

Lehrstuhl für Phytopathologie
der Technischen Universität München

**Vorkommen und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit, verursacht durch den
Pilz *Gäumannomyces graminis*, an Winterweizen in Deutschland als
Grundlage für die Anwendung neuer Beizmittel**

Michael Heß

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. W. Huber

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. V. Zinkernagel, i. R
2. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 14.12.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 20.03.2006 angenommen.

**Vorkommen und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit,
verursacht durch den Pilz *Gäumannomyces graminis*, an
Winterweizen in Deutschland als Grundlage für die
Anwendung neuer Beizmittel**



Michael Heß

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Literaturübersicht	6
2.1	Geschichte des Erregers	6
2.2	Mykologie (Klassifizierung und taxonomische Merkmale)	7
2.3	Befall	8
2.4	Monitoring	9
2.5	Epidemiologie	11
2.5.1	Fruchtfolge-Vorfrucht-Inokulum	11
2.5.2	Witterung	14
2.5.3	Bodenart	14
2.5.4	Bodenleben	15
2.5.5	pH - Wert	17
2.5.6	Bewirtschaftung	18
2.6	Bekämpfung	22
2.7	Bedeutung	23
3	Material und Methoden	25
3.1	Bonitur des Befalls an Wurzel und Halmbasis	25
3.1.1	Probenahme	25
3.1.2	Probenaufbereitung	25
3.1.3	Diagnose	25
3.2	Verrechnung	30
3.2.1	Take-all Index (TAI)	31
3.2.2	Halmbasisbonituren	31
3.3	Monitoring	32
3.4	Feldversuche	33
3.4.1	Versuche 1998	34
3.4.2	Versuche 1999	35
3.4.3	Versuche 2000	36
3.5	Blattbonituren	37
3.6	Wurzelwachstum	38
3.6.1	Wurzellängendichte	38
3.6.2	Minirhizotronaufnahmen	38
3.7	Wurzelleistung	39
3.7.1	Messungen zur Stickstoffversorgung	39
3.7.2	Bestimmung des $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -Wertes	39
3.8	Einsatz Geographischer Informations Systeme (GIS)	40
3.9	Datenaufbereitung und statistische Verrechnung	40

4	Beschreibung der deutschlandweiten Jahreswitterung während des Monitorings 1997-2000	42
4.1	Monitoring 1997	42
4.2	Monitoring 1998	42
4.3	Monitoring 1999	42
4.4	Monitoring 2000	43
5	Ergebnisse	44
5.1	Deutschlandweites Monitoring	44
5.1.1	Regionales Befallsauftreten	44
5.1.2	Einfluss von Standortfaktoren auf den Befall	56
5.1.3	Einfluss der gezielten Beizung gegen Schwarzbeinigkeit	68
5.1.4	Modelle zum Zusammenwirken der Einflussfaktoren auf den Befall und den Ertrag	74
5.2	Ergebnisse aus Feldversuchen	77
5.2.1	Quantitative Bestimmung der Wurzelmasse (Wurzellängendichten)	77
5.2.2	Untersuchungen zur Wurzeleistung	87
5.2.3	Gemeinsame Betrachtung der Einflussfaktoren auf den Ertrag beim Feldversuch am Standort Weihenstephan 2000	95
5.2.4	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Schwarzbeinigkeitsbefall mit dem Blattfungizideinsatz	97
6	Diskussion	102
	Methoden	102
	Schwarzbeinigkeit in Deutschland	104
	Einfluss der Standortfaktoren	108
	Gesamtbetrachtung der Einflussfaktoren auf den Befall	123
	Die Relation von Befall zu Ertrag	125
	Die Bedeutung von Schwarzbeinigkeitsbefall für den Ertrag	130
	Bedeutung der Schwarzbeinigkeit für den Landwirt	131
	Bedeutung der Schwarzbeinigkeit für die Forschung	133
7	Zusammenfassung	135
8	Verzeichnis der zitierten Literatur	139
9	Anhang	160
9.1	Tabellen	160
9.2	Regressionsmodellbäume	168
9.2.1	Modell 1, Befallshäufigkeit	168
9.2.2	Modell 2, Befallsstärke	171
9.2.3	Modell 3, Ertrag (dt/ha)	174
9.2.4	Modell 4, Ertragsdifferenz	177
9.2.5	Modell 5, Feldversuch 2000 Ertrag (dt/ha)	180

Abbildungen

Abb. 1: Weltweite Verbreitung der Schwarzbeinigkei in 1972.	1
Abb. 2: Modell zum Einfluss des Wurzelbefalls durch Schwarzbeinigkei auf den Ertrag.	3
Abb. 3: Boniturschema zu Prozent Wurzelbefall	28
Abb. 4: Gesamtregression 1997-2000 der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke.	57
Abb. 5: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1997.	57
Abb. 6: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1998.	58
Abb. 7: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1999.	58
Abb. 8: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 2000.	59
Abb. 9: Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) nach verschiedenen Vorfrüchten.	61
Abb. 10: Regression der Bodenpunkte (Qualität) auf die Befallsstärke.	65
Abb. 11: Regression des pH-Wertes auf die Befallsstärke.	66
Abb. 12: Regression des Halmbruchindex auf die Befallsstärke mit Schwarzbeinigkei.	67
Abb. 13: Befallsverläufe für Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) der Werte von 1998-2000 nach Risikovorfrucht (Risiko) und Gesundvorfrucht (Gesund).	68
Abb. 14: Befallsverläufe für Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) der Werte von 1998-2000 nach Risikovorfrucht mit (+) und ohne Behandlung mit Jockey® gegen Schwarzbeinigkei.	70
Abb. 15: Regression der Befallsstärke auf den Ertrag (dt/ha).	71
Abb. 16: Regression der Befallsstärke auf die relative Ertragsdifferenz	73
Abb. 17: Relative Befallsreduzierung im Verhältnis zur relativen Ertragsdifferenz durch Einsatz der Beizung gegen Schwarzbeinigkei	73
Abb. 18: Regressionen des Stickstoffgehaltes (N%) auf den Befall mit Schwarzbeinigkei (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)	90
Abb. 19: Regressionen der Stickstoffaufnahme (N kg/ha) auf den Befall mit Schwarzbeinigkei (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)	91
Abb. 20: Vergleich der Messung des Stickstoffstatus mit zwei unterschiedlichen Methoden.	92
Abb. 21: Vergleich der Ertragswerte und des Befalls mit Schwarzbeinigkei (TAI).	92
Abb. 22: Regressionen der $\delta^{13}\text{C}$ Werte auf den Befall mit Schwarzbeinigkei (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)	95
Abb. 23: Regressionen zwischen Ertrag und Schwarzbeinigkeitsbefall, Weihestephan 1999,	101
Abb. 24: Modell zum Einfluss verschiedener Faktoren auf den Befallsverlauf	124

Photos

Photo 1: 0% Befall, keine sichtbare Verschwärzung	26
Photo 2: 10% Befall	26
Photo 3: 20% Befall	26
Photo 4: 50% Befall	27
Photo 5: 70% Befall	27
Photo 6: 100% Befall.	27
Photo 7: Direkter Vergleich der Wurzeln von gesunden und stark mit Schwarzbeinigkeit befallenen Pflanzen.	28
Photo 8: Wurzel (60x), oben mit <i>Gg</i> befallen, unten befallsfrei.	29

Karten

Karte 1: Befallsauftreten im Monitoring 1997-2000 im Vergleich mit der Bodennutzung	46
Karte 2: Einfluss des Anteils der Winterweizenanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit	47
Karte 3: Einfluss des Anteils der Zuckerrübenanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit	48
Karte 4: Einfluss des Anteils der Winterrapsanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit	49
Karte 5: Befallsauftreten zur Endbonitur 1997	52
Karte 6: Befallsauftreten zur Endbonitur 1998	53
Karte 7: Befallsauftreten zur Endbonitur 1999	54
Karte 8: Befallsauftreten zur Endbonitur 2000	55

Tabellen

Tab. 1: Begleitdaten zu den Proben im Monitoring	32
Tab. 2: Versuchsstandorte (Quelle: Angaben der Versuchstationen, Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern)	34
Tab. 3: Versuch in Weihenstephan, Erntejahr 1998	34
Tab. 4: Versuche in Roggenstein, Erntejahr 1998	35
Tab. 5: Versuche in Weihenstephan und Thalhausen, Erntejahr 1999	36
Tab. 6: Versuch in Weihenstephan, Erntejahr 2000	37
Tab. 7: Jahreseffekte auf die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke nach Gesundvorfrucht.	50
Tab. 8: Jahreseffekte auf die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke nach Risikovorfrucht.	50
Tab. 9: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke für die untersuchten Jahre	56
Tab. 10: Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) von Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten im Monitoring 1997-2000.	60
Tab. 11: Statistik der Risikogruppen.	62
Tab. 12: Gesamttabelle zum Einfluss von Saattermin und Fruchtfolge.	63
Tab. 13: Mittelwerte nach Vorfruchtrisikokategorien (Risiko, linker Tabellenteil) und nach Bodenbearbeitungskategorien (Bodenbearbeitung, rechter Tabellenteil).	64
Tab. 14: Gewinnübersicht der CHAID-Analyse des Einflusses der Bodenzahl auf die Befallsstärke in Wechselwirkung mit der Vorfrucht	66
Tab. 15: Einfluss der Beizbehandlung auf Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) bei Boniturende (BBCH >70).	69
Tab. 16: Einfluss der Beizbehandlung (Jockey ja-nein) auf Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) bei Boniturende (BBCH >70) der Einzeljahre 1998-2000 nach Risikovorfrucht.	70
Tab. 17: Einfluss der Beizbehandlung (Jockey ja-nein) auf den Ertrag.	72
Tab. 18: Einfluss des Beobachtungsjahres und der Saatgutbehandlung (Jockey) auf den Ertrag in dt/ha	72
Tab. 19: Wurzellängendichten an 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag bei Winterweizen in Roggenstein nach Vorfrucht Hafer und Winterweizen, Roggenstein 1998	77
Tab. 20: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize mit, ohne), Roggenstein 1998,	78
Tab. 21: Einfluss der Sorte, Roggenstein 1998,	78
Tab. 22: Einfluss des Saattermins (Aussaat früh, spät), Roggenstein 1998,	78
Tab. 23: Einfluss der Düngung (Stickstoff viel, wenig), Roggenstein 1998,	79
Tab. 24: Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag von Winterweizen in Weihenstephan 1998 nach Vorfrucht Winterweizen, Kartoffel und Stilllegung.	80
Tab. 25: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize mit, ohne), Weihenstephan 1998,	81
Tab. 26: Einfluss der Sorte, Weihenstephan 1998,	81
Tab. 27: Einfluss von Blattfungizidmaßnahmen (Unbeh. Kontrolle, Azol 3x, Strobi 3x), Weihenstephan 1998,	82
Tab. 28: Wurzellängendichten zu 2 Terminen (WLD1, WLD2), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Trockenmassen (TM1, TM2) in den Bereichen mit hoher und niedriger Bodenfruchtbarkeit, Thalhausen 1999	83
Tab. 29: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize ohne, mit), Standort Thalhausen 1999,	83

Tab. 30: Einfluss der Düngung auf Wurzellängendichten zu 2 Terminen (WLD1, WLD2), Thalhausen 1999, _____	84
Tab. 31: Wurzellängendichten zu mehreren Probenahmeterminen (WLD 1-3), Weihenstephan 1999, _____	85
Tab. 32: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit, Weihenstephan 1999 _____	86
Tab. 33: Einfluss der Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, _____	86
Tab. 34: Einfluss von Vorfrucht und Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ohne, mit), Weihenstephan 2000, _____	88
Tab. 35: Einfluss von Vorfrucht und Düngung (hoch, niedrig), Weihenstephan 2000, _____	88
Tab. 36: Einfluss von Vorfrucht und Blattfungizid (Strobilurin 3x, Fungizid „Unbehandelt“), Weihenstephan 2000, _____	89
Tab. 37: Einfluss von Vorfrucht und Beizung gegen Schwarzbeinigkeit auf den Wasserstatus ($\delta^{13}\text{C}$), Weihenstephan 2000 _____	93
Tab. 38: Einfluss von Vorfrucht und Düngung (hoch, niedrig) auf Wasserstatus ($\delta^{13}\text{C}$), Weihenstephan 2000 _____	93
Tab. 39: Einfluss von Vorfrucht und Fungizideinsatz auf $\delta^{13}\text{C}$, Weihenstephan 2000 _____	94
Tab. 40: Partielle Korrelationen der gemessenen und bonitierten Parameter, Weihenstephan 2000 _____	96
Tab. 41: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und der Blattfungizidvariante, Weihenstephan 1998, _____	97
Tab. 42: Einfluss der Beize gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, _____	98
Tab. 43: Einfluss der Beize gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, _____	99
Tab. 44: Varianzanalyse zum Einfluss der Vorvorfrucht auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke _____	160
Tab. 45: Mittelwertsvergleich der Befallshäufigkeiten für die Risikokategorien der Vorvorfrucht (Risiko VVF). _____	160
Tab. 46: Mittelwertsvergleich der Befallsstärken für die Risikokategorien der Vorvorfrucht (Risiko VVF). 1 waren die Werte ohne Angabe der Vorvorfrucht. _____	160
Tab. 47: Varianzanalyse zum Einfluss der Saatzeit auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke _____	161
Tab. 48: Mittelwertsvergleich der Befallshäufigkeiten für die Saatdekaden (SAAT_DEC) _____	161
Tab. 49: Mittelwertsvergleich der Befallsstärken für die Saatdekaden (SAAT_DEC) _____	161
Tab. 50: Mittelwerte der Befallshäufigkeiten (BH) und Befallsstärken (BS) der im Monitoring untersuchten Sorten entsprechend der Risikokategorien der Vorfrucht (Risiko, Gesund, Mittel). _____	162
Tab. 51: Varianzanalyse zum Einfluss einer Auswahl der häufigsten Sorten aus der Übersicht (Tab. 50, $n > 10$) auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke bei Risikovorfrucht _____	163
Tab. 52: Mittelwerte der Befallshäufigkeiten (BH) und Befallsstärken (BS) der im Monitoring untersuchten Bodenarten entsprechend der Risikokategorien der Vorfrucht (Risiko, Gesund, Mittel). Punkte gibt die durchschnittlichen Bodenpunkte (Qualität) an, n entspricht der Anzahl der Beobachtungen. _____	164
Tab. 53: Varianzanalyse zum Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ja-nein) auf den Ertrag (mit und ohne Beizbehandlung). _____	165
Tab. 54: Varianzanalyse zum Einfluss der Vorfruchtrisikokategorie auf den Ertrag (für die Werte aus der Befall-Ertrag Betrachtung) _____	165

Tab. 55: Varianzanalyse zum Einfluss des Untersuchungsjahres auf die durch Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ja-nein) erzielte Ertragsdifferenz (bei Vorfruchtkategorie „Risiko“).	165
Tab. 56: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Roggenstein 1998	165
Tab. 57: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Weihenstephan 1998	166
Tab. 58: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Thalhausen 1999	166
Tab. 59: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Weihenstephan 1999	166
Tab. 60: : p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren, getrennt nach Standortkategorie, Weihenstephan 1999	167
Tab. 61: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren, zusammen und getrennt nach Vorfrucht, Weihenstephan 2000	167

Abkürzungen

Abb	Abbildung
ANOVA	analysis of variance
BBCH	phänologische Entwicklungsstadium nach Strauß et al. 1994
BGI	Blattgrünintensität
BH	Befallshäufigkeit
BS	Befallsstärke
C	Kohlenstoff
CART	Correlation And Regression Tree
CHAID	CHI-Square Automatic Interaction Detector
dt	Dezitonne
F	Fahnenblatt
F-1	1. Blatt unter dem Fahnenblatt
FM	Frischmasse
<i>Gg</i>	<i>Gäumannomyces graminis</i>
<i>Gga</i>	<i>Gäumannomyces graminis</i> var. <i>avenae</i>
<i>Ggg</i>	<i>Gäumannomyces graminis</i> var. <i>graminis</i>
<i>Ggt</i>	<i>Gäumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>
GIS	Geostatistisches Informations System
ha	Hektar
K	Kartoffel
Max	Maximalwert
Min	Minimalwert
n	Anzahl
N	Stickstoff
NNI	Nitrogen Nutrition Index
p	Signifikanzniveau
QS	Quadratsumme = Summe der quadrierten Abweichungen
r	Korrelationskoeffizient
r ²	Bestimmtheitsmaß
R	Raps
Saat_dec	Saatdekade
Stdev	Standardabweichung
Tab	Tabelle
TAI	Take-all Index
TM	Trockenmasse
Unbeh	Unbehandelt
v. H.	von Hundert
VF	Vorfrucht
VVF	Vorvorfrucht
WLD	Wurzellängendichte
WW	Winterweizen

1 Einleitung und Problemstellung

Schwarzbeinigkeit, verursacht durch Varietäten des bodenbürtigen Pilzes *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx et Olivier, ist schon seit langem als Krankheit im Getreidebau bekannt. Bereits 1870 beschrieb Dr. Carl Mücke eine bedrohliche Erscheinung für den australischen Getreideanbau. In diesem frühen Bericht sind bereits wichtige Beobachtungen zum Auftreten der Krankheit festgehalten. Die Anfangssymptome werden häufig übersehen oder falsch zugeordnet, die Symptome nehmen mit der Dauer des Getreideanbaus zu und es kann zu empfindlichen Ertragsverlusten kommen. Die australischen Landwirte nannten die Erscheinung entsprechend ihrer bedrohlichen Auswirkungen „take-all“ und der Titel des Aufsatzes war „The Take-all – The Corn Disease of Australia“. Diese Erkenntnisse bestehen schon seit ca. 150 Jahren. Auch wenn in der Zwischenzeit aufgrund zahlreicher Untersuchungen Genaueres über Ursachen und Verbreitung der Schwarzbeinigkeit bekannt ist, so geht dies meist auf Einzelbeobachtungen zurück (Hornby 1998). Dabei kann festgestellt werden, dass der Erreger weltweit in allen Getreideanbauregionen vorkommt (Abb. 1). Problematisch ist jedoch, inwieweit die Einzelbeobachtungen verallgemeinert und auf andere Standorte oder Jahre übertragen werden können. Mehrjährige überregionale Befallsbeobachtungen der Schwarzbeinigkeit wurden selten durchgeführt und sind aufgrund des hohen Aufwandes meist in ihrer Intensität und Aussagekraft begrenzt (Hornby 1998).

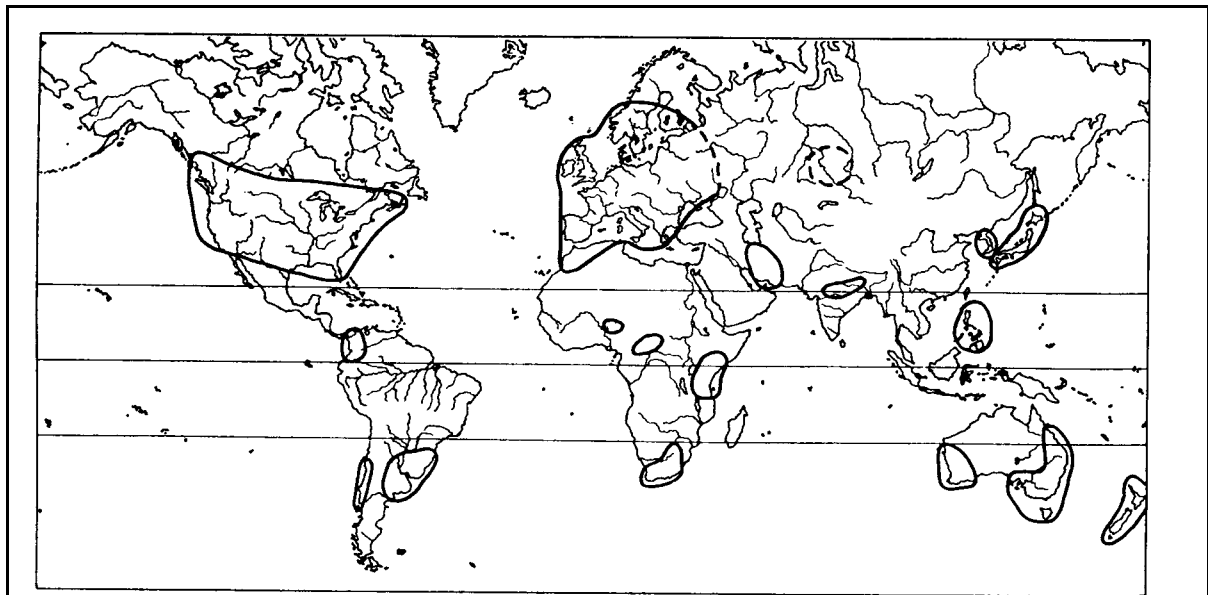


Abb. 1: Weltweite Verbreitung der Schwarzbeinigkeit in 1972.
Aus Asher und Shipton 1981.

So wurden für den Befall mit Schwarzbeinigkeit viele Einflussfaktoren beschrieben, die jedoch je nach Region und Autor in ihrer Wirkung stark schwanken oder sogar zu gegensätzlichen Ergebnissen führen (Garrett 1981). Dies scheint ein Charakteristikum dieser Krankheit zu sein (Hornby 1978).

Als Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse kommen region- und standortspezifische Unterschiede in Klima und Anbausystem in Betracht (Kluge et al. 1999). Es ergeben sich verschiedene Rahmenbedingungen hinsichtlich Pflanze, Pilz, Boden und ihrer komplexen Interaktionen. Nicht zuletzt wird auch die Art und Weise der Befallsbeobachtung und Beurteilung als Einflussfaktor diskutiert (Clarkson und Polley 1981, Hornby 1998). Dabei lassen sich bei einem bodenbürtigen Pathogen wie dem Erreger der Schwarzbeinigkeit die Vorgänge im Boden nur indirekt oder durch Eingriff in das System erfassen und somit beruhen viele der Zusammenhänge, die für dieses komplexe System beschrieben sind, auf eingeschränkten, empirischen Beobachtungen.

Für die Bedeutung des Pilzes ist neben der Verbreitung besonders der wirtschaftliche Aspekt und damit sein Einfluss auf den Ertrag wichtig. Doch gerade die Ertragsrelevanz von Unterschieden im Wurzelsystem ist noch wenig bekannt. Auch die Wechselwirkungen zwischen Spross- und Wurzelentwicklung sind noch unzureichend geklärt. Zur Untersuchung des Zusammenhangs wurde das in Abb. 2 dargestellte Modell aufgestellt. Dem Modell liegen einerseits die Beobachtungen von Asher (1972) zugrunde, nach dem es in Folge von Infektion mit *Gäumannomyces graminis* zu einer verstärkten Translokation der in der Photosynthese gebildeten Assimilate in das Wurzelsystem kommt. Daraus resultiert eine verstärkte Wurzelbildung, die zur besseren Toleranz des Befalls beitragen kann. Eine verstärkte Bildung der unterirdischen Biomasse geht aber auch zu Lasten der oberirdischen Biomasse und damit des Ertrages. Bei der Zerstörung der Wurzeln durch die Pilzinfektionen kommt es zu Störungen in der Verteilung von Assimilaten, aber auch der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen (Manners und Myers 1981). Die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen beeinflusst wiederum Wachstum und Entwicklung der Pflanze, dabei insbesondere das Wurzel-Sproß Verhältnis (Ayres 1984, Aiken und Smucker 1996). Insgesamt betrachtet stehen oberirdisches Wachstum und Wurzelsystem in einem Gleichgewicht, bei dem der oberirdische Prozess der Ertragsbildung durch die Leistung des Wurzelsystems abgesichert wird, bzw. es kann nur soviel an Ertragsleistung erbracht werden, wie durch das Wurzelsystem abgesichert werden kann.

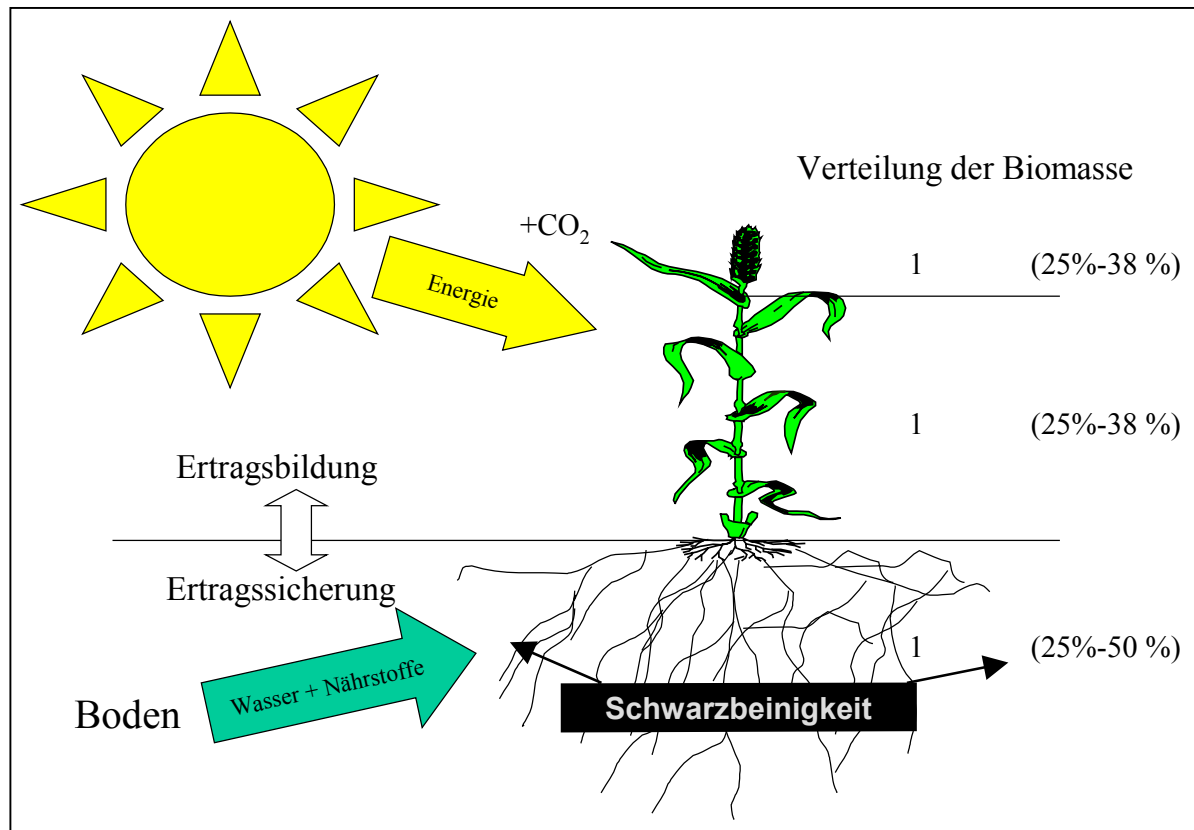


Abb. 2: Modell zum Einfluss des Wurzelbefalls durch Schwarzbeinigkeit auf den Ertrag. Dem oberirdischen Prozess der Ertragsbildung steht die Ertragssicherung durch die Versorgung durch Wasser und Nährstoffen gegenüber. Der Befall mit Schwarzbeinigkeit führt zu Verlust von Wurzeln. Der Einfluss auf die Ertragsbildung erfolgt entweder über den Anteil der Wurzelbiomasse aufgrund von Kompensationswachstum oder eine geringere Versorgung durch Wasser und Nährstoffen.

Die sicherste Methode der Vermeidung der Schwarzbeinigkeit ist keine Wirtspflanzen anzubauen, da die Krankheit nur Getreide bzw. Gramineen befällt und in der Regel erst nach wiederholtem Anbau anfälliger Kulturen ein verstärktes Befallsauftreten beschrieben ist (Hornby 1998). Da die Gestaltung der Fruchtfolge jedoch eher von wirtschaftlichen als von phytosanitären Gesichtspunkten beeinflusst wird (Yarham 1998, Hornby 1998b, Mielke 1998), ist weniger von Bedeutung, welche Alternative zu einer anfälligen Kultur angebaut werden kann. Dies trifft besonders auf den anfälligen, aber bezüglich Ertragspotential und Ertragssicherheit vorteilhaften, Winterweizen zu. Die Problemstellung ist vielmehr, wie sich das Risiko von Ertragseinbußen durch Schwarzbeinigkeit in einer bestimmten Fruchtfolge abschätzen und verringern lässt. Da bisher keine direkten Bekämpfungsmöglichkeiten zur Verfügung standen, konnte eine Verringerung des Risikos nur indirekt über Bewirtschaftungsmaßnahmen erreicht werden. Im wesentlichen waren dies Bodenbearbeitung, Saattermin und Düngung. Geeignete Resistenzen stehen, trotz intensiver

Suche, nicht zur Verfügung (Mielke 1998, Jensen und Jørgensen 1973, Linde-Lauersen et al. 1973).

Seit 1999 ist in Deutschland eine Saatgutbehandlung zugelassen, die zu einer Reduzierung des Schwarzbeinigkeitsbefalls führt. Ein Grossteil der vorliegenden Untersuchungen gehen auf die Erfahrungen mit dieser Saatgutbehandlung zurück. Es handelt sich hierbei um das Produkt Jockey[®] mit dem Wirkstoff Fluquinconazole (Mindt 1998). In der Zwischenzeit kam es zu einer weiteren Zulassung einer Beize gegen Schwarzbeinigkeit, Latitude[®] mit dem Wirkstoff Silthiofam (Mindt 1999). Da es sich bei diesen Beizen um eine gezielte Maßnahme zur Reduzierung der Schwarzbeinigkeit handelt, ist die Kenntnis des Auftretens, der Epidemiologie und der Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit Voraussetzung für den effektiven und wirtschaftlichen Einsatz (Yarham 1998).

Für Deutschland ist das Auftreten der Krankheit nur unzureichend beschrieben, um die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in der aktuellen Anbausituation bei enger werdender Fruchtfolge abschätzen zu können. Die bisherigen Untersuchungen in Deutschland gehen meist auf ein sporadisches Interesse oder das Engagement einzelner Institute oder Personen zurück (Schaffnit 1930, Hornby 1998, Mielke 1998, Zadoks und Rijdsdijk 1984, Hund et al. 1998). Neben diesen sowohl räumlich als auch zeitlich lückenhaften Daten zur Verbreitung der Krankheit gibt es auch große Schwankungen in der Beurteilung der Ertragsbedeutung. Da bisher keine direkte Bekämpfung der Krankheit möglich war, musste die Ertragsbedeutung aus dem Vergleich verschiedener Fruchtfolgen abgeschätzt werden. Von dem Ertragsrückgang, der bei Weizen nach Getreide im Vergleich zu Fruchtfolgeweizen auftritt, werden je nach Befallsintensität 10%- 60% der Schwarzbeinigkeit zugerechnet (Mielke 1998, Zadoks und Rijdsdijk 1984).

Aufgrund der beschriebenen Problemstellung war das Hauptanliegen dieser Arbeit, durch ein intensives Monitoring der Schwarzbeinigkeit die Fragen zum Auftreten und zur Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland unter dem aktuellen Gesichtspunkt neuer Möglichkeiten der Bekämpfung zu klären. Dabei wurden neben der regionalen Verbreitung auch die für Deutschland wichtigen Einflussfaktoren auf die Epidemiologie des Pilzes untersucht. Durch den Einsatz von Jockey[®] als Beize gegen Schwarzbeinigkeit ergab sich erstmals die Möglichkeit, die Ertragsbedeutung bei unterschiedlichem Befall unter ansonsten gleichen Versuchsbedingungen zu beobachten. Da sich nicht alle Parameter in einem Monitoring erfassen lassen, wurden zu bestimmten Fragestellungen, besonders der Befalls-Ertrags Relation, ergänzende Feldversuche durchgeführt. Schwerpunkte in den Feldversuchen

waren, neben der Erfassung von Ertragseffekten, Untersuchungen über quantitative (Wurzelmasse) und qualitative (Wasser- und Nährstoffversorgung) Einflüsse auf das Wurzelsystem. Anhand der Ergebnisse und dem Vergleich mit internationalen Studien werden Parameter erarbeitet, die eine Abschätzung des Risikos durch die Schwarzbeinigkeit im Rahmen einer integrierten Bekämpfung ermöglichen.

2 Literaturübersicht

2.1 Geschichte des Erregers

Die ersten Erwähnungen der Schwarzbeinigkeit als Krankheit gehen zurück auf Berichte aus Australien um 1850 (Garrett 1981). Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen werden 1870 erwähnt (Mücke 1870). Als Ursache dieser Krankheit wird 1890 der Pilz *Ophiobulus graminis* isoliert (Prilleaux und Delacroix 1890). 1904 kann McAlpine nachweisen, dass die von Prilleaux und Delacroix für Europa beschriebene Weißfährigkeit und die in Australien beobachteten Schäden am auflaufenden Getreide, Folge der Infektion mit demselben Pilz sind, nämlich *Ophiobulus graminis* (McAlpine 1904). Perithezien eines Pilzes dieser Gattung wurden vermutlich 1823 erstmals an Blattscheiden von Gräsern entdeckt und als *Sphaeria herpotricha* beschrieben (Fries 1823). 1881 wurde diese Art zusammen mit der 1875 von Saccardo beschriebenen Art *Rhaphidophora graminis* Sacc. in die 1854 von Riess zuerst beschriebene Gattung *Ophiobulus* Riess eingegliedert (Roumeguère und Saccardo 1881). Aufgrund dieser Arbeiten wurde 1890 von Prilleaux und Delacroix diese Fußkrankheit des Weizens dem Pilz *Ophiobulus graminis* Sacc. zugeordnet.

1926 stellte Jones fest, dass die Erreger der Schwarzbeinigkeit nicht in die Gattung *Ophiobulus* Riess aus der Familie der *Pleosporaceae* eingeordnet werden dürfen, sondern in die Familie der *Gnomoniaceae* (Ordnung *Diaporthales*) gehören. 1952 führten schließlich von Arx und Olivier die Gattung *Gäumannomyces* aus der Ordnung *Diaporthales* ein und stellten sie wegen der unitunicaten Asci zu den Ascomyceten. Dies wurde jedoch lange Zeit nicht generell anerkannt, und die Bezeichnung *Ophiobulus* für den Erreger der Schwarzbeinigkeit hat sich teilweise noch bis heute gehalten. Einige Autoren haben sich bemüht, die Geschichte des Erregers zu entwirren und Klarheit bei der Nomenklatur zu schaffen (Drechsler 1934, Turner 1940, von Arx und Olivier 1952, Holm 1957, Dennis 1960). Die heute anerkannte Bezeichnung der Familie des Erregers, *Gäumannomyces graminis*, geht auf die Arbeiten von Walker (1972, 1980) zurück. Unterschieden wird nach Aussehen der Hyphopodien, Größe der Ascosporen und Pathogenität gegenüber dem Wirtskreis in die Varietäten *tritici* Walker, *avenae* (E. M. Turner) Dennis und *graminis*. In der Zwischenzeit ist eine weitere Varietät vorgeschlagen worden (Yao et al. 1992). Beobachtungen aus Australien und molekulare Untersuchungen lassen allerdings Zweifel am Konzept der Varietäten aufgrund von unterschiedlicher Pathogenität und Morphologie aufkommen, da beide unter Umwelteinflüssen stark variieren können (Bryan et al. 1995, 1999, Hornby 1998, Harvey et

al. 2001, Cook 2003). Auch die Einteilung in die Ordnung der *Diaporthales* konnte bei neueren Studien nicht gehalten werden (Cannon 1994).

