

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

**Analyse der witterungsabhängigen Schadensdynamik von  
Weizenpathogenen und deren schwellenorientierten  
Bekämpfung auf die Pflanzen- sowie Ertragsphysiologie  
des Winterweizens anhand des überregionalen  
IPS-Monitorings Schleswig-Holstein (1995 – 2014)**

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

vorgelegt von

M.Sc. Christian Engel  
aus Leipzig

Kiel, 2014

Dekan: Prof. Dr. Hartung

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Verreet

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Cai

Tag der mündlichen Prüfung: 28.01.2015

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

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	XII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIV
1. Einleitung .....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Bedeutende Krankheiten im Winterweizen .....	3
2.1.1 <i>Septoria tritici</i> .....	3
2.1.2 <i>Blumeria graminis</i> .....	4
2.1.3 <i>Puccinia</i> spp. ....	5
2.2 Phytohormone.....	5
2.2.1 Auxine .....	6
2.2.2 Cytokinine.....	7
2.2.3 Gibberelline (GA).....	7
2.2.4 Abscisinsäure (ABA).....	8
2.2.5 Ethylen .....	8
2.2.6 Jasmonate .....	8
2.2.7 Salicylsäure (SA) .....	9
2.2.8 Stickstoffmonoxid (NO).....	10
3. Material und Methoden.....	14
3.1 Verwendete Materialien.....	14
3.1.1 Technische Geräte .....	14
3.1.2 Verbrauchsmaterialien.....	14
3.1.3 Chemikalien.....	15
3.1.4 Fungizide.....	17
3.1.5 Winterweizensorten ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	18

3.2	Feldversuche Winterweizen .....	18
3.2.1	Geografische Position der Versuchsstandorte .....	18
3.2.2	Anbauparameter und Maßnahmen der Bestandesführung.....	20
3.2.2.1	Fruchtfolge sowie Vorfrucht .....	20
3.2.2.2	Grundbodenbearbeitung.....	21
3.2.2.3	Sortenwahl .....	22
3.2.2.4	Saatstärke und Saattermin .....	22
3.2.2.5	Stickstoff-Düngung .....	23
3.2.2.6	Pflanzenschutz .....	24
3.2.3	Versuchsanlage.....	24
3.2.4	Fungizideinsatz.....	24
3.3	Datenerhebung und –auswertung .....	29
3.3.1	Erfassung der Witterungsdaten.....	29
3.3.2	Boniturschema.....	30
3.3.3	Ernte.....	34
3.3.4	Einordnung der Witterung .....	34
3.3.5	Graphische und statistische Aufarbeitung der Daten .....	34
3.4	Phytohormonuntersuchungen .....	35
3.4.1	<i>Ex-vivo</i> Blattscheiben-Versuch .....	35
3.4.2	<i>In-vivo</i> Gewächshaus-Versuch .....	36
3.4.3	Extraktion sowie Aufreinigung der Phytohormone.....	37
3.4.4	Parameter der Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometrie–Kopplung (LC/MS).....	41
4.	Ergebnisse .....	45
4.1	Feldversuche.....	45
4.1.1	Witterung der Versuchsjahre 1994/1995 bis 2013/2014.....	45
4.1.2	Entwicklungsstadien der Jahre 1995 - 2014.....	52
4.1.3	Auftreten von <i>Septoria tritici</i> in der unbehandelten Kontrolle.....	56
4.1.3.1	Populationsdynamische Befallsentwicklung von <i>Septoria tritici</i> der unbehandelten Kontrolle im IPS-Monitoring Schleswig-Holstein 2011 bis 2014.....	56
4.1.3.2	Ausgangsinokulum von <i>Septoria tritici</i> der unbehandelten Kontrollen .....	65
4.1.3.3	Einfluss des Aussaattermins auf den Ausgangsbefall von <i>Septoria tritici</i> ....	69
4.1.3.4	Einfluss der Temperatur auf den Befallsentwicklung von <i>Septoria tritici</i> .....	70
4.1.3.5	Endbefall von <i>Septoria tritici</i> in der unbehandelten Kontrolle .....	73

---

4.1.3.6 Einfluss der Sorte Inspiration auf die Befallsstärke .....	75
4.1.4 Auftreten von <i>Blumeria graminis</i> in der unbehandelten Kontrolle .....	78
4.1.5 Auftreten von <i>Puccinia triticina</i> in der unbehandelten Kontrolle.....	84
4.1.6 Fungizidapplikationen nach dem IPS-Modell .....	87
4.1.7 Einfluss der Fungizidmaßnahmen auf die Nekrotisierung des Blattapparates .....	98
4.1.8 Kornerträge.....	104
4.2 Einfluss von Fungiziden auf den Phytohormon-Haushalt von Weizen .....	110
4.2.1 Stressinduzierter <i>Ex-vivo</i> Blattscheiben-Versuch .....	110
4.2.2 <i>In-vivo</i> Gewächshaus-Versuch .....	115
5. Diskussion.....	117
6. Zusammenfassung.....	135
7. Summary.....	137
8. Literaturverzeichnis .....	139
9. Anhang.....	153
Danksagung .....	161
<i>Curriculum vitae</i> .....	162

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Weltweite prozentuale Fungizideinsatz-Indikation im Getreide nach (VERREET & KLINK, 1999).....	4
Abb. 2: Struktur und Funktion von Phytohormonen nach ITEN et al. (1999). Vorwiegend wachstumsfördernde Hormone (A) stehen eher wachstumshemmenden und in Stressantwort involvierten Hormonen (B) gegenüber.....	6
Abb. 3: Geographische Lage der Versuchsstandorte in Schleswig-Holstein für das das IPS-Monitoring 1995 – 2014 sowie der Winterweizenanteil in der Fruchtfolge (%) im Jahre 2010. Graphische Darstellung mittels GIS (Daten nach Statistikamt Nord, 2010) .....	19
Abb. 4: Prozentualer Anteil verwendeter Vorfrüchte an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2014.....	21
Abb. 5: Prozentualer Anteil der Grundbodenbearbeitungsverfahren an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2014 .....	22
Abb. 6: Prozentualer Anteil der gewählten Aussaattermine an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2013. Frühsaat (bis einschließlich 20. September); Normalsaat (21. September bis 04. Oktober); Spätsaat (ab 05. Oktober).....	23
Abb. 7: Schematischer Boniturlauf für eine Wiederholung. Rote Zahlen kennzeichnen die Reihenfolge der einzelnen Boniturschritte .....	31
Abb. 8: Anteil des Laufmittels B (Acetonitril + 0,2 % (v/v) Essigsäure) über die Zeit für die Analyse der Cytokinine (t-ZR, Zeatin, ZR und DHZR) mittels HPLC/MS.....	42
Abb. 9: Anteil des Laufmittels B (Acetonitril + 0,2 % (v/v) Essigsäure) über die Zeit für die Analyse der sauren Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA) mittels HPLC/MS .....	43
Abb. 10: Abweichung der Temperatur (oben) sowie des Niederschlages (unten) des Monats April der Jahre 1995 – 2014 vom Durchschnitt aller Jahre in Schleswig-Holstein. Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. –summe abgebildet.....	49

- 
- Abb. 11: Abweichung der Temperatur (oben) sowie des Niederschlages (unten) des Monats Mai der Jahre 1995 – 2014 vom Durchschnitt aller Jahre in Schleswig-Holstein...50
- Abb. 12: Temperatur (oben) sowie Niederschlag (unten) der Monate April und Mai als Mittelwert der Dekaden von 1995 bis 2004 und 2005 bis 2014 in Schleswig-Holstein. Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. –summe sowie zusätzlich mit der Standardabweichung abgebildet .....51
- Abb. 13: Abweichung des Schossbeginns (EC 30) in den Jahren 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre. Die Einzeljahre sind über die Standorte gemittelt. ....53
- Abb. 14: Beziehung zwischen dem Erreichen des Schossbeginns (EC 30) und der Temperatursummen (Gradtage °Cd) von September bis April für Schleswig-Holstein in den Jahren 1995 bis 2014 .....54
- Abb. 15: Zeitlicher Verlauf sowie Dauer der Schossphase (EC 30 - 39) von 1995 bis 2014, als Mittel der Standorte für die Einzeljahre. Im Jahr 2004 fand kein Monitoring statt und findet somit keine Darstellung.....54
- Abb. 16: Beziehung zwischen dem Beginn (EC 30) sowie dem Ende (EC 39) des Schossens in den Jahren 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte...55
- Abb. 17: Zusammenhang zwischen dem Ende der Schossphase (EC 39) sowie dem Erreichen der späten Milchreife (EC 77) in den Jahren 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte.....56
- Abb. 18: Endbefallsstärke von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrollen zu EC 77 (SUM BSB; F-6 bis F) im überregionalen IPS-Monitoring Schleswig-Holstein 2011 bis 2014. Darstellung mittels GIS .....57
- Abb. 19: Treffergenauigkeit der Prognose eines Infektionsereignisses ( $\geq 98$  %Blattnässe über  $\geq 36$  h) für *Septoria tritici* mit einer anschließenden Befallszunahme von  $\geq 100$  Pyknidien (SUM BSB) anhand der Jahre 2011 bis 2014.....58
- Abb. 20: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kastorf (links) und Kluvensiek (rechts) im Vegetationsabschnitt 25. April bis 11. Juli 2011 in Abhängigkeit der Witterung.....59

- Abb. 21: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kastorf (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 in Abhängigkeit der Witterung.....61
- Abb. 22: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 06. Mai bis 15. Juli 2013 in Abhängigkeit der Witterung .....62
- Abb. 23: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 14. April bis 30. Juni 2014 in Abhängigkeit der Witterung ...64
- Abb. 24: Ausgangsbefall (SUM BSB, F-6 bis F-2) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 207 Pyknidien dar.....66
- Abb. 25: Mittlere prozentuale Abweichung des Ausgangsbefalls (SUM BSB; F-6 bis F-2) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre und Standorte .....66
- Abb. 26: Zusammenhang zwischen den regionalen Niederschlagsmengen (mm), des langjährigen Mittels der Monate Februar bis April (Deutscher Wetterdienst; links) und dem mittleren Ausgangsbefall von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 (SUM BSB; rechts) im Mittel von 1995 bis 2014; Darstellung mittels GIS.....67
- Abb. 27: Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen (mm) des langjährigen Mittels von Februar bis April (1981 – 2010; Quelle: Deutscher Wetterdienst) sowie dem mittleren Ausgangsbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F-2) in der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 in den Jahren 1995 bis 2014.....68
- Abb. 28: Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen (mm) des langjährigen Mittels von Februar bis April (Quelle: Deutscher Wetterdienst) und der Temperatursumme (°Cd) von September bis April sowie dem Ausgangsbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F-2) in der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 in den Jahren 1995 bis 2014.....69
- Abb. 29: Mittlerer Ausgangsbefall zu Beginn der Bonitur (EC 31; F-6 bis F-3) der unbehandelten Kontrollen der Jahre 1995 bis 2014 die vor dem 20. September (links) und nach dem 05. Oktober (rechts) gedrillt wurden. (n = 58).....70



- 
- Abb. 30: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 16. April bis 09. Juli 2001 (links) und Barlt im Vegetationsabschnitt 28. April bis 14. Juli 2003 (rechts).....71
- Abb. 31: Aufsummierter Endbefall zu EC 77 (SUM BSB, F-6 bis Fahnenblatt) in grau sowie der Ausgangsbefall zu EC 32 (SUM BSB, F-6 bis F-2) in grün von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 1176 Pyknidien des Endbefalls dar .....73
- Abb. 32: Mittlere prozentuale Abweichung des Endbefalls (SUM BSB; F-6 bis Fahnenblatt) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen der jeweiligen Standorte von 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre und Standorte .....74
- Abb. 33: Zusammenhang zwischen dem Ausgangsbefall (SUM BSB; F-6 bis F-2) zu EC 32 sowie dem Endbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F) zu EC 77 der unbehandelten Kontrollen.....75
- Abb. 34: Vergleich des Ausgangs- (EC 32) sowie Endbefalls (EC 83) der Sorten Ritmo und Inspiration der Jahre 2012 bis 2014 anhand der unbehandelten Kontrolle im Mittel der Standorte .....76
- Abb. 35: Vergleich des Befallszuwachses nach einem Infektionsereignis innerhalb der Sorten Ritmo und Inspiration der Jahre 2012 bis 2014 anhand der unbehandelten Kontrolle im Mittel der Standorte .....76
- Abb. 36: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen des Standortes Barlt der Sorten Ritmo (links) und Inspiration (rechts) im Vegetationsabschnitt 06. Mai bis 15. Juli 2013 in Abhängigkeit der Witterung.....77
- Abb. 37: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) von *Blumeria graminis* der Blattetagen F-6 bis F zu EC 83 in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 2011 bis 2014.....79
- Abb. 38: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) der Blattetagen F-6 bis F zu EC 83 von *Blumeria graminis* in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 1995 bis 2014. Dargestellt als GIS-Karte. ....80

- 
- Abb. 39: Befallsentwicklung von *Blumeria graminis* auf den Blattetagen F-5 bis F in der unbehandelten Kontrolle des Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 in Abhängigkeit der Witterung .....81
- Abb. 40: Befallsentwicklung von *Blumeria graminis* auf den Blattetagen F-5 bis F in der unbehandelten Kontrolle des Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 09. April bis 02. Juli 2007 in Abhängigkeit der Witterung .....83
- Abb. 41: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) von *Puccinia triticina* der Blattetagen F-6 bis F zu EC 83 in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 2011 bis 2014.....84
- Abb. 42: Endbefall (GES SUM BSB, F-6 bis F-1) von *Puccinia triticina* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 3,8 % dar .....85
- Abb. 43: Befallsentwicklung von *Puccinia triticina* in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Birkenmoor im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 (links) und Sönke-Nissen-Koog im Vegetationsabschnitt 09. April bis 02. Juli 2007 (rechts) in Abhängigkeit der Witterung .....86
- Abb. 44: Zusammenhang zwischen dem Tag des Erstauftretens im Bestand sowie der Endbefallsstärke (GES SUM BSB) von *Puccinia triticina* der Blattetagen F-6 bis F der unbehandelten Kontrollen zu EC 83 der Jahre 1995 bis 2014 (n=135).....87
- Abb. 45: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2011 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*) .....88
- Abb. 46: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2012 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*) .....90
- Abb. 47: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2013 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*) .....92
- Abb. 48: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2013 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*) .....93

- 
- Abb. 49: Endbefall (SUM BSB; F-2 bis F) von *Septoria tritici* zu EC 77/83 der unbehandelten Kontrolle (schwarz) im Vergleich zu der fungizid-behandelten IPS-Variante (rot) im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 des überregionalen IPS-Monitorings Schleswig-Holstein .....95
- Abb. 50: Endbefall (SUM BSB; F-2 bis F) von *Blumeria graminis* zu EC 77/83 der unbehandelten Kontrolle (schwarz) im Vergleich zu der fungizid-behandelten IPS-Variante (blau) im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 des überregionalen IPS-Monitorings Schleswig-Holstein.....97
- Abb. 51: Mittlere Nekrotisierung der Blattetagen F-2 bis F zum Ende der Kornfüllungsphase EC 77/83 in der unbehandelten Kontrolle sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante als Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2014.....99
- Abb. 52: Verlauf der Nekrotisierung in % (braun) sowie des *Septoria tritici*-Befalls in Pyknidien der Blattetagen F-5 bis F der unbehandelten Kontrolle des Standortes Kluvensiek aus dem Jahr 2009 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein ..... 100
- Abb. 53: Zusammenhang zwischen der Nekrotisierung (%) sowie der Befallsstärke (BSB) von *Septoria tritici* der Blattetagen F-1 und F aus den IPS-Varianten aller Standorte bis zu EC 75 (n=136) ..... 102
- Abb. 54: Vergleich der ermittelten Gesamtnekrotisierung zur *Septoria tritici*-induzierten Nekrotisierung (errechnet) anhand der unbehandelten Kontrolle (links) sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante (rechts) des Standortes Barlt aus dem Jahr 2014 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein. Der Zeitpunkt der Fungizidapplikation ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. .... 103
- Abb. 55: Vergleich der ermittelten Gesamtnekrotisierung zur *Septoria tritici*-induzierten Nekrotisierung (errechnet) anhand der unbehandelten Kontrolle (links) sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante (rechts) des Standortes Kluvensiek aus dem Jahr 2010 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein. Der Zeitpunkt der Fungizidapplikation ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. .... 103
- Abb. 56: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2011 sowie statistischer Mittelwertvergleich (n = 4) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ ) ..... 104

Abb. 57: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2012 sowie statistischer Mittelwertvergleich (n = 4) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ ) .....	105
Abb. 58: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2013 sowie statistischer Mittelwertvergleich (n = 4) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ ) .....	106
Abb. 59: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2014 sowie statistischer Mittelwertvergleich (n = 4) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ ) .....	107
Abb. 60: Prozentuale Aufwandmenge (g a.i./ha), Durchschnittsertrag (dt/ha) in 86 % TM sowie Applikationsfrequenz (n-Anwendungen) im Mittel der Versuchsstandorte und Jahre 2011 bis 2014 der unbehandelten Kontrolle, IPS-Variante und Gesundvariante .....	108
Abb. 61: Prozentuale Aufwandmenge (g a.i./ha), Durchschnittsertrag (dt/ha) in 86 % TM sowie Applikationsfrequenz (n-Anwendungen) im Mittel der Versuchsstandorte und Jahre 1995 bis 2014 der unbehandelten Kontrolle, IPS-Variante und Gesundvariante .....	109
Abb. 62: Indol-3-Essigsäure-Gehalte (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des <i>Ex-vivo</i> -Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....	110
Abb. 63: Gehalt (ng/g FM) der Cytokinine Trans-Zeatin (ausgefüllt) und Trans-Zaetin-Ribosid (gestrichelt) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des <i>Ex-vivo</i> -Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....	111
Abb. 64: Abscisinsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie der mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des <i>Ex-vivo</i> -Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....	112

- 
- Abb. 65: Gehalt (ng/g FM) der Jasmonate Jasmonsäure (ausgefüllt) und Jasmonsäure-Isoleucin (schraffiert) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....113
- Abb. 66: Salicylsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....114
- Abb. 67: Aminocyclopropan-carbonsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....115
- Abb. 68: Abscisinsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten sieben Tage nach Applikation im *In-vivo* Gewächshaus-Versuch. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....115
- Abb. 69: Wasserverbrauch (ml/g FM) der fungizidfreien Kontrolle sowie der mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten sieben bzw. 10 Tage nach Applikation im *In-vivo* Gewächshaus-Versuch. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ ) .....116

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Geographische Lage, Bodentypen, -arten und Ackerzahlen der IPS-Monitoringstandorte in Schleswig-Holstein. tL = toniger Lehm; sL = sandiger Lehm.....	20
Tab. 2: Entscheidungskriterien für die Durchführung von Fungizidmaßnahmen in der IPS-Variante zur Bekämpfung aller relevanten Weizenblattpathogene nach dem IPS-Modell Weizen 2005.....	26
Tab. 3: Offizielle Fungizidempfehlung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für verschiedene Entwicklungsphasen von Winterweizen 2011 bis 2014.....	28
Tab. 4: Stündlich ermittelte Witterungsparameter sowie deren Messgenauigkeiten der agrarmeteorologischen Messstation der Firma THIES, Göttingen.....	29
Tab. 5: Boniturparameter zur Quantifizierung der Erregergruppe 1 ( <i>Blumeria graminis</i> , <i>Puccinia triticina</i> , <i>Puccinia striiformis</i> , <i>Drechlera tritici-repentis</i> ) und der Erregergruppe 2 ( <i>Septoria tritici</i> , <i>Septoria nodorum</i> ).....	32
Tab. 6: Im <i>Ex-vivo</i> Blattscheiben-Versuch verwendete fungizide Wirkstoffe sowie deren zugehörige Wirkstoffgruppe.....	35
Tab. 7: In dem <i>in-vivo</i> Gewächshaus-Versuch verwendete Pflanzennährstoffe der Hydrokultur in molarer Konzentration pro Liter Lösung.....	36
Tab. 8: In dem <i>in-vivo</i> Gewächshaus-Versuch verwendete Fungizide sowie Blattdünger.....	37
Tab. 9: Zusammensetzung der Extraktionslösung mit den verwendeten deuteriierten Standard für die zu messenden Phytohormone.....	38
Tab. 10: Phytohormon spezifische Parameter für die MRM Übergangsmessung mittel LC/MS. Quantifizierungs- und Qualifizierungsübergänge sind in fett bzw. kursiv markiert. ....	44
Tab. 11: Niederschlagssummen (mm) der 20 Vegetationsperioden des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 als Monatssumme sowie die Summe der genannten Jahre in Schleswig-Holstein. Blau bzw. orange sind jene extreme Monate hinterlegt, die mehr als 30 % über bzw. unter dem Durchschnitt lagen.....	46

Tab. 12: Temperaturmittelwerte (°C) der 20 Vegetationsperioden des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 als Monatssumme sowie das Mittel der genannten Jahre in Schleswig-Holstein. Rot bzw. grau sind jene extreme Monate hinterlegt, die mehr als 25 % über bzw. unter dem Durchschnitt lagen .....	47
Tab. 13: Einfluss der Temperatur auf den Befallszuwachs von <i>Septoria tritici</i> nach einem Infektionsereignis anhand zweier Fallstudien aus dem Jahr 2001 vom Standort Kluvensiek sowie aus dem Jahr 2003 vom Standort Barlt .....	72
Tab. 14: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Barlt</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	153
Tab. 15: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Birkenmoor</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	154
Tab. 16: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Elskop</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	155
Tab. 17: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Futterkamp</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	156
Tab. 18: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Kastorf</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	157
Tab. 19: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Kluvensiek</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	158
Tab. 20: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Loit</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	159
Tab. 21: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort <b>Sönke-Nissen-Koog</b> im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013.....	160

**Abkürzungsverzeichnis**

$\Sigma$	Summe
°C	Grad Celsius
%	Prozent
‰	Promille
µg	Mikrogramm
µl	Mikroliter
µmol	Mikromol
µM	Mikromolar
ABA	Abscisinsäure
Abb.	Abbildung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
BSA	Bundessortenamt
DWD	Deutscher Wetterdienst
EC	phänologisches Entwicklungsstadium (Eucarpia code)
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid
et al.	et alii (und andere)
FAO	Food and Agriculture Organization
F	Fahnenblatt
FF	Fruchtfolge
G	Gramm
GIS	Geographischen Informationssystem
ha	Hektar
HASTO	Harnstoff
h'l'S	humos-lehmiger Sand
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IES	Indol-3-Essigsäure
IPS	Integriertes Pflanzenschutzsystem



Abkürzungsverzeichnis

---

Kap.	Kapitel
KAS	Kalkammonsalpeter
LC/MS	Liquid chromatography/mass spectrometry
LMW	Langjähriger Mittelwert
M	Mol
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
mg	Milligramm
mM	Millimolar
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
NaCl	Natriumchlorid
NaOH	Natriumhydroxid
ng	Nanogramm
NPK	Stickstoff, Phosphor und Kalium enthaltener Volldünger
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
p.a.	pro analysi
pmol	pikomol
rpm	rounds per minute
sL	sandiger Lehm
spp.	Species
SSA	Schwefelsaures Ammoniak
SW	Sommerweizen
tL	toniger Lehm
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
V	Volt
vgl.	vergleiche
v/v	volume/volume
VE-Wasser	Vollentsalztes Wasser

WG	Wintergerste
WRa	Winterraps
WRo	Winterroggen
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

## 1. Einleitung

In den Jahren von 1960 bis 2014 entsprach die weltweite Produktion von Weizen in etwa dem jeweiligen Bedarf. Lediglich in Einzeljahren überstieg die Weizenproduktion den Bedarf, sodass ein Vorrat entstehen bzw. vergrößert werden konnte (ANONYM, 2014d). In Mittel der Jahre 2010 bis 2014 wurden weltweit 678,0 Millionen Tonnen Weizen produziert. Dem gegenüber steht ein durchschnittlicher Verbrauch von 678,3 Millionen Tonnen, sodass der Bedarf an Weizen ebenfalls aktuell der Produktion entspricht (ANONYM, 2013). Jedoch sinkt nach Prognosen in der Zukunft das Verhältnis zwischen dem Bedarf und den weltweit existenten Vorräten, trotz steigender Produktion sodass der Anteil der Vorräte vergleichend zum Konsum stetig abnimmt. Somit wird es schwieriger Missernten auszugleichen (OECD & FAO, 2011). Jedoch stellt OERKE (2006) dar, dass der Bedarf in den Jahren 2001 bis 2003 nur gedeckt werden konnte, da der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Fungizide, Herbizide und Insektizide) den Gesamtverlust der Weizenproduktion von 50 % auf 29 % reduzierte, sodass infolge des Pflanzenschutzmitteleinsatz ein weltweiter Verlust von etwa 170 Millionen Tonnen Weizen kompensiert wurde. Trotz des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln existiert ein weltweiter Ertragsverlust von 29 % (221,4 Mill. Tonnen). Die durch pilzliche Erreger entstandenen weltweiten Ertragsverluste wurden durch die Anwendung von Fungiziden um 34 % reduziert, sodass weiterhin trotz fungizider Gegenmaßnahmen hohe Verluste resultieren (OERKE, 2006). Somit besteht nach wie vor hohes Potenzial bestehende Verluste weiter zu reduzieren. Jedoch bedarf es weiterer Erkenntnisse über die Epidemiologie der Erreger in Abhängigkeit von Produktionssystem und Umwelt um die Effizienz der fungiziden Gegenmaßnahmen weiter zu optimieren.

Zur Optimierung des Einsatzes von Fungiziden und deren Effizienzsteigerung wird seit 1995 in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Phytopathologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und dem Pflanzenschutzdienst der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein ein landesweites Monitoring zur detaillierten Erfassung der Populations- und Schadensdynamik der folgenden pilzlichen Blatt- und Ährenkrankheiten durchgeführt.

Ziel des jährlich durchgeführten Projekts war es den Einsatz von Fungiziden in Schleswig-Holstein auf die, von Produktionsfaktoren sowie jährlicher Witterung abhängigen, auf die standortspezifischen Epidemien der einzelnen Pathogene abzustimmen und die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das unbedingt notwendige Maß im Sinne von Landwirten (Kosteneinsparung), Verbrauchern (Belastung von Lebensmitteln) und Umwelt (Fremdstoffeintrag) zu reduzieren (KLINK, 1997). Das IPS-Modell Weizen dient also dem Ziel, den jeweiligen Krankheitserreger bzw. Erregerkomplex in Abhängigkeit definierter Schwellenwerte durch geeignete chemische Wirkstoffe zu einem Zeitpunkt zu bekämpfen, in welchem durch den geringsten Input optimale biologische und ertragliche Effekte resultieren.

Mit der vorliegenden Arbeit soll im Rahmen des IPS-Monitoring Schleswig-Holstein 2011 bis 2014 die Populations- und Schadensdynamik von Weizenpathogenen an acht Standorten erfasst werden, um so die Effektivität einer integrierten Bekämpfung der Schaderreger mittels Bekämpfungsschwellen des IPS-Modells Weizen herauszustellen. Des Weiteren soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die Herbst- bzw. Winterwitterung auf das Ausgangsinokulum des Erregers *Septoria tritici* im Frühjahr hat. Aufbauend darauf werden mögliche Zusammenhänge von Ausgangs- zu Endbefall erarbeitet werden. Darüber hinaus soll der Einfluss der nach IPS-Modell Weizen applizierten Fungizide auf die Erregerpopulation sowie die daraus resultierende Nekrotisierung des Blattapparates vergleichend zu einer fungizidkontaminierten Kontrollvariante untersucht werden. Neben der direkten fungiziden Wirkung auf die Pathogene, soll zusätzlich die pflanzenphysiologische Wirkung von Fungiziden auf die Phytohormonhaushalt der Pflanze analysiert werden.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Bedeutende Krankheiten im Winterweizen

#### 2.1.1 *Septoria tritici*

Die anamorphe Form *Septoria tritici* des Ascomyceten *Mycosphaerella graminicola* ist ubiquitär, sodass dieser auf allen Kontinenten vorzufinden ist. Dieser tritt jedoch vornehmlich in maritimen Klimaregionen bzw. regenreichen Gebieten auf (VERREET & HABERMEYER, 1995). In Deutschland wurde das Auftreten von *Septoria tritici* erstmals von (MIELKE, 1981) beschrieben und stellt nach (VERREET et al., 2000) eines der wichtigsten Weizenpathogene dar. Vor allem an der feucht-kühlen Westküste Schleswig-Holsteins trat der Erreger wiederholt in epidemischen Ausmaß auf (CEYNOWA et al., 1993; KLINK, 1997; BUSSE, 2001; WITTRÖCK, 2001; KLÖHN, 2011). Jedoch konnte gleichzeitig in verschiedenen Arbeiten (KLINK, 1997; BUSSE, 2001; WITTRÖCK, 2001; KLÖHN, 2011) gezeigt werden, dass *Septoria tritici* nicht nur an der Westküste, sondern ebenfalls im gesamten östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins standort- und jahresspezifisch epidemisch auftritt. Infolgedessen wird *Septoria tritici* von den Autoren als das Hauptschadpathogen Schleswig-Holsteins beschrieben. Zur Erfassung der anbauspezifischen und witterungsbedingten Effekte auf die Epidemie- und Schadensdynamik wurde überregional die gentechnisch einheitliche Sorte Ritmo eingesetzt.

Die durch *Septoria tritici* hervorgerufenen Ertragsverluste sind schwierig zu ermitteln, da der Erreger häufig im Rahmen eines Pathogenkomplexes auftritt (OERKE & STEINER, 1996). Das Schadpotenzial und somit auch der Ertragsverlust ist stark witterungsgabhängig (KLÖHN, 2011). Infolgedessen schwankten die Ertragsverluste international laut VERREET & HABERMEYER (1995) von 12 – 60 %. Im IPS-Monitoring Schleswig-Holstein von 1995 bis 2006 wurde ein durchschnittlicher Ertragsverlust von 16,5 dt/ha bemessen, wobei dieser zwischen 11,2 und 28,5 dt/ha schwankte (HENZE, 2007).

Der Grund für den Ertragsverlust wird in der Literatur unterschiedlich dargestellt. So liegt nach (SIMÓN et al., 2002) dieser bei frühem Befall in der geringeren Entwicklung neuer Triebe sowie einer verstärkten Reduktion von vorhandenen Trieben. Darüber hinaus berichteten SIMÓN et al. (2002) von Auswirkungen von späteren Infektionen auf die Reduktion des TKG. FORRER & ZADOKS (1983) konnten den gesamten Ertragsverlust auf die TKG-Reduktion zurückführen. (SHAW & ROYLE, 1989) stellen jedoch dar, dass lediglich die Schädigung der oberen beiden ertragsessentiellen Blattetagen einen Einfluss auf den Ertrag haben.

Bei der Betrachtung von Abbildung 1 wird erneut die dominante Stellung von *Septoria tritici* ersichtlich. Die weltweit häufigste Fungizid-Indikation im Weizen war primär gegen *Septoria tritici* (28 %), in der Reihung abnehmend durch *Blumeria graminis* und *Puccinia* spp. (24 %) gegeben. Somit nahmen die beiden zuletzt genannten Pathogene im Vergleich zu den restlichen Indikationen ebenfalls eine wichtige Stellung ein (Abb. 1).

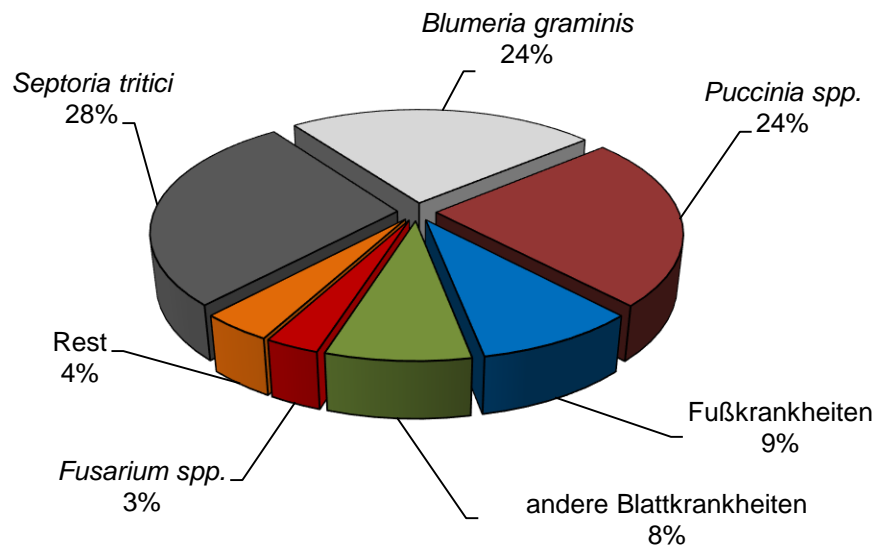


Abb. 1: Weltweite prozentuale Fungizideinsatz-Indikation im Getreide nach VERREET & KLINK (1999)

### 2.1.2 *Blumeria graminis*

Der echte Mehltau (*Blumeria graminis*) ist weltweit verbreitet und tritt vornehmlich in gemäßigten Klimabereichen Europas sowie in maritimen Gebieten Kanadas, der Vereinigten Staaten, Vorderasiens und im Norden Indiens auf (VERREET & HABERMEYER, 1995). In Schleswig-Holstein hingegen ist er hauptsächlich im östlichen Hügelland zu finden, wohingegen die maritime Westküste aufgrund der Westwindlage weitestgehend befallsfrei ist (BUSSE, 2001; HÜWING, 2008). Nach Befall wird das befallene Blattmaterial gelb und stirbt nach einiger Zeit ab. Die Photosyntheseleistung der Pflanze sinkt und die Transpirations- und Respirationsrate steigen. Dadurch können Kornertrag, Korngewicht, Proteingehalt der Körner, die Anzahl von Seitentrieben und Ähren ebenso wie das Wurzelwachstum reduziert werden. Die Folge ist ein geringerer Ernteertrag von 5 - 20%, manchmal sogar bis zu 40% (LIPPS & MADDEN, 1989).

### 2.1.3 *Puccinia* spp.

Der Braunrost in Winterweizen (*Puccinia triticina*) ist weltweit in Weizenanbaugebieten verbreitet und gilt als eine der wichtigsten Krankheiten in dieser Kultur (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1999), da die Erträge des Weizens um bis zu 25 % reduziert werden können (STUCKEY & ZADOKS, 1989). In den Studien von SECK et al. (1988) wurden im Freiland sogar Ertragsreduktionen von bis zu 38 % mit natürlicher Infektion bzw. 43 % bei künstlicher Infektion beobachtet. Ähnlich hohe Ertragsrückgänge infolge von Braunrost-Infektionen konnten mit 50 % (CARRETERO et al., 2011) dokumentieren. Bei Befall mit Braunrost wird die pflanzliche Entwicklung durch Verminderung der Photosyntheseleistung, Erhöhung der Atmung und Verdunstung beeinträchtigt. Infektionen in der Kornfüllungsphase rufen durch die Reduktion des Tausendkorngewichtes Qualitäts- und Ertragsverluste hervor (HARTLEB et al., 1995). Aufgrund des hohen Temperaturanspruchs von 15 – 20 °C, erlangte der Braunrost in Schleswig-Holstein lediglich in wenigen Einzeljahren größere Bedeutung (BUSSE, 2001; HÜWING, 2008). Die Temperaturansprüche des Gelbrostes (*Puccinia striiformis*) hingegen liegen mit 6 – 12 °C etwa 8 °C unter denen des Braunrostes (VALLAVIEILLE-POPE et al., 1995). Der Braunrost besitzt dadurch im wärmeren kontinentalen Niedersachsen eine größere Bedeutung als in Schleswig-Holstein. Für Gelbrost ist die Bedeutung in Schleswig-Holstein bei starkem Auftreten größer (FINGER, 2004).

## 2.2 Phytohormone

Die Ortsgebundenheit von Pflanzen erfordert ein schnelles und flexibles Netzwerk von Adaptionsmechanismen an äußere Umwelteinflüsse. Phytohormone, endogene pflanzeneigene niedermolekulare organische Verbindungen, bilden die Grundlage dieses Netzwerkes; sie nehmen wesentlichen Einfluss nicht nur auf Steuerung und Koordination von Wachstum und Entwicklung der Pflanze, sondern ebenso auf die Anpassung an wechselnde Umweltbedingungen wie Licht, Schwerkraft, Wasserverfügbarkeit, Nährstoffgehalte oder Pathogene. Phytohormone wirken in niedrigen physiologischen Konzentrationen und können durch Regulation der Genexpression extrazelluläre Signale in endogene physiologische Reaktionen der Pflanze integrieren. Die Pflanzenhormone gehen aus dem Sekundärstoffwechsel der Pflanzen hervor und lassen sich in zwei Wirkklassen unterteilen. Vorwiegend wachstumsfördernde Regulatoren wie Auxine, Cytokinine, Gibberelline und Brassinosteroide stehen eher wachstumshemmenden Substanzen wie Ethylen, Abscisinsäure, Jasmonsäure und Salicylsäure gegenüber (ITEN et al., 1999).

Von ihrem Entstehungsort werden die Phytohormone zu ihrem spezifischen Wirkort transportiert, was entweder von Zelle zu Zelle wie bei den Auxinen, über das Leitsystem wie bei den Cytokinin, oder über den Gasraum wie bei Ethylen erfolgt.

Für die physiologische Wirksamkeit der Hormone ist nicht die absolute Konzentration allein entscheidend, sondern das Mengenverhältnis der Hormone zueinander, da sie im wechselseitigen dynamischen Zusammenspiel Wachstums- und Entwicklungsprozesse der Pflanze regulieren. So wirken Abscisinsäure und Ethylen zusammen bei der Regulation der Samendormanz (BEAUDOIN et al., 2000) oder der Wachstumssteuerung bei Wasserstress (SHARP & LENOBLE, 2002). Bei der Regulation lateraler Wurzelbildung wirkt Abscisinsäure antagonistisch zu den Auxinen (WASILEWSKA et al., 2008).

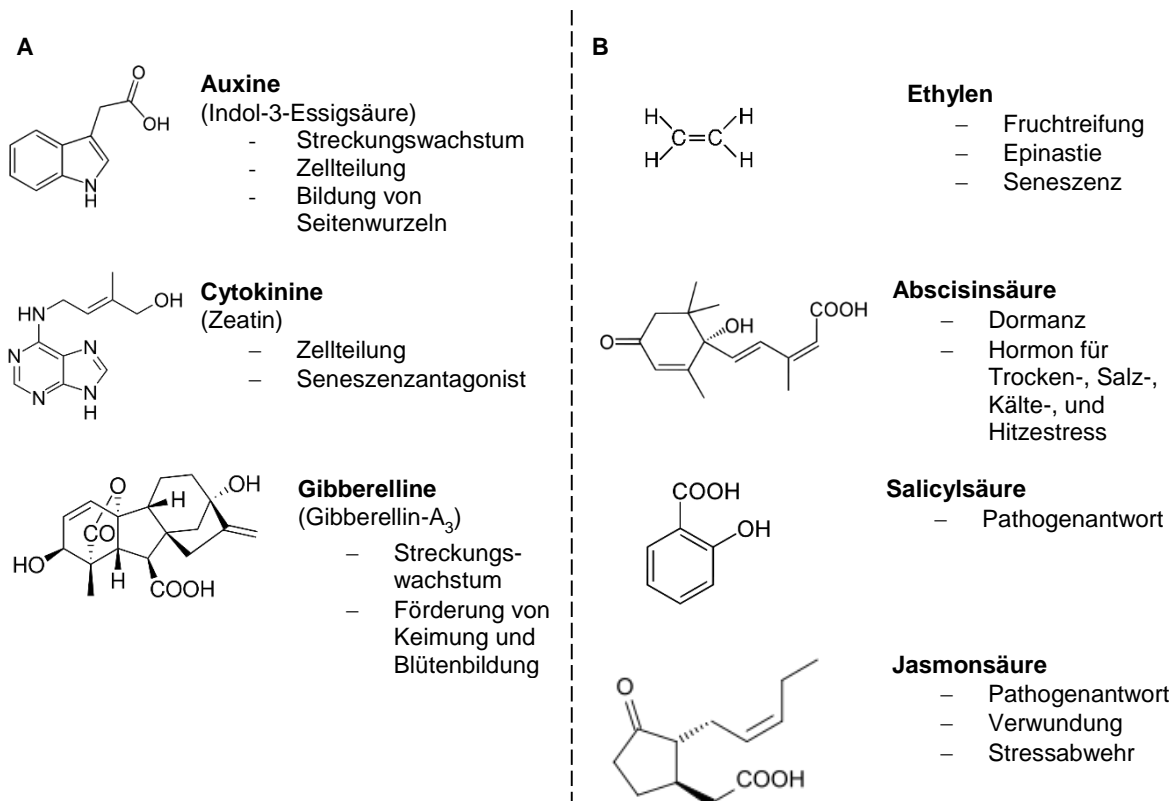


Abb. 2: Struktur und Funktion von Phytohormonen nach (ITEN et al., 1999). Vorwiegend wachstumsfördernde Hormone (A) stehen eher wachstumshemmenden und in Stressantwort involvierten Hormonen (B) gegenüber

### 2.2.1 Auxine

Der Hauptvertreter der Auxine ist die Indol-3-Essigsäure (IES). Sie ist essentiell für Pflanzen und insbesondere an Wachstumsprozessen beteiligt. Neben der Förderung von Streckungswachstum, Adventiv- und Seitenwurzelbildung, apikaler Dominanz und kambialer Zellteilungsaktivität werden photo- sowie gravitrope Bewegungen, Fruchtentwicklung und Seneszenz koordiniert (DAVIES, 2004). Des Weiteren verzögert IES die Seneszenz und verhindert den Abwurf von Blättern, obwohl höhere Konzentrationen die Ethylenbiosynthese fördern (TAMAS & ENGELS, 1981). Die Wachstumsbewegungen der Pflanze werden dabei durch unterschiedliche Auxingradienten in den Geweben realisiert.



Um herauszufinden, ob ein Stoff Auxinwirkung besitzt, wird die Krümmung des Organs bzw. das Wachstum nach Auxinapplikation analysiert (WENT, 1928).

### **2.2.2 Cytokinine**

Cytokinine spielen eine zentrale Rolle bei der Förderung des Teilungswachstums und der Differenzierung von Pflanzengewebe. Cytokinine verlangsamen Seneszenzerscheinungen, stimulieren die Blattentwicklung sowie die Induktion von Blütenbildung und Fruchtentwicklung (ZWACK & RASHOTTE, 2013). Darüber hinaus werden viele Aspekte der Biogenese und Funktion von Chloroplasten durch Cytokinine beeinflusst. Sie unterstützen die Entwicklung von lichtexponierten Pflanzen, wirken auf die Effizienz des Photosyntheseapparates (KRAEPIEL & MIGINIAC, 1997). Außerdem beeinflussen sie den Nährstofftransport, die Stresstoleranz und die pathogene Abwehr (MOK & MOK, 2001). Cytokinin-induzierte Aktionen sind jedoch oft durch Interaktionen mit anderen Phytohormonen maskiert, weshalb die phänotypischen Antworten auf erhöhte Cytokininkonzentrationen gelegentlich widersprüchlich und damit schwer zu interpretieren sind.

In einer Reihe von Studien mit Cytokininbehandlungen wurde eine Rolle des Hormons bei der Verzögerung von Blattseneszenz gezeigt (SINGH et al., 1992; ZWACK & RASHOTTE, 2013). So stimulieren Cytokinine die Chloroplastenbildung, die Photosynthese und die Replikation von Plastiden (ZVALETA-MANCERA et al., 1999). Des Weiteren führte eine gesteigerte endogene Cytokininmenge in transgenen Pflanzen mit überexprimierenden Cytokininbiosynthesegenen zu verzögerten Seneszenzerscheinungen, zu einem erhöhten Chlorophyllgehalt und zu einem verminderten Seneszenz-assoziierten Membranabbau (SMART et al., 1991; GAN & AMASINO, 1995).

### **2.2.3 Gibberelline (GA)**

In Pflanzen existieren über hundert verschiedene Gibberelline, von denen GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub> (pilzlich) und GA<sub>4</sub> nachweislich biologisch aktiv sind. Wie Auxine sind Gibberelline an einer Vielzahl physiologischer Prozesse beteiligt, wie z.B. der Blüten- und Samenentwicklung, der Samenkeimung, der Sprosselongation, der Blattentfaltung und der Kontrolle des Tagesrhythmus (OLSZEWSKI et al., 2002).

Die Oxidation von ent-Kauren in der GA-Biosynthese kann durch synthetische Pflanzenwachstumsregulatoren (Triazolen) gehemmt und so die GA-Biosynthese unterbrochen werden (HEDDEN et al., 1989; SYAHPUTRA et al., 2013).

#### **2.2.4 Abscisinsäure (ABA)**

Zahlreiche Prozesse der pflanzlichen Entwicklung sowie der Adaptation an abiotische (ZHU et al., 2007) und biotische Stressbedingungen werden durch das Phytohormon Abscisinsäure gesteuert (ADIE et al., 2007). Abscisinsäure schützt die Pflanze bei abiotischem Stress wie Kälte, Salzstress und Trockenheit durch Induktion der Produktion osmotisch protektiver Proteine und Metaboliten, sowie durch die Regulation des Spaltöffnungsapparates als Reduktion stomatärer Transpiration (ZHU et al., 2007; FRESCHI, 2013). In biotischen Stresssituationen, wie Pathogenbefall, aktiviert Abscisinsäure zusätzlich das Abwehrsystem der Pflanze (ADIE et al., 2007).

#### **2.2.5 Ethylen**

Ethylen ist ein gasförmiges Hormon, welches aus Methionin über die Zwischenprodukte S-Adenosylmethionin und Aminocyclopropan-carbonsäure (ACC) synthetisiert wird. Durch den gemeinsamen Vorläufer S-Adenosylmethionin steht Ethylen dabei in Konkurrenz zur Biosynthese von den Polyaminen Putrescin und Spermin (PANDEY et al., 2000). Ethylen stimuliert die Keimung, aktiviert die Fruchtreifung, beschleunigt die Seneszenz und hemmt die Zellstreckung (WANG & IRVING, 2011). Des Weiteren initiiert Ethylen die Adventivwurzel-Bildung und ist am programmierten Zelltod beteiligt (MERGEMANN & SAUTER, 2000). Ethylen ist hauptverantwortlich für einsetzende Seneszenz der Blätter, wodurch es zu einer frühzeitigen Abreifung kommt (TAIZ & ZEIGER, 2000). Die Reduktion von ACC, dem unmittelbaren Vorläufer von Ethylen, führt durch den Einsatz von Strobilurinen zu einer verzögerten Seneszenz der Blätter und somit späteren Abreife der Weizenpflanze. ACC stellt dabei in der Synthese den limitierenden Faktor dar (WANG & IRVING, 2011). Höhere Cytokiningehalte führen zu einer Verringerung der Ethylensynthese (GROSSMANN et al., 1991)

#### **2.2.6 Jasmonate**

Jasmonsäure (JA) und deren Derivate werden zusammenfassend als Jasmonate bezeichnet und entstehen aus dem gemeinsamen Vorläufer 12-oxo-Phytodiensäure (OPDA). OPDA und OPDA-Derivate werden unter dem Begriff Oktadekanoide zusammengefasst. Sie entstehen durch Peroxidation mehrfach ungesättigter Fettsäuren. Jasmonsäure kommt in Pflanzen meist in konjugierter Form vor. Die am häufigsten konjugierte Form ist Jasmonsäure-Isoleucin, welche durch die JA-Konjugat-Synthase mit der Aminosäure Isoleucin katalysiert wird (KRAMPELL et al., 1997). Jasmonate inhibieren das Spross- und Wurzelängenwachstum, die Keimung von Samen, die Blütenknospenbildung, die Carotinoid-Biosynthese, die Chlorophyll-Bildung und somit die photosynthetische Aktivität.

Gleichzeitig stimulieren sie die Adventivwurzel-Bildung und die Ethylen-Biosynthese bzw. fördern die Fruchtreifung, die Blattseneszenz, den Blattabwurf, sowie Schließung der Stomata (SEMBDNER & PARTHIER, 1993). Erhöhte Stickstoffmonoxidgehalte (NO) reduzieren hingegen die JA-induzierte Seneszenz (HUNG & KAO, 2004).

Nach Verwundung bzw. Befall der Pflanze durch Herbivoren (Insekten) oder Pathogene wird am Verwundungsort Systemin freigesetzt, welches seinerseits als Signaltransduktion die JA-Biosynthese stimuliert. Die wiederum dadurch freigesetzten Jasmonate induzieren im Folgenden die Expression von JA-induzierten Abwehrgenen (RYAN & PEARCE, 2003). Zu den Abwehrgen-Produkten zählen Polyamine, Polyphenole und Proteinase-Inhibitoren, die die Pflanze schützen bzw. die Verdauung fressender Insekten stören. Neben der lokalen Generierung von JA und der Induktion der Abwehr-Gene im verwundeten Blatt gibt es auch eine systemische Wundantwort (SEMBDNER & PARTHIER, 1993).

### 2.2.7 Salicylsäure (SA)

Die Salicylsäure (2-Hydroxybenzoesäure) ist eine phenolische Verbindung, die sich aus dem pflanzlichen Shikimat-Phenylpropanoidstoffwechsel ableitet. Neben der freien SA liegt die Substanz in der Pflanze zum größten Teil als Glykosid vor, welches die immobilisierte Speicherform darstellen könnte (MALAMY & KLESSIG, 1992)

Die Salicylsäure gehört zur Gruppe der pflanzlichen Wachstums- und Entwicklungsregulatoren. Es handelt sich um eine endogene, ubiquitär vorkommende Substanz, die bereits in geringen Konzentrationen, auch von ihrem Bildungsort entfernt, physiologische Prozesse beeinflussen kann (RASKIN et al., 1990).

Die entscheidende Rolle von Salicylsäure ist in der Pathogenabwehr von biotrophen Erregern zu sehen. So kommt es nach einem Befall zu einer Anreicherung von Salicylsäure, wodurch die Expression von PR-Genen induziert wird. Diese Gene kodieren PR-Proteine (pathogene related protein) wie PR1, die das Pathogen aktiv bekämpfen. Da diese Wirkung auch an nicht infizierten Blättern zu beobachten ist, wird von einer systemisch erworbenen Resistenz (SAR) gesprochen (RASKIN, 1992; JAVAHERI et al., 2012). Durch diese Stimulierung der pflanzeigenen Abwehrmechanismen wird die Widerstandsfähigkeit einer Pflanze gegen pathogene Organismen stark gesteigert (MALAMY et al., 1990; MALAMY & KLESSIG, 1992).

Zusätzlich induziert Salicylsäure nach Pathogenbefall den programmierten Zelltod (Hypersensitive Reaktion), eine Nekrotisierung des umliegenden Gewebes zur Abtötung des biotrophen Erregers (BRODERSEN et al., 2005).

Des Weiteren beschreiben LESLIE & ROMANI (1988), dass Salicylsäure die Ethylen-Produktion hemmen, und somit Seneszenz verzögernd wirkt.

Exogene Salicylsäure-Applikationen führen zu höheren Erträgen sowie zur besseren Qualität des Ernteguts bei Erdbeeren und Tomaten (KARLIDAG et al., 2009; JAVAHERI et al., 2012).

### 2.2.8 Stickstoffmonoxid (NO)

Die Funktion von Stickstoffmonoxid (NO) als biochemischer Botenstoff wurde erst Mitte der 80er Jahre entdeckt. Diese Signalfunktionen, beispielsweise in der Immunabwehr und als Neurotransmitter, sind in phylogenetisch sehr unterschiedlichen Spezies (Tieren, Pflanzen, Pilzen und Bakterien) konserviert und machen NO somit zu einem bedeutsamen Signalstoff. Durch seine lipophilen Eigenschaften kann es Zellmembranen leicht passieren und ist daher in Geweben sehr mobil, was einen schnellen Signalaustausch zwischen Zellen ermöglicht (BELIGNI & LAMATTINA, 2001). Des Weiteren ist NO aufgrund seiner Radikaleigenschaften sehr reaktiv und kann mit einer Vielzahl von Molekülen reagieren.

#### Synthese von NO

In einer Vielzahl pflanzlicher Zell- und Gewebetypen (Blatt- als auch Wurzel) ist die Produktion von NO bereits nachgewiesen worden. Die Synthese von NO kann dabei über zwei unterschiedliche Mechanismen erfolgen. Zum einen kann NO enzymatisch, zum anderen nicht-enzymatisch produziert werden. Enzymatisch wird NO vor allem durch die cytosolische Nitrat-Reduktase (NR) hergestellt. Dabei dient Nitrit als Substrat und NO wird in Anwesenheit von NADH gebildet (LAMATTINA et al., 2003). Unter optimalen Bedingungen (ausreichende NADH und Nitritkonzentration) beträgt die Produktionsaktivität der NR zur Herstellung von NO 1% ihrer tatsächlichen Reduktionsaktivität. Die dazu benötigte Nitrit-Akkumulation kann durch verstärkte Nitrit-Reduktase (NiR)-Aktivität hervorgerufen werden, oder es akkumuliert nichtenzymatisch unter anaeroben Bedingungen mit herunterregulierter oder inhibierter Photosyntheseaktivität (YAMASAKI, 2000). Die Bildung von NO über die Nitrat-Reduktase wird als einer der Hauptbildungswege für NO in der Pathogenabwehr erachtet. SHI & LI (2007) konnten zeigen, dass in *A. thaliana* bei Kontakt mit dem *V. dahliae* Toxin NO hauptsächlich über die Nitrat-Reduktase produziert wird.

#### NO-induzierte Effekte in der Pflanze

Sowohl bei abiotischem Stress als auch in normalen physiologischen Entwicklungsprozessen spielt NO in der Pflanzenzelle eine Rolle. Die Auswirkungen von NO-Applikation auf die Stresstoleranz gegenüber abiotischen Faktoren oder auf die Pflanzenentwicklung sollen an einigen Beispielen veranschaulicht werden.

Der Einfluss von NO auf die Stressantworten der Pflanzen bzgl. abiotischer Faktoren fällt unterschiedlich aus. Beispielsweise konnte eine verstärkte Trocken- und Salztoleranz, gesteigerte UV-B Toleranz, Verzögerung der Seneszenz und Verminderung von oxidativem Stress in verschiedenen Pflanzen wie Gerste (cv. Himalaya) und Weizen bei vorheriger

Zugabe von NO in Form von chemischen NO-Donatoren beobachtet werden (BELIGNI, 2002; BELIGNI & LAMATTINA, 2002; GARCIA-MATA & LAMATTINA, 2002).

NO wird allerdings auch durch Einfluss von abiotischem Stress produziert: UV-B Strahlung, hohe Temperaturen und hyperosmotischer Stress bewirkten einen NO-Anstieg sowohl in Zellkulturen als auch in Epidermiszellen von Tabak. Ob NO als generelle Stressantwort beurteilt werden kann, ist fraglich. Widersprüchliche Ergebnisse bestehen bzgl. eines NO-Anstieges nach Verwundung durch mechanischen- und lichtinduzierten Stress (GOULD et al., 2003). Des Weiteren steigerte NO die Verfügbarkeit und den Transport metabolisch aktiven Eisens (GRAZIANO et al., 2002), welches einen positiven Einfluss auf die Ausbildung von Chlorophyll und Chloroplasten, z.B. in dunkel gekeimten Weizenkeimlingen, hatte (BELIGNI & LAMATTINA, 2000). Auch die Phytoalexinakkumulation in Kartoffelknollen sowie Kotyledonen der Sojabohne wurde durch einen Anstieg von NO mittels NO-Donatoren wie Nitroprussid-Natrium (SNP) oder Zugabe von Elicitoren induziert (MODOLO et al., 2002).

Zu den wichtigsten Funktionen von NO im pflanzlichen Stoffwechsel zählt aber vor allem die Inhibierung antioxidativer Systeme über Wechselwirkungen mit Katalase, Ascorbat-Peroxidase (CLARK et al., 2000). Durch die Inhibierung dieser Enzyme nimmt NO direkten Einfluss auf die Regulation und Bildung anderer reaktiver Sauerstoffspezies (ROS), wie  $H_2O_2$ . Auch durch Interaktion mit der Cytochrom-Oxidase und der ATP-Synthese nimmt NO Einfluss auf die Funktionalität von Mitochondrien und Chloroplasten, was die Mitochondrien-Aktivität verändert und in einem induzierten programmierten Zelltod (PCD) resultieren kann (ZOTTINI et al., 2002).

Vor allem scheint NO eine Schlüsselfunktion im letzten Schritt der Lignin-Synthese einzunehmen und an der Bildung von sekundären Zellwänden mitzuwirken (FERRER & ROS BARCELÓ, 1999; GABALDÓN et al., 2005). Die Funktion von NO in der Interaktion mit biotischen Stressoren war Gegenstand der ersten Untersuchungen zur Signalfunktion von NO in Pflanzen (DELLEDONNE et al., 1998; DURNER et al., 1998). Allerdings handelte es sich dabei zumeist um inkompatible Reaktionen, die in einer erfolgreichen Abwehrreaktion der Pflanze resultierten.

Der Anstieg von NO, neben  $H_2O_2$  als eine der ersten Reaktionen auf Pathogenkontakt konnte bereits in einer Vielzahl von Systemen nachgewiesen werden. Insbesondere in den Publikationen von DELLEDONNE et al. (1998) und DURNER et al. (1998) wird die Bedeutung von NO als Signalmolekül als Antwort der Pflanzenzelle bei Pathogenbefall hervorgehoben.

Diese nachhaltige systemische Reaktion auf den Befall mit avirulenten Pathogenen schützt die Pflanze vor nachfolgenden Angriffen weiterer Pathogene.

Eine wichtige Signalkomponente, über welche die Expression der Abwehrgene reguliert werden kann, ist die Akkumulation von Salicylsäure (SA). Dieses Phytohormon spielt zwar auch bei der Akkumulation der ROS und in der hypersensitiven Reaktion eine wichtige Rolle, ist aber ebenfalls wie bereits beschrieben an der für die SAR kennzeichnenden Expression

des Abwehrgens *PR1* beteiligt. Dass NO die Bildung von SA und deren Konjugaten beeinflusst, wurde bereits in Tabak nachgewiesen.

In Tabakmutanten, die kein SA akkumulierten (NahG), wurde die Aktivierung von *PR1* durch Zugabe von NO-Donatoren erzielt (DURNER et al., 1998). Tabakpflanzen, die zuvor mit NO-Donatoren behandelt wurden, zeigten auf unbehandelten Blättern, die nachträglich mit Tabak-Mosaik-Virus (TMV) inokuliert wurden, eine verminderte Ausprägung von Lokalläsionen. Mutanten, in denen die Akkumulation von SA blockiert war, zeigten keine Verminderung der Läsionen. Daher scheint NO wie auch SA eine wichtige Rolle in der SAR-Signaltransduktionskette zu spielen. Trotzdem scheint SA nicht der Hauptauslöser der SAR zu sein. Als ein möglicher Kandidat wird S-Nitrosoglutathion (GSNO) diskutiert (DURNER et al., 1998).

### **NO und Phytohormone**

Mittlerweile wurde in mehreren Experimenten bestätigt, dass NO mit einer Reihe von Phytohormonen interagiert und dadurch verschiedene Mechanismen der Pflanze direkt oder indirekt beeinflusst werden.

Die Reduktion des Wasserverlustes geht in Pflanzen mit der Akkumulation von Abscisinsäure (ABA) und der Induktion ABA-induzierter Gene einher, da ABA die Trockentoleranz erhöht, indem es mit NO in der ABA-Signalkette die Schließung der Stomata auslöst (LOZANO-JUSTE & LEON, 2010)

In Gurkenwurzeln (*Cucumis sativus*) konnte durch Applikation von NO die durch IAA induzierte Ausbildung von Sekundärwurzeln beobachtet werden. Gleichzeitig konnte ebenfalls eine erhöhte NO-Produktion nach exogener Auxinapplikation beobachtet werden, da Auxine die Nitrat-Reduktase aktivieren (PAGNUSSAT et al., 2002). Die Verlängerung von Mais-Wurzelspitzenzellen wurde genauso durch Zugabe von SNP und GSNO (NO-Donatoren) induziert (GOUVÊA et al., 1997).

Mit dem Fluoreszenzfarbstoff Diaminofluoresceindiacetat (DAF-2DA) konnte in *A. thaliana* ein starker NO-Anstieg nach Verwundung, wie auch durch Zugabe von Jasmonsäure (JA) detektiert werden. Des Weiteren steigert NO die Expression einiger wichtiger Enzyme in der JA-Biosynthese (PALMIERI et al., 2008).

Der Nachweis eines Zusammenspiels von Ethylen und NO wurde in Experimenten an der Erbse (*Pisum sativum*) zur Funktion von NO als Wachstumsregulator erbracht.

Untersuchungen an vegetativen und generativen Pflanzenorganen zeigten, dass NO antagonistisch zum Reifehormon Ethylen wirkte, sodass Reife und Seneszenz durch eine Verringerung des NO-Gehaltes eingeleitet wurden (LESHAM et al., 1998). Zu dem inaktiviert NO drei Enzyme der Ethylen-Biosynthese, sodass diese unter NO-Einfluss gehemmt ist

(MANJUNATHA et al., 2012). Somit kann der eine NO-Donor das Verbräunen von Äpfeln inhibieren (PRISTIJONO et al., 2008).

### 3. Material und Methoden

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit verwendeten Materialien und Methoden dargestellt.

#### 3.1 Verwendete Materialien

##### 3.1.1 Technische Geräte

LC/MS 500-MS IT Mass Spectrometer	Varian Inc., Palo Alto, Kalifornien - USA
Mörser, Keramik	Klingenhagen, München - GER
Schwingmühle (Ball mill) TissueLyser	Qigan, Hilden - GER
Vakuumpumpe Vacuum Pump V700 (für Vakuumzentrifuge)	BÜCHI Labortechnik AG, Flaviil - CH
Vakuumzentrifuge S Concentrator BA-VC-300H	H. Saur Laborbedarf, Reutlingen - GER
Vortexer VORTEX-GENIE-MIXER 2	EYDAM KG, Kiel - GER
Zentrifuge Avanti J-26XP (JS-5.3 Swingout Rotor	Beckman Coulter GmbH, Krefeld – GER
Zentrifuge Centrifuge 5804R	Eppendorf, Hamburg – GER

##### 3.1.2 Verbrauchsmaterialien

96er Autosamplerplatten (200µl)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
96er Autosamplerplattenabdeckung (Silikon)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
96er Mikrotiterplatte Chromabond Multi	Macherey - Nagel GmbH & Co. KG, Düren - GER
Deepwellplatten 96 (2ml)	Macherey - Nagel GmbH & Co. KG, Düren - GER



## 3. Material und Methoden

Festphasenextraktion Chromabond HR-XC Kationenaustauscher	Macherey - Nagel GmbH & Co. KG, Düren - GER
Festphasenextraktion DEAE-Sephadex Anionenaustauscher	VWR, West Chester, Pennsylvania - USA
Reaktionsgefäß (1,5 ml)	Eppendorf, Hamburg – GER
Reaktionsgefäß (2,0 ml)	Eppendorf, Hamburg – GER

## 3.1.3 Chemikalien

25 % Ammoniumhydroxid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Acetonitril (LC/MS-Grade)	VWR, West Chester, Pennsylvania - USA
Ammoniummolybdat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe – GER
Azoxystrobin	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen – GER
Bixafen	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen – GER
Borax	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Borsäure	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Calciumchlorid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Dimethylsulfoxid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Calciumnitrat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Eisen-EDTA	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Epoxiconazol	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen – GER
Essigsäure (p.a.)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER
Fluoxastrobin	SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen – GER

Fluxapyroxad	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Fmoc	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Isopyrazam	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Kaliumhydrogenphosphat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Kaliumsulfat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Kupfersulfat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Magnesiumsulfat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Mangansulfat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Metconazol	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Methanol (HPLC-Grade)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Natriumhydroxid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER		
Narium-Nitroprussid	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
n-Pentan	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Picoxystrobin	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Prothioconazol	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Pyraclostrobin	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Stickstoff (flüssig)	Linde, Höllriegelskreuth - GER		
Tebuconazol	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
Trifloxystrobin	SIGMA-ALDRICH Taufkirchen – GER	Chemie	GmbH,
VE-Wasser (LC/MS-Grade)	VWR, West Chester, Pennsylvania - USA		

---

Zinksulfat Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe - GER

### 3.1.4 Fungizide

Adexar® (62,5 g/l Epoxiconazol + 62,5 g/l Fluxapyroxad)	BASF SE, Limburgerhof- GER
Agent® + Bravo® (125 g/l Propiconazol + 450 g/l Fenpropidin + 500g/l Chlorthalonil)	Syngenta Agro, Basel - CH
Aviator Xpro® (75 g/l Bixafen + 150 g/l Prothioconazol)	Bayer CropScience, Monheim – GER
Aviator Xpro® + Fandango® (75 g/l Bixafen + 150 g/l Prothioconazol; 100 g/l Prothioconazol + 100 g/l Fluxastrobin)	Bayer CropScience, Monheim – GER
Capalo® (75 g/l Metrafenone + 62,5 g/l Epoxiconazol +200 g/l Fenpropimorph)	BASF SE, Limburgerhof- GER
Folicur® (125 g/l Tebuconazol)	Bayer CropScience, Monheim – GER
F 500® (250 g/l Pyraclostrobin)	BASF SE, Limburgerhof - GER
Imbrex® (62,5 g/l Fluxapyroxad)	BASF SE, Limburgerhof - GER
Input Xpro® (50 g/l Bixafen + 100 g/l Prothioconazol + 250 g/l Spiroxamine)	Bayer CropScience, Monheim – GER
Osiris® (37,5 g/l Epoxiconazol + 27,5 g/l Metconazol)	BASF SE, Limburgerhof- GER
Opus® (125 g/l Epoxiconazol)	BASF SE, Limburgerhof - GER

Prosaro® (125 g/l Prothioconazol + 125 g/l Tebuconazol)	Bayer CropScience, Monheim – GER
Vegas® (51,3 g/l Cyflufenamid)	BASF SE, Limburgerhof - GER

### 3.1.5 Winterweizensorten (*Triticum aestivum* L.)

„Ritmo“	Limagrain GmbH Advanta Vertrieb, Edemissen - GER
„Inspiration“	BayWa AG, München – GER

## 3.2 Feldversuche Winterweizen

Im Rahmen der Feldversuche des IPS-Winterweizen-Monitorings Schleswig-Holstein 1995 bis 2014 wurde jährlich in wöchentlichen Abständen von Beginn der Schossphase (EC 30) bis zur Teigreife (EC 83) das qualitative und quantitative Auftreten aller Blattpathogene unter dem Einfluss der Witterung sowie der Anbausystemfaktoren untersucht. Zur Einordnung und Analyse der selbst erhobenen Daten der Jahre 2011 bis 2014 wurden Teile der Boniturergebnisse, Anbausystemparameter und Witterungsdaten der vorangegangenen Jahre 1995 bis 2010 des IPS-Monitoring Schleswig-Holstein zusätzlich verwendet (KLINK, 1997; BUSSE, 2001; WITTROCK, 2001; HENZE, 2007; KLÖHN, 2011). Dies ist möglich, da seit Anbeginn der Langzeitstudie sowohl die genetisch einheitliche Sorte Ritmo verwendet wurde und die Standorte überregional ebenfalls gleich blieben. Eine Ausnahme stellt das Jahr 2004 dar, in dem kein überregionales Monitoring durchgeführt wurde. Des Weiteren schied der Standort Birkenmoor nach dem Jahr 2013 aus, sodass 2014 nur noch sieben Standorte zur Verfügung standen. Die Feldversuche wurden bis 2007 in Zusammenarbeit mit den Ämtern für ländliche Räume sowie ab 2008 mit der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Abteilungen Pflanzenschutz) durchgeführt.

### 3.2.1 Geografische Position der Versuchsstandorte

Die Versuchsanlage des IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein erstreckte sich über acht Standorte in Schleswig-Holstein (Abb. 3). Die Standorte Barlt, Elskop und Sönke-Nissen-Koog befinden sich in der Marsch bzw. Elbmarsch an der Westküste Schleswig-Holsteins. Die weiteren Standorte Birkenmoor, Futterkamp, Kastorf, Klüvensiek und Loit sind

im östlichen Hügelland lokalisiert. In diesen beiden Naturräumen nimmt der Winterweizen innerhalb der Fruchtfolge die dominierende Stellung ein.

