wichtigsten Krankheiten in der Maiskultur (LOGRIECO et al., 2003; LESLIE und SUMMERELL, 2006). Dabei zeigen Analysen des Artenspektrums, dass die Maispflanzen gleichzeitig von mehreren Arten besiedelt werden können, wobei für die Entwicklung, Verbreitung und Prädominanz der *Fusarium*-Arten neben der Konkurrenzfähigkeit der Pathogene die Witterung entscheidend ist (PARRY et al. 1995; DOOHAN et al., 2003; POPOVSKI und CELAR, 2013). In Europa zählen *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. sporotrichioides*, *F. subglutinans*, *F. tricinctum*, *F. venenatum* und *F. verticillioides* zu den in der Maiskultur auftretenden *Fusarium*-Arten (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD, 2003 a; DORN et al., 2009 a; GOERTZ et al., 2010; DORN et al., 2011; MARIN et al., 2012; MESTERHÁZY et al., 2012). In Regionen mit trocken-warmen Witterungsperioden, wie sie in südeuropäischen Ländern vorzufinden sind, dominieren die Arten *F. verticillioides* und *F. proliferatum*. Wohingegen *F. graminearum* und *F. avenaceum* moderatere Temperaturansprüche besitzen und somit vorwiegend in Regionen mit einer deutlich höheren relativen Luftfeuchte (rLF) auftreten. Weiter sind unter kälteren maritimen Bedingungen wie in Zentral- und Nordeuropa die *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. poae* vorzufinden (LOGRIECO et al., 1995; BOTTALICO & PERRONE, 2002; GOERTZ, et al., 2010; AGUÍN et al., 2014). Dabei spielt die Konkurrenz innerhalb der *Fusarium*-Arten im Hinblick auf das Infektionsniveau sowie der Mykotoxinproduktion eine wichtige Rolle (MUNKVOLD, 2003 a).

2.1.1 Taxonomische Einordnung

Fusarium-Pilze werden taxonomisch in die Abteilung der *Eumycota* eingeordnet, wobei sowohl asexuelle als auch sexuelle Stadien bekannt sind. Die asexuelle Form, auch als Anamorph (Nebenfruchtform) bezeichnet, wird der Abteilung *Deuteromycotina* zugeordnet, während die sexuelle Form, auch als Teleomorph (Hauptfruchtform) bezeichnet, der Abteilung *Ascomycotina* und innerhalb dieser der Gruppe der *Pyrenomyceten* zugeordnet

wird (GUADET et al., 1989; HALLMANN et al., 2009). Unter den *Fusarium*-Arten, welche die Maiskultur parasitieren, sind Arten vertreten, bei denen die Sexualphase nicht existent oder bekannt ist. Einen detaillierten Einblick in die systematische Stellung gibt die Tabelle 1. Lediglich bei *F. avenaceum* (*G. avenacea*), *F. equiseti* (*G. intricans*), *F. graminearum* (*G. zaeae*) sowie *F. subglutinans* (*G. subglutinans*), *F. tricinctum* (*G. tricincta*) und *F. verticillioides* (*G. monilliformis*) konnte ein entsprechendes Sexualstadium nachgewiesen werden (LESLIE und SUMMERELL, 2006; GLENN, 2007).

Tab. 1: An der Maiskultur nachgewiesene *Fusarium*-Arten mit Haupt- und Nebenfruchtform
(Quelle: verändert nach LESLIE und SUMMERELL, 2006; GLENN, 2007)

| Anamorph (Nebenfruchtform) | Teleomorph (Hauptfruchtform) |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <i>Fusarium avenaceum</i> | <i>Gibberella avenacea</i> |
| <i>Fusarium crookwellense</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium culmorum</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium equiseti</i> | <i>Gibberella intricans</i> |
| <i>Fusarium graminearum</i> | <i>Gibberella zaeae</i> |
| <i>Fusarium langsethiae</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium oxysporum</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium poae</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium proliferatum</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium sporotrichioides</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium subglutinans</i> | <i>Gibberella subglutinans</i> |
| <i>Fusarium tricinctum</i> | <i>Gibberella tricincta</i> |
| <i>Fusarium venenatum</i> | unbekannt |
| <i>Fusarium verticillioides</i> | <i>Gibberella monilliformis</i> |

2.1.2 Symptomatik

Eine Infektion durch *Fusarium*-Arten kann über die gesamte Vegetationsperiode erfolgen und äußert sich in der Maiskultur unterirdisch in Form von Keimlingskrankheiten, Wurzelfäulen sowie Auflaufkrankheiten oder oberirdisch anhand von Stängel- und Kolbenfäulen (OREN et al., 2003; MORETTI, 2009; SCAUFLAIRE et al., 2011; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013).

Aufgrund der Bodenbürtigkeit der *Fusarium*-Erreger kommt es bereits kurz nach der Aussaat zur **Samen- oder Keimlingsfäule** (HAGGAG, 2013). Dabei verfärben sich befallene Samenkörner schwarz und können mit einem Pilzgeflecht überzogen sein. Die Keimlinge weisen bräunliche Verfärbungen an Wurzeln, Mesokotyl und Keimblättern auf und sind häufig verkrümmt (Abb. 1). Ein starker Befall führt zum Absterben und Verrotten der Maispflanzen, sodass sich der Befall im Keimlings- bzw. Auflaufstadium häufig durch lückenhafte, ungleichmäßige Bestände darstellt. Typische *Fusarium*-Arten für den unterirdischen Befall sind *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum* und *F. verticillioides* (OREN et al., 2003; HAGGAG, 2013; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013).



Abb. 1: *Fusarium* spp. verursachte Auflaufkrankheiten: Samen- und Keimlingsfäule

In dem weiteren Verlauf der Vegetation führen Fusariosen zu **Wurzel- und Stängelfäulen**, wobei mehrere *Fusarium*-Arten als Verursacher fungieren können. In der Literatur werden hiermit die *Fusarium*-Arten *F. crookwellense*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. subglutinans* und *F. verticillioides* in Verbindung gebracht (HURLE et al., 2005; DORN et al., 2009 b; SCAUFLAIRE et al., 2011; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Im Norden Europas treten vor allem *F. culmorum* und *F. graminearum* auf (LOGRIECO et al., 2003; SCAUFLAIRE et al., 2011). Bei der Wurzelfäule lassen sich hellbraune bis schwarze Verfärbungen an den Wurzeln erkennen, welche sich kontinuierlich weiter ausbreiten und schließlich ineinander übergehen. Bei starkem Befall verrottet der Wurzelkomplex teilweise komplett, sodass nur noch die Wurzelstümpfe vorhanden sind (HURLE et al., 2005; PAPST et al., 2007; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Häufig wächst der Pilz aus den Wurzeln über die Stängelbasis in den Stängel hinein und verursacht die Symptome der Stängelfäule (ZSCHEISCHLER et al., 1984). Die durch Fusariosen verursachte Stängelfäule wird meist erst nach der Blüte sichtbar (SCAUFLAIRE et al., 2011; VERREET et al., 2012). Innerhalb der

Stängelbasis wird das Mark überwiegend zerstört und das Gewebe ist von einem weißen bis rosafarbenen Pilzmyzel durchwachsen. Äußerlich werden dunkelbraune bis schwarze Nekrosen, welche die Sporodochien enthalten, sichtbar. Mit zunehmender Ausbreitung des Pilzes im Laufe der Vegetation werden zusätzlich Leit- und Stützgewebe angegriffen, sodass die Standfestigkeit stark beeinträchtigt und der akropetale Wasser- und Nährstofftransport gestört wird. Im noch grünen Bestand lassen sich fahlgrüne oder frühreife Maispflanzen erkennen. Dabei verfärben sich die Blätter von blaugrün zu hell- bis dunkelbraun. Weitere Trockenstresssymptome sind schlaff herabhängende Kolben mit trockenen und teilweise geöffneten Lieschblättern (ZSCHEISCHLER et al., 1984; HURLE et al., 2005; PAPST et al., 2007; SCAUFLAIRE et al., 2011; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Wirtschaftliche Schäden entstehen, neben mangelhafter Korn- und Kolbenausbildung, durch das Abknicken der Stängel unterhalb des Kolbens sowie einer Notreife der Maispflanzen (ZSCHEISCHLER et al., 1984).



Abb. 2: Symptome der Stängel- und Kolbenfäule. Links: weißliches Mycel am Stängel. Mitte: Befallende Körner am Hauptkolben überzogen mit lachsfarbenem Mycel. Rechts: *Fusarium*-Befall am Sekundärkolben

Neben der Keimlings- und Stängelfäule stellt die **Kolbenfäule** ein weiteres Krankheitssymptom dar (Abb. 2). Äußerlich lässt sie sich oftmals an den Lieschblättern durch lachs- oder zimtfarbene Beläge erkennen. Unter den Lieschblättern, wo sich der Erreger auf der Spindel und den ausbildenden Körnern ausbreitet, entsteht ein dichtes, weißliches bis lachsfarbenes Pilzgeflecht (HURLE et al., 2005; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). In der Literatur wird die durch *Fusarium* spp. hervorgerufene Kolbenfäule in zwei

verschiedene Arten untergliedert, welche sich grundsätzlich unterscheiden, jedoch in ihren epidemiologischen Eigenschaften Ähnlichkeiten aufweisen. Es wird differenziert zwischen *Fusarium ear rot* (Pink ear rot) und *Gibberella ear rot* (Red ear rot) (LOGRIECO et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a; EDWARDS, 2004; HURLE et al., 2005; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Die Erreger der ***Gibberella ear rot*** infizieren den Maiskolben gewöhnlich über die Narbenfäden und umhüllen diesen von der Spitze abwärts mit einem rötlichen oder rosafarbenen Pilzmyzel. Dabei erreichen die Sporen die Narbenfäden meist über Regenspritzer, Wind oder Insekten, welche als Vektoren fungieren. Diese Kolbenfäule wird vor allem durch *F. graminearum* verursacht, kann aber auch durch andere *Fusarium*-Arten wie beispielsweise *F. culmorum* hervorgerufen werden (LOGRIECO et al., 2002; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Diese Form der Kolbenfäule tritt stärker in feuchten Jahren und Regionen auf (MUNKVOLD, 2003 a; SCAUFLAIRE et al., 2011).

Zu den bedeutendsten Erregern der ***Fusarium ear rot*** zählen *F. proliferatum*, *F. subglutinans* und *F. verticillioides*. Diese infizieren entweder zufällig einzelne Körner, Körner welche nebeneinander angeordnet sind oder beschädigte Körner (LOGRIECO et al., 2002; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Meist wird diese Infektion mit dem luftbürtigen Inokulum, den Konidien, in Verbindung gebracht. Die befallenen Körner, welche mit einem weißen bis leicht rosafarbenen Pilzmyzel umhüllt sind, verfärben sich hellbraun bis braun. Diese Kolbenfäule wird durch trockene Bedingungen gefördert und tritt daher meist in südlichen bis mittleren Regionen Europas auf (LOGRIECO et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a; SCAUFLAIRE et al., 2011).

2.1.3 Biologie und Infektionszyklus

Pilze dieser Gattung besitzen eine saprophytische Lebensweise und können somit über mehrere Vegetationsperioden als Mycel auf Ernterückständen von Getreide oder Mais überdauern. Des Weiteren ist die Bildung und Überdauerung in Form von dickwandigen Dauerformen, den Chlamydosporen, möglich. Diese werden asexuell im Pilzmycel gebildet und ermöglichen dem Pilz, auch in Abwesenheit von Ernterückständen über einen längeren Zeitraum im Boden zu überdauern und infektiös zu bleiben (PARRY et al., 1995; COTTON und MUNKVOLD, 1998; HOFFMANN und SCHUTTLERER, 1999; MUNKVOLD, 2003 a; LESLIE und SUMMERELL, 2006).

Der Lebenszyklus von *Fusarium* spp. wird am Beispiel von *F. graminearum* in Abbildung 3 dargestellt. Bei *Fusarium*-Arten, welche ein sexuelles bzw. telemorphes Stadium besitzen, beginnt der Zyklus im Frühjahr mit der Bildung von Perithezien auf den Ernteresten der Vorfrucht. Diese Fruchtkörper besitzen ein flaschenförmiges, dunkel lila bis schwarzes Aussehen mit einer Öffnung, dem Ostiolum. In ihnen reifen die sexuell gebildeten Ascosporen im Asci heran (MUNKVOLD, 2003 a; TRAIL, 2009; VERREET und DEHNE, 2013).

Die Asci, in welchen nach Meiosis und Mitosis in der Regel acht spindelförmige Ascosporen entstehen, sind relativ schmal und keulenartig. Sie besitzen ein bis drei Septierungen und haben kurz vor dem Ausschleudern eine leicht braune Färbung (LESLIE und SUMMERELL, 2006). Neben der Primärinfektion dienen sie der sexuellen Rekombination des Pilzes. Die Reifung der Perithezien sowie die Freisetzung der Ascosporen werden von mehreren Umweltbedingungen wie Niederschläge, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichtintensität beeinflusst (LOGRIECO et al., 2002; GILBERT und FERNANDO, 2004; TRAIL et al., 2005; OSBORNE und STEIN, 2007). Bei Temperaturen größer 18 – 20 °C und einer rLF von über 80 % (RODEMANN und BARTELS, 2004) werde die Ascosporen aktiv aus den Asci herausgeschleudert und mit Hilfe von Luftbewegungen über weite Distanzen in die Bestände transportiert (MUNKVOLD, 2003 a; TRAIL, 2009; VERREET und DEHNE, 2013). Alle *Fusarium*-Arten, auch jene, die diese telemorphen Vermehrungsorgane nicht aufweisen, besitzen eine anamorphe Verbreitung über Konidien. Diese werden durch Wind, Insekten sowie Regentropfen transportiert und dienen der Massenvermehrung über kurze Distanz im Bestand (MUNKVOLD, 2003 a; GILBERT und FERNANDO, 2004). Für *Fusarium*-Arten, welche lediglich über den imperfekten Zyklus verfügen, stellt dies die einzige Form der Ausbreitung dar (PARRY et al., 1995; MUNKVOLD, 2003 a; GILBERT und FERNANDO, 2004).

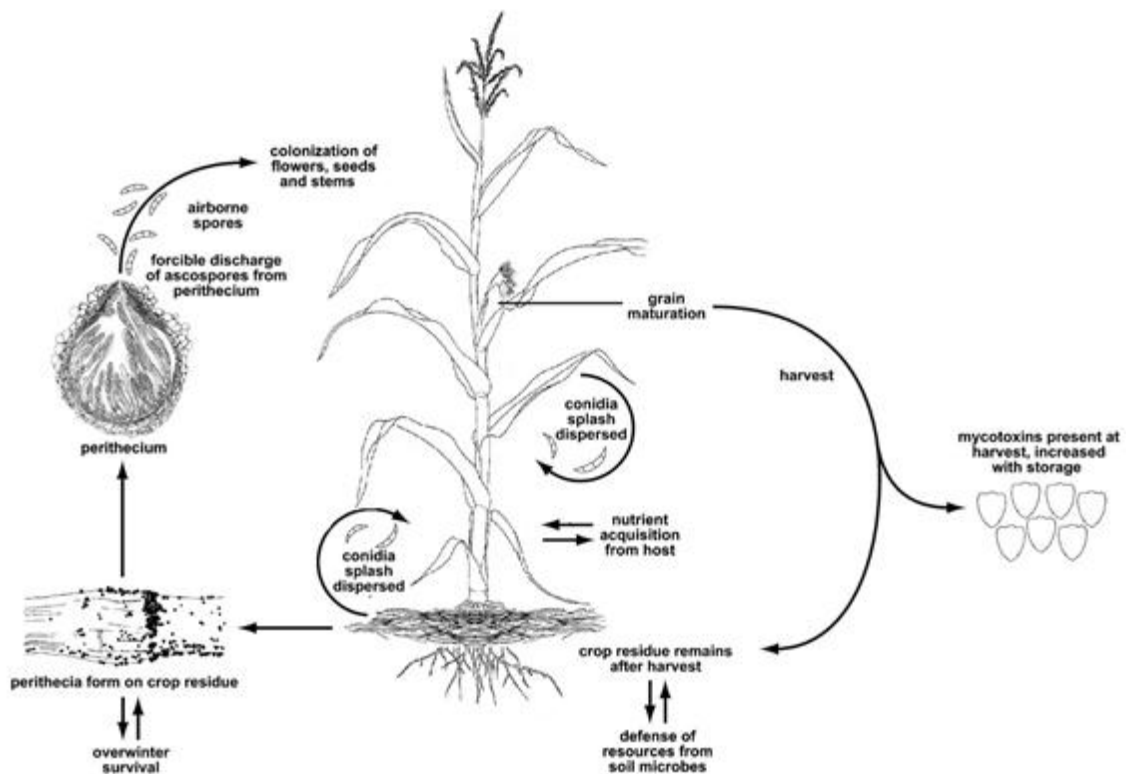


Abb. 3: Lebenszyklus von *F. graminearum* (Telemorph: *G. zeae*) an Mais. (Quelle: verändert nach TRAIL, 2009)

Die Bildung sowie Vermehrung von Ascosporen und Konidien kann nahezu während der gesamten Vegetationsperiode erfolgen (DOOHAN et al., 2003; TRAIL et al., 2005; BEYER et al., 2005). Das Inokulumpotential der *Fusarium*-Pilze hängt im Besonderen von der Interaktion zwischen Art der Vorfrucht und Bodenbearbeitung sowie der Menge an Ernterückständen ab. Hierbei stellen Erntereste von Mais im Allgemeinen ein deutlich höheres Ausgangsinokulum als beispielsweise Weizen dar. Gefördert wird die Überlebensdauer des Inokulums dabei durch die reduzierte Bodenbearbeitung. Die Ernterückstände verbleiben länger auf der Bodenoberfläche, verrotten langsamer und steigern somit die Überlebensdauer des Inokulums. Eine wendende Bodenbearbeitung hingegen reduziert aufgrund des schnellen mikrobiellen Abbaus der Ernterückstände das Inokulumvorkommen. Einen ähnlichen Effekt besitzt die Wahl der Vorfrucht bzw. der gesamten Fruchtfolge. Stehen in der Fruchtfolge viele Wirtspflanzen für die *Fusarium*-Arten zur Verfügung, wirkt sich dies steigernd auf das Inokulum aus (DILL-MACKY und JONES, 2000; LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD, 2003 a; SCHAAFSMA et al., 2005; SCAUFLAIRE et al., 2011; RIOS und ORTEGA, 2012). Zusammen mit dem Ausgangsinokulum bestimmt die Witterung das Infektionspotential. Nach BARTELS und RODEMANN (2003) gelten im Allgemeinen Temperaturen größer 18 – 19 °C und tägliche Niederschläge von mehr als fünf Millimetern zum Zeitpunkt der Blüte bzw. eine relative Luftfeuchte im Bereich von 95 – 99 % (DOOHAN et al., 2003) als optimale Wachstumsbedingungen. Dabei besitzen die verschiedenen *Fusarium*-Arten jedoch unterschiedliche Klimaansprüche. So kann *F. graminearum* in einem weiten Temperaturbereich von 10 – 30 °C wachsen, wobei die optimalen Wachstumsbedingungen zwischen 15 und 25 °C sowie 96 – 99 % rLF liegen. Wohingegen bei *F. culmorum* und *F. poae* maximale Wachstumsraten bei niedrigeren Temperaturen von 20 – 25 °C und einer geringfügig höheren rLF von 98 – 99 % beschrieben werden (MILLER et al., 1995; HOPE et al., 2005; MAGAN, 2006; OSBORNE und STEIN, 2007).

Nach der Überwinterung an den Ernteresten dringen die *Fusarium*-Erreger der Wurzel- und Stängelfäule im Mais primär über die Verbindungsstelle zwischen Wurzel und Stängel sowie über verletzte oder verfaulte Wurzeln in die Pflanzen ein. Anschließend wächst der Pilz in den Stängel und breitet sich akropetal aus, woraus sekundär eine Stängelfäule resultiert. Im folgenden Vegetationsverlauf, in erster Linie zum Zeitpunkt der Blüte, erfolgt eine Infektion des Stängels durch Asco- oder Konidiosporen oberirdisch über Stängelknoten oder Blattscheiden (RODER, 1990; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013).

Hinzu kommt, dass es sich bei einigen *Fusarium*-Arten um eine systemische Infektion handelt, wodurch auch die weiter oben liegenden Internodien infiziert werden können (SCAUFLAIRE et al., 2011). Erstmals wurde 1962 von der systemischen Infektion im

Zusammenhang mit einer symptomlosen Infektion der Samen und einer damit verbundenen systemischen Infektion des Stängels gesprochen (MUNKVOLD et al., 1997). Als Inokulumquelle dient neben dem mit *Fusarium*-infizierten Ernterest im Saathorizont, über welchen die Erreger durch Infektionshyphen die Samen befallen können, auch das *Fusarium*-infizierte Saatgut, bei welchem sich Pilzsporen oder -mycele an die Oberfläche der Samen haften oder sich bereits in den Samen befinden. Im heranwachsenden Keimling entwickelt sich der Pilz und wächst anschließend systemisch von den Wurzeln in die folgenden Nodien, Internodien sowie Blattscheiden der Maispflanze. Im weiteren Verlauf der pflanzlichen Entwicklung ist es möglich, dass der Pilz in den sich entwickelnden Kolben und dessen Kornanlagen wächst, woraus eine *Fusarium*-Kolbenfäule entstehen kann (MUNKVOLD et al., 1997; MUNKVOLD und CARLTON, 1997; OREN et al., 2003; WILKE et al., 2007). Bei der Übertragung des Pilzes von den Samen in die Körner kann in vier Schritte unterteilt werden: die Übertragung von den Samen in den Keimling, das Wachstum in den Stängel, das Wachstum in den Kolben sowie die Ausbreitung im Kolben (MUNKVOLD et al., 1997).

Der primäre Infektionsweg der Maiskörner beginnt zur Blüte durch das Anhaften der Sporen an die Narbenfäden (LOGRIECO et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a; SCHLÜTER und KROPF, 2010; SCHULTE, 2014). In den ersten sechs Tagen nach dem Erscheinen der Narbenfäden sind diese besonders anfällig für *Fusarium*-Infektionen. Gefördert wird die Infektion durch warme, niederschlagsreiche Tage mit Temperaturen von 18 – 19 °C, Niederschlägen über 5 mm und einer hohen rLF (REID et al., 1996; BARTELS und RODEMANN, 2003; MUNKVOLD, 2003 a). Neben dem Wind dienen Wasserspritzer oder Insekten als Vektoren der Asco- sowie Konidiosporen. Die Infektion der sich entwickelnden Körner verläuft entlang der Narbenfäden zum Fruchtknoten oder über Wunden, welche durch Unwetter oder Insekten entstanden sind, direkt in den Kolben (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD, 2003 a; SCAUFLAIRE et al., 2001).

2.1.4 Mykotoxine

Mykotoxine sind toxische Metabolite, welche aus dem Sekundärstoffwechsel von Schimmelpilzen hervorgehen und ein Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier darstellen. Zu den weltweit wirtschaftlich bedeutendsten Mykotoxinen zählen Aflatoxin B1, Ochratoxin A, 4-Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA) sowie Fumosin B1 (FB1) und B2 (FB2), wobei die drei Letztgenannten von *Fusarium*-Arten produziert werden (GLENN, 2007; MARIN et al. 2013). Durch die Verfütterung von Mykotoxin-belastetem Mais können im Bereich der Tierproduktion negative Wirkungen wie geringere Futteraufnahme, reduzierte Produktivität, gehemmte Fortpflanzung oder chronische Organschäden festgestellt werden (PLACINTA et al., 1999; BINDER et al., 2007; FINK-GREMMELS, 2008). Folglich führt neben quantitativen

Ertragseinbußen durch beispielsweise verfaulte oder aufgeplatzte Körner ein Befall mit *Fusarium*-Pilzen durch die Kontamination mit Mykotoxinen auch zu qualitativen Verlusten des Ernteguts (VIGIER et al., 2001; RODEMANN und BARTELS, 2004; SOPTERAN et al., 2013). Vor allem DON und ZEA werden häufig in hohen Konzentrationen nachgewiesen und zählen daher zu den dominierenden Leit-Mykotoxinen im Maisanbau Europas (BARTELS und RODEMANN, 2003; PAPST et al., 2007; GOERTZ et al., 2010).

Die meisten Mykotoxine sind hitzestabil und werden daher bei technologischen Verarbeitungsprozessen der Lebensmittel- sowie Futtermittelindustrie größtenteils nicht abgebaut. Sie zählen somit zu den wichtigsten Verursachern von Lebensmittel- sowie Futtermittelverunreinigungen (MILICEVIC et al., 2010).

Eine Kontamination von Nahrungs- und Futtermitteln ist auf drei Wegen möglich. Die direkte Kontamination auf dem Feld sowie nach der Ernte bei unsachgemäßer Lagerung wird als Primärkontamination bezeichnet. Werden fertige Lebensmittel wie Brot oder Marmelade befallen, was durch eine deutliche Schimmelbildung erkennbar ist, wird von einer Sekundärkontamination gesprochen. Führt eine Verfütterung von kontaminiertem Futter an Nutztiere zu einer Kontamination der tierischen Lebensmittel, wird dies als „carry over“ bezeichnet. Aus toxikologischer Sicht zeigen die Mykotoxine eine mittlere akute Toxizität auf, stellen allerdings aufgrund der chronischen Giftigkeit ein hohes Gesundheitsrisiko dar (BARTELS und RODEMANN, 2003; VERREET und KNOTT, 2012).

Mais zählt unter den Getreidearten zu der am meist befallenen Kulturart. Da dieser von einer Vielzahl von *Fusarium*-Arten parallel befallen werden kann und sich das spezifische Mykotoxinspektrum zwischen den *Fusarium*-Arten unterscheidet (Tab. 2), kann der Mais ebenfalls mit einer Vielfalt von Mykotoxinen kontaminiert sein (BOTALLICO, 1998; MUNKVOLD, 2003 b; DESJARDINS, 2006; LESLIE und SUMMERELL, 2006; DESJARDINS und PROCTOR, 2007; MARIN et al., 2013). Die Höhe der Mykotoxinbelastung ist dabei abhängig von der Anfälligkeit der Pflanze, den klimatischen Bedingungen sowie den Anbaupraktiken (MILLER, 2001; MUNKVOLD, 2003 b; BARTELS und RODEMANN, 2003; MASTEL, 2003; RODEMANN und BARTELS, 2004; BLANDINO et al., 2008 b).

Tab. 2: Mykotoxin bildende *Fusarium*-Arten und deren jeweiligen Mykotoxine
(Quelle: verändert nach THRANE et al., 2004; DESJARDINS, 2006; LESLIE und SUMMERELL, 2006; GLENN, 2007)

| <i>Fusarium</i>-Art | Mykotoxine* |
|----------------------------------|--|
| <i>Fusarium avenaceum</i> | BEA, FUS, MON |
| <i>Fusarium crookwellense</i> | FUS, NIV, ZEA , ZOH |
| <i>Fusarium culmorum</i> | AcDON, DON , NIV, FUS, ZEA , ZOH |
| <i>Fusarium equiseti</i> | BEA, DAS, FUS, FUC, NIV, MAS, DAcNIV, ZEA , ZOH |
| <i>Fusarium graminearum</i> | AcDON, DAcDON, DON , FUS, NIV, DAcNIV, ZEA |
| <i>Fusarium langsethiae</i> | DAS, NEO, MAS, T2, HT2 |
| <i>Fusarium oxysporum</i> | BEA, FB1, FB2, MON |
| <i>Fusarium poae</i> | BEA, DAS, FUS, NIV, MAS, T2 |
| <i>Fusarium proliferatum</i> | BEA, FB1, FB2, FUP, MON |
| <i>Fusarium sporotrichioides</i> | DAS, NEO, MAS, T2, HT2 |
| <i>Fusarium subglutinans</i> | BEA, FUP, MON |
| <i>Fusarium tricinctum</i> | BEA, MON |
| <i>Fusarium venenatum</i> | DAS |
| <i>Fusarium verticillioides</i> | FB1, FB2, FB3 |

* AcDON – Monoacetyldeoxynivalenol (3-AcDON, 15-AcDON); AcNIV – Monoacetylivalenol (15-AcNIV); BEA – Beauvericin; DAcDON – Diacetyldeoxynivalenol; DAcNIV – Diacetylivalenol (4,15-AcNIV); DAS – Diacetoxyscirpenol; DON – Deoxynivalenol (Vomitoxin); FB1 – Fumonisin B1; FB2 – Fumonisin B2; FB3 – Fumonisin B3; FUP – Fusaproliferin; FUS – Fusarenon-X (4-Acetyl-NIV); FUC – Fusarochromanone; HT2 – HAT-2 Toxin; MAS – Monoacetoxyscirpenol; MON – Moniliformin; NEO – Neosolaniol; NIV – Nivalenol; T2 – T-2 Toxin; ZEA – Zearalenon; ZOH – Zearalenol

Gegenüber Warmblütern werden Mykotoxine als kanzerogen, teratogen, mutagen und allergen eingestuft. Sie können enzymatische Stoffwechselreaktionen hemmen und das Hormon-, Immun- sowie Nervensystem negativ beeinflussen. Auf Grund der chronischen Toxizität kann eine längerfristige Aufnahme von mit Mykotoxinen kontaminierten Futterchargen bei Nutztieren zu inneren Blutungen, Leber- und Nierenschädigungen sowie Fruchtbarkeitsstörungen führen (DESJARDINS, 2006; KUMAR, 2008; ZAIN, 2011). Im Jahr 2006 wurde eine EU-einheitliche Mykotoxin-Höchstmengenverordnung (EG Nr. 1881/2006) für die *Fusarium*-Toxine (DON, ZEA, FB1 und FB2) für unverarbeitetes Speisegetreide sowie Lebensmittel festgelegt, welche im Jahr 2007, speziell zur Reduzierung der Mykotoxin-Höchstgehalte für Mais sowie Maiseerzeugnisse, durch eine weitere Verordnung

(EG Nr. 1126/2007) erweitert wurde (Tab. 3). Mykotoxingehalte für unverarbeiteten Hartweizen, Hafer und Mais von 1750 µg DON kg⁻¹ bzw. für unverarbeiteten Mais von 350 µg ZEA kg⁻¹ dürfen nicht überschritten werden.

Tab. 3: Höchstgehalte (µg kg⁻¹) für die *Fusarium*-Toxine DON und ZEA in unverarbeitetem Speisegetreide und Lebensmitteln
(Quelle: verändert nach ANONYM, 2007)

| Mykotoxin | Unverarbeitetes Speisegetreide / Lebensmittel | Höchstgehalt (µg kg ⁻¹) |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| Deoxy-nivalenol | Unverarbeitetes Getreide außer Hartweizen, Hafer und Mais | 1250 |
| | Unverarbeiteter Hartweizen, Hafer und Mais | 1750 |
| | Zum unmittelbaren menschlichen Verzehr bestimmtes Getreide, Getreidemehle, Kleie, Keime und Teigwaren | 750 |
| | Brot (einschließlich Kleingebäck), feine Backwaren, Kekse, Getreide-Snacks und Frühstückscerealien | 500 |
| | Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder | 200 |
| Zearalenon | Unverarbeitetes Getreide außer Mais | 100 |
| | Unverarbeiteter Mais | 350 |
| | Zum unmittelbaren menschlichen Verzehr bestimmtes Getreide, Getreidemehle, Kleie und Keime | 75 |
| | Brot (einschließlich Kleingebäck), feine Backwaren, Kekse, Getreide-Snacks und Frühstückscerealien | 50 |
| | Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder | 20 |

Diese genannten Höchstmengen für DON und ZEA in unverarbeiteten und verarbeiteten Lebensmitteln gelten allerdings nicht bei zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen. Hierfür wurden durch die EU-Kommission Empfehlungen für Richtwerte (EG Nr. 576/2006) als Orientierungshilfen, welche sich auf unterschiedliche Mykotoxingehalte bestimmter Ergänzungs- und Alleinfuttermittel mit einem Feuchtegehalt von 12 % sowie unterschiedliche Sensitivitäten einzelner Nutztierarten gegenüber Mykotoxinen beziehen, vergeben (Tab. 4).

Tab. 4: Richtwerte für die *Fusarium*-Toxine DON und ZEA in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen (Quelle: verändert nach ANONYM, 2006)

| Mykotoxin | Zur Fütterung bestimmte Erzeugnisse | Richtwert ($\mu\text{g kg}^{-1}$) |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| | <u>Futtermittelausgangserzeugnisse:</u> | |
| | Getreide & Getreideerzeugnisse außer Maisnebenprodukte | 8000 |
| Deoxy-nivalenol | Maisnebenprodukte | 12000 |
| | <u>Ergänzungs- und Alleinfuttermittel:</u> | |
| | Schweine | 900 |
| | Kälber (< 4 Monate), Lämmer und Ziegenlämmer | 2000 |
| | <u>Futtermittelausgangserzeugnisse:</u> | |
| | Getreide & Getreideerzeugnisse außer Maisnebenprodukte | 2000 |
| | Maisnebenprodukte | 3000 |
| Zearalenon | <u>Ergänzungs- und Alleinfuttermittel:</u> | |
| | Ferkel und Jungsauen | 100 |
| | Sauen und Mastschweine | 250 |
| | Kälber, Milchkühe, Schafe & Ziegen inkl. Lämmer | 500 |

Bei der Betrachtung der Richtwerte für DON und ZEA der einzelnen Nutztierarten wird deutlich, dass die Belastungen in der Schweineproduktion erheblich niedriger angesetzt wurden. Begründet ist dies durch die hohe Empfindlichkeit von Monogastriern gegenüber Mykotoxinbelastungen. Wiederkeuer hingegen sind in der Lage, Toxine mit Hilfe von Bakterien im Pansen unter anaeroben Bedingungen mikrobiell zu inaktivieren (DÄNICKE, 2002; NORDKVIST und HÄGGBLOM, 2014). Die Richtwerte der Mykotoxinbelastung von DON und ZEA in Futtererzeugnissen liegen bei $5000 \mu\text{g DON kg}^{-1}$ und $500 \mu\text{g ZEA kg}^{-1}$ in der Rinderfütterung (Silomais) und bei nur $900 \mu\text{g DON kg}^{-1}$ und $250 \mu\text{g ZEA kg}^{-1}$ für Sauen und Mastschweine (Körnermais).

2.1.4.1 Trichothecene

Die Trichothecene, die erstmals 1948 von FREEMANN und MORRISON (1949) aus dem Pilz *Trichothecium roseum* isoliert wurden, stellen die bedeutendsten und am weitesten verbreiteten *Fusarium*-Toxine dar (VEREET und KNOTT, 2012). Bei den Trichothecenen handelt es sich um eine Gruppe von polyzyklischen Sesquiterpenen (Abb. 4), wobei die phytotoxische Wirkung auf die C-9,10-Doppelbindung, einem C-12,13-Epoxy-Ring sowie den Hydroxylgruppen C-3 und C-15 beruht (DESJARDINS, 2006). Die Biosynthese wird durch das Enzym Trichodiensynthase katalysiert (DESJARDINS und PROCTOR, 2007).

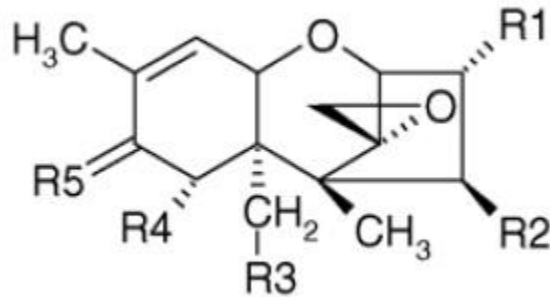


Abb. 4: Grundstruktur der Trichothecene
(Quelle: BERTHILLER et al., 2005)

Anhand ihrer charakteristischen und funktionellen Seitenketten können die Trichothecene in A- und B-Trichothecene unterschieden werden. A-Trichothecene sind durch verschiedene funktionelle Gruppen am C-8-Atom gekennzeichnet, wohingegen sich bei den B-Trichothecenen an dieser Position eine Carbonylgruppe befindet (BOTALLICO, 1998). In die Untergruppe der A-Trichothecene fallen beispielsweise die hochgiftigen Stoffwechselprodukte T2- und HT2-Toxin, welche unter anderem von *F. langsethiae* und *F. sporotrichoides* produziert werden (BOTALLICO, 1998; DESJARDINS, 2006; LESLIE und SUMMERELL, 2006) und Mykotoxikosen sowie starke dermatologische Schädigungen bei Mensch und Tier verursachen können. In der Literatur wird die Toxizität der Typ A Trichothecene höher als die vom Typ B eingeschätzt (BERTHILLER et al., 2005).

Das Deoxynivalenol sowie seine Derivate 3-Acetyl-DON, 15-Acetyl-DON und Nivalenol (NIV) werden in die Untergruppe der B-Trichothecene eingeordnet. Im Mais wird DON ausschließlich von *F. culmorum* und *F. graminearum* synthetisiert (BOTALLICO, 1998; KRŠKA et al., 2005; DESJARDINS, 2006; LESLIE und SUMMERELL, 2006). Für die genannten *Fusarium*-Arten sind Chemotypen benannt worden, welche in der Lage sind, nur DON oder NIV sowie beide Mykotoxine zu produzieren. Von den genannten Trichothecenen stellt DON das am häufigsten detektierte Mykotoxin dar (DESJARDINS, 2006) und ist neben T2-Toxin als primärer Verursacher der alimentären toxischen Aleukie (ATA) bekannt. Diese Krankheit führt zur starken Beeinträchtigung des Immunsystems und der Blutbildung (YAGEN und JOFFE, 1976; DESJARDINS, 2006; LESLIE und SUMMERELL, 2006).

Darüber hinaus sind Trichothecene wirkungsvolle Phytotoxine, welche bereits in geringen Konzentrationen zu Welkeerscheinungen, Chlorosen und Nekrosen führen können (DESJARDINS et al., 1993). Als Hauptmechanismus wird die Inhibierung der ribosomalen Proteinbiosynthese angesehen (DESJARDINS, 2006; DESJARDINS und PROCTOR, 2007).

2.1.4.2 Zearalenon

Chemisch gesehen ist Zearalenon ein makrozyklisches 6-(10-hydroxy-6-oxo-trans-1-undecenyl)- β -Resorcylsäure-Lacton (Abb. 5) und besitzt mit seiner molekularen Struktur große Ähnlichkeit mit antibiotischen Metaboliten vieler anderer Pilze (DESJARDINS, 2006; FINK-GREMMELS und MALEKINEJAD, 2007). Namensgebend für ZEA war der Name der Pilzkultur, aus der dieses Mykotoxin zuerst isoliert wurde, *G. zeae* (Hauptfruchtform von *F. graminearum*), und der englischen Bezeichnung des Resorcylsäurelactons (resorcylic acid lactone), -ene (Doppelbindung zwischen C1 und C2) sowie -one (Keton an C6) (DESJARDINS, 2006). In der Kulturart Mais wird ZEA hauptsächlich von den Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* produziert. Aber auch *F. equiseti* und *F. crookwellense* sind in der Lage dieses Mykotoxin zu synthetisieren (LOGRIECO et al., 2002; LESLIE und SUMMERELL, 2006).

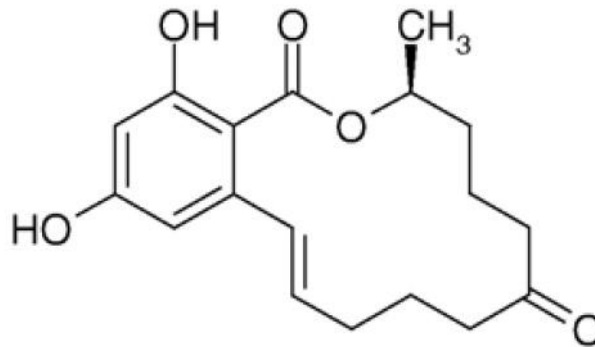


Abb. 5: Grundstruktur von Zearalenon (ZEA)
(Quelle: BERTHILLER et al., 2005)

Die Synthese von ZEA erfolgt über einen Polyketid-Stoffwechselweg (ZINEDINE et al., 2007). ZEA ist nicht akut toxisch (DESJARDINS und PROCTOR, 2007), jedoch aufgrund seiner räumlichen Konformation, welche der Struktur des körpereigenen Östrogen sehr nahe kommt, ist ZEA in der Lage, eine Bindung mit den Östrogenrezeptoren einzugehen und steht somit in Konkurrenz mit dem körpereigenen Östrogen. Diese hormonelle Veränderung kann bei Warmblütern zu Hyperöstrogenismus, Reproduktions- und Fertilitätsproblemen führen (DÄNIKE, 2001; LOGRIECO et al., 2002; DESJARDINS, 2006). Besonders Schweine reagieren empfindlich auf ZEA, da für die Östrogenrezeptoren eine höhere Affinität besteht (DÄNIKE, 2001). Aber auch bei Rindern und Geflügel ist ein Leistungsabfall durch erhöhte Belastungen mit ZEA zu beobachten (LOGRIECO et al., 2002). Nach ZINEDINE et al. (2007) werden auch beim Menschen Reproduktionsstörungen und hyperöstrogene Syndrome mit ZEA in Zusammenhang gebracht. Ein Abbau dieses

Mykotoxins erfolgt erst bei Temperaturen von über 150 °C oder alkalischen Bedingungen (MARIN et al., 2013).

2.2 Blattkrankheiten an Mais

Neben dem Befall mit *Fusarium* spp. wird die Kulturart Mais mit zahlreichen Blattpathogenen infiziert, welche je nach Befallsstärke die Entwicklung und somit den Ertrag beeinflussen können. Hierzu zählen unter anderem die Erreger *Kabatiella zeae*, *Phoma zeae-maydis*, *Exserohilum truncicum* und *Puccinia sorghi* (LEVY und PATAKY, 1992; ALGERMISSEN und VERREET, 2014; SCHAUBIGER, 2015).

2.2.1 *Kabatiella zeae*

Die Blattfleckenkrankheit *Kabatiella zeae*, synonym *Aureobasidium zeae*, wurde von NARITA und HIRATSUKA erstmalig im Jahr 1959 in Japan beschrieben und infiziert neben dem Mais weitere Gräser der Gattung *Zeae* (REIFSCHNEIDER und ARNY, 1980).

Taxonomisch lässt sich der Erreger nach INVASIVE SPECIES COMPENDIUM (2015) wie folgt einordnen:¹

Fungi – *Ascomycota* – *Pezizomycotina* – *Dothideomycetes* – *Dothideomycetidae* – *Dothideales* – *Dothioraceae* – *Kabatiella zeae*

¹ Reich – Abteilung – Unterabteilung – Klasse – Unterklasse – Ordnung – Familie – Art

Das Pathogen breitete sich rasch in den späten 1960ern bis frühen 1970ern in den mittleren bis nördlichen Teilen der USA (ARNY et al., 1971) sowie in Neuseeland (DINGLEY, 1973) aus. Auch in Teilen Europas wurden in den frühen 70er Jahren, unter anderem in Deutschland (SCHNEIDER und KRÜGER, 1972), Frankreich, Polen, ehemals Jugoslawien und Ungarn (CHIANG und HUDON, 1990), die ersten für *K. zeae* typischen Blattflecken entdeckt. Als Folge eines Befalls sind Ertragsverluste von bis zu 9 % möglich (REIFSCHNEIDER und ARNY, 1983). In befallsstarken Jahren können die Verluste Werte von 20 – 30 % erreichen (ALGERMISSEN und VERREET, 2014). Die Entwicklung und Ausbreitung des Erregers ist stark von den Umweltbedingungen abhängig und tritt bei kalter und feuchter Witterung besonders im Juli und August auf den oberen jüngeren Blättern auf (PROŃCZUK et al., 2004).

K. zeae äußert sich in Form von 1 – 4 mm großen, rundlich-ovalen Läsionen, welche durch einen braunen Ring eingegrenzt und vom charakteristischen gelben Hof umgeben sind (Abb. 6). Aufgrund dieses Symptomes wird *K. zeae* auch „Augenfleck“ (engl. Eyespot) genannt. Zu Beginn der Krankheitsentwicklung treten die Flecken vereinzelt entlang der Leitbündel auf, im weiteren Vegetationsverlauf entstehen Gruppen, die zusammenfließen

und sogar die komplette Blattoberfläche bedecken können (ARNY et al., 1971; SCHNEIDER und KRÜGER, 1972; PROŃCZUK et al., 2004). Neben der Blattspreite werden auch die Blattscheiden sowie die Lieschblätter des Kolbens befallen (SCHNEIDER und KRÜGER, 1972; PROŃCZUK et al., 2004). Ein starker Befall kann zu Verkrümmung des Blattes (SCHNEIDER und KRÜGER, 1972) und zur verfrühten Seneszens durch vorzeitiges Austrocknen der Pflanze führen (URBAN, 2012).



Abb. 6: Symptomausbildung von *K. zeae* an Mais
(Quelle: SCHAUBIGER, 2015)

Der Erreger überdauert an den Pflanzenrückständen (ARNY et al., 1971) und wird von dort im Frühjahr durch Regentropfen in den jungen Maisbestand befördert (CHANG und HUDON, 1990). Für die Infektion benötigt *K. zeae* gemäßigt kalte und humide Witterung (REIFSCHNEIDER und ARNY, 1983). Nach der Infektion erfolgt die Myzelbildung mit hauptsächlich interzellulär auftretenden Hyphen. An den zylinder- bis keulenförmigen Konidienträgern, die aus Spaltöffnungen oder Epidermiszellen hervordringen, entstehen sichelförmige, 15 – 20 μm lange und 4 – 5 μm breite Konidien, welche der Sekundärinfektion dienen (SCHNEIDER und KRÜGER, 1972). Die optimale Temperaturbedingung für *K. zeae* liegt sowohl für die Konidienbildung als auch für das Myzelwachstum bei 24 °C (ARNY et al., 1971; SCHNEIDER und KRÜGER, 1972).

Eine Bekämpfung von *K. zeae* kann mittels resistenter Sorten erfolgen. Dabei wurden Resistenzen vor allem in spätreifenden Sorten beobachtet, welche durch additive sowie dominante Genwirkungen hervorgerufen werden (ARNY et al., 1971; CHIANG und HUDON, 1990). Weiter können eine wendende Bodenbearbeitung sowie weitgestellte Fruchtfolgen das Ausmaß früher Infektionen verringern (ARNY et al., 1971).

2.2.2 *Phoma zae-maydis*

Phoma zae-maydis, synonym *Phyllostica maydis*, der Erreger der "Yellow Leaf Blight"-Krankheit im Mais, trägt in der teleomorphen Phase den Namen *Mycosphaerella zae-maydis* (MUKUNYA und BOOTHROYD, 1973). Neben dem Mais als Hauptwirt können die Mohrenhirse (*Sorghum bicolor*) und die Borstenhirse (*Setaria*) befallen werden (PUNITHALINGAM, 1990).

Die taxonomische Einordnung nach INDEX FUNGORUM (2015) lautet:¹

Fungi – Ascomycota – Pezizomycotina – Dothideomycetes – Pleosporomycetidae – Pleosporales – Incertae sedis – Phoma zae-maydis

¹ Reich – Abteilung – Unterabteilung – Klasse – Unterklasse – Ordnung – Familie – Art

Dieses Pathogen rückte in den späten 60er Jahren in den Fokus mehrerer Wissenschaftler und trat erstmals 1967 in Wisconsin und Ontario auf (ARNY und NELSON, 1971). In den Folgejahren konnte es auch in anderen kühleren Gebieten der USA und Kanadas beobachtet werden (CASTOR et al., 1977). Die wirtschaftlichen Verluste durch *P. zae-maydis* werden als gering eingeschätzt. Ausnahme jedoch stellt das Jahr 1970 dar, durch klimatisch günstige Bedingungen und den Anbau des anfälligen Texas-CMS Hybrid Maises, der damals zu 85 % angebaut wurde, konnte sich das Pathogen in Nordamerika stark ausbreiten (TATUM, 1971; ULLSTRUP, 1972).

Charakteristisch für *P. zae-maydis* sind gelb-bräunliche Läsionen und die Vergilbung des umgebenden Gewebes (Abb. 7). Das Zentrum der Flecken ist blassbraun und für gewöhnlich durch einen hellgelben Ring abgegrenzt (ARNY und NELSON, 1971). Zu Beginn der Symptomausprägung entstehen unregelmäßig bis ellipsenförmige Flecken (PUNITHALINGAM, 1990). Die 7 – 10 mm breiten und 15 – 20 mm langen Nekrosen bilden sich entlang der Blattadern, werden jedoch nicht durch diese begrenzt. Bei schwerem Befall können die Flecken ineinander übergehen, somit größere Blattnekrosen bilden und es kann zum Absterben des gesamten Blattes kommen. Im Zentrum älterer Läsionen können dunkle Pyknidien auftreten (ARNY und NELSON, 1971).



Abb. 7: Symptomausbildung von *P. zeae-maydis* an Mais
(Quelle: SCHULTE, 2014)

Die teleomorphe Form des Erregers, *M. zeae-maydis*, dient der Überwinterung, hierbei verbleiben unreife Pseudothecien an Pflanzenrückständen. Im Frühjahr, bei Temperaturen zwischen 15 und 21 °C und Dunkelheit, reifen die Pseudothecien zu rundlich, gelb-braunen Fruchtkörpern mit einer runden, 14 – 24 µm großen Ostiole heran. Am Boden des Ascocarps bilden sich die 40 – 60 µm langen und 11 – 14 µm breiten, zylindrischen Asci. Jedes Ascus bringt je acht Ascosporen hervor, welche für die Primärinfektion verantwortlich sind (MUKUNYA und BOOTHROYD, 1973) und durch Regentropfen und Wind in den jungen Maisbestand übertragen werden (CASTOR et al., 1977). Während der Wachstumsphase des Mais bilden sich im Zentrum der Nekrose rötlich-braune, kugelförmige Pyknidien. Die in den Pyknidien entstehenden Konidien sind einzellig, hyalin, elliptisch bis zylindrisch geformt (ARNY und NELSON, 1971) und dienen der Sekundärinfektion (MUKUNYA und BOOTHROYD, 1973). Das Temperaturoptimum der Pyknidien- sowie Konidienproduktion liegt bei 18 °C, wobei die höchste Sporulation bei Temperaturen zwischen 24 und 27 °C erfolgt. Die am stärksten gefährdeten Phasen der pflanzlichen Entwicklung stellen das Keimlingsstadium sowie die Periode nach dem Fahneschieben dar. Dabei fallen diese Entwicklungsstadien oftmals mit kühler Witterung zusammen (CASTOR et al., 1977).

Die Bekämpfung von *P. zeae-maydis* ist durch den Anbau weniger anfälliger Sorten möglich (ARNY und NELSON, 1971). Eine effektive Krankheitskontrolle kann durch tiefes Pflügen im späten Herbst oder im Frühjahr vor der Aussaat erreicht werden, welches zur Einarbeitung der infizierten Pflanzenreste beiträgt (MUKUNYA und BOOTHROYD, 1973; CASTOR et al., 1977).

2.2.3 *Exserohilum turcicum*

Für *Exserohilum turcicum* (Pass.) K.J. Leonard & Suggs werden synonym für die Nebenfruchtform *Helminthosporium turcicum* Pass., Boln Comiz, *Bipolaris turcica* (Pass.) Shoemaker und *Drechslera turcica* (Pass.) Subram. & B.L. Jain verwendet. Der Erreger der *Turcicum*-Blattdürre, auch als „Northern Corn Leaf Blight“ bekannt, besitzt das Teleomorph *Setosphaeria turcica* (Luttr.) K.J. Leonard & Suggs (SCHAUBIGER, 2015; INDEX FUNGORUM, 2015).

Taxonomisch lässt sich der Erreger nach INDEX FUNGORUM (2015) wie folgt einordnen:¹

Fungi – *Ascomycota* – *Pezizomycotina* – *Dothideomycetes* – *Pleosporomycetidae* – *Pleosporales* – *Pleosporaceae* – *Exserohilum turcicum*

¹ Reich – Abteilung – Unterabteilung – Klasse – Unterklasse – Ordnung – Familie – Art

Das Pathogen wurde 1876 erstmals in Italien dokumentiert (IMGRABEN, 2002) und tritt in humiden, in subtropischen und in den höheren tropischen Regionen auf (LEVY und PATAKY, 1992). Mittlerweile ist die Krankheit in Nord- sowie Lateinamerika, Ostafrika, China und weiten Teilen Europas zu finden (LEVY und PATAKY, 1992; IMGRABEN, 2002). Seit den 90er Jahren wird das Auftreten vermehrt auch in wärmeren Maisanbaugebieten Deutschlands beobachtet (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007). Unter den Blattkrankheiten im Mais stellt *E. turcicum* das Pathogen dar, welches die größten Schäden verursacht. Dabei sind die Ertragsverluste umso höher, je früher die Infektion der Pflanzen erfolgt (ZELLNER, 2012). Je nach Anfälligkeit der Sorte und Zeitpunkt der Infektion können beträchtliche Ertragseinbußen von 10 – 30 % auftreten (IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015). Wenn der Befall bereits zwei bis drei Wochen nach der Befruchtung eintritt, sind sogar Verluste von 40 – 70 % möglich (LEVY und PATAKY, 1992). Neben den Ertragseinbußen können Sekundärschäden durch *Fusarium*-Infektionen entstehen (GROH, 2012). In Deutschland sind vor allem in den südlichen Bundesländern Schäden zu verzeichnen, wohingegen in den nördlichen und kühleren Regionen des Landes kaum Ertragsverluste auftreten. Die Entwicklung und Ausbreitung von *E. turcicum* wird durch feuchtwarme Witterung gefördert, wohingegen kühle und trockenere Witterung den Befall verzögern (IMGRABEN, 2002). *E. turcicum* infiziert neben Mais (*Zea mays*) auch Zuckermais (*Zea mays saccharata*) und Sorghum-Hirsearten (*Sorghum* sp.) (LEVY und PATAKY, 1992; HUGGER, 2007; SCHAUBIGER, 2015).

Auf der Blattspreite entwickeln sich ab dem Sieben-Blatt-Stadium zunächst kleine graugrüne, wässrig-durchscheinende Flecken, welche später zu spindelförmigen Nekrosen zusammenfließen (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007). Nach IMGRABEN (2002) und HUGGER

(2007) werden die Symptome in der Regel erst nach der Maisblüte deutlich. Dann entstehen die typischen 3 – 20 cm länglich ovalen, graubraunen Flecken, welche von einem schmalen, dunkelbraunen Rand begrenzt werden (Abb. 8). Häufig entstehen zunächst auf den unteren Blättern einzelne Läsionen, später auch auf den oberen Blättern und den Lieschblättern. Bei anfälligen Sorten und feuchtwarmer Witterung breitet sich der Erreger über die gesamte Blattspreite aus und es kommt zur vorzeitigen Abreife (IMGRABEN, 2002; HUGGER, 2007; SCHAUBIGER, 2015). Bereits Keimlinge können von *E. turcicum* infiziert werden, diese weisen kleine elliptische Nekrosen auf oder sterben bereits vor dem Auflaufen ab (SCHAUBIGER, 2015).



Abb. 8: Symptomausbildung von *E. turcicum* an Mais

Der Erreger kann als Chlamydospore, Konidie oder Mycel auf Ernterückständen überdauern (IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015). Zusätzlich steht die Mohrenhirse (*Sorghum halepense*) als Zwischenwirt zur Verfügung (LEVY und PATAKY, 1992). Im Frühjahr gelangen die Konidien durch Regenspritzer auf bodennahe Maisblätter und es entstehen die charakteristischen Blattflecken, auf denen erneut Konidien gebildet und über Wind im Bestand und auf benachbarte Maisfelder verbreitet werden (IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015). Bei einer optimalen Temperatur von 26 °C und einer relativen Luftfeuchte über 90 % entwickeln sich gerade oder gekrümmte braune, bis zu 300 µm lange und 8 – 9 µm breite Konidienträger aus den Stomata (ELLIS, 1971; LEVY und PATAKY, 1992; SCHAUBIGER, 2015). An diesen bilden sich blasse bis strohgelbe, 50 – 144 µm lange und 20 – 24 µm breite Konidien. Die Konidien sind ellipsenförmig bis keulenförmig, haben eine glatte Oberfläche und 4 – 9 Pseudosepten sowie ein stark hervortretendes Hilum (SCHAUBIGER, 2015). Temperaturen von 18 – 25 °C, hohe Luftfeuchtigkeit, Regen oder Taubildung begünstigen die Sporenbildung (LEVY und PATAKY, 1992; IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015). Dabei

hängt die Anzahl der gebildeten Konidien neben der Witterung von den Lichtverhältnissen, dem Pflanzenalter, der Blattposition sowie der Pflanzenanfälligkeit ab (LEVY und PATAKY, 1992).

Eine Bekämpfung dieses Erregers kann durch die Verwendung von resistenten Sorten sowie der Einarbeitung von Ernterückständen erreicht werden, wobei resistente Sorten oft nicht befallsfrei sind, allerdings tritt die Krankheit erst auf, wenn die natürliche Abreife einsetzt und so der Ertrag nicht mehr gefährdet wird (ZELLNER, 2012).

2.3 Strategien zur Vermeidung des *Fusarium*-Befalls in der Maiskultur

Zur Reduktion des *Fusarium*-Befalls und der damit verbundenen Mykotoxin-Belastung stehen im Maisanbau acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verfügung. Eine Zulassung von Fungiziden zur Bekämpfung von Fusariosen in der Maiskultur ist derzeit nicht gegeben. Eine Ausnahme stellt das Retengo®Plus (Wirkstoffe: Epoxiconazol + Pyraclostrobin) dar, welches vom BVL eine Zulassung für Notfallsituationen im Körnermais erhalten hat (ANONYM, 2015 c).

2.3.1 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Der Befall der Maiskultur mit Fusarien wird neben dem Ausgangsinokulum und den klimatischen Aspekten auch durch Standort- und Sorteneinflüsse sowie anbautechnische Maßnahmen wie Düngung und Bodenbearbeitung beeinflusst (MILLER, 2001; MUNKVOLD, 2003 b; BARTELS und RODEMANN, 2003; MASTEL, 2003; RODEMANN und BARTELS, 2004). Diese können das Auftreten der Pilze und die damit verbundene Mykotoxinproduktion stark verringern, jedoch nicht gänzlich vermeiden (MAIORANO et al., 2009).

Der **Fruchtfolge** und insbesondere der **Vorfrucht** kommen aufgrund der Bedeutung des Inokulumpotentials der *Fusarium*-Pilze eine zentrale Stellung zu (BARTELS und RODEMANN, 2003). Der Maisanbau erfolgt oftmals in einer engen Fruchtfolge mit einer oder zwei anderen Kulturarten bis hin zur Monokultur. Folglich sind auf den meisten Maisanbauflächen Stoppel- und Ernterückstände vorhanden. Diese Pflanzenreste stellen die primäre Quelle des Inokulums für die Infektion der Maispflanzen dar und steigern die Möglichkeiten der Vermehrung sowie Überdauerung des Pilzes in der vegetationsfreien Zeit deutlich, wodurch sich die *Fusarium*-Belastung verschärft (FLETT et al., 1998; MUNKVOLD, 2003 a; MUNKVOLD, 2003 b; BARTELS und RODEMANN, 2003; EDWARDS, 2004; SCHAAFSSMA et al., 2005). Aus der Literatur geht hervor, dass Maisstoppel aufgrund der langsameren Verrottung ein größeres Inokulumpotential als beispielsweise Weizenreste darstellen. (MUNKVOLD, 2003 a; DILL-MACKY und JONES, 2000). Folglich geht die Gefahr vor allem von den Ernterückständen aus, welche die Kultur hinterlässt, wodurch die Wahl der

Bodenbearbeitung zur vorbeugenden Bekämpfung von *Fusarium*-Pilzen ein weiteres wichtiges Kriterium darstellt (FLETT et al., 1998; BARTELS und RODEMANN, 2003).

Das Ausgangsinokulum wird maßgeblich von der Vorfrucht sowie deren Ernterückständen und der Art der **Bodenbearbeitung** beeinflusst (BARTELS und RODEMANN, 2003). Somit stellt die Bodenbearbeitung eine wichtige Taktik zur Reduktion des Infektionsniveaus dar und trägt folglich zur Minderung der Mykotoxinbelastung im Erntegut bei (MUNKVOLD, 2003 b). Jedes Verfahren, das mit einer Zerstörung, Einarbeitung oder Rotte infizierter Pflanzenteile einhergeht, reduziert das Inokulumpotential für die nachfolgende Kulturpflanze (BARTELS und RODEMANN, 2003; MASTEL, 2003; EDWARDS, 2004). Der Einsatz des Pfluges zur wendenden Bodenbearbeitung, bei dem Ernterückstände in tiefere Bodenschichten verlagert werden und somit den Infektionsdruck in der Folgekultur reduzieren, wird in der Literatur besonders nach einer risikoreichen Vorfrucht wie Mais als wirksame Minderungsstrategie gegen *Fusarium*-Spezies genannt. Dies kann die DON-Kontamination im folgenden Weizen nach Maisanbau deutlich senken. Im Vergleich dazu zeigt die Minimalbodenbearbeitung ein höheres Befallsrisiko auf, da ein größerer Teil der Ernterückstände an der Bodenoberfläche verbleiben (BARTELS und RODEMANN, 2003; MUNKVOLD, 2003 a; EDWARDS, 2004; SCHAAFSMA et al., 2005; BEYER et al., 2006; JOUANY, 2007; OSBORNE und STEIN, 2007). Des Weiteren ist auf eine Direktsaat von Weizen nach Mais aus Sicht des *Fusarium*-Befalls und der Mykotoxin-Belastung gänzlich zu verzichten (BARTELS und RODEMANN, 2003).

Neben der Bodenbearbeitung spielen anbautechnische Faktoren wie **Saatstärke und -termin** eine wichtige Rolle für den *Fusarium*-Befall. Hohe Pflanzenzahlen pro Hektar können zu Wasser- und Nährstoffstress der Pflanzen führen, wodurch die Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen erhöht wird. Grund dafür sind die geringere Luftbewegung und die höhere relative Feuchte in den Maisbeständen, welche die *Fusarium*-Spezies fördern (BLANDINO et al., 2008 a). Des Weiteren kann ein früherer Saatzeitpunkt in Abhängigkeit der übergeordneten Einflussgröße Witterung zu einem signifikant geringeren Mykotoxingehalt führen (MUNKVOLD, 2003 b; JOUANY, 2007). Der Befallsdruck durch *Fusarium*-Spezies ist am höchsten, wenn die Maisblüte in der Zeit der Sporenfreisetzung erfolgt. Daher kann jede Veränderung des Saattermins oder der Reifezeit der Sorte die Infektion durch *Fusarium*-Pilze sowie die Mykotoxinkontamination reduzieren (JOUANY, 2007).

Die Aussaat *Fusarium*-resistenter **Maissorten** stellt ein weiteres Instrument des integrierten Pflanzenschutzes dar, jedoch sind entsprechende Genotypen gegenwärtig nicht beschrieben. Allerdings existieren zwischen den Maissorten genetisch bedingte Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen, die sich in der Kontamination mit Mykotoxinen widerspiegeln (EDWARDS, 2004; MIEDANER et al., 2008, REID et al., 2009).

Ferner kann der Kontamination mit Mykotoxinen mittels der Reifezahl vorgebeugt werden. Spätreife Sorten besitzen ein höheres Risiko der Mykotoxinbelastung, da diese länger grün bleiben und somit den Pathogenen bessere Entwicklungsbedingungen bieten (SUTTON, 1982; BLANDINO et al., 2008 b; LAUREN et al., 2007; KEBEBE et al., 2015).

Auch die Optimierung der **N-Düngung** kann die Entwicklung und Ausbreitung von *Fusarium* spp. im Maisbestand minimieren (MILLER, 2001; MUNVOLD, 2003 b). Eine hohe Stickstoffdüngung verlängert das vegetative Wachstum und erhöht die Blattexpansion. In Kombination mit einer hohen Saatstärke führt dies zu dichten Beständen, einer geringen Luftbewegung zwischen den Pflanzen sowie einer hohen Luftfeuchte, wodurch optimale Umweltbedingungen für das Pilzwachstum entstehen (OSUNLAJA, 1990; BLANDINO et al., 2008 b; BLANDINO et al., 2009).

2.3.2 Fungizide

Unter befallsfördernden Witterungsbedingungen ist der Einsatz von Fungiziden gegen pilzliche Erreger häufig, neben den sonst üblichen pflanzenbaulichen Maßnahmen im Acker- und Pflanzenbau wie Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung und Sortenwahl, die letzte Möglichkeit um einen Befall zu reduzieren (RODEMANN und BARTELS, 2003; OLDENBURG et al., 2011). Während in nahezu allen Kulturen Fungizide zur Bekämpfung von *Fusarium*-Pilzen zur Verfügung stehen, ist eine Zulassung im Maisanbau nicht gegeben (ANONYM, 2014). Neben der indirekten Bekämpfung des *Fusarium*-Befalls in der Maiskultur durch pflanzenbauliche Maßnahmen bleibt derzeit nur die direkte Bekämpfung durch die Saatgutbehandlung mit fungiziden Beizen wie beispielsweise das in dieser Arbeit verwendete Maxim[®]XL der Syngenta Agro GmbH gegen den Frühbefall. Seit Juni 2014 wurden jedoch erstmalig zwei Fungizide zur direkten Bekämpfung der *Truncicum*-Blattdürre im Mais vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) zugelassen (ANONYM, 2014). Der Einsatz dieser Fungizide darf nur nach Warndienstaufruf an befallsfördernden Standorten und Witterungsbedingungen in hoch anfälligen Sorten in den Entwicklungsstadien EC 30 – EC 69 appliziert werden und ist auf eine einmalige Anwendung pro Jahr und Kultur begrenzt (BORNEMANN und STEINGRÖVER, 2014). Eines dieser Fungizide ist das für diese Arbeit verwendete Quilt[®]Xcel der Syngenta Agro GmbH. Laut Herstellerangaben weist dieses Fungizid aufgrund des beinhaltenden Wirkstoffs Propiconazol auch eine Wirksamkeit gegen den *Fusarium*-Spätbefall von Mais auf. Zusätzlich ist der Wirkstoff Azoxystrobin aus der Wirkstoffgruppe der Strobilurine enthalten. Im Folgenden wird auf die Wirkstoffe, die in dieser Arbeit verwendeten Präparate (Quilt[®]Xcel, Maxim[®]XL, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) näher eingegangen.

Zu der Wirkstoffgruppe der **Triazole** zählt eine Vielzahl besonders wirksamer systemischer Fungizide, welche den Sterol-Biosyntheseinhibitoren (SBI) zugeordnet werden. SBIs hemmen die Biosynthese von Ergosterol (AKINS, 2005), welches einen wichtigen Bestandteil der pilzlichen Zellmembran darstellt (PARKS und CASEY, 1995). Demzufolge werden sowohl die Synthese als auch die Funktion von Pilzmembranen gestört, was zusätzlich Folgeeffekte wie eine unvollständige Fettsäure-, Phospholipid- und Zellwand-Synthese oder den Verlust der Polarität des Hyphenwachstums hervorruft (LEROUX et al., 2007; PAUL et al., 2008; GISI, 2013). Entsprechend ihrer Zielorte können SBIs in Wirkstoffklassen mit spezifischer Enzymhemmung unterschieden werden. Die Triazole werden aufgrund ihrer hemmenden Wirkung auf das Enzym C14-Demethylase den C14-De-Methylation-Inhibitoren (DMIs) zugeordnet (BLATTER et al., 1998). Durch diese Enzymhemmung wird der natürliche Weg der Ergosterolbiosynthese gestört und es kommt zu einer Akkumulation von toxischen 14 α -Methylsterolen auf Kosten des Ergosterols, welches die Wachstumshemmung der Pilze verursacht (JOSEPH-HORNE et al., 1995). Unter den Triazolderivaten zählen die Wirkstoffe Metaconazol, Tebuconazol, Prothioconazol und Propiconazol als besonders aktiv gegen *Fusarium* spp. (LEROUX et al., 2007; PAUL et al., 2008; GISI, 2013).

Eine weitere wichtige Wirkstoffgruppe stellen die **Strobilurine**, welche 1996 in den Markt eingeführt wurden, dar (MEHL und STENZEL, 2008). Die Entwicklung dieser Gruppe wurde durch die antibiotischen Eigenschaften des natürlich vorkommenden Strobilurin A des Kiefernzapfenröhlings (*Strobilurus tenacellus*) inspiriert (ANKE et al., 1977; BARTLETT et al., 2002). Die Wirkungsweise dieser Wirkstoffgruppe beruht auf der Fähigkeit, die Elektronenübertragung am Cytochrom-bc1-Komplex in der mitochondrialen Atmungskette der Pilze zu inhibieren (GISI et al., 2000). Dies führt zu einer Hemmung der ATP-Synthese sowie der nachstehenden metabolischen Aktivitäten, wie beispielsweise der Sporen- bzw. Konidienkeimung oder der Keimschlauchbildung. Für die Elektronenübertragung besitzt der Komplex III zwei QH-Rezeptoren, einen auf der äußeren und den Anderen auf der inneren Seite der Membran. Da die Strobilurine die Rezeptoren der Außenseite blockieren, werden sie zu den Quinone-outside-Inhibitoren (Qoi) gezählt. Zu den bedeutendsten Strobilurinen zählen unter anderem die Wirkstoffe Azoxystrobin, Kresoxim-methyl, Picoxystrobin und Fluoxastrobin (ANKE, 1995; BARTLETT et al., 2002). Eine positive Eigenschaft einiger Strobilurine ist der sogenannte „greening Effekt“. Dieser steht im Zusammenhang mit einer Absenkung des CO₂-Kompensationspunktes, wodurch die Biomassebildung gefördert wird und die Pflanzen länger grün bleiben. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Unterdrückung der Ethylensynthese, die zu einer Seneszenzverzögerung führt. Durch die Verlängerung der Einlagerungsphase der Assimilate in die Körner ist eine deutliche Ertragssteigerung im Getreide zu verzeichnen (BARTLETT et al., 2002; WU und VON TIEDEMANN, 2002). Wirkstoffe

aus der Gruppe der Strobilurine zeigen im Vergleich zu Triazolfungiziden jedoch meist eine geringere Wirksamkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen (EDWARDS et al., 2001).

Eine Möglichkeit, ein breites Spektrum an saattgut- und bodenbürtiger Erreger effektiv zu bekämpfen, ist die Verwendung von Fungiziden in Form von Saattgutbehandlungen (MCGEE, 1981; MUNKVOLD und O`MARA, 2002; CHRISTIAN und GOGGI, 2008; SCHULTE, 2014). Die Apron[®]XL Saattgutbeize beinhaltet den Wirkstoff Metalaxyl-M, welcher der Wirkstoffgruppe Phenylamide zugeordnet wird. In der fungiziden Saattgutbeize Maxim[®]XL ist neben dem bereits genannten Metalaxyl-M noch das Fludioxonil, welches zur Wirkstoffgruppe der Phenylpyrrole gehört, enthalten. Die fungizide Beize Maxim[®]Quattro setzt sich aus den Wirkstoffen Azoxystrobin, Metalaxyl-M, Thiabendazol und Fludioxonil zusammen. Thiabendazol wird dabei zur Wirkstoffgruppe Benimidazole gezählt.