2.2 Mykologie (Klassifizierung und taxonomische Merkmale)

Die Erreger der Schwarzbeinigkeit wurden taxonomisch bei Hoffmann et al. (1994) folgendermaßen eingeteilt:

Abteilung:	<i>Eumycota</i>	(Hoffmann et al. 1994)
Unterabteilung:	<i>Ascomycotina</i>	
Klasse:	<i>Pyrenomycetes</i>	
Ordnung:	<i>Diaporthales</i>	
Gattung:	<i>Gäumannomyces</i>	
Art:	<i>graminis</i>	

Kennzeichnend für die Ordnung der *Diaporthales* sind Perithezien mit verdickter, hervorragender Mündung und ein einzelliger Ascus mit Apikalring. Bei der Ordnung *Pleosporales*, zu der die Gattung *Ophiobolus* gehört, sind dies Pseudothecien mit zylindrischen, zweizelligen Ascis zwischen Pseudoparaphysen.

Genetische und morphologische Ähnlichkeiten mit *Magnaporthe* Arten (Cannon 1994, Bryan et al. 1995) führten erst kürzlich zu der Zuordnung in die Familie der *Magnaporthaceae*, die zu einer Ordnung erhoben werden soll (Hornby 1998, Freeman und Ward 2004). In diese Ordnung sollen Pilze aus Familien zusammengefasst werden, die hauptsächlich als nekrotrophe Parasiten an Wurzelsystemen auftreten, speziell bei *Gramineae* und *Cyperaceae*. Im Gegensatz zu den *Gäumannomyces*-Arten sind Pilze aus der Ordnung der *Diaporthales* entweder Saprophyten, auch fakultative, die ihre Fruchtkörper auf totem Gewebe bilden, oder systemische Parasiten, die Absterbeerscheinungen verursachen. Darüber hinaus bilden *Diaporthales* in der Regel weder Hyphopodien noch besitzen sie Anamorphe (Nebenfruchtformen) aus dem Bereich der *Phialophora* (Hornby 1998). Die *Phialophora* Arten besitzen im Zusammenhang mit den Varietäten von *Gäumannomyces graminis* besondere Bedeutung, da sie zahlreiche Ähnlichkeiten besitzen und *Gäumannomyces* Arten am Standort verdrängen können. Getreide gegenüber sind *Phialophora* Arten aber weitgehend apathogen und können somit zur biologischen Bekämpfung eingesetzt werden. Aufgrund der Ähnlichkeiten wird in taxonomischen Arbeiten auch vom *Gäumannomyces-Phialophora* Komplex gesprochen (Walker 1981, Landshoot 1993, Hornby 1998).

Die Arten des bodenbürtige Pilzes *Gäumannomyces graminis* bilden ein Myzel aus braunen, septierten, 4-7µm breiten Laufhyphen aus. Schwarze Perithechien werden meist an der Halmbasis im Bereich der unteren Blattscheiden gebildet. Sie haben einen Durchmesser von 200-400µ und besitzen einen 100-400µ langen 70-100µ breiten Hals.

Die Varietät mit der größten Bedeutung für den Weizenanbau ist *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx und Olivier var. *tritici* Walker (Walker 1973c). Infektionen durch diese Varietät sind die Hauptursache der weltweit durch Schwarzbeinigkeit verursachten Ertragseinbußen. Charakteristisch für diese Varietät sind die einfachen, ungelappten Hyphopodien. Die reifen Ascosporen sind 80-130 x 10-15µm groß. Der Wirtskreis umfasst alle Gramineen, besonders *Triticum*, *Hordeum*, *Secale*, *Agropyron*, aber auch andere Grasarten werden befallen. Selten werden die Gattungen *Sorghum* und *Zea* befallen, dafür wird jedoch auch von Funden auf den Wurzeln anderer Familien berichtet (Raps, Soja: Hornby 1998, Soja: Walker 1981).

Eine weitere Varietät ist *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx und Olivier var. *avenae* (E. M. Turner) Dennis (Walker 1973b). Sie ist der Varietät *tritici* sehr ähnlich (ungelappte Hyphopodien), jedoch sind die Ascosporen meist größer. Der wichtigste Unterschied besteht in der Fähigkeit pilzhemmende Wurzelexudate des Hafers, die so genannten Avenacine, zu entgiften und somit die Resistenz des Hafers gegenüber der Varietät *tritici* zu überwinden (Chambers und Flentje 1967, Betz 1984, Osbourn et al. 1994). Das Wirtsspektrum ist auch ähnlich wie bei der Varietät *tritici*, erweitert um Hafer, mit Schwerpunkt eher im Bereich der Gräser als im Getreide. Das Vorkommen im Getreideanbau ist so gering, dass Hafer im allgemeinen als nicht befallene, gesunde Vorfrucht gilt.

Zu den drei wichtigen Varietäten zählt noch *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx und Olivier var. *graminis* (Walker 1973a). Diese Varietät besitzt im Gegensatz zu den beiden anderen gelappte Hyphopodien. *Gäumannomyces graminis* var. *graminis* ist Weizen gegenüber nur schwach pathogen, besitzt aber als Erreger der Schwarzbeinigkeit an Reis eine größere wirtschaftliche Bedeutung.

2.3 Befall

Der Befall kann von Ascosporen ausgehen (Gerlagh 1968), erfolgt typischerweise jedoch durch Myzel, welches im Boden auf Pflanzenresten saprophytisch überdauert. Als erstes erfolgt eine Besiedelung der Wurzeloberfläche durch die Laufhyphen. Diese charakteristischen, dickwandigen, dunkel gefärbten Hyphen sind ab einer 40fachen

Vergrößerung zu erkennen und können zu einer Diagnose bei der Untersuchung von Wurzelschäden dienen. Bei starker Besiedelung der Wurzeloberfläche kann es zu Myzelverdichtungen bis hin zu Verkrustungen kommen (Skou 1981). Ausgehend von Laufhyphen werden sogenannte Infektionshyphen gebildet. Sie sind schmäler als die Laufhyphen und erscheinen hyalin. Durch sie erfolgt die Penetration des Wurzelgewebes in Richtung des Zentralzylinders. Innerhalb des Wurzelgewebes bildet die Endodermis eine gewisse Barriere. Die Fähigkeit, die Endodermis zu durchdringen, stellt ein Kriterium hinsichtlich der Pathogenität des Pilzes dar (Speakman und Lewis 1987). Dem gegenüber ist die Fähigkeit der Pflanzen die Penetration an der Endodermis zu verhindern eine Ursache unterschiedlicher Arten- und Sortenanfälligkeit (Skou 1981). Ist der Pilz in den Zentralzylinder eingedrungen, kommt es zu einer Verstopfung und Zerstörung der dort befindlichen Leitgefäße. Dabei geht die Zerstörung des Phloems der des Xylems voran (Clarkson et al. 1975). Die weitere Ausbreitung erfolgt durch Lauf- und Infektionshyphen mit fortschreitender Zerstörung des Wurzelgewebes bis hin zur Halmbasis. Die namensgebende Schwarzfärbung beruht auf der Besiedelung der Wurzeloberfläche und des äußeren Kortex durch die dunkel gefärbten Laufhyphen und der Reaktion des Wurzelgewebes auf die Penetration durch den Pilz (Skou 1981). Am Ende der Besiedelung des Pflanzengewebes verbleibt das Myzel saprophytisch auf den abgestorbenen Pflanzenresten. Dabei kann es zur Bildung von Perithezien kommen (Skou 1981). Ascosporen und das Myzel auf den Pflanzenresten stellen dann das Ausgangsmaterial für erneuten Befall.

2.4 Monitoring

Seit Entdeckung der Krankheit gab es weltweit immer wieder regionale und überregionale Befallsbeobachtungen (Monitoring), in denen Schwarzbeinigkeit eine Rolle spielt (z. B. Schaffnit 1930, Wächter und Röder 1990, Polley und Thomas 1991, Fouly et al. 1996, Smiley et al. 1996, Becker et al. 1998, Hardwick et al. 2001). Gerade bei der Schwarzbeinigkeit haben räumlich und zeitlich größer angelegte Befallsbeobachtungen besondere Bedeutung, da durch sie die Datengrundlage für epidemiologische Studien geschaffen werden (Jenkins 1978, Hornby 1998). Dies ist Grundlage zur Risikoabschätzung (Werker et al. 1991, Hornby 1998) und Bekämpfung (Bateman 1989). Bei einem leicht zu übersehenden oder zu ignorierenden Bodenpathogen ist es zudem wichtig, durch Monitoring auf Verbreitung und Präsenz aufmerksam zu machen (Hornby 1998). So beschreibt Yarham (1981) die Erfahrung aus den Vereinigten Staaten von Amerika. Dort war 1919, aufgrund der Probleme in anderen Ländern zu dieser Zeit, eine Quarantäne verhängt worden, um die Einschleppung zu verhindern

(Ausley 1919). 1920 wurde von Kirby und Thomas vom ersten Auftreten an Weizen berichtet und bis 1924 wurde den Behörden bewusst, dass es sich um eine bereits einheimische und weit verbreitete Krankheit handelte (Kirby 1925).

Die Ergebnisse der durchgeführten Monitoring unterscheiden sich aufgrund der Zielsetzung (Jenkins 1978) und in der Gewichtung und Interpretation der einzelnen Faktoren. Trotz der großen Bedeutung von Monitoring, um wichtige Einflussfaktoren für das Befallsauftreten zu finden, kann dies zu widersprüchlichen Ergebnissen von Region zu Region führen (Hornby 1998, Yarham 1981).

Gemeinsam ist jedoch, dass es aufgrund des Einflusses der Fruchtfolge, Klima, Standort und Bewirtschaftung zu verschiedenem Befallsauftreten kommt.

In Deutschland wurden erste überregionale Befallsbeobachtungen von Schaffnit (1930) durchgeführt. Er stellte die Bedeutung von Fruchtfolge, Boden und Bewirtschaftung für das Auftreten fest, ohne dass das Auftreten sich regional eingrenzen ließ.

Bei der Auswertung der Schaderregerüberwachung, die bis 1988 in der ehemaligen DDR durchgeführt wurde, wird festgestellt, dass der Erreger auf allen Standorten nachweisbar ist und Getreidevorfrüchte den Befall fördern (Wächter und Röder 1990). Winterraps wird als ungünstige Vorfrucht eingestuft. Unterschiede in der regionalen Verbreitung werden auf die Witterung zurückgeführt. Allgemein wurde jedoch nur ein schwaches Befallsauftreten festgestellt. Eine weitere Auswertung der Daten der ostdeutschen Schaderregerüberwachung führte zu einer Karte der potentiellen Befallsgefährdung in Deutschland, die hauptsächlich auf der Basis von Temperatur und Niederschlagsdurchschnittswerten Regionen mit unterschiedlicher Befallsgefährdung darstellt (Kluge et al. 1999).

Die Beschreibung des Befallsauftretens der letzten Jahre im Westen Deutschlands geht im wesentlichen auf Einzelbeobachtungen zurück (Mielke 1995, 1997, 1998). Auch hier werden Jahreswitterung und Fruchtfolge als Einflussfaktoren angesehen. Allerdings beschreiben Mielke (1998) und Obst und Paul (1993) Schwarzbeinigkeit in Deutschland als eine Krankheit, die hauptsächlich in den Randgebieten des Getreidebaus vorkommt und nur in Ausnahmen auf besten Weizenböden Bedeutung erlangt.

Ähnliche Erfahrungen mit dem Einfluss der Bodenfruchtbarkeit gibt es auch aus anderen Ländern. Besonders starkes Auftreten von Schwarzbeinigkeit war in Australien beobachtet worden, als Siedler, vor allem während der Ausweitung des Getreideanbaus nach dem 2. Weltkrieg, auch außerhalb der fruchtbaren Zentren des Ackerbaus anfangen, Weizen anzubauen (Yarham 1980, Parker und Rovira 1985).

Die große Bedeutung der regionalen Betrachtungsweise und des Vergleichs der Ergebnisse verschiedener Regionen ist Schwerpunkt einer Monographie (Hornby 1998).

2.5 Epidemiologie

Im Laufe der Geschichte seit der Entdeckung der Schwarzbeinigkeit sind zahlreiche Einflussfaktoren für das Auftreten beschrieben. Da es sich um ein klassisches Fruchtfolgepathogen handelt, geht der wichtigste Einfluss von der Fruchtfolge bzw. der Vorfrucht aus. Die Vorfrucht ist entscheidend für das Inokulum, also dem Ausgangspunkt der Infektion. Für den weiteren Krankheitsverlauf ist dann das Zusammenwirken verschiedener Faktoren wie Witterung, Standort (Boden) und der Bewirtschaftung von Bedeutung.

2.5.1 Fruchtfolge-Vorfrucht-Inokulum

Schon Schaffnit (1930) beschrieb die Rolle der Vorfrucht als Quelle des Infektionsstoffes für die Nachfrucht und beobachtete besonders starke Infektionen nach Weizen, Roggen und Gerste. Das Inokulum verbleibt bei diesem Pilz im Boden auf infizierten Resten von Wirtspflanzen. Gerlagh (1968) konnte zwar auch eine Verbreitung durch Ascosporen nachweisen, doch wird diesen allgemein epidemiologisch keine bedeutende Rolle beigemessen (Hornby 1981, Mielke 1998).

Bei der Beurteilung des Inokulums als Verursacher von Krankheit gibt es einen quantitativen Aspekt, die Menge im Boden, und einen qualitativen Aspekt, die Pathogenität.

Je mehr Wirtspflanzen angebaut werden, desto mehr Inokulum verbleibt zur Infektion der nachfolgenden, anfälligen Kultur. Scott (1981) stellt fest, dass als Wirtspflanzen fast ausschließlich Gramineen gefunden wurden. Demzufolge führt der Anbau von Pflanzen anderer Familien zu keiner Vermehrung des Pilzes, was bisher die effektivste Methode der Vermeidung des Risikos der Schwarzbeinigkeit darstellt (Yarham 1981, Mielke 1998, Hornby 1998b). Es ist diese Wechselwirkung mit angebauten Wirtspflanzen, welche die Schwarzbeinigkeit zu einer wichtigen Fruchtfolgekrankheit macht und die Möglichkeiten des Anbaus von Wirtspflanzen wie Weizen in Monokultur begrenzt.

Verschiedene Modelle versuchen über die Menge des Inokulums im Boden eine Abschätzung des Schwarzbeinigkeitsrisikos herzuleiten (Hornby 1978, Roget und Rovira 1991, Bailey und Gilligan 1999). Der konventionelle Nachweis aus Boden ist schwierig (Cunningham 1981, Hornby 1981). Als Grundlage dienen meist Biotests auf Bodenproben (MacNish et al. 1973, Hornby 1975, 1978, 1981, Sturm 1981). Es gibt bei der Inokulation prinzipiell einen Zusammenhang zwischen Inokulummenge und dem Ausmaß der Infektion (Cunningham

1981, Bailey und Gilligan 1999). Unter Feldbedingungen kommen dabei noch verschiedene Einflussfaktoren hinzu, die Verteilung und Infektiosität des Inokulums entscheidend beeinflussen können (Hornby 1981, Sturm 1981, Bailey und Gilligan 1999, Herdina et al. 2004). Für die Bestimmung des Schwarzbeinigkeitsrisikos, besonders hinsichtlich Ertragsverlusten, ist die Aussagekraft der Untersuchungen bisher nicht ausreichend genau. Untersuchungen und Risikobestimmungen in England, die auf Grundlage von Biotests von amtlichen Beratern durchgeführt wurden, sind aus diesem Grund nach einigen Jahren nicht mehr fortgeführt worden (Hornby 1978). Eine Verbesserung verspricht die Weiterentwicklung des Modells von Roget und Rovira (1991) durch die Anwendung eines quantitativen DNA-Nachweises aus Bodenproben. Allerdings sind bisher nur Ergebnisse aus Australien veröffentlicht (Herdina und Roget 2000, Herdina et al. 2004).

Neben der Menge des Inokulums gibt es auch charakteristische Unterschiede in der Pathogenität in Zusammenhang mit der Fruchtfolge. Die Ursache dürfte die Verbreitung verschiedener Varietäten sein. Walker (1972) unterschied nach Morphologie und Pathogenität bzw. Wirtskreis die Art *Gäumannomyces graminis* in die Varietäten *graminis*, *tritici* und *avenae*. Yao et al. (1992) beschrieben darüber hinaus die Varietät *maydis*. Eine Bedeutung als weizenpathogene Arten haben vor allem die Varietäten *tritici* und *avenae*. Da die weit verbreitete Varietät *tritici* Hafer nicht infizieren kann, wird Hafer hinsichtlich des Schwarzbeinigkeitsrisikos des Weizens wie eine Nicht-Wirtspflanze eingestuft (Schaffnit 1930, Müller-Kögler 1934, Mielke 1974, 1988, 1998, Heun und Mielke 1982). Die ebenfalls weizenpathogene Varietät *avenae* unterscheidet sich hauptsächlich von der Varietät *tritici* durch die Fähigkeit, Hafer zu befallen, und hat ihre Bedeutung als Schaderreger bei Hafer und Gräsern (speziell Nutzrasen) (Walker 1973b). Die Varietät *avenae* kann im Gegensatz zu der Varietät *tritici* die von Haferwurzeln ausgeschiedenen Abwehrstoffe Avenacine (Turner 1961, Maizel et al. 1964, Betz 1984, Osbourn et al. 1991, Osbourn et al. 1994) aus der Gruppe der als präformierte Abwehrstoffe von Pflanzen gegenüber Pilzbefall diskutierten Saponine (Osbourn 1996), durch eigene Enzyme, Avenacinasen, detoxifizieren (Osbourn et al. 1991). Das Auffinden von Isolaten, die morphologisch der Varietät *tritici* zugeordnet wurden, jedoch ebenfalls Hafer befallen konnten (Yeates et al. 1986), die Unzuverlässigkeit morphologischer Merkmale und die Variabilität der Pathogenität von Isolaten (Asher 1981, Naiki und Cook 1983) führten zu Untersuchungen, in wie weit Unterschiede in Wirtspflanzenspektrum und Pathogenität auf genetische Unterschiede zurückzuführen sind (Bryan et al. 1999). Bryan et al. (1995) konnten bei der Analyse der ITS Regionen bei den untersuchten Isolaten zwischen den Varietäten *graminis*, *tritici* und *avenae* unterscheiden. Bei phylogenetischer

Untersuchung zeigte sich, dass die haferinfizierenden Isolate von *Ggt* genetisch *Gga* näher stehen als der Varietät *tritici*. Da aber ein Teil keine Avenacinase produziert, lässt ihre Fähigkeit, Hafer zu infizieren, auf einen unabhängigen Ursprung schließen (Bryan et al. 1995, 1999). Harvey et al. (2001) fanden große genetische Unterschiede zwischen (räumlich) verschiedenen Populationen von *Gäumannomyces graminis*, aber nur wenig Übereinstimmung bei benachbarten Populationen und innerhalb der Population. Es zeigten sich Unterschiede zwischen den Populationen verschiedener Wirtspflanzen. Dabei gab es Ähnlichkeiten zwischen geographisch unterschiedlichen Populationen aus ähnlichen Fruchtfolgen. Daraus wurde geschlossen, dass Unterschiede zwischen Populationen, also auch in ihrer Pathogenität, auf genetische Drift und Selektion durch Wirtspflanzen am Standort, also der Fruchtfolge, zurückgehen. Den großen Einfluss von Fruchtfolge und Standort auf Genotypen des Pilzes bestätigen auch Untersuchungen aus England (Bateman et al. 1997). Eine Beurteilung der Pathogenität anhand der Varietät bzw. des Genotyps ist aber auch hinsichtlich der oft beschriebenen Variabilität der Pathogenität einzelner Isolate schwierig (Russel 1939, Skou 1968, Asher 1980, 1981, Naiki und Cook 1983). Als Ursache wird vorgeschlagen, dass im heterokaryotischen Myzel ein Teil der Kerne, mit verschiedenen Genotypen, gewisse Eigenschaften nicht enthalten, die für die polygen verursachte Pathogenität verantwortlich sind (Naiki und Cook 1983). Diese „Intra-Isolat“ Variabilität bietet dem bodenbürtigen Pilz Vorteile im schnellen Anpassen an sich ändernde Selektionsbedingungen (Asher 1981), trotz der geringen geographischen Mobilität und einer eingeschränkten sexuellen Rekombination (Asher 1981, Harvey et al. 2001).

Diese Beobachtungen hinsichtlich der Pathogenität sind hauptsächlich in Zusammenhang mit der Varietät *avenae* bzw. der Vorfrucht Hafer und bei der *in vitro* Aufbewahrung von Isolaten gemacht worden. Bei Mais scheint der Zusammenhang unterschiedlich gegenüber Hafer zu sein. Mais gehört, anders als Hafer, zu der hinsichtlich Schwarzbeinigkeit allgemein wenig anfälligen Unterfamilie der Gramineen, den *Panicoideae* (Scott 1981). Darüber hinaus wurden bisher sehr vereinzelt Beobachtungen von Pilzen des *Gäumannomyces-Phialophora* Komplexes an Mais gemacht (Samra et al. 1963 und Payak et al. 1970 in Walker 1981, Nilson 1972 in Scott 1981, Yao et al. 1992) und ihre Einordnung und Bedeutung in dieser Gruppe muss noch weiter untersucht werden (Hornby 1998). So wurde hinsichtlich der Schwarzbeinigkeit an Weizen bisher nicht über eine epidemiologisch bedeutende Verbreitung maispathogener Populationen von *Gäumannomyces graminis* berichtet.

2.5.2 Witterung

Nach der Fruchtfolge wird vor allem der Witterung großer Einfluss auf den Befall beigemessen (Wächter und Röder 1990, Hall und Sutton 1998). Clarkson und Polley (1981) fassen die Berichte mehrerer Autoren zusammen, die hohen Befall mit starken Niederschlägen in Frühjahr und Sommer in Verbindung bringen. Auch Schaffnit (1930) und Mielke (1995) beobachteten diesen Zusammenhang für Deutschland. MacNish (1980, zitiert in Cotterhill und Sivasithamparam 1989) schlug für die südaustralischen Getreideanbauregionen entsprechend der Niederschläge 3 Risikogebiete vor (je mehr Niederschlag, desto größer das Risiko). Cook (2003) unterscheidet aufgrund unterschiedlicher Symptomatik und Epidemie zwischen „wetland“ und „dryland“ Schwarzbeinigkeit. Während es unter feuchten Bedingungen zu der oft beschriebenen „patchiness“ kommt, bei der aufgrund der Ausbreitung von Pflanze zu Pflanze alle Pflanzen innerhalb eines Fleckens (engl. "patch") stark befallen sind, treten diese Flecken unter ariden Bedingungen nicht auf, da der Pilz sich im Boden nur wenig ausbreiten kann und jede Pflanze separat infizieren muss.

Eine Analyse von Wetter- und Befallsdaten aus einem Zeitraum von 33 Jahren an einem Standort in England (Hornby 1978) zeigte besonders starken Befall bei einem trocken-warmen Herbst, feucht-warmen Winter und feucht-kühlem Sommer. Schwacher Befall trat dagegen bei feuchtem Herbst und trockenem Winter und Frühjahr auf. Bei überdurchschnittlich trockenen und warmen Sommern kam es zu mittlerem Befall. Bei einer weiteren Unterteilung der mittleren Befallskategorie stellte sich heraus, dass es nur bei warmer Witterung im Frühjahr zu einem als schädigend eingestuften mittleren Befall kam.

Hornby weist aber auch darauf hin, dass die Witterung nicht nur Einfluss auf den Pilz, sondern in erheblichem Ausmaß auch auf die Pflanze und ihre Entwicklung hat.

2.5.3 Bodenart

Winter (1940a) beschreibt eine Wechselwirkung von Bodenart bzw. -zusammensetzung und Bodenwassergehalt. Er beobachtete die stärksten Infektionen bei niedrigem Wassergehalt in Abhängigkeit vom Humus und Tongehalt. Er führt dies auf die wachstumsfördernde Wirkung der Bodendurchlüftung auf den Pilz (Garrett 1937, Ferraz 1972) zurück und begründete so die Beobachtung starker Infektionen auf sandigen Böden. Diesem Effekt setzt Winter besonders auf humushaltigen Böden die Konzentration eines „antagonistischen Komplexes“ entgegen, die um so höher ist, je geringer der Wassergehalt ist. Demzufolge ergibt sich die Infektionsgefährdung aus den physikalischen und biologischen Eigenschaften eines Bodens,

in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte. Eine befallsfördernde Wirkung konnten auch Brassel und Gilligan (1990) durch die Beimischung von Sand in einem Topfexperiment beobachten.

Schaffnit (1930) beobachtete hohen Befall bei hohen Bodenwassergehalten, führt dies aber weniger auf die Bodenart, als auf hohe Niederschläge zurück.

Erhöhter Schwarzbeinigkeitsbefall wird von den meisten Autoren nicht allein über eine bestimmte Bodenart erklärt, sondern der Einfluss in Zusammenhang mit Bodenleben, pH-Wert, Bodenfruchtbarkeit (Düngung) und Bodenbearbeitung gesehen.

2.5.4 Bodenleben

Der Einfluss des Bodenlebens ist ein schwer erfassbarer Parameter, doch wird von vielen Autoren die Bedeutung von Fruchtfolge, Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit und das Überdauern des Inokulums im Boden über Einflüsse auf und Wechselwirkungen mit dem Bodenleben diskutiert (Garrett 1956, Cook 1981, 1994, Huber und McCay-Buis 1993, Weller et al. 2002).

Das Phänomen, dass es auf bestimmten Böden trotz hohem Infektionsrisiko bzw. Inokulum zu einer geringen Krankheitsausprägung kommt, ist schon mehrfach beschrieben worden (Rovira und Wildermuth 1981, Hornby 1983). Diese Eigenschaft des Bodens wird als Krankheits-„unterdrückend“ oder englisch „suppressive“ bezeichnet. Der bereits von Roediger 1898 (zitiert in Hornby 1983) und Simmonds 1928 (zitiert in Rovira und Wildermuth 1981) beobachtete Rückgang der Virulenz des Feldinokulum von Fußkrankheiten, wurde später von Sanford und Broadfoot (1931), Henry (1932) (beide zitiert in Garrett 1965) und Winter (1940b) mit der Aktivität von antagonistisch wirkenden Bodenorganismen erklärt. Gerlagh (1968) unterschied bei seinen Untersuchungen zwischen allgemeinem und spezifischem Antagonismus. Allgemeiner Antagonismus ist die Unterdrückung von Krankheiten aufgrund der allgemeinen biologischen Aktivität des Bodens, wie sie von Garrett (1934) beschrieben wurde. Der spezifische Antagonismus wird durch die Anwesenheit des Pathogens induziert, stellt sich erst nach längerer Zeit ein, ist dafür aber effektiver in der Reduktion einer spezifischen Krankheit als der allgemeine Antagonismus (Weller et al. 2002). Der für die Schwarzbeinigkeit beschriebene Decline-Effekt (Glynne 1935, 1965, Rovira und Wildermuth 1981, Hornby 1983, Weller et al. 2002), der sich nach mehrjährigem Anbau von Weizen oder Gerste in Monokultur einstellen kann (Glynne 1965, Slope und Etheridge 1971, Sturm 1981), gilt als Beispiel für spezifischen Antagonismus (Gerlagh 1968, Rovira und Wildermuth 1981, Hornby 1983).

Als antagonistisch wirkende Bodenorganismen wurden Viren (Rawlingson und Buck 1981), Bakterien (Cook und Rovira 1976, Raaijmakers et al. 1997), Pilze (Deacon 1981) und Insekten (Collembolen, Sabatini und Innocenti 2000) gefunden. Als Mechanismen für Antagonismus (Hornby 1978b, 1983) werden die Produktion von toxischen Stoffen z.B. Antibiotika (Thomashow und Weller 1988, Weller et al. 2002, Raaijmakers und Weller 1997b), Konkurrenz um Nahrung, Sauerstoff und Platz (Baker und Cook 1974, Deacon 1981), Hyperparasitismus (Gerlagh 1968, Rawlinson und Buck 1981) und Fraß (Sabatini und Innocenti 2000) aufgeführt. Gerlagh schließt aus seinen Untersuchungen, dass es sich um das Zusammenwirken mehrerer Organismen und auch mehrerer Mechanismen handelt. Asher (1980, 1981) postuliert, dass das Überleben in Konkurrenz mit den Bodenorganismen für den Pilz wichtiger ist, als seine Virulenz gegenüber der Pflanze und begründet dadurch Schwankungen in der Pathogenität.

Cook und Rovira (1976) und Rovira und Wildermuth (1981) unterscheiden zwischen nicht übertragbarer, allgemeiner Krankheitsunterdrückung (Suppression) und spezifischer, übertragbarer Unterdrückung. Während der Einfluss vieler Kulturmaßnahmen wie Stickstoff-Düngung, Einbringen organischer Substanz oder Bodenbearbeitung ihre Wirkung hinsichtlich der nicht übertragbaren, allgemeinen Unterdrückung zeigen (Garrett 1934, 1965), ist die Untersuchung und Nutzung der übertragbaren Befallsunterdrückung Grundlage der biologischen Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit. Nach der Übertragung von unterdrückenden Böden konnte verringerter Befall mit Schwarzbeinigkeit beobachtet werden (Shipton et al. 1973, Wong und Siviour 1979). Spezifischer wurde dies erreicht, indem entweder Antagonisten in den Boden eingebracht werden, z. B. bestimmte Bakterienstämme (Weller und Cook 1983, Stelljes und Hardin 1995, Mathre et al. 1999), oder indem schwach- oder avirulente Pilzstämme aus dem *Gäumannomyces/Phialophora* -Komplex genutzt werden, um spezifischen Antagonismus im Boden und erhöhte Resistenz der Pflanze zu induzieren (Wong 1975, Speakman und Lewis 1978, Wong und Siviour 1979, Speakman 1984, Wong et al. 1996,), auch als Cross-Protection bezeichnet (Wong 1981, Speakman 1984).

Garrett (1965) und Cook (1994) weisen darauf hin, dass eine biologische Kontrolle sowohl durch die Bewirtschaftung, die geeignete Bedingungen zur Nutzung des vorhandenen antagonistischen Potentials schafft, als auch durch Einbringung von entsprechenden Organismen erreicht werden kann. Für den Erfolg wird aber in den meisten Fällen beides notwendig sein. Garrett (1965) bemerkt weiterhin, dass das Gleichgewicht der an einem Standort vorhandenen Arten abhängig von den Umweltbedingungen ist. Eine Verschiebung

des Gleichgewichts ist daher nur zeitlich begrenzt. Aufgrund der großen Abhängigkeit von Umweltbedingungen und des technisch hohen Aufwandes zur Nutzung biologischer Organismen zur Kontrolle der Schwarzbeinigkeit, beschränkt sich die Nutzung des Bodenlebens auf die Förderung durch geeignete Kulturmaßnahmen und die Nutzung des Decline- Effektes durch Monokultur.

Shipton (1972) empfiehlt die Nutzung des Decline-Effektes, um mehr profitablen Weizen anbauen zu können. Die Phase des stärksten Krankheitsbefalls soll dabei durch die weniger anfällige Gerste überbrückt werden. Yarham (1998) widerspricht dieser Empfehlung aufgrund von Erfahrungen von Hornby (1998b), dass auch diese Vorgehensweise keinen zuverlässigen Schutz vor hohem Befall darstellt. Vor allem hinsichtlich des Ertrages ist die Nutzung des Decline- Effektes bedenklich. So konnte Sturm (1981) zwar bei zunehmender Monokulturdauer einen Rückgang im Aufbau des Erregerpotentials feststellen, ohne dass sich jedoch die Erträge erholten. Auch Glynne (1965) stellt fest, dass die Erträge in Monokultur stets deutlich unter denen von Fruchtfolgeweizen zurückbleiben.

2.5.5 pH - Wert

Besonders starkes Auftreten von Schwarzbeinigkeit ist nach dem Anheben des Boden pH-Wertes durch Kalkung beobachtet worden (Glynne 1935, Cook 1981, Reis et al. 1983). Schaffnit (1930) zeigte im Kulturversuch besonders starke Infektionen bei hohem pH. Er schloss daraus, dass der Erreger in sauren Böden kaum vorkommt. Huber (1981) vermutete nach eigenen Beobachtungen einen zusätzlichen Effekt des mit der Kalkung zugeführten Kalziums, doch zeigte die Kalzium - Zufuhr *per se* in den Versuchen von Reis et al. (1983) und Glenn und Sivasithamparam (1991) keinen Einfluss. Gegenüber dem Einfluss der Anhebung des pH Wertes durch Kalkung konnte nach einer Senkung des pH-Wertes durch Ammonium-Düngung im Vergleich zu Nitrat-Düngung eine Reduzierung des Schwarzbeinigkeitsbefall beobachtet werden (Hornby und Goring 1972, Smiley und Cook 1973, Cook und Rovira 1976, Sarniguet et al. 1992a,b).

Sivasithamparam und Parker (1981) konnten die höchsten Wachstumsraten von *Gäumannomyces graminis* var. *tritici* Kulturen auf Agar bei pH-Werten zwischen 6 und 7 feststellen. Allerdings zeigt der Pilz Wachstum in einem sehr weiten pH-Bereich. Glenn und Sivasithamparam (1991) beobachteten, dass Änderungen des Boden - pH zwar einen Einfluss auf das Wachstum des Pilzes haben, der Effekt jedoch sehr unterschiedlich für verschiedene Pilzstämme ausfällt. Sie folgerten daraus, dass der Einfluss des pH auf weitere epidemiologische Parameter größer ist als auf das Pilzwachstum.

Cook (1981) stellt fest, dass starkes Krankheitsauftreten üblicherweise außerhalb des Bereichs des optimalen Pilzwachstums bei sehr hohen oder sehr niedrigen pH Werten beobachtet wird. Er führte als weitere Einflussmöglichkeiten des pH-Wertes den Partialdruck von CO₂, die Zusammensetzung des Bodenlebens und die Verfügbarkeit von Nährstoffen auf.

Garrett (1937) stellte die Hypothese auf, dass der pH Wert über seinen Einfluss auf den Partialdruck von CO₂ an Wurzeloberfläche und in der Rhizosphäre das Wachstum des Pilzes beeinflusst. Smith und Noble (1972) konnten eine ungewöhnlich hohe Sensitivität des Pilzes gegenüber unterschiedlichen CO₂ Konzentrationen *in vitro* beobachten, doch Ferraz (1973) zeigte, dass die Effekte unabhängig voneinander sind.