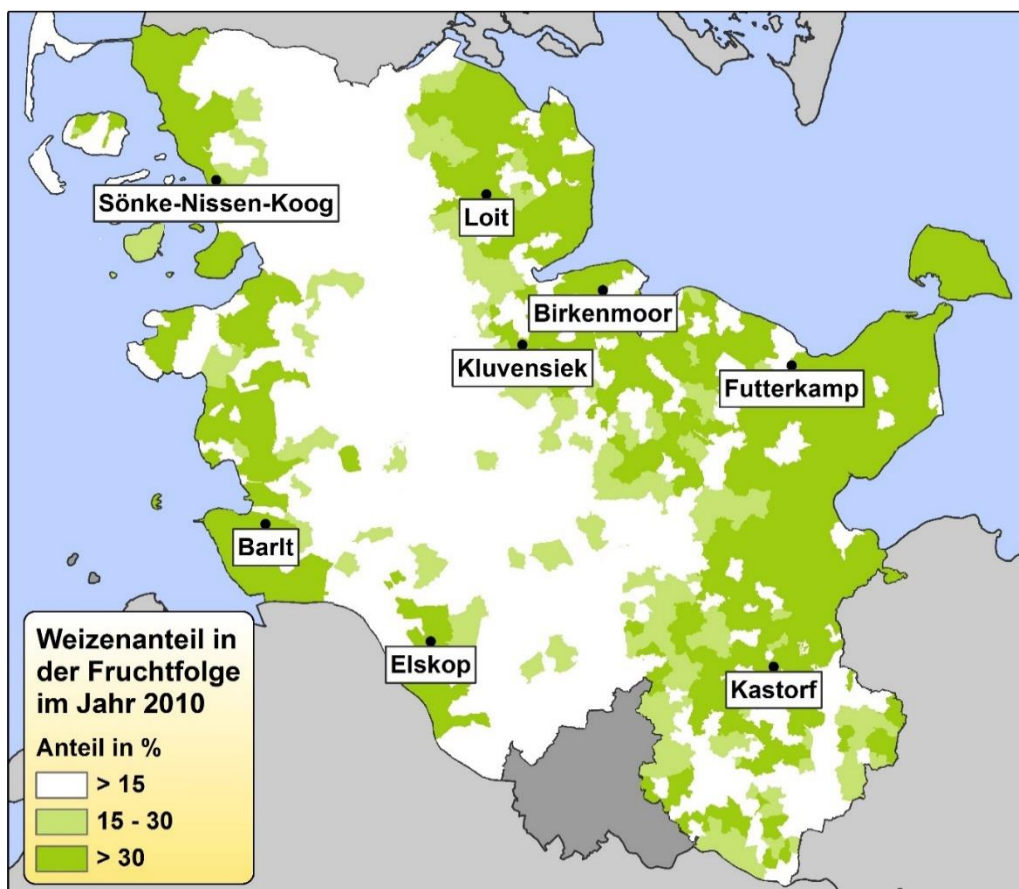


Abb. 3: Geographische Lage der Versuchsstandorte in Schleswig-Holstein für das das IPS-Monitoring 1995 – 2014 sowie der Winterweizenanteil in der Fruchtfolge (%) im Jahre 2010. Graphische Darstellung mittels GIS (Daten nach STATISTIKAMT NORD, 2010)

In Abb. 3 sind der Winterweizenanteil in der Fruchtfolge im Jahre 2010 auf Gemeindeebene sowie die räumliche Verteilung der Versuchsstandorte in Schleswig-Holstein aufgezeigt. Somit liegen die Standorte in den Hauptanbaugebieten für Weizen in Schleswig-Holstein, sodass in der Versuchsanlage die relevanten Anbaugebiete berücksichtigt werden. Mit Ausnahme von Kluvensiek (42) weisen alle Standorte eine Bodenpunktzahl über 55 auf, was eine Eignung der Flächen zum Weizenanbau zu Grunde legt.

In Tab. 1 auf der folgenden Seite sind die Bodenkennziffern der Standorte zu entnehmen. Kluvensiek besitzt durch seine Randlage zur Geest die geringsten Bodenpunkte. Die verbleibenden Standorte im östlichen Hügelland rangieren mit 55 – 60 Bodenpunkten im Mittelfeld. Die Standorte an der Westküste weisen mit 65 – 92 die höchsten Bodenpunkte auf.

Tab. 1: Geographische Lage, Bodentypen, -arten und Ackerzahlen der IPS-Monitoringstandorte in Schleswig-Holstein. tL = toniger Lehm; sL = sandiger Lehm

Standort	Landkreis	Bodentyp	Bodenart	Ackerzahl
Barlt	Dithmarschen	Seemarsch	tL	75
Birkenmoor	Rendsburg/Eckernförde	Parabraunerde	sL	56
Elskop	Steinburg	Flussmarsch	tL	65
Futterkamp	Plön	Parabraunerde	sL	60
Kastorf	Herzogtum Lauenburg	Parabraunerde	sL	56
Klvensiek	Rendsburg/Eckernförde	Parabraunerde	sL	42
Loit	Schleswig/Flensburg	Parabraunerde	sL	56
Sönke-Nissen-Koog	Nordfriesland	Seemarsch	tL	92

### 3.2.2 Anbauparameter und Maßnahmen der Bestandesführung

Nachfolgend wird ein Überblick über die wichtigsten acker- und pflanzenbaulichen Parameter der acht Versuchsstandorte über die 18 Versuchsjahre gegeben. Eine detaillierte Übersicht der einzelnen Parameter ist dem Anhang (Kapitel 9) zu entnehmen.

#### 3.2.2.1 Fruchtfolge sowie Vorfrucht

Die Standorte Barlt, Birkenmoor, Elskop und Sönke-Nissen-Koog waren durch mehrgliedrige Fruchtfolgen charakterisiert. Mit Ausnahme von Barlt (Zuckerrübe) war Winterraps die Blattfrucht in der Fruchtfolge. Nach der Blattfrucht folgten die drei Halmfrüchte Winterweizen, Wintergerste sowie Winterroggen. Ein ähnliches Bild zeigte sich an den Standorten Futterkamp, Klvensiek, Kastorf und Loit an denen nach der Blattfrucht Winterraps lediglich zwei Halmfrüchte in Form von Winterweizen und Wintergerste folgten. Diese Fruchtfolge ist als klassische dreigliedrige Fruchtfolge für Schleswig-Holstein anzusehen. Dadurch ergaben sich an den Standorten über alle Jahre jeweils vier drei- bzw. vier viergliedrige Fruchtfolgen mit durchschnittlich 33 % und 25 % Winterweizenanteil.

Die dominierende Vorfrucht innerhalb der 19 jährigen IPS-Langzeitstudie ist mit einem Anteil von 59 % der Winterraps, gefolgt von Winterweizen mit 31 %. Die weiteren dargestellten Vorfrüchte wie die Zuckerrübe mit einem Anteil von 4 % bzw. Wintergerste mit einem Anteil 2 % nahmen lediglich eine untergeordnete Rolle ein, und fanden ihre Anwendung in Jahren in denen witterungsbedingt die geplante Vorfrucht nicht etabliert werden konnte (Abb. 4).

Aufgrund der am Standort üblichen Fruchtfolge variierten die Versuchsflächen um den jeweils genannten Standort, sodass die Versuche nicht jedes Jahr auf der gleichen Fläche stattfanden.

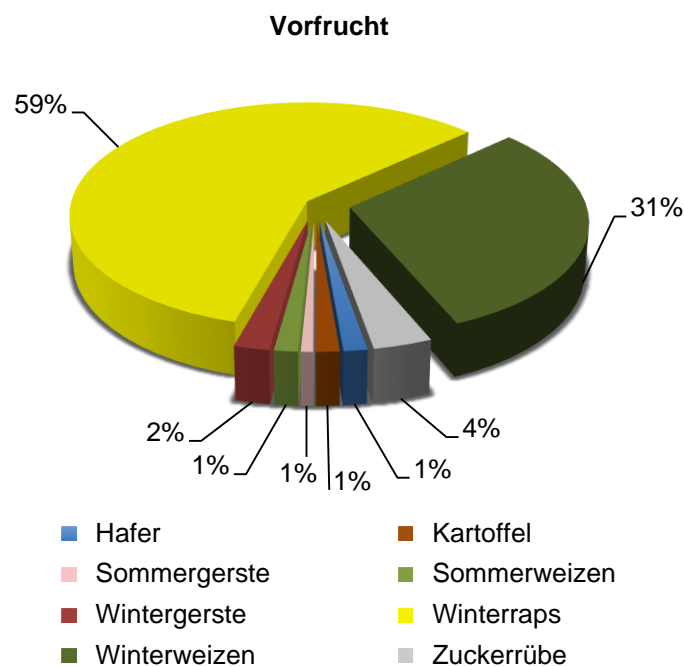


Abb. 4: Prozentualer Anteil verwendeter Vorfrüchte an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2014

### 3.2.2.2 Grundbodenbearbeitung

An den Standorten Birkenmoor, Elskop und Kastorf wurde in allen Versuchsjahren die wendende Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug durchgeführt. An den übrigen Versuchsstandorten erfolgte die Grundbodenbearbeitung je nach Jahr und Vorfrucht unterschiedlich mit dem Grubber oder mit dem Pflug. Eine detaillierte Darstellung ist im Anhang in Kapitel 9 aufgeführt. Das pfluglose Verfahren fand nur nach der Vorfrucht Winterrap Anwendung, sodass nach jeder Halmvorfrucht zur Versuchsaussaat mit zwei Ausnahmen (Bartt, 2005 Winterweizen; Loit, 2013 Hafer) gepflügt wurde. Die anteilige Anwendung der ausgeführten Primärbodenbearbeitungsverfahren (wendend vs. nicht wendend) ist in Abb. 5 dargestellt. Der hohe Anteil (78 %) der wendenden Bodenbearbeitung in allen Versuchsjahren ist zusätzlich darin begründet, dass sehr häufig nach der Blattfrucht Winterrap gepflügt wurde.

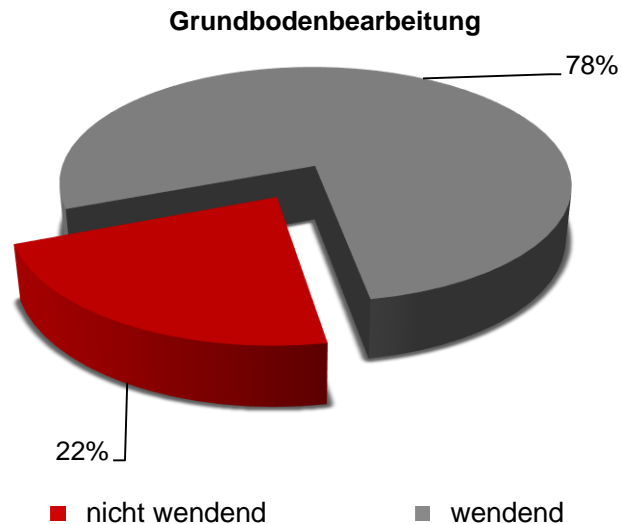


Abb. 5: Prozentualer Anteil der Grundbodenbearbeitungsverfahren an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2014

### 3.2.2.3 Sortenwahl

An den acht Versuchsstandorten wurden in allen Versuchsjahren einheitlich die als stark anfällig einzustufende Winterweizensorte Ritmo angebaut. Die Sorte Ritmo weist nach der beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes eine starke Anfälligkeit für *Septoria tritici* (6), mittel bis starke für *Blumeria graminis* (5) bzw. sehr starke gegenüber *Puccinia triticina* (8) auf (ANONYM, 2008). In den Versuchsjahren 2011/2012 bis 2013/2014 wurde zusätzlich die im Vergleich zum Ritmo tolerantere Sorte Inspiration ausgedrillt, um den Sorteneffekt mit in die Studie mit aufzunehmen. Die Sorte Inspiration weist eine mittlere Anfälligkeit für *Septoria tritici* (5), geringe für *Blumeria graminis* (3) bzw. mittlere gegenüber *Puccinia triticina* (5) auf (ANONYM, 2014a).

### 3.2.2.4 Saatstärke und Saattermin

Der Aussaattermin sowie die Aussaatstärke erfolgte praxisüblich und den jeweiligen Bodenverhältnissen entsprechend. Die durchschnittliche Aussaatmenge betrug 307 Körner/m<sup>2</sup>. An den Standorten Barlt, Birkenmoor, Elskop sowie Sönke-Nissen-Koog wurden vergleichsweise überdurchschnittliche Aussaatmengen gewählt. Bei der Betrachtung der jahres- und standortspezifischen Aussaattermine wird deutlich, dass die Terminierung der Weizenaussaat vornehmlich von der Witterung beeinflusst wurde.



Die Aussaattermine wurden in drei Kategorien eingestuft: Früh- (bis einschließlich 20. September) bzw. Normalsaat (21. September bis 04. Oktober) sowie Spätsaat (ab 05. Oktober). Der Anteil der drei Saatterminkategorien ist in Abb. 6 dargestellt.

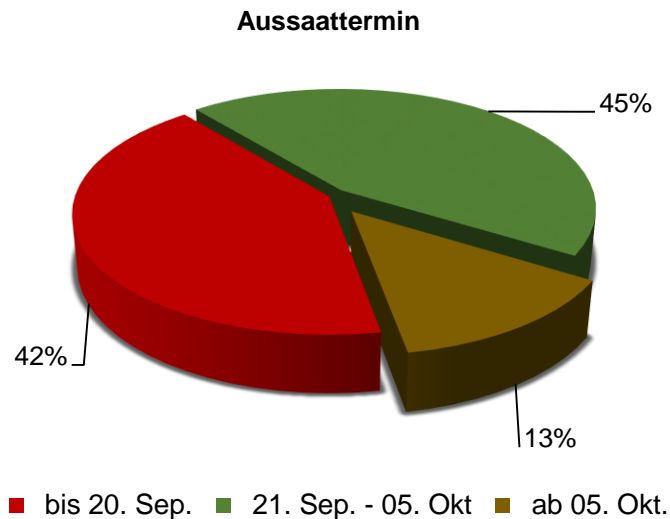


Abb. 6: Prozentualer Anteil der gewählten Aussaattermine an den acht IPS-Monitoringstandorten in Schleswig-Holstein in den Versuchsjahren 1995 – 2013. Frühsaat (bis einschließlich 20. September); Normalsaat (21. September bis 04. Oktober); Spätsaat (ab 05. Oktober)

Der Aussaattermine schwankten zwischen dem 01. September im Jahr 2001 am Standort Klvensiek und dem 25. Oktober im Jahr 2002 am Standort Sönke-Nissen-Koog. Da nur 10 % der Versuchsflächen vor dem 15. September gedreht wurden, lag der überwiegende Teil der Aussaat in der zweiten Septemberhälfte, dem Normalsaatzeitraum für Schleswig-Holstein. An den Standort- und Jahreskombinationen, in denen eine Spätsaat durchgeführt wurde, konnte witterungsbedingt keine frühere Aussaat durchgeführt werden.

### 3.2.2.5 Stickstoff-Düngung

An allen Versuchsstandorten wurden mineralische Stickstoff-Dünger in Form von Kalkammonsalpeter (KAS), Ammonsulfatsalpeter (ASS), Harnstoff, Schwefelsaurem Ammoniak (SSA), NPK-Dünger und ALZON eingesetzt. Organische Dünger in Form von Schweinegülle kamen lediglich am Standort Elskop zur Anwendung. Jahresspezifisch schwankte das Gesamt-N-Düngungsniveau an den einzelnen Standorten zwischen 185 und 285 kg/ha Gesamt-N, wobei bei mehr als dreiviertel der Standort- und Jahreskombination auf einem Niveau zwischen 210 und 250 kg N lagen

Die Ausbringung erfolgte stadien- und standortspezifisch in drei Gaben (1. Gabe: Vegetationsbeginn, 2. Gabe: Schoßbeginn, 3. Gabe: Ährenschieben).

Lediglich in Birkenmoor wurde in 2012 und 2013 die N-Düngung als einmalige Applikation zu Vegetationsbeginn mit stabilisiertem N-Dünger (ALZON) durchgeführt.

### **3.2.2.6 Pflanzenschutz**

Die Herbizid- und Insektizidmaßnahmen erfolgten im Herbst und Frühjahr hinsichtlich Indikation und Applikationstermin, bedarfsorientiert und standortüblich. In gleichem Maße verhielt es sich mit der Anwendung von Wachstumsreglern. Der Fungizideinsatz wird in Kapitel 3.2.4 in Abhängigkeit des Versuchsaufbaus und epidemiologischen Verlaufs erläutert.

### **3.2.3 Versuchsanlage**

An den Standorten Barlt, Elskop, Kastorf, Kluvensiek und Loit wurde der Versuch in Praxisschläge integriert. An den restlichen drei Standorten Birkenmoor, Futterkamp und Sönke-Nissen-Koog erfolgte die Anlage des Versuchs im Rahmen der Versuchsfelder der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Die Versuche beinhalteten drei Varianten, eine fungizidunbehandelte Kontrolle, eine IPS-Variante sowie eine Gesundvariante. Die Kontroll- und IPS-Varianten wurden an allen Standorten in zweifacher Ausführung als Ernte- und Probenahmeparzelle etabliert, die Gesundvariante hingegen nur als Ernteparzelle um das maximale Ertragspotenzial des jeweiligen Standortes zu charakterisieren.

Die Versuche waren in Form einer randomisierten Blockanlage aufgebaut. Alle Varianten wurden in vierfacher Wiederholung (A - D) angelegt.

Die Anlage und technische Betreuung der Versuche erfolgte bis 2007 durch die Mitarbeiter des Amtes für ländliche Räume (ALR) und ab 2008 durch die des Pflanzenschutzdienstes der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.

### **3.2.4 Fungizideinsatz**

Ziel war es anhand der drei Varianten herauszustellen, inwiefern sich eine schwellen bzw.-witterungsorientierte Applikation von Fungiziden (IPS-Variante) auf den epidemiologischen Verlauf der Weizenpathogene und die Ertragsleistung auswirken.

Die unbehandelte Kontrolle ermöglichte die Dokumentation der ungestörten, standort- und witterungsabhängigen Ausbreitung der Pathogene im Pflanzenbestand, ohne dass eine Fungizidapplikation das Auftreten und die Ausbreitung der Pathogene beeinflusste. Gleichzeitig wird die Ertragsleistung bei maximalem Befall am Standort festgestellt.

### 3. Material und Methoden

---

Um zum Vergleich eine Variante mit höchst möglicher Ertragsleistung nahe am genetisch fixierten Ertragspotenzial zu etablieren, wurde die Gesundvariante (2011 - 2014) viermal behandelt:

1. EC 29 – 30 0,5 l/ha Agent<sup>®</sup> + 1,0 l/ha Bravo<sup>®</sup>
2. EC 31 – 32 1,5 l/ha Capalo<sup>®</sup>
3. EC 37 – 39 0,5l /ha Aviator Xpro<sup>®</sup> + 0,5 l/ha Fandango<sup>®</sup>
4. EC 55 – 65 2,5 l/ha Osiris<sup>®</sup>

Die Behandlungen der Gesundvarianten waren an allen Standorten einheitlich und wurden stadienorientiert appliziert. Durch die hohe Frequenz und Intensität der Applikation wurde das Auftreten und die Verbreitung der Pathogene auf ein Minimum reduziert. Anhand der Ertragsdifferenz zu der unbehandelten Kontrolle ließ sich auf das gesamte Schadpotenzial durch den Erregerkomplex am Standort schließen.

Anders als bei der Gesundvariante fand in der IPS-Variante ein Einsatz von Fungiziden nur nach Überschreiten definierter, erregerspezifischer Bekämpfungsschwellen bzw. dem Eintreten bestimmter Witterungsbedingungen statt, die durch das IPS-Modell Weizen beschrieben werden (VERREET & HABERMEYER, 1995; KLINK, 1997; KLÖHN, 2011). Anhand erregerspezifischer, schwellenorientierter Bekämpfungsmaßnahmen wird die Epidemie- und Schadensdynamik durch gezielte, in die epidemiologisch sensible Phase der Akkreszenz interagierende fungizide Gegenmaßnahmen durch am Befallsgeschehen orientierte Applikationen kontrolliert.

Im Gegensatz zur Gesundvariante, eine möglichst „befallsfreie“ Pflanze zu erhalten, wurde dieser Ansatz in der IPS-Variante nicht verfolgt. Ziel des IPS-Modells ist es, lediglich die drei obersten Blattetagen (F-2 bis F) bis zur Samenreife gesund zu halten, da diese die ertragsessenziellen Blattetagen sind (THOMAS et al., 1989; GRUHN, 2003). In Folge dessen soll die Menge an ausgebrachter Aktivsubstanz bei gleichem Ertrag möglichst minimiert werden, sodass daraus ein höherer Erlös in der IPS-Variante resultiert.

Anzahl, Terminierung sowie Indikation der Fungizidanwendung in den IPS-Varianten wurde in Abhängigkeit vom aktuellen Befallsgeschehen, das durch die wöchentlich erfolgten Bonituren im Weizenbestand des jeweiligen Standortes ermittelt wurde (siehe 3.3.2), sowie anhand der erfassten Witterungsdaten, (siehe 3.3.1) durchgeführt.

Zu welchem Zeitpunkt eine Bekämpfung erfolgen soll, wird durch die in Tabelle 2 aufgeführten Entscheidungskriterien angezeigt. Aufgeführt sind alle relevanten pilzlichen Weizenpathogene

des IPS-Modell Weizen Schleswig-Holstein mit deren entscheidenden Beobachtungs- und Bekämpfungszeiträumen. Die Anwendungszeiträume für Fungizide sind dunkelgrün unterlegt.

Tab. 2: Entscheidungskriterien für die Durchführung von Fungizidmaßnahmen in der IPS-Variante zur Bekämpfung aller relevanten Weizenblattpathogene nach dem IPS-Modell Weizen 2005

EC-Stadium	30	31	32	33	37	39	49	51	55	59	61	65	69	Behandlung
Pathogen														Behandlung
<i>Blumeria graminis</i> <i>f. sp. tritici</i>	70 % BHB Erstbehandlung bzw. 70 % BHB auf F-2, F-1 und F → Folgebehandlung													ab EC 30
<i>Puccinia striiformis</i> <i>f. sp. tritici</i>	30 % BHB oder erste Befallsnester im Bestand Erstbehandlung bzw. erste Sporenlager auf F-2, F-1 und/oder F → Folgebehandlung													ab EC 32
<i>Puccinia triticina</i> <i>f. sp. tritici</i>	30 % BHB													ab EC 37
<i>Septoria tritici</i>	BHB > 50% auf F-6 und > 3 mm/d + mind. 36 Std. Blattnässe ≥ 98 % Erstbehandlung bzw. nach Ablauf der protektiven Leistung und neuen Infektionsereignissen (36 Std. Blattnässe > 98 %) → Folgebehandlung													ab EC 32 oder wenn <u>F-2</u> zu 50 % vorhanden
<i>Septoria nodorum</i>	BHB > 12 % auf Indikationsblattetage: EC 37-39 F-5 oder F-4 EC 41-47 F-4 oder F-3 EC 51-69 F-3 oder F-2													ab EC 37
<i>Drechslera tritici- repentis</i>	5 % BHB auf Indikationsblattetage Erstbehandlung: EC 32 F-6 oder F-5 (nur bei Vorfrucht Weizen) EC 33-39 F-5 oder F-4; EC 41-49 F-4 oder F-3, EC 51-57 F-3 oder F-2 bzw. 5 % BHB auf F-2, F-1 und F (Folgebehandlung)													ab EC 32
Pathogen														Behandlung
EC-Stadium	30	31	32	33	37	39	49	51	55	59	61	65	69	Behandlung

Quelle: verändert nach VERREET et al. (2000)

### 3. Material und Methoden

---

Alle erregerspezifischen Bekämpfungsschwellen basieren auf der Befallshäufigkeit im Bestand (BHB), bezogen auf die Gesamtpflanze oder einzelne entwicklungsabhängige Pflanzenorgane (Indikationsblattetagen). Im Fall von *Blumeria graminis*, dem Echtem Mehltau (Erstbehandlung bei BHB > 70 %, ab EC 30) wäre demnach eine Behandlung notwendig, wenn 7 von 10 Pflanzen einer Wiederholung jeweils mindestens eine Mehлтаupustel aufweisen bzw. 21 von 30 diagonal im Pflanzenbestand. Die Notwendigkeit einer Folgebehandlung ist erreicht, wenn auf 7 von 10 Pflanzen auf den obersten drei Blattetagen (F-2 bis F) ein Befall detektiert wurde.

Bei *Septoria tritici* (Blattdürre an Weizen) kommt ein weiterer Parameter des IPS-Modells hinzu, sodass die Witterung in Form von Blattnässe bzw. Niederschlag in Bekämpfungskriterien mit einfließen. Dies bedeutet, dass bei einer Befallshäufigkeit > 50 % der Blattetage F-6 zusätzlich ein witterungsbasiert definiertes Infektionsereignis erforderlich ist, um eine Schwellenwertüberschreitung und entsprechende Bekämpfungsmaßnahme auszulösen. Ein Infektionsereignis ist definiert als eine über 48 Stunden andauernde Blattnässe von  $\geq 98$  %, gemessen mit dem Blattnässefühler nach WEIHOFEN (KLINK, 1997). In dem fortlaufenden Gemeinschaftsprojekt mit dem Institut für Phytopathologie der CAU Kiel sowie des Pflanzenschutzdienstes der Ämter für ländliche Räume Schleswig-Holstein wurde die notwendige Dauer der Blattnässe > 98 % modifiziert und an die steigende Anfälligkeit der Sorte Ritmo angepasst, sodass nun 36 Stunden für ein Infektionsereignis als ausreichend betrachtet werden (ANONYM, 2005). Um der erhöhten Toleranz der Sorte Inspiration gerecht zu werden, wurde die notwendige Blattnässedauer von 48 Stunden beibehalten. Eine Folgebehandlung ist nicht an Befallshäufigkeiten geknüpft. Die Witterungsparameter Niederschlag und Blattnässe wurde stetig erhoben, um weitere Infektionsereignisse zu detektieren.

Dient Weizen als Vorfrucht, beginnt der Beobachtung- und Bekämpfungszeitraum für DTR (*Drechslera tritici-repentis*) ab EC 32. Ansonsten beginnt der Zeitraum ab EC 33. Wird nun in der wöchentlich wiederkehrenden Bonitur eine Überschreitung der erregerspezifischen Bekämpfungsschwellen bzw. das Eintreten eines Infektionsereignisses detektiert, dann hat eine Fungizidmaßnahme zu erfolgen.

Die Aufwandmenge der Applikation ist davon abhängig in welchem Stadium sich der Weizenbestand befindet. In der Blattbildungsphase (EC 30 – 39) wird die auszubringende Menge reduziert, da eine vorangegangene Spritzung im Weiteren neugebildete Blätter nur unzureichend schützt. Sie soll jedoch 50 % nicht unterschreiten. Steht jedoch eine FungizidAusbringung in der Differenzierungsphase (EC 41 – 59) an, so ist die volle Aufwandmenge zu applizieren, da eine daraus resultierende lange Protektivität die ertragsessentiellen Blattetagen schützen soll. Durch die lange Protektivität werden Folgebehandlungen minimiert. In der Blüte (EC 61 – 69) werden erneut die

Fungiziddosierungen reduziert, da im weiteren Vegetationsverlauf nach der Blüte in Folge der Abreife zunehmend weniger Protektivität benötigt wird. Nach der Blüte (EC 69) sind, laut des Pflanzenschutzmittelverzeichnisses 2010 des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, keine Pflanzenschutzmaßnahmen durch chemische Fungizide zugelassen (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2014).

Aufgrund von heterogener Witterung und unterschiedlichen Einflüssen an den einzelnen Standorten hinsichtlich des Pathogenspektrums und dessen Auftreten variierten die Zeitpunkte der eingesetzten Fungizide der schwellenorientierten Bekämpfungsmaßnahme. Gleichzeitig wurden unterschiedliche Präparate eingesetzt, die von der jeweiligen Indikation an den verschiedenen Standorten begründet wurde. Zur Verfügung standen die Präparate der jährlich neu veröffentlichten und empfohlenen Pflanzenschutzliste (Tab. 3) der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Die Entscheidung, welches Präparat eingesetzt wird, wurde in Abhängigkeit des nachgewiesenen Erregerkomplexes aus der Präparatliste ausgewählt, die für jeden Behandlungszeitraum mehrere Fungizide der Wahl beinhaltet.

Tab. 3: Offizielle Fungizidempfehlung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für verschiedene Entwicklungsphasen von Winterweizen 2011 bis 2014

EC 30	EC 31 - 32	EC 37 - 39	EC 55 - 69
0,5 l/ha Agent®	1,3 l/ha Capalo®	1,3 l/ha Adexar®	1,0 l/ha Prosaro®
0,6 l/ha Ceralo®	0,8 l/ha Ampera® + 0,4 l/ha Epoxion®	0,8 l/ha Aviator Xpro® + 0,5 l/ha Fandango®	2,5 l/ha Osiris®
0,5 l/ha Gladio®	0,8 l/ha Input®	1,2 l/ha Input Xpro®	0,3 l/ha Taspas® + 1,0 l/ha Folicur®
0,75 l/ha Pronto Plus®	1,0 l/ha Opus Top®	0,7 l/ha Seguris® + 1,0 l/ha Amistar Opti®	0,7 l/ha Prosaro® + 1,0 l/ha Ampera® oder Osiris®
	0,8 l/ha Aviator Xpro®		
	1,2 l/ha Input Xpro®		
	0,7 l/ha Seguris® + 1,0 l/ha Bravo®		
Zusätzliche Mehltau Spezialfungizide	0,2 l/ha Vegas® oder Talius®	0,2 l/ha Vegas® oder Talius®	

Eine erneute Schwellenüberschreitung bzw. das Eintreten eines erneuten Infektionsereignisses wird im Rahmen des IPS-Modells Weizen nur dann als diese angesehen, wenn die protektive Leistung des zuvor eingesetzten Fungizids nicht mehr gegeben war.

Die Ausbringung der Pflanzenschutzmittel wurde von Mitarbeitern des Pflanzenschutzdienstes der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein durchgeführt und erfolgte parzellenweise nach Schwellenüberschreitung (IPS-Variante) bzw. nach Stadien in der Gesundvariante.

### 3.3 Datenerhebung und –auswertung

#### 3.3.1 Erfassung der Witterungsdaten

Neben den biologischen Parametern wurde die Witterung an jedem Standort unmittelbar im Pflanzenbestand mittels agrarmeteorologischer Messstation (THIES CLIMA, Göttingen) aufgezeichnet. Die Stationen zeichneten alle 15 Sekunden die in der folgenden Tabelle aufgeführten Werte auf und gaben diese als Stunden bzw. Tagesmittelwerte sowie bei Niederschlag als Stunden bzw. Tagessumme aus. Die angegebenen Messgenauigkeiten wurden der Eichblätter der Firma Thies entnommen.

Tab. 4: Stündlich ermittelte Witterungsparameter sowie deren Messgenauigkeiten der agrarmeteorologischen Messstation der Firma THIES, Göttingen

Witterungsparameter	Einheit	Messhöhe	Messgenauigkeit
Blattnässe	%	im Pflanzenbestand	± 5 %
Lufttemperatur (Mikroklima)	°C	30 cm	± 0,1 K bei 0 °C
Relative Luftfeuchte	%	30 cm	± 2 % rel. Feuchte
Lufttemperatur (Makroklima)	°C	200 cm	± 0,1 K bei 0 °C
Relative Luftfeuchte	%	200 cm	± 2 % rel. Feuchte
Niederschlag	mm	100 cm	± 3 %

Der Blattnässefühler nach WEIHOFEN besteht aus einem Baumwollstreifen dessen elektrische Leitfähigkeit gemessen wird (KLINK, 1997). Die Leitfähigkeit steht in einem engen Zusammenhang mit der tatsächlichen Blattbenetzung und ist somit für die Prognose der Infektionsereignisse für *Septoria tritici* geeignet.

### 3.3.2 Boniturschema

Zur Erfassung der Befallsverläufe der vielfältigen pilzlichen Krankheitserreger sowie der aktuellen Befallssituation im Pflanzenbestand wurden die Boniturdaten von EC 30 (Beginn Schossen) bis EC 85 (Teigreife) wöchentlich erhoben. Diese dienten als Datengrundlage um ein Überschreiten der Schwellenwerte des IPS-Modells Weizen festzustellen.

Vor der ersten Fungizidapplikation gemäß dem IPS-Modell Weizen, erfolgte nur die Beprobung und Untersuchung der unbehandelten Kontrolle, erst nach der ersten Fungizidapplikation auch die der IPS-Variante. Die Gesundvariante wurde keiner Bonitur unterzogen, da diese aufgrund der maximalen Fungizidapplikation als „befallsfrei“ angesehen werden konnte. Der Befall mit Blattpathogenen sowie der Nekrotisierungsgrad wurden makroskopisch sowie mikroskopisch mit Hilfe des Binokulars (20- bis 40- fache Vergrößerung) und Mikroskops (100- bis 400- fache Vergrößerung) erfasst. Der zu untersuchende Blattapparat umfasste die Blattetagen F-6 bis zum Fahnenblatt. Für die Bonitur der Schadpathogene und des Nekrotisierungsgrades der Weizenpflanzen wurden im wöchentlichen Abstand Proben entnommen, sodass pro Wiederholung zufallsverteilt zehn Pflanzen gezogen wurden. Die Probenahme sowie Zustellung an das Institut für Phytopathologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erfolgten jeweils montags. Die gezogenen Pflanzenproben wurden in beschrifteten Tüten zum Institut gebracht, und bei 4 °C bis zur Analyse gekühlt. Der Ablauf der wöchentlich im Labor des Institutes für Phytopathologie durchgeführten Untersuchungen ist schematisch in Abbildung 7 aufgezeigt und wird nachfolgend erläutert.

Die Bonituren zum Krankheitsbefall erfolgten nach der Entfernung der Seitentriebe an jeweils zehn Haupttrieben der Wiederholungen, an denen zunächst das Entwicklungsstadium nach der dezimalen Eucarpia-Skala EC (ZADOCKS et al., 1974) bestimmt wurde. Die für die Quantifizierung der Befallswerte genutzten Boniturparameter NEK (Nekrotisierung), BHB (Befallshäufigkeit im Bestand), GES BHB (Befallshäufigkeit der Gesamtpflanze), BSB (Befallsstärke im Bestand) und GES BSB (Befallsstärke der Gesamtpflanze), werden im Folgenden für die einzelnen Pathogene nochmals detaillierter aufgeführt. Sie sind als Durchschnittswerte der Wiederholungen einer Variante zu verstehen, wobei die zehn untersuchten Pflanzen einer Wiederholung ebenfalls gemittelt den durchschnittlichen Befall bzw. Grad der Nekrotisierung der jeweiligen Wiederholung charakterisieren. Die Blattbonitur wurde differenziert nach Blattetagen vorgenommen (F-6 bis F).



## 3. Material und Methoden

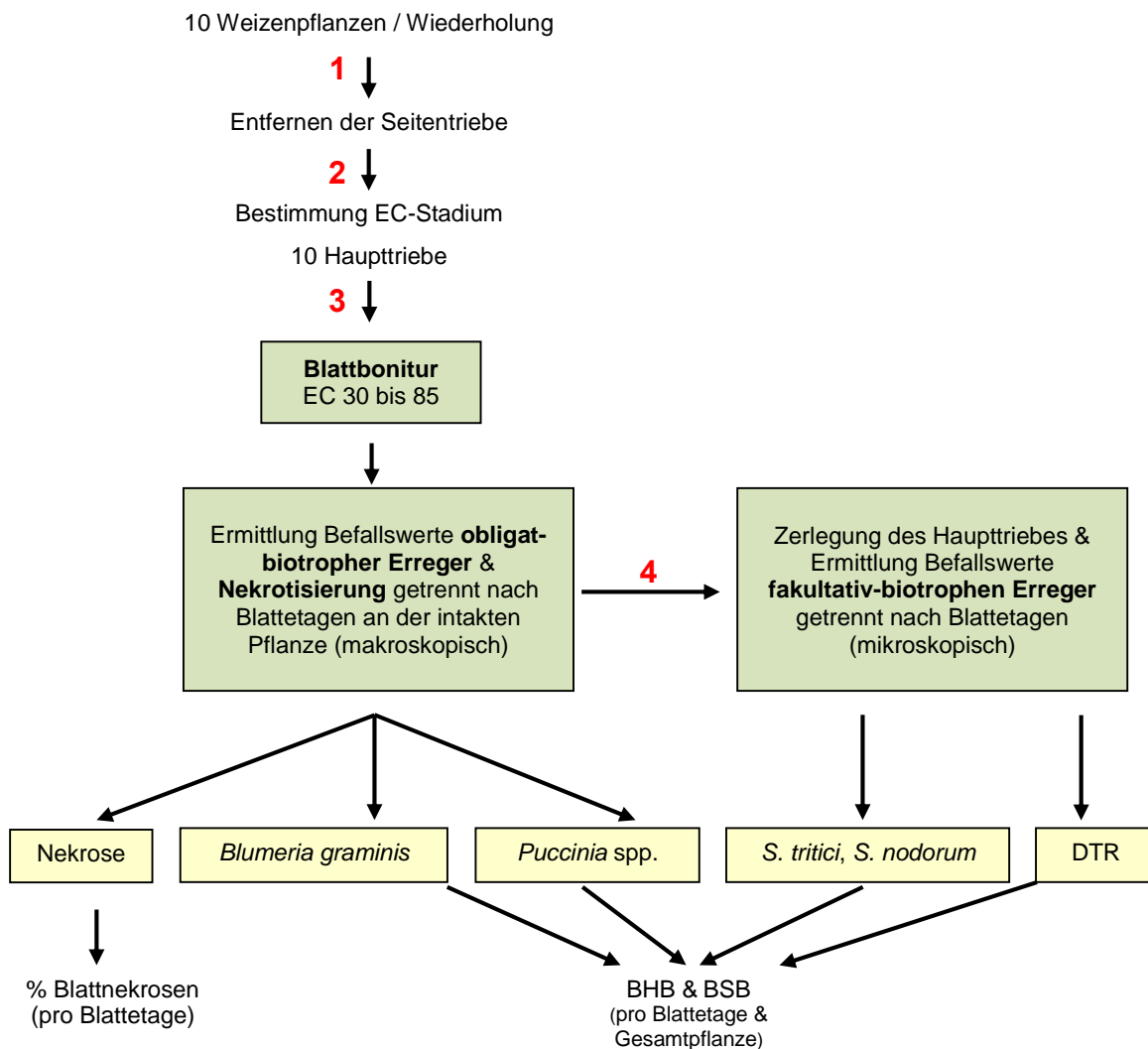


Abb. 7: Schematischer Boniturablauf für eine Wiederholung. Rote Zahlen kennzeichnen die Reihenfolge der einzelnen Boniturschritte

In die Untersuchungen der Blattetagen an den Haupttrieben auf obligat-biotrophe und fakultativ-biotrophe Blattpathogene sowie Nekrotisierung gingen alle zum Boniturtermin bereits vollständig ausgebildeten bzw. noch vollständig erhaltenen Blätter ein. In einem Arbeitsgang wurden die Befallswerte auf der Blattoberseite für alle obligat-biotropen Erreger und das Ausmaß der Nekrotisierung getrennt nach Blattetagen makroskopisch ermittelt.

Zur Feststellung des Befalls mit fakultativ-biotropen Pathogenen wurde der Blattapparat nachfolgend in seine einzelnen Etagen zerlegt und diese dann separat voneinander untersucht (makroskopisch und mikroskopisch).

Bei der Erfassung der Blattnekrosen wurde der prozentuale Anteil abgestorbener, verbräunter Fläche der einzelnen Blattetagen geschätzt (% NEK je Blattetage zu einem Boniturtermin), verfärbtes bzw. gelblich aufgehelltes Blattgewebe (Chlorosen) wurden nicht notiert.

Blatttagen, die eine Nekrotisierung von mehr als 95 % aufwiesen, wurden in der Folgewoche nicht mehr einbezogen.

### Obligat-biotrophe Erreger

Für *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* und *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* wurde die durchschnittliche flächenanteilige Bedeckung von Myzelien bzw. Uredosporenlagern für die jeweiligen Blatttagen der 10 Pflanzen pro Wiederholung erfasst. Dieser Wert bildete dann die Befallsstärke im Bestand (BSB), gemittelt über die Blatttage, ab. Für eine einzige auf einem Blatt befindliche Pustel bzw. Uredosporenlager wurde als kleinste Befallseinheit 1 % Befallsstärke festgelegt. In Tabelle 5 sind alle erhobenen und verrechneten Boniturparameter der Pathogene anhand zweier Erregergruppen genannt.

Tab. 5: Boniturparameter zur Quantifizierung der Erregergruppe 1 (*Blumeria graminis*, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*, *Drechlera tritici-repentis*) und der Erregergruppe 2 (*Septoria tritici*, *Septoria nodorum*)

Boniturparameter	Erregergruppe 1	Erregergruppe 2
Befallshäufigkeit im Bestand ( <b>BHB</b> )	Anzahl befallener Blätter einer Blatttage pro Anzahl vorhandener Blätter dieser Etage in Prozent zu einem Boniturtermin	Anteil befallener Blätter einer Blatttage in Prozent zu einem Boniturtermin
Befallshäufigkeit der Gesamtpflanzen ( <b>GES BHB</b> )	Anteil befallener Pflanzen im Mittel aller Pflanzen in Prozent zu einem Boniturtermin	Nicht erhoben
Befallsstärke im Bestand ( <b>BSB</b> )	Anteil der mit spezifischen Symptomen bedeckten Blattfläche an der Gesamtblattfläche einer Blatttage in Prozent zu einem Boniturtermin	Anzahl Pyknidien pro Blatttage zu einem Boniturtermin
Befallsstärke der Gesamtpflanzen ( <b>GES BSB</b> )	durchschnittliche Befallsstärke aller bzw. definierter Blatttagen zu einem Boniturtermin in Prozent	Summe der BSB-Werte aller bzw. definierter Blatttagen zu einem Boniturtermin

Die Erreger wurden angesichts ihrer jeweils erhobenen Parameter bei der Bonitur in die zwei Erregergruppen eingeteilt. Durch Aufsummierung der GES BSB-Werte der einzelnen Boniturtermine über einen definierten Blattapparat und Boniturzeitraum ergeben sich die aufsummierten Befallsstärken (SUM GES BSB = Summe GES BSB). Die Befallsgröße SUM GES BSB auf F-6 bis F zu EC 77/83 entspricht der Akkumulation epidemiologischer Befallsparameter der gesamten Boniturperiode bis zum Ende der ertragsdeterminierenden

Kornfüllungsphase in den Kontrollvarianten. Der Vergleich zwischen Kontroll- und IPS-Varianten bezieht sich auf die ertragsrelevanten Blatttagen zu EC 77/83 (SUM GES BSB auf F-2 bis F).

### Fakultativ-biotrophe Erreger

Die Bonitur von *Septoria tritici* (*Septoria*-Blattdürre) und *Septoria nodorum* (Blatt- und Spelzenbräune) erfolgte durch eine Exaktbonitur, bei der die kugeligen Fruchtkörper (Pyknidien) mittels Binokular ausgezählt wurden, die im Rahmen des asexuellen Entwicklungszyklus gebildet werden. Hierzu wurden die Blattspreiten am Ansatz zur Blattscheide von der Gesamtpflanze abgetrennt, zur Quellung der Pyknidien in Wasser eingeweicht (wassergefüllte Aluminiumschalen) und nach Blatttagen differenziert ausgewertet. Die Summe der erhobenen Pyknidienzahlen über einen definierten Blattapparat und Boniturzeitraum wird durch den Parameter SUM BSB (aufsummierte Befallsstärken) ausgedrückt, und wird zu der Bemessung des Ausgangs- (SUM BSB auf F-6 bis F-4 zu EC 32) und Endbefalls der Gesamtpflanze (SUM-BSB auf F-6 bis F zu EC 77/83) in den unbehandelten Kontrollen herangezogen. Bei einem Vergleich der Kontroll- und IPS-Varianten werden wiederum nur die drei oberen, ertragsessentiellen Blattinsertionen zum Stadium EC 77/83 berücksichtigt (SUM BSB auf F-2 bis F zu EC 83) (GEISLER, 1988; THOMAS et al., 1989).

Um die Pyknidien von *Septoria tritici* und *Septoria nodorum* zu unterscheiden, ist das Ostiolum (Fruchtkörperöffnung) zu betrachten. *Septoria nodorum* besitzt eine honiggelbe bis hellbraune Färbung, weist meist einen bräunlichen Rand auf. Die Fruchtkörper von *Septoria tritici* zeigen hingegen eine dunkelbraune bis schwarze Färbung (VERREET & HABERMEYER, 1995). Aufgrund einer möglichen Verwechslungsgefahr dieser beiden Erreger wurden bei Unsicherheiten der Bestimmung die in den Fruchtkörpern enthaltenen Pyknosporen durch Quetschung der Pyknidien gewonnen (Quetschpräparat) und mikroskopisch (100- bis 400-fache Vergrößerung) hinsichtlich ihrer Form klassifiziert und dem entsprechenden Erreger zugeordnet.

Das Schadbild des fakultativ-biotrophen Erregers *Drechslera tritici-repentis* ist gekennzeichnet durch dunkle Infektionspunkte umgeben von einem chlorotischen Hof (WOLF, 1991). Die eben genannte Läsion diente der Erfassung von Befallshäufigkeiten und -stärken.

Analog zu den obligat-biotrophen Blattpathogenen wurde auch hier makroskopisch die befallene Blattfläche prozentual zur gesamten Blattoberfläche geschätzt, wobei die kleinste Befallseinheit in Form einer Einzelläsion mit 1 % BSB bewertet wurde. Die Ermittlung der Befallshäufigkeiten und Befallsstärken erfolgte entsprechend der in Tabelle 5 aufgeführten Definitionen. Anders als bei den obligat-biotrophen Erregern wurden auch Blatttagen mit einer Nekrotisierung von mehr als 50 % berücksichtigt. Zusätzlich musste durch einen

Nachweis der typischen, einzeln stehenden Sporenträger oder eine zweifelsfreie Identifikation der Konidien mit Hilfe des Quetschpräparats erfolgen.

### **3.3.3 Ernte**

Die Beerntung der Ernteparzellen aller Varianten erfolgte zur Eliminierung von Randeffekten mit einem Parzellenmähdrescher im Kerndruschverfahren. Die erhaltenen Ertragsdaten wurden auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 14 % standardisiert und zu Hektarerträgen (dt/ha) aus den Parzellenerträgen hochgerechnet.

### **3.3.4 Einordnung der Witterung**

Zur Verdichtung der Witterungsparameter wurden die Witterungsaufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes implementiert.

### **3.3.5 Graphische und statistische Aufarbeitung der Daten**

Die Rohdaten wurden zunächst mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft OFFICE EXCEL (2013) aufgearbeitet. Die statistische Auswertung entstand am Lehrfach für Variationsstatistik der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Die Analyse erfolgte dem Programm R (A Language and Environment for Statistical Computing). Die Signifikanzen wurden anhand eines multiplen Kontrasttestes mit variierenden Varianzen anhand einer benutzerdefinierten Matrix nach HASLER und HOTHORN (2008) überprüft. Die Ergebnisse des *Ex-vivo* Blattscheibenversuches wurden anhand eines Tukey-Testes (zweiseitig;  $p \geq 0,05$ ) auf ihre Signifikanz untersucht. Die Signifikanzniveaus werden durch kleine Buchstaben ausgegeben, sodass mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Mittelwerte sich nicht signifikant voneinander unterscheiden ( $p \geq 0,05$ ).

### 3.4 Phytohormonuntersuchungen

#### 3.4.1 *Ex-vivo* Blattscheiben-Versuch

Ziel des *ex-vivo* Blattscheiben-Versuchs war es den Einfluss von Fungiziden auf den Phytohormonhaushalt unter Stress zu analysieren.

Zur Gewinnung von Blattmaterial wurden unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur: 22 °C, Luftfeuchtigkeit: 60 %, Photoperiode: 16 Stunden, Photonenflussdichte: 270 bis 280  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) Winterweizenpflanzen der Sorte Ritmo im Gewächshaus angezogen.

Die verwendeten Blattscheiben wurden aus voll expandierten Blättern der 14 Tage alten Weizenpflanzen mit 5 mm Korkbohrer ausgestanzt.

Daraufhin wurden die Blattscheiben 1h in VE-Wasser inkubiert um Stress zu induzieren. Im Anschluss wurden jeweils 40 Blattscheiben in einer Petrischale auf einen mit 3 ml getränkten Rundfilter mit und ohne Wirkstoffzusatz ausgelegt. Die verwendeten Reinstwirkstoffen sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die Wirkstoffe wurden in einer 1,25 % Dimethylsulfoxid-Lösung (DMSO) Lösung mit vollentsalztem Wasser gelöst. Die Konzentration der Wirkstoffe in der verwendeten Lösung betrug 0,1 mmol/l. Danach wurden die Petrischalen bei 22 °C in Dunkelheit für 48 h inkubiert.

Im Anschluss wurden die Blattscheiben abgesammelt und sofort in flüssigem Stickstoff eingefroren. Bis zur Analyse der Phytohormone wurden die Blattproben in 2 ml Reaktionsgefäßen archiviert.

Tab. 6: Im *Ex-vivo* Blattscheiben-Versuch verwendete fungizide Wirkstoffe sowie deren zugehörige Wirkstoffgruppe

Wirkstoff	Wirkstoffgruppe
Azoxystrobin	Strobilurin
Fluoxastrobin	Strobilurin
Picoxystrobin	Strobilurin
Pyraclostrobin	Strobilurin
Trifloxystrobin	Strobilurin
Epoxiconazol	Triazol
Metconazol	Triazol
Prothioconazol	Triazol
Tebuconazol	Triazol
Bixafen	Carboxamid
Fluxapyroxad	Carboxamid
Isopyrazam	Carboxamid

### 3.4.2 *In-vivo* Gewächshaus-Versuch

Ziel des *in-vivo* Gewächshaus-Versuches war es, wie in dem *ex-vivo* Blattscheiben-Versuch, den Einfluss von Fungiziden auf den Phytohormonhaushalt zu untersuchen, wobei nun ein auf eine Stressinduktion verzichtet wurde.

Die Winterweizenkörner der Sorte Ritmo wurden in einem 500 ml Becherglas in 5 M Calciumsulfat-Lösung für 12 h zum Quellen gebracht. Im Anschluss wurde diese auf feinkörnigem Quarzsand (1 mm Körnung) in einer Schale, bedeckt mit Frischhaltefolie, ausgelegt und mit 2 M Calciumsulfat befeuchtet, sodass der Sand sowie die Körner feucht waren jedoch nicht in der Lösung schwammen. Dort verweilten die gequollenen Körner bei 22 °C mit 16 h Lichtrhythmus für eine Woche bis sie gekeimt waren und der Spross etwa 3 cm lang war. Daraufhin wurden vier einzelne junge Weizenpflanzen pro Topf in Hydrokultur verbracht. Bevor die Weizenpflanzen in dem Topf fixiert wurden, wurde dieser verwogen um im Versuchsverlauf den Nährlösungsverbrauch zu quantifizieren.

Ein Topf der Hydrokultur beinhaltete 4,3 l Nährlösung und würde stets mit Umgebungsluft belüftet, sodass die Wurzeln mit ausreichend Sauerstoff versorgt waren. Die Nährlösung nach (MASOOD et al., 2012) bestand aus den in Tab. 7 aufgeführten Nährstoffkonzentrationen, die in VE-Wasser gelöst wurden.

Tab. 7: In dem *in-vivo* Gewächshaus-Versuch verwendete Pflanzennährstoffe der Hydrokultur in molarer Konzentration pro Liter Lösung

Pflanzennährstoff	mM l <sup>-1</sup>	µM l <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,0	-
CaCl <sub>2</sub>	2,0	-
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,2	-
MgSO <sub>4</sub>	0,5	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,2	-
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	-	2,5
CuSO <sub>4</sub>	-	0,3
ZnSO <sub>4</sub>	-	0,5
MnSO <sub>4</sub>	-	2,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	-	0,01
Fe-EDTA	-	200

Zur Adaption verweilten die jungen Weizenpflanzen für sieben Tage in der Hydrokultur. Die Hydrokultur befand sich dabei in einer Klimakammer unter standardisierten Bedingungen (Temperatur: 22 °C, Luftfeuchtigkeit: 60 %, Photoperiode: 16 Stunden, Photonenflussdichte:

### 3. Material und Methoden

270 bis 280  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Nach sieben Tagen wurde die Nährlösung ausgetauscht, um weiterhin eine optimale Versorgung der Weizenpflanzen zu gewährleisten.

Fünf Stunden nach dem Nährlösungswechsel wurden die Fungizide mittels automatischer Applikationsanlage SprayLab appliziert. Die Applikationsanlage wurde mit einem Kompressor betrieben. Als Spritzdüse wurde eine handelsübliche TEEJET TP Flachstrahldüse (TP8002EVS) verwendet. Die Geschwindigkeit betrug 4 km/h bei einem Druck von 2,13 bar.

Es wurde je 1 l Spritzbrühe angefertigt. Dabei wurde die praxisübliche Spritzbrühenmenge von 400 l/ha appliziert. Die eingesetzten Substanzen sind Tab. 8 zu entnehmen. Zusätzlich zu den aufgeführten Substanzen wurde noch eine unbehandelte Kontrolle angelegt, die lediglich mit 400 l/ha Wasser behandelt wurde.

Tab. 8: In dem *in-vivo* Gewächshaus-Versuch verwendete Fungizide

Handelsname	Hersteller	Substanz	Wirkstoff	Verwendete Aufwandmenge (g ai/ha)
Opus®	BASF SE	Fungizid (Triazol)	Epoxiconazol (125 g/l)	250
F 500®	BASF SE	Fungizid (Strobilurin)	Pyraclostrobin (250 g/l)	500
Imbrex®	BASF SE	Fungizid (Carboxamid)	Fluxapyroxad (62,5 g/l)	125

24 h nach Applikation der Fungizide wurden erstmalig der Spross sowie die Wurzel getrennt voneinander beerntet, verwogen und umgehend in flüssigem Stickstoff eingefroren. Zur Nährlösungsverbrauchsmessung wurde zusätzlich der Topf verwogen. Nach 48 h, 96 h, 168 h und 240 h wurde die Probenahme wie zuvor beschrieben wiederholt. Während des gesamten Versuchs wurde die Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet.

#### 3.4.3 Extraktion sowie Aufreinigung der Phytohormone

Vor der Extraktion wurde das bei - 80 °C gelagerte Pflanzenmaterial mittels Mörser in flüssigem Stickstoff zerkleinert um ein homogenes Pflanzengemisch zu erhalten. Anschließend wurden etwa 50 mg Frischmasse in 2 ml Reaktionsgefäß eingewogen. Zur feineren Vermahlung des eingewogenen Probenmaterials wurde dieses in einer Kugelmühle mit einer 5 mm Stahlkugel in zwei Durchläufen mit 25 Anschlägen pro min für 50 sek pulverisiert. Die Kühlkette von mindestens -70 °C ist dabei dringend einzuhalten, um Reaktionen innerhalb der zu analysierenden Probe zu verhindern. Bis zur Extraktion wurden die vorbereiteten Proben bei - 80 °C gelagert.

Die Phytohormon-Extraktion erfolgte nach dem folgenden Protokoll von ZIEGLER et al., 2014)

### 1. Extraktion und Abtrennung des Feststoffes

- a. Zugabe von 200 µl Methanol incl. Interner Standards (Tab. 9) in die 2 ml Reaktionsgefäße, Stahlkugel verbleibt im Reaktionsgefäß
- b. Extraktion für 20 min auf einem Vortexer
- c. Zentrifugation für 5 min bei 10.000 rpm
- d. Überführen des Überstandes in ein neues 1,5 ml Reaktionsgefäß
- e. Erneutes Zentrifugieren für 5 min bei 10.000 rpm
- f. Überführen des Überstandes in ein neues 2 ml Reaktionsgefäß

Die Zusammensetzung des Extraktionsmittels mit den deuterinierten internen Standards für Schritt 1 der Extraktion ist der Tabelle 9 zu entnehmen. Die Standards wurden in 190,5 µl Methanol gelöst.

Tab. 9: Zusammensetzung der Extraktionslösung mit den verwendeten deuterinierten Standard für die zu messenden Phytohormone

Phytohormon	ng je Probe	µl je Probe
ABA-D <sub>6</sub>	2	0,2
ACC-D <sub>4</sub>	45	4,5
[ <sup>2</sup> H <sub>2</sub> ]-GA1	5	0,1
[ <sup>2</sup> H <sub>2</sub> ]-GA3	5	0,1
[ <sup>2</sup> H <sub>2</sub> ]-GA4	5	0,1
IAA- <sup>13</sup> C <sub>6</sub>	5	0,1
JA-D <sub>6</sub>	5	0,1
JA-Ile-D <sub>2</sub>	0,75	0,075
OPDA-D <sub>5</sub>	30	3
[ <sup>2</sup> H <sub>4</sub> ]-SA	1,5	0,15
[ <sup>2</sup> H <sub>5</sub> ]-trans-Zeatin-Ribosid	5	0,1
[ <sup>2</sup> H <sub>5</sub> ]-trans-Zeatin	5	0,1
[ <sup>2</sup> H <sub>5</sub> ]-Dihydro-Zeatin-Ribosid	5	0,1
Methanol	-	190,5
<b>Gesamt</b>		<b>200</b>

### 2. Derivatisierung der Aminocyclopropan-Carbonsäure (ACC)

- a. Zugabe von 400 µl 0,5 M Borat-Puffers (pH 7,9) sowie 400 µl Fmoc-Lösung (1,4 mg Fmoc/ml Aceton)
- b. Inkubieren für 10 min
- c. Zugabe von 1 ml n-Pentan
- d. Vortexen für 15 sek



### 3. Material und Methoden

---

- e. Zentrifugation für 1 min bei 10.000 rpm
  - f. Verwerfen der oberen Phase (n-Pentan) jedoch max. 1 ml; Interphase oft nicht sichtbar
  - g. Zweimaliges Wiederholen der Schritte 9 – 12
  - h. Vollständige Evaporation des n-Pentan aus den geöffneten Reaktionsgefäßen für etwa 30 min
3. Hydrophobe Festphasenextraktion mittels 96er Chromabond HR-XC Platte (Kationenaustauscher)
- a. Vorbereitung der HR-XC Platte → Befüllen der 96 Reaktionskammern mit 50 mg/Kammer des HR-XC Festphasenpulvers
  - b. Versehen der Kammern mit PE-Filter sowie Fixierungsring
  - c. Aufstecken auf eine 96 Kammerplatte (2 ml pro Kammer)
  - d. Konditionierung der HR-XC Platte → Zugabe **1 ml Methanol** je Kammer
  - e. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - f. Verwerfen des Durchflusses
  - g. Zugabe **1 ml VE-Wasser** je Kammer
  - h. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - i. Verwerfen des Durchflusses
  - j. Zugabe vom **1 ml 2 % Essigsäure** (in VE-Wasser) in die 2 ml Reaktionsgefäße von Schritt 14
  - k. Beladung der HR-CX Kammern mit 1 ml des Extraktes aus den 2 ml Reaktionsgefäßen (Schritt 23)
  - l. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - m. Verwerfen des Durchflusses
  - n. Beladung der HR-CX Kammern mit dem Rest aus den 2 ml Reaktionsgefäßen (Schritt 23)
  - o. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - p. Verwerfen des Durchflusses
  - q. Waschen der HR-XC Platte mit **1 ml VE-Wasser** je Kammer
  - r. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - s. Verwerfen des Durchflusses
  - t. Transfer auf eine neue 96 Kammerplatte
  - u. Eluieren der Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA) aus der HR-XC Platte mit **1 ml Methanol** je Kammer
  - v. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - w. Aufbewahren des Eluates 1 im Kühlschrank bis zu Schritt 54
  - x. Transfer auf eine neue 96 Kammerplatte

- y. Eluieren der Cytokinine (Zeatin, ZR, t-ZR, DHZR) mit **1 ml 0,35 M NH<sub>4</sub>OH** in Methanol je Kammer
  - z. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - aa. Eluat 2 in neue 2 ml Reaktionsgefäße überführen
4. Vorbereitung für die Messung der Cytokinine
- a. Eindampfen bis zur Trockene (geringe  $\mu$ l Rest sind kein Problem) der 2 ml Reaktionsgefäße bei 40 - 45 °C für 1h 15 min in Vakuumzentrifuge
  - b. Zugabe von **40  $\mu$ l 10 % Methanol** in Wasser (LC/MS Grade); vortexen
  - c. 10 min ruhen lassen
  - d. Zugabe von **40  $\mu$ l Wasser** (LC/MS Grade)
  - e. Zentrifugieren für 10 min bei 10.000 rpm
  - f. Überführen der Proben in Autosamplergefäße → Proben sind nun messbereit
5. Festphasenextraktion mittels 96er DEAE-Sephadex Platte (Anionenaustauscher)
- a. Vorbereitung der DEAE-Sephadex-Platte → Befüllen der 96 Reaktionskammern mit **400  $\mu$ l/Kammer des DEAE- Sephadex**
  - b. Versehen der Kammern mit PE-Filter sowie Fixierungsring
  - c. Aufstecken auf eine 96 Kammerplatte (2 ml pro Kammer)
  - d. Konditionierung der DEAE-Sephadex-Platte → Zugabe **1 ml Methanol** je Kammer
  - e. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - f. Verwerfen des Durchflusses
  - g. Beladung der Kammern mit den aufbewahrten Proben (Schritt 37)
  - h. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - i. Verwerfen des Durchflusses
  - j. Waschen der DEAE-Sephadex-Platte mit **1 ml Methanol** je Kammer
  - k. Zentrifugation für 5 min bei 1.000 rpm mittels Swing out Rotor
  - l. Verwerfen des Durchflusses
  - m. Transfer auf eine neue 96 Kammerplatte
  - n. Eluieren der Phytohormone (ABA, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA) aus der HR-XC Platte mit **1 ml 3 M Essigsäure** in Methanol je Kammer
  - o. Eluat in neue 2 ml Reaktionsgefäße überführen

6. Vorbereitung für die Messung der Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-IIe, OPDA sowie SA)
  - a. Eindampfen bis zur Trockene (geringe  $\mu\text{l}$  Rest sind kein Problem) der 2 ml Reaktionsgefäße bei 40 - 45 °C für 1h in Vakuumzentrifuge; bei längerem Eindampfen steigen die Verluste von JA
  - b. Zugabe von **40  $\mu\text{l}$  20 % Methanol** in Wasser (LC/MS Grade); vortexen
  - c. 10 min ruhen lassen
  - d. Zugabe von **40  $\mu\text{l}$  Wasser** (LC/MS Grade)
  - e. Zentrifugieren für 10 min bei 10.000 rpm
  - f. Überführen der Proben in Autosamplergefäße

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

Die qualitative und quantitative Bestimmung der Phytohormone aus den extrahierten Winterweizenproben erfolgte mittels LC/MS (Agilent 1290 Infinity; HPLC System). Aufgetrennt wurden die einzelnen Mykotoxine mit einer „reversed phase“ C18-Säule 50 x 3,0 mm; Partikelgröße 2,7  $\mu\text{m}$ ), in welche ein Volumen von 40  $\mu\text{l}$  je Probe injiziert wurde. Als Laufmittel wurde ein Gemisch aus VE-Wasser + 0,2 % (v/v) Ameisensäure (Eluent A) und Acetonitril + 0,2 % (v/v) Ameisensäure (Eluent B) verwendet.

##### 1. Lauf 1 Cytokinine (t-ZR, Zeatin, ZR und DHZR)

Die Auftrennung der Phytohormone (**t-ZR, Zeatin, ZR und DHZR**) in der Probe erfolgte mit einem sieben minütigen Laufmittelgradienten bei einer Flussrate von 0,5 ml/min. Der diskontinuierliche Gradient (Abb. 8) begann mit einer Konzentration von 98 % Laufmittel A und 2 % Laufmittel B für eine halbe Minute. Binnen 3 min wurde der Anteil des Eluenten B auf ein Niveau von 28 % erhöht und weiterhin innerhalb von 0,5 min auf 98 % erhöht (4 min). Dieser wurde anschließend für 1,5 min isokratisch gehalten. Innerhalb von 0,5 min wurde die mobile Phase B wieder auf 2 % reduziert und bis zum Ende des Laufes gehalten.

Die Ionenerzeugung erfolgte mittels Elektrospray-Ionisation (ESI) im positiven Modus mit 3500 V. Als Trocknungsgas zum Verdampfen des Lösungsmittels wurde  $\text{N}_2$  bei einer Temperatur von 650 °C und einem Druck von 50 bzw. 70 Psi verwendet, als Dämpfungsgas wurde Helium mit einem Druck von 50 Psi genutzt.

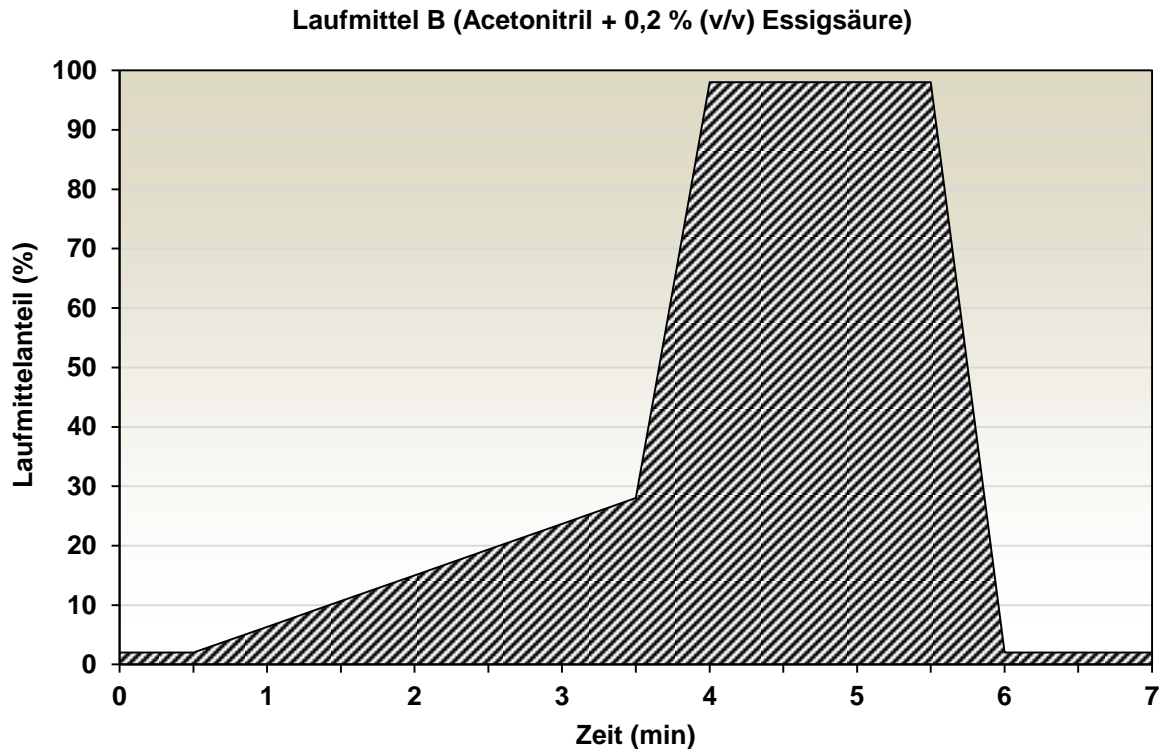


Abb. 8: Anteil des Laufmittels B (Acetonitril + 0,2 % (v/v) Essigsäure) über die Zeit für die Analyse der Cytokinine (t-ZR, Zeatin, ZR und DHZR) mittels HPLC/MS

## 2. Lauf 2 saure Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA)

Diese Auftrennung der Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA) erfolgte mit einem 13 minütigen Laufmittelgradienten bei einer Flussrate von 0,5 ml/min. Der diskontinuierliche Gradient (Abb. 9) begann mit einer Konzentration von 90 % Laufmittel A und 10 % Laufmittel B für eine halbe Minute. Binnen 9 min wurde der Anteil des Eluenten B auf ein Niveau von 80 % erhöht und weiterhin innerhalb von 0,5 min auf 98 % erhöht (10 min). Dieser wurde anschließend für 1,5 min isokratisch gehalten. Innerhalb von 0,5 min wurde die mobile Phase B wieder auf 10 % reduziert und bis zum Ende des Laufes gehalten.

Die Ionenerzeugung erfolgte mittels Elektrospray-Ionisation (ESI) im negativen Modus mit -4500 V. Als Trocknungsgas zum Verdampfen des Lösungsmittels wurde ebenfalls N<sub>2</sub> bei einer Temperatur von 350 °C und einem Druck von 50 bzw. 70 Psi verwendet, als Dämpfungsgas wurde Helium mit einem Druck von 50 Psi genutzt.