Die Wirkstoffgruppe **Phenylamide** wird spezifisch zur Bekämpfung von Krankheiten, welche durch Oomyceten wie z.B. der *Pythium*-Arten verschuldet werden, eingesetzt (FISHER und HAYES, 1984). In dieser Wirkstoffgruppe besitzt lediglich noch das Metalaxyl bzw. die wirksamere R-Form als Metalaxyl-M eine größere wirtschaftliche Bedeutung (NUNINGER et al., 1996). Phenylamide hemmen die Biosynthese der ribosomalen RNS im Polymerase-I-Komplex von Pilzen, wodurch die Proteinsynthese und ein Mycelwachstum blockiert werden. Hierdurch werden die Ausbreitung des Pilzes in der Wirtspflanze sowie die Konidienbildung unterdrückt (BÖRNER et al., 2009; GISI, 2013).

Die **Phenylpyrrole**, welche vom Naturstoff Pyrrolnitrin, einem sekundärem Stoffwechselprodukt des Bakteriums *Pseudomonas pyrocinia*, abstammen, besitzen als Kontaktfungizide eine sehr gute Wirkung als Saattgutbehandlungsmittel gegen samenbürtige Krankheitserreger. Zu dieser Substanzklasse zählt das Fludioxonil, welches hauptsächlich eine protektive Wirkung aufweist (BAHADIR et al., 2000; GISI, 2013). Diese Gruppe von Fungiziden beeinträchtigt die mit der Osmoregulation assoziierte Signaltransduktion pflanzenpathogener Pilze. Aufgrund der nicht weitergeleiteten Signale können die Sporen der Pilze zwar auf der Pflanze auskeimen, jedoch nicht in diese eindringen, da die Bildung der Keimschläuche, des Mycels und insbesondere der Appressorien unterbunden wird (KOJIMA et al., 2006; GISI, 2013).

Benzimidazol, wie beispielsweise das Thiabendazol, sind als breit wirksame und systemische Fungizide mit protektiver und kurativer Wirkung bekannt. Sie werden über Blätter sowie Wurzeln aufgenommen und akropetal im Xylem transloziert. Sie gehören zu den Inhibitoren der Kern- und Zellteilung. Ähnlich wie das Mitosegift Colchizin binden diese Derivate an das β -Tubulin der Mikrotubuli, welche am Aufbau des Spindelapparates beteiligt sind und hemmen somit die Mitose, wodurch die Pilzzelle abstirbt (SCHRUFFT, 1971; BUCHENAUER, 1982).

3. Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten Materialien und Methoden für die Feldversuche sowie dem qualitativen und quantitativen Erregernachweis mittels qPCR und der Analyse der Mykotoxine DON und ZEA mittels LC/MS erläutert.

3.1 Verwendete Materialien

3.1.1 Technische Geräte

| | |
|---|--|
| Autoklav Systec D-65 | Systec GmbH Labortechnik, Weltenberg - GER |
| Gefriertrocknung Gamma 1 – 20 | Christ, Osterode-Petershütte - GER |
| LAUDA E100 Wasserbad | Lauda GmbH & Co. KG, Königshofen - GER |
| LC/MS 500-MS IT Mass Spectrometer | Varian Inc., Palo Alto, Kalifornien - USA |
| NanoVue | General Electric Company, Fairfield, Connecticut - USA |
| qPCR iCycler iQ™RealTimePCR | BIO-RAD Laboratories, Hercules, Kalifornien - USA |
| Polaris 5 C18-A-Säule (150 x 3,0 mm) | Varian Inc., Palo Alto, Kalifornien - USA |
| Rotorspeed Mill pulverisette 14 | Fritsch, Idar-Oberstein - GER |
| Schüttler Typ 1 | Edmund Bühler GmbH, Hechingen - GER |
| Thermoblock Digital Heatblock | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Vacuum Pump V700 | BÜCHI Labortechnik AG, Flävil - CH |
| Vakuumentrifuge S Concentrator BA-VC-300H | H. Saur Laborbedarf, Reutlingen - GER |
| Vortexer VF 2 | IKA® Werke GmbH & Co. KG, Staufen - GER |
| Vortexer VORTEX-GENIE-MIXER 2 | EYDAM KG, Kiel - GER |
| Zentrifuge Biofuge pico | Heraeus, Osterode - GER |
| Zentrifuge Centrifuge 5804R | Eppendorf, Hamburg - GER |

3.1.2 Verbrauchsmaterialien und molekularbiologische Kits

| | |
|--|---|
| 13 mm Syringe Filter (w/0,2 µm PTFE) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| 15 ml Schraubgefäß | Sarstedt AG, Nümbrecht - GER |
| 50 ml Schraubgefäß | Sarstedt AG, Nümbrecht - GER |
| 96 Multiply PCR-Platte | Sarstedt AG, Nümbrecht - GER |
| Faltenpapier MN 615 ¼ (Ø 125 mm) | Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren - GER |
| Gewindeflasche 1,5 ml (vial für LC/MS) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |

| | |
|--|---|
| Klebefolie (optisch klar) für 96 Multiply PCR-Platte | Sarstedt AG, Nümbrecht - GER |
| Mikroeinsatz (für Gewindeflaschen) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| MycoSep®226 AflaZon+ | Romer Labs®, Inc. Union, MO - USA |
| NucleoSpin Plant II | Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren - GER |
| Schraubklappe 1,5 ml (für Gewindeflasche) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Septum 8 mm (für Schraubklappe) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Spritzen Injekt® 5 ml (Luer Solo) | Braun Melsungen AG, Melsungen - GER |

3.1.3 Chemikalien

| | |
|--|--|
| Acetonitril (LC/MS-Grade) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Acetonitril (HPLC-Grade) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Acetonitril (p.a.) | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Ameisensäure (p.a.) | Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER |
| Ammoniumformiat (p.a.) | Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER |
| Deoxynivalenol (DON) | SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen - GER |
| Natriumchlorid | Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER |
| n-Hexane | VWR, West Chester, Pennsylvania - USA |
| Stickstoff (flüssig) | Linde, Höllriegelskreuth - GER |
| SYBR-Green (Sso Advanced™ SYBR®-Green Super-mix) | Fermentas Life Sciences, St. Leon-Rot - GER |
| Zearalenon (ZEA) | SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen - GER |

3.1.4 Enzyme

| | |
|---|--|
| Lyticase from <i>Arthrobacter luteus</i> (2387 units/mg TM) | SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen - GER |
| RNAse(lyophilized) | Macherey-Nagel GmbH & Co KG, Düren - GER |

3.1.5 Organismen

***Fusarium* spp.**, Isolate:

Die Tabelle 5 zeigt die in der qPCR als Positivkontrolle verwendeten *Fusarium*-Isolate.

Tab. 5: Für die qPCR als Positivkontrolle genutzte *Fusarium*-Isolate sowie deren Herkunft

| <i>Fusarium</i> -Art | Isolatbezeichnung | Herkunft |
|---------------------------|-------------------|----------|
| <i>F. graminearum</i> | DSM-1095 | DSMZ* |
| <i>F. culmorum</i> | DSM-1094 | DSMZ* |
| <i>F. avenaceum</i> | DSM-21724 | DSMZ* |
| <i>F. poae</i> | DSM-62376 | DSMZ* |
| <i>F. equiseti</i> | DSM-21725 | DSMZ* |
| <i>F. verticillioides</i> | DSM-62452 | DSMZ* |
| <i>F. tricinctum</i> | DSM-21783 | DSMZ* |

* DSMZ = Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen

Mais (*Zea mays*), Sorten:

| | |
|------------|---|
| „Lorado“ | Limagrain GmbH Advanta Vertrieb, Edemissen - GER |
| „NK Nekta“ | Syngenta Agro, Basel - CH |
| „Multitop“ | Syngenta Agro, Basel - CH |

3.1.6 Fungizide

Blattfungizid:

| | |
|---|---------------------------|
| Quilt [®] Xcel (141,4 g l ⁻¹ Azoxystrobin + 122,4 g l ⁻¹ Propiconazol) | Syngenta Agro, Basel - CH |
|---|---------------------------|

Fungizide Beizen:

| | |
|---|---------------------------|
| Maxim [®] XL (25,0 g l ⁻¹ Fludioxonil + 10,0 g l ⁻¹ Metalaxyl-M) | Syngenta Agro, Basel - CH |
| Apron [®] XL (339,2 g l ⁻¹ Metalaxyl-M) | Syngenta Agro, Basel - CH |
| Maxim [®] Quattro (37,5 g l ⁻¹ Fludioxonil + 300 g l ⁻¹ Thiabendazol + 29 g l ⁻¹ Metalaxyl-M + 15 g l ⁻¹ Azoxystrobin) | Syngenta Agro, Basel - CH |

3.2 Feldversuche Silomais und Körnermais

Bei den im Silomais und Körnermais durchgeführten Feldversuchen wurden an unterschiedlichen Standorten innerhalb Deutschlands (Tab. 6) das Silomaishäckselgut (2012 – 2014), die Kornproben vom Körnermais (2012 und 2014), das Häckselgut verschiedener Entwicklungsstadien (2013 und 2014) sowie die Einzelfraktionen Nodien, Internodien und Kolben (2014) untersucht. Insbesondere wurde der Einfluss unterschiedlicher Fungizid-Anwendungen auf die Bestandesetablierung und -entwicklung, den Befall mit Blattpathogenen, das qualitative und quantitative Auftreten von *Fusarium* spp. und deren Mykotoxinbildung sowie den Ertrag erforscht.

Tab. 6: Übersicht der Maisfeldversuche von 2012 – 2014

| Versuchsjahr | Standort | Sorte | Nutzungsrichtung |
|--------------|----------------------|----------|------------------|
| 2012 | Hohenschulen (S.H.) | Lorado | Silomais |
| | Reding (BY) | NK Nekta | Körnermais |
| 2013 | Hohenschulen (S.-H.) | NK Nekta | Silomais |
| | | Multitop | Silomais |
| | Liesborn (NRW) | NK Nekta | Silomais |
| 2014 | Hohenschulen (S.-H.) | NK Nekta | Silomais |
| | | Multitop | Silomais |
| | Brockum (NS) | NK Nekta | Silomais |
| | Reding (BY) | NK Nekta | Körnermais |

3.2.1 Versuchsstandorte und Versuchsanlage

Um den Einfluss verschiedener klimatischer Effekte sowie die Auswirkung unterschiedlicher Anbauformen der Maiskultur zu erfassen, wurden an vier Standorten in Deutschland Feldversuche angelegt (Abb. 9). In Tabelle 7 werden Informationen über die geographische Lage, Bodenart, -typ und Ackerzahl dargelegt.

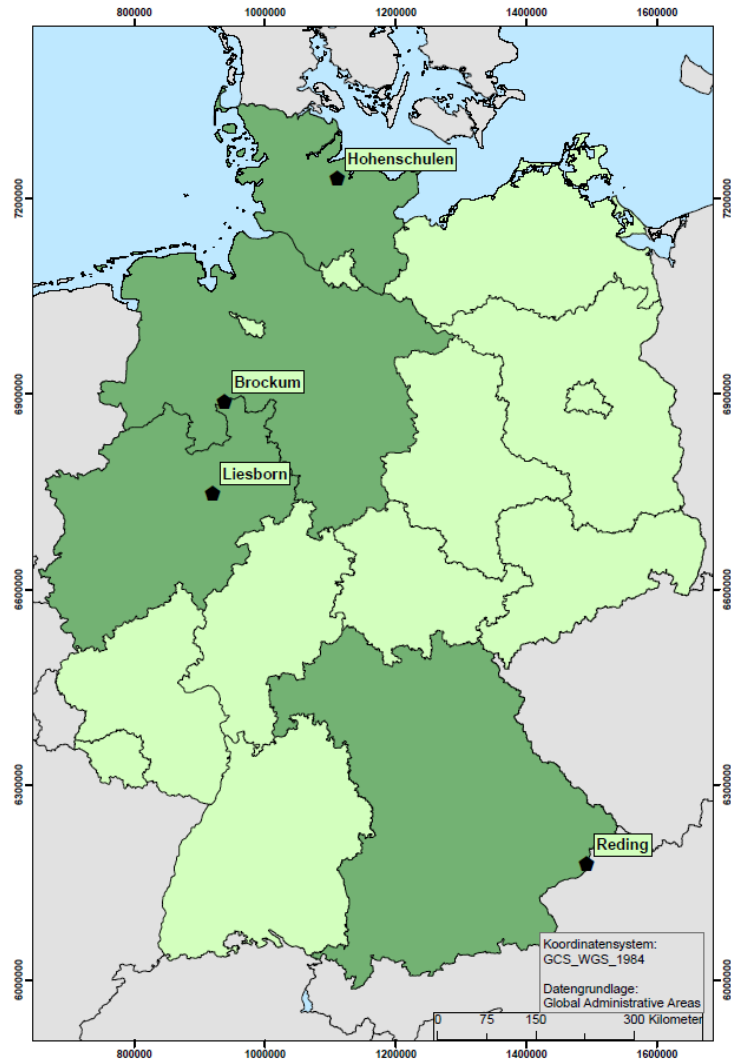


Abb. 9: Geographische Lage der Maisfeldversuchsstandorte (ArcGIS)

Tab. 7: Geographische Lage, Bodentypen, -arten und Ackerzahlen der Versuchsfelder

| Standort | Landkreis | Bodentyp | Bodenart | Ackerzahl |
|--------------|-------------------------|----------------------|----------|-----------|
| Hohenschulen | Rendsburg – Eckernförde | Parabraunerde | sL – tL | 50 |
| Brockum | Diepholz | Gley | SI | 37 |
| Liesborn | Soest | Pseudogley-Braunerde | uS | 55 |
| Reding | Passau | Alluvialboden | sL | 52 |

Der eine Versuchsstandort war auf dem Versuchsgut **Hohenschulen** der Christian – Albrechts – Universität (CAU) zu Kiel in der Gemeinde Achterwehr, Landkreis Rendsburg-Eckernförde (Schleswig-Holstein). Hier lag ein vorwiegend maritimes Klima vor. Das Versuchsgut Hohenschulen weist als Bodentyp lessivierte Braunerde aus

Wurmgeschiebelehm auf. Die Bodenart variiert von sandigem Lehm (sL) bis tonigem Lehm (tL) mit einer Ackerzahl von 50 Bodenpunkten.

In der Ortschaft **Brockum** in der Gemeinde Lembruch im Landkreis Diepholz (Niedersachsen) lag ein weiterer Versuchsstandort. Das Versuchsfeld Brockum, welches ein Praxisschlag war, zeigt als Bodentyp Gleye aus Talsanden und stellenweise Flugsanden über Geschiebelehm auf. Die vorliegende Bodenart ist anlehmiger Sand (SI) aus tertiären Sedimenten mit einer Bonität von 37 Bodenpunkten.

Der Versuchsstandort **Liesborn** in der Gemeinde Wadersloh im Landkreis Soest (Nordrhein-Westfalen) wies als Bodentyp Pseudogley-Braunerde aus Alluviulboden auf. Die vorherrschende Bodenart war hier schluffiger Sand (uS) mit einer Ackerzahl von 55 Bodenpunkten.

Ein weiterer Versuch wurde auf einem Praxisschlag in **Reding** im Landkreis Passau (Bayern) angelegt, welcher unter einem kontinentaleren Klimaeinfluss stand. Die Fläche war durch den Bodentyp Schwemmlandboden gekennzeichnet, die Bodenart war sandiger Lehm (sL) mit einer Bodenzahl von 52.

3.2.2 Anbauparameter und Maßnahmen der Bestandesführung

Im Folgenden wird ein Überblick der wichtigsten acker- und pflanzenbaulichen Parameter der Versuchsstandorte gegeben.

Fruchtfolge:

Der Versuchsstandort Hohenschulen (S.-H.) wird seit dem Jahr 2009 mit der Nutzungsrichtung Mais als eingliedrige Fruchtfolge (Monokultur) bewirtschaftet. Ein Fruchtwechsel von Winterraps auf Mais wurde letztmalig im Jahr 2008 vollzogen. Ebenso ist das Versuchsfeld in Brockum (NS) seit mehr als 4 Jahren durch eine Mais-Monokultur-Bewirtschaftung gekennzeichnet. An dem Standort Reding (BY) wird der Mais seit dem Jahr 2002 als Selbstfolge angebaut, Ausnahme stellt das Jahr 2011 dar, hier wurde die Selbstfolge durch den einmaligen Anbau von Winterweizen unterbrochen. Am Versuchsstandort Liesborn (NRW) steht der Mais in einer zweigliedrigen Fruchtfolge, bestehend aus Weizen und Mais.

Bodenbearbeitung:

An den Versuchsstandorten Hohenschulen und Brockum fand ausschließlich eine konservierende Bodenbearbeitung statt. Hier erfolgte die Stoppelbearbeitung mittels

Scheibenegge bzw. Grubber, gefolgt von einer Primärbodenbearbeitung durch den Einsatz eines Grubbers. Kurz vor der Aussaat fand in Hohenschulen die Sekundärbodenbearbeitung anhand einer Kreiselegge statt. Am Standort Brockum wurde auf eine Sekundärbodenbearbeitung verzichtet.

Im Gegensatz zu dieser konservierenden Bodenbearbeitung wurden am Versuchsstandort Liesborn und auf dem bayrischen Standort Reding zunächst die Stoppel durch einen Schlegelmulcher zerkleinert, daraufhin wurde gepflügt. Eine Sekundärbodenbearbeitung erfolgte mit einer Kreiselegge bzw. mit einer Saatbettkombination gekoppelt mit einer Kreiselegge (Tab. 8).

Tab. 8: Bodenbearbeitungsverfahren auf den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014

| Standort | Versuchsjahr | Stoppelbearbeitung | Primärbodenbearbeitung | Sekundärbodenbearbeitung |
|--------------|--------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Hohenschulen | 2012 – 2014 | Scheibenegge | Grubber | Kreiselegge |
| Brockum | 2014 | Grubber | Grubber | keine Bodenbearbeitung |
| Liesborn | 2013 | Schlegelmulcher | Pflug | Kreiselegge |
| Reding | 2012 & 2014 | Schlegelmulcher | Pflug | Saatbettkombination + Kreiselegge |

Sortenwahl:

Für eine vergleichende Betrachtung wurde an allen Standorten (Ausnahme Versuchsjahr 2012; Hohenschulen) die Maissorte „NK Nekta“ angebaut. Dabei handelt es sich um eine mittelfrühe Sorte mit einer Reifezahl von S 240 / K 240. In der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamts (BSA) wird die Anfälligkeit gegenüber der *Fusarium*-Stängelfäule mit der BSA-Note 3 als gering eingestuft (ANONYM, 2013).

Im Versuchsjahr 2012 wurde am Standort Hohenschulen die Sorte „Lorado“ mit einer Reifezahl von S 170 / K 160 und einer relativ hohen Anfälligkeit gegenüber der *Fusarium*-Stängelfäule (BSA-Note 7) verwendet (ANONYM, 2013). Neben der Sorte „NK Nekta“ wurde in den Versuchsjahren 2013 und 2014 am Standort Hohenschulen zusätzlich die Versuchssorte „Multitop“ als Referenz getestet. Diese mittelfrühe Sorte mit einer Reifezahl von S 240 / K 230 besitzt nach Herstellerangaben eine gesunde Abreife. Der Eintrag in die BSA und somit die *Fusarium*-Anfälligkeitsnote sind aufgrund einer nicht vorhandenen Zulassung in Deutschland nicht gegeben.

Saattermin und Saatstärke:

Das Saatgut wurde durch eine Einzelkornsämaschine in einem Reihenabstand von 75 cm und einer Tiefe von 5 cm im Boden abgelegt. Die Aussaat erfolgte standortübergreifend ab der zweiten Aprilwoche und die Böden befanden sich zum Aussaatzeitpunkt in einem feucht-krümeligen Zustand. Die Saatstärke betrug zwischen 9,0 Körner m⁻² und 10,5 Körner m⁻² (Tab. 9).

Tab. 9: Aussaattermine und Aussaatstärke an den Versuchsstandorten in den Versuchsjahren 2012 – 2014

| Standort | Versuchsjahr | Aussaatzeitpunkt | Aussaatstärke |
|--------------|--------------|------------------|---------------------------------|
| Hohenschulen | 2012 | 20.04.2012 | 100.000 Körner ha ⁻¹ |
| Hohenschulen | 2013 | 20.04.2013 | 100.000 Körner ha ⁻¹ |
| Hohenschulen | 2014 | 29.04.2014 | 105.000 Körner ha ⁻¹ |
| Liesborn | 2013 | 24.04.2013 | 100.000 Körner ha ⁻¹ |
| Brockum | 2014 | 29.04.2014 | 90.000 Körner ha ⁻¹ |
| Reding | 2012 | 11.04.2012 | 100.000 Körner ha ⁻¹ |
| Reding | 2014 | 12.04.2014 | 100.000 Körner ha ⁻¹ |

Düngung:

An den Standorten Hohenschulen, Brockum und Liesborn wurde dem Boden der Großteil an Stickstoff in organischer Form durch Schweinegülle (Hohenschulen / Liesborn) bzw. Biogassubstratrest (BSR mit 4 – 6 % TS; Brockum) zugeführt. Zusätzlich erhielten die Maispflanzen der Standorte Hohenschulen und Brockum eine Unterfußdüngung in Form von DAP (18 / 46 / 0) mit einer Nährstoffkomposition von 18 % N, 46 % P und 0 % K bzw. NP 20 / 20 mit einem Nährstoffgehalt von 20 % N, 20 % P und 0 % K zur Aussaat. Am Standort Liesborn erfolgt stattdessen eine weitere Nährstoffgabe durch eine Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung (AHL). Auf dem bayrischen Standort wurden die Nährstoffe ausschließlich in mineralischer Form ausgebracht. Die verwendeten Mengen können der nachstehenden Tabelle 10 entnommen werden.

Tab. 10: Stickstoff-, Kalium- und Phosphorversorgung auf den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014

| Standort | Versuchsjahr | Düngerform | Menge | Stickstoff (kg ha ⁻¹) | Kalium (kg ha ⁻¹) | Phosphat (kg ha ⁻¹) |
|--------------|--------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Hohenschulen | 2012 | Schweinegülle + NP 20/20 + Kornkali | 35 m ³ + 1,5 dt + 3 dt ha ⁻¹ | 156 | 170 | 41 |
| Hohenschulen | 2013 | Schweinegülle + NP 20/20 | 40 m ³ + 1,5 dt ha ⁻¹ | 174 | 80 | 68 |
| Hohenschulen | 2014 | Schweinegülle + DAP 18/46 | 45 m ³ + 1 dt ha ⁻¹ | 180 | 90 | 57 |
| Liesborn | 2013 | Schweinegülle + AHL | 35 m ³ + 300l ha ⁻¹ | 184 | 16 | 40 |
| Brockum | 2014 | BSR + DAP 18/46 | 35 m ³ + 1 dt ha ⁻¹ | 158 | 119 | 46 |
| Reding | 2012 | Urea S + Kornkali | 4,7 dt + 3 dt ha ⁻¹ | 180 | 100 | |
| Reding | 2014 | Urea S + Kornkali | 4,7 dt + 3 dt ha ⁻¹ | 180 | 100 | |

Pflanzenschutz:

Die in den Maisfeldversuchen durchgeführten Herbizidmaßnahmen erfolgten an den Versuchsstandorten hinsichtlich der Intensität und Terminierung betriebsüblich.

Die Anwendung von Fungizidmaßnahmen erfolgte, neben den Saatgutbehandlungen mit den Beizen Maxim[®]XL, Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro, durch Blattapplikationen mit Quilt[®]Xcel in späteren Entwicklungsstadien der Maispflanzen. Die unterschiedlichen Fungizidvarianten werden im nachstehenden Kapitel 3.2.3 näher erläutert. Weitere Pflanzenschutzmaßnahmen wie der Einsatz von Insektiziden oder Wachstumsregulatoren erfolgten nicht.

3.2.3 Versuchsdurchführung und Fungizidapplikation

Die Maisfeldversuche wurden an den verschiedenen Standorten in den einzelnen Versuchsjahren nach dem selben Schema gegliedert. Die Blockanlage enthielt im Versuchsjahr 2012 fünf Varianten, im Versuchsjahr 2013 acht Variationen und im letzten Versuchsjahr neun Varianten mit jeweils vier Wiederholungen, welche in den Abbildungen 10 – 12 aufgezeigt werden. Neben den Fungizidvarianten befand sich an allen Standorten über die drei Versuchsjahre (2012 – 2014) immer eine unbehandelte Kontrollvariante, um so eine natürliche Epidemiologie durch die pilzlichen Erreger darstellen zu können.

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | |
| D | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | P 5 | |
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 5 | E 4 | |
| C | P 1 | P 2 | P 3 | P 5 | P 4 | |
| | E 2 | E 1 | E 3 | E 5 | E 4 | |
| B | P 2 | P 1 | P 3 | P 5 | P 4 | |
| | E 1 | E 2 | E 3 | E 4 | E 5 | |
| A | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | P 5 | |

V 1: unbehandelte Kontrolle
V 2: ohne Beize + Quilt® Xcel (EC 51/55)
V 3: Maxim® XL + Quilt® Xcel (EC 51/55)
V 4: Maxim® Quattro
V 5: Maxim® Quattro + Quilt® Xcel (EC 51/55)

Abb. 10: Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Reding in dem Versuchsjahr 2012. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D | P 1 | E 1 | P 2 | E 2 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 5 | E 5 | P 6 | E 6 | P 7 | E 7 | P 8 | E 8 |
| C | P 1 | E 1 | P 4 | E 4 | P 2 | E 2 | P 3 | E 3 | P 6 | E 6 | P 5 | E 5 | P 8 | E 8 | P 7 | E 7 |
| B | P 1 | E 1 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 2 | E 2 | P 8 | E 8 | P 7 | E 7 | P 6 | E 6 | P 5 | E 5 |
| A | P 1 | E 1 | P 2 | E 2 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 5 | E 5 | P 6 | E 6 | P 7 | E 7 | P 8 | E 8 |

- V 1:** unbehandelte Kontrolle
V 2: Apron® XL + Quilt® Xcel (EC 31/35)
V 3: Apron® XL + Quilt® Xcel (EC 51/55)
V 4: Apron® XL + Quilt® Xcel (EC 61/65)
V 5: Maxim® Quattro
V 6: Maxim® Quattro + Quilt® Xcel (EC 31/35)
V 7: Maxim® Quattro + Quilt® Xcel (EC 51/55)
V 8: Maxim® Quattro + Quilt® Xcel (EC 61/65)

Abb. 11: Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Liesborn in dem Versuchsjahr 2013. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D | P 1 | E 1 | P 3 | E 3 | P 2 | E 2 | P 5 | E 5 | P 4 | E 4 | P 8 | E 8 | P 9 | E 9 | P 6 | E 6 | P 7 | E 7 |
| C | P 1 | E 1 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 2 | E 2 | P 5 | E 5 | P 7 | E 7 | P 6 | E 6 | P 9 | E 9 | P 8 | E 8 |
| B | P 1 | E 1 | P 5 | E 5 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 2 | E 2 | P 9 | E 9 | P 8 | E 8 | P 7 | E 7 | P 6 | E 6 |
| A | P 1 | E 1 | P 2 | E 2 | P 3 | E 3 | P 4 | E 4 | P 5 | E 5 | P 6 | E 6 | P 7 | E 7 | P 8 | E 8 | P 9 | E 9 |

V 1: unbehandelte Kontrolle

V 2: Apron[®] XL

V 6: Maxim[®] Quattro

V 3: Apron[®] XL + Quilt[®] Xcel (EC 31/35)

V 7: Maxim[®] Quattro + Quilt[®] Xcel (EC 31/35)

V 4: Apron[®] XL + Quilt[®] Xcel (EC 51/55)

V 8: Maxim[®] Quattro + Quilt[®] Xcel (EC 51/55)

V 5: Apron[®] XL + Quilt[®] Xcel (EC 61/65)

V 9: Maxim[®] Quattro + Quilt[®] Xcel (EC 61/65)

Abb. 12: Variantenplan der Maisfeldversuche an den Versuchsstandorten Hohenschulen, Brockum und Reding in dem Versuchsjahr 2014. V = Variante; P = Probenahmeparzelle; E = Ernteparzelle

Zur Reduzierung des Einflusses von Störfaktoren wurde eine randomisierte Blockanlage als Anlagemethode ausgewählt. Dabei wurde je Variante sowohl eine Probenahme- als auch eine Ernteparzelle unmittelbar nebeneinander angelegt. Jede Parzelle umfasste eine Fläche von 30 m² und beinhaltete vier Maisreihen nebeneinander auf einer Länge von 10 m.

Die Fungizidmaßnahmen erfolgten stadienorientiert und mit Ausnahme des Versuchsjahres 2012 jeweils in Kombination von einer Saatgutbeize mit Apron[®]XL oder Maxim[®]Quattro in den Entwicklungsstadien EC 31/35 mit einer Wasseraufwandmenge von 200 L ha⁻¹ sowie in EC 51/55 und EC 61/65 mit einer Wasseraufwandmenge von 400 L ha⁻¹ durch die Applikation von Quilt[®]Xcel. Um die Effizienz dieses Fungizides beurteilen zu können, befanden sich in dem Versuchsdesign Varianten mit einer alleinigen Beizung (Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro), welche die Wirkung der fungiziden Beize aufzeigen sollten. In Tabelle 11 werden die Aufwandmengen der einzelnen Fungizidbehandlungen aufgeführt.

Tab. 11: Aufwandmengen der Saatgutbeizen (Maxim[®]XL, Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro) und des Blattfungizids (Quilt[®]Xcel) in den Maisfeldversuchen von 2012 – 2014

| Handelsname | Wirkstoffkonzentration | Aufwandmenge* |
|----------------------------|--|-------------------------|
| Maxim [®] XL | 25,0 g l ⁻¹ Fludioxonil + 10,0 g l ⁻¹ Metalaxyl-M | 12,5 ml U ⁻¹ |
| Apron [®] XL | 339,2 g l ⁻¹ Metalaxyl-M | 0,73 ml U ⁻¹ |
| Maxim [®] Quattro | 37,5 g l ⁻¹ Fludioxonil + 300 g l ⁻¹ Thiabendazole + 29 g l ⁻¹ Metalaxyl-M + 15 g l ⁻¹ Azoxystrobin | 8,5 ml U ⁻¹ |
| Quilt [®] Xcel | 141,4 g l ⁻¹ Azoxystrobin + 122,4 g l ⁻¹ Propiconazol | 1,0 l ha ⁻¹ |

* U = 50.000 Saatgutkörner

Die Fungizidapplikationen wurden mittels einer selbstkonstruierten druckluftbetriebenen Parzellenspritze des Instituts für Phytopathologie der CAU zu Kiel durchgeführt. Durch das bis zu 4,50 m hohe Spritzgestänge konnten auch in den späteren Entwicklungsstadien (EC 55 bis EC 65) bei hohen Pflanzenlängen sehr gute Benetzungsergebnisse realisiert werden.

3.2.4 Visuelle Bonitur

Zur Bestimmung des Auflaufverhaltens wurde an den Versuchsstandorten 21 und / oder 28 Tage nach der Aussaat die Anzahl aufgelaufener Maispflanzen bonitiert. Dafür wurden jeweils die beiden mittleren Reihen aller Versuchspartellen betrachtet. Im folgenden Vegetationsverlauf der Maispflanzen wurde als Maß der Bestandesentwicklung zudem aus allen Varianten der Wiederholungen A bis C an jeweils zehn Pflanzen zu verschiedenen EC-Stadien die Pflanzenlänge in m erfasst.

Weiterhin erfolgte in dem Entwicklungsstadium EC 75 an jeweils zehn Pflanzen der Wiederholungen A – C eine Drittelbonitur der Maispflanzen. Hierfür wurden die Pflanzen in einen oberen, mittleren sowie unteren Bereich unterteilt, wobei der mittlere Bereich fünf Blättern (L-2, L-1, L0, L1, L2) um den Kolbenansatz bzw. Kolben entsprach (Abb. 13).

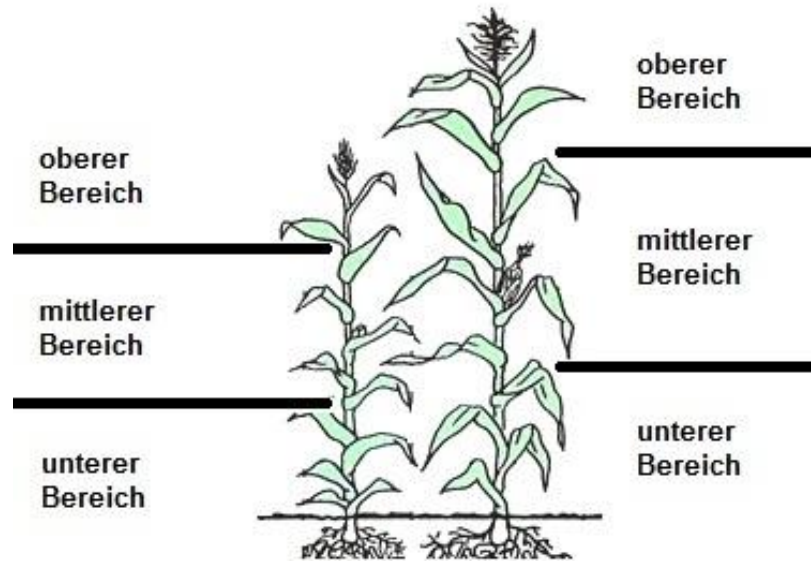


Abb. 13: Einteilung der Boniturbereiche in oberer, mittlerer und unterer Bereich (Quelle: verändert nach ANONYM, 2015)

Anhand dieses Schemas konnten die Gesamtnekrose in % sowie die Befallsstärke im Bestand (BSB) und die Befallshäufigkeit im Bestand (BHB) von *K. zeae*, *P. zeae-maydis* und *E. triticum* in % pro Pflanze zum entsprechenden Boniturtermin ermittelt werden. Der Grad der Nekrotisierung entspricht dabei der Summe aus natürlicher abiotischer Seneszenz und der erregerspezifischen biotischen Verbräunung.

3.2.5 Erfassung meteorologischer Daten

Zur Aufzeichnung der meteorologischen Witterungsdaten am Standort Hohenschulen (Versuchsjahre 2012 – 2014) und Reding (Versuchsjahre 2012 und 2014) wurden die sich im Bestand etablierten agrarmeteorologischen Wetterstationen (Thies Klima, Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen – GER) verwendet. Dabei wurden die Parameter Temperatur (°C) sowie rLF (%) jeweils in einer Entfernung von 30 cm und 200 cm über der Bodenoberfläche und weiterhin die Niederschlagsmenge (mm) in einer stündlichen Frequenz gemessen. Da am Standort Brockum (Versuchsjahr 2014) und Liesborn (Versuchsjahr 2013) keine Wetterstation installiert war, wurden die zuvor genannten Witterungsparameter von der sich in der Nähe befindlichen Wetterstation Diepholz bzw. Osnabrück des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Zum Vergleich wurde das langjährige Mittel der einzelnen Versuchsstandorte vom DWD als Referenz hinzugezogen.

3.2.6 Probenahme und Vorbereitung des Probematerials

Um das Ausbreitungsmuster der verschiedenen *Fusarium*-Arten sowie die Wirkung der einzelnen Fungizidbehandlungen zu erfassen, wurden in den Versuchsjahren 2013 und 2014 in den Entwicklungsstadien EC 35, EC 65 und EC 75 Pflanzenproben aus den beiden

mittleren Reihen der Probenahmeparzelle bestimmter Varianten in den Wiederholungen A bis C entnommen (Tab. 12). Im Anschluss wurden die Pflanzen der gleichen Varianten aus den Wiederholungen zusammengeführt und in verschiedene Pflanzenbereiche fraktioniert. In EC 35 wurde zwischen den Fraktionen Unten (untere 10 cm der Stängel) sowie Restpflanze unterschieden. Die Maispflanzen der Probetermine EC 65 und EC 75 wurden in die Fraktionen Oben (oberhalb des Hauptkolbens), Kolben (alle Maiskolben einer Pflanze) und Unten (unterhalb des Hauptkolbens) unterteilt. Durch mechanisches Zerkleinern wurden anschließend Mischproben der einzelnen Fraktionen erstellt und bei 50 °C für 48 – 72 h wärmegetrocknet.

Tab. 12: Übersicht der Probenahme und Fraktionierung der Versuchsstandorte Hohenschulen und Liesborn (Versuchsjahr 2013) und der Versuchsstandorte Hohenschulen, Brockum und Reding (Versuchsjahr 2014)

| Probenahme-termin | Fraktionen | Varianten |
|-------------------|---|--|
| EC 35 | untere 10 cm des Stängels Restpflanze | Kontrolle Apron [®] XL Maxim [®] Quattro |
| EC 65 | Unterhalb des Hauptkolbens Kolben Oberhalb des Hauptkolbens | Kontrolle Apron [®] XL* Apron [®] XL + Quilt [®] Xcel (EC 31/35) Apron [®] XL + Quilt [®] Xcel (EC 51/55) Maxim [®] Quattro Maxim [®] Quattro + Quilt [®] Xcel (EC 31/35) Maxim [®] Quattro + Quilt [®] Xcel (EC 51/55) |
| EC 75 | Unterhalb des Hauptkolbens Kolben Oberhalb des Hauptkolbens | Kontrolle Apron [®] XL* Apron [®] XL + Quilt [®] Xcel (EC 31/35) Apron [®] XL + Quilt [®] Xcel (EC 51/55) Apron [®] XL + Quilt [®] Xcel (EC 61/65) Maxim [®] Quattro Maxim [®] Quattro + Quilt [®] Xcel (EC 31/35) Maxim [®] Quattro + Quilt [®] Xcel (EC 51/55) Maxim [®] Quattro + Quilt [®] Xcel (EC 61/65) |

* nur im Versuchsjahr 2014

Um die Bedeutung der jeweiligen Infektionswege sowie die Verteilung und Akkumulation verschiedener *Fusarium*-Arten innerhalb der Pflanze über die Maisvegetation zu analysieren, wurde im Versuchsjahr 2014 ein weiterer Versuch mit den Sorten NK Nekta in Hohenschulen angelegt. Die Probenahme erfolgte zu den EC-Stadien EC 33, EC 65, EC 75 und EC 85 aus der unbehandelten Kontrolle. Diese Pflanzen wurden,

wie in Abbildung 14 zu EC 33 dargestellt, in die einzelnen Fraktionen Nodien, Internodien, Kolben sowie Restpflanze zerlegt. Im Anschluss wurden die einzelnen Fraktionen grob mechanisch zerkleinert und für 72 h gefriergetrocknet.

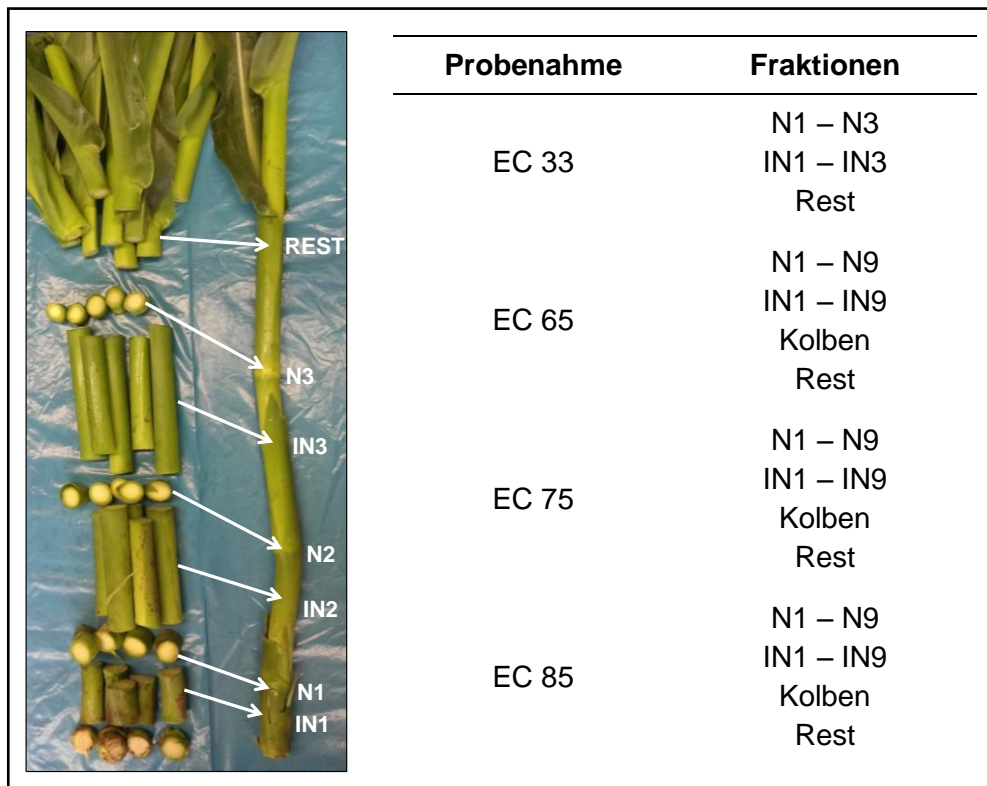


Abb. 14: Fraktionierung der Maispflanzen in Nodium, Internodium, Kolben und Restpflanze. Links: Maispflanzen mit den einzelnen Fraktionen zu EC 33. Rechts: Probenahmetermine mit den entsprechenden Fraktionen. N = Nodium; IN = Internodium; Rest = Restpflanze

Über alle Nutzungsrichtungen und Standorte hinweg erfolgte außerdem eine Kernbeerntung (Ernte der beiden mittleren Reihen) aller Varianten der Wiederholungen A – D. Die Silomaisernte der Versuchsstandorte Hohenschulen, Liesborn und Brockum wurde mittels eines Parzellenhäckslers durchgeführt. Die Körnermaisernte am bayrischen Versuchsstandort Reding erfolgte mit einem Parzellendrescher. Im Zuge der Beerntung wurde der Parzellenertrag ermittelt und eine Probe von 2 kg jeder Variante sowie Wiederholung entnommen und ebenfalls bei 50 °C für 48 – 72 h wärmegetrocknet.

Um eine homogene Analyseprobe herzustellen wurde nach der Trocknung das Probenmaterial (Silomais, Körnermais, Häckselgut der Fraktionierung, Einzelfraktionen) zur Vorbereitung für die molekularbiologischen Untersuchungen mittels einer Rotor-Schnellmühle in zwei Schritten zunächst auf 1,0 mm und anschließend auf 0,2 mm vermahlen.

3.3 Molekularer Erregernachweis

Für die spezifische Detektion und Quantifizierung der unterschiedlichen *Fusarium*-Arten wurden unter Anwendung von molekularbiologischen Methoden (DNA-Extraktion und qPCR) die Pflanzenproben untersucht.

3.3.1 DNA-Extraktion aus Pflanzenmaterial

Die Isolierung genomischer DNA aus Körnermais, Silomais sowie den Maisfraktionen erfolgte mit Hilfe des NucleoSpin Plant II-Kit (Macherey-Nagel), wobei die pflanzliche und pilzliche DNA aus 100 (Silomais, Maisfraktionen) bzw. 150 mg (Körnermais) Probenmaterial (0,2 mm) genommen wurde. Das Extraktionsprotokoll wurde durch die Zugabe des Enzyms Lyticase (Sigma, 2387 units mg⁻¹ TM) nach dem RNase-Verdau erweitert, wodurch ein verbesserter Aufschluss der pilzlichen Zellwand erreicht wurde. Für jede Probe wurden 10 µl Lyticase zugesetzt und für 40 min bei 37 °C in einem Thermoblock inkubiert.

DNA-Extraktions-Protokoll:

1. Einwaage von 100 mg Ausgangsmaterial (gemahlen auf 0,2 mm) in ein 2 ml Reaktionsgefäß
2. Zugabe von 900 µl Lyse-Puffer PL 1; vortexen
3. Zugabe von 20 µl RNase A; vortexen
4. Inkubation bei 65 °C für 30 min in einem Wasserbad
5. Zugabe von 10 µl Lyticase (20 units µl⁻¹); vortexen
6. Inkubation bei 37 °C für 40 min (Thermoblock)
7. Zentrifugation bei 11000 rpm für 1 min
8. Überführung des Lysats in NucleoSpin[®]Filter (violetter Ring; in einem 2 ml Reaktionsgefäß) und für 2 min bei 11000 rpm zentrifugieren; Filter werfen
9. Zugabe von 1000 µl Puffer PC; vortexen
10. Überführung des Lysats in NucleoSpin[®]Plant II Column (grüner Ring; in einem neuen 2 ml Reaktionsgefäß; maximal 700 µl) und für 1 min bei 11000 rpm zentrifugieren; Durchfluss werfen
11. Schritt 10 für den Rest des Lysats wiederholen
12. Zugabe von 400 µl Puffer PW 1 in NucleoSpin[®]Plant II Column und für 1 min bei 11000 rpm zentrifugieren; Durchfluss werfen
13. Zugabe von 700 µl Puffer PW 2 in NucleoSpin[®]Plant II Column und für 1 min bei 11000 rpm zentrifugieren; Durchfluss werfen
14. Zugabe von 200 µl Puffer PW 2 in NucleoSpin[®]Plant II Column und für 2 min bei 11000 rpm zentrifugieren; Durchfluss werfen

15. NucleoSpin®Plant II Column in ein neues 1,5 ml Reaktionsgefäß platzieren
16. 50 µl Puffer PE (70 °C) auf die Membran pipettieren und 5 min bei 70 °C inkubieren (Thermoblock) und anschließend 1 min bei 11000 rpm zentrifugieren
17. Schritt 16 wiederholen
18. NucleoSpin®Plant II Column verwerfen und eluierte DNA kühl lagern (-20 °C)

Um die für den molekularbiologischen Nachweis mittels qPCR benötigte einheitliche DNA-Konzentration von 20 ng µl⁻¹ einzustellen, wurde in den einzelnen Maisproben die DNA-Konzentration mit Hilfe des NanoVue spektrophotometrisch erfasst. Hierfür wurden dreimal 2 µl der Proben-DNA gemessen und anschließend mit autoklaviertem VE-Wasser (HPLC-Grade) auf die entsprechende Konzentration verdünnt.

3.3.2 qPCR

Die Identifikation der *Fusarium*-Arten sowie die Bestimmung der Befallsstärken der einzelnen nachgewiesenen Arten in den Maisproben erfolgten mittels qPCR. Bei der qPCR (realtime-PCR) handelt es sich eine Vervielfältigungsmethode für Nukleinsäuren, die auf dem Prinzip der herkömmlichen PCR beruht und zusätzlich eine relative Quantifizierung der Ausgangs-DNA-Konzentration und somit der DNA-Befallsstärke ermöglicht. Gegenüber der herkömmlichen PCR wird mittels der Anregung von Fluoreszenzfarbstoffen die Zunahme am PCR-Produkt von Zyklus zu Zyklus ermittelt. Die dabei gemessene Fluoreszenz ist proportional zur Kopiezahl des gebildeten Produkts. Als Messwerte dienen die Ct-Werte (Threshold-Cycle), mit denen wird der Amplifikationszyklus angegeben, an dem das Fluoreszenzsignal erstmalig signifikant über die Hintergrundfluoreszenz ansteigt. In der Tabelle 13 sind die artspezifischen Primer zur Identifikation und Quantifizierung verschiedener *Fusarium*-Arten aufgeführt.

Tab. 13: Artspezifische Primer zur Identifikation und Quantifizierung verschiedener *Fusarium*-Arten (NICOLAISEN et al., 2009)

| <i>Fusarium</i> -Art | Primer | Sequenz (5' → 3') |
|---------------------------|---------------|-----------------------------|
| <i>F. culmorum</i> | FculC561 fwd | CACCGTCATTGGTATGTTGTCCT |
| | FculC614 rv | CGGGAGCGTCTGATAGTCG |
| <i>F. graminearum</i> | FgramB379 fwd | CCATTCCCTGGGCGCT |
| | FgramB411 rev | CCTATTGACAGGTGGTTAGTGACTGG |
| <i>F. poae</i> | FpoaeA51 fwd | ACCGAATCTCAACTCCGCTTT |
| | FpoaeA98 rev | GTCTGTCAAGCATGTTAGCACAAGT |
| <i>F. avenaceum</i> | Fave574 fwd | TATGTTGTCCTGTCTCACACCACC |
| | Fav627 rev | AGAGGGATGTTAGCATGATGAAG |
| <i>F. equiseti</i> | FequiB569 fwd | CACCGTCATTGGTATGTTGTCATC |
| | FequiB598 rev | TGTTAGCATGAGAAGGTCATGAGTG |
| <i>F. verticillioides</i> | Fver356 fwd | CGTTTCTGCCCTCTCCCA |
| | Fver412 rev | TGCTTGACACGTGACGATGA |
| <i>F. tricinctum</i> | Ftri573 fwd | TTGGTATGTTGTCCTGTCTCACACTAT |
| | Ftri630 rev | TGACAGATGTTAGCATGATGCA |
| Pflanze (Mais) | Hor1f | TCTCTGGGTTTGAGGGTGAC |
| | Hor2r | GGCCCTTGACCAGTCAAGGT |

Die qPCR wurde mit einem Gesamtvolumen von 20 µl je Reaktionsansatz durchgeführt, die Komponenten des entsprechenden qPCR-Reaktionsansatzes sind in Tabelle 14 aufgelistet. Jede Probe wurde als Tripletts angesetzt und auf eine 96er MultiPLY PCR-Platte pipettiert.

Tab. 14: Pipettierschema für einen Reaktionsansatz der qPCR

| Reaktionskomponente | µl je Ansatz | Hersteller |
|-----------------------------|--------------|------------|
| autoklaviertes VE Wasser | 6,0 | Fermentas |
| Primer forward (10 pmol/µl) | 1,0 | Eurofins |
| Primer reverse (10 pmol/µl) | 1,0 | Eurofins |
| SYBR-Green | 10,0 | Fermentas |
| Proben-DNA (20 ng/µl) | 2,0 | |
| Summe Ansatz | 20,0 | |

Die in Tabelle 13 aufgelisteten Primerpaare wurden nach folgendem qPCR-Protokoll amplifiziert:

| | |
|---|--|
| <i>F. graminearum</i>: | 95 °C für 10 min 40 Zyklen mit 95 °C für 15 sec und 68 °C für 30 sec |
| <i>F. poae</i>: | 50 °C für 2 min 95 °C für 10 min 40 Zyklen mit 95 °C für 15 sec und 69 °C für 30 sec |
| <i>F. culmorum</i> und Pflanze (Mais): | 50 °C für 2 min 95 °C für 10 min 40 Zyklen mit 95 °C für 15 sec und 67 °C für 45 sec |
| restliche Fusarien-Arten: | 50 °C für 2 min 95 °C für 10 min 40 Zyklen mit 95 °C für 15 sec und 64 °C für 45 sec |

Danach folgte eine Schmelzkurvenanalyse, bei welcher die Temperatur von 65 auf 95 °C innerhalb von 60 Zyklen (5 sec je Zyklus) erhöht wurde.

Anhand der qPCR wurde eine relative Quantifizierung durchgeführt und auf diese Weise das Verhältnis von pilzlicher DNA der einzelnen *Fusarium*-Arten zur pflanzlichen DNA bestimmt. Der Anteil der *Fusarium*-spezifischen DNA-Menge an der gesamten Pflanzen-DNA stellt dabei ein Maß für die Befallsstärke bzw. Befallsintensität der dazugehörigen *Fusarium*-Art dar.

Die Berechnung des relativen Quotienten wurde durch die nachstehende Formel bestimmt:

$$\text{relativer Quotient} = \frac{E_{(\text{Pflanze})}^{Z_{(\text{Pflanze})}}}{E_{(\text{Pilz})}^{Z_{(\text{Pilz})}}}$$

Dabei entspricht Z jener Zykluszahl, bei der das Fluoreszenzsignal erstmalig signifikant über die Hintergrundfluoreszenz ansteigt (Ct-Wert; cycle threshold). Mit dem Parameter E wird dagegen die Effizienz des verwendeten Primerpaars beschrieben, was wiederum mit der Anzahl der produzierten Kopien je Amplifikationszyklus gleichzusetzen ist. Zur Bestimmung der Primer-Effizienzen wurden aus der Mais-DNA sowie der genomischen DNA der Positivkontrollen der einzelnen *Fusarium*-Arten Verdünnungsreihen (0; 0,05; 0,5;

5; 50 ng) erstellt und die qPCR mit dem zuvor dargestellten Protokoll durchgeführt. Mit Hilfe des Softwareprogramms Optical System (Version 3.1) wurden anschließend die jeweiligen Effizienzen der verschiedenen Primerpaare berechnet. Im Anschluss konnte dann die Befallsstärke bzw. Befallsintensität durch Multiplikation des errechneten Quotienten mit dem Faktor 1000 als anteiliger, artspezifischer *Fusarium*-DNA-Gehalt an der Pflanzen-DNA in Form eines Promillewerts (‰) angegeben werden.

3.4. Mykotoxinanalyse

Neben der DNA-Befallsstärke der *Fusarium*-Arten wurde das Erntegut (Silomais und Körnermais) auch hinsichtlich der Mykotoxin-Kontamination analysiert. Die DON- und ZEA-Bestimmung, welche sich aus Extraktion und Quantifizierung mittels LC/MS zusammensetzt, wird im Folgenden dargestellt.

3.4.1 Mykotoxinextraktion

Für die Mykotoxinextraktion von A- und B-Trichothecene sowie ZEA wurden 10 g der auf 1,0 mm gemahlene Körnermais- bzw. Silomaisproben in einen 250 ml Erlenmeyerkolben eingewogen und zusammen mit 50 bzw. 70 ml Extraktionsmittel (VE-Wasser : Acetonitril (p.a.); 25 : 75 [v/v]) für 60 min bei Raumtemperatur (~ 20 °C) auf einem Schüttler extrahiert. Daraufhin folgte die Filtration mittels Faltenfilter (Ø 125 mm). Von dem gewonnenen Filtrat der Körnermaisproben wurden 20 ml abgenommen, mit 10 ml n-Hexan versetzt und gevortext. Nach deutlich sichtbar gewordener Phasentrennung wurden 15 ml der unteren Phase bzw. 20 ml des Silomaisextraktes in ein mit 1 g NaCl befülltes verschließbares 50 ml Zentrifugenröhrchen gefüllt und anschließend gevortext. Nach etwa 5 min stellte sich eine Phasentrennung ein, von welcher 8 ml der oberen Phase entnommen und in ein Glasröhrchen überführt wurden. Die Aufreinigung der Mykotoxine erfolgte unter Verwendung der MycoSep[®]226 AflaZon + Multifunctional column. Hierfür wurde das, sich im Reagenzglas befindliche, Extrakt binnen 30 s vollständig durch die Aufreinigungssäule gedrückt. Im nächsten Schritt folgten die Entfernung feiner Schwebstoffe mittels syringe-Filter (0,2 mm) und die anschließende Überführung von 4,5 ml des filtrierte Eluats in ein verschließbares 15 ml Schraubröhrchen. Das nun gereinigte Extrakt wurde mithilfe einer Vakuumzentrifuge bei 60 °C auf ≤ 0,2 ml eingedampft und im Anschluss in ein 1,5 ml Reaktionsgefäß quantitativ überführt. Hierfür wurde das im Schraubröhrchen enthaltene Extrakt in ein Reaktionsgefäß überführt und das Schraubröhrchen folgend in dreifacher Wiederholung mit 100 µl Acetonitril gespült, gevortext und zentrifugiert. Der Inhalt wurde ebenfalls dem 1,5 ml Reaktionsgefäß hinzugefügt und mittels Vakuumzentrifuge vollständig eingedampft. Anschließend wurde jede Probe durch Zugabe von 50 µl Acetonitril (HPLC – Gerade) aufgenommen, gevortext, zur Lösung der Pellets für 15 min ins Ultraschallbad

gegeben und anschließend zentrifugiert. Zuletzt erfolgte die Überführung in eine für die LC/MS-Messung geeignete Gewindeflasche (vial) mit Mikroeinsatz.

3.4.2 Parameter der Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (LC/MS)

Der qualitative und quantitative Nachweis der Mykotoxinbelastung der extrahierten Maisproben erfolgte mittels LC/MS. Die einzelnen Mykotoxine (T2-Toxin, HT2-Toxin, DON und ZEA) wurden unter Verwendung einer „reversed phase“ C-18-Säule (150 x 3,0 mm; Partikelgröße 5 µm; stationäre Phase), in welche 10 µl einer Probe injiziert wurden, aufgetrennt. Als Laufmittel (mobile Phase) wurde ein Gemisch aus den Komponenten VE-Wasser (LC/MS-Grade), 0,1 % Ameisensäure und 2 mM Ammoniumformiat (Eluent A) sowie Acetonitril (LC/MS-Grade; Eluent B) genutzt. Anhand eines 16-minütigen Laufmittelgradienten bei einer Flussrate von 0,2 ml min⁻¹ erfolgte die Auftrennung der Mykotoxine in den Proben.

Der diskontinuierliche Gradient startete dabei mit einer Konzentration von 97 % Eluent A und 3 % Eluent B. Der Anteil des Eluent B wurde innerhalb von 8 min auf einen Stand von 97 % erhöht und dort für 5 min gehalten, bevor das Eluent B binnen 2 min wieder auf 3 % reduziert und dieses Niveau bis zum Ende des Laufes gehalten wurde. Die Ionenerzeugung, welche durch eine Elektronenspray-Ionisation (ESI) gekoppelt mit Ionenfalle erfolgte, wurde im MS/MS Modus gemessen. Zum Verdampfen des Lösungsmittels wurde Stickstoff bei einer Temperatur von 350 °C als Trocknungsgas gewählt, während Helium als Dämpfungsgas diente (Flussrate 0,8 ml min⁻¹). In Tabelle 15 werden die Retentionszeiten der Mykotoxine DON, HT2, T2 und ZEA sowie alle wichtigen Parameter für die LC/MS-Messung wie Addukte sowie aus der Ionisierung entstandene Adduktmassen, Fragmentgrößen, Nadel- und Kapillarspannung, Füllung der Ionenfalle und Anstoßenergie für die Fragmentierung dargestellt.

Tab. 15: Mittels LC/MS messbare Mykotoxine sowie mykotoxinspezifische Parameter für die LC/MS-Messung. Fettgedruckte Fragmente wurden für die Quantifizierung genutzt. pos. = positiv; neg. = negativ; Neg.-Ion = Negativ-Ion

| Mykotoxin | Retention (min) | Ionisierung | Addukt | Adduktmasse / Ionenmasse (da) | Fragmente (da) | Nadelspannung (V) | Kapillarspannung (V) | RF-Füllung (%) | Fragmentierungs-spannung (V) |
|-----------|-----------------|-------------|-------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------|------------------------------|
| DON | 7,9 | neg. | HCOO ⁻ | 341 | 265, 295 | - 4500 | 45 | 90 | 0,70 |
| HT2 | 9,6 | pos. | Na ⁺ | 447 | 345, 285 | + 5000 | 85 | 85 | 0,55 |
| T2 | 10,6 | pos. | Na ⁺ | 489 | 387, 327 | + 5000 | 90 | 95 | 0,75 |
| ZEA | 11,6 | neg. | Neg.- Ion | 317 | 273, 299 | - 5000 | 95 | 110 | 0,70 |

Die Mykotoxine konnten durch die spezifischen Retentionszeiten sowie Fragmentmassen identifiziert werden. Anhand von Peakflächen und der spezifischen Fragmentmasse (Tab. 15, fettgedruckt) erfolgte die Quantifizierung der Mykotoxinmengen in den Maisproben, wobei die Peaks durch externe Standards bekannter Konzentrationen bestimmt wurden. Die zum Mykotoxin zugehörige Standardreihe umfasste fünf Verdünnungen, die so gewählt wurden, dass sich alle zu messenden Proben innerhalb des Bereichs zwischen niedrigsten und höchsten Standards befanden. Die Berechnung der absoluten Mykotoxingehalte erfolgte unter Berücksichtigung aller während der Aufarbeitung vorkommenden Verdünnungsfaktoren sowie der mykotoxinspezifischen molaren Masse in einer definierten Probenmenge ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM). Die Quantifizierungsgrenzen der einzelnen Mykotoxine waren wie folgt: DON 5 pmol, HT2- sowie T2-Toxin 3 pmol und ZEA 1 pmol.

3.5 Statistische Auswertung und graphische Datenaufbereitung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel 2010 und der Statistik-Software R. Die Berechnung von Regressionen, Bestimmtheitsmaßen und dem beschreibenden Parameter Mittelwerte erfolgte anhand des Softwareprogramms Microsoft Excel 2010. Die Ergebnisse stellen dabei grundsätzlich Mittelwerte (MW) aus vier Wiederholungen ($n = 4$) dar. Ferner diente dieses Programm zur graphischen Aufbereitung der Daten.

Die Statistik-Software R wurde verwendet, um die Daten auszuwerten (R CORE TEAM, 2014). Die Datenauswertung beginnt mit der Definition und Aufstellung eines geeigneten statistischen Modells auf Basis der Methode der kleinsten Quadrate (CARROLL und RUPPERT, 1988). Es wurde angenommen, dass die Daten annähernd normalverteilt sowie varianzheterogen in Bezug auf die verschiedenen Standorte und Versuchsvarianten sind. Diese Annahmen basieren auf einer grafischen Residuenanalyse. Das statistische Modell enthielt die Versuchsvarianten und die Pseudo-Faktoren (Sorte, Standort und Nutzungsrichtung) sowie deren Interaktion als feste Faktoren. Basierend auf diesem Modell wurde eine Analyse der Varianzen (ANOVA) durchgeführt. Im Anschluss wurden Multiple-Kontrasttests nach BRETZ et al. (2011) durchgeführt. Hierzu wurden die Mittelwerte der Versuchsvarianten verglichen und auf Signifikanz geprüft.

Für die standortübergreifende Betrachtung erfolgte die Datenauswertung mit einem geeigneten statistischen gemischten Modell (LAIRD und WARE, 1982; VERBEKE und MOLENBERGHS, 2000). Auch hier wurde angenommen, dass die Daten, basierend auf einer grafischen Residuenanalyse, annähernd normalverteilt sowie varianzheterogen in Bezug auf die verschiedenen Standorte und Versuchsvarianten sind. In diesem statistischen Modell wurden die Versuchsvarianten als fester Faktor und die Einflussgrößen Sorten, Standorte und Nutzungsrichtungen als Zufallsgrößen (random factor) angesehen. Basierend auf diesem Modell wurde ebenfalls eine Analyse der Varianzen (ANOVA) durchgeführt, gefolgt von Multiple-Kontrasttests (BRETZ et al., 2011), um die verschiedenen Varianten zu vergleichen und auf Signifikanz zu prüfen.

Signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen, Brockum, Liesborn und Reding in den Versuchsjahren 2012 – 2014 dargestellt. Zunächst wird auf die Witterung der verschiedenen Standorte über die Vegetationsperiode eingegangen. Im darauffolgenden Abschnitt wird die Bestandesetablierung anhand der Parameter Bestandesdichte und Pflanzenlänge dokumentiert sowie der Einfluss der Saatgutbehandlungen auf das Auflaufverhalten bzw. Pflanzenwachstum beschrieben. Zudem folgen der Befall mit pilzlichen Blattpathogenen sowie die Entwicklung der Nekrotisierung im Entwicklungsstadium EC 75 der Maispflanze. Im Anschluss werden die Ergebnisse des stadienorientierten Auftretens von *Fusarium*-Arten über die Maisvegetation in unterschiedlichen Pflanzenfraktionen dargelegt und die im Erntegut analysierten *Fusarium*-Arten sowie deren Mykotoxinbildung beschrieben und auf die Trockenmasseerträge eingegangen. Ferner werden die Effekte fungizider Behandlungsmaßnahmen auf das Befallsgeschehen aufgezeigt.

4.1 Darstellung des Witterungsverlaufs

Das Witterungsgeschehen an den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014 wird im nachfolgenden Abschnitt getrennt voneinander dargestellt. Die monatlich ermittelten Witterungsparameter Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) von Mai bis September werden dabei den langjährigen Mittelwerten der jeweiligen Standorte tabellarisch gegenübergestellt. Je nach Versuchsstandort wurden hierfür die Referenzwerte der Wetterstationen Rendsburg (S.-H.), Diepholz (NS), Osnabrück (NRW) und Simbach (BY) vom Deutschen Wetterdienst (DWD) verwendet.

Zusätzlich werden die Witterungsverläufe der einzelnen Versuchsstandorte durch die Parameter Niederschlag (mm) und Temperatur (°C) von Anfang Mai bis Anfang Oktober, welches dem Zeitraum der Mais-Vegetationsperiode entspricht, beschrieben. Die Niederschlagsmengen entsprechen dabei der täglichen Niederschlagssumme und die Temperaturen den täglichen Temperaturmittelwerten. Explizit hervorgehoben wird dabei der Zeitraum der Maisblüte, da diese primär den Befall der *Fusarium*-Kolbenfäule beeinflusst. Hohe Niederschlagsmengen im Zeitraum der Blüte sowie zusätzlich warme Temperaturen sind optimale Bedingungen für die erfolgreiche Infektion und anschließende Pathogenese der *Fusarium*-Pilze (MUNKVOLD, 2003; RODEMANN und BARTELS, 2004; GOERTZ, 2010).

4.1.1 Witterungsverhältnisse am Standort Hohenschulen (S.-H.) in den Versuchsjahren 2012 – 2014

Am Standort Hohenschulen wurde im Jahr 2012 eine Niederschlagssumme von 315 mm von Mai bis September verzeichnet, welche kaum vom langjährigen Mittel von 375 mm für diesen Zeitraum abwich, wobei in dem Monat Juli deutlich höhere und im Monat August geringere Niederschlagssummen gemessen wurden. Die Temperaturen entsprachen mit Ausnahme der höheren Temperaturen im Mai (13,3 °C) weitestgehend den Referenztemperaturen, wie aus Tabelle 16 deutlich wird.

Die Monate Juli und August zeigten im Versuchsjahr 2013 im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich höhere Durchschnittstemperaturen von 19,8 bzw. 18,2 °C und wesentlich geringere Niederschlagsmengen auf. Die restlichen Monate entsprachen weitestgehend der Referenz (Tab. 16).

Im Jahr 2014 entsprach der Zeitraum von Mai bis September weitestgehend dem langjährigen Mittel, wie aus Tabelle 16 deutlich wird. Die Niederschlagssumme lag in dem betrachteten Zeitraum bei 270 mm und somit unter dem langjährigen Mittel (375 mm). In den Monaten Juli und September konnten im Vergleich zur Referenz höhere Durchschnittstemperaturen und parallel dazu deutlich geringere Niederschlagsmengen gemessen werden.

Tab. 16: Witterungsparameter des Versuchsstandortes Hohenschulen der Jahre 2012 – 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Rendsburg). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015 b)

| | Mai | Juni | Juli | August | September |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------------|
| Ø Temp. (°C) | | | | | |
| 2012 | 13,3 | 14,7 | 17,3 | 17,6 | 13,5 |
| 2013 | 12,7 | 15,9 | 19,8 | 18,2 | 13,6 |
| 2014 | 12,5 | 15,8 | 20,4 | 16,5 | 15,8 |
| LMW | 11,9 | 14,9 | 17,3 | 16,9 | 13,5 |
| ∑ NS (mm) | | | | | |
| 2012 | 39 | 83 | 101 | 41 | 51 |
| 2013 | 145 | 99 | 39 | 40 | 60 |
| 2014 | 55 | 68 | 30 | 80 | 37 |
| LMW | 57 | 76 | 84 | 82 | 76 |

Temp. = Temperatur; NS = Niederschlag; LMW = Langjähriger Mittelwert

In Abbildung 15 findet das Witterungsgeschehen zur Maisvegetation im Versuchsjahr 2012 am Standort Hohenschulen Darstellung. Im Mai und August überstiegen die Temperaturen das langjährige Mittel um 1,4 bzw. 0,7 °C. Die Abweichungen der monatlichen Niederschlagssummen waren stärker ausgeprägt und lagen sowohl über als auch unter dem langjährigen Mittel. Die Monate Mai, August und September lagen unterhalb des langjährigen Mittels, wobei im August weniger als die Hälfte des Niederschlags verglichen mit dem langjährigen Mittel gemessen wurde. Dabei waren die Niederschlagsereignisse im Aufzeichnungszeitraum von Mai bis September, mit Ausnahme eines niederschlagsfreien Abschnitts von Anfang bis Mitte August, relativ gleichmäßig verteilt.

Die Maisblüte in diesem Versuchsjahr erfolgte von Anfang bis Mitte August innerhalb von 16 Tagen und lag in einem niederschlagarmen Abschnitt, sodass die Niederschlagsmengen mit 12,0 mm sehr gering ausfielen. Die mittlere Temperatur im Blühzeitraum betrug 18,0 °C und lag damit unterhalb der im Durchschnitt gemessenen Temperatur zur Maisblüte der Versuchsjahre 2013 (20,0 °C) und 2014 (20,2 °C) am Standort Hohenschulen.

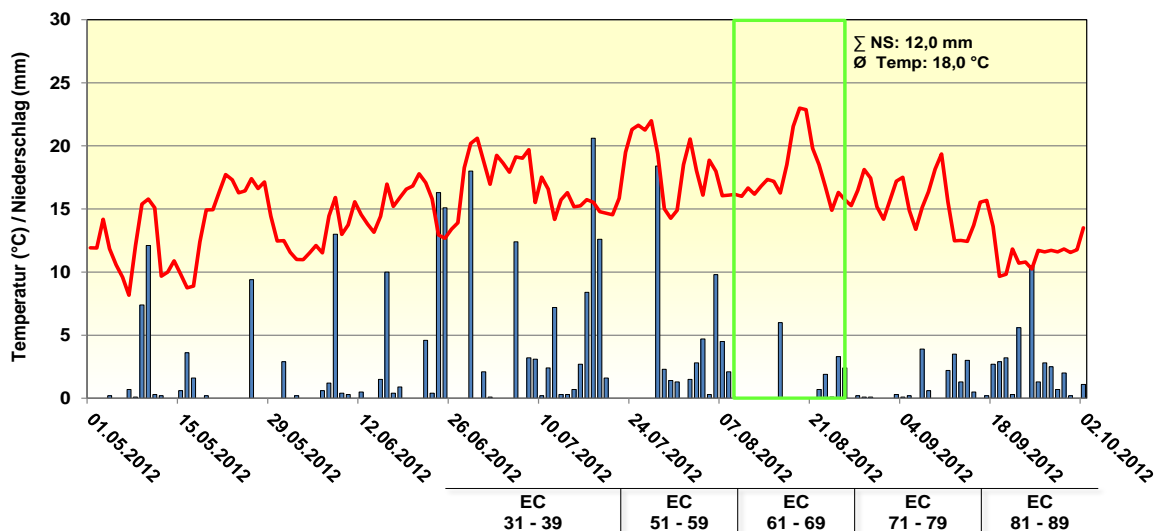


Abb. 15: Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2012 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

Zu Beginn der Witterungsaufzeichnung im Versuchsjahr 2013 kam es zu geringen Niederschlägen, wie aus Abbildung 16 hervorgeht. Der gesamte Juli verlief niederschlagsfrei und auch im Juni, August und September konnten längere niederschlagsfreie Abschnitte dokumentiert werden. Allerdings konnten pro

4. Ergebnisse

Niederschlagsereignis relativ hohe Niederschlagsmengen gemessen werden. Die Temperaturen im Mai zeigten größere Schwankungen, so konnten Temperaturen sowohl von fast 20,0 °C als auch von unter 10,0 °C gemessen werden. Von Mitte Juli bis Mitte August stiegen die Temperaturen über 20,0 °C und lagen damit über den durchschnittlichen Temperaturen.

Für den Zeitraum der Blüte vom 28. Juli bis 11. August konnten durchschnittliche Temperaturen von 20,0 °C mit einem stark fallenden Temperaturverlauf von Mitte (22,2 °C) bis zum Ende (15,8 °C) der Maisblüte und eine Niederschlagsmenge von 35,8 mm ermittelt werden.