Vor allem im Zusammenhang mit der pH - Änderung in der Rhizosphäre nach Ammoniumdüngung wird eine Befallsreduktion durch einer Förderung des Bodenlebens, speziell der antagonistisch wirkenden *Pseudomonas fluorescens*, diskutiert (Smiley und Cook 1973, Cook und Rovira 1976, Sarniguet et al. 1992a,b). Entgegen diesen Veröffentlichungen stellten Ownley et al. (1992) in ihren Versuchen jedoch keine Abhängigkeit der antagonistischen Wirkung zweier Stämme von *Pseudomonas fluorescens* vom pH-Wert fest und kamen zu der Annahme, dass der pH-Wert einen größeren Einfluss über die Nährstoffverfügbarkeit ausübt.

Ein Zusammenhang zwischen dem Einfluss verschiedener Makro- und Mikronährstoffe auf den Befall einerseits (Huber 1981, Reis et al. 1982, Huber und McCay-Buis 1993) und dem pH-Wert und der Nährstoffverfügbarkeit andererseits (Reis et al. 1983, Huber und McKay-Buis 1993) wird auch von anderen Autoren gesehen (Cook 1981).

Romanos et al. (1980) fanden eine pH - abhängige Produktion eines wachstumshemmenden Stoffes von wenig pathogenen Isolaten und schlugen dies als Mechanismus bei der Unterdrückung pathogener Isolate bei niedrigem pH vor.

2.5.6 Bewirtschaftung

2.5.6.1 Saattermin

Der Einfluss des Saattermins auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit war schon früh bekannt (Schaffnit 1930) und eine späte Saat bei Winterweizen in gefährdeter Fruchtfolgestellung war eine der Empfehlungen zur Verminderung des Risikos in England vor 1945 (Samuel 1938 in Yarham 1981). Bei Untersuchungen des Einflusses verschiedener ackerbaulicher Maßnahmen auf den Epidemieverlauf der Schwarzbeinigkeit hatte der Saattermin den größten Einfluss (bei gleichem Fruchtfolgerisiko) (Werker und Gilligan 1990, Colbach et al. 1997).

Bei früher Aussaat kommt es aufgrund des kürzeren Abstandes zur vorhergehenden Kultur und der kürzeren wirtsfreien Zeit zu einem verringertem Abbau des Inokulums (Shipton 1981, Gutteridge und Hornby 2003). Zusätzlich fördert die längere Entwicklungszeit im Herbst die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Pilz und dem größeren Wurzelwerk der Pflanzen, was zu erhöhten Frühjahrsinfektionen führt (Gilligan und Brassett 1990). Bailey und Gilligan (1999) stellen anhand von Versuchen unter kontrollierten Bedingungen ein Modell zur Dynamik von primären und sekundären Infektionen auf, das sowohl den Abbau des Inokulums als auch das Wachstum der Pflanze berücksichtigt. Das Modell wird durch Beobachtungen aus dem Freiland bestätigt (Bailey und Gilligan 1999).

2.5.6.2 Bodenbearbeitung

Bereits in der Arbeit von Winter (1940) wird der Einfluss der Bodenstruktur widersprüchlich diskutiert. Er kommt bei seinen Ergebnissen zu dem Schluss, dass lockere Bodenstruktur zu schnellen Infektionen führt, dem durch eine höhere Verdichtung des Bodens entgegen zu wirken ist. Mielke (1983) stellt dagegen fest, dass unterschiedliche Bodenbearbeitung insgesamt betrachtet einen unbedeutenden Einfluss auf den Befall hat, bei geringfügig höherem Befall nach Grubber. Einen verhältnismäßig geringen Einfluss bei leicht höherem Befall nach nicht wendender Bodenbearbeitung bestätigen auch Colbach et al. (1997) und Cotterill und Sivasithamparam (1989b).

Bailey et al. (2001) stellten in ihren Untersuchungen geringeren Befall nach Direktsaat fest, während Moore and Cook (1984) dagegen von stärkeren Infektionen berichten. Als Grund geben Sie die schlechtere Zersetzung des Inokulums (Kronenwurzeln) im Vergleich zu anderer Bodenbearbeitung an.

Jenkyn (2002) beobachtete zwar ein geringeres Ansteigen des Befalls im 2. und 3. Jahr eines Weizenmonokulturversuches in der wendend bearbeiteten Variante im Vergleich zur nicht-wendend bearbeiteten Variante, jedoch kam es zu einem späteren Einsetzen des Decline-Effektes und somit zu einem höheren Befall im 4. Jahr. Jenkyn führte dies auf das Unterpflügen, in späteren Jahren aber erneute Hochpflügen infektiöser Stoppelreste zurück.

Yarham (1981) fasst in einem Vergleich der wendenden Bodenbearbeitung mit der Direktsaat den möglichen Einfluss der Bodenbearbeitung zusammen. Direktsaat kann durch die Vermehrung von Ungräsern, die Wirte des Schwarzbeinigkeitserregers sein können, und durch schlechtere Zersetzung von Stoppelresten, auf denen Inokulum verblieben ist, zu stärkerem Befall führen. Andererseits kann es durch höhere biologische Aktivität, die auf Schwarzbeinigkeit hemmend wirkt, und die bessere Bodenstruktur zu verringertem Befall

kommen. Auch gibt es Auswirkungen hinsichtlich der Stickstoffmineralisierung und der Nährstoffverfügbarkeit, die sich sowohl auf die Entwicklung des Pilzes als auch der Pflanze auswirken.

Prew (1980) stellte bei der Untersuchung der autonomen Verbreitung des Erregers im Feld verglichen mit der Verteilung durch die Bodenbearbeitung (1980b) fest, dass der Erreger von sich aus ungefähr 10 cm von der Inokulumquelle bis zu einer zu infizierenden Wurzel wächst und das Inokulum durch die Bodenbearbeitung bis zu 2,5 m in Bearbeitungsrichtung verschleppt werden kann. Dies konnte jedoch nur nach Vorfrucht Bohnen beobachtet werden, im zweiten Jahr des Experiments kam es nach der Weizenvorfrucht unabhängig von der Bodenbearbeitung und dem eingebrachten Inokulum zu einer gleichmäßigen Infektion des ganzen Feldes.

2.5.6.3 Düngung

Es konnte immer wieder ein Einfluss der Düngung auf den Befall beobachtet werden. Werker und Gilligan (1990) diskutieren jedoch, wie komplex und zahlreich die durch Düngung beeinflussten Faktoren und Resultate sind. So kann die Stickstoffdüngung das Überleben von saprophytischem Inokulum fördern (Garrett 1956, Shipton 1972, 1981). In diesem Zusammenhang wird auch erhöhter Befall nach Leguminosen wie Soja (Rothrock und Langdale 1989) erklärt. Höhere Nährstoffgaben helfen aber auch der Pflanze, Defizite aufgrund des geschädigten Wurzelwerks auszugleichen und können durch Förderung des Wurzelwachstums zum „disease escape“ beitragen (Huber 1981, Brennan 1992).

Besonders deutliche Effekte konnten bei der Stickstoffversorgung mit geringerem Befall bei Düngung über Ammonium im Vergleich zu Nitrat beobachtet werden (Hornby und Goring 1972, Sarniguet et al. 1992 a,b). Diese Effekte konnten bei den Untersuchungen von Colbach et al. (1997) nicht nachvollzogen werden und der Einfluss der Düngung war im Verhältnis zu anderen Faktoren gering.

Huber und McCay-Buis (1993) sehen eine zentrale Rolle der Manganversorgung im komplexen Zusammenspiel zwischen Pilz, Pflanze, abiotischen und biotischen Einflussfaktoren auf den Befall.

Brennan (1992) stellte bei seinen Untersuchungen zum Einfluss der Düngung mit Mangan, Stickstoff und Superphosphat auf die Anfälligkeit der Pflanzen und den Ertrag fest, dass der wichtigste Effekt in der besseren Versorgung der Pflanzen liegt, die dann indirekt zu geringerem Befall führt. Bei einer zusammenhängenden Betrachtung des Einflusses der Nährstoffversorgung bzw. Düngung auf den Schwarzbeinigkeitsbefall kommt auch Huber

(1981) zu dem Ergebnis, dass die größte Bedeutung weniger bestimmten Nährstoffen als mehr einer der Pflanzenentwicklung und Ertragserwartung angepassten Düngung zukommt.

Schoeny et al. (2003) zeigen in Ihren Untersuchungen zum Einfluss des Schwarzbeinigkeitsbefalls auf die Stickstoffaufnahme, dass die Pflanzen zwar in einem weiten Bereich kompensieren können, eine gleichmäßige Versorgung der Pflanze über Splitting der Düngergaben in Situationen mit erhöhtem Befallsrisiko ratsam ist.

2.5.6.4 Sorte

Die Untersuchungen von Mielke (1995, 1997, 1998) konnten nur geringe Unterschiede in der Sortenanfälligkeit im Weizensortiment finden. An dieser Feststellung hat sich bisher nichts geändert (Holz 2003). Ursache für die geringen Unterschiede ist, dass trotz intensiver Suche nach Resistenz und Untersuchung der unterschiedlichen Anfälligkeiten der verschiedenen Pflanzenfamilien (Jensen und Jørgensen 1973, Scott 1981, Mielke 1998) bisher keine bedeutende Resistenz für wirtschaftliche Weizensorten (Heun und Mielke 1982) gefunden werden konnte. Die Sorten unterscheiden sich also nur geringfügig in ihrer Anfälligkeit gegenüber der Schwarzbeinigkeit.

Unterschiede in der Anfälligkeit werden zurückgeführt auf Unterschiede im Wurzelsystem (Penrose 1994). Dazu gehört die Fähigkeit der Pflanze, schneller neue Wurzeln zu bilden, als diese durch den Pilz befallen und zerstört werden („disease escape“ Garrett 1948, Asher 1972, Manners und Myers 1981). Des weiteren unterscheidet sich die Anfälligkeit der Wurzeln nach Alter, Art und Widerstandsfähigkeit. Die unterschiedliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Penetration durch die Pilzhyphen wird zurückgeführt auf die Bildung und Einlagerung von Stoffen wie Lignin und Phenolen aufgrund von Wurzeltyp, Seneszenz oder Induktion (Speakman und Lewis 1978, Skou 1981, Penrose 1994, Wilmsmeyer 2001).

Neben der Widerstandsfähigkeit gegenüber Befall spielt bei den Sorten auch die Toleranz des Befalls vor allem hinsichtlich des Ertrages eine Rolle (Huber und McCay-Buis 1993). Spink et al. (1996) fanden geringere Ertragsverluste bei Sorten mit früher Blüte, ökonomischer Bestockung (maximale Anzahl von Trieben im Vergleich zur endgültigen Triebzahl), einer geringen Rate der Stickstoffaufnahme durch den Trieb im Verhältnis zur gebildeten Blattfläche und größeren Mengen an Reservestoffen im Halm.

Gerade die Ausprägung von Eigenschaften hinsichtlich Wurzelsystem und Wurzelleistung ist besonders abhängig von Einflüssen des Standorts und der Bewirtschaftung. Schmid et al. (1997) konnten einen deutlichen Einfluss von Standort, Bewirtschaftung und Jahr auf die Entwicklung der Wurzelmasse und des Wurzelumsatzes feststellen.

Neben der Wurzelmasse kommen der Wurzelumsatz (Schmid et al. 1997) und die Nährstoffeffizienz (Rengel et al. 1996) als Einflussfaktor in Frage. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die Eignung der Sorte für den Standort und die Produktionsbedingungen eine größere Bedeutung hat, als die Resistenz gegenüber der Schwarzbeinigkeit. Dieser geringe Selektionsdruck erklärt auch das Fehlen von geeigneten Resistenzen (Scott 1981). Demgegenüber wurde auch die wechselhafte Virulenz des Pilzes darauf zurückgeführt, dass weitere Selektionsbedingungen wie das saprophytische Überleben gegenüber konkurrierenden Bodenorganismen am Standort größere Bedeutung besitzen.

2.6 Bekämpfung

Aufgrund des starken Zusammenhangs mit der Vorfrucht und dem Inokulum bleibt die Fruchtfolge die effektivste Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit (Yarham 1981, 1998). Da bisher keine nutzbare Resistenz zur Verfügung steht, beruht eine Bekämpfung bisher auf der Abschätzung des Risikos und der Nutzung des befallsreduzierenden Einflusses von Bewirtschaftungsmaßnahmen (Yarham 1981, Hornby 1998b). Die Möglichkeiten und die Wirkung direkter chemischer Bekämpfungsmaßnahmen waren bisher beschränkt (Bateman 1980, 1989). Die Zusammenstellung von Bateman (1989) zeigt die Schwierigkeit, unter Feldbedingungen eine ausreichende Wirkung über den langen Infektionszeitraum zwischen Aussaat und Ernte zu erzielen. Einer Erhöhung der Wirkstoffmenge sind dabei Grenzen durch Kosten, Persistenz, Umwelt- und Pflanzenverträglichkeit gesetzt. Darüber hinaus muss der Wirkstoff eine ausreichende Selektivität besitzen, um nicht durch Störung des antagonistisch wirkenden Bodenlebens zu ähnlichen Effekten wie nach Bodendämpfung oder Begasung zu führen. Nach einer vorübergehenden Reduzierung des Schaderregers kann es zu einer verstärkten Epidemie kommen (Ebbels 1969, Williams and Salt 1970, Ridge 1976, Gardner et al. 1998).

Seit 1999 steht eine Beizbehandlung mit dem Wirkstoff Fluquinconazole zur Verfügung (Handelsname der Beize: Jockey[®] bzw. Galmano[®]). Der Wirkstoff zeigt eine deutlich bessere Wirkung im Vergleich zu den bisherigen Beizbehandlungen.

Wilmsmeier (2002) fand für Fluquinconazole mehrere Wirkmechanismen hinsichtlich Befallsreduzierung und Ertragsabsicherung. Der als Beize angewendete Wirkstoff bildet einen Beizhof. Innerhalb des Schutzhofes kommt es durch den Ergosterol-Biosynthese-Hemmer zu Deformationen der Laufhyphen des Pilzes. Die Bildung von Infektionshyphen ist sehr stark beeinträchtigt. Des Weiteren kommt es bei der Pflanze zu einer Verdickung und verstärkten Lignineinlagerung in den Wurzeln, was zu einer höheren Penetrationsresistenz beitragen

kann (Skou 1981). Neben den Wirkungen auf Pilz und Pflanze konnte Wilmsmeier (2002) in Zusammenhang mit der Behandlung eine Vermehrung von fluoreszierenden Pseudomonaden beobachten, einer Gattung von Rhizosphärenbakterien, die Potential zur biologischen Bekämpfung gezeigt haben. Auch Dawson und Bateman (2000) vermuteten eine Unterstützung der Wirkung von Fluquinconazole durch Antagonisten. Aufgrund der Selektivität des Mittels gegenüber dem Erreger der Schwarzbeinigkeit konnten sie bei ihren Untersuchungen nach Behandlung verstärkt antagonistisch wirkende Bodenpilze nachweisen.

Bisher gibt es nur ein weiteres zur Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit zugelassenes Mittel, dass mit dem Fluquinconazole bzw. dem Produkt Jockey[®] hinsichtlich Wirkung verglichen werden kann (Mindt 1999). Es handelt sich dabei um das Produkt Latitude[®] mit dem Wirkstoff Silthiofam (Beale et al. 1998, Mindt 1999). Obwohl es sich um eine andere Wirkstoffgruppe handelt, zeigen verschiedene Studien ähnliche Wirkungen im Einfluss auf Befall (Spink et al. 2002), Epidemie (Schoeny und Lucas 1999, Spink et al. 2002) und Wurzelmorphologie (Huang et al. 2001), wie sie für Fluquinconazole beobachtet wurden. Bei den wenigen direkten Vergleichen konnten in der Regel keine signifikanten Vorteile für eines der Produkte gefunden werden (von Kröcher 1999, Bateman et al. 2004).

Schwarzbeinigkeit ist auch Gegenstand intensiver Forschung zur biologischen Bekämpfung (Mathre et al. 1999, Cook 1994, Weller et al. 2004). Neben der Nutzung des Decline-Effektes (Yarham 1998) werden auch Möglichkeiten der gezielten Applikation und Nutzung von Antagonisten untersucht (Mathre et al. 1999, Weller et al. 2004). Bisher zeigt dies jedoch eine geringere Wirkung und war weniger zuverlässig als die Wirkung der Fungizide (Hornby et al. 1993, Gardner et al. 1998).

2.7 Bedeutung

Für die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit sind die Verbreitung der Krankheit und der Schaden wichtig, der auf sie zurückgeführt werden kann. Während der Erreger in weitgehend allen Getreideanbaugebieten nachgewiesen werden konnte (Garrett 1981), wird seine wirtschaftliche Bedeutung regional unterschiedlich eingeschätzt (Zadoks and Rijdsdijk 1984, Ohrke et al. 1994, Hornby 1998).

Hornby macht bei seiner Zusammenstellung über die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in verschiedenen Ländern darauf aufmerksam, dass oftmals keine gezielten Erhebungen, sondern Umfragen und Abschätzungen zugrunde liegen (Hornby 1998). In der Erhebung gesicherter

Daten und erhöhten Aufmerksamkeit gegenüber Krankheiten sieht er die besondere Bedeutung von Monitoring (Hornby 1998).

Die theoretische Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit liegt zwischen keiner Bedeutung (0 %), wenn von keinem Erreger im Boden ausgegangen wird, und 100 % bei Totalausfall. Bisher wurde die Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit meist über den Vergleich verschiedener Fruchtfolgen abgeschätzt (Shipton 1975, Slope und Etheridge 1971). Die Schätzungen für Ertragseinbußen in Monokultur aufgrund von Schwarzbeinigkeit liegen zwischen 10% und 60% (Mielke 1998). Totalausfälle, auf die der englische Name der Krankheit „Take-all“ zurückgeht, werden im heutigen Weizenanbau nur selten beobachtet (Mielke 1998). In Deutschland liegen die geschätzten Ertragseinbußen zwischen 20 % (Sturm 1981) und 30 % (Mielke 1998).

Im Gegensatz zur Abschätzung über das Ertragspotential bei verschiedenen Fruchtfolgen, wird es durch die Einführung Beizung gegen Schwarzbeinigkeit möglich, Unterschiede im Befall, bei ansonsten gleichen Umweltbedingungen, mit Ertragsdifferenzen in Beziehung zu setzen (Schoeny und Lukas 1999). Die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit ist dabei abhängig von der Leistung der eingesetzten Beize. Spink et al. (2002) beobachteten beim Einsatz von Silthiofam bei mittlerem bis starkem Schwarzbeinigkeitsbefall Mehrerträge zwischen 0 und 15 dt/ha. Der mittlere Ertragseffekt liegt bei 6 dt/ha. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Bateman et al. (2004) (Fluquinconazole) und Schoeny et al. (2001) in Frankreich (Silthiofam).

Eine Schwierigkeit ist es, die Beziehung zwischen Befall und Ertrag herzustellen (Sturm 1981, Hornby 1998, Clarkson und Polley 1981), da diese von Umwelteinflüssen, vor allem auf die Pflanze, abhängig ist (Schoeny et al. 2001). Polley und Clarkson (1980) versuchten über die Analyse einzelner Pflanzen eine Befalls-Ertragsbeziehung herzustellen. Sie teilten den Befall in 4 Gruppen ein und ordneten den Schadensklassen Ertragseffekte zu. Nach ihren Erfahrungen hat leichter Befall unter 25% befallenem Wurzelsystem zwischen Milchreife (BBCH 75) und Ernte keinen Ertragseinfluss unter englischen Bedingungen. Die Ergebnisse sollten als Grundlage zur Durchführung von Monitoring dienen. Die beste Befalls-Ertragsbeziehung ergab sich für den Boniturzeitraum zwischen Milchreife (BBCH 75) und Ernte. Doch auch sie fanden große Schwankungen in der Befalls-Ertragsbeziehung von Standort zu Standort. Im Gegensatz zu Polley und Clarkson (1980) berichten Fang und Parker (zitiert in Clarkson und Polley 1981) von Ertragseinbußen von 25-30% bei leichtem Befall in West Australien.

3 Material und Methoden

3.1 Bonitur des Befalls an Wurzel und Halmbasis

3.1.1 Probenahme

Um das in verschiedenen Publikationen beschriebene, nesterweise Auftreten der Schwarzbeinigkeit („Patchiness“) und den großen Unterschied im Befall von Pflanze zu Pflanze auszugleichen, ist es nötig, an verschiedenen Stellen im Bestand bzw. in den Wiederholungen des Versuchs ausreichend große Proben zu nehmen. Durch die Zusammenführung der einzelnen Bonituren ist es möglich, den Befall auf Bestandesniveau zu vergleichen und zu beurteilen.

Zur Entnahme der Pflanzenprobe wird der Bereich um die Pflanzen mit einem Spaten abgestochen und die Pflanzen samt Boden vorsichtig entnommen. Bei lockerem Boden kann die anhaftende Erde vorsichtig abgeschüttelt werden. Wichtig für die Bonitur ist ein möglichst vollständiges und unbeschädigtes Wurzelwerk. Der Probenumfang sollte 100 Pflanzen je Variante umfassen.

Bis zur Aufbereitung sind die Proben dunkel, kühl und trocken zu lagern. Dabei verhindert vor allem die trockene Lagerung, dass die Proben sich zersetzen oder sekundär verbräunen, wodurch die Bonitur beeinträchtigt werden kann.

3.1.2 Probenaufbereitung

Die Pflanzen bzw. Pflanzenwurzeln wurden für die Sichtbonitur von anhaftendem Boden befreit werden. Dazu werden die Pflanzen in Wasser eingeweicht (ca. 30 Minuten) und anschließend die Wurzeln und Halmbasis unter einem Wasserstrahl ausgewaschen.

3.1.3 Diagnose

Die Beurteilung der Krankheit erfolgte generell über eine Sichtbonitur. Bonitiert wird der prozentuale Anteil verschwärzter Wurzeln am Gesamtwurzelwerk für jede einzelne Pflanze (Photo 1-6). Vorteilhaft für die Bonitur ist ein gut ausgewaschenes, feuchtes Wurzelwerk, da sich die durch den Befall hervorgerufen Verschwärzungen auf einem feuchten, etwas durchscheinenden Wurzelwerk besser erkennen lassen.

Die Einschätzung des prozentualen Anteils erfolgte auf 10% genau und wurde auf einem Boniturbogen für alle Pflanzen einer Probe vermerkt. Die Bonitur der Einzelpflanzen wurde dann folgendermaßen zur Befallseinschätzung der untersuchten Probe zusammengefasst:

Es wurden die Summen aller bonitierten Pflanzen und die Anzahl Pflanzen in den jeweiligen Befallsklassen von 0 % befallener Wurzeln bis 100% befallener Wurzeln festgehalten. Aus diesen Zahlen wird die Befallshäufigkeit (Anteil befallener Pflanzen der Gesamtprobe), die Befallsstärke (durchschnittlicher Anteil befallener Wurzeln der Gesamtprobe) und der Take-all Index (TAI, siehe unten) berechnet, letzterer enthält eine Gewichtung der Befallsklassen.

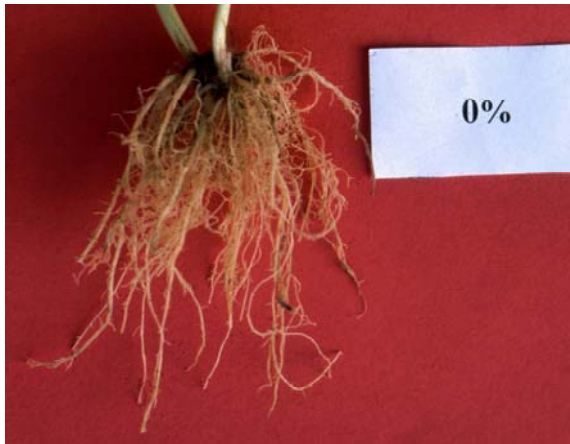


Photo 1: 0% Befall, keine sichtbare Verschwärzung



Photo 2: 10% Befall



Photo 3: 20% Befall



Photo 4: 50% Befall

die Hälfte des Wurzelwerks ist verschwärzt.



Photo 5: 70% Befall



Photo 6: 100% Befall.

das gesamte Wurzelwerk ist befallen. Myzel wächst bereits aufwärts über die Halmbasis.

Der Bogen enthielt zur eindeutigen Zuordnung der Bonitur wichtige Kenndaten der Probe wie Probennummer, Einsender, Variante. Die Abstimmung (Kalibrierung) der Bonitierenden erfolgte durch Bildmaterial (Abb. 3) und regelmäßige gegenseitige Kontrolle.

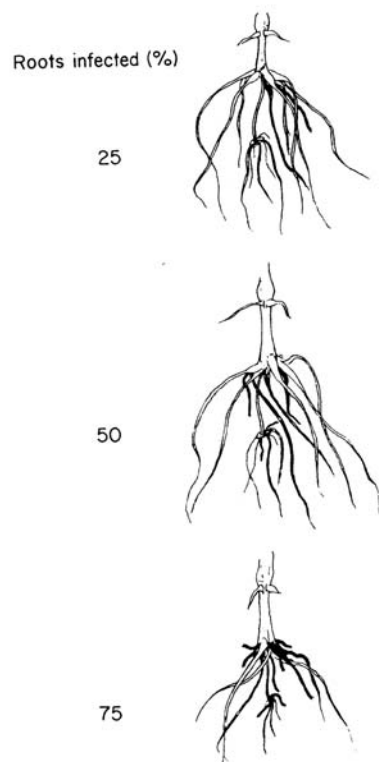


Abb. 3: Boniturschema zu Prozent Wurzelbefall aus Clarkson und Polley 1981

Zur Differenzialdiagnose bei diesem Boniturverfahren half der veränderte Habitus der Wurzeln. Die mit Schwarzbeinigkeit befallenen Wurzeln reagieren auf die Penetration durch die Hyphen der Varietäten von *Gäumannomyces graminis* neben der Bildung der Melanine, die für die namensgebende Schwarzfärbung verantwortlich sind, auch mit der verstärkten Einlagerung von Lignin in die Zellwände der Wurzeln. Bei fortschreitender Zerstörung der Wurzeln macht sich dies neben der Verschwärzung auch in einer spürbaren Verholzung und Vermorschung bemerkbar. Darüber hinaus zeigen die befallenen Wurzeln eine deutlich reduzierte Anzahl von Nebenwurzeln und Wurzelhaaren (Photo 7).



Photo 7: Direkter Vergleich der Wurzeln von gesunden und stark mit Schwarzbeinigkeit befallenen Pflanzen.

Das befallene Wurzelwerk ist verschwärzt, verholzt und deutlich weniger verzweigt.

Zur weiteren Absicherung der Diagnose wurde ein Stereomikroskop mit 60facher Vergrößerung hinzugezogen. Dabei lässt sich der Erreger anhand seiner charakteristischen Laufhyphen (Photo 8) eindeutig identifizieren und gegenüber anderen, möglichen Ursachen der Wurzelverschwärzungen wie Verletzungen oder andere Erreger abgrenzen.



Photo 8: Wurzel (60x), oben mit *Gg* befallen, unten befallsfrei.

An der infizierten Wurzel fehlen die Wurzelhaare und es lassen sich die charakteristischen, dunklen Laufhyphen des Pilzes erkennen.

Da Schwarzbeinigkeit oft als Erkrankung der Halmbasis eingeordnet wurde und um die Ertragseffekte des Schwarzbeinigkeitsbefalls gegenüber dem Befall mit weiteren

Halmbasiserregern abzugrenzen, wurde für Proben ab BBCH 71 zusätzlich auf demselben Boniturbogen eine Halmbasisbonitur durchgeführt werden.

Dabei wurden entsprechend der EPPO – Richtlinie zur Ermittlung des Halmbbruchindex (Anonymous 1996) die ersten 40 Halme einer Probe in folgende Befallsklassen eingeteilt:

1 = kein Befall

2 = bis zu 50% des Stängelumfangs sind befallen

3 = mehr als 50% des Stängelumfangs sind befallen

4 = die Halmbasis ist vermorscht.

Aus den gewichteten Anteilen der einzelnen Befallsklassen errechnet sich der Halmbbruchindex. Da der Halmbbruchindex nur die Befallsstärke anhand der unspezifischen Verbräunung der Halmbasis erfasst, wird zusätzlich bei der Sichtbonitur der Befall entsprechend der Art der Verschwärzung oder Verbräunung einem Erreger zugeordnet. Dadurch ergeben sich die **Befallshäufigkeiten** der einzelnen Erreger an der **Halmbasis**. Die verwendeten Abkürzungen bedeuten:

F = FUS = unspezifische Verschwärzungen, wie sie durch Fusariosen hervorgerufen werden.

R = Riz c = *Rhizoctonia cerealis* oder „scharfer Augenfleck“

X = Psc. H. = *Tapesia yallundae*, Halmbbruch oder „Medallionfleck“

G = Ggt = durch Varietäten von *Gäumannomyces graminis* hervorgerufene Verschwärzung der Halmbasis

nix=Befallsfrei = keine Verfärbung der Halmbasis.

Durch die Bonitur der Halmbasis können Aussagen über ein ertragsrelevantes Auftreten von Halmbasiserkrankungen getroffen werden.

Von dieser Vorgehensweise abweichende Verfahren werden an entsprechender Stelle geschildert.

3.2 Verrechnung

Über die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke hinaus wurden gegebenenfalls noch folgende Indizes berechnet.

3.2.1 Take-all Index (TAI)

Nach dem deutschen Vorschlag für eine EPPO Richtlinie zur Prüfung von Saatgutbehandlungsmitteln (Broschewitz et al. 1999) sollen die Befallswerte für Schwarzbeinigkeit ähnlich wie bei Halmbruch zu einem Take-all Index, abgekürzt TAI, verrechnet werden. Zuerst werden die einzelnen Pflanzen bzw. Wurzeln entsprechend ihrer Verschwärzung in 5 Befallsklassen eingeteilt:

Klasse	Anteil verschwärzter Wurzeln
1	0 %
2	1 – 10 %
3	11 – 30 %
4	31 – 60 %
5	61 – 100%

Aus der Anzahl der Pflanzen in jeder Klasse (n_x) errechnet sich der Index nach folgender Formel:

$$\text{TAI} = \frac{n_1 \times 0 + n_2 \times 10 + n_3 \times 30 + n_4 \times 60 + n_5 \times 100}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}$$

3.2.2 Halmbasisbonituren

Ähnlich wie beim TAI wird bei der Halmbasisbonitur ein Index errechnet. Zuerst wird der Grad der Verbräunung des Stängelumfangs an der Halmbasis der einzelnen Pflanzen in folgende 4 Befallsklassen eingeteilt:

Klasse	Grad der Verbräunung an der Halmbasis
1	Nicht verbräunt
2	Weniger als 50 % des Stängelumfangs verbräunt
3	Mehr 50 % des Stängelumfangs verbräunt
4	vermorscht

Dies wird für mindestens 40 Halme einer Probe durchgeführt. Aus der Anzahl der Pflanzen in jeder Klasse (z_x) errechnet sich der Index nach folgender Formel:

$$\text{Halmbruchindex} = \frac{z_1 \times 0 + z_2 \times 25 + z_3 \times 50 + z_4 \times 100}{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}$$

Da der Halmbruchindex nur die Verbräunung der Halmbasis berücksichtigt, nicht jedoch deren Ursache, wurde zusätzlich eine qualitative Sichtbonitur durchgeführt, welchem pilzlichen Schaderreger die Art der Verbräunung zugeordnet werden kann. Der vorherrschende Erreger wird für jede Pflanze einer Probe notiert. Aus dem Anteil eines Erregers an der Summe der Bonituren errechnet sich die Befallshäufigkeit des Halmbasiserregers für diese Probe.

3.3 Monitoring

Über kooperierende Institutionen wurden das Anschreiben mit Anleitung und der Datenerhebungsbogen an Probennehmer in ganz Deutschland verteilt und eine große Anzahl von Proben aus überregionalen Versuchsserien beigesteuert.

Der Datenbogen bestand aus den Probandaten, Standortdaten und Angaben zur Bestandesführung und Ertragsziel. Es wurden Daten abgefragt, die nach Angaben aus der Literatur Einflussfaktoren auf die Epidemiologie darstellen, und die vom Probennehmer mit wenig Aufwand erhoben werden können.

Tab. 1: Begleitdaten zu den Proben im Monitoring

Probandaten:

Angaben zur geographischen Zuordnung	Postleitzahl, Gemeinenummer, Landkreis, Geokoordinaten (Länge/Breite)
Variante	Vor allem Beizung
Fruchtfolge	Vorvorfrucht, Vorfrucht, Frucht, Sorte
Probenahme	Datum, BBCH-Stadium

Standortdaten:

Boden	Bodenart, Bodenpunkte, pH
Bodenbearbeitung	Gerät (wendend, nicht wendend, Direktsaat), Termin
Aussaat	Termin, Saatstärke im Vergleich zu ortsüblich
Verungrasung	Stark schwach, Bekämpft?, Quecke?
Beschreibung des Versuchsstandortes	Schlaggröße, Homogenität, Beschaffenheit der Probenahmestelle, Organische Substanz
Witterung	Allgemeine Aussagen zur Vegetationszeit

Bestandesführung und Ertragsziel:

N-Düngung	Düngemittel, Termin, Menge
Krankheiten	
Fungizideinsatz	Mittel, Termin, Menge (Einsatz von Strobilurinen?)
Ertrag	Ertragserwartung, Standortüblicher Ertrag, Regionaler Durchschnitt

Die Probennehmer entnahmen entsprechend der Anleitung Pflanzenproben mit Wurzelballen aus Weizenschlägen und schickten sie zur Bonitur ein. Zu jeder Probe wurden vom Probennehmer mindestens die Probendaten ausgefüllt.

Die Proben wurden am Lehrstuhl mit einer eindeutigen Kennnummer erfasst und entsprechend der oben geschilderten Vorgehensweise der Befall festgestellt.

Sämtliche Bonituren und die dazu gehörenden Begleitdaten wurden in einer Datenbank zusammengefasst. Diese Datenbank war Ausgangspunkt für die Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der verschiedenen, erfassten Faktoren auf das Auftreten und die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland.

3.4 Feldversuche

Einige Einflussfaktoren und Hypothesen über Zusammenhänge konnten nicht oder nicht ausreichend im Monitoring untersucht werden. Aus diesem Grund wurden in den Vegetationsperioden 1998-2000 ergänzende Feldversuche zu verschiedenen Fragestellungen durchgeführt. Schwerpunkte der Feldversuche waren die Wechselwirkungen zwischen Schwarzbeinigkeit bzw. Schwarzbeinigkeitsbekämpfung und dem Wurzelsystem, Einsatz von Blattfungiziden und Auswirkungen auf den Ertrag. Die Versuche wurden an verschiedenen Standorten durchgeführt.