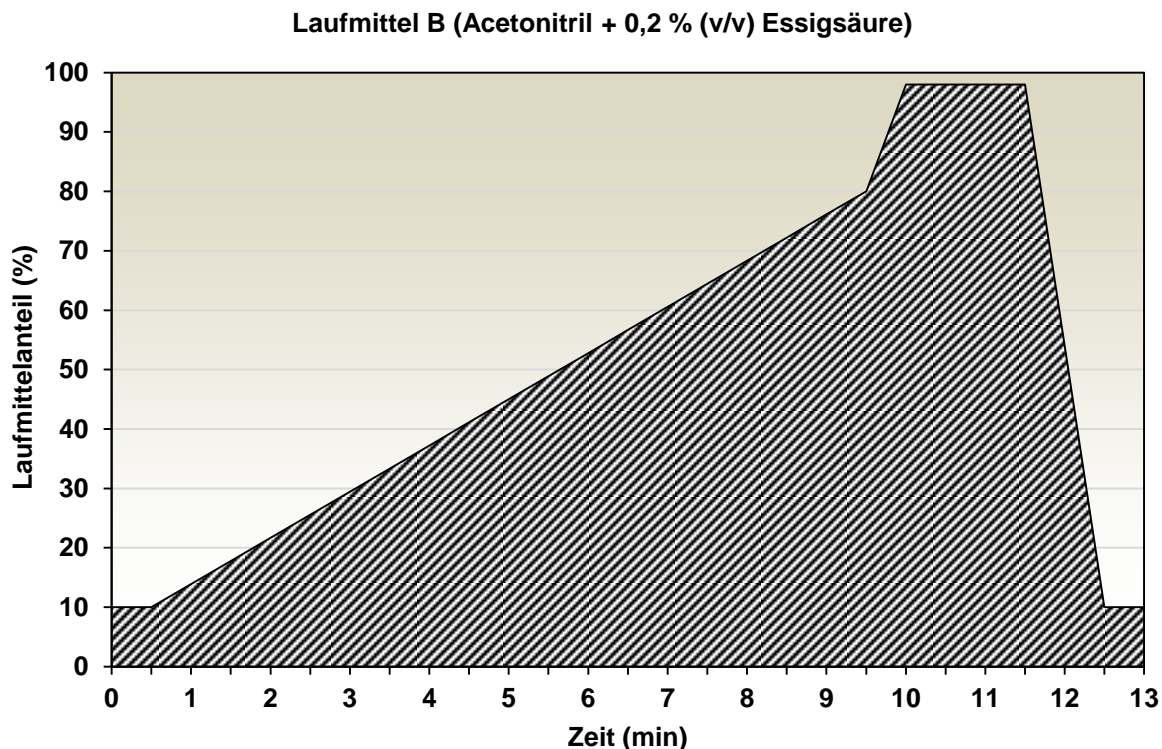


Abb. 9: Anteil des Laufmittels B (Acetonitril + 0,2 % (v/v) Essigsäure) über die Zeit für die Analyse der sauren Phytohormone (ABA, ACC, IAA, JA, JA-Ile, OPDA sowie SA) mittels HPLC/MS

Zur Quantifizierung der Cytokinine als auch der sauren Phytohormone wurde ein API 3200 triple-quadrupole LC-MS/MS System verwendet. Dabei erfolgte die Messung im Multiple Reaction Monitoring (MRM) Modus in Q1 und Q3 Auflösung. Die eingesetzten MRM Modi wurden in einem Fenster von 90 sek und eine Scandauer von 0,1 sek durchgeführt. Die verwendeten MRM Modi sowie die Phytohormon-spezifischen Parameter sind in Tab. 10 dargestellt.

Die Peakflächen wurden automatisch mit der Software Analyst IntelliQuant 1.6.2 ermittelt und bei Bedarf manuell nach integriert. Die folgenden Kalkulationen wurden mit Excel (Microsoft Office 2013) durchgeführt.

Die Quantifizierung der einzelnen Phytohormone erfolgte anhand der zusätzlich verwendeten Internen Standards (Tab. 9). Unter Berücksichtigung der molaren Masse wurde der absolute Gehalt an Phytohormonen in einer definierten Probenmenge (etwa 50 mg Frischmasse) berechnet.

Tab. 10: Phytohormon-spezifische Parameter für die MRM Übergangsmessung mittel LC/MS. Quantifizierungs- und Qualifizierungsübergänge sind in fett bzw. kursiv markiert.

Hormone	MRM Übergänge (M)	Fragmentierungsspannung (DP), V	Eingangspotential (EP), V	Zelleneingangspotenzial (CEP), V	Kollisionpotential (CE), V	Zellenausgangspotential (CEX), V
ABA	<b>263→153</b>	-20	-6	-20	-16	0
	<i>263→219</i>	-20	-6	-20	-16	0
ABA-D <sub>6</sub>	<b>269→159</b>	-20	-6	-20	-16	0
IAA	<b>174→130</b>	-30	-5.5	-18	-14	0
	<i>174→128</i>	-30	-5.5	-18	-28	0
IAA- <sup>13</sup> C <sub>6</sub>	<b>180→136</b>	-30	-5.5	-18	-14	0
JA	<b>209→59</b>	-30	-9.5	-20	-22	0
	<i>209→165</i>	-30	-9.5	-20	-16	0
JA-D <sub>6</sub>	<b>215→59</b>	-30	-9.5	-20	-22	0
JA-Ile	<b>322→130</b>	-45	-4	-18	-16	0
	<i>322→172</i>	-45	-4	-18	-22	0
JA-Ile-D <sub>2</sub>	<b>324→131</b>	-45	-4	-18	-26	0
OPDA	<b>291→165</b>	-55	-12	-20	-24	0
	<i>291→247</i>	-55	-12	-20	-18	0
OPDA-D <sub>5</sub>	<b>296→170</b>	-55	-12	-20	-24	0
ACC-Fmoc	<b>322→100</b>	-15	-8	-26	-12	0
	<i>322→126</i>	-15	-8	-26	-14	0
ACC-D <sub>4</sub> -Fmoc	<b>326→86</b>	-15	-8	-22	-40	0
<i>trans</i> -Zeatin	<b>220→136</b>	41	3.5	28	23	4
	<i>220→119</i>	41	3.5	28	43	4
[ <sup>2</sup> H <sub>5</sub> ] <i>trans</i> -Zeatin	<b>225→136</b>	41	3.5	28	23	4
<i>trans</i> -Zeatin 9-riboside	<b>352→220</b>	61	10.5	28	23	4
	<i>352→136</i>	61	10.5	28	43	4
[ <sup>2</sup> H <sub>5</sub> ] <i>trans</i> -Zeatin 9-riboside	<b>357→224</b>	61	10.5	28	23	4

## 4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des überregionalen IPS-Monitoring Schleswig-Holstein dargestellt. Zunächst wird auf die Witterung der vier Versuchsjahre an den Monitoring-Standorten eingegangen. Anschließend wird das Auftreten der Blattpathogene von 2011 bis 2014 beschrieben sowie die Bedeutung der dominierenden Einflussgröße Witterung auf die Stärke der Epidemie analysiert. Zur detaillierten Darstellung des Einflusses der Witterung fließen Auszüge der vorangegangenen Versuchsjahre von 1995 – 2010 ein. Es wird des Weiteren aufgezeigt, inwiefern mittels Fungizideinsatz nach dem IPS-Modell sowie mit der Sortenwahl das Befallsgeschehen beeinflusst werden kann.

Zudem folgen die Analyse und Interpretation der *in-vivo* und *ex-vivo* Versuche zum Einfluss verschiedener Fungizide auf den Phytohormonhaushalt bzw. dessen phänologische Ausprägung.

### 4.1 Feldversuche

#### 4.1.1 Witterung der Versuchsjahre 1994/1995 bis 2013/2014

Im Folgenden wird das überregionale Witterungsgeschehen in Schleswig-Holstein der Versuchsjahre 1994/1995 bis 2013/2014 dargestellt. Die Darstellung beider Witterungsparameter erfolgte in Form von Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der einzelnen Monate. Es wurden sowohl für die Einzeljahre als auch für das langjährige Mittel die Witterungsdaten aller verfügbaren, über das Land verteilten Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) genutzt, um ein möglichst repräsentatives Bild Schleswig-Holsteins abzubilden. Diese Darstellung ermöglicht es die Witterungsbedingungen an den Versuchsstandorten der einzelnen Versuchsjahre überregional und großräumig einzuordnen. Dabei kommt den Monaten April und Mai eine besondere Bedeutung zu, da sich in diesem Zeitraum die epidemische Phase der Blattpathogene vollzieht. Das Witterungsgeschehen der empfindlichen Entwicklungsstadien wird daher in den nachfolgenden Kapiteln zu den einzelnen Erregern im Besonderen abgebildet.

In Tabelle 11 sind die Niederschlagssummen aller Monate der Jahre 1994/1995 bis 2013/2014 dargestellt. Im Mittel der 20 Jahre fielen im Durchschnitt 816 mm Jahresniederschlag. In der Vegetationsperiode des Jahres 2001/2002 wurde mit 1125 mm der höchste Jahresniederschlag detektiert, da drei Monate (September, Februar und Juli) erheblich über dem Mittelwert lagen. Gleichzeitig war es die einzige Vegetationsperiode, die eine um mehr

als 30 % erhöhte Jahresniederschlagsmenge aufwies. Der niedrigste Wert wurde im Jahr 1995/1996 gemessen. Acht der 12 Monate wiesen Niederschlagsmengen auf, die sich mehr als 30 % unter dem Durchschnitt befanden. Diese andauernde Trockenheit konnte so im betrachteten Zeitraum nicht erneut beobachtet werden.

Des Weiteren ist eine Abnahme an Extremwerten zu beobachten, sodass in den zehn Jahren von 2004/2005 bis 2013/2014 lediglich 56 Monate extreme Niederschlagsabweichungen > 30 % zum Mittelwert aufwiesen. Im Vergleich dazu waren in den zehn Jahren zuvor 75 Monate mit extremer Niederschlagsabweichung zu beobachten.

Tab. 11: Niederschlagssummen (mm) der 20 Vegetationsperioden des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 als Monatssumme sowie die Summe der genannten Jahre in Schleswig-Holstein. Blau bzw. orange sind jene extreme Monate hinterlegt, die mehr als 30 % über bzw. unter dem Durchschnitt lagen

Jahr	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sum.
1994/1995	124	70	60	119	130	83	75	38	55	67	39	41	901
1995/1996	111	31	30	34	2	45	9	18	66	32	52	62	491
1996/1997	51	66	123	41	4	86	47	34	93	67	123	48	783
1997/1998	47	79	37	72	112	32	62	95	33	125	114	78	885
1998/1999	63	182	78	68	78	64	67	37	44	69	49	80	879
1999/2000	62	63	39	184	49	89	79	37	45	66	53	47	813
2000/2001	63	72	45	55	38	56	60	64	36	87	79	105	759
2001/2002	166	51	74	84	80	137	46	54	63	93	178	98	1125
2002/2003	22	126	90	38	53	11	26	54	84	59	59	33	655
2003/2004	48	76	51	65	105	81	42	33	35	113	105	93	847
2004/2005	99	55	69	59	67	56	51	32	75	55	125	63	804
2005/2006	36	62	54	69	25	42	70	65	76	29	39	170	736
2006/2007	37	91	68	68	144	74	54	3	91	123	153	79	985
2007/2008	83	34	67	77	86	48	88	39	13	43	99	150	828
2008/2009	53	126	61	30	32	43	62	16	55	78	112	52	720
2009/2010	43	80	128	73	40	57	57	27	75	49	39	152	820
2010/2011	119	67	133	48	48	63	18	8	43	93	118	178	936
2011/2012	87	62	11	140	104	28	11	45	39	90	118	67	801
2012/2013	78	72	48	100	77	31	17	23	110	96	37	41	730
2013/2014	93	88	71	72	64	43	25	61	79	48	69	110	820
Mittel	74	78	67	75	67	58	48	39	60	74	88	87	816

Zusätzlich kann eine Verschiebung von Regenextremen registriert werden. In der Dekade von 1994/1995 bis 2003/2004 wiesen 11 der 30 Wintermonate (Januar, Februar und März) extrem überdurchschnittliche Niederschlagswerte auf. In den zehn Folgejahren waren es lediglich vier mit stark überdurchschnittlichen Regenmengen. Gleichzeitig stieg jedoch die Anzahl an



## 4. Ergebnisse

überdurchschnittlichen Niederschlagsexremen in den Sommermonaten Juli und August von zwei auf acht an. Eine Änderung der Jahresniederschlagssummen konnte hingegen nicht beobachtet werden, da die geringeren Niederschläge im Winter in den Sommermonaten wieder ausgeglichen wurden. Neben den abnehmenden Winterniederschlagsintensitäten (2004/2005 bis 2013/2014) konnten vor allem vergleichsweise erhebliche Niederschlagsdefizite in den Monaten März und April gemessen werden, auf das im Folgenden noch detaillierter eingegangen wird.

Tab. 12: Temperaturmittelwerte (°C) der 20 Vegetationsperioden des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 als Monatssumme sowie das Mittel der genannten Jahre in Schleswig-Holstein. Rot bzw. grau sind jene extreme Monate hinterlegt, die mehr als 25 % über bzw. unter dem Durchschnitt lagen

Jahr	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Mittel
1994/1995	13,0	7,8	7,1	4,1	1,0	4,5	3,3	7,4	11,2	14,2	18,8	18,8	9,3
1995/1996	13,5	11,9	4,0	-2,4	-2,6	-2,8	0,4	7,9	9,9	14,3	15,5	18,1	7,3
1996/1997	11,9	9,5	4,7	-0,8	-1,6	4,3	4,6	6,3	11,2	15,7	17,8	20,8	8,7
1997/1998	13,5	8,1	4,1	2,9	3,5	5,4	5,2	8,2	13,1	15,4	15,4	15,6	9,2
1998/1999	13,6	8,9	2,1	1,4	3,3	1,3	5,2	8,6	12,4	14,6	18,5	17,1	8,9
1999/2000	17,1	9,6	5,2	3,0	3,2	4,4	4,9	9,3	13,7	15,2	15,3	16,2	9,7
2000/2001	13,7	11,0	7,0	3,9	1,5	1,6	2,3	6,8	12,7	13,7	18,2	17,8	9,2
2001/2002	12,6	12,7	5,4	0,8	3,3	5,1	5,0	7,9	13,4	16,4	17,4	19,8	10,0
2002/2003	14,8	7,8	4,6	-0,2	0,6	-1,1	4,5	8,1	12,8	17,1	19,0	18,8	8,9
2003/2004	14,2	6,2	6,7	3,3	0,4	2,8	4,5	8,8	11,6	14,3	15,9	18,3	8,9
2004/2005	14,1	10,1	5,3	3,3	3,8	0,5	2,8	8,5	12,0	15,1	17,9	15,8	9,1
2005/2006	14,9	11,6	5,7	2,5	-1,2	1,0	0,6	7,3	12,4	16,0	21,1	16,8	9,1
2006/2007	17,0	12,7	8,0	6,7	5,6	3,5	6,9	10,4	12,8	16,6	16,5	17,1	11,2
2007/2008	13,5	9,0	5,1	3,4	4,5	4,5	4,5	7,5	13,3	15,9	17,8	16,9	9,7
2008/2009	13,2	9,7	6,3	2,6	0,4	1,3	4,9	10,8	12,4	14,0	17,8	18,1	9,3
2009/2010	14,6	8,3	8,1	0,9	-3,3	-1,1	4,3	8,1	9,6	14,9	20,0	16,7	8,4
2010/2011	13,1	9,2	4,3	-3,8	1,2	0,8	3,8	10,7	12,7	15,9	16,3	16,6	8,4
2011/2012	14,7	10,0	5,7	4,5	2,7	-0,5	6,4	7,0	12,8	13,8	16,5	17,3	9,2
2012/2013	13,4	9,3	5,9	1,0	1,1	0,2	-0,5	6,7	12,1	14,8	18,2	17,6	8,3
2013/2014	13,3	11,2	5,8	5,0	1,8	4,9	6,5	9,8	12,4	15,5	19,9	16,2	10,1
Mittel	14,0	9,7	5,6	2,1	1,5	2,0	4,0	8,3	12,2	15,2	17,7	17,5	9,1

In Tabelle 12 sind die Monatsdurchschnittstemperaturen aller Monate der Jahre 1994/1995 bis 2013/2014 dargestellt. Im Mittel der 20 Jahre war im Durchschnitt eine Jahresmitteltemperatur von 9,1 °C zu verzeichnen. In der Vegetationsperiode des Jahres 2001/2002 wurde mit 11,2 °C die höchste Jahresmitteltemperatur gemessen. Dies basierte auf sieben aufeinanderfolgende Monaten (Oktober 2006 – April 2007) mit Temperaturen die erheblich (> 25 %) über dem

Mittelwert lagen. Zusätzlich wiesen die Monate September 2006, Mai und Juni 2007 ebenfalls überdurchschnittliche Werte auf.

Die niedrigste Vegetationsmitteltemperatur wurde mit 7,3 °C im Jahr 1995/1996 gemessen, dabei hatten zehn der 12 Monate unterdurchschnittliche Monatsmitteltemperaturen, wobei fünf Monate (November 1995 – März 1996) Temperaturen aufwiesen, die mehr als 25 % unter dem Durchschnitt lagen. Diese andauernde Kälteperiode konnte so im betrachteten Zeitraum nicht erneut beobachtet werden.

Des Weiteren konnte eine Verschiebung der mittleren Februartemperaturen beobachtet werden. Die Durchschnittstemperatur des Februars befand sich in der ersten Dekade von 1995 bis 2004 noch bei 2,6 °C. In der zweiten Dekade war diese dann um 1,1 °C kälter und lag lediglich bei 1,5 °C. Dies spiegelt sich ebenfalls bei der Anzahl an extrem unterdurchschnittlichen Temperaturen wider, sodass in der zweiten Dekade sieben der zehn Werte mehr als 25 % als im Mittel kälter waren. Ein entgegengesetzter Effekt ist für den Monat April zu sehen, auf den in Folgenden detaillierter eingegangen wird.

In Abbildung 10 (oben) ist dargestellt, inwiefern die Einzeljahre hinsichtlich der Monatsmitteltemperatur des Aprils von dem Durchschnitt aller Jahre von 1995 bis 2014 abgewichen sind. Die stärkste negative Abweichung der Apriltemperatur im genannten Zeitraum für Schleswig-Holstein wurde mit – 2,1 °C im Jahr 1997 gemessen, das wärmste Jahr war im Vergleich das Jahr 2009 mit 2,5 °C über dem Mittel. In den ersten zehn Jahren (weißer Hintergrund) wiesen lediglich drei Jahre überdurchschnittliche Monatsmitteltemperaturen im April auf, die jedoch nur geringfügig abwichen. Ein entgegengesetztes Bild zeigte sich in den Folgejahren (grauer Hintergrund), sodass an fünf der zehn Jahre stark erhöhte Apriltemperaturen zu verzeichnen waren. Zusätzlich waren die Temperaturabweichungen in den Jahren 2007, 2009 und 2011 mehr als doppelt so groß als im Jahr 2000, welches den wärmsten April in der ersten Dekade (7,9 °C; weiß) aufwies. Somit ist in der zweiten Dekade (8,7 °C; grau) aufgrund einer doppelt so hohen mittleren Abweichung zur durchschnittlichen Temperatur (8,31 °C) eine Häufung an Extremen mit sehr warmen überdurchschnittlichen und sehr kalten unterdurchschnittlichen Apriltemperaturen zu beobachten. Abschließend kann eine Tendenz zu wärmeren mittleren Apriltemperaturen beobachten werden, obwohl die Schwankungen ebenfalls negativ in den letzten Jahren zunahmen.

Analog zur Temperatur ist in Abbildung 10 (unten), die Abweichung der Niederschlagsmenge des Monats April zum Gesamtmittel aufgezeigt. In der ersten Dekade (weiß) von 1995 bis 2004 war ein Regenüberschuss von durchschnittlich 7,3 mm zu verzeichnen, sodass die gleiche Menge in der zweiten Dekade als Defizit zum Tragen kam. Des Weiteren konnten größere Abweichungen in den ersten zehn Jahren lediglich in vergleichsweise

## 4. Ergebnisse

überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen detektiert werden. Einzig im Jahr 1996 konnten mit minus 21,3 mm höhere Defizite erfasst werden.

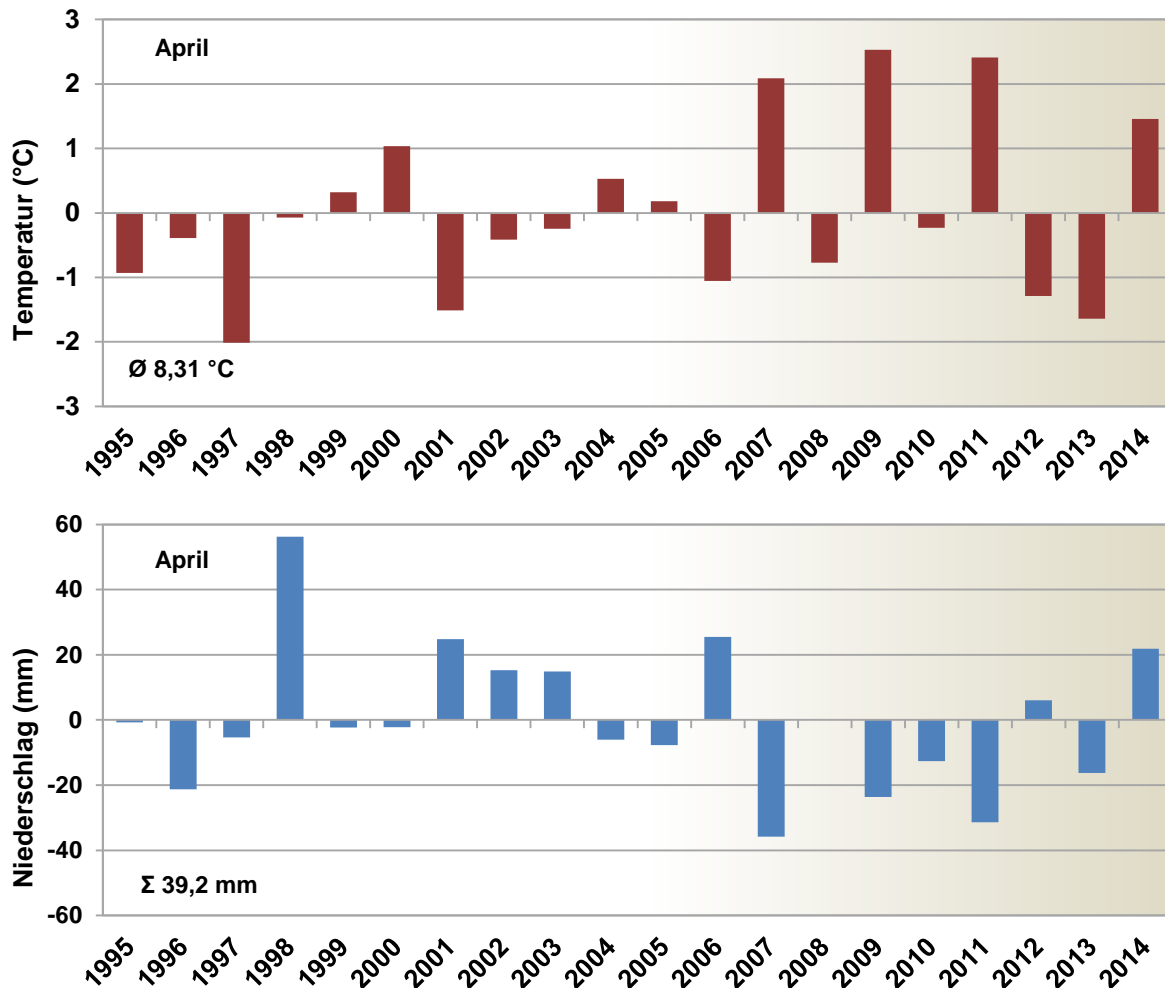


Abb. 10: Abweichung der Temperatur (oben) sowie des Niederschlages (unten) des Monats April der Jahre 1995 – 2014 vom Durchschnitt aller Jahre in Schleswig-Holstein. Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. –summe abgebildet

Im Vergleich war die zweite Dekade (grau hinterlegt) durch fünf zum Teil erhebliche Niederschlagsdefizite und nur zwei Überschüsse in den Jahren 2006 und 2014 geprägt. Auffallend ist ebenfalls die Kontinuität an geringen Niederschlagsmengen von 2009 bis 2011. Der trockenste April in dem betrachteten Zeitraum war der des Jahres 2007 mit lediglich 3,4 mm gefolgt vom Jahr 2011 mit 7,8 mm, welches ein Mangel an 35,8 mm bzw. 31,4 mm im Vergleich zum gesamten Mittel ergibt. Gleichzeitig konnten nur zwei nennenswerte Regenüberschüsse (2006 und 2014) zwischen 2005 und 2014 beobachtet werden. In den Jahren 2007, 2009 und 2011 wurde die Apriltrockenheit zusätzlich noch durch die sehr hohen überdurchschnittlichen Temperaturen verstärkt. Diese Kombination ist in den ersten zehn

Jahren so nicht zu finden. Dort wurde die Trockenheit nicht weiter durch hohe Temperaturen intensiviert. Zusammenfassend war die zweite Dekade durch erheblich stärkere Niederschlagsextreme geprägt wobei die Niederschlagsdefizite deutlich häufiger auftraten, als in der ersten.

In Abbildung 11 (oben) ist, wie bereits für den April, dargestellt inwiefern die Einzeljahre hinsichtlich der Monatsmitteltemperatur für den Monat Mai von dem Durchschnitt aller Jahre von 1995 bis 2014 abgewichen sind.

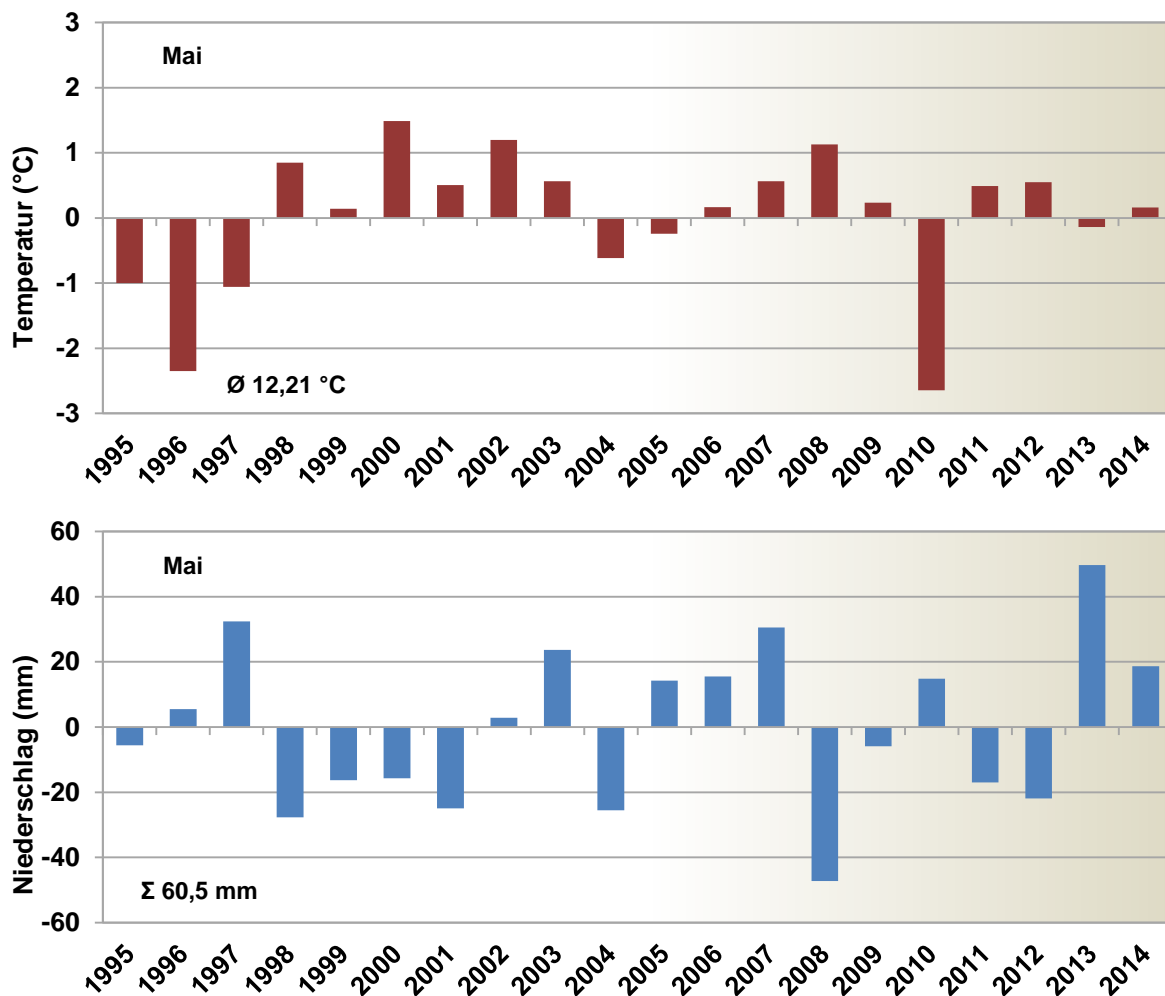


Abb. 11: Abweichung der Temperatur (oben) sowie des Niederschlages (unten) des Monats Mai der Jahre 1995 – 2014 vom Durchschnitt aller Jahre in Schleswig-Holstein.

Die stärkste negative Abweichung der Maitemperatur im genannten Zeitraum für Schleswig-Holstein wurde mit  $-2,6\text{ °C}$  im Jahr 2010 gemessen, welches gleichzeitig eine sehr extreme Abweichung darstellt. Der wärmste Monat war im Vergleich der des Jahres 2000 mit  $1,5\text{ °C}$  über dem Mittel. Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. –summe abgebildet.

## 4. Ergebnisse

In der ersten Dekade (weißer hinterlegt) wiesen die ersten drei Jahre deutlich unterdurchschnittliche Monatsmitteltemperaturen im Mai auf. Ein entgegengesetztes Bild zeigte sich in den Folgejahren von 1998 bis 2003, in denen stets und zum Teil stark erhöhte Maitemperaturen zu verzeichnen waren. In der zweiten Dekade (grau hinterlegt) wiesen lediglich drei Jahre (2005, 2010 und 2013) unterdurchschnittliche Temperaturen auf, wobei nur der Mai des Jahres 2010 ein Extrema aufzeigt. Eine positive Abweichung mit einer wärmeren Durchschnittstemperatur von  $> 1^{\circ}\text{C}$  war ausschließlich im Jahr 2008 zu sehen. Derartige wiederkehrende extreme Temperaturabweichung wie es im April zu beobachten war, gab es in diesem Ausmaß lediglich in den Jahren 1996 und 2010, wobei diese Abweichungen stets unterdurchschnittlich waren. Somit ist eine sich verändernde Tendenz der Temperatur im Mai nicht zu erkennen.

Die Abbildung 11 (unten) zeigt die Abweichung der Niederschlagsmenge des Monats Mai zum Gesamtmittel. In der ersten Dekade (weiß) von 1995 bis 2004 fielen durchschnittlich 10,2 mm weniger Niederschlag als in den zehn Folgejahren.

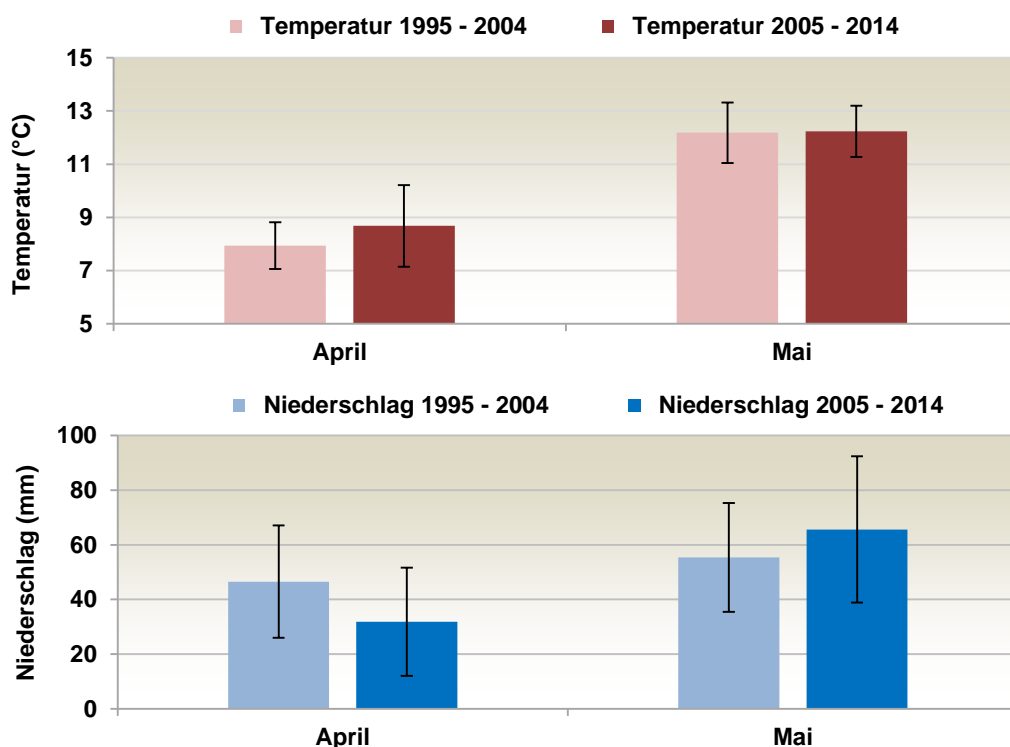


Abb. 12: Temperatur (oben) sowie Niederschlag (unten) der Monate April und Mai als Mittelwert der Dekaden von 1995 bis 2004 und 2005 bis 2014 in Schleswig-Holstein. Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. -summe sowie zusätzlich mit der Standardabweichung abgebildet

Sowohl die erste als auch die zweite Dekade waren zum Teil starken Schwankungen unterworfen, wobei die größten Extreme in der zweiten Dekade im Jahr 2008 ( $-47,3$  mm) und

2013 (+49,8 mm) zu verzeichnen waren. Anders als im April ist im Mai die Tendenz zu erkennen, dass in der zweiten Dekade höhere Niederschlagsmengen gefallen sind. Die Tendenz ist jedoch nicht so stark ausgeprägt, wie die abnehmende Niederschlagstendenz des Aprils. Temperatur (°C) und Niederschlag (mm) sind als Monatsmittel bzw. –summe sowie zusätzlich mit der Standardabweichung abgebildet

Wie in Abbildung 12 (oben) dargestellt, ist die mittlere Temperatur für den April in der zweiten Dekade um 0,8 °C wärmer als die der ersten Dekade. Anhand der fast doppelt so hohen Standardabweichung in der zweiten Dekade, kann dabei nicht von stetiger Erwärmung ausgegangen werden. Es wurden diesbezüglich ebenfalls extrem kühle Temperaturen gemessen. Dieser stärker variierende und ansteigende Temperaturtrend konnte so im Mai nicht detektiert werden. Im Gegensatz zum Monat April steigt die Temperatur nicht an und zusätzlich sinkt die Standardabweichung im Vergleich der beiden Dekaden, sodass die Temperatur konstanter war. Durch die mittlere Temperaturzunahme im April und der gleichbleibenden Temperatur im Mai waren die vorangegangenen Frühjahre im Vergleich zur ersten Dekade wärmer. In Abbildung 12 (unten) ist festzustellen, dass der mittlere Niederschlag im April in der zweiten Dekade im Durchschnitt um etwa 15 mm geringer war als in den Vorjahren. Die zusätzliche Abnahme der Standardabweichung bestätigt die Kontinuität der gesunkenen Niederschlagsmengen. Im Mai war Gegenteiliges zu beobachten, sodass in der zweiten Dekade etwa 10 mm mehr Niederschläge fielen als im Mittel der zehn Jahre zuvor. Dies kompensiert jedoch im Mittel nicht die Abnahme der 15 mm Niederschlagsmenge im April, sodass die Frühjahre zusätzlich ebenfalls im Vergleich trockener waren.

#### **4.1.2 Entwicklungsstadien der Jahre 1995 - 2014**

Innerhalb des betrachteten Zeitraums des IPS-Monitorings war der durchschnittliche Schossbeginn (EC 30) am 21. April und variierte gemittelt über die Standorte von 03. April im Jahr 2007 bis zum 06. Mai in den Jahren 1996 und 2013 (Abbildung 13). Im Jahr 2007 war der Schossbeginn soweit verfrüht, dass zum Zeitpunkt des mittleren Schossbeginns 18 Tage später bereits das Zwei-Knoten-Stadium (EC 32) erreicht wurde. Im Gegensatz dazu wiesen die Jahre 1996 und 2013 eine drei bzw. vierwöchige Verzögerung im Vergleich auf. Ein deutlich verfrühter Schossbeginn von 10 Tagen konnte ebenfalls in den Jahren 2000 und 2014 diagnostiziert werden. Für die Jahre 1997 und 2006 wurde ein verzögerter Schossbeginn von sieben Tagen beobachtet. Von 2010 bis 2013 konnte viermal in Folge ein verzögerter Beginn des Schossens detektiert werden. Im Gegensatz dazu stehen die Jahre 2007 bis 2009, in denen die Halmstreckungsphase vergleichsweise früh einsetzte.

## 4. Ergebnisse

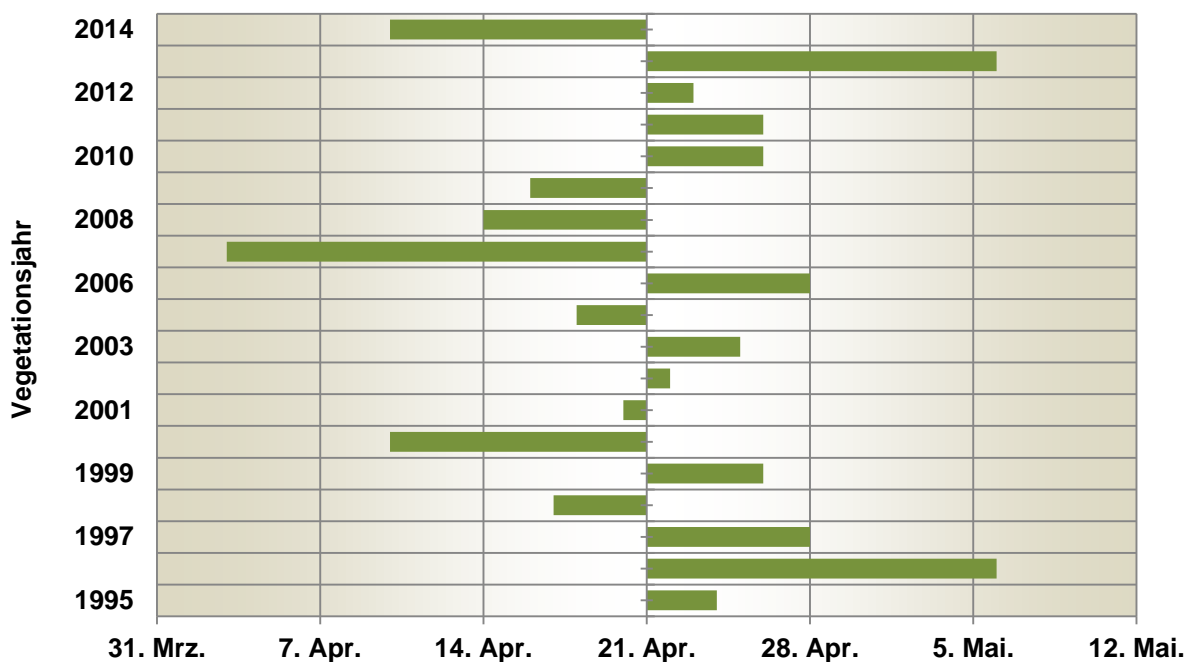


Abb. 13: Abweichung des Schossbeginns (EC 30) in den Jahren 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre. Die Einzeljahre sind über die Standorte gemittelt

In Abbildung 14 ist die Beziehung zwischen der Temperatursumme in Gradtagen des Gebietsmittels für Schleswig-Holstein vom September bis April zu dem mittleren Schossbeginn des IPS-Monitorings dargestellt.

Bei der Betrachtung des Einflusses der Temperatursumme auf den Beginn der Schossphase, ist eine deutliche Korrelation zwischen der Temperatursumme und dem Beginn des Schossens zu verzeichnen. Der Korrelationskoeffizient von  $R = 0,93$  unterstreicht die sehr enge Beziehung der zwei Variablen. Somit besteht die Möglichkeit von der betrachteten Temperatursumme (September – April) unmittelbar auf den Schossbeginn zu schließen.

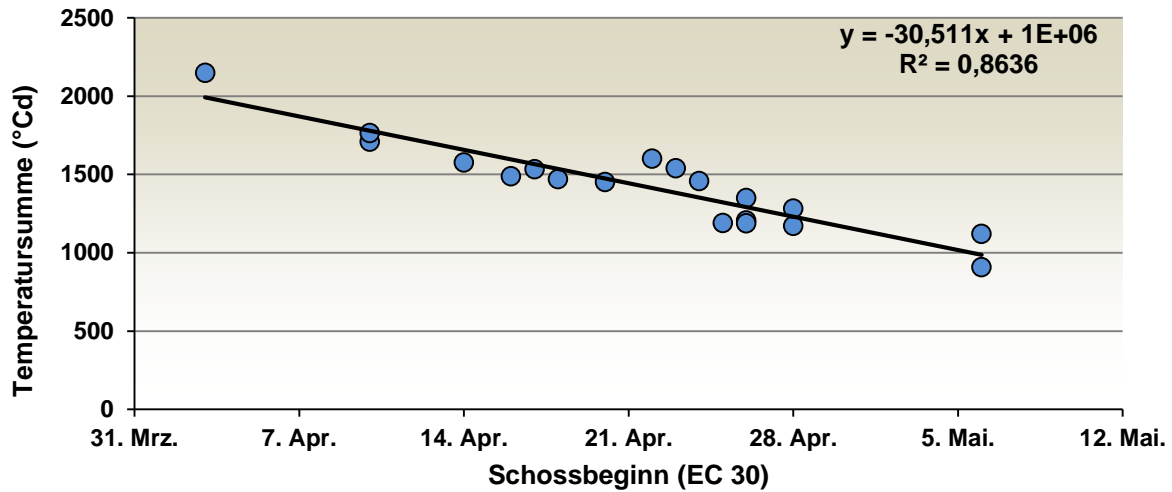


Abb. 14: Beziehung zwischen dem Erreichen des Schossbeginns (EC 30) und der Temperatursummen (Gradtage °Cd) von September bis April für Schleswig-Holstein in den Jahren 1995 bis 2014

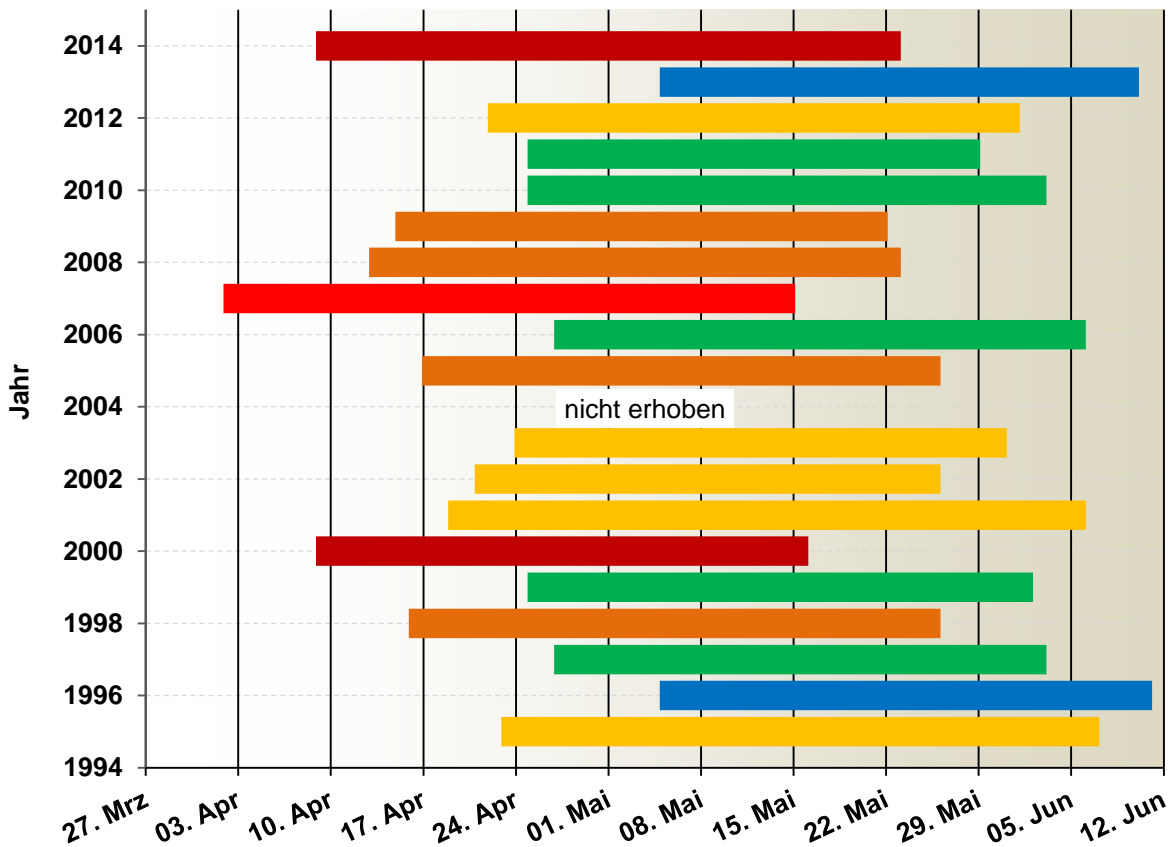


Abb. 15: Zeitlicher Verlauf sowie Dauer der Schossphase (EC 30 - 39) von 1995 bis 2014, als Mittel der Standorte für die Einzeljahre. Im Jahr 2004 fand kein Monitoring statt und findet somit keine Darstellung

In Abbildung 15 ist der Zeitpunkt und zeitliche Verlauf der Schossphase gemittelt über die Standorte dargestellt. Unabhängig des Jahres befanden sich die Bestände des IPS-



## 4. Ergebnisse

Monitorings stets in den ersten beiden Maiwochen in der Schossphase. Des Weiteren zeigt der Beginn dieses Zeitraums eine höhere Varianz als deren Ende. Somit variierte die Dauer in Abhängigkeit des zeitlichen Auftretens. Abhängig von dem Beginn dauerte die Schossphase (EC 30 bis 39), in der die letzten vier Blätter (F-3 bis Fahnenblatt) gebildet werden, im Mittel zwischen 32 und 46 Tagen. Dabei lag der Durchschnitt bei 38 Tagen. Je früher der Schossbeginn einsetzt, umso länger dauert die Phase an.

Die Beziehung zwischen dem Beginn und dem Ende der Schossphase verdeutlicht mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R = 0,906$  eine sehr enge lineare Korrelation zwischen dem Beginn und dem Ende der Schossphase (Abb.16). Darüber hinaus zeigt die Formel

$$(y = 0,8107x + 7941,9)$$

der linearen Regression, dass pro Tag verzögerter Schossbeginn ( $x+1$ ) das Ende der Schossphase sich nicht um einen Tag, sondern lediglich um 0,81 Tage verschiebt, sodass sich die Schossphase im zeitlichen Verlauf ihres Auftretens verkürzt.

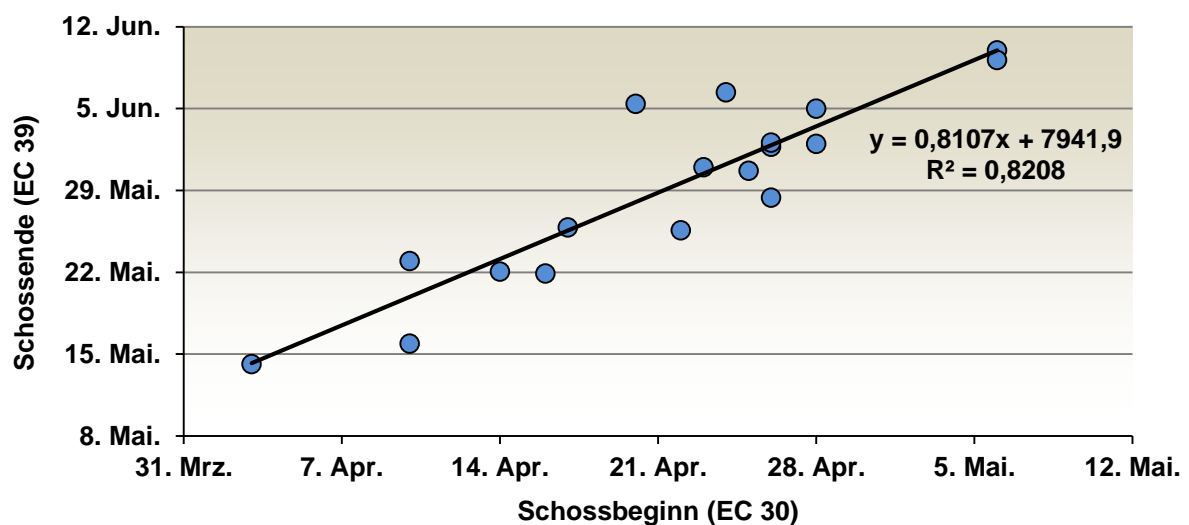


Abb. 16: Beziehung zwischen dem Beginn (EC 30) sowie dem Ende (EC 39) des Schossens in den Jahren 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte

Im weiteren Verlauf verkürzt sich der Zeitraum vom Ende des Schossens bis zum Erreichen der späten Milchreife in Abhängigkeit des Auftretens erneut. Der Zusammenhang zwischen dem Ende der Schoss bzw. Milchreife (Abb. 17) verdeutlicht, dass im Vergleich nur 72 % der Fallstudien durch das Modell erklärt werden können. Wird dementsprechend das Ende des Schossens sehr früh wie im Jahr 2007 (14. Mai) erreicht, dann dauert die Periode bis zum Erreichen der späten Milchreife etwa 42 Tage. Vergleichend dazu dauert die gleiche Periode nur etwa 33 Tage, wenn diese erst am 10. Juni erreicht wurde wie im Jahr 1996. Infolgedessen wird der verzögerte Vegetationsbeginn sowohl in der Schossphase als auch in dem sich

anschließenden Zeitraum bis zur späten Milchreife zum Teil kompensiert. So werden zwischen dem frühesten Beginn der Schossphase (04. April; 2007) bis zum spätesten Beginn (06. Mai; 1996 und 2013) im Verlauf der folgenden Vegetation bis zur späten Milchreife im Durchschnitt 3,8 Tage pro Woche zeitliche Verzögerung kompensiert. Bei dem Vergleich der extremen Jahre 2007 zu 2013 wurden von den 33 Tagen des späteren Schossbeginns im Jahr 2013 wurde die folgende Vegetationszeit 18 Tage schneller durchlaufen, sodass die späte Milchreife lediglich 15 Tage später erreicht wurde.

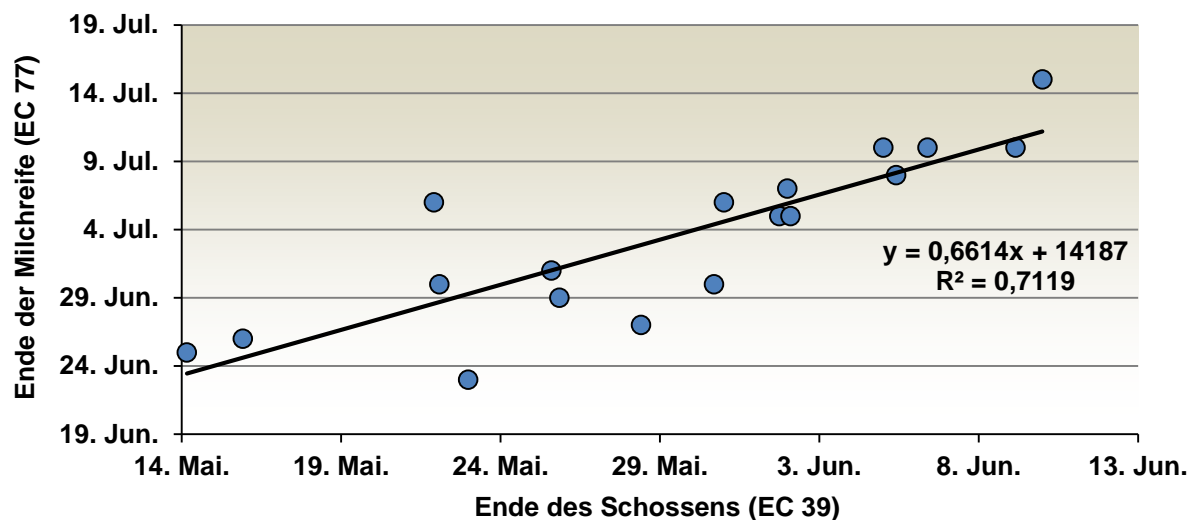


Abb. 17: Zusammenhang zwischen dem Ende der Schossphase (EC 39) sowie dem Erreichen der späten Milchreife (EC 77) in den Jahren 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte

#### 4.1.3 Auftreten von *Septoria tritici* in der unbehandelten Kontrolle

Der Erreger der Blattdürre an Weizen *Septoria tritici* (Desm.) konnte in jedem Jahr des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein vom 1995 bis 2014 detektiert werden, sodass dieser als Hauptschadpathogen gilt. In den folgenden Kapiteln wird die Bedeutung des Pathogen ausführlich dargestellt.

##### 4.1.3.1 Populationsdynamische Befallsentwicklung von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrolle im IPS-Monitoring Schleswig-Holstein 2011 bis 2014

Wie in den Jahren zuvor konnte *Septoria tritici* in den Jahren 2011 bis 2014 an jedem der Standorte diagnostiziert werden. Vor allem in den Jahren 2012 und 2014 trat der Erreger in

## 4. Ergebnisse

sehr hohen Befallsstärken auf, sodass diese an allen Standorten überdurchschnittlich im Vergleich zur gesamten Langzeitstudie von 1995 bis 2014 waren.

Dazu ist in Abbildung 18 die überregionale Endbefallsstärke zu EC 77/83 mittels Geografischem Informationssystem dargestellt.

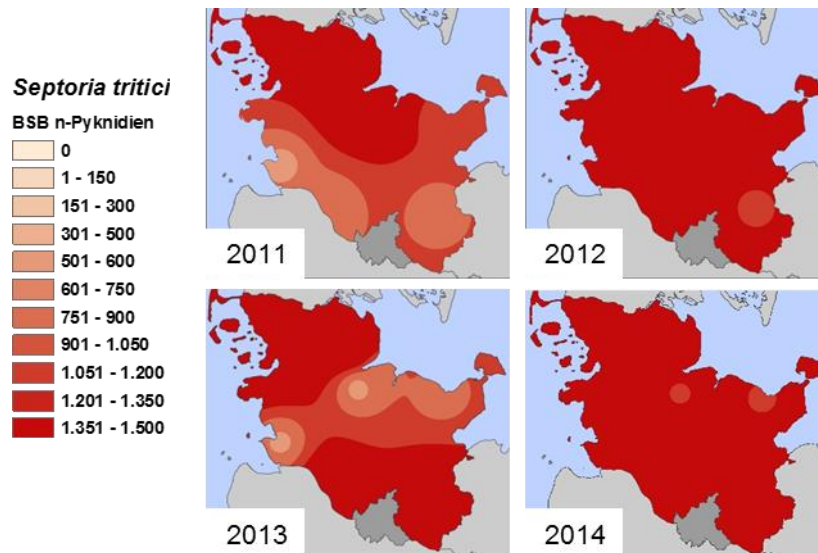


Abb. 18: Endbefallsstärke von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrollen zu EC 77 (SUM BSB; F-6 bis F) im überregionalen IPS-Monitoring Schleswig-Holstein 2011 bis 2014. Darstellung mittels GIS

Die im Folgenden benannten Infektionsereignisse für *Septoria tritici* sind wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben mit  $\geq 98\%$  Blattnässe für einen Zeitraum von mehr 36 Stunden definiert (ANONYM, 2005). Inwiefern diese Definition eines Infektionsereignisses in den letzten vier Jahren von 2011 bis 2014 einen Pyknidienanstieg von mehr als 100 Pyknidien nach Ablauf der Latenzzeit zutreffend prognostiziert, findet in Abbildung 19 Darstellung. Folgt somit auf ein definiertes Infektionsereignis ein Anstieg von mehr als 100 Pyknidien gilt dieses als richtig prognostiziert. Gibt es im Umkehrschluss einen vergleichbaren Anstieg ohne ein vorrangegangenes Infektionsereignis, dann stellt dies eine Fehldiagnose dar. Die Fallstudie eines Infektionsereignisses ohne anschließenden Anstieg konnte nicht beobachtet werden, sodass die Fehldiagnose auf unerkannten Infektionsereignissen beruht. Im Jahr 2011 wurden von 26 Befallsanstiegen als Summe über alle Standorte, 25 durch das definierte Infektionsereignisse erkannt. Lediglich ein Pyknidienanstieg konnte nicht mit einem prognostizierten Infektionsereignis begründet werden. Gleiches gilt für die Jahre 2012 und 2014 in denen 20 der 21 bzw. 26 der 27 Befallsanstiege erkannt wurden. Im Jahr 2013 wurden alle Anstiege anhand der definierten Infektionsereignisse richtig prognostiziert.

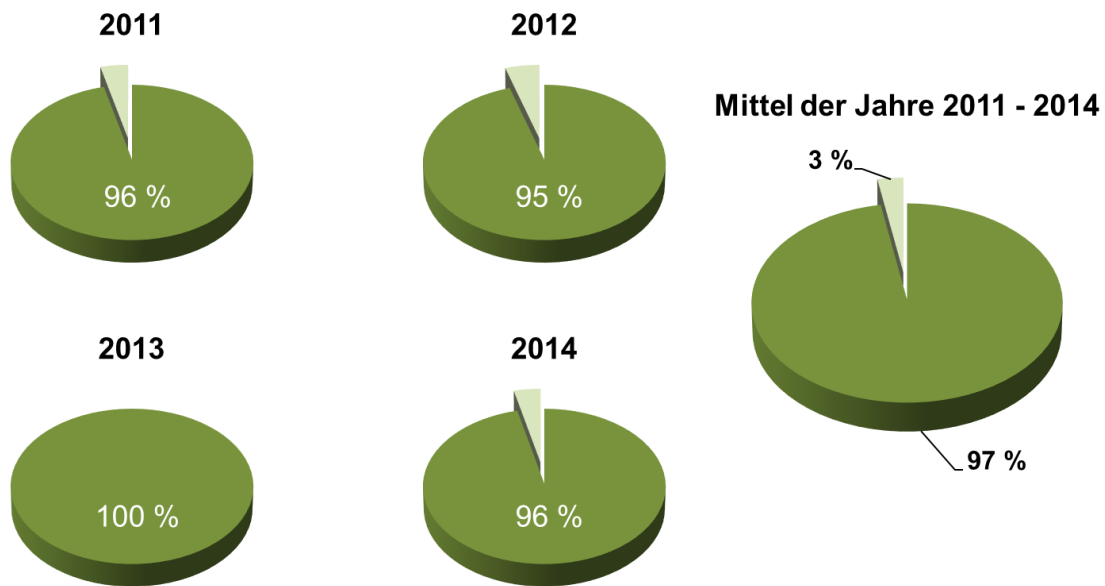


Abb. 19: Treffergenauigkeit der Prognose eines Infektionsereignisses ( $\geq 98$  %Blattnässe über  $\geq 36$  h) für *Septoria tritici* mit einer anschließenden Befallszunahme von  $\geq 100$  Pyknidien (SUM BSB) anhand der Jahre 2011 bis 2014

Somit wurden zusammenfassend 104 der 107 (97 %) Befallsanstiege richtig anhand des definierten Infektionsereignisses erkannt und bestimmt. Lediglich 3 % der Befallsanstiege konnten keinem definierten Infektionsereignis zu geordnet werden.

Zur Dokumentation der überregionalen Unterschiede werden im Folgenden jeweils zwei Fallstudien der Jahre 2011 bis 2014 dargestellt.

## 2011

In Abbildung 20 sind exemplarisch zwei Fallstudien des Jahres 2011 für die Standorte Kastorf (links) und Klvensiek (rechts) aufgezeigt. An beiden Standorten stellte sich der Ausgangsbefall auf vergleichsweise geringem Niveau dar. Durch die vorherrschende lange Frühjahrstrockenheit bis Mitte Mai konnten zu Beginn der Bonitur (25.04.) keine Infektionsereignisse festgestellt werden. Am 16. Mai (EC 37) wurde im Zusammenhang mit den einsetzenden Niederschlägen an beiden Standorten erstmalig ein Infektionsereignis dokumentiert. Erst nach Ablauf der Latenzzeit von etwa vier Wochen (roter Pfeil) am 13. Juni (EC 69) konnte ein Befallszuwachs bzw. ein Erstaufreten des Erregers auf den nächst höher inserierten Blattetagen F-3 und F-2 am Standort Kastorf und F-3 bis zum Fahnenblatt (F) am Standort Klvensiek beobachtet werden. Dabei ist das Erreichen der höher gelegener Blattetagen F-1 und F in Klvensiek auf die höhere Niederschlagintensität zurückzuführen.

## 4. Ergebnisse

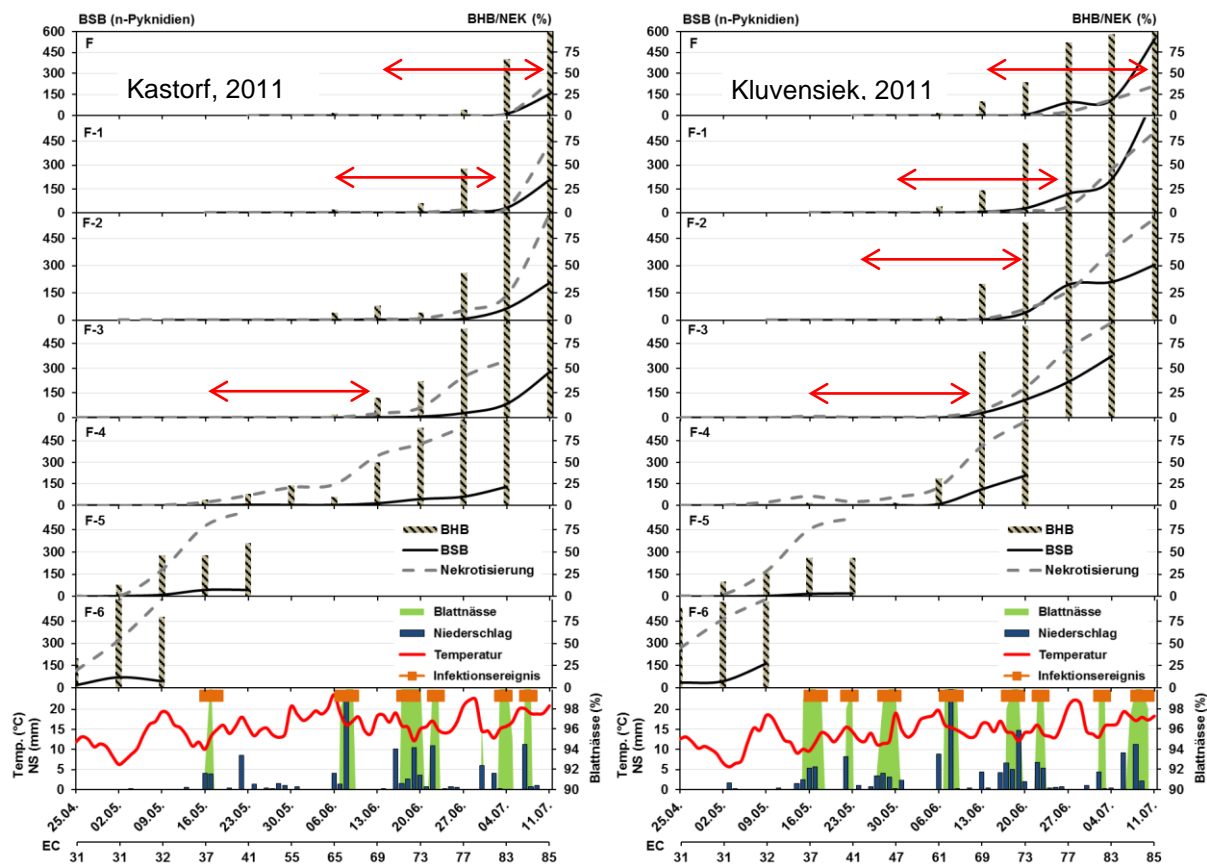


Abb. 20: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kastorf (links) und Kluvensiek (rechts) im Vegetationsabschnitt 25. April bis 11. Juli 2011 in Abhängigkeit der Witterung

Aufgrund der sich anschließenden Regenereignisse am Standort Kluvensiek konnten am 24. Mai sowie am 30. Mai zwei weitere Infektionsereignisse beobachtet werden, die nach ihrer jeweiligen Latenzzeit am 20. und 27. Juni eine weiteren Anstieg der Befallsstärke auf 535 Pyknidien (SUM BSB) auf den ertragsessenziellen Blattetagen F-2 bis F induzierten. Zum gleichen Zeitpunkt lag der Befall am Standort Kastorf, an dem die Infektionsereignisse nicht detektiert wurden, bei lediglich 110 Pyknidien. Am 06. Juni (EC 61/65) konnte erneut zeitgleich an beiden Standorten ein Infektionsereignis aufgezeichnet werden, welches wiederum nach Ablauf der *Septoria tritici*-spezifischen Latenzzeit einen Befallsanstieg von 461 in Kastorf und um 1058 Pyknidien (SUM BSB; F-2 bis F) zur Folge hatte.

Diese stärkere Befallszunahme am Standort Kluvensiek konnte auf das doppelt so hohe Ausgangsinokulum zum Zeitpunkt der Infektion zurückgeführt werden, welches aufgrund des zusätzlichen Infektionsereignisses vom 23. Mai vorhanden war.

Am Ende der Bonitur (EC 85), der Teigreife des Weizens, lag der Endbefall in Kluvensiek trotz des gleichen Ausgangsbefalls zu Beginn um 1100 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F) höher als in Kastorf. Gleichzeitig fielen in der Boniturperiode vom 25. April bis zum 11. Juli am Standort Kluvensiek 55 mm mehr Niederschlag als im Vergleich in Kastorf.

**2012**

Das Jahr 2012 war durch einen im Mittel dreimal höheren Endbefall geprägt als das des Jahres 2011. Somit lag das Befallsniveau an allen Standorten deutlich über dem des Vorjahres. Wie bereits für das Jahr 2011 werden exemplarisch zwei Fallstudien des Jahres 2012 dargestellt (Abb. 21). Die Fallstudien sind den Standorten Kastorf (links) und (Loit) rechts entnommen.

Zu Beginn der Bonitur am 23. April (EC 30) befand sich der Ausgangsbefall am Standort Loit auf sehr geringem Niveau und unter dem des Ausgangsinokulums des Standortes Kastorf (Abb. 20; links). Vergleichend zum Standort Kastorf konnte in Loit bereits frühzeitig (24.04.) ein Infektionsereignis nachgewiesen werden. Dies führte nach der Latenzzeit (roter Pfeil) am 21. Mai (EC 37) zu einem Befallsanstieg von 457 Pyknidien (SUM BSB) auf den Blattetagen F-5 bis F-3.

Vom 09. bis 11. Mai konnte an beiden Standorten aufgrund von erneuten Niederschlägen, welche in Loit deutlich stärker ausfielen, ein Infektionsereignis beobachtet werden. Dieses hatte zur Folge, dass am 11. Juni (EC 55 bzw. 65) an beiden Standorten ein Befallsanstieg zu verzeichnen war. Jedoch war der Anstieg am Standort Loit mit 310 Pyknidien (SUM BSB; F-3 bis F-1) um das Siebenfache größer als in Kastorf, was auf das höhere Ausgangsinokulum bzw. die höheren Niederschlagsintensitäten zurückzuführen ist. Gleichzeitig wurden die zum Zeitpunkt der Infektion vorhandenen Blattinsertionen F-2 und F-1 erstmalig infiziert.

Zum Zeitpunkt des Sichtbarwerdens des Befallsanstiegs der vorrangegangenen Infektion schloss sich erneut ein neues Infektionsereignis (10./11. Juni; EC 55/65) an beiden Standorten an. In Kastorf kam es somit am 09. Juli zu einem erneuten Befallsanstieg von 663 Pyknidien (SUM BSB; F-3 bis F), hingegen am Standort Loit die Auswirkung des Infektionsereignisses eine Woche früher beobachtet werden konnte. Bereits am 02. Juli resultierte ein Pyknidienzunahme von 1036 Pyknidien welcher in der Folgewoche um 724 Pyknidien (SUM BSB; F-3 bis F) anstieg.

Bis zum Ende der Bonitur (16.07) war am Standort Kastorf kein weiterer Befallsanstieg zu verzeichnen. In Loit hingegen kam es aufgrund eines Infektionsereignisses am 18. Juni (EC 65) in der letzten Boniturwoche (09. – 17.07.; EC 85) nochmals zu einer Befallszunahme von 405 Pyknidien auf den ertragsessenziellen Blattetagen (F-1 und F).