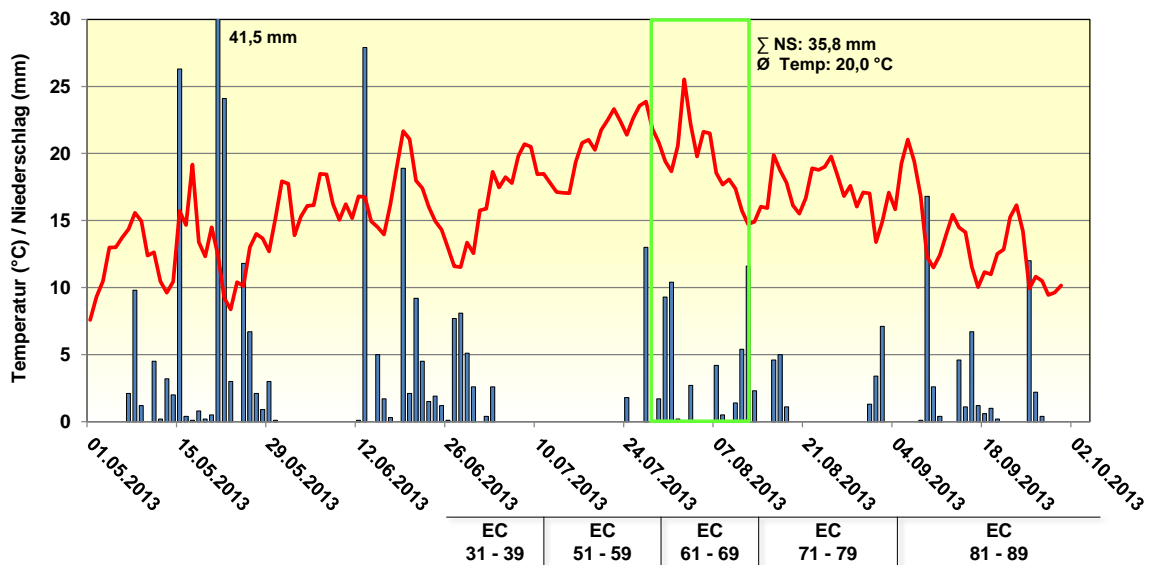


Abb. 16: Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2013 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

In Abbildung 17 wird ersichtlich, dass die Niederschlagsmengen am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014 ab der ersten Maiwoche bis Ende Juni sehr niedrig ausfielen und sich auf drei relevante Niederschlagsereignisse begrenzten. Die Temperatur lag in diesem Zeitraum, bis auf Ende Mai, unter 15,0 °C.

Die Maisblüte in diesem Versuchsjahr erfolgte von Ende Juli bis Mitte August innerhalb von 18 Tagen. Auch in diesem Zeitraum fielen die Niederschlagsmengen mit 21,3 mm gering aus. Die mittlere Temperatur im Blühzeitraum betrug 20,2 °C mit einem leicht fallenden Temperaturverlauf vom Anfang (22,5 °C) bis zum Ende (16,1 °C) der Maisblüte.

4. Ergebnisse

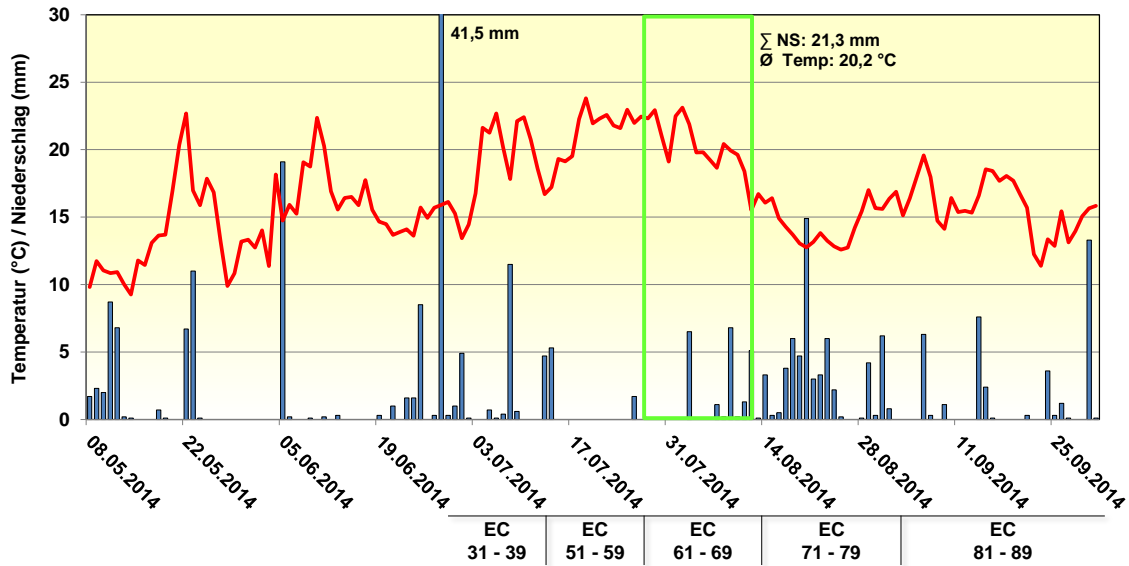


Abb. 17: Witterungsverlauf vom 08. Mai bis 02. Oktober 2014 am Standort Hohenschulen (S.-H.). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

4.1.2 Witterungsverhältnisse am Standort Reding (BY) in den Versuchsjahren 2012 und 2014

Am bayrischen Versuchsstandort Reding konnten im Jahr 2012 einige Abweichungen zum langjährigen Mittel dokumentiert werden. So wurden in den Monaten Mai, Juli, August sowie September niedrigere und im Juni wiederum höhere Niederschlagsmengen verzeichnet. Die Niederschlagssumme von 453 mm von Mai bis September wich jedoch nur kaum vom langjährigen Mittel (501 mm) für diesen Zeitraum ab. Die Temperaturen entsprachen mit Ausnahme der höheren Temperaturen im Juni (18,0 °C) weitestgehend den Referenztemperaturen (Tab. 17).

Auch im Versuchsjahr 2014 gab es Abweichungen zum langjährigen Mittel, wie aus Tabelle 17 hervorgeht. Die Niederschlagssumme lag in dem betrachteten Zeitraum bei 385 mm und somit deutlich unter dem langjährigen Mittel (501 mm). In den Monaten Juni und Juli konnten im Vergleich zur Referenz höhere Durchschnittstemperaturen und parallel dazu deutlich geringere Niederschlagsmengen gemessen werden. Auch der September zeigte, im Vergleich zum langjährigen Mittel, erheblich geringere Niederschlagsmengen mit nur 17,0 mm. Mit Ausnahme des deutlich kühleren August (16,8 °C) entsprachen die Temperaturen von Mai bis September weitestgehend den Durchschnittstemperaturen.

4. Ergebnisse

Tab. 17: Witterungsparameter des Versuchsstandortes Reding der Jahre 2012 und 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Simbach). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015 b)

| | Mai | Juni | Juli | August | September |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ø Temp. (°C) | | | | | |
| 2012 | 15,1 | 18,0 | 19,0 | 18,9 | 14,2 |
| 2014 | 13,4 | 17,7 | 19,6 | 16,8 | 14,7 |
| LMW | 14,1 | 16,7 | 18,7 | 18,1 | 13,9 |
| Σ NS (mm) | | | | | |
| 2012 | 80 | 139 | 79 | 89 | 66 |
| 2014 | 171 | 25 | 62 | 110 | 17 |
| LMW | 95 | 113 | 112 | 109 | 72 |

Temp. = Temperatur; NS = Niederschlag; LMW = Langjähriger Mittelwert

In Abbildung 18 findet das Witterungsgeschehen zur Maisvegetation im Versuchsjahr 2012 am Standort Reding Darstellung. Die Niederschlagsereignisse im Aufzeichnungszeitraum von Mai bis September waren, mit Ausnahme eines niederschlagsfreien Abschnitts von Anfang bis Mitte August, relativ gleichmäßig verteilt. Die Temperaturen der Monate Mai bis September lagen in einem Bereich von 0,3 bis 1,3 °C oberhalb des langjährigen Mittels. Dabei zeigten die Temperaturen im Mai Schwankungen von 20,3 °C zum Anfang und 15,4 °C zum Ende des Monats.

Die Maisblüte am Versuchsstandort Reding im Jahr 2012 erfolgte von Mitte bis Ende Juli. Die Durchschnittstemperatur während der Maisblüte betrug 18,2 °C. Die Temperaturen verliefen dabei schwankend und lagen zu Beginn der Blüte bei 15,3 °C und verliefen steigend bis auf 20,1 °C. Zur Mitte der Blüte fielen die Temperaturen wieder auf 14,5 °C ab und stiegen zum Blütenende auf Werte zwischen 20 und 23 °C. In diesem Zeitraum kam es zu zehn Niederschlagsereignissen, welche zu einer Niederschlagssumme von 34,1 mm führten.

4. Ergebnisse

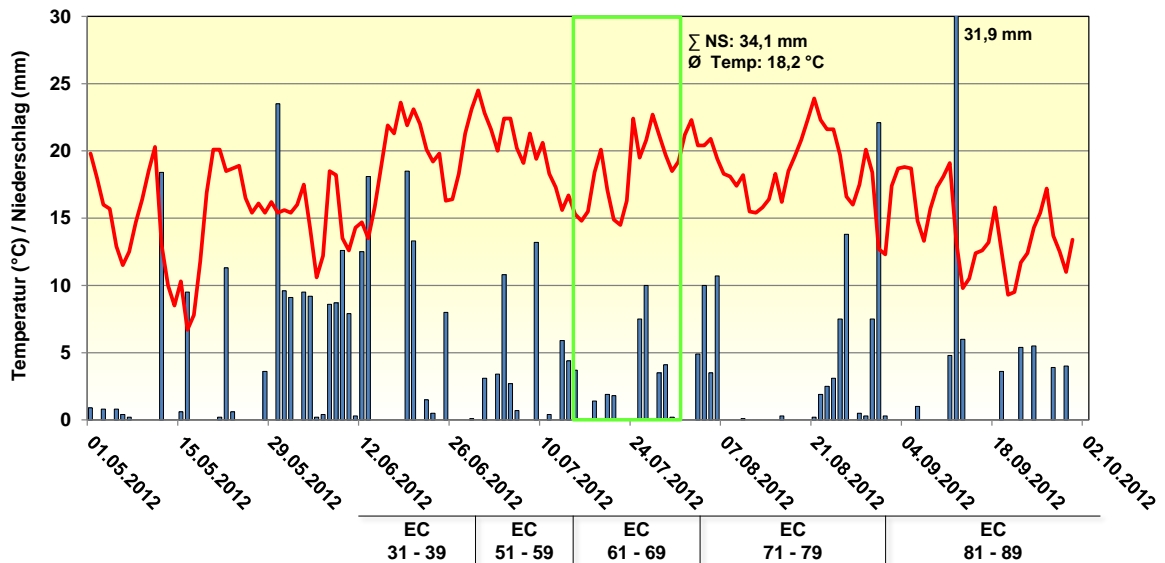


Abb. 18: Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2012 am Standort Reding (BY). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte ($^\circ\text{C}$) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

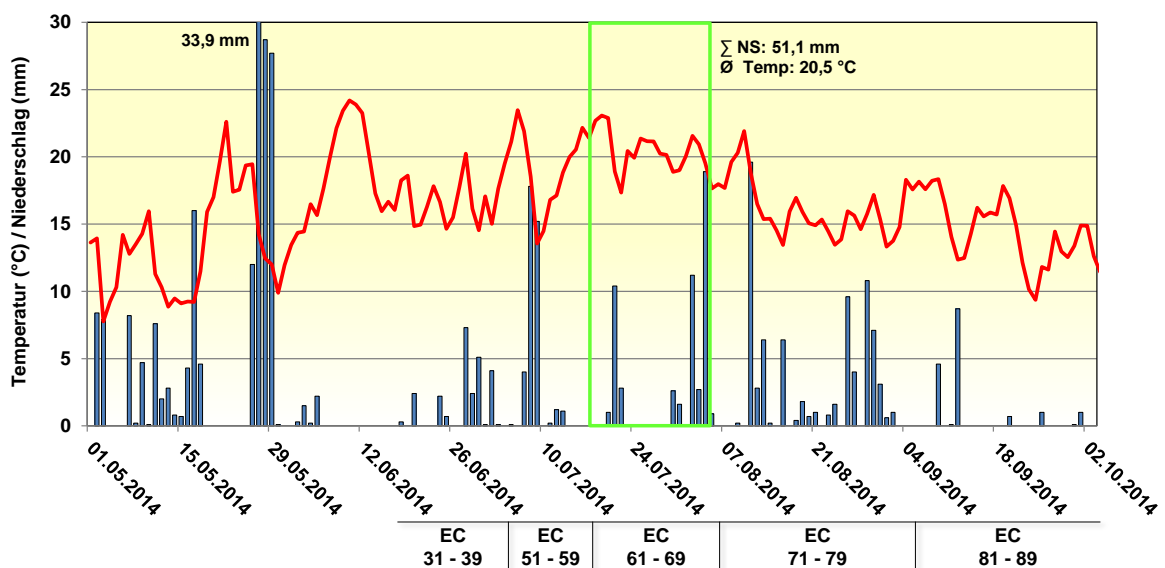


Abb. 19: Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2014 am Standort Reding (BY). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte ($^\circ\text{C}$) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

In Abbildung 19 wird ersichtlich, dass die Niederschlagsmengen am Versuchsstandort Reding im Jahr 2014 sehr wechselhaft waren. Der Mai war ein sehr nasser Monat, in dem die Niederschlagssumme das langjährige Mittel um 75,7 mm überstieg. Die folgenden Monate Juni und Juli waren im Gegensatz dazu sehr trocken und lagen um 88,4 bzw.

49,7 mm unter dem langjährigen Mittel. Im August entsprach die Niederschlagssumme der Referenz.

Die Maisblüte in dem Versuchsjahr 2014 erfolgte von Ende bis Mitte August innerhalb von 21 Tagen. Die mittlere Temperatur im Blühzeitraum betrug 20,6 °C und lag damit über der gemessenen Durchschnittstemperatur zur Maisblüte im Versuchsjahre 2012 (18,2 °C). Die Niederschlagsmenge fiel mit 61,1 mm, verglichen mit den anderen Versuchsjahren bzw. -standorten, am höchsten aus

4.1.3 Witterungsverhältnisse am Standort Liesborn (NRW) im Versuchsjahr 2013

Am Standort Liesborn wurde im Jahr 2013 eine Niederschlagssumme von 262 mm von Mai bis September gemessen, welche stark vom langjährigen Mittel von 350 mm für diesen Zeitraum abwich. So wurden in den Monaten Juli und August deutlich niedrigere und im September höhere Niederschlagssummen erfasst. Die Durchschnittstemperaturen im Juni lagen 1,5 °C unter und im Juli 1,4 °C sowie im August 0,8 °C über dem Mittel. Die Temperaturen der Monate Juni und September entsprachen den Referenztemperaturen (Tab. 18).

Tab. 18: Witterungsparameter des Versuchsstandortes Liesborn im Jahr 2013 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Osnabrück). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015 b)

| | Mai | Juni | Juli | August | September |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------------|
| Ø Temp. (°C) | | | | | |
| 2013 | 12,1 | 16,1 | 19,8 | 18,6 | 14,2 |
| LMW | 13,6 | 16,1 | 18,4 | 17,8 | 14,2 |
| ∑ NS (mm) | | | | | |
| 2013 | 45 | 47 | 35 | 33 | 102 |
| LMW | 59 | 66 | 76 | 79 | 70 |

Temp. = Temperatur; NS = Niederschlag; LMW = Langjähriger Mittelwert

Die Niederschlagsmengen am Versuchsstandort Liesborn im Jahr 2013 fielen von Beginn der Witterungsaufzeichnung bis Ende August sehr niedrig aus und begrenzten sich auf wenige relevante Niederschlagsereignisse, wie aus Abbildung 20 ersichtlich wird. Die Temperaturen im Juni zeigten größere Schwankungen, so konnten Temperaturen von sowohl 10,8 °C am Anfang als auch 25,7 °C Mitte des Monats gemessen werden. Weiter

stiegen die Temperaturen von Mitte Juli bis Mitte August deutlich und lagen damit über den durchschnittlichen Temperaturen.

Die Maisblüte in diesem Versuchsstandort erfolgte von Ende Juli bis Mitte August innerhalb von 15 Tagen. In diesem Zeitraum fielen die Niederschlagsmengen mit 14,2 mm sehr gering aus. Die mittlere Temperatur im Blühzeitraum betrug 20,6 °C und zeigte im Vergleich zum Versuchsstandort Hohenschulen ebenfalls einen fallenden Temperaturverlauf vom Anfang (24,4 °C) bis zum Ende (16,1 °C) der Maisblüte.

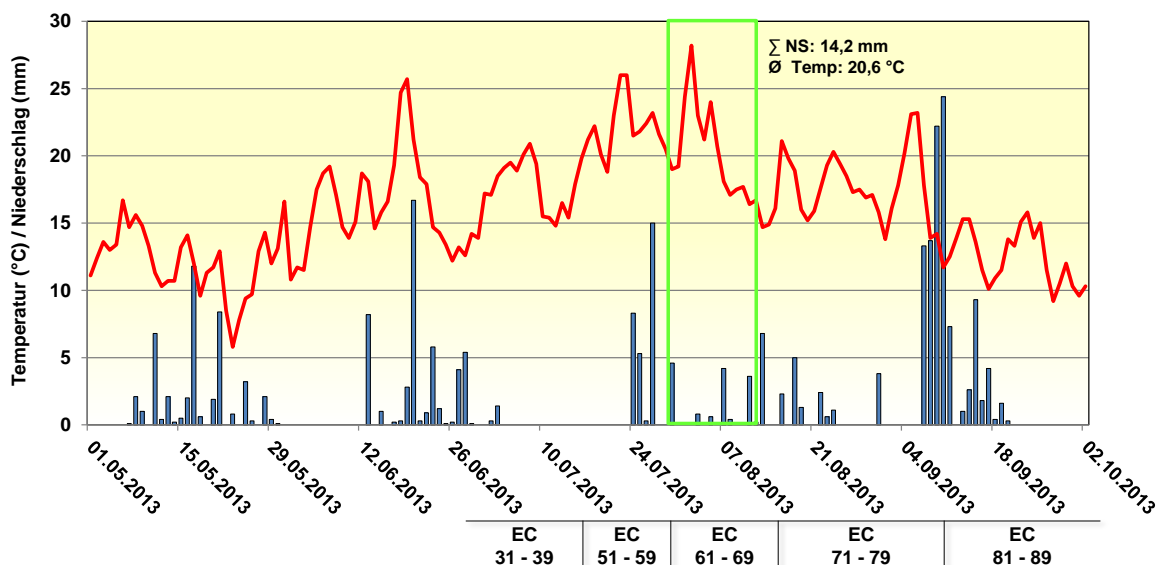


Abb. 20: Witterungsverlauf vom 01. Mai bis 02. Oktober 2013 am Standort Liesborn (NRW). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

4.1.4 Witterungsverhältnisse am Standort Brockum (NS) im Versuchsjahr 2014

Am Versuchsstandort Brockum konnten ebenfalls gewisse Abweichungen zum langjährigen Mittel dokumentiert werden. Die Durchschnittstemperaturen im August lagen 1,5 °C unter und im Juli 1,9 °C sowie im September 1,7 °C über dem Mittel. Außerdem konnten in den ersten drei Monaten (Mai – Juli) deutlich höhere und im August wiederum niedrigere Niederschlagsmengen verzeichnet werden (Tab. 19).

4. Ergebnisse

Tab. 19: Witterungsparameter des Versuchsstandortes Brockum im Jahr 2014 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 – 2010; Standort Diepholz). Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe aufgeführt (Quelle: ANONYM, 2015 b)

| | Mai | Juni | Juli | August | September |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ø Temp. (°C) | | | | | |
| 2014 | 13,2 | 15,8 | 19,9 | 16,1 | 15,7 |
| LMW | 13,3 | 15,9 | 18,0 | 17,6 | 14,0 |
| ∑ NS (mm) | | | | | |
| 2014 | 108 | 81 | 99 | 55 | 61 |
| LMW | 53 | 66 | 66 | 70 | 59 |

Temp. = Temperatur; NS = Niederschlag; LMW = Langjähriger Mittelwert

Identisch zum Vergleichsstandort Hohenschulen im Jahr 2014 erstreckte sich die Maisblüte ebenfalls über einen Zeitraum von 18 Tagen von Ende Juli bis in die ersten zwei Augustwochen. Die Niederschlagsmengen zur Blüte sind auch hier mit 26,9 mm als gering einzustufen. Zu Beginn der Blüte konnten Temperaturen zwischen 21,0 und 22,0 °C ermittelt werden, welche bis zum Ende des Blühzeitraumes auf 16,1 °C sanken. Die im Durchschnitt gemessene Temperatur war, im Vergleich zu den Standorten Hohenschulen (20,2 °C) und Reding (20,6 °C), mit 19,4 °C etwas geringer (Abb. 21).

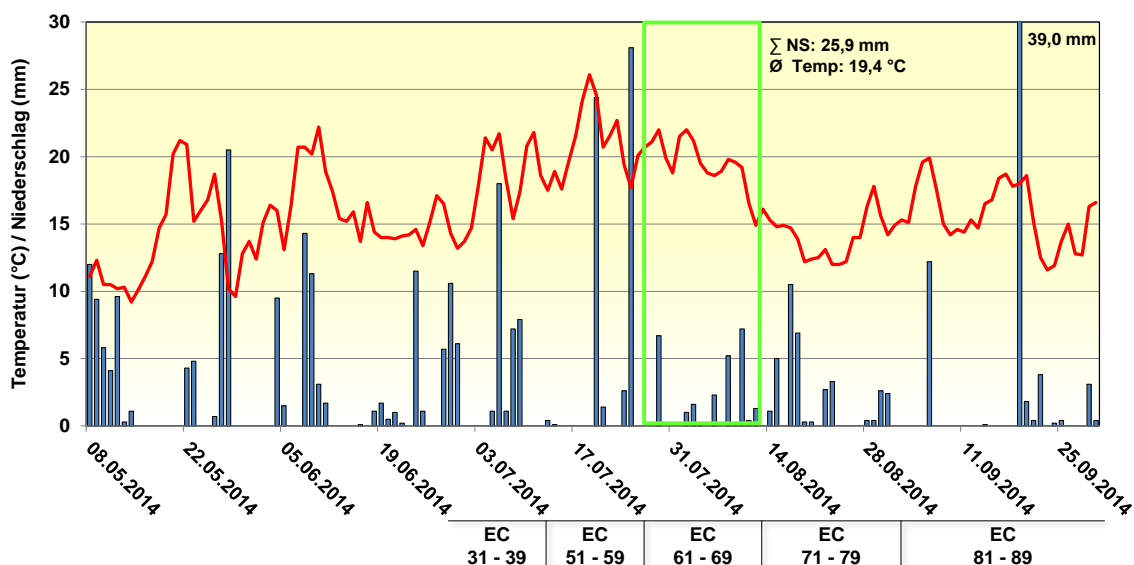


Abb. 21: Witterungsverlauf vom 08. Mai bis 01. Oktober 2014 am Standort Brockum (NS). Temperaturen sind als Tagesmittelwerte (°C) und Niederschläge als Tagessummen (mm) dargestellt. Grüner Kasten kennzeichnet den Zeitraum der Maisblüte

4.2 Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte Lorado) und Reding (BY; Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2012

In dem Versuchsjahr 2012 wurden die Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen und Reding mit jeweils fünf Varianten angelegt. Neben einer unbehandelten Kontrolle umfasste das Versuchsdesign zwei gebeizte Varianten (Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro), eine Kombination aus einer ungebeizten Kontrolle plus einer Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel zu EC 55 sowie die Kombination aus Fungizidbeize plus einer Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel zu EC 55.

4.2.1 Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte Lorado)

Am Standort Hohenschulen wurde die Versuchssorte Lorado verwendet. Es wurden die Parameter Auflaufverhalten der Maispflanzen, das Auftreten von Blattpathogenen, der *Fusarium*-Befall und die Mykotoxin-Belastung im Erntegut sowie die TM-Erträge erfasst.

4.2.1.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten

Zu Beginn der Mais-Vegetation wurde am Standort Hohenschulen 28 Tage nach der Aussaat das Auflaufverhalten der Maispflanzen untersucht. Die Effekte fungizider Saatgutbehandlungen (Maxim[®]XL, Maxim[®]Quattro) auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m⁻² im Vergleich zur ungebeizten Kontrolle werden in Tabelle 20 dargestellt.

Tab. 20: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Maxim[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Versuchsjahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 28 TnA | 4,5 | a |
| Maxim XL | 28 TnA | 8,8 | b |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 9,9 | b |

Die Ergebnisse der Auflaufbonitur am Standort Hohenschulen ergaben 28 Tage nach der Aussaat einen signifikanten Vorteil für die gebeizten Varianten im Vergleich zur ungebeizten Kontrolle. Die Maxim[®]XL Varianten erzielten dabei mit 8,8 Pflanzen m⁻² eine 49 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle mit nur 4,5 Pflanzen m⁻². Im Vergleich dazu erbrachten die Maxim[®]Quattro Varianten mit 9,9 Pflanzen m⁻² eine um 11 % höhere Dichte gegenüber den Maxim[®]XL Varianten und eine 55 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur Kontrolle. Zwischen den gebeizten

Varianten Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

4.2.1.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

Zur Bestimmung des Nekrotisierungsgrades und des Einflusses pilzlicher Schadpathogene wurden die verschiedenen Varianten zu EC 75 auf die abiotische Nekrotisierung der Maispflanzen sowie die durch die Blattpathogene *K. zeae*, *P. zea-maydis* und *E. turcicum* induzierte erregerspezifische Nekrotisierung in Form einer Drittelbonitur untersucht. Zusätzlich wurde die Befallsstärke im Bestand (BSB in %) der Blattpathogene ermittelt, wobei im Versuchsjahr 2012 noch keine Unterscheidung zwischen *K. zeae* und *P. zea-maydis* erfolgte.

Die Ergebnisse der Drittelbonitur am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado finden in Abbildung 22 Darstellung. Die unbehandelte Kontrolle zeigte im Mittel der drei Boniturbereiche mit 18 % die höchste Nekrotisierung, gefolgt von der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Variante mit 11 %. Zwischen den Varianten mit einer Quilt[®]Xcel Applikation in EC 55 konnte kein Unterschied festgestellt werden, sie zeigten im Mittel einen Nekrotisierungsgrad von 7 % der Gesamtpflanze.

Die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zea-maydis* konnten in allen Varianten und Blattetagen erfasst werden. Dabei zeigte die unbehandelte Kontrolle die höchste Befallsstärke mit 12 % BSB im oberen, 17 % BSB im mittleren und 9 % BSB im unteren Boniturbereich auf. Im Vergleich zur Kontrollvariante konnte der Befall mit *K. zeae* und *P. zea-maydis* in der Maxim[®]Quattro Variante im Mittel der Boniturbereiche um 46 % reduziert werden. Der geringste Blattpathogenbefall konnte in den Varianten mit einer Quilt[®]Xcel Applikation zu EC 55 dokumentiert werden.

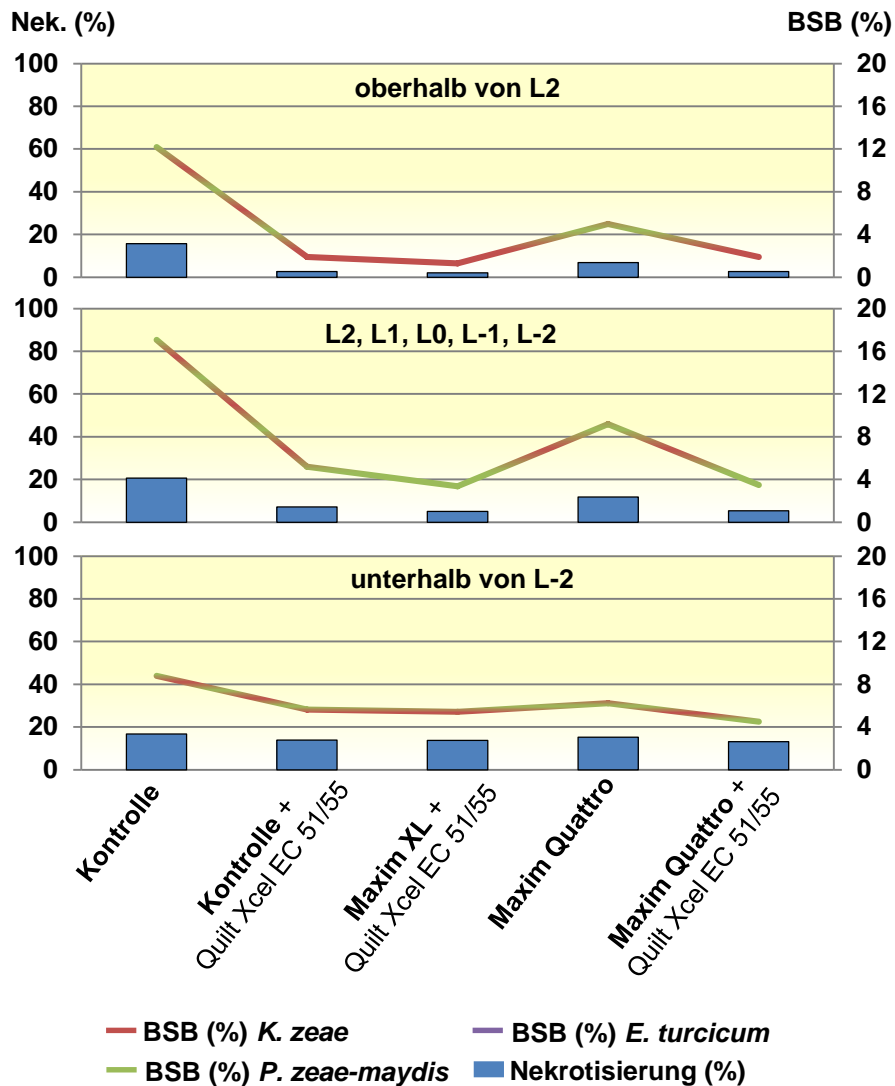


Abb. 22: Nektrosierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zea-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle

4.2.1.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

In diesem Kapitel werden die im Silomaiserntegut detektierten *Fusarium*-Arten sowie die Mykotoxinbelastungen an dem Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2012 vorgestellt. Dabei wird außerdem der Einfluss verschiedener Fungizidstrategien auf die *Fusarium*-Befallsstärke sowie der Mykotoxinbelastung des Häckselguts gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante aufgezeigt.

Die qualitative und quantitative Bestimmung der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. poae* mittels qPCR wird in Abbildung 23 dargestellt. Die unbehandelte Kontrolle sowie die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55

waren mit einer Gesamtbefallsintensität aller untersuchten *Fusarium*-Arten von 326 ‰ bzw. 398 ‰ die am stärksten befallenen Varianten. Mit einer mittleren DNA-Befallsstärke von 112 ‰ bzw. 106 ‰ stellen *F. graminearum* und *F. poae* die beiden dominierenden Arten am Standort Hohenschulen dar. Der Befall von *F. culmorum* war mit einem Wert in Höhe von 60 ‰ lediglich in der Variante Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 auffällig. Mit Ausnahme der zuvor genannten Fungizidstrategie konnten die Behandlungsvarianten den *Fusarium*-Befall um bis zu 36 % reduzieren.

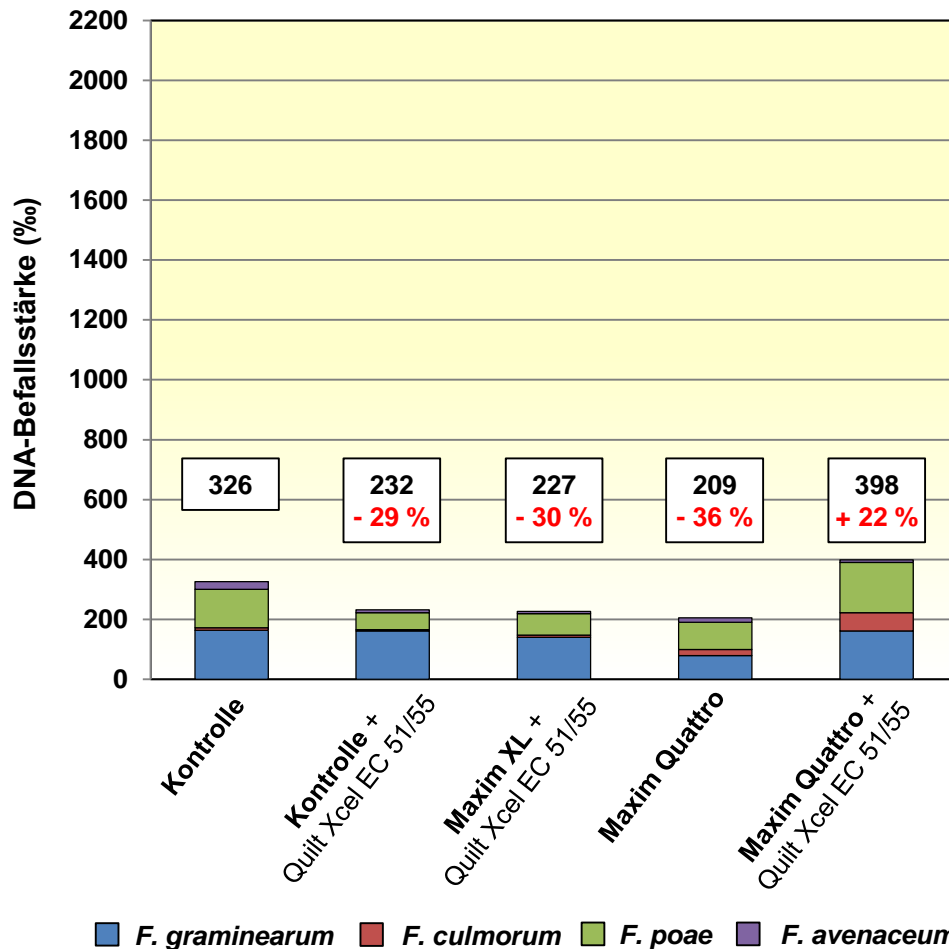


Abb. 23: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle

Die mittels LC/MS analysierten Silomaisproben des Versuchsstandortes Hohenschulen wiesen Kontaminationen mit den Mykotoxinen DON und ZEA auf. Die A-Trichothecene T2 und HT2 konnten wiederum nicht detektiert werden. In der folgenden Tabelle 21 werden die ermittelten DON- und ZEA-Gehalte aufgelistet.

Tab. 21: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte Lorado am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 164,86 | a | 9,30 | a |
| Kontrolle + Quilt Xcel in EC 55 | 0,00 | a | 51,58 | ab |
| Maxim XL + Quilt Xcel in EC 55 | 265,30 | a | 95,55 | b |
| Maxim Quattro | 0,00 | a | 147,97 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 233,10 | a | 79,48 | b |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Während das Mykotoxin ZEA in allen Versuchsvarianten mit einem mittleren Gehalt von $76,78 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ detektiert werden konnte, wurde eine DON Belastung nur in der unbehandelten Kontrolle sowie in den Behandlungsvarianten Maxim[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 und Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 quantifiziert. Dabei wurden die EU-Richtwerte für DON ($5000 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) und ZEA ($500 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) in keiner der Versuchsvarianten nur annähernd erreicht. Die höchsten Werte wurden in der Maxim[®]Quattro gebeizten und Quilt[®]Xcel in EC 55 behandelten Variante mit einem DON-Gehalt von $265,30 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ und in der Maxim[®]Quattro Variante mit einem ZEA-Gehalt von $147,97 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ gemessen.

4.2.1.4 Silomais TM-Erträge

Um Rückschlüsse auf die Ertragswirksamkeit der verschiedenen Fungizidstrategien im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante zu erhalten, wurden aus den Silomaisproben die TM-Erträge ermittelt. Dabei entspricht der TM-Ertrag der einzelnen Varianten dem Mittel der Wiederholungen A bis D. Die am Versuchsstandort Hohenschulen erfassten Ertragsergebnisse werden in Tabelle 22 aufgelistet.

Die TM-Erträge beliefen sich im Mittel aller Varianten auf $146,2 \text{ dt ha}^{-1}$. Mit $98,4 \text{ dt ha}^{-1}$ erzielte die unbehandelte Kontrollvariante, gefolgt von der ungebeizten Kontrolle mit einer Quilt[®]Xcel Fungizidapplikation in EC 55 ($99,5 \text{ dt ha}^{-1}$), die niedrigsten TM-Erträge. Außerdem wiesen die mit Maxim[®]XL sowie Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten signifikant höhere TM-Erträge gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante und der ungebeizten Kontrolle mit zusätzlicher Fungizidapplikation in EC 55 auf.

Tab. 22: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte Lorado im Versuchsjahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 98,4 | a | |
| Kontrolle + Quilt Xcel in EC 55 | 99,5 | a | + 1,1 |
| Maxim XL + Quilt Xcel in EC 55 | 192,3 | b | + 93,9 |
| Maxim Quattro | 155,3 | b | + 56,9 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 185,5 | b | + 87,1 |

* 100 % TM

4.2.2 Versuchsstandort: Reding (BY, Sorte NK Nekta)

Am bayrischen Versuchsstandort Reding wurde als Maissorte der NK Nekta verwendet. Auch hier wurden die Parameter Auflaufverhalten der Maispflanzen, das Auftreten von Blattpathogenen, der *Fusarium*-Befall und die Mykotoxin-Belastung im Erntegut sowie die TM-Erträge erfasst und werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

4.2.2.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten

Im Vergleich zum Standort Hohenschulen konnte am bayrischen Standort bei der Auflaufbonitur 28 Tage nach der Aussaat kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten gezeigt werden. Im Mittel der Varianten und Wiederholungen A – D erzielte die Kontrolle 9,9 Pflanzen m⁻², Maxim[®]XL 9,5 Pflanzen m⁻² und Maxim[®]Quattro 9,7 Pflanzen m⁻² (Tab. 23).

Tab. 23: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Maxim[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 28 TnA | 9,9 | a |
| Maxim XL | 28 TnA | 9,5 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 9,7 | a |

4.2.2.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

In der folgenden Abbildung 24 werden die Ergebnisse der am bayrischem Versuchsstandort Reding in EC 75 durchgeführte Drittelbonitur der Maispflanzen zur Bestimmung der Nekrotisierung und des Einflusses pilzlicher Schadpathogene dargestellt.

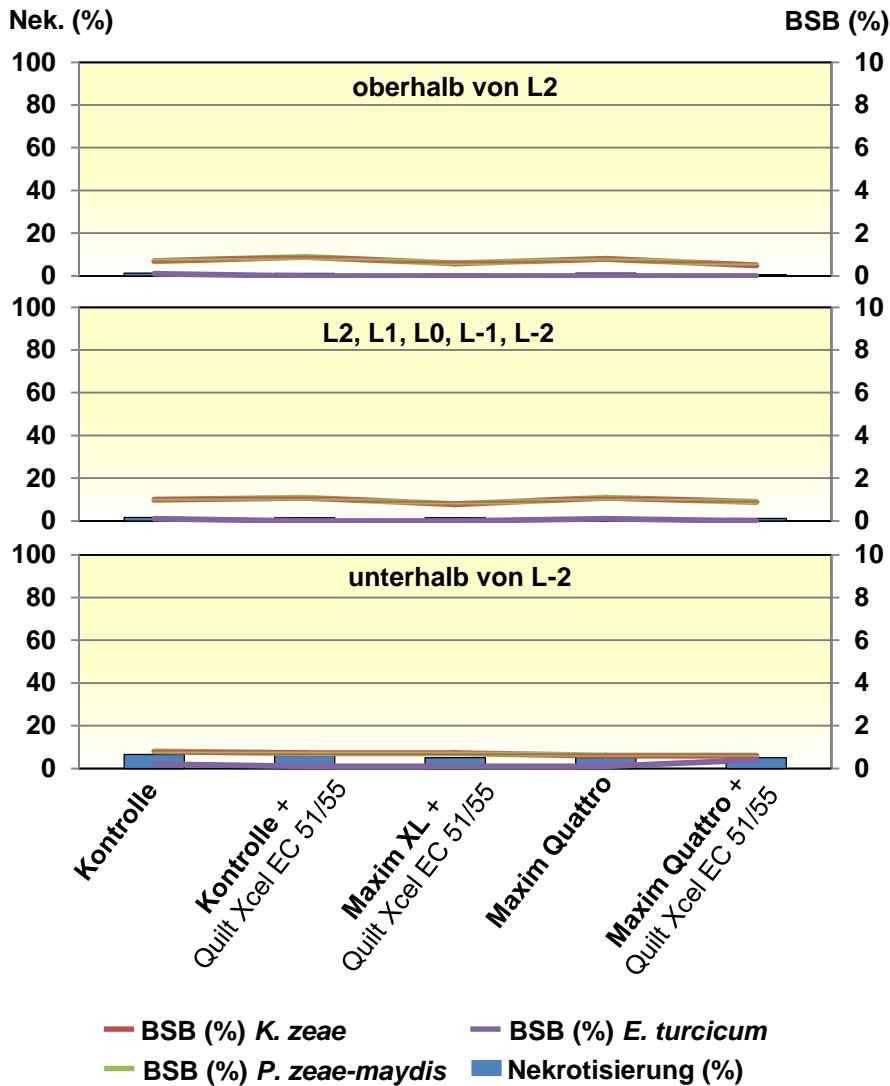


Abb. 24: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle

In allen Varianten und Blattetagen konnte eine sehr geringe Nekrotisierung erfasst werden, welche in der Kontrollvariante im Mittel der drei Boniturbereiche mit einem Nekrotisierungsgrad von 3 % am stärksten ausgeprägt war. Die Blattpathogene *K. zeae*

und *P. zae-maydis* sowie *E. turcicum* waren zwar in allen Varianten und Blattetagen präsent, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau, so dass im Mittel der Varianten eine Befallsstärke von 1 % BSB der jeweiligen Blattpathogene nicht überschritten wurde, wie aus Abbildung 24 hervorgeht.

4.2.2.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

In Abbildung 25 findet das *Fusarium*-Artenspektrum sowie die Häufigkeit des Artenvorkommens der Körnermaisproben der fünf Versuchsvarianten am Standort Reding in 2012 Darstellung.

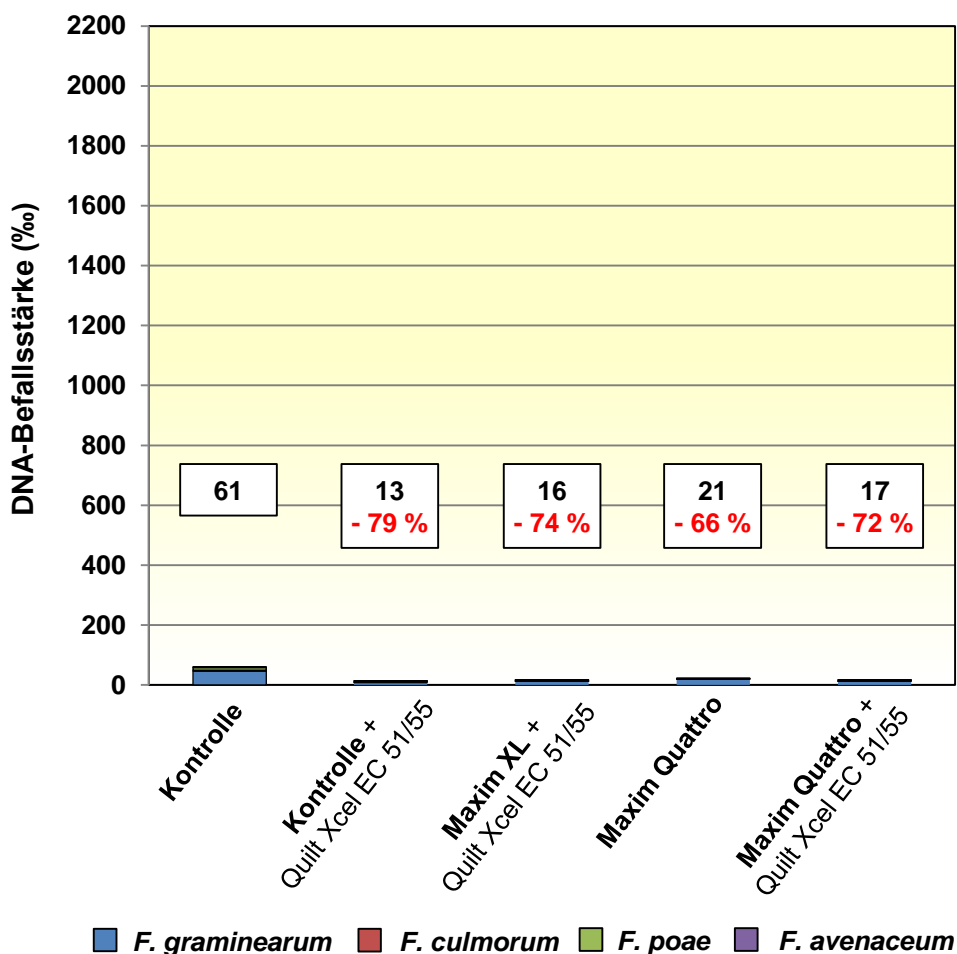


Abb. 25: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Körnermais am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle

Die Gesamtbefallsstärke der unbehandelten Kontrollvariante von 61 ‰ war vergleichend zur Befallsstärke am Versuchsstandort Hohenschulen von 326 ‰ auf einem sehr

geringen Niveau. Während *F. graminearum* mit einer mittleren DNA-Befallsstärke von 19 ‰ als dominierende Art analysiert werden konnte, zeigten *F. culmorum*, *F. poae* und *F. avenaceum* eine ähnlich geringe Befallsintensität. Außerdem konnte in allen mit Fungiziden behandelten Varianten eine deutliche Reduktion des Befalls nachgewiesen werden, welche sich im Mittel der Behandlungsvarianten auf 73 % belief.

Die anschließende Analyse auf *fusarium*-spezifische Mykotoxine erfolgte mittels LC/MS und findet in Tabelle 24 Darstellung. Am Versuchsstandort Reding konnten in allen vorhandenen Varianten das B-Trichothecen DON sowie das Mykotoxin ZEA nachgewiesen werden. Eine Mykotoxinbelastung mit den A-Trichothecene T2 und HT2 wurde dagegen nicht festgestellt.

Tab. 24: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Körnermais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Reding im Jahr 2012. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 647,67 | a | 392,23 | a |
| Kontrolle + Quilt Xcel in EC 55 | 601,08 | a | 196,46 | ab |
| Maxim XL + Quilt Xcel in EC 55 | 404,61 | a | 137,22 | b |
| Maxim Quattro | 820,76 | a | 241,00 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 450,87 | a | 234,22 | ab |

* EU-Richtwert in der Schweineproduktion: $900 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert in der Schweineproduktion: $250 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Die höchsten Werte wurden in der Maxim[®]Quattro gebeizten Variante mit einem DON-Gehalt von $820,76 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ und in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem ZEA-Gehalt von $392,23 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ analysiert. Mit diesem Gehalt an ZEA wurde der EU-Richtwert für ZEA ($250 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) in der Kontrollvariante überschritten sowie in den Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten annähernd erreicht. Des Weiteren konnten jedoch alle Fungizidbehandlungen eine Reduktion der ZEA-Belastung im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante erzielen. Dabei bewirkte die fungizide Saatgutbehandlung Maxim[®]XL mit einer zusätzlichen Fungizidapplikation in EC 55 mit 65 % eine signifikante Reduktion. Außerdem wurde der EU-Richtwert für DON ($900 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) von der lediglich mit Maxim[®]Quattro gebeizten Variante annähernd erreicht. Durch eine Fungizidapplikation in EC 55 konnte der DON-Gehalt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um 7 % reduziert werden. In Kombination mit einer Maxim[®]Quattro oder

Maxim[®]XL Fungizidbeize konnte eine Reduktion um 30 bzw. 38 % erzielt werden. Dabei wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der DON-Belastung zwischen den Versuchvarianten festgestellt.

4.2.2.4 Körnermais TM-Erträge

In Tabelle 25 finden die TM-Erträge der Körnermaisproben der verschiedenen Varianten des Versuchsstandortes Reding aus dem Jahr 2012 Darstellung.

Tab. 25: TM-Erträge der Körnermaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2012. Vergleich fungizider Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 55 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 115,8 | a | |
| Kontrolle + Quilt Xcel in EC 55 | 130,0 | a | +14,2 |
| Maxim XL + Quilt Xcel in EC 55 | 116,2 | a | +0,4 |
| Maxim Quattro | 117,0 | a | +1,2 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 123,4 | a | +7,6 |

* 86 % TM

Im Mittel aller Varianten betrug das Ertragsergebnis 120,5 dt ha⁻¹. Die niedrigsten Ergebnisse lieferten mit 115,8 dt ha⁻¹ die unbehandelte Kontrolle und die Maxim[®]Quattro gebeizte Variante mit 117,0 dt ha⁻¹. Den höchsten TM-Ertrag erzielte mit 130,0 dt ha⁻¹ die ungebeizte Kontrollvariante mit einer Quilt[®]Xcel Fungizidapplikation in EC 55. Zwischen den Versuchsvarianten konnten hinsichtlich der TM-Erträge keine signifikanten Unterschiede dokumentiert werden.

4.3 Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte NK Nekta und Multitop) und Liesborn (NRW; Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2013

In dem Versuchsjahr 2013 wurden die Maisfeldversuche mit jeweils acht Varianten angelegt, neben einer unbehandelten Kontrolle umfasste das Versuchsdesign eine mit Maxim[®]Quattro gebeizte Variante sowie die Kombination aus Fungizidbeize (Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro) plus einer Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel zu EC 35 / EC 55 / EC 65. Neben dem Standort Hohenschulen wurde als Alternative zum Standort Reding, welcher wegen des Hochwassers im Jahr 2013 nicht genutzt werden konnte, der Versuchsstandort Liesborn verwendet. Als Parameter der Bestandesetablierung wurden das Auflaufverhalten sowie die Pflanzenlänge der Maispflanzen erfasst. Weiter wurden das Auftreten von Blattpathogenen, der *Fusarium*-Befall über die Maisvegetation und die Mykotoxin-Belastung im Erntegut sowie die TM-Erträge erfasst. Nachfolgend werden die Ergebnisse beider Versuchsstandorte nacheinander vorgestellt.

4.3.1 Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte NK Nekta und Multitop)

Im Jahr 2013 wurden am Versuchsstandort Hohenschulen sowohl die Sorte NK Nekta als auch die Sorte Multitop im Versuchsdesign aufgenommen.

4.3.1.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge

In den Sorten NK Nekta und Multitop wurde am Standort Hohenschulen 21 und 28 Tage nach der Aussaat das Auflaufverhalten der Maispflanzen untersucht. Die Effekte fungizider Saatgutbehandlungen (Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m⁻² im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle werden in den Tabelle 26 und 27 gegenübergestellt.

Sowohl 21 Tage als auch 28 Tage nach der Aussaat konnte in der Sorte **NK Nekta** ein signifikanter Vorteil für die mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten im Vergleich zu den Apron[®]XL gebeizten Varianten sowie zur unbehandelten Kontrolle detektiert werden. An beiden Terminen der Auflaufbonitur konnte zwischen der Kontrolle und der Apron[®]XL Beize kein Unterschied festgestellt werden. Die Beize Maxim[®]Quattro erzielte 28 Tage nach der Aussaat mit 10,4 Pflanzen m⁻² eine um 28 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und der Apron[®]XL Variante (Tab. 26).

Tab. 26: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 7,5 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 7,5 | a |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 9,4 | b |
| Kontrolle | 28 TnA | 7,5 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 7,5 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 10,4 | b |

In Tabelle 27 finden die Ergebnisse der Auflaufbonitur in der Sorte **Multitop** Darstellung. Im Vergleich zur Sorte NK Nekta zeigte auch hier die Maxim[®]Quattro Beize einen signifikanten Vorteil gegenüber der Apron[®]XL Beize sowie der unbehandelten Kontrolle. Mit 10,0 Pflanzen m⁻² 28 Tage nach der Aussaat erbrachte diese Variante eine um 13 % höhere Dichte gegenüber der Variante Apron[®]XL und eine 20 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Zwischen der Kontrolle mit 8,0 Pflanzen m⁻² und der Apron[®]XL Variante mit 8,7 Pflanzen m⁻² bestand 28 Tage nach der Aussaat kein signifikanter Unterschied.

Tab. 27: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 7,2 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 8,0 | a |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 9,3 | b |
| Kontrolle | 28 TnA | 8,0 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 8,7 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 10,0 | b |

Als weiterer Parameter für die Bestandesentwicklung wurde zu EC 75 die Pflanzenhöhe der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrollvariante gemessen und der Durchschnitt aus den Wiederholungen A – D ermittelt. Der Einfluss von Saatgutbeizen und Fungizidapplikationen auf das Pflanzenwachstum an dem Versuchsstandort Hohenschulen der Sorten NK Nekta und Multitop kann in den Tabellen 28 und 29 betrachtet werden.

In der Sorte **NK Nekta** wiesen die unbehandelte Kontrollvariante sowie die Apron[®]XL gebeizte Variante mit zusätzlicher Fungizidapplikation in EC 35 mit jeweils 2,23 m die geringsten Pflanzenlängen auf. In den mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten konnten die größten Pflanzenlängen, im Mittel von 2,43 m, dokumentiert werden. Des Weiteren erzielten innerhalb der Beizvarianten Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro die Varianten mit zusätzlicher Fungizidapplikation in EC 55 die besten Ergebnisse. Signifikante Unterschiede konnten zwischen den Versuchsvarianten nicht festgestellt werden (Tab. 28).

Tab. 28: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 2,23 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 2,23 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 2,34 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 2,31 | a |
| Maxim Quattro | 2,44 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 2,38 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 2,46 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 2,42 | a |

Aus Tabelle 29 wird deutlich, dass die Pflanzenlängen der Sorte **Multitop** am Versuchsstandort Hohenschulen größer als in der Sorte NK Nekta waren. Auch hier wurde in der unbehandelten Kontrollvariante die niedrigste Pflanzenlänge mit 2,35 m erfasst. Die mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten unterschieden sich signifikant von der Kontrollvariante und zeigten, im Mittel mit 2,88 m, die größten Pflanzenlängen auf. Auch die mit Apron[®]XL gebeizten Varianten erbrachten mit einer durchschnittlichen

Pflanzenlänge von 2,55 m eine Verbesserung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Ferner erbrachten innerhalb der Beizvarianten Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro die Varianten mit zusätzlicher Fungizidapplikation in EC 35 und EC 55 die größten Pflanzenlängen.

Tab. 29: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 2,35 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 2,53 | ad |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 2,62 | abd |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 2,51 | a |
| Maxim Quattro | 2,80 | cd |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 2,89 | bcd |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 2,85 | bcd |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 2,72 | bcd |

4.3.1.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

In den folgenden Abbildungen 26 und 27 finden die Boniturergebnisse der Sorten NK Nekta und Multitop des Versuchsstandorts Hohenschulen zu EC 75 im Jahr 2013 Darstellung. In beiden Sorten waren die Nekrotisierungsgrade aller Varianten in dem unteren Bereich am höchsten und lagen im Mittel bei 35 % (NK Nekta) bzw. 32 % (Multitop). Dabei konnte jeweils in der unbehandelten Kontrolle die höchste Nekrotisierung mit 44 (NK Nekta) bzw. 38 % (Multitop) festgestellt werden.

Bei der Sorte **NK Nekta** wiesen die jeweils mit Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten untereinander einen ähnlichen Nekrotisierungsgrad auf. In dem unteren Boniturbereich entsprach dieser im Mittel 29 bzw. 38 % und zeigte somit einen Vorteil gegenüber der unbehandelten Kontrolle mit 44 % Nekrotisierung.

Die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zeae-maydis* waren in allen Varianten und Blattetagen auf einem ähnlichen Niveau präsent. Wobei die unbehandelte Kontrolle als auch die mit Maxim[®]Quattro gebeizte Variante in allen drei Boniturbereichen die höchsten Werte

aufwiesen. So konnte im mittleren Bereich für diese beiden Varianten eine Befallsstärke von 3,1 bzw. 5,2 % BSB für *K. zeae* und 5,5 bzw. 5,9 % BSB für *P. zeae-maydis* ermittelt werden. In den anderen Behandlungsvarianten konnten in allen drei bonitierten Bereichen keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich des Befalls mit Blattflecken gemessen werden (Abb. 26).

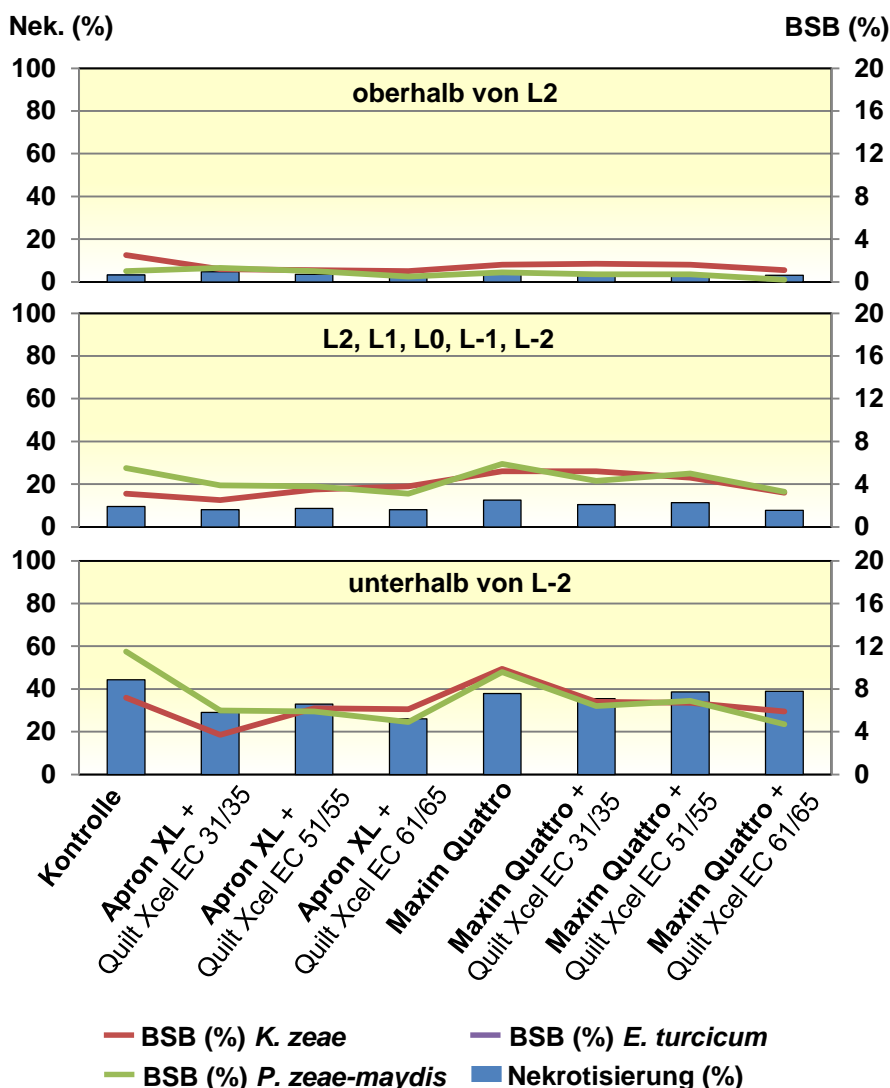


Abb. 26: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der Sorte **Multitop** zeigten die Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten mit einer zusätzlichen späten Behandlung mit Quilt[®]Xcel (EC 55 und EC 65) untereinander einen im Mittel ähnlichen Nekrotisierungsgrad von 28 % im unteren Bereich auf und

zeigten somit alle einen Vorteil gegenüber der unbehandelten Kontrolle (38 %). Die lediglich mit Maxim[®]Quattro gebeizte Variante erbrachte mit einem Nekrotisierungsgrad von 37 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle keine Verbesserung. Auch hier waren die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zeae-maydis* in allen bonitierten Varianten und Blattetagen präsent. Die unbehandelte Kontrolle sowie die lediglich mit Maxim[®]Quattro gebeizte Variante zeigten jeweils im Mittel der drei Bereiche für *K. zeae* mit einer BSB von 3,6 bzw. 4,2 % und für *P. zeae-maydis* mit einer BSB von 4,2 bzw. 3,6 % die höchsten Werte auf. Zwischen den anderen Behandlungsvarianten konnten keine deutlichen Befallsreduktionen bonitiert werden (Abb. 27).

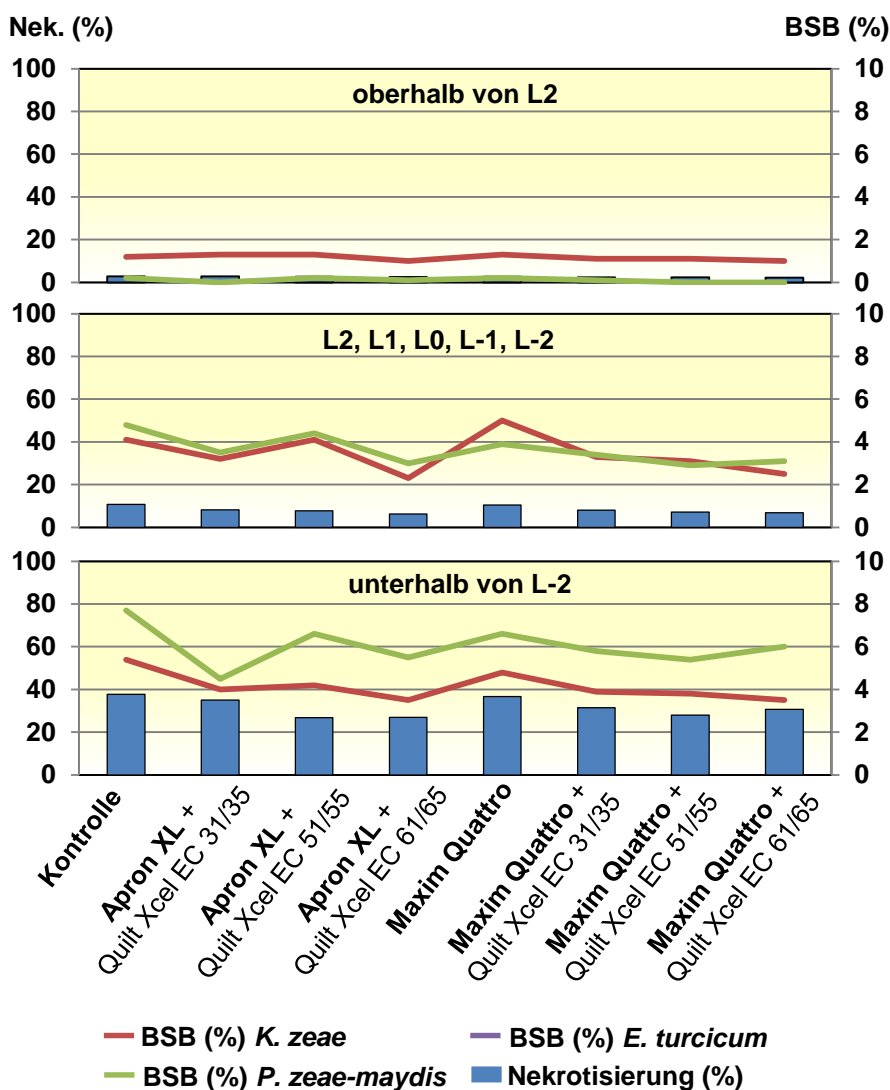


Abb. 27: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4.3.1.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation

Mittels qPCR wurde das qualitative und quantitative Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* sowie *F. poae* in unterschiedlichen Pflanzenfraktionen über die Maisvegetation untersucht. In diesem Kapitel werden, in Abhängigkeit der verschiedenen Fungizidstrategien, die DNA-Befallsstärken in den Entwicklungsstadien EC 35, EC 65 und EC 75 an dem Versuchsstandort Hohenschulen in den Sorten NK Nekta und Multitop im Jahr 2013 nacheinander aufgeführt. Dabei wurde in EC 35 zwischen den Pflanzenfraktionen „untere 10 cm“ sowie „Restpflanze“, in den folgenden Entwicklungsstadien zwischen „unterhalb des Kolbens“, „Kolben“ sowie „oberhalb des Kolbens“ unterschieden.

In Abbildung 28 wird das Befallsgeschehen der *Fusarium*-Arten im Probematerial der Varianten des Entwicklungsstadiums EC 35 der Sorte **NK Nekta** dargestellt. In der Kontrollvariante konnte ausschließlich *F. poae* in Höhe von gesamt 23 ‰ nachgewiesen werden. Im Vergleich zeigten die gebeizten Varianten in den unteren 10 cm deutlich geringere Befallsstärken. So konnte in der Apron[®]XL behandelten Variante lediglich 1 ‰ von *F. poae* und in der Maxim[®]Quattro gebeizten Variante 1 ‰ von *F. poae* sowie 6 ‰ von *F. culmorum* ermittelt werden. Die Beize Apron[®]XL zeigte in der Restpflanze den stärksten Befall mit 18 ‰, welcher auf *F. poae* und *F. culmorum* zurückzuführen war. Auf die Gesamtpflanze gesehen reduzierte Apron[®]XL die Befallsstärke in EC 35 um 17 % und Maxim[®]Quattro um 87 %.

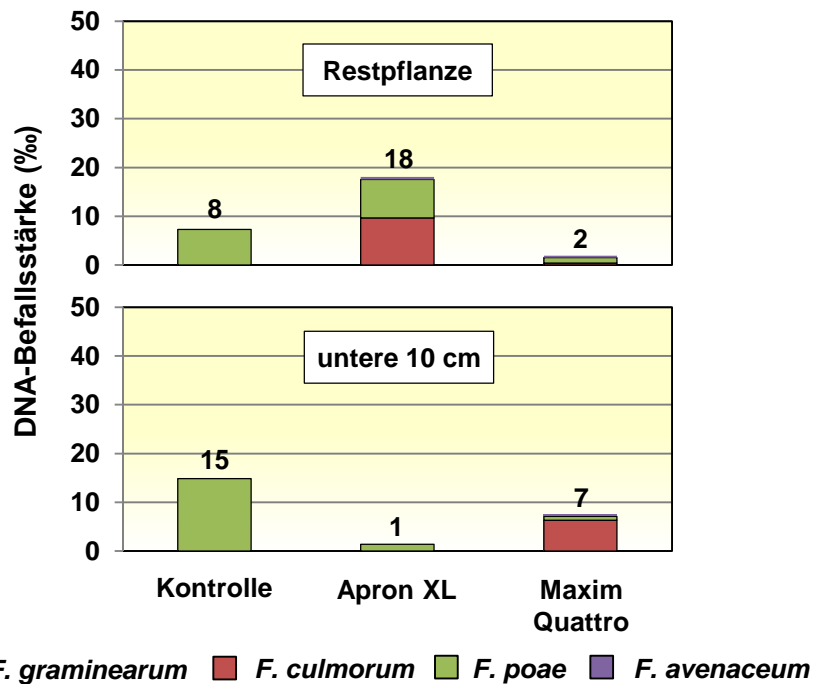


Abb. 28: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Das *fusarium*-spezifische Befallsgeschehen in EC 65 der Sorte NK Nekta kann in Abbildung 29 betrachtet werden. Zu diesem Probetermin wies die mit Apron[®]XL und Quilt[®]Xcel zu EC 35 behandelte Variante die höchsten Befallsstärken mit insgesamt 110 ‰ auf, gefolgt von der Kontrollvariante mit 56 ‰. Darüber hinaus konnte zu diesem Zeitpunkt neben *F. poae* und *F. culmorum* auch *F. avenaceum* in der oberen sowie unteren Pflanzenfraktion festgestellt werden. In den Pflanzenfraktionen Kolben und oberhalb des Kolben konnten in allen Versuchsvarianten nur geringe Befallsstärken der nachgewiesenen *Fusarium*-Arten erfasst werden.

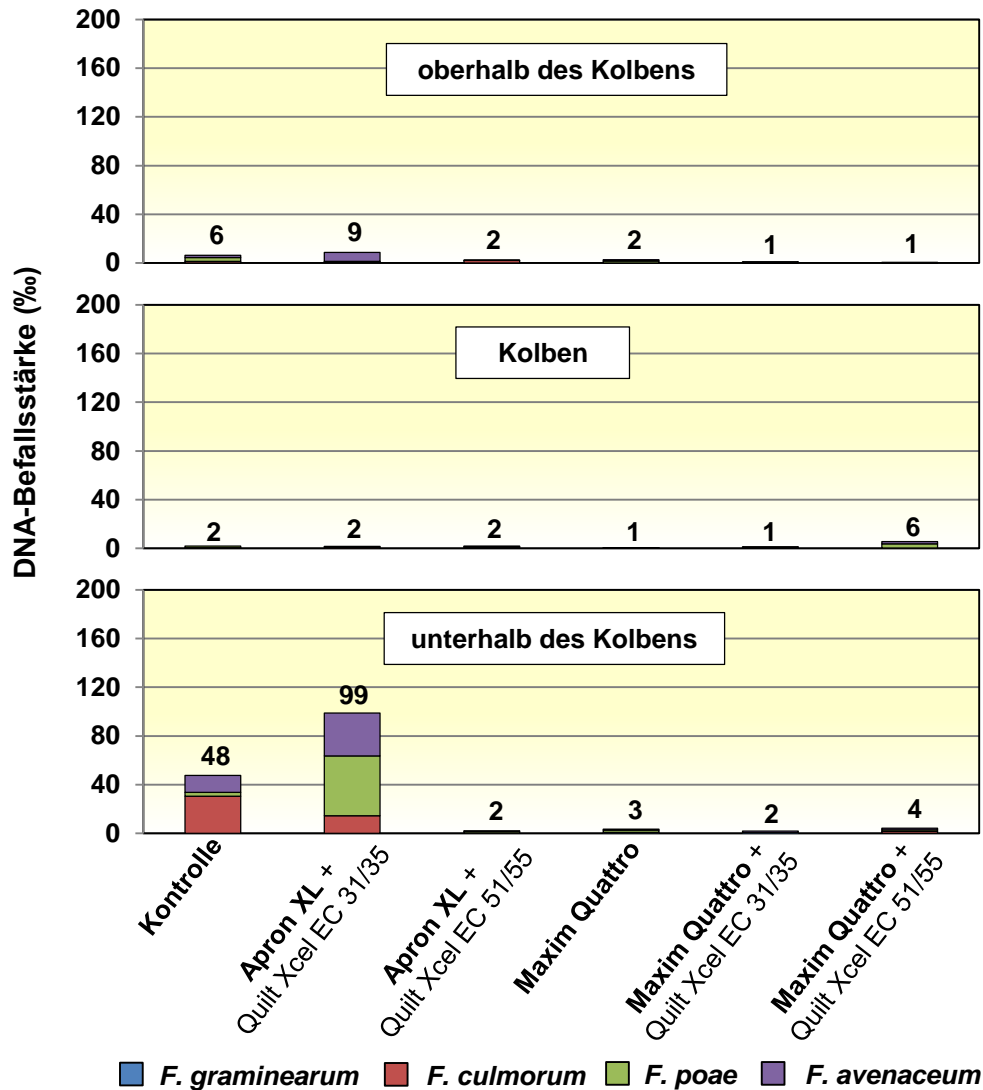


Abb. 29: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der folgenden Abbildung 30 werden die Ergebnisse des Probetermins EC 75 der Sorte NK Nekta dargestellt. Hierbei wird ersichtlich, dass nach der Blüte die unbehandelte Kontrollvariante am stärksten befallen war. Im Vergleich zu EC 65 konnte zu diesem Probetermin, vor allem unterhalb des Kolbens, auch in den zu EC 35 behandelten Varianten sowie in der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Variante eine erhöhte DNA-Befallsstärke nachgewiesen werden. Ferner konnte in allen Versuchsvarianten in den Fraktionen unterhalb und oberhalb des Kolbens eine weitere Zunahme von *F. culmorum* und *F. avenaceum* sowie ein leichter Anstieg der DNA-Befallsstärken in der Fraktion Kolben dokumentiert werden (Anhangtab. I). Insgesamt erzielte in beiden Beizvarianten

die Fungizidapplikation vor der Blüte zu EC 55 im Vergleich zur Blüteapplikation (EC 65) niedrigere DNA-Befallsstärken. Die Beize Maxim®Quattro sowie die Kombination mit einer späten Quilt®Xcel Behandlung (EC 55 / EC 65) reduzierten den Befall um 78 bzw. 86 %.