Die Standorte unterscheiden sich klimatisch und vom Boden her wenig. Die wichtigsten Befallsvarianten sind in den Abschnitten zu den jeweiligen Versuchen angegeben, die übrigen Maßnahmen wurden standortüblich durchgeführt und hatten keinen befallsdifferenzierenden Einfluss.

Jede Variante wurde den Einflussfaktoren entsprechend in voll randomisierten Blockanlagen bzw. zweifaktoriellen Spaltanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Für die Probenahme war eine Probenahmeparzelle oder ein ausreichend großer Bereich vorgesehen, der nicht beerntet wurde. Die Ertragsermittlung erfolgte im Kerndrusch, die beerntete Fläche war mindestens 10 m².

Tab. 2: Versuchsstandorte (Quelle: Angaben der Versuchstationen, Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern)

	Roggenstein	Thalhausen	Weihenstephan
Langjähriges Temperaturmittel	8,0 °C	7,9 °C	7,9 °C
Langjähriges Niederschlagsmittel	850-1000 mm	750-800 mm	750-800 mm
Höhe über NN	534 m	490 m	476 m
Bodentyp	sL	Slu,Lsu/Lu, Uls	sL/uL
Ackerzahl	55	Große Unterschiede innerhalb de Schlages	65/72

3.4.1 Versuche 1998

1998 wurden Versuche in Weihenstephan und Roggenstein durchgeführt.

Die Varianten in Weihenstephan waren Vorfrucht, Sorte, Beizung gegen Schwarzbeinigkeit und der Einfluss von unterschiedlichen Wirkstoffgruppen bei den Blattfungiziden. Schwerpunktmäßig wurde das Wurzelwachstum über die Wurzellängendichte, der Wurzelbefall, der Blattbefall und der Ertrag bestimmt (Tab. 3).

Tab. 3: Versuch in Weihenstephan, Erntejahr 1998

	Weihenstephan 1998
Vorfrucht	Winterweizen, Kartoffel, Stillelegung
Sorte	Astron, Batis
Saattermin	7.10.1997
Beize	Standardbeize (Abavit) Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Jockey)
Blattfungizid	Unbehandelt Azol: Sportak Alpha+ Zenit, Opus Top, Opus Top Strobilurin: Sportak Alpha+ Juwel, Juwel, Amistar
Weitere Einflussfaktoren	
Ermittelte Parameter	Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Blattbefall, Ertrag

Tab. 4: Versuche in Roggenstein, Erntejahr 1998

	Roggenstein WW3 1998	Roggenstein WW1 1998
Vorfrucht	Hafer	Weizen
Sorte	Astron, Tambor	Bandit, Batis
Saattermin	7.10.1997	1.10.1997, 28.10.1997
Beize	ungebeizt Schwarzbeinigkeitsbeize (Fluquinconazole)	Standardbeize Schwarzbeinigkeitsbeize (Fluquinconazole)
Blattfungizid		Einheitlich
Weitere Einflussfaktoren		N-Düngung(kg): 40+ - +60+40 70+30+30+70
Ermittelte Parameter	Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Ertrag	Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Ertrag

In Roggenstein waren zwei Versuche auf Wurzelbefall untersucht worden und die Wurzellängendichte bestimmt worden (Tab. 4). Der eine Versuch (WW3 1998) war nach Vorfrucht Hafer in den Sorten Astron und Tambor mit unterschiedlichen Beizvarianten angelegt worden. Es wurden die ungebeizten und die Varianten mit der Schwarzbeinigkeitsbeize untersucht.

Der zweite Versuch wurde nach Vorfrucht Weizen durchgeführt (WW1 1998). Die untersuchten Varianten waren die Sorten Batis und Bandit nach früher und später Saat (1.10.1997, 28.10.1997), hohe und geringe N-Düngung und Schwarzbeinigkeitsbeize im Vergleich zur Standardbeize. Die Ertragsermittlung beider Versuche erfolgte durch die Versuchstechnik in Roggenstein.

3.4.2 Versuche 1999

Im Erntejahr 1999 waren Versuche in Weihenstephan und Thalhausen durchgeführt worden (Tab. 5). Die Standorte liegen nur 4 km voneinander entfernt und sind somit der gleichen Witterung ausgesetzt.

In Weihenstephan sollte eine maximale Befallsdifferenzierung durch den Vergleich von später Saat (23.10.1998) nach Vorfrucht Kartoffel mit früher Saat (25.9.1998) nach Winterweizenvorfrucht erzielt werden. Die Sorte war Astron. Variiert wurden darüber hinaus die Beizung und der Blattfungizideinsatz. Ermittelt wurden Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Blattbefall und Ertrag.

Tab. 5: Versuche in Weihenstephan und Thalhausen, Erntejahr 1999

	Weihenstephan 1999	Thalhausen 1999
Vorfrucht	Kartoffel/Winterweizen	Weizen
Sorte	Astron	Xanthos, Pegassos
Saattermin	23.10.1998/25.9.1998	22.10.1998
Beize	Standardbeize (Abavit) Schwarzbeinigkeitsbeize (Fluquinconazole)	ungebeizt Schwarzbeinigkeitsbeize (Fluquinconazole)
Blattfungizid	Unbehandelt Azol: Radius, Gladio Strobilurin: Stratego, Stratego	Einheitlich, keine Balttfungizidvarianten
Weitere Einflussfaktoren		N-Düngung(kg): 0 160
Ermittelte Parameter	Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Blattbefall, Ertrag	Wurzellängendichte, Wurzelbefall, Frisch- und Trockenmasse

In Thalhausen war ein Versuch zur teilschlagspezifischen Bewirtschaftung angelegt worden (Geesing 2003, Liebler 2003). Der Schlag lag an einem Hang und verfügte im oberen Teil über eine sehr niedrige Bodenfruchtbarkeit aufgrund des sandigen bis sandig-schluffigen Bodens mit einer nutzbaren Feldkapazität (auf 90 cm) von 100 mm. Im unteren Teil geht die Bodenart von schluffigem bis stark tonigem Lehm mit 160 mm nutzbarer Feldkapazität. Der Kiesanteil in Gewichtsprozent lag unten < 2 % im gesamten Horizont; oben bei 40 - 50 % (Geesing 2003). Aufgrund der Vorfrucht bestand Risiko von erhöhtem Schwarzbeinigkeitsbefall, weshalb die Beizvarianten mit und ohne Beizung gegen Schwarzbeinigkeitsbefall angelegt worden sind. Es wurden neben dem Einfluss der Beizung Proben der Sorten Xanthos und Pegassos bei keiner und hoher N Düngung auf Wurzellängendichte und Wurzelbefall untersucht. Da die beprobten Parzellen nicht beerntet wurden, sind Frisch- und Trockenmasse zu unterschiedlichen Terminen ermittelt worden.

3.4.3 Versuche 2000

Im Erntejahr 2000 wurde in Weihenstephan ein Versuch durchgeführt, bei dem nach messbaren Parametern gesucht wurde, um den Einfluss des Wurzelbefalls auf den Ertrag zu beschreiben. Der Befallsdruck mit Schwarzbeinigkeitsbefall in der Sorte Batis wurde durch 3 Anbaustufen variiert: Weizen nach Vorfrucht Raps (WW1), nach Vorfrucht Weizen (WW2) und als 3. Weizen hintereinander (WW3) (Tab. 6). Bei der Beizung wurde die Standardbeize Abavit mit den schwarzbeinigkeitswirksamen Beizen Jockey[®] und Latitude[®] verglichen. Bei

dem Blattfungizideinsatz gab es eine unbehandelte Variante, eine Variante mit Fungiziden aus der Wirkstoffgruppe der Azole und eine mit Fungiziden, bei denen auch Wirkstoffe aus der Gruppe der Strobilurine enthalten waren. Das Wurzelwachstum wurde über Minirhizotronaufnahmen bestimmt. Zur Wurzeleistung wurden Parameter zur Stickstoffversorgung und der Wasserversorgung gemessen. Es wurde der Wurzelbefall, Blattbefall und der Ertrag ermittelt.

Tab. 6: Versuch in Weihenstephan, Erntejahr 2000

Weihenstephan 2000	WW1	WW2	WW3
Vorfrucht	Raps	Weizen	Weizen
Sorte	Batis		
Saattermin	13.10.1999		
Beize	Standardbeize (Abavit) Jockey (Fluquinconazole) Latitude (Silthiofam)		
Blattfungizid	Unbehandelt Azol: Radius, Gladio, Opus Top Strobilurin: Unix+Juwel Top, Juwel Top, Stratego		
Vorvorfrucht	Weizen	Kartoffeln	Weizen
N-Düngung(kg)	60+30+40 60+60+80		
Ermittelte Parameter	Wurzelwachstum, Wurzeleistung, Wurzelbefall, Blattbefall, Ertrag		

3.5 Blattbonituren

Bei den Untersuchungen, in denen es um die Wechselwirkung der Schwarzbeinigkeitsbekämpfung mit dem Blattfungizideinsatz ging, wurden Blattbonituren durchgeführt. Dazu wurden zu den angegebenen Terminen an 3 Stellen einer Parzelle ganze Pflanzen als Probe gezogen. Aus der Probe einer Parzelle wurden 10 Haupttriebe ausgewählt. Die Blätter wurden nach Blattetage getrennt einzeln auf % nekrotisierte Blattfläche und % Befall mit Mehltau (*Blumeria graminis*) oder Rost (*Puccinia striiformis* bzw. *recondita*) bonitiert. Um die Sporulation von *Septoria*-Arten und *Drechslera tritici repentis* zu fördern wurden die Blätter anschließend für die Differentialdiagnose feuchtgelegt und mikroskopisch untersucht. Bei den *Septoria*-Arten wurde die Anzahl der Pyknidien/ Blatt geschätzt, bei *Drechslera tritici repentis* der Anteil der sporulierenden Blattfläche.

3.6 Wurzelwachstum

3.6.1 Wurzellängendichte

Die Wurzellängendichte entspricht der Länge an Wurzeln, die in einem bestimmten Bodenvolumen zum Zeitpunkt der Probenahme enthalten ist. Die Vorgehenseisen gehen auf die in Böhm (1979) und Schmid et al. (1997) beschriebenen Methoden zur Untersuchung von Wurzelsystemen zurück.

Am Probenahmetermin wurden aus der Parzelle mit Hilfe eines Wurzelbohrers 4 Proben der oberen 30 cm Boden entnommen. Die Proben ergeben ein Gesamtvolumen von 3016cm³.

Die Proben werden vorsichtig auf feinmaschigen Sieben ausgewaschen. Die leichten Wurzeln und weitere organische Substanz werden durch Dekantieren von den schweren, nach dem Auswaschen zurückgebliebenen Substanzen wie Steinen und groben Sand abgetrennt.

Das verbleibende Gemisch aus Wurzeln und organischer Substanz wurde zentrifugiert (3000U/min, 10min) und gewogen. Die Proben werden anschließend fein geschnitten und drei Unterproben von 0,5 g (je nach Verschmutzung 0,1-3,0 g) eingewogen.

Eine Teilprobe wird auf ein Sieb gegeben (289,53 cm²) und mikroskopisch bei 15facher Vergrößerung ausgezählt. Gezählt werden die Schnittstellen zwischen Wurzelsegmenten und einer in der Optik des Stereomikroskops fixierten Linie.

Die Wurzellänge (gesamt) errechnet sich aus der Anzahl der Schnittstellen nach folgender Formel:

$$\text{Wurzellänge (gesamt)} = \frac{n * F \pi * \text{Gewicht(Einwaage Gesamtprobe)}}{2 * H * 100 * \text{Gewicht (Teilprobe)}}$$

n: Summe der Schnittstellen F: Siebfläche

H: Fadenlänge 100: Anzahl Zählungen

Die Wurzellängendichte errechnet sich aus der Gesamtwurzellänge und dem Volumen der Probe in cm/cm³ Boden.

3.6.2 Minirhizotronaufnahmen

Alternativ zu der statischen Bestimmung der Wurzellängendichte wurde das Wurzelwachstum auch mit einem Minirhizotron Kamera System beobachtet worden ([BTC 100X Minirhizotron Video Microscope](#), Bartz Technology Corp, 116 'A' East Yanonali St, Santa Barbara, CA 93101). Dazu wurden 1,5m lange Plexiglasröhren in 45° Winkel in den Boden eingeschlagen

und das Wurzelwachstum an der Röhrenoberfläche mit Hilfe des Kamerasystems in regelmäßigen Abständen während der Vegetationszeit abgefilmt.

3.7 Wurzelleistung

3.7.1 Messungen zur Stickstoffversorgung

3.7.1.1 Messung der Blattgrünintensität

Wie bei Gerhard (2001) beschrieben wurde die Blattgrünintensität (BGI) zerstörungsfrei mit dem Chlorophyll-Meter (Synonym: SPAD-Meter) gemessen (SPAD-502, Fa. Hydro Agri Deutschland GmbH). Das Handgerät schätzt den Versorgungszustand eines Getreidebestandes mit Stickstoff über die Messung der Blattgrünintensität ab.

Das Handgerät besteht aus einer Blattkammer mit 2 Messpolen und einer Verrechnungseinheit. Für die jeweiligen Parzellen einer Variante wurden randomisiert Einzelblattmessungen vorgenommen. Gemessen wurde im mittleren Blattabschnitt der zu untersuchenden Blattetage. Für jede Parzelle wurden vom SPAD-Meter 30 Einzelmessungen zu einem Ausgabewert (=Blattgrünintensität) verrechnet. Das Gerät wurde zwischen den Messungen der Parzellen an einem Grünstandard kalibriert.

3.7.1.2 Bestimmung der Stickstoffgehalte im Verhältnis zur Biomasse

Zu unterschiedlichen Terminen wurde die Biomasse für ausgesuchte Varianten bestimmt. Dazu wurde 2 x 1m der oberirdischen Biomasse aus dem Probenahmebereich der Parzellen direkt oberhalb des Bodens geschnitten und die Frischmasse bestimmt. Nach dem Trocknen (Trockenschrank 5 Tage, 70°C) wurde die Trockenmasse gewogen und die Proben fein vermahlen. Die Bestimmung der Stickstoffgehalte des trockenen und homogen vermahlenden Probengutes erfolgte durch den Lehrstuhl für Pflanzenernährung der Technischen Universität München.

Aus den Messwerten konnten dann die Stickstoffgehalte im Verhältnis zur Frisch- und Trockenmasse und die Aufnahme von Stickstoff in die oberirdische Biomasse der Pflanzen errechnet werden.

3.7.2 Bestimmung des $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -Wertes

Aus dem Erntegut der einzelnen Parzellen wurde jeweils eine Teilprobe von ca. 500g für die weitere Untersuchung entnommen.

Zur Aufbereitung wurden die Erntegutproben auf gleichmäßige Feuchte im Trockenschrank für 14 Tage bei 60°C heruntergetrocknet und in 2 Schritten erst grob und anschließend in der

Scheibenschwingmühle fein vermahlen. Ziel der Aufbereitung ist es, für die Analysen ein möglichst homogenes und repräsentatives Probenmaterial zu haben, da nur 2mg zur Isotopenbestimmung eingewogen wurden. Es wurden für jede Probe 4 Unterproben mit 2mg ($\pm 0,05\text{mg}$) eingewogen.

Die Analysen wurden vom Lehrstuhl für Chemie der Technischen Universität München durchgeführt, der auf die Messung natürlicher Isotopengehalte spezialisiert ist.

3.8 Einsatz Geographischer Informations Systeme (GIS)

Zum Dokumentieren des deutschlandweiten Befallsauftretens der Schwarzbeinigkeit und zur Verarbeitung und Zuordnung der verschiedenen räumlichen Daten, die im Rahmen des Monitorings gesammelt worden waren, wurden die Geographischen bzw. Geostatistischen Informations Systeme (GIS) ArcView und Arc Info der Firma ESRI eingesetzt.

Die räumliche Zuordnung (Geokodierung) der Befallswerte erfolgte über die Postleitzahl. Zusätzliche geographische Daten wurden aus den Sammlungen ArcPLZ, ArcDeutschland (beide Esri), Daten zur Bodenbedeckung 1997 und Daten der landwirtschaftlichen Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung Fachserie 3 Reihe 3 – 1997-2000 (beide Statistisches Bundesamt, Wiesbaden) hinzugezogen. Durch den visuellen Vergleich zwischen den Befallsdaten und den verschiedenen Hintergrunddaten wurden Zusammenhänge mit regionalem Befallsauftreten untersucht.

Neben den Darstellungen der Ergebnisse aus dem Monitoring wurden mit ArcView Ergebnisse und Bonituren aus den Feldversuchen dargestellt. Dadurch war es im Gegensatz zu Fernerkundungs - Luftbildern möglich, neben dem Ertrag beliebige andere Werte wie z.B. Wurzelbonituren in ihrem räumlichen Auftreten zu zeigen. Die räumliche Zuordnung erfolgte über den Parzellenplan. Durch den Vergleich verschiedener thematischer Karten wurde versucht, Zusammenhänge mit dem Auftreten der Schwarzbeinigkeit im Bestand und Ertragseffekten zu finden.

3.9 Datenaufbereitung und statistische Verrechnung

Die Daten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm MS EXCEL gesammelt und aufbereitet. Zur Verknüpfung, Datenorganisation und Abfrage der umfangreichen Monitoringdaten wurde das Datenbankprogramm MS ACCESS verwendet.

Die Statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Programme Statistika und SPSS (Wiseman 2001).

Mittelwerte wurden varianzanalytisch untersucht, multiple Vergleiche wurden mit Hilfe des Tukey HSD Tests durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen 2 Variablen wurde über eine Regression überprüft und in einem Scatterplott dargestellt (Wiseman 2002). Da einige Variablen des Monitorings nicht die Voraussetzungen für eine multiple Regression erfüllten (Wiseman 2002), erfolgte die Untersuchung des Zusammenhangs mehrerer Variablen über Regressionsmodellbäume mit Hilfe des CHAID - Verfahrens (CHI-Square Automatic Interaction Detector). Dazu wurde das Programm Answertree verwendet (Anonymus 2001).

Die Angabe der Ergebnisse der statistischen Verrechnungen erfolgte unter Angabe des Verfahrens und der dazugehörigen Kennzahlen. Das Signifikanzniveau lag bei allen Tests bei 5%. Für schwächere Werte wird unter Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeit der Begriff Trend verwendet.

4 Beschreibung der deutschlandweiten Jahreswitterung während des Monitorings 1997-2000

Die Beschreibung der deutschlandweiten Jahreswitterung wurde aus den Halbjahresberichten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zu Witterung und Landwirtschaft zusammengefasst (Anonymus 1996/2-2000/2).

4.1 Monitoring 1997

Aussaat Herbst - Winter 1996: Der Sommer und auch der Herbst zeichneten sich durch eine unbeständige Witterung aus, so dass die anstehende Ernte und Bestellarbeiten immer wieder beeinträchtigt wurden.

Frühjahr 1997: Das erste Halbjahr 1997 war durch eine sehr kalte Witterung in der ersten Januarhälfte und durch unterdurchschnittliche Niederschlagssummen in den Monaten Dezember, Januar, März und April sowie im Süden noch im Mai gekennzeichnet. Hohe Niederschlagswerte traten im Februar und im Norden im Mai auf.

Sommer bis Ernte 1997: Im Juni und Juli herrschte eine unbeständige und kühle Witterung, der August wurde sehr warm und trocken.

4.2 Monitoring 1998

Aussaat Herbst - Winter 1997: Der September zeigte noch sommerlichen Charakter. Im Oktober wurde es erheblich zu kalt und auch im November blieben die Temperaturen meist unter den normalen Werten.

Frühjahr 1998: Winter und Frühjahr waren zu warm. Mit Ausnahme des äußersten Nordens und des Nordostens fielen die Wintermonate zu trocken aus, im Frühjahr blieb es im Süden und im südlichen Ostdeutschland niederschlagsarm.

Sommer bis Ernte 1998: Der Sommer fiel im Westen, Norden und Osten zu kühl und zu nass aus. Im Süden waren dagegen zu geringe Niederschläge bei geringfügig übernormalen Mitteltemperaturen zu verzeichnen.

4.3 Monitoring 1999

Aussaat Herbst Winter 1998: Im Herbst traten in allen Gebieten Deutschlands außergewöhnlich hohe Niederschläge auf. Die Böden wurden voll aufgefüllt und waren vom

Oktober an meist unbefahrbar. Insgesamt fiel der Winter mild aus mit weiterhin überdurchschnittlich hohen Niederschlagssummen in den meisten Bundesländern.

Frühjahr 1999: Im Frühjahr blieb es zu warm. Im Süden, Westen und Nordosten traten übernormale Niederschläge auf, vor allem im Süden war es erheblich zu nass.

Sommer bis Ernte 1999: Allgemein wechselten sich warme und kühle Abschnitte häufig ab. Ab Juli war es meist hochsommerlich warm und im Norden sogar trocken. Erst Mitte August fielen im Norden und Westen überdurchschnittliche Niederschläge.

4.4 Monitoring 2000

Aussaat Herbst - Winter 1999: Nach einem allgemein milden und trockenen Herbst kam es im November zu einem frühen Wintereinbruch. Allgemein war der Winter allerdings zu warm und zu nass.

Frühjahr 2000: Nach dem warmen und nassen Winter setzte sich diese Entwicklung auch im Frühjahr fort. Im April und Mai kam es zu sommerlich warmen Witterungsabschnitten, die erheblich über dem vieljährigen Mittel lagen. Gleichzeitig waren diese beiden Monate in den meisten Bundesländern zu trocken, so dass im Norden und Osten landwirtschaftliche Kulturen durch Trockenheit beeinträchtigt wurden.

Sommer bis Ernte 2000: Nachdem seit Jahresbeginn alle Vormonate zu warm und seit April in den meisten Gebieten auch zu trocken waren, wurde es im Juli nass und kühl, was Erntebehinderungen durch Lager und Durchwuchs nach sich zog. Die Ernte konnte jedoch unter günstigen Voraussetzungen im August fortgeführt werden. Aufgrund der Trockenheit und frühen Abreife lagen die Hektarerträge unter den Vorjahresergebnissen.

5 Ergebnisse

5.1 Deutschlandweites Monitoring

5.1.1 Regionales Befallsauftreten

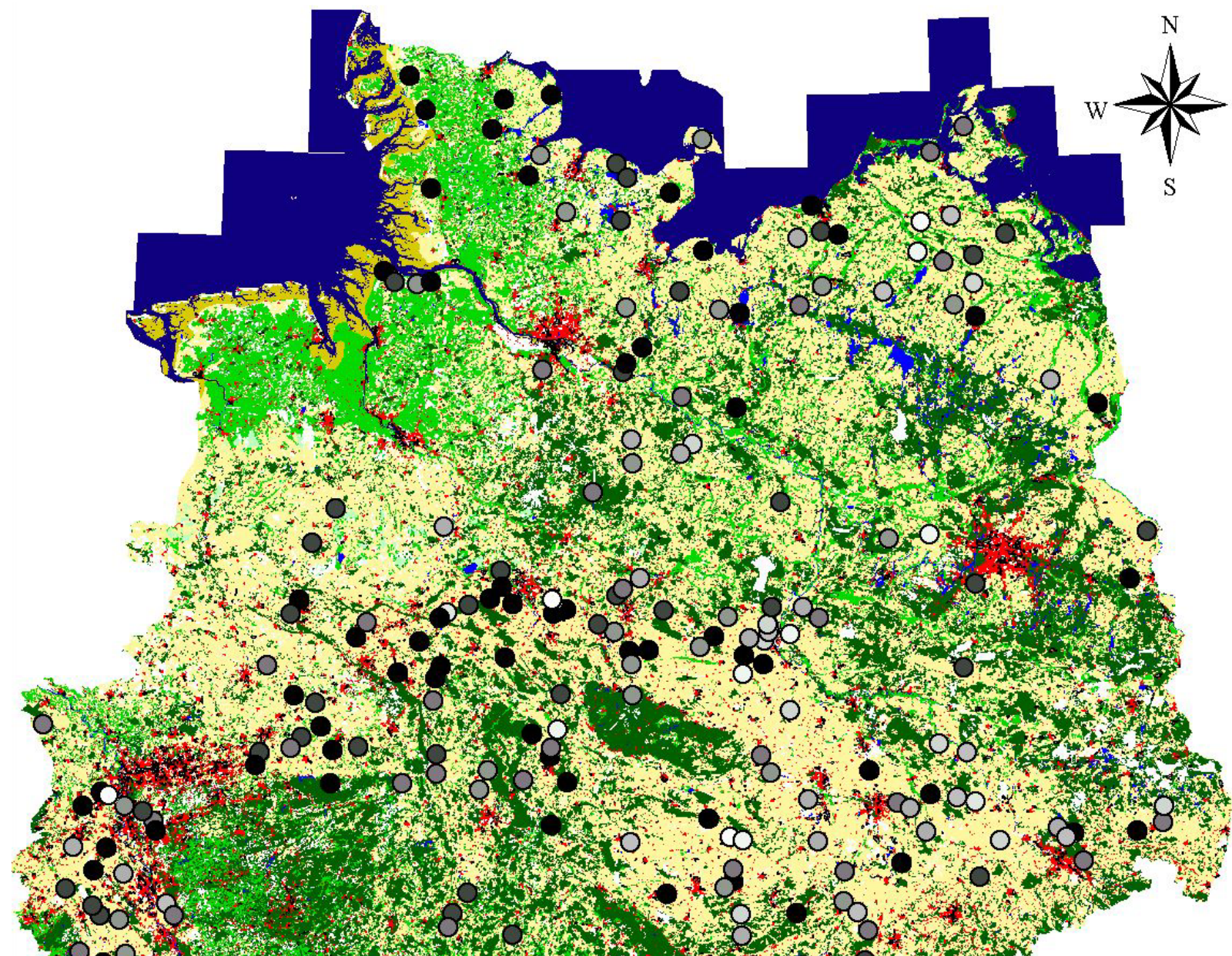
Für die Übersichten (Karten 1-4), ob in Deutschland bestimmte Regionen besonders stark von Schwarzbeinigkeit betroffen sind, wurden die im Monitoring von 1997-2000 ermittelten Befallswerte zum Zeitpunkt der Kornfüllung (ab BBCH 71) entsprechend der geographischen Lage der Probenahmestandorte dargestellt. Der Mittelwert der Befallshäufigkeit im Monitoring war 72%, die mittlere Befallsstärke lag bei 19%.

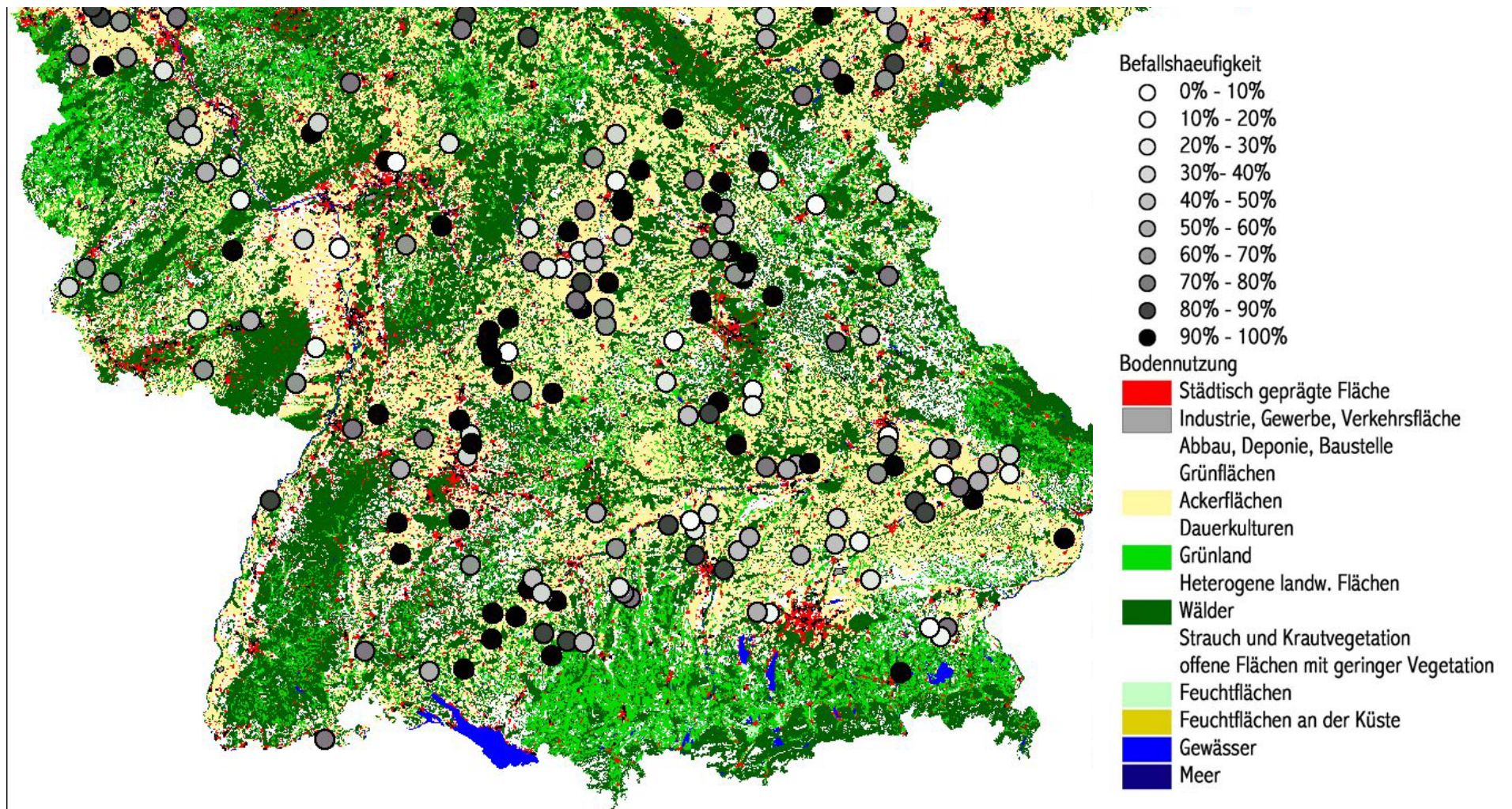
5.1.1.1 Einfluss der Bodennutzung

Karte 1 zeigt die Bodenbedeckung entsprechend der Erhebung des statistischen Bundesamtes von 1997. Die hellen Flächen stellen Bereiche mit überwiegend ackerbaulicher Nutzung dar, so dass die Zentren des Ackerbaus gut zu erkennen sind. Die grauen Punkte stellen die Befallshäufigkeiten mit Schwarzbeinigkeit an dem beprobten Standort dar. Aus Karte 1 wird deutlich, dass der Erreger der Schwarzbeinigkeit in allen Ackerbauregionen nachgewiesen werden konnte. Eine Konzentration von erhöhten Befallswerten lässt sich weder in den Zentren des Ackerbaus, noch in den Randgebieten erkennen. Auch gibt es keine ersichtliche Nord-Süd oder Ost-West Differenzierung im Befallsauftreten.

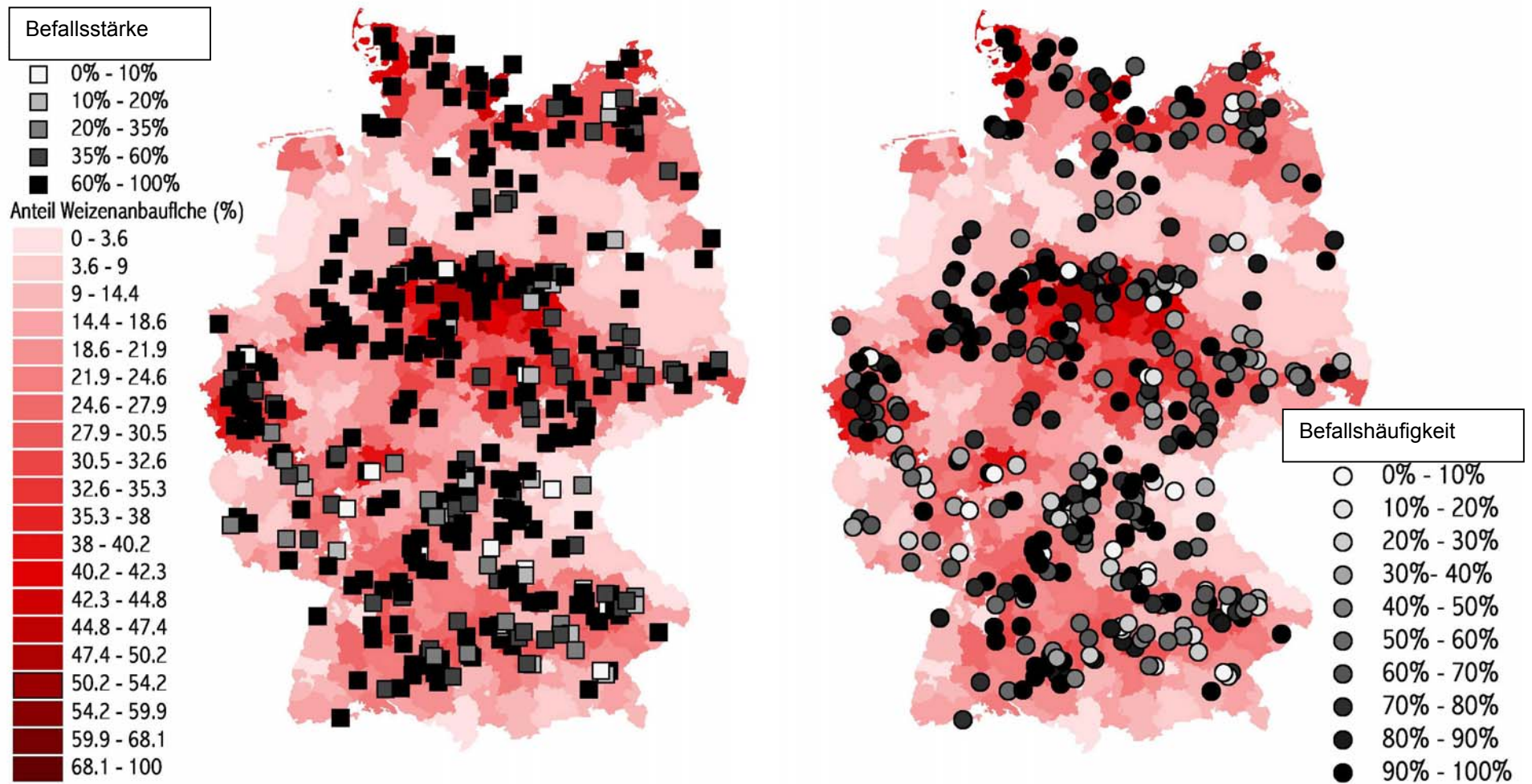
5.1.1.2 Einfluss des regionalen Anteils der häufigsten Vorfrüchte an der Ackerfläche

Die häufigsten Vorfrüchte im Monitoring waren Winterweizen (n = 394), Winterraps (n = 114) und Zuckerrüben (n = 99). Karte 2 zeigt die Befallswerte auf dem Hintergrund des Anteils der Weizenanbaufläche an der Ackerfläche. Hier scheint eine stärkere Häufung von hohen Befallswerten in den Gebieten mit hohem Anteil der Weizenanbaufläche (dunkelrot) vor allem im Westen, der Mitte und entlang der Norddeutschen Küsten. Doch auch unabhängig von dem Anteil der Weizenanbaufläche treten hohe und niedrige Befallswerte auf. Ein Einfluss der Flächenanteile von Zuckerrübe (Karte 3) und Winterraps (Karte 4) ist nicht zu erkennen.