Im Vergleich zum Standort Kastorf überstieg der aufsummierte Endbefall des Standortes Loit den Befallsgrad um 2513 Pyknidien über den gesamten Blattapparat (F-6 bis F); zurückzuführen auf drei weitere Infektionsereignisse am Standort Loit.

## 4. Ergebnisse

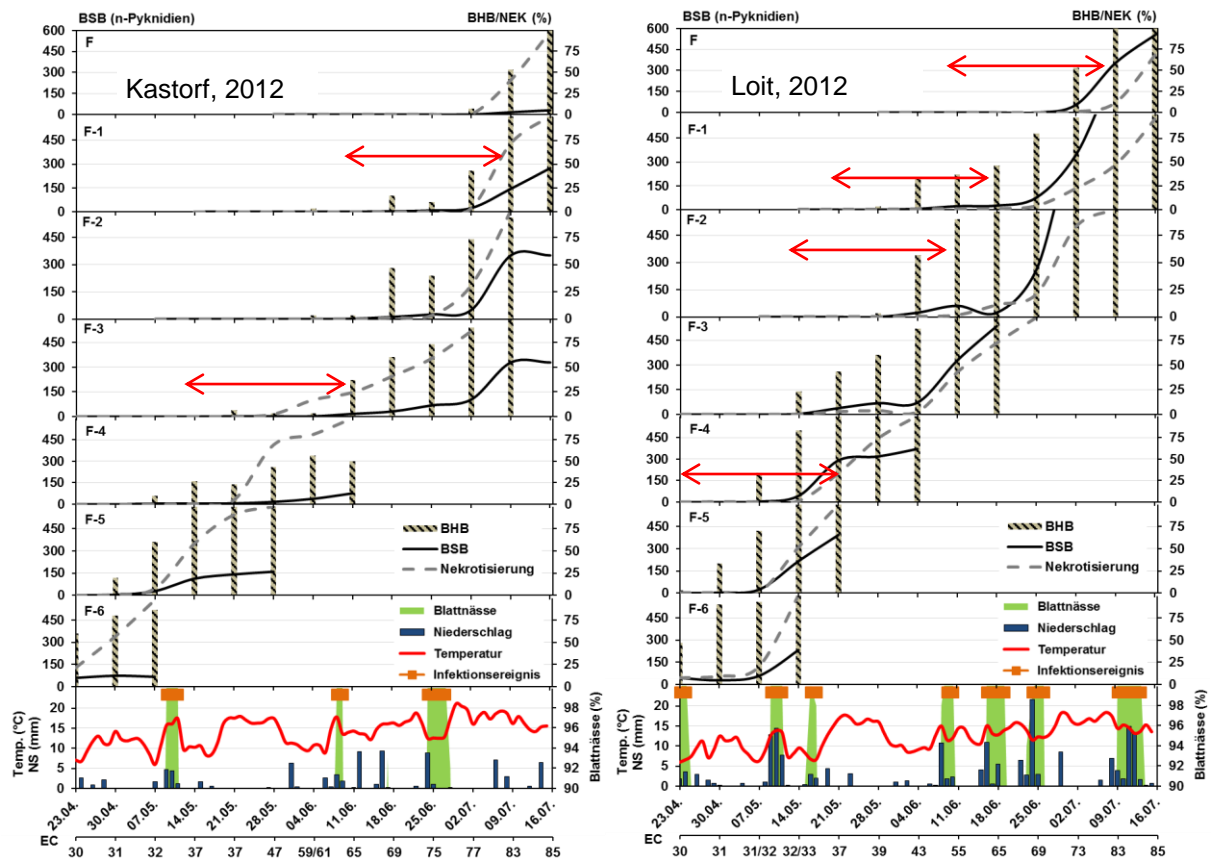


Abb. 21: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kastorf (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 in Abhängigkeit der Witterung

## 2013

In 2013 begann die Boniturperiode und somit auch die Vegetation deutlich später als in den Jahren zuvor. Zurückzuführen war dies auf die langanhaltende Kälte im Winter und im Frühjahr. Dabei lagen die Temperaturen von Dezember bis einschließlich April deutlich unter dem langjährigen Mittel (vgl. Tab. 12).

In der folgenden Abbildung 21 sind exemplarisch zwei Fungizid-unbehandelte Fallstudien des Jahres 2013 der Standorte Kluvensiek (links) und Loit (rechts) aufgezeigt. An beiden Standorten stellte sich der Ausgangsbefall auf vergleichsweise geringem Niveau dar. Durch die vorherrschende lange Frühjahrstrockenheit bis Anfang Mai wurden zu Beginn der Bonitur keine größeren Befallsanstiege bonitiert.

Am 06. Mai (EC 37) konnte mit den einsetzenden Niederschlägen am Standort Loit erstmalig eine Infektionsphase detektiert werden, welche mit nur wenigen Unterbrechungen bis zum 30. Mai anhielt. In dem angesprochenen Zeitraum wurde eine Niederschlagssumme von 94,5 mm innerhalb von 24 Tagen festgestellt. Diese Regenmengen waren extrem überdurchschnittlich und so für den Mai in der Langzeitstudie von 1995 bis 2014 einzigartig. Erst nach Ablauf der Latenzzeit von etwa vier Wochen (roter Pfeil) am 03. Juni (EC 37/39) konnte ein

Befallszuwachs bzw. ein Erstauftreten des Erregers auf den nächst höher inserierten Blattetagen F-4 bis F-2 beobachtet werden. Dieser Befallsanstieg zog sich aufgrund der kontinuierlich aufeinander folgenden Infektionen durch kontinuierliche Übertragung von Pykno­sporen während der starken Niederschlagsphase über vier Wochen bis zum 01. Juli auf obere Blattinsertionen fort, sodass jede Woche ein Progressionsanstieg zu beobachten war und zusätzlich die Blattetage F-1 erstmalig besiedelt wurde.

Ein anderes Befallsbild stellte sich am Standort Kluvensiek dar, an dem es erst am 20./21. Mai zu einem Niederschlagsereignis kann, aus dem ein Infektionsereignis resultierte. Ein zweites Infektionsereignis konnte bereits eine Woche später detektiert werden. Das erste Ereignis führte nach etwa vier Wochen im Rahmen der Latenzzeit zu einem „sudden outbreak“, einem plötzlichen Auftreten der Fruchtkörper (Pyknidien) von *Septoria tritici* auf den vier Blattetagen F-4 bis F-1.

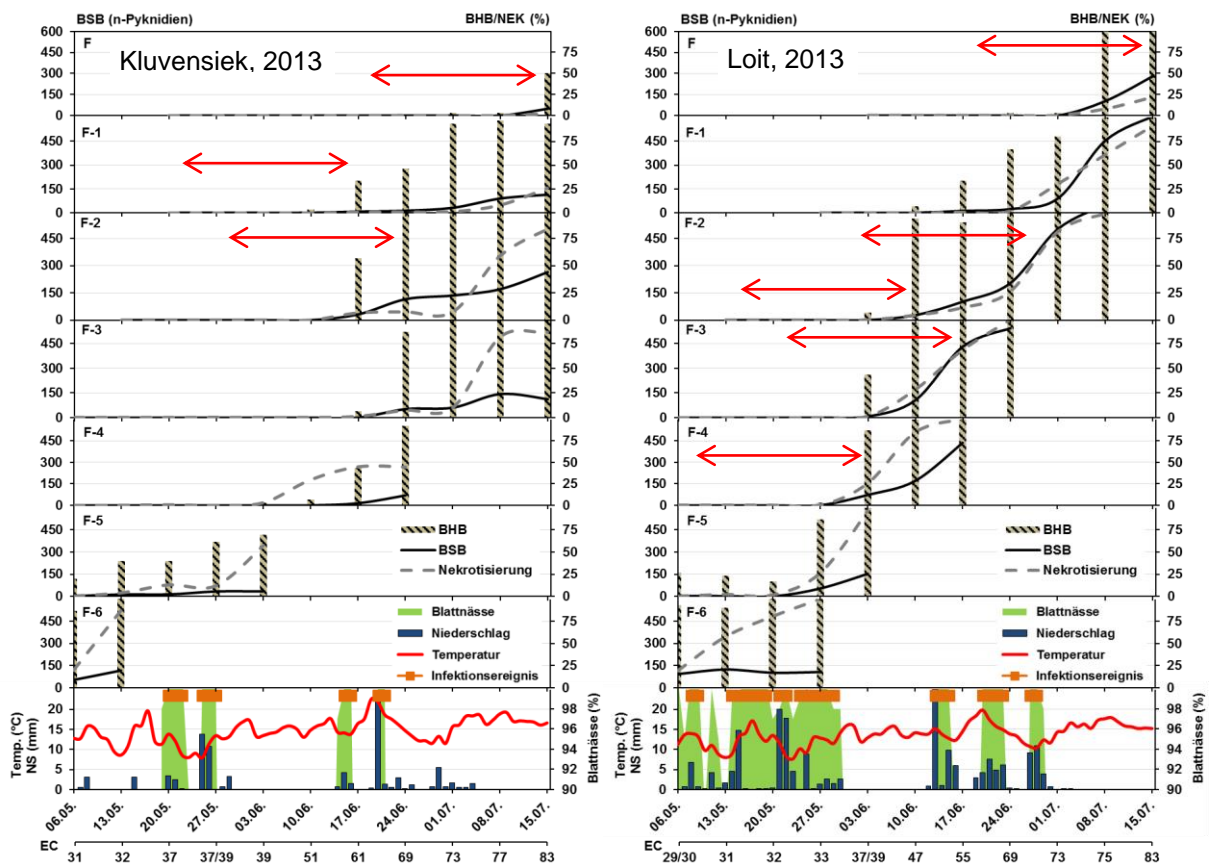


Abb. 22: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 06. Mai bis 15. Juli 2013 in Abhängigkeit der Witterung

Das zweite kurz darauf folgende Infektionsereignis (25. – 27. Mai) ließ den Befall auf den neubesiedelten Blattetagen (F-4 bis F) weiter steigen. Jedoch lag der Befallsanstieg bis zum 24. Juni (EC 69) in Kluvensiek mit lediglich 400 Pyknidien vergleichend zum Standort Loit mit



1207 Pyknidien (SUM BSB; F-4 bis F-1) auf geringerem Niveau, was auf die lang anhaltende, befallsfördernde Infektionsperiode zurückzuführen ist.

In der Zeit vom 17. bis zum 24. Juni konnten an beiden Standorten erneut zwei Infektionsereignisse aufgezeichnet werden, welche im Folgenden zur Erstinfektion des Fahnenblattes und am 15. Juli (EC 83) zu einem weiteren Anstieg der Befallsstärken auf F-1 und dem Fahnenblatt führten. Dabei lag die Befallszunahme in Loit, aufgrund des höheren Ausgangsbefalls zum Zeitpunkt der Infektion, mehr als doppelt so hoch wie in Kluvensiek.

Am Ende der Bonitur überstiegen die Niederschlagsmengen (193 mm) während der Bonitur und der Endbefall (2761 Pyknidien) aller Blattetagen (SUM BSB; F-6 bis F) des Standortes Loit die des Standortes Kluvensiek (90 mm; 760 Pyknidien) deutlich.

## 2014

Der Winter und das Frühjahr des Jahres 2014 war vergleichend zum Vorjahr durch sehr überdurchschnittliche Temperaturen geprägt (Tab. 12), sodass die Vegetation (Schossbeginn) vergleichsweise sehr früh im Jahr einsetzte.

Zur Darstellung der populationsdynamischen Befallsentwicklung des Jahres 2014 finden exemplarisch zwei Fallstudien der unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek (links) und Kastorf (rechts) in Abbildung 23 Darstellung.

Die Ausgangsbefälle der beiden Standorte direkt zu Boniturbeginn am 14. April befanden sich auf einem geringen Niveau. Innerhalb der ersten zwei Wochen kam es jedoch zu deutlichen Befallszuwächsen, sodass im Stadium EC 32 (28. April) vor allem in Kastorf (654 Pyknidien) stark überdurchschnittliche Befallsstärken bonitiert wurden.

Im Gegensatz zum Standort Kluvensiek konnte in Kastorf zu Beginn der Schosshase (14. April; EC 31) ein Infektionsereignis festgestellt werden. Dies führte nach Ablauf der Latenzzeit zur Erstinfektion der Blattetage F-3, auf dem der Befall bis zum 12. Mai (EC 37) um 200 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F-3) anstieg.

Am 23. April wurde an beiden Standorten ein Infektionsereignis registriert, welches im Rahmen der Latenzzeit von vier Wochen die Primärinfektion (19.05.) der Blattetagen F-3 und F-2 am Standort Kastorf induzierte. Am Standort Kluvensiek konnte die Erstbesiedlung der Blattetagen F-3 bis F-1 vergleichend zu Kastorf erst eine Woche später (26.05.) bonitiert werden. Neben den jeweiligen Primärinfektionen kam es an beiden Standorten zwischen dem 19. und 26. Mai zu einer weiteren Zunahme von Fruchtkörpern auf der Blattinsertion F-4.

In der Woche vom 05. bis zum 12. Mai regnete es an beiden Standorten täglich so stark, sodass eine Infektionsphase von sechs Tagen entstand, ohne dass ein Abtrocknen des Bestandes diese unterbrach. Da zu diesem Zeitpunkt bereits Teile des Fahnenblattes gebildet waren, konnte am 09. Juni (EC 65) die Erstbesiedlung des Fahnenblattes beobachtet werden.

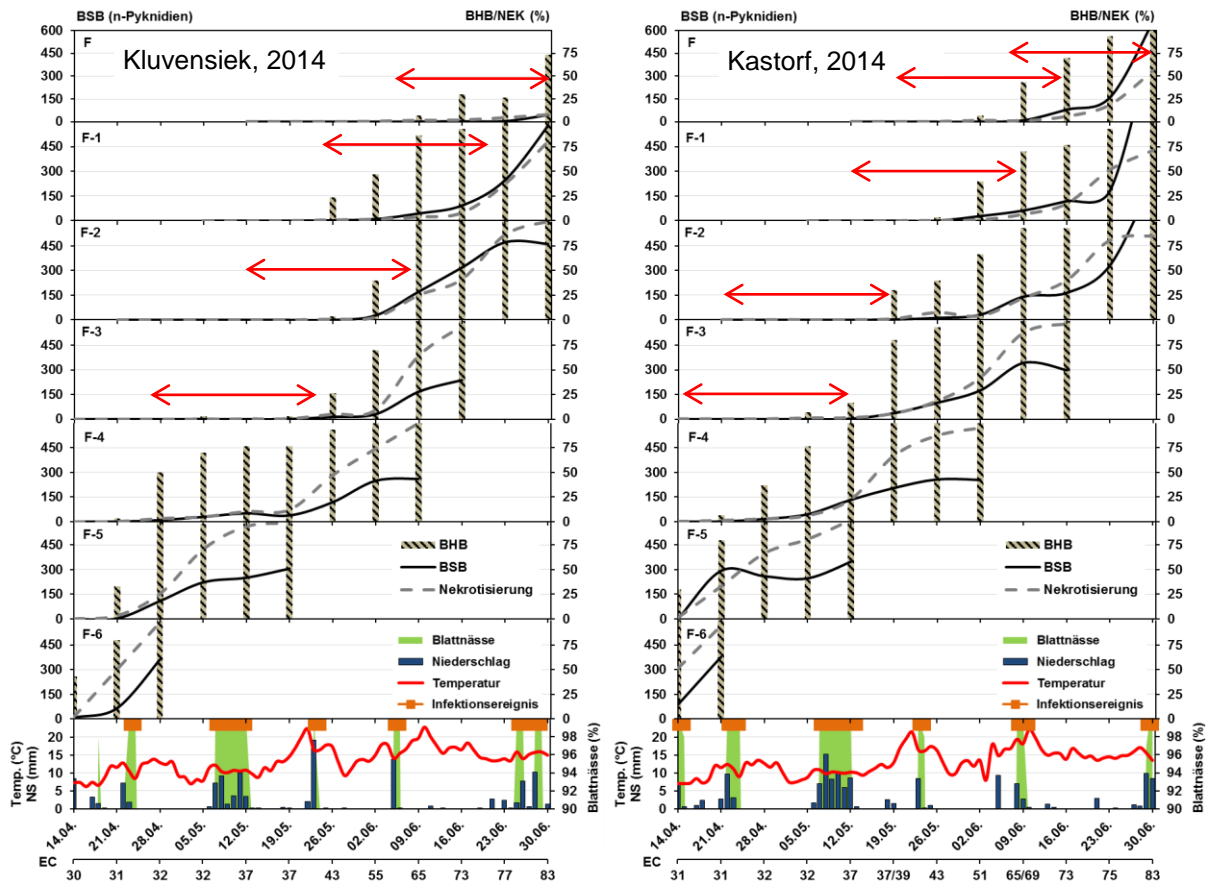


Abb. 23: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blattetagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek (links) und Loit (rechts) im Vegetationsabschnitt 14. April bis 30. Juni 2014 in Abhängigkeit der Witterung

Des Weiteren konnte an beiden Standorten eine starke Zunahme des Befalls diagnostiziert werden, welche sich besonders auf den Blattetagen F-3 und F-2 zeigte.

Am 23. Mai fielen an beiden Standorten erneut höhere Niederschlagsmengen, die wiederum ein Infektionsereignis von *Septoria tritici* nach sich zogen. Jedoch erreichte dabei die Regenmenge in Kastorf lediglich etwa die Hälfte des Standortes Kluvensiek (21,2 mm), was sich auch in den Befallszunahmen nach Ablauf der Latenzzeit widerspiegelt. Am 23. Mai (EC 75/77) konnte demnach ein Befallsanstieg von 600 Pyknidien in Kluvensiek vergleichend zu 400 Pyknidien (SUM BSB; F-3 bis F) am Standort Kastorf dokumentiert werden.

Der größte Befallsanstieg von annähernd 2000 Pyknidien wurde jedoch am Ende der Bonitur (30. Juni; EC 83) in Kastorf beobachtet. Dem voraus ging ein Infektionsereignis, welches am

08. / 09. Juni festgestellt wurde. Charakteristisch für dieses Infektionsereignis ist die relativ hohe Temperatur von 18,8 °C während der Infektion. Da die Temperatur innerhalb der Latenzzeit ebenfalls vergleichsweise hoch war, konnten die *Septoria tritici* spezifischen Fruchtkörper (Pyknidien) bereits nach drei Wochen beobachtet werden.

Am Standort Kluvensiek wurde am 05. bzw. 06. Juni ebenfalls ein Infektionsereignis bei einer Temperatur von lediglich 14,8 °C nachgewiesen. Die sich anschließende Befallszunahme zum 30. Juni (EC 83) war mit 360 Pyknidien vergleichsweise gering.

Die Endbefallsstärken (SUM BSB; F-6 bis F) beider Standorte waren deutlich über dem Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2014, wobei der Endbefall des Standortes Kastorf mit 3924 Pyknidien nochmals deutlich über dem von Kluvensiek (2108) lag.

#### 4.1.3.2 Ausgangsinokulum von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrollen

In den folgenden Kapiteln wird das Auftreten sowie die Befallsentwicklung von *Septoria tritici* der Langzeitstudie (1995 bis 2014) des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein beschrieben. Zusätzlich werden Einflussfaktoren anhand von Fallstudien dargestellt, die die Befallsentwicklung maßgeblich beeinflussen.

Über die Jahre von 1995 bis 2014 sowie über alle Standorte wurde ein durchschnittlicher Ausgangsbefall von 207 Pyknidien (SUM BSB) auf den Blattetagen F-6 bis F-3 im Stadium EC 32 ermittelt. In Abbildung 24 wird der Ausgangsbefall, welcher zu EC 32 über die Blattetagen F-6 bis F-3 akkumuliert ist, für die Einzeljahre dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Jahre 1996 und 2003 mit 180 bzw. 167 Pyknidien (SUM BSB) sehr niedrige Ausgangsbefälle aufwiesen. Beide Jahre zeichneten sich durch einen vergleichsweise trockenen und vor allem sehr kalten Winter aus. So fielen im Winter von Dezember bis März 1996 159 mm bzw. 121 mm in 2003 weniger als im Mittel der Jahre. Die Temperatur war im gleichen Zeitraum im Jahr 1996 um 4,5 °C sowie in 2003 um 2,1 °C kälter als die Mitteltemperatur (Tab. 11 und 12). Im Gegensatz dazu stehen die Jahre 2000 sowie 2014, die mit 237 bzw. 331 Pyknidien (SUM BSB; F-6 – F-2) über dem Mittel ein sehr hohes Ausgangsinokulum verzeichneten. Ein genereller Zusammenhang zwischen der Winterwitterung der Einzeljahre als Gebietsmittel für Schleswig-Holstein und dem Ausgangsbefall ist nicht nachzuweisen, da der Zeitraum zwischen der Aussaat und dem Erreichen von EC 32 eine längere Vorwinterperiode einschließt.

In Jahren mit hohem Ausgangsbefall variieren die Ausgangsbefälle von *Septoria tritici* zwischen den Einzelstandorten innerhalb des Jahres deutlich stärker, sodass die Standardabweichungen in diesen Jahren etwa der Hälfte des eigentlichen Mittelwertes entsprechen, was auf die große Varianz hinweist.. Die negative bzw. positive

Standardabweichung entspricht dabei in etwa dem minimalen bzw. maximalen Befallswert des Jahres. In den vier Jahren 1996, 1999, 2003 und 2005 kann von relativ homogenem Ausgangsbefall ausgegangen werden, da keine größeren Ausreißer zu finden sind.

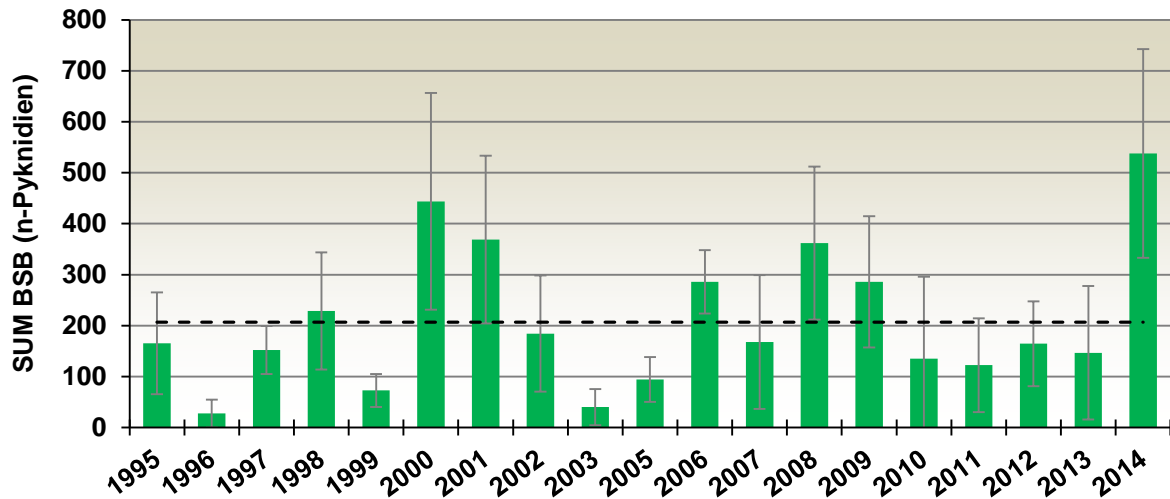


Abb. 24: Ausgangsbefall (SUM BSB, F-6 bis F-2) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 207 Pyknidien dar

Im Mittel der Jahre und Standorte wurde im Durchschnitt ein Ausgangsbefall von 207 Pyknidien diagnostiziert (Abb. 25).

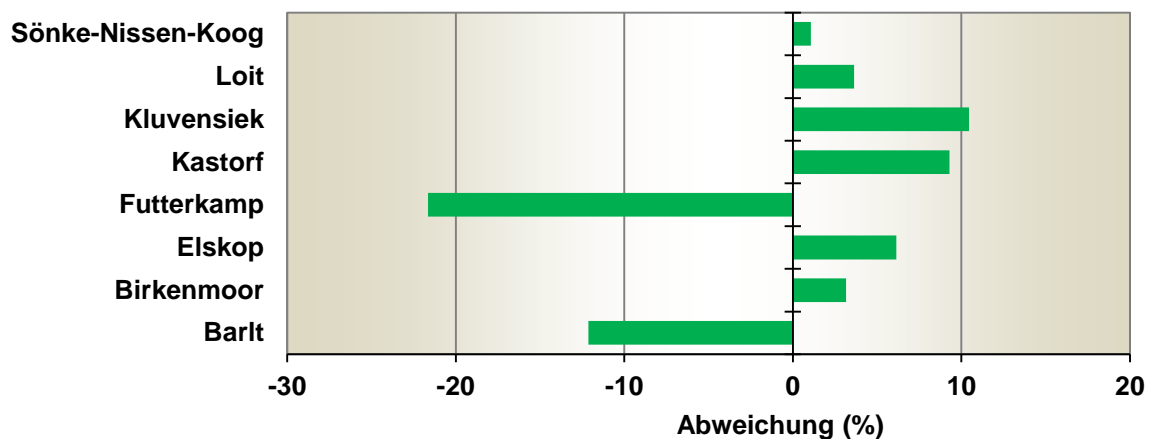


Abb. 25: Mittlere prozentuale Abweichung des Ausgangsbefalls (SUM BSB; F-6 bis F-2) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre und Standorte

## 4. Ergebnisse

Dabei wies der Standort Futterkamp mit 21,6 % unter dem Durchschnitt den geringsten Ausgangsbefall auf. Die im Durchschnitt höchsten Ausgangsinokula wurden mit 10,5 bzw. 9,3 % höheren Ausgangsbefall am Standort Kluvensiek sowie Kastorf festgestellt. Der Standort Barlt wies mit -12,1 % vergleichsweise geringe Befallswerte auf. Die Standorte Birkenmoor, Elskop, Loit und Sönke-Nissen-Koog erreichten ein ähnliches Niveau, welches sich nur geringfügig über dem Mittel lag.

Im Nachfolgenden soll der Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge der Monate Februar bis einschließlich April (Messstationen des Deutschen Wetterdienstes) und des Ausgangsbefalls (SUM BSB, F-6 bis F-2) in EC 32 seinen Niederschlag finden. Zur Dokumentation der Niederschlagsmengen wurden die Daten von 150 Stationen aus Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Niedersachsen des Deutschen Wetterdienstes verwendet und mittels Geografischem Informationssystem (Abb. 26) abgebildet. In die Karte zum Ausgangsbefall von *Septoria tritici* flossen die acht Versuchsstandorte des überregionalen IPS-Monitorings Schleswig-Holstein in die Bearbeitung ein, welches die unterschiedlichen Zonierungen der Karte erklärt.

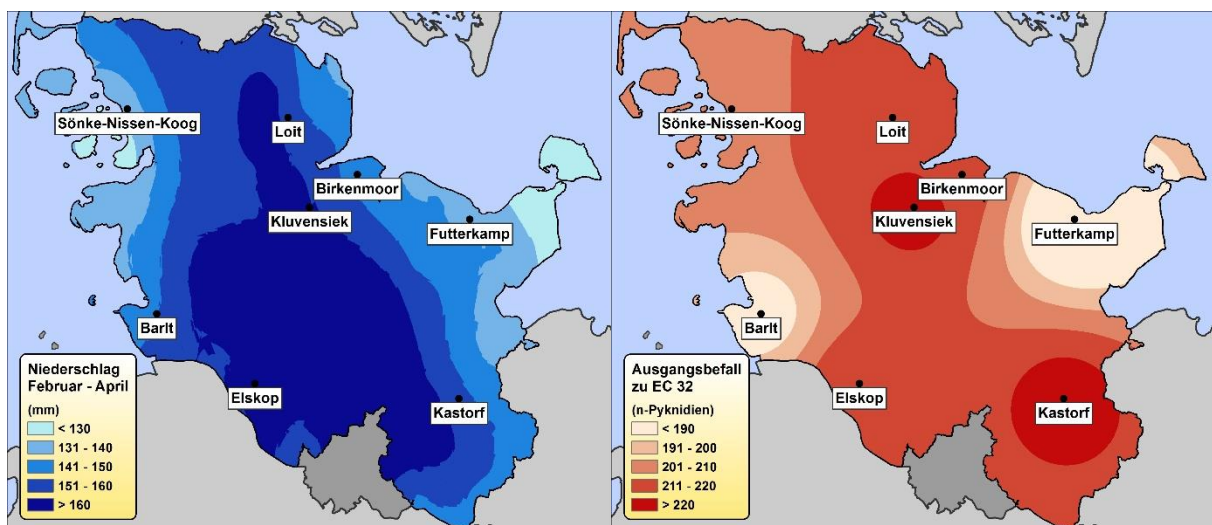


Abb. 26: Zusammenhang zwischen den regionalen Niederschlagsmengen (mm), des langjährigen Mittels der Monate Februar bis April (Deutscher Wetterdienst; links) und dem mittleren Ausgangsbefall von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 (SUM BSB; rechts) im Mittel von 1995 bis 2014; Darstellung mittels GIS

In Kluvensiek, Elskop und Kastorf mit im langjährigen Mittel regional höheren Niederschlagsmengen wurden entsprechend überdurchschnittliche Befallsgrade detektiert (Abbildung 26 rechts). An den Standorten mit vergleichsweise geringeren Niederschlägen (Barlt und Futterkamp) konnten gleichzeitig geringere Ausgangsinokula analysiert werden. Der mittels Geografischen Informationssystem (GIS) visuell dargestellte Zusammenhang zwischen

Niederschlag und Ausgangsbefall wird durch ein hohes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,8236$  (Abb. 27) bestätigt.

Dabei wurde die am Standort im langjährigen Mittel von 1981 bis 2010 durchschnittlich gemessene Niederschlagsmenge (Februar bis April) dem mittleren Ausgangsbefall der einzelnen Standorte von 1995 bis 2014 (SUM BSB; EC 32) von *Septoria tritici*, die bereits in Abbildung 18 verwendet wurden, gegenüber gestellt.

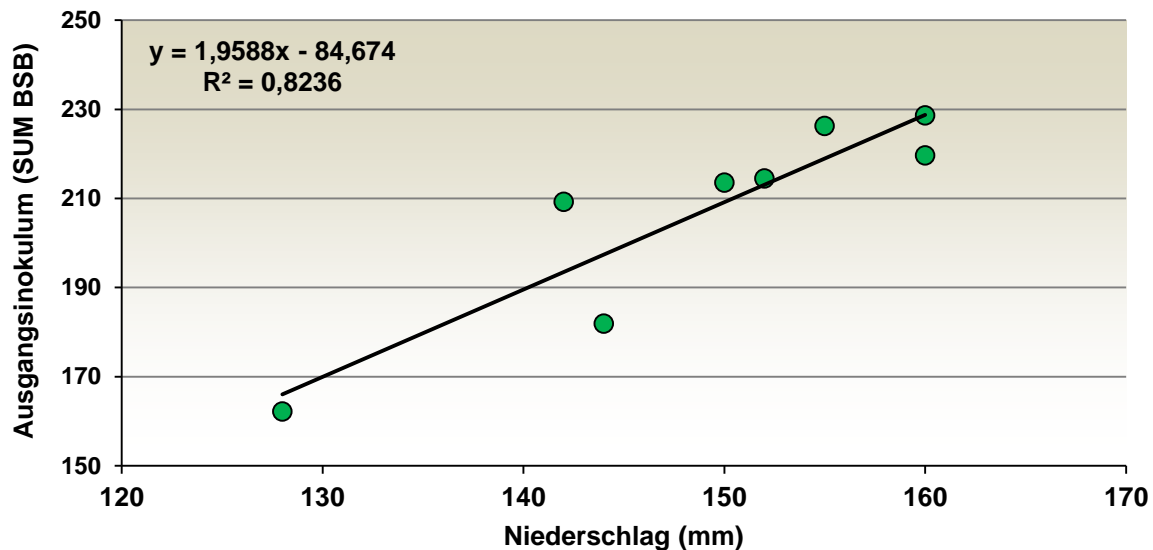


Abb. 27: Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen (mm) des langjährigen Mittels von Februar bis April (1981 – 2010; Quelle: Deutscher Wetterdienst) sowie dem mittleren Ausgangsbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F-2) in der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 in den Jahren 1995 bis 2014

Darüber hinaus wurde die Temperatursumme der Monate Oktober bis April zusätzlich in die Berechnung der Zusammenhänge implementiert, um das Ausgangsinokulum in den Einzeljahren zu beschreiben (Abb. 28).

Die daraus entstandene nichtlineare dreidimensionale Regression (Lorentzian) zeigt den Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen (mm) des langjährigen Mittels von Februar bis April (Quelle: Deutscher Wetterdienst) und der Temperatursumme (°C) der Monate Oktober bis April sowie dem Ausgangsbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F-2) in der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 der Jahre 1995 bis 2014. Daraus resultierte ein Bestimmtheitsmaß ist mit  $R^2 = 0,67$ . Dieses ist geringer als das der Regression ohne Temperatursumme (Abb. 27), jedoch ist die Aussagegenauigkeit in den sehr variierenden Einzeljahren dadurch verbessert.

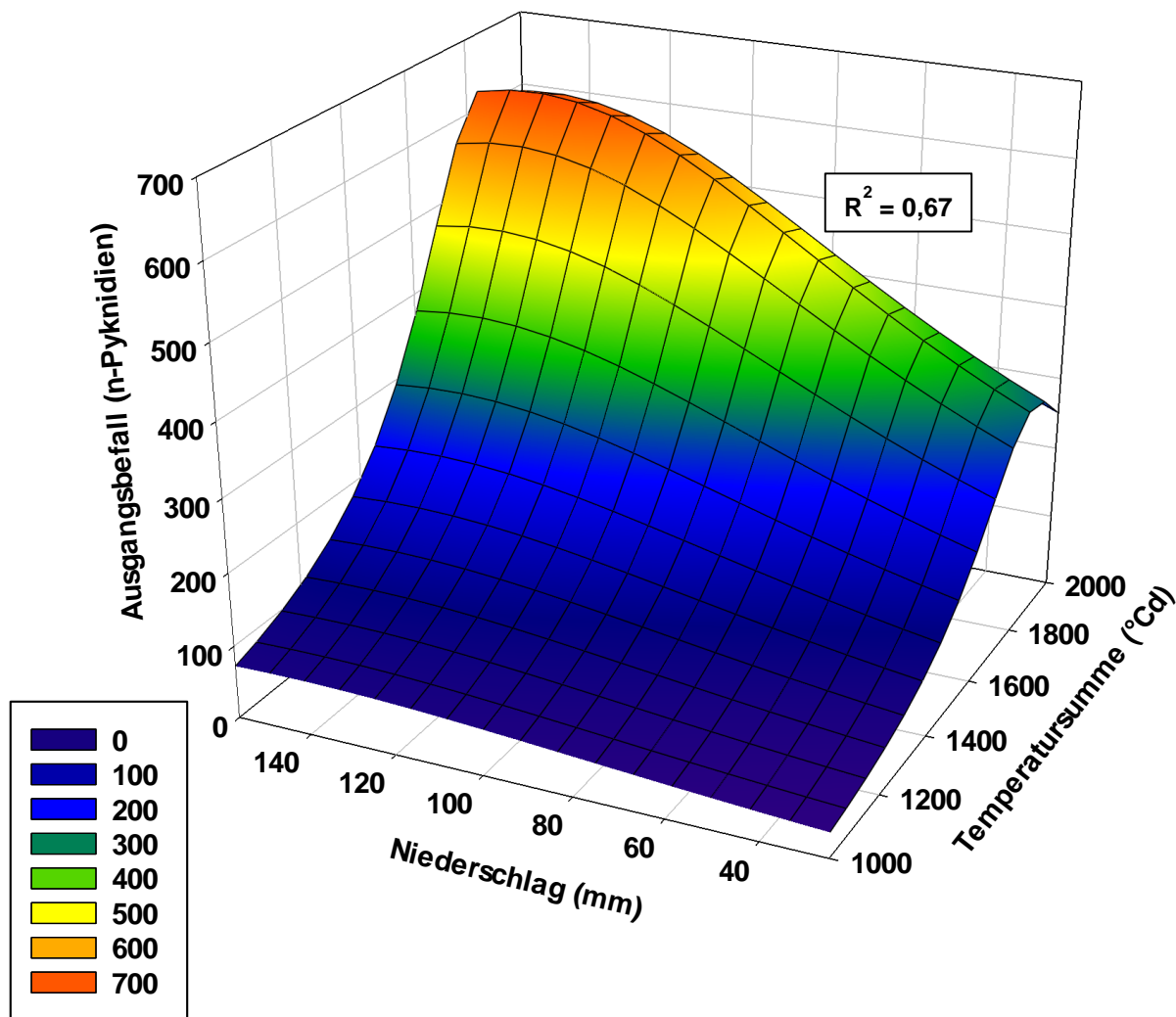


Abb. 28: Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen (mm) des langjährigen Mittels von Februar bis April (Quelle: Deutscher Wetterdienst) und der Temperatursumme (°Cd) von September bis April sowie dem Ausgangsbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F-2) in der unbehandelten Kontrolle zu EC 32 in den Jahren 1995 bis 2014

#### 4.1.3.3 Einfluss des Aussattermins auf den Ausgangsbefall von *Septoria tritici*

Anhand eines Vergleiches des Ausgangsbefalls zu Boniturbeginn (EC 31) mit dem Aussattermin des Versuches aller Standorte der IPS- Monitoring Jahre 1995 bis 2014 (Abb. 29) konnte der mittlere Ausgangsbefall von 189 Pyknidien zu EC 31 (F-6 bis F-3) bei einer Aussaat vor dem 20. September um 65 % auf 67 Pyknidien reduziert werden wenn die Aussaat nach dem 05. Oktober stattfand.

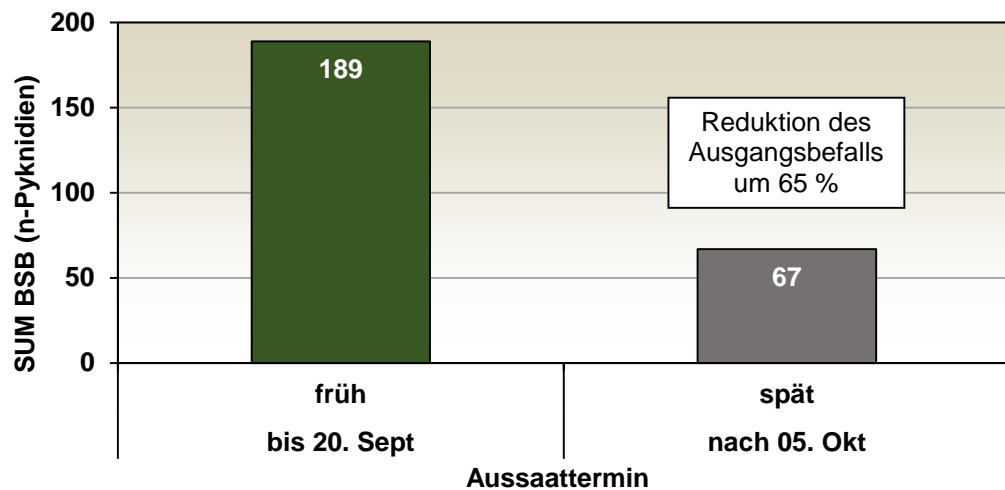


Abb. 29: Mittlerer Ausgangsbefall zu Beginn der Bonitur (EC 31; F-6 bis F-3) der unbehandelten Kontrollen der Jahre 1995 bis 2014 die vor dem 20. September (links) und nach dem 05. Oktober (rechts) gedrillt wurden. (n = 58)

#### 4.1.3.4 Einfluss der Temperatur auf den Befallsentwicklung von *Septoria tritici*

Nachfolgend wird Einfluss der Temperatur auf die Befallsentwicklung von *Septoria tritici* anhand zweier Fallstudien aus dem Jahr 2001 und 2003 dargestellt, in denen die Befallsentwicklung von *Septoria tritici* über die Blattetagen F-6 bis Fahnenblatt zu jedem Boniturtermin dokumentiert ist. Zusätzlich ist unterhalb der Blattetagen die Witterung aufgetragen, um diese in Beziehung zu setzen.

In der Fallstudie des Standortes Kluvensiek (Abb. 30; links) war der Ausgangsbefall (SUM BSB; F-6 bis F-2) bereits zu EC 31 mit 689 Pyknidien vergleichsweise hoch und stellte einen der höchsten Befallsgrade, die im IPS-Monitoring Schleswig-Holstein von 1995 bis 2014 bemessen wurden, dar.

Die im Folgenden benannten Infektionsereignisse für *Septoria tritici* sind mit  $\geq 98$  % Blattnässe für einen Zeitraum von mehr 36 Stunden definiert.

Aufgrund fehlender Infektionsereignisse von *Septoria tritici* vor Beginn der Bonitur am 16. April, stagnierte der Befall auf den Blattetagen F-5 sowie F-4 bis zum 21. Mai (EC 37). Selbst nach der abgelaufenen Latenzzeit von etwa vier Wochen (roter Pfeil) im Anschluss an das Infektionsereignis vom 16.- 18. April 2001 (EC 31) konnten keine nennenswerten Befallszunahmen detektiert werden. Es konnte lediglich eine Erstbesiedlung („sudden outbreak“) der Blattetagen F-3 und F-2 beobachtet werden. Infolge der weiteren vier Infektionsereignissen zwischen den Stadien EC 31 und EC 61 kam es nach Ablauf der



## 4. Ergebnisse

jeweiligen Latenzzeiten zum Erstbefall der nächsthöheren und ertragsessenziellen Blattetagen F-2 bis Fahnenblatt.

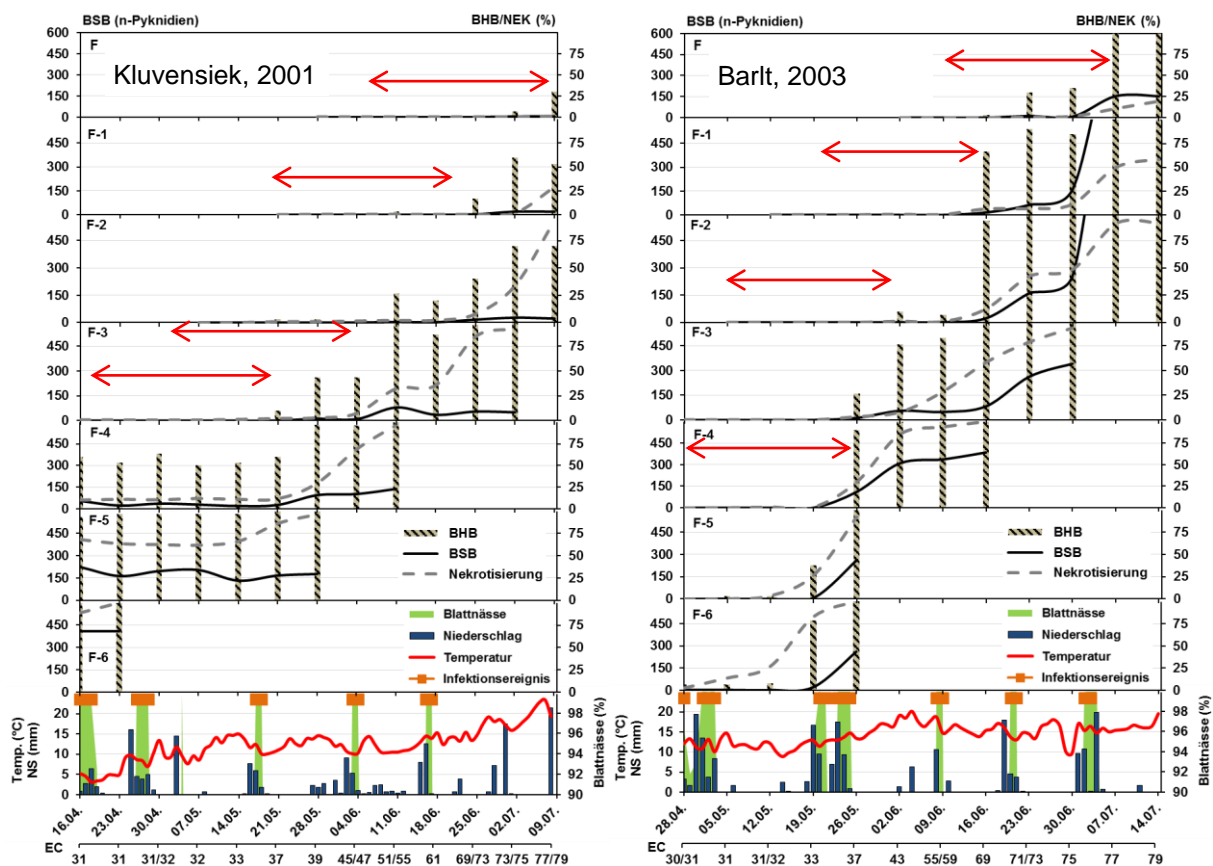


Abb. 30: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 16. April bis 09. Juli 2001 (links) und Barlt im Vegetationsabschnitt 28. April bis 14. Juli 2003 (rechts)

Dennoch konnten nur geringe Befallszunahmen, die deutlich unter 100 Pyknidien pro Blattetage lagen, diagnostiziert werden, sodass der Endbefall zu EC 77/79 mit 823 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F) lediglich um 134 Pyknidien über dem des Ausgangsbefall liegt. Dies entspricht einer prozentualen Zunahme von nur 21 % des Ausgangsbefalls. Darüber hinaus reduzierte sich der Ausgangsbefall während der Vegetation am Standort Kluvensiek (2001), da die Blattetagen F-6 und F-5 mit 410 bzw. 180 Pyknidien soweit senesziert waren, dass diese zum Zeitpunkt der letzten Infektionsereignisse nicht mehr vorhanden bzw. abgestorben waren.

Ein deutlich gegensätzliches Befallsbild resultierte in der zweiten Fallstudie (Abb. 30; rechts) des Jahres 2003 am Standorte Barlt. Der Ausgangsbefall lag mit lediglich drei Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F-2) in EC 31 und EC 32 auf einem extrem geringem Ausgangsniveau. Trotz des sehr geringen Ausgangsbefalls zu Beginn der Boniturperiode stieg der Befall nach dem Ablauf der Latenzzeit des ersten Infektionsereignis (26. – 28. April) von drei auf 647 Pyknidien (SUM

BSB) am 26. Mai (EC 37) an. Somit wurde im Jahr 2003 am Standort Barlt das zu Beginn fehlende Inokulum nach Ablauf der Latenzzeit durch ein einziges Infektionsereignis dahingehend induziert, dass sich der Befall in EC 37 auf einem deutlich höheren Niveau als in Kluvensiek befand. Nach dem Ablauf der Latenzzeit des Infektionsereignisses vom 19. – 26. Mai (EC 33/37) konnte am 23. Juni (EC 71/73) ein Befallszuwachs von 760 Pyknidien beobachtet werden. Der größte Befallszuwachs wurde nach dem Infektionsereignis vom 08. / 09. Juni festgestellt, bei dem nach der Latenzzeit eine Pyknidienzunahme von 2275 auf den ertragsessenziellen Blattetage F-2 bis zum Fahnenblatt zu verzeichnen war.

Zum Zeitpunkt des vorletzten Infektionsereignisses vom 20.-21. Juni war erneut ein hohes Inokulum von 501 Pyknidien vorhanden. Im Anschluss an die Latenzzeit konnte wiederum am 14. Juli (EC 79) eine Zunahme von 220 Pyknidien beobachtet werden.

Tab. 13: Einfluss der Temperatur auf den Befallszuwachs von *Septoria tritici* nach einem Infektionsereignis anhand zweier Fallstudien aus dem Jahr 2001 vom Standort Kluvensiek sowie aus dem Jahr 2003 vom Standort Barlt

Fallstudie	EC-Stadium	Infektionsereignis	Temperatur (°C)	Ausgangsinokulum (SUM BSB)	Befallszuwachs nach Latenzzeit (SUM BSB)
Kluvensiek 2001	31	16. - 18. April	3,8	622	0
Kluvensiek 2001	31/32	25. - 29. April	8,3	233	51
Kluvensiek 2001	33/37	16. - 19. Mai	11,0	562	203
Kluvensiek 2001	45/47	02. / 04. Juni	9,7	113	92
Kluvensiek 2001	61	15. - 17. Juni	13,8	38	63
Barlt 2003	30/31	26. - 28. April	12,4	3	644
Barlt 2003	31	30. April - 04. Mai	11,5	4	242
Barlt 2003	33/37	19. - 26. Mai	13,0	647	760
Barlt 2003	55/59	08. / 09. Juni	15,5	387	2275
Barlt 2003	71/73	20. / 21. Juni	13,4	501	220

Am Ende der Boniturperiode zu EC 79 wurde eine Endbefallsstärke von 4514 Pyknidien über die Gesamtpflanze (SUM BSB; F-6 bis Fahnenblatt) ermittelt.

Die Unterschiede zwischen den Infektionsereignissen der beiden genannten Fallstudien (Abb. 30) aus dem Jahr 2001 (Kluvensiek) und 2003 (Barlt) ist Tabelle 13 dargestellt. Während im Jahr 2001 die Temperatur innerhalb des Infektionsereignisses vom 16.- 18. April 2001 (EC 31) bei durchschnittlich 3,8 °C geprägt war, lag im Jahr 2003 bei einem vergleichbaren Ereignis (26. – 28. April) die mittlere Temperatur während dieser Phase bei 12,4 °C. Somit lag die Temperatur im Jahr 2003 am Standort Barlt um 8,6 °C über der des Jahres 2001. Durch die höhere Temperatur während der Infektion konnte nach Ablauf der Latenzzeit am Standort

## 4. Ergebnisse

Barlt ein deutlich stärkerer Befallsanstieg verzeichnet werden. Zum Zeitpunkt des Infektionsereignisses zu EC 37 stand infolge dessen ein höheres Inokulum zur Verfügung, welches auch gleichzeitig die höher inserierten Blattetagen F-4 und F-3 kontaminierte.

In der Periode der folgenden drei Infektionsereignissen (Tab. 13) waren die Temperaturen in Barlt im Jahr 2003 erneut deutlich höher als bei den vergleichbaren Ereignissen im Jahr 2001. Mit den höheren Temperaturen während der Infektion waren ebenso die daraus resultierenden Befallszunahmen in Barlt wesentlich stärker ausgeprägt.

#### 4.1.3.5 Endbefall von *Septoria tritici* in der unbehandelten Kontrolle

Der Endbefall von *Septoria tritici* (Abb. 31) stellt die Summe aller Pyknidien der bonitierten Blattetagen F-6 bis zum Fahnenblatt (SUM BSB) zum Ende der Milchreife (EC 77) dar. Hierzu wurden die über die Standorte gemittelten Endbefallsstärken des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein der Jahre 1995 bis 2014 akkumuliert dargestellt. Es wird deutlich, dass über die Einzeljahre erhebliche Abweichungen vom Mittelwert von 1176 Pyknidien resultieren.

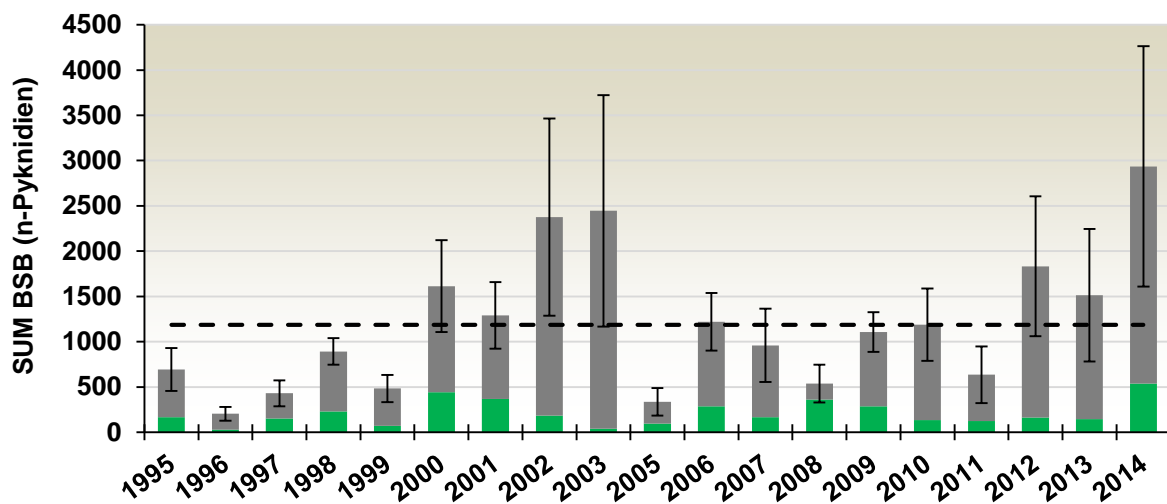


Abb. 31: Aufsummierter Endbefall zu EC 77 (SUM BSB, F-6 bis Fahnenblatt) in grau sowie der Ausgangsbefall zu EC 32 (SUM BSB, F-6 bis F-2) in grün von *Septoria tritici* der unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 1176 Pyknidien des Endbefalls dar

So konnten im sehr befallsschwachen Jahr 1996 lediglich 204 Pyknidien (SUM BSB) je Gesamtpflanze diagnostiziert werden, dahingegen war das Jahr 2014 mit durchschnittlich 2936 Pyknidien das befallstärkste Jahr. Die Jahre 2002, 2003 und 2014 wiesen mit hohen Endbefallsstärken ebenfalls hohe Standardabweichungen hinsichtlich des Endbefalls auf.

Somit variierten die Einzelstandorte, die in das Mittel einfließen, stark. Im Jahr 2014 schwankte der Endbefall zu EC 77/83 von 1465 bis 5434 Pyknidien.

Bei Betrachtung der relativen prozentualen Standardabweichung im Verhältnis zum Gesamtbefall, ist der Unterschied zwischen den befallsschwachen und den befallsstarken Jahren nicht so groß, sodass keine positive Beziehung zwischen der jahresspezifischen Abweichung zur Endbefallsstärke besteht.

Der Ausgangsbefall (grün) steht nicht in Relation zum Endbefall. In den Jahren 2002 und 2003, in denen sehr überdurchschnittliche Endbefallsgrade erreicht wurden, waren im Vergleich nur unterdurchschnittliche Ausgangsbefälle festzustellen.

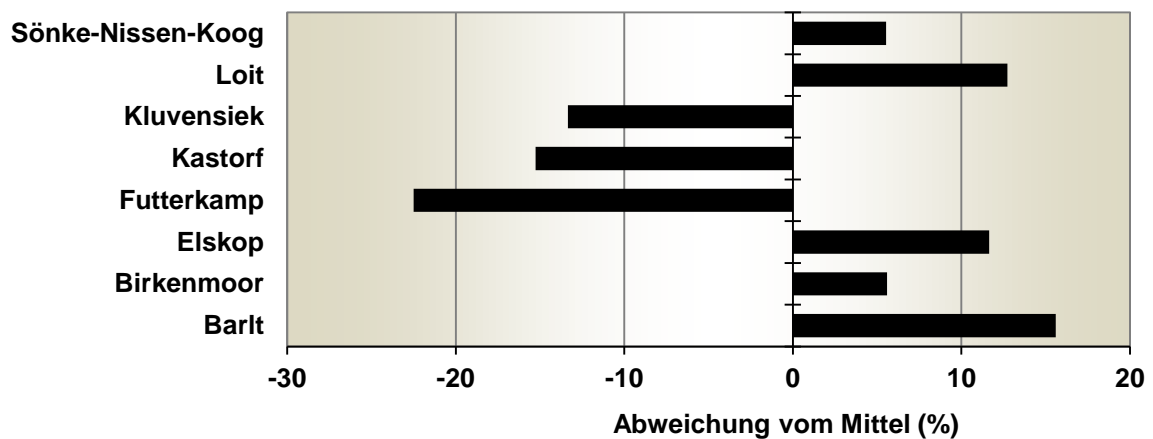


Abb. 32: Mittlere prozentuale Abweichung des Endbefalls (SUM BSB; F-6 bis Fahnenblatt) von *Septoria tritici* in den unbehandelten Kontrollen der jeweiligen Standorte von 1995 bis 2014 vom Gesamtdurchschnitt aller Jahre und Standorte

Die jahresspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Endbefallsstärke sind auf die Standortunterschiede zurückzuführen. Den Abweichungen liegt der durchschnittliche Endbefall über alle Jahre und Standorte von 1176 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F) zugrunde (Abb. 32). Bei der Betrachtung ist erkennbar, dass der Standort Futterkamp mit 912 Pyknidien einen im Durchschnitt um 22,5 % geringen Endbefall aufwies. Im Gegensatz hierzu liegt am Standort Barlt, an dem mit 1360 Pyknidien im Mittel der Jahre 1995 bis 2014 ein um 15,6 % höherer Endbefall vor. Dies steht im Gegensatz zum Ausgangsbefall (s. Abb. 23) bei dem der Standort Barlt mit 12,1 % unter dem Durchschnitt ein vergleichsweise niedriges Ausgangsinokulum aufwies, sodass der Standort Barlt die höchsten Pyknidienzuwächse während der sich anschließenden EC-Stadien 33 bis EC 77 aufwies. Ganz anders zeigte sich die durchschnittliche Befallsentwicklung an den Standorten Kastorf und Kluvensiek. Beide Standorte wiesen mit -15,3 % und -13,3 % im Mittel der Jahre einen unterdurchschnittlichen

## 4. Ergebnisse

Endbefall auf, obwohl zu Beginn der Boniturperiode überdurchschnittliche Ausgangsinokula vorlagen.

Somit waren die Zuwächse im Vergleich um 400 Pyknidien geringer als am Standort Barlt, welcher die größten Zuwächse aufwies. Lediglich der Standort Futterkamp verzeichnete im Mittel der Jahre sowohl einen unterdurchschnittlichen Ausgangs- als auch Endbefall von *Septoria tritici*.

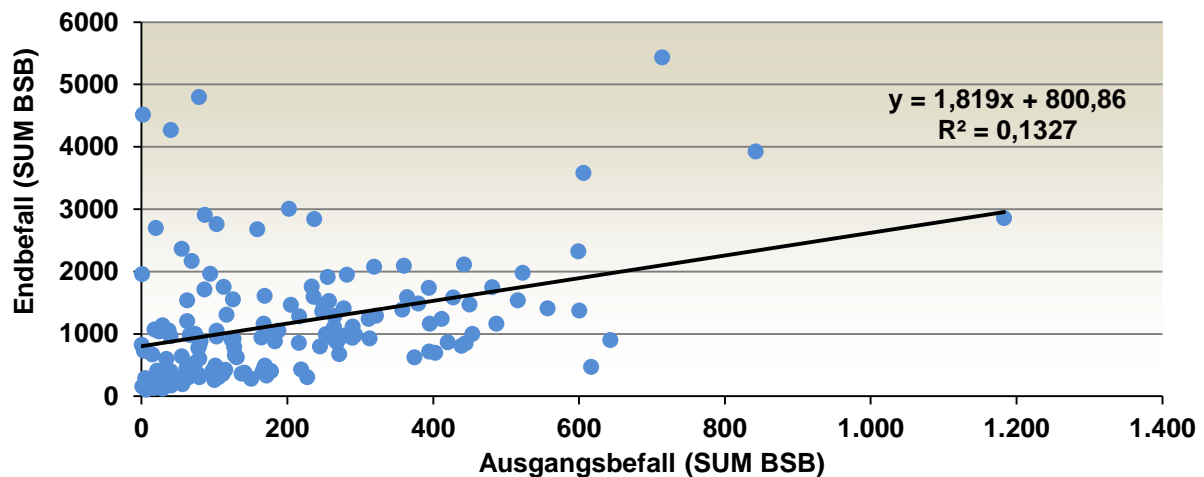


Abb. 33: Zusammenhang zwischen dem Ausgangsbefall (SUM BSB; F-6 bis F-2) zu EC 32 sowie dem Endbefall von *Septoria tritici* (SUM BSB; F-6 bis F) zu EC 77 der unbehandelten Kontrollen

Durch Berechnung der Zusammenhänge zwischen dem Ausgangsinokulum (SUM BSB; F-6 bis F-2) in EC 32 und dem Endbefall (SUM BSB; F-6 bis F) in EC 77 über alle Jahre und Standorte, resultierte ein geringeres Bestimmtheitsmaß von lediglich  $R^2 = 0,13$ . Somit kann nicht vom Ausgangsbefall auf den Endbefall geschlossen werden.

#### 4.1.3.6 Einfluss der Sorte Inspiration auf die Befallsstärke

Die parallel zur Sorte Ritmo angebaute Sorte Inspiration wies im Mittel der Standorte und Jahre 2012 bis 2014 einen um 26 % reduzierten Endbefall (SUM BSB) auf den Blattetagen F-6 bis F auf (Abb. 34), obwohl der Ausgangsbefall in EC 32 (F-6 bis F-2) in allen Jahren mit nur geringen Abweichungen auf annähernd gleichem Niveau lag. In dem vergleichsweise starken Befallsjahr 2012 führte der Sorteneffekt zu einer Reduktion um lediglich 17 % der Befallsstärke der anfälligeren Sorte Ritmo. Im befallsschwachen Jahr 2013 hingegen konnte der Befall um 51 % auf 475 Pyknidien gesenkt werden.

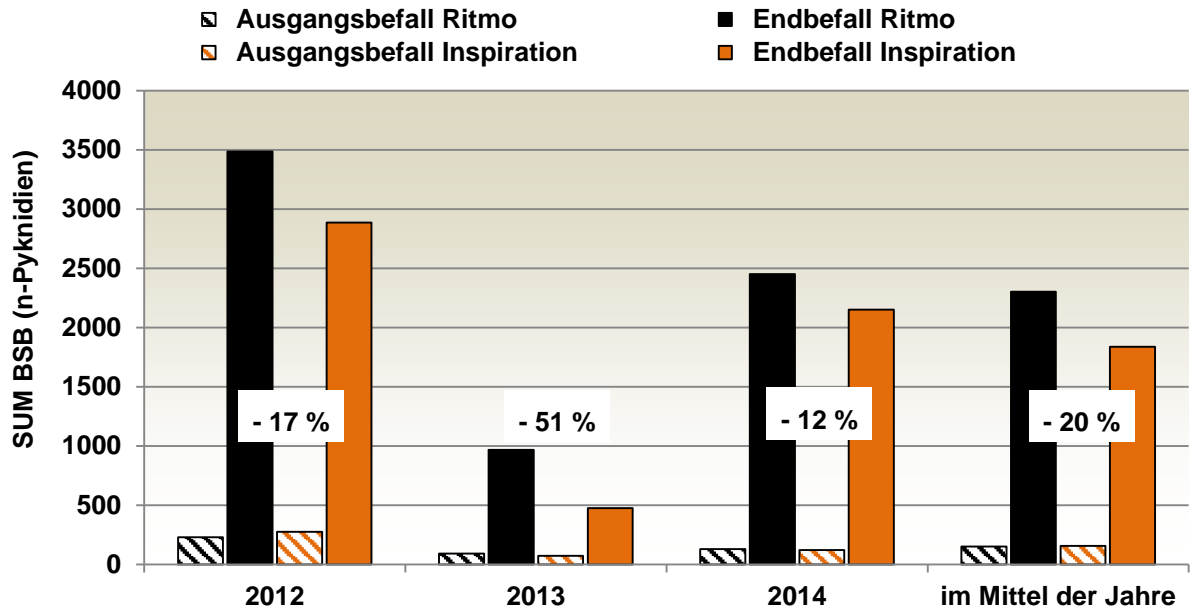


Abb. 34: Vergleich des Ausgangs- (EC 32) sowie Endbefalls (EC 83) der Sorten Ritmo und Inspiration der Jahre 2012 bis 2014 anhand der unbehandelten Kontrolle im Mittel der Standorte

In 2014 konnte in der Sorte Inspiration vergleichend zu Ritmo eine Reduktion der Pyknidienzahlen um 31 % festgestellt werden.

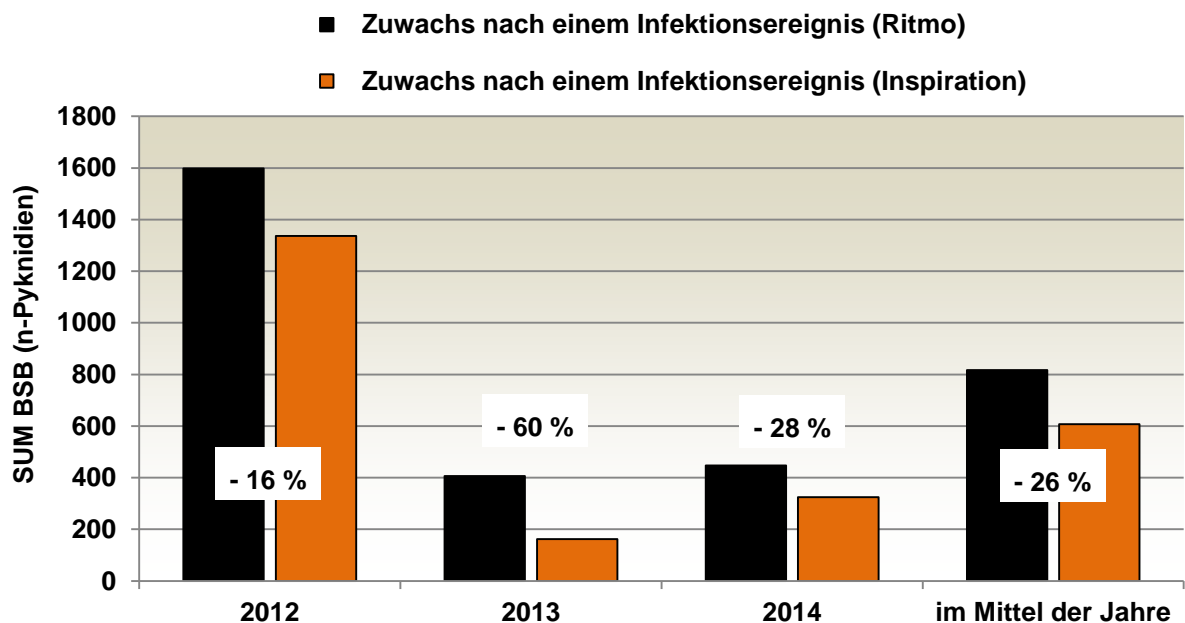


Abb. 35: Vergleich des Befallszuwachses nach einem Infektionsereignis innerhalb der Sorten Ritmo und Inspiration der Jahre 2012 bis 2014 anhand der unbehandelten Kontrolle im Mittel der Standorte

## 4. Ergebnisse

Die vergleichende Betrachtung der Sorten Inspiration und Ritmo verdeutlicht im Zusammenhang mit den *Septoria tritici*-spezifischen der Jahre 2012 bis 2014 eine deutliche Reduktion des Befallszuwachses in der Sorte Inspiration. Analog zur Endbefallsreduktion war der Zuwachs an Pyknidien bzw. dessen Reduktion abhängig von der Endbefallsstärke. So war die bemessene Reduktion des Pyknidienzuwachses nach einem Infektionsereignis im dem befallsstarken Jahr 2012 in der Sorte Inspiration lediglich um 16 % vermindert, wohingegen im befallsschwachen Jahr 2013 die Zunahme je Infektionsereignis um 60 % verringert werden konnte. Im Mittel ergibt sich somit eine durchschnittliche Reduktion der Befallszunahme um 26 % vergleichend zur anfälligeren Sorte Ritmo.