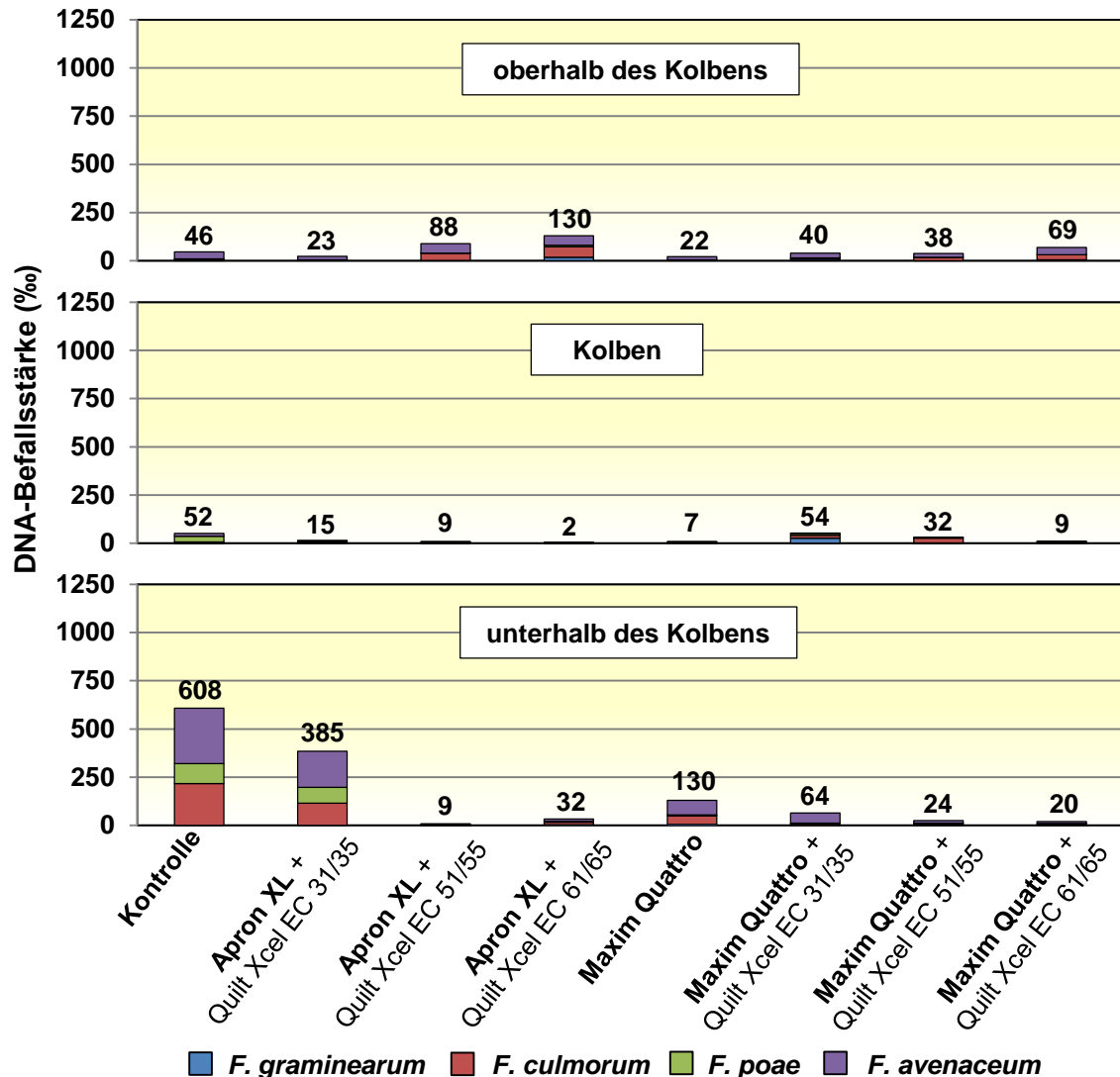


Abb. 30: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Durch eine alleinige Fungizidbeize mit Maxim®Quattro konnte vergleichend zur ungebeizten Kontrolle die *Fusarium*-Belastung in allen betrachteten Entwicklungsstadien in den einzelnen Fraktionen deutlich reduziert werden. Während in der Kontrolle in EC 35 ausschließlich *F. poae* detektiert werden konnte, zeigten die Entwicklungsstadien EC 65 und EC 75 neben *F. poae* auch einen deutlichen Befall mit *F. culmorum* sowie

F. avenaceum, wobei *F. culmorum* in der unteren Fraktion und *F. avenaceum* in der oberen Fraktion das Befallsgeschehen dominierten.

In der Abbildung 31 werden die Ergebnisse des ersten Probetermins EC 35 der Sorte **Multitop** im Versuchsjahr 2013 dargestellt. Mit einer DNA-Befallsstärke von 11 ‰ in der Gesamtpflanze zeigte die Maxim[®]Quattro gebeizte Variante die höchsten Werte, gefolgt von der unbehandelten Kontrolle (7 ‰) und der Apron[®]XL Beize mit 6 ‰. Weiter konnten im Pflanzenmaterial des ersten Probetermins bereits alle vier untersuchten *Fusarium*-Arten detektiert werden.

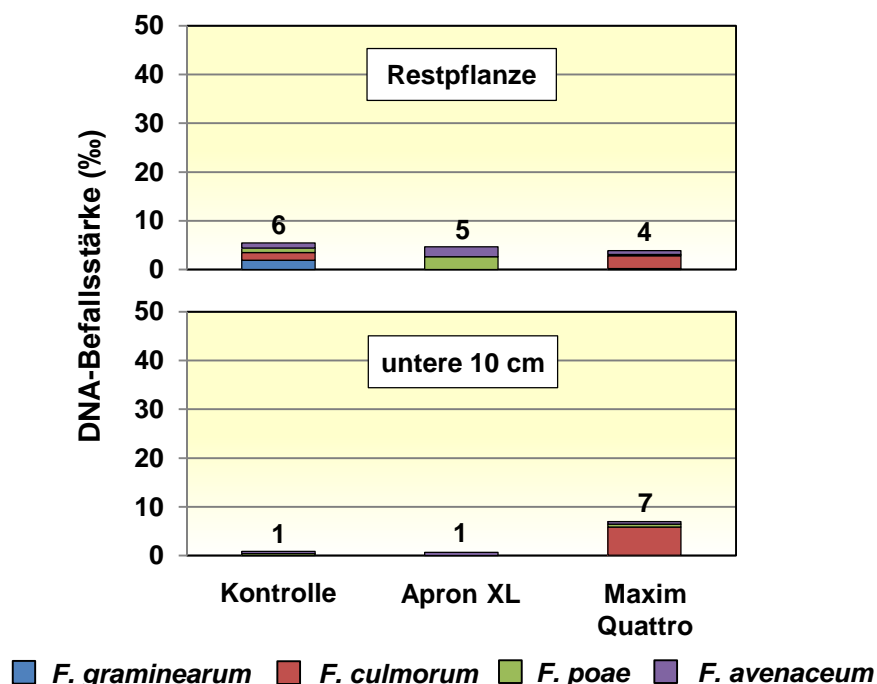


Abb. 31: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Identisch mit dem vorherigen Probetermin konnten in allen Pflanzenfraktionen zu EC 65 in der Sorte Multitop in der unbehandelten Kontrollvariante die höchsten *Fusarium*-Befallsintensitäten ermittelt werden. Dabei stellten *F. culmorum* und *F. avenaceum* die dominierenden Arten dar. Ferner konnte in den Behandlungsvarianten ein Anstieg von *F. poae* nachgewiesen werden. In Übereinstimmung mit der Sorte NK Nektia wiesen auch in der Sorte Multitop die zu EC 55 mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten beider Saatgutbeizen sowie die Maxim[®]Quattro Variante die geringsten DNA-Befallsstärken auf.

4. Ergebnisse

Im Mittel der Varianten führten die Beizen Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro oberhalb des Kolbens zu einer Reduktion von 25 bzw. 33 % und unterhalb des Kolbens von 36 bzw. 55 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante. Ein Befall der Pflanzenfraktion Kolben konnte auf einem geringen Niveau erfasst werden (Abb. 32).

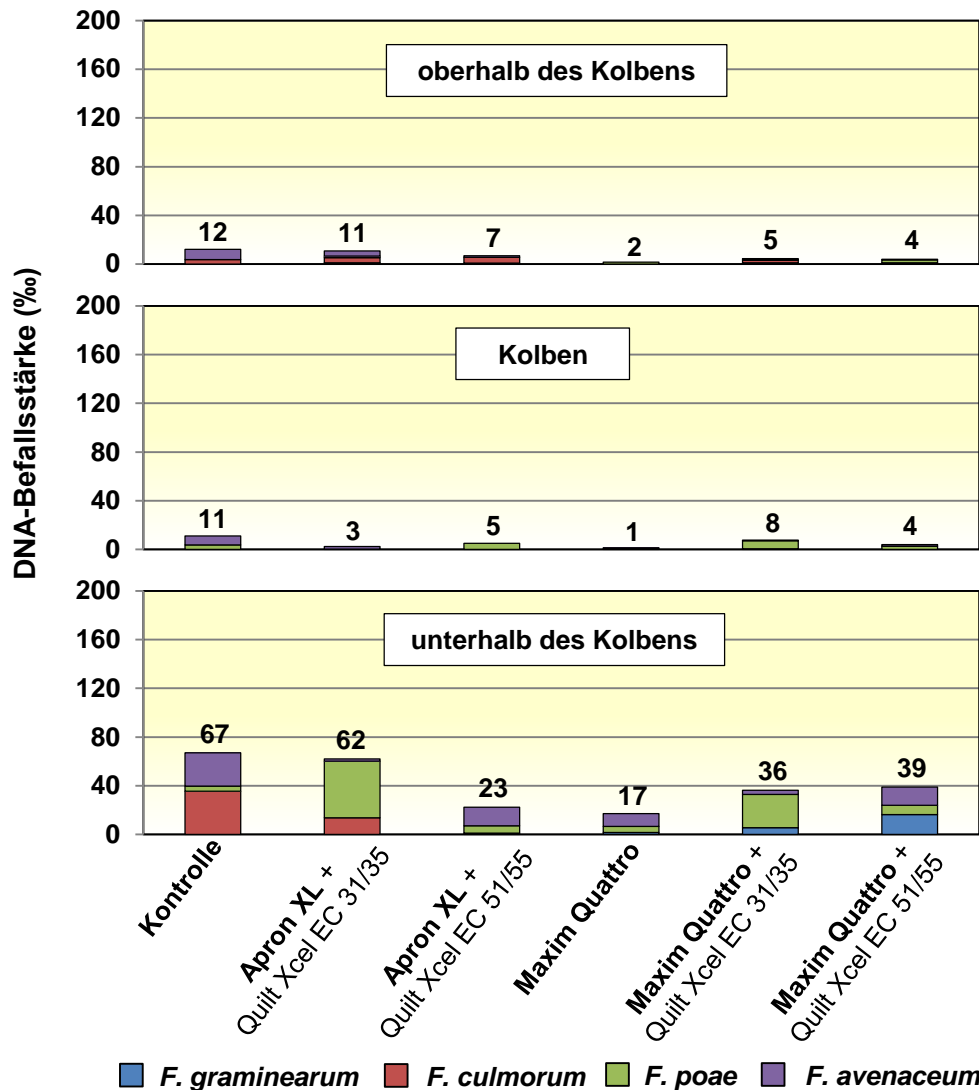


Abb. 32: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die Ergebnisse der letzten Probenahme in EC 75 der Sorte Multitop werden in der folgenden Abbildung 33 dargestellt. In Übereinstimmung mit der Sorte NK Nekta zeigten nach der Blüte die unbehandelte Kontrollvariante sowie die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 35 mit 316 bzw. 246 ‰ den höchsten *Fusarium*-Befall auf.

4. Ergebnisse

Dabei ist der Gesamtbefall auf einem niedrigeren Niveau einzustufen und lag um 55 % unter dem der Kontrollvariante der Sorte NK Nekta am Standort Hohenschulen.

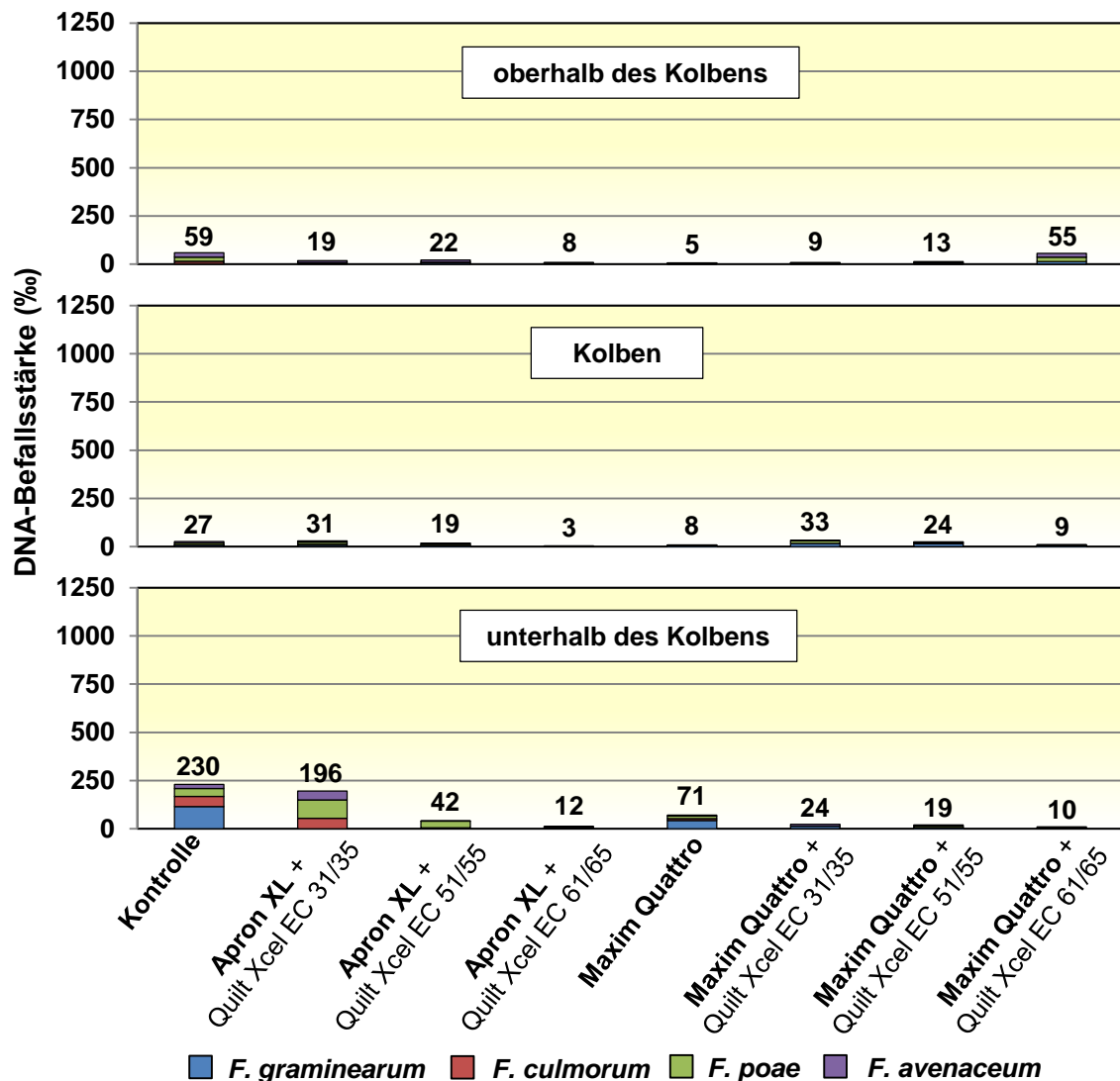


Abb. 33: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Im Vergleich zu EC 65 konnte zu diesem Probetermin vor allem unterhalb des Kolbens, aber auch in den Fraktionen Kolben und oberhalb des Kolbens in allen Varianten ein Anstieg der DNA-Befallsstärke nachgewiesen werden. Ferner konnte in der unbehandelten Kontrollvariante sowie in der Maxim[®]Quattro gebeizten Variante ohne zusätzliche Fungizidapplikation in der Fraktion unterhalb des Kolbens sowie im Kolben in allen Versuchsvarianten eine Zunahme von *F. graminearum* dokumentiert werden

(Anhangtab. II). Insgesamt erzielten in beiden Beizvarianten die späten Fungizidapplikationen (EC 55 und EC 65) im Vergleich zum frühen Behandlungstermin (EC 35) niedrigere DNA-Befallsstärken. Die Beize Maxim[®]Quattro sowie in Kombination mit einer Quilt[®]Xcel-Applikation zum Schossen (EC 55) reduzierten den Befall um 73 bzw. 82 %.

Durch die Fungizidbehandlungen konnte vergleichend zur ungebeizten Kontrolle die *Fusarium*-Belastung zu EC 65 und 75 in den einzelnen Fraktionen deutlich reduziert werden. Bereits zum ersten Probenahmetermin (EC 35) konnten alle vier der untersuchten *Fusarium*-Arten detektiert werden. Dabei wurde das Befallsgeschehen neben *F. poae* in der oberen Fraktion durch *F. avenaceum* sowie *F. graminearum* in der unteren Fraktion und im Kolben dominiert.

4.3.1.4 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

Mittels qPCR wurde das qualitative und quantitative Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. equiseti* und *F. tricinctum* sowie die Mykotoxinbelastung mittels LC/MS im Silomaiserntegut untersucht. In diesem Kapitel werden, in Abhängigkeit der verschiedenen Fungizidstrategien, die DNA-Befallsstärken sowie die Kontamination mit Mykotoxinen in den Sorten NK Nekta und Multitop am Standort Hohenschulen aus dem Versuchsjahr 2013 nacheinander aufgeführt.

Im Vergleich zum Vorjahr konnten am Standort Hohenschulen in 2013 deutlich stärkere Befallswerte in den Silomaisernteproben der Sorte **NK Nekta** mit *Fusarium*-Arten ermittelt werden (Abb. 34). Dabei wurden in allen Versuchsvarianten die sechs untersuchten *Fusarium*-Arten nachgewiesen. Mit einer Gesamt-DNA-Befallsstärke von 1287 ‰ wies die Kontrollvariante den stärksten Befall auf. In dieser Variante traten *F. poae* (4791 ‰), *F. avenaceum* (312 ‰) und *F. equiseti* (308 ‰) als dominierende Arten auf. Die DON- und ZEA-produzierende Art *F. graminearum* hingegen stellte nur eine untergeordnete Rolle am Gesamt-*Fusarium*-Befall dar. Aus der Abbildung 34 wird ersichtlich, dass alle getesteten Fungizidstrategien die DNA-Befallsstärke deutlich reduzieren konnten. In den Apron[®]XL gebeizten Varianten konnte die DNA-Befallsstärke, vor allem in Kombination mit Quilt[®]Xcel in EC 35, um 81 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduziert werden. Die besten Reduktionen erzielten jedoch die mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten. Dabei führte bereits die alleinige Saatgutbehandlung zu einer Reduktion der Befallsstärke um 73 %. Die Kombination mit einer Fungizidapplikation durch Quilt[®]Xcel in EC 35 und EC 55 erbrachte eine weitere Reduktion der DNA-Befallsstärke auf 116 bzw.

103 ‰ und somit eine Reduktion von 91 bzw. 92 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

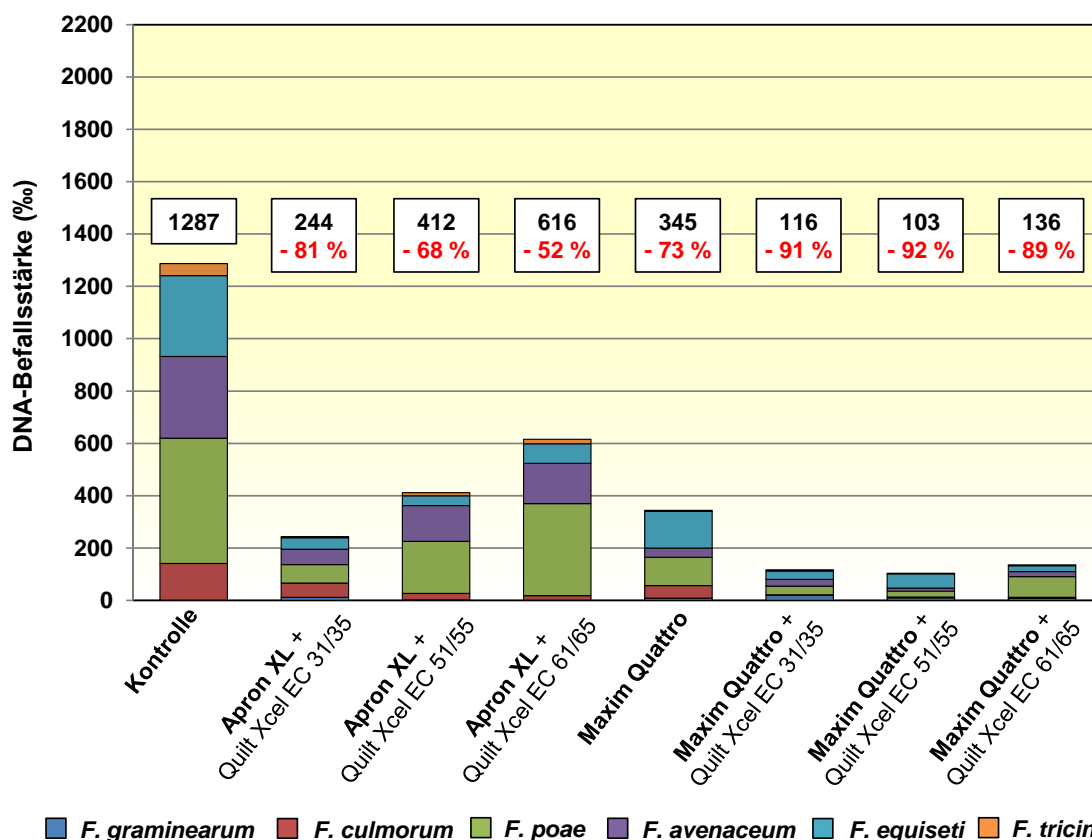


Abb. 34: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die mittels LC/MS analysierten Silomaisproben des Versuchsstandortes Hohenschulen der Sorte NK Nekta wiesen Kontaminationen mit den Mykotoxinen DON und ZEA auf (Tab. 30). Die A-Trichothecene T2 und HT2 konnten wiederum nicht detektiert werden. Die höchsten Werte wurden in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem DON-Gehalt von $1395 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und einem ZEA-Gehalt von $661 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ festgestellt. Mit diesem Gehalt an ZEA überschritten die unbehandelte Kontrolle sowie die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 35 mit einem Wert von $516 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ den EU-Richtwert für ZEA ($500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$). Der EU-Richtwert für DON ($5000 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) wurde hingegen in keiner der Versuchsvarianten annähernd erreicht. Des Weiteren konnten alle Fungizidbehandlungen eine Reduktion der Mykotoxinbelastungen erzielen. Dabei erreichte bereits eine alleinige Beizung mit Maxim[®]Quattro eine Reduktion von 45 %

(DON) bzw. 46 % (ZEA) im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante. Die Varianten Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 und EC 65 konnten die Mykotoxingehalte am erfolgreichsten reduzieren und erzielten im Mittel eine Reduktion des DON-Gehalts um 79 % sowie 71 % des ZEA-Gehalts. Außerdem bewirkten die alleinige fungizide Saatgutbehandlung Maxim[®]Quattro sowie die Kombinationsvarianten aus Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro mit Quilt[®]Xcel in EC 55 und EC 65 eine signifikante Reduktion der DON-Belastung.

Tab. 30: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 1395,39 | a | 661,31 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 796,37 | abc | 515,89 | b |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 319,71 | c | 265,66 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 320,03 | c | 205,54 | a |
| Maxim Quattro | 771,21 | b | 359,90 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 769,00 | abc | 411,90 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 291,14 | c | 191,73 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 290,20 | c | 190,92 | a |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Verglichen mit der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen konnten auch in der Sorte **Multitop** alle untersuchten *Fusarium*-Arten identifiziert werden, allerdings war der Befall der Silomaisproben insgesamt auf einem geringeren Niveau (Abb. 35). Mit einer Gesamt-DNA-Befallsstärke von 634 ‰ wies die Kontrollvariante den stärksten Befall auf. Aus der Abbildung 35 wird deutlich, dass in allen Varianten mit Ausnahme der Varianten Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 und EC 65, *F. poae* als dominierende Art detektiert werden konnte. Die DNA-Befallsstärke der DON- und ZEA-bildenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* belief sich im Mittel der Varianten auf 36 bzw. 34 ‰. Die *Fusarium*-Art *F. tricinctum* trat nur in geringeren Befallsstärken auf. Durch die Kombinationen der Saatgutbeize Maxim[®]Quattro mit Quilt[®]Xcel in EC 55 sowie EC 65 konnte das allgemeine Befallsgeschehen und vor allem ein Befall mit *F. poae* mit einer Reduktion im Mittel von 82 % am effektivsten kontrolliert werden.

4. Ergebnisse

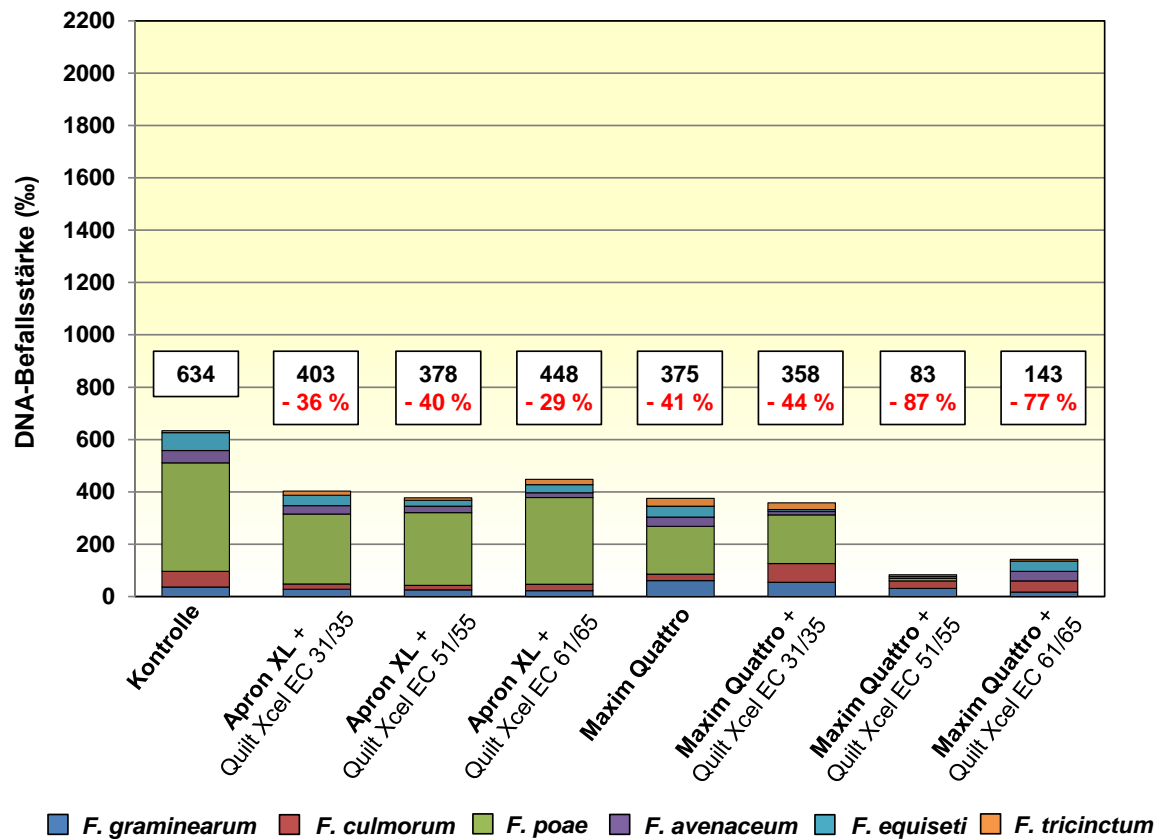


Abb. 35: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In Übereinstimmung mit der Sorte NK Nekta konnte auch in der Vergleichsorte Multitop in allen vorhandenen Varianten das B-Trichotheceen DON sowie das Mykotoxin ZEA nachgewiesen werden (Tab. 31). Eine Mykotoxinbelastung mit den A-Trichotheceene T2 und HT2 wurde dagegen ebenfalls nicht festgestellt. Auch in der Sorte Multitop wurde in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem DON-Gehalt von $1209 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und einem ZEA-Gehalt von $718 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ die höchste Mykotoxinbelastung detektiert und lag im Vergleich zur Sorte NK Nekta auf einem ähnlichen Niveau. Der EU-Richtwert für ZEA ($500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) sowie der EU-Richtwert für DON ($5000 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) wurde ausschließlich in der unbehandelten Kontrolle überschritten.

Tab. 31: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte Multitop am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 1208,56 | ab | 718,18 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 738,82 | abc | 415,96 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 305,12 | c | 267,29 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 320,11 | bc | 194,98 | a |
| Maxim Quattro | 684,16 | ab | 384,27 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 797,88 | abc | 283,53 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 305,63 | c | 225,85 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 290,20 | c | 221,79 | a |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Die Gehalte beider Mykotoxine konnten durch die unterschiedlichen fungiziden Behandlungsmaßnahmen reduziert werden. Hinsichtlich der Reduzierung des DON-Gehaltes wiesen die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 (75 %) sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 (75 %) und EC 65 (76 %) die besten Erfolge auf.

Des Weiteren zeigten die zuletzt genannten Fungizidstrategien und zusätzlich die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 65 eine signifikante Reduktion der DON-Belastung im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante. In Bezug auf die ZEA-Belastung konnten am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die höchste Reduzierung erzielte die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit 73 %.

4.3.1.5 Silomais TM-Erträge

Durch die Darstellung des TM-Ertrages aus den Silomaisproben können Rückschlüsse auf die Ertragswirksamkeit der verschiedenen Fungizidstrategien im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante gezogen werden. Der TM-Ertrag der einzelnen Varianten entspricht dabei dem Mittel der Wiederholungen A bis D.

Die im Jahr 2013 am Versuchsstandort Hohenschulen erfassten Ertragsergebnisse der Versuchssorten NK Nekta und Multitop werden in den Tabellen 32 und 33 vorgestellt. Die TM-Erträge beliefen sich im Mittel aller Varianten auf $169,9 \text{ dt ha}^{-1}$ der Sorte NK Nekta und $182,0 \text{ dt ha}^{-1}$ der Sorte Multitop.

In der Sorte **NK Nekta** lieferte mit 151,8 dt ha⁻¹ die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 35 das niedrigste Ergebnis und die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 35 mit 195,7 dt ha⁻¹ das Höchste. Ferner erbrachten die Versuchsglieder der Maxim[®]Quattro-Gruppe mit einem durchschnittlichen TM-Ertrag von 184,5 dt ha⁻¹ die besten Ergebnisse. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle wiesen die Varianten der Apron[®]XL-Gruppe (Ø 155,7) keine signifikant höheren Erträge auf, wohingegen die Maxim[®]Quattro gebeizte und mit Quilt[®]Xcel in EC 35 behandelte Variante sich sowohl von der unbehandelten Kontrollvariante als auch von den mit Apron[®]XL gebeizten Varianten signifikant unterschied (Tab. 32).

Tab. 32: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 154,0 | a | |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 151,8 | a | - 2,2 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 153,7 | a | - 0,3 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 161,5 | a | + 7,5 |
| Maxim Quattro | 175,5 | ab | + 21,5 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 195,7 | b | + 41,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 183,8 | ab | + 29,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 182,9 | ab | + 28,9 |

* 100 % TM

In Tabelle 33 finden die TM-Erträge der verschiedenen Varianten der Sorte **Multitop** aus dem Jahr 2013 Darstellung. Im Mittel aller Varianten betrug das Ertragsergebnis 182,0 dt ha⁻¹ und lag somit 7 % über dem Ertragsdurchschnitt der Vergleichssorte NK Nekta. Das niedrigste Ergebnis erbrachte mit 138,7 dt ha⁻¹ die unbehandelte Kontrolle und die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit 198,7 dt ha⁻¹ das Höchste. Innerhalb der Apron[®]XL-Gruppe wies die zusätzlich in EC 55 behandelte Variante mit 180,4 dt ha⁻¹ den höchsten TM-Ertrag auf. Identisch zur Sorte NK Nekta erreichten mit einem mittleren TM-Ertrag von 197,3 dt ha⁻¹ die Varianten der Maxim[®]Quattro-Gruppe die besten Ergebnisse. Des Weiteren zeigten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle die

Varianten der Maxim[®]Quattro-Gruppe sowie die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 und 65 signifikant höhere Erträge auf.

Tab. 33: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 138,7 | a | |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 172,2 | ab | + 33,5 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 180,4 | b | + 41,7 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 175,1 | b | + 36,4 |
| Maxim Quattro | 195,4 | b | + 56,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 197,7 | b | +59,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 197,4 | b | + 58,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 198,7 | b | + 60,0 |

* 100 % TM

4.3.2 Versuchsstandort: Liesborn (NRW, Sorte NK Nekta)

Der nordrhein-westfälische Standort Liesborn wurde einmalig im Jahr 2013 im Versuchsdesign aufgenommen. Hier wurde ebenfalls die Sorte NK Nekta verwendet.

4.3.2.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge

Am Standort Liesborn wurde ebenfalls zu Beginn der Mais-Vegetation 21 und 28 Tage nach der Aussaat das Auflaufverhalten der Maispflanzen unter Betrachtung fungizider Saatgutbehandlungen (Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle analysiert. Diese Effekte auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m⁻² werden in Tabelle 34 aufgezeigt.

Im Vergleich zum schleswig-holsteinischen Standort Hohenschulen konnte am Standort Liesborn sowohl 21 als auch 28 Tage nach der Maisaussaat kein signifikanter Vorteil zwischen den Varianten festgestellt werden. Die unbehandelte Kontrolle zeigte mit 9,0 Pflanzen m⁻² die höchste Bestandesdichte, gefolgt von der Beize Maxim[®]Quattro mit 8,9 Pflanzen m⁻² und der Apron[®]XL Varianten mit 8,6 Pflanzen m⁻².

Tab. 34: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 9,0 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 8,6 | a |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 8,8 | a |
| Kontrolle | 28 TnA | 9,0 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 8,6 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 8,9 | a |

Auch am nordrhein-westfälischen Standort Liesborn wurde die Pflanzenhöhe der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrolle zu EC 75 erfasst. Die Tabelle 35 zeigt den Einfluss der Saatgutbeizen und Fungizidapplikationen auf die Pflanzenentwicklung.

Tab. 35: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 2,70 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 2,63 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 2,58 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 2,56 | a |
| Maxim Quattro | 2,73 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 2,64 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 2,69 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 2,66 | ab |

Im Vergleich zum Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2013 zeigte die Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Liesborn höhere Pflanzenlängen auf. Hier konnte in der Maxim[®]Quattro gebeizten Variante mit 2,73 m die größte Pflanzenlänge dokumentiert werden, welche eine signifikante Verbesserung zu den Beizvarianten Apron[®]XL mit

zusätzlicher Fungizidapplikation in EC 55 und EC 65 erbrachte. Des Weiteren erzielte die Kontrollvariante eine Pflanzenlänge von 2,70 m und unterschied sich nicht signifikant von den mit Fungiziden behandelten Versuchsvarianten. Im Mittel zeigten die Apron[®]XL Beizvarianten mit 2,59 m die geringsten Pflanzenhöhen auf, gefolgt von den Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten mit 2,68 m.

4.3.2.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

Die am nordrhein-westfälischen Versuchsstandort Liesborn ebenfalls in EC 75 durchgeführte Drittelbonitur der Maispflanzen zur Bestimmung der Nekrotisierung und des Einflusses pilzlicher Schadpathogene wird in Abbildung 36 aufgezeigt. Im Vergleich zum Standort Hohenschulen waren auch hier die Nekrotisierungsgrade aller Varianten in dem unteren Bereich am höchsten und lagen im Mittel bei 20 %. Zwischen den Versuchsvarianten konnte hinsichtlich der Nekrotisierung kein Unterschied festgestellt werden.

Ferner wurde am Standort Liesborn ausschließlich das Blattpathogen *K. zeae* gefunden. Die entsprechenden BSB-Werte waren auf einem ähnlich geringem Niveau wie am Versuchsstandort Hohenschulen (Abb. 36) und lagen im Mittel der Varianten im unteren sowie im mittleren Bereich bei 4 % und im oberen Boniturbereich bei 2 %.

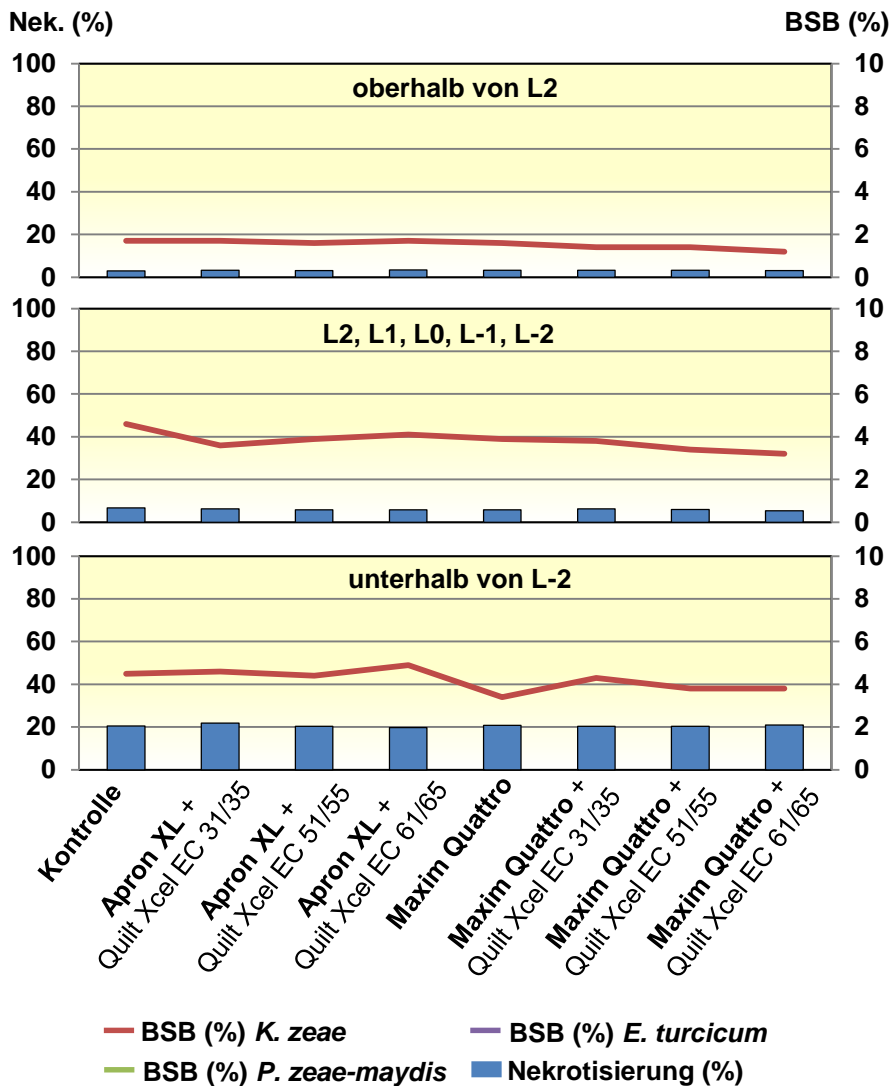


Abb. 36: Nektrosierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zea-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Liesborn in der Sorte NK Nektta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4.3.2.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation

Auch am Versuchsstandort Liesborn wurde in 2013 mittels qPCR das qualitative und quantitative Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* sowie *F. poae* in unterschiedlichen Pflanzenfraktionen über die Maisvegetation in den Entwicklungsstadien EC 35, EC 65 und EC 75 untersucht.

Im Pflanzenmaterial des ersten Probetermins (EC 35), bei dem zwischen den Pflanzenfraktionen „untere 10 cm“ sowie „Restpflanze“ unterschieden wurde, stellt *F. avenaceum* die dominierende Art dar, wobei in der Maxim[®]Quattro Variante in beiden

Pflanzenfraktionen eine Mischinfektion mit *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. graminearum* detektiert werden konnte. Mit einer DNA-Befallsstärke von 11 ‰ in der Gesamtpflanze zeigte diese Variante auch die höchsten Werte. Die Beizen Apron[®]XL und die unbehandelte Kontrolle wiesen einen Gesamt-*Fusarium*-Befall von 3 bzw. 5 ‰ auf (Abb. 37). Die in EC 35 dokumentierte Befallsstärke der Gesamtpflanze in der unbehandelten Kontrolle am Standort Liesborn lag mit 5 ‰ auf einem um 78 ‰ geringeren Niveau im Vergleich zur Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen.

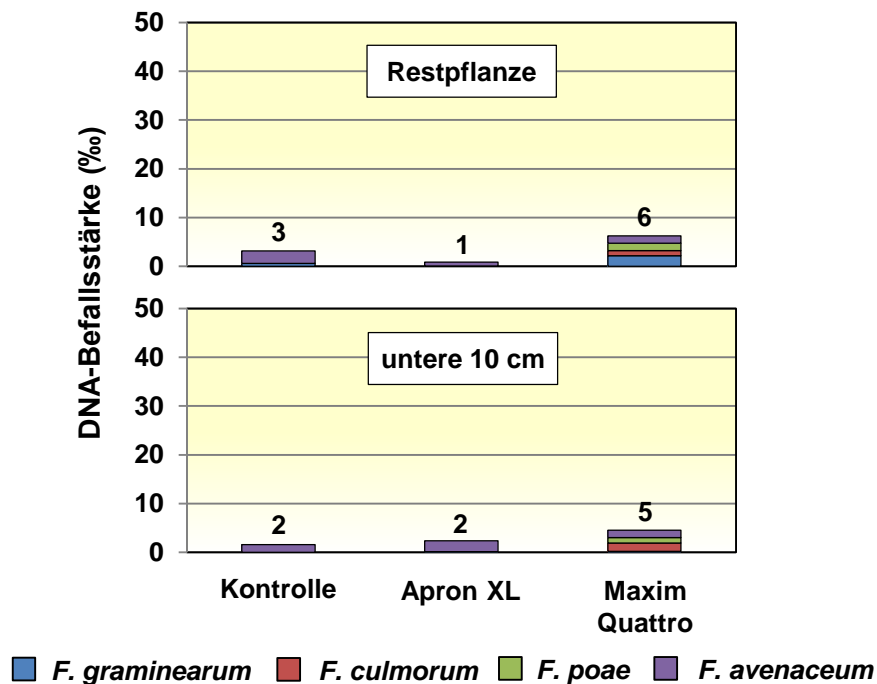


Abb. 37: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der folgenden Abbildung 38 ist das *fusarium*-spezifische Befallsgeschehen in EC 65 ersichtlich. In diesem und folgendem Entwicklungsstadium wurde zwischen den Fraktionen „unterhalb des Kolbens“, „Kolben“ sowie „oberhalb des Kolbens“ unterschieden. Identisch mit dem Versuchsstandort Hohenschulen konnte in allen Pflanzenfraktionen ein Anstieg der DNA-Befallsstärke ermittelt werden, dabei zeigten auch hier die unbehandelte Kontrollvariante sowie die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel mit 32 bzw. 31 ‰ die höchsten *Fusarium*-Befallsintensitäten auf. Während in EC 35 *F. avenaceum* die dominierende Art darstellte, konnte in EC 65 *F. poae* in den Fraktionen oberhalb und unterhalb des Kolbens sowie *F. culmorum* in der Kolbenfraktion als dominierende Arten identifiziert werden. Ferner konnte, hauptsächlich unterhalb des

4. Ergebnisse

Kolbens, ein Anstieg von *F. graminearum* nachgewiesen werden. Außerdem zeigte, verglichen mit der Kontrolle, die Maxim[®]Quattro gebeizte Variante mit 46 % die stärkste Reduktion des *Fusarium*-Gesamtbefalls. Im Mittel der Varianten führten die Behandlungen in EC 35 sowie EC 55 unterhalb des Kolbens zu einer Reduktion von 11 bzw. 59 % und im Kolben von 22 bzw. 33 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante.

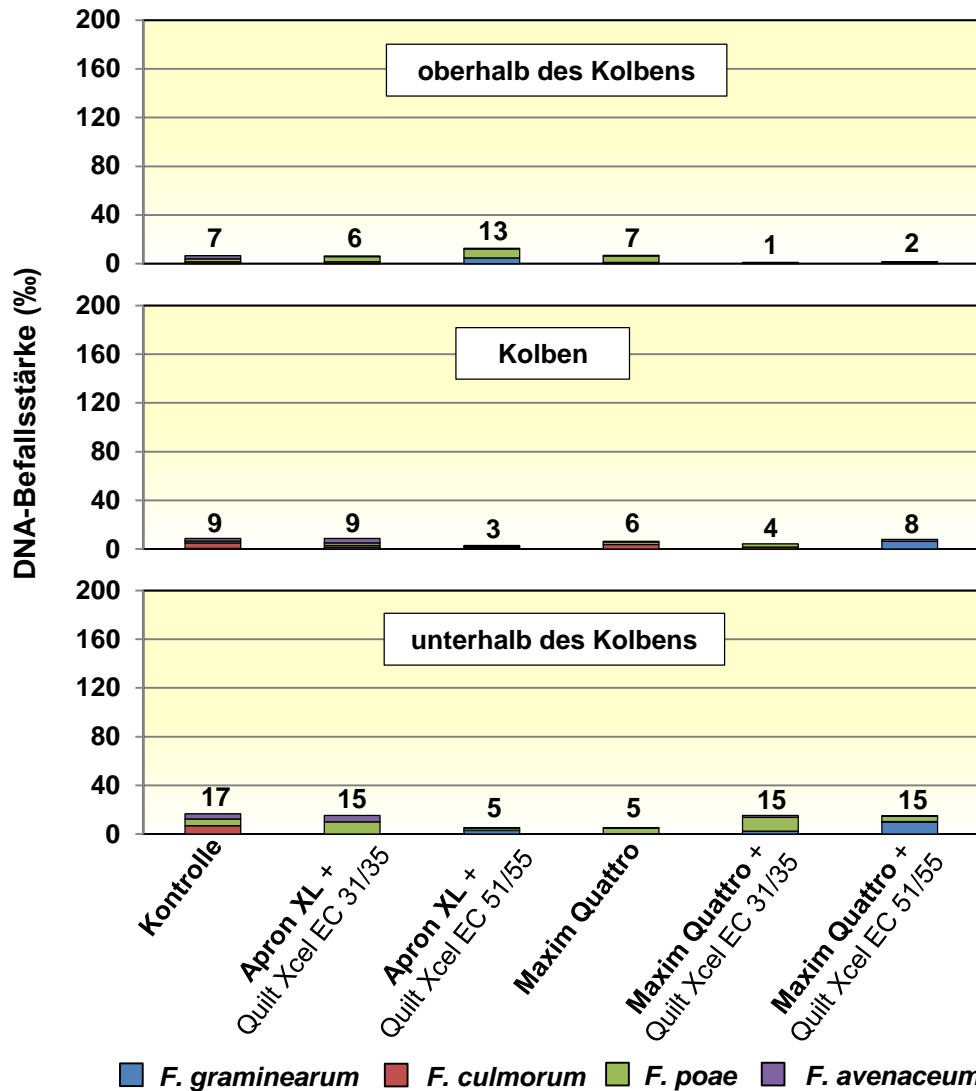


Abb. 38: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der nachstehenden Abbildung 39 werden die Ergebnisse aus dem Probematerial des Entwicklungsstadiums EC 75 aufgeführt. Auch in diesem Stadium war die unbehandelte Kontrolle mit einem Gesamtbefall von 171 ‰ nach wie vor die am stärksten mit

4. Ergebnisse

Fusarium spp. befallene Variante. In allen Versuchsvarianten konnte zudem ein Befallsanstieg detektiert werden. Allerdings ist das Niveau der DNA-Befallsstärke aller Versuchsvarianten deutlich niedriger als am Vergleichsstandort Hohenschulen. Besonders die Pflanzenfraktionen Kolben und oberhalb des Kolbens zeigten einen sehr geringen Befall auf (Anhangtab. III). Identisch mit dem vorherigen Probetermin konnten in allen Pflanzenfraktionen zu EC 75, hauptsächlich jedoch in der Fraktion unterhalb des Kolbens, *F. poae* und *F. culmorum* als dominierende Arten identifiziert werden. Die Kombination aus einer Fungizidbeize (Apron®XL oder Maxim®Quattro) mit einer späten Fungizidapplikation zu EC 55 oder EC 65 führten zu den größten Befallsreduktionen.

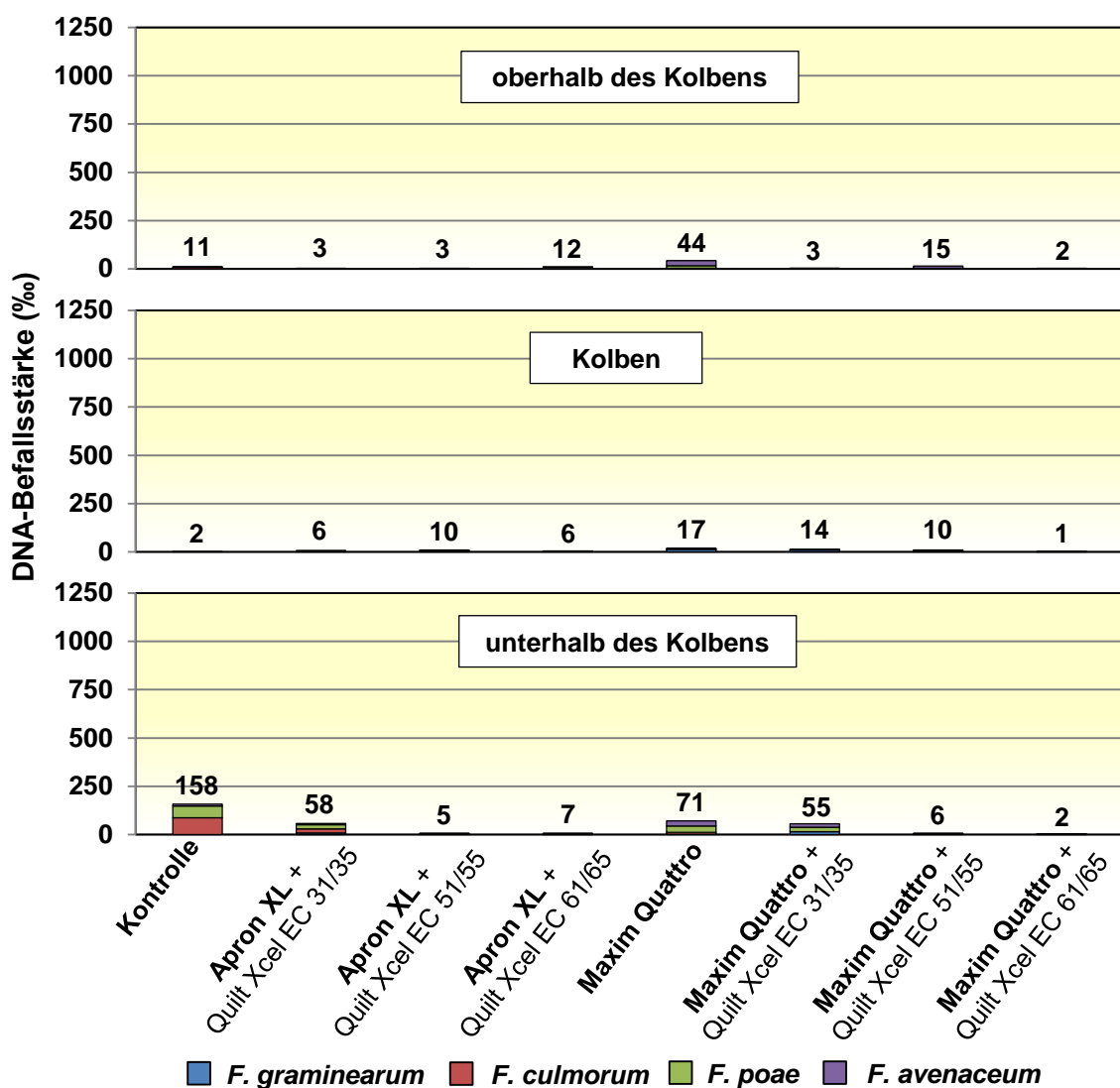


Abb. 39: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Liesborn im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Zusätzlich konnte in diesem Probestern eine Befallszunahme in der ausschließlich gebeizten Variante dokumentiert werden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Hohenschulen konnte auch am Standort Liesborn durch die Fungizidbehandlungen der *Fusarium*-Befall im Vergleich zur ungebeizten Kontrolle in den Entwicklungsstadien EC 65 und 75 in den einzelnen Fraktionen reduziert werden. Während in der Kontrolle in EC 35 *F. avenaceum* das Befallsgeschehen dominierte, zeigten die Entwicklungsstadien EC 65 und EC 75 einen stärkeren Befall mit *F. culmorum* und *F. poae* (Abb. 39).

4.3.2.4 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

Aus der Abbildung 40 wird deutlich, dass der Versuchsstandort Liesborn in 2013 einen vergleichsweise befallsschwachen Standort darstellt, was durch die Gesamt-*Fusarium*-Befallsstärke von 261 ‰ in der unbehandelten Kontrollvariante dokumentiert wird.

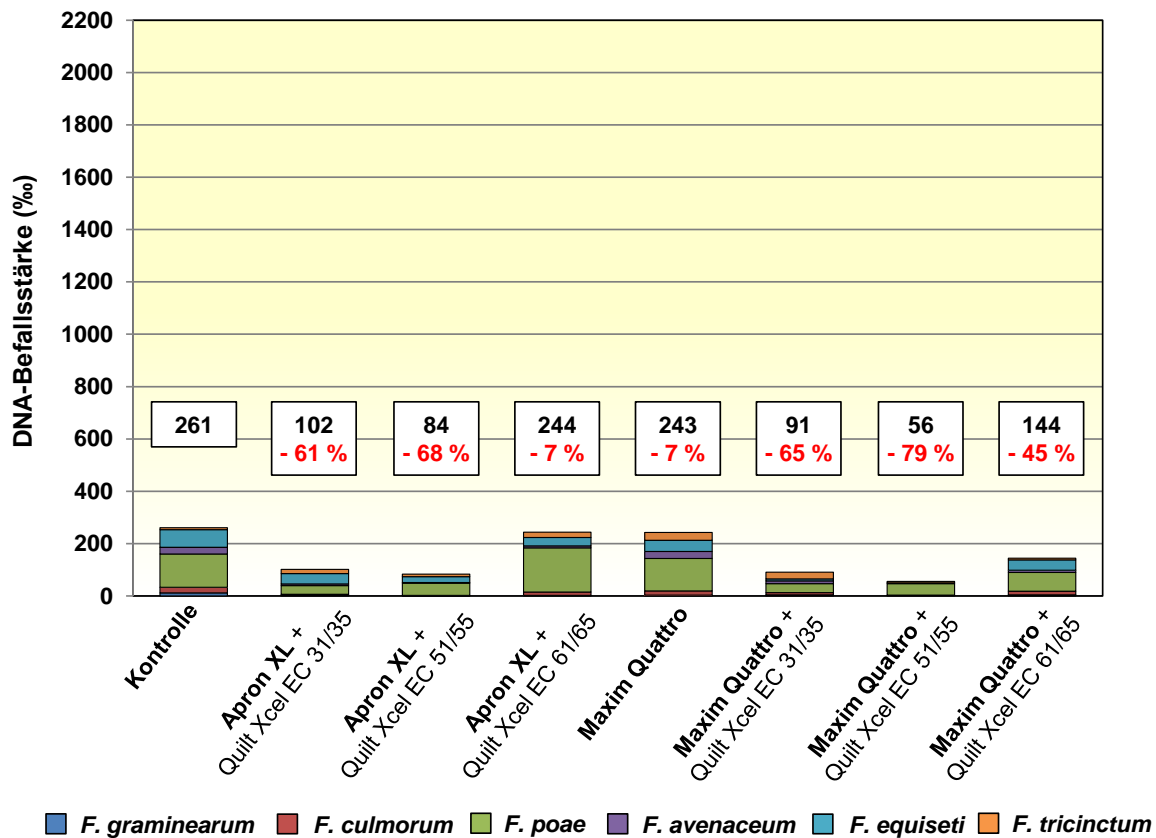


Abb. 40: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Liesborn in der Sorte NK Necta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In Übereinstimmung mit dem Versuchsstandort Hohenschulen war auch hier *F. poae* mit einer DNA-Befallsstärke von 81 ‰ im Mittel der Varianten die eindeutig dominierende Art.

Die *Fusarium*-Arten *F. avenaceum* sowie die DON- und ZEA-bildenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* traten nur mit geringen Befallsstärken auf. Durch die Kombinationen der jeweiligen Beizmittel (Apron®XL und Maxim®Quattro) mit Quilt®Xcel zum Schossen (EC 35) und Rispenschieben (EC 55) konnte das allgemeine Befallsgeschehen mit einer Reduktion im Mittel von 68 % am effektivsten kontrolliert werden.

Die am Versuchsstandort Liesborn im Jahr 2013 mittels LC/MS analysierten Silomaisproben zeigten Kontaminationen mit den Mykotoxinen DON und ZEA auf. Dementgegen konnten die A-Trichothecene T2 und HT2 nicht detektiert werden. Die folgende Tabelle 36 zeigt die ermittelten DON- und ZEA-Gehalte.

Tab. 36: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Liesborn im Jahr 2013. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 302,10 | a | 271,35 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 217,14 | ab | 91,80 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 174,30 | ab | 40,62 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 145,29 | ab | 45,50 | a |
| Maxim Quattro | 72,65 | ab | 77,99 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 159,78 | ab | 75,56 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 0,00 | b | 44,68 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 0,00 | b | 52,81 | a |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Auch an diesem Versuchsstandort wurde in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem DON-Gehalt von $302 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ und einem ZEA-Gehalt von $271 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ die höchste Mykotoxinbelastung detektiert. Mit diesen Werten lag die Belastung 78 bzw. 59 % unter dem DON- bzw. ZEA-Gehalt der Sorte NK Nekta am Standort Hohenschulen. Während das Mykotoxin ZEA in allen mit Fungiziden behandelten Varianten mit einem durchschnittlichen Gehalt von $61 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ analysiert werden konnte, wurde die DON-Belastung in den Varianten Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 sowie EC 65 vollständig reduziert. Hinsichtlich der Reduzierung des DON-Gehaltes wiesen die zuletzt genannten Fungizidstrategien gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante einen signifikanten Unterschied auf. Des Weiteren konnten die Varianten Apron®XL + Quilt®Xcel in EC 55

sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 und EC 65 mit 41 bis 46 µg (kg TM)⁻¹ die niedrigsten ZEA-Gehalte erreichen und diese somit im Mittel um 84 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante reduzieren. Statistisch signifikante Unterschiede im ZEA-Gehalt konnten nicht festgestellt werden.

4.3.2.5 Silomais TM-Erträge

Die im Jahr 2013 am Versuchsstandort Liesborn erfassten TM-Erträge der Silomaisproben werden in Tabelle 37 gezeigt. Im Mittel aller Varianten betrug das Ertragsergebnis 193,3 dt ha⁻¹ und lag somit 14 bzw. 6 % über dem Ertragsdurchschnitt des Vergleichsstandortes Hohenschulen in der Sorte NK Nekta bzw. Multitop.

Tab. 37: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Liesborn im Versuchsjahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 197,9 | a | |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 187,8 | a | - 10,1 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 183,4 | a | - 14,5 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 188,8 | a | - 9,1 |
| Maxim Quattro | 197,7 | a | - 0,2 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 192,1 | a | - 5,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 197,9 | a | 0,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 200,3 | a | + 2,4 |

* 100 % TM

Aus der Tabelle 37 wird ersichtlich, dass mit 183,4 dt ha⁻¹ die Variante Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 das niedrigste und Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit 200,3 dt ha⁻¹ das höchste Ergebnis erzielte. Im Mittel aller Varianten erbrachte die Apron[®]XL-Gruppe einen TM-Ertrag von 186,7 dt ha⁻¹ und lag somit mit 6 % unter dem der Kontrollvariante (197,9 dt ha⁻¹). Die Versuchsvarianten am Standort Liesborn weisen hinsichtlich der Ertragswirksamkeit keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

4.3.3 Zusammenhang zwischen der *Fusarium*-Befallsintensität und der Mykotoxinkontamination im Erntegut des Versuchsjahres 2013

Die an den Versuchsstandorten Hohenschulen (Sorte NK Nekta und Multitop) und Liesborn (Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2013 ermittelten *Fusarium*-Befallsstärken der DON- und ZEA bildenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* im Erntegut der acht Versuchsvarianten wurden hinsichtlich einer quantitativen Beziehung zu den festgestellten Mykotoxingehalten untersucht und werden in Abbildung 41 dargestellt.

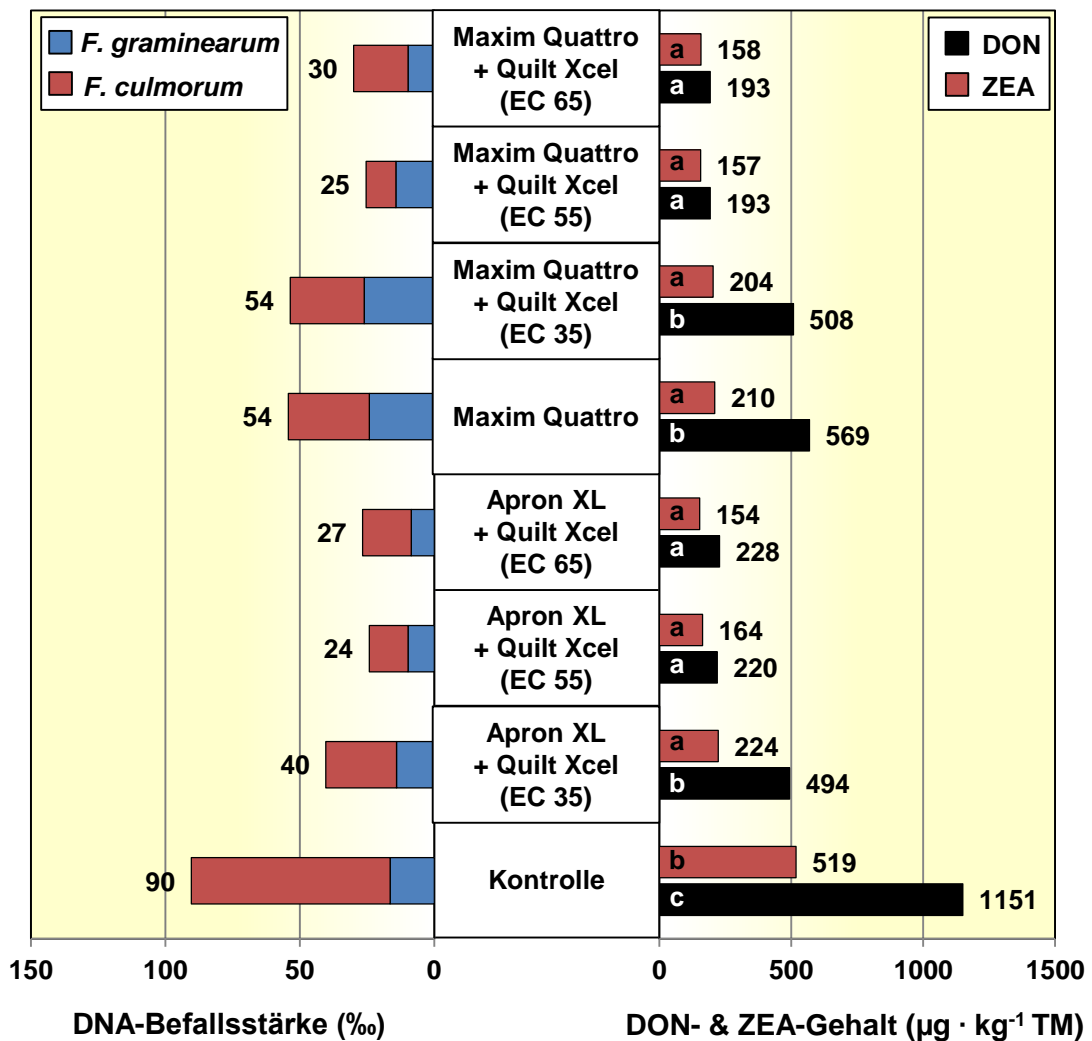


Abb. 41: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt (µg · kg⁻¹ TM) im Erntegut aller Versuchsvarianten im Mittel der Standorte (Hohenschulen, Liesborn) im Jahr 2013

Die unbehandelte Kontrollvariante besaß im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten neben der höchsten Befallsintensität mit *F. culmorum* und *F. graminearum* ebenfalls die

höchsten DON- und ZEA-Gehalte. Im Gegensatz dazu wiesen die mit Apron[®]XL oder Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten mit einer Quilt[®]Xcel Fungizidapplikation zu EC 55 oder EC 65 die geringsten *Fusarium*-Befallsstärken und auch die niedrigsten DON- und ZEA-Gehalte auf. Im Mittel der Standorte und Sorten konnte die alleinige Maxim[®]Quattro Beizung den DON- und ZEA-Gehalt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um 51 bzw. 60 % reduzieren. Hinsichtlich der Reduzierung der Mykotoxingehalte zeigten die Fungizidstrategien gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante einen signifikanten Unterschied.

Die im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten aller Varianten in 2013 nachgewiesenen DON-Gehalte im Erntegut stehen im Zusammenhang zum quantitativen Nachweis der Pilz-DNA von *F. culmorum* und *F. graminearum*, was durch die in Abbildung 42 dargestellte Regressionskurve verdeutlicht wird. Höhere Befallsintensitäten konnten den DON-Gehalt im Erntegut ersichtlich steigern. Die Streuung weist eine mittlere Variabilität auf, was durch ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,65$ dargelegt wird. Im Vergleich zum Standort Liesborn (blaue Punkte) konnten am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta (rote Punkte) sowie in der Sorte Multitop (grüne Punkte) höhere DON-Gehalte erhoben werden, welche aus den höheren aufsummierten Befallsintensitäten der DON-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum* resultierten.

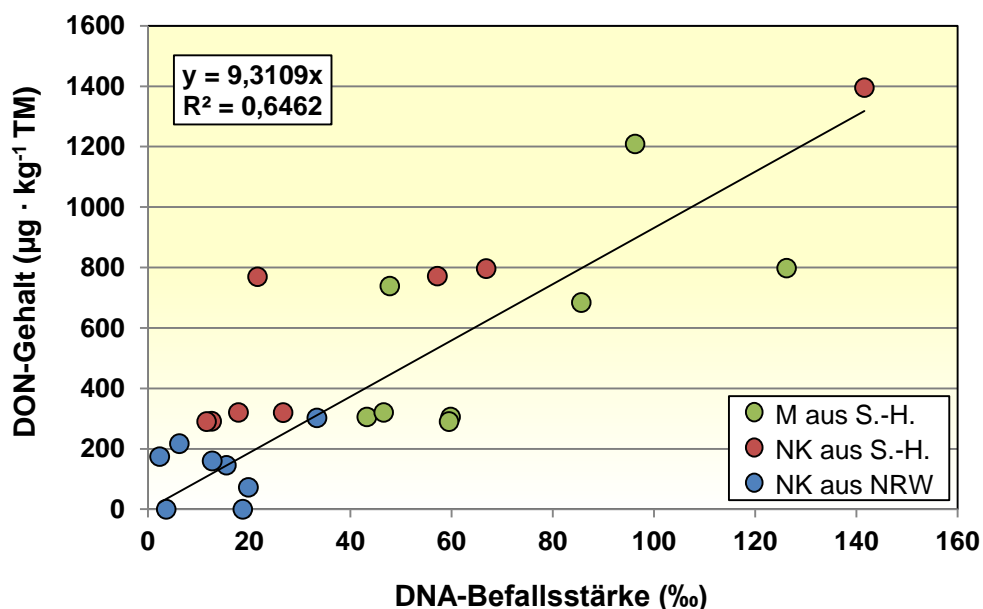


Abb. 42: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON-Gehalt (µg · kg⁻¹ TM) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2013. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus NRW = NK Nekta aus Liesborn (NRW)

In der nachstehenden Abbildung 43 ist die Beziehung zwischen dem quantitativen DNA-Nachweis von *F. culmorum* und *F. graminearum* und der ZEA-Belastung im Erntegut im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten aller Varianten in 2013 zu sehen. Die Regressionsgerade zeigt eine kontinuierliche Zunahme der Mykotoxingehalte mit steigender DNA-Befallsstärke. Die Güte des quantitativen Zusammenhangs zwischen der Befallsintensität von *F. culmorum* und *F. graminearum* und der ZEA-Belastung ist mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,46$ dennoch als geringer einzustufen. Dies resultiert aus einer etwas stärkeren Streuung, insbesondere in den oberen Befalls- bzw. Belastungswerten.