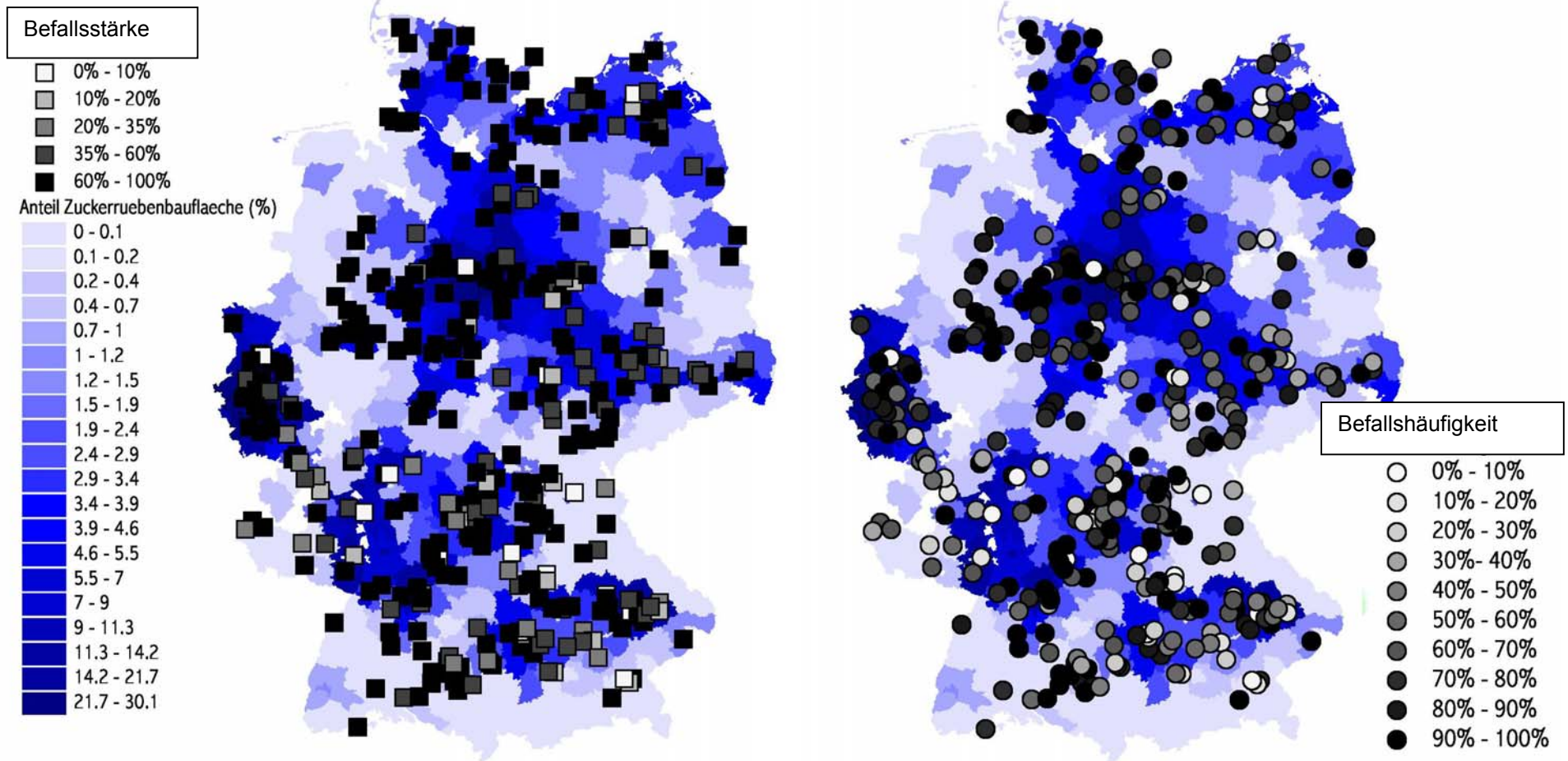




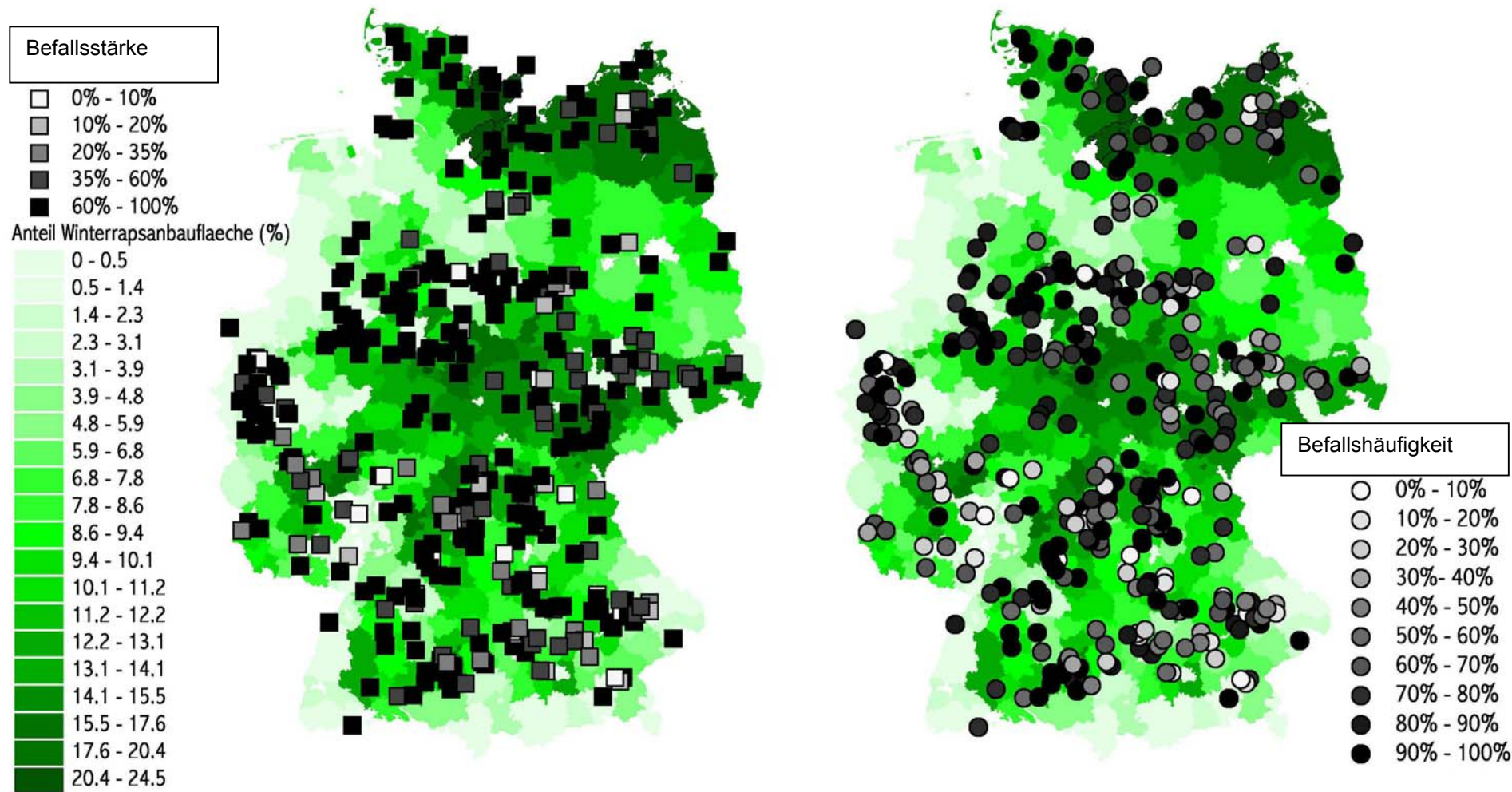
Karte 1: Befallsauftreten im Monitoring 1997-2000 im Vergleich mit der Bodennutzung



Karte 2: Einfluss des Anteils der Winterweizenanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit



Karte 3: Einfluss des Anteils der Zuckerrübenanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit



Karte 4: Einfluss des Anteils der Winterrapsanbaufläche an der Ackerfläche auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit

5.1.1.3 Einfluss des Monitoringjahres

Zum Vergleich der Jahreseffekte wurden die Befallswerte nach Jahr und nach Vorfruchtgruppen „Gesund“ und „Risiko“ aufgeteilt. Dies war notwendig, da die beiden Vorfruchtgruppen sich in Ihren Befallswerten unterscheiden und in unterschiedlichem Stichprobenumfang in die einzelnen Jahreswerte eingingen. Bei den Gesundvorfrüchten (Tab. 7) liegen die Befallshäufigkeiten der einzelnen Jahre zwischen 26% und 76% und die Befallsstärken zwischen 6% und 14%. Vor allem der Befall im Jahr 1999 war signifikant erhöht.

Tab. 7: Jahreseffekte auf die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke nach Gesundvorfrucht.

Die Tabelle fast Anzahl der Beobachtungen (n), Mittelwert, Standardabweichung (stdev), Minimalwert (Min) und Maximalwert (Max) zusammen. Statistisch unterschiedliche Mittelwerte sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet (Tukey-HSD).

	Jahr	Tukey-HSD	n	Mittelwert	stdev	Min	Max
Befallshäufigkeit [%]	1997	a	71	26.017	27.4722	0	100.0
	1998	b	197	57.672	29.6310	0	100.0
	1999	c	73	76.163	27.3838	8.3	100.0
	2000	a	21	39.904	22.4190	2.9	89.2
	1997-2000		362	54.161	32.7516	0	100.0
Befallsstärke [%]	1997	a	71	6.998	13.9734	0	78.8
	1998	a	197	8.977	8.2502	0	63.8
	1999	b	73	14.458	10.5615	0.9	57.8
	2000	a	21	6.030	3.8976	0.3	12.6
	1997-2000		362	9.523	10.2448	0	78.8

Bei den Risikovorfrüchten (Tab. 8) liegen die Befallshäufigkeiten zwischen 70% und 93% und die Befallsstärken zwischen 19% und 32%. Ähnlich wie bei den Gesundvorfrüchten gehört das Jahr 2000 statistisch zu der Gruppe mit den geringsten Befallswerte und 1999 zu der Gruppe mit den höchsten Werten.

Tab. 8: Jahreseffekte auf die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke nach Risikovorfrucht.

Die Tabelle fast Anzahl der Beobachtungen (n), Mittelwert, Standardabweichung (stdev), Minimalwert (Min) und Maximalwert (Max) zusammen. Statistisch unterschiedliche Mittelwerte sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet (Tukey-HSD Test).

	Jahr	Tukey-HSD	n	Mittelwert	stdev	Min	Max
Befallshäufigkeit [%]	1997	a	82	70.387	31.5188	1.9	100.0
	1998	c	207	86.416	19.9956	13.5	100.0
	1999	c	133	92.798	15.0268	18.3	100.0
	2000	b	94	78.202	24.4437	7.0	100.0
	1997-2000		516	84.017	23.2363	1.9	100.0
Befallsstärke [%]	1997	c	82	32.639	28.7305	0.2	98.2
	1998	a b	207	24.186	16.0728	1.3	81.1
	1999	b c	133	30.310	16.0862	1.9	69.9
	2000	a	94	19.300	14.7876	0.7	77.0
	1997-2000		516	26.218	18.9805	0.2	98.2

5.1.1.4 Einfluss des Untersuchungsjahres auf das Befallsauftreten in den Jahren 1997-2000 in Abhängigkeit von der Vorfrucht

Deutlich tritt bei den Befallswerten der Unterschied im Befallsniveau der Vorfrüchte hervor. Das regionale Befallsauftreten im Jahr 1997 zeigt leicht geringere Befallswerte vor allem im Osten Deutschlands. Dieser Effekt wird am deutlichsten bei den Befallshäufigkeiten der Risikovorfrucht (Karte 5).

1998 ist der Vorfruchteffekt geringer ausgeprägt als noch im Vorjahr. Eine regionale Differenzierung lässt sich bei den Befallshäufigkeiten der Gesundvorfrucht und bei den Befallsstärken der Risikovorfrucht erkennen. Bei den Befallshäufigkeiten der Gesundvorfrüchte fallen die weißen Punkte der geringen Befallswerte (0%-30%) im Südosten auf. Bei den Risikovorfrüchten fehlen die schwarzen Punkte der hohen Befallsstärken im Süden (Karte 6).

In dem Jahr 1999 kommt es zu einer sehr gleichmäßigen Verteilung der Befallswerte, ohne dass sich ein regionaler Schwerpunkt des Befallsgeschehens erkennen lässt (Karte 7).

Aufgrund einer modifizierten Fragestellung gab es 2000 im Verhältnis zu den Vorjahren weniger Monitoringstandorte. Regional erhöhte Befallswerte konnten jedoch in Schleswig - Holstein und Mecklenburg -Vorpommern entlang der Küste festgestellt werden (Karte 8).

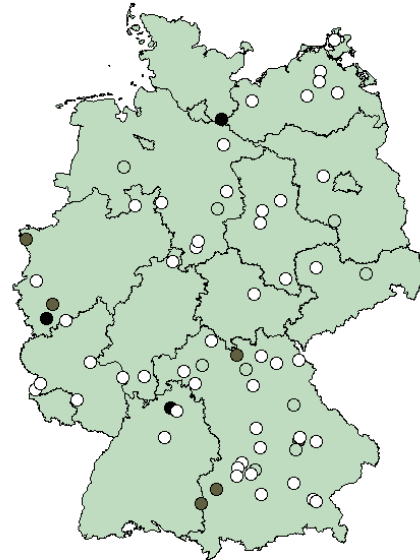
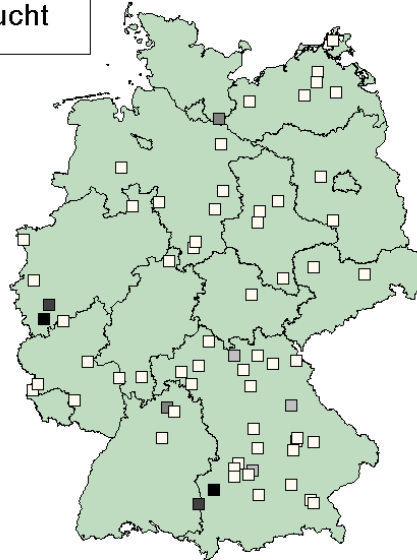
Die Ergebnisse weisen auf Jahreseffekte hin, ohne dass sich ein regionaltypisches Befallsauftreten erkennen lässt.

Insgesamt zeigen die Übersichten zum regionalem Auftreten, dass es überall in Deutschland zu Befall mit Schwarzbeinigkeit kommt. Das Befallsniveau ist nach Risikovorfrüchten höher als nach Gesundvorfrüchten und unterliegt jährlichen Schwankungen.

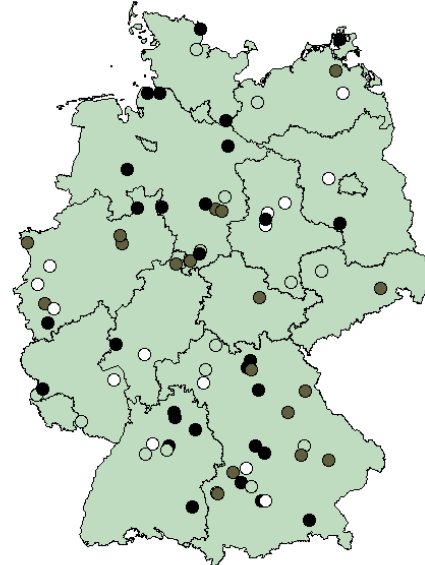
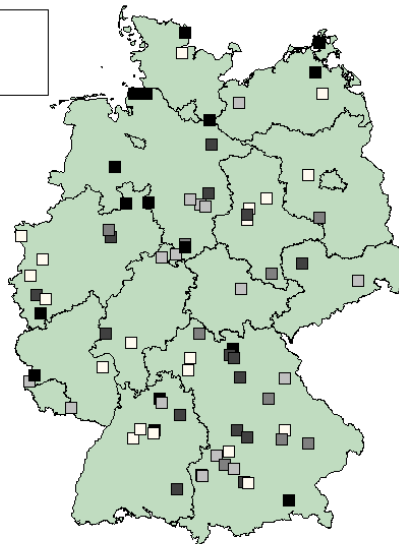
Befallsauftreten zur Endbonitur

1997

Gesundvorrucht



Risikovorrucht



Befallsstaerken in %

- 0% – 10%
- ◻ 10% – 20%
- ◼ 20% – 35%
- 35% – 60%
- 60% – 100%
- Bundeslaender

Befallshaeufigkeiten in %

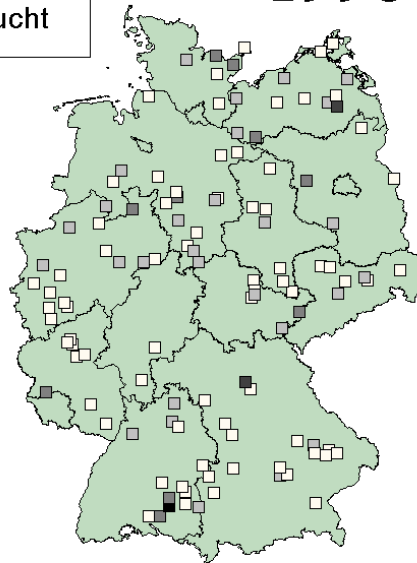
- 0% – 35%
- ◌ 35% – 70%
- 70% – 90%
- 90% – 100%
- Bundeslaender

Karte 5: Befallsauftreten zur Endbonitur 1997

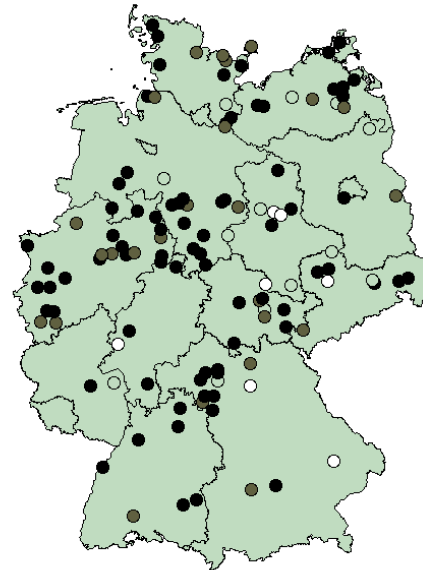
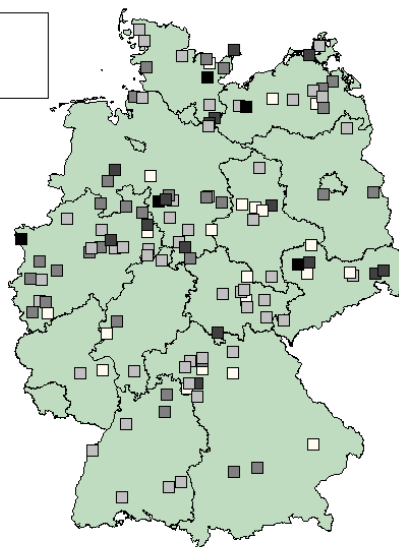
Befallsauftreten zur Endbonitur

1998

Gesundvorrucht



Risikovorrucht



Befallsstaerken in %

- 0% – 10%
- ◻ 10% – 20%
- ◼ 20% – 35%
- 35% – 60%
- 60% – 100%
- Bundeslaender

Befallshaeufigkeiten in %

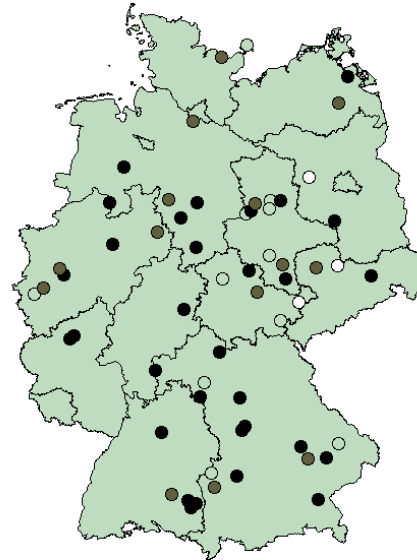
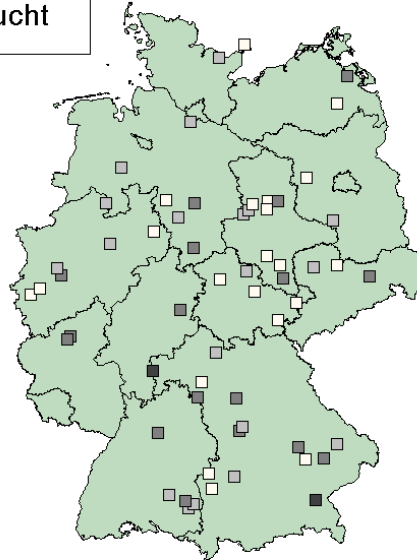
- 0% – 35%
- ◌ 35% – 70%
- 70% – 90%
- 90% – 100%
- Bundeslaender

Karte 6: Befallsauftreten zur Endbonitur 1998

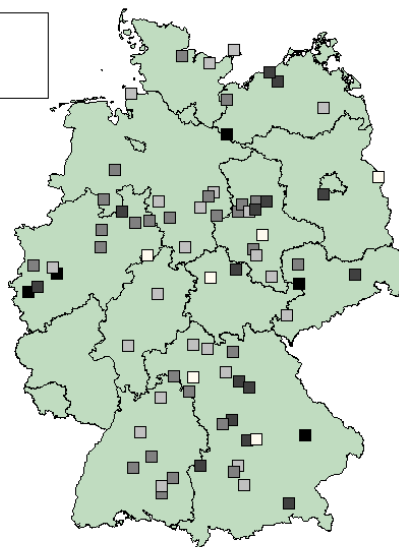
Befallsauftreten zur Endbonitur

1999

Gesundvorrucht



Risikovorrucht



Befallsstaerken in %

- 0% – 10%
- ◻ 10% – 20%
- 20% – 35%
- 35% – 60%
- 60% – 100%
- Bundeslaender

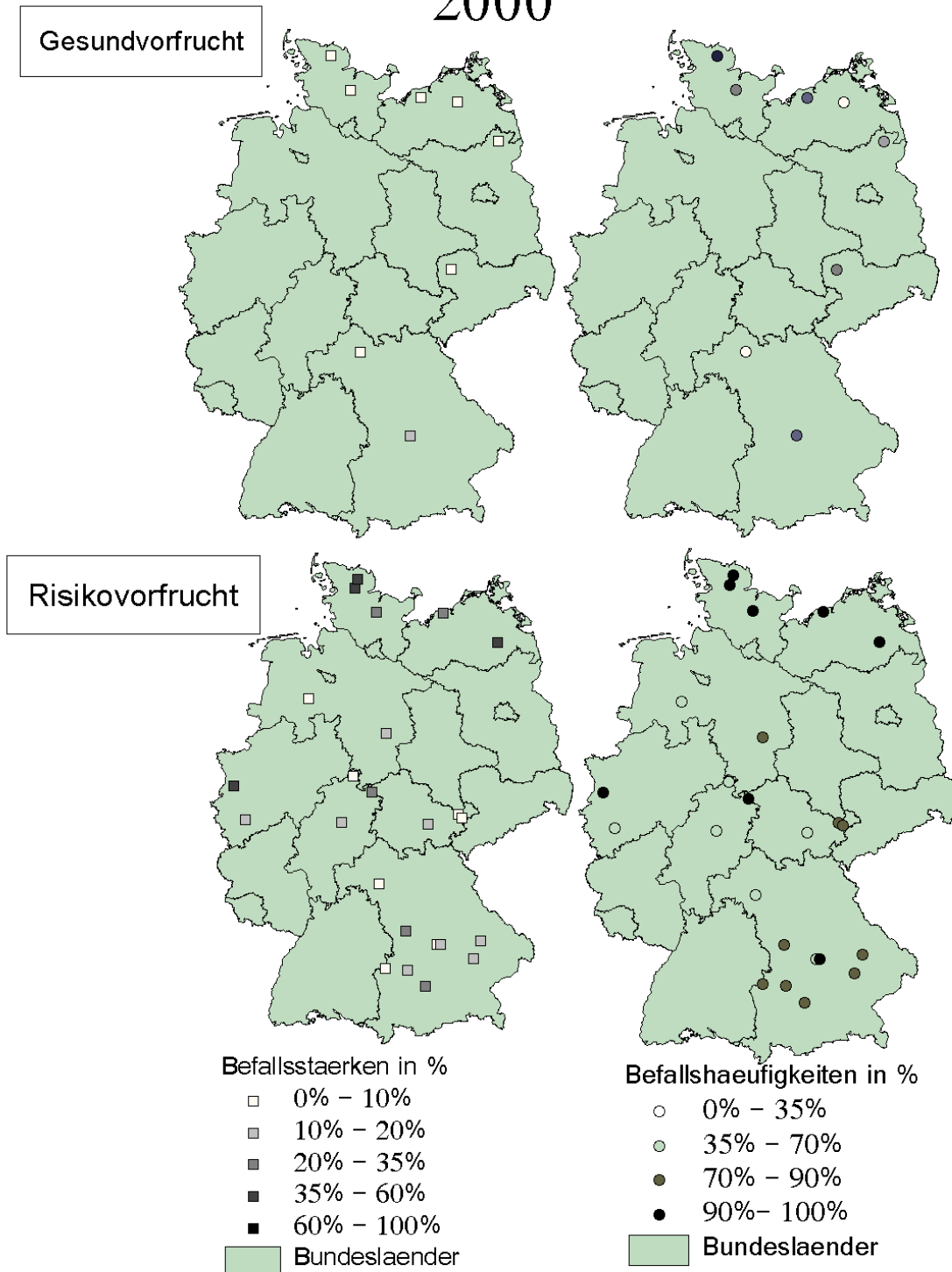
Befallshaeufigkeiten in %

- 0% – 35%
- ◌ 35% – 70%
- 70% – 90%
- 90% – 100%
- Bundeslaender

Karte 7: Befallsauftreten zur Endbonitur 1999

Befallsauftreten zur Endbonitur

2000



Karte 8: Befallsauftreten zur Endbonitur 2000

5.1.2 Einfluss von Standortfaktoren auf den Befall

5.1.2.1 Das Verhältnis von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke

Der Befall wurde mit den Parametern Befallshäufigkeit und Befallsstärke festgehalten. Es wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, um die Beziehung dieser beiden Werte zueinander zu klären. In der Gesamtregression zeigt sich ein exponentieller Zusammenhang ($r=0,66$). Für die einzelnen Versuchsjahre ergibt sich eine sehr ähnliche Regression, jedoch streuen die Werte unterschiedlich stark in den einzelnen Jahren (Tab. 9 und Abb. 4-8). Zur besseren Übersicht über die Verteilung der Werte sind zusätzlich Histogramme erstellt (Abb. 4-8, X für die Befallshäufigkeiten der X-Achse und Y für Befallsstärken der Y-Achse). Der Shapiro-Wilks-Test auf Normalverteilung der Befallshäufigkeit und der Befallsstärke war bei allen Vergleichen signifikant.

Es fällt auf, dass in allen Jahren bei einer Befallshäufigkeit von 70% eine Befallsstärke von 10% in der Regression erreicht wird.

Tab. 9: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke für die untersuchten Jahre

Jahr	r	p	Regressionsgleichung
1997	0.7972	00.0000	$y = -0.0744805216 + 0.566505798 * x$
1998	0.6701	00.0000	$y = -0.0822363979 + 0.344602199 * x$
1999	0.5959	00.0000	$y = -0.139895195 + 0.44511668 * x$
2000	0.7229	00.0000	$y = -0.0935703549 + 0.368461921 * x$
1997-2000	0.6561	00.0000	$y = -0.0766637508 + 0.375562181 * x$

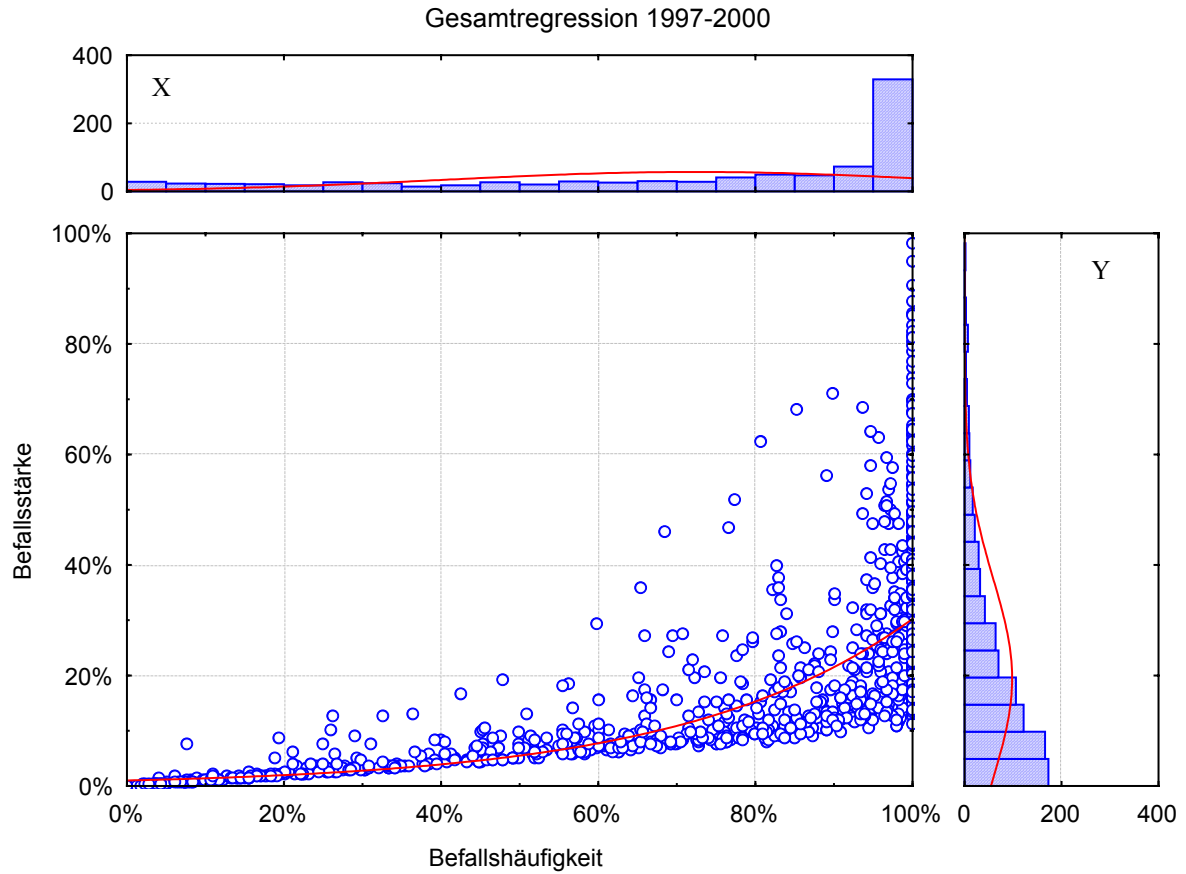


Abb. 4: Gesamtregression 1997-2000 der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke.

Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

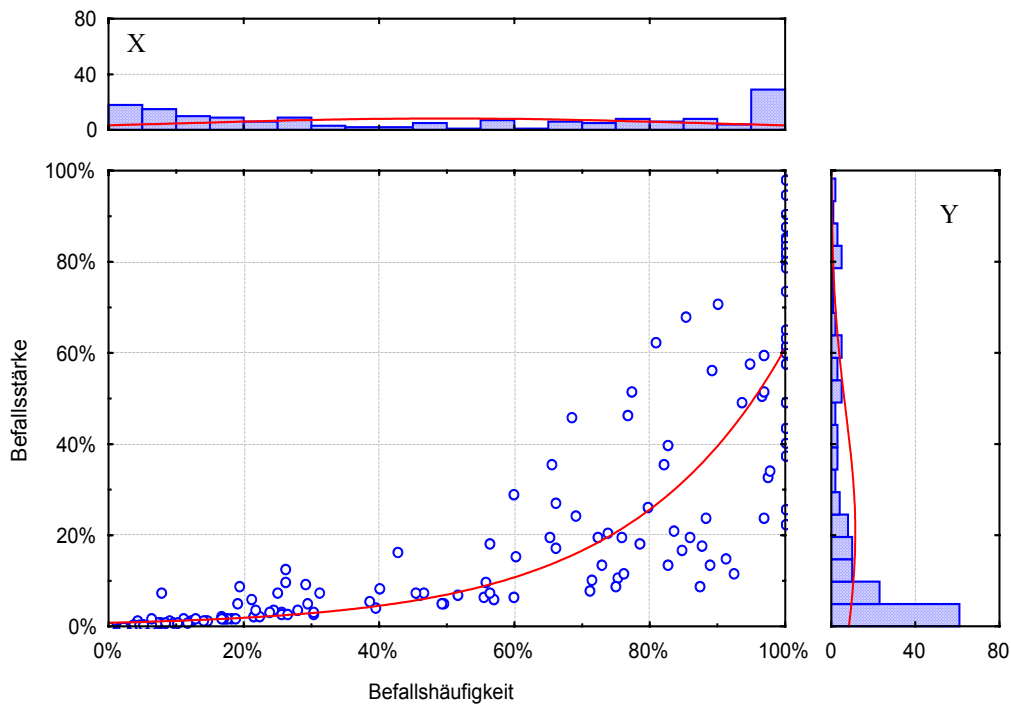


Abb. 5: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1997.

Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

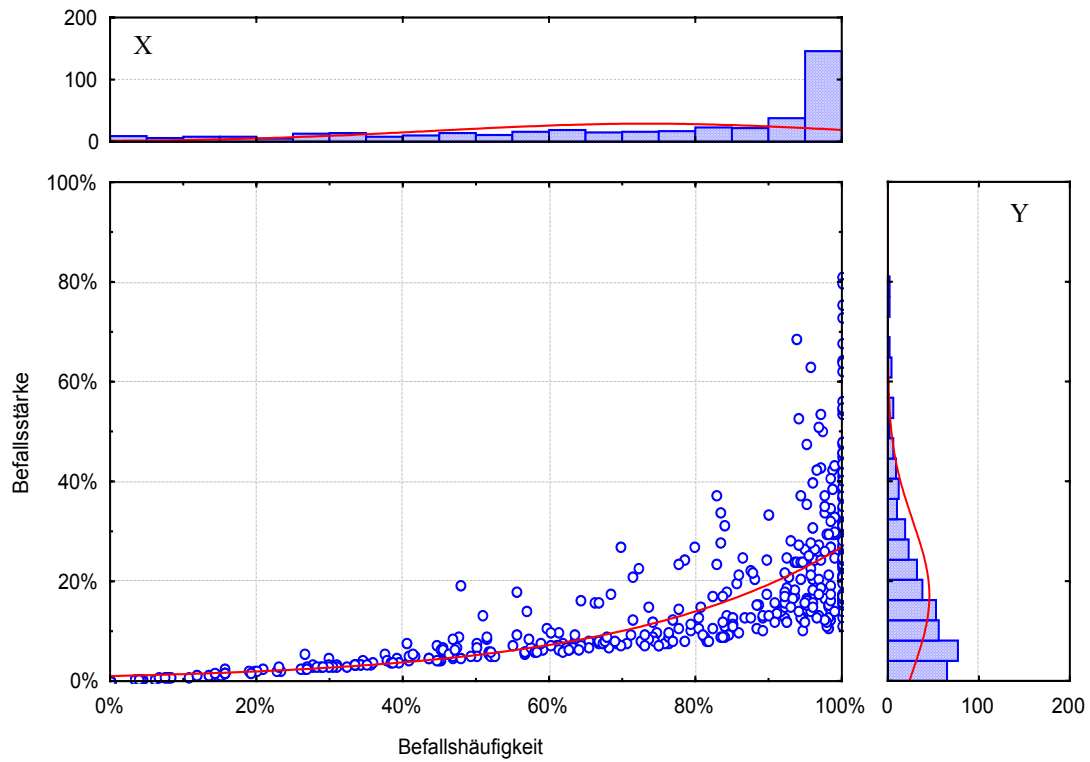


Abb. 6: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1998.
Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

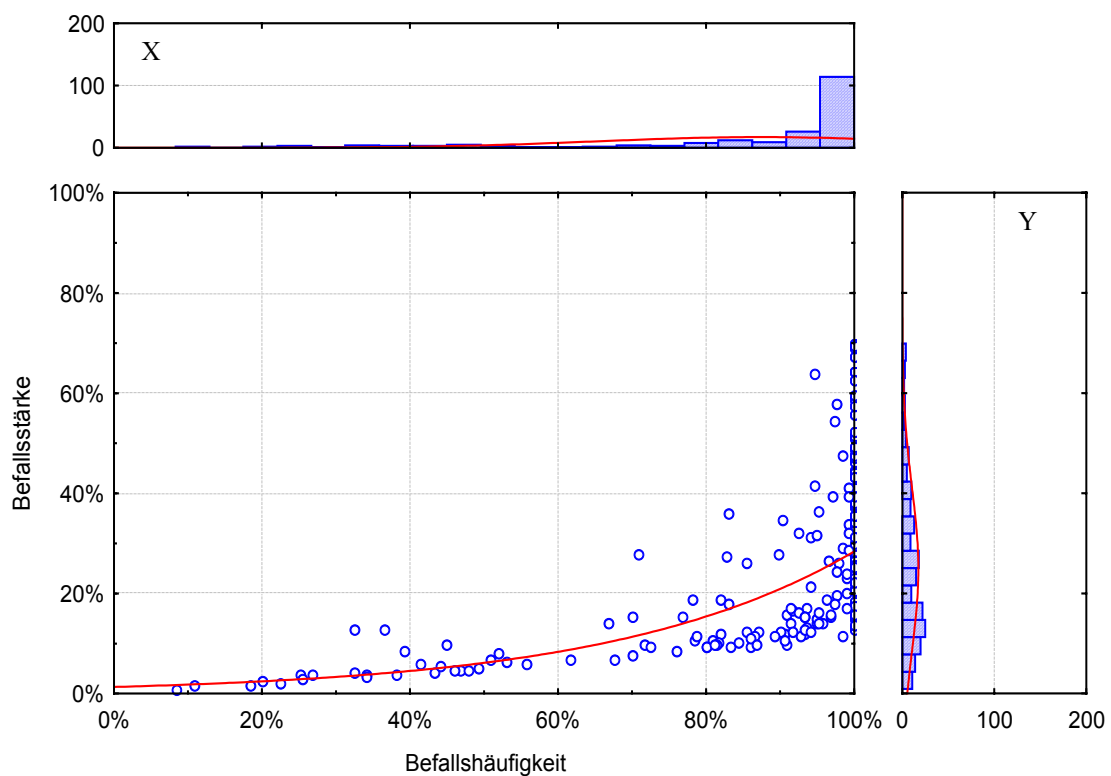


Abb. 7: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 1999.
Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

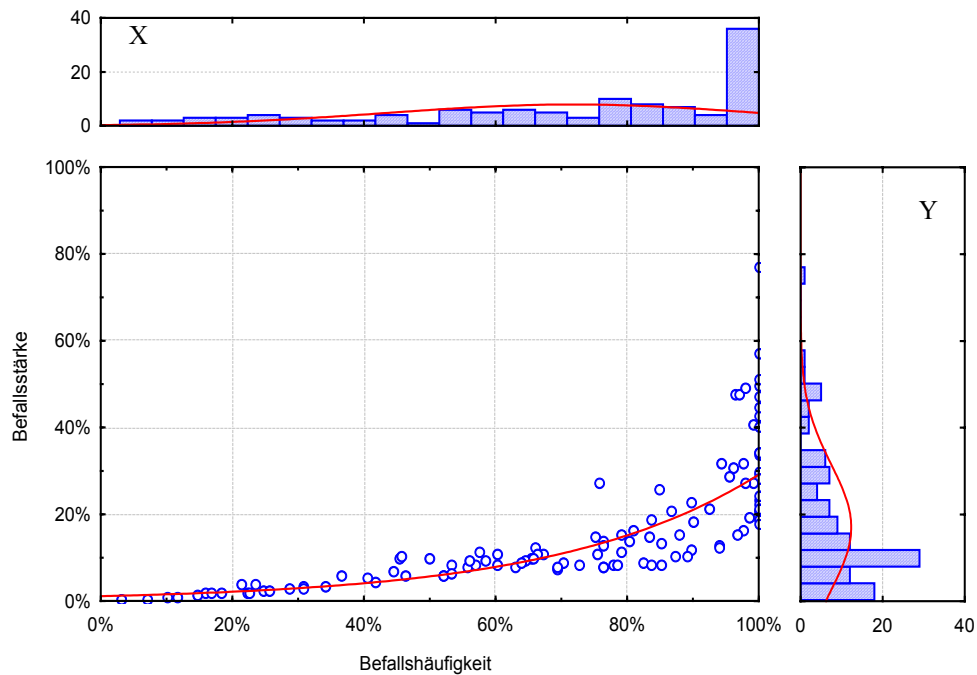


Abb. 8: Regression der Befallshäufigkeit auf die Befallsstärke im Untersuchungsjahr 2000.
Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

5.1.2.2 Einfluss der Vorfrucht

Tab. 10 und Abb. 9 fassen die im Monitoring von 1997-2000 ermittelten Endbonituren (BBCH>71) für die unterschiedlichen Vorfrüchte zusammen. Am häufigsten kamen die Vorfrüchte Winterweizen ($n = 277$), Winterraps ($n = 97$) und Zuckerrübe ($n = 88$) vor. Aufgrund der stark unterschiedlichen Anzahl von Beobachtungen (n) mussten die Erreger für eine Gesamtbetrachtung kategorisiert werden. Zuerst geschah dies entsprechend der Erregerbiologie in Wirtspflanzen (potentielle Überträger) und Nichtwirtspflanzen. Abb. 9 zeigt deutlich den Unterschied im Befallsniveau nach Vorfrucht Wirtspflanzen (Befallshäufigkeit 78%, Befallsstärke 25%) im Vergleich zu den Nichtwirtspflanzen (Befallshäufigkeit 57%, Befallsstärke 10%). Dieser Unterschied konnte auch statistisch signifikant getestet werden (Tab. 11). Die Standardabweichungen zeigen, dass es für die einzelnen Vorfrüchte teilweise erhebliche Streuungen gibt. Bei der Gruppe der Wirtspflanzen fallen die niedrigen Befallsstärken nach Hafer und Mais auf. Aus der Gruppe der Nichtwirts- vorfrüchte streuen vor allem Erbse, Winterraps und Kartoffel in den Bereich erhöhter Befallswerte hinein. Bei Einzelbeobachtungen ($n=1$) gibt es keine Standardabweichung (stdev).

Tab. 10: Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) von Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten im Monitoring 1997-2000.

Wirt/Nichtwirt	Vorfrucht	n	BH	BS	Stdev BS
Wirt	Gerste	6	76.93%	30.54%	0.30
	Grünland	2	100.00%	69.20%	0.41
	Hafer	10	46.01%	10.89%	0.19
	Hafer/Gerste	2	94.91%	64.88%	0.09
	Mais	55	47.72%	8.82%	0.11
	Risiko	1	100.00%	15.55%	
	Roggen	2	95.61%	50.07%	0.50
	Sommergerste	5	66.70%	11.56%	0.07
	Sommertriticale	1	87.51%	18.35%	
	Weidelgras	1	47.50%	8.92%	
	Weizen	67	68.08%	30.18%	0.27
	Wintergerste	9	82.70%	19.70%	0.12
	Winterroggen	6	68.09%	19.56%	0.17
	Wintertriticale	8	77.22%	32.73%	0.33
	Winterweizen	277	87.99%	26.33%	0.17
Wirt Gesamtergebnis		452	78.32%	24.60%	0.20
Nichtwirt	Ackerbohne	3	69.44%	8.08%	0.00
	Buschbohne	1	45.00%	4.50%	
	Erbse	6	66.08%	13.33%	0.12
	Erdbeeren	1	72.73%	8.00%	
	Futtererbsen	2	56.91%	6.86%	0.05
	G-Bohne	1	61.68%	6.92%	
	Gesund	8	80.86%	12.39%	0.06
	Johanniskraut	1	57.89%	6.14%	
	Kamille	1	13.95%	1.40%	
	Kartoffel	17	46.08%	10.57%	0.18
	Kohl	1	100.00%	38.70%	
	Leguminosen	3	22.90%	3.98%	0.01
	Ölrettich	2	6.25%	0.81%	0.01
	Phacelia	3	36.39%	5.44%	0.02
	Rotklee	1	83.81%	10.95%	
	Sommerraps	3	74.50%	9.11%	0.03
	Sonnenblumen	1	100.00%	27.09%	
	Winterraps	97	64.49%	12.50%	0.11
Zuckerrübe	88	48.84%	7.83%	0.081	
Nichtwirt Gesamtergebnis		240	56.88%	10.25%	0.11
Keine Angaben		8	79.09%	17.15%	0.106
Gesamtergebnis		700	70.98%	19.59%	0.19

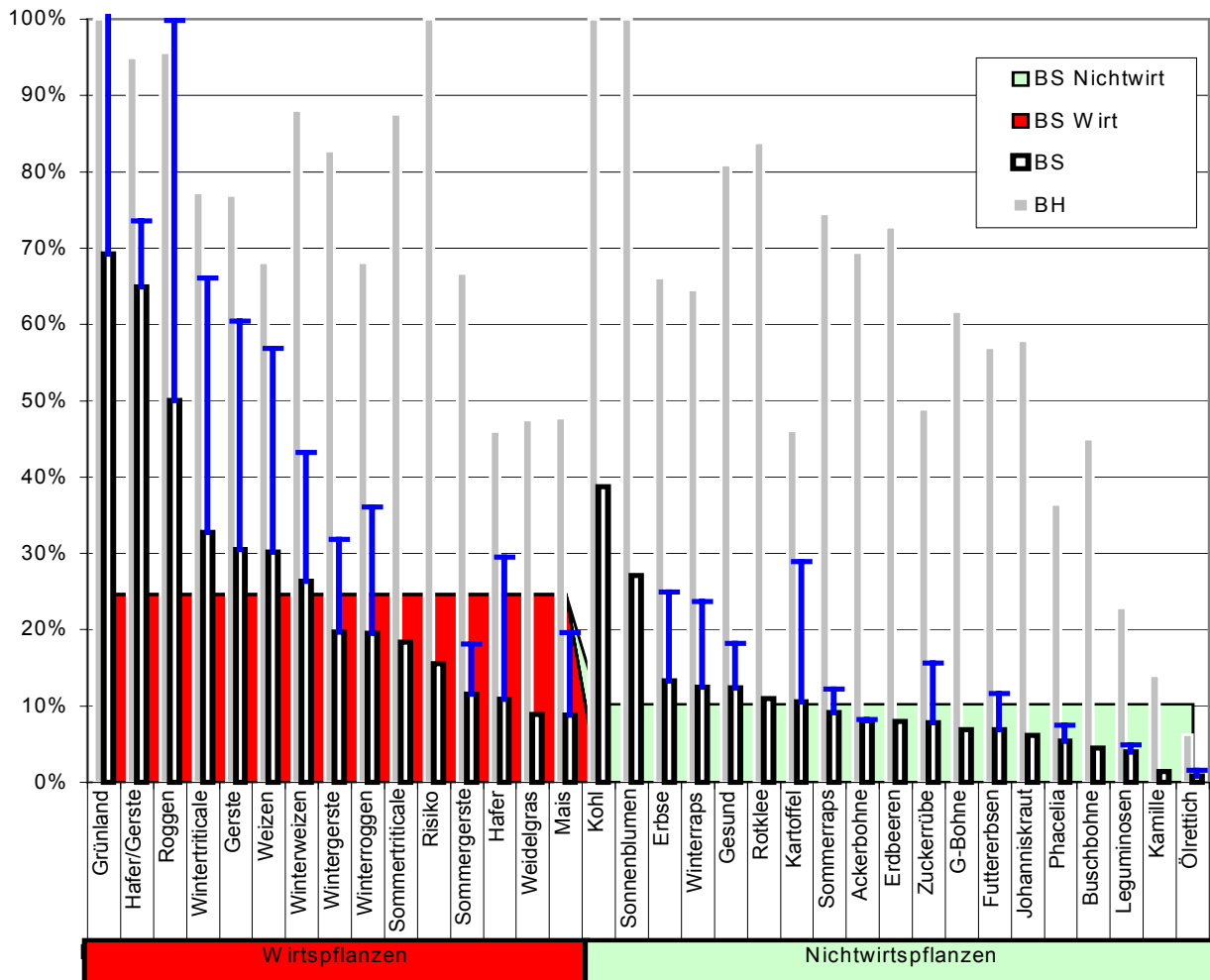


Abb. 9: Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) nach verschiedenen Vorfrüchten.

Die blauen Linien geben die Standardabweichung der Befallsstärke an. Die Vorfrüchte wurden nach Wirtspflanzen und Nichtwirtspflanzen sortiert. Die durchschnittliche Befallsstärke der Wirtspflanzen ist mit rot, die der Nichtwirtspflanzen ist grün hinterlegt.

Um diesem Umstand bei den weiteren Untersuchungen des Vorfruchttrisikos gerecht zu werden und die Werte getrennt betrachten zu können, wurde neben der Risiko-Gruppe, die alle Wirtspflanzen außer Hafer und Mais enthält, und der Gesund-Gruppe, die die Nicht-Wirtspflanzen enthält, eine Mittel-Risikogruppe als Kategorie eingeführt. In dieser Gruppe sind Raps, Hafer, Mais, Kartoffel, Erbse und Stilllegung bzw. verschiedene Arten von Grünland aufgrund ihres schwankenden Vorfruchteffektes zusammengefasst, wobei die Gruppe aufgrund der hohen Stichprobenzahl von den Eigenschaften des Winterraps dominiert wird. Für die Risiko - Gruppen ergeben sich die in Tab. 11 zusammengefassten Werte. Dabei hat nur die „Risiko“-Kategorie einen statistisch signifikant höheren Mittelwert gegenüber den anderen beiden Gruppen.

Tab. 11: Statistik der Risikogruppen.

Die Tabelle fast Anzahl der Beobachtungen (n), Mittelwert, Standardabweichung (stdev), Minimalwert (Min) und Maximalwert (Max) zusammen. Statistisch unterschiedliche Mittelwerte sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet (Tukey-HSD).

		n	Mittelwert	* Tukey HSD	stdev	Min	Max
Befallshäufigkeit [%]	Keine Angabe	16	86.862	b	25.4862	11.0	100.0
	Gesund	142	50.733	a	32.8755	0.0	100.0
	Mittel	220	56.374	a	32.5545	0.0	100.0
	Risiko	516	84.017	b	23.2363	1.9	100.0
	Gesamt	894	71.979		31.1822	0.0	100.0
Befallsstärke [%]	Keine Angabe	16	21.100	b	10.7492	2.1	36.9
	Gesund	142	7.649	a	7.0179	0.0	35.6
	Mittel	220	10.733	a	11.7284	0.0	78.8
	Risiko	516	26.218	b	18.9805	0.2	98.2
	Gesamt	894	19.366		17.8491	0.0	98.2

5.1.2.3 Einfluss der Saatzeit und Fruchtfolge

In Tab. 12 zeigt sich, dass der Einfluss der Saatzeit nicht unabhängig von der Fruchtfolge zu sehen ist. Nach Risikovorfrucht kommen Saattermine bereits ab der ersten Septemberdekade vor, während die Aussaat nach Gesundvorfrucht erst ab der letzten Septemberdekade erfolgte, mit dem Schwerpunkt im Oktober. Für den Einfluss der Fruchtfolge wurden die im Kapitel 5.1.2.2 erarbeiteten Risikokategorien übernommen.

Bei einem Vergleich der gemittelten Werte für die Saattermine der einzelnen Monate stellt sich heraus, dass der Befall von September (Befallshäufigkeit 76%, Befallsstärke 21%) über Oktober (Befallshäufigkeit 66%, Befallsstärke 17%) zum November (Befallshäufigkeit 52%, Befallsstärke 13%) hin sinkt. Die hohen Werte für Dezember und Januar gehen nur auf vereinzelte Beobachtungen zurück.

Des Weiteren ist der Einfluss der Fruchtfolge bzw. der Risikokategorie der Vorvorfrucht aufgezeigt. Die Unterteilung in Risiko- und Gesundvorvorfrucht führt zu einer Abstufung innerhalb der Vorfruchtrisikogruppe. Am stärksten ist der Einfluss der Vorvorfrucht in der Gruppe Mittel mit einer Reduzierung des Befalls in der Vorvorfruchtgruppe Gesund gegenüber Risiko bei der Befallshäufigkeit von 60% auf 32% und bei der Befallsstärke von 12% auf 5%.

Die globalen Aussagen, dass die Vorvorfrucht und die Saatzeit einen Einfluss haben, lassen sich in der Varianzanalyse bestätigen (Anhang, Tab. 44 und 47). Bei der detaillierteren Betrachtung der Untergruppen (multipler Mittelwertvergleich Vorvorfrucht, Saatdekade) streuen die Einzelwerte jedoch zu stark, um signifikante Aussagen zu treffen (Anhang, Tab. 45, 46 und 48, 49).

Vorvorfrucht	Vorfrucht	September			Oktober			November			Dezember			Januar			Gesamtergebnis		Monat					
		9.1	9.2	9.3	10.1	10.2	10.3	11.1	11.2	11.3	12.1	12.2	12.3	01.1	01.2	01.3	Fruchtfolge	Vorfrucht	Dekade	Dekade	Dekade			
Risiko	Risiko	100	83	83	84	90	88	93	96		99			100	100		86	84	Befallshäufigkeit in %					
Gesund	Risiko	91	81	91	77	86	70	53	79		100	99				82								
Risiko	Mittel	60	77	67	55	52	60	32	71		94					60	46							
Gesund	Mittel	30		79	47	26	13									32								
Risiko	Gesund			60	42	55	42	39	58	26						47	43							
Gesund	Gesund				50	42	14									39								
Risiko	Risiko	64	33	29	24	32	36	21	46		50		38	33		30	25	Befallsstärke in %						
Gesund	Risiko	17	15	24	18	22	20	10	34		58	41				21								
Risiko	Mittel	8	12	12	11	11	11	4	22		14					12	8							
Gesund	Mittel	3		19	7	3	1									5								
Risiko	Gesund			10	5	8	6	6	7	6						7	6							
Gesund	Gesund				8	5	1									5								
Mittelwerte	Dekade BH	66	81	79	69	73	55	61	69	26	97		99	100	100		71	Gesamt: BH	Ergebnisse 1997-2000 n=845					
	Dekade BS	17	23	23	17	20	14	12	20	6	37		41	38	33		19	Gesamt: BS						
	Monat BH	76			66			52			98			100										
	Monat BS	21			17			13			39			35										

Tab. 12: Gesamttabelle zum Einfluss von Saattermin und Fruchtfolge.

Angegeben sind die Befallshäufigkeit und Befallsstärke für die einzelnen Risikokategorien der Vorfrucht und Vorvorfrucht für die Saatdekaden von Anfang September bis Ende Januar. In die Tabelle flossen 845 Befallsbeobachtungen aus den Jahren 1997-2000 ein.

5.1.2.4 Einfluss der Sorte

In der Tab. 50 (Anhang) sind die Mittelwerte für die im Monitoring ausgewerteten Winterweizensorten aufgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Beobachtungen, vor allem hinsichtlich der Anbausituation (Risikogruppe Vorfrucht), lassen sich die Unterschiede nur sehr eingeschränkt interpretieren. Eine Varianzanalyse einer Auswahl der häufigsten Sorten unter Risikovorfrucht ($n > 10$) brachte keine signifikanten Unterschiede (Anhang, Tab. 51).

5.1.2.5 Einfluss der Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung wurde unterschieden in „Pflug“ (wendend), „Pfluglos“ (nichtwendend) und „Direktsaat“. Die Auswertung aller Beobachtungen ergab die höchsten Befallsstärken nach „Pflug“ mit 20% gegenüber 17% bei „Pfluglos“ und „Direktsaat“.

Wiederholt man die Analyse mit den Beobachtungen nach Risikovorfrucht, so verschiebt sich das Bild. Den höchsten Mittelwert der Befallsstärke hat nun „Pfluglos“ mit 32%, „Pflug“ folgt mit 26% und „Direktsaat“ liegt mit 14% deutlich darunter. Auch die größeren Unterschiede in den Kategorien der Bodenbearbeitung lassen sich in der Varianzanalyse nicht statistisch absichern. Nach Gesundvorfrucht tritt kein Unterschied im Befall mit Schwarzbeinigkeit für die verschiedenen Bodenbearbeitungskategorien auf.

Tab. 13: Mittelwerte nach Vorfruchtrisikokategorien (Risiko, linker Tabellenteil) und nach Bodenbearbeitungskategorien (Bodenbearbeitung, rechter Tabellenteil).

Risiko	Bodenbearbeitung	BH	BS	n	Bodenbearbeitung	Risiko	BH	BS	n
Gesund	Direktsaat	62,5%	8,3%	4	Direktsaat	Gesund	62,5%	8,3%	4
	Pflug	44,2%	6,3%	89		Mittel	67,2%	26,7%	4
	Pfluglos	54,7%	8,0%	32		Risiko	96,7%	13,9%	3
Gesund Ergebnis		47,5%	6,8%	125	Direktsaat Ergebnis		73,6%	16,5%	11
Mittel	Direktsaat	67,2%	26,7%	4	Pflug	Gesund	44,2%	6,3%	89
	Pflug	52,5%	10,1%	155		Mittel	52,5%	10,1%	155
	Pfluglos	65,7%	11,2%	53		Risiko	83,7%	25,9%	451
Mittel Ergebnis		56,1%	10,7%	212	Pflug Ergebnis		71,7%	19,9%	695
Risiko	Direktsaat	96,7%	13,9%	3	Pfluglos	Gesund	54,7%	8,0%	32
	Pflug	83,7%	25,9%	451		Mittel	65,7%	11,2%	53
	Pfluglos	84,8%	32,2%	37		Risiko	84,8%	32,2%	37
Risiko Ergebnis		83,9%	26,3%	491	Pfluglos Ergebnis		68,6%	16,7%	122

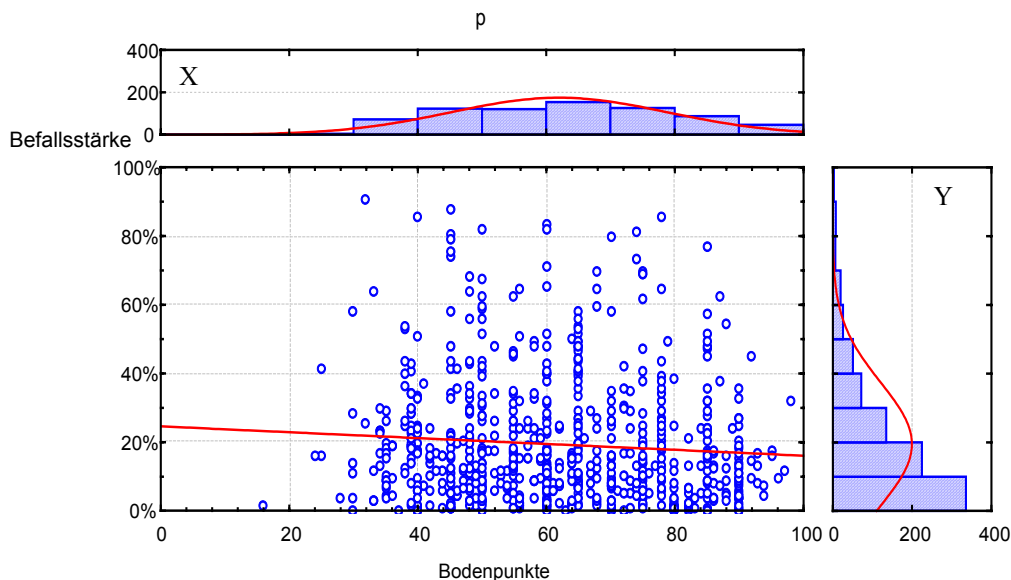
5.1.2.6 Einfluss der Bodenart

In der Tab. 52 (Anhang) sind die Mittelwerte für die im Monitoring vorgekommenen Bodenarten aufgeführt. Die am häufigsten im Monitoring vorkommenden Bodenarten unterscheiden sich in den Befallswerten kaum, selbst unter Risikovorfrucht. Von den

Bodenarten mit starkem oder schwachem Befall gibt es zu wenig Beobachtungen, so dass sich in den Ergebnissen dieses Monitoring kein auswertbarer Einfluss der Bodenart zeigt.

5.1.2.7 Einfluss der Bodenqualität

Als Parameter für die Bodenqualität wurde die angegebenen Bodenpunkte gewählt. In Abb. 10 ist der Zusammenhang von Bodenzahl und Befallsstärke aufgezeichnet. Es zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang und die lineare Regression weist ein sehr geringes Bestimmtheitsmaß auf ($r^2 = 0.0063$). Die Regressionslinie deutet jedoch einen Trend zu abnehmenden Befallsstärken bei hohen Bodenzahlen an. Eine Unterteilung der Daten nach Vorfruchtkategorie oder die Regression mit der Befallshäufigkeit erbrachte keine von dieser Analyse der Gesamtdaten abweichenden Ergebnisse.



Angaben zur Regression:

$$r^2 = 0.0063, r = -0.0794, p = 0.0313, y = 0.245655733 - 0.000853403414 * x$$

Abb. 10: Regression der Bodenpunkte (Qualität) auf die Befallsstärke.

Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

Als Alternative zur Regression wurde über eine CHAID Analyse klassifiziert (Tab. 14). Bei diesem Verfahren ergibt sich eine Einteilung in eine niedriger befallene Gruppe bei einer Bodenzahl kleiner 78 und einer höher befallenen Gruppe mit Bodenzahlen größer-gleich (\leq) 78. Schaltet man nun den Prädiktor des Vorfruchtrisikos davor, bleibt diese Einteilung für die Risiko – Kategorie (Knoten 4 und 5) erhalten. Für die Mittel – Kategorie ergeben sich 3 Gruppen (Knoten 6, 7, 8) und für die Gesund – Kategorie 2 Gruppen (Knoten 9, 10).

Dieses Verfahren bestätigt den Trend zu niedrigeren Befallsstärken bei steigender Bodenqualität (Bodenpunkte) aus der Regression in Abb. 10. Dabei kommt es für jede Vorfruchtrisikokategorie zu unterschiedlichen Gruppen bzw. Grenzwerten zwischen den

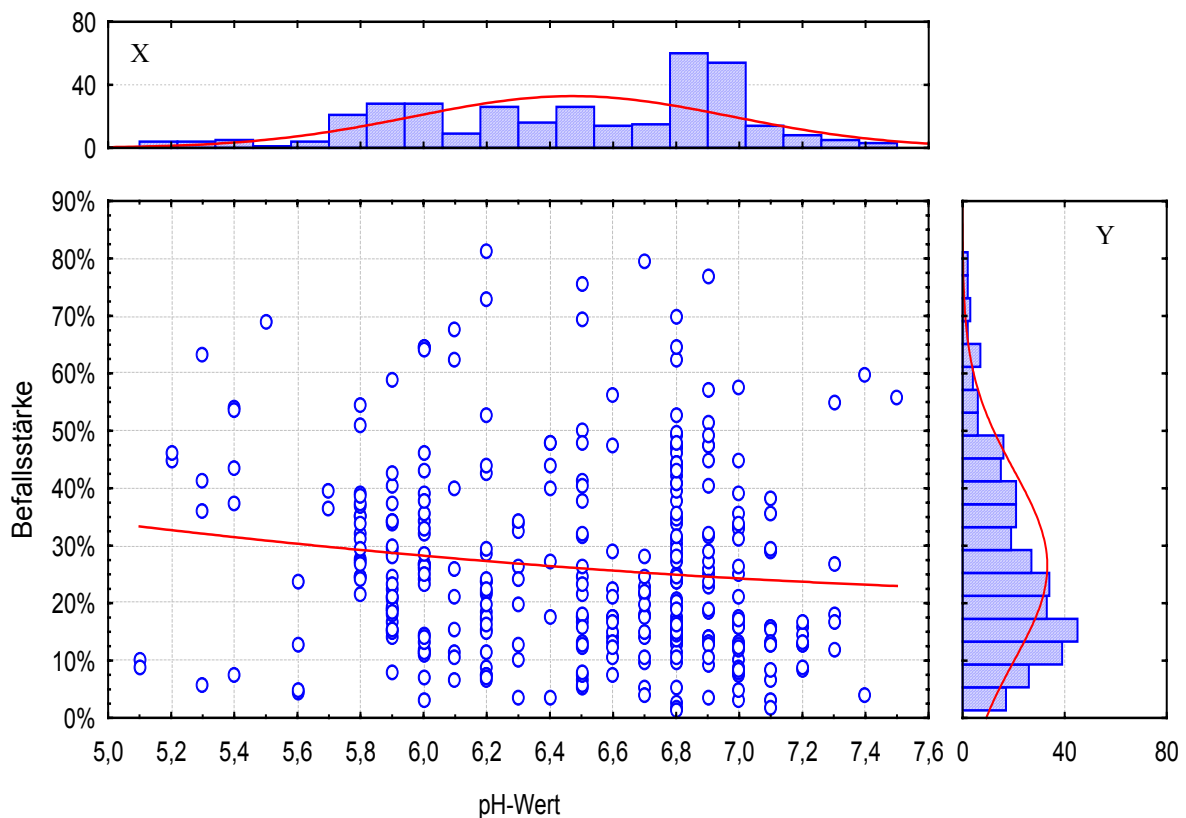
Gruppen (Tab. 14). Der schwache Einfluss der Bodenqualität ist demnach je nach Vorfruchtisikokategorie unterschiedlich.

Tab. 14: Gewinnübersicht der CHAID-Analyse des Einflusses der Bodenzahl auf die Befallsstärke in Wechselwirkung mit der Vorfrucht

Knoten	Vorfrucht Kategorie	Bereich Bodenzahl	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
4	Risiko	<=78	457	51.1	26.82	138.5	457	51.1	26.82	138.5
5	Risiko	>78	75	8.4	21.44	110.7	532	59.5	26.06	134.6
6	Mittel	<=78	159	17.8	11.91	61.5	691	77.3	22.81	117.8
9	Gesund	<=45	37	4.1	11.09	57.3	728	81.4	22.21	114.7
8	Mittel	>85	46	5.1	9.38	48.4	774	86.6	21.45	110.8
10	Gesund	>45	105	11.7	6.44	33.2	879	98.3	19.66	101.5
7	Mittel	(78,85]	15	1.7	2.42	12.5	894	100.0	19.37	100.0

5.1.2.8 Einfluss des Boden pH-Wertes

Der Einfluss des pH-Wertes auf die Befallsstärke wurde über eine Regression untersucht (Abb. 11). Bei einer leichten Abnahme der Befallsstärken bei höheren pH-Werten lässt sich insgesamt jedoch anhand dieser Regression ($r = -0,128$) kein Einfluss des pH-Wertes auf die Befallsstärke erkennen.



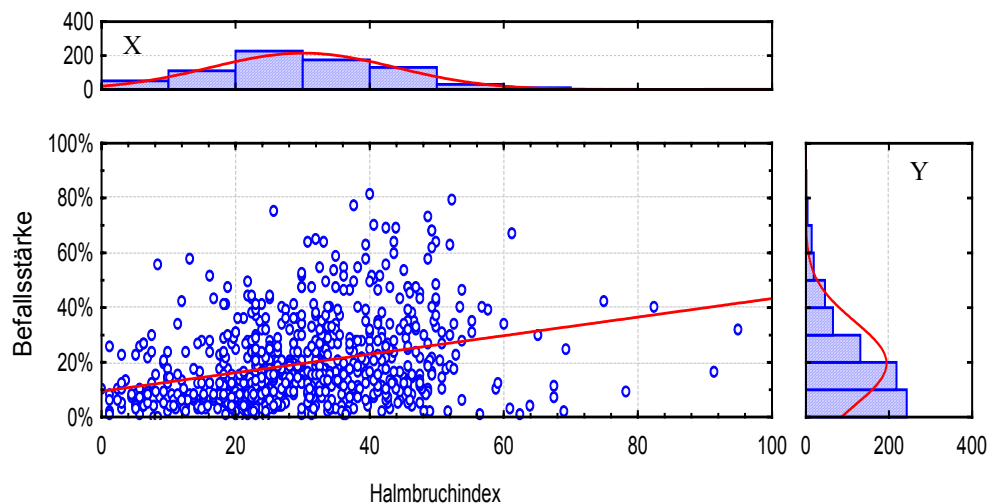
Angaben zur Regression: $r = -0.1282$, $p = 0.0172$; $y = 0.536603491 - 0.0421559764 * x$

Abb. 11: Regression des pH-Wertes auf die Befallsstärke.

Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

5.1.2.9 Einfluss des Halmbasisbefalls

Um den Einfluss der Wurzelkrankheit Schwarzbeinigkeit von dem der Halmbasiserkrankungen abzugrenzen, wurde eine Bonitur der Halmbasis durchgeführt. Die Befallsstärke des Halmbasisbefalls wurde entsprechend der Vorgehensweise beim Halbruch zu einem Index zusammengefasst. Aus der Regression und dem Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,093$ lässt sich ablesen, dass nur ein sehr geringer Zusammenhang zwischen der Befallsstärke der Wurzel und der Halmbasis besteht.



Angaben zur Regression: $r^2 = 0.0933$, $r = 0.3055$, $p = 0.0000$, $y = 0.0941338194 + 0.00338599415 * x$

Abb. 12: Regression des Halbruchindex auf die Befallsstärke mit Schwarzbeinigkeit.
Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

5.1.2.10 Einfluss der Vorfrucht auf den Befallsverlauf

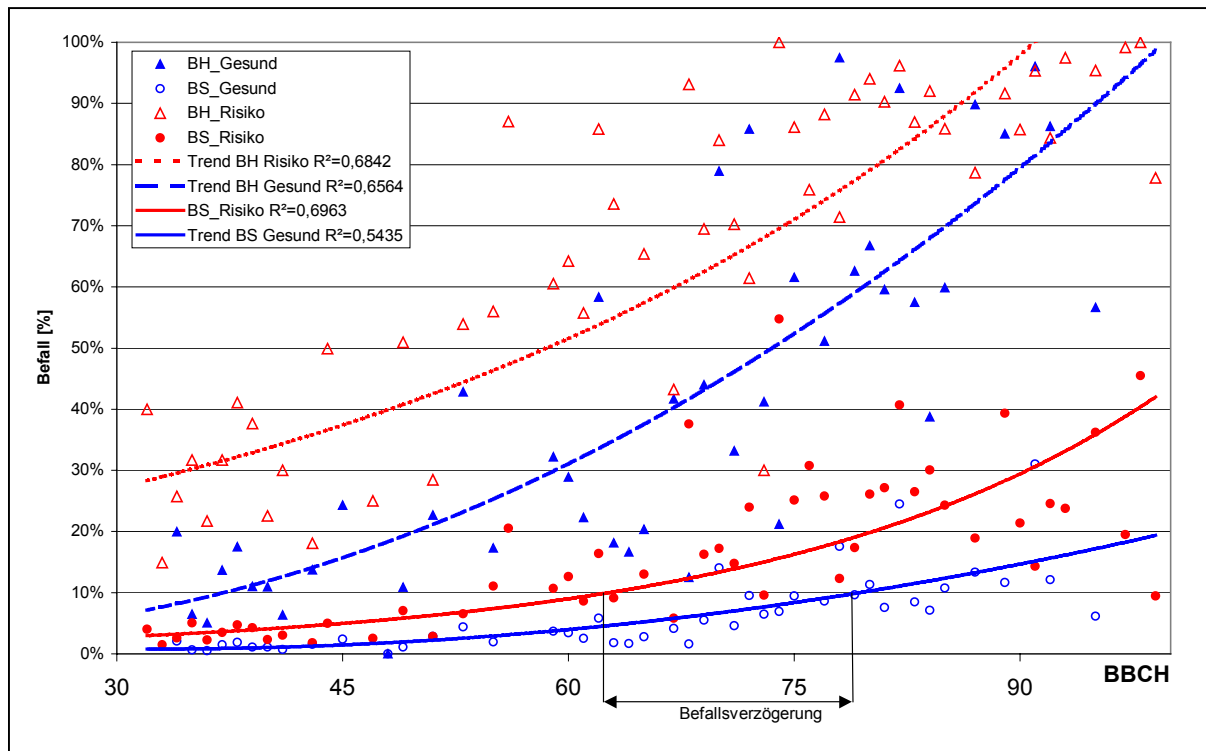


Abb. 13: Befallsverläufe für Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) der Werte von 1998-2000 nach Risikovorfrucht (Risiko) und Gesundvorfrucht (Gesund).

Die bisherigen Ergebnisse bezogen sich auf den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Befall zur Endbonitur (BBCH >70). Für den Einfluss der Vorfrucht auf den Befallsverlauf wurden die Befallswerte von 1998-2000 für das jeweilige BBCH Stadium gemittelt und eine Trendkurve gezogen. In Abb. 13 ist der Befallsverlauf für die sich am stärksten differenzierenden Vorfruchtkategorien „Risiko“ und „Gesund“ dargestellt. Deutlich unterscheidet sich das Niveau der Befallshäufigkeit im Frühjahr bei Boniturbeginn zwischen Risiko und Gesund. Von da an steigen die Kurven fast parallel an. Erst wenn eine bestimmte Höhe der Befallshäufigkeiten von 60%-70% erreicht ist, kommt es auch zu einem stärkern Ansteigen der Befallsstärken. Dieser Vorgang ist bei Gesundvorfrucht deutlich verzögert und eine Befallsstärke von über 10% wird im Durchschnitt erst nach dem Stadium 75 erreicht.

5.1.3 Einfluss der gezielten Beizung gegen Schwarzbeinigkeit

In den Monitoringuntersuchungen waren ab 1998 Proben von Schlägen enthalten, bei denen das Saatgut einer Vergleichsvariante mit dem Präparat Jockey[®] (Wirkstoff Fluquinconazole) gebeizt war.

5.1.3.1 Einfluss auf den Befall zu Boniturende (BBCH >70)

Im Durchschnitt der vorliegenden Untersuchungen wirkte sich die Beizung mit Jockey[®] befallsreduzierend aus (Tab. 15). Für die Gesamtzahl der Beobachtungen ergab sich eine Reduzierung der Befallshäufigkeit von 77,8% auf 72,8% und bei der Befallsstärke von 19,8% auf 15,3%. Diese Unterschiede ließen sich statistisch signifikant absichern. Die Analysen wurden für die einzelnen Vorfruchttrisikogruppen wiederholt, um den unterschiedlichen Befallsniveaus gerecht zu werden. Die deutlichste Befallsreduzierung ergab sich in der „Risiko“ Gruppe mit einer Reduzierung der Befallshäufigkeit von 86,0% auf 82,2% und der Befallsstärke von 24,6% auf 18,8%. Auch dieser Unterschied konnte statistisch abgesichert werden. Bei den Vorfruchtgruppen „Mittel“ und „Gesund“ ergaben sich ebenfalls Befallsreduzierungen, doch waren sie statistisch nicht signifikant.

Tab. 15: Einfluss der Beizbehandlung auf Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) bei Boniturende (BBCH >70).

Gesamtbefall und nach Vorfruchttrisikogruppen (Gesund, Mittel, Risiko) unterteilt. Für die statistischen Unterschiede der Differenz der Mittelwerte durch Jockey Behandlung (nein-ja) ist der p-Wert des Mann-Whitney Test angegeben.

Vorfruchttrisiko- gruppe	Behandlung Jockey	BH	BS	n	Befalls- wert	Differenz nein-ja	Mann- Whitney p
Gesund	ja	49.8%	6.0%	26	BH	3.2%	0.534
	nein	53.0%	6.9%	26	BS	0.9%	0.337
Mittel	ja	52.2%	7.6%	70	BH	6.9%	0.165
	nein	59.1%	9.8%	70	BS	2.2%	0.102
Risiko	ja	82.2%	18.8%	218	BH	3.8%	0.027
	nein	86.0%	24.6%	218	BS	5.7%	0.000
Gesamt	ja	72.8%	15.3%	314	BH	4.5%	0.018
	nein	77.3%	19.8%	314	BS	4.5%	0.000
Gesamtergebnis		75.0%	17.5%	628			

5.1.3.2 Einfluss auf den Befall bei Boniturende in den einzelnen Jahren

Da in der vorangegangenen Analyse nur in der Vorfruchtgruppe „Risiko“ signifikante Unterschiede gefunden wurden und um einen Einfluss unterschiedlicher Stichprobenzusammensetzungen bezüglich der Vorfrüchte zu vermeiden, wurde diese Kategorie für die Analysen zum Einfluss des Beobachtungsjahres ausgewählt. Tab. 16 zeigt die einzelnen Befallswerte nach Risikovorfrucht. Die Befallsdifferenz zwischen den Beobachtungen mit und ohne Jockey[®] schwankt zwischen 2,3% und 4,2% in den Befallshäufigkeiten und zwischen 4,5% und 8,2% in den Befallsstärken. Während diese Unterschiede in den Befallshäufigkeiten nicht signifikant sind, waren bei den Befallsstärken nur die Unterschiede im Jahr 2000 nicht signifikant. 2000 war das Jahr mit den niedrigsten Befallswerten.

Tab. 16: Einfluss der Beizbehandlung (Jockey ja-nein) auf Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) bei Boniturende (BBCH >70) der Einzeljahre 1998-2000 nach Risikovorfrucht.

Für die statistischen Unterschiede der Differenz der Mittelwerte zwischen Jockey nein-ja ist der p-Wert des Mann-Whitney Test angegeben.

Vorfruchtrisikogruppe	Jahr	Jockey	BH	BS	n	Befalls- wert	Differenz nein-ja	Mann- Whitney p
Risiko	1998	ja	81.5%	18.7%	117	BH	4.2%	0.080
		nein	85.7%	23.6%	117	BS	4.9%	0.003
Risiko	1999	ja	87.3%	20.3%	59	BH	4.1%	0.167
		nein	91.4%	28.5%	59	BS	8.2%	0.002
Risiko	2000	ja	76.9%	17.2%	42	BH	2.3%	0.573
		nein	79.2%	21.7%	42	BS	4.5%	0.252

5.1.3.3 Einfluss der Beizbehandlung auf den Befallsverlauf

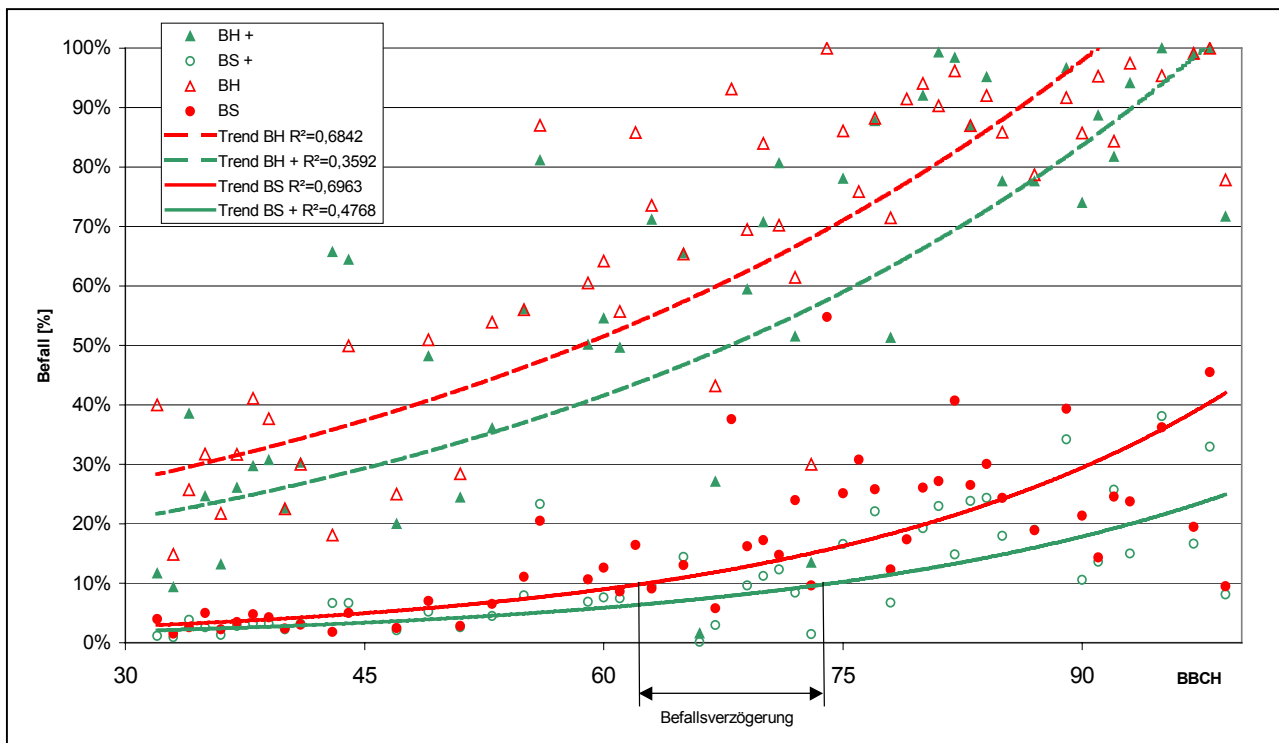


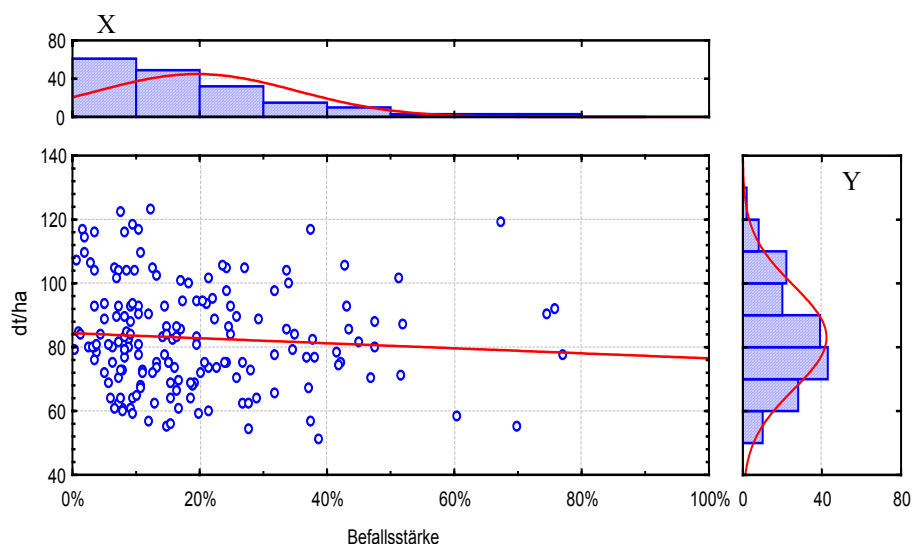
Abb. 14: Befallsverläufe für Befallshäufigkeit (BH) und Befallsstärke (BS) der Werte von 1998-2000 nach Risikovorfrucht mit (+) und ohne Behandlung mit Jockey® gegen Schwarzbeinigkeit.

Auch für die Untersuchung zum Einfluss der Beizbehandlung auf den Befallsverlauf wurde der Befall nach Risikovorfrucht ausgewählt, da die anderen Vorfruchtgruppen keine signifikanten Unterschiede erbrachten. Abb. 15 zeigt, dass der Befallsanstieg in der Variante mit Jockey® Beizung (BH+ und BS+) zeitlich versetzt dem allgemeinen Befallsanstieg in der nicht mit Jockey® gebeizten Varianten folgt. Dasselbe Befallsniveau wird erst zu einem späteren Zeitpunkt erreicht bzw. es herrscht zum selben Zeitpunkt ein niedrigeres Befallsniveau. Die Befallsverzögerung ist aber vergleichsweise geringer als bei Befallsaufbau

nach Gesundvorfrucht (Vergleiche Abb. 14). Auch die Befallshäufigkeit beginnt auf einem höheren Niveau als es nach Gesundvorfrucht zu sehen war.

5.1.3.4 Befall und Ertrag

Erst die gezielte Beizung gegen Schwarzbeinigkeit macht eine Befallsdifferenzierung bei ansonsten gleichen Bedingungen möglich. Um die Ertrags- und Befallswerte der verschiedenen Standorte miteinander vergleichen zu können, wurden die Ertrags- und Befallsergebnisse eines Standortes für das Jahr, den Ort, die Vorfrucht, die Sorte und die Saatgutbehandlung zu jeweils einem Mittelwert zusammengefasst. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse von Versuchsserien an einem Standort nicht überproportional das Ergebnis beeinflussen. Die lineare Regression der prozentualen Befallsstärke auf den Ertrag ist in Abb. 16 dargestellt. Die flache Regression und das niedrige Bestimmtheitsmaß zeigen, dass die Befallsstärke in diesem Vergleich nur einen schwachen Einfluss auf den Ertrag bzw. auf das Ertragsniveau hat.



Angaben zur Regression von Befallsstärke auf Ertrag
 $r^2 = 0.0059$; $r = -0.0767$, $p = 0.3170$; $y = 84.3648352 - 7.87972481 \cdot x$

Abb. 15: Regression der Befallsstärke auf den Ertrag (dt/ha).

Die den x- bzw. y-Achsen gegenüberliegenden Histogramme (X, Y) zeigen die Verteilung der Werte an.

Nach der Betrachtung des absoluten Einflusses der Befallsstärke auf den Ertrag wurde die standortspezifische Ertragswirkung der Saatgutbehandlung als Differenz von Unbehandelt und Behandelt in Tab. 17 zusammengefasst. Die Erträge nach Beizung gegen Schwarzbeinigkeit lagen durchschnittlich 2,9 dt/ha höher als ohne eine derartige Behandlung. Obwohl die Differenzen auch für die einzelnen Vorfruchtrisikogruppen stets positiv sind, lassen sie sich nicht statistisch signifikant absichern (Tab. 53, Anhang). Dabei bleibt auch der Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag knapp nicht signifikant (Tab. 54, Anhang).

Tab. 17: Einfluss der Beizbehandlung (Jockey ja-nein) auf den Ertrag.
Einfluss der Beizbehandlung (Jockey ja-nein) über alle Vorfrüchte (Gesamt) und nach Vorfruchtisikogruppen (Gesund, Mittel, Risiko) unterteilt.

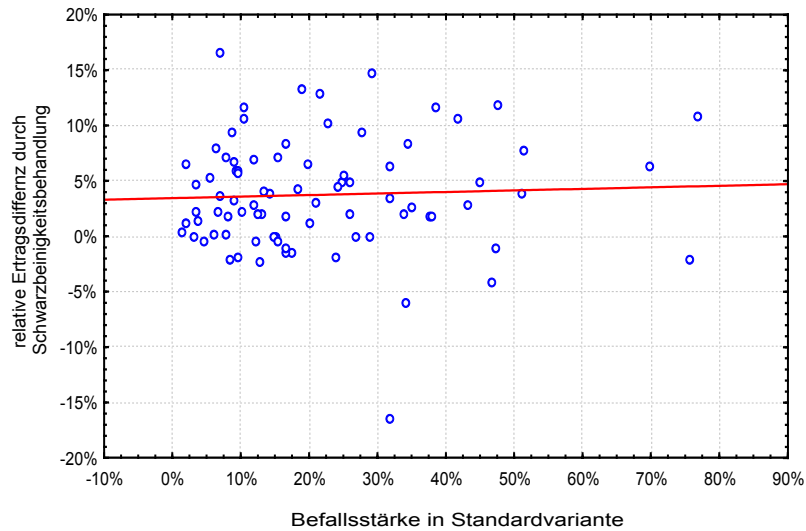
Vorfruchtisikogruppe	Jockey	Ertrag [dt/ha]	n	Ertragsdifferenz nein-ja
Gesund	ja	82.63	13	3.8
	nein	78.79	13	
Mittel	ja	87.25	26	1.5
	nein	85.70	30	
Risiko	ja	81.07	87	3.4
	nein	77.65	87	
Gesamt	ja	82.51	128	2.9
	nein	79.62	128	
Gesamtergebnis		81.04	256	

Für die Untersuchung zum Einfluss des Jahres wurde auf die Vorfruchtisikogruppe „Risiko“ aufgrund von Homogenität und Stichprobenumfang ausgewählt (Tab. 18). Hier zeigt sich eine relativ stabile Ertragsdifferenz von 3 dt/ha im Jahr 1998 und 3,6 dt/ha in den Jahren 1999 und 2000, ohne dass es in einem Jahr einen signifikant hohen oder tiefen Wert gegeben hätte (Tab. 55, Anhang).

Tab. 18: Einfluss des Beobachtungsjahres und der Saatgutbehandlung (Jockey) auf den Ertrag in dt/ha

Jahr	Behandlung Jockey	Ertrag [dt/ha]	n	Ertragsdifferenz nein-ja
1998	ja	81.97	28	3.0
	nein	78.97	28	
1999	ja	81.32	39	3.6
	nein	77.70	39	
2000	ja	79.34	20	3.6
	nein	75.71	20	
Gesamt	ja	81.07		3.4
	nein	77.65		
Gesamtergebnis		79.36	174	

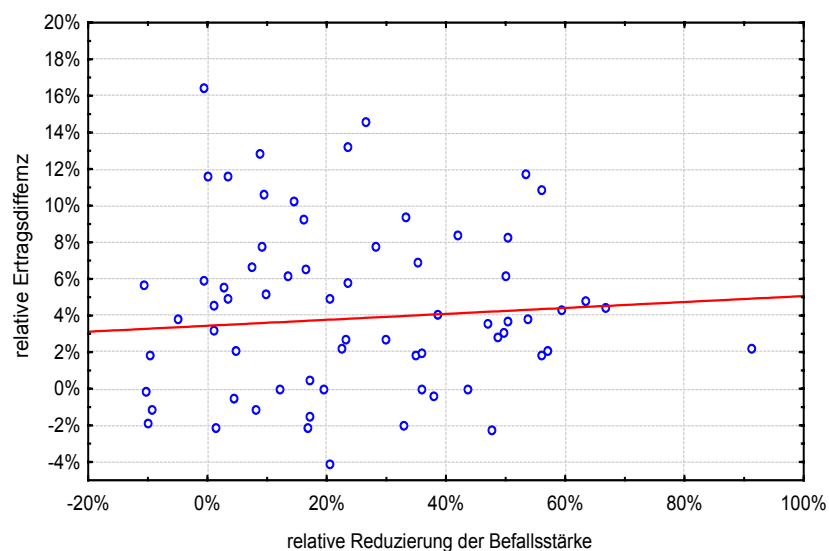
Um zu untersuchen, ob die Ertragsleistung (Ertragsdifferenz) durch die Schwarzbeinigkeitsbeize abhängig vom Befallsniveau ist, wurde eine lineare Regression durchgeführt. Dabei wurde die Befallsstärke in der nicht gegen Schwarzbeinigkeitsbehandelten Variante mit der relativen Ertragsdifferenz verglichen. Die relative Ertragsdifferenz ist das Verhältnis der Ertragsdifferenz zum Ertrag in der nicht gegen Schwarzbeinigkeitsbehandelten Variante. Diese Betrachtungsweise soll ermöglichen, die Ergebnisse von Hohertragsstandorten mit Standorten zu vergleichen, die ein geringeres Ertragsniveau haben. Abb. 16 zeigt eine große Streuung der Ertragsdifferenzen. Eine Beziehung zur Befallsstärke lässt sich nicht erkennen ($r^2=0,0021$).



Angaben zur Regression: rel. Ertragsdifferenz = $0,0342 + 0,0139 \cdot x$; $r^2 = 0,0021$; $r = 0,0458$, $p = 0,6810$

Abb. 16: Regression der Befallsstärke auf die relative Ertragsdifferenz

Um auch die Befallsreduktion durch die Schwarzbeinigkeitsbehandlung im Verhältnis zum Befallsniveau von verschiedenen Standorten vergleichen zu können, wurde analog zu den relativen Ertragsdifferenzen die relative Reduzierung der Befallsstärke errechnet. Diese wurden mit den relativen Ertragsdifferenzen in Beziehung gesetzt, also die „Befallsleistung“ mit der „Ertragsleistung“ der Saatgutbehandlung verglichen (Abb. 17). Auch hier erbrachte die lineare Regression keinen besseren Zusammenhang ($r^2=0,0122$, $p=0,3268$) als in den vorherigen Betrachtungen. Es zeigt sich ein leichter Trend zu höherer Ertragsdifferenz bei höherer Befallsreduzierung.



Angaben zur Regression: rel. Ertragsdifferenz = $0,0344 + 0,0162 \cdot x$; $r^2 = 0,0122$; $r = 0,1103$, $p = 0,3268$

Abb. 17: Relative Befallsreduzierung im Verhältnis zur relativen Ertragsdifferenz durch Einsatz der Beizung gegen Schwarzbeinigkeitsbehandlung

5.1.3.5 Beobachtung zum Einsatz von Blattfungiziden und Ertragsdifferenzen

Aus Versuchsserien, die im Rahmen dieser Arbeit für die Firma AgrEvo untersucht wurden, gibt es die Beobachtung, dass es bei Einsatz strobilurinhaltiger Fungizide zu höheren Ertragsunterschieden nach Schwarzbeinigkeitsbeizung kommt, als in Varianten mit Fungiziden anderer Wirkstoffgruppen. So lag in Varianten „mit Strobi“ die durchschnittliche Ertragsdifferenz für den Einsatz der Beizung bei 4,9 dt/ha im Vergleich zu 2,2 dt/ha in den Varianten „ohne Strobi“. Die Effekte ließen sich vor allem durch die großen Schwankungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Standorte nicht eindeutig auf einen Einfluss der Blattfungizide auf den Wurzelbefall zurückführen.

Der Abschnitt 5.1.3 untersucht den Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeitsbefall auf Befall und Ertrag. Insgesamt betrachtet kommt es durch die Beizung zu einer Reduzierung des Befalls und zu höheren Erträgen gegenüber den nicht mit entsprechender Beize behandelten Varianten. Die Werte zeigen jedoch eine hohe Streuung. Es deuten sich Zusammenhänge der Leistung der Beize mit der Vorfrucht, dem Versuchsjahr und dem Blattfungizideinsatz an, die Effekte lassen sich jedoch im Monitoring nicht statistisch absichern.

5.1.4 Modelle zum Zusammenwirken der Einflussfaktoren auf den Befall und den Ertrag

Abschließend wird über Regressionsmodellbäume analysiert, in welchem Zusammenhang die untersuchten Einflussfaktoren (Prädiktoren) zueinander stehen und wie sich mit ihnen die Zielvariablen Befallshäufigkeit, Befallsstärke, Ertrag und die zu erwartende Ertragswirkung einer Saatgutbeizung gegen Schwarzbeinigkeitsbefall beschreiben lassen.

5.1.4.1 Befallshäufigkeit

Zur Beschreibung der Befallshäufigkeit in Modell 1 (9.5.1, Anhang) wurden die Faktoren Jahr, Sorte, Bodenzahl, pH-Wert, Bodenbearbeitung, Saatdekade, Risikokategorie der Vorfrucht und der Vorvorfrucht und Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeitsbefall (ja/nein) ausgewählt. Die Methode war CHAID, α für Trennung und Verbindung 0,05, maximale Baumtiefe 10, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 20/10, 1375 Fälle wurden ausgewertet. Das Modell kann 56,6% der Varianz erklären.

Als erster Prädiktor trennt die Risikokategorie der Vorfrucht. Die Kategorie „Mittel“ wird anschließend nach Jahr, die Kategorien „Risiko“ und „Gesund“ nach Sorten unterschieden. In der nächsten Stufe wird nach Bodenzahl, Risikokategorie der Vorvorfrucht, Jahr und Saatzeit getrennt. In der 4. Stufe wird in Risikokategorie der Vorvorfrucht, Saatzeit, Jahr und pH-Wert

unterschieden. In der 5. Stufe sind die Prädiktoren Bodenzahl, Risikokategorie der Vorvorfrucht, Jahr und Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit und in der 6. pH-Wert und Saatzeit.

5.1.4.2 Befallsstärke

Für die Befallsstärke in Modell 2 (9.2.2, Anhang) wurden wie für die Befallshäufigkeit die Prädiktoren Jahr, Sorte, Bodenzahl, pH-Wert, Bodenbearbeitung, Saatdekade, Risikokategorie der Vorfrucht und der Vorvorfrucht und Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit (ja/nein) ausgewählt. Die Methode war CHAID, α für Trennung und Verbindung 0,05, maximale Baumtiefe 5, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 10/5, 1375 Fälle wurden ausgewertet. Das Modell kann 47,3% der Varianz erklären.

Als erster Prädiktor trennt die Risikokategorie der Vorfrucht. Die Kategorie Mittel wird anschließend nach Jahr, die Kategorien Risiko nach Sorten und die Risikokategorie Gesund nach der Saatdekade unterschieden. In der 3. Stufe kommen Bodenbearbeitung, pH-Wert, Bodenzahl, Risikokategorie der Vorvorfrucht und Jahr. In der 4. Stufe sind es Jahr, Saatdekade, Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit, Bodenzahl, pH-Wert und Risikokategorie der Vorvorfrucht. In der 5. Stufe verbleiben die Prädiktoren Bodenzahl, pH-Wert, Risikokategorie der Vorvorfrucht, Bodenbearbeitung, Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit und Saatdekade.

5.1.4.3 Ertrag

Ziel dieses Modells 3 (9.2.3, Anhang) war es den Ertrag in dt/ha anhand der Prädiktoren Jahr, Sorte, Bodenzahl, pH-Wert, Bodenbearbeitung, Saatdekade, Risikokategorie der Vorfrucht und der Vorvorfrucht, Befallshäufigkeit und Befallsstärke mit Schwarzbeinigkeit, Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit (ja/nein) und Blattfungizid (Kategorien mit/ohne Strobi) zu beschreiben. Die Methode war CHAID, α für Trennung und Verbindung 0,05, maximale Baumtiefe 6, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 10/3, 297 Fälle wurden ausgewertet. Das Modell kann 85,76% der Varianz erklären.

Die erste Trennung erfolgt anhand der Sorten in 4 Kategorien. In der zweiten Stufe unterscheiden Bodenzahl (5 Knoten) und pH-Wert (7 Knoten). In der 3. Stufe kommen die Prädiktoren pH-Wert, Bodenbearbeitung, Bodenzahl, Befallsstärke mit Schwarzbeinigkeit, Jahr und Saatzeit. In der 4. Stufe werden lediglich 3 Knoten nach Sorte und Bodenzahl getrennt und in der 5. Stufe 2 Knoten nach Sorte und Bodenbearbeitung. In der 6. Stufe verbleibt lediglich 1 Knoten, der nach pH-Wert aufgetrennt wird.

5.1.4.4 Ertragsdifferenz

Ziel dieser Modelle war es zu überprüfen, anhand welcher Prädiktoren eine zu erwartende Ertragsdifferenz nach Beizbehandlung zu prognostizieren ist.

Für Modell 4 (9.2.4, Anhang) wurden die Faktoren Sorte, Bodenart, Bodenzahl, pH-Wert, Bodenbearbeitung, Saatdekade, Risikokategorie der Vorfrucht und der Vorvorfrucht ausgewählt. Dies sind die Faktoren, die bei Aussaat bekannt sind und unabhängig von Standort und Jahr. Die Methode war CHAID, α für Trennung und Verbindung 0,05, maximale Baumtiefe 6, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 10/5, 95 Fälle wurden ausgewertet. Das Modell kann 10,05% der Varianz erklären..

Keiner der Faktoren führte zu einer automatischen Trennung. Bei einer manuellen Trennung nach dem niedrigsten Korrelations-Wahrscheinlichkeits-Wert trennte als erster Prädiktor die Risikokategorie der Vorfrucht. Weitere Prädiktoren, die zu einer Klassifizierung führten, waren Risikokategorie der Vorvorfrucht und Bodenzahl bei Risikovorfrucht und Saatdekade und Sorte für die Vorfruchtkategorien Mittel und Gesund.

Die zusätzliche Berücksichtigung der Faktoren Jahr und Ertrag in der nicht gegen Schwarzbeinigkeit saatgutbehandelten Parzelle als Kennwert für Standort bzw. Ertragsniveau brachte keine weitere Verbesserung. Die maximale Baumtiefe war 4, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 10/3 bei ansonsten gleichen Ausgangs- und Algorithmusdaten. Das Modell kann 27,83 % der Varianz erklären.

Ähnlich wie bei dem Modell zuvor gab es keine signifikante Trennung. Als erster Prädiktor mit dem niedrigsten Korrelations-Wahrscheinlichkeits-Wert trennte das Ertragsniveau bei einem Wert von 89,99 dt/ha. Bei Werten unter oder gleich 89,99 dt/ha waren trennende Prädiktoren Jahr, Saatdekade und Ertragsniveau bei einem Wert von 72,2 dt/ha. Bei einem Ertragsniveau oberhalb waren es Saatdekade, Risikokategorie der Vorvorfrucht und Ertragsniveau bei einem Wert von 100 dt/ha.

5.2 Ergebnisse aus Feldversuchen

5.2.1 Quantitative Bestimmung der Wurzelmasse (Wurzellängendichten)

5.2.1.1 Roggenstein 1998

In Roggenstein wurden an drei Terminen Proben zur Bestimmung der Wurzellängendichten entnommen (WLD 1 am 31.3.1998, WLD 2 am 14.5.1998, WLD 3 am 2.7.1998). Die Wurzellängendichten bei den Proben nach Hafervorfrucht liegen bei WLD 1 auf ähnlicher Höhe (4,77 cm/cm³ und 4,96 cm/cm³), bei WLD 2 und 3 über denen nach Winterweizenvorfrucht (Tab. 19), allerdings sind die Unterschiede aufgrund der großen Streuung nicht signifikant (Tab. 56, Anhang). Bei der am 2.7.1998 im Stadium BBCH 75 durchgeführten Wurzelbonitur auf Schwarzbeinigkeit ergaben sich deutlich höhere Befallshäufigkeiten und Befallsstärken nach Vorfrucht Winterweizen (BH 81,6% und BS 13,6 %) als nach Hafervorfrucht (BH 41,5 % und BS 4,5 %). Dementsprechend lag der Ertrag nach Winterweizenvorfrucht mit 94,69 dt/ha um ca. 12 dt/ha deutlich unter dem bei Winterweizen nach Hafer. Der Einfluss der Vorfrucht auf den Befall und den Ertrag ist signifikant (Tab. 56, Anhang).

Tab. 19: Wurzellängendichten an 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag bei Winterweizen in Roggenstein nach Vorfrucht Hafer und Winterweizen, Roggenstein 1998

Vorfrucht	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag
	WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	dt/ha
Hafer	4.77	13.24	6.77	41.5	4.5	107.13
Winterweizen	4.96	11.52	5.81	81.6	13.6	94.69
Gesamtergebnis	4.92	11.91	6.01	73.6	11.8	97.18

Durch Beizung gegen Schwarzbeinigkeit kam es zu einer Differenzierung im Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) nach Winterweizen, bei niedrigerem Niveau auch bei Hafer (Tab. 20). Die Differenzierung bei den Wurzellängendichten und dem Ertrag ist uneinheitlich und insgesamt gering. Die Varianzanalyse ergab nur für den Befall signifikante Unterschiede (Tab. 56, Anhang).