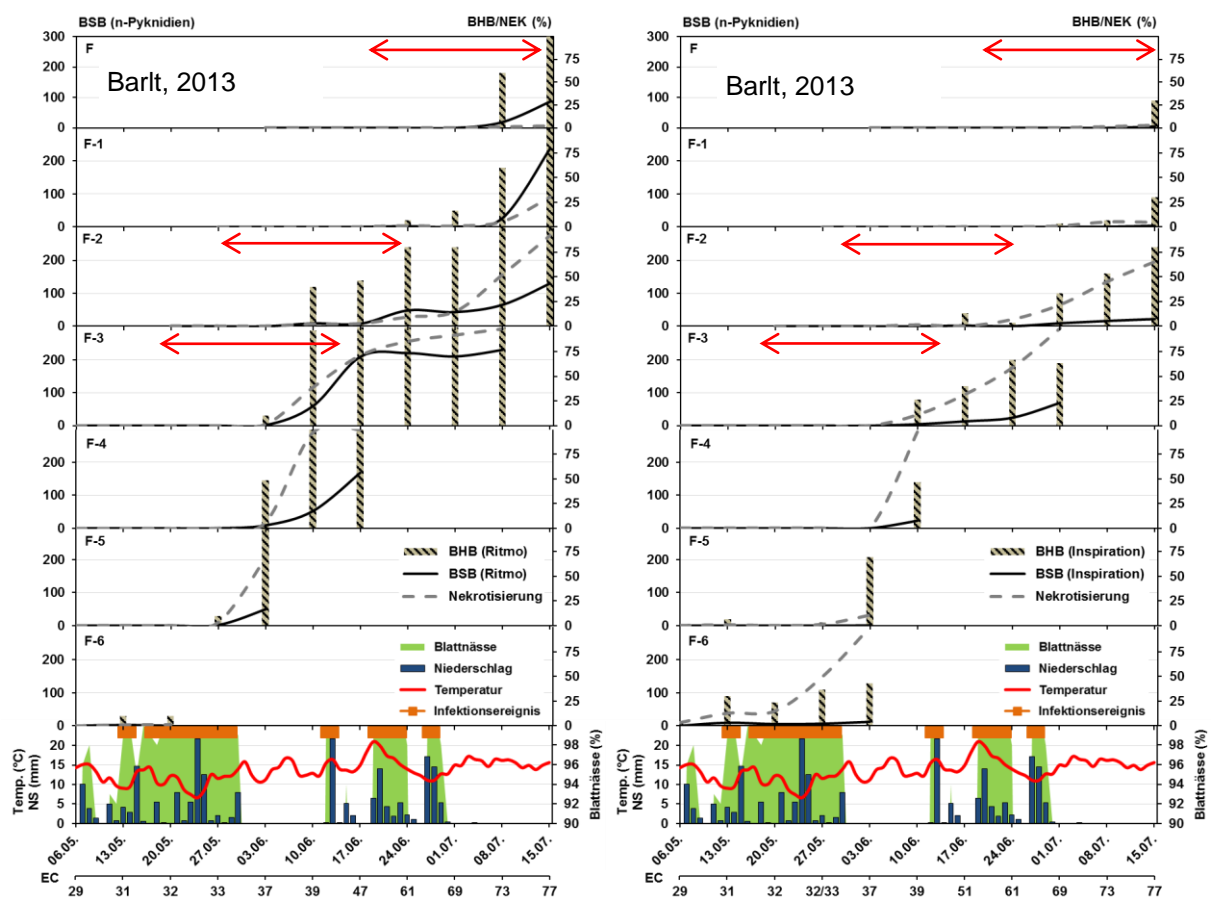


Abb. 36: Befallsentwicklung von *Septoria tritici* auf den Blättagen F-6 bis F in den unbehandelten Kontrollen des Standortes Barlt der Sorten Ritmo (links) und Inspiration (rechts) im Vegetationsabschnitt 06. Mai bis 15. Juli 2013 in Abhängigkeit der Witterung

Zur Darstellung der detaillierten Befallszunahme von *Septoria tritici* nach einem Infektionsereignisse ist in Abbildung 36 die populationsdynamische Befallsentwicklung der Sorten Ritmo (links) und Inspiration (rechts) am Standort Barlt im Jahr 2013 über die Blättagen F-6 bis F aufgeführt.

Bereits nach dem ersten Infektionsereignis vom 14./15. Mai war der bemessene Befallszuwachs in der Sorte Inspiration im Vergleich zum Ritmo deutlich reduziert (Abb. 36). Nach der Latenzzeit (roter Pfeil) von etwa vier Wochen (10. Juni) betrug die Befallsstärke in der Sorte Inspiration 40 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F-3) wohingegen in der Sorte Ritmo 171 Pyknidien analysiert wurden. Im weiteren Verlauf der Vegetation konnten zwei weitere Infektionsereignisse beobachtet werden, bei denen der Befall in der Sorte Inspiration um 74 Pyknidien (01. Juli) bzw. um 20 Pyknidien (15. Juli) anstieg. Im gleichen Zeitraum stieg in der Sorte Ritmo die Befallsstärke um 261 (01. Juli) bzw. 391 Pyknidien (15. Juli) an. Infolge der geringeren Befallszuwächse nach den drei Infektionsereignissen, betrug der Endbefall der Sorte Inspiration lediglich 135 Pyknidien (F-6 bis F) hingegen in der Sorte Ritmo 823 Pyknidien. Dies entspricht einer Befallsreduktion um etwa 84 %.

#### 4.1.4 Auftreten von *Blumeria graminis* in der unbehandelten Kontrolle

Der Echte Mehltau (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) kann als obligat-biotropher Erreger nur auf lebendem Gewebe parasitieren. Dies unterscheidet ihn von den fakultativ-biotrophen Pathogenen wie *Septoria tritici*, die das lebende Gewebe abtöten und in dem von ihm abgetöteten Gewebe sein Sekundärinokula bilden.

In den Jahre 2011 bis 2014 zeigte der Erreger *Blumeria graminis*, ein deutlich differenziertes geoepidemiologisches Ausbreitungsmuster auf (Abb. 37). So wurde in allen vier Jahren kein Befall an den an der Westküste gelegenen Standorten Barlt, Elskop und Sönke-Nissen-Koog nachgewiesen werden. Eine Ausnahme stellte der Standort Barlt dar, an dem im Jahr 2013 der Erreger einmalig beobachtet werden konnte, jedoch wurde kein Übergang in die Progressionsphase festgestellt.

Ein anderes Befallsbild resultierte an den Standorten im östlichen Hügelland, wo der Erreger mit Ausnahme des Standortes Loit jährlich wiederkehrend auftrat. Hinsichtlich der Endbefallsstärken konnten jahres- und standortspezifisch sehr deutliche Unterschiede festgestellt werden. So stellte der Standort Klüvensiek im Jahr 2012 den höchsten aller Endbefallsstärkegraden dar, wohingegen in 2011 bzw. 2013 ein sehr geringer Befall resultierte. Zusammenfassend ist keine Regelmäßigkeit hinsichtlich der Befallsstärken an einem der Standorte im östlichen Hügelland zu erkennen. Insgesamt ist die Bedeutung des Echten Mehltaus in den Jahren 2011 bis 2014 als gering bedeutend einzustufen.



## 4. Ergebnisse

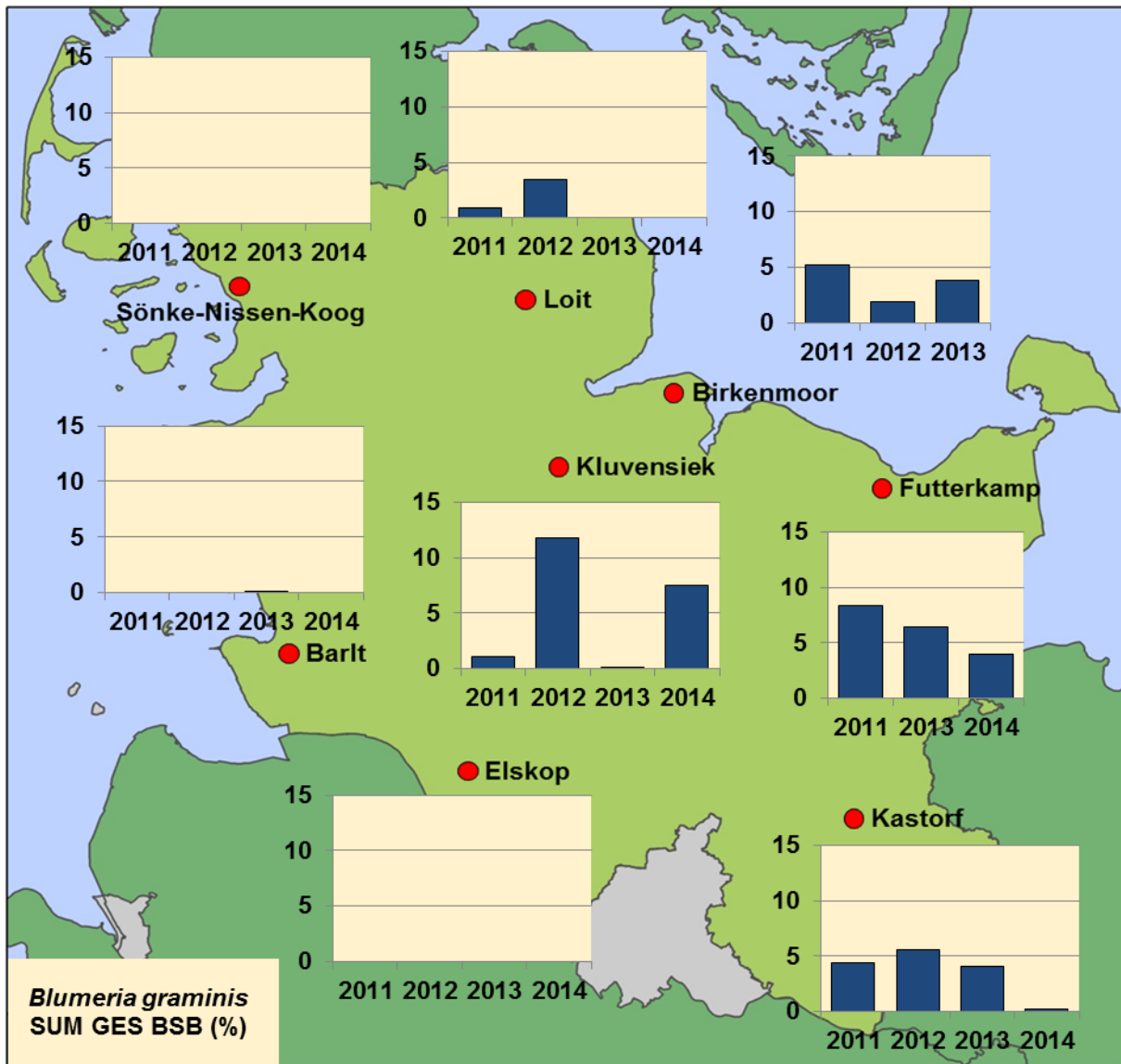


Abb. 37: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) von *Blumeria graminis* der Blattetagen F-6 bis F zu EC 83 in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 2011 bis 2014

Das geographisch-epidemiologische Ausbreitungsmuster anhand von GIS (Abb. 38) verdeutlicht, in Form durchschnittlich aufsummierter Endbefallsstärken der Jahre 1995 bis 2014, die geringen Befallsgrade an den Westküstenstandorten vergleichend zum Östlichen Hügelland.

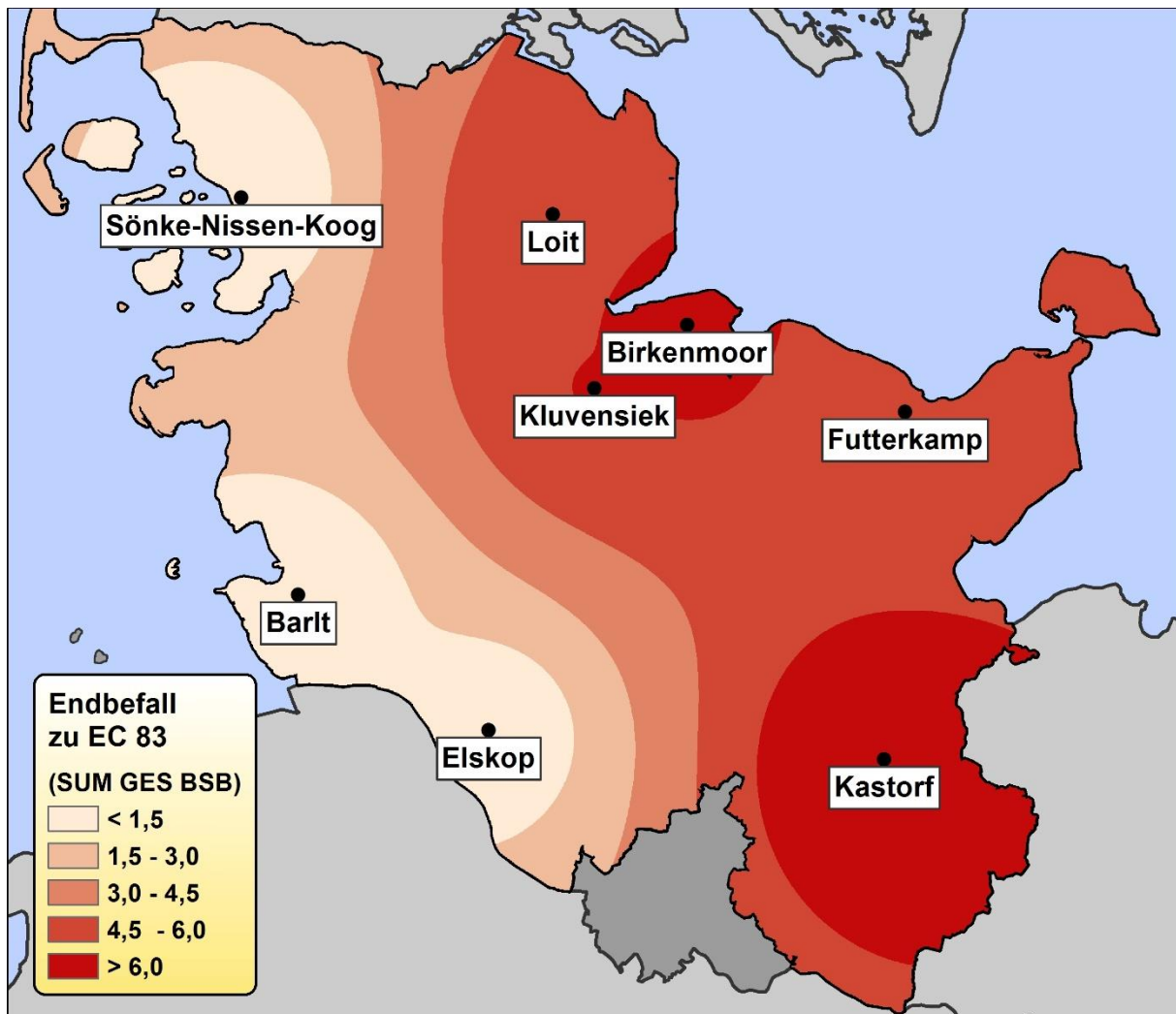


Abb. 38: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) der Blatteten F-6 bis F zu EC 83 von *Blumeria graminis* in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 1995 bis 2014. Dargestellt als GIS-Karte

Der detaillierte populationsdynamische Befallsaufbau von *Blumeria graminis* über die Blatteten der Vegetationsperiode ist in Abbildung 39 anhand des Standortes Kluvensiek des Jahres 2012 in Abhängigkeit der Witterung dargestellt.

Zu Boniturbeginn konnte der Erreger auf den Blatteten F-5 und F-4 nachgewiesen werden. Nach einem starken Temperaturanstieg vom 07. bis 10. Mai von 6,7 °C auf 15,4 °C konnte am 14. Mai ein Befallsanstieg auf der Blattete F-4 sowie eine Erstbesiedlung der Blattinsertion F-3 beobachtet werden. Am 21. Mai (EC 37) kontaminierte der Erreger erstmalig auf der Blatteten F-2. Der Befall stagnierte zunächst, ehe dieser nach einem erneutem Temperaturanstieg (21. bis 28. Mai) nochmals anstieg.

## 4. Ergebnisse

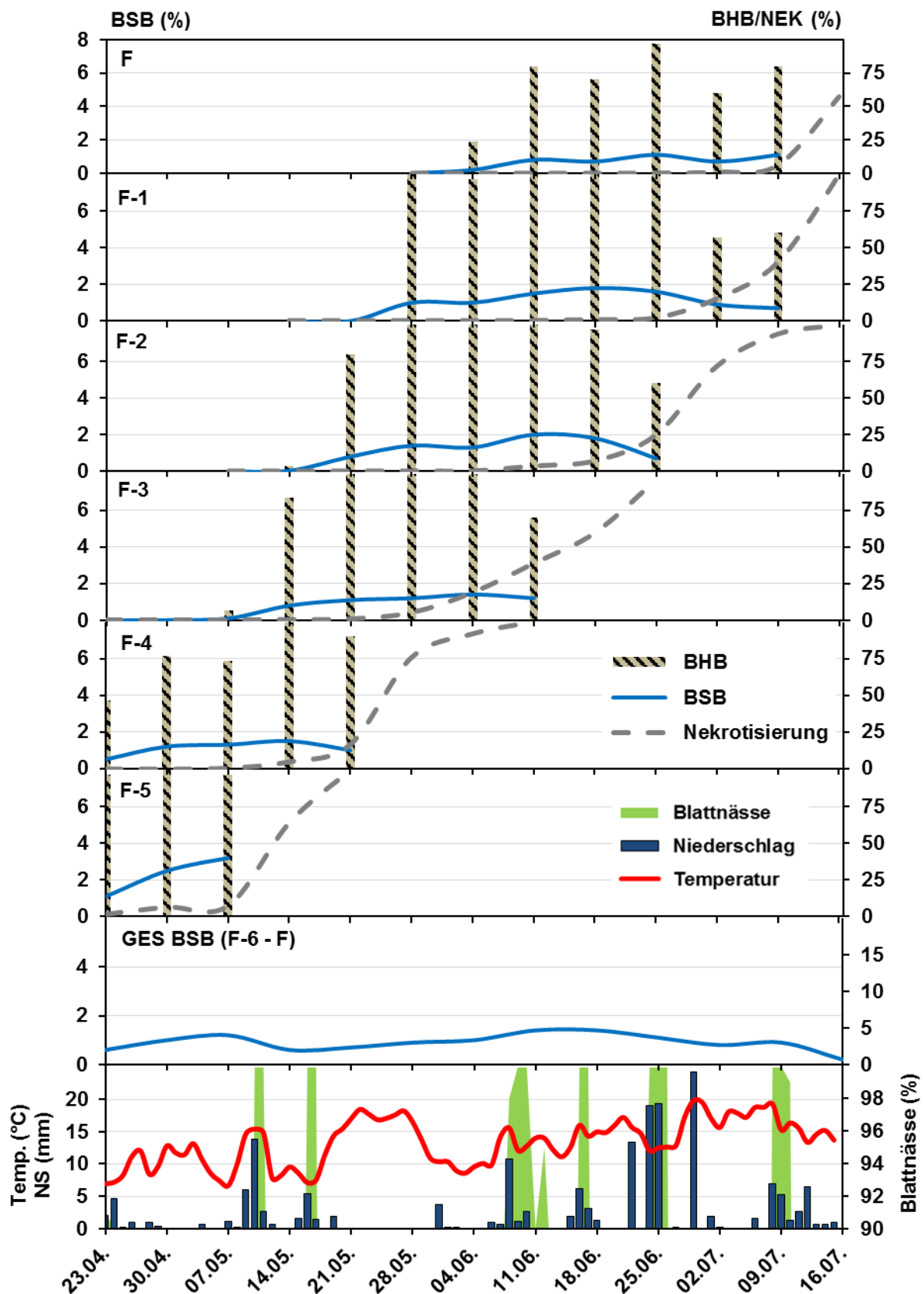


Abb. 39: Befallsentwicklung von *Blumeria graminis* auf den Blattetagen F-5 bis F in der unbehandelten Kontrolle des Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 in Abhängigkeit der Witterung

Infolge des Temperaturanstieges wurde die F-1 Insertion erstmals parasitiert. In der Woche vom 28. Mai bis zum 04. Juni stagnierte der Befall zunächst, gleichzeitig sankt die Temperatur deutlich 17 °C auf 8 °C. Nachdem am 04. Juni auf dem Fahnenblatt erste Mycelien nachweisbar waren, stieg der Befall in den Folgewochen bis zum 18. Juni von 0,9 % auf 1,4 % SUM GES BSB.

Ab dem 25. Juni sank die Befallszunahme bis zum 16. Juli stetig ab. Zur selben Zeit stieg die Nekrotisierung vor allem auf den Blattetagen F-2 und F-1 an, sodass der zunehmende Nekrotisierungsgrad den Erreger aufgrund seiner biotrophen Ernährungsform in seiner Ausbreitung reduzierte.

Mit dem Temperaturanstieg am 29. Juli auf 20 °C stieg der Befall auf dem Fahnenblatt innerhalb einer Woche nochmals leicht an. Im Zuge zunehmender Nekrotisierung stagnierte bzw. reduzierte sich der Befall auf 0,9 % GES BSB in EC 83 ab.

In dem deutlich wärmeren Jahr 2007 (Abb. 40), in welchem die Temperaturen von Oktober bis April zum Teil erheblich über dem langjährigen Mittel lag, waren die Befallsstärken von *Blumeria graminis* in der zweiten Boniturwoche bereits überdurchschnittlich hoch. Am Standort Kluvensiek stiegen die Befallswerte auf den Blattetagen F-5 bis F-3 vom 09. April (EC 30/31) bis zum 30. April deutlich an. Durch die sich anschließenden, sinkenden Temperaturen stagnierte der Befall auf den Blattetagen F-5 bis F-3 bis zum 14. Mai (EC 39). Auf ein erstes größeres Niederschlagsereignis folgte mit steigenden Temperaturen (21. Mai; EC 45) ein erneuter Befallsanstieg auf den Blattetagen F-4 bis F-2. Zu dem resultierte die Erstbesiedlung der Blattetagen F-1 und F. In den folgenden zwei Wochen stiegen die Befallswerte bis zu einem Maximum am 04. Juni (EC 65) mit einer Befallsstärke von 2,4 % GES BSB. Der sich einstellende, zunehmende Nekrotisierungsgrad verhinderte eine weitere Befallsausbreitung auf den ertragsessentiellen Insertionen F-3 bis F (auf F-1 und F = GES BSB 2,0 % bzw. 0,8 %).

4. Ergebnisse

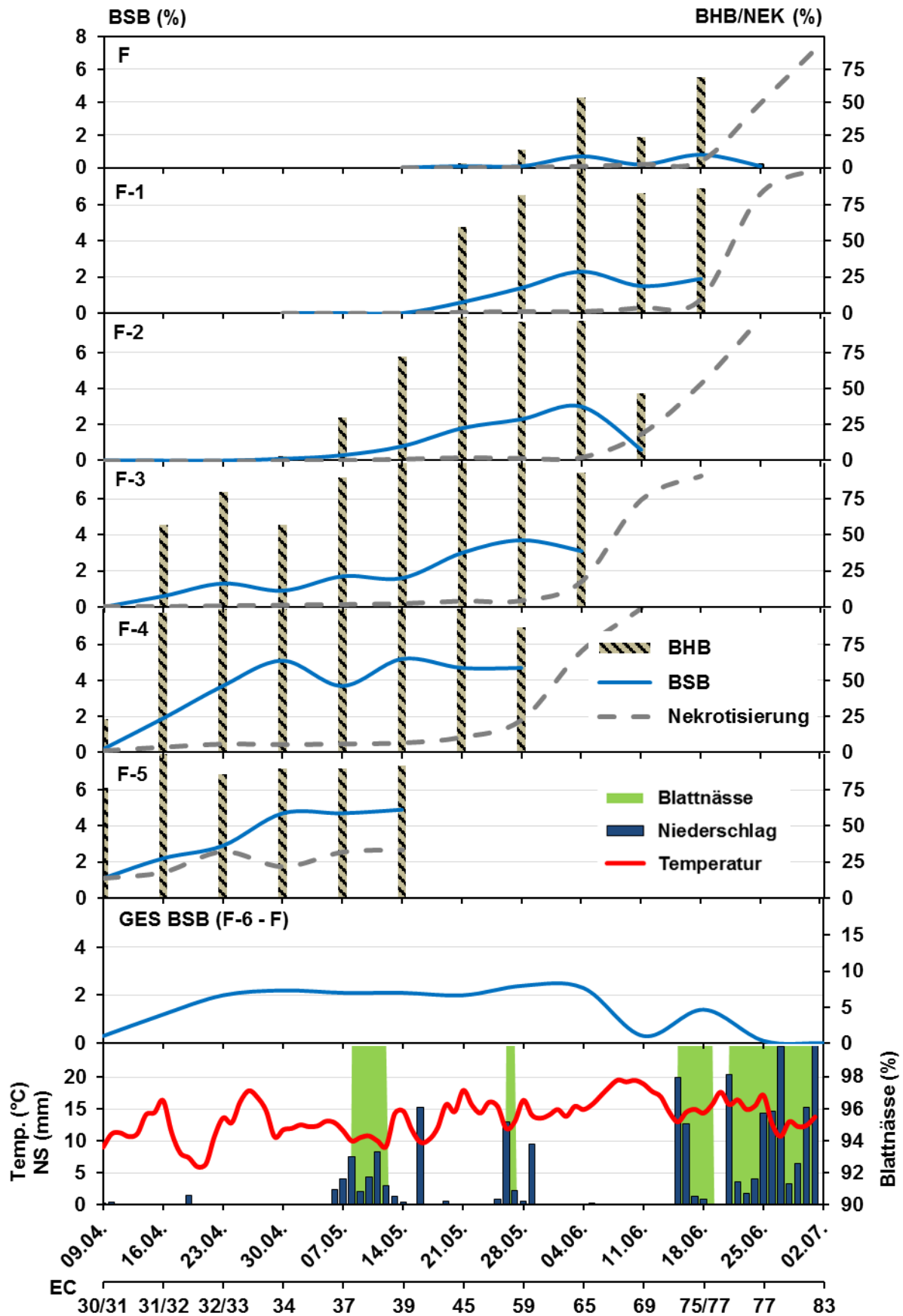


Abb. 40: Befallsentwicklung von *Blumeria graminis* auf den Blattetagen F-5 bis F in der unbehandelten Kontrolle des Standorte Kluvensiek im Vegetationsabschnitt 09. April bis 02. Juli 2007 in Abhängigkeit der Witterung

#### 4.1.5 Auftreten von *Puccinia triticina* in der unbehandelten Kontrolle

In den Jahren 2011 bis 2014 trat der Braunrost-Erreger jahres- und standortspezifisch unterschiedlich auf. In 2011 konnte der Erreger an den Standorten Birkenmoor, Kastorf, Loit und Sönke-Nissen-Koog zu keinem Zeitpunkt nachgewiesen werden; gleiches gilt für das Jahr 2013 an den Standorten Kluvensiek und Sönke-Nissen-Koog.

Anhand der Endbefallsstärke von *Puccinia triticina* akkumuliert in EC 83, ist entgegen dem ebenfalls biotroph lebenden Pilz *Blumeria graminis* bei Braunrost kein typisches geoepidemiologisches Ausbreitungsmuster in Schleswig-Holstein zu interpretieren.

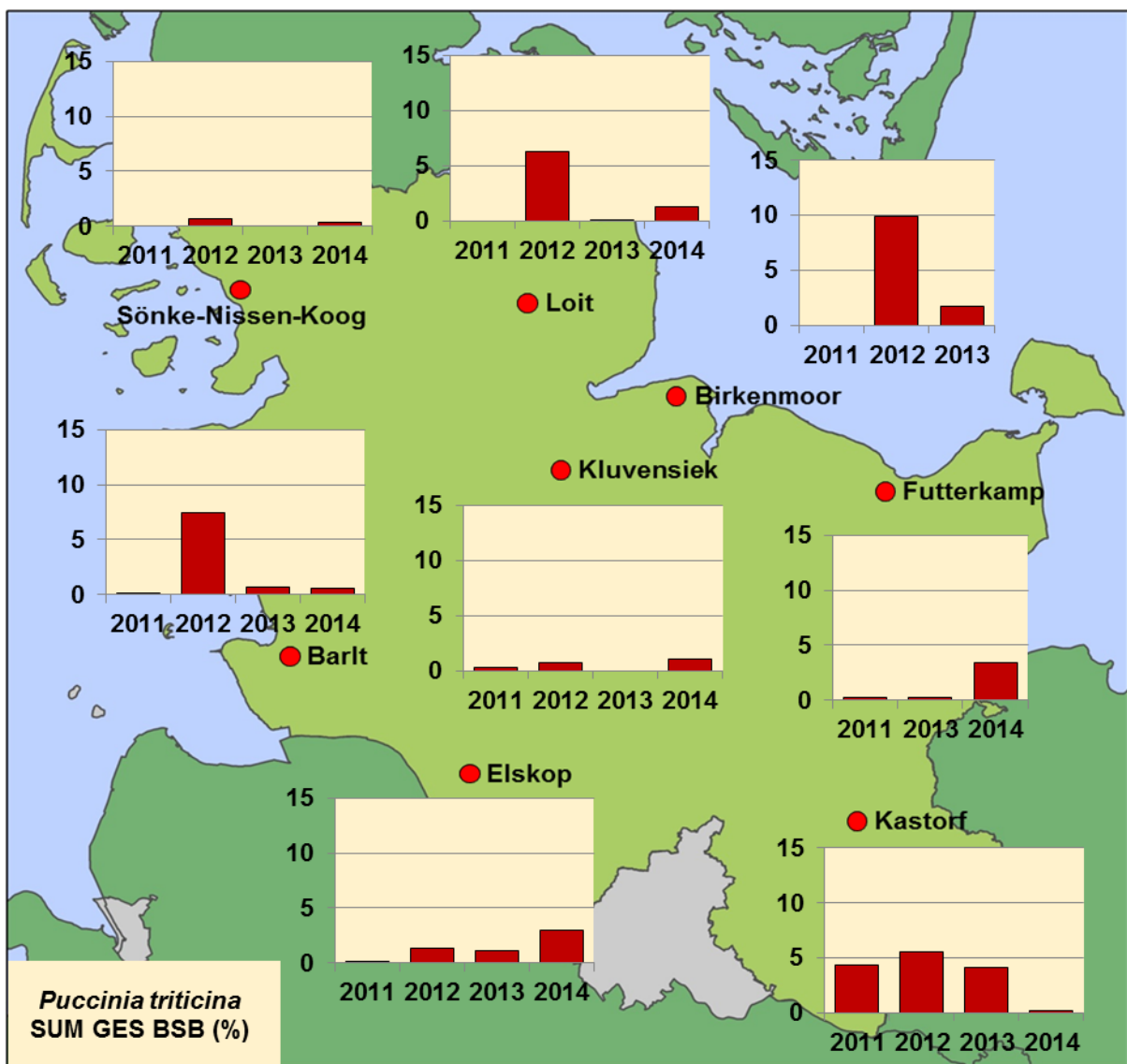


Abb. 41: Aufsummierte Endbefallsstärken (GES SUM BSB) von *Puccinia triticina* der Blattetagen F-6 bis F zu EC 83 in der unbehandelten Kontrolle der Jahre 2011 bis 2014

## 4. Ergebnisse

Die jahresspezifischen Gesamt-Befallsstärken (Abb. 42) verdeutlichen, dass lediglich für das Jahr 2007 sehr hohe Endbefallsstärken (GES SUM BSB) von 25,4 % in Kluvensiek bis 54,1 % auftraten und diese um das 10-fache höher als im Durchschnitt der Jahre waren. Das Jahr 2007 war durch einen äußerst warmen Winter bzw. warmes Frühjahr geprägt, in dem die Temperaturen im Mittel von Oktober bis April um 3 °C über dem langjährigen Mittel lagen.

Der fakultativ perthotrophe Erreger *Septoria tritici* war in diesem Jahr in seiner Befallsausprägung deutlich gehemmt, wodurch die beschriebenen, jahresspezifisch befallsfördernden Bedingungen mit einem einhergehend frühen Ausgangsbefall eine sehr starke Ausbreitung des Braunrostes ermöglichten. Dieses Phänomen hoher rostspezifischer Befallsausbreitung konnte kein weiteres Mal während der Langzeitstudie beobachtet werden.

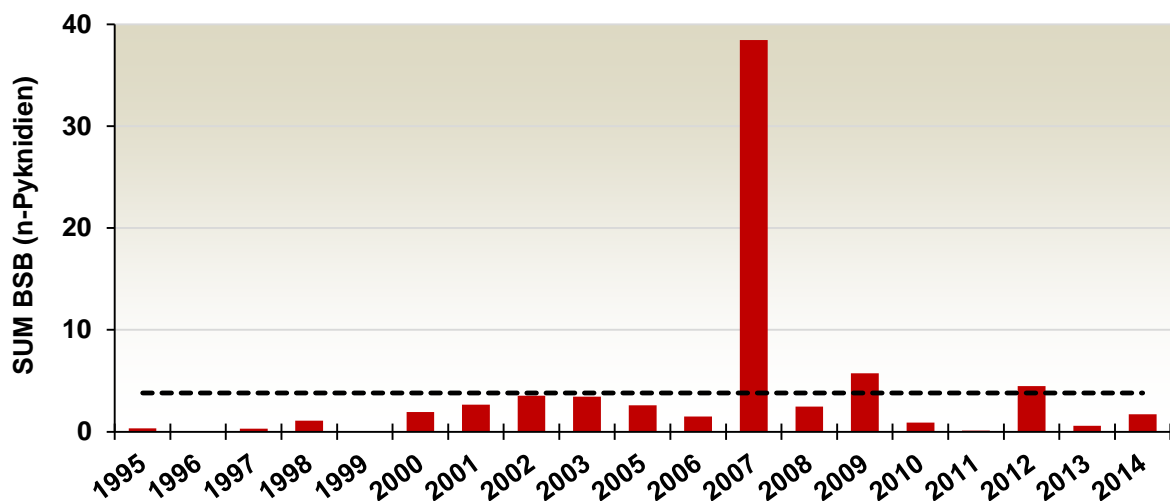


Abb. 42: Endbefall (GES SUM BSB, F-6 bis F-1) von *Puccinia tritici* in den unbehandelten Kontrollen von 1995 bis 2014. Die Einzeljahre sind gemittelt über die Standorte. Die gestrichelte Linie stellt den Durchschnitt von 3,8 % dar

Nur im Jahr 2014 konnte um gleichen Zeitraum eine um 1,7 °C wärmere Temperatur gemessen werden, welches dennoch um 1,3 °C unter der Jahres 2007 liegt. Anders als in 2007 konnte kein früher Befall während der Schossphase diagnostiziert werden.

Anhand detailpopulationsspezifischer Fallstudien (Abb. 43) wird die Befallsentwicklung des Standortes Birkenmoor (links) 2012, vergleichend zum Standort Sönke-Nissen-Koog (rechts) aus dem Jahr 2007 gegenübergestellt. Dieser Standort wies in der Langzeitstudie den höchsten Braunrostbefall auf.

Vergleichend zu 2012 konnte im Jahr 2007 bereits zu Beginn der Bonitur am 09. April an jeder fünften Pflanze die typischen Uredosporenlager nachgewiesen werden. In den folgenden vier Wochen stieg die Befallshäufigkeit weiter an, sodass am 07. Mai bereits alle Pflanzen des Bestandes befallen waren. Im Mittel des Monats April lag in 2007 vergleichend zu 2012 eine

um 2,5 °C erhöhte Temperatur vor. Am Standort Sönke-Nissen-Koog im Jahr 2007 (Abb. 42; rechts) verliefen parallel zu den stagnierenden Temperaturen bis zum 21. Mai die Befallsstärken der Blattetagen F-4 bis F-1 ebenfalls konstant, sodass lediglich die Befallshäufigkeit weiter zunahm. Mit den steigenden Temperaturen ab dem 21. Mai (EC 51) konnten erstmalig Rostpusteln auf den Blattinsertionen F-1 und F nachgewiesen werden. Ab dem 04. Juni (EC 65) konnten überdurchschnittlich hohe Befallszunahmen auf den oberen Blattetagen diagnostiziert werden, die in der gesamten Langzeitstudie in keinem anderen Jahr vorkommen.

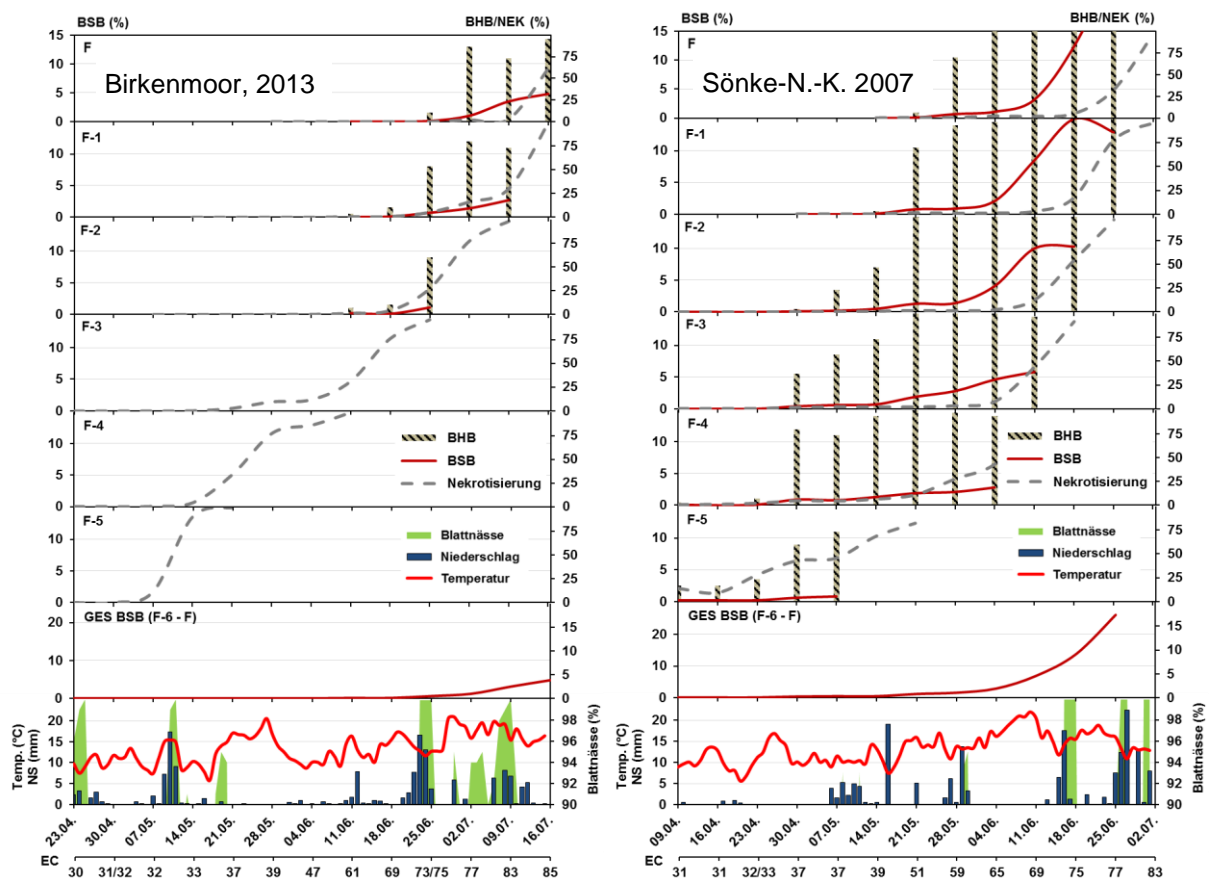


Abb. 43: Befallsentwicklung von *Puccinia triticina* in den unbehandelten Kontrollen der Standorte Birkenmoor im Vegetationsabschnitt 23. April bis 16. Juli 2012 (links) und Sönke-Nissen-Koog im Vegetationsabschnitt 09. April bis 02. Juli 2007 (rechts) in Abhängigkeit der Witterung

Aufgrund zunehmender Seneszenz auf den oberen Blattetagen stagnierte eine weitere Progression; auf dem Fahnenblatt resultierte eine Befallsstärke bis zum 25. Juni von 26,1 %.

In 2012 am Standort Birkenmoor (Abb. 43; links) wurde erster Braunrostbefall am 11. Juni (EC 61) im Bestand festgestellt. Bis zum 02. Juli stagnierte die Progression; erst mit ansteigenden Temperaturen von über 15 °C (01. Juli) stiegen die Befallsgrade auf den



## 4. Ergebnisse

Blattetagen F-1 und F weiter an. Analog zur vergleichenden Fallstudie aus dem Jahr 2007 stagnierten die Befallszunahmen bei einsetzender Seneszenz zum Ende der Bonituren.

Die Beschreibung des Zusammenhanges zwischen dem Erstaufreten des Erregers im Bestand zu dem aufsummierten Endbefall der Jahre 1995 bis 2014 (Abb. 44) anhand einer polynomischen Regression dritten Grades weist ein hohes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,8251$  auf. Somit beschreibt die Funktion der Regression 82 % aller auftretenden Varianzen und die starke Abhängigkeit der Endbefallsstärke vom Erstaufreten im Bestand, sodass die Dauer der zeitlichen Erstetablierung sowie der Pathogenese als sehr entscheidend erachtet werden kann.

Tritt Braunrost erst nach dem 180 Tag im Jahr (29. Juni) im Bestand auf, so ist mit keiner epidemischen Ausbreitung und einhergehend stärkeren Schadauswirkung zu rechnen.

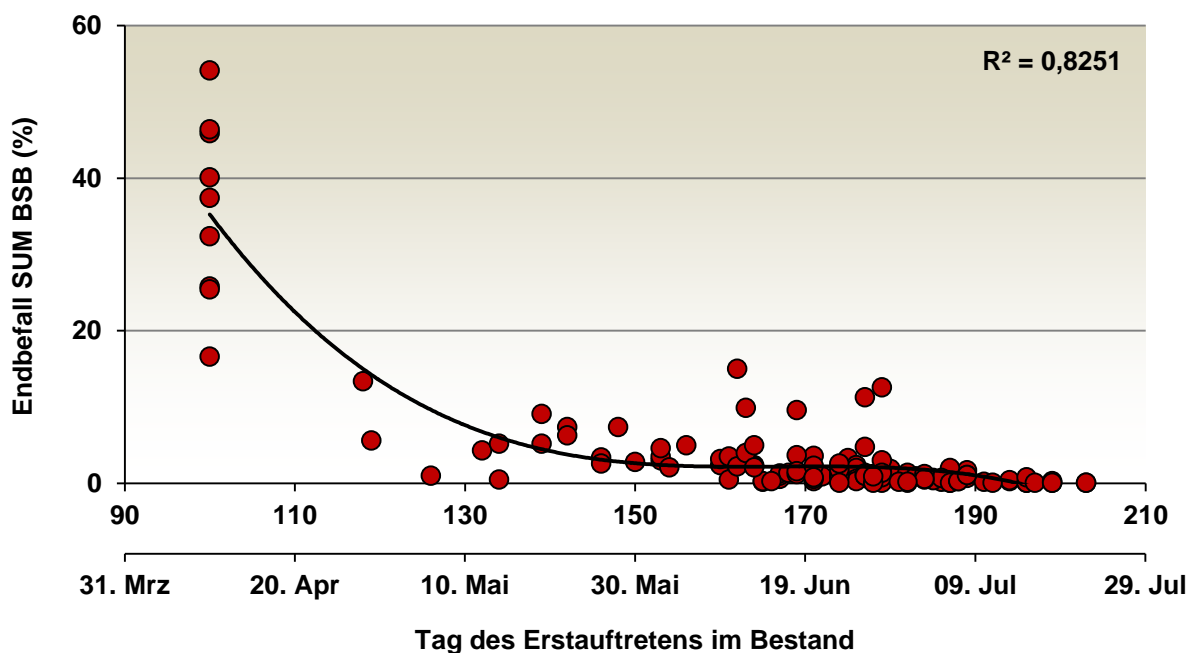


Abb. 44: Zusammenhang zwischen dem Tag des Erstaufretens im Bestand sowie der Endbefallsstärke (GES SUM BSB) von *Puccinia triticina* der Blattetagen F-6 bis F der unbehandelten Kontrollen zu EC 83 der Jahre 1995 bis 2014 (n = 135)

#### 4.1.6 Fungizidapplikationen nach dem IPS-Modell

Die Entscheidung über eine Fungizidapplikation in den IPS-Varianten erfolgte gemäß den biologisch-epidemiologischen Schwellenwerten des IPS-Modells Weizen (Kap. 3.2.4) sowie unter Berücksichtigung der erhobenen Bonitur- und Witterungsdaten.

## 4. Ergebnisse

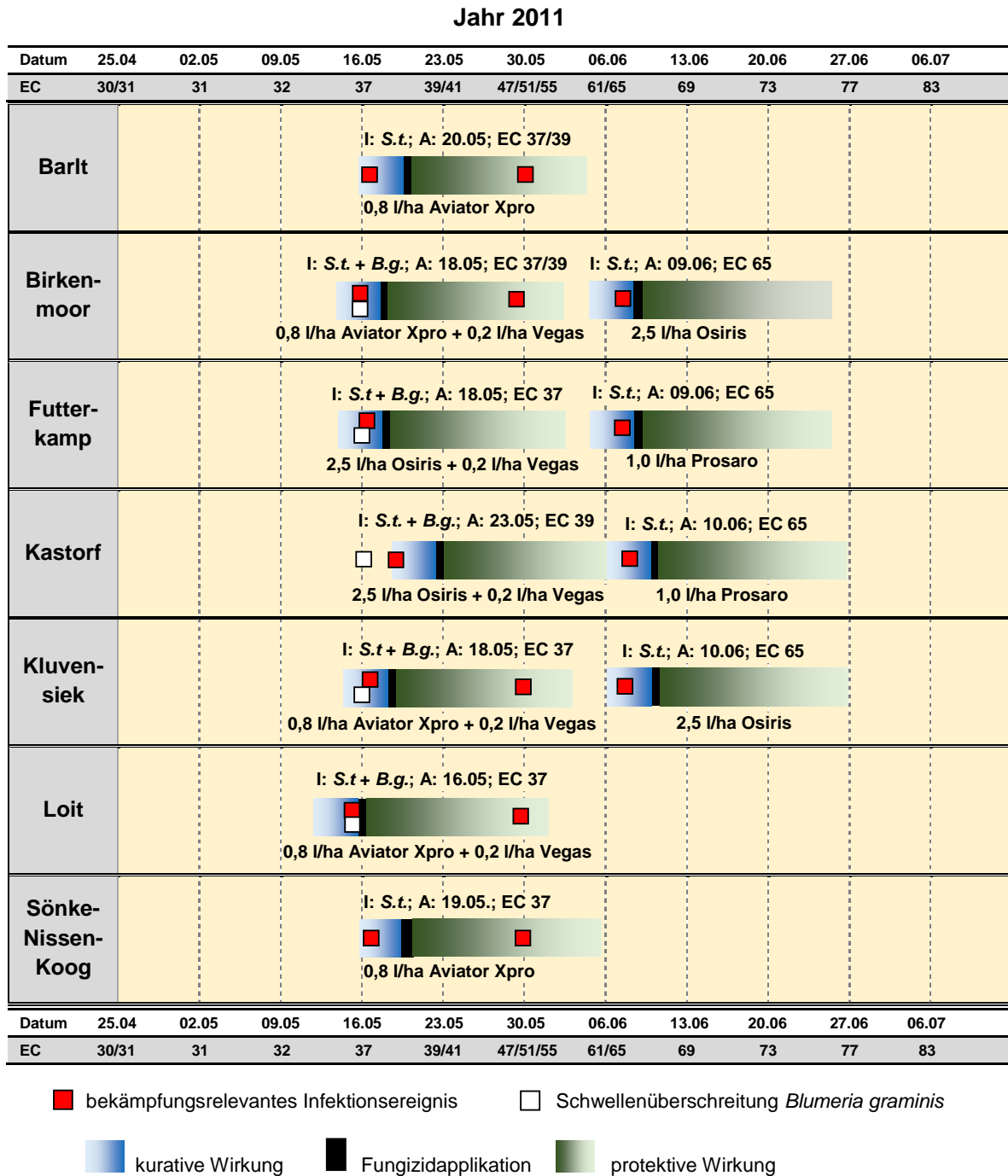


Abb. 45: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2011 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*)

In Abbildung 45 sind die Applikationsterminierungen der IPS-Varianten der Versuchsstandorte, ihre kurativen und protektiven Wirkungen, die Schwellenüberschreitungen der Erreger, die eingesetzten Fungizide und deren Aufwandmengen und Anwendungstermine für das Jahr 2011 dargestellt. Insgesamt wurden 21 Schwellenüberschreitungen festgestellt,

#### 4. Ergebnisse

---

wovon fünf eine Indikation gegen *Blumeria graminis* (24 %) und 16 eine Indikation gegen *Septoria tritici* (76 %) ausgerichtet waren.

An den Standorten Barlt, Loit und Sönke-Nissen-Koog erfolgte über die gesamte Vegetationsperiode lediglich eine Fungizidmaßnahme im Stadium EC 37 welche zum Ende der Schossphase (EC 37) appliziert wurde. An den übrigen Standorten kamen jeweils zwei Maßnahmen zur Anwendung, die ebenfalls zum Ende der Schossphase (EC 37) sowie zur Blüte (EC 61 – 69) appliziert wurden. Da die notwendigen Witterungskriterien für ein *Septoria tritici* spezifisches Infektionsereignis überregional in etwa zeitgleich erfüllt wurden, ergaben sich daraus zwei einheitliche Applikationszeiträume bzw. –fenster vom 16. - 23. Mai und am 09./10. Juni.

Aufgrund der Tatsache, dass jeweils die protektive Leistung der eingesetzten Präparate Berücksichtigung fand und somit die Wirkung eingesetzter Präparate nachfolgende Infektionsereignisse bzw. Neuinfektionen mit kontrollierte, schloss sich nicht an jedes Infektionsereignis bzw. an jede Schwellenüberschreitung eine chemisch-therapeutische Maßnahme an. Infolgedessen wurden im Jahr 2011 die 21 Überschreitungen mit 11 fungiziden Gegenmaßnahmen kontrolliert, was einer mittleren Applikationsfrequenz von 1,6 Applikationen pro Standort entspricht.

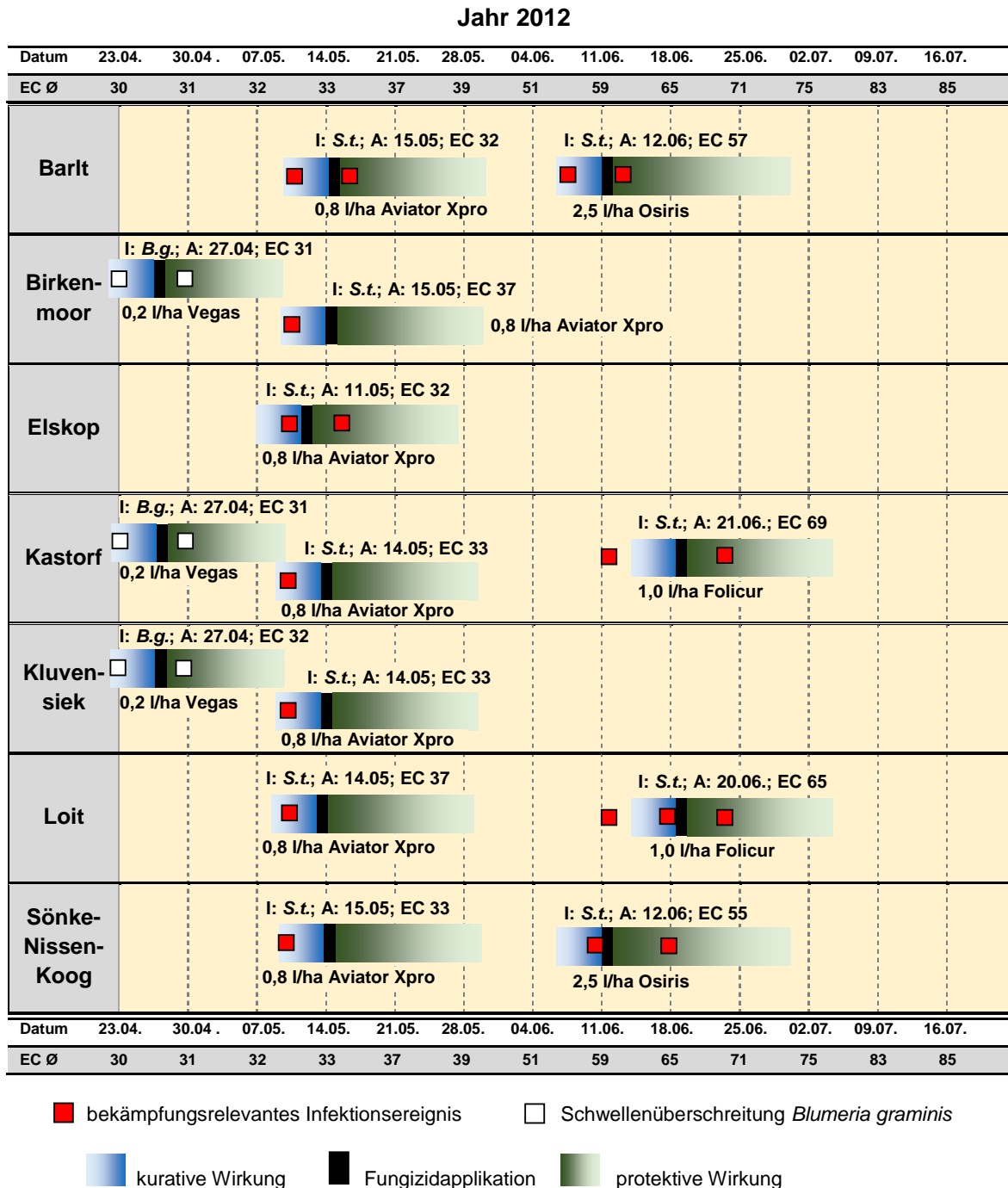


Abb. 46: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2012 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*)

In 2012 (Abb. 46) wurden 24 Schwellenüberschreitungen an den Versuchsstandorten induziert. In Futterkamp konnte aufgrund eines Applikationsfehlers keine schwellenorientierte Behandlung realisiert werden. Zu Beginn der Schossphase wurde an den Standorten Birkenmoor, Kastorf, und Kluvensiek eine Schwellenüberschreitung mit Indikation gegen *Blumeria graminis* mit einer Gegenmaßnahme durch das Spezialfungizid Vegas® (Cyflufenamid) angezeigt. Da die Applikation zum Ende der Boniturwoche erfolgte, und somit

#### 4. Ergebnisse

---

die Wirkung zum nächsten Termin nicht sichtbar war, wurde am nächsten Boniturtermin (30. April) erneut eine Befallshäufigkeit detektiert, die über dem Bekämpfungsschwellenwert von 70 % lag. Somit wurde aufgrund der Wirkungsdauer eingesetzten Präparates nicht weiter reagiert. Nach einem Infektionsereignis um den 10. Mai erfolgte standortübergreifend eine einheitliche Applikation mit Aviator Xpro® (Bixafen + Prothioconazol). Die Infektionsereignisse, die nach Ablauf der Protektivität des Fungizides Aviators® nachgewiesen werden konnten, wurden in Barlt und Sönke-Nissen-Koog mit Osiris® (Epoconazol + Metconazol) bzw. in Kastorf und Loit mit Folicur® (Tebuconazol) kontrolliert, sodass insgesamt über alle Standorte insgesamt 14 zielorientierte Fungizidmaßnahmen erfolgten. Dies entspricht einer Applikationsfrequenz von 2,0 Maßnahmen pro Standort. 79 % der Applikationen wurden in der Indikation *Septoria tritici* ausgeführt.

In 2013 resultierten 39 Schwellenüberschreitungen (Abb. 47). Von den 39 Überschreitungen war lediglich eine Indikation gegen das Pathogen *Blumeria graminis*. 38 Behandlungsfrequenzen (97 %) waren auf die Kontrolle des Zielorganismus *Septoria tritici* ausgerichtet.

Obwohl im Jahr 2013 mit 38 Schwellenüberschreitungen vergleichend zu 2012 etwa doppelt so viele angezeigt waren, konnten diese mithilfe der kurativen und protektiven Leistung eingesetzter Präparate Adexar® (Epoconazol + Fluxapyroxad), Input Xpro® (Bixafen + Prothioconazol + Spiroxamine) und Osiris® mittels zwölf fungizider Gegenmaßnahmen kontrolliert werden. Begünstigt wurde dies durch die enge Aufeinanderfolge *Septoria tritici*-spezifischer Infektionsereignisse, sodass durch die protektive Leistung eingesetzter Fungizide diese miterfasst wurden. Die um den 15. Juni aufgezeichneten Infektionsereignisse, die überregional einheitlich waren, wurden standortübergreifend zu Beginn des Ährenschiebens bzw. der Blüte mit einer Fungizidgegenmaßnahme bekämpft. Insgesamt betrug die mittlere Applikationsfrequenz im Jahr 2013 1,9 Fungizidapplikationen pro Standort.

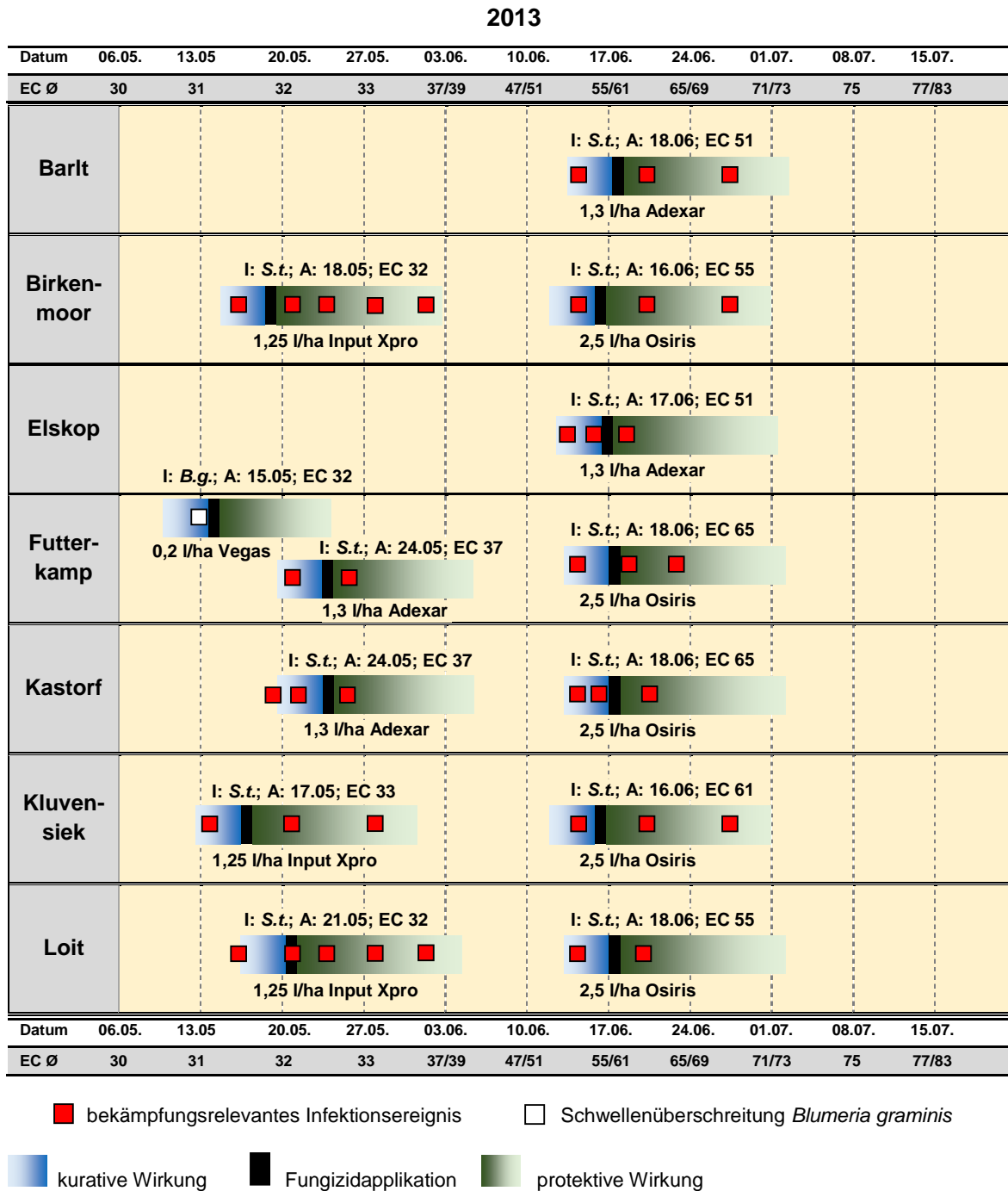


Abb. 47: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2013 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*)

Im Jahr 2014 resultierte lediglich eine Indikation gegen *Blumeria graminis*, hingegen wurden 18 schwellenorientierte Fungizidapplikationen durch die Indikation *Septoria tritici* ausgelöst (siehe Abb. 48).

4. Ergebnisse

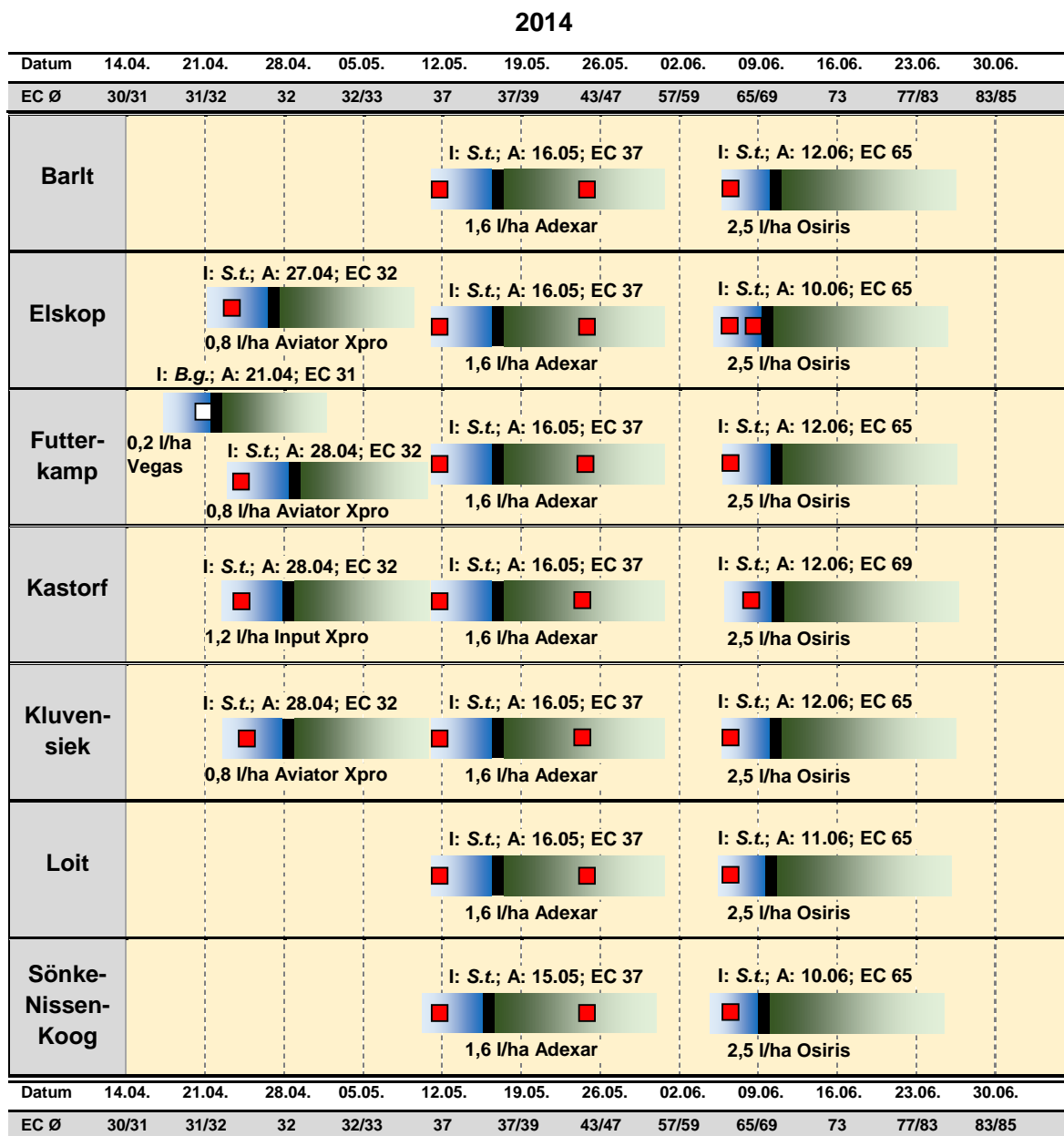


Abb. 48: Standortspezifische Fungizidapplikationen (l/ha) in der IPS-Variante an den Versuchsstandorten der Boniturperiode 2013 mit der Indikationsangabe (S.t. = *Septoria tritici* und B.g. = *Blumeria graminis*)

Durch eine bereits früh ausgelöste Indikation in Abhängigkeit eines frühen Infektionsereignisses und sich anschließender längere Zeitphasen weiterer Infektionsereignisse, waren an den Standorten Elskop, Futterkamp, Kastorf und Kluvensiek drei fungizide Gegenmaßnahmen erforderlich, um den Befallsdruck von *Septoria tritici* zu kontrollieren. Aufgrund der überregional einheitlichen Indikationszeitpunkte der beobachteten

Infektionsereignisse wurden die Fungizidmaßnahmen überregional zeitgleich ausgebracht. Im Jahr 2014 wurden, angepasst an die erhöht auftretenden Progressionen, pro Standort durchschnittlich 2,7 Applikationen durchgeführt. Diese vergleichsweise hohe Applikationsfrequenz ist durch die lange Vegetationsperiode sowie vor allem durch die chronologisch zeitlich weit gestaffelten Infektionsereignisse zurückzuführen.

In den Jahren 2011 bis 2014 wurden insgesamt 51 der 56 Fungizidapplikationen (91 %) mit Indikation gegen den Erreger *Septoria tritici* ausgeführt. Lediglich fünf Indikationen waren durch das epidemiologische relevante Befallsauftreten von *Blumeria graminis* begründet. Somit wurde *Septoria tritici* als Hauptschadpathogen der letzten vier Jahre in schleswig-holsteinischen Weizenbeständen dokumentiert. Das parallele, auf niedrigem Niveau gegebene Befallsauftreten der Pathogene *Puccinia triticina* oder *Drechslera tritici-repentis* wurde durch die gewählten, breitwirksamen Fungizide mit kontrolliert.

Insgesamt wurden hauptsächlich Triazol- und Carboxamid-haltige Fungizide eingesetzt, um eine gute Wirksamkeit gegenüber dem pilzlichen Hauptschaderreger des Weizens *Septoria tritici* zu gewährleisten. Zur Bekämpfung von *Blumeria graminis* kam das Mehltau-Spezialfungizid Vegas® zum Einsatz. Dieses besitzt eine gute abtötende Wirkung mit einer Langzeitwirkung gegenüber dem Echten Mehltau.

Alle eingesetzten Fungizide wurden mit reduzierter Aufwandmenge ausgebracht (Adexar®: 65 %, Aviator Xpro®: 65 %, Input Xpro®: 80 %, Osiris®: 83 %, Vegas®: 53 %), da die Erreger nach dem Schwellenkonzept in ihrer epidemiologische sensiblen Phase niederer Inokula durch die gegebene, ausreichende Wirkung vollends kontrolliert werden können.

### **Wirksamkeit der Fungizidmaßnahmen gegen die pilzlichen Erreger**

In dem folgenden Kapitel findet der Bekämpfungserfolg der drei Pathogene *Septoria tritici*, *Blumeria graminis* sowie *Puccinia triticina* anhand der in den IPS-Varianten eingesetzten Fungizidmaßnahmen für die Jahre 2011 bis 2014 Darstellung.

#### ***Septoria tritici***

Der aufsummierte Endbefall (SUM BSB) der nach dem IPS-Modell zu schützenden drei Blattetagen F-2 bis F zu EC 77/83 lag in der unbehandelten Kontrollvariante (schwarz) im Mittel der Jahre 2011 – 2014 bei 1099 Pyknidien. Dabei variierte dieser von 596 in Birkenmoor und 1559 Pyknidien in Elskop. Dennoch ist zu beachten, dass in dem befallsstarken Jahr 2014 in Birkenmoor kein Versuch mehr etabliert wurde. Die Standorte Barlt (930), Futterkamp (1022) und Kastorf (1124) lagen zusammen auf einem sehr ähnlichen Niveau. Die Endbefälle der Standorte Loit (1450) und Sönke-Nissen-Koog (1387) waren mit dem von Elskop vergleichbar.