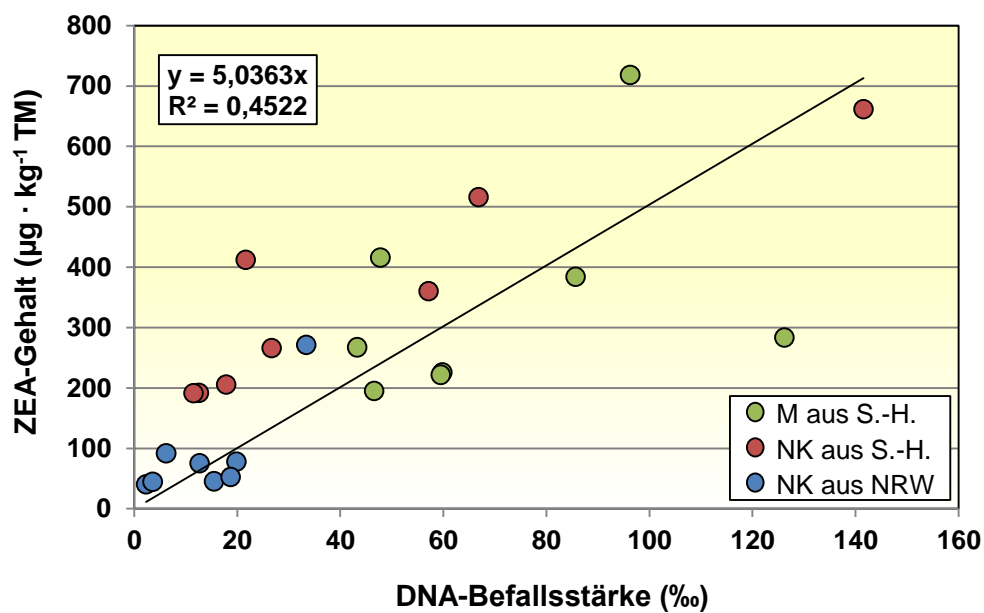


Abb. 43: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem ZEA- Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TM}$) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2013. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.), NK aus NRW = NK Nekta aus Liesborn (NRW)

4.4 Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen (S.-H.; Sorte NK Nekta und Multitop), Brockum (NS; Sorte NK Nekta) und Reding (BY; Sorte NK Nekta) im Versuchsjahr 2014

In dem Versuchsjahr 2014 wurden die Maisfeldversuche an den Standorten Hohenschulen, Brockum und Reding mit jeweils neun Varianten angelegt. Neben einer unbehandelten Kontrolle umfasste das Versuchsdesign zwei gebeizte Varianten (Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro) sowie die Kombination aus Fungizidbeize plus einer Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel zu EC 35 / EC 55 / EC 65. Als Versuchsparameter wurden das Auflaufverhalten sowie die Pflanzenlänge der Maispflanzen, das Auftreten von Blattpathogenen, der *Fusarium*-Befall über die Maisvegetation und die Mykotoxin-Belastung im Erntegut sowie die TM-Erträge erfasst. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Versuchsstandorte nacheinander dargestellt.

4.4.1 Versuchsstandort: Hohenschulen (S.-H., Sorte NK Nekta und Multitop)

Wie im Jahr 2013 wurden am Versuchsstandort Hohenschulen für die Maisfeldversuche sowohl die Sorte NK Nekta als auch die Sorte Multitop verwendet.

4.4.1.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge

Auch im Jahr 2014 wurde zu Beginn der Mais-Vegetation am Standort Hohenschulen 21 und 28 Tage nach der Aussaat das Auflaufverhalten der Maispflanzen in zwei Maissorten (NK Nekta und Multitop) untersucht. Die Effekte der fungiziden Saatgutbehandlungen auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m⁻² werden in den Tabellen 38 und 39 dargestellt. Dabei stehen die Saatgutbeizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro einer unbehandelten Kontrollvariante gegenüber.

Die Ergebnisse der Auflaufbonitur am Standort Hohenschulen der Sorte **NK Nekta** ergaben, wie bereits in den vorigen Versuchsjahren, sowohl 21 Tage als auch 28 Tage nach der Aussaat einen Vorteil für die mit Maxim[®]Quattro behandelten Varianten. Diese erzielten 28 Tage nach der Aussaat mit 10,6 Pflanzen m⁻² eine um 13 % höhere Dichte gegenüber der Beize Apron[®]XL und eine 10 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Im Gegensatz dazu erbrachte die Beize Apron[®]XL mit einer Bestandesdichte in Höhe von 9,5 Pflanzen m⁻² keine Verbesserung gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Tab. 38).

Tab. 38: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 8,7 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 8,6 | a |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 10,1 | b |
| Kontrolle | 28 TnA | 9,6 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 9,5 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 10,6 | b |

Im Vergleich zur Sorte NK Nekta konnte bei der Sorte **Multitop** im Jahr 2014 sowohl 21 als auch 28 Tage nach der Aussaat kein signifikanter Vorteil zwischen den Varianten festgestellt werden (Tab. 39). Die unbehandelte Kontrolle zeigte am zweiten Termin der Auflaufbonitur mit 11,2 Pflanzen m⁻² die höchste Bestandesdichte, gefolgt von den Saatgutbeizen Maxim[®]Quattro mit 11,1 Pflanzen m⁻² und der Apron[®]XL mit 10,5 Pflanzen m⁻². Bereits 21 Tage nach der Aussaat war im Mittel aller Vergleichsvarianten die Bestandesdichte mit 10,3 Pflanzen m⁻² schon sehr hoch.

Tab. 39: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 10,4 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 9,8 | a |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 10,6 | a |
| Kontrolle | 28 TnA | 11,2 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 10,5 | a |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 11,1 | a |

Ferner wurde im Versuchsjahr 2014 als Maß für die Pflanzenentwicklung zu EC 75 die Pflanzenhöhe der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrolle gemessen. Der Effekt der Fungizidmaßnahmen auf das Pflanzenwachstum der Sorten NK Nekta und

Multitop an dem Versuchsstandort Hohenschulen wird in den Tabellen 40 und 41 dargestellt.

Bei der Sorte **NK Nekta** erbrachte die unbehandelte Kontrollvariante mit 2,66 m im Vergleich zu den mit Fungiziden behandelten Varianten die geringste Pflanzenlänge. Bei Betrachtung der mittleren Pflanzenhöhe konnte ein Unterschied zwischen den mit Apron[®]XL (Ø 2,77 m) und Maxim[®]Quattro (Ø 2,82 m) gebeizten Varianten festgestellt werden, so zeigten die Maxim[®]Quattro Varianten im Mittel eine um 0,05 m höhere Pflanzenlänge. Dabei wurde durch eine weitere Fungizidapplikation in Kombination mit den Fungizidbeizen Maxim[®]Quattro und Apron[®]XL jedoch keine Erhöhung der Pflanzenlänge dokumentiert. Des Weiteren zeigte die Maxim[®]Quattro gebeizte Variante eine signifikante Verbesserung der Pflanzenhöhe gegenüber der unbehandelten Kontrolle sowie der Apron[®]XL gebeizten Variante mit zusätzlicher Quilt[®]Xcel Fungizidapplikation in EC 35 (Tab. 40).

Tab. 40: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 2,66 | a |
| Apron XL | 2,79 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 2,74 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 2,74 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 2,82 | ab |
| Maxim Quattro | 2,83 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 2,82 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 2,82 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 2,82 | ab |

Aus der Tabelle 41 wird ersichtlich, dass die Pflanzenlängen am Versuchsstandort Hohenschulen in der Sorte **Multitop**, wie bereits im Versuchsjahr 2013, deutlich höher als in der Sorte NK Nekta waren. Hinsichtlich der Pflanzenlänge zu EC 75 konnte hier zwischen den mit Fungiziden behandelten Varianten und der unbehandelten Kontrolle kein Unterschied dokumentiert werden. Die Beize Maxim[®]Quattro erzielte mit 3,05 m die

höchste Pflanzenlänge, was im Vergleich zur Kontrolle mit 3,01 m ein Erhöhung um 0,04 m entspricht.

Tab. 41: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 3,01 | a |
| Apron XL | 2,96 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 3,02 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 2,96 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 3,02 | a |
| Maxim Quattro | 3,05 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 3,02 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 3,00 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 3,03 | a |

4.4.1.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

In den folgenden Abbildungen 44 und 45 werden die Boniturergebnisse der Sorten NK Nekta und Multitop des Versuchsstandorts Hohenschulen zu EC 75 nacheinander dargestellt. In beiden Sorten waren die Nekrotisierungsgrade aller Varianten in dem unteren Bereich am höchsten und lagen im Mittel bei 48 (NK Nekta) bzw. 43 % (Multitop). Dabei konnte jeweils in der unbehandelten Kontrolle die höchste Nekrotisierung mit 63 % (NK Nekta) bzw. 64 % (Multitop) festgestellt werden.

In der Sorte **NK Nekta** zeigten die mit lediglich Apron[®]XL gebeizten sowie zusätzlich mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten (EC 35, EC 55 und EC 65) untereinander einen im Mittel ähnlichen Nekrotisierungsgrad von 48 % im unteren Bereich auf und zeigten somit alle einen Vorteil gegenüber der unbehandelten Kontrolle (63 %). Weiterhin konnten zwischen der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Variante und der mit zusätzlicher Applikation von Quilt[®]Xcel zur Blüte (EC 65) keine relevanten Unterschiede erzielt werden.

Die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zeae-maydis* waren in allen bonitierten Varianten und Blattetagen präsent, allerdings waren die Befallsstärken sehr gering. Die unbehandelte

4. Ergebnisse

Kontrolle zeigte im Mittel der drei Bereiche für *K. zeae* mit einer BSB von 3 % und für *P. zeae-maydis* mit einer BSB von 2 % jeweils die höchsten Werte auf. In allen anderen Behandlungsvarianten konnten keine deutlichen Befallsreduktionen festgestellt werden (Abb. 44).

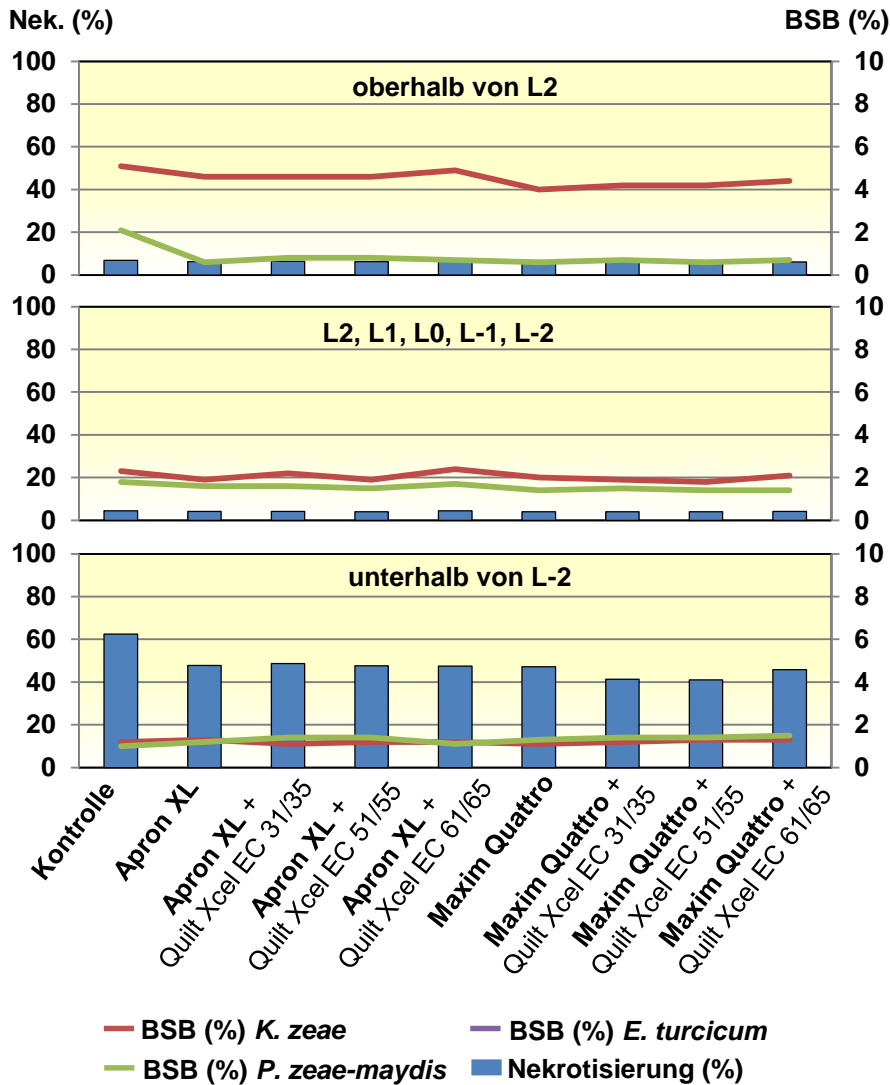


Abb. 44: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zeae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Bei der Sorte **Multitop** wiesen die mit Maxim[®]Quattro gebeizten sowie zusätzlich mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten (EC 35, EC 55 und EC 65) untereinander einen ähnlichen Nekrotisierungsgrad auf. In dem unteren Boniturbereich entsprach dieser im Mittel 24 % und zeigte somit einen deutlichen Vorteil gegenüber der unbehandelten

Kontrolle mit 64 % Nekrotisierung. Weiter erbrachten die lediglich mit Apron[®]XL gebeizte Variante und die mit zusätzlicher Applikation von Quilt[®]Xcel zur Blüte (EC 65) eine höhere Reduktion des Nekrotisierungsgrads im unteren Bereich im Vergleich zu der Variante mit Apron[®]XL und der zusätzlichen Applikation von Quilt[®]Xcel zu EC 35 und EC 55.

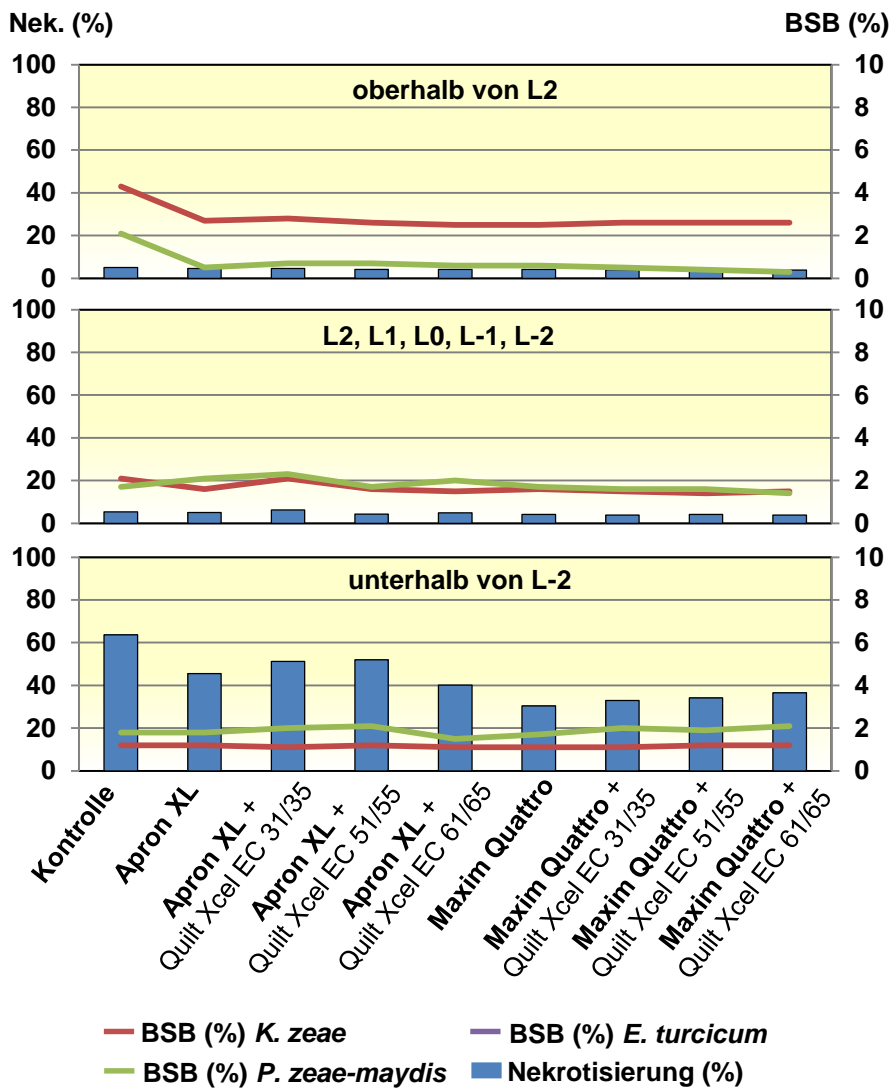


Abb. 45: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Auch hier waren die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zae-maydis* in allen Varianten und Blattetagen auf einem ähnlich niedrigen Niveau präsent. Dabei zeigte die unbehandelte Kontrolle im obersten Boniturbereich mit 4 % BSB für *K. zeae* und 2 % BSB für *P. zae-maydis* jeweils die höchsten Werte auf. In den anderen Behandlungsvarianten konnten in

allen drei bonitierten Bereichen keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich des Befalls mit Blattflecken analysiert werden (Abb. 45).

4.4.1.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation

In diesem Kapitel werden, in Abhängigkeit der verschiedenen Fungizidstrategien, die mittels qPCR nachgewiesenen *Fusarium*-Arten und deren DNA-Befallsstärke in den Entwicklungsstadien EC 35, EC 65 und EC 75 in den unterschiedlichen Pflanzenfraktionen an dem Versuchsstandort Hohenschulen in den Sorten NK Nekta und Multitop im Jahr 2014 nacheinander aufgeführt. Wie im Vorjahr wurde in EC 35 zwischen den Pflanzenfraktionen „untere 10 cm“ sowie „Restpflanze“, in den folgenden Entwicklungsstadien (EC 65 / EC 75) zwischen „unterhalb des Kolbens“, „Kolben“ sowie „oberhalb des Kolbens“ unterschieden.

Die Abbildung 46 zeigt das Befallsgeschehen der *Fusarium*-Arten in EC 35 der Sorte **NK Nekta**. In der Kontrollvariante konnten in den unteren 10 cm der Maispflanzen *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* in Höhe von gesamt 7 ‰ und im Rest der Pflanze die Arten *F. avenaceum* und *F. graminearum* mit einer DNA-Befallsstärke von 14 ‰ nachgewiesen werden. Dabei konnte *F. culmorum*, besonders in der restlichen Pflanzenfraktion, als dominierende Art detektiert werden. Im Vergleich zeigten die gebeizten Varianten in beiden Pflanzenfraktionen deutlich geringere Befallsstärken. In der Apron[®]XL gebeizten Variante konnte lediglich 1 ‰ von *F. culmorum* in den unteren 10 cm und in der Restpflanze insgesamt 9 ‰ der Arten *F. avenaceum* und *F. poae* ermittelt werden. Die Beize Maxim[®]Quattro konnte bis zu diesem Entwicklungsstadium einen Befall in den unteren 10 cm komplett verhindern. In der Restpflanze wurden *F. avenaceum* sowie *F. culmorum* mit einem Wert von 5 ‰ gemessen.

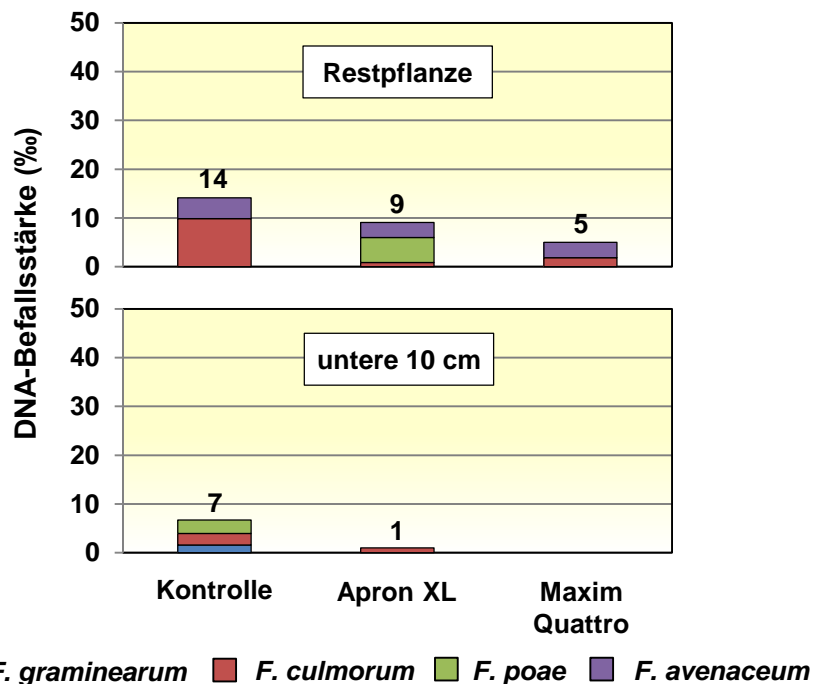


Abb. 46: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der folgenden Abbildung 47 werden die Ergebnisse des Probetermins EC 65 dargestellt. Auch zu diesem Probetermin wies die Kontrollvariante die höchsten Befallsstärken in allen Fraktionen auf. Mit einem Gesamtbefall in Höhe von 126 ‰ lag diese somit 55 % über dem der Kontrollvariante der Sorte NK Nekta aus dem Versuchsjahr 2013. Weiter konnte zu diesem Entwicklungsstadium eine deutliche Zunahme von *F. graminearum* in der oberen und unteren Pflanzenfraktion festgestellt werden. Bezogen auf den Gesamtbefall in EC 65 waren somit *F. culmorum* und *F. graminearum* die dominierenden *Fusarium*-Arten. Im Vergleich zu EC 35 waren die Befallsstärken in den lediglich mit Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten von 10 auf 53 sowie von 5 auf 36 ‰ gestiegen. Im Mittel der in EC 35 sowie in EC 55 mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten konnte der Befall oberhalb des Kolbens um 95 bzw. 99 % und unterhalb des Kolbens um 90 bzw. 89 % gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante reduziert werden.

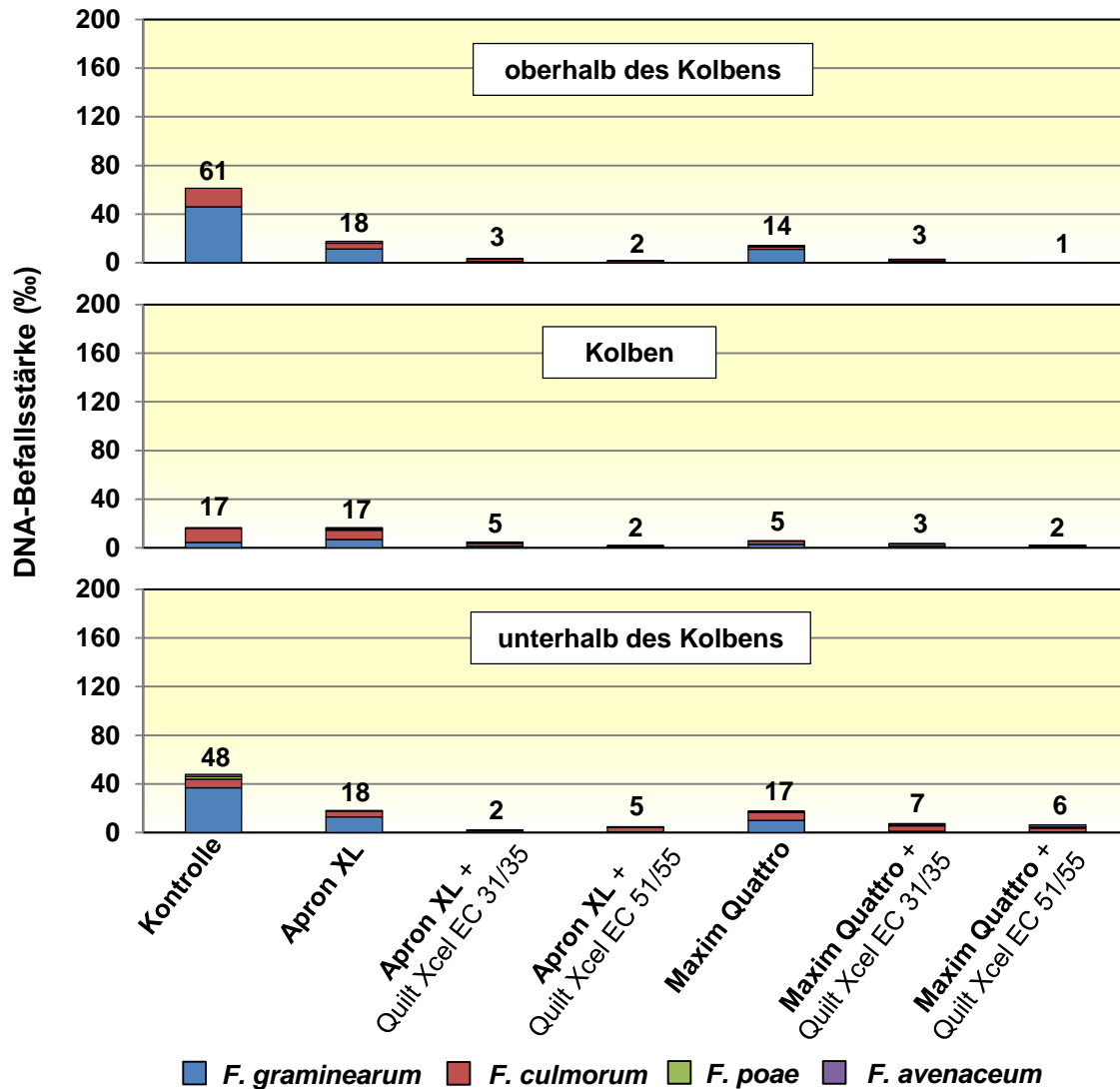


Abb. 47: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Das *fusarium*-spezifische Befallsgeschehen in EC 75 kann in Abbildung 48 betrachtet werden. Hierbei wird ersichtlich, dass auch nach der Blüte die unbehandelte Kontrollvariante am stärksten befallen war. Ferner konnte in dieser und ebenfalls in der Apron[®]XL gebeizten Variante in den Fraktionen unterhalb und oberhalb des Kolbens eine weitere starke Zunahme von *F. culmorum* und zusätzlich ein Anstieg von *F. avenaceum* oberhalb des Kolbens dokumentiert werden. Im Vergleich zu EC 65 konnte in diesem Probestern vor allem unterhalb des Kolbens auch in den zu EC 35 behandelten Varianten eine erhöhte DNA-Befallsstärke nachgewiesen werden. Insgesamt erzielten in beiden Beizvarianten, in Übereinstimmung mit dem Versuchsjahr 2013, die späten

Fungizidapplikationen vor der Blüte (EC 55) gefolgt von der Applikation zur Blüte (EC 65) die niedrigsten DNA-Befallsstärken. Die Kombination aus Apron[®]XL sowie Maxim[®]Quattro mit Quilt[®]Xcel in EC 65 reduzierte den Befall in der Sorte NK Nekta um 92 %. Weiterhin war das Befallsniveau der Pflanzenfraktion Kolben in allen Varianten sehr gering (Anhangtab IV).

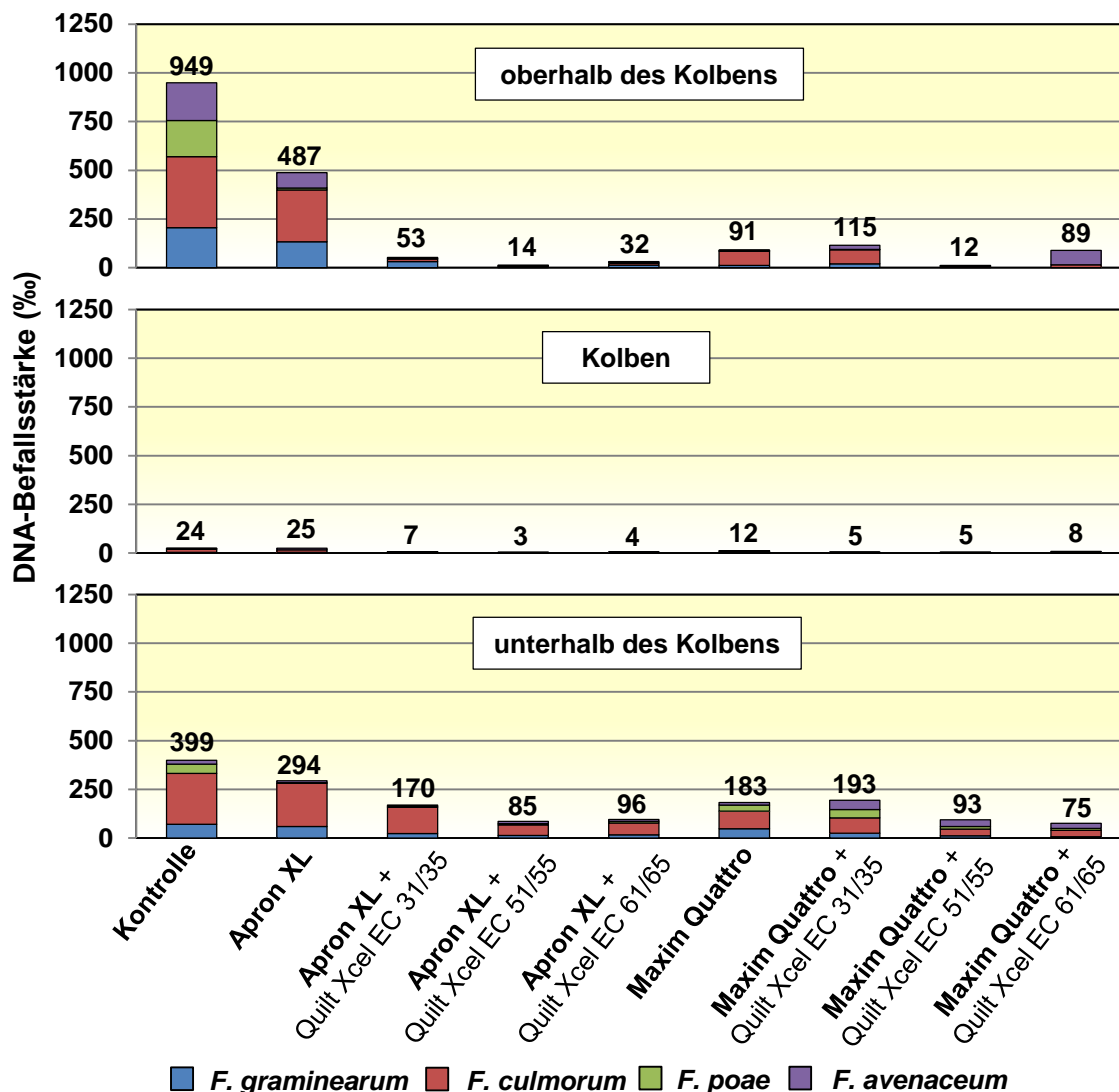


Abb. 48: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der nachfolgenden Abbildung 49 wird das Befallsgeschehen der *Fusarium*-Arten des ersten Probetermins (EC 35) der Sorte **Multitop** abgebildet. In allen Varianten stellten *F. culmorum* gefolgt von *F. avenaceum* die dominierenden Arten dar, wobei *F. culmorum*

in der Kontrolle sowie in der Apron[®]XL gebeizten Variante und *F. avenaceum* hauptsächlich in der Maxim[®]Quattro-Variante vertreten war. Daneben konnte *F. poae* mit sehr geringen Werten ermittelt werden. Weiter zeigte die unbehandelte Kontrolle mit einer DNA-Befallsstärke von 39 ‰ in der Gesamtpflanze den höchsten Befall. Diesen Wert reduzierten die Fungizidbeizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro um 59 bzw. 72 %. Insgesamt lag die in EC 35 dokumentierte Befallsstärke der Gesamtpflanze in der unbehandelten Kontrolle der Sorte Multitop, auf einem um 46 % geringeren Niveau im Vergleich zur Sorte NK Nekta (21 ‰) am Standort Hohenschulen

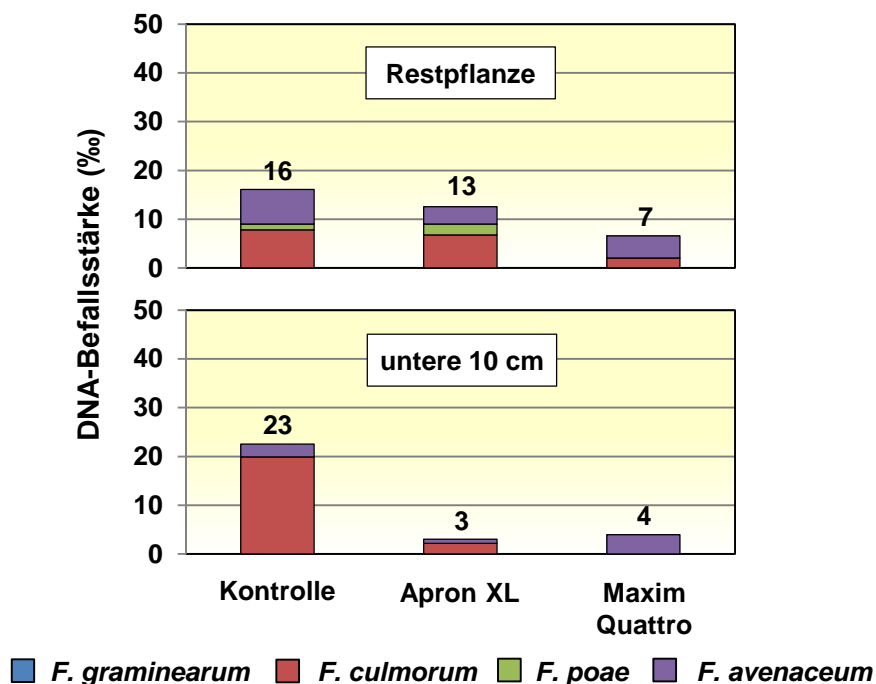


Abb.49: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Identisch zur Sorte NK Nekta konnte in dem Entwicklungsstadium EC 65 in der Sorte Multitop ebenfalls eine deutliche Zunahme von *F. graminearum* verzeichnet werden. Bezogen auf den Gesamtbefall waren auch hier die DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* die dominierenden *Fusarium*-Arten. In Übereinstimmung mit dem vorherigen Probetermin konnten in allen Pflanzenfraktionen zu EC 65 in der unbehandelten Kontrollvariante die höchsten *Fusarium*-Befallsintensitäten mit einem Gesamt-*Fusarium*-Befall von 372 ‰ ermittelt werden. Weiter konnte in der unbehandelten Kontrolle und in den lediglich gebeizten Varianten, hauptsächlich oberhalb

des Kolbens und in der Kolbenfraktion, ein Anstieg von *F. graminearum* nachgewiesen werden. Die Kombinationsvarianten aus Saatgutbeize und Quilt®Xcel in EC 35 bzw. EC 55 wiesen die geringsten DNA-Befallsstärken auf. Dabei führten im Mittel der Varianten die Behandlungen in EC 35 sowie EC 55 oberhalb des Kolbens zu einer Reduktion von 74 bzw. 82 % sowie unterhalb des Kolbens von 59 bzw. 71 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante. Insbesondere die Varianten Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 35 und EC 55 erzielten eine Reduktion der DNA-Befallsstärke der Gesamtpflanze um 76 bzw. 87 % (Abb. 50).

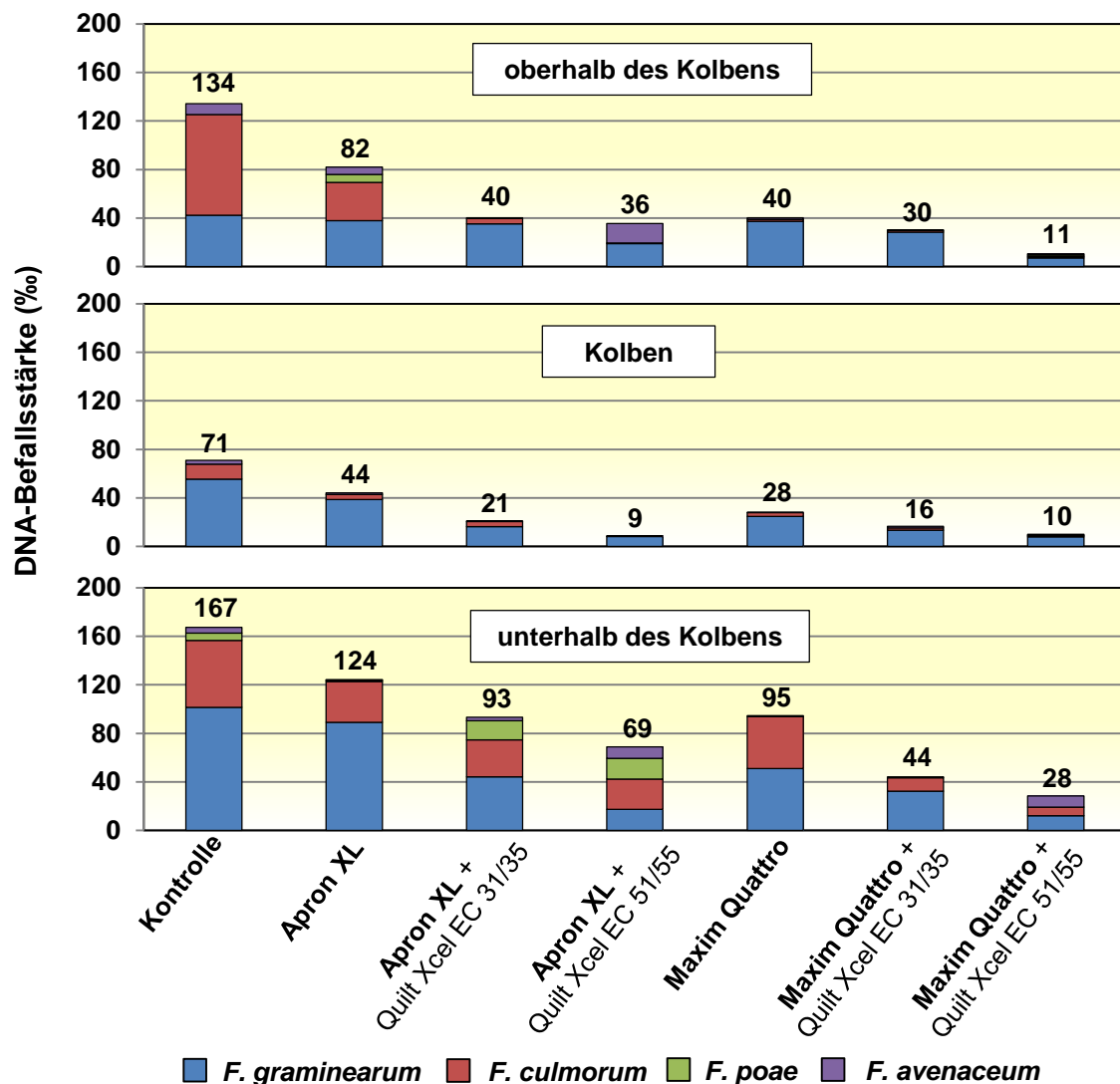


Abb. 50: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4. Ergebnisse

Die Abbildung 51 zeigt, dass verglichen mit dem vorigen Probetermin in EC 75 ein deutlicher Anstieg der DNA-Befallsstärke besonders in der oberen und unteren Pflanzenfraktion detektiert werden konnte. Die höchste *Fusarium*-Befallsintensität wurde in der unbehandelten Kontrollvariante mit 2192 ‰ ermittelt und lag somit deutlich über dem Befallsniveau der mit Fungiziden behandelten Varianten.

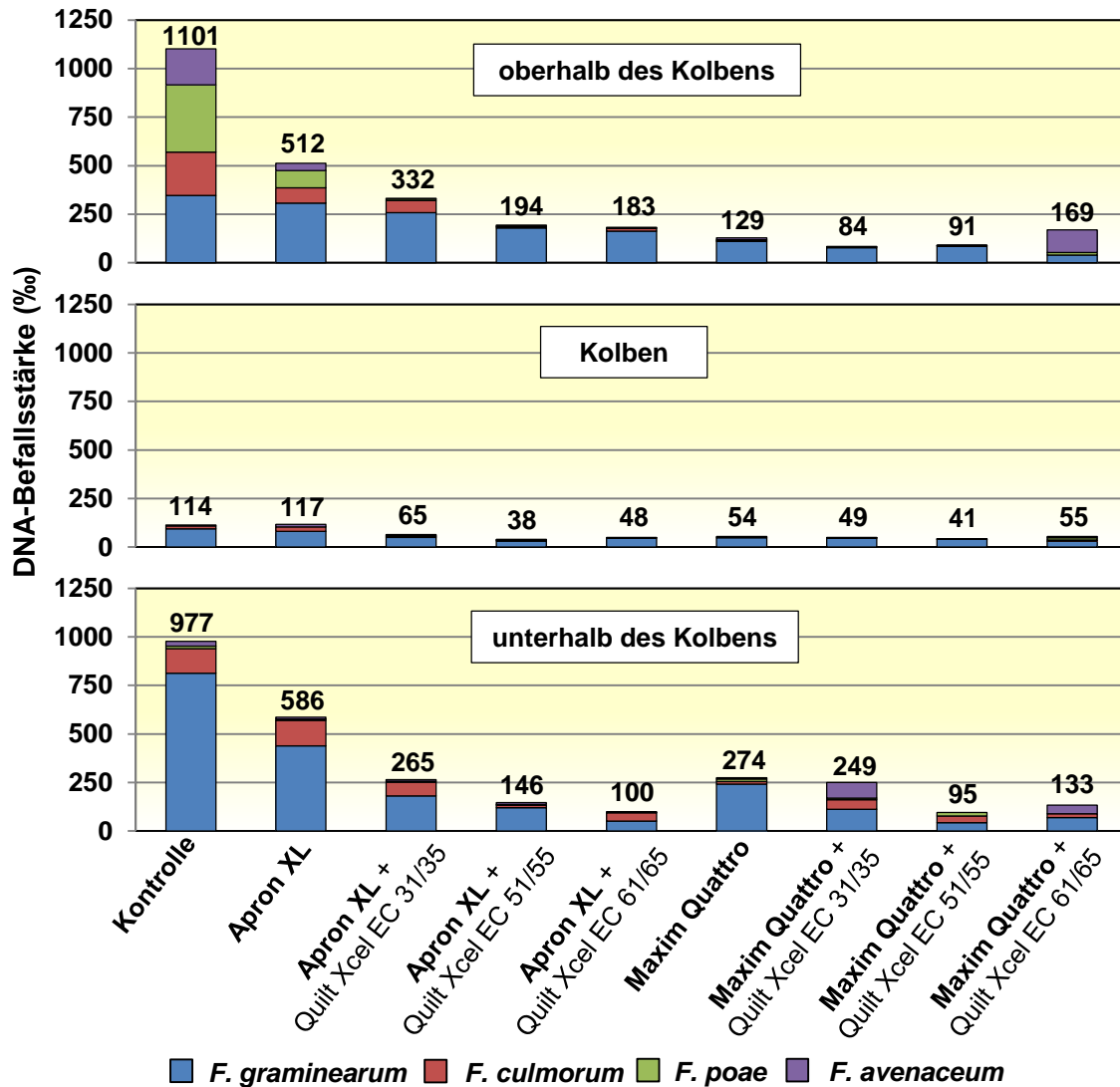


Abb. 51: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Außerdem konnte in der Kontrolle in der oberen Fraktion ein Anstieg von *F. poae* nachgewiesen werden. Ferner blieben, bezogen auf den Gesamtbefall, die DON- und ZEA-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum* die dominierenden Arten

(Anhangtab. V). In Übereinstimmung mit der Vergleichsorte NK Nekta am Standort Hohenschulen erzielten beide Saatgutbehandlungen in Kombination mit einer späten Fungizidapplikation (EC 55 / EC 65) die niedrigsten DNA-Befallsstärken. Dabei reduzierte die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 den Befall im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante mit 90 % am erfolgreichsten.

4.4.1.4 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

In diesem Kapitel werden die im Silomaisererntegut detektierten *Fusarium*-Arten sowie Mykotoxinbelastungen in Abhängigkeit der verschiedenen Fungizidstrategien am Versuchsstandort Hohenschulen der Sorten NK Nekta und Multitop aus dem Versuchsjahr 2014 nacheinander vorgestellt. Mittels qPCR wurde das qualitative und quantitative Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. equiseti* und *F. tricinctum* untersucht.

In der Sorte **NK Nekta** konnten alle sechs *Fusarium*-Arten in den Silomaisernteproben nachgewiesen werden. Im Vergleich zum Vorjahr konnten in 2014 deutlich stärkere Befallswerte ermittelt werden. Mit einer DNA-Befallsstärke von 1973 ‰ wies die Kontrollvariante den stärksten Befall auf. In dieser Variante traten *F. culmorum*, *F. equiseti* und *F. graminearum* als dominierende Arten auf. Die Befallsintensität der Arten *F. avenaceum* und *F. tricinctum* war hingegen in allen Varianten sehr gering. In allen mit Fungiziden behandelten Varianten konnte eine deutliche Reduktion des Befalls nachgewiesen werden. In den Apron[®]XL gebeizten Varianten konnte die DNA-Befallsstärke, vor allem in Kombination mit Quilt[®]Xcel in EC 55, um 71 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduziert werden. Die besten Reduktionen erzielte jedoch die Gruppe der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten. Dabei führte eine alleinige Saatgutbehandlung, unter Ausnahme von *F. graminearum*, zu einer starken Eindämmung der *Fusarium*-Arten und reduzierte die DNA-Befallsstärke somit um 77 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Insbesondere die Kombination mit Quilt[®]Xcel in EC 35 und EC 55 erzielte eine Reduktion der DNA-Befallsstärke um 89 bzw. 91 % (Abb. 52).

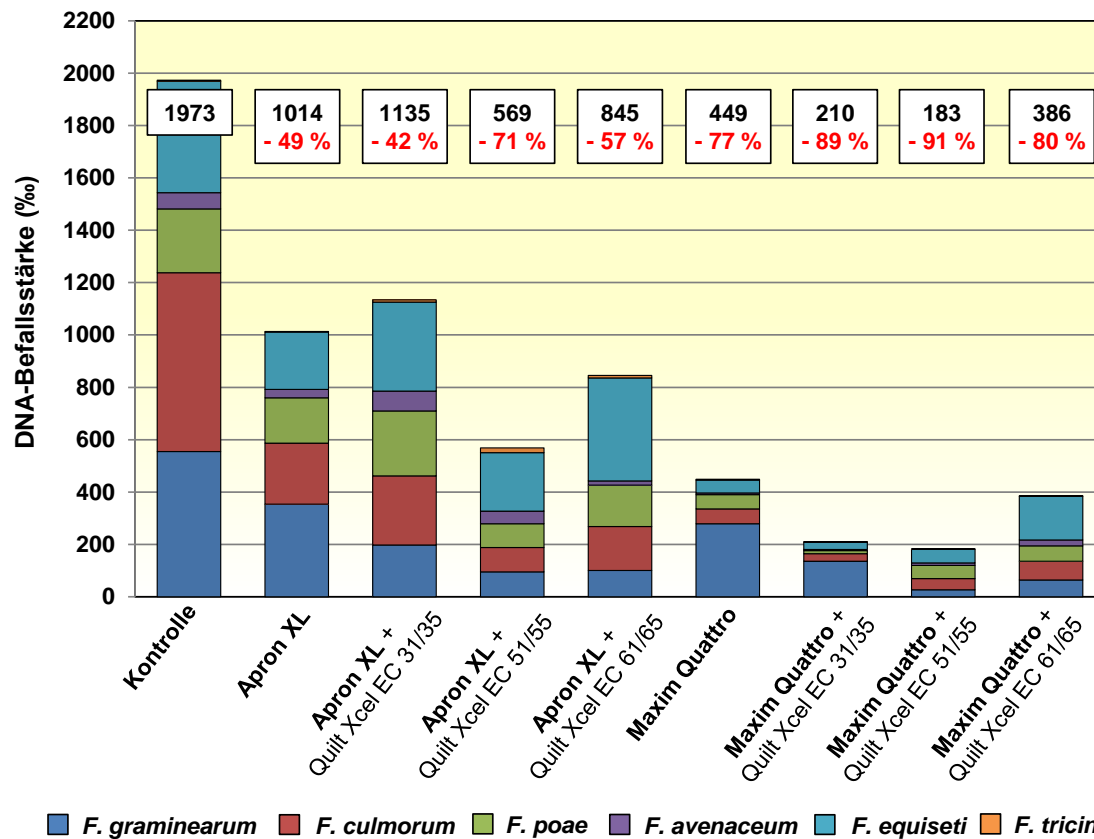


Abb. 52: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die Tabelle 42 zeigt die in den Silomaisproben der Sorte NK Nekta analysierten DON- und ZEA-Gehalte. Es wird ersichtlich, dass in allen untersuchten Varianten das B-Trichotheceen DON sowie das Mykotoxin ZEA nachgewiesen werden. Eine Mykotoxinbelastung mit den A-Trichotheceene T2 und HT2 wurde dagegen nicht festgestellt. Die höchsten Werte wurden in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem DON-Gehalt von $1062 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und einem ZEA-Gehalt von $445 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ festgestellt. Mit diesem Gehalt an ZEA war dies die einzige Variante der Sorte NK Nekta, welche am Standort Hohenschulen den EU-Richtwert für ZEA ($500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) annähernd erreichte. Der EU-Richtwert für DON ($5000 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) wurde in keiner Versuchsvariante überschritten. Im Vergleich zum Versuchsjahr 2013 konnte hier in der Sorte NK Nekta eine um 24 bzw 35 % niedrigere DON- bzw. ZEA-Belastung detektiert werden. Dennoch konnten alle Fungizidbehandlungen eine Reduktion der Mykotoxinbelastungen erzielen. Die Varianten Apron®XL + Quilt®Xcel in EC 55 (65 %) und EC 65 (68 %) sowie Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 (66 %) konnten den DON-

Gehalt am erfolgreichsten reduzieren. Außerdem reduzierten die mit Apron®XL bzw. Maxim®Quattro gebeizten Varianten in Kombination mit Quilt®Xcel in EC 55 den ZEA-Gehalt um 79 bzw. 83 % sowie in EC 65 um 84 bzw. 80 %. Ferner konnten am Versuchsstandort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta keine statistisch signifikanten Unterschiede im Mykotoxingehalt festgestellt werden.

Tab. 42: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 1061,59 | a | 444,81 | a |
| Apron XL | 744,35 | a | 145,33 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 580,11 | a | 194,63 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 370,50 | a | 94,23 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 336,81 | a | 69,71 | a |
| Maxim Quattro | 702,35 | a | 212,62 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 664,13 | a | 155,70 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 362,99 | a | 73,54 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 697,59 | a | 89,77 | a |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Bei der Betrachtung der *Fusarium*-Befallsstärken in der Sorte **Multitop** wird deutlich, dass verglichen mit der Vergleichssorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen in der Kontrollvariante ähnliche Befallswerte ermittelt werden konnten. Mit einer DNA-Befallsstärke von 1992 ‰ wies die Kontrollvariante auch hier den stärksten Befall auf. Die Befallsintensität der mit Fungiziden behandelten Varianten zeigte hingegen ein höheres Befalls-Niveau auf (Abb. 53). Die DON- und ZEA-Produzenten *F. graminearum* und *F. culmorum* konnten mit Befallswerten von 1087 ‰ bzw. 266 ‰ in der unbehandelten Kontrolle sowie im Mittel der Behandlungsvarianten mit 247 ‰ bzw. 58 ‰ in allen Versuchsvarianten als dominierende Arten identifiziert werden. Dem hingegen waren die DNA-Befallsstärken der Arten *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. equiseti* und *F. tricinctum* in allen Varianten gering einzustufen. Weiter wird aus der Abbildung 53 ersichtlich, dass in allen mit Fungiziden behandelten Varianten eine Reduktion des Befalls nachgewiesen werden konnte. Dabei wurde die DNA-Befallsstärke in den Apron®XL gebeizten Varianten vor allem in Kombination mit Quilt®Xcel in EC 65 um 58 % gegenüber der unbehandelten

4. Ergebnisse

Kontrolle reduziert. Die stärksten Reduktionen erzielten jedoch auch in der Sorte Multitop die mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten. Durch die hohe Eindämmung von *F. graminearum* konnten die DNA-Befallsstärken verglichen mit der Kontrollvariante um 58 % in der Maxim[®]Quattro Variante, in Kombination mit einer Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel in EC 55 sogar um 70 %, reduziert werden.

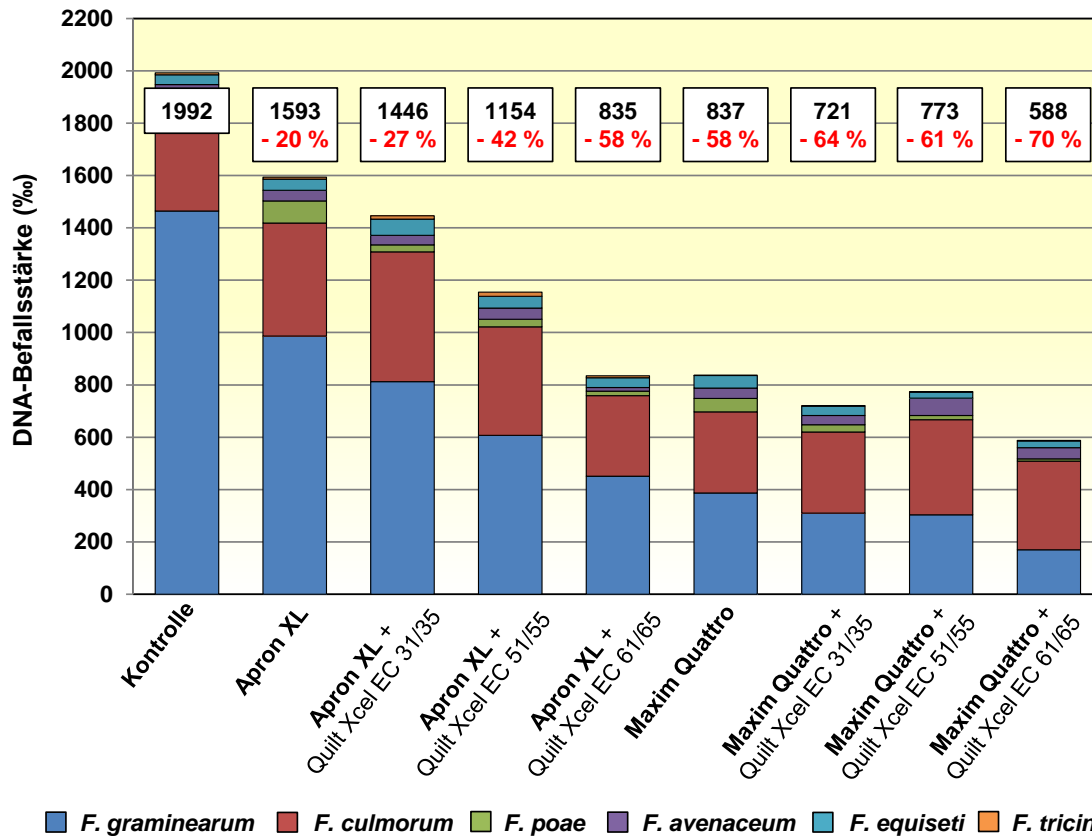


Abb. 53: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die in den Silomaisproben der Sorte Multitop am Versuchsstandort Hohenschulen mittels LC/MS analysierten DON- und ZEA-Gehalte werden in der folgenden Tabelle 43 aufgelistet. In allen Versuchsvarianten konnte dabei das B-Trichotheceen DON sowie das Mykotoxin ZEA nachgewiesen werden. Die A-Trichotheceene T2 und HT2 wurden dagegen nicht festgestellt.

Tab. 43: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte Multitop am Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 1053,78 | a | 721,96 | a |
| Apron XL | 588,09 | a | 55,43 | b |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 323,43 | a | 74,56 | b |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 178,71 | a | 39,70 | b |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 45,47 | a | 32,60 | b |
| Maxim Quattro | 706,62 | a | 50,65 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 417,17 | a | 73,13 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 235,61 | a | 48,01 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 142,19 | a | 18,55 | b |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Auch in der Sorte Multitop wurde in der unbehandelten Kontrolle die höchste Mykotoxinbelastung detektiert, dabei konnte ein DON-Gehalt von $1054 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und ein ZEA-Gehalt von $721 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ gemessen werden. Dies entspricht dem Niveau der DON-Belastung in der Kontrollvariante der Vergleichssorte NK Nekta ($1062 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$), wohingegen der ZEA-Gehalt um 38 % höher ausfiel. Mit dieser ZEA-Belastung war dies die einzige Variante, welche den EU-Richtwert für ZEA ($500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) überschritt. Des Weiteren erzielten alle untersuchten Fungizidbehandlungen eine deutliche Reduktion der Mykotoxinbelastungen. Besonders der ZEA-Gehalt mit Werten von 19 bis $75 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ konnte in allen Behandlungsvarianten signifikant verringert werden und somit im Mittel der Varianten die ZEA-Belastung um 94 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante reduziert werden. Die Varianten aus der Kombination einer Fungizidbeizung und späten Fungizidapplikationen Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 (83 %) und EC 65 (96 %) sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 (78 %) und EC 65 (87 %) konnten den DON-Gehalt am erfolgreichsten reduzieren. Hinsichtlich der Reduzierung des DON-Gehaltes wiesen die Versuchsvarianten keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

4.4.1.5 Silomais TM-Erträge

Um die Ertragswirksamkeit der verschiedenen Fungizidstrategien im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante ableiten zu können, wurden aus den Silomaisproben der Sorten NK Nekta und Multitop am Standort Hohenschulen die TM-Erträge ermittelt. Der

TM-Ertrag der einzelnen Varianten entspricht dabei dem Mittel der Wiederholungen A bis D. Die im Versuchsjahr 2014 am Standort Hohenschulen erfassten Ertragsergebnisse werden in den Tabellen 44 und 45 dargestellt.

In der Sorte **NK Nekta** beliefen sich die TM-Erträge im Mittel aller Versuchsvarianten auf 199,2 dt ha⁻¹ und lagen somit 17 % über dem Ertragsdurchschnitt am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2013. Mit 188,7 dt ha⁻¹ erzielte die in EC 35 mit Quilt®Xcel behandelte Variante der Apron®XL-Gruppe das niedrigste Ergebnis und die Variante Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 mit 206,9 dt ha⁻¹ das Höchste. Des Weiteren wiesen, bis auf die lediglich gebeizte Variante (196,5 dt ha⁻¹), alle Versuchsglieder der Apron®XL-Gruppe geringere TM-Erträge gegenüber der unbehandelten Kontrolle (194,6 dt ha⁻¹) auf. Im Gegensatz dazu lagen die Ertragsergebnisse mit einem Durchschnittsertrag von 206,6 dt ha⁻¹ aller Varianten der Maxim®Quattro-Gruppe über dem der Kontrollvariante. Hinsichtlich der TM-Werte konnten in der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tab. 44).

Tab. 44: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 194,6 | a | |
| Apron XL | 196,5 | a | + 1,9 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 188,7 | a | - 5,9 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 193,2 | a | - 1,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 193,4 | a | - 1,2 |
| Maxim Quattro | 206,3 | a | + 11,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 205,5 | a | + 10,9 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 206,9 | a | + 12,3 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 207,8 | a | + 13,2 |

* 100 % TM

Die Tabelle 45 zeigt die TM-Erträge der verschiedenen Varianten des Versuchsstandortes Hohenschulen in der Sorte **Multitop** aus dem Jahr 2014. Im Mittel aller Varianten betrug

das Ertragsergebnis 230,0 dt ha⁻¹ und lag somit 15 % über dem Ertragsdurchschnitt der Vergleichssorte NK Nekta sowie 26 % über dem der Sorte Multitop aus dem Versuchsjahr 2013. Gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante (224,6 dt ha⁻¹) erzielten, mit Ausnahme der Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 35 (224,4 dt ha⁻¹), alle Behandlungsvarianten höhere TM-Erträge. Es konnten jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tab. 45: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 224,6 | a | |
| Apron XL | 235,2 | a | + 10,6 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 232,7 | a | + 8,1 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 228,9 | a | + 4,3 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 230,0 | a | + 5,4 |
| Maxim Quattro | 228,8 | a | + 4,2 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 224,4 | a | - 0,2 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 228,7 | a | + 4,1 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 236,8 | a | + 12,2 |

* 100 % TM

4.4.2 Versuchsstandort: Brockum (NS, Sorte NK Nekta)

Der Versuchsstandort in Brockum, gekennzeichnet durch Mais-Monokultur und Minimalbodenbearbeitung, wurde einmalig im Jahr 2014 mit der Sorte NK Nekta im Rahmen dieser Untersuchungen genutzt.

4.4.2.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge

Am Standort Brockum wurde 28 Tage nach der Aussaat das Auflaufverhalten der Maispflanzen untersucht. Der Einfluss der Fungizidbeizen (Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m⁻² im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle kann in Tabelle 46 betrachtet werden. Auch am Versuchsstandort Brockum erzielte die Beize Maxim[®]Quattro hinsichtlich der Bestandesdichte einen signifikanten Vorteil. Mit 11,7 Pflanzen m⁻² erbrachte diese Variante eine Erhöhung der Bestandesdichte um 10 % im Vergleich zur Apron[®]XL-Beize (10,6 Pflanzen m⁻²) und um 22 % gegenüber der

4. Ergebnisse

unbehandelten Kontrolle (9,1 Pflanzen m⁻²). Im Gegensatz zu den vorigen Versuchsjahren und Standorten konnte im niedersächsischen Brockum durch die Saatgutbeize Apron[®]XL ebenfalls eine signifikante Verbesserung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erreicht werden. Mit 10,6 Pflanzen m⁻² lag die Apron[®]XL gebeizte Variante 14 % über der Bestandesdichte der unbehandelten Kontrollvariante.

Tab. 46: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m⁻²) 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m ⁻²) | |
|---------------|------------|---|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 28 TnA | 9,1 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 10,6 | b |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 11,7 | c |

In der Tabelle 47 findet der Einfluss der Saatgutbeizen und Fungizidapplikationen auf das Pflanzenwachstum am Versuchsstandort Brockum Darstellung. Hier wurde wie zuvor die Pflanzenhöhe zu EC 75 der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrollvariante als weiterer Indikator für die Bestandesentwicklung erfasst.

Tab. 47: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 2,91 | a |
| Apron XL | 2,97 | ab |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 3,09 | ac |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 3,03 | abc |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 3,01 | abc |
| Maxim Quattro | 3,04 | bc |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 3,09 | bc |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 3,05 | bc |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 3,00 | b |

Aus Tabelle 47 ist zu erkennen, dass die Pflanzenlängen am Versuchsstandort Brockum höher als am Vergleichsstandort Hohenschulen waren. Auch hier wurde im Vergleich der Sorte NK Nekta mit dem Standort Hohenschulen in der unbehandelten Kontrollvariante (2,91 m) die niedrigste Pflanzenlänge erfasst. Ferner konnten in den mit Maxim[®]Quattro sowie Apron[®]XL gebeizten Varianten und zusätzlicher Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel in EC 35 die größten Pflanzenlängen (3,09 m) dokumentiert werden. Des Weiteren erzielten die Beizvarianten mit Maxim[®]Quattro durchweg eine signifikante Verbesserung hinsichtlich der Pflanzenhöhe im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante.

4.4.2.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

Die am Versuchsstandort Brockum dokumentierten Boniturdaten in EC 75 werden in Abbildung 54 dargestellt. Die Nekrotisierungsgrade aller Varianten waren in dem unteren Bereich am höchsten und lagen im Mittel bei 17 %. Im Vergleich zum Standort Hohenschulen wurde mit 45 % nicht in der unbehandelten Kontrolle die höchste Nekrotisierung, sondern in den mit Maxim[®]Quattro gebeizten und mit Quilt[®]Xcel in EC 65 (57 %) und EC 55 (49 %) behandelten Varianten festgestellt. Die Varianten, die ausschließlich mit der Saatgutbeize Apron[®]XL oder Maxim[®]Quattro behandelt wurden, konnten keine Vorteile gegenüber der Kontrolle erzielen. Die niedrigsten Nekrotisierungsgrade erreichten die mit Apron[®]XL gebeizten und mit Quilt[®]Xcel kombinierten Varianten in der Reihenfolge EC 65 mit 40 % sowie EC 35 und EC 55 mit 41 %. Bei Gegenüberstellung der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten und der unbehandelten Kontrollvariante konnte nur in Kombination mit Quilt[®]Xcel in EC 35 eine Verbesserung um 2 % erzielt werden. In dem mittleren Bereich (L-2, L-1, L0, L1, L2) und dem oberen Bereich wurden Nekrotisierungsgrade von 5 % bzw. 3 % nicht überschritten. Zwischen den Varianten konnte in diesen Fraktionen kein Unterschied festgestellt werden. Ferner konnten auch am Standort Brockum die Blattpathogene *K. zeae* und *P. zeae-maydis* ermittelt werden. Die BSB-Werte waren hingegen noch geringer als am Versuchsstandort Hohenschulen. Wieder wies die unbehandelte Kontrolle in dem oberen Drittel mit einer BSB von 2 % für *K. zeae* und 2 % für *P. zeae-maydis* die meisten erregerspezifischen Blattflecken auf. Die behandelten Varianten wiesen mit 1 % für *K. zeae* und 1 % für *P. zeae-maydis* im Mittel eine vergleichbare, jedoch geringere Befallsstärke auf.

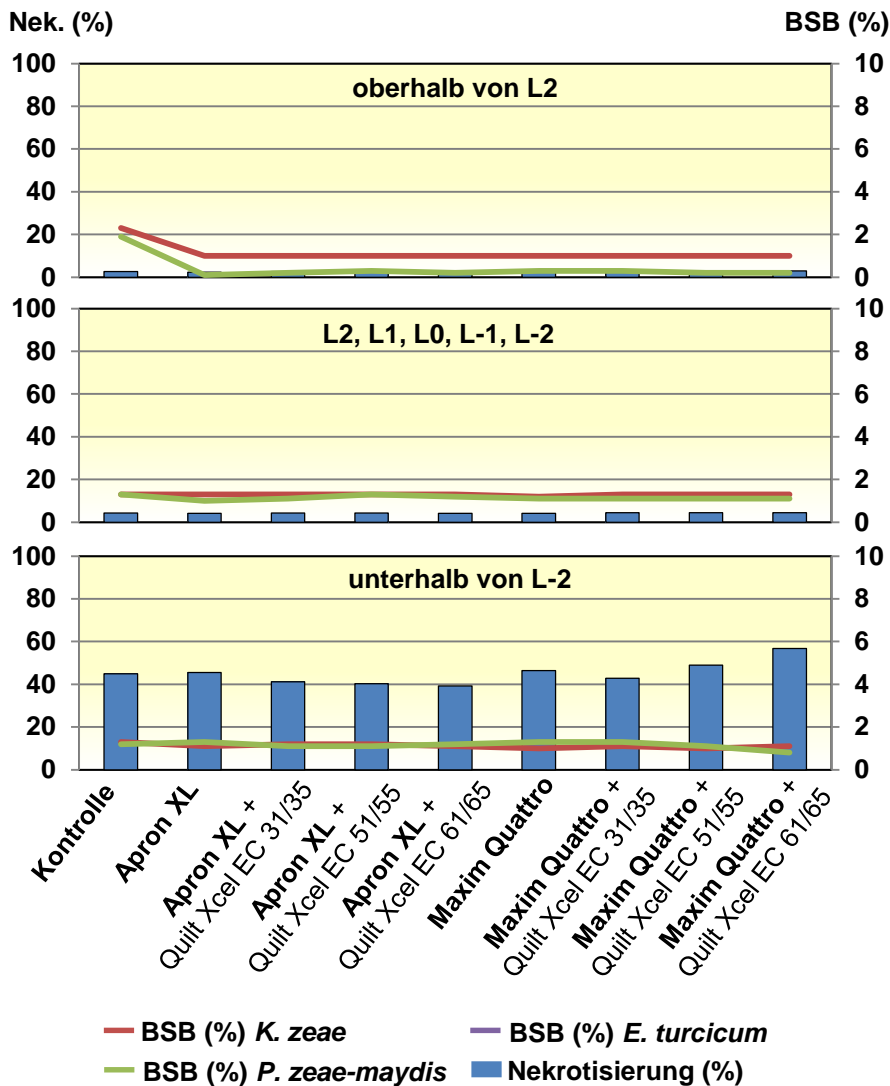


Abb. 54: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4.4.2.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation

Auch am niedersächsischen Versuchsstandort Brockum wurde das Auftreten sowie die entsprechenden DNA-Befallsstärken von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation 2014 untersucht. Im Pflanzenmaterial des ersten Probetermins in EC 35 stellten in allen Varianten *F. culmorum*, gefolgt von *F. avenaceum* die dominierenden Arten dar, wobei *F. culmorum* in beiden Pflanzenfraktionen und *F. avenaceum* hauptsächlich in der Restpflanze vertreten war. Daneben konnten *F. graminearum* und *F. poae* in sehr geringen Teilen ermittelt werden. Mit einer DNA-Befallsstärke von 9‰ in der Gesamtpflanze zeigte die unbehandelte Kontrolle die höchsten Werte. Die Beizen

Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro reduzierten diesen Wert um 56 bzw. 78 % (Abb. 55). Ferner lag die in EC 35 dokumentierte Befallsstärke der Gesamtpflanze, in der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nekta am Standort Brockum, mit 9 ‰ auf einem um 57 % geringeren Niveau im Vergleich zur gleichen Sorte am Versuchsstandort Hohenschulen.