Tab. 20: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize mit, ohne), Roggenstein 1998, auf Wurzellängendichten bei 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag

Vorfrucht	Beize	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag dt/ha
		WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	
Hafer	mit	4.08	13.88	6.32	28.9	2.9	106.85
	ohne	5.45	12.59	7.21	54.2	6.1	107.40
Winterweizen	mit	5.30	11.05	5.09	77.4	11.5	94.83
	ohne	4.62	11.88	6.44	85.8	15.8	94.55
Gesamt	Mittelwert mit	5.06	11.76	5.36	67.7	9.8	97.23
Gesamt	Mittelwert ohne	4.79	12.02	6.60	79.4	13.9	97.12

Die beprobten Sorten, getrennt nach Vorfrucht ausgewertet, erbrachten keinen signifikanten Unterschied bei den Befallswerten (Tab. 21). Auch der große Unterschied in der Wurzellängendichte am zweiten Probenahmetermin (WLD 2) zwischen Tambor (11,40 cm/cm³) und Astron (15,07 cm/cm³) nach Hafervorfrucht sind nicht signifikant. Dafür konnten die Unterschiede im Ertrag zwischen Tambor und Astron einerseits und Batis und Bandit andererseits signifikant getestet werden (Tab. 56, Anhang).

Tab. 21: Einfluss der Sorte, Roggenstein 1998, getrennt nach Vorfrucht, auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag

Vorfrucht	Sorte	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag dt/ha
		WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	
Hafer	Astron	4.90	15.07	6.22	29.6	3.1	110.35
	Tambor	4.64	11.40	7.32	53.4	6.0	103.90
Winterweizen	Bandit	5.02	12.02	5.48	82.2	13.9	101.89
	Batis	4.91	10.86	6.19	80.9	13.3	87.49

Der Einfluss unterschiedlicher Saattermine war nur nach Winterweizen untersucht worden (Tab. 22). Der frühe Saattermin führt in allen Bereichen zu höheren Werten. WLD 1 am 31.3.1998 ist dabei knapp signifikant (Tab. 56, Anhang).

Tab. 22: Einfluss des Saattermins (Aussaat früh, spät), Roggenstein 1998, bei Vorfrucht Winterweizen auf die auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag.

Vorfrucht	Aussaat	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag dt/ha
		WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	
Winterweizen	früh	5.68	12.02	6.13	84.8	15.7	95.83
	spät	4.25	11.03	5.45	78.3	11.6	93.55

Als weitere Variante gab es nach Winterweizenvorfrucht verschiedene Stickstoffdüngungsstufen. Es wurden die höchste („viel“, 170 kg N) und die niedrigste („wenig“, 140 kg N) Stufe beprobt. Die verschiedenen Düngungsstufen bewirken jedoch

außer im Ertrag nur eine geringe und uneinheitliche Differenzierung in der Wurzellängendichte (Tab. 23). Die hohe Düngungsstufe hat leicht geringere Befallswerte und einen höheren Ertrag zur Folge. Keiner der Unterschiede ist jedoch statistisch signifikant (Tab. 56, Anhang).

Tab. 23: Einfluss der Düngung (Stickstoff viel, wenig), Roggenstein 1998, bei Vorfrucht Winterweizen auf die auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag

Vorfrucht	Stickstoff	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag dt/ha
		WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	
Winterweizen	viel	5.61	12.06	5.54	80.8	12.9	97.50
	wenig	4.32	10.99	6.11	82.3	14.4	91.88

Die Regressionen der Wurzellängendichten zu WLD 2 am 14.5.1998, dem Zeitpunkt der größten Differenzierung der Werte, mit dem Ertrag und dem Befall ergeben keinen Zusammenhang. Ein gewisser Trend niedrigeren Befallswerten und höheren Erträgen bei höheren Wurzellängendichten ergibt sich aus den Unterschieden der Vorfrüchte. Bei anderen Beprobungsterminen (WLD 2 ⇔ WLD 3) oder Selektion einer Vorfruchtvariante zeichnen sich keine einheitlichen Trends ab.

5.2.1.2 Weihenstephan 1998

In Weihenstephan 1998 wurde an 2 Terminen die Wurzellängendichte nach den Vorfrüchten Kartoffel, Stillelegung und Winterweizen bestimmt (WLD 1 27.2.1998, WLD 2 17.6.1998). Eine dritte Probenahme erfolgte direkt nach der Ernte bei Vorfrucht Winterweizen (WLD 3 8.8.1998). Trotz der großen Streuung, besonders bei der 2. Probenahme, liegen die Mittelwerte der Wurzellängendichten nach den einzelnen Vorfrüchten (Tab. 24) in einem sehr ähnlichen Bereich und weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Die Proben nach Kartoffelvorfrucht liegen dabei mit 1,98 cm/cm³ am 27.2.1998 und 11,64 cm/cm³ am 17.6.1998 relativ konstant unter denen nach Winterweizenvorfrucht (3,39 cm/cm³ am 27.2.1998 und 12,71 cm/cm³ am 17.6.1998). Der Schwarzbeinigkeitsbefall war am 20.5.1998 zu BBCH 37 bestimmt worden und war mit einer Befallshäufigkeit (BH) von 23,6 % und einer Befallsstärke (BS) von 2,4 % zu gering, um für die Vorfruchtgruppen signifikant zu differenzieren. Eine Stichprobenuntersuchung am 22.7.1998 zu BBCH 85 erbrachte eine Befallshäufigkeit von 66,7 % und eine Befallsstärke von 9,9 % in einer nicht gegen Schwarzbeinigkeit gebeizten Variante nach Winterweizenvorfrucht. Aufgrund des geringen Befallsniveaus wurde auf eine Bonitur aller Varianten verzichtet. Auch bei den Erträgen

fürten die verschiedenen Vorfrüchte zu keinen statistisch absicherbaren Unterschieden (Ergebnisse der statistischen Untersuchungen sind in Tab. 57, Anhang zusammengefasst).

Tab. 24: Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag von Winterweizen in Weihenstephan 1998 nach Vorfrucht Winterweizen, Kartoffel und Stilllegung.

Vorfrucht	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag
	WLD1	WLD2	WLD3	BH%	BS%	Ertrag dt/ha
Winterweizen	3.39	12.71	9.21	23.1	2.3	82.6
Kartoffel	1.98	11.64		17.4	1.7	81.0
Stilllegung	3.79	10.73		30.8	3.1	78.1
Gesamtergebnis	3.10	12.26	9.21	23.6	2.4	81.8

Die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit führte bei der Wurzellängendichte der ersten Probenahme (WLD 1) zu einer niedrigeren Wurzellängendichte, bei den beiden weiteren Terminen im Mittelwert zu einer höheren Wurzellängendichte (Tab. 25). Die Unterschiede waren aber zu keinem Termin signifikant (Tab. 57, Anhang). Die Befallswerte, besonders die Befallsstärke (BS), waren zum Boniturzeitpunkt zu gering, um zu differenzieren. Der Ertrag von 80,1 dt/ha nach Beizung gegen Schwarzbeinigkeit („mit“) liegt über dem der Varianten ohne (75,6 dt/ha) und ist mit einem p-Wert von 0,064 nur knapp nicht mehr signifikant (Tab. 57, Anhang). Besonders bei der Vorfrucht Winterweizen kam es mit ca. 7 dt/ha zu einer großen Ertragsdifferenz.

Bei den zu den Stadien BBCH 72, 81 und 85 (29.6.1998, 14.7.1998 und 22.7.1998) bei Vorfrucht Winterweizen durchgeführten Bonituren auf nekrotisierte Blattfläche ergab sich zum Stadium BBCH 81 ein signifikant niedrigerer Anteil als bei den anderen Terminen (Tab. 57, Anhang). Eine Woche später im Stadium BBCH 85 bestand kein Unterschied mehr. Die Werte sind ein Mittelwert aus der Nekrotisierung der angegebenen Blattetagen (F/F-1= Fahnenblatt und das erste darunter liegende Blatt).

Tab. 25: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize mit, ohne), Weihenstephan 1998, auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS), Ertrag und Blattnekrotisierung der oberen Blätter (F und F-1) zu 3 Entwicklungsstadien (BBCH 72, 81, 85)

Vorfrucht	Beize	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Wurzelbefall		Ertrag dt/ha	Blattnekrose auf Blättern zu Stadium		
		WLD1	WLD2	WLD3	BH %	BS %		F/F-1 BBCH72	F/F-1 BBCH81 %	F BBCH85 %
Winterweizen	mit	4.69	11.73	8.89	10.2	1.0	80.2	48.0	94.4	98.8
	ohne	2.09	14.26	11.10	16.8	1.7	72.9	50.9	98.8	99.6
Kartoffel	mit	2.72	11.44		21.8	2.2	80.9			
	ohne	1.60	11.83		13.0	1.3	81.1			
Stilllegung	mit	3.62	10.96		24.9	2.5	79.3			
	ohne	3.97	10.51		36.7	3.7	76.9			
Mittelwert	mit	3.66	11.50	8.89	19.0	1.9	80.1	48.0	94.4	98.8
	ohne	2.64	12.71	11.10	22.1	2.2	75.6	50.9	98.8	99.6

Im Jahr 1998 in Weihenstephan waren die Winterweizensorten Batis und Astron nach den verschiedenen Vorfrüchten verglichen worden. Bei den Wurzellängendichten liegt Astron zum WLD1 und 2 über Batis (Tab. 26). Der große Unterschied zu zum 2. Probenahmetermin ist mit einem p-Wert von 0,175 in der Varianzanalyse jedoch nicht signifikant (Tab. 57, Anhang). Auch die Unterschiede im Schwarzbeinigkeitsbefall konnten, bei insgesamt niedrigem Befallsniveau, nicht signifikant getestet werden.

Wie bei den Wurzellängendichten liegt Astron auch beim Ertrag mit 80,5 dt/ha über Batis mit 75,8 dt/ha (Tab. 26). Dieser Unterschied konnte in der Varianzanalyse knapp signifikant getestet werden. Er ist hauptsächlich auf die große Ertragsdifferenz bei Winterweizen vorfrucht zurückzuführen.

Tab. 26: Einfluss der Sorte, Weihenstephan 1998, getrennt nach Vorfrucht, auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Ertrag

Vorfrucht	Sorte	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall		Ertrag dt/ha
		WLD1	WLD2	WLD3	BH %	BS %	
Winterweizen	Astron	3.39	18.17	10.00	17.5	1.8	82.1
	Batis		11.34		9.5	1.0	72.8
Kartoffel	Astron	2.28	13.05		8.1	0.8	80.7
	Batis	1.37	10.23		26.7	2.7	81.3
Stilllegung	Astron	5.11	12.45		20.1	2.1	77.1
	Batis	2.48	9.02		41.5	4.2	79.1
Mittelwert	Astron	3.59	14.56	10.00	15.2	1.5	80.5
	Batis	2.11	10.71		25.9	2.6	75.8

Innerhalb der Sorte Astron nach Vorfrucht Winterweizen waren verschiedene Fungizidvarianten angelegt worden. Bei den bisherigen Ergebnissen in Weihenstephan waren Varianten ohne Fungizidmaßnahmen betrachtet worden.

Hier werden die unbehandelte Kontrolle und Varianten, die dreimal mit Azol-haltigen Fungiziden bzw. dreimal mit Strobilurin-haltigen Fungiziden behandelt worden waren, verglichen. Behandlungstermine der Fungizidvarianten waren der 8.5.1998 (BBCH 32), der 26.5.1998 (BBCH 39) und der 8.6.1998 (BBCH 59-61). Da die Varianzanalyse des Einflusses der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit keine signifikanten Unterschiede brachte, wurde der Faktor in diesem Zusammenhang nicht separat betrachtet. Zu WLD 1 waren noch keine Fungizidmaßnahmen durchgeführt worden. Bei den Wurzellängendichten zum 2. und 3. Probenahmetermin zeigen sich keine eindeutigen Einflüsse der Fungizidmaßnahme. Aufgrund des geringen Befallsniveaus war nicht auf Unterschiede im Schwarzbeinigkeitsbefall bonitiert worden. Die Unterschiede im Ertrag entsprechen denen in der Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu BBCH 81 und BBCH 85, wobei sich nur die Unterschiede in der Nekrotisierung statistisch absichern lassen. Dabei ist wiederum nur der Unterschied zwischen Kontrolle und Fungizidbehandlung statistisch signifikant, nicht aber die Unterschiede zwischen den Fungizidvarianten (Tab. 57, Anhang).

Tab. 27: Einfluss von Blattfungizidmaßnahmen (Unbeh. Kontrolle, Azol 3x, Strobi 3x), Weihenstephan 1998, bei der Sorte Astron, Vorfrucht Winterweizen, auf Wurzellängendichten zu 3 Terminen (WLD1-3), Ertrag und Blattnekrotisierung der oberen Blattetagen (F und F-1) zu 2 Entwicklungsstadien (BBCH 81, 85)

Fungizid Variante	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Ertrag Ertrag dt/ha	Blattnekrose auf Blattetagen zu Stadium	
	WLD1	WLD2	WLD3		F/F-1 BBCH81 %	F BBCH85 %
Unbeh. Kontrolle	3.39	18.17	10.00	82.1	96.6	99.2
Azol 3x		14.39	7.00	88.3	23.9	69.7
Strobilurin 3x		16.59	10.62	90.7	26.8	67.8
Summe	3.39	16.38	9.21	85.8	60.9	84.0

Zu WLD 2 am 17.6.1998 wurde eine Regression der Wurzellängendichten mit dem Ertrag durchgeführt. Beim ersten Termin (WLD 1) gab es eine zu geringe Differenzierung und die Erhebung zu WLD 3 war nicht für alle Varianten durchgeführt worden, weshalb diese Zeitpunkte für eine Untersuchung der Regression nicht geeignet sind. Die Regression ergibt keinen Zusammenhang ($r^2=0,19$). Der Trend weist auf höhere Erträge bei höheren Wurzellängendichten hin.

5.2.1.3 Thalhausen 1999

In Thalhausen waren zu 2 Terminen (WLD 1 am 20/25.5.1999 BBCH 37 und WLD 2 am 3.8.1999 BBCH 89) Proben zur Bestimmung der Wurzellängendichten gezogen worden. Die Varianten waren einmal in einem Bereich des Schlages angelegt worden, der aufgrund des

leichten Bodens mit geringem Wasserhaltevermögen eine geringe Bodenfruchtbarkeit und ein eingeschränktes Ertragspotential besitzt. Die selben Varianten waren im colluvialen Bereich des Schlages mit schwerem, lehmigen Boden und hohem Ertragspotential wiederholt. Die Analyse der Wurzellängendichten erbrachte an beiden Terminen höhere Werte im Bereich der niedrigen Bodenfruchtbarkeit (WLD 1 10,15 cm/cm³ und WLD 2 4,31 cm/cm³) im Vergleich zum Bereich der hohen Bodenfruchtbarkeit (WLD 1 8,14 cm/cm³ und WLD 2 1,76 cm/cm³, Tab. 28). Am 2. Termin ist die Differenz sogar deutlich signifikant (Tab. 58, Anhang). Da die Varianten nicht beerntet wurden, sind hier die an den Probezeitpunkten ermittelten oberirdischen Trockenmassen (TM1 und TM2) in [g] ausgewertet. Hier zeigt sich das genau umgekehrte Bild, wobei die Trockenmassen im Bereich mit hoher Bodenfruchtbarkeit über denen des Bereichs mit niedriger Bodenfruchtbarkeit liegen. Allerdings lassen sich diese Differenzen nicht statistisch absichern. Der Befall mit Schwarzbeinigkeit wurde am 20.5.1999 zum Zeitpunkt der ersten Probenahme bestimmt. Die Befallshäufigkeiten liegen bei 62,6% („Hoch“) und 52,2% („Niedrig“) und die Befallsstärken bei 7,4 % („Hoch“) und 6,6 % („Niedrig“) (Tab. 29). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit nicht signifikant (Tab. 58, Anhang).

Tab. 28: Wurzellängendichten zu 2 Terminen (WLD1, WLD2), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Trockenmassen (TM1, TM2) in den Bereichen mit hoher und niedriger Bodenfruchtbarkeit, Thalhausen 1999

Bodenfruchtbarkeit	Wurzellängendichte (cm/cm ³)		Befall		Oberirdische Trockenmasse in g	
	WLD1	WLD2	BH%	BS%	TM1	TM2
Hoch	8.14	1.76	62.6	7.4	99.0	304.3
Niedrig	10.15	4.31	52.2	6.6	95.6	231.4
Gesamtergebnis	9.15	3.03	57.4	7.0	97.3	267.8

Durch die Saatgutbeizung gegen Schwarzbeinigkeit wurden die Befallswerte reduziert, es kommt aber zu keinem signifikanten Einfluss (Tab. 29 und 58, Anhang).

Tab. 29: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (Beize ohne, mit), Standort Thalhausen 1999, auf Wurzellängendichten zu 2 Terminen (WLD1, WLD2), Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Trockenmassen (TM1, TM2) in den Bereichen mit hoher und niedriger Bodenfruchtbarkeit

Bodenfruchtbarkeit	Beize	Wurzellängendichte (cm/cm ³)		Befall		Oberirdische Trockenmasse in g	
		WLD1	WLD2	BH%	BS%	TM1	TM2
Hoch	mit	9.33	1.61	59.0	7.0	97.0	282.5
	ohne	6.95	1.91	66.2	7.9	101.0	326.0
Niedrig	mit	9.16	4.23	43.2	5.1	95.3	235.8
	ohne	11.14	4.38	61.3	8.0	96.0	227.0
Mittelwert	mit	9.24	2.92	51.1	6.1	96.1	259.1
	ohne	9.05	3.15	63.7	7.9	98.5	276.5

Es waren die Weizensorten Pegassos und Xanthos untersucht worden. Wie schon bei der Beizung hatte der Faktor Sorte hier keinen signifikanten Einfluss auf die untersuchten Parameter Wurzellängendichte, Befall und Trockenmasse innerhalb der Versuchsergebnisse (Tab. 58, Anhang).

In die Betrachtung des Einflusses der Bodenfruchtbarkeit auf die Wurzellängendichten wurden auch 2 Düngungsniveaus eingeschlossen. Es handelt sich dabei um eine ungedüngte Variante („Niedrig“, 0 kg N) im Vergleich zu der hochgedüngten („Hoch“, 160 kg N). Bei der Trockenmasse zum 2. Termin (TM2) kommt es zu einer deutlich signifikanten Differenz. Der Mittelwert von „Hoch“ beträgt ungefähr doppelt so viel wie der von „Niedrig“ (Tab. 32). Auch die Wurzellängendichten der hochgedüngten Variante liegen deutlich über denen der ungedüngten Variante, zu WLD 2 ist der Unterschied signifikant. Die Reduzierung der Befallswerte ist nur knapp nicht signifikant (Signifikanzen Tab. 58, Anhang).

Tab. 30: Einfluss der Düngung auf Wurzellängendichten zu 2 Terminen (WLD1, WLD2), Thalhausen 1999, auf Befall (Befallshäufigkeit BH und Befallsstärke BS) und Trockenmassen (TM1, TM2) in den Bereichen mit hoher und niedriger Bodenfruchtbarkeit

Bodenfruchtbarkeit	Düngung	Wurzellängendichte (cm/cm ³)		Befall		Oberirdische Trockenmasse in g	
		WLD1	WLD2	BH%	BS%	TM1	TM2
Hoch	Hoch	8.48	2.24	55.6	6.4	121.8	383.0
	Niedrig	7.80	1.28	69.6	8.5	76.3	225.5
Niedrig	Hoch	11.74	5.79	44.3	5.2	72.8	335.5
	Niedrig	8.56	2.82	60.1	7.9	118.5	127.3
Mittelwert	Hoch	10.11	4.01	50.0	5.8	97.3	359.3
	Niedrig	8.18	2.05	64.9	8.2	97.4	176.4

Die Regressionen zwischen Wurzellängendichten und Befall und zwischen Wurzellängendichten und in diesem Fall Trockenmasse brachten keine signifikanten Zusammenhänge.

5.2.1.4 Weißenstephan 1999

In Weißenstephan 1999 wurden an 3 Terminen Proben zur Bestimmung der Wurzellängendichte entnommen (WLD 1 am 26.4.1999, WLD 2 am 4.7.1999, WLD 3 am 1.8.1999). An diesem Standort wurden zwei Standortfaktoren variiert, um möglichst große Unterschiede in dem Befallsauftreten der Schwarzbeinigkeit zu bekommen. Verglichen wurden die Einflüsse nach früher Saat (25.9.1998), Vorfrucht Winterweizen, und nach später Saat (23.10.1998), Vorfrucht Kartoffel.

Die Wurzellängendichten nach Frühsaat (WLD 1 14,59 cm/cm³, WLD 2 19,98 cm/cm³) liegen deutlich über denen der Spätsaat (WLD 1 5,84 cm/cm³, WLD 2 16,36 cm/cm³). Zum 2. Termin verringert sich zwar der Abstand, die Unterschiede bleiben jedoch signifikant (Tab. 31 und 59, Anhang). Am 3. Termin war nur die Frühsaat beprobt worden. Bei der Befallshäufigkeit zum zweiten Probenahmetermin (BH2) liegt die Spätsaat leicht über der Befallshäufigkeit der Frühsaat, die Befallsstärken sind jedoch bei dem 2. und 3. Termin für die Frühsaat nach Vorfrucht Winterweizen deutlich signifikant höher (Tab. 31 und 59, Anhang). Die Erträge unterscheiden sich nur um 1 dt/ha, so dass es auch keine signifikanten Unterschiede für den Ertrag gab. Die Trockenmassen (TM1 und TM2) waren beim ersten Termin noch deutlich höher für die Frühsaat, beim 2. Termin zu BBCH 65 nur noch leicht höher. Im Grad der Nekrotisierung der oberen Blattetagen, der zu Termin 2 und 3 für das Fahnenblatt und das darunter liegende Blatt bonitiert und zu einem Mittelwert zusammengefasst worden war (F/F-1_2 und F/F-1_3) gibt es keine signifikanten Unterschiede (Signifikanzen Tab. 59, Anhang).

Tab. 31: Wurzellängendichten zu mehreren Probenahmeterminen (WLD 1-3), Weihenstephan 1999, Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit (Befallshäufigkeit zu Termin 2 (BH2) und Befallsstärke zu Termin 2 und 3 (BS2, BS3)), Ertrag, oberirdische Trockenmasse zu Termin 1 und 2(TM1, TM2) und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu Termin 2 und 3 (F/F-1_2, F/F-1_3) für die beiden Varianten (Frühsaat nach Vorfrucht Winterweizen (Früh VF WW) und Spätsaat nach Vorfrucht Kartoffeln (Spät VF K))

Standort	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall			Ertrag in g	Oberirdische Trockenmasse		Nekrotisierung auf Blattetage zu Termin	
	WLD1	WLD2	WLD3	BH2%	BS2%	BS3%		dt/ha	TM1	TM2	F/F-1_2%
Früh VF WW	14.59	19.98	2.88	68.7	14.4	22.1	84.8	129.5	843.8	3.4	66.6
Spät VF K	5.84	16.36		75.1	4.0	5.3	85.8	82.5	765.3	2.5	79.2
Gesamtergebnis	10.21	18.17	2.88	71.5	9.2	13.7	85.3	106.0	804.6	3.0	72.9

Die Schwarzbeinigkeitsbeizung zeigt in diesem Versuch keinen signifikanten Einfluss auf die Wurzellängendichte und die anderen erhobenen Parameter (Tab. 32). Den besten p-Wert (0,091, Tab. 59, Anhang) gab es bei der Untersuchung der Erträge (dt/ha). Mit Beizung waren im Mittel 86,7 dt/ha geerntet worden, ohne die Zusatzbeizung 83,9 dt/ha. Die Wurzellängendichten und die Befallswerte mit Schwarzbeinigkeit lagen „mit“ Beizung niedriger als „ohne“.

Tab. 32: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit, Weihenstephan 1999, auf Wurzellängendichten zu mehreren Probenahmeterminen (WLD 1-3), Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit (Befallshäufigkeit zu Termin 2 (BH2) und Befallstärke zu Termin 2 und 3 (BS2, BS3)), Ertrag, oberirdische Trockenmasse zu Termin 1 und 2 (TM1, TM2) und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu Termin 2 und 3 (F/F-1_2, F/F-1_3) für die beiden Varianten (Frühsaat nach Vorfrucht Winterweizen (Früh VF WW) und Spätsaat nach Vorfrucht Kartoffeln (Spät VF K))

Standort	Beize	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall			Ertrag dt/ha	Oberirdische Trockenmasse in g			Nekrotisierung auf Blattetage zu Termin	
		WLD1	WLD2	WLD3	BH2%	BS2%	BS3%		TM1	TM2	TM3	F/F-1_2 %	F/F-1_3 %
Früh VF WW	mit	13.37	19.51	3.42	65.2	12.1	17.0	86.8	140.0	902.3	1000.5	3.8	62.5
	ohne	15.80	20.46	2.34	72.2	16.8	27.2	82.8	119.0	785.3	938.5	3.0	70.8
Spät VF K	mit	5.39	14.48		75.1	3.9	4.5	86.5	76.0	785.0		2.0	78.8
	ohne	6.28	18.24		75.1	4.1	6.1	85.0	89.0	745.7		3.0	79.6
Mittelwert	mit	9.38	17.00	3.42	69.5	8.0	10.7	86.7	108.0	843.7	1000.5	3.0	70.6
	ohne	11.04	19.35	2.34	73.4	10.4	16.6	83.9	104.0	765.5	938.5	3.0	75.2

Die Blattfungizidbehandlungen (Fungizid unbehandelt, Azolfungizide zu 2 Terminen, Strobilurin Fungizide zu 2 Terminen) hatten einen hoch signifikanten Einfluss auf den Ertrag und auf den Nekrotisierungsgrad der oberen Blattetagen am 3. Termin zu BBCH 81 (F/F-1_3, Tab. 35). Bei den Wurzellängendichten und dem Befall mit Schwarzbeinigkeit gab es keinen signifikanten Einfluss (Tab. 59, Anhang), die Befallswerte nach Fungizid „unbehandelt“ liegen jedoch stets höher als in den anderen Fungizidvarianten.

Tab. 33: Einfluss der Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, auf Wurzellängendichten zu mehreren Probenahmeterminen (WLD 1-3), Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit (Befallshäufigkeit zu Termin 2 (BH2) und Befallstärke zu Termin 2 und 3 (BS2, BS3)), Ertrag, oberirdische Trockenmasse zu Termin 1 und 2 (TM1, TM2) und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu Termin 2 und 3 (F/F-1_2, F/F-1_3) für die beiden Varianten (Frühsaat nach Vorfrucht Winterweizen (Früh VF WW) und Spätsaat nach Vorfrucht Kartoffeln (Spät VF K))

Standort	Fungizid	Wurzellängendichte (cm/cm ³)			Befall			Ertrag dt/ha	Oberirdische Trockenmasse in g			Nekrotisierung auf Blattetage zu Termin	
		WLD1	WLD2	WLD3	BH2%	BS2%	BS3%		TM1	TM2	TM3	F/F-1_2 %	F/F-1_3 %
Früh VF WW	Azol 2x	14.59	21.72		53.3	11.3	17.3	84.8	129.5	838.0		1.8	69.2
	Strobilurin 2x	14.59	18.68	3.37	62.5	18.6	20.9	86.6	129.5	856.0	965.5	10.6	67.1
	unbehandelt	14.59	19.56	2.39	91.8	16.4	26.3	79.2	129.5	837.5	973.5	7.5	79.6
Spät VF K	Azol 2x	5.84	14.93		80.0	3.1	4.6	85.4	82.5	703.5		1.3	78.9
	Strobilurin 2x	5.84	16.88		68.3	5.3	4.1	90.4	82.5	857.5		2.1	69.4
	unbehandelt	5.84	17.28		91.7	5.5	8.8	75.1	82.5	735.0		6.3	97.7
Mittelwert	Azol 2x	10.21	18.33		66.7	7.2	10.9	85.1	106.0	770.8		1.5	74.0
	Strobilurin 2x	10.21	17.78	3.37	65.4	12.0	12.5	88.5	106.0	856.8	965.5	6.3	68.2
	unbehandelt	10.21	18.42	2.39	91.7	10.9	17.5	77.1	106.0	786.3	973.5	6.9	88.6

Die Regression der Wurzellängendichte am 2. Termin (WLD 2) auf den Ertrag ($r^2=0,028$) und auf die Befallsstärke ($r^2=0,274$) deuten darauf hin, dass kein Zusammenhang zwischen Wurzellängendichte und Ertrag bzw. Befallsniveau, besteht. Die Ertragsdifferenzen oder Unterschiede im Befall lassen keine gesicherten Rückschlüsse auf Unterschiede in der Wurzelmasse zu.

5.2.2 Untersuchungen zur Wurzeleistung

Um die Wurzeleistung quantifizieren zu können, wurde die Aufnahme von Stickstoff und Unterschiede in der Aufnahme des Kohlenstoffisotops ^{13}C untersucht. Da das Kohlenstoffisotop ^{13}C bei der Aufnahme durch C3 Pflanzen diskriminiert wird, es unter Trockenstressbedingungen aber zu einer stärkeren Aufnahme kommt, lassen die Vergleiche der ^{13}C Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt zu.

5.2.2.1 Aufnahme und Versorgung mit Stickstoff

Aufnahme und Versorgung mit Stickstoff wurden zum einen über die im Spad - Meter gemessene Blattgrünintensität (BGI) bestimmt (9.6.2000, BBCH 45-47), zum anderen wurde für am 23.5.2000 entnommene Proben der oberirdischen Blattmasse der Stickstoffgehalt (N %) gemessen und der Gesamtstickstoff (N kg/ha) berechnet.

Der Spad-Meterwert für die Proben nach Rapsvorfrucht lag mit 574 niedriger als nach Winterweizenvorfrucht (589). Die Stickstoffgehalte (N %) waren mit 1,60 % bei Vorfrucht Raps höher als Winterweizenvorfrucht mit 1,44 %. Zusammen mit den Trockenmassewerten ergeben sich deutlich höhere Gesamtstickstoffaufnahmen von 160 kg/ha nach Rapsvorfrucht im Vergleich zu 134 kg/ha nach Winterweizenvorfrucht. Auch die Kornerträge waren nach Rapsvorfrucht mit 88,8 dt/ha deutlich höher als nach Vorfrucht Winterweizen mit 74,4 dt/ha. Der Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit war am 18.7.2000 mit einer Befallsstärke (BS3) von 17,5% bei Vorfrucht Winterweizen deutlich über der Befallsstärke nach Winterraps von 7,2 %. Die Nekrotisierung der oberen Blattetagen (F/F-1 B85), bonitiert am 1.7.2000 zu Stadium 83, war bei den Varianten nach Winterweizen nur wenig höher mit 66,2% im Vergleich zu 59,4% bei Rapsvorfrucht. Außer bei der Nekrotisierung der oberen Blattetagen und den Spad-Meterwerte, war der Einfluss der Vorfrucht stets signifikant (Tab. 61, Anhang).

Die Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit führte bei den Gesamtstickstoffwerten, dem Befall mit Schwarzbeinigkeit (BS3) und bei dem Ertrag nach Winterweizenvorfrucht zu einer gewissen Differenzierung, jedoch war der Einfluss der Beize in der Varianzanalyse nicht signifikant abzusichern (Tab. 61, Anhang).

Tab. 34: Einfluss von Vorfrucht und Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ohne, mit), Weihestephan 2000, auf die Stickstoffaufnahme (Blattgrünintensität BGI („Spad“ meter), Stickstoffgehalt (N %), Stickstoffaufnahme (N kg/ha), Ertrag, Wurzelbefall (Befallsstärke zum 3. Pobenahmetermin BS3) und Nekrotisierung der oberen beiden Blattetagen zu BBCH 85 (F-F-1 B85)

Vorfrucht	Beize	Stickstoffaufnahme			Ertrag dt/ha	Befall BS3	Blattnekrose F/F-1 B85
		BGI (Spad)	N [%]	N [kg/ha]			
Winterraps	ohne	571	1.59	169.68	88.21	7.0%	62.5%
	mit	580	1.62	155.84	89.97	7.7%	53.3%
Winterraps Ergebnis		574	1.60	165.07	88.80	7.2%	59.4%
Winterweizen	ohne	592	1.44	135.04	72.65	18.1%	66.0%
	mit	586	1.43	133.72	76.20	16.9%	66.4%
Winterweizen Ergebnis		589	1.44	134.38	74.42	17.5%	66.2%
Mittelwert	ohne	582	1.52	152.36	80.43	12.4%	64.3%
	mit	584	1.49	141.09	80.79	13.7%	62.0%
Gesamtergebnis		583	1.51	147.53	80.59	12.9%	63.3%

Bei der Düngung wurde zwischen „hoch“ (200 kg N/ha) und „niedrig“ (130 kg N/ha) unterschieden. Die Düngung erhöhte alle hinsichtlich der Stickstoffversorgung gemessenen Parameter (Blattgrünintensität, N %, N kg/ha, Tab. 35), auch unabhängig von der Vorfrucht signifikant, zeigte jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag, die Befallswerte der Wurzel und die Nekrotisierung der oberen Blattetagen (F/F-1 B85) (Tab. 35 und 61, Anhang).

Tab. 35: Einfluss von Vorfrucht und Düngung (hoch, niedrig), Weihestephan 2000, auf die Stickstoffaufnahme (Blattgrünintensität BGI („Spad“ meter), Stickstoffgehalt (N %), Stickstoffaufnahme (N kg/ha), Ertrag, Wurzelbefall (Befallsstärke zum 3. Pobenahmetermin BS3) und Nekrotisierung der oberen beiden Blattetagen zu BBCH 85 (F-F-1 BBCH85)

Vorfrucht	Düngung	Stickstoffaufnahme			Ertrag dt/ha	Befall BS3	Blattnekrose F/F-1 BBCH85
		BGI (Spad)	N [%]	N [kg/ha]			
Winterraps	hoch	596	1.70	175.34	89.86	7.1%	64.7%
	niedrig	553	1.50	154.79	87.74	7.3%	54.2%
Winterraps Ergebnis		574	1.60	165.07	88.80	7.2%	59.4%
Winterweizen	hoch	618	1.52	149.06	74.62	16.4%	60.5%
	niedrig	560	1.35	119.69	74.23	18.6%	71.9%
Winterweizen Ergebnis		589	1.44	134.38	74.42	17.5%	66.2%
Mittelwert	hoch	608	1.60	160.32	81.15	12.3%	62.3%
	niedrig	557	1.42	134.73	80.02	13.5%	64.3%
Gesamtergebnis		583	1.51	147.53	80.59	12.9%	63.3%

Um den Einfluss von Blattfungizid in diesem Zusammenhang untersuchen zu können, wurde Fungizid „unbehandelt“ mit der Behandlung mit Strobilurin-haltigem Fungizid zu 3 Terminen verglichen (Tab. 36). Durch die Fungizidbehandlung kam es zu signifikant höheren Werten bei der Blattgrünintensität (BGI (Spad)), und dem Ertrag (dt/ha). Der Anteil an nekrotischer Blattfläche (F/F-1 BBCH 85) verringerte sich signifikant gegenüber der „unbehandelten“ Variante. Einen Einfluss auf die Stickstoffgehalte, relativ (N%) und absolut