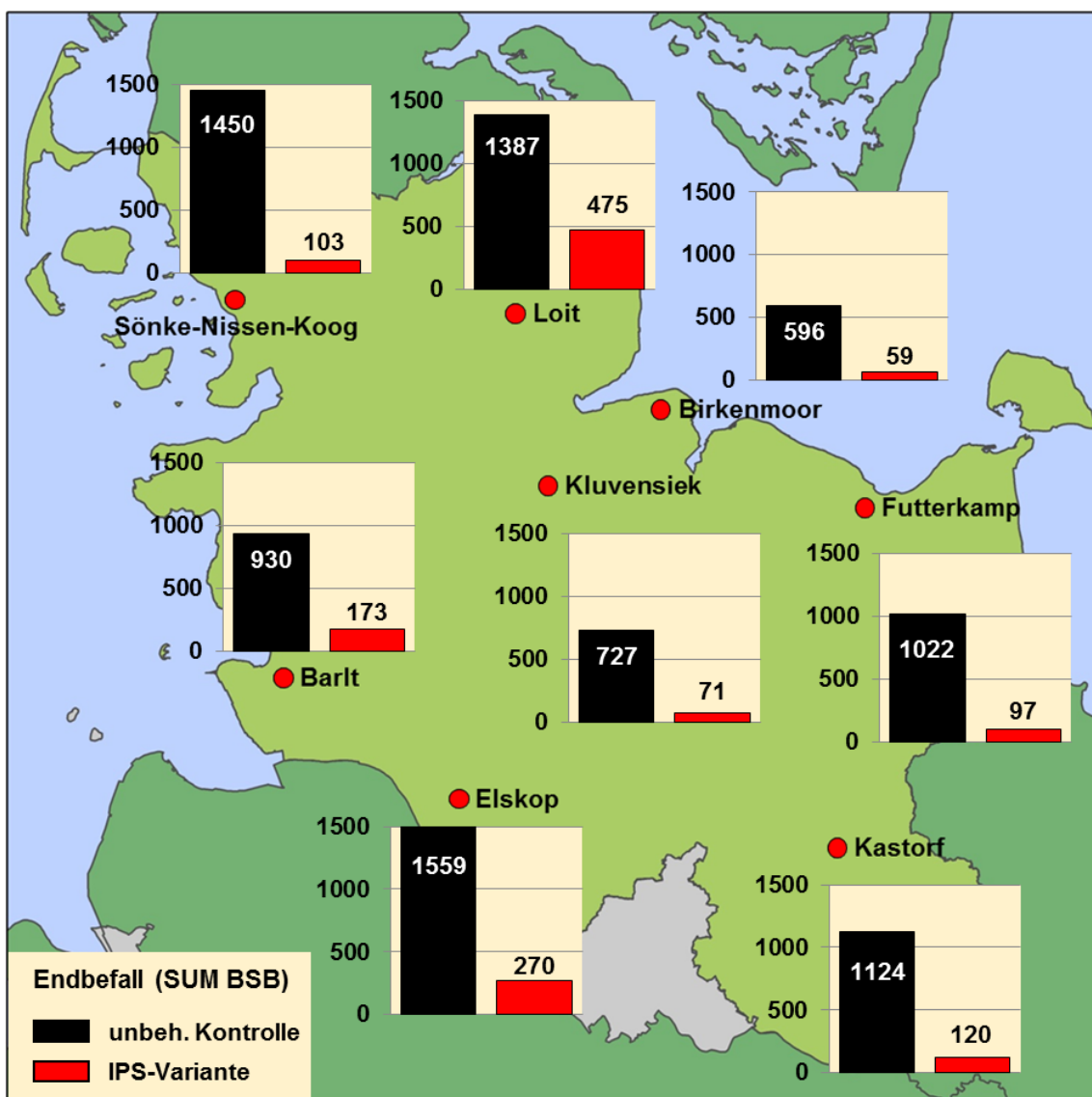


Abb. 49: Endbefall (SUM BSB; F-2 bis F) von *Septoria tritici* zu EC 77/83 der unbehandelten Kontrolle (schwarz) im Vergleich zu der fungizid-behandelten IPS-Variante (rot) im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 des überregionalen IPS-Monitorings Schleswig-Holstein

Am Standort Kluvensiek wurden mit 727 Pyknidien (SUM BSB) unterdurchschnittliche Befallsgrade erreicht. Unabhängig von der in den Einzeljahren erreichten Endbefällen in der unbehandelten Kontrolle konnten in den IPS-Varianten (rot) wiederkehrend hohe Befallsreduktionen detektiert werden, die sich im Durchschnitt von 74 % im Jahr 2013 bis zu 94 % im Jahr 2011 beliefen. Im Mittel aller Jahre konnte in der IPS-Variante der Endbefall (SUM BSB; EC 83) von 1099 auf 171 Pyknidien reduziert werden, was einem Bekämpfungserfolg von 84,4 % entspricht. Dabei variierte der Bekämpfungserfolg von 71,1 % in Loit und 91,6 % in Futterkamp. Die geringe Befallsreduktion am Standort Loit ist auf das Jahr 2014 zurückzuführen, indem diese lediglich bei 23,5 % lag. Mit dieser Ausnahme sank

der Bekämpfungserfolg an keinem Standort der Jahre unter 70 %, was einem konstant hohen Niveau entspricht.

### ***Blumeria graminis***

In der folgenden Abbildung 50 ist, analog zu *Septoria tritici*, der aufsummierte Endbefall (GES SUM BSB) des obligat-biotrophen Erreger *Blumeria graminis* zu EC 77/83 der Kontroll- sowie IPS-Variante illustriert. Dabei erreichten die unbehandelten Kontrollen im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 eine Befallsstärke von 1,1 % in Loit und 6,3 % (SUM GES BSB) in Futterkamp. Die Standorte an der Westküste Schleswig-Holsteins wiesen im Mittel keine Befall auf, sodass erneut das bereits beschriebene geographische Befallsmuster zu erkennen ist.

In der IPS-Variante variierten die Endbefallsstärken zwischen 0,5 % in Loit und 2,5 % in Futterkamp, sodass im Mittel eine Befallsreduktion von 60,7 % des jeweiligen Kontrollwertes aufgrund der in der IPS-Variante vorgenommenen Fungizidapplikationen zu ermittelt war. Die entsprechenden Fungizidmaßnahmen sind dem Kapitel 4.1.6 zu entnehmen. Im Vergleich zum Bekämpfungserfolg von *Septoria tritici* (84,4 %), lag dieser bei *Blumeria graminis* auf einem niedrigeren Niveau (60,7 %). Dieser ist jedoch über die Standorte und Jahre konstanter als bei *Septoria tritici*, da der Bekämpfungserfolg lediglich zwischen 57,3 und 66,8 % schwankte.

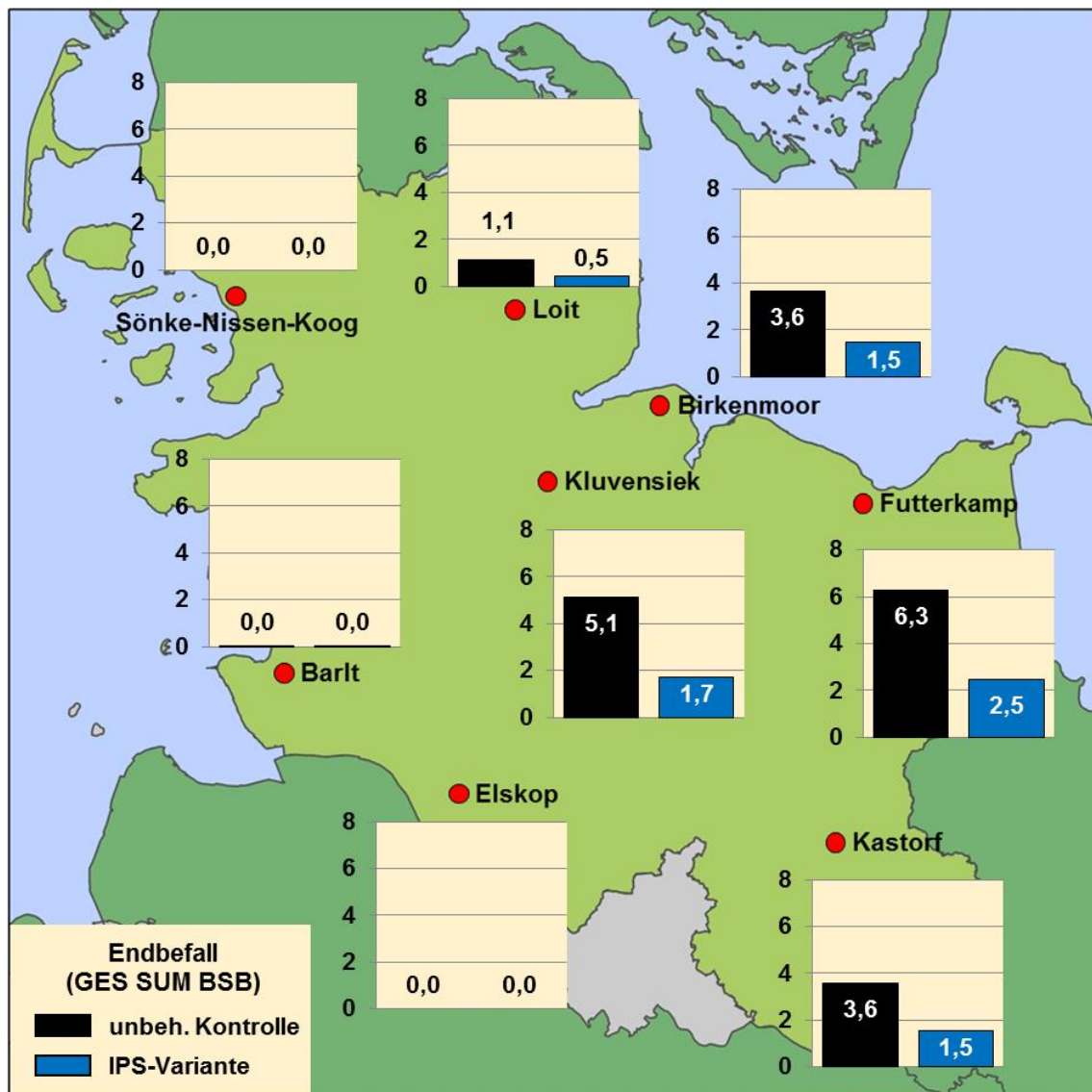


Abb. 50: Endbefall (SUM BSB; F-2 bis F) von *Blumeria graminis* zu EC 77/83 der unbehandelten Kontrolle (schwarz) im Vergleich zu der fungizid-behandelten IPS-Variante (blau) im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 des überregionalen IPS-Monitorings Schleswig-Holstein

### *Puccinia triticina*

Wie bereits in Kapitel 4.1.5 beschrieben und in Abbildung 38 dargestellt, konnten nur im Jahr 2012 nennenswerte Befallsgrade von *Puccinia triticina* beobachtet werden. Dennoch waren diese so gering, dass in den Jahren 2011 bis 2014 an keinem Standort eine Überschreitung der Bekämpfungsschwelle von 30 % befallener Pflanzen im Bekämpfungszeitraum bis EC 69 erfasst wurde. Obwohl keine der angewendeten Fungizidmaßnahmen die Indikation *Puccinia triticina* besaß, konnte der in Kontrollvariante aufgetretene Befall in der IPS-Variante um 93,7 % auf annähernd null reduziert werden. Infolgedessen konnte nur an drei Standorten (Elskop, 2012; Kastorf, 2014; Loit, 2014) *Puccinia triticina* in der IPS-Variante überhaupt detektiert werden.

#### 4.1.7 Einfluss der Fungizidmaßnahmen auf die Nekrotisierung des Blattapparates

Die Nekrotisierung des Blattapparates gibt Auskunft über dessen Leistungsfähigkeit, da die Photosynthese auf intaktes Blattgewebe angewiesen ist. Im Verlauf der Vegetation sind die einzelnen Blattetagen des Weizens einer Nekrotisierung unterworfen. Je nach Zeitpunkt des Erscheinens beginnt die Nekrotisierung zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Je früher eine Blattetage erscheint desto früher beginnt dessen Nekrotisierung. In der folgenden Abbildung 51 sind die mittleren Nekrotisierungsgrade (F-2 bis F) der unbehandelten Kontrollvarianten sowie der Fungizid-behandelten IPS-Varianten zum Ende der Teigreife EC 77/83 dargestellt und als Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2014 angegeben.

In den Kontrollvarianten variierte die Nekrotisierungsgrad zwischen 43,1 % in Birkenmoor und 61,4 % in Kastorf, wobei sich die Standorte Barlt, Elskop und Kluvensiek in etwa auf dem Niveau von Birkenmoor befanden. Somit ist zusammenfassend in den unbehandelten Kontrollvarianten im Mittel der Standorte zu EC 77/83 lediglich die Hälfte der Blattfläche zur Photosynthese befähigt. Durch die Applikation von Fungiziden wurde die Gesamtnekrotisierung der Blattetagen F-2 bis F an allen Standorten stark reduziert. So verminderten die Fungizidmaßnahmen am Standort Loit im Mittel der Jahre den Nekrotisierungsgrad um 29,4 % auf 26,1 % der Blattfläche. Die stärkste Reduktion konnte dabei am Standort Sönke-Nissen-Koog erreicht werden, sodass der obere Blattapparat nach den Fungizidapplikationen lediglich eine Nekrotisierung von nur 5,5 % aufwies. Dies entspricht einer Reduktion von mehr als 50 %. Infolge dessen standen an diesem Standort noch 94,5 % der Blattfläche zur Assimilation zur Verfügung. An den restlichen Standorten variierte die Reduktion der Nekrose aufgrund der durchgeführten Fungizidmaßnahmen von 22,4 % in Elskop bis 43 % in Futterkamp.

Im Mittel der Standorte wurde dabei eine durchschnittliche Reduktion um 37 % erreicht, sodass zum Ende der Kornfüllungsphase noch 86 % der Blattfläche photosynthetisch aktiv waren. Bei der Nekrotisierung der Blattfläche ist jedoch unter zwei verschiedenen Arten des Absterbens zu unterscheiden. Zum einen gibt es die Pathogen-bedingte Nekrotisierung, die durch sogenannte perthotrophe Erreger verursacht wird. Als zweites sind Pflanzen einer natürlichen Seneszenz unterworfen, die durch physiologische Effekte wie Beschattung und natürliche Abreife hervorgerufen werden. Fungizidmaßnahmen können wie in Abbildung 51 dargestellt, sowohl die pathogen-bedingte Nekrotisierung sowie die Altersabhängige Seneszenz zu mindern.

## 4. Ergebnisse

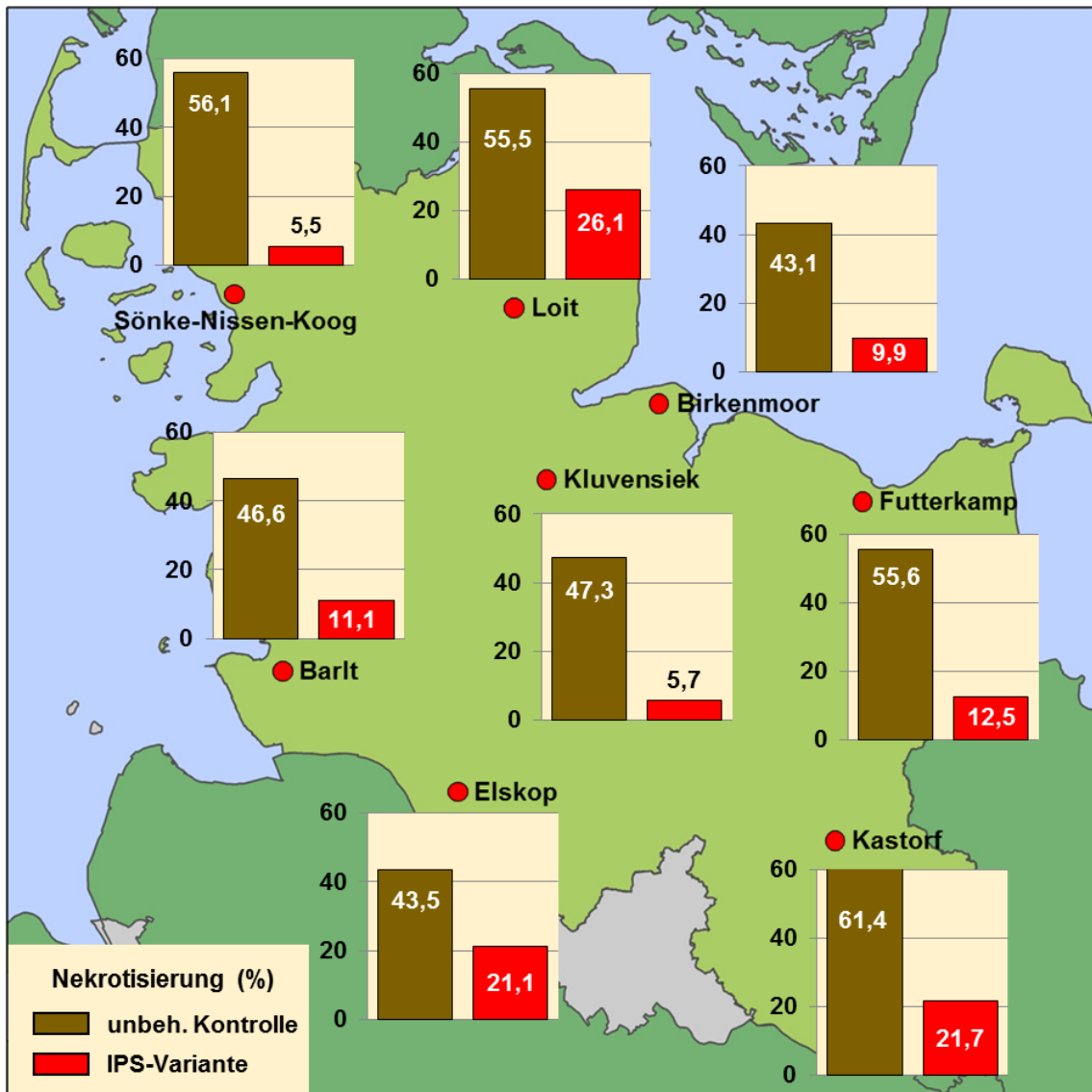


Abb. 51: Mittlere Nekrotisierung der Blättertagen F-2 bis F zum Ende der Kornfüllungsphase EC 77/83 in der unbehandelten Kontrolle sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante als Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2014

Die Unterscheidung der beiden Arten ist dabei sehr schwierig, da diese sehr häufig parallel auftreten. Vor allem zum Ende der Vegetation nekrotisiert die Blattfläche des oberen ertragsessenziellen Blattapparates der Blättertagen F-2 bis zum Fahnenblatt durch zunehmende Abreife bzw. Befallsanstiege perithotroper Erreger.

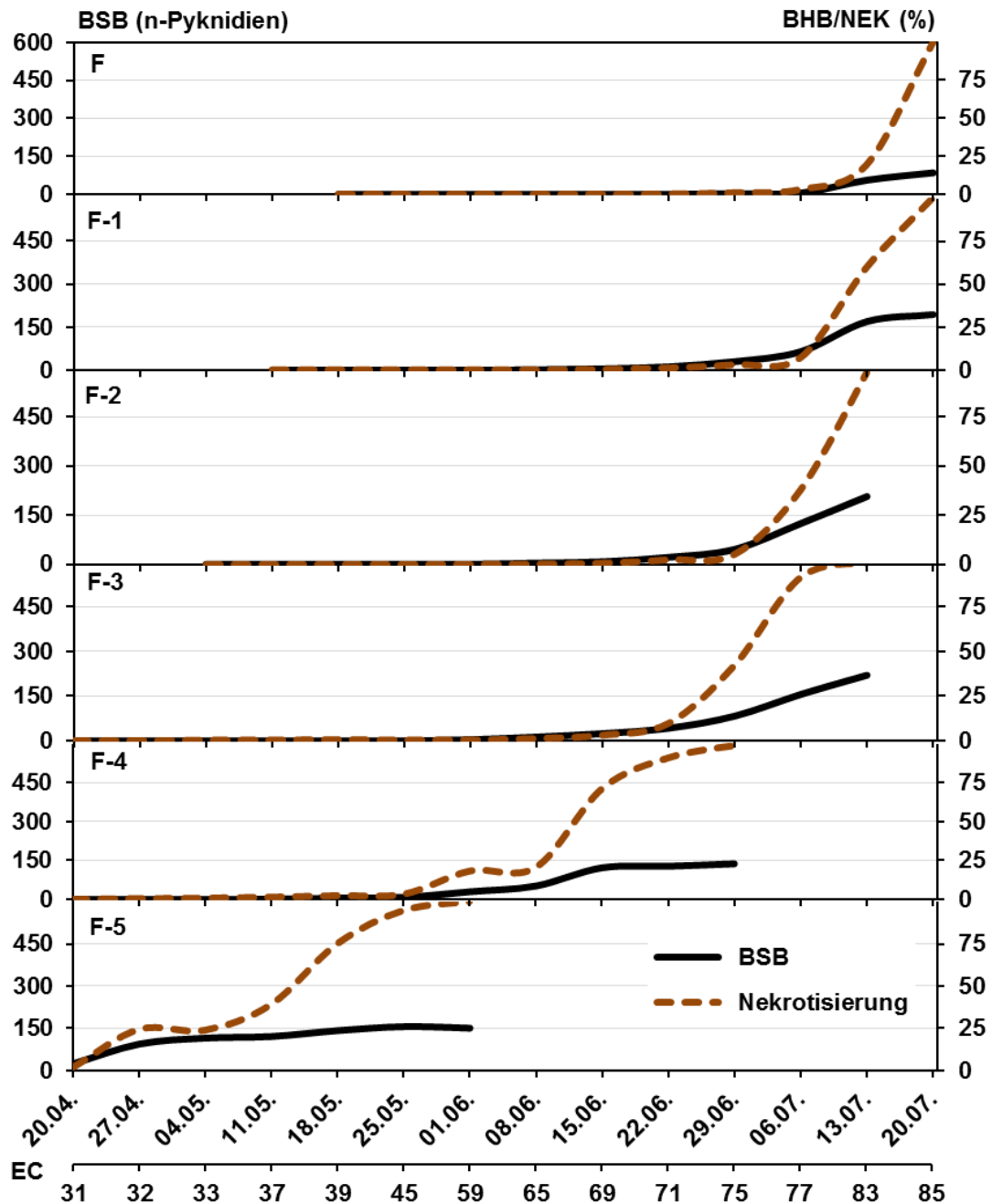


Abb. 52: Verlauf der Nekrotisierung in % (braun) sowie des *Septoria tritici*-Befalls in Pyknidien der Blattetagen F-5 bis F der unbehandelten Kontrolle des Standortes Kluvensiek aus dem Jahr 2009 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein

In Abbildung 52 ist zur Veranschaulichung eine Fallstudie des Jahres 2009 des Standortes Kluvensiek dargestellt, an dem der Prozess näher erläutert werden soll.

Im Verlauf der Vegetation nehmen sowohl die Nekrotisierung als auch der Befall mit *Septoria tritici* stetig zu. Jedoch ist auffällig, dass vor allem auf den Blattetagen F-5, F-4, F-1 und des Fahnenblattes der Grad der Nekrotisierung ansteigt, obwohl der Befall mit *Septoria tritici* stagniert.

Da mittels angewandeter Exaktbonitur keine weiteren perthotrophen Erreger innerhalb der Fallstudie detektiert wurden, ist die Zunahme der Nekrotisierung bei Stagnation der *Septoria tritici*-Befalls nicht auf andere Pathogene zurückzuführen. Somit ist davon auszugehen, dass die Zunahme als natürliche Abreife (Seneszenz) zu verstehen ist.

Besonders deutlich wird dies auf der Blattetage F-5. Im Zeitraum vom 04. Mai bis zum 01. Juni konnten keine nennenswerten Zunahmen an Pyknidien beobachtet werden, obwohl der Grad der Nekrotisierung von 23,7 auf 100 % anstieg. Im Vorfeld verliefen die Kurven der beiden Parameter noch parallel.

Ein sehr ähnliches Bild zeigte sich auf der Blattetage F-1. Dort konnte vom 13. Juli bis 20. Juli eine deutliche Zunahme der Nekrose festgestellt werden, obwohl der Befall im gleichen Zeitraum stagnierte. Diese soeben genannten Verläufe erleichtern eine Differenzierung zwischen natürlicher Seneszenz und pathogen-induzierter Nekrotisierung. Steigen jedoch der Grad der Nekrotisierung und der Befall von *Septoria tritici* gleichzeitig an, ist die Differenzierung stark erschwert.

Aufgrund der unterschiedlichen Parametererfassung der jeweiligen Kenngrößen, können diese nicht direkt aufeinander bezogen werden. So wird der Nekrotisierungsgrad in Prozent der Blattfläche angegeben, welcher ein relativer Wert ist. Gleichzeitig wird der Befall von *Septoria tritici* in Summe der Pyknidien erfasst, sodass dieser einen absoluten Wert ergibt.

Infolge dessen kann nicht direkt, sondern nur relativ aufeinander geschlossen werden. Zur besseren Abschätzung der pathogen-induzierten Nekrotisierung, wurde die Beziehung zwischen der Nekrotisierung der Blattetagen F-1 und F sowie dem zeitgleichen Befall mit *Septoria tritici* in Abbildung 53 dargestellt. Um keine Beeinflussung der einsetzenden natürlichen Seneszenz zu erhalten, wurden lediglich die Befalls- und Nekrotisierungsparameter bis EC 75 der Fungizid-behandelten IPS-Varianten der Jahre 2011 bis 2014 verwendet.

Somit kann anhand der Formel:

$$\text{Pathogen-induzierte Nekrotisierung} = 0,1062 * \text{BSB (n-Pyknidien)} + 0,0524$$

auf den *Septoria tritici*-induzierten Nekrotisierungsgrad geschlossen werden. Dies ermöglicht zum Zeitpunkt der einsetzenden natürlichen Seneszenz, diese von der pathogen-induzierten Nekrotisierung zu unterscheiden.

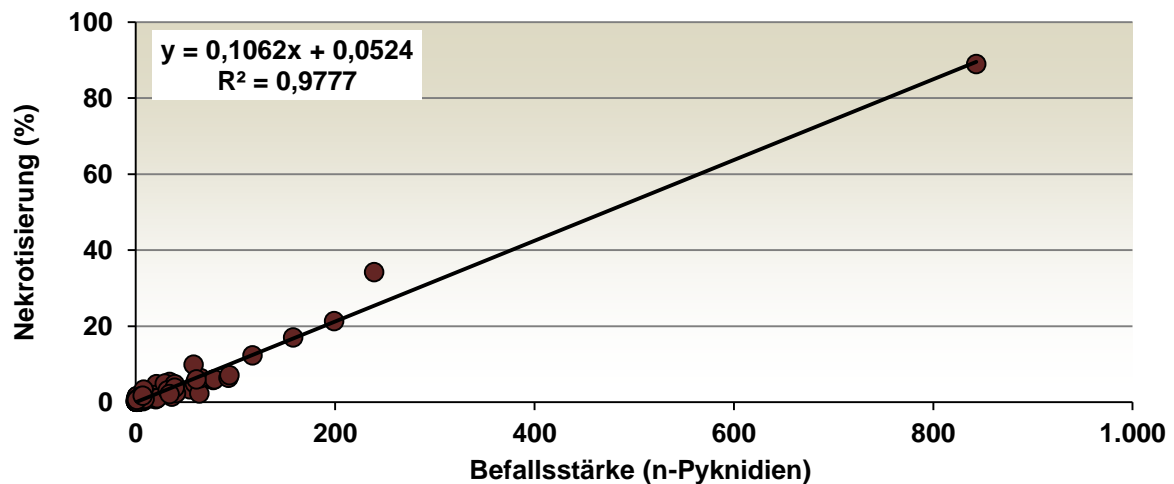


Abb. 53: Zusammenhang zwischen der Nektrotisierung (%) sowie der Befallsstärke (BSB) von *Septoria tritici* der Blattetagen F-1 und F aus den IPS-Varianten aller Standorte bis zu EC 75 (n=136)

Um den Unterschied zwischen pathogen-induzierter Nektrotisierung und Gesamtnekrose (pathogen-induzierte und natürliche Seneszenz) näher zu erläutern, ist in Abbildung 54 exemplarisch eine Fallstudie aus dem Jahr 2014 des Standortes Barlt dargestellt. Neben unbehandelten Kontrolle (links) ist zusätzlich die Fungizid-behandelte IPS-Variante (rechts) dokumentiert, in der zwei Fungizidapplikationen Anwendung fanden. Bei dem Vergleich der errechneten erregerspezifisch induzierten Nektrotisierung zum erfassten Gesamtnektrotisierungsgrad ist auffällig, dass in der unbehandelten Kontrolle der Gesamtnektrotisierungsgrad den pathogen-induzierten Nektrotisierungsgrad auf den Blattetagen F-2 ab EC 73, F-1 ab EC 77 und F zu EC 83 deutlich übersteigt.

Diese überproportionale große Differenz zwischen der pathogen-induzierten Nektrotisierung und dem Gesamtnektrotisierungsgrad, der auf der Blattetage F-2 dem doppelten Anteil entspricht, ist auf natürliche Seneszenz zurückzuführen, da an diesem Standorten keine weiteren perthotrophen Pathogene nachgewiesen wurden. In der IPS-Variante (Abb.54; rechts) ist dahingegen die von *Septoria tritici* ausgelöste Nektrotisierung bedeutend geringer, da durch die zwei Fungizidapplikationen die Befallsstärke (SUM BSB) auf den Blattetagen F um 96, F-1 um 82 und F-2 um 41 % reduziert wurde. Gleichzeitig entspricht die diagnostizierte Gesamtnekrose in etwa dem induzierten Nektrotisierungsgrad von *Septoria tritici*. Somit konnte im Gegensatz zu der Kontrollvariante, in der die natürliche Seneszenz ab EC 73 zunahm, in der IPS-Variante keine natürliche Abreife beobachtet werden. Infolge dessen konnte durch die Fungizidapplikation mit 1,6 l/ha Adexar® (Epoconazol und Fluxapyroxad) sowie 2,5 l/ha Osiris® (Epoconazol und Metconazol) zusätzlich zur Pathogenbekämpfung noch die natürliche Abreife verzögert werden.



## 4. Ergebnisse

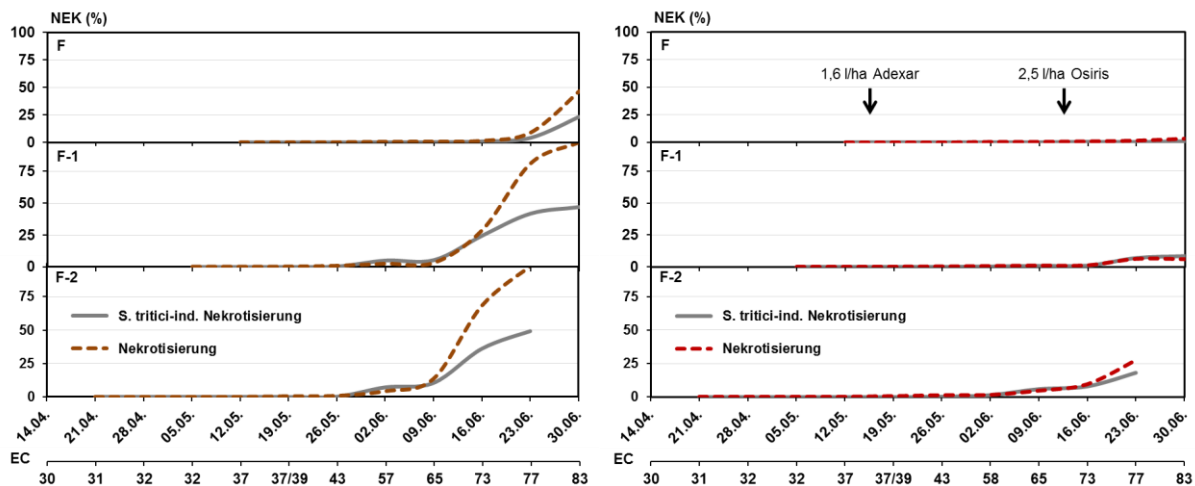


Abb. 54: Vergleich der ermittelten Gesamtnekrotisierung zur *Septoria tritici*-induzierten Nekrotisierung (errechnet) anhand der unbehandelten Kontrolle (links) sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante (rechts) des Standortes Barlt aus dem Jahr 2014 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein. Der Zeitpunkt der Fungizidapplikation ist mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Am Standort Kluvensiek des Jahres 2010 (Abb. 55), zeigt sich, dass in der unbehandelten Kontrolle ab dem EC-Stadium 71 bzw. 75 die natürliche Seneszenz gegenüber der pathogen-induzierten Nekrotisierung deutlich zunimmt.

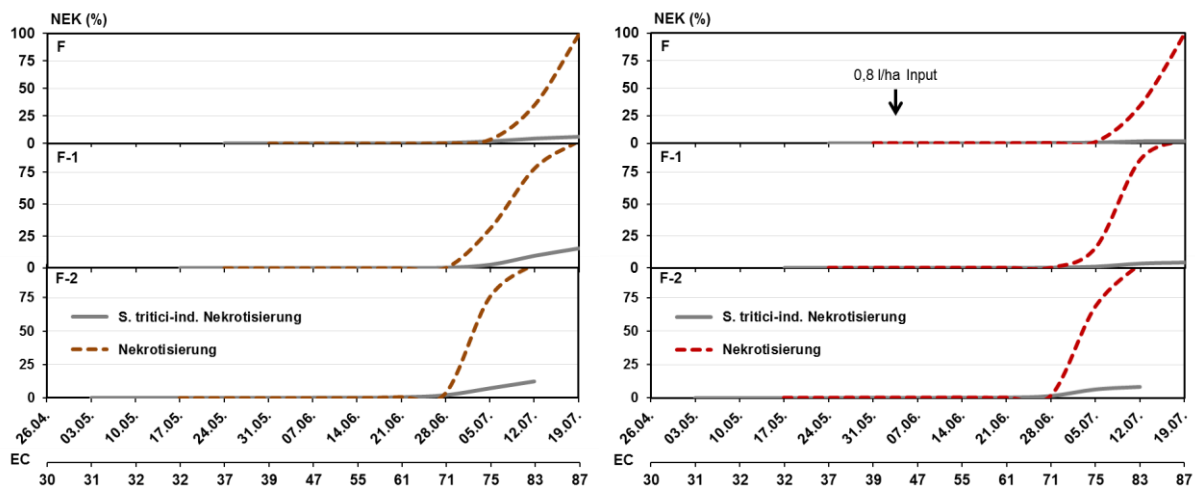


Abb. 55: Vergleich der ermittelten Gesamtnekrotisierung zur *Septoria tritici*-induzierten Nekrotisierung (errechnet) anhand der unbehandelten Kontrolle (links) sowie der Fungizid-behandelten IPS-Variante (rechts) des Standortes Kluvensiek aus dem Jahr 2010 des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein. Der Zeitpunkt der Fungizidapplikation ist mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Da sich die Befallsstärken auf allen dargestellten Blattetagen auf sehr geringem Niveau befanden, war die pathogen-induzierte Nekrotisierung ebenfalls auf niedrigem Niveau. Im Gegensatz zum Jahr 2014 am Standort Barlt (Abb. 54; rechts), stieg im Jahr 2010 am Standort

KlUVensiek (Abb. 55; rechts) in der fungizidbehandelten IPS-Variante die Gesamtnekrotisierung vergleichsweise stark an, obwohl eine Fungizidapplikation am 03. Juni mit 0,8 l/ha Input® (Prothioconazol und Tebuconazol) den *Septoria tritici*- Befall um durchschnittlich 59 % reduzierte. Im weiteren Verlauf hatte diese durchgeführte Fungizidmaßnahme keinen großen Einfluss auf die natürliche Seneszenz. Diese steigt wie in der Kontrollvariante (Abb. 55; links) auf den Blattetagen F-2 und F-1 ab EC 71 sowie auf F ab EC 75 kontinuierlich an. Im Vergleich zum Jahr 2014 am Standort Barlt erfolgte im Jahr 2010 am Standort KlUVensiek lediglich eine Behandlung, die wiederum drei Wochen früher in der Vegetation appliziert wurde.

#### 4.1.8 Kornerträge

In diesem Kapitel werden die Kornerträge aller Varianten, die an den Versuchsstandorten resultieren, dargestellt und interpretiert.

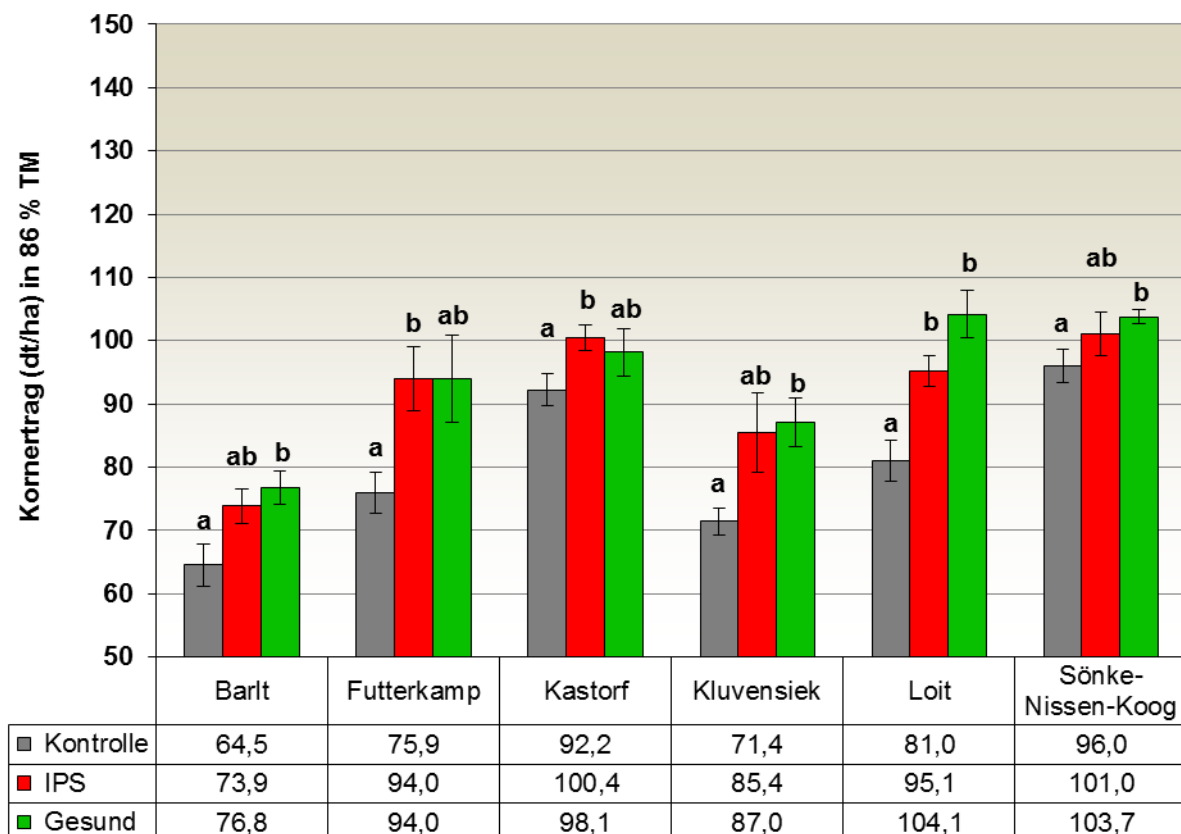


Abb. 56: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2011 sowie statistischer Mittelwertvergleich ( $n = 4$ ) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ )

## 4. Ergebnisse

Dargestellt werden somit die unbehandelte Kontrolle (Fungizid-frei), die IPS-Variante, in der die Fungizide nach Schwellenkonzept des IPS-Modells Weizen appliziert wurden sowie die Gesundvariante, in der die Fungizide nach festen EC- Stadien ausgebracht wurden. Im Jahr 2011 lag das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrolle im Mittel aller Standorte bei 80,2 dt/ha (64,5 - 96,0 dt/ha), während der Durchschnittsertrag der IPS-Variante (73,9 – 101,0 dt/ha) bei 91,6 dt/ha lag und somit um 11,5 dt/ha höher als das Mittel der unbehandelten Kontrolle war (Abb. 56). Aufgrund widriger Witterungsbedingungen im Jahr 2011 konnten die Standorte Birkenmoor und Elskop nicht beerntet werden. Das Ertragsniveau der stadienorientierten Gesundvariante befand sich mit 99,1 dt/ha nur gering über dem der schwellenorientierten IPS-Variante. Insgesamt konnte an den drei Standorten Futterkamp, Kastorf, und Loit in der IPS-Variante signifikant höhere Erträge als in der unbehandelten Kontrolle ermittelt werden. Die Gesundvarianten wiesen in 2011 keinen signifikanten Mehrertrag gegenüber den IPS-Varianten auf.

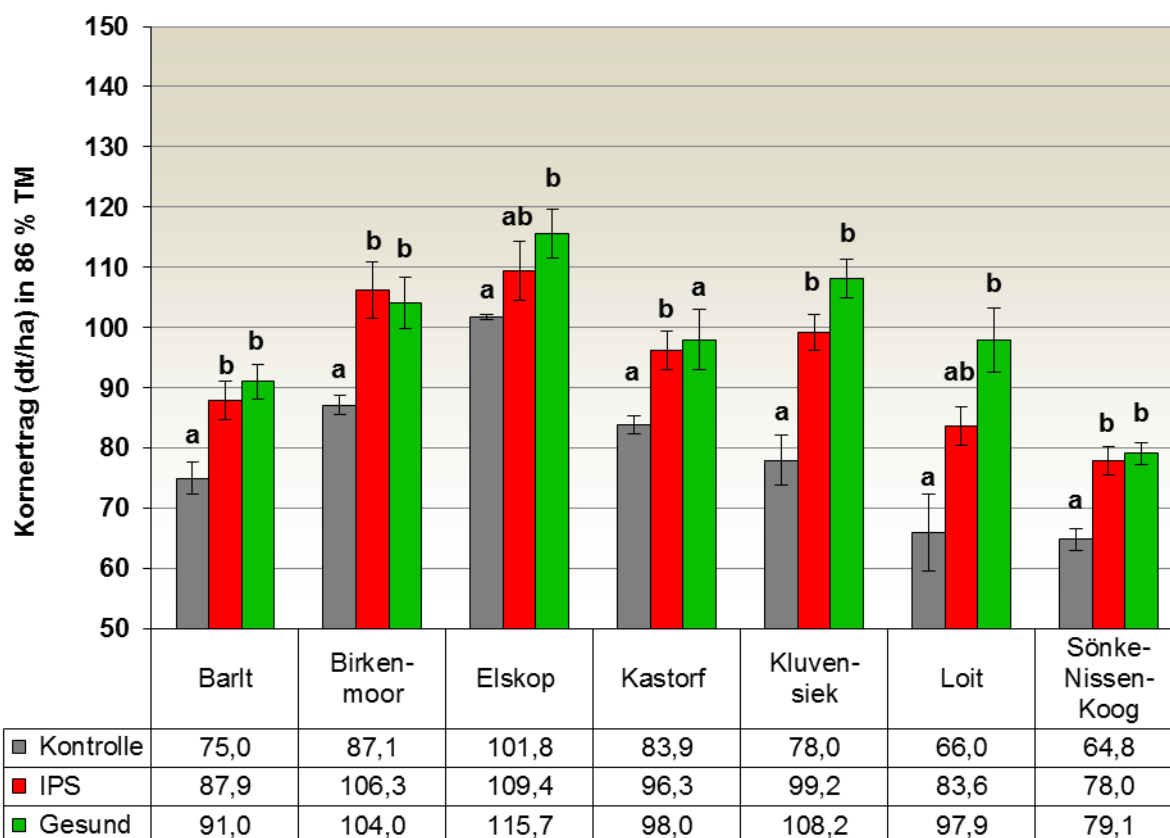


Abb. 57: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2012 sowie statistischer Mittelwertvergleich ( $n = 4$ ) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ )

In Abbildung 57 sind die Kornerträge des Jahres 2012 dargestellt. Vergleichend zum Jahr 2011 lag das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrolle in 2012 im Mittel aller Standorte mit 79,5

dt/ha (64,8 – 101,8 dt/ha) nur geringfügig unter dem des Vorjahres. Der Durchschnittsertrag der IPS-Variante (78,0 – 109,4 dt/ha) liegt mit 94,4 dt/ha um 14,9 dt/ha höher als das Mittel der unbehandelten Kontrollen.

Aufgrund des größeren Ertragsunterschiedes konnte an fünf der sieben Standorte ein signifikanter Mehrertrag der IPS-Variante im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle realisiert werden. Wie bereits im Jahr 2011 wiesen die Gesundvarianten mit einem Durchschnittsertrag von 99,1 dt/ha keinen signifikant höheren Ertrag gegenüber den IPS-Varianten auf. Der Standort Futterkamp wurde nicht beerntet.

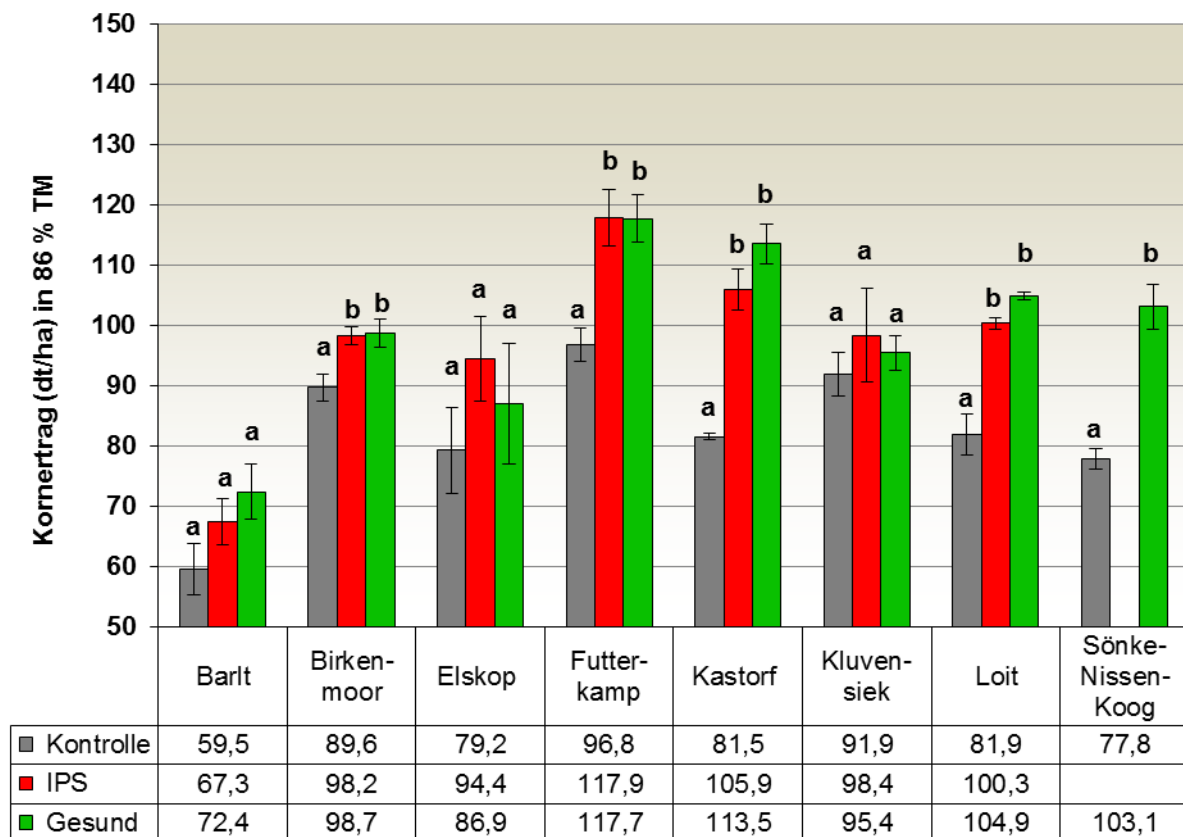


Abb. 58: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2013 sowie statistischer Mittelwertvergleich ( $n = 4$ ) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ )

Im Jahr 2013 (Abb. 58) lag das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrolle im Mittel aller Standorte bei 82,3 dt/ha (59,5 – 91,9 dt/ha) nur geringfügig über dem des Vorjahres. Die IPS-Variante wies einen Durchschnittsertrag (67,3 – 117,9 dt/ha) von 97,5 dt/ha auf, der um 15,2 dt/ha höher als das Mittel der unbehandelten Kontrollen lag. Dieser Ertragsunterschied lag auf Vorjahresniveau.

Aufgrund der größeren Standardabweichungen an den Standorten Barlt und Elskop im Jahr 2013 konnte dort kein signifikanter Mehrertrag der IPS- und Gesundvariante im Vergleich zur

## 4. Ergebnisse

unbehandelten Kontrolle festgestellt werden. Am Standort Kluvensiek waren die Ertragsunterschiede vergleichsweise gering, sodass dort ebenfalls keine signifikanten Ertragsunterschiede berechnet wurden. Dennoch konnte an vier Standorten ein signifikanter Mehrertrag der IPS-Variante beobachtet werden. Wiederholt wiesen die Gesundvarianten (72,4 – 117,7 dt/ha) mit einem Durchschnittsertrag von 99,1 dt/ha keinen signifikant höheren Ertrag gegenüber den IPS-Varianten auf. An den Standorten Barlt, Elskop und Kluvensiek wurde ebenfalls kein signifikanter Mehrertrag gegenüber der unbehandelten Kontrolle berechnet. Am Standort Sönke-Nissen-Koog konnte witterungsbedingt keine IPS-Variante etabliert werden.

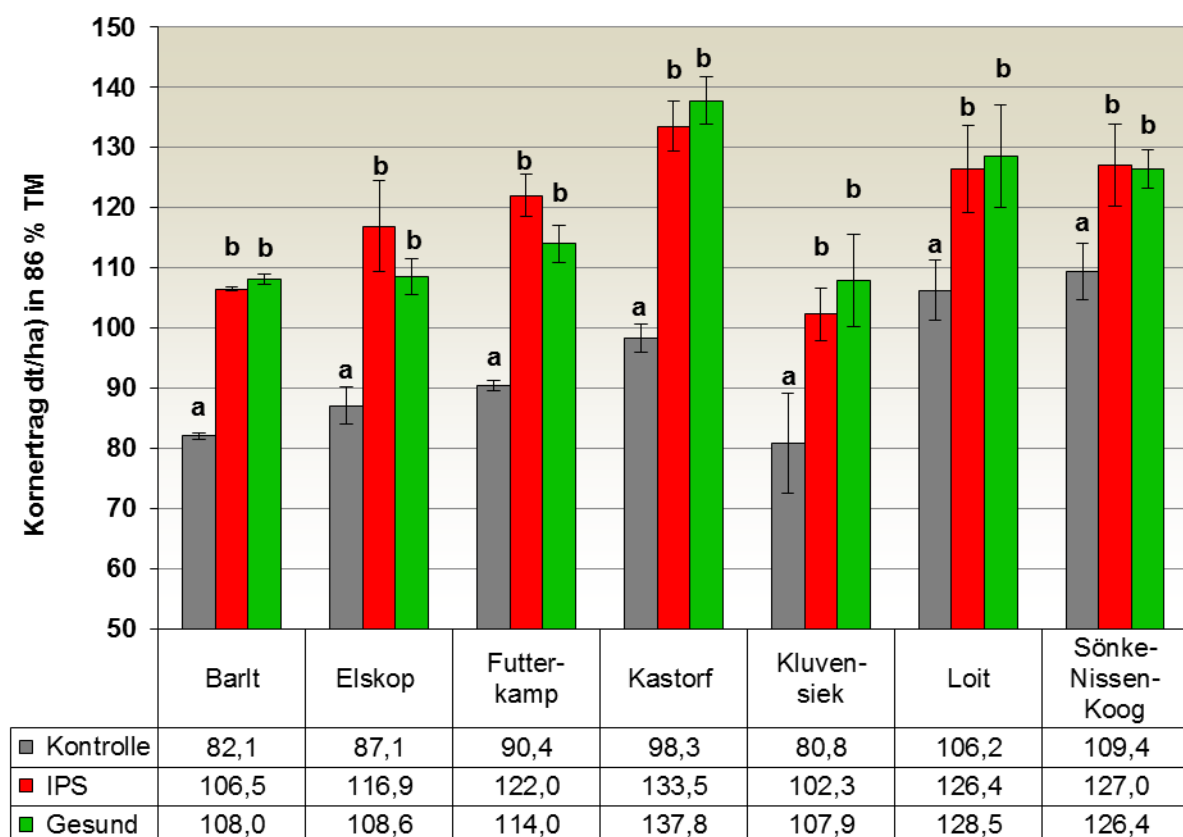


Abb. 59: Kornerträge (dt/ha in 86 % TM) der unbehandelten Kontrolle, der IPS-Variante und der Gesundvariante aller Versuchsstandorte im Jahr 2014 sowie statistischer Mittelwertvergleich ( $n = 4$ ) mittels multiplem Kontrasttest ( $p \leq 0,05$ )

Das Jahr 2014 (Abb. 59) wies im Vergleich der Jahre 2011 bis 2014 die höchsten Verlustminderungen in Form eines Ertragsanstieges im Mittel der Fungizid-behandelten IPS- (+ 25,8 dt/ha) sowie Gesundvariante (+ 25,3 dt/ha) gegenüber der unbehandelten Kontrolle auf. Die Erträge variierten dabei von 102,3 – 133,5 dt/ha in IPS-Variante. Am Standort Kastorf konnte der größte Mehrertrag von 35,2 dt/ha in der IPS-Variante sowie 39,5 dt/ha in der Gesundvariante diagnostiziert werden, was einer prozentualen Ertragssteigerung von 36 bzw.

40 % entspricht. Gleichzeitig konnte standortübergreifend ein deutlich höherer Ertrag in den unbehandelten Kontrollen (80,8 – 109,4 dt/ha) beobachtet werden, der in etwa 13 dt/ha über dem Mittel der Vorjahre lag. Die Gesundvarianten der Standorte Elskop, Futterkamp und Sönke-Nissen-Koog wiesen geringere Erträge als die IPS-Variante auf, welche jedoch nicht signifikant waren. Im vierten Jahr in Folge konnte keine der Gesundvarianten signifikant höhere Erträge als die vergleichbare IPS-Variante aufzeigen.

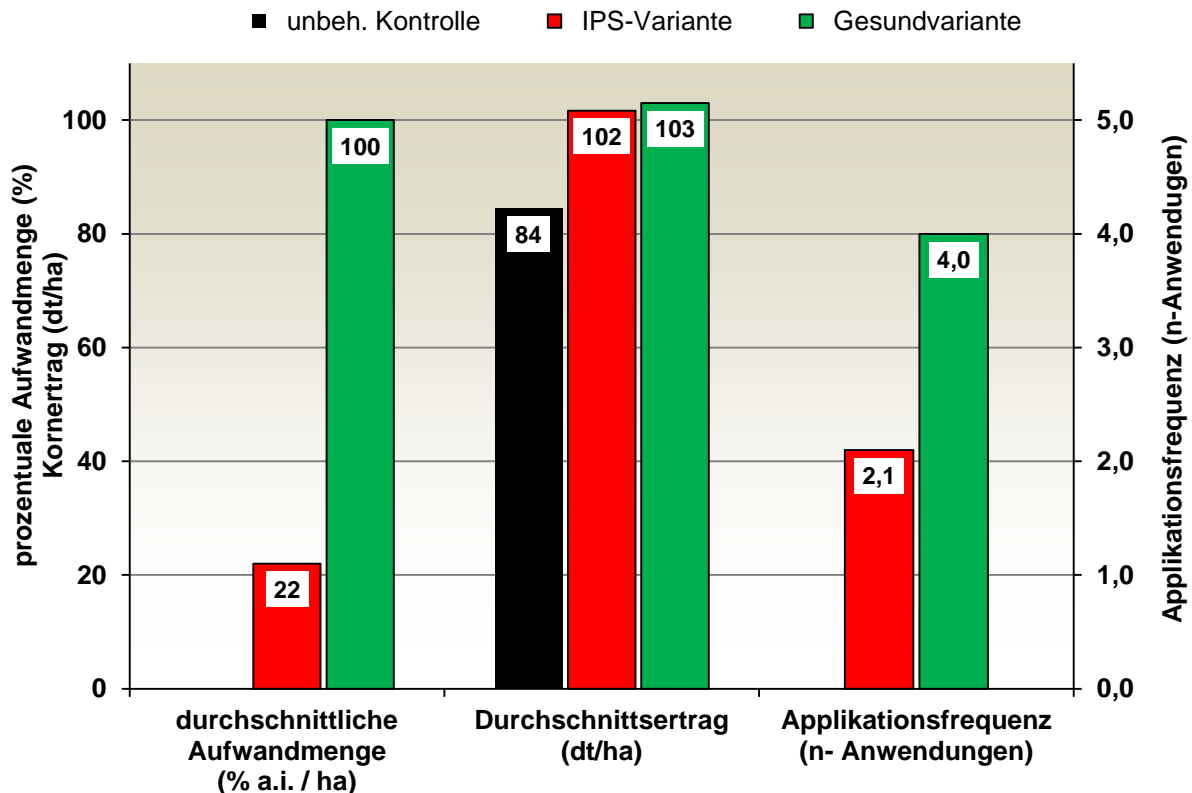


Abb. 60: Prozentuale Aufwandmenge (g a.i./ha), Durchschnittsertrag (dt/ha) in 86 % TM sowie Applikationsfrequenz (n-Anwendungen) im Mittel der Versuchsstandorte und Jahre 2011 bis 2014 der unbehandelten Kontrolle, IPS-Variante und Gesundvariante

In Abbildung 60 ist die prozentuale Aufwandmenge (g a.i./ha), der Durchschnittsertrag (dt/ha) sowie Applikationsfrequenz (n-Anwendungen) im Mittel der Versuchsstandorte und Jahre 2011 bis 2014 der unbehandelten Kontrolle, IPS-Variante und Gesundvariante aufgezeigt.

Im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 wurden im Durchschnitt der Standorte in der IPS-Variante aufgrund des schwellenorientierten Konzeptes 1,9 Applikationen im Vergleich zur schwellenorientierten vierfachen Applikationsfrequenz der Gesundvariante eingespart. Anhand der am Befallsgeschehen der Erreger ausgerichteten Fungizidwahl konnte zusätzlich Aufwandmenge (Gramm Aktivsubstanz; g ai/ha) eingespart werden, sodass im Mittel in der IPS-Variante lediglich 22 % der Aufwandmenge der vergleichbaren Gesundvariante

## 4. Ergebnisse

verwendet wurden. Obwohl 1303 g Aktivsubstanz pro Hektar und Standort (78 %) eingespart wurden, lag der durchschnittliche Ertrag der IPS-Variante lediglich eine Dezitonne unter der stadienorientierten Gesundvariante.

Die durchschnittlichen Kosten der Fungizidapplikationen (incl. Ausbringung) beliefen sich in der IPS-Variante auf 90 €/ha. Vergleichend dazu kostete die vierfache Fungizidapplikation der stadienorientierten Gesundvariante 179 €/ha. Infolge dessen resultiert durch die am Befallsgeschehen orientierten Fungizidapplikationen nach dem IPS-Modell in der IPS-Variante eine Kostenersparnis von 89 €/ha. Den erhöhten Kosten von 89 €/ha stehen lediglich 1,4 dt/ha Mehrertrag in der Gesundvariante gegenüber, was einem Mehrerlös von 25,9 €/ha (Weizenpreis: 18,5 €/dt im November 2014) entspricht. Aufgrund der geringeren Fungizidkosten resultiert in der IPS-Variante einer Mehrerlös von 63,1 €/ha vergleichend zur Gesundvariante.

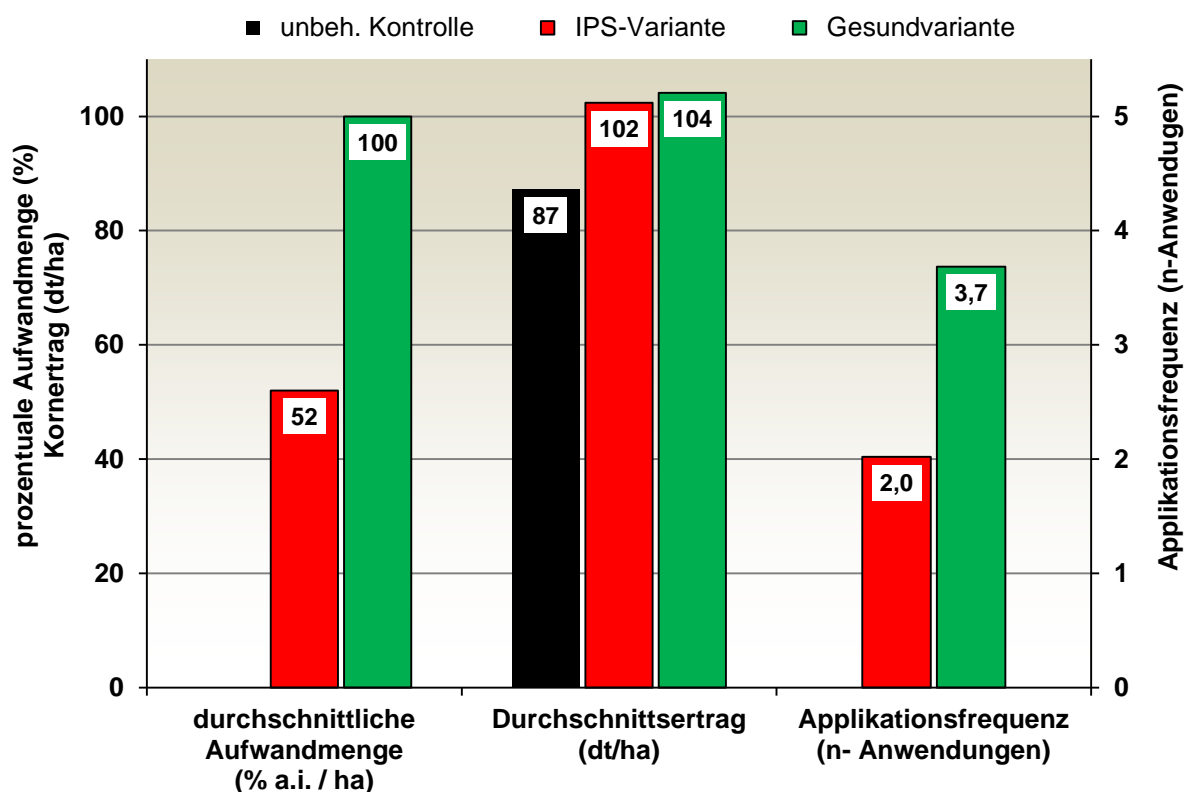


Abb. 61: Prozentuale Aufwandmenge (g a.i./ha), Durchschnittsertrag (dt/ha) in 86 % TM sowie Applikationsfrequenz (n-Anwendungen) im Mittel der Versuchsstandorte und Jahre 1995 bis 2014 der unbehandelten Kontrolle, IPS-Variante und Gesundvariante

In Gesamtzeitraum des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 resultierte eine Einsparung der eingesetzten fungiziden Wirkstoffe (g a.i./ha) im Rahmen der schwellenorientierten Fungizidapplikation der IPS-Variante von 48 % vergleichend zur stadienorientierten Gesundvariante (Abb. 61). Darüber hinaus reduzierte sich die Applikationsfrequenz von 3,7

Applikation in der Gesundvariante auf lediglich 2,0 Applikationen in der IPS-Variante. Anhand der am Befallsgeschehen orientierten Fungizidapplikationen in der IPS-Variante wurde eine Verlustminderung von 15,2 dt/ha erzielt. Vergleichend zur IPS-Variante wurde in der Gesundvariante nochmals 1,7 dt/ha an Verlusten kompensiert, sodass diese einen Mehrertrag von 16,9 dt/ha gegenüber der unbehandelten Kontrolle erzielte

## 4.2 Einfluss von Fungiziden auf den Phytohormon-Haushalt von Weizen

### 4.2.1 Stressinduzierter *Ex-vivo* Blattscheiben-Versuch

In dem folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des *Ex-vivo* Blattscheiben Versuches dargestellt, in denen die Wirkung drei verschiedener Fungizidwirkstoffgruppen auf den Phytohormon-Haushalt der Weizenpflanze getestet wurden. Diese Wirkstoffgruppen einschließlich der verwendeten Wirkstoffe fanden ebenfalls im IPS-Monitoring ihren Einsatz.

#### Auxin: Indol-3-Essigsäure (IAA)

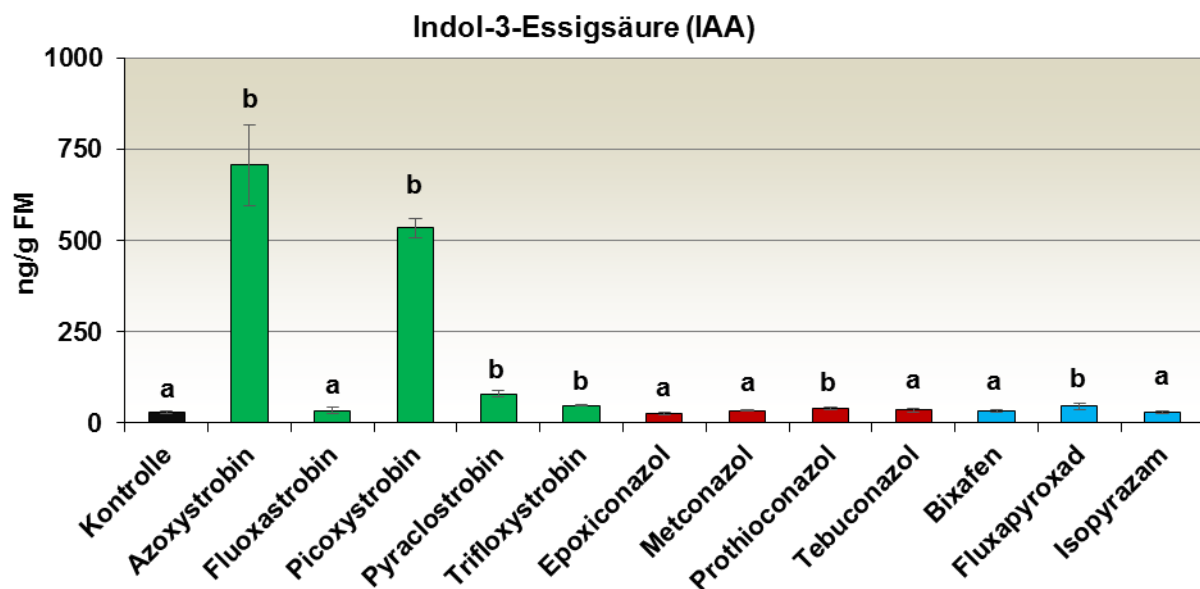


Abb. 62: Indol-3-Essigsäure-Gehalte (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test (p ≤ 0,05)

In Abbildung 62 sind die Gehalte des Auxin Indol-3-Essigsäure der fungizidfreien Kontrolle sowie der zwölf Fungizidvarianten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die mit Strobilurinen



## 4. Ergebnisse

behandelten Varianten Pyraclostrobin (2,6-fache) Trifloxystrobin (1,5-fache) und vor allem Azoxystrobin (23,6-fache) sowie Picoxystrobin (17,8-fache) den Gehalt an Indol-3-Essigsäure signifikant erhöhten. Darüber hinaus wies das Triazolfungizid Prothioconazol (+ 32 %) sowie das Carboxamidfungizid Fluxapyroxad (+ 54 %) signifikant höhere Gehalte auf. Die restlichen Varianten verblieben auf dem Niveau der Kontrolle.

### Cytokinine: Trans-Zeatin und Trans-Zeatin-Ribosid

Die folgende Abbildung 63 illustriert den Einfluss der im *Ex-vivo* Blattscheiben Versuch verwendeten Fungizide auf den Gehalt der Cytokinine Trans-Zeatin sowie Trans-Zeatin-Ribosid. Auffällig ist der deutlich erhöhte Gehalt der Cytokinine der mit Tebuconazol (Triazol) inkubierten Variante, die den 2,1-fachen Gehalt an Cytokinin gegenüber der unbehandelten Kontrolle aufwies.

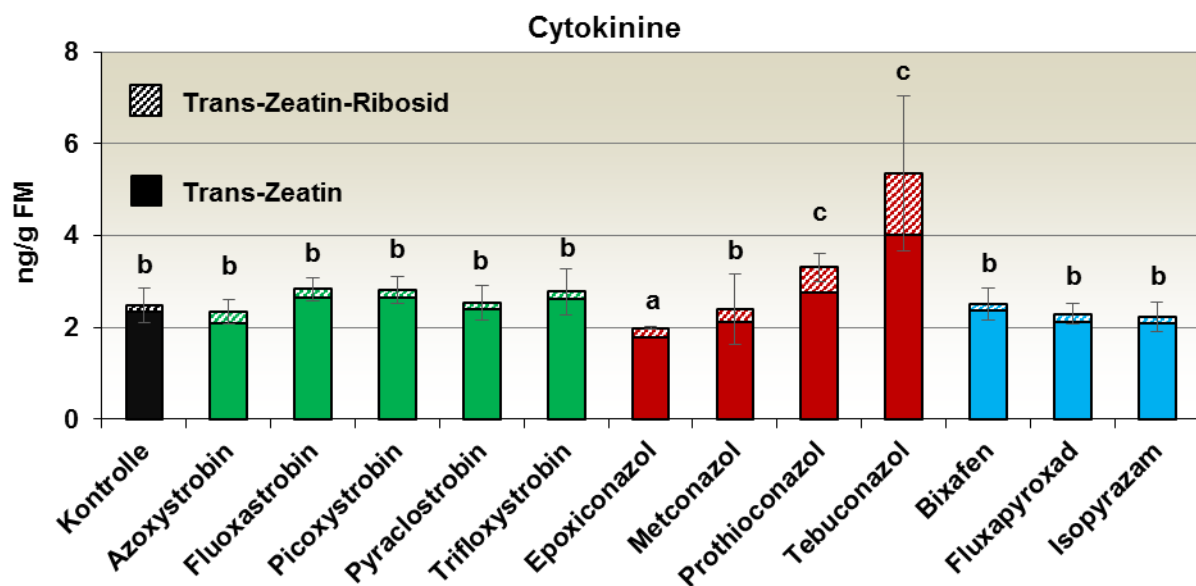


Abb. 63: Gehalt (ng/g FM) der Cytokinine Trans-Zeatin (ausgefüllt) und Trans-Zeatin-Ribosid (gestrichelt) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ )

Das Triazolfungizid Prothioconazol zeigte mit 132 % ebenfalls einen signifikanten Anstieg. Epoxiconazol (Triazol) induzierte hingegen gegenüber der fungizidfreien Kontrolle einen signifikant geringeren Gehalt an Cytokinin von 20 %.