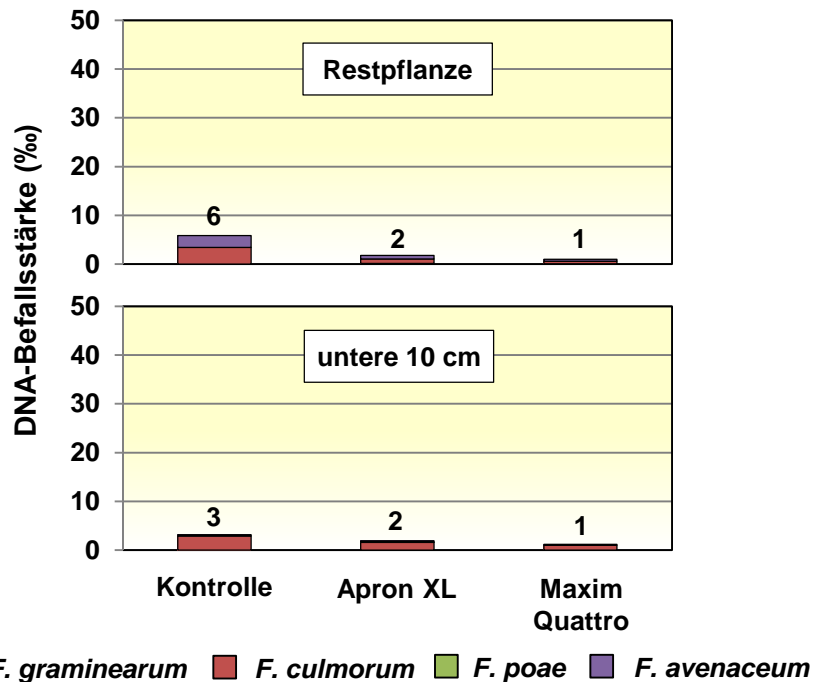


Abb. 55: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Aus der Abbildung 56 wird deutlich, dass wie bei dem vorherigen Probetermin in allen Pflanzenfraktionen zu EC 65 in der unbehandelten Kontrollvariante die höchsten *Fusarium*-Befallsintensitäten mit einem Gesamtbefall von 97 ‰ ermittelt werden konnten. Außerdem blieben *F. culmorum* sowie *F. avenaceum* die dominierenden Arten. Ein Befall der Pflanzenfraktion Kolben belief sich auf einem sehr geringen Niveau. Ferner konnte in der unbehandelten Kontrolle sowie in den lediglich gebeizten Varianten hauptsächlich oberhalb des Kolbens ein Anstieg von *F. graminearum* nachgewiesen werden. In Übereinstimmung mit dem Versuchsstandort Hohenschulen wiesen auch am Versuchsstandort Brockum die zusätzlich zu EC 35 und EC 55 mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten beider Saatgutbeizen die geringsten DNA-Befallsstärken auf. Im Mittel der Varianten führten die Fungizidbehandlungen in EC 35 sowie EC 55 oberhalb des Kolbens

4. Ergebnisse

zu einer Reduktion von 81 bzw. 87 % und unterhalb des Kolbens von 96 bzw. 98 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

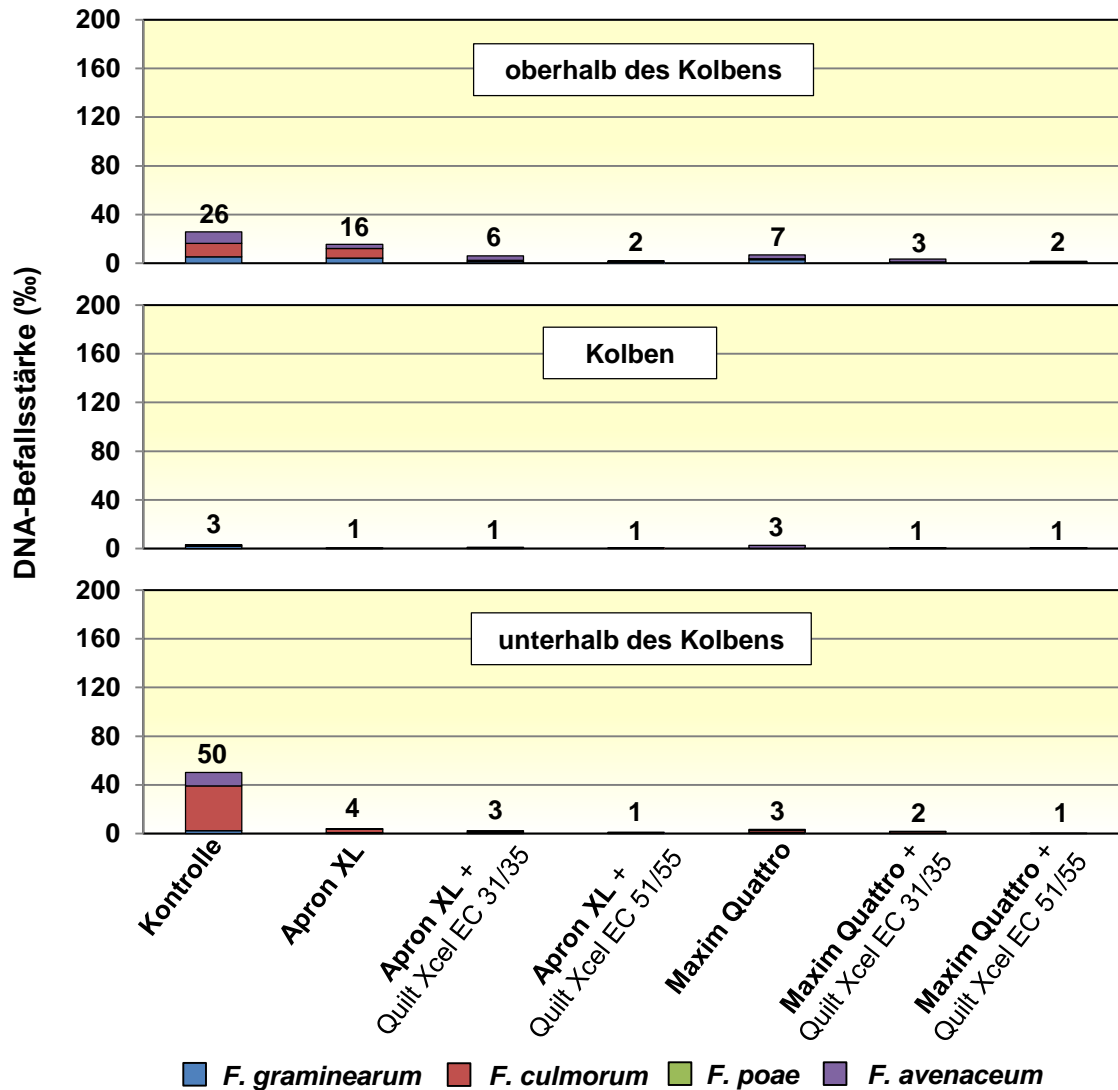


Abb. 56: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die nachfolgende Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse aus dem Probenmaterial des Entwicklungsstadiums EC 75. Auch in diesem Stadium war die unbehandelte Kontrolle die am stärksten mit *Fusarium* spp. befallene Variante. Verglichen mit dem Entwicklungsstadium EC 65 ist das Niveau der DNA-Befallsstärke von *F. graminearum* weiter gestiegen, sodass diese als dominierende Art identifiziert werden konnte. Die Pflanzenfraktion Kolben wies auch hier in allen Varianten ein sehr geringes Befallsniveau auf (Anhangtab. VI) Zusätzlich konnte zu diesem Probetermin eine allgemeine

Befallszunahme in den ausschließlich gebeizten und in den zu EC 35 behandelten Varianten dokumentiert werden. Ähnlich wie am Standort Hohenschulen führten die Kombinationen aus Maxim[®]Quattro mit einer späten Fungizidapplikation zu EC 55 oder EC 65 sowie Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel zu EC 55 zu den größten Befallsreduktionen.

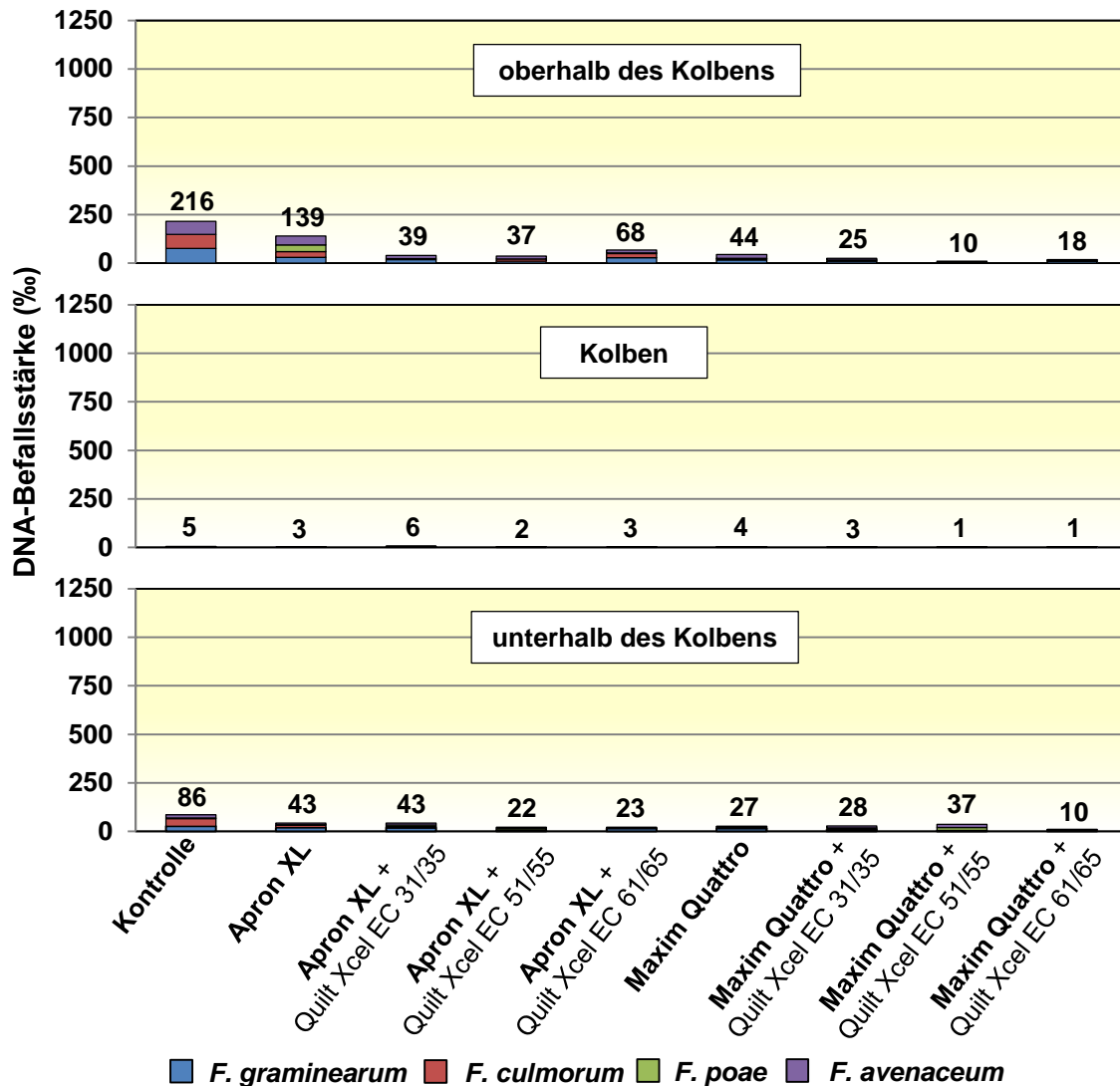


Abb. 57: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Brockum im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4.4.2.4 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

Aus der Abbildung 58 wird deutlich, dass der niedersächsische Versuchsstandort Brockum verglichen mit dem Versuchsstandort Hohenschulen im Jahr 2014 einen etwas schwächeren *Fusarium*-Befall aufwies, was durch die Gesamt-*Fusarium*-Befallsstärke von

4. Ergebnisse

1437 ‰ in der unbehandelten Kontrollvariante dokumentiert wird. Im Vergleich zur Sorte NK Nekta am Standort Hohenschulen war *F. graminearum* mit einer DNA-Befallsstärke von 1087 ‰ die eindeutig dominierende Art dieser Variante. Auch konnte in allen Behandlungsvarianten, bis auf die zu EC 55 behandelte Maxim®Quattro Variante, *F. graminearum* als dominierende Art detektiert werden. Der Befall von *F. culmorum* war mit einem Wert in Höhe von 266 ‰ lediglich in der unbehandelten Kontrolle auffällig. *F. poae* variierte innerhalb der Varianten in einem Bereich von 40,6 in der Kontrolle bis 221 ‰ in der Variante Apron®XL + Quilt®Xcel in EC 55. Die *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. tricinctum* und *F. equiseti* traten in nur geringeren Befallsstärken auf. Durch die Kombinationen der jeweiligen Saatgutbehandlung (Apron®XL und Maxim®Quattro) mit Quilt®Xcel in EC 55 und EC 65 konnte das allgemeine *Fusarium*-Befallsgeschehen und vor allem ein Befall mit *F. graminearum* mit einer Reduktion im Mittel von 69 %, am effektivsten kontrolliert werden.

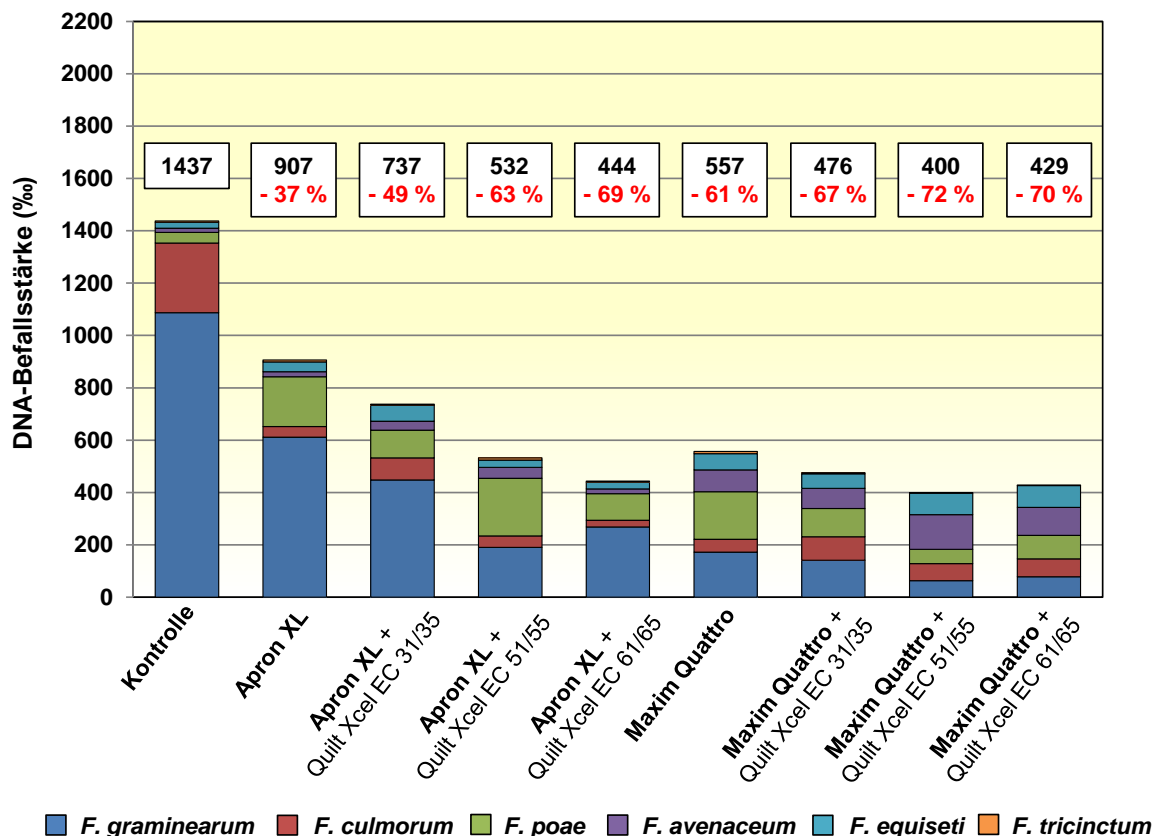


Abb. 58: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Silomais am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4. Ergebnisse

Die mittels LC/MS ermittelten DON- und ZEA-Gehalte aus den Silomaisproben des Versuchsstandortes Brockum werden in der folgenden Tabelle 48 dargestellt. Die analysierten Proben wiesen Kontaminationen mit den Mykotoxinen DON und ZEA auf, wohingegen die A-Trichothecene T2 und HT2 nicht detektiert werden konnten.

Tab. 48: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Silomais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Brockum im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 1192,83 | a | 424,86 | a |
| Apron XL | 794,19 | a | 191,34 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 720,81 | a | 255,09 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 484,87 | a | 94,51 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 577,16 | a | 93,33 | a |
| Maxim Quattro | 988,72 | a | 235,50 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 763,07 | a | 312,24 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 629,86 | a | 62,37 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 817,71 | a | 78,99 | a |

* EU-Richtwert: $5000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert: $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

In Übereinstimmung des Versuchsstandortes Hohenschulen wies auch am Versuchsstandort Brockum die unbehandelte Kontrolle die höchste Mykotoxinbelastung auf. Während in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem Gehalt von $425 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ der EU-Richtwert für ZEA annähernd erreicht wurde, lag der DON-Gehalt mit $1193 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ deutlich unter dem EU-Richtwert. Aus der Tabelle 48 wird ersichtlich, dass die Belastungen beider Mykotoxine durch die unterschiedlichen fungiziden Behandlungsmaßnahmen reduziert wurden. Hinsichtlich der Reduzierung des DON-Gehaltes zeigten die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 (59 %) und EC 65 (52 %) sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 (47 %) die beste Wirkung auf. Des Weiteren konnten die zuletzt genannten Fungizidstrategien und zusätzlich die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit Werten von 62 bis $95 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ die geringsten ZEA-Gehalte erzielen und so im Mittel die ZEA-Belastung um 81 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante reduzieren. Am Versuchsstandort Brockum konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede im DON- bzw. ZEA-Gehalt festgestellt werden.

4.4.2.5 Silomais TM-Erträge

In Tabelle 49 finden die TM-Erträge der verschiedenen Behandlungsvarianten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle des Versuchsstandortes Brockum aus dem Jahr 2014 Darstellung. Im Mittel aller Varianten betrug das Ertragsergebnis 240,3 dt ha⁻¹ und lag somit 21 % über dem Ertragsdurchschnitt der Sorte NK Nekta des Vergleichsstandortes Hohenschulen.

Tab. 49: TM-Erträge der Silomaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Brockum im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 212,6 | a | |
| Apron XL | 228,9 | a | + 16,3 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 233,3 | a | + 20,7 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 234,6 | a | + 22,0 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 218,1 | ab | + 5,5 |
| Maxim Quattro | 247,6 | ab | + 35,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 249,4 | ab | + 36,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 253,9 | b | + 41,3 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 284,2 | ab | + 71,6 |

* 100 % TM

Das niedrigste Ergebnis lieferte mit 212,6 dt ha⁻¹ die unbehandelte Kontrolle und die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit 284,2 dt ha⁻¹ das Höchste. Innerhalb der Apron[®]XL-Gruppe wiesen die zusätzlich in EC 35 und 55 mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten mit 233,3 bzw. 234,6 dt ha⁻¹ die höchsten TM-Erträge auf. Des Weiteren erreichten die Versuchsglieder der Maxim[®]Quattro-Gruppe mit einem Durchschnittsertrag von 258,8 dt ha⁻¹ die besten Ergebnisse. Ferner wies die Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sowie den Varianten Apron[®]XL, Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 35 und Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 signifikant höhere Erträge auf.

4.4.3 Versuchsstandort: Reding (BY, Sorte NK Nekta)

Wie bereits im Jahr 2012 wurde der bayrische Versuchsstandort Reding, welcher sich durch eine Mais-Monokultur mit wendender Bodenbearbeitung auszeichnet, auch im Versuchsjahr 2014 mit der Sorte NK Nekta in die Betrachtung miteinbezogen.

4.4.3.1 Bestandesentwicklung: Auflaufverhalten und Pflanzenlänge

Die Effekte der fungiziden Saatgutbehandlungen 21 und 28 Tage nach der Aussaat auf die Anzahl aufgelaufener Pflanzen m^{-2} im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle werden in Tabelle 50 gegenübergestellt.

Tab. 50: Vergleich der Bestandesdichten (Pflanzen m^{-2}) 21 und 28 Tage nach Aussaat (TnA) der unterschiedlichen Varianten (Kontrolle, Apron[®]XL, Maxim[®]Quattro) am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Probenahme | Bestandesdichte (Pfl. m^{-2}) | |
|---------------|------------|----------------------------------|-------|
| | | MW | Sign. |
| Kontrolle | 21 TnA | 6,7 | a |
| Apron XL | 21 TnA | 7,7 | b |
| Maxim Quattro | 21 TnA | 8,2 | b |
| Kontrolle | 28 TnA | 8,2 | a |
| Apron XL | 28 TnA | 8,8 | ab |
| Maxim Quattro | 28 TnA | 8,9 | b |

Im Gegensatz zum Versuchsjahr 2012 konnte im Jahr 2014 am bayrischen Standort Reding an beiden Terminen der Auflaufbonitur ein signifikanter Vorteil der Beize Maxim[®]Quattro gegenüber der Kontrollvariante hinsichtlich der Bestandesdichte erfasst werden. Mit 8,9 Pflanzen m^{-2} erbrachte diese Variante 28 Tage nach der Aussaat eine Erhöhung der Bestandesdichte um 8 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (8,2 Pflanzen m^{-2}). In Übereinstimmung mit dem niedersächsischen Brockum erzielte die Saatgutbeize Apron[®]XL ebenfalls eine Verbesserung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Mit 8,8 Pflanzen m^{-2} konnte eine um 7 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beschrieben werden. Zwischen den Fungizidbeizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden.

Auch am Standort Reding wurde als Parameter für die Bestandesentwicklung zu EC 75 die Pflanzenhöhe der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrollvariante

erfasst. Die Tabelle 51 zeigt den Effekt der Saatgutbeizen und Fungizidapplikationen auf das Pflanzenwachstum.

Tab. 51: Vergleich der Pflanzenlängen (m) in Abhängigkeit von Saatgutbeizung und Fungizidapplikation in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | Pflanzenlänge (m) | |
|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | MW | Sign. |
| Kontrolle | 3,20 | ab |
| Apron XL | 3,30 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 3,29 | b |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 3,35 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 3,28 | a |
| Maxim Quattro | 3,18 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 3,21 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 3,19 | ab |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 3,20 | ab |

Im Vergleich zu den Versuchsstandorten im Jahr 2014 konnten am Versuchsstandort Reding die größten Pflanzenlängen dokumentiert werden. Aus der Tabelle 51 wird ersichtlich, dass hinsichtlich der Pflanzenlänge zu EC 75 zwischen den mit Fungiziden behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrolle nur geringe Unterschiede festgestellt werden konnten. So konnte nur bei Betrachtung der mittleren Pflanzenhöhe zwischen den mit Apron[®]XL (Ø 3,31 m) und Maxim[®]Quattro (Ø 3,20 m) gebeizten Varianten sowie der unbehandelten Kontrollvariante (3,20 m), eine um 0,11 m höhere Pflanzenlänge der Apron[®]XL Varianten festgestellt werden.

4.4.3.2 Boniturergebnisse der Blattpathogene in Abhängigkeit der Fungizidmaßnahmen

Am bayrischen Versuchsstandort Reding wurde ebenfalls zu EC 75 eine Drittelbonitur durchgeführt, die Ergebnisse werden in der folgenden Abbildung 59 dargestellt. In Übereinstimmung mit dem Standort Brockum wurden nicht in der unbehandelten Kontrolle die höchsten Nekrotisierungsgrade, sondern in den mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten, welche im Mittel eine Nekrotisierung von 55 % im unteren Bereich aufwiesen, festgestellt. Die Varianten, die mit der Saatgutbeize Apron[®]XL behandelt wurden, zeigten im Mittel einen Nekrotisierungsgrad von 23 % in der unteren Fraktion und so einen Vorteil gegenüber der unbehandelten Kontrolle (30 %). In dem mittleren Bereich um den

4. Ergebnisse

Hauptkolben und dem oberen Drittel wurden im Vergleich zu den schleswig-holsteinischen sowie niedersächsischen Standorten deutlich höhere Nekrotisierungsgrade festgestellt. Dabei erbrachten alle Varianten der Maxim®Quattro-Gruppe im unteren Bereich, die mit Maxim®Quattro gebeizte Variante in den beiden oberen Bereichen sowie die mit Maxim®Quattro gebeizte und mit Quilt®Xcel in EC 35 behandelte Variante im mittleren Boniturdrittel keine Verbesserung zur unbehandelten Kontrolle.

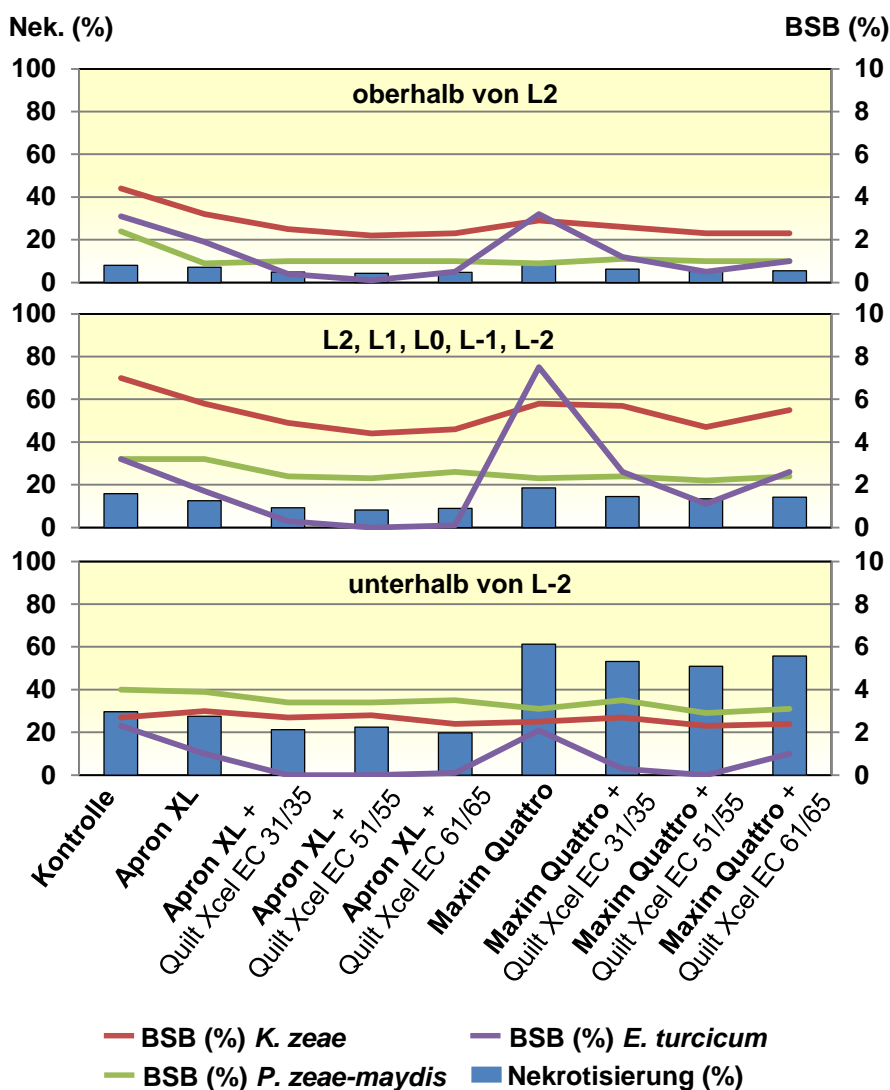


Abb. 59: Nekrotisierungsgrad (%), Befallsstärke (BSB) von *K. zeae* (%), *P. zae-maydis* (%) und *E. turcicum* (%) in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Wie aus Abbildung 59 ersichtlich wird, konnte neben den Blattpathogenen *K. zeae* und *P. zae-maydis* zu dem *E. turcicum* in allen bonitierten Varianten sowie Blattetagen auf einem niedrigen Befallsniveau am bayrischen Standort Reding dokumentiert werden.

Dabei zeigten lediglich die unbehandelte Kontrollvariante und die mit Maxim[®]Quattro gebeizte Variante den höchsten erregerspezifischen Blattbefall auf.

4.4.3.3 Auftreten von *Fusarium*-Arten über die Mais-Vegetation

In der nachstehenden Abbildung 60 wird das Befallsgeschehen der *Fusarium*-Arten in EC 35 der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Reding in 2014 dargestellt. In der Kontrollvariante konnten in den unteren 10 cm der Maispflanzen *F. avenaceum* in Höhe von 8 ‰ und im Rest der Pflanze die Arten *F. avenaceum* und *F. culmorum* mit einer DNA-Befallsstärke von 38 ‰ nachgewiesen werden. Dabei konnte *F. avenaceum* als dominierende Art detektiert werden. Im Vergleich zeigten die gebeizten Varianten in beiden Pflanzenfraktionen deutlich geringere DNA-Befallsstärken. In der Apron[®]XL gebeizten Variante konnten lediglich 1 ‰ in den unteren 10 cm und in der Restpflanze insgesamt 23 ‰ von *F. avenaceum* ermittelt werden. Die Beize Maxim[®]Quattro konnte bis zu diesem Entwicklungsstadium einen Befall in den unteren 10 cm komplett verhindern. In der Restpflanze wurde ausschließlich *F. poae* mit einer Befallsstärke von 5 ‰ gemessen.

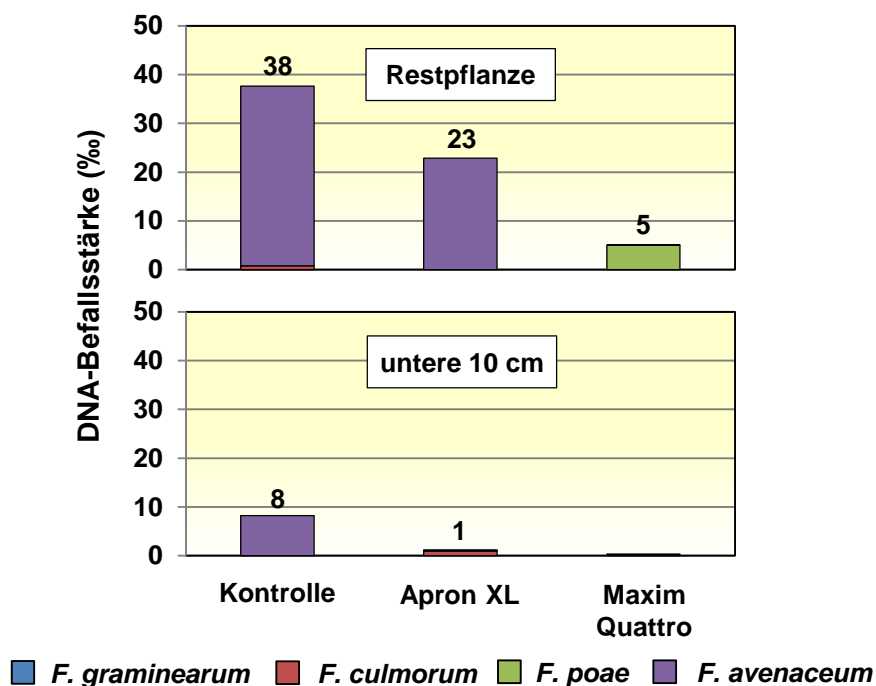


Abb. 60: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 35 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

In der folgenden Abbildung 61 werden die Ergebnisse des Probetermins EC 65 dargestellt. Auch zu diesem Entwicklungsstadium wies die Kontrollvariante die höchste

4. Ergebnisse

Befallsstärke in allen Fraktionen auf. Mit einem Gesamtbefall in Höhe von 188 ‰ lag diese somit 33 % über dem der Kontrollvariante der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Hohenschulen.

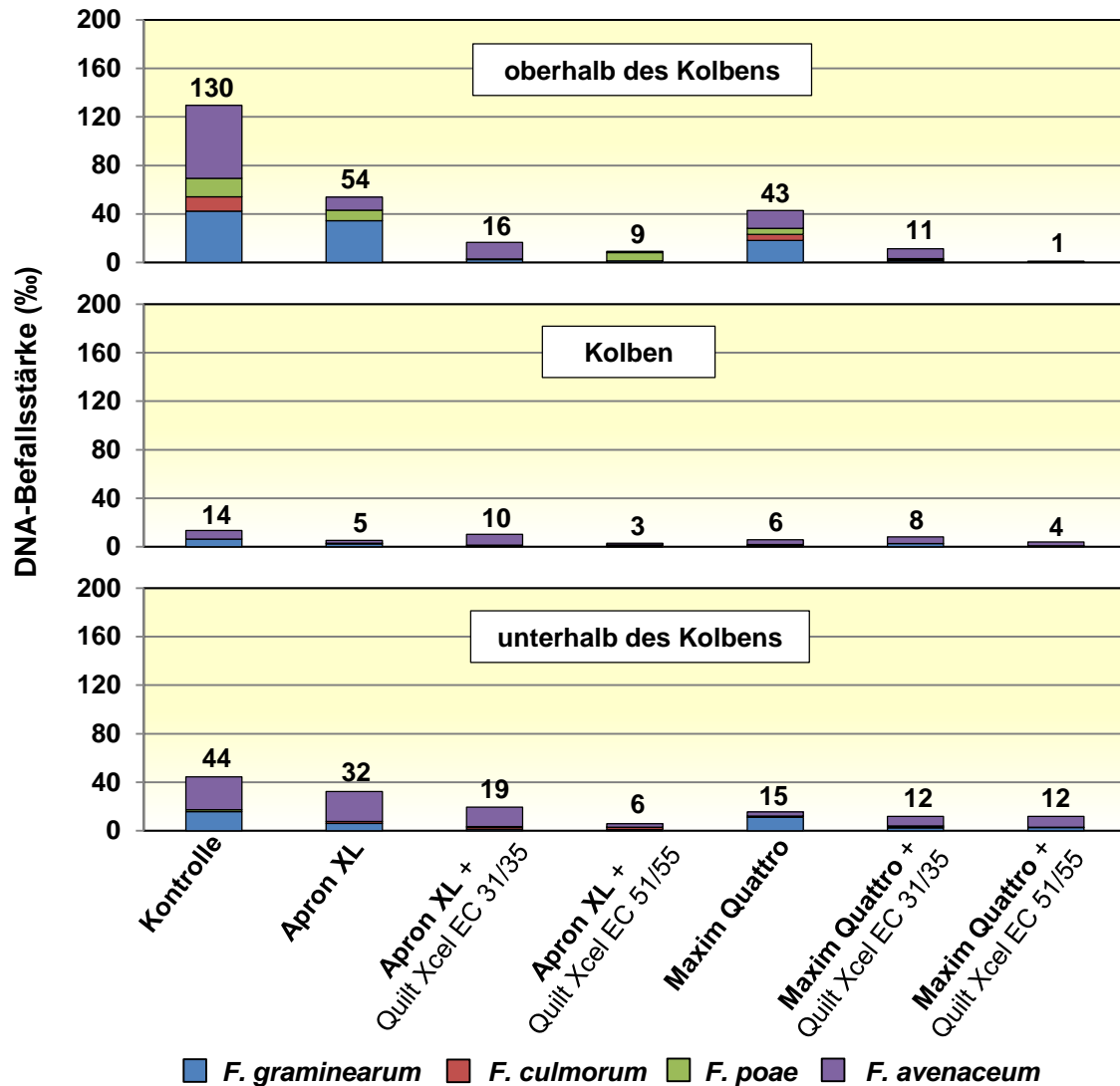


Abb. 61: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 65 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Neben einem Anstieg der DNA-Befallsstärke von *F. avenaceum*, als dominierende *Fusarium*-Art in EC 35, in allen Versuchsvarianten und Fraktionen, konnte zu diesem Entwicklungsstadium eine deutliche Zunahme von *F. graminearum*, besonders in der oberen Pflanzenfraktion, festgestellt werden. Bezogen auf den Gesamtbefall in EC 65 waren somit *F. avenaceum* und *F. graminearum* die dominierenden *Fusarium*-Arten. Im

Vergleich zu EC 35 waren die Befallsstärken in den lediglich mit Apron[®]XL bzw. Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten insgesamt von 24 auf 91 sowie von 5 auf 64 ‰ gestiegen. Weiter konnte der *Fusarium*-Befall, gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante, im Mittel der in EC 35 sowie in EC 55 mit Quilt[®]Xcel behandelten Varianten oberhalb des Kolbens um 89 bzw. 96 % und unterhalb des Kolbens um 64 bzw. 80 % reduziert werden.

Das *fusarium*-spezifische Befallsgeschehen nach der Blüte in EC 75 kann in Abbildung 62 betrachtet werden. Verglichen mit dem vorigen Probetermin konnte in diesem Entwicklungsstadium ein deutlicher Anstieg der DNA-Befallsstärke in allen Versuchsvarianten und Probefraktionen detektiert werden. Besonders die Kolbenfraktion zeigte mit Werten von 138 ‰ in der Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 bis hin zu 754 ‰ in der Kontrollvariante einen hohen Befall. Dieser erhebliche Anstieg der DNA-Befallsstärke beruht vor allem auf der deutlichen Zunahme der DON- und ZEA-produzierenden Art *F. graminearum* (Anhangtab. VII). Insgesamt erzielten in beiden Beizvarianten, in Übereinstimmung mit den Versuchsstandorten Hohenschulen und Brockum, die späten Fungizidapplikationen (EC 55 / EC 65) die niedrigsten DNA-Befallsstärken. Die Kombinationen aus Apron[®]XL sowie Maxim[®]Quattro mit Quilt[®]Xcel in EC 65 reduzierten den Befall im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante um 74 bzw. 81 %.

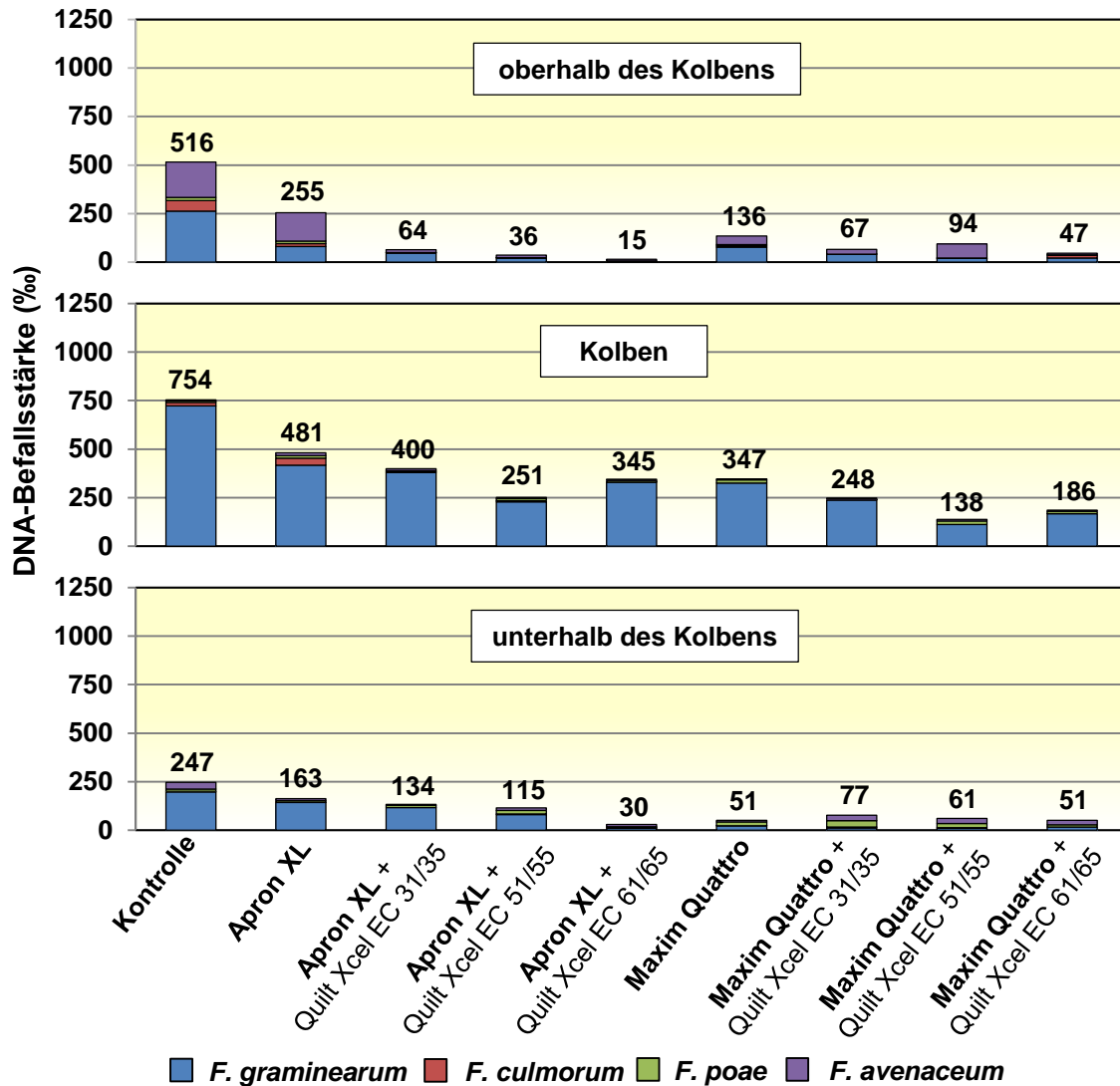


Abb. 62: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Reding im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

4.4.3.4 Auftreten von *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxine im Erntegut

Im Vergleich zu den zuvor dargestellten DNA-Befallsstärken der Vergleichsstandorte und -jahre konnte in den Körnermaisproben vom bayrischen Versuchsstandort Reding in 2014 ein massiver *Fusarium*-Befall analysiert werden, was durch die deutlich höher gewählte Skalierung in Abbildung 63 deutlich wird. So konnte in der unbehandelten Kontrolle eine Gesamtbefallsstärke von 13620 ‰ detektiert werden. Diese erhebliche Befallsintensität beruht auf dem massiven Befall mit der DON- und ZEA-produzierenden Art *F. graminearum* mit Werten in Höhe von 3249 ‰ in der Variante Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 65 bis hin zu 113361 ‰ in der Kontrollvariante. Zwar konnten die mit Fungiziden behandelten Varianten das allgemeine Befallsgeschehen

durch die Eindämmung von *F. graminearum* mit einer Reduktion im Mittel der Apron®XL-Gruppe sogar von 67 % deutlich reduzieren, allerdings waren dennoch extrem hohe DNA-Befallsstärken zu detektieren. Durch die Kombinationsvarianten Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 und EC 65 konnte der *Fusarium*-Befall um 75 % reduziert werden, die DNA-Befallsstärken beliefen sich jedoch immer noch auf 3364 bzw. 3351 ‰ und lagen somit deutlich über denen der Kontrollvarianten der Vergleichsstandorte.

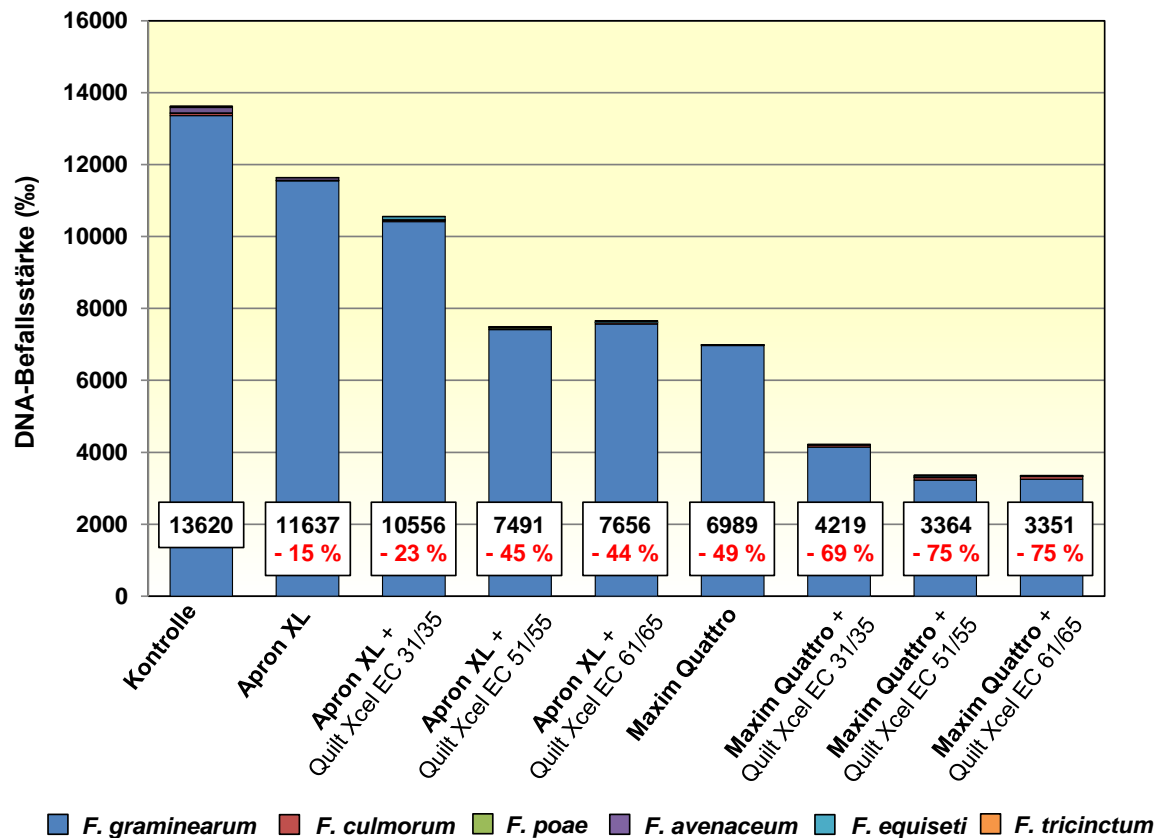


Abb. 63: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) im Körnermais am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle

Die Tabelle 52 zeigt die in den Körnermaisproben analysierten DON- und ZEA-Gehalte des Versuchsstandortes Reding aus dem Jahr 2014. Es wird ersichtlich, dass in allen untersuchten Varianten eine erhebliche Kontamination des B-Trichotheceen DON sowie das Mykotoxin ZEA nachgewiesen werden konnte. Dabei wird sowohl der EU-Richtwert für DON ($900 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) als auch der EU-Richtwert für ZEA ($250 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$) für die Schweineproduktion von allen Versuchsvarianten deutlich überschritten.

Tab. 52: DON- und ZEA-Gehalte ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Körnermais der Sorte NK Nekta am Versuchsstandort Reding im Jahr 2014. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest ($P \leq 0,05$)

| Variante | DON ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)* | | ZEA ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM)** | |
|-------------------------------------|---|-------|--|-------|
| | MW | Sign. | MW | Sign. |
| Kontrolle | 17440,07 | ab | 1486,41 | a |
| Apron XL | 8025,42 | ab | 1352,39 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 12813,60 | b | 1454,47 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 3537,08 | a | 1019,95 | a |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 3604,57 | ab | 805,25 | b |
| Maxim Quattro | 5524,59 | ab | 1245,81 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 6157,19 | ab | 1336,73 | a |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 3190,30 | a | 812,62 | b |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 3879,61 | a | 926,98 | a |

* EU-Richtwert in der Schweineproduktion: $900 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

** EU-Richtwert in der Schweineproduktion: $250 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TM

Die höchsten Mykotoxinbelastungen wurden in der unbehandelten Kontrollvariante mit einem DON-Gehalt von $17440 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ und einem ZEA-Gehalt von $1486 \mu\text{g} (\text{kg TM})^{-1}$ festgestellt. Zwar konnten alle Fungizidstrategien eine Reduktion der Mykotoxinbelastungen erzielen, dennoch wurden erheblichen Kontaminationen mit durchschnittlichen Werten von $5842 \mu\text{g DON} (\text{kg TM})^{-1}$ und $1119 \mu\text{g ZEA} (\text{kg TM})^{-1}$ in den mit Fungiziden behandelten Körnermaisproben detektiert. Die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 (80 %) und EC 65 (79 %) sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 (82 %) und in EC 65 (78 %) konnten den DON-Gehalt am erfolgreichsten reduzieren. Des Weiteren konnten die zuletzt genannten Fungizidstrategien im Mittel den ZEA-Gehalt im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante um 40 % reduzieren. Dabei bewirkten die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 65 mit 46 % und Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 mit 45 % eine signifikante Reduktion der ZEA-Belastung.

4.4.3.5 Körnermais TM-Erträge

Auch aus den Körnermaisproben des Jahres 2014 am Versuchsstandort Reding wurden die TM-Erträge bestimmt, um Rückschlüsse auf die Ertragswirksamkeit der verschiedenen Fungizidbehandlungen im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante zu erhalten. Dabei entspricht der TM-Ertrag der einzelnen Varianten dem Mittel der Wiederholungen A bis D.

Tab. 53: TM-Erträge der Körnermaisproben (dt ha⁻¹) am Standort Reding im Versuchsjahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. Daten sind MW (n=4), Multipler Kontrasttest (P ≤ 0,05)

| Variante | TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)* | | Ertragsdifferenz (dt ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--|
| | MW | Sign. | |
| Kontrolle | 95,4 | a | |
| Apron XL | 104,8 | ab | + 9,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | 106,0 | b | + 10,6 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | 108,2 | b | + 12,8 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | 103,2 | ab | + 7,8 |
| Maxim Quattro | 103,2 | ab | + 7,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | 102,0 | ab | + 6,6 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | 106,4 | b | + 11,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | 103,3 | ab | + 7,9 |

* 86 % TM

Wie aus der Tabelle 53 ersichtlich wird, betrug im Mittel aller Varianten das Ertragsergebnis 103,6 dt ha⁻¹ und lag somit 14 % unter dem Durchschnitt des Körnermais-TM-Ertrages aus dem Versuchsjahr 2012. Mit 95,4 dt ha⁻¹ lieferte die unbehandelte Kontrolle den niedrigsten TM-Ertrag. Innerhalb der Apron[®]XL- bzw. Maxim[®]Quattro-Gruppe erbrachten die Varianten mit einer zusätzlichen Fungizidapplikation mit Quilt[®]Xcel in EC 55 mit 108,2 bzw. 106,4 dt ha⁻¹ die höchsten Ergebnisse. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle wiesen die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 35 und EC 55 sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 signifikant höhere Erträge auf.

4.4.4 Zusammenhang zwischen der *Fusarium*-Befallsintensität und der Mykotoxinkontamination im Erntegut des Versuchsjahres 2014

Im Folgenden sind die quantitativen Beziehungen zwischen den an den Versuchsstandorten Hohenschulen (Sorte NK Nekta und Multitop), Brockum (Sorte NK Nekta) und Reding (Sorte NK Nekta) ermittelten *Fusarium*-Befallsstärken der DON- und ZEA-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum* und den festgestellten Mykotoxinbelastungen im Erntegut der neun Versuchsvarianten aus dem Versuchsjahr 2014 dargestellt.

Aus der Abbildung 64 geht hervor, dass die unbehandelte Kontrollvariante im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten, wie bereits im Versuchsjahr 2013, neben der höchsten Befallsintensität mit *F. culmorum* und *F. graminearum* auch die stärkste DON- und ZEA-

Belastung aufwies. Gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante konnte in allen getesteten Fungizidvarianten der ZEA-Gehalt signifikant reduziert werden. Hinsichtlich der DON-Reduzierung zeigten lediglich die Varianten Apron[®]XL + Quilt[®]Xcel in EC 55 und EC 65 sowie Maxim[®]Quattro + Quilt[®]Xcel in EC 55 einen signifikanten Unterschied zur Kontrollvariante. Im Mittel der Standorte und Sorten konnte die Kombination aus Maxim[®]Quattro Beizung und einer Fungizidapplikation in EC 55 den DON- und ZEA-Gehalt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um 32 bzw. 65 % reduzieren.

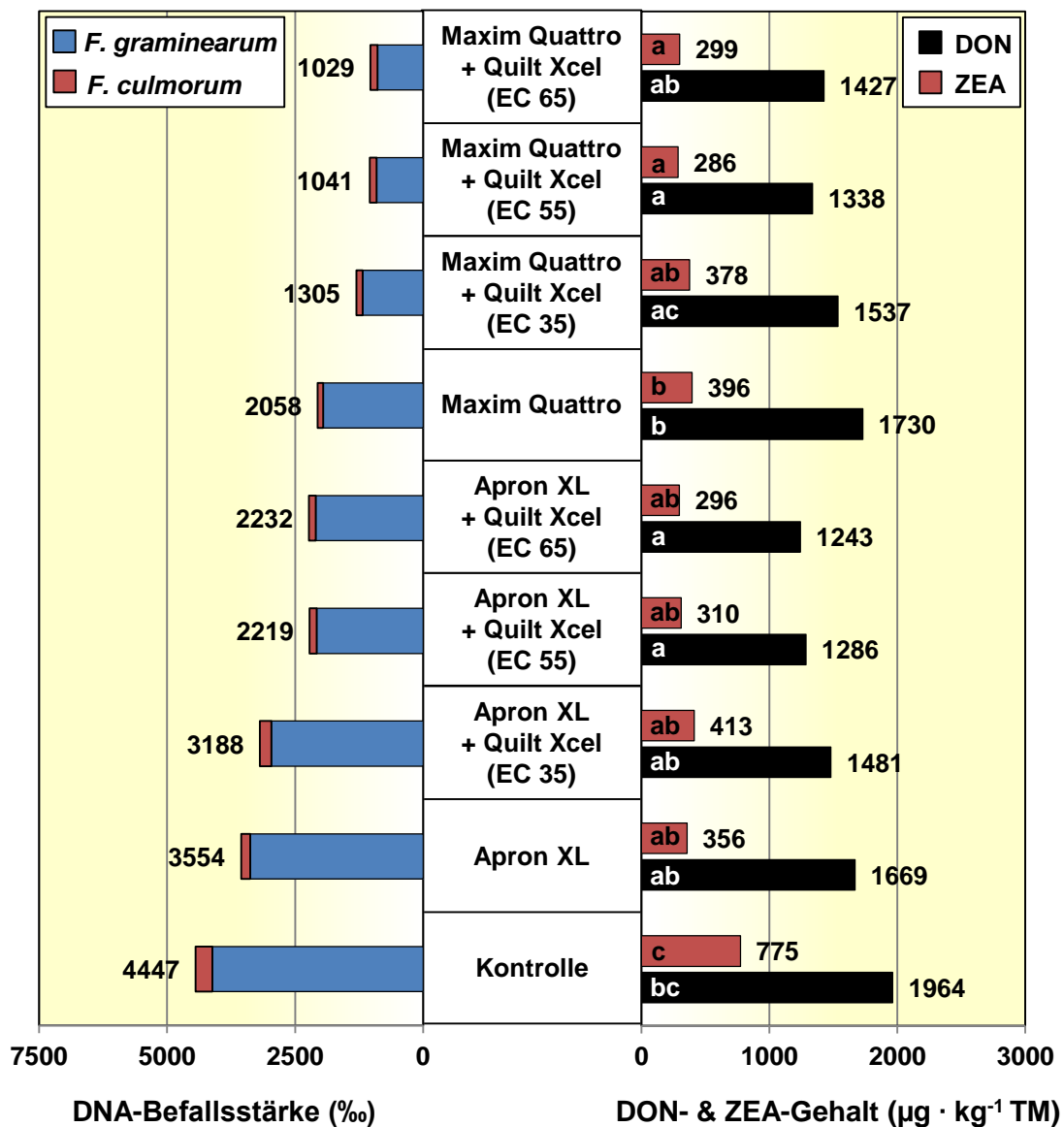


Abb. 64: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt (µg · kg⁻¹ TM) im Erntegut aller Versuchsvarianten im Mittel der Standorte (Hohenschulen, Brockum, Bayern) im Jahr 2014

Durch die in Abbildung 65 dargestellte Regressionskurve wird verdeutlicht, dass die im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten nachgewiesenen DON-Gehalte im Erntegut aller Varianten in 2014 im Zusammenhang zum quantitativen Nachweis der Pilz-DNA von *F. culmorum* und *F. graminearum* stehen. Es besteht eine positive Beziehung zwischen den beiden Parametern, sodass mit zunehmender Befallsstärke auch die DON-Belastung im Erntegut ansteigt. Diese positive Regression der quantitativen Beziehung ist mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,84$ charakterisiert und als hoch einzustufen.

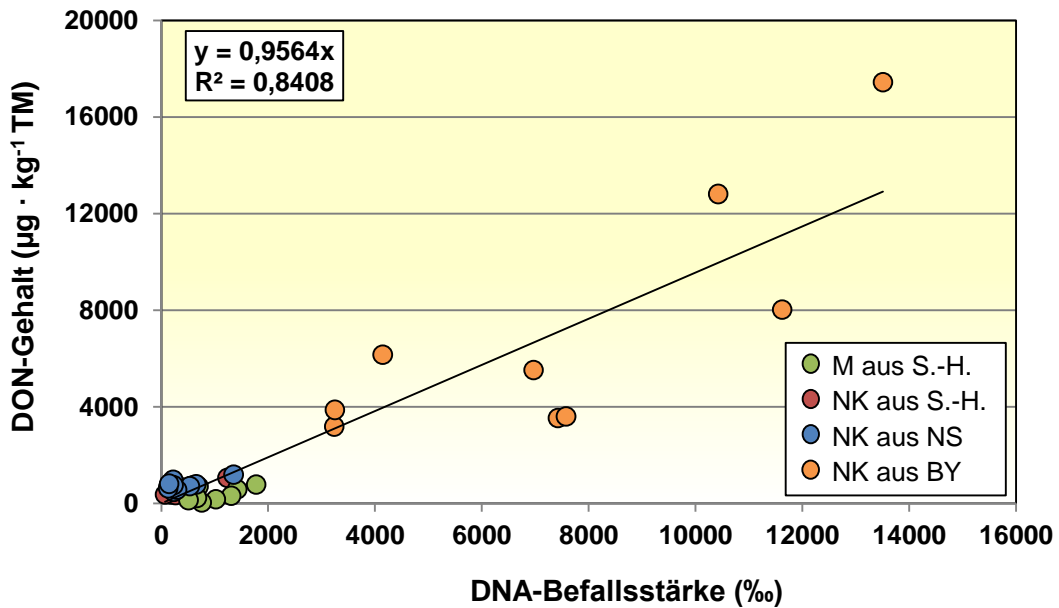


Abb. 65: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TM}$) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2014. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus NS = NK Nekta aus Brockum (NS); NK aus BY = NK Nekta aus Reding (BY)

Ein ähnlicher Zusammenhang konnte zwischen der *Fusarium*-Befallsintensität der Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* und dem ermittelten ZEA-Gehalt festgestellt werden, was durch die dargestellte Regressionskurve in Abbildung 66 verdeutlicht wird. Durch das dokumentierte Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,78$ ist die quantitative Beziehung als eng einzuordnen.

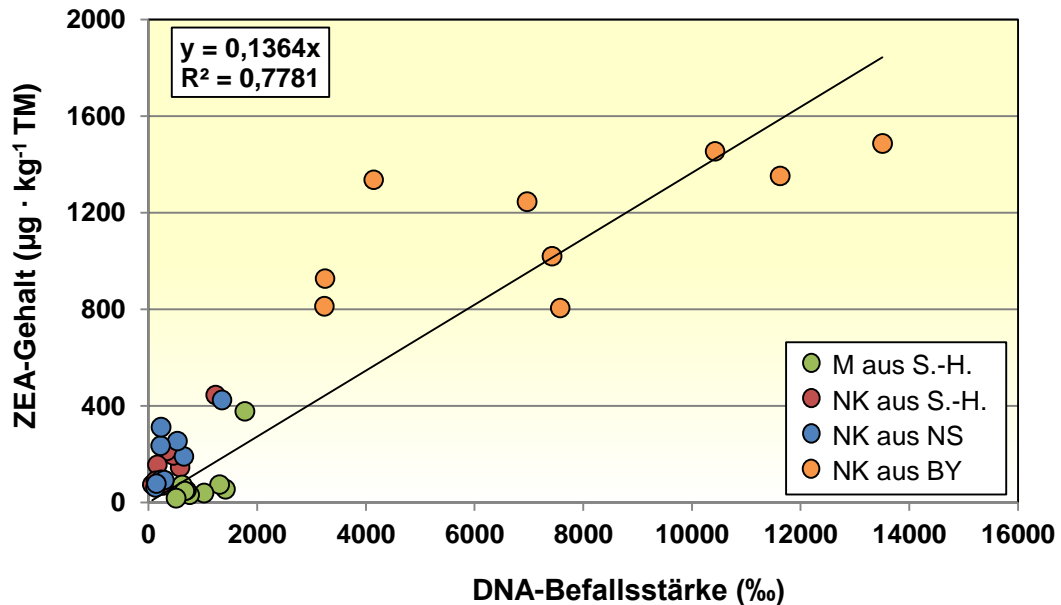


Abb. 66: Beziehung zwischen der Befallsstärke der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TM}$) im Erntegut aller Varianten im Jahr 2014. M aus S.-H. = Multitop aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus S.-H. = NK Nekta aus Hohenschulen (S.-H.); NK aus NS = NK Nekta aus Brockum (NS); NK aus BY = NK Nekta aus Reding (BY)

Im Vergleich zu den Standorten Hohenschulen (Multitop = grüne Punkte; NK Nekta = rote Punkte) und Brockum (blaue Punkte) konnten am Standort Reding (orange Punkte) aufgrund der deutlich höheren Befallsintensitäten der DON- und ZEA-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum* auch stärkere DON- und ZEA-Belastungen im Erntegut ermittelt werden.

4.5 Epidemiologisches Ausbreitungsmuster verschiedener *Fusarium*-Arten in der Maiskultur in der Sorte NK Nekta über die Maisvegetation 2014

Um die Bedeutung der jeweiligen Infektionswege sowie die Verteilung und Akkumulation verschiedener *Fusarium*-Arten innerhalb der Pflanze über die Maisvegetation zu untersuchen, wurde am Standort Hohenschulen die unbehandelte Kontrolle der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014 analysiert. In der folgenden Abbildung 67 sind die DNA-Befallsstärken der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. avenaceum* in den einzelnen Fraktionen Nodien, Internodien, Kolben sowie Restpflanze zu den Entwicklungsstadien EC 33, EC 65, EC 75 und EC 85 dargestellt.

4. Ergebnisse

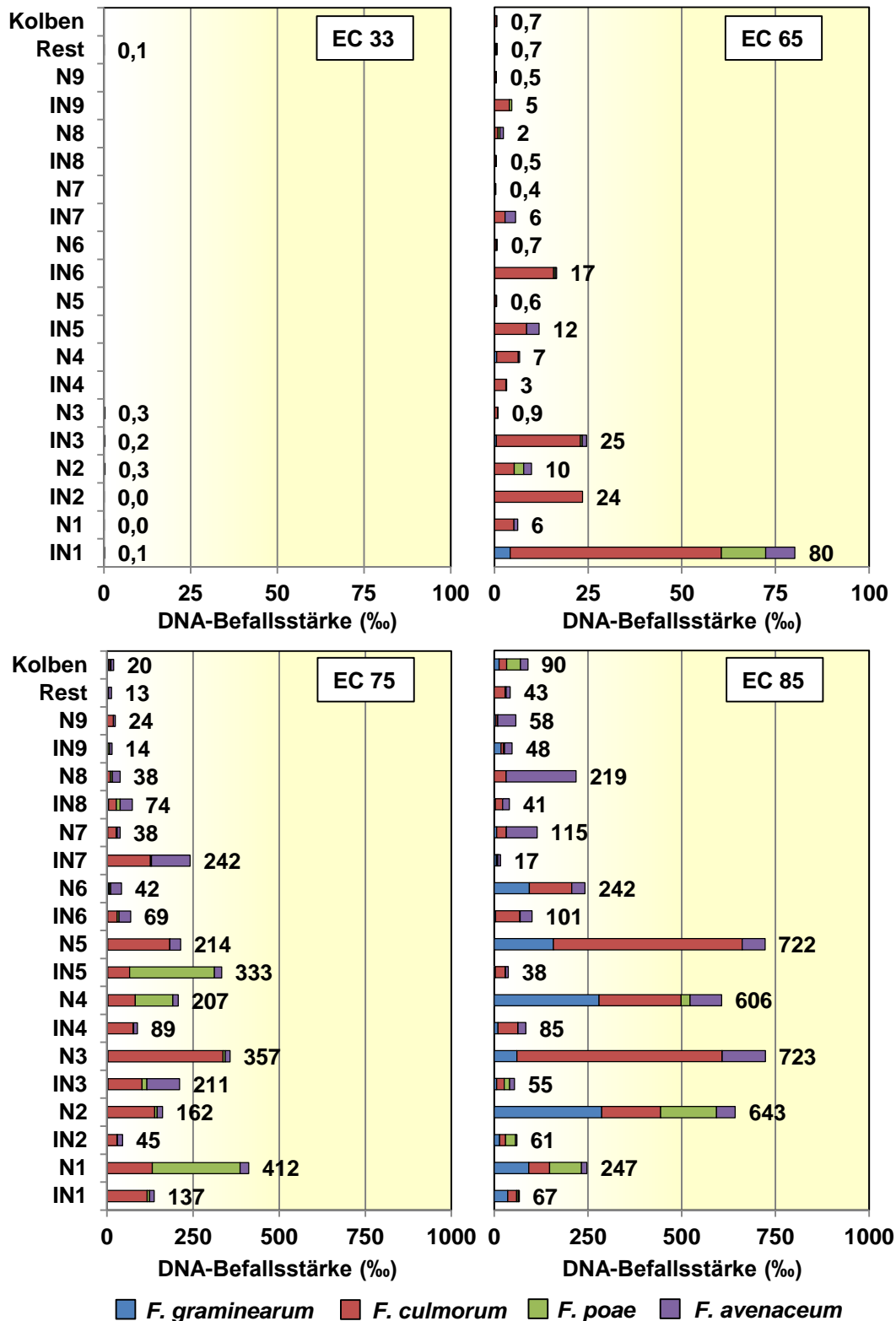


Abb. 67: Schematische Darstellung des systemischen Wachstums von *Fusarium* spp. (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nekta über die Maisvegetation 2014 (EC 33 / EC 65 / EC 75 / EC 85) am Versuchsstandort Hohenschulen. N1 – N9 = Nodium 1 – Nodium 9; IN1 – IN9 = Internodium 1 – Internodium 9; Rest = Restpflanze; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben

Bei der Betrachtung der Abbildung 67 wird deutlich, dass bereits in EC 33 ein *Fusarium*-Befall festgestellt werden konnte, allerdings auf einem sehr geringen Niveau mit DNA-Befallsstärken von 0,1 ‰ in der Restpflanze und 0,3 ‰ im Nodium 2. Verglichen mit dem vorigen Probetermin konnte zu EC 65 ein Anstieg der DNA-Befallsstärke in allen Probefractionen mit Werten in Höhe von 0,4 ‰ im Nodium 7 und 80 ‰ im Internodium 1 detektiert werden, wobei die Befallsintensität innerhalb der Pflanzenfraktionen von unten nach oben deutlich abnahm und vor allem auf eine Zunahme der DON- und ZEA-produzierenden Art *F. culmorum* zurückzuführen war. Nach der Blüte in EC 75 konnte ein erheblicher Anstieg der *Fusarium*-DNA-Befallsstärke festgestellt werden, welcher durch die höher gewählte Skalierung deutlich wird. Während im oberen Bereich der Pflanze sowie im Kolben nur moderate Befallsstärken von unter 100 ‰ detektiert werden konnten, zeigte der untere und mittlere Pflanzenapparat einen starken Befall. Den höchsten *Fusarium*-Befall wies das Nodium 1 mit 412 ‰, gefolgt vom Nodium 3 mit 357 ‰ und dem Internodium 5 mit 333 ‰ auf. Neben einem Anstieg der DNA-Befallsstärke von *F. culmorum* als dominierende *Fusarium*-Art in EC 65 konnte zu diesem Entwicklungsstadium eine deutliche Zunahme von *F. poae* und *F. avenaceum* detektiert werden. Zum Zeitpunkt der Silomaisreife in EC 85 konnte nochmal ein Anstieg der DNA-Befallsstärke gezeigt werden, welcher hauptsächlich durch die Zunahme von *F. graminearum* zurückzuführen war. Insbesondere die Nodien 2 – 5 zeigten einen massiven *Fusarium*-Befall mit Werten von 606 – 723 ‰. Dabei wiesen zu diesem Entwicklungsstadium die Nodien im Vergleich zu den Internodien insgesamt eine höhere DNA-Befallsstärke auf.

Neben der DNA-Befallsstärke der *Fusarium*-Arten wurden die einzelnen Pflanzenfraktionen zur Silomaisreife in EC 85 auch hinsichtlich der Mykotoxin-Kontamination analysiert. Die DON- und ZEA-Belastungen sowie die entsprechenden DNA-Befallsstärken der DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* in den jeweiligen Pflanzenfraktionen sind in Abbildung 68 abgebildet. Ein Befall mit *F. culmorum* und *F. graminearum* konnte in allen Pflanzenfraktionen festgestellt werden, wobei die Internodien verglichen mit den Nodien im Allgemeinen geringere Befallswerte zeigten. Auch die Kolbenfraktion sowie die Restpflanzen wiesen nur einen geringen Befall auf. Eine Kontamination mit DON und ZEA konnte ausschließlich in den Nodien analysiert werden, wobei die Belastungen auf die Nodien 3 – 6 konzentriert waren. Dabei zeigten das Nodium 4 mit $1395 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $156 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ gefolgt vom Nodium 5 mit $947 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $222 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ die höchsten Mykotoxinbelastungen. Neben den höchsten DON- und ZEA-Gehalten konnten in diesen Pflanzenfraktionen ebenfalls hohe Befallsstärken mit *F. culmorum* und *F. graminearum*

4. Ergebnisse

von 498 bzw. 723 ‰ detektiert werden. Den stärksten *Fusarium*-Befall wies allerdings das Nodium 3 mit 608 ‰ auf, wobei der Anteil von *F. graminearum* im Vergleich zu den Nodien 4 – 6 mit höheren Mykotoxingehalten geringer ausfiel.

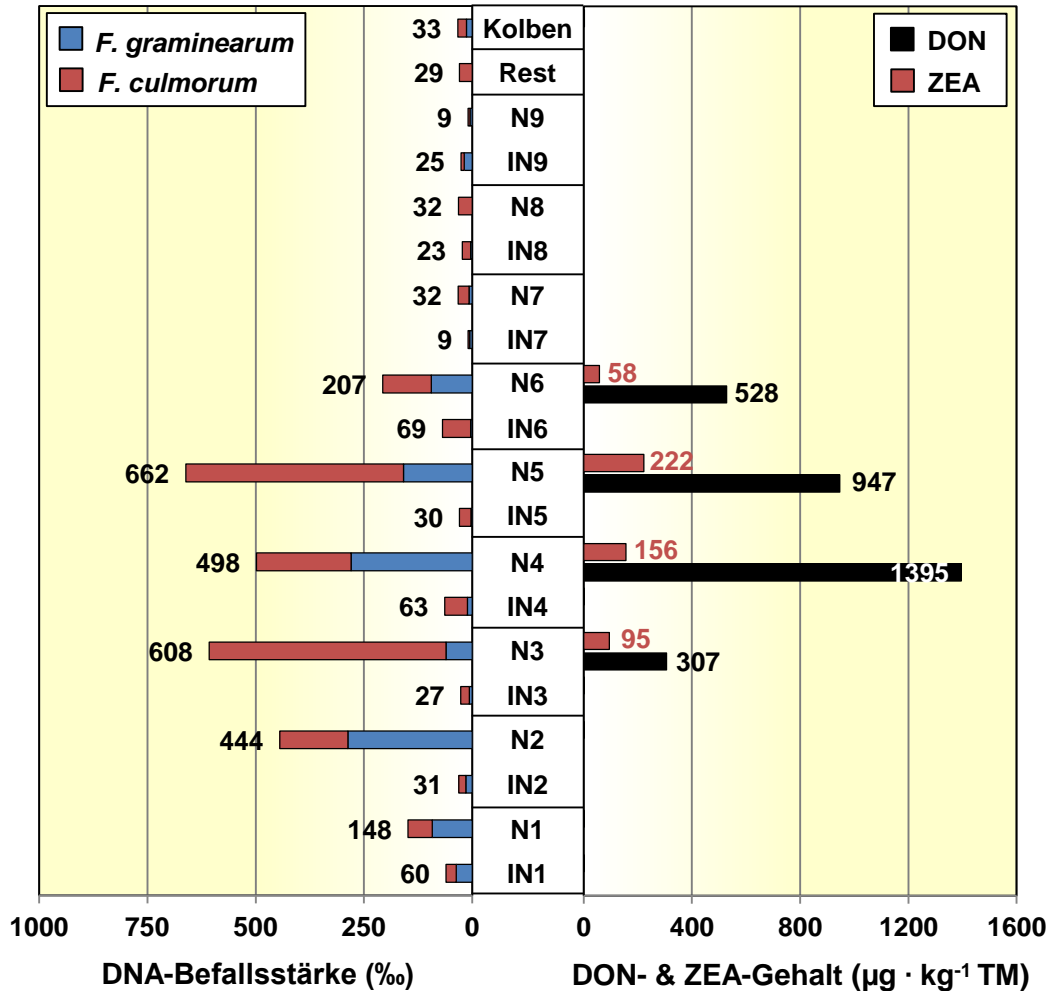


Abb. 68: Schematische Darstellung des systemischen Wachstums der *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) und dem DON- & ZEA-Gehalt ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TM}$) im Silomais (EC 85) der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nektma im Jahr 2014 am Versuchsstandort Hohenschulen. N1 – N9 = Nodium 1 – Nodium 9; IN1 – IN9 = Internodium 1 – Internodium 9; Rest = Restpflanze; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben

5. Diskussion

Ein in den letzten Jahren verstärkt diskutiertes Thema sind die ubiquitär auftretenden Pilze der Gattung *Fusarium*, welche weltweit ökonomisch bedeutende Kulturpflanzen infizieren. Dies gilt im Besonderen für die Kulturarten der Familie *Poaceae*, zu denen u. a. der Mais (*Zea mays* L.) und der Weizen (*Triticum aestivum* L.) zählen. Das verstärkte Nebeneinander dieser Kulturen und die plurivore Eigenschaft dieser Pilze schaffen optimale Bedingungen für deren Entwicklung und Ausbreitung. Neben quantitativen Ertragsdepressionen treten Qualitätsverluste der landwirtschaftlichen Erzeugnisse auf. Diese entstehen durch die als Stoffwechselprodukte gebildeten Mykotoxine, welche bereits in geringen Dosen ein potentielles Gefährdungsrisiko für Mensch und Tier darstellen (PARRY et al., 1995; BOTTALICO und PERRONE, 2002; LOGRIECO, 2003; LESLIE und SUMMERELL, 2006; PAPST et al., 2007; KUMAR et al., 2008).