### Abscisinsäure

Der Abscisinsäure-Gehalt (Abb. 64) wies mit einer Bandbreite von 1,9 bis 3,9 ng/g FM in allen Varianten ein sehr ähnliches Niveau auf. Lediglich die mit den Triazolen Metconazol, Prothioconazol und Tebuconazol behandelten Varianten verfügten über einen signifikant höheren Gehalt an Abscisinsäure. Dabei zeigte die Tebuconazol-Variante mit einem um das 6,1-fachen Anstieg den höchsten Gehalt, gefolgt von Prothioconazol (3,4-fache) und Metconazol (2,2-fache). Lediglich das Triazolfungizid Epoxiconazol induzierte keinen erhöhten Gehalt an Abscisinsäure.

Die Carboxamide wiesen mit 1,9 – 2,5 ng/g FM einen tendenziell geringeren Gehalt als in der fungizidfreien Kontrolle 3,0 ng/g FM auf.

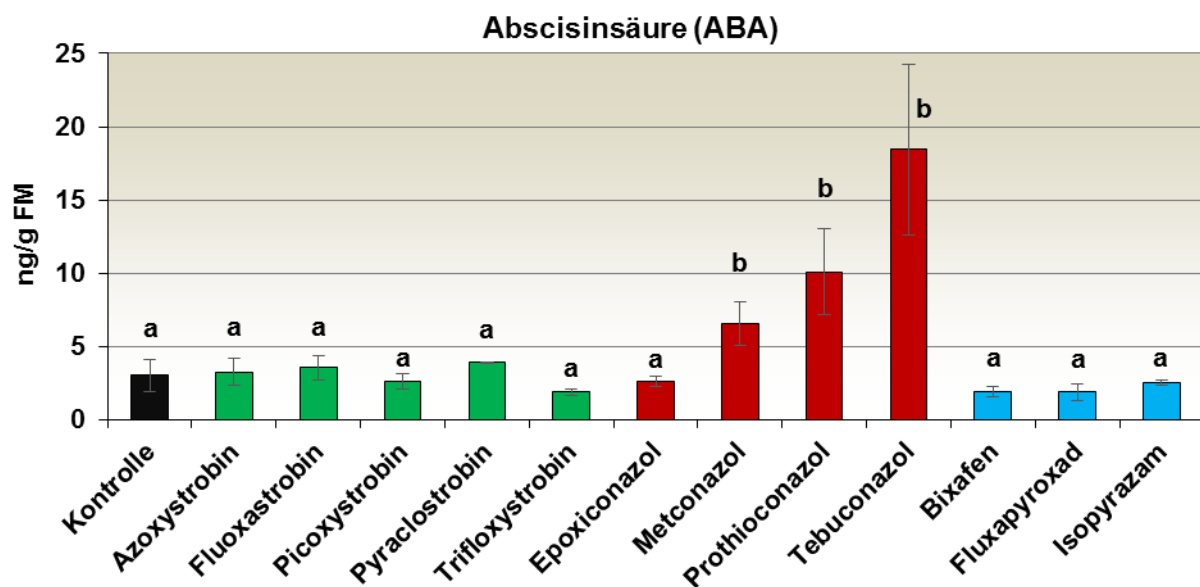


Abb. 64: Abscisinsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie der mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test (p ≤ 0,05)

### Jasmonate: Jasmonsäure und Jasmonsäure-Isoleucin

In Abbildung 65 sind die Gehalte der Jasmonate Jasmonsäure (JA) und Jasmonsäure-Isoleucin (JA-Ile) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass alle verwendeten Strobilurine den Gehalt an Jasmonaten signifikant erhöhten, wie dies bei den bisher betrachteten Phytohormonen nicht beobachtet werden konnte. Dabei überstiegen die Jasmonat-Gehalte nach Anwendung von den Strobilurinen den Gehalt der Kontrollvariante um das 3,8-fache im Fall von Azoxystrobin, bis hin zu Trifloxystrobin mit einem um das 1,8-fache erhöhten Gehalt.

## 4. Ergebnisse

Darüber hinaus konnte ein signifikanter Anstieg der Gehalte seitens der Triazole Prothioconazol und Tebuconazol diagnostiziert werden. Das Triazolfungizid Epoxiconazol sowie die beiden Carboxamidfungizide Bixafen und Isopyrazam zeigten signifikant geringere Jasmonat-Gehalte vergleichend zur fungizidfreien Kontrolle.

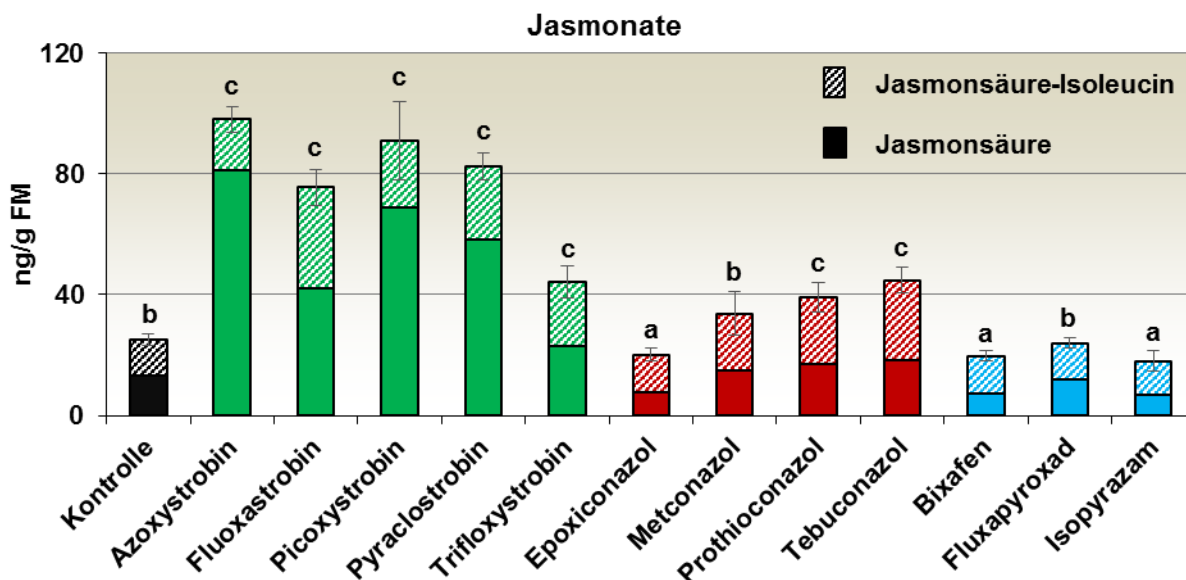


Abb. 65: Gehalt (ng/g FM) der Jasmonate Jasmonsäure (ausgefüllt) und Jasmonsäure-Isoleucin (schraffiert) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ )

### Salicylsäure

Der Einfluss der Fungizide auf den Salicylsäure-Gehalt entspricht in etwa dem der Indol-3-Essigsäure (Abb. 66), in dem lediglich die beiden Strobilurine Azoxystrobin (2,3-fache) sowie Picoxystrobin (2,0-fache) signifikant höhere Gehalte vergleichend zur fungizidfreien Kontrolle aufwiesen.

Wie bereits bei den Jasmonaten sowie den Cytokininen zog die Variante des Triazolfungizids Epoxiconazol vergleichend zur unbehandelten Kontrolle einen signifikant niedrigen Gehalt an Salicylsäure mit einer Reduktion von 25 % nach sich.

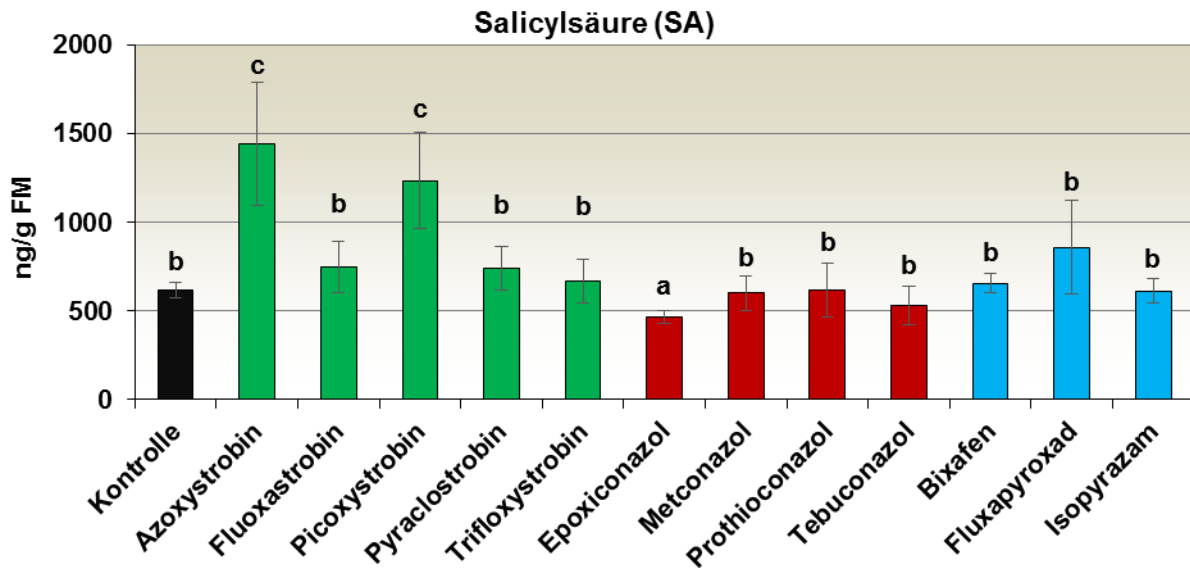


Abb. 66: Salicylsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test (p ≤ 0,05)

### Aminocyclopropan-carbonsäure (ACC)

Die Aminocyclopropan-carbonsäure (ACC) ist der letzte flüssige Vorläufer des gasförmigen Phytohormons Ethylen, welches unmittelbar mittels ACC-Oxidase aus ACC synthetisiert wird. Somit gilt es als geeigneter Stellvertreter des Ethylen hinsichtlich der hormonellen Wirkung.

Die Strobilurine Azoxystrobin (2,1-fache) sowie Picoxystrobin (1,6-fachen) induzieren, wie bereits für Salicylsäure und die Indol-3-Essigsäure nachgewiesen, einen signifikant höheren Gehalt der ACC (Abb. 67). Gleiches gilt für das Carboxamid Fluxapyroxad. Ein gegenteiliger Effekt ist nach Einsatz des Strobilurin Fluoxastrobin mit signifikant niedrigem ACC-Gehalt vergleichend zur Kontrolle zu beobachten. Eine ebenfalls abgesicherte Reduktion des ACC-Gehaltes im Vergleich zur fungizidfreien Kontrolle zogen die Triazole Epoxiconazol und Metconazol nach sich. Die Strobilurine Pyraclostrobin und Trifloxystrobin, die Triazole Prothioconazol und Tebuconazol sowie die Carboxamide Bixafen und Isopyrazam hatten keinen gesicherten Einfluss auf den ACC-Gehalt der Weizenpflanze.

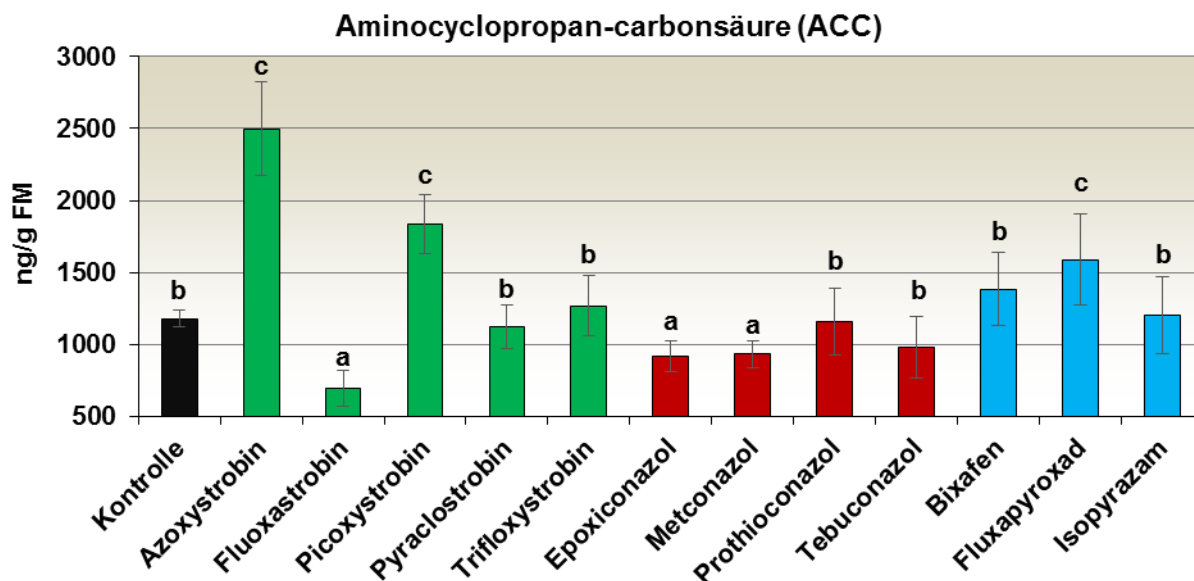


Abb. 67: Aminocyclopropan-carbonsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten des *Ex-vivo*-Blattscheiben-Versuches. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ )

#### 4.2.2 *In-vivo* Gewächshaus-Versuch

In Abbildung 68 ist der Abscisinsäure-Gehalt (ABA) sieben Tage nach der Applikation dargestellt. Hinsichtlich des Gehaltes konnte ein deutlicher Effekt lediglich nach Applikation des Strobilurins Pyraclostrobin mit einem Anstieg von ABA vergleichend zur unbehandelten Kontrolle in Höhe von 190 % beobachtet werden.

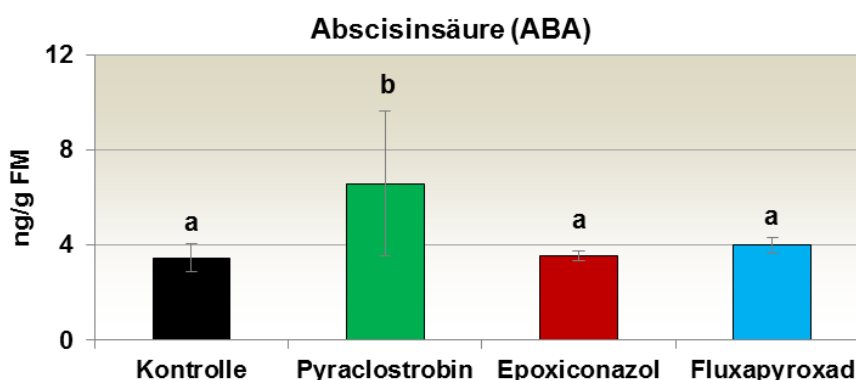


Abb. 68: Abscisinsäure-Gehalt (ng/g FM) in der fungizidfreien Kontrolle sowie den mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten sieben Tage nach Applikation im *In-vivo* Gewächshaus-Versuch. Daten sind Mittelwerte ( $n = 4$ ), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ )

In dem stressfreien Hydrokultur-Versuch zeigte sich sieben Tage nach Applikation der Fungizide, dass tendenziell der Wasserverbrauchs pro Gramm Frischmasse in den Varianten Epoxiconazol und Fluxapyroxad vergleichend zur unbehandelten Kontrolle erhöht war (Abb. 69). Nach 10 Tagen entwickelt sich aus der Tendenz ein signifikant höherer Wasserverbrauch dieser Varianten. Der Wasserverbrauch der mit dem Strobilurin Pyraclostrobin behandelten Variante, wies hingegen nach sieben und zehn Tagen das Verbrauchsniveau der unbehandelten Kontrolle auf.

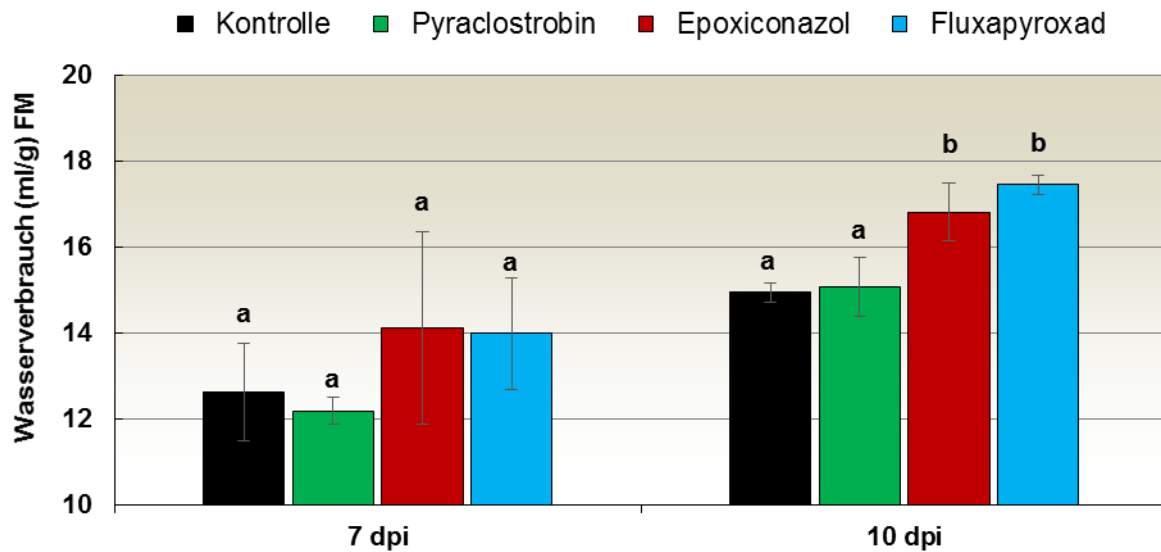


Abb. 69: Wasserverbrauch (ml/g FM) der fungizidfreien Kontrolle sowie der mit Strobilurinen- (grün), Triazolen- (rot) und Carboxamiden-behandelten (blau) Fungizidvarianten sieben bzw. 10 Tage nach Applikation im *In-vivo* Gewächshaus-Versuch. Daten sind Mittelwerte (n = 4), Tukey-Test ( $p \leq 0,05$ )

## 5. Diskussion

In der Europäischen Union ist seit Oktober 2009 festgelegt, dass der Anwender (Landwirt) erst eine chemische Maßnahme gegen Schaderreger vornehmen darf, wenn alle im Grundsatz des integrierten Pflanzenschutz verankerten Maßnahmen nicht ausreichend und/oder nicht zielführend sind, um der Entstehung von Populationen von Schadpathogenen entgegenwirken. Derartige Maßnahmen stellen eine ausgewogene Fruchtfolge, der Anbau einer toleranten Sorte, konservierende Bodenbearbeitung sowie eine ausgewogene Düngung dar. Somit ist allen nachhaltigen biologischen, physikalischen und anderen nichtchemischen Methoden vor chemischen Methoden der Vorzug zu geben. Um möglichst ökologisch und ökonomisch sinnvoll zu handeln, ist folgendes zu beachten. *„Bei der Entscheidung über eine Behandlung gegen Schadorganismen sind wenn möglich die für die betroffene Region, die spezifischen Gebiete, die Kulturpflanzen und die besonderen klimatischen Bedingungen festgelegten Schwellenwerte zu berücksichtigen“* (ANONYM, 2009).

Mit dem IPS-Modell Schleswig-Holstein, ausgehend von grundlegenden Arbeiten zum IPS-Modell Bayern (VERREET, 1992; VERREET & HABERMEYER, 1995) sowie der anschließenden, adaptierenden Arbeiten von KLINK (1997) auf die maritimen Bedingungen Schleswig-Holsteins, steht ein geeignetes Schwellenwertkonzept zur optimierten, nach epidemiologischen Kriterien ausgerichtete Bekämpfungsstrategie zur Verfügung. Im Schwellenkonzept stehen für alle wichtigen Pathogene Schwellenwerte (Tab. 2) zur Verfügung, anhand derer der Anwender seine Entscheidung über eine fungizide Gegenmaßnahme treffen kann. Schwellenwerte sind Grenzwerte in einer Erregerpopulation, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten kurz- bzw. mittelfristig wirtschaftliche Verluste resultieren. Sie definieren den Zeitpunkt des Übergangs der Epidemie von der Akkreszenz- zur Progressionsphase und sind durch niedere Inokula gekennzeichnet (VERREET, 1992).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden überregional an acht Standorten in den Hauptanbaugebieten Schleswig-Holsteins Feldversuche durchgeführt, um vierjährig (2010 - 2014) epidemie- und schadensdynamische Ergebnisse für das Hauptschadpathogen *Septoria tritici* sowie für die Pathogene *Blumeria graminis* und *Puccinia triticina* zu erarbeiten.

Zusätzlich wurde an dem jeweiligen Versuchsstandort das Mikroklima mittels agrarmeteorologischer Messstation aufgezeichnet, um die erhaltenen biologischen Erregerdaten mit den dominierenden Witterungsparametern in Beziehung zu setzen. Anhand dieser Beziehungen soll eine verbesserte Risikoabschätzung zum Auftreten sowie zur Epidemie der wirtschaftlich bedeutenden Erreger ermöglicht werden. Zur Erweiterung der Datengrundlage wurden die Boniturergebnisse, Anbausystemparameter und Witterungsdaten aus den Arbeiten von KLINK (1997), BUSSE (2001), WITTRÖCK (2001), HENZE (2007) und

KLÖHN (2011) der vorangegangenen Jahre im Rahmen des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein von 1995 bis 2010 mit in die Analyse eingebunden. Dies ist möglich, da seit Anbeginn der Langzeitstudie sowohl die genetisch einheitliche Sorte Ritmo verwendet wurde und die Standorte überregional ebenfalls gleich blieben. Um eine längerfristige und kontinuierliche Betrachtung der Witterungsdaten zu ermöglichen, flossen weiterhin Daten des Deutschen Wetterdienstes in die Arbeit mit ein. Um einen Sorteneffekt hinsichtlich der *Septoria tritici* Epidemie zu analysieren wurde von 2012 bis 2014 die tolerantere Sorte Inspiration (Kap. 3.2.2.3) in die Versuchsanlage mit einbezogen.

Darüber hinaus wurde der Einfluss der nach IPS-Modell Weizen applizierten Fungizide auf die Erregerpopulation sowie die daraus resultierende Nekrotisierung des Blattapparates vergleichend zu einer fungizidkontaminierten Kontrollvariante untersucht. Da Fungizide neben ihrer direkten fungiziden Wirkung auf die Pathogene ebenfalls Einfluss auf die Physiologie der Pflanze nehmen (GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; BENELLI, 2013), wurden zusätzlich pflanzenphysiologische Wirkungen von Fungiziden untersucht.

### **Witterung**

Die übergeordnete Einflussgröße Witterung nimmt eine entscheidende Rolle hinsichtlich des Auftretens und der Populationsdynamik von Schaderregern ein, sodass jeder Erreger eine genetisch fixierte Präferenz an die Witterung hat (VERREET, 1992; VERREET & HABERMEYER, 1995; WEST et al., 2012).

Da die Parasitierung der ertragsessentiellen Blätter F-2 bis F erst nach dem Erscheinen dieser Blätter erfolgen kann (ZADOCKS et al., 1974), ist vor allem der Zeitraum ab dem Entwicklungsstadium EC 31 für die Untersuchungen zur Populationsdynamik entscheidend (THOMAS et al., 1989). In Schleswig-Holstein wurde dieses Stadium im Mittel der Jahre 1995 bis 2014 Ende April erreicht (Abb. 13). Infolgedessen ist die Witterung der Monate April bis zum Beginn der Teigreife (EC 75) im Juli ein wesentlicher Einflussfaktor für das Auftreten und die Pathogenese der Erreger. So konnte in den Jahren von 1995 bis 2014 ein Anstieg der mittleren Apriltemperatur beobachtet werden; die mittlere Temperatur von 2005 bis 2014 war um 0,8 °C erhöht, als im vergleichbaren Zeitraum 1995 bis 2004. Neben der erhöhten Apriltemperatur in der zweiten Dekade konnten zusätzlich extreme Temperatur gemessen werden, die sowohl deutlich über als auch unter dem langjährigen Mittel lagen. Somit war die Apriltemperatur von 2004 bis 2014 unbeständiger als in den vorangegangenen Jahren (s. Abb. 10). Diese Tendenz der zunehmenden Apriltemperatur für Schleswig-Holstein wurde vom Deutschen Wetterdienst bereits 1970 beobachtet. Der starke Trend einer Erwärmung um 0,08 °C pro Jahr seit 1975 konnte nur für den Monat April aufgezeichnet werden (ANONYM, 2014c). Auch STEFFEN (2014) berichtet in Deutschland von einer



durchschnittlichen Erwärmung des April von 1,1 °C im Vergleich zum Zeitraum von 1961 bis 1990. Einhergehend mit den höheren Temperaturen konnte im Verlauf des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 für den Monat April eine abnehmende Niederschlagsintensität gemessen werden. In den Jahren 1995 bis 2005 regnete es im Durchschnitt noch 46,5 mm, wohingegen im Mittel der zehntfolgenden Jahre nur noch 31,8 mm zu verzeichnen waren. Darüber hinaus wird dargestellt, dass zehn der zwölf letzten Aprilmonate Niederschlagsdefizite aufwiesen. Dieser starke Abwärtstrend konnte im Rahmen der meteorologischen Daten von 1960 bis 2004 nicht beobachtet werden. Diesbezügliche Veränderungen und Trends konnten über den Monat Mai sowohl hinsichtlich der Temperatur und Niederschlag nicht bestätigt werden (s. Abb. 14).

### ***Phänologische Entwicklung***

Der Übergang von der vegetativen in die generative Phase setzte in Schleswig-Holstein im Durchschnitt der Jahre 1995 bis 2014 am 21. April eines Kalenderjahres ein. Jedoch waren diesbezüglich große Jahresunterschiede zu erkennen, sodass im Jahr 2007 der Übergang am 03. April und im Jahr 2013 am 07. Mai einsetzte (s. Abb. 13). Diese Jahresunterschiede sind auf die entsprechende Temperatursumme der Monate September bis April zurückzuführen, welche die phänologische Entwicklung maßgeblich beeinflussen. Zwischen dem Schossbeginn und der Temperatursumme (September bis April) ist mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,865$  eine enge Beziehung zwischen den Variablen gegeben (s. Abb. 14). Neben der angesprochenen Temperatur ist bei Winterweizen die Photoperiode ein wesentlicher Einflussfaktor, der den Beginn der Schossphase terminiert. Wobei der Einfluss der Photoperiode mit steigender Temperatur sinkt, sodass der Beginn der Schossphase bei gleicher Lichtdauer verfrüht beginnt (SLAFER & RAWSON, 1995). So begann im Jahr 2007 die Schossphase nach 2148 °Cd (Gradtagen) bereits bei einer Photoperiode von 13h und 16min. Dies steht im Gegensatz zu dem Jahr 1996, in dem die Schossphase bei einer Photoperiode von 15h und 40min schon nach 907 °Cd startete.

Im Anschluss an die Umsteuerung von der vegetativen in die generative Phase verläuft die Schossphase, in der die vier letzten Blattetagen (F-3 bis F) geschoben werden und sich die Internodien strecken. Die Schossphase zog sich im IPS-Monitoring im Durchschnitt der Jahre 1995 bis 2014 über 38 Tage hin. Gleichzeitig variierte diese zwischen 32 und 42 Tagen. Auffällig ist, dass sich durch die hohe Korrelation ( $R^2 = 0,821$ ) zwischen dem Beginn und dem Ende der Schossphase mit zunehmendem Schossbeginn diese Phase pro Tag um 0,2 Tage verkürzte (s. Abb. 16). Da die Dauer der Schossphase ausschließlich von der Temperatur gesteuert wird, verkürzen die höheren Temperaturen innerhalb des späteren Schossverlauf diese Phase (WANG & ENGEL, 1998; JOHNEN et al., 2012). Infolge dessen wird der spätere Schossbeginn somit wieder in Teilen kompensiert. Warme Temperaturen begünstigen

weiterhin einen beschleunigten Schossverlauf. Die Studie von SHIPLER & BLUM (1986) zeigte diesbezüglich einen nicht-linearen Temperatureffekt auf, sodass wärmere Temperaturen den Verlauf überproportional beschleunigen. Im Mittel der Jahre 1995 bis 2014 begann das darauffolgende EC-Stadium 41 (Anschwellen der Blattscheide des Fahnenblattes) am 29. Mai und variierte vom 14. Mai bis zum 10. Juni. Je später dieses Stadium erreicht wird, desto verkürzt werden die folgenden Stadien bis zur Teigreife (EC 77), was durch den engen Zusammenhang zwischen diesen Parametern beschrieben ist (s. Abb. 17).

Da die folgenden Phasen bis zur Teigreife, dem Ende der Kornfüllungsphase, ebenfalls temperaturabhängig sind, erfolgt der Durchlauf dieser Phasen mit steigenden Temperaturen erneut schneller (SHIPLER & BLUM, 1986; JOHNEN et al., 2012). Somit werden die Entwicklungsstadien (EC 39 bis EC 77) umso schneller durchlaufen, je später diese im Jahr beginnen, da die Temperaturen im Laufe der Vegetation weiter steigen. Aufgrund des temperaturbedingten schnelleren Durchlaufens der Stadien EC 30 bis EC 77 in Jahren mit sehr spätem Schossbeginn, kann mehr als die Hälfte der Zeitverzögerung kompensiert werden (s. Kap. 4.1.2).

### ***Septoria tritici***

Der Erreger der Blattdürre an Weizen (*Septoria tritici*) tritt weltweit auf jedem Kontinent auf, ist jedoch vornehmlich in maritimen Klimaregionen bzw. regenreichen Regionen zu finden (VERREET & HABERMEYER, 1995). Vor allem an der feucht-kühlen Westküste von Schleswig-Holstein trat der Erreger wiederholt in epidemischem Ausmaß auf. Jedoch konnte in den Arbeiten von KLINK (1997), BUSSE (2001), WITTROCK (2001) und KLÖHN (2011) gleichermaßen gezeigt werden, dass *Septoria tritici* nicht nur an der Westküste, sondern ebenfalls im gesamten östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins wiederholt epidemisch vorkommt. *Septoria tritici* konnte in allen Jahren und an allen Standorten des überregionalen IPS-Monitorings nachgewiesen werden, sodass dieser Erreger als das Hauptschadpathogen in Schleswig-Holstein anzusehen ist, wodurch diesem Pathogen eine besondere wirtschaftliche Bedeutung zukommt.

Die Befallsprogression von *Septoria tritici* auf den oberen Blattorganen wird während der Vegetation von dem Ausgangsinokulum auf den unteren Blattetagen beeinflusst (SHAW & ROYLE, 1989; CEYNOWA et al., 1993; LOVELL et al., 2004). Es besteht jedoch mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,133$  kein direkter Zusammenhang zwischen dem Ausgangs- und dem Endbefall (s. Abb. 33). Dennoch begünstigt ein hoher Ausgangsbefall die Bildung eines hohen Endbefalls wie im Beispiel der Jahre 2000, 2001 und 2014 gezeigt wurde (s. Abb. 31). Die Bildung des Ausgangsinokulums ist im Wesentlichen auf die bereits im Herbst stattfindende Infektion durch die sexuell gebildeten Ascosporen von der Hauptfruchtform

*Mycosphaerella graminicola* zurückzuführen (PALMER & SKINNER, 2002). Dabei werden die jungen Weizenbestände über die aus den Pseudothecien ausgeschleuderten und anemochor verbreiteten Ascosporen erstbesiedelt. Diese werden vornehmlich im Herbst und Winter gebildet (SCOTT et al., 1988). Da die unteren Blattetagen bereits während des Winters gebildet werden, ist die Phase von Aussaat bis zum Schossen als potenzieller Zeitraum anzusehen, in dem die jungen Weizenbestände infiziert werden. Infolge dessen wirken Einflussfaktoren wie Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Aussaattermin und Winterwitterung auf die Primärbesiedlung ein (SCHUH, 1990; VERREET et al., 2000; BACCAR et al., 2011).

Für *Septoria tritici* werden in der Literatur unterschiedliche Minimaltemperaturen zur Entwicklung genannt, die von -2 °C (GLADDERS et al., 2001) bis 7 °C (HOLMES & COLHOUN, 1974) variieren, wobei MAGBOUL et al. (1992) bereits unter 10 °C eine starke Befallsreduktion beobachteten. Da derartige Wintertemperaturen innerhalb des IPS-Monitorings immer wieder vorkamen, konnten zu Beginn der Schossphase nach Wintern mit überdurchschnittlichen Temperaturen (2000/2001, 2001/2002, 2013/2014) auch überdurchschnittliche Ausgangsbefälle festgestellt werden. Neben den geeigneten Temperaturen müssen ebenso Feuchtebedingungen vorherrschen, die eine Keimung und Infektion zulassen (HESS & SHANER, 1987; VERREET et al., 1990). So konnte der Ausgangsbefall im Rahmen des überregionalen IPS-Monitorings anhand der Temperatursumme und dem Niederschlag mittels nichtlinearer dreidimensionaler Regression hinreichend ( $R^2 = 0,67$ ) prognostiziert werden (s. Abb. 28). Ein weiterer Einflussfaktor ist der Aussaattermin, der nicht berücksichtigt wurde, aber dennoch einen Einfluss auf den Ausgangsbefall hat. In der Literatur ist nur der verringerte Befall aufgrund eines verzögerten Aussaattermins beschrieben, was auf die kürzere Koinzidenz der jungen Weizenpflanzen mit günstigen *Septoria*-spezifischen Bedingungen im Zeitraum von September bis Oktober zurückzuführen ist, da sich die Bedingungen für das Pathogen zum Ende des Jahres aufgrund geringerer Temperaturen ungünstiger gestalten (BUSSE, 2001; GLADDERS et al., 2001). Dieser Einfluss konnte in der 20 Jahre währenden Studie ebenfalls bestätigt werden, sodass infolge einer Aussaat nach dem 05. Oktober vergleichend zu vor dem 20. September um 65 % von 189 Pyknidien auf 67 Pyknidien (SUM BSB) reduziert wurde. Die eigenen Ergebnisse (s. Abb. 28) bestätigen die Aussage von (HENZE, 2007), der einen Einfluss der Temperatur und des Niederschlages feststellte. Hingegen konnte er keinen direkten Einfluss des Aussaattermins auf den Ausgangsbefall ermitteln. Dafür korrelierte der Aussaattermin mit dem Endbefall, was er auf die frühzeitige Nekrotisierung der unteren Blätter zurückführte (HENZE, 2007).

Da der Ausgangsbefall keinen signifikanten Einfluss auf den Endbefall und somit auf die Befallsprogression besitzt, sind innerhalb der Vegetationsperiode nach Beginn der Schossphase weitere witterungsbedingte Einflussfaktoren existent, die die Befallsprogression im Wesentlichen beeinflussen.

Damit aus hohen Ausgangsbefällen gleichwohl hohe Endbefälle resultieren, ist der Erreger im Rahmen seiner epidemiologischen Entwicklung im Bestand auf für ihn günstige Witterungsbedingungen angewiesen. Diese günstigen Bedingungen, charakterisiert durch ein sogenanntes Infektionsereignis, hat KLINK (1997) anhand von witterungsbasierten Kriterien im Zusammenhang mit resultierenden, epidemiologischen Verhaltensmustern erarbeitet. Von einem potenziellen *Septoria tritici*-Infektionsereignis ist demnach auszugehen, wenn nach einem Niederschlagsereignis von  $\geq 3$  mm die Blattbenetzung nach WEIHOFFEN über 36 h (48 h) und  $\geq 98$  % beträgt (KLINK, 1997; ANONYM, 2005; KLÖHN, 2011). Die auftreffenden Regentropfen liefern die kinetische Energie, um die Pykno-sporen auf jüngere, seitlich und höher inserierte Pflanzenorgane zu tragen. Windturbulenzen unterstützen diesen Effekt (PALMER & SKINNER, 2002). In dem Zusammenhang hat die Pflanzenarchitektur ebenfalls eine enorme Bedeutung. Nach VERREET & HABERMEYER (1995) besteht zwischen der Pflanzenhöhe und der Befallsstärke eine negative Korrelation, da aufgrund kurzer Überbrückungsdistanzen zwischen Inokulum (Pyknidien) und darüber liegenden Blattorganen eine Besiedlung begünstigt wird. In den Jahren 2011 bis 2014 wurden mithilfe dieser Kriterien überregional 104 Infektionsereignisse festgestellt, denen 107 Progressionsanstiege von mehr als 100 Pyknidien (SUM BSB) folgten. Die positive Bewertung dieser an biologischen und meteorologischen Kriterien ausgerichteten Prognose erfolgreicher Infektionsereignisse ist mit 97 % außerordentlich hoch; es wurden lediglich drei Infektionen nicht erkannt. Ein Infektionsereignis ohne Befallsanstieg wurde nicht beobachtet (s. Abb. 19). Somit steht mit der genannten Infektionsprognose ein geeignetes Modell zur Verfügung, welches den Infektionszeitpunkt sowie eine unmittelbare Indikation mit reduzierter Fungizidaufwandmenge sehr gut anzeigt.

Jedoch ist das Ausmaß der Befallsprogression im Anschluss an ein Infektionsereignis im Wesentlichen von zwei Faktoren bestimmt. Zum einen hat die Dauer der Blattbenetzung nach CHUNGU et al. (2001) einen signifikanten Einfluss auf die Befallsstärke, sodass mit einer Steigerung der Dauer von 48 h auf 72 h höhere Befallsstärken nachgewiesen wurden. Wobei dieser Einfluss lediglich bei geringen Infektionstemperaturen zu beobachten war, sodass mit steigenden Temperaturen von 15°C Tag/11°C Nacht auf 22°C/15°C der Effekt der Blattbenetzungsdauer deutlich sinkt. In den Untersuchungen von (HENZE, 2007) konnten vor allem bei Blattnässedauern von 30 bis 60 h gehäuft epidemische Anstiege nach Ablauf der Latenzzeit (annähernd 28 Tage) beobachtet werden, sodass sich die Aussagen der Untersuchungen von KLINK (1997), CHUNGU et al. (2001) und HENZE (2007) diesbezüglich bestätigen. In den eigenen Analysen konnten 97 % der aufgetretenen Befallsanstiege durch die minimale Blattnässedauer von 36 h detektiert werden, sodass unter schleswig-holsteinischen Bedingungen in der anfälligen Sorte Ritmo eine Reduktion der Blattnässe

(relative Luftfeuchte) zu einer deutlichen Befallsabnahme führt. Es sind bisher keine Studien bekannt, die eine Abnahme der Infektionsrate bei steigenden Blattnässen dokumentiert.

Als zweiter wesentlicher Einflussfaktor ist die Temperatur, sowohl während der Infektion als auch während der Latenzzeit anzusehen. Demnach ist die Temperatur als qualitativ und quantitativ notwendiges Kriterium anzusehen. HOLMES & COLHOUN (1974) konnten bei einer Temperatur von 7 °C während der Infektionsphase bei ausreichend hoher und langer Blattnässe keine Befallsentwicklung erkennen. In der Studie von MAGBOUL et al. (1992) wurden bereits bei 10 °C deutliche Reduktionen der Befallsentwicklung beschrieben. Dem entsprechend konnte PACHINBURAVAN (1981) keine Pyknidienbildung nach einer Infektion unter 10 °C beobachten, was ebenfalls durch die Arbeit von HENZE (2007) bestätigt wird. Diese Angaben finden durch die eigenen Ergebnisse Bestätigung, sodass bei einer Infektionstemperatur von unter 4 °C keine sowie unter 10 °C lediglich sehr geringe Befallszuwächse zu diagnostizieren waren (s. Tab. 13). So konnte gezeigt werden, dass im Jahr 2001 am Standort Kluvensiek ausgehend von 622 Pyknidien (SUM BSB) infolge von fünf Infektionsereignissen, wovon drei eine Temperatur unter 10 °C aufwiesen, nur ein Befallszuwachs von 134 Pyknidien nachweisbar war. Hingegen konnte am Standort Barlt im Jahr 2003 anhand von zeitlich gleich verlaufenden Infektionsereignissen, die insgesamt eine Temperatur von über 11,5 °C aufwiesen, ein Zuwachs von 4511 Pyknidien (SUM BSB; F-6 bis F) analysiert werden. Diese Beobachtungen entsprechen der in der Literatur angegebenen engen Beziehung zwischen der Temperatur zur Infektion und der daraus resultierenden Befallsentwicklung von *Septoria tritici* (EYAL, 1987; HESS & SHANER, 1987; SHAW, 1990; MAGBOUL et al., 1992; CHUNGU et al., 2001; HENZE, 2007). So stieg die Befallsstärke in einem Klimakammerversuch unter kontrollierten Bedingungen bei einem Temperaturanstieg während der Infektion von 10 auf 21 °C um das Vierfache an (KLÖHN, 2011). Bei einer Infektionstemperatur von 24 °C beschreiben WAINSHILBAUM & LIPPS (1991) eine Abnahme der Befallsprogression. Dies steht im Widerspruch zu Ergebnissen von HESS & SHANER (1987), die bis zu einer Temperatur von 25 °C eine Befallszunahme gemessen haben. Somit würde die Integration der Temperatur in die notwendigen Kriterien für ein Infektionsereignis nach KLINK (1997) und ANONYM (2005) die Prognosegenauigkeit weiter erhöhen, da bei einer mittleren Infektionstemperatur von  $\leq 7$  °C kein bzw. nur ein äußerst geringer Befallsanstieg zu erwarten ist (s. Tab. 13). Zu hohe Durchschnittstemperaturen ( $\geq 24$  °C) während der Infektion konnten im Gesamtzeitraum des IPS-Monitorings von 1995 bis 2014 nicht gemessen werden, sodass die Aufnahme einer maximalen Temperatur derzeit nicht notwendig erscheint. In anderen Regionen, in denen höhere Temperaturen zu erwarten sind, kann dies unter Umständen durchaus sinnvoll sein.

Ein weiterer Einflussfaktor, der die Befallsprogression in der Gesamtvegetation beeinflusst, ist die Latenzzeit; der Zeitraum zwischen dem Infektionsereignis und dem sichtbar werden der

daraus resultierenden Sekundärinokula den Pyknidien. Die Latenzzeit von *Septoria tritici* ist dabei abhängig von der Temperatur und der Sorte. Der Zeitraum bis zum Auftreten der Symptome beträgt in der Literatur 18 bis 37 Tage (EYAL, 1987, SHAW, 1990, 1990; LOVELL et al., 2004; VILJANEN-ROLLINSON et al., 2005; HENZE et al., 2007). Der Einfluss der Blattnässedauer zur Infektion ist als eher gering zu betrachten (CHUNGU et al., 2001), da eine längere Blattnässedauer die Latenzzeit nur gering verkürzt. Wohingegen davon auszugehen ist, dass längere Blattnässephasen während der Latenzzeit diese eher verlängern, da mit Blattnässe in der Regel niedrigere Temperaturen einhergehen. Im IPS-Monitoring des Zeitraumes 2011 bis 2014 betrug die Latenzzeit zwischen 21 und 28 Tagen (vergl. Kap. 4.1.3.1), was der von VERREET et al. (2000) angegebenen Latenzzeit entspricht. Aufgrund der zugrunde gelegten Boniturintervalle von sieben Tagen kann eine engere Eingrenzung nicht vollzogen werden. Als Folge der langen Latenzzeit weist der Erreger somit nur eine geringe Generationsfolge während der ertragsessentiellen Blattbildungs- bis Kornfüllungsphase auf.

Eine häufige Abfolge von Infektionsereignissen, ausgehend von einem auf gleichen Niveau existenten Ausgangsinokulum, führt nur zu ähnlich hohen Befallszuwächsen, da sich das Ausgangsinokulum als Maß der Pyknidienanzahl vor Ablauf der Latenzzeit (annähernd 28 Tage) nicht weiter erhöhen kann und sich weiterhin auf unteren, inserierten Blattetagen befindet (s. Abb. 20). Infektionsereignisse, die nach der Befallsprogression eines vorangegangenen Ereignisses stattfinden, resultieren aufgrund des insgesamt erhöhten und in der Bestandesarchitektur vertikal höher gelegeneren Inokulums in einer größeren Progression. Damit tragen bereits befallene junge und höhere inserierte Blattetagen insgesamt zu einer höheren Befallszunahme zu (s. Abb. 23), wodurch geringe Ausgangsbefälle zu Schossbeginn ausgeglichen werden. Aufgrund der langen Latenzzeit des Erregers spielt die Terminierung der Infektionsereignisse somit eine entscheidende Rolle. Bei einer durchschnittlichen Vegetationsdauer vom Schossbeginn bis zur Teigreife von etwa 12 Wochen sind bei günstiger Aufeinanderfolge lediglich drei Infektionszyklen möglich, die aufeinander aufbauen.

Die Sortenwahl spielt als phytosanitäre Maßnahme eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Befallsreduktion von *Septoria tritici*. So haben VILJANEN-ROLLINSON et al. (2005) nach Inokulationsversuchen einen deutlichen Sorteneinfluss auf die Latenzzeit von *Septoria tritici* beschrieben, in dem die Latenzzeit in Abhängigkeit der Sorte von 21 bis 37 Tagen variiert. Dies führen sie auf die Sortentoleranz zurück. Eine weitere Komponente der Sortentoleranz ist die Infektionseffizienz, der nach einem Infektionsereignis resultierenden Befallsprogression. In den Versuchen von CHUNGU et al. (2001) ist ein deutlicher Sortenunterschied hinsichtlich der Befallsausprägung von vier Sorten erkennbar. In eigenen Untersuchungen konnte mithilfe der toleranteren Sorte Inspiration der Endbefall im Mittel der Jahre 2012 bis 2014 vergleichend zur Sorte Ritmo um 20 % reduziert werden (s. Abb. 34). Aufgrund der wöchentlichen

Boniturfrequenz konnte kein Einfluss der toleranteren Sorte Inspiration auf die Latenzzeit beobachtet werden. Hingegen wurde die Befallsprogression nach einzelnen Infektionsereignissen um durchschnittlich 26 % im Vergleich zur anfälligeren Sorte Ritmo reduziert, was darauf hindeutet, dass die Infektionseffizienz der Sorte Inspiration im Vergleich zu Sorte Ritmo geringer ist. Des Weiteren konnte eine Befallsstärke abhängige Sortentoleranz dahingehend festgestellt werden, dass infolge eines erhöhten Befallsgrades eine geringere Reduktionleistung bezüglich der absoluten Anzahl von Pyknidien in der toleranten Sorte Inspiration resultierte.

Die Latenzzeit von *Septoria tritici* umfasst in Schleswig-Holstein einen Zeitraum von 21 bis 28 Tagen. In der Literatur wird diese mit 18 bis 31 Tagen dokumentiert (EYAL, 1987; SHAW, 1990; VILJANEN-ROLLINSON et al., 2005; HENZE et al., 2007; HENZE, 2007). Dahingegen wird von SCHÖFL & ZINKERNAGEL (1997) die maximale kurative Bekämpfungsleistung von potenter Triazole (Fungiziden) lediglich mit 170 °Cd unter bayerischen Anbaubedingungen beschrieben, was einer Dauer von etwa 10 bis 20 Tagen bei sehr niedrigen Temperaturen entspricht. Zusätzlich nimmt die *Septoria*-bedingte Nekrotisierung bereits bei 140 °Cd (9 bis 18 Tagen) zu. Jedoch verlängern dabei niedrige Temperaturen nicht nur den kurativen Wirkzeitraum, sondern ebenfalls die Latenzzeit (LOVELL et al., 2004). Somit ist eine Bekämpfung mit Fungiziden bei sichtbar werden der Symptome nicht mehr möglich; zurückzuführen auf bereits vier Wochen zurückliegende Infektionen. Dies bedeutet, dass die chemische Bekämpfung von *Septoria tritici* unmittelbar nach der Infektion erfolgen sollte, da der Bekämpfungserfolg dann am größten ist (SCHÖFL & ZINKERNAGEL, 1997). Eine Applikation möglichst nahe des Infektionszeitpunktes ermöglicht weiterhin die Reduktion der Aufwandmenge, was im Sinne vom Verbraucher und Umwelt ist (VERREET et al., 2000). Durch die Kombination der seit langem auf dem Markt befindlichen Triazolfungizide mit der neuen Generation der Carboxamide (s. Tab. 3) konnte die eradikative und protektive Leistung der Fungizide weiter gesteigert werden, wobei die eradikative Wirkung weiterhin nicht ausreichend ist, um erst bei Sichtbarwerden der Symptome behandeln zu können (DEHNE et al., 2011; ANONYM, 2014b). In den eigenen Untersuchungen von 2011 bis 2014 stellten 91 % der in der IPS-Variante vorgenommenen Fungizidapplikationen gegen den Erreger *Septoria tritici* die auslösende Indikation dar. Somit konnte die besondere Bedeutung von *Septoria tritici* als das Hauptschadpathogen Schleswig-Holsteins dokumentiert werden. Infolge der am Erreger orientierten Fungizidmaßnahmen unmittelbar nach einem gegebenen Infektionsereignis, konnte im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 die Befallsstärke von *Septoria tritici* auf den zu schützenden, ertragsessentiellen Blättern F-2 bis F um 84 % reduziert werden (s. Abb. 49). Bis auf eine einzige Ausnahme sank der Bekämpfungserfolg und damit der absolute Wirkungsgrad nicht unter 70 %, was einem konstant hohen und reproduzierbaren Niveau entspricht. Zusätzlich fanden nicht mehr als 80 % der empfohlenen Aufwandmenge

(Aktivsubstanz/ha) Anwendung. In den Jahren 1996 bis 1998 lag der mittlere Bekämpfungserfolg bei 83 % (VERREET et al., 2000). In den Untersuchungen von WITTRÖCK (2001) lag dieser bei 91 % (1997 bis 2000), der von FINGER (2004) bei 80 % und KLÖHN (2011) beschreibt einen Reduktion (2008 bis 2010) von 66 %. Die vergleichsweise konstant hohen Befallsreduktionen in den Jahren 1996 bis 2014 verdeutlichen die hohe Effektivität von Fungizidapplikation in reduzierter Aufwandmenge nach dem Infektionsereignis von KLINK (1997).

### **Begleitpathogene**

Hinsichtlich des obligat-biotrophen Erregers *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* konnte ein deutliches geographische Ausbreitungsmuster erkannt werden (s. Abb. 37, 38), welches so bereits von KLINK (1997), BUSSE (2001), WITTRÖCK (2001) und KLÖHN (2011) für Schleswig-Holstein beschrieben wurde. Die Westküste Schleswig-Holsteins wies infolge dessen stets keine oder auf äußerst geringem Niveau verlaufende Befallswerte auf. Ein anderes Befallsbild zeigte sich im östlichen Hügelland, in dem in jedem Jahr *Blumeria graminis* in den Weizenbeständen nachweisbar war. Aufgrund der obligat-biotrophen Lebensweise kann der Erreger lediglich auf lebendem Gewebe parasitieren und seinen Lebenszyklus fortsetzen (VERREET, 1992; VERREET & HABERMEYER, 1995). Infolge dessen hemmt bzw. verdrängen erhöhte Nekrotisierungsgrade abiotischer bzw. biotischer Natur den Erreger. So konnte in eigenen Untersuchungen eine stetige Befallsabnahme mit steigenden Nekrotisierungsgraden diagnostiziert werden (s. Abb. 39, 40). Bereits ab einer geringen Nekrotisierung von < 10 % verringerten sich die Befallsstärken merklich. Vor allem im Jahr 2014, in dem aufgrund von sehr hohen *Septoria*-Befallsstärken eine verfrühte Nekrotisierung des Blattapparates zu beobachten war, waren die Befallsstärken von *Blumeria graminis* vergleichsweise gering. Lediglich am Standort Kluvensiek, an dem der perthotrophe Erreger *Septoria tritici* die oberen vier Blattetagen erst vergleichsweise spät ab EC 55 besiedelte, konnten erhöhte Befallsgrade von *Blumeria graminis* festgestellt werden (s. Abb. 23).

Die Sporulation des Echten Mehltaus ist stark von der Temperatur abhängig und erreicht ein Optimum bei 20 °C (DUTZMANN, 1985). Bei niedrigeren bzw. höheren Temperaturen verringert sich diese stark. Bis 10 °C verbleibt die Sporenproduktion auf einem konstant niedrigen Niveau. Erst ab einer Temperatur von 15 °C steigt die Produktion deutlich an (WARD & MANNERS, 1974). STEPHAN (1980) stellte eine Zunahme der Sporenproduktion bei einem Temperaturanstieg von 12 °C auf 20 °C um den Faktor 5 fest. Obwohl auch bei sehr niedriger Luftfeuchtigkeit Konidien gebildet werden, wirken sich höhere relative Luftfeuchtigkeiten positiv auf die Sporulation aus. Als Optimum wird von WARD & MANNERS (1974) 100 % relative Luftfeuchtigkeit angegeben. Die temperaturabhängige Befallsentwicklung konnte in den



eigenen Versuchen bestätigt werden. So konnten vor allem Befallsprogressionen nach Temperaturanstiegen auf über 10 bzw. 15 °C beobachtet werden. Durch die anhaltende Temperatur von über 10 °C ab Ende April im Jahr 2007 stieg der Befall am Standort Kluvensiek kontinuierlich an (s. Abb. 40). Das Vorhandensein von nur wenigen und zusätzlich sehr späten Infektionsereignissen von *Septoria tritici* ließ die Blattetagen vergleichsweise spät nekrotisieren, was eine lange Pathogenese von *Blumeria graminis* begünstigte.

Der hohe Bekämpfungserfolg von durchschnittlich 86 %, den WITTRÖCK (2001) in seinen Studien anführt, konnte anhand der eigenen Beobachtungen nicht erzielt werden. Im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2014 konnte der Befall des Echten Mehltaus mittels Fungizidapplikation nach dem IPS-Modell (VERREET et al., 2000) um 61 % reduziert werden, was den Erhebungen von FINGER (2004) entspricht. Über alle Jahre blieb dieser Bekämpfungserfolg konstant. In den Jahren 2008 bis 2010 lag der Bekämpfungserfolg auf dem gleichen Niveau (KLÖHN, 2011). Wie bereits für *Septoria tritici* dargestellt, wurde das eingesetzte Spezialfungizid Vegas (Cyflufenamid) lediglich in halber Aufwandmenge verwendet. Eine direkte Schwellenüberschreitung (70 % BHB) konnte nur während der Schossphase festgestellt werden, sodass die Indikation *Blumeria graminis* nur einmalig pro Standort und Jahr induziert wurde. Ein erneuter Populationsaufbau wurde zum einen durch die protektive Wirkung des Spezialfungizids sowie durch die Teilwirkung der an *Septoria tritici* orientierten Fungizidmaßnahmen verhindert. Von 2011 bis 2014 entfielen 18 % der fungiziden Gegenmaßnahmen auf die Indikation *Blumeria graminis*, sodass dieses das zweitwichtigste Pathogen im IPS-Monitoring Schleswig-Holstein darstellt (vgl. Kap. 4.1.6).

Der Erreger des Braunrostes *Puccinia triticina* trat zwar in jedem Jahr auf, jedoch konnte er nicht an jedem Standort nachgewiesen werden. Vergleichend zu *Blumeria graminis* hat *Puccinia triticina* kein geoepidemiologisches Ausbreitungsmuster, sondern es kann ein jahresspezifisches Muster festgestellt werden (s. Abb. 41). So trat der Erreger lediglich im Jahr 2012 mit 4,5 % SUM GES BSB überdurchschnittlich auf. In den Jahren 2011, 2013 und 2014 konnten bis auf den Standort Kastorf lediglich sehr geringe Befallsgrade erfasst werden. Sowohl der Infektionserfolg als auch die Latenzzeit hängen maßgeblich von der Temperatur ab. So begünstigen Temperaturen von 12 -20 °C die Infektion (VALLAVIEILLE-POPE et al., 1995). Unter 6 °C findet hingegen keine Sporenkeimung statt (EVERSMeyer & KRAMER, 1995). Je nach Temperatur gestaltet sich die Latenzzeit bis zum Erscheinen neu gebildeter Uredosporenlager von 6 Tagen unter günstigen Verhältnissen bis zu 21 Tagen bei kühlerer Witterung (OHM & SHANER, 1976; SHANER et al., 1978). Diesen Temperatureinfluss konnte in der Vegetationsperiode 2006/2007 beobachtet werden, welche seit der Aussaat durch sehr warme Temperaturen geprägt war. Infolge dessen wiesen die Standorte bereits zu Schossbeginn Anfang April erste Uredosporenlager auf. Die anschließende längere Stagnation des Befalls bis zum 04. Juni (s. Abb. 43) verdeutlicht die Bedeutung der Temperatur

auf die Erregerprogression. Die starke Erregerprogression ab dem 04. Juni kann auf die verkürzte Latenzzeit durch die steigenden Temperaturen zurückgeführt werden. Die zeitweise Stagnation nach Primärbefall mit anschließender rascher Pathogenentwicklung haben bereits MERK (1999) und SUBBA RAO, K. V. et al. (1989, 1990) hervorgehoben.

Für vergleichsweise hohe Endbefallsstärken bedarf es somit in Schleswig-Holstein einer langen Pathogenese. Es besteht mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,825 eine enge Beziehung zwischen dem Erstaufreten und der Endbefallsstärke (s. Abb. 44). Je früher der Erreger im Jahr auftritt, desto höher sind die Endbefallsgrade und einhergehend die Schadwirkung. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass die meisten Primärfektionen ab der zweiten Junihälfte zu ermitteln waren (s. Abb. 44). Eine derartige Korrelation wurden bereits von FINGER (2004) beschrieben, wodurch diese Ergebnisse Bestätigung finden. Sie führt die vergleichsweise späte Primärfektion auf den Einfluss der Temperatur zurück. Diese nehmen bekannterweise im Laufe des Sommers stetig zu, sodass anzunehmen ist, dass die vorherrschenden niedrigeren Temperaturen im Vorfeld einen negativen Einfluss auf die Pathogenese hatten. Gestützt wird diese These durch das unterschiedliche Erstaufreten in den Landesteilen Deutschlands und der Niederlande.

So waren in Bayern (MERK, 1999) und Nordrhein-Westfalen (FINGER, 2004) erste Uredosporenlager überwiegend bereits ab Mitte Mai nachzuweisen, wohingegen dies in den maritimen Gebieten Schleswig-Holsteins und der Niederlande in der Regel erst ab Anfang Juni der Fall war (DAAMEN et al., 1992).

Die Frühjahrstemperatur kann jedoch nicht generell die jahresspezifischen Unterschiede erklären. So waren die Jahre 2011 und 2014 ebenfalls durch vergleichsweise hohe Temperaturen geprägt, ohne dass der Braunrost verfrüht auftrat bzw. es zu hohen Endbefallsstärken kam. Einen weiteren Einflussfaktor stellt die biotisch bzw. abiotisch induzierte Nekrotisierung dar, die dem obligat-biotroph lebenden Erreger die Nahrungsgrundlage entzieht.

In den betrachteten Jahren kam es an keinem Standort zu einer Schwellenüberschreitung, sodass eine direkte Gegenmaßnahme mit Indikation *Puccinia triticina* nicht ausgelöst wurde. Dennoch reduzierten die von anderen Erregern ausgelösten Fungizidmaßnahmen den Befall in der IPS-Variante um 93,7 %. Der Bekämpfungserfolg durch die Nebenwirkung ausgebrachter Fungizide war so groß, dass in der IPS-Variante der Rost lediglich in drei Fällen der Jahre 2011 bis 2014 feststellbar war.

### ***Nekrotisierung des Blattapparates***

Die Nekrotisierung des Blattapparates gibt Auskunft über dessen Leistungsfähigkeit des Pflanzenorgans, da die Photosynthese auf aktives, chlorophyllführendes Pflanzengewebe angewiesen ist. Im Verlauf der Vegetation sind die einzelnen Blätter des Weizens einer Nekrotisierung unterworfen; zurückzuführen auf eine natürliche Seneszenz bzw. biotisch, erregend induziertes Absterben von Zellverbänden. Je nach Zeitpunkt des Erscheinens eines Blattorgans beginnt die Nekrotisierung zu unterschiedlichen Zeitpunkten, da der Beginn und Verlauf von der Temperatursumme anhängen (HARDING et al., 1990; GOODING, 2007; GUENDOUZ et al., 2012). Zur Milchreife nimmt der Nekrotisierungsgrad des oberen ertragsessentiellen Blattapparates überproportional zu (s. Abb. 52.), wobei bei einer Nekrotisierung der Blattfläche zwischen zwei verschiedenen Arten des Absterbens zu unterscheiden ist. Zum einen sind Pflanzen einer natürlichen Seneszenz unterworfen, die durch physiologische Effekte wie Beschattung und natürliche Abreife hervorgerufen werden (POURREZA et al., 2009). Zum anderen gibt es die pathogenbedingte Nekrotisierung, die durch sogenannte perthotrophe Erreger verursacht wird (RUSKE et al., 2003). Diesbezüglich gibt es eine enge lineare Beziehung ( $R^2 = 0,978$ ) zwischen der Befallsstärke des perthotropen Erregers *Septoria tritici* und der daraus resultierenden Nekrotisierung der Blattfläche (s. Abb. 53), sodass zwischen den beiden Formen unterschieden werden kann. Anhand der steigenden Befallsgrade mit *Septoria tritici* zum Ende der Vegetation kann folglich auf die Nekrotisierung geschlossen werden (s. Abb. 53). Dies enge Zusammenhang, beschrieben von MAGBOUL et al. (1992), wird durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. Bei dem Vergleich der pathogen-induzierten Nekrotisierung mit der Gesamtnekrotisierung wird jedoch ersichtlich, dass in den Kontrollvarianten eine erhebliche Differenz zwischen den pathogen-induzierten Nekrotisierung und dem Gesamtnekrotisierungsgrad herrschen (s. Abb. 54, 55). Dies führt dazu, dass die auftretende Nekrose nicht durch den Pathogenbefall erklärt werden kann. Somit führen weitere Einflussgrößen, wie die Temperatursumme (HARDING et al., 1990; GOODING et al., 1994; GUENDOUZ et al., 2012), oxidativer Stress (PROCHAZKOVA et al., 2001; CAUSIN et al., 2006; SEDIGHEH et al., 2011), Trockenstress (YANG et al., 2000; YANG et al., 2003; GUENDOUZ et al., 2012) und phytohormoneller Umsteuerung (BELTRANO et al., 1998; ZWACK & RASHOTTE, 2013) zum überproportionalen Anstieg der natürlichen Seneszenz in der Kontrollvariante. Dieser Einfluss ist jedoch jahres- und standortabhängig (s. Abb. 54, 55).

Aufgrund zweier gezielter Fungizidapplikationen zum Ende der Schossphase (EC 37) sowie zum Ende der Blüte (EC 69) infolge von *Septoria*-Infektionsereignissen wurde, die Befallsstärke auf dem Fahnenblatt um 96 % (F-1 um 82 %; F-2 um 41 %) reduziert, sodass ebenfalls die pathogeninduzierte Nekrotisierung im Rahmen der engen Beziehungen der beiden Faktoren sank. Infolge der Fungizidapplikation wurde weiterhin die natürliche Seneszenz so stark reduziert, dass die Gesamtnekrotisierung dem Maß der pathogeninduzierten Nekrotisierung entsprach (s. Abb. 55). Demzufolge wurde die abiotische

Seneszenz auf den oberen drei Blattetagen so stark verzögert, dass diese im Rahmen der Bonitur nicht mehr erfasst wurde. Somit weisen Fungizide, neben dem fungiziden Effekt, einen weiteren Einfluss auf die genannten Faktoren Temperatur, oxidativer- und Trockenstress sowie die phytohormonelle Umsteuerung, die eine frühzeitige Seneszenz fördern. Erfolgt die letzte Fungizidapplikation jedoch sehr früh in der Vegetation (EC 39/47), dann ist dieser Effekt nicht mehr zu erkennen, da der Wirkstoff bis zum Beginn der Seneszenz weitestgehend abgebaut ist. Somit ist eine Fungizidapplikation zum einem späteren Zeitpunkt notwendig, um sowohl die pathogeninduzierte Nekrose als auch die natürliche Seneszenz zu verringern. Dieser „Greening-Effekt“ konnte ebenfalls von BERTELSEN et al. (2001) und BUTKUTE et al. (2008) beobachtet werden, obwohl sechs Wochen nach einer Applikation die Seneszenz ansteigt. Dies ist auf die Metabolisierung der Wirkstoffe zurückzuführen. Bestätigt werden diese Erkenntnisse durch RUSKE et al. (2003), bei dem die späteste Behandlung zu EC 59 ebenfalls die höchsten Nekrotisierungsreduktionen nach sich zogen. Bereits DAVIES et al. (1984) konnten eine signifikante Seneszenzverzögerung auf dem Fahnenblatt nach Applikation von Propiconazol diagnostizieren, wohingegen die Reduktion des Blattbefalls nicht signifikant war.

Da der Kornertrag sehr eng mit der Länge des Erhalts der grünen Blattmasse korreliert (CARVER, T. L. W. & GRIFFITHS, 1981; HAFSI et al., 2013), sollte die Erhaltung der grünen Blattmasse erklärtes Ziel sein. So konnte mit jedem zusätzlichen Tag der Erhaltung der grünen Blattmasse durch Fungizide der Ertrag um 1 dt/ha steigern (HAFSI et al., 2013).

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen konnte in der fungizid-behandelten IPS-Variante die Nekrotisierung um 37 % vergleichend zur unbehandelten Kontrolle reduziert werden, sodass in der IPS-Variante zum Zeitpunkt der Teigreife (EC 77/83) noch 86 % der Blattfläche photosynthetisch aktiv waren. Diese Reduktion der Gesamtnekrotisierung ist somit auf die fungizide Reduktion der pathogeninduzierten Nekrotisierung und vor allem der natürlichen Seneszenz zurückzuführen. Dabei wurde die größte Reduktion (50 %) am Standort Sönke-Nissen-Koog hervorgerufen, dem Standort mit dem höchsten Bodenpunkten und somit dem besten Wasserhaltevermögen. Dies steht im direkten Zusammenhang mit anderen Ergebnissen, die ebenfalls eine Nekrotisierungsreduktion von 37 % anhand von Fungiziden bemessen haben (GOODING et al., 2000; DIMMOCK, J. P. R. E. & GOODING, 2002; PEPLER et al., 2005). BERDUGO et al. (2012) erreichten in Gewächshausversuchen lediglich eine Reduktion um 20 %.

### ***Ertragsituation***

Die gezielte Bekämpfung pilzlicher Schaderreger anhand von biologisch-epidemiologischen Schadschwellen soll im Rahmen des „Integrierten Pflanzenschutzes“ zu einer bestmöglichen Kontrolle der Pathogene und daraus resultierend auch zu einer hohen Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges führen. In allen Jahren wurden in den fungizidbehandelten Varianten (IPS- und Gesundvariante) höhere Erträge als in der unbehandelten Kontrollvariante erzielt. Ob diese Mehrerträge in Form einer Verlustminderung signifikant waren, hing von der Schadwirkung der Pathogene ab. So waren im befallsschwachen Jahr 2011 lediglich an 50 % der Standorte signifikante Mehrerträge in der nach dem Schadschwellenkonzept behandelten IPS-Variante zu verzeichnen (s. Abb. 56). Hingegen waren die Mehrerträge des befallstarken Jahres 2014 an allen Standorten signifikant (s. Abb. 59). Der durchschnittliche Mehrertrag der IPS-Variante vergleichend zur Kontrolle variierte von 11,5 dt/ha (+ 14,3 %) in 2011 bis 25,8 dt/ha (+ 27,6 %) im Jahr 2014.

Mit der stadienorientierten „Gesundvariante“ wurde eine weitere Variante etabliert, die aufgrund ihrer vierfachen Applikationsfrequenz zu einer Befallsfreiheit führt und in der Differenz zur unbehandelten Kontrolle das standortspezifische Schadpotential pilzlicher Erreger quantifiziert. Der Mehrertrag dieser sehr intensiv geführten Variante variierte von 13,8 dt/ha (+ 17,2 %) in 2011 und 25,3 dt/ha (+ 27,1 %) im Jahr 2014. Obwohl die Gesundvariante im Durchschnitt der Jahre 1,9-mal häufiger behandelt wurde als die IPS-Variante, konnte diese in keinem Jahr und an keinem Standort eine signifikante Ertragssteigerung vergleichend zur IPS-Variante aufweisen. An acht Standorten wurde in der IPS-Variante sogar ein höherer Ertrag als in der Gesundvariante festgestellt. Im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 konnte in der schwellenorientierten IPS-Variante eine Verlustminderung von durchschnittlich 17,1 dt/ha (+ 21 %) gegenüber der unbehandelten Kontrolle erzielt werden. Im Vergleich zur IPS-Variante erbrachte die um 1,9-mal häufiger behandelte Gesundvariante einen Mehrertrag von lediglich von 1,4 dt/ha (+ 1,4 %). Eine zweimalige stadienorientierte Fungizidapplikation erbrachte in Südschweden im Mittel der Jahre von 1977 bis 2005 einen Mehrertrag von 8,1 dt/ha, was 10,1 % entspricht (WIİK & ROSENQVIST, 2010).

Durch die schwellenorientierte Fungizidapplikation nach dem IPS-Modell Weizen konnte der Fungizideinsatz in der IPS-Variante (367 g a.i./ha) auf 22 % der Gesundvariante (1671 g a.i./ha) reduziert werden, obwohl keine signifikante Ertragsdifferenzierung nachzuweisen war. Infolge der am Befallsgeschehen orientierten Fungizidapplikationen nach dem IPS-Modell in der IPS-Variante entstand vergleichend zur Gesundvariante eine Kostenersparnis von 89 €/ha. Den erhöhten Kosten steht lediglich ein Mehrerlös von 25,9 €/ha gegenüber. Aufgrund der geringeren Fungizidkosten resultiert in der IPS-Variante deshalb einer Mehrerlös von 63,1 €/ha vergleichend zur Gesundvariante. Diese Kostenersparnis und der deutlich verringerte Fremdstoffeintrag in die Umwelt sind so im Sinne von Landwirt, Umwelt und Verbraucher.

### **Phytohormone**

Im Rahmen des stressinduzierten *Ex-vivo* Blattscheibenversuchs konnte durch die Applikation von Fungiziden der Gehalt an Indol-3-Essigsäure (IES) signifikant erhöht werden. Vor allem die Strobilurine Azoxystrobin (23,6-fache) und Picoxystrobin (17,8-fache) führten zu deutlichen Anstiegen des Gehaltes. Neben den Strobilurinen wiesen die Wirkstoffe Prothioconazol (Triazol) und Fluxapyroxad (Carboxamid) signifikant erhöhte Gehalte auf (s. Abb. 62). Das Auxin Indol-3-Essigsäure hat die Eigenschaft die Seneszenz zu verzögern (GROSSMANN & RETZLAFF, 1997) und den Abwurf von Blättern zu verhindern (TAMAS & ENGELS, 1981). Es koordiniert dabei die Fruchtentwicklung und Seneszenz (DAVIES, 2004). Infolge dieser Erkenntnis konnten ABDOLI et al. (2013) nach exogener Zugabe von IES einen deutlichen Ertragsanstieg in der Weizenkultur von 19,6 % unter Trockenstress bemessen. Dabei wird der Ertragseffekt von IES auf die gesteigerte photosynthetische Aktivität zurückgeführt. IES induziert die Vergrößerung des Fahnenblattes und somit deren Frisch- und Trockenmasse (ALDESUQUY, 2000), was ebenfalls höhere Erträge begünstigt (ABDOLI et al., 2013).

Hinsichtlich der Cytokinine Trans-Zeatin sowie Trans Zeatin-Ribosid besaßen die Triazole Prothioconazol und Tebuconazol eine signifikante Steigerung der Gehalte. Dabei konnte der Gehalt durch Tebuconazol auf 210 % bzw. der Prothioconazol auf 132 % der unbehandelten Kontrolle erhöht werden (s. Abb. 63). GROSSMANN et al. (1999) konnten im Vergleich eine Steigerung des Cytokinin-Gehaltes (Dihydro-Zeatin-Ribosid) auf bis zu 300 % der Kontrolle nach der Behandlung mit dem Strobilurin Kresoxim-Methyl beobachten. Cytokinine stimulieren die Blattentwicklung, die Induktion von Blütenbildung und Fruchtentwicklung (ZWACK & RASHOTTE, 2013) und verlangsamen Seneszenzerscheinungen, was zu einem erhöhten Chlorophyllgehalt und zu einem verminderten Seneszenz-assoziierten Membranabbau führt (SMART et al., 1991; SINGH et al., 1992; GAN & AMASINO, 1995). Darüber hinaus stimulieren Cytokinine die Chloroplastenbildung, die Photosynthese und die Replikation von Plastiden (ZVALETA-MANCERA et al., 1999). Aufgrund dieser Eigenschaften der Cytokinine konnten ALIZADEH et al. (2010) und PELEG et al. (2011) in Reis und Weizen eine signifikante Ertragssteigerung anhand eines veränderten Sink/Source-Verhältnisses mittels exogen zugeführten Cytokinin beobachten, was sie auf eine verzögerte Blattflächenseneszenz zurückführen.

Durch die Applikation der Triazole Metconazol, Prothioconazol und Tebuconazol konnten die Abscisinsäure-Gehalte (ABA) signifikant gesteigert werden. Den größten Effekt zeigte erneut Tebuconazol, welches den Gehalt um das 6,1-fache ansteigen ließ (s. Abb. 64). GROSSMANN et al. (1999) erreichen in ihrer Studie eine Erhöhung des Abscisinsäure-Gehaltes mit Kresoxim-Methyl auf 220 % der Kontrollwertes.

Im stressfreien *in-vivo* Gewächshausversuch konnte sieben Tage nach der Applikation von Pyraclostrobin ein signifikant höherer ABA-Gehalt (1,9-fache) verzeichnet werden, was den Aufzeichnungen von GROSSMANN et al. (1999) entspricht. Die Abscisinsäure schützt die Pflanze bei abiotischem Stress wie Kälte, Salzstress und Trockenheit durch Induktion der Produktion osmotisch protektiver Proteine und Metaboliten sowie durch die Regulation des Spaltöffnungsapparates zur Reduktion stomatärer Transpiration (ZHU et al., 2007; FRESCHI, 2013). Somit ist der Wasserstatus bzw. dessen Management unter erhöhten Abscisinsäuregehalten infolge von Kresoxim-Methyl verbessert (GROSSMANN et al., 1999). Anhand der Wasserverbrauchsmessung im Rahmen des *in-vivo* Gewächshausversuchs konnte diese Aussage bestätigt werden, da die Pyraclostrobin-Variante im Vergleich signifikant weniger Wasser verbrauchte als die anderen Fungizidvarianten.

In biotischen Stresssituationen wie Pathogenbefall aktiviert Abscisinsäure zusätzlich das Abwehrsystem der Pflanze (ADIE et al., 2007). So konnte BANO et al. (2012) den positiven Einfluss von ABA auf das Tausendkorngewicht von Weizen unter Trockenstress feststellen.

Infolge der Inkubation mit den Strobilurinen wurde der Gehalt an Jasmonaten (Jasmonsäure und Jasmonsäure-Isoleucin) signifikant erhöht, wobei diese von dem 3,8-fachen bei Azoxystrobin bis zu dem 1,8-fachen bei Trifloxystrobin variierten (s. Abb. 65). Gleiches gilt für die Strobilurine Azoxystrobin und Picoxystrobin hinsichtlich der Salicylsäure (Abb. 66). Jasmonate stimulieren die Adventivwurzel-Bildung und die Ethylen-Biosynthese bzw. fördern die Fruchtreifung, die Blattseneszenz, den Blattabwurf, sowie Schließung der Stomata (SEMBDNER & PARTHIER, 1993) Nach Verwundung bzw. Befall der Pflanze durch Herbivoren (Insekten) oder Pathogene wird am Verwundungsort Systemin freigesetzt, welches seinerseits als Signaltransduktion die JA-Biosynthese stimuliert. Die wiederum dadurch freigesetzten Jasmonate induzieren im Folgenden die Expression von JA-induzierten Abwehrgenen (RYAN & PEARCE, 2003). Zu den Abwehrgenprodukten zählen Polyamine, Polyphenole und Proteinase-Inhibitoren, die die Pflanze schützen bzw. die Verdauung fressender Insekten stören (SEMBDNER & PARTHIER, 1993; EL-WAKEIL et al., 2010).

Hingegen ist Salicylsäure in der Pathogenabwehr von biotrophen Erregern beteiligt. In Folge der Anreicherung wird ausgehend von der Salicylsäure die Expression von PR-Genen induziert. Diese Gene kodieren PR-Proteine (pathogene related protein) wie PR1, die das Pathogen aktiv bekämpfen (RASKIN, 1992; JAVAHERI et al., 2012). Des Weiteren erhöhen Jasmonsäure und Salicylsäure die Salzstresstoleranz bei Weizen (KHAN et al., 2012; QIU et al., 2014).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass vor allem die Strobilurine und Triazole in den Phytohormonhaushalt von Weizen unter Stress eingreifen und diesen verändern. Aufgrund der Veränderung des Haushaltes kommt es zur Anreicherung von einzelnen Phytohormonen,

die durch ihre jeweilige Wirkung einen positiven Einfluss auf die Ertragsbildung besitzen, was vor allem unter Stress zum Tragen kommt. So kann die starke Reduktion der natürlichen Seneszenz der sogenannte „Greening-Effekt“, wie bereits für die IPS-Varianten des Monitorings dargestellt, auf die phytohormonelle Veränderung des Weizens aufgrund von Fungizidapplikationen zurückgeführt werden (GROSSMANN & RETZLAFF, 1997; GROSSMANN et al., 1999; KÖHLE et al., 2002; VENANCIO et al., 2003; BERDUGO et al., 2012; BYAMUKAMA et al., 2013).



## 6. Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wurde im Rahmen des IPS-Monitoring Schleswig-Holstein die Populations- und Schadensdynamik von Weizenpathogenen an acht Standorten erfasst, und somit die Effektivität einer integrierten Bekämpfung der Schaderreger und der damit verbundenen Nekrotisierung mittels Bekämpfungsschwellen herausgestellt. Des Weiteren wurden Zusammenhänge zwischen der Witterung und der Epidemiologie der Pathogene dargestellt, um die Risikoabschätzung der Erreger und deren Bekämpfung zu verbessern. Mit der sich anschließenden Phytohormonuntersuchung wurde der Einfluss von Fungiziden auf die Weizenpflanze analysiert.

*Septoria tritici* zeichnete sich im Rahmen des IPS-Monitorings Schleswig-Holstein von 1995 bis 2014 standortübergreifend als das wirtschaftlich bedeutendste Pathogen aus. Neben dem Aussaattermin haben die Herbst- bzw. Winterwitterung einen signifikanten Einfluss auf das Ausgangsinokulum im Frühjahr. Infolge dessen begünstigen Temperaturen von  $\geq 7$  °C im Herbst bzw. Winter eine Primärinfektion, die sich in hohen Ausgangsbefällen zu Schossbeginn widerspiegeln. Jedoch hat das Ausgangsinokulum im weiteren Verlauf keinen signifikanten Einfluss auf den Endbefall des oberen ertragsessentiellen Blattapparates. So sind ab der Schossphase zusätzliche für den Erreger günstige Witterungsbedingungen notwendig, um den oberen Blattapparat in einem hohen Ausmaß zu infizieren. Derartige Infektionsereignisse werden anhand der von KLINK (1997) erarbeiteten und von ANONYM (2005) angepassten Kriterien mit einer hohen Treffergenauigkeit (97 %) zielsicher prognostiziert. Während des Infektionsprozesses nimmt die Temperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Infektionseffektivität, sodass mit steigenden Temperaturen bei gleicher Blattnässedauer ein überproportionaler Zuwachs der Befallsstärke zu beobachten ist. Bei Temperaturen unter 7 °C können hingegen keine bzw. nur sehr geringe Befallszuwächse nach einem Infektionsereignis diagnostiziert werden, sodass eine Aufnahme der Temperatur in die Kriterien eines Infektionsereignisses sinnvoll ist. Mithilfe einer toleranteren Sorte konnte der Befall von *Septoria tritici* um 26 % reduziert werden, sodass die Sortenwahl eine entscheidende phytosanitäre Maßnahme darstellt. Die gegen *Septoria tritici* vorgenommenen Fungizidmaßnahmen besaßen mit 84 % Befallsreduktion einen sehr hohen Bekämpfungserfolg, was auf eine Applikationsterminierung zurückzuführen ist, die an den Infektionsprozess optimiert ist.

Das Auftreten des Echten Mehltaus (*Blumeria graminis*) war durch ein deutliches geographisches Ausbreitungsmuster gekennzeichnet. Der Erreger befand sich an den Standorten der Westküste stets auf einem extrem niedrigen Niveau, wodurch ein bekämpfungswürdiges Ausmaß der Krankheit zu keinem Zeitpunkt erreicht wurde. Im

östlichen Hügelland trat *Blumeria graminis* gegenüber den Marschstandorten deutlich verstärkt auf, sodass *Blumeria graminis* nach *Septoria tritici* als das zweitwichtigste Pathogen anzusehen ist.

Der Erreger des Braunrostes (*Puccinia triticina*) konnte im Verlauf des Untersuchungszeitraums jahres- und standortspezifisch nachgewiesen werden. Bedingt durch die hohen Temperaturansprüche wurden die meisten Primärinfektionen in Schleswig-Holstein erst ab der zweiten Junihälfte ermittelt. Für vergleichsweise hohe Endbefallsstärken bedarf es in Schleswig-Holstein einer langen Pathogenese, da eine enge Beziehung zwischen dem Erstauftreten und der Endbefallsstärke besteht. Je früher der Erreger im Jahr auftritt, desto höher sind die Endbefallsgrade und somit die Schadwirkung.

Aufgrund einer engen linearen Beziehung zwischen der Befallsstärke *Septoria tritici* und der Nekrotisierung des jeweiligen Blattes, kann zwischen der pathogeninduzierten Nekrotisierung und der natürlichen Seneszenz unterschieden werden. Im Rahmen der fungiziden Gegenmaßnahmen nach dem IPS-Modell Weizen wurden diesbezüglich sowohl die pathogeninduzierte Nekrotisierung als auch die natürliche Seneszenz deutlich reduziert. So kann die hohe Reduktion der natürlichen Seneszenz, der sogenannte „Greening-Effekt“, auf die phytohormonelle Veränderung des Weizens aufgrund von Fungizidapplikationen zurückgeführt werden. Vor allem die Fungizide der Strobilurine und Triazole verändern den Phytohormonhaushalt von Weizen. Aufgrund der Veränderung des Haushaltes kommt es zur Anreicherung von einzelnen Phytohormonen, die durch ihre jeweiligen Wirkungen einen positiven Einfluss auf die Ertragsbildung besitzen, was vor allem unter Stress zum Tragen kommt.

Die gezielte Bekämpfung der Schaderreger anhand von biologisch-epidemiologischen Schadschwellen hat zu einer sehr guten Kontrolle der Pathogene und daraus resultierend auch zu einer hohen Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges geführt. Im Mittel der Jahre 2011 bis 2014 konnte in der schwellenorientierten IPS-Variante eine Verlustminderung von durchschnittlich 21 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle erzielt werden. Vergleichend zur IPS-Variante erbrachte die Gesundvariante einen Mehrertrag von lediglich von 1,4 %. Durch die schwellenorientierte Fungizidapplikation konnte der Fremdstoffeintrag in der IPS-Variante von 1671 g a.i./ha auf lediglich 367 g a.i./ha reduziert werden, obwohl infolge dessen kein signifikanter Ertragsverlust entstand. Diese Reduktion des Fremdstoffeintrages in die Umwelt führte zu einer Kostenreduktion von 89 €/ha, was so im Sinne von Landwirt, Umwelt und Verbraucher ist.

## 7. Summary

In the present work, the population and damage dynamics of wheat pathogens were analysed at eight locations in the context of the IPM Monitoring Schleswig-Holstein, and the effectiveness of integrated control of pathogens and associated necrosis was emphasised by pathogen-specific control threshold. In addition, correlations between the weather and the epidemiology of pathogens were shown to improve pathogen risk assessment and control. With the subsequent investigation of phytohormones, the influence of fungicides on the wheat plant was analysed.

The IPM Monitoring Schleswig-Holstein, revealed *Septoria tritici* as the economically most important pathogen across all locations from 1995 to 2014. In addition to the sowing date, the autumn and winter weather has a significant impact on the inoculum in spring. As a result, temperatures of  $\geq 7$  ° C in autumn or winter favour a primary infection, which is reflected in high initial inoculum at onset of shooting. However, in the further course the initial inoculum has no significant effect on the final infestation on the upper yield-essential leaves. Thus, additional weather conditions for the pathogen are necessary to infect the upper leaf system to a large extent. Infection events of this type, as developed by (KLINK, 1997) and adjusted by (ANONYM, 2005) were predicted with a high accuracy (97%). During the infection process, temperature has a significant impact on the effectiveness of infection. Therefore, a disproportionate increase in disease severity occurred with increasing temperature at constant leaf wetness duration. At temperatures below 7 ° C, however, no or only very slight infestation increases were diagnosed after an infection event; thus, a recording of the temperature is useful for characterising an infection event. When a more tolerant variety is used, the infestation of *Septoria tritici* was reduced by 26 %; the choice of variety is therefore a crucial phytosanitary method. The fungicide application taken against *Septoria tritici* caused a reduction of infestation by an average of 84 %, which demonstrates a high control efficiency. This effect is due to date of application which is optimized at the infection process.

The occurrence of powdery mildew (*Blumeria graminis*) was characterised by a distinct geographical spread pattern. The pathogen was located at the West Coast always at an extremely low level, and therefore no pathogen specific control threshold was achieved at any time. Compared to the West Coast, the disease severity of *Blumeria graminis* is significantly increased in the Eastern Hill Country of Schleswig-Holstein. Consequently, *Blumeria graminis* is, considered as, the second most important wheat pathogen after *Septoria tritici*.

The pathogen causing leaf rust of wheat (*Puccinia triticina*) was found in every year, but could not be detected at every site. Due to the high temperature requirements, most primary infections in Schleswig-Holstein could not be determined before the second half of June.

Higher final infestation severities are caused in Schleswig-Holstein only by a long pathogenesis because a close relationship exists between the first appearance and the final infestation. The sooner the pathogen occurs, the higher the final infestation and thus the harmful yield effect is.

Due to a close linear relationship between the degree of infestation *Septoria tritici* and leaf necrosis, it can be differentiated between pathogen induced necrosis and natural senescence. As part of the fungicidal applications defined by the IPM Model, the wheat pathogen induced necrosis as well as the natural senescence were significantly reduced. Thus, the severe reduction of the natural senescence, also known as "greening effect", can be attributed to fungicide effects on wheat phytohormone metabolism. In particular, the strobilurins and triazole fungicides alter phytohormone status of wheat. Consequently, specific plant hormones accumulate in wheat, which have a positive effect on yield especially under stress conditions.

The control of the pathogens based on biological and epidemiological specific thresholds has led to a highly efficient control of pathogens and resulted in a high loss mitigation expressed as an increase of yield. In the years 2011 to 2014, an average yield loss of 21 % compared to the untreated control was achieved in the threshold based IPM variant. Compared to IPM variant, the healthy variant yielded an additional yield of only 1.4 %. The threshold based fungicide application reduced fungicide application rate input from 1671 to only 367 g ai / ha in the IPM variant, although no significant yield loss occurred. This reduction of active ingredient entry into the environment led to a cost reduction of 89 €/ha, which is in the interest of the farmer, the environment and the consumers.

## 8. Literaturverzeichnis

- ABDOLI, M., M. SAEIDI, S. JALALI-HONARMAND, M. AZHAND, 2013: The effect of foliar application of Indole-3-Acetic Acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* **4** (6), 1406–1413.
- ADIE, B. A., J. PEREZ-PEREZ, M. M. PEREZ-PEREZ, M. GODOY, J.-J. SANCHEZ-SERRANO, E. A. SCHMELZ, R. SOLANO, 2007: ABA Is an Essential Signal for Plant Resistance to Pathogens Affecting JA Biosynthesis and the Activation of Defenses in Arabidopsis. *The Plant Cell* **19** (5), 1665–1681.
- ALDESUQUY, H. S., 2000: Effect of Indol-3-yl Acetic Acid on Photosynthetic Characteristics of Wheat Flag Leaf During Grain Filling. *Photosynthetica* **38** (1), 135–141.
- ALIZADEH, O., B. J. HAGHIGHI, K. ORDOOKHANI, 2010: The effects of exogenous cytokinin application on sink size in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Afr. J. of. Agricult. Research* **5** (21), 2893–2898.
- ANONYM, 2005: Gemeinsamer Versuchsbericht 2005 der Ämter für ländliche Räume Husum, Kiel und Lübeck, Pflanzenschutzdienst des Landes Schleswig-Holstein und Ämter für landliche Räume Husum, Kiel und Lübeck, Abteilung Pflanzenschutz.
- ANONYM, 2008: Beschreibende Sortenliste 2008. Hannover, 268 S.
- ANONYM, 2009: Richtlinie 2009/128/EG des europäischen Parlamentes und des Rates, 26 S.
- ANONYM, 2013: Five year global supply and demand projections. England.  
[http://www.igc.int/en/downloads/grainsupdate/igc\\_5yrprojections.pdf](http://www.igc.int/en/downloads/grainsupdate/igc_5yrprojections.pdf) (24. November 2014).
- ANONYM, 2014a: Beschreibende Sortenliste 2014. Hannover.
- ANONYM, 2014b: Fungicide activity and performance in wheat. Information Sheet 26, 6 S.
- ANONYM, 2014c: Klimadaten Deutschland. [www.dwd.de](http://www.dwd.de).
- ANONYM, 2014d: USDA, Foreign Agricultural Service, Production, Supply, and Distribution Database. <http://www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data.aspx>.
- BACCAR, R., C. FOURNIER, T. DORNBUSCH, B. ANDRIEU, D. GOUACHE, C. ROBERT, 2011: Modelling the effect of wheat canopy architecture as affected by sowing density on *Septoria tritici* epidemics using a coupled epidemic-virtual plant model. *Annals of Botany* **108** (6), 1179–1194.

- BANO, A., F. ULLAH, A. NOSHEEN, 2012: Role of abscisic acid and drought stress on the activities of antioxidant enzymes in wheat. *Plant Soil Environment* **58** (4), 181–185.
- BEAUDOIN, N., C. SERIZET, F. GOSTI, J. GIRAUDAT, 2000: Interactions between Abscisic Acid and Ethylene Signaling Cascades. *The Plant Cell* **12**, 1103–1115.
- BELIGNI, M. V., L. LAMATTINA, 2000: Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants. *Planta* **210**, 215–221.
- BELIGNI, M. V., L. LAMATTINA, 2001: Nitric oxide in plants: the history is just beginning. *Plant, Cell and Environment* **24**, 267–278.
- BELIGNI, M. V., 2002: Nitric Oxide Acts as an Antioxidant and Delays Programmed Cell Death in Barley Aleurone Layers. *Plant Physiology* **129** (4), 1642–1650.
- BELIGNI, M. V., L. LAMATTINA, 2002: Nitric oxide interferes with plant photo-oxidative stress by detoxifying reactive oxygen species. *Plant, Cell and Environment* **25**, 737–748.
- BELTRANO, J., M. RONCO, E. MONTALDI, A. CARBONE, 1998: Senescence of Flag Leaves and Ears of Wheat Hastened by Methyl Jasmonate. *J Plant Growth Regulation* **1998** (17), 53–57.
- BENELLI, J. J., 2013: Non-target effects of strobilurin fungicide applications on creeping bentgrass putting greens during summer stress. Master Thesis. Knoxville, University of Tennessee, 117 S.
- BERDUGO, C., U. STEINER, H.-W. DEHNE, E.-C. OERKE, 2012: Effect of bixafen on senescence and yield formation of wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **104** (3), 171–177.
- BERTELSEN, J., E. DE NEERGAARD, V. SMEDEGAARD-PETERSEN, 2001: Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology* **2001** (50), 190–205.
- BRODERSEN, P., F. G. MALINOVSKY, K. HÉMATY, M.-A. NEWMAN, J. MUNDY, 2005: The Role of Salicylic Acid in the Induction of Cell Death in *Arabidopsis* *acd11*. *Plant Physiology* **138** (2), 1037–1045.
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2014: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. BVL.
- BUSSE, C., 2001: Populations- und Schadensdynamik von Weizenpathogenen in Schleswig-Holstein und Ansätze einer Befallsprognose. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.

- BUTKUTE, B., V. PAPLAUSKIENE, I. GAURILCIKIENE, 2008: Efficacy of fungicide treatments on the winter wheat Senescence, Grain Yield, Protein Concentration and Yield. *Zemdirbyste-Agriculture* **95** (3), 242–250.
- BYAMUKAMA, E., L. J. ABENDROTH, R. W. ELMORE, A. E. ROBERTSON, 2013: Quantifying the Effect of Pyraclostrobin on Grain-fill Period and Kernel Dry Matter Accumulation in Maize. *Plant Health Progress*.
- CARRETERO, R., M. O. BANCAL, D. J. MIRALLES, 2011: Effect of leaf rust (*Puccinia triticina*) on photosynthesis and related processes of leaves in wheat crops grown at two contrasting sites and with different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy* **35** (4), 237–246.
- CARVER, T. L. W., E. GRIFFITHS, 1981: Relationship between powdery mildew infection, green leaf area and grain yield of barley. *Ann. appl. Biol.* **99**, 255–266.
- CAUSIN, H. F., R. N. JAUREGUI, A. J. BARNEIX, 2006: The effect of light spectral quality on leaf senescence and oxidative stress in wheat. *Plant Science* **171** (1), 24–33.
- CEYNOWA, J., H. LINDENBERG, G. PIENING, 1993: Epidemiologie und infektionsbezogene Bekämpfung der Blattdürre (*Septoria tritici*) an Winterweizen. *Gesunde Pflanzen* **45** (4), 155–162.
- CHUNGU, C., J. GILBERT, F. TOWNLEY-SMITH, 2001: *Septoria tritici* Blotch Development as Affected by Temperature, Duration of Leaf Wetness, Inoculum Concentration, and Host. *Plant Disease* **85** (4), 430–435.
- CLARK, D., J. DURNER, A. N. DUROY, D. F. KLESSIG, 2000: Nitric Oxide Inhibition of Tobacco Catalase and Ascorbate Peroxidase. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **13**, 1380–1384.
- DAAMEN, R. A., R. W. STUBBS, W. STOL, 1992: Surveys of cereal diseases and pests in the Netherlands. 4. Occurrence of powdery mildew and rusts in winter wheat. *Neth. J. Plant Path.* **98**, 301–312.
- DAVIES, P. J., 2004: *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, 3. Auflage. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- DAVIES, W. P., P. S. KETTLEWELL, H. J. GREEN, 1984: Senescence and net photosynthesis of the flag leaf and grain growth of wheat in response to fungicide. *Ann. appl. Biol.* **105**, 303–312.
- DEHNE, H. W., H. B. DEISING, U. GISI, K. H. KUCK, P. E. RUSSELL, H. LYR (Hrsg.), 2011: *Modern Fungicides and Antifungal Compounds VI* 16. International Reinhardsbrunn Symposium. Braunschweig, DPG Spectrum Phytomedizin, 457 S.

- DELLEDONNE, M., Y. XIA, R. A. DIXON, C. LAMB, 1998: Nitric oxide functions Nitric oxide functions Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. *Nature* **394**, 585–588.
- DIMMOCK, J. P. R. E., M. J. GOODING, 2002: The effects of fungicides on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. *Journal of Agricultural Science* **138**, 1–16.
- DURNER, J., D. WENDEHENNE, D. F. KLESSIG, 1998: Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **95**, 10328–10333.
- DUTZMANN, S., 1985: Zur Analyse der Beziehung zwischen Klimadaten und Sporenproduktion sowie Sporenverbreitung von *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **92**, 629–642.
- EL-WAKEIL, N. E., C. VOLKMAR, A. A. SALLAM, 2010: Jasmonic acid induces resistance to economically important insect pests in winter wheat. *Pest Management Science* **66** (5), 549–554.
- EVERSMEYER, M. G., C. L. KRAMER, 1995: Survival of *Puccinia recondita* and *P. graminis* Urediniospores Exposed to Temperatures from Subfreezing to 35 C. *Phytopathology* **85**, 161–164.
- EYAL, Z., 1987: The Septoria diseases of wheat. Concepts and methods of disease management. Mexico, D.F., CIMMYT.
- FERRER, M. A., A. ROS BARCELÓ, 1999: Differential effects of nitric oxide on peroxidase and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production by the xylem of *Zinnia elegans*. *Plant, Cell and Environment* **22** (891-897).
- FINGER, I., 2004: Das IPS-Modell Weizen: Untersuchungen zur Effektivität und Funktionalität unter niedersächsischen Anbau- und Klimabedingungen (1998-2001) sowie zum bundesweiten Auftreten von *Puccinia striiformis* und *Puccinia recondita* (1993-2001). Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, 180 S.
- FORRER, H., J. ZADOKS, 1983: Yield reduction in wheat in relation to leaf necrosis caused by *Septoria tritici*. *Neth. J. Pl. Path.* **89**, 87–98.
- FRESCHI, L., 2013: Nitric oxide and phytohormone interactions: current status and perspectives. *Frontiers in Plant Science* **4**, 1–22.
- GABALDÓN, C., GÓMEZ ROS, LAURA V, M. A. PEDREÑO, A. ROS BARCELÓ, 2005: Nitric oxide production by the differentiating xylem of *Zinnia elegans*. *The New phytologist* **165** (1), 121–130.



- GAN, S., R. M. AMASINO, 1995: Inhibition of leaf senescence by autoregulated production of cytokinin. *Science* **270**, 1986–1988.
- GARCIA-MATA, C., L. LAMATTINA, 2002: Nitric Oxide and Abscisic Acid Cross Talk in Guard Cells. *Plant Physiology* **128** (3), 790–792.
- GEISLER, G., 1988: Pflanzenbau. Berlin und Hamburg, Paul Parey.
- GLADDERS, P., N. D. PAVELEY, I. A. BARRIE, N. V. HARDWICK, M. HIMS, 2001: Agronomic and meteorological factors affecting the severity of leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* in commercial wheat crops in England. *Ann. appl. Biol.* **138**, 301–3011.
- GOODING, M. J., DIMMOCK, J. P. R. E., J. FRANCE, S. A. JNES, 2000: Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Ann. appl. Biol.* **136**, 77–84.
- GOODING, M. J., S. P. SMITH, W. P. DAVIES, P. S. KETTLEWELL, 1994: Effects of late-season applications of propiconazole and tridemorph on disease, senescence, grain development and the breadmaking quality of winter wheat. *Crop Protection* **13** (5), 362–370.
- GOODING, M. J., 2007: Influence of Foliar Diseases and their Control by Fungicides on Grain Yield and Quality in Wheat - Springer. *Wheat Production in Stressed Environments* **12**, 567–581.
- GOULD, K. S., O. LAMOTTE, A. KLINGUER, A. PUGIN, D. WENDEHENNE, 2003: Nitric oxide production in tobacco leaf cells: a generalized stress response? *Plant, Cell and Environment* **26**, 1851–1862.
- GOUVÊA, C., J. F. SOUZA, A. MAGALHAES, I. S. MARTINS, 1997: NO<sub>2</sub>-releasing substances that induce growth elongation in maize root segments. *Plant Growth Regulation* **21**, 183–187.
- GRAZIANO, M., M. V. BELIGNI, L. LAMATTINA, 2002: Nitric oxide improves internal iron availability in plants. *Plant Physiology* **130** (4), 1852–1859.
- GROSSMANN, K., J. KWIATKOWSKI, G. CASPAR, 1999: Regulation of Phytohormone Levels, Leaf Senescence and Transpiration by the Strobilurin Kresoxim-methyl in Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology* **154**, 805–808.
- GROSSMANN, K., J. KWIATKOWSKI, C. HÄUSER, 1991: Phytohormonal changes in greening and senescing intact cotyledons of oilseed rape and pumpkin: influence of the growth retardant BAS 111.W. *Physiologia Plantarum* **83**, 544–550.
- GROSSMANN, K., G. RETZLAFF, 1997: Bioregulatory Effects of the Fungicidal Strobilurin Kresoximmethyl in Wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science* **50**, 11–20.

- GRUHN, V. J., 2003: Wirkungseffizienz von Fungiziden (Strobilurin, Triazole, Morpholine, Piperidine, Spiroketalamine) hinsichtlich Leistung und biologisch-epidemiologischer Effekte gegenüber pilzlichen Krankheitserregern in Winterweizen. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, 370 S.
- GUENDOZ, K., K. MAAMARI, S. GUESSOUM, M. HAFSI, BENIDIR, 2012: Flag Leaf Senescence, Chlorophyll Content and its relationship with yield componenets under drought in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf). International Journal of Innovations in Bio-Sciences **2** (4), 186–192.
- HAFSI, M., A. HADJI, A. GUENDOZ, K. MAAMARI, 2013: Relationship between Flag Leaf Senescence and Grain Yield in Durum Wheat grown under Drought Conditions. Journal of Agronomy **12** (2), 69–77.
- HARDING, S. A., J. A. GUIKEMA, G. M. PAULSEN, 1990: Photosynthetic Decline from High Temperature Stress during Maturation of Wheat. Plant Pathology **92** (3), 648–653.
- HARTLEB, H., G. HARTMANN, C. WOLFF, P. RÜCKER, 1995: Die Ertragswirksamkeit des Braunrostes (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm.) an Weizen und Roggen sowie des Zwergrostes (*Puccinia hordei* Oth) an Gerste bei unterschiedlich resistenten Sorten in Sachsen-Anahl. Gesunde Pflanzen **47**, 59–64.
- HEDDEN, P., S. J. CROKER, W. RADEMACHER, J. JUNG, 1989: Effects of the triazole plant growth retardant BAS 111 W on gibberellin levels in oilseed rape, Brassica napus. Physiologia Plantarum **75**, 445–451.
- HENZE, M., M. BEYER, H. KLINK, J.-A. VERREET, 2007: Characterizing Meteorological Scenarios Favorable for *Septoria tritici* Infections in Wheat and Estimation of Latent Periods. Plant Disease **91** (11), 1445–1449.
- HENZE, M., 2007: Entwicklung einer anbauparameter- und witterungsabhängigen Befallsprognose von *Septoria tritici*. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.
- HESS, D. E., G. SHANER, 1987: Effect of Moisture and Temperature on Deveelopment of *Septoria tritici* Blotch in Wheat. Ecology and Epidemiology **77** (2).
- HOFFMANN, G. M., H. SCHMUTTERER, 1999: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 14 Tabellen, 2. Auflage. Stuttgart, Ulmer, 675 S.
- HOLMES, S., J. COLHOUN, 1974: Infection of wheat by *Septoria nodorum* and *S. tritici* in relation to plant age, air temperature and relative humidity. Trans. Br. mycol. Soc. **63** (2), 329–338.

- HUNG, K. T., C. H. KAO, 2004: Nitric oxide acts as an antioxidant and delays methyl jasmonate-induced senescence of rice leaves. *Journal of Plant Physiology* **161** (1), 43–52.
- HÜWING, H., 2008: Vergleich der Winterweizenproduktion ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe in Schleswig-Holstein - COMPASS (Comparative Assessment of Land Use Systems). Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.
- ITEN, M., T. HOFFMANN, E. GRILL, 1999: Receptors and Signalling Components of Plant Hormones. *Journal of Receptor and Signal Transductions Research* **19**, 41–58.
- JAVAHERI, M., K. MASHAYEKHI, A. DADKHAH, F. Z. TAVALLAEE, 2012: Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *IJACS (International Journal of Agriculture and Crop Sciences)* **4** (16), 1184–1187.
- JOHNEN, T., U. BOETTCHER, H. KAGE, 2012: A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model. *Computers and Electronics in Agriculture* **89**, 62–69.
- KARLIDAG, H., E. YILDIRIM, M. TURAN, 2009: Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **172** (2), 270–276.
- KHAN, M. I. R., S. SYEED, R. NAZAR, N. A. ANJUM, 2012: An Insight into the Role of Salicylic Acid and Jasmonic Acid in Salt Stress Tolerance. In: N. A. KHAN, R. NAZAR, N. IQBAL, N. A. ANJUM (Hrsg.): *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. Heidelberg, Springer, 8 S., 277–300.
- KLINK, H., 1997: Geoepidemiologische Erhebungen von Weizenpathogenen in Schleswig-Holstein unter Anwendung und Entwicklung des Integrierten Pflanzenschutzsystems (IPS-Modell Weizen) für einen minimierten, bedarfsgerechten Fungizideinsatz. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.
- KLÖHN, H., 2011: Populationsdynamische Erhebungen von Weizenpathogenen zur Entwicklung eines lernfähigen, telemetriefähigen Gerätesystems zur Pflanzenschutzoptimierung anhand des Modellpathogens *Septoria tritici*. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.
- KÖHLE, H., K. GROSSMANN, T. JABS, M. GERHARD, W. KAISER, J. GLAAB, U. CONRATH, K. SEEHAUS, S. HERMS, 2002: Physiological Effects of the Strobilurin Fungicide F 500 on Plants. In: H.-W. DEHNE (Hrsg.): *Modern Fungicides and Antifungal Compounds III*. 13th International Reinhardtsbrunn Symposium, May 14th-18th, 2001 : Treff Hotel, Friedrichroda, Thuringia, Germany. Bonn, AgroConcept, xvi, 464.

- KRAEPIEL, Y., E. MIGINIAC, 1997: Photomorphogenesis and phytohormones. *Plant, Cell and Environment* **20**, 807–812.
- KRAMELL, R., O. MIERSCH, B. HAUSE, B. ORTEL, B. PARTHIER, C. WASTERACK, 1997: Amino acid conjugates of jasmonic acid induce jasmonate-responsive gene expression in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. *FEBS Letters* **414** (2), 197–202.
- LAMATTINA, L., C. GARCÍA-MATA, M. GRAZIANO, G. PAGNUSSAT, 2003: Nitric Oxide: The versatility of an extensive signal molecule. *The Versatility of an Extensive Signal Molecule. Annual Review of Plant Biology* **54** (1), 109–136.
- LESHAM, Y.Y., R. WILLIS, 1998: Harnessing Senescence Delaying Gases Nitric Oxide and Nitrous Oxide: A Novel Approach to Postharvest Control of Fresh Horticultural Produce. *Biologia Plantarum* **41** (1), 1–10.
- LESLIE, C. A., R. J. ROMANI, 1988: Inhibition of Ethylene Biosynthesis by Salicylic Acid. *Plant Physiology* **88**, 833–837.
- LIPPS, P. E., L. V. MADDEN, 1989: Assessment of Methods of Determining Powdery Mildew Severity in Relation to Grain Yield of Winter Wheat Cultivars in Ohio. *Phytopathology* **79** (4), 462–470.
- LOVELL, D. J., T. HUNTER, S. J. POWERS, S. PARKER, F. VAN DEN BOSCH, 2004: Effect of temperature on latent period of septoria leaf blotch on winter wheat under outdoor conditions. *Plant Pathology* **53**, 170–181.
- LOZANO-JUSTE, J., J. LEON, 2010: Nitric oxide modulates sensitivity to ABA. *Plant Signaling & Behavior* **5** (3), 314–316.
- MAGBOUL, A. M., S. GENG, D. G. GILCHRIST, L. F. JACKSON, 1992: Environmental Influence of the Infection of Wheat by *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* **82** (12), 1407–1413.
- MALAMY, J., J. P. CARR, D. F. KLESSIG, I. RASKIN, 1990: Salicylic acid: A likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science* **250**, 1002–1004.
- MALAMY, J., D. F. KLESSIG, 1992: Salicylic acid and plant disease resistance. *The Plant Journal* **2** (5), 643–654.
- MANJUNATHA, G., K. J. GUPTA, V. LOKESH, MUR, LUIS A. J., B. NEELWARNE, 2012: Nitric oxide counters ethylene effects on ripening fruits. *Plant Signaling & Behavior* **7** (4), 476–483.
- MASOOD, S., L. SALEH, K. WITZEL, C. PLIETH, K. H. MÜHLING, 2012: Determination of oxidative stress in wheat leaves as influenced by boron toxicity and NaCl stress. *Plant Physiology and Biochemistry* **56**, 56–61.

- MERGEMANN, H., M. SAUTER, 2000: Ethylene induces epidermal cell death at the site of adventitious root emergence in rice. *Plant Physiology* **124**, 609–614.
- MERK, M., 1999: Monitoring von Pilzkrankheiten in Bayern 1993 - 1995 für Prognosen an Weizen und Gerste als Grundlage des integrierten Pflanzenschutzes. Dissertation. München, Technische Universität, 178 S.
- MIELKE, H., 1981: Untersuchungen zur Anfälligkeit verschiedener Sommerweizensorten gegenüber *Septoria tritici* Rob. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **32** (5), 65–67.
- MODOLO, L. V., F. Q. CUNHA, M. R. BRAGA, I. SALGADO, 2002: Nitric Oxide Synthase-Mediated Phytoalexin Accumulation in Soybean Cotyledons in Response to the *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis* Elicitor. *Plant Physiology* **130** (3), 1288–1297.
- MOK, D. W., M. C. MOK, 2001: Cytokinin Metabolism and Action. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **1** (52), 89–118.
- OECD, FAO, 2011: OECD-FAO Agricultural Outlook 2011, OECD Publishing and FAO, 196 S.
- OERKE, E.-C., U. STEINER, 1996: Ertragsverluste und Pflanzenschutz. Die Anbausituation für die wirtschaftlich wichtigsten Kulturpflanzen. Stuttgart, Ulmer, 165 S.
- OERKE, E.-C., 2006: Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* **144** (01), 31.
- OHM, H. W., G. E. SHANER, 1976: Three Components of slow Leaf-Rusting at different Growth Stages in Wheat. *Phytopathology* **66**, 1356–1360.
- OLSZEWSKI, N., T. P. SUN, F. GUBLER, 2002: Gibberellin signaling: Biosynthesis, catabolism, and response pathways. *Plant Cell* **14**, 61-S80.
- PACHINBURAVAN, A., 1981: Pycnidiospore germination, penetration, and pycnidial formation of *Septoria tritici* Rob. ex Desm. Dissertation. Washington, Washington State University.
- PAGNUSSAT, G. C., M. SIMONTACCHI, S. PUNTARULO, L. LAMATTINA, 2002: Nitric Oxide Is Required for Root Organogenesis. *Plant Physiology* **129** (3), 954–956.
- PALMER, C., W. SKINNER, 2002: *Mycosphaerella graminicola*: latent infection, crop devastation and genomics. *Molecular Plant Pathology* **3** (2), 63–70.
- PALMIERI, M. C., S. SELL, X. HUANG, M. SCHERF, T. WERNER, J. DURNER, C. LINDERMAYR, 2008: Nitric oxide-responsive genes and promoters in *Arabidopsis thaliana*: a bioinformatics approach. *Journal of Experimental Botany* **59** (2), 177–186.
- PANDEY, S., S. RADANE, P. NAGAR, N. KUMAR, 2000: Role of polyamines and ethylene as modulators of plant senescence. *Journal of Bioscience* **25** (3), 291–299.

- PELEG, Z., M. REGUERA, E. TUMIMBANG, H. WALIA, E. BLUMWALD, 2011: Cytokinin-mediated source/sink modifications improve drought tolerance and increase grain yield in rice under water-stress. *Plant biotechnology journal* **9** (7), 747–758.
- PEPLER, S., M. J. GOODING, K. E. FORD, R. H. ELLIS, S. A. JONES, 2005: Delaying senescence of wheat with fungicides has interacting effects with cultivar on grain sulphur concentration but not with sulphur yield or nitrogen:sulphur ratios. *European Journal of Agronomy* **22** (4), 405–416.
- POURREZA, J., A. SOLTANI, A. NADERI, A. AYNEHBRAND, 2009: Modeling Leaf Production and Senescence in Wheat. *J. Agric. & Environ. Sci.* **6** (5), 498–507.
- PRISTIJONO, P., R. WILLS, J. GOLDING, 2008: Use of the nitric oxide-donor compound, diethylenetriamine-nitric oxide (DETANO), as an inhibitor of browning in apple slices. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **83**, 555–558.
- PROCHAZKOVA, D., R. K. SAIRAM, G. C. SRIVASTAVA, D. V. SINGH, 2001: Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science* **161** (4), 765–771.
- QIU, Z., J. GUO, A. ZHU, L. ZHANG, M. ZHANG, 2014: Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **104**, 202–208.
- RASKIN, I., H. SKUBATZ, W. TANG, B. J. D. MEEUSE, 1990: Salicylic acid levels in thenogenic and nonthermogenic plants. *Annals of Botany* **66**, 369–373.
- RASKIN, I., 1992: Salicylate, a new plant hormone. *Plant Physiology* **99**, 799–803.
- RUSKE, R. E., M. J. GOODING, S. A. JONES, 2003: The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. *Crop Protection* **22** (7), 975–987.
- RYAN, C., G. PEARCE, 2003: Systemins: A functionally defined family of peptide signals that regulate defensive genes in Solanaceae species. *PNAS* **100**, 14577–14580.
- SCHÖFL, U. A., V. ZINKERNAGEL, 1997: A test method based on microscopic assessments to determine curative and protectant fungicide properties against *Septoria tritici*. *Plant Pathology* **46**, 545–556.
- SCHUH, W., 1990: Influence of Tillage Systems on Disease Intensity and Spatial Pattern of *Septoria* Leaf Blotch. *Phytopathology* **80** (12), 1337–1340.
- SCOTT, P., F. SANDERSON, P. BENEDIKZ, 1988: Occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici*, on wheat debris in the UK. *Plant Pathology* **1988** (37), 285–290.

- SECK, M., A. P. ROELFS, P. S. TENG, 1988: Effect of leaf rust (*Puccinia recondita tritici*) on yield of four isogenic wheat lines. *Crop Protection* **7** (1), 39–42.
- SEDIGHEH, H. G., M. MORTAZAVIAN, D. NOROUZIAN, M. ATYABI, A. AKBARZADEH, K. HASANPOOR, M. GHORBANI, 2011: Oxidative stress and leaf senescence. *BMC research notes* **4**, 477.
- SEMBDNER, G., B. PARTHIER, 1993: The Biochemistry and the physiological and molecular actions of Jasmonates. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **44**, 569–589.
- SHANER, G., H. W. OHM, R. E. FINNEY, 1978: Response of Susceptible and Slow Leaf-Rusting Wheats to Infection by *Puccinia recondita*. *Phytopathology* **68**, 471–475.
- SHARP, R. E., M. E. LENOBLE, 2002: ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *Journal of Experimental Botany* **53** (366), 33–37.
- SHAW, M., D. J. ROYLE, 1989: Estimation and validation of a function describing the rate at which *Mycosphaerella graminicola* causes yield loss in winter wheat. *Ann. appl. Biol.* **115**, 425–442.
- SHAW, M. W., 1990: Effects of temperature, leaf wetness and cultivar on the latent period of *Mycosphaerella graminicola* on winter wheat. *Plant Pathology* **39**, 255–268.
- SHI, F.-M., Y.-Z. LI, 2007: *Verticillium dahliae* toxins-induced nitric oxide production in *Arabidopsis* is major dependent in nitrate reductase. *BMB reports*, 79–85.
- SHIPLER, L., A. BLUM, 1986: Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica* **35**, 483–492.
- SIMÓN, M. R., A. E. PERELLÓ, C. A. CORDO, P. C. STRUIK, 2002: Influence of *Septoria tritici* on Yield, Yield Components, and Test Weight of Wheat under Two Nitrogen Fertilization Conditions. *Crop Science* **42**, 1974–1981.
- SINGH, S., D. S. LETHAM, L. M. S. PALNI, 1992: Cytokinin biochemistry in relation to leaf senescence. VII. Endogenous cytokinin levels and exogenous applications of cytokinins in relation to sequential leaf senescence of tobacco. *Physiologia Plantarum* **86**, 388–397.
- SLAFER, G. A., H. M. RAWSON, 1995: Photoperiod × temperature interactions in contrasting wheat genotypes: Time to heading and final leaf number. *Field Crops Research* **44**, 73–83.
- SMART, C. M., S. R. SCOFIELD, M. W. BEVAN, T. A. DYER, 1991: Delayed leaf senescence in tobacco plants transformed with *tmr*, a gene for cytokinin production in *Agrobacterium*. *Plant Cell* **3**, 647–656.

- STEFFEN, H., 2014: April oft zu trocken. Klimawandel fordert Landwirtschaft heraus. Ernährungsdienst Agrarzeitung (45), 8.
- STEPHAN, S., 1980: Untersuchungen zum Sporenflug des Getreidemehltaus (*Erysiphe graminis* DC.). Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz **15**, 113–124.
- STUCKEY, R., J. ZADOKS, 1989: Effect of interrupted leaf wetness periods on pustule development of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on wheat. Neth. J. Pl. Path. **95**, 175–185.
- SUBBA RAO, K. V., G. T. BERGGREN, J. P. SNOW, 1990: Characterization of Wheat Leaf Rust Epidemics in Louisiana. Phytopathology **80**, 402–410.
- SUBBA RAO, K. V., J. P. SNOW, G. T. BERGGREN, 1989: Effect of Growth Stage and Initial Inoculum Level on Leaf Rust Development and Yield Loss Caused by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. Journal of Phytopathology **127**, 200–210.
- SYAHPUTRA, B. S. A., U. R. SINNIHAH, S. O. RASTAN, M. ISMAIL, 2013: Determination of Changes in Gibberellic Acid (Ga3) Content in *Oryza sativa* Due to Paclobutrazol Treatment. Journal of Food Pharmaceutical Science **1**, 14–17.
- TAIZ, L., E. ZEIGER (Hrsg.), 2000: Physiologie der Pflanzen. Heidelberg - Berlin, Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- TAMAS, I. A., C. J. ENGELS, 1981: Role of Indoleacetic Acid and Abscisic Acid in the Correlative Control by Fruits of Axillary Bud Development and Leaf Senescence. Plant Physiology **68**, 476–481.
- THOMAS, M. R., R. J. COOK, J. E. KING, 1989: Factors affecting development of *Septoria tritici* in winter wheat and its effect on yield. Plant Pathology **38**, 246–257.
- VALLAVIEILLE-POPE, C. DE, L. HUBER, M. LECONTE, H. GOYEAU, 1995: Comparative Effects of Temperature and Interrupted Wet Periods on Germination, Penetration, and Infection of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. striiformis* on Wheat Seedlings. Ecology and Epidemiology **85** (4), 409–415.
- VENANCIO, W. S., A. T. RODRIGUES, E. BEGLIOMINI, DE SOUZA, N.L., 2003: Physiological Effects of Strobilurin fungicides on plants. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa **9** (3).
- VERREET, J.-A., H. HABERMEYER, 1995: Angewandte Grundlagen des Integrierten Pflanzenschutzes in Weizenanbausystemen. - IPS-Modell Bayern -. Aachen, PR GmbH Werbeagentur & Verlag.
- VERREET, J.-A., G. M. HOFFMANN, J. PORTNER, 1990: Nachweis des Teleomorph *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter (Anamorph: *Septoria tritici* Rob. apud Desm.) in der Bundesrepublik Deutschland. Journal of Phytopathology **130**, 105–113.



- VERREET, J.-A., 1992: Angewandte Grundlagen des integrierten Pflanzenschutzes im Weizenanbausystemen - IPS Weizenmodell Bayern. Habilitationsschrift, Technische Universität München.
- VERREET, J.-A., H. KLINK (Hrsg.), 1999: Chemical control of *Septoria/Stagonospora* diseases in cereals. unveröffentlicht.
- VERREET, J.-A., H. KLINK, G. M. HOFFMANN, 2000: Regional Monitoring for Disease Prediction and Optimization of Plant Protection Measures: The IPM Wheat Model. *Plant Disease* **84** (8), 816–826.
- VILJANEN-ROLLINSON, S., M. V. MARRONI, R. C. BUTLER, Y. DENG, T. ARMOUR, 2005: Latent periods of *Septoria tritici* Blotch on ten cultivars of Wheat. *New Zealand Plant Protection* **58**, 256–260.
- WAINSHILBAUM, S. J., P. E. LIPPS, 1991: Effect of Temperature and Growth Stage of Wheat on Development of Leaf and Glume Blotch Caused by *Septoria tritici* and *S. nodorum*. *Plant Disease* **75**, 993–998.
- WANG, E., T. ENGEL, 1998: Simulation of phenological development of wheat crops. *Agricultural Systems* **58** (1), 1–24.
- WANG, Y. H., H. R. IRVING, 2011: Developing a model of plant hormone interactions. *Plant Signaling & Behavior* **6** (4), 494–500.
- WARD, S., J. MANNERS, 1974: Environmental effects on the quantity and viability of conidia produced by *Erysiphe graminis*. *Trans. Br. mycol. Soc.* **1974** (62), 119–128.
- WASILEWSKA, A., F. VLAD, C. SIRICHANDRA, Y. REDKO, F. JAMMES, C. VALON, FREY, N. F. D., J. LEUNG, 2008: An Update on Abscisic Acid Signaling in Plants and More... *Molecular Plant* **1** (2), 198–217.
- WENT, F. J., 1928: Wuchsstoff und Wachstum. *Recl. Trav. Bot. Neerl* **25**, 1–116.
- WEST, J. S., J. A. TOWNSEND, M. STEVENS, B. FITT, 2012: Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. *European Journal of Plant Pathology* **133** (1), 315–331.
- WIİK, L., H. ROSENQVIST, 2010: The economics of fungicide use in winter wheat in southern Sweden. *Crop Protection* **29** (1), 11–19.
- WITTROCK, A. F., 2001: Das Integrierte Pflanzenschutzsystem (IPS-Modell Weizen) im praktischen Betrieb Schleswig-Holsteins - Implementierung und Validierung -. Dissertation. Kiel, Christian-Albrechts-Universität.

- WOLF, P., 1991: Biologie, Epidemiologie, Schadrelevanz, Konzeption für eine integrierte Bekämpfung von *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem., (Perfektstadium *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs.), dem Erreger einer Blattkrankheit an Weizen. Dissertation. München, Technische Universität München.
- YAMASAKI, H., 2000: Nitrite-dependent nitric oxide production pathway: implications for involvement of active nitrogen species in photoinhibition *in vivo*. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences **355**, 1477–1488.
- YANG, J., J. ZHANG, Z. HUANG, Q. ZHU, L. WANG, 2000: Remobilization of Carbon Reserves Is Improved by Controlled Soil-Drying during Grain Filling of Wheat. *Crop Science* **40**, 1645–1655.
- YANG, J. C., J. H. ZHANG, Z. Q. WANG, Q. S. ZHU, L. J. LIU, 2003: Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant, Cell and Environment* **26**, 1621–1631.
- ZADOCKS, J., T. CHANG, C. KONZAK, 1974: A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research* **14**, 415–421.
- ZAVALETA-MANCERA, H. A., B. J. THOMAS, H. THOMAS, I. M. SCOTT, 1999: Regreening of senescent *Nicotiana* leaves. *Journal of Experimental Botany* **50** (340), 1683–1689.
- ZHU, S.-Y., X.-C. YU, X.-J. WANG, R. ZHAO, Y. LI, R.-C. FAN, Y. SHANG, S.-Y. DU, X.-F. WANG, F.-Q. WU, Y.-H. XU, X.-Y. ZHANG, D.-P. ZHANG, 2007: Two Calcium-Dependent Protein Kinases, CPK4 and CPK11, Regulate Abscisic Acid Signal Transduction in Arabidopsis. *The Plant Cell* **19** (10), 3019–3036.
- ZOTTINI, M., E. FORMENTIN, M. SCATTOLIN, F. CARIMI, F. L. SCHIAVO, M. TERZI, 2002: Nitric oxide affects plant mitochondrial functionality *in vivo*. *FEBS Letters* **515**, 75–78.
- ZWACK, P. J., A. M. RASHOTTE, 2013: Cytokinin inhibition of leaf senescence. *Plant Signaling & Behavior* **8** (7).

## 9. Anhang

Tab. 14: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Barlt** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterweizen	23.09.1994	400	Pflug	246
1996	Winterweizen	18.09.1995	350	Pflug	246
1997	Winterweizen	14.09.1996	370	Pflug	256
1998	Zuckerrübe	19.09.1997	370	Pflug	259
1999	Winterweizen	25.09.1998	400	Pflug	244
2000	Winterweizen	15.09.1999	300	Pflug	207
2001	Zuckerrübe	17.09.2000	255	Pflug	245
2002	Winterweizen	13.10.2001	300	Pflug	253
2003	Winterweizen	21.09.2002	300	Pflug	245
2005	Winterweizen	17.09.2004	320	Grubber	242
2006	Winterweizen	19.09.2005	280	Pflug	254
2007	Winterweizen	21.10.2006	380	Pflug	258
2008	Wintergerste	26.09.2007	350	Pflug	220
2009	Winterweizen	18.09.2008	350	Pflug	220
2010	Winterweizen	24.09.2009	350	Pflug	230
2011	Winterweizen	06.10.2010	350	Pflug	230
2012	Winterweizen	01.10.2011	350	Pflug	210
2013	Winterweizen	28.10.2012	400	Pflug	200
2014	Wintergerste	01.10.2013	380	Pflug	240

Tab. 15: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Birkenmoor** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterraps	21.09.1994	400	Pflug	185
1996	Winterraps	19.09.1995	400	Pflug	185
1997	Winterraps	24.09.1996	400	Pflug	200
1998	Winterraps	17.09.1997	400	Pflug	200
1999	Winterraps	21.09.1998	350	Pflug	195
2000	Winterraps	16.09.1999	350	Pflug	205
2001	Winterraps	21.09.2000	300	Pflug	230
2002	Winterraps	15.10.2001	300	Pflug	260
2003	Winterraps	20.09.2002	300	Pflug	220
2005	Winterraps	01.10.2004	300	Pflug	230
2006	Winterraps	19.09.2005	300	Pflug	220
2007	Winterraps	18.09.2006	250	Pflug	220
2008	Winterraps	23.09.2007	270	Pflug	220
2009	Winterraps	20.09.2008	270	Pflug	220
2010	Winterraps	23.09.2009	270	Pflug	230
2011	Winterraps	24.09.2010	270	Pflug	230
2012	Winterraps	13.10.2011	300	Pflug	220
2013	Winterraps	01.10.2012	250	Pflug	220

Tab. 16: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Elskop** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterweizen	22.09.1994	350	Pflug	185
1996	Winterweizen	29.09.1995	350	Pflug	185
1997	Winterraps	19.09.1996	240	Pflug	200
1998	Winterweizen	22.09.1997	350	Pflug	200
1999	Winterraps	22.09.1998	350	Pflug	195
2000	Winterraps	19.09.1999	330	Pflug	205
2001	Winterraps	30.09.2000	350	Pflug	230
2002	Winterweizen	19.10.2001	350	Pflug	260
2003	Winterweizen	25.09.2002	320	Pflug	220
2005	Sommergerste	05.10.2004	350	Pflug	230
2006	Winterraps	22.09.2005	350	Pflug	220
2007	Winterweizen	22.09.2006	325	Pflug	220
2008	Winterweizen	26.09.2007	340	Pflug	220
2009	Winterweizen	26.09.2008	300	Pflug	220
2010	Winterweizen	21.09.2009	230	Pflug	230
2011	Winterweizen	21.09.2010	260	Pflug	230
2012	Winterweizen	22.10.2011	310	Pflug	220
2013	Winterweizen	28.09.2012	290	Pflug	220
2014	Winterweizen	06.10.2013	300	Pflug	220

Tab. 17. Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Futterkamp** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterraps	22.09.1994	300	Grubber	230
1996	Winterraps	21.09.1995	350	Grubber	220
1997	Winterraps	19.09.1996	350	Pflug	235
1998	Winterraps	16.09.1997	300	Pflug	215
1999	Winterraps	23.09.1998	260	Grubber	230
2000	Winterraps	22.09.1999	280	Grubber	230
2001	Winterraps	30.09.2000	280	Pflug	230
2002	Winterraps	18.10.2001	300	Pflug	230
2003	Winterraps	01.10.2002	280	Pflug	240
2005	Winterraps	03.10.2004	240	Pflug	220
2007	Winterraps	27.09.2006	300	Pflug	220
2008	Winterraps	26.09.2007	260	Pflug	210
2009	Wintergerste	24.09.2008	260	Pflug	220
2010	Winterraps	30.09.2009	260	Pflug	230
2011	Winterraps	06.10.2010	300	Pflug	230
2012	Winterraps	02.10.2011	300	Pflug	240
2013	Winterraps	29.09.2011	300	Pflug	240
2014	Winterraps	25.09.2013	300	Pflug	220

Tab. 18: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Kastorf** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterraps	28.09.1994	350	Pflug	250
1996	Winterraps	25.09.1995	350	Pflug	230
1997	Winterraps	20.09.1996	350	Pflug	240
1998	Zuckerrübe	24.09.1997	350	Pflug	220
1999	Wintergerste	23.09.1998	350	Pflug	205
2000	Hafer	23.09.1999	320	Pflug	192
2001	Zuckerrübe	20.09.2000	320	Pflug	225
2002	Winterweizen	08.10.2001	350	Pflug	215
2003	Winterraps	21.09.2002	320	Pflug	230
2005	Winterraps	17.09.2004	320	Pflug	240
2007	Winterraps	16.09.2006	240	Pflug	198
2008	Winterraps	09.09.2007	230	Pflug	210
2009	Winterweizen	19.09.2008	270	Pflug	240
2010	Winterweizen	17.09.2009	230	Pflug	220
2011	Winterweizen	13.10.2010	230	Pflug	220
2012	Winterweizen	20.09.2011	270	Pflug	260
2013	Winterraps	18.09.2012	230	Pflug	230
2014	Winterraps	30.09.2014	350	Pflug	240

Tab. 19: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Kluvensiek** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Zuckerrübe	21.09.1994	300	Pflug	230
1996	Winterraps	22.09.1995	300	Pflug	230
1997	Winterraps	10.09.1996	300	Pflug	230
1998	Winterraps	07.09.1997	300	Pflug	230
1999	Winterraps	24.09.1998	300	Grubber	190
2000	Winterraps	20.09.1999	250	Grubber	210
2001	Winterraps	06.09.2000	180	Pflug	200
2002	Winterraps	01.09.2001	220	Grubber	200
2003	Winterraps	13.09.2002	200	Grubber	210
2005	Winterweizen	10.09.2005	180	Pflug	210
2006	Winterraps	05.09.2005	170	Grubber	210
2007	Winterraps	11.09.2006	180	Grubber	200
2008	Winterraps	12.09.2007	230	Grubber	220
2009	Winterraps	10.09.2008	170	Grubber	205
2010	Winterraps	16.09.2009	220	Grubber	221
2011	Winterraps	07.10.2010	280	Grubber	221
2012	Winterraps	26.09.2011	250	Grubber	210
2013	Winterraps	20.09.2012	220	Grubber	220
2014	Winterraps	08.10.2013	300	Pflug	200



Tab. 20: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Loit** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1995	Winterraps	27.09.1994	350	Grubber	243
1996	Winterraps	20.09.1995	350	Grubber	240
1997	Winterraps	20.09.1996	300	Pflug	233
1998	Winterraps	19.09.1997	300	Pflug	220
1999	Winterraps	22.09.1998	300	Grubber	220
2000	Winterraps	12.09.1999	280	Pflug	225
2001	Winterraps	26.09.2000	250	Grubber	215
2002	Winterraps	19.10.2001	350	Pflug	250
2003	Winterraps	18.09.2002	230	Grubber	220
2005	Winterraps	12.10.2004	280	Grubber	230
2006	Winterweizen	14.10.2005	300	Pflug	230
2007	Winterraps	14.09.2006	220	Grubber	225
2008	Winterraps	18.09.2007	280	Grubber	200
2009	Winterraps	20.09.2008	250	Grubber	200
2010	Winterraps	17.09.2009	250	Grubber	220
2011	Winterraps	30.09.2010	250	Grubber	220
2012	Winterraps	30.09.2011	270	Grubber	220
2013	Hafer	23.09.2012	280	Grubber	220
2014	Winterraps	23.09.2013	300	Grubber	220

Tab. 21: Ackerbauliche Parameter (Erntejahr, Vorfrucht, Saattermin, Saatstärke, Grundbodenbearbeitung und Stickstoffdüngung) für den Standort **Sönke-Nissen-Koog** im IPS-Winterweizen-Monitoring Schleswig-Holstein 1995 – 2013

Erntejahr	Vorfrucht	Saattermin	Saatstärke	Grundbodenbearbeitung	N-Düngung
1996	Winterraps	21.09.1995	370	Pflug	220
1997	Winterweizen	15.09.1996	380	Pflug	265
1998	Winterweizen	16.09.1997	400	Pflug	280
1999	Winterweizen	30.09.1998	458	Pflug	268
2000	Winterweizen	25.09.1999	330	Pflug	230
2001	Winterweizen	14.09.2000	220	Pflug	230
2002	Kartoffel	25.10.2001	400	Pflug	230
2003	Kartoffel	16.09.2002	220	Pflug	244
2005	Winterweizen	11.10.2004	400	Pflug	246
2006	Winterraps	21.09.2005	470	Grubber	230
2007	Winterweizen	17.09.2006	384	Pflug	218
2008	Sommerweizen	23.09.2007	280	Pflug	220
2009	Sommerweizen	20.09.2008	400	Pflug	220
2010	Winterweizen	17.09.2009	400	Pflug	230
2011	Winterraps	17.09.2010	425	Pflug	230
2012	Winterweizen	26.09.2011	421	Pflug	220
2013	Winterraps	12.09.2012	400	Pflug	210
2014	Winterweizen	24.09.2013	400	Pflug	240

## Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. J.-A. Verreet, der mir durch die Überlassung des Themas die Möglichkeit gegeben hat zu promovieren, womit er mir einen großen Wunsch erfüllt hat. Für sein in mich gesetztes Vertrauen sowie den großen gewährten Freiraum bei der Bearbeitung des Projektes möchte ich mich ganz besonders bedanken.

Des Weiteren danke ich Herrn Dr. Holger Klink für seine stets konstruktive Kritik sowie Diskussions- und Hilfsbereitschaft, die mir immer wieder neue Aspekte und Möglichkeiten eröffnete.

Ein herzliches Dankeschön geht an die Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Abteilung Pflanzenschutz und Pflanzenbau) für die stets freundliche und entgegenkommende Zusammenarbeit hinsichtlich des Anlegens, der Betreuung und des Transportes der Proben.

Der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft möchte ich für die finanzielle Unterstützung ganz herzlich danken.

Ein großer Dank gilt Susanne K., Susanne H., Frau Ulrich und vor allem Bettina sowie Michael die meine Arbeit stets hilfsbereit unterstützt haben.

Meinen Kondoktoranden Wanja, Georg, Christoph, Julian, Franziska, Christiane Gesine und Wolfgang P. danke ich herzlich für die gute und freundschaftliche Zusammenarbeit und stete Hilfs- und Diskussionsbereitschaft. Auch die unzähligen Spät- und Nachtschichten wurden so mehr als erträglich. Ein besonderer Dank gilt meinem Kondoktoranden und späterem wissenschaftlichen Assistenten Tim, der mich im Rahmen des gemeinsam betreuten IPS-Winterweizen-Monitorings Schleswig-Holstein stets konstruktiv unterstützt hat und jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Durch die lange und schöne gemeinsame Bürozeit war eine immer ein reger Austausch gegeben, der einen in Tiefphasen wieder aufbaute.

Meinen Eltern, meiner Schwester Claudia und meinem Schwager Enrico danke ich für die stetige Unterstützung und Motivation während meines gesamten Studiums und der Promotionszeit. Dabei geht ein besonders herzlicher Dank an meine Eltern, die mir das Studium überhaupt ermöglicht haben.

## ***Curriculum vitae***

### **Persönliche Daten**

---

Name:	Christian Engel
Geburtsdatum:	05.12.1983
Geburtsort:	Leipzig
Familienstand:	ledig
Staatsangehörigkeit:	deutsch

### **Hochschulausbildung**

---

08/2011 - 01/2015	Promotionsstudium, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
10/2006 - 07/2011	Studium der Agrarwissenschaften (Fachrichtung Nutzpflanzenwissenschaften) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
04/2010 - 07/2011	Abschluss: Master of Science  Titel der Masterarbeit: „Analyse des epidemiologischen Auftretens von Weizenpathogenen und der Schadwirkung in Schleswig-Holstein - IPS-Monitoring 2010“
10/2006 - 04/2010	Abschluss: Bachelor of Science  Titel der Bachelorarbeit: „Untersuchungen zur Wirksamkeit neuer Fungizidentwicklungen im Winterweizen 2009“

### **Ausbildung und Beschäftigungen**

---

03/2011 - 07/2011	Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Phytopathologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2006 - 2010	Jährlich wiederkehrende dreimonatige Erntehelfertätigkeit auf landwirtschaftlichen Betrieben in Schleswig-Holstein von Juli bis September
10/2009 - 03/2010	Erlangung der Ausbildereignung nach AEVO (Ausbildereignungsverordnung)
07/2004 - 07/2006	Zweijährige Ausbildung zum Landwirt
10/2003 - 06/2004	Grundwehrdienst im Lazarettregiment 31 in Berlin

### **Schulabschluss**

---

06/2003	Abitur (Fachrichtung Agrarwissenschaften) an der Michelsenschule, Hildesheim
---------	--