Aufgrund der Verabschiedung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 (LOIBL et al., 2009; TAUBE und HERMANN, 2009) sowie der Verwendung als energiereiche Futterpflanze in der Rindviehhaltung (ZSCHEISCHLER et al., 1990; HAGGAG, 2013) erfährt der Maisanbau seit einigen Jahren eine zunehmende Intensivierung der Anbauflächen. Dieser Wandel geht einher mit immer enger gestellten Fruchtfolgen bis hin zum Anbau als Monokultur sowie der Tendenz von der wendenden Bodenbearbeitung zur Minimalbodenbearbeitung (MUNKVOLD, 2003 a; EDWARDS, 2004; BEYER et al., 2006, BLANDINO et al., 2008 b). Aufgrund dieser Veränderungen und der Tatsache, dass der Mais zu den am meisten mit Mykotoxinen belasteten Kulturarten zählt (MUNKVOLD et al., 2003 b), wird die Brisanz der Infektionen mit *Fusarium* spp. und der damit verbundenen Mykotoxinkontaminationen im Maisanbau zunehmend verschärft. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im Rahmen überregional durchgeführter Feldversuche in den Jahren 2012 – 2014 Hintergrundinformationen über das epidemiologische Ausbreitungsmuster verschiedener *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxinbildung in der Maiskultur zu erlangen. Um fungizide Bekämpfungsstrategien zu entwickeln, welche das Auftreten und die Mykotoxinbildung durch Fusariosen in der Maiskultur reduzieren, sollten darüber hinaus Erkenntnisse über Unterschiede in der Zusammensetzung des Artenspektrums, der Befallsstärke sowie der Kontaminationen des Ernteguts mit Mykotoxinen unter Beachtung verschiedener Saatgutbeizungen und zusätzlicher Fungizidapplikationen sowie anbautechnischen Maßnahmen erarbeitet werden. Weiter sollte der Einfluss der übergeordneten Einflussgröße Witterung als weiteres Ziel im Hinblick auf die Befallsstärke der *Fusarium*-Arten sowie der Mykotoxinbelastung betrachtet werden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden nun die Ergebnisse der Feldversuche an den einzelnen Standorten gegenübergestellt und diskutiert. Zunächst wird auf die Bestandesetablierung anhand der Parameter Bestandesdichte und Pflanzenlänge eingegangen, danach wird die Nekrotisierung und der Befall mit pilzlichen Blattpathogenen sowie das Auftreten und das systemische Wachstum von *Fusarium* spp. über die Maisvegetation und die Mykotoxinbelastung im Erntegut diskutiert. Abschließend erfolgt die Darstellung der Effekte der fungiziden Behandlungsstrategien auf die genannten Parameter und den Ertrag.

Bestandesdichte

Pilze der Gattung *Fusarium* sind in der Lage, die Maispflanzen bereits im Sämlings- und Keimlingsstadium zu infizieren und somit den Feldaufgang zu beeinträchtigen (OREN et al., 2003; HAGGAG 2013; HÜSGEN und LÖCHER-BOLZ, 2013). Das Auflaufen eines Pflanzenbestandes wird häufig als Indiz für die Wirkung von Saatgutbehandlungen gegenüber samen- und bodenbürtigen Pathogenen genutzt (MUNKVOLD und O'MARA, 2002; SOLORZANO und MALVICK, 2011). So konnten aus den Ergebnissen der ermittelten Bestandesdichten der verschiedenen Versuchsstandorte Rückschlüsse auf die Wirkung der verwendeten fungiziden Saatgutbehandlungen Apron[®]XL (Metalaxyl-M), Maxim[®]XL (Fludioxonil, Metalaxyl-M) und Maxim[®]Quattro (Fludioxonil, Thiabendazol, Metalaxyl-M, Azoxystrobin) gegen bodenbürtige Maispathogene wie *Fusarium* spp. gezogen werden.

Mit Ausnahme der Standorte Brockum und Reding im Versuchsjahr 2014 konnte die Fungizidbeize Apron[®]XL keinen Vorteil gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante hinsichtlich der Bestandesdichte erzielen. Dies kann an dem enthaltenen Wirkstoff Metalaxyl-M liegen, welcher spezifisch zur Bekämpfung von Oomyceten wie z.B. *Pythium*-Arten eingesetzt wird und keinen Einfluss auf *Fusarium* spp. besitzt (FISHER und HAYES, 1984; MUNKVOLD und O'MARA, 2002; GISI, 2013). Am Standort Brockum konnte durch die Saatgutbeize Apron[®]XL eine Erhöhung der Bestandesdichte um 14 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erreicht werden. Dies lässt vermuten, dass neben *Fusarium* spp. weitere bodenbürtige Schaderreger wie z.B. *Pythium* spp. das Auflaufen der Maispflanzen der Kontrollvariante beeinträchtigt haben könnten. Aufgrund der ähnlichen Bestandesdichten der mit Apron[®]XL gebeizten Varianten und der unbehandelten Kontrollvariante der anderen Versuchsstandorte in den Jahren 2013 und 2014 könnte der Eindruck entstehen, dass ein allgemein geringes Niveau an bodenbürtigen natürlichen Inokulum vorhanden war und somit die Maispflanzen ohne Beeinflussung durch Pathogene auflaufen konnten. Dies wird jedoch durch die Ergebnisse der mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten widerlegt. Diese erzielten im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten eine Erhöhung der Bestandesdichte von 16 % gegenüber

der ungebeizten Kontrolle. In Übereinstimmung mit Ergebnissen von LIPPS et al. (1994), in denen das in der Saatgutbeize Apron[®]XL enthaltene Metalaxyl-M keine Aktivität gegen Pilze der Gattung *Fusarium* aufwies, zeigte der Wirkstoff Fludioxonil, enthalten in den Beizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro, hingegen eine exzellente Wirkung. Auch MUNKVOLD und O`MARA (2002) sowie SOLORZANO und MALVICK (2011) bewiesen in ihrer Studie, dass fungizide Saatgutbehandlungen das Auflaufen im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen signifikant verbessern können und führten diese Steigerung auf die gute fungizide Wirksamkeit von Fludioxonil gegenüber bodenbürtigen *Fusarium*-Erregern zurück. An den Versuchsstandorten mit wendender Bodenbearbeitung, Reding (2012 und 2014) und Liesborn (2013), konnten zwischen der unbehandelten Kontrolle und den Varianten mit einer fungiziden Saatgutbeize nur geringe Unterschiede bezüglich des Auflaufverhaltens festgestellt werden. Neben dem bodenbürtigen Pathogendruck scheint somit das Vorkommen von unterschiedlichen, weniger pflanzenverträglichen Bodenverhältnissen einen weiteren Faktor darzustellen, welcher das Auflaufen der Maispflanzen negativ beeinflusst. Dass auch die Anfälligkeit der Maissorten einen Einfluss auf die Bestandesetablierung besitzen kann, zeigte sich am Standort Hohenschulen. Hier konnte im Versuchsjahr 2012 der größte Effekt hinsichtlich der Bestandesdichte zwischen der Kontrollvariante und den Varianten mit einer Saatgutbeize gemessen werden, so erbrachten die Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten eine um 55 % höhere Bestandesdichte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Kap. 4.2.1.1). Im folgenden Jahr konnte auf der selben Fläche allerdings nur noch eine Differenz von 28 % bezüglich der Bestandesdichte zwischen den genannten Varianten festgestellt werden. Der Unterschied zwischen den Jahren bestand lediglich in den verwendeten Sorten. Dies war im Jahr 2012 die Sorte Lorado mit einer relativ hohen Anfälligkeit (BSA-Note 7) gegenüber der *Fusarium*-Stängelfäule (ANONYM, 2013). In den folgenden Jahren wurden die weniger anfälligen Versuchssorten NK Nekta und Multitop verwendet. Eine weitere Einflussgröße stellt die Witterung dar, welche sowohl die pilzliche wie auch die pflanzliche Entwicklung stark beeinflussen kann. Die kühlen und feuchten Witterungsverhältnisse am Standort Hohenschulen im Versuchsjahr 2013 (Kap. 4.1.1) hemmten die Entwicklung der Jungpflanzen und führten zu förderlichen Bedingungen für die Keimlingsinfektion durch *Fusarium* spp, wodurch die Kontrollvariante der Sorte NK Nekta mit nur 7,5 Pflanzen m⁻² im Vergleich zur Kontrolle aus dem Versuchsjahr 2014 mit 9,6 Pflanzen m⁻² eine deutlich geringere Bestandesdichte zeigte.

Pflanzenwachstum

Als weiterer Parameter für die Bestandesentwicklung wurde neben der Bestandesdichte im Entwicklungsstadium EC 75 in den Versuchsjahren 2013 und 2014 die Pflanzenlänge

der behandelten Varianten sowie der unbehandelten Kontrollvarianten gemessen. Auch RODRIGUEZ-BRLJEVICH et al. (2010) nutzen in ihrer Studie die Pflanzenlänge als Indikator für die Pflanzenvitalität. In Übereinstimmung mit den ermittelten Bestandesdichten konnten die Versuchsvarianten mit einer Maxim[®]Quattro Saatgutbehandlung an den Versuchsstandorten mit reduzierter Bodenbearbeitung (Hohenschulen, Brockum) auch bei der Pflanzenlänge die besten Ergebnisse erzielen. Diese Maispflanzen zeigten im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollpflanzen ein höheres, zum größten Teil signifikant abgesichertes Wachstum, welches im Mittel der Sorten und Varianten eine Erhöhung von 0,20 m entsprach. Die Saatgutbeize Apron[®]XL hingegen konnte an den genannten Versuchsstandorten die Pflanzenlänge verglichen mit der unbehandelten Kontrolle im Mittel nur um 0,10 m erhöhen. In einer dreijährigen Studie konnten YATES et al. (2005) zeigen, dass der Befall mit *Fusarium* spp. negative Auswirkungen auf das vegetative Wachstum und insbesondere auf die Pflanzenlänge besitzen kann. Weiter weist der Wirkstoff Fludioxonil der Maxim[®]Quattro Saatgutbeize eine hohe Wirksamkeit gegen Pilze der Gattung *Fusarium* auf (LIPPS et al., 1994; MUNKVOLD und O`MARA, 2002; SOLORZANO und MALVICK, 2011). Es ist somit denkbar, dass die Entwicklung der Maispflanzen der unbehandelten Kontrolle und der Apron[®]XL gebeizten Varianten durch die *Fusarium*-Arten negativ beeinflusst wurde und sich das verbesserte Pflanzenwachstum der Maxim[®]Quattro Varianten auf eine Reduktion des *Fusarium*-Befalls zurückführen lässt. Auch RODRIGUEZ-BRLJEVICH et al. (2010) konnten in ihrer Studie eine Beziehung zwischen dem erhöhten Pflanzenwachstum und dem Einsatz von fungiziden Saatgutbehandlungen beschreiben. Sie kamen zu der Schlussfolgerung, dass bei mit *Fusarium* spp. infizierten Wirtspflanzen durch die entstehenden Gewebeschäden in den Wurzeln und dem Mesokotyl die Wasser- sowie Nährstofftransporte gesenkt und daraus folgend die Photosyntheseleistung sowie das Wachstum der Pflanzen negativ beeinflusst wurden. Im Zusammenhang mit den gesteigerten Pflanzenlängen müssen auch die höheren Bestandesdichten der Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten genannt werden. In einem Feldversuch von WULFES (2001) wurde unter anderem der Einfluss der Bestandesdichte auf die Bestandesentwicklung von Silomais untersucht, in diesem führte die Steigerung der Bestandesdichte zu einer signifikant höheren Wuchshöhe der Maispflanzen. Eine Erklärung hierfür ist, dass das Zusammenspiel von hellroter und dunkelroter Strahlung das Phytochromsystem beeinflusst und photomorphologische Effekte auslöst. Bei Beschattung von Pflanzen durch beispielsweise höhere Bestandesdichten steigt der Anteil an dunkelroter Strahlung und bewirkt ein kleineres Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis. Bei einem solchen Verhältnis werden Entwicklungsreaktionen wie das Streckenwachstum aktiviert (CASAL und SMITH, 1989; KASPERBAUER und KARLEN, 1994). Hierfür sprechen die Ergebnisse der

Versuchsstandorte mit wendender Bodenbearbeitung (Liesborn, Reding), an denen keine Zunahme der Bestandesdichte und dem zufolge auch keine Unterschiede bezüglich der Pflanzenlänge zwischen der Kontrollvariante und den mit Fungiziden behandelten Varianten analysiert werden konnten.

Nekrotisierung und Befall mit pilzlichen Blattpathogenen

An den jeweiligen Versuchsstandorten wurde in dem Entwicklungsstadium EC 75 der Nekrotisierungsgrad sowie der Befall mit pilzlichen Blattpathogenen *K. zeae*, *P. zeae-maydis* und *E. turcicum* untersucht. Durchgeführt wurde die visuelle Bonitur als Drittelbonitur, wofür die Maispflanzen in einen oberen, mittleren und unteren Bereich unterteilt wurden.

Die maximalen Befallsstärken im Bestand (BSB in %) von *K. zeae* erreichten im Mittel der Versuchsstandorte lediglich Werte zwischen 4 % im Jahr 2013 bzw. 3 % im Jahr 2014 und wurden jeweils in den unbehandelten Kontrollvarianten erfasst. Aufgrund des geringen Befallsniveaus ist eine Auswirkung der getesteten Fungizidbehandlung schwer einzuschätzen. Allerdings berichtete JORGENSEN (2012) in ihrer Studie aus Dänemark über starke Ertragsdepressionen in der Maiskultur durch den Befall von *K. zeae* sowie eine erfolgreiche Ertragssteigerung von bis zu 65 % durch fungizide Gegenmaßnahmen. Nach HURLE et al. (1996) kommt es nur bei einem starken und früh eintretenden Befall zu einem Absterben der Blätter durch diesen Erreger, daher können diese äußerst niedrigen Befallsintensitäten als nicht ertragsrelevant eingestuft werden. Die von REIFSCHNEIDER und ARNY (1983) ermittelten Ertragsverluste von bis zu 9 %, welche durch *K. zeae* verursacht wurden, konnten in diesen Feldversuchen somit nicht bestätigt werden. Der Erreger tritt im Laufe der Vegetationsperiode zunächst an den mittleren Blättern auf, jüngere und somit höhere Blattetagen werden erst ab August mit zunehmender Abreife befallen (DINGLEY, 1973). Hierbei sind höhere Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten für die Infektion förderlich (ARNY et al., 1971; HURLE et al., 1996). Die erfassten niedrigen Niederschlagsmengen sowie die nicht ausreichend hohen Lufttemperaturen in den für die Blattpathogene wichtigen Monate Mai bis August können somit für die geringen Befallsstärken verantwortlich sein. Die Niederschlagssummen für die Monate Juli und August der einzelnen Versuchsstandorte lagen häufig unter den Werten des langjährigen Mittels. Außerdem können unzureichende Niederschläge die Ausbreitung im Bestand, welche hauptsächlich über Regenspritzer stattfindet (SCHNEIDER und KRÜGER, 1972), reduziert haben. Auch die Temperatur hat einen entscheidenden Einfluss auf das Befallsgeschehen von *K. zeae*. ARNY et al. (1970) sowie SCHNEIDER und KRÜGER (1972) beschrieben, dass die optimale Temperaturbedingung sowohl für die Konidienbildung als auch für das Mycelwachstum von *K. zeae* bei 24 °C liegt. Mit durchschnittlichen

Temperaturen von 17,3 °C (Juli) und 16,9 °C (August) am Versuchsstandort Hohenschulen (2012 – 2014), 19,2°C (Juli) und 17,4°C (August) am Vergleichsstandort Liesborn (2013), 19,9°C (Juli) und 16,1°C (August) am Vergleichsstandort Brockum (2014) sowie 19,3°C (Juli) und 17,9°C (August) am bayrischen Standort Reding (2012 und 2014) konnte das genannte Temperaturoptimum nicht erreicht werden. Nach HURLE et al. (1996) besteht außerdem vor allem in relativ warmen Spätsommerwochen ein erhöhtes Infektionsrisiko. Diese Bedingungen waren jedoch bei den verhältnismäßig kühlen Durchschnittstemperaturen im August und September ebenfalls nicht gegeben.

Die Befallsstärken des Blattpathogens *P. zeaе-maydis* fielen im Vergleich zu *K. zeaе* ähnlich gering aus. Im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten konnten in EC 75 Befallsstärken von 5 % (2013) bzw. 2 % (2014) in den unbehandelten Kontrollvarianten erfasst werden. Der Standort Liesborn im Versuchsjahr 2013 zeigte überhaupt keinen Blattbefall mit *P. zeaе-maydis*. In Übereinstimmung mit *K. zeaе* führen solche Befallsstärken zu keinen relevanten Ertragsverlusten. Ursache für die äußerst niedrigen Befallsintensitäten können, wie bei *K. zeaе*, auf die gegebenen Witterungsbedingungen zurückgeführt werden. CASTOR et al. (1977) ermittelten in ihrer Studie optimale Temperaturbedingungen von 18 °C für die Pyknidien- und Konidienproduktion. Die höchsten Sporulationsraten wurden allerdings in einem Temperaturbereich von 24 und 27 °C festgestellt. BOOTSMA et al. (1973) sowie CASTOR et al. (1977) zeigten außerdem, dass bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von weniger als 94 % die Konidienkeimung eingeschränkt ist. Basierend auf den erfassten Witterungsbedingungen an den einzelnen Versuchsstandorten ist es somit denkbar, dass durch die gehemmte Konidienkeimung und Sporulation die Massenausbreitung im Bestand über asexuelle Sporen verhindert wurde, wodurch das niedrige Befallsgeschehen erklärt wird.

In den drei Vegetationsperioden 2012 – 2014 beschränkte sich das Auftreten von *E. turcicum* auf den bayrischen Versuchsstandort Reding, was sich anhand der Temperaturansprüche begründen lässt. Für *E. turcicum* werden in der Literatur Temperaturen von 18 – 25 °C, hohe Luftfeuchtigkeit, Regen oder Taubildung als günstig für die Sporenbildung beschrieben, wobei eine Temperatur von 26 °C und eine relative Luftfeuchte von über 90 % als optimal gelten (LEVY und PATAKY, 1992; IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015). Wie für *K. zeaе* und *P. zeaе-maydis* waren auch bei diesem Blattpathogen die Befallsintensitäten auf einem relativ niedrigen Niveau mit nur geringen Unterschieden zwischen den verschiedenen Varianten. Das niedrige Infektionsniveau lässt sich darauf zurückführen, dass diese optimalen Bedingungen auch am Versuchsstandort Reding nicht gegeben waren. Die Befallsstärken der Gesamtpflanzen lagen im Versuchsjahr 2012 unter 1 % BSB. Im Versuchsjahr 2014 konnten höhere Befallsstärken von 5 % BSB festgestellt werden, was möglicherweise durch das in 2013

aufgetretene Hochwasser bedingt war. Nach IMGRABEN (2002) und HUGGER (2007) zeigen feuchte Tallagen, Waldränder und Standorte, die intensiv beregnet werden, erhöhte Befallshäufigkeit mit *E. turcicum*. Die hohe Feuchtigkeit verlängert die Phasen der Blattbenetzung und begünstigt somit die Sporenreifung, aber auch Bodenverdichtung, Staunässe oder Nährstoffmangel steigern das Befallsrisiko. Da diese Krankheit erst spät in der Vegetationsperiode zum Zeitpunkt der Abreife auftrat, konnten die Ertragsverluste durch *E. turcicum* in Höhe von 10 – 30 % (IMGRABEN, 2002; SCHAUBIGER, 2015) nicht bestätigt werden. LEVY und PATAKY (1992) beschrieben, dass die Ertragsverluste am höchsten sind, wenn der Befall bereits zwei bis drei Wochen nach der Befruchtung eintritt und die Blätter oberhalb des Kolbens befallen sind. Dies war in den zwei Versuchsjahren überwiegend nicht der Fall. Die höchsten Befallsstärken konnten im unteren Drittel der Pflanzen ermittelt werden. Allerdings hat der Befall mit Blattpathogenen des unteren Drittels der Pflanzen nach LEVY und PATAKY (1992) nur geringe Auswirkungen auf den Ertrag.

Im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten wurden Gesamtnekrosewerte zwischen 11 und 15 % (2013) bzw. 17 und 21 % (2014) bonitiert. Dabei wiesen mit Ausnahme des Standorts Reding im Jahr 2014 die Kontrollvarianten jeweils die höchste Gesamtnekrotisierung auf. Die mit Fungiziden behandelten Varianten zeigten hingegen geringere Nekrotisierungen, sodass ein Effekt des Fungizideinsatzes vermutet werden kann. Das eingesetzte Fungizid Quilt[®]Xcel enthält neben dem Wirkstoff Propiconazol auch Azoxystrobin, welches sich nach BARTLETT et al. (2002) und WU und VON TIEDEMANN (2002) durch einen „Greening-Effekt“ auszeichnet. Unter Bedingungen, in denen der Mais frühzeitig in die Abreife übergeht, kann der Fungizideinsatz so die Korneinlagerung verlängern. Es besteht daher die Möglichkeit, dass die Gesamtnekrotisierungen der behandelten Varianten geringer ausfielen, da der Blattapparat länger grün gehalten wurde. Allerdings konnten SIMPSON et al. (2001) in ihrer Untersuchung an Weizenpflanzen zeigen, dass durch den „Greening-Effekt“ der Strobilurine ein stärkerer Befall mit *Fusarium* spp. sowie eine höhere DON-Belastung im Vergleich zur Kontrolle hervorgerufen wurde. Daher muss dieser Effekt hinsichtlich der Mykotoxinkontaminationen als kritisch angesehen werden. Am Standort Reding konnte im Versuchsjahr 2014 in den mit Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten ein Nekrotisierungsgrad der Gesamtpflanzen von 26 % analysiert werden, welche somit eine um 8 % stärkere Nekrotisierung im Vergleich zur Kontrolle zeigten. Bei der Bonitur der Nekrotisierung erfolgte im Hinblick auf biotische und abiotische Faktoren sowie eine natürliche Seneszenz keine Differenzierung, so können Unterschiede der Nekrotisierungen auch den heterogenen Bodenbedingungen innerhalb des Versuchsfeldes geschuldet sein. Durch das Hochwasser im Jahr 2013 am Standort

Reding zeigte die Versuchsfläche im darauffolgenden Jahr eine starke Heterogenität der Bodeneigenschaften, sodass möglicherweise Unterschiede zwischen den Varianten auf unterschiedliche Wasser- und Nährstoffversorgung und somit eine vorzeitige natürliche Seneszenz der Pflanze, welche in den Maxim[®]Quattro gebeizten Varianten zu beobachten war, zurückzuführen sind.

Befall mit *Fusarium* spp.

In Europa zählen *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. sporotrichioides*, *F. subglutinans*, *F. tricinctum*, *F. venenatum* und *F. verticillioides* zu den in der Maiskultur auftretenden *Fusarium*-Arten (PARRY et al., 1995; LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD, 2003 a; DORN et al., 2009 a; GOERTZ et al., 2010; Dorn et al., 2011; MARIN et al., 2012; MESTERHÁZY et al., 2012). Hierbei ist für das Auftreten und das Infektionspotenzial der *Fusarium*-Pilze neben dem Ausgangsinokulum und den pflanzenbaulichen Maßnahmen auch die übergeordnete Einflussgröße Witterung von großer Bedeutung (MILLER, 2001; MUNKVOLD, 2003 b; BARTELS und RODEMANN, 2003; MASTEL, 2003; RODEMANN und BARTELS, 2004).

Um Rückschlüsse auf die Infektionszeitpunkte sowie das Auftreten der einzelnen *Fusarium*-Arten ziehen zu können, wurde in den Versuchsjahren 2013–2014 das qualitative und quantitative Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* in unterschiedlichen Pflanzenfraktionen über die Maisvegetation untersucht. Dabei wurde in EC 35 zwischen den Pflanzenfraktionen „untere 10 cm“ sowie „Restpflanze“, in den folgenden Entwicklungsstadien zwischen „unterhalb des Kolbens“, „Kolben“ sowie „oberhalb des Kolbens“ unterschieden. Im Versuchsjahr 2013 waren die Befallsstärken in der unteren Pflanzenfraktion „untere 10 cm“ (EC 35) bzw. „unterhalb des Kolbens“ (EC 65 und 75) an allen Versuchsstandorten höher als in der oberen Pflanzenfraktion „Restpflanze“ (EC 35) bzw. „oberhalb des Kolbens“ (EC 65 und 75), wobei sich das *fusarium*-spezifische Artenspektrum, welches von der geographischen Lage abhängig ist und somit besonders durch die vorherrschenden Klimabedingungen beeinflusst wird (LOGRIECO et al., 1995; BOTTALICO und PERRONE, 2002; GOERTZ, et al., 2010; AGUÍN et al., 2014), aus den Arten *F. poae*, *F. culmorum* sowie *F. avenaceum* zusammensetzte. Die höheren *Fusarium*-Befallsstärken in den unteren Bereichen der Maispflanze im Jahr 2013 könnten folglich durch eine Infektion über bodenbürtige *Fusarium*-Erreger, welche beispielsweise an Ernteresten überdauern (PARRY et al., 1995; MUNKVOLD et al., 1997; MUNKVOLD, 2003 a), entstanden sein. Das Artenspektrum würde ebenfalls für eine bodenbürtige Infektion der Maispflanzen sprechen. SCHLÜTER et al. (2006) konnten zeigen, dass *F. culmorum* nach der Aussaat insbesondere bei trockener, warmer Witterung in der Lage ist, Winterweizen

in hohem Maße über die Wurzeln und die Halmbasis zu besiedeln. Im Versuchsjahr 2014 hingegen waren die Befallsstärken in der oberen Pflanzenfraktion an allen Versuchsstandorten verglichen mit dem der unteren Pflanzenfraktion höher. So konnte in EC 65 und EC 75 in den oberen Pflanzenfraktionen eine deutliche Zunahme von *F. culmorum* und *F. graminearum*, welche auch die dominierenden Arten darstellten, festgestellt werden. Im Vergleich zum Jahr 2013 zeigte außerdem die Fraktion „Kolben“, insbesondere am Standort Reding, einen deutlichen *Fusarium*-Befall auf. Die höheren DNA-Befallsstärken in den oberen Pflanzenfraktionen im Versuchsjahr 2014 lassen somit auf eine Infektion über windbürtige Asco- oder Konidiensporen (PARRY et al., 1995; MUNKVOLD et al., 1997; MUNKVOLD, 2003 a) deuten. Eine weitere Möglichkeit für das Auftreten einzelner *Fusarium*-Arten innerhalb bestimmter Pflanzenfraktionen stellt die von MUNKVOLD et al. (1997), MUNKVOLD und CARLTON (1997), OREN et al. (2003), WILKE et al. (2007) und SCAUFLAIRE et al. (2011) beschriebene systemische Ausbreitung von *Fusarium* spp. im Maisstängel dar, bei welcher boden- oder samenbürtige *Fusarium*-Erreger durch Infektionshyphen die Keimlingspflanze infizieren und im Laufe der Vegetation sämtliche Pflanzenfraktionen durchwachsen. Unabhängig vom Versuchsjahr und -standort sowie der Befallsstärken in den unterschiedlichen Pflanzenfraktionen konnte vom Zeitpunkt der Blüte (EC 65) bis zur Milchreife (EC 75) eine deutliche Zunahme der *Fusarium*-DNA-Befallsstärke verzeichnet werden. Bereits WOLF und HOFFMAN (1994) beschrieben mit einer besonders intensiven Wachstumsrate von Beginn der Blüte bis zur Kornfüllungsphase eine ähnliche Populationsdynamik von *Drechslera tritici-repentis* in der Weizenkultur. Ab der zweiten Woche nach der Blüte beginnt die Weizenpflanze verstärkt, Assimilate von den vegetativen (source) in die generativen (sink) Organe einzulagern (STOY, 1965; KROPF, 2012). Möglicherweise wird durch die Veränderung bzw. Intensivierung der Assimilatverlagerung der Erreger in seinem Wachstum positiv beeinflusst.

In den Erntegutproben der Versuchsstandorte in den Jahren 2012 – 2014 konnten bis zu sechs verschiedene *Fusarium*-Arten nachgewiesen werden. Dabei wiesen die Maispflanzen immer einen gleichzeitigen Befall von mehreren Arten auf. Dieses entspricht den Angaben aus der Literatur, denen zufolge das Auftreten von bis zu neun verschiedenen *Fusarium*-Arten an einer Pflanze zu beobachten ist (POPOVKI und CELAR, 2013). Die Zusammensetzung des Artenspektrums variierte zwischen den Versuchsjahren und -standorten. In Hohenschulen konnten *F. graminearum* und *F. poae* im Versuchsjahr 2012 als dominierende Arten des Erregerkomplexes nachgewiesen werden. 2013 nahm standortübergreifend vor allem *F. poae*, aber auch *F. equiseti* und *F. avenaceum* einen großen Anteil des Erregerkomplexes ein. Im Versuchsjahr 2014 wurde der Standort Hohenschulen durch *F. graminearum* und *F. culmorum* dominiert, am

Standort Brockum und Reding wurde der Erregerkomplex deutlich durch *F. graminearum* geprägt. Folglich treten in Nord- und Süddeutschland dieselben *Fusarium*-Arten auf, deren Anteil am Erregerkomplex ist jedoch von der Witterung und der Konkurrenzsituation abhängig. Hinsichtlich der Befallsstärke traten zwischen den Versuchsjahren und -standorten sowie der Nutzungsrichtungen erhebliche Variationen auf. Die Befallsstärken der einzelnen *Fusarium*-Arten werden dabei ebenfalls vom Witterungsgeschehen und der Konkurrenzkraft des jeweiligen Erregers bestimmt (DOOHAN et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a; DORN et al., 2011; AGUÍN et al., 2014). In der Literatur wird *F. graminearum* als wärmeliebende Art beschrieben, deren Anspruch an die Temperatur bei 15 – 25 °C liegt (MAGAN, 2006). Diese Angaben können durch die vorliegenden Ergebnisse, nach denen *F. graminearum* verstärkt am Standort Reding unter Einfluss des kontinentalen Klimas sowie an allen Standorten im Versuchsjahr 2014, an denen die Durchschnittstemperaturen im Juli deutlich über dem langjährigen Mittel der einzelnen Versuchsstandorte lagen, bestätigt werden. Das massive Auftreten von *F. graminearum* im Körnermaiserntegut in 2014 (Kap. 4.4.3.4) kann zudem auf die Fähigkeit des Erregers, den Kolben über windbürtige Sporen zu infizieren, zurückgeführt werden. Zudem wird die *Gibberella ear rot* hauptsächlich durch *F. graminearum* hervorgerufen (LOGRIECO et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a). Der primäre Infektionsweg der *Fusarium*-Kolbenfäule beginnt zur Blüte durch das Anhaften der Sporen an die Narbenfäden (LOGRIECO et al., 2003; MUNKVOLD, 2003 a; SCHLÜTER und KROPF, 2010; SCHULTE, 2014). In den ersten sechs Tagen nach dem Erscheinen der Narbenfäden sind diese besonders anfällig für *Fusarium*-Infektionen. Gefördert wird die Infektion durch warme, niederschlagsreiche Tage mit Temperaturen von 18 – 19 °C, Niederschlägen über 5 mm und einer hohen rLF (REID et al., 1996; BARTELS und RODEMANN, 2003; MUNKVOLD, 2003 a). Bei Betrachtung der vorherrschenden Witterungsbedingungen zum Zeitraum der Blüte an den Versuchsstandorten in den Jahren 2012 – 2014 (Kap 4.1.) wird deutlich, dass die Temperaturen von 18 – 19 °C zwar erreicht wurden, die Niederschlagsmengen jedoch zu gering für eine erfolgreiche Infektion ausfielen. Eine Ausnahme stellte der Standort Reding im Versuchsjahr 2014 dar, welcher mit einer Niederschlagssumme von 57,6 mm und einer Durchschnittstemperatur von 20,5 °C zum Zeitpunkt der Blüte günstige Bedingungen für die Blüteninfektion zeigte. So konnte hier in EC 75, also nach der Blüte, ein deutlicher Anstieg der DNA-Befallsstärke in allen Versuchsvarianten und Probefractionen detektiert werden. Besonders die Kolbenfraktion zeigte mit Werten von 754 ‰ in der Kontrollvariante einen hohen Befall. Dieser erhebliche Anstieg der DNA-Befallsstärke beruhte vor allem auf der deutlichen Zunahme der DON- und ZEA-produzierenden Art *F. graminearum*. Somit sind für die deutliche Dominanz dieser Art am Standort Reding in 2014 zum einen die Nutzungsrichtung Körnermais und zum anderen

die deutlich höheren Niederschläge in den Monaten Mai bis September entscheidend gewesen. Weiter wird *F. graminearum* als die aggressivste und konkurrenzstärkste Art beschrieben (BRENNAN et al., 2003; DOOHAN et al., 2003; FERNANDEZ und CHEN, 2005; XU et al., 2005). Möglicherweise ist das starke Vorkommen dieser *Fusarium*-Art im Versuchsjahr 2014 neben Klimabedingungen somit auch auf die hohe Konkurrenzleistung zurückzuführen. Die Arten *F. culmorum* und *F. poae* bevorzugen dagegen ein kühleres, maritimes Klima und treten laut Literatur vorwiegend im mittel- bis nordeuropäischen Raum auf (BOTTALICO, 1998; LOGRIECO et al., 2002; GOERTZ et al., 2010). Maximale Wachstumsraten werden bei Temperaturen von 20 – 25 °C, wobei die Entwicklung von *F. culmorum* bereits ab Temperaturen von 10 °C stattfinden kann, und einer rLF von 98 – 99 % beschrieben (MILLER et al., 1995; HOPE et al., 2005; MAGAN, 2006; OSBORNE und STEIN, 2007). Die Witterungsansprüche bestätigen das erhöhte Auftreten der beiden Erreger an den nördlicheren Versuchsstandorten Hohenschulen und Brockum. Weiter können die höheren Befallsintensitäten von *F. culmorum*, vor allem zu Beginn der Mais-Vegetation, auf die geringeren Temperaturansprüche zurückgeführt werden. Ähnlich wie *F. graminearum* kann auch *F. equiseti* in Nord-, Mittel und Südeuropa anzutreffen sein (LOGRIECO et al., 2002). Für *F. equiseti* liegen die optimalen Wachstumstemperaturen zwischen 22 und 30 °C (PUNJA et al., 2008). Dieser Erreger hat neben *F. culmorum*, *F. avenaceum* sowie *F. poae* in den mittleren bis nördlichen Breiten Europas eine Bedeutung (LOGRIECO et al., 2002; NICOLAISEN et al., 2009; GOERTZ et al., 2010). Die Witterungsansprüche dieser *Fusarium*-Art waren hinsichtlich der optimalen Temperatur an allen Standorten nicht erfüllt. Dennoch konnte *F. equiseti* im Versuchsjahr 2013 nach *F. poae* als zweithäufigste *Fusarium*-Art detektiert werden. Der allgemein geringe Anteil von *F. graminearum* im Versuchsjahr 2013 könnte somit auf eine starke Besiedelung der Maispflanzen durch *F. poae*, *F. culmorum* und *F. equiseti* zurückgeführt werden. Die optimalen Wachstumstemperaturen für *F. avenaceum* liegen, wie für *F. culmorum* und *F. poae*, bei 20 – 25 °C (OLESKEVICH et al., 1998; BRENNAN et al., 2003). Die an allen Standorten als niedrig einzustufenden Befallsstärken von *F. avenaceum* können somit nicht durch die Witterungsansprüche, sondern viel mehr durch unterschiedliche Konkurrenzkraft der einzelner *Fusarium*-Arten erklärt werden. Nach BRENNAN et al. (2003) sowie FERNANDEZ und CHEN (2005) zählen *F. culmorum* und *F. graminearum* zu den aggressivsten Erregern, die in der Lage sind, weniger konkurrenzstarke Arten mit einer deutlich geringeren Pathogenität wie *F. avenaceum*, *F. equiseti* und *F. poae* zu verdrängen, wodurch die unterschiedliche Dominanz der *Fusarium*-Arten an den einzelnen Versuchsstandorten begründet werden kann.

Mykotoxinbelastungen

Die Kontamination des Ernteguts mit toxischen Metaboliten steht im engen Zusammenhang mit dem Befall der Maispflanze mit Pilzen der Gattung *Fusarium*. Besonders zu erwähnen sind dabei die Mykotoxine DON und ZEA, welche hauptsächlich durch die *Fusarium*-Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* und gebildet werden. Das Mykotoxin ZEA wird zudem auch durch *F. equiseti* synthetisiert (BOTALLICO, 1998; LESLIE und SUMMERELL, 2006; DÖLL und DÄNICKE, 2011). Die Bildung der Mykotoxine wird wie das Auftreten der *Fusarium*-Arten durch das Klima und die geographische Lage stark beeinflusst. Da die Maispflanzen, wie zuvor dargestellt, von einem vielseitigen Artenspektrum von *Fusarium* spp. befallen werden können und jede *Fusarium*-Art ihr spezifisches Mykotoxinspektrum synthetisiert, kann der Mais auch mit einer Vielzahl von Mykotoxinen belastet sein (MUNKVOLD et al., 2003 b; MARIN et al., 2013). Dabei zählen vor allem DON und ZEA zu den dominierenden Mykotoxinen im Maisanbau Europas (PAPST et al., 2007; GOERTZ et al., 2010).

Die DON- und ZEA-produzierenden *Fusarium*-Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* wurden in allen Versuchsjahren und Standorten im Erntegut nachgewiesen. Der ZEA-Produzent *F. equiseti* wurde ebenfalls in 2013 und 2014 an den einzelnen Versuchsstandorten detektiert. Für das Jahr 2012 können diesbezüglich keine Aussagen getroffen werden, da diese Spezies erst in den beiden letzten Versuchsjahren mit in die Analysen aufgenommen wurde. Hinsichtlich der Mykotoxinbelastung des Erntegutes gab es starke Unterschiede zwischen den Versuchsjahren und -standorten sowie zwischen den Varianten. Mit Ausnahme des Versuchsstandortes Hohenschulen in 2012 konnte in jeder Variante unabhängig von Standort und Versuchsjahr eine Belastung sowohl mit DON als auch ZEA nachgewiesen werden, wobei jeweils die unbehandelte Kontrolle die höchste Mykotoxinkontamination aufwies. Für Futtermittel wurden durch die EU-Kommission Empfehlungen für Richtwerte (EG Nr. 576/2006) als Orientierungshilfen, welche sich auf unterschiedliche Mykotoxingehalte bestimmter Ergänzungs- und Alleinfuttermittel sowie unterschiedliche Sensitivitäten einzelner Nutztierarten gegenüber Mykotoxinen beziehen, vergeben (ANONYM, 2007). Da der Silomais hauptsächlich als Silage in der Rinderfütterung eingesetzt wird, kommen hier die Richtwerte für Wiederkäuer in Höhe von $5000 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für DON und $500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für ZEA zum Einsatz. Eine Überschreitung der von der EU festgelegten Richtwertes für DON konnte mit maximalen Werten von $1395 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ in der Sorte NK Nekta am Standort Hohenschulen in 2013 und $1193 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ ebenfalls in der Sorte NK Nekta am Standort Brockum in 2014 in keiner Silomaisernteprobe ermittelt werden. Im Unterschied dazu wurde der Richtwert für ZEA in den Silomaisfeldversuchen jeweils in den unbehandelten Kontrollen im Versuchsjahr 2013 am Standort Hohenschulen in beiden

Sorten (NK Nekta und Multitop) mit Werten von 661 bzw. 718 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und im folgendem Jahr in der Sorte Multitop mit 722 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ überschritten sowie in der Sorte NK Nekta an den Standorten Hohenschulen und Brockum in 2014 mit Werten von 445 bzw. 425 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ annähernd erreicht. Am Standort Reding (2012 und 2014) erfolgte der Anbau von Körnermais, der überwiegend der Verfütterung an Schweine dient. Die Richtwerte für die Verfütterung von Körnermais in der Schweinproduktion liegen bei 900 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für DON und 250 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für ZEA. Diese Richtwerte wurden im Jahr 2012 mit Werten von 648 $\mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und 392 $\mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ in der unbehandelten Kontrolle für DON annähernd erreicht bzw. für ZEA überschritten. Im Versuchsjahr 2014 wurden in Übereinstimmung mit einem massiven Befall von *F. graminearum* in allen Versuchsvarianten auch extrem hohe Mykotoxinbelastungen der Körnermaisproben analysiert, welche die EU-Richtwerte um ein vielfaches überstiegen. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, dass die ZEA-Belastung in Bezug auf die Futtermittelproduktion das größere Problem darstellt. Im Vergleich der Versuchsjahre 2012 – 2014 konnte in 2012 am Standort Hohenschulen sowie in 2013 am Standort Liesborn in Übereinstimmung mit dem geringsten Befall der DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* auch die geringste Mykotoxinbelastung der Silomaisproben detektiert werden. Darüber hinaus konnten, trotz unterschiedlich hoher *Fusarium*-Befallsintensitäten im Erntegut der unbehandelten Kontrollvariante der Versuchsstandorte Hohenschulen (1973,2 ‰) und Brockum (1437,1 ‰) in der Sorte NK Nekta annähernd gleiche DON- (1061 und 1193 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) sowie ZEA-Gehalte (445 und 423 $\mu\text{g (kg TM)}^{-1}$) im Versuchsjahr 2014 nachgewiesen werden. Dies kann mit einer deutlich höheren Befallsstärke des DON- und ZEA-Produzenten *F. graminearum* in den Silomaisproben der unbehandelten Kontrollvariante des Standorts Brockum erklärt werden. Bei dem Vergleich der Silomaisversuche am Standort Hohenschulen 2013 und 2014 konnten in beiden Sorten (NK Nekta und Multitop) trotz des allgemein geringeren *Fusarium*-Befalls im Jahr 2013 und des deutlich höheren Anteils der DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* im Jahr 2014 annähernd gleiche DON- sowie ZEA-Gehalte nachgewiesen werden, was verdeutlicht, dass weitere Faktoren die Mykotoxinbiosynthese beeinflussen können.

Fusarium-Pilze sind in der Lage, saprophytisch an Ernterückständen, welche als Hauptquelle für das Inokulum gelten, zu überdauern. Somit stellt die Intensivierung der Bodenbearbeitung eine gute Möglichkeit dar, um die Mykotoxinproduktion zu reduzieren (PARRY et al., 1995; MUNKVOLD, 2003 b; EDWARDS, 2004; JOUANY, 2007). Der Einsatz des Pfluges zur wendenden Bodenbearbeitung, bei dem Ernterückstände in tiefere Bodenschichten verlagert werden und somit den Infektionsdruck in der Folgekultur reduzieren, wird in der Literatur besonders nach einer risikoreichen Vorfrucht wie Mais als

wirksame Minderungsstrategie gegen *Fusarium*-Spezies genannt. Im Vergleich dazu zeigt die Minimalbodenbearbeitung ein höheres Befallsrisiko auf, da ein größerer Teil der Ernterückstände an der Bodenoberfläche verbleibt (BARTELS und RODEMANN, 2003; MUNKVOLD, 2003 a; EDWARDS, 2004; SCHAAFSMA et al., 2005; BEYER et al., 2006; JOUANY, 2007; OSBORNE und STEIN, 2007). Daher kann als ein weiterer Grund der insgesamt deutlich niedriger ausfallenden DNA-Befallsstärken und Mykotoxinkontaminationen im Versuchsjahr 2012 in Reding bzw. 2013 in Liesborn der Pflugeinsatz, welcher am bayrischen Standort Reding zur Zeit der Versuchsdurchführung noch Pflicht gegen das Auftreten des Maiswurzelbohrers war, angesehen werden. Hinzu kommt, dass an den genannten Standorten die Vorfrucht Weizen (2011 in Hohenschulen; 2012 in Liesborn) angebaut wurde und Weizenreste im Vergleich zu Maisernteresten ein geringeres Inokulumpotential darstellen (BARTELS und RODEMANN, 2003; MUNKVOLD, 2003 a). Im Vergleich dazu wurde an den Standorten Hohenschulen und Brockum eine konservierende Bodenbearbeitung durchgeführt, die zu einer geringeren Einarbeitung der Ernterückstände und folglich zu Rotteförderung führte. Zudem erfolgte der Anbau des Maises in Form einer Monokultur und stellte somit günstige Bedingungen für den Befall mit *Fusarium* spp. und die Bildung von Mykotoxinen dar. Weiter können hohe Pflanzenzahlen zu Wasser- und Nährstoffstress der Pflanzen führen und dadurch die Anfälligkeit gegenüber mykotoxinbildenden Pathogenen erhöhen. Als Gründe dafür werden eine geringere Luftbewegung sowie eine höhere relative Feuchte, welche die *Fusarium*-Pilze begünstigen, genannt (BLANDINO et al., 2008 a).

Im Vergleich mit anderen europäischen Studien von BARTELS und RODEMANN (2003), GOERTZ et al. (2010) sowie DORN et al. (2011) können die erfassten *Fusarium*-Befallsstärken sowie DON- und ZEA-Belastungen der vorliegenden Arbeit, mit Ausnahme des Versuchsstandortes Reding im Jahr 2014, als gering eingestuft werden, was auf die nicht stattgefundene Blüteninfektion zum Zeitpunkt der Maisblüte einerseits und auf die vorherrschende Witterung der Versuchsstandorte andererseits zurückzuführen ist. Nach MUNKVOLD (2003 a) wird die Synthese von ZEA durch die *Fusarium* spp. durch starke Niederschläge und niedrige Temperaturen zwischen 12 und 14 °C begünstigt. Bis auf den Mai lagen die durchschnittlichen Temperaturen der Monate Juni bis September sowohl am bayrischen Standort Reding als auch an den nördlicher gelegenen Standorten Liesborn, Brockum und Hohenschulen über den förderlichen Temperaturen. Weiter besitzt ZEA eine reduzierende Wirkung auf das Auftreten anderer konkurrierender Pathogene (KIM et al., 2005; SAß, 2007). Die niedrigen ZEA-Gehalte an den Versuchsstandorten könnten somit durch einen geringen Konkurrenzdruck mit pilzlichen Blattpathogenen begründet werden. Die optimalen Bedingungen für die DON-Produktion durch *F. graminearum* wurden von RAMIREZ et al. (2006) in ihrer Studie bei Temperaturen von

25 °C und einer hohen Luftfeuchtigkeit beschrieben, wobei eine Synthese bei Temperaturen zwischen 15 und 30 °C möglich ist. Die sowohl geringen ZEA- als auch DON-Belastungen der Silomaisproben können somit auf die niedrigen Niederschlagssummen der Versuchsstandorte zurückzuführen sein. In Übereinstimmung damit wurde in einer Studie von PAPST et al. (2007) in Jahren mit langen Trockenperioden nur eine sehr geringe Mykotoxinbelastung nachgewiesen. Weiter wurde beschrieben, dass DON eine geringe Bedeutung für den direkten Infektionsprozess besitzt, jedoch als Virulenzfaktor die Pathogenese der Pflanze von *Fusarium* spp. eine wichtige Rolle spielt (HARRIS et al., 1999; DESJARDINS, 2006). Aufgrund der phytotoxischen Wirkung kann DON im pflanzlichen Gewebe zu Welkeerscheinungen, Chlorosen und Nekrosen führen. Außerdem besitzt es eine Wirkung auf die Proteinbiosynthese der Pflanzen, wodurch die pflanzliche Abwehrreaktion gegen pilzliche Angriffe unterdrückt wird (HARRIS et al., 1999). Das Mykotoxin ZEA hingegen unterstützt die Pathogenese der *Fusarium*-Arten nicht (LYSØE et al., 2006), sondern besitzt als Schutzmechanismus vor konkurrierenden Mikroorganismen eine Bedeutung (KIM et al., 2005; SAß, 2007). Weiter wirken sich neben Wachstumsparametern wie Temperatur, Wasseraktivität, Sauerstoff und Substrat auch Stressbedingungen für das Pathogen auf die Mykotoxinbiosynthese aus (MARTINS und MARTINS, 2002; SCHMIDT-HEYDT et al., 2008). Somit ist ein Befall mit *Fusarium* spp. nicht zwangsläufig an die Produktion und Belastung mit Mykotoxinen gebunden (DORN et al., 2011). Dennoch konnten enge Beziehungen zwischen den analysierten Mykotoxinkontaminationen und den quantitativ bestimmten DNA-Mengen der DON- und ZEA-Produzenten bestimmt werden. Im Kapitel 4.4.4 konnte gezeigt werden, dass im Mittel der Versuchsstandorte und -sorten nachgewiesenen DON- und ZEA-Gehalte im Erntegut aller Varianten in 2014 im Zusammenhang zum quantitativen Nachweis der Pilz-DNA von *F. culmorum* und *F. graminearum* stehen. Diese positive Regression der quantitativen Beziehung ist mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,84$ (DON) bzw. $0,78$ (ZEA) charakterisiert und als hoch einzustufen. Mit steigenden Befallsintensitäten der DON- bzw. ZEA-spezifischen *Fusarium*-Arten konnten auch höhere Mykotoxinbelastungen im Erntegut detektiert werden. Eine vergleichbare positive Beziehung der genannten Parameter konnte im Versuchsjahr 2013 (Kap. 4.3.3) gezeigt werden. Auch ATOUI et al. (2012) und BIRR (2013) konnten eine positive Korrelation zwischen einer zunehmenden DNA-Befallsstärke und der Mykotoxinbelastung feststellen.

Systemisches Wachstum und Mykotoxinbelastung der Pflanzenfraktionen

Um die Verteilung und Akkumulation verschiedener *Fusarium*-Arten innerhalb der Pflanze über die Maisvegetation zu hinterleuchten, wurde die von verschiedenen Autoren beschriebene systemische Ausbreitung von *Fusarium* spp. im Maisstängel (MUNKVOLD et

al., 1997; MUNKVOLD und CARLTON, 1997; OREN et al., 2003; WILKE et al., 2007; SCAUFLAIRE et al., 2011) in der vorliegenden Arbeit untersucht. Hierfür wurden am Standort Hohenschulen in der unbehandelten Kontrolle der Sorte NK Nekta im Versuchsjahr 2014 die DNA-Befallsstärken der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. avenaceum* in den einzelnen Fraktionen Nodien, Internodien, Kolben sowie Restpflanze zu den Entwicklungsstadien EC 33, EC 65, EC 75 und EC 85 analysiert. Die Forschergruppen gehen davon aus, dass es sich bei einigen *Fusarium*-Arten um eine systemische Infektion handelt, wodurch auch die weiter oben liegenden Pflanzenorgane infiziert werden können. Als Inokulumquelle dient neben dem mit *Fusarium*-infiziertem Ernterest im Saathorizont auch das *Fusarium*-infizierte Saatgut. Im heranwachsenden Keimling entwickelt sich der Pilz und wächst anschließend systemisch von den Wurzeln in die folgenden Nodien, Internodien sowie Blattscheiden der Maispflanze (MUNKVOLD et al., 1997; MUNKVOLD und CARLTON, 1997; OREN et al., 2003; WILKE et al., 2007). Bereits in EC 33 konnte ein schwacher *Fusarium*-Befall festgestellt werden, welcher in EC 65 in allen Probefractionen anstieg, wobei die Befallsintensität innerhalb der Pflanzenfraktionen von unten nach oben deutlich abnahm und vor allem auf eine Zunahme der DON- und ZEA-produzierenden Art *F. culmorum* zurückzuführen war. Dies spricht für die Infektion über den Boden und die anschließende akropetale Verteilung des Erregers innerhalb der Pflanze und bestätigt somit die von MUNKVOLD et al. (1997), MUNKVOLD und CARLTON (1997), OREN et al. (2003), WILKE et al. (2007) sowie SCAUFLAIRE et al. (2011) aufgestellten Thesen. Nach der Blüte in EC 75 konnte ein erheblicher Anstieg der *Fusarium*-DNA-Befallsstärke festgestellt werden. Während im oberen Bereich der Pflanze sowie im Kolben nur moderate Befallsstärken detektiert werden konnten, zeigte der untere und mittlere Pflanzenapparat einen starken Befall. Den höchsten *Fusarium*-Befall wies das Nodium 1 mit 412 ‰ gefolgt vom Nodium 3 mit 357 ‰ auf. Neben einem Anstieg von *F. culmorum* konnte zu diesem Entwicklungsstadium eine deutliche Zunahme von *F. poae* und *F. avenaceum* detektiert werden. Zum Zeitpunkt der Silomaisernte in EC 85 konnte ein weiterer Anstieg der DNA-Befallsstärke gezeigt werden, welcher hauptsächlich auf die Zunahme von *F. graminearum* zurückzuführen war. Insbesondere die Nodien 2 – 5 zeigten einen massiven *Fusarium*-Befall mit Werten von 606 – 723 ‰. Diese Verteilung bzw. Akkumulation innerhalb der Pflanze spricht zum einen für die bereits erwähnte Bodeninfektion und zum anderen für die Primärinfektion der rudimentären Kolbenanlagen bzw. Blattscheiden, über die sich der Erreger systemisch in der Pflanze ausbreitet. Schon FOLEY (1962) zeigte in seiner Studie, dass der *Fusarium*-Befall des Maisstängels auf einen *Fusarium*-Befall über Blattachseln zurückgeführt werden kann. Die Sporen werden hierbei durch Regentropfen und Wind in die Blattachseln der Maispflanze transportiert und infizieren von dort aus den Stängel. Bei der

Infektion der Maispflanzen durch *Fusarium* spp. fungieren die rudimentären Kolbenanlagen in den Blattachsen somit als primäre Eintrittspforte. Daher kann der festgestellte Befall der Nodien auch auf einen Befall der Blattachsen zurückzuführen sein, von denen im Anschluss eine Infektion der Nodien erfolgte. Nach FOLEY (1962) und GOERTZ (2010) dienen die Stängelknoten als physiologische Barrieren, welche das Wachstum innerhalb des Stängels reduzieren sollen, wodurch die hohen Konzentrationen von *Fusarium* spp. in den Nodien erklärt werden können. In einer dreijährigen Studie in Belgien konnte ebenfalls gezeigt werden, dass insbesondere der unterste Stängelbereich bis zum ersten Internodium einen hohen Befall von *Fusarium*-Arten aufweist (SCAUFLAIRE et al., 2011). Genau diese Stängelabschnitte verbleiben als Pflanzenrückstände nach der Ernte auf dem Feld, wodurch der Mais als Vorfrucht eine erhebliche Inokulumquelle für die nächste Kultur darstellt. Zudem konnten WINTER et al. (2013) in ihrer Studie zeigen, dass *Fusarium* spp. dazu neigen sich in assimilatreichen Pflanzengewebe anzureichern und dort verstärkt Mykotoxine zu synthetisieren. Neben der DNA-Befallsstärke der *Fusarium*-Arten wurden die einzelnen Pflanzenfraktionen zur Silomaisreife in EC 85 auch hinsichtlich der Mykotoxin-Kontamination analysiert. Ein Befall mit den DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* konnte in allen Pflanzenfraktionen festgestellt werden, wobei die Internodien verglichen mit den Nodien im Allgemeinen geringere Befallswerte zeigten. Dementgegen konnte eine Belastung mit DON und ZEA ausschließlich in den Nodien 3 – 6 analysiert werden (Kap. 4.5). In den höher inserierten Stängelknoten konnten keine DON- und ZEA-Gehalte analysiert werden, was auf eine frühzeitige Besiedlung der Pflanzen, wie sie auch von SCHLÜTER et al. (2006) für Weizenpflanzen beschrieben wurde, hin deutet. Dabei zeigten das Nodium 4 mit $1395 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $156 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ gefolgt vom Nodium 5 mit $947 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $222 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ die höchsten Mykotoxinbelastungen. Neben den höchsten DON- und ZEA-Gehalten konnten in diesen Nodien ebenfalls hohe Befallsstärken mit *F. culmorum* und *F. graminearum* von 498 bzw. 723 ‰ detektiert werden. Bereits YOUNG und MILLER (1985) haben in ihren Untersuchungen festgestellt, dass DON in gebundener Form über die Leitungsbahnen zum Wurzelsystem transportiert wird, wodurch eine Abnahme von DON an der Infektionsstelle einerseits, aber auch ein Transport in der Restpflanze andererseits zu begründen wäre. CLEMENT und PARRY (1998) beschrieben hingegen in Weizenpflanzen einen Transport von *F. graminearum* und *F. culmorum* über das Xylem und auch SCHLÜTER et al. (2006) nannten in diesem Zusammenhang, dass *F. culmorum* mit dem Transpirationsstrom weitere Pflanzenorgane erreichen kann. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit konnte jedoch eine Verlagerung von DON und ZEA aus stark mit *Fusarium*-befallenen Fraktionen der Pflanze nicht festgestellt werden. Auch OLDENBURG und HÖPPNER (2006) konnten in ihren

Untersuchungen einen Transport des Mykotoxins DON über den Xylem- bzw. Phloemstrom nicht ermitteln.

Fungizide Gegenmaßnahmen

An den Versuchsstandorten wurde neben der Wirkung der Saatgutbeizen Maxim[®]XL (nur in 2012), Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro der Einfluss des seit 2014 im Mais zugelassenen Blattfungizids Quilt[®]Xcel getestet. Während der Einsatz von Fungiziden zur direkten Bekämpfung von *Fusarium*-Erregern sowie zur Reduzierung der Mykotoxinkontamination bei Getreidearten wie Weizen, Gerste, Roggen und Triticale zugelassen ist und speziell als Maßnahme gegen die partielle Taubährigkeit empfohlen wird (MESTERHÁZY et al., 2003; EDWARDS, 2004), beinhaltet die Zulassung von Quilt[®]Xcel in der Maiskultur derzeit ausschließlich den Einsatz gegen die *Turcicum*-Blattdürre (ANONYM, 2014). Die Fungizidapplikationen erfolgten in verschiedenen Entwicklungsstadien der Maiskultur um nachfolgend die nach Herstellerangaben gegebene Wirksamkeit gegen den *Fusarium*-Spätbefall beurteilen zu können sowie eine Empfehlung hinsichtlich des optimalen Applikationstermins geben zu können.

Die Saatgutbeize Apron[®]XL beinhaltet den Wirkstoff Metalaxyl-M, welcher lediglich eine Wirkung gegen Oomyceten wie z.B. *Pythium*-Arten besitzt (FISHER und HAYES, 1984; MUNKVOLD und O'MARA, 2002; GISI, 2013). Dennoch zeigten im Mittel der Jahre und Standorte sowie zu allen Probenahmeterminen die mit Apron[®]XL gebeizten Varianten verglichen mit der unbehandelten Kontrolle geringere *Fusarium*-Befallsstärken und Mykotoxinkontaminationen auf. Da allerdings der beinhaltete Wirkstoff keine Wirkung gegen Pilze der Gattung *Fusarium* besitzt (FISHER und HAYES, 1984; MUNKVOLD und O'MARA, 2002; GISI, 2013), ist die ermittelte reduzierende Wirkung auf *Fusarium*-Arten zu hinterfragen. In den fungiziden Saatgutbeizen Maxim[®]XL und Maxim[®]Quattro ist neben dem bereits genannten Metalaxyl-M noch das Fludioxonil, welches eine hohe Aktivität gegenüber *Fusarium*-Arten besitzt, enthalten (LIPPS et al., 1994; MUNKVOLD und O'MARA, 2002). Die fungizide Beize Maxim[®]Quattro beinhaltet zudem die Wirkstoffe Azoxystrobin und Thiabendazol. In einer Studie über Saatgutbehandlungen in der Weizenkultur konnten PARIYAR et al. (2014) eine gute fungizide Wirksamkeit des Wirkstoffs Thiabendazol gegenüber *F. culmorum* zeigen. Wirkstoffe aus der Gruppe der Strobilurine wie das Azoxystrobin weisen im Vergleich zu Triazolfungiziden meist eine geringere Wirksamkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen auf (EDWARDS et al., 2001) und ihre reduzierende Wirkung auf die Mykotoxinbiosynthese ist als gering einzustufen (FORRER et al., 2000; PIRGOZLIEV et al., 2002).

Verglichen mit der unbehandelten Kontrolle und der mit Apron[®]XL gebeizten Variante zeigte die Beize Maxim[®]Quattro im Mittel der Jahre und Standorte sowie zu allen

Probenahmeterminen die geringsten DNA-Befallsstärken. In einer Studie von GALPERIN et al. (2003) konnten Fungizidbeizen die Infektion mit *F. moniliforme* bis zu fünf Wochen nach der Aussaat verhindern. Zum Zeitpunkt der Ernte konnte immer noch eine Reduktion des Knotenbefalls um 50 % für die gebeizten Varianten festgestellt werden. RODRIGUEZ-BRLJEVICH et al. (2010) zeigten, dass die fungizide Aktivität von Beizen limitierend ist, wodurch ein Befall mit *Fusarium* spp. bei ungebeizten sowie gebeizten Maispflanzen festgestellt werden konnte, allerdings wiesen die gebeizten Varianten einen signifikant reduzierten Befall auf. Trotz der verringerten Aktivität der Beizen konnten anhaltende Vorzüge der Fungizidbeizen auch in der vorliegenden Arbeit dargestellt werden. Durch die alleinige Saatgutbehandlung mit Maxim[®]Quattro wurde der *Fusarium*-Befall im Erntegut gegenüber der unbehandelten Kontrolle im Versuchsjahr 2013 mit standortspezifischen Wirkungsgraden in einem Bereich von 7 % (Liesborn; Kap. 4.3.2.4) bis 73 % (Hohenschulen, Kap. 4.3.1.4) bzw. im Versuchsjahr 2014 mit Werten von 49% (Reding, Kap. 4.4.3.4) bis 77% (Hohenschulen, Kap. 4.4.1.4) in der Sorte NK Necta reduziert. Durch die Wirkstoffe Fludioxonil und Thiabendazol, welche eine hohe Wirkung gegenüber *Fusarium* spp. aufweisen (LIPPS et al., 1994; MUNKVOLD und O'MARA, 2002; PARIYAR et al., 2014), im Maxim[®]Quattro konnte ein früher bodenbürtiger *Fusarium*-Befall sehr effizient kontrolliert und somit die Sekundärinfektionen verzögert bzw. reduziert werden. Außerdem bewirkte die alleinige Saatgutbehandlung mit Maxim[®]Quattro eine deutliche Reduktion des DON- und ZEA-Gehaltes und konnte somit die Überschreitung des ZEA-Richtwertes unterbinden. Während in den Versuchsjahren 2012 – 2014 in der Kontrollvariante der Silomaisstandorte der Richtwert für ZEA an drei Standorten überschritten bzw. an zwei Standorten annähernd erreicht wurde, war dies in den fungizidbehandelten Varianten der einzelnen Standorte nicht der Fall. Am befallsstarken Standort Reding in 2014 bestand in allen Körnermaisproben unabhängig von der Fungizidmaßnahme eine deutliche Überschreitung der DON- und ZEA-Richtwerte. Im Mittel der Standorte in 2013 sowie 2014 konnte die Maxim[®]Quattro Beizung den ZEA-Gehalt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant um 60 bzw. 49 % reduzieren (Kap. 4.3.3 und 4.4.4). Durch die alleinige Anwendung dieser Saatgutbeize konnte im Mittel der Standorte des Versuchsjahrs 2013 eine signifikante Reduktion des DON-Gehaltes um 51 % erzielt werden. JONES (2000) erbrachte in seiner Studie in den Kulturarten Weizen und Gerste vergleichbare Ergebnisse und konnte zeigen, dass der Wirkstoff Fludioxonil den Befall von *F. graminearum* sowie die Mykotoxinkontamination mit DON reduziert. Resultierend aus den genannten Ergebnissen kann die Schlussfolgerung getroffen werden, dass Saatgutbehandlungen aufgrund ihrer guten Wirksamkeit bereits bei geringen Aufwandsmengen als umweltschonende, ökonomisch vorteilhafte fungizide Maßnahme einsetzbar sind.

Der Wirkstoff Propiconazol aus der Gruppe der Triazole ist neben Azoxystrobin im verwendeten Blattfungizid Quilt®Xcel enthalten. Die Wirkung von triazolhaltigen Fungiziden gegen *Fusarium* spp. sowie die Reduktion der Mykotoxinbelastung im Weizen konnte durch verschiedene Studien nachgewiesen werden (FORRER et al., 2000; EDWARDS, 2001; MENNITI et al., 2002; EDWARDS, 2004; PAUL et al., 2008; ZHANG et al., 2009). Zusätzlich zur Saatgutbeizung führten später terminierte fungizide Blattapplikationen mit Quilt®Xcel zu einer weiteren Verbesserung gegenüber den ausschließlich gebeizten Varianten. Sowohl standort- als auch jahresübergreifend konnten in den Erntegutproben die *Fusarium*-Befallsstärken einerseits sowie die Mykotoxingehalte andererseits weiter reduziert werden. Besonders ist dabei die Kombination aus Maxim®Quattro und einer Fungizidapplikation von Quilt®Xcel zum Zeitpunkt des Rispenschiebens (EC 55), welche im Vergleich zu den Kombinationen mit einer Fungizidapplikation in EC 35 oder 65 im Mittel der Standorte und Versuchsjahre die größten reduzierenden Effekte aufwies, hervorzuheben. Durch die Fungizidstrategie Maxim®Quattro + Quilt®Xcel in EC 55 konnte der *Fusarium*-Befall im Mittel der Standorte und Maissorten um 86 % (2013) bzw. 75 % (2014) gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduziert werden. Zudem wurde durch die genannte Fungizidkombination aus Saatgutbeize und Blattapplikation die Mykotoxinbelastung deutlich verringert und erzielte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sowohl im Versuchsjahr 2013 als auch in 2014 eine signifikante Reduktion der Mykotoxinkontamination im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante. So konnte der DON- und ZEA-Gehalt sorten- und standortübergreifend im Versuchsjahr 2013 um 32 bzw. 65 % (Kap. 4.3.3) und im Versuchsjahr 2014 um 83 bzw. 70 % (Kap. 4.4.4) reduziert werden. In Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen ermittelten zahlreiche Forschungsgruppen in der Weizenkultur durch die späte Applikation von triazolhaltigen Fungiziden zur Blüte eine hohe Wirksamkeit gegenüber *Fusarium* spp. sowie eine deutliche Reduktion der DON-Belastung um bis zu 80 % (EDWARDS, 2001; MENNITI et al., 2002; EDWARDS, 2004; ZHANG et al., 2009).

Aufgrund des als allgemein sehr niedrig einzustufenden Befallsgeschehen der Blattpathogene *K. zeae*, *P. zeae-maydis* und *E. turcicum* der Versuchsjahre 202 – 2014 ist die Wirkung der getesteten Fungizidmaßnahmen schwer einzuschätzen. Allerdings ist in diesem Zusammenhang zu nennen, dass sich durch fungizide Bekämpfungsmaßnahmen gegen Blattpathogene die antagonistische Wirkung zwischen den Pathogenen verändert, wodurch der Befall mit *Fusarium* spp. durch das Wegfallen von Konkurrenten begünstigt wird (FORRER et al., 2000; MÜLLENBORN et al., 2008).

Neben positiven Qualitätseffekten führten die fungiziden Gegenmaßnahmen zu einer Erhöhung des TM-Ertrages. In Übereinstimmung mit den zuvor genannten Vorteilen konnten die Varianten mit einer Maxim®Quattro Saatgutbeize an allen Versuchsstandorten

die höchsten TM-Erträge erzielen. Dabei führte die Kombination mit einer Quilt®Xcel Fungizidapplikation nur zu einem geringen zusätzlichen Ertragszuwachs, wodurch an keinem der Versuchsstandorte ein signifikanter Ertragsunterschied zwischen der lediglich mit Maxim®Quattro gebeizten Variante und den zusätzlich mit Quilt®Xcel behandelten Varianten festgestellt werden konnte. PAUL et al. (2010) konnten in ihrer Studie zeigen, dass im Mittel einer 12-jährigen Datenanalyse alle getesteten triazolhaltigen Fungizide die *Fusarium*-Befallsintensität reduzieren und dadurch die Erträge signifikant erhöhen können. Allerdings gibt es hinsichtlich der Wirksamkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen in der Gruppe der Triazole Unterschiede, als besonders wirksam gelten die Wirkstoffe Tebuconazol, Metconazol und Prothioconazol (EDWARDS, 2001; MENNITI et al., 2002; EDWARDS, 2004), wohingegen im Quilt®Xcel der Wirkstoff Propiconazol enthalten ist. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle gestalteten sich die Ertragsunterschiede in den einzelnen Versuchsjahren als sehr variabel. Die im Versuchsjahr 2014 insgesamt geringen Ertragseffekte der mit Fungiziden behandelten Varianten gegenüber der unbehandelten Kontrolle sind vermutlich auf die günstigen Wachstumsbedingungen und den moderaten Pathogenbefall in der Vegetationsperiode zurückzuführen, wodurch das genetisch fixierte Ertragspotenzial der Sorten NK Nekta und Multitop auch ohne eine Fungizidbehandlung erreicht wurde. Dies wird durch das deutlich höhere Ertragsniveau des Versuchsjahres 2014 bestätigt. So konnte beispielsweise am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta (Kap. 4.4.1.5) im Mittel aller Versuchsvarianten ein um 17 % höheres Ertragsniveau verglichen zum Vorjahr erzielt werden. Die im Vergleich zu 2012 in 2014 am Standort Reding deutlich niedrigeren TM-Erträge im Körnermais sowie die geringeren Ertragseffekte der Fungizidmaßnahmen stehen im Zusammenhang mit dem massiven Befall aller Versuchsvarianten durch *F. graminearum*.

6. Zusammenfassung

Ein Befall mit Pilzen der Gattung *Fusarium* führt neben Ertragsverlusten vor allem zu Qualitätsbeeinträchtigungen des Ernteguts durch die gebildeten Mykotoxine, welche bereits in geringen Dosen ein Gesundheitsrisiko gegenüber Warmblütern darstellen. Die steigende Maisanbauintensität, der Anbau in immer enger gestellten Fruchtfolgen bis hin zur Monokultur sowie die Tendenz zur reduzierten Bodenbearbeitung bringen eine Erhöhung des Pflanzenpathogendruckes mit sich und geben Anlass zur Sorge, dass der *Fusarium*-Befall für den Maisanbau ein ähnlich großes Problem werden könnte, wie es bei Weizen der Fall ist. Im Rahmen überregional durchgeführter Feldversuche in den Jahren 2012 – 2014 wurden unter natürlichen Befallsbedingungen das qualitative und quantitative Auftreten sowie das epidemiologische Ausbreitungsmuster verschiedener *Fusarium*-Arten und deren Mykotoxinbildung in der Maiskultur untersucht, um unter Bedingungen der Kulturführung und Umwelt Aussagen über die strategische Anwendung von fungiziden Gegenmaßnahmen ableiten zu können.

Die molekularbiologischen Untersuchungen mittels qPCR ergaben, dass in den Erntegutproben der Versuchsstandorte in den Jahren 2012 – 2014 bis zu sechs verschiedene *Fusarium*-Arten nachgewiesen werden konnten. Dabei wiesen die Maispflanzen immer einen gleichzeitigen Befall von mehreren Arten auf, wobei die Zusammensetzung des Artenspektrums zwischen den Versuchsjahren und -standorten variierte. In Hohenschulen konnten *F. graminearum* und *F. poae* im Versuchsjahr 2012 als dominierende Arten des Erregerkomplexes nachgewiesen werden. 2013 nahm standortübergreifend vor allem *F. poae*, aber auch *F. equiseti* und *F. avenaceum* einen großen Anteil des Erregerkomplexes ein. Im Versuchsjahr 2014 wurde der Standort Hohenschulen durch *F. graminearum* und *F. culmorum* dominiert, an den Standorten Brockum und Reding wurde der Erregerkomplex deutlich durch *F. graminearum* geprägt. Bei der Betrachtung der *Fusarium*-Befallsstärken wiesen die analysierten Pflanzenfraktionen jahresspezifische Unterschiede auf. Im Versuchsjahr 2013 waren die Befallsstärken in den unteren Pflanzenfraktionen an allen Versuchsstandorten höher als in den oberen Pflanzenfraktionen, wobei sich das *fusarium*-spezifische Artenspektrum aus den Arten *F. poae*, *F. culmorum* sowie *F. avenaceum* zusammensetzte. Im Vergleich dazu besaßen im Versuchsjahr 2014 die oberen Pflanzenbereiche eine deutlich höhere DNA-Befallsintensität, hier konnte in EC 65 und EC 75 eine deutliche Zunahme von *F. culmorum* und *F. graminearum*, welche auch die dominierenden Arten darstellten, festgestellt werden. Aufgrund der mäßigen Temperaturen und der vorherrschenden niederschlagsarmen Witterung zur Maisblüte in den drei Versuchsjahren fiel die

Blüteninfektion und damit die *Fusarium*-Befallsstärke in der Kolbenfraktion mit Ausnahme des Standortes Reding in 2014 gering aus.

Weiter konnten die Mykotoxine DON und ZEA im Erntegut in allen Versuchsjahren nachgewiesen werden, wobei standortspezifische Unterschiede auftraten. Da der Silomais hauptsächlich in der Rinderfütterung eingesetzt wird, kommen hier die EU-Richtwerte für Wiederkäuer in Höhe von $5000 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für DON und $500 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für ZEA zum Einsatz. Eine Überschreitung des von der EU festgelegten Richtwertes für DON konnte mit maximalen Werten von $1395 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ am Standort Hohenschulen in 2013 und $1193 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ am Standort Brockum in 2014 in der Sorte NK Nekta in keiner Silomaisernteprobe ermittelt werden. Im Unterschied dazu wurde der Richtwert für ZEA in den Silomaisfeldversuchen jeweils in den unbehandelten Kontrollen im Versuchsjahr 2013 am Standort Hohenschulen in beiden Sorten (NK Nekta und Multitop) mit Werten von 661 bzw. $718 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ und im folgenden Jahr in der Sorte Multitop mit $722 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ überschritten sowie in der Sorte NK Nekta an den Standorten Hohenschulen und Brockum in 2014 mit Werten von 445 bzw. $425 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ annähernd erreicht. Am Standort Reding (2012 und 2014) erfolgte der Anbau von Körnermais, der überwiegend der Verfütterung an Schweine dient. Die Richtwerte für die Verfütterung von Körnermais in der Schweineproduktion liegen bei $900 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für DON und $250 \mu\text{g (kg TM)}^{-1}$ für ZEA. Diese Richtwerte wurden im Jahr 2012 mit Werten von $648 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $392 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ in der unbehandelten Kontrolle für DON annähernd erreicht bzw. für ZEA überschritten. Im Versuchsjahr 2014 wurden in Übereinstimmung mit einem massiven Befall von *F. graminearum* in allen Versuchsvarianten auch extrem hohe Mykotoxinbelastungen der Körnermaisproben analysiert, welche die EU-Richtwerte um ein vielfaches überstiegen und auf die stattgefundenen Blüteninfektion zurückzuführen war.

Ein Befall mit den DON- und ZEA-produzierenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* konnte in allen Pflanzenfraktionen festgestellt werden, wobei die Nodien verglichen mit den Internodien im Allgemeinen höhere Befallswerte zeigten. Dementgegen konnte eine Belastung mit DON und ZEA ausschließlich in den Nodien 3 – 6 analysiert werden. Dabei zeigte das Nodium 4 mit $1395 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $156 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ gefolgt vom Nodium 5 mit $947 \mu\text{g DON (kg TM)}^{-1}$ und $222 \mu\text{g ZEA (kg TM)}^{-1}$ die höchsten Mykotoxinbelastungen. Es konnte dargestellt werden, dass ein Befall lokal auf die unteren und mittleren Nodien begrenzt sein kann, was auf eine bodenbürtige Infektion zu frühen Entwicklungsstadien sowie eine Infektion der rudimentären Kolbenanlagen bzw. Blattscheiden, über die sich der Erreger systemisch in der Pflanze ausbreitet, schließen lässt.

Die Saatgutbehandlung mittels fungizider Beizen erzielte sehr gute Ergebnisse. Besonders die Saatgutbeize Maxim[®]Quattro konnte durch die frühzeitige Wirkung gegen bodenbürtige *Fusarium*-Erreger positive Effekte auf die Bestandesdichte und -entwicklung erzielen. Außerdem führt die alleinige Beizung zu einer deutlichen Reduktion der *Fusarium*-Befallsstärke sowie der Mykotoxinbelastung im Erntegut.

Zusätzlich zur Saatgutbeizung führten spätere fungizide Blattapplikationen zu einer weiteren Verbesserung gegenüber den ausschließlich gebeizten Varianten. Sowohl standort- als auch jahresübergreifend konnten in den Erntegutproben die *Fusarium*-Befallsstärken einerseits sowie die Mykotoxingehalte andererseits weiter reduziert werden. Besonders ist dabei die Kombination aus Maxim[®]Quattro und einer Fungizidapplikation von Quilt[®]Xcel zum Zeitpunkt des Rispschiebens (EC 55), welche die größten reduzierenden Effekte aufwies, hervorzuheben. Durch diese Fungizidstrategie konnte der *Fusarium*-Befall im Mittel der Standorte und Maissorten um 86 % (2013) bzw. 75 % (2014) verringert und die Mykotoxinbelastung signifikant im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante reduziert werden.

Die Anbausystemfaktoren beeinflussen ebenso das Auftreten von *Fusarium*-Pilzen. Es zeigte sich, dass die Kombination von Mais-Monokultur und nicht wendender Bodenbearbeitung am Standort Hohenschulen zu deutlich höheren *Fusarium*-DNA-Befallsstärken und Mykotoxinkontaminationen im Vergleich zum Maisanbau in Fruchtfolge und wendender Bodenbearbeitung am Standort Liesborn führte.

Als wichtigste Vermeidungsstrategie von *Fusarium*-Pilzen und der damit verbundenen Mykotoxinbelastung im Erntegut ist auf die Einhaltung phytosanitär-pflanzenbaulicher Maßnahmen wie z.B. Fruchtfolge und Pflugsaat zu achten. Die erarbeiteten Ergebnisse zeigten, dass auch in befallsarmen Jahren eine positive Wirkung der getesteten Fungizidbehandlungen gegeben war und rechtfertigen die Aussage, dass unter befallsfördernden Bedingungen der Einsatz einer fungiziden Saatgutbehandlung sowie eine später terminierte Fungizidapplikation gegen *Fusarium*-Erreger auch im Maisanbau eine effektive Möglichkeit darstellen, um einen Befall und die damit verbundene Mykotoxinbelastung zu reduzieren.

7. Summary

An infestation of cereals by fungi of the genus *Fusarium* does not only lead to yield losses, but more importantly to quality impairments of the crop due to the production of mycotoxins, which pose a health risk to humans and animals even in small doses. Increasing maize cultivation intensity, cultivation in short crop rotations or even monoculture and the trend towards reduced tillage raise the infection potential and severity of *Fusarium* infections in maize, similar to the problem for wheat. Over a three-year-period (2012 – 2014), the qualitative and quantitative occurrence as well as the epidemiological propagation patterns of different *Fusarium* species and their mycotoxin formation under natural infestation conditions were analyzed in maize field trials in order to draw conclusions from the strategic use of fungicides under different cultivation conditions and in different environments.

The molecular biology studies using qPCR revealed up to six different *Fusarium* species in crop samples of the experimental sites in the years 2012 – 2014. In all cases the maize plants were simultaneously infected by several species, however, the composition of the species spectrum between years and locations varied. In Hohenschulen, *F. graminearum* and *F. poae* were detected as dominant species of the pathogen complex in 2012. *F. poae* as well as *F. equiseti* and *F. avenaceum* dominated the pathogen complex in 2013 whereas *F. graminearum* and *F. culmorum* were most abundant in 2014. In Brockum and Reding, the prevalence of *F. graminearum* was obvious. Considering the *Fusarium* density along the whole plant, the different plant fractions showed annual variations. In 2013 at all sites infestation levels of the lower plant fractions were higher than in the upper plant fractions and *F. poae*, *F. culmorum* and *F. avenaceum* dominated the pathogen complex. In contrast, in 2014 the upper plant fractions showed higher infestation levels. Additionally, a significant increase of the dominant species *F. culmorum* and *F. graminearum* was observed. Moderate temperatures and low rainfall during the flowering stage in the three experimental years decreased the infection rate of the flowers with the exception of the location Reding in 2014.

The *Fusarium* mycotoxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEA) were detected in all silage maize harvest samples of all experimental years. Nevertheless, the EU reference value for DON in cattle feed ($5000 \mu\text{g (kg dry matter (DM))}^{-1}$) was not reached in the maize cultivar NK Nekta considering maximum values of $1395 \mu\text{g (kg DM)}^{-1}$ and $1193 \mu\text{g (kg DM)}^{-1}$ in Hohenschulen (2013) and Brockum (2014), respectively. In contrast, the reference value for ZEA ($500 \mu\text{g (kg DM)}^{-1}$) was exceeded in untreated controls in the silage maize field trials at Hohenschulen (2013) in two cultivars (NK Nekta and Multitop) with values of 661 and $718 \mu\text{g (kg DM)}^{-1}$, respectively, and in the cultivar Multitop with

722 $\mu\text{g (kg DM)}^{-1}$ in the following year. Similarly, in Reding, where maize is cultivated to produce grain feed for pig production, the EU reference value for ZEA was exceeded in the years 2012 and 2014. In 2014, this incident was caused by an infection at the flowering stage.

The DON and ZEA-producing species *F. culmorum* and *F. graminearum* were found in all plant fractions, with nodes showing higher infestation levels than internodes. Interestingly, when concentrations of DON and ZEA were analyzed in the nodes 3 – 6, node 4 showed the highest mycotoxin contamination with 1395 $\mu\text{g DON (kg DM)}^{-1}$ and 156 $\mu\text{g ZEA (kg DM)}^{-1}$ followed by node 5 with 947 $\mu\text{g DON (kg DM)}^{-1}$ and 222 $\mu\text{g ZEA (kg DM)}^{-1}$. These observations indicate that infestations localized in the lower and middle nodes are the result of soil-borne infections at early growth stages as well as infections of the rudimentary corncobs or leaf sheaths from which the pathogen spreads systemically throughout the plant.

The seed protectant Maxim[®]Quattro was shown to have positive effects on crop density and development due to its activity against soil-borne *Fusarium* species. Exclusive treatment already significantly reduced *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of the crop. However, the largest effect was achieved when Maxim[®]Quattro-seed-treatment and an application of the fungicide Quilt[®]Xcel at the time of panicle emergence (GS 55) was combined. This strategy reduced the *Fusarium* infection by 86 % (2013) and 75 % (2014) on average over all locations.

Different cropping systems also affected the incidence of *Fusarium* infections: the combination of maize monoculture and conservation tillage in Hohenschulen led to significantly higher infestation levels as well as to higher mycotoxin concentrations compared to maize cultivation where crop rotation and ploughing was used (Liesborn).

The most important strategy to prevent *Fusarium* infections and their associated mycotoxins in crops is to ensure compliance with plant hygiene cropping system factors such as crop rotation and conventional drilling. The compiled results strongly suggest that the use of a fungicidal seed treatment as well as timely fungicide spray applications against *Fusarium* are effective tools for the reduction of infestation as well as mycotoxin contamination in maize even under infestation promoting conditions .

8. Literaturverzeichnis

AGUÍN, O., CAO, A., PINTOS, C., SANTIAGO, R., MANSILLA, P., BURTÓN, A. (2014): Occurrence of Fusarium species in maize kernels grown in northwestern Spain. *Plant Pathology*, 63: 946 – 951

ANKE, T., OBERWINKLER, F., STEGLICH, W., SCHRAMM, G. (1977): The Strobilurins – New Antifungal Antibiotics from the Basidiomycete *Strobilurus tenacellus* (Pers. Ex Fr.) Sing. *The Journal of Antibiotics*, 30(10): 806 – 810

ANKE, T. (1995): The antifungal strobilurins and their possible ecological role. *Canadian Journal of Botany*, 73(S1): 940 – 945

ANONYM (2006): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HT-2- Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen. *Amtsblatt der Europäischen Union* (2006/576/EG)

ANONYM (2007): Verordnung (EG) Nr. 1126/2007 der Kommission vom 28. September 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Fusarientoxinen in Mais und Maiserzeugnissen. *Amtsblatt der Europäischen Union* (ABI 255/14-17)

ANONYM (2013): Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen Leguminosen Rüben Zwischenfrüchte 2013. Bundessortenamt Hannover: http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2013.pdf. 28.02.2015

ANONYM (2014): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_wirkstoffe_in_kulturen.zip?__blob=publicationFile&v=21. 03.03.2015

ANONYM (2015 a): Proplanta - Das Informationszentrum für die Landwirtschaft. Entwicklungsverlauf Maispflanze: http://www.proplanta.de/Fotos/Entwicklungsverlauf-Maispflanze_Bild1142409578.html. 26.02.2015

ANONYM (2015 b): Deutscher Wetterdienst. Mittelwerte 30-jähriger Perioden: <http://www.dwd.de/mittelwerte>. 18.03.2015

ANONYM (2015 c): Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/02_Genehmigungen/psm_ZugelPSM_genehmigungen_node.html. 01.07.2015

AKINS, R. A. (2005): An update on antifungal targets and mechanisms of resistance in *Candida albicans*. *Medical Mycology*, 43: 285 – 318

- ALGERMISSEN, C., J.-A. VERREET** (2014): Vorkommen und Bedeutung von Maisblattpathogenen in Schleswig-Holstein. Mitteilungen und Nachrichten. Journal für Kulturpflanzen, 66: 215 – 216
- ARNY, D. C., NELSON, R. R.** (1971): *Phyllostica maydis* species nova, the Incitant of Yellow Leaf Blight of Maize. Phytopathology, 61: 1170 – 1172
- ARNY, D. C., SMALLEY, E. B., ULLSTRUP, A. J., WORF, G. L., AHRENS, R. W.** (1971): Eyespot of Maize, a Disease New to North America. Phytopathology, 61: 54 – 57
- ATOUI, A., EL KHOURY, A., KALLASSY, M., LEBRIHI, A.** (2012): Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize. International Journal of Food Microbiology, 154: 59 – 65
- BAHADIR, M., PARLAR, H., SPITELLER, M.** (2000): Umwelt-Lexikon. 2. Auflage (1 Vol.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- BARTELS, G., & RODEMANN, B.** (2003): Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen im Getreide. Gesunde Pflanzen, 55. Jahrg.(5): 125 – 135
- BARTLETT, D.W., CLOUGH, J.M., GODWIN, J.R., HALL, A.A., HAMER, M., PARR-DOBRZANSKI, B.** (2002): The strobilurin fungicides. Pest Management Science, 58(7): 649 – 62
- BERTHILLER, F., SCHUHMACHER, R., BUTTINGER, G., KRKA, R.** (2005): Rapid simultaneous determination of major type A- and B-trichothecenes as well as zearalenone in maize by high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 1062: 209 – 216
- BEYER, M., VERREET, J. A., RAGAB, W. S.** (2005): Effect of relative humidity on germination of ascospores and macroconidia of *Gibberella zeae* and deoxynivalenol production. International Journal of Food Microbiology, 98: 233 – 240
- BEYER, M., KLIX, M. B., KLINK, H., VERREET, J. A.** (2006): Quantifying the effects of previous crop, tillage, cultivar and triazole fungicides on the deoxynivalenol content of wheat grain – a review. Journal of Plant Diseases and Protection, 113(6): 241 – 246
- BINDER, E. M., TAN, L. M., CHIN, L. J., HANDL, J., RICHARD, J.** (2007): Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities feeds and feed ingredients. Animal Feed Science and Technology, 137: 265 – 282
- Birr, Dr. T. (2013):** Überregionales Monitoring zur Epidemie- und Schadensdynamik von *Fusarium*-regenern sowie Strategien zur Befalls- und Risikominimierung der Mykotoxinbelastung in der Weizen- und Maiskultur Schleswig-Holsteins (2008 – 2012). Kiel: Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Dissertation

- BLANDINO, M., REYNERI, A., COLOMBARI, G., PIETRI, A.** (2009): Comparison of integrated field programmes for the reduction of fumonisin contamination in maize kernels. *Field Crops Research*, 111: 284 – 289
- BLANDINO, M., REYNERI, A., VANARA, F.** (2008 a): Effect of plant density on toxigenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels. *Field Crops Research* (106), 234 – 241
- BLANDINO, M., REYNERI, A., VANARA, F.** (2008 b): Influence of nitrogen fertilization on mycotoxin contamination of maize kernels. *Crop Protection*, 27: 222 – 230
- BLATTER, R.H.E., BROWN, J.K.M., WOLFE, M.S.** (1998): Genetic control of the resistance of *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* to five triazole fungicides. *Plant Pathology*, 47: 570 – 579
- BOOTSMA, A., GILLESPIE, T. J., SUTTON, J. C.** (1973): Germination of *Phyllosticta maydis* conidia in an incubation chamber with control of high relative humidities. *Phytopathology*, 63: 1157 – 1161
- BORNEMANN, L., STEINGRÖVER, P.** (2014): Blattkrankheiten im Mais – Anbausysteme optimieren. Landwirtschaftskammer Niedersachsen Bezirksstelle Bremervörde. <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/506/article/25184.html>. 30.06.2015.
- BÖRNER, H., SCHLÜTER, K., AUMANN, J.** (2009): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (Bd. 8). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- BOTALLICO, A.** (1998): *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 80: 85 – 103
- BOTALLICO, A., PERRONE, G.** (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 611 – 624
- BRENNAN, J. M., FAGAN, B., VAN MAANEN, A., COOKE, B. M., DOOHAN, F. M.** (2003): Studies on *in vitro* growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 577 – 587
- BRETZ, F., HOTHORN, T., WESTFALL, P.** (2011): Multiple Comparisons Using R. Chapman and Hall / CRC, London. ISBN 9781584885740
- BUCHENAUER, H.** (1982): Wirkungsweise moderner Fungizide in Pilzen und Kulturpflanzen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 96(1): 427 – 457
- CARROLL, R.J., RUPPERT, D.** (1988): Transformation and Weighting in Regression. Chapman and Hall / CRC, London. ISBN 9780412014215
- CASAL, J. J., SMITH, H.** (1989): The function, action and adaptive significance of phytochrome in light-grown plants. *Plant, Cell and Environment*, 12: 855 – 862

- CASTOR, L. L., AYERS, J. E., NELSON, R. R.** (1977): Controlled-Environment Studies of the Epidemiology of Yellow Leaf Blight of Corn. *Phytopathology*, 67: 85 – 90
- CHIANG, M. S., HUDON, M.** (1990): Inheritance of resistance to *Kabatiella* eyespot of maize. *Phytoprotection*, 71 (3): 107 – 112
- CLEMENT, J. A., PARRY, D. W.** (1998): Stem-base disease and fungal colonisation of winter wheat grown in compost inoculated with *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *Microdochium nivale*. *European Journal of Plant Pathology*, 104: 323 – 330
- CHRISTIAN, E. J., GOGGI, A. S.** (2008): Aromatic Plant Oils as Fungicide for Organic Corn Production. *Crop Science*, 48: 1941 – 1951
- COTTON, T. K., MUNKVOLD, G. P.** (1998): Survival of *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. subglutinans* in Maize Stalk Residue. *Phytopathology*, 88: 550 – 555
- DÄNIKE, S.** (2001): Fusariumtoxine in der Tierernährung. *Lohmann Information*, 4: 1 – 10
- DÄNIKE, S.** (2002): Prevention and control of mycotoxins in the poultry production chain: a European view. *World's Poultry Science Journal*, 58(4): 451 – 474
- DESJARDINS, A. E., T. M. HOHN, S. P. MC CORMICK** (1993): Trichothecene Biosynthesis in *Fusarium* Species: Chemistry, Genetics, and Significance. *Microbiology Reviews*, 57: 595 – 604
- DESJARDINS, A. E.** (2003): *Gibberella* from A (*venaceae*) to Z (*eeae*). *Annual Review of phytopathology*, 41: 177 – 198
- DESJARDINS, A. E.** (2006): *Fusarium* Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology. St. Paul: American Physical Society Press
- DESJARDINS, A. E., R. H. PROCTOR** (2007): Molecular biology of *Fusarium* mycotoxins. *International Journal of Food Microbiology*, 119: 47 – 50
- DILL-MACKY, R., JONES, R. K.** (2000): The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on *Fusarium* Head Blight of Wheat. *Plant Disease*, 84: 71 – 76
- DINGLEY, J. M.** (1973): "Eye spot" disease of maize in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 16 (3): 325 – 328
- DÖLL, S., DÄNICKE, S.** (2011): The *Fusarium* toxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZON) in animal feeding. *Preventive Veterinary Medicine*, 102: 132 – 145
- DOOHAN, F. M., BRENNAN, J., COOKE, B. M.** (2003): Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 755 – 768

- DORN, B., FORRER, H. R., SCHÜRCH, S., VOGELGSANG, S.** (2009 a): *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *European Journal of Plant Pathology*, 125: 51 – 61
- DORN, B., FORRER, H. R., SCHÜRCH, S., & VOGELGSANG, S.** (2009 b): *Fusarium*-Arten und Mykotoxine auf Mais in der Schweiz. *AGRAR Forschung*, 16(7): 232 – 237
- DORN, B., FORRER, H. R., JENNY, E., WETTSTEIN, F. E., BUCHELI, T. D., VOGELGSANG, S.** (2011): *Fusarium* species complex and mycotoxins in grain maize from maize hybrid trials and from grower's fields. *Journal of Applied Microbiology*, 111: 693 – 706
- EDWARDS, S. G., PIRGOZLIEV, S. R., HARE, M. C., JENKINSON, P.** (2001): Quantification of Trichothecene-Producing *Fusarium* Species in Harvested Grain by Competitive PCR To Determine Efficacies of Fungicides against Fusarium Head Blight of Winter Wheat. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(4): 1575 – 1580
- EDWARDS, S. G.** (2004): Influence of agricultural practices on *Fusarium* infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Toxicology Letters*, 153: 29 – 35
- ELLIS, M. B.** (1972): Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey England: 608 S.
- FERNANDEZ, M. R., CHEN, Y.** (2005): Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease*, 89(2): 164 – 169
- FINK-GREMMELS, J.** (2008): Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25(2): 172 – 180
- FINK-GREMMELS, J., MALEKINEJAD, H.** (2007): Clinical effects and biochemical mechanisms associated with exposure to the mycoestrogen zearalenone. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 326 – 341
- FISHER, D. J., HAYES, A. L.** (1984): Studies of mechanisms of metalaxyl fungitoxicity and resistance to metalaxyl. *Crop Protection*, 3(2): 177 – 185
- FLETT, B. C., MCLAREN, N. W., WEHNER, F. C.** (1998): Incidence of ear rot pathogens under alternating corn tillage practices. *Plant Disease*, 82: 781 – 784
- FOLEY, D.C.** (1962): Systemic infection of corn by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 52: 870 – 872
- FORRER, H.-R., HECKER, A., KÜLLING, C., KESSLER, P., JENNY, E., KREBS, H.** (2000): Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *AGRARForschung*, 7(6): 258 – 263

- FREEMAN, G. G., MORRISON, R. I.** (1949): The Isolation and Chemical Properties of Trichothecin, an Antifungal Substance from *Trichothecium roseum* Link. *Biochemical Journal*, 44(1): 1 – 5
- GALPERIN, M., GRAF, S., KENIGSBUCH, D.** (2003): Seed Treatment Prevents Vertical Transmission of *Fusarium moniliforme*, Making a Significant Contribution to Disease Control. *Phytoparasitica* 31(4): 344 – 352
- GILBERT, J., FERNANDO, W. G.** (2004): Epidemiology and biological control of *Gibberella zea* / *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26: 464 – 472
- GISI, U., PAVIC, L., STANGER, C., HUGELSHOFER, U., SIEROTZKI, H.** (2005): Dynamics of *Mycosphaerella graminicola* populations in response to selection by different fungicides. In: *Modern Fungicides and Antifungal Compounds IV*, 73-80. Eds. Dehne, H.W., Gisi, U., Kuck, K.H., Russell, P.E., Lyr, H BCPC, Alton, UK
- GISI, U.** (2013): Wirkungsmechanismen von Fungiziden. In H. M. Poehling, & J. A. Verreet, *Lehrbuch der Phytomedizin* (Bd. 4). Stuttgart (Hohenhim): Eugen Ulmer KG.
- GLENN, A. E.** (2007): Mycotoxigenic *Fusarium* species in animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 213 – 240
- GOERTZ, A., ZUEHLKE, S., SPITELLER, M., STEINER, DEHNE, H. W., WAALWIJK, C., DE VRIES, I., OERKE, E. C.** (2010): *Fusarium* species and mycotoxin profiles on commercial maize. *European Journal of Plant Pathology*, 128: 101 – 111
- GOERTZ, A.** (2009): Auftreten der *Fusarium*-Kolbenfäule im Maisanbau in Deutschland und Maßnahmen zur Vermeidung der Mykotoxinbelastung in Maiskörnern. Inaugural-Dissertation. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- GROH, S.** (2012): Blattkrankheiten beim Mais – Welche Möglichkeiten bietet die Züchtung? http://public.pioneer.com/CMRoot/International/Public/German/Germany/Imaglm/Mais/Mais_Agronomy_Blattkrankheiten.pdf. 15.06.2015
- GUADET, J., JULIEN, J., LAFAY, J. F., & BRYGOO, Y.** (1989): Phylogeny of Some *Fusarium* Species, as Determined by Large-Subunit rRNA Sequence Comparison. *Molecular Biology and Evolution*, 6(3): 227 - 242
- HAGGAG, W. M.** (2013): Corn Diseases and Management. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1): 39 – 43
- HALLMANN, J., QUADT-HALLMANN, A., TIEDEMANN, A. v.** (2009): *Phytomedizin. Grundwissen Bachelor*. 1. Aufl. Stuttgart: UTB GmbH (UTBM)

- HARRIS, L. J., DESJARDINS, A. E., PLATTNER, R. D., NICHOLSON, P., BUTLER, G., YOUNG, J. C., WESTON, G., PROCTOR, R. H., HOHN, T. M.** (1999): Possible Role of Trichothecene Mycotoxins in Virulence of *Fusarium graminearum* on Maize. *Plant Disease*, 83: 954 – 960
- HERRMANN, A., MESSNER, H., & RATH, J.** (2011): Mais (*Zea mays*): In N. Lütke Entrup, & B. C. Schäfer, Lehrbuch des Pflanzenbaus. Kulturpflanzen (Bd. 2), 457 – 488. Bonn: AgroConcept GmbH
- HOFFMANN, G. M., SCHMUTTERER, H.** (1999): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart: Ulmer Verlag
- HOPE, R., ALDRED, D., MAGAN, N.** (2005): Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain. *Applied Microbiology*, 40: 295 – 300
- HUGGER, H.** (2007): *Helminthosporium* meldet sich 2007 zurück. *Innovation Mais*, 4: 8 – 9
- HURLE, K., LECHNER, M., KÖNIG, K.** (1996): Mais – Unkräuter, Schädlinge, Krankheiten, 1. Auflage, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen
- HURLE, K., MEHRTENS, J., MEINERT, G.** (2005): Mais – Unkräuter, Schädlinge, Krankheiten (Bd. 2). Bonn: AgroConcept GmbH
- HÜSGEN, K., LÖCHER-BOLZ, S.** (2013): Krankheiten im Maisanbau. In F. J. Schwarz, N. Lütke Entrup, & H. Heilmann, Handbuch Mais - Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie. Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH
- IMGRABEN, H.** (2002): Die *Turcicum*-Blattdürre – ein neues Problem. *Innovation Pflanzenschutz*, 4: 10 – 11
- INDEX FUNGORUM** (2015): Position in Classification. <http://www.indexfungorum.org>, 18.02.2015
- INVASIVE SPECIES COMPENDIUM** (2015): *Kabatiella zea* (eyespot). www.cabi.org/isc/datasheet/29297, 17.02.2015
- JONES, R. K.** (2000): Assessments of *Fusarium* Head Blight of Wheat and Barley in Response to Fungicide Treatment. *Plant Disease*, 84: 1021 – 1030
- JORGENSEN, L. N.** (2012): Significant yield increases from control of leaf diseases in maize – an overlooked problem?! *Outlooks on Pest Management*, 23(4): 162 – 165
- JOSEPH-HORNE, T., HOLLOMON, D., MANNING, N., KELLY, S. L.** (1995): Investigation of the Sterol Composition and Azole Resistance in Field Isolates of *Septoria tritici*. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(1): 184 – 190

- JOUANY, J. P.** (2007): Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 342 – 362
- KASPERBAUER, M. J., KARLEN, D. L.** (1994): Plant Spacing and Reflected Far-Red Light Effects on Phytochrome-Regulated Photosynthate Allocation in Corn Seedlings. *Crop Science*, 34: 1564 – 1569
- KEBEBE, A. Z., REID, L. M., ZHU, X., WU, J., WOLDEMARIAM, T., VOLOACA, C., XIANG, K.** (2015): Relationship between kernel drydown rate and resistance to gibberella ear rot in maize. *Euphytica*, 201: 79 – 88
- KIM, Y. T., LEE, Y. R., JIN, J., HAN, K. H., KIM, H., KIM, J. C., LEE, T., YUN, S. H., LEE, Y. W.** (2005): Two different polyketide synthase genes are required for synthesis of zearalenone in *Gibberella zeae*. *Molecular Microbiology*, 58(4): 1102 – 1113
- KOJIMA, K., BAHN, Y.S., HEITMAN, J.** (2006): Calcineurin, Mpk1 and Hog1 MAPK pathways independently control fludioxonil antifungal sensitivity in *Cryptococcus neoformans*. *Micorbiology*, 152: 591 – 604
- KROPF, U.** (2012): Kornfüllung: Schrauben am Spitzenertrag. *TopAgrar*, 4: 80 – 87
- KUMAR, V., M. S. BASU, T. RAJENDRAN** (2008): Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. *Crop Protection*, 27: 819 – 905
- LAIRD, N. M., WARE, J. H.** (1982): Random-Effects Models For Longitudinal Data. *Biometrics*, 38(4): 963 – 974.
- LAUREN, B. R., SMITH, W. H., DI MENNA, M. E.** (2007): Influence of harvest date and hybrid on the mycotoxin content of maize (*Zea mays*) grain grown in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(3): 331 – 340
- LEROUX, P., BACH, J., DEBIEU, D., FILLINGER, S., FRITZ, R., & WALKER, A. S.** (2007): Mode of Action of Sterol Biosynthesis Inhibitors and Resistance Phenomena in Fungi. In H. W. Dehne, H. B. Deising, U. Gisi, K. H. Kuck, P. E. Russell, H. Lyr. *Modern Fungicides and Antifungal Compounds V* (Bd. 5, S. 85-92). Friedrichrode, Germany: Deutsche Pflanzenschutzgesellschaft.
- LESLIE, J. F., SUMMERELL, B. A.** (2006): *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing. Ames IA, USA
- LEVY, Y., PATAKY, J. K.** (1992): Epidemiology of Northern Leaf Blight on Sweet Corn. *Phytoparasitica*, 20(1): 53 – 66
- LIPPS, P. E., DORRANCE, A. E., RHODES, L. H., MILLS, D. R.** (1994): Efficacy of Seed Treatment Fungicides for Agronomic Crops in Ohio. *Bulletin*, 639(A)
- LOIBL, H., MASLATON, M., FREIHERR VON BREDOW, H.** (2009): *Biogasanlagen im EEG 2009*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.

- LOGRIECO, A., MORETTI, A., RITIENI, A., BOTTALICO, A., & CORDA, P.** (1995): Occurrence and Toxigenicity of *Fusarium proliferatum* from Preharvest Maize Ear Rot, and Associated Mycotoxins, in Italy. *Plant Disease*, 79: 727 – 731
- LOGRIECO, A., MULÈ, G., MORETTI, A., & BOTTALICO, A.** (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 597 – 609
- LOGRIECO, A., BOTTALICO, A., MULÉ, G., MORETTI, A., PERRONE, G.** (2003): Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 645 – 667
- LYSØE, E., KLEMSDAL, S. S., BONE, K. R., FRANDBEN, R. J., JOHANSEN, T., THRANE, U., & GIESE, H.** (2006): The PKS4 Gene of *Fusarium graminearum* Is Essential for Zearalenone Production. *Applied Environment Microbiology*, 72(6): 3924 – 3932
- MAGAN, N.** (2006): Mycotoxin contamination of food in Europe: Early detection and prevention strategies. *Mycopathologia*, 162(3) 245 – 253
- MARIN, S., A. J. RAMOS, G. CANO-SANCHO, V. SANCHIS** (2012): Reduction of mycotoxins and toxigenic fungi in the Mediterranean basin maize chain. *Phytopathologia Mediterranea*, 51(1): 93 – 118
- MARIN, S., A. J. RAMOS, G. CANO-SANCHO, V. SANCHIS** (2013): Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60: 218 – 237
- MARTINS, M. L., MARTINS H. M.** (2002): Influence of water activity, temperature and incubation time on the simultaneous production of deoxynivalenol and zearalenone in corn (*Zea mays*) by *Fusarium graminearum*. *Food Chemistry*, 79: 315 – 318
- MASTEL, K.** (2003): Wie anfällig ist Mais gegen *Fusarium* spp.? *Mais*, 3: 104 - 105
- MCGEE, D. C.** (1981): Seed pathology: its place in modern seed production. *Plant disease*, 65: 638 – 642
- MEHL, A. UND STENZEL, K.** (2008): Resistenzmanagement zur Erhaltung der Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis - am Beispiel der Fungizide. In: Tiedemann, A., Heitefuss, R., Feldmann, F. *Pflanzenproduktion im Wandel – Wandel im Pflanzenschutz*. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig, 122 – 137
- MESTERHÁZY, Á., LEMMENS, M., & REID, L. M.** (2012): Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breeding*, 131: 1 – 19
- MENNITI, A. M., PANCALDI, D., MACCAFERRI, M., CASALINI, L.** (2003): Effect of fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 109 – 115

- MIEDANER, T., LOFFLER, M., BOLDUAN, C., KESSEL, B., OUZUNOVA, M., MIRDITAI, V., MELCHINGER, A. E.** (2008): Genetic variation for resistance and mycotoxin content of European maize inoculated with *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides*. Cereal Research Communications, 36(6): 45 – 48
- MILLER, J. D., TAYLOR, A. UND GREENHALGH, R.** (1983): Production of deoxynivalenol and related components in liquid culture by *Fusarium graminearum*. Canadian Journal of Microbiology. 29: 1171 – 1178
- MILLER, J. D.** (2001): Factors that affect the occurrence of fumonisin. Environmental health perspectives, 109(2): 321 – 324
- MILICEVIC, D. R., SKRINJAR, M., & BALTIC, T.** (2010): Real and Perceived Risks for Mycotoxin Contamination in Foods and Feeds: Challenges for Food Safety Control. Toxins, 2: 572 – 592
- MORETTI, A. N.** (2009): Taxonomy of *Fusarium* genus: A continuous fight between lumpers and splitters. In: Matica Sprska Proceedings for Natural Sciences, 117: 7 – 13.
- MÜLLENBORN, C., STEINER, U., LUDWIG, M., OERKE, E. C.** (2008): Effect of fungicides on the complex of *Fusarium* species and saprophytic fungi colonizing wheat kernels. European Journal of Plant Pathology, 120:157 – 166
- MUNKVOLD, G. P., CARLTON, W. M.** (1997): Influence of inoculation method on systemic *Fusarium moniliforme* infection of maize plants grown from infected seeds. Plant Disease, 81(2): 211 – 216
- MUNKVOLD, G. P., MCGEE, D. C., CARLTON, W. M.** (1997): Importance of Different Pathways for Maize Kernel Infection by *Fusarium moniliforme*. Ecology and Epidemiology, 87(2): 209 – 217
- MUNKVOLD; G. P., O'MARA, J. K.** (2002): Laboratory and Growth Chamber Evaluation of Fungicidal Seed Treatments for Maize Seedling Blight Caused by *Fusarium* Species. Plant Disease, 86(2): 143 – 150
- MUNKVOLD, G. P.** (2003 a): Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. European Journal of Plant Pathology, 109: 705 – 713
- MUNKVOLD, G. P.** (2003 b): Cultural and Genetic Approaches to Managing Mycotoxins in Maize. Phytopathology, 41: 99 – 116.
- MUKUNYA, D. M., BOOTHROYD, C. W.** (1973): *Mycosphaerella zae-maydis* sp. n., the Sexual Stage of *Phyllosticta maydis*. Phytopathology, 63: 529 – 532
- NARITA, T., HIRATSUKA, Y.** (1959): Studies on *Kabatiella zae* n. sp., the causal fungus of a new leaf spot disease of corn. Annals Phytopathological Society of Japan, 24: 147 – 153

- NICOLAISEN, M., SUPRONIENÈ, S., NIELSEN, L. K., LATTARO, I., SLIID, N. H., & JUSTESEN, A. F.** (2009): Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *Journal of Microbiological Methods*, 76: 234 – 240
- NORDKVIST, E., & HÄGGBLOM, P.** (2014): *Fusarium* mycotoxin contamination of cereals and bedding straw at Sewdish pig farms. *Animal Feed Science and Technology*, 198: 231 – 237
- NUNINGER, C., WATSON, G., LEADBITTER, N., ELLGEHAUSEN, H.** (1996): CGA 329351: Introduction of the enantiomeric form of the fungicide metalaxyl, Brighton Crop Protect Conf-Pests Diseases, 2A(4): 41 – 46
- OLESKEVICH, C., SHAMOUN, S. F., VESONDER, R. F., PUNJA, Z. K.** (1998): Evaluation of *Fusarium avenaceum* and other fungi for potential as biological control agents of invasive *Rubus* species in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 20(1): 12 – 18
- OLDENBURG, E.; HÖPPNER, F.; WEINERT, J.** (2006): *Fusarium*-Erkrankungen beim Mais: auf welche Schadsymptome sollte geachtet werden. *Mais*, 33(3): 124 – 126
- OLDENBURG, E., RODEMANN, B., SCHWAKE-ANDUSCHUS, C., MÜNZING, K.** (2011): Minimierungsstrategien für Mykotoxine bei Anbau, Ernte und Verarbeitung. (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hrsg.) *Angewandte Wissenschaft*, 524: 119 – 130
- OREN, L., EZRATI, S., COHEN, D., SHARON, A.** (2003): Early Events in the *Fusarium verticillioides*-Maize Interaction Characterized by Using a Green Fluorescent Protein-Expressing Transgenic Isolate. *Applied and Environmental Microbiology*, 1695 – 1701
- OSBORNE, L. E., & STEIN, J. M.** (2007): Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology*, 119: 103 – 108
- OSUNLAJA, S.O.** (1990): Effect of organic soil amendments on the incidence of stalk rot of maize. *Plant Soil*, 127: 237 – 241
- PAPST, C., ZELLNER, J., VENKATARATNAM, S., & EDER, J.** (2007): *Fusarium*-Problematik bei Körnermais (*Zea Mays* L.). *Gesunde Pflanzen*, 59: 7 – 16
- PARIYAR, S. R., DABABAT, A. A., NICOL, J. M., ERGINBAS-ORAKCI, G., GOLL, M. B., WATRIN, C., DUVEILLER, E., BRAUN, H. J., SIKORA, R.** (2014): Fungicide seed treatment and host resistance for the management of wheat crown rot caused by *Fusarium culmorum*. *Basic Research Journals of Agricultural Science and Review*, 3(9): 116 – 121
- PARKS, L.W., CASEY, W.M.** (1995): Physiological Implications of Sterol Biosynthesis in Yeast. *Annual Review of Microbiology*, 49: 95 – 116
- PARRY, P., JENKINSON, P., MCLEOD, L.** (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals – a review. *Plant Pathology*, 44: 207 – 238

- PAUL, P. A., LIPPS, P. E., HERSHMAN, D. E., MCMULLEN, M. P., DRAPER, M. A., & MADDEN, L. V.** (2008): Efficacy of Triazole-Based Fungicides for *Fusarium* Head Blight and Deoxynivalenol Control in Wheat: A Multivariate Meta-Analysis. *Disease Control and Pest Management*, 98(9): 999 –1011
- PIRGOZLIEV, S. R., EDWARDS, S. G., HARE, M. C., JENKINSON, P.** (2002): Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of *Fusarium* head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 469 – 478
- PLACINTA, C. M., D'MELLO, J. P., MACDONALD, A. M.** (1999): A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*, 78: 21 – 37
- POPOVSKI, S., F. A. CELAR,** (2013): The impact of environmental factors on the infection of cereals with *Fusarium* species and mycotoxin production - a review. *Acta agriculturae Slovenica* 101: 105 – 116
- PROŃCZUK, M., BOJANOWSKI, J., WARZECHA, R.** (2004): Effect of Leaf Infection by *Kabatiella zaeae* on Stalk Rot Prevalence and Grain Yield of Maize Hybrids. *Journal of Phytopathology*, 152: 410 – 415
- PUNITHALINGAM, E.** (1990): *Mycosphaerella zaeae-maydis*. *Mycopathologia*, 112: 49 – 50
- PUNJA, Z. K., WAN, A., RAHMAN, M., GOSWAMI, R. S., BARASUBIYE, T., SEIFERT, K. A., LÉVESQUE, C. A.** (2008): Growth, population dynamics, and diversity of *Fusarium equiseti* in ginseng fields. *European Journal of Plant Pathology*, 121: 173 – 184
- RAMIREZ, M. L., CHULZE, S., MAGAN, N.** (2006): Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium graminearum* on irradiated wheat grain. *International Journal of Food Microbiology*, 106(3): 291 – 296
- R CORE TEAM** (2014): A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> 19.05.2015
- REID, L. M., HAMILTON, R. I., & MATHER, D. E.** (1996): Screening Maize for Resistance to Gibberella Ear Rot (Bd. 5E). Canada: Technical Bulletin.
- REID LM, ZHU X, PARKER A, YAN W** (2009): Increased resistance to *Ustilago zaeae* and *Fusarium verticillioides* in maize inbred lines bred for *Fusarium graminearum* resistance. *Euphytica*, 165: 567 – 578
- REIFSCHNEIDER, F. J. B., ARNY, D. C.** (1980): Host Range of *Kabatiella zaeae*, Causal Agent of Eyespot of Maize. *The American Phytopathological Society* 70(6): 485 – 487
- REIFSCHNEIDER, F. J. B., ARNY, D. C.** (1983): Yield Loss of Maize Caused by *Kabatiella zaeae*. *The American Phytopathological Society*, 73(4): 607 – 609

- RIOS, T. F.; ORTEGA, E. R.** (2012): *Fusarium*. Epidemiology, environmental sources and prevention. Hauppauge, N.Y, USA: Nova Science Publishers
- RODEMANN, B., BARTELS, G.** (2004): *Fusarium*-Befall – Schadbild und Ausbreitung. Mais, 1: 4 – 7
- RODER, W.** (1990): Pflanzenschutz in der Landwirtschaft (Bd. 1. Auflage). Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- RODRIGUEZ-BRLJEVICH, C.; KANOBE, C.; SHANAHAN, J.F.; ROBERTSON, A.E.** (2010): Seed treatments enhance photosynthesis in maize seedlings by reducing infection with *Fusarium* spp. and consequent disease development in maize. *European Journal of Plant Pathology*, 126(3): 343 – 347
- SAB, V., MILLES, J., KRÄMER, J., PRANGE, A.** (2007): Competitive interactions of *Fusarium graminearum* and *Alternaria alternata* *in vitro* in relation to deoxynivalenol and zearalenone production. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 5(1): 257 – 261
- SCAUFLAIRE, J., MAHIEU, O., LOUVIEAUX, J., FOUCART, G., RENARD, F., MUNAUT, F.** (2011): Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. *European Journal of Plant Pathology*, 131: 59 – 66
- SCHAAFSMA, A. W., TAMBURIC-ILINCIC, L., HOOKER, D. C.** (2005): Effect of previous crop, tillage, field size, adjacent crop, and sampling direction on airborne propagules of *Gibberella zeae*/*Fusarium graminearum*, fusarium head blight severity, and deoxynivalenol accumulation in winter wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27: 217 – 224
- SCHAUBIGER, X.** (2015): Pflanzenkrankheiten – erkennen, verstehen, vermeiden. www.pflanzenkrankheiten.ch. 26.02.2015
- SCHLÜTER, K., KROPF, U.** (2006): *Fusarium*-Befall aus dem Boden? Infektionswege von Fusarien. In: *Landwirtschaft ohne Pflug*, 2: 28 – 33
- SCHLÜTER, K., KROPF, U., Karlovsky, P.** (2006): Untersuchungen zur systemischen Infektion von *Fusarium culmorum* an Winterweizen in Schleswig-Holstein. *Gesunde Pflanzen*, 58: 107 – 116
- SCHMIDT-HEYDT, M., MAGAN, N., GEISEN, R.** (2008): Stress induction of mycotoxin biosynthesis genes by abiotic factors. *FEMS Microbiology Letters*, 284: 142 – 149
- SCHNEIDER, R., KRÜGER, W.** (1972): *Kabatiella zeae* Narita et Hiratsuka als Erreger einer Blattfleckenkrankheit an Mais in Deutschland. *Phytopathologische Zeitung*, 74: 238 – 248
- SCHRUFT, G.** (1971): Untersuchungen über einen möglichen Cytokinin-artigen Effekt systemischer Fungizide auf Benzimidazol-Basis. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 78(5): 280 – 285

- SCHULTE, M.** (2014): Pilzkrankheiten in Mais - erkennen und bekämpfen. Syngenta Bestimmungshilfe Mais. Unter Mitarbeit von L. Ramos-Romero und Prof. A. von Tiedemann. Hg. v. Syngenta, Maintal
- SIMPSON, D. R., WESTON, G. E., TURNER, J. A., JENNINGS, P., NICHOLSON, P.** (2001): Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology* 107: 421 – 431
- SOLORZANO, C. D., MALVICK, D. K.** (2011): Effects of fungicide seed treatments on germination, population, and yield of maize grown from seed infected with fungal pathogens. *Field Crops Research*, 122: 173 – 178
- SOPTERAN, L., SUCIU, L., HAS, V., HAS, I., & PUJA, C.** (2013): The Influence of *Fusarium* Ear Infection on the Maize Yield And Quality in Some Maize Hybrids Created at ARDS Turda. *Bulletin UASMV serie Agriculture*, 70(2): 465 – 466
- STOY, V.** (1965): Photosynthesis, respiration, and carbohydrate accumulation in spring wheat in relation to yield. *Physiologia plantarum supplementum*, 4: 125 – 129
- SUMMERELL, B. A., LAURENCE, M. H., LIEW, E. C., & LESLIE, J. F.** (2010): Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity*, 44: 3 - 13
- SUTTON, J. C.** (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4(2): 195 –209
- TAUBE, F., A. HERRMANN** (2009): Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel. *Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research (Sonderheft 331)*: 115 – 126
- TATUM, L. A.** (1971): The Southern Corn Leaf Blight Epidemic. *Science* 171: 1113 – 1116
- THRANE, U., ADLER, A., CLASEN, P.-E., GALVANO, F., LANGSETH, W., LEW, H., LOGRIECOE, A., NIELSENA, K. F., RITIENID, A.** (2004): Diversity in metabolite production by *Fusarium langsethiae*, *Fusarium poae* and *Fusarium sporotrichioides*. *International Journal of Food Microbiology*, 95: 257 – 266
- TRAIL, F., GAFFOOR, I., & VOGEL, S.** (2005): Ejection mechanics and trajectory of the ascospores of *Gibberella zeae* (anamorph *Fusarium graminearum*). *Fungal Genetics and Biology*, 42: 528 – 533
- TRAIL, F.** (2009): For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the Postgenomics Era. *Plant Physiology*, 149: 103 – 110
- ULLSTRUP, A. J.** (1972): The Impacts of the Southern Corn Leaf Blight Epidemics of 1970 – 1971. *Annual Review of Phytopathology*, 10: 37 – 50

- URBAN, K. I.** (2012): Befalls- und Krankheitskontrolle von Maispathogenen im Rahmen einer überregionalen, mehrjährigen Untersuchung. Kiel: Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Dissertation
- VIGIER, B., REID, L. M., DWYER, L. M., STEWART, D. W., SINHA, R. C., ARNASON, J. T., & BUTLER, G.** (2001): Maize resistance to gibberella ear rot: symptoms, deoxynivalenol, and yield. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 23(1): 99 – 105
- VERBEKE, G., MOLENBERGHS, G.** (2000): *Linear Mixed Models for Longitudinal Data*, Springer.
- VERREET, J. A., & DEHNE, H. W.** (2013): Pilze. In H. M. Poehling, & J. A. Verreet, *Lehrbuch der Phytomedizin* (Bd. 4). Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.
- VERREET, J.-A., H. KLINK, T. BIRR, K. URBAN** (2012): Mais - Potentiale einer bedeutenden Kultur. *Fusarium-Pilze an Mais*, BASF.
- VERREET, J.-A., J. KNOTT** (2012): Mais - Potentiale einer bedeutenden Kultur. Das Risiko von *Fusarium* in Mais - Mykotoxine im Erntegut, BASF
- WILKE, A. L., BRONSON, C. R., TOMAS, A., MUNKVOLD, G. P.** (2007): Seed Transmission of *Fusarium verticillioides* in Maize Plants Grown Under Three Different Temperature Regimes. *Plant Disease*, 91(9): 1109 – 1115
- WINTER, M., KOOPMANN, B., DÖLL, K., KARLOVSKY, P., KROPF, U., SCHLÜTER, K., VON TIEDEMANN, A.** (2013): Mechanism regulating grain contamination with trichothecenes translocated from the stem base of wheat (*Triticum aestivum*) infected with *Fusarium culmorum*. *Disease Control and Pest Management*, 103(7): 682 – 689
- WOLF, P. F. J., HOFFMANN, G. M.** (1994): Epidemiologic Development of *Drechslera tritici-repentis* in Wheat. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 101(1): 22 – 37
- WU, Y. X., VON TIEDEMANN, A.** (2002): Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone. *Environmental Pollution*, 116: 37 – 47
- WULFES, R.** (2001): Einfluss von Reihenabstand, Sortentyp und Bestandesdichte auf die Bestandesstruktur, Blattflächenverteilung und Lichtausnutzung des Silomaises (*Zea mays* L.). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 13: 218 – 219
- XU, X.-M., PARRY, D. D., NICHOLSON, P., THOMSETT, M. A., SIMPSON, D., EDWARDS, S. G., COOKE, M. B., DOOHAN, F. M., BRENNAN, J. M., MORETTI, A. TOCCO, G., MULE, G., HORNOK, L., GICZEY, G., TATNELL, J.** (2005): Predominance and association of pathogenic fungi causing *Fusarium* ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology*, 112: 143 – 154

- YAGEN, B., & JOFFE, A. Z.** (1976): Screening of Toxic Isolates of *Fusarium poae* and *Fusarium sporotrichioides* Involved in Causing Alimentary Toxic Aleukia. Applied and Environmental Microbiology, 32(3): 423 – 427
- YATES, I. E., WIDSTROM, N. W., BACON, C. W., GLENN, A., HINTON, D. M., SPARKS, D., & JAWORSKI, A. J.** (2005): Field performance of maize grown from *Fusarium verticillioides*-inoculated seed. Mycopathologia, 159: 65 – 73
- YOUNG, J. C., MILLER, J.D.** (1985): Appearance of fungus, ergosterol and *Fusarium* mycotoxins in the husk, axial stem and stalk after era inoculation of filed corn. Canadian Journal of Plant Science, 65: 47 – 53
- ZAIN, M. E.** (2011): Impact of mycotoxins on humans and animals. Journal of Saudi Chemical Society, 15: 129 – 144
- ZELLNER, M.** (2012): Blattfleckenkrankheiten an Mais. Welche pilzlichen Erreger kommen in Mais vor? Mais, 3: 123 – 125
- ZHANG, Y. J., FAN, P. S., ZHANG, X., CHEN, C. J., & ZHOU, M. G.** (2009): Quantification of *Fusarium graminearum* in Harvested Grain by Real-Time Polymerase Chain Reaction to Assess Efficacies of Fungicides on *Fusarium* Head Blight, Deoxynivalenol Contamination, and Yield of Winter Wheat. Phytopathologie, 99: 95 – 100
- ZINEDINE, A., SORIANO, J. M., MOLTÓ, J. M., MANES, J.** (2007): Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. Food and Chemical Toxicology, 45: 1 – 18
- ZSCHEISCHLER, J., ESTLER, M. C., GROß, F., BURGSTALLER, G., NEUMANN, H., GEIßLER, B.** (1984): Handbuch Mais. Aufbau – Verwertung – Fütterung, 3. Auflage. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH
- ZSCHEISCHLER, J., ESTLER, M. C., STAUDACHER, W., GROß, F., BURGSTALLER, G., STREYL, H., & RECHMANN, T.** (1990): Handbuch Mais. Umweltgerechter Anbau. Wirtschaftliche Verwertung, 4. Auflage. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH.

9. Anhang

Tab. I: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 0,0 | 217,3 | 103,6 | 286,7 |
| | Kolben | 1,0 | 5,1 | 30,4 | 15,4 |
| | u. Kolbens | 0,3 | 7,0 | 2,3 | 36,1 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 0,0 | 115,6 | 81,1 | 187,9 |
| | Kolben | 0,0 | 3,9 | 5,6 | 5,7 |
| | u. Kolbens | 2,0 | 3,2 | 0,4 | 17,6 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 0,0 | 2,2 | 0,9 | 5,8 |
| | Kolben | 0,4 | 2,1 | 4,6 | 1,5 |
| | u. Kolbens | 2,5 | 36,9 | 0,7 | 48,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 3,1 | 13,4 | 5,0 | 10,8 |
| | Kolben | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 18,3 | 53,7 | 8,9 | 48,7 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 5,1 | 44,5 | 4,7 | 75,9 |
| | Kolben | 3,1 | 0,0 | 3,4 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 1,2 | 3,0 | 1,0 | 16,9 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 0,6 | 8,1 | 3,4 | 52,2 |
| | Kolben | 27,0 | 14,3 | 9,5 | 2,9 |
| | u. Kolbens | 8,2 | 6,5 | 0,2 | 25,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 0,8 | 6,0 | 5,5 | 12,1 |
| | Kolben | 1,4 | 25,0 | 3,5 | 2,4 |
| | u. Kolbens | 1,1 | 16,9 | 0,4 | 19,1 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 0,8 | 5,1 | 4,0 | 10,1 |
| | Kolben | 6,0 | 0,0 | 2,0 | 0,9 |
| | u. Kolbens | 5,0 | 25,7 | 1,4 | 36,4 |

Tab. II: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 115,0 | 53,4 | 40,4 | 21,6 |
| | Kolben | 8,3 | 1,0 | 8,5 | 9,0 |
| | u. Kolbens | 4,3 | 10,6 | 22,1 | 21,6 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 0,0 | 55,2 | 94,9 | 46,4 |
| | Kolben | 8,0 | 3,6 | 12,3 | 6,9 |
| | u. Kolbens | 3,5 | 3,5 | 2,3 | 9,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 5,7 | 0,0 | 34,1 | 2,3 |
| | Kolben | 7,3 | 3,2 | 6,4 | 1,7 |
| | u. Kolbens | 9,4 | 1,4 | 0,0 | 11,2 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 5,8 | 0,5 | 4,7 | 1,3 |
| | Kolben | 2,2 | 0,4 | 0,3 | 0,0 |
| | u. Kolbens | 3,0 | 1,2 | 2,7 | 1,6 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 43,3 | 10,4 | 11,6 | 6,1 |
| | Kolben | 6,5 | 0,0 | 0,4 | 1,1 |
| | u. Kolbens | 1,4 | 0,3 | 2,9 | 0,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 13,6 | 0,0 | 0,0 | 10,4 |
| | Kolben | 16,7 | 0,0 | 13,6 | 2,5 |
| | u. Kolbens | 2,9 | 2,5 | 0,5 | 2,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 6,4 | 0,6 | 8,4 | 3,8 |
| | Kolben | 15,6 | 4,3 | 3,0 | 1,1 |
| | u. Kolbens | 1,5 | 1,9 | 4,0 | 5,3 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 1,0 | 0,9 | 1,5 | 6,3 |
| | Kolben | 6,2 | 0,0 | 1,6 | 0,4 |
| | u. Kolbens | 13,3 | 0,0 | 23,7 | 18,5 |

Tab. III: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Liesborn in der Sorte NK Nekta im Jahr 2013. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 0,0 | 87,2 | 60,9 | 9,5 |
| | Kolben | 0,0 | 0,0 | 2,4 | 0,0 |
| | u. Kolbens | 0,0 | 7,8 | 3,7 | 0,0 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 9,1 | 20,2 | 21,9 | 7,3 |
| | Kolben | 1,6 | 0,0 | 4,3 | 0,1 |
| | u. Kolbens | 1,1 | 0,0 | 1,2 | 0,7 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 2,2 | 0,0 | 2,6 | 0,4 |
| | Kolben | 3,2 | 2,8 | 0,9 | 3,5 |
| | u. Kolbens | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 0,7 | 0,0 | 4,0 | 2,7 |
| | Kolben | 1,4 | 0,6 | 1,5 | 1,2 |
| | u. Kolbens | 0,0 | 2,9 | 1,9 | 6,8 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 1,9 | 9,1 | 34,2 | 26,1 |
| | Kolben | 13,0 | 0,0 | 3,9 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 3,8 | 0,0 | 12,3 | 27,4 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 15,5 | 0,0 | 22,4 | 17,5 |
| | Kolben | 9,7 | 0,0 | 0,2 | 4,3 |
| | u. Kolbens | 0,3 | 0,9 | 0,3 | 1,3 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 1,2 | 2,2 | 1,9 | 0,3 |
| | Kolben | 2,3 | 3,2 | 1,2 | 3,0 |
| | u. Kolbens | 0,9 | 0,0 | 2,6 | 11,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 0,7 | 0,0 | 0,8 | 0,1 |
| | Kolben | 0,7 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| | u. Kolbens | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 1,1 |

Tab. IV: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 205,9 | 363,5 | 186,0 | 193,4 |
| | Kolben | 3,9 | 16,9 | 1,9 | 1,1 |
| | u. Kolbens | 70,1 | 260,6 | 48,0 | 19,6 |
| Apron XL | o. Kolbens | 133,0 | 266,1 | 10,0 | 78,0 |
| | Kolben | 3,8 | 13,4 | 0,0 | 7,9 |
| | u. Kolbens | 59,5 | 220,7 | 4,0 | 10,0 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 31,7 | 13,0 | 3,0 | 5,5 |
| | Kolben | 3,0 | 0,8 | 1,3 | 2,0 |
| | u. Kolbens | 22,7 | 135,8 | 4,9 | 6,7 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 7,1 | 2,1 | 0,7 | 3,7 |
| | Kolben | 1,8 | 0,6 | 0,2 | 0,2 |
| | u. Kolbens | 13,3 | 54,0 | 6,3 | 11,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 13,6 | 10,5 | 1,2 | 6,5 |
| | Kolben | 2,3 | 0,5 | 0,2 | 1,2 |
| | u. Kolbens | 17,3 | 60,8 | 7,3 | 10,4 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 11,5 | 73,3 | 4,8 | 1,5 |
| | Kolben | 2,9 | 7,5 | 0,0 | 1,7 |
| | u. Kolbens | 47,4 | 90,9 | 31,3 | 13,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 19,5 | 72,8 | 1,7 | 21,3 |
| | Kolben | 1,1 | 1,8 | 0,0 | 2,4 |
| | u. Kolbens | 25,7 | 77,5 | 42,4 | 48,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 1,6 | 6,4 | 1,2 | 2,6 |
| | Kolben | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 3,5 |
| | u. Kolbens | 11,3 | 34,4 | 13,7 | 33,7 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 0,0 | 15,0 | 0,0 | 74,3 |
| | Kolben | 1,1 | 2,0 | 3,0 | 2,4 |
| | u. Kolbens | 7,5 | 31,9 | 10,8 | 25,2 |

Tab. V: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Hohenschulen in der Sorte Multitop im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron[®]XL und Maxim[®]Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt[®]Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 346,3 | 223,8 | 347,0 | 184,3 |
| | Kolben | 94,1 | 13,9 | 0,0 | 6,4 |
| | u. Kolbens | 812,3 | 127,6 | 12,8 | 24,3 |
| Apron XL | o. Kolbens | 307,8 | 77,5 | 89,9 | 36,7 |
| | Kolben | 80,8 | 22,4 | 0,0 | 13,4 |
| | u. Kolbens | 438,3 | 131,2 | 6,7 | 9,5 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 258,8 | 62,1 | 7,6 | 3,7 |
| | Kolben | 50,4 | 4,5 | 2,9 | 6,8 |
| | u. Kolbens | 180,5 | 71,3 | 4,8 | 8,8 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 179,2 | 6,5 | 3,2 | 5,2 |
| | Kolben | 32,1 | 0,9 | 4,7 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 119,9 | 14,2 | 3,2 | 8,9 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 162,7 | 14,3 | 1,5 | 4,1 |
| | Kolben | 46,7 | 1,2 | 0,0 | 0,4 |
| | u. Kolbens | 51,5 | 42,1 | 3,0 | 3,1 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 109,6 | 4,8 | 3,7 | 10,5 |
| | Kolben | 48,4 | 5,6 | 0,0 | 0,0 |
| | u. Kolbens | 241,5 | 13,0 | 14,1 | 5,4 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 77,5 | 4,9 | 0,0 | 1,8 |
| | Kolben | 46,4 | 0,2 | 0,9 | 1,7 |
| | u. Kolbens | 111,9 | 49,6 | 8,5 | 79,1 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 85,4 | 1,2 | 1,8 | 2,3 |
| | Kolben | 39,8 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 42,7 | 35,4 | 16,8 | 0,0 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 39,0 | 0,0 | 13,6 | 116,6 |
| | Kolben | 30,2 | 5,8 | 11,5 | 7,7 |
| | u. Kolbens | 69,3 | 20,0 | 0,0 | 43,6 |

Tab. VI: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Brockum in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 75,4 | 72,8 | 0,0 | 67,5 |
| | Kolben | 1,6 | 0,9 | 0,9 | 1,5 |
| | u. Kolbens | 26,1 | 40,7 | 2,5 | 16,5 |
| Apron XL | o. Kolbens | 29,8 | 29,2 | 34,8 | 45,8 |
| | Kolben | 1,4 | 0,9 | 0,0 | 0,7 |
| | u. Kolbens | 19,6 | 13,7 | 1,8 | 7,5 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 19,0 | 4,7 | 0,0 | 15,4 |
| | Kolben | 0,9 | 0,6 | 3,7 | 0,9 |
| | u. Kolbens | 18,8 | 5,7 | 9,3 | 9,2 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 10,5 | 11,4 | 0,0 | 15,2 |
| | Kolben | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,6 |
| | u. Kolbens | 3,8 | 5,4 | 6,9 | 5,4 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 27,6 | 21,2 | 3,6 | 15,5 |
| | Kolben | 0,4 | 1,0 | 1,0 | 0,5 |
| | u. Kolbens | 14,7 | 3,5 | 0,0 | 3,9 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 16,9 | 6,2 | 1,5 | 19,8 |
| | Kolben | 1,1 | 1,6 | 0,1 | 1,1 |
| | u. Kolbens | 14,6 | 4,2 | 5,4 | 2,3 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 10,6 | 4,3 | 2,7 | 7,7 |
| | Kolben | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 1,0 |
| | u. Kolbens | 10,2 | 7,3 | 1,7 | 8,4 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 2,7 | 1,4 | 1,1 | 4,5 |
| | Kolben | 0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 1,1 | 4,7 | 13,9 | 16,9 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 10,6 | 2,6 | 1,6 | 3,2 |
| | Kolben | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| | u. Kolbens | 2,7 | 5,1 | 1,1 | 1,3 |

Tab. VII: Befallsstärken nachgewiesener *Fusarium*-Arten (Verhältnis *Fusarium*-DNA zu Pflanzen-DNA in ‰) in verschiedenen Pflanzenfraktionen in EC 75 am Standort Reding in der Sorte NK Nekta im Jahr 2014. Vergleich fungizider Beizen Apron®XL und Maxim®Quattro sowie der fungiziden Blattbehandlung mit Quilt®Xcel in EC 35 / EC 55 / EC 65 zur unbehandelten Kontrolle. o. Kolbens = oberhalb des Hauptkolbens; Kolben = Hauptkolben und Sekundärkolben; u. Kolbens = unterhalb des Hauptkolbens

| Variante | Fraktion | <i>F. graminearum</i> | <i>F. culmorum</i> | <i>F. poae</i> | <i>F. avenaceum</i> |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Kontrolle | o. Kolbens | 262,4 | 54,0 | 16,6 | 183,0 |
| | Kolben | 722,0 | 17,9 | 9,0 | 4,7 |
| | u. Kolbens | 197,5 | 2,4 | 12,8 | 34,2 |
| Apron XL | o. Kolbens | 81,3 | 15,0 | 11,9 | 146,6 |
| | Kolben | 417,5 | 36,4 | 12,3 | 14,7 |
| | u. Kolbens | 142,6 | 2,9 | 7,7 | 10,2 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 47,4 | 0,7 | 1,0 | 14,9 |
| | Kolben | 378,9 | 4,2 | 5,9 | 10,8 |
| | u. Kolbens | 116,6 | 0,0 | 11,9 | 5,3 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 21,2 | 1,4 | 0,7 | 12,9 |
| | Kolben | 228,5 | 6,4 | 12,1 | 4,0 |
| | u. Kolbens | 81,3 | 3,0 | 18,3 | 11,8 |
| Apron XL + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 3,5 | 0,0 | 2,6 | 8,4 |
| | Kolben | 329,9 | 0,3 | 7,9 | 6,8 |
| | u. Kolbens | 11,0 | 2,2 | 5,4 | 11,4 |
| Maxim Quattro | o. Kolbens | 78,0 | 5,7 | 6,2 | 45,8 |
| | Kolben | 325,3 | 0,0 | 16,0 | 5,4 |
| | u. Kolbens | 22,7 | 0,4 | 20,7 | 7,6 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 35 | o. Kolbens | 40,7 | 1,0 | 0,0 | 24,9 |
| | Kolben | 238,2 | 0,1 | 3,6 | 5,8 |
| | u. Kolbens | 12,6 | 4,6 | 31,8 | 27,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 55 | o. Kolbens | 19,6 | 0,4 | 1,1 | 73,3 |
| | Kolben | 112,7 | 0,0 | 16,8 | 8,9 |
| | u. Kolbens | 11,0 | 2,7 | 21,0 | 26,8 |
| Maxim Quattro + Quilt Xcel in EC 65 | o. Kolbens | 21,8 | 14,9 | 1,8 | 8,3 |
| | Kolben | 167,2 | 1,2 | 10,2 | 7,7 |
| | u. Kolbens | 16,3 | 0,0 | 11,6 | 22,7 |

Danksagung

Mein aufrichtiger Dank richtet sich an meinen Doktorvater Herrn Prof. Dr. J.-A. Verreet, der mir mit der Möglichkeit am Institut für Phytopathologie meine Promotion anzufertigen zu dürfen, einen großen Wunsch erfüllt hat. Für die Überlassung des interessanten Themas, die Förderung sowie das Vertrauen, das er mir entgegengebracht hat, möchte ich mich ganz besonders bedanken.

Des Weiteren danke ich Herrn Dr. Holger Klink und Herrn Dr. Tim Birr für ihre konstruktive Kritik, stetige Diskussions- und Hilfsbereitschaft sowie die nette und freundschaftliche Zusammenarbeit während der letzten Jahre. Herrn Dr. Mario Hasler gilt ein besonderer Dank für die gute Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung und Herrn Dr. Jens Aumann danke ich für seine Unterstützung bei Literaturfragen. Den Mitarbeitern des Versuchsgutes Hohenschulen sowie Herrn Grill, Herrn Mohrmann und Herrn Diedrich danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung der Feldversuche. Weiter möchte ich mich aufrichtig bei meinem Ansprechpartner Herrn Dr. Mittermeier des Projektpartners Syngenta bedanken.

Ein großer Dank geht zudem an Bettina, Susanne, K., Susanne, H., Michael und Frau Ulrich, die mir mit ihrer Hilfsbereitschaft immer unterstützend zur Seite standen. Darüber hinaus möchte ich meinen studentischen Hilfskräften Carmen, Jannika, Susi und Steffi für ihren unermüdlichen Arbeitseinsatz danken. Die Probenaufarbeitung wäre ohne ihre Unterstützung in dieser Zeit nicht möglich gewesen.

Meinen Kondoktoranden Christoph, Georg, Julian, Gesine, Wanja, Christian, Wolfgang und Barah danke für die schöne gemeinsame Zeit und die freundschaftliche Zusammenarbeit. In diesen Zusammenhang möchte ich mich besonders bei meinem Kondoktoranden Andreas bedanken, der mich im Rahmen seiner Masterarbeit und als studentische Hilfskraft bei den Feldversuchen unterstützt hat und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ein herzliches Dankeschön geht an meine Großcousine Tanja für die Verbesserungsvorschläge und das Korrekturlesen in der letzten Phase des Schreibens. Meinen Eltern und meinem Bruder Andreas, die mir während meines ganzen Studiums stets zur Seite standen, möchte ich für alle die entgegengebrachte Unterstützung und Motivation, besonders in meiner Promotionszeit herzlich danken. Ein herzlicher Dank gilt zudem meinem Freund Peter für seine Liebe und Unterstützung während der Anfertigung dieser Arbeit.

Lebenslauf

Persönliche Daten

| | |
|---------------------|------------------|
| Name | Christiane Wiese |
| Geburtsdatum | 14.12.1984 |
| Geburtsort | Neumünster |
| Familienstand | ledig |
| Staatsangehörigkeit | deutsch |

Praktika und Beschäftigungen

| | |
|-------------------|---|
| 06/2012 – 08/2015 | Wissenschaftliche Mitarbeiterin mit Zielrichtung Promotion am Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel |
| 04/2007 – 03/2011 | Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel |
| 04/2008 – 08/2008 | Landwirtschaftliches Betriebspraktikum |
| 08/2005 – 03/2008 | Angestellte im Besucherservice, Cineplex GmbH Neumünster |

Hochschulausbildung

| | |
|-------------------|---|
| 10/2005 – 04/2012 | Studium der Agrarwissenschaften (Fachrichtung Nutzpflanzenwissenschaften), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel |
| 04/2012 | Abschluss: Master of Science Titel der Masterarbeit: „Analyse biotischer und abiotischer Stressfaktoren vom Weizen anhand phenolischer Substanzen“ |
| 01/2010 | Abschluss: Bachelor of Science Titel der Bachelorarbeit: „Entwicklung der Resistenzbildung von <i>Septoria tritici</i> und <i>Blumeria graminis</i> gegenüber Triazolen und Strobilurinen“ |

Schulabschluss

| | |
|---------|---|
| 05/2005 | Abitur an der Elly-Heuss-Knapp-Schule, Neumünster |
|---------|---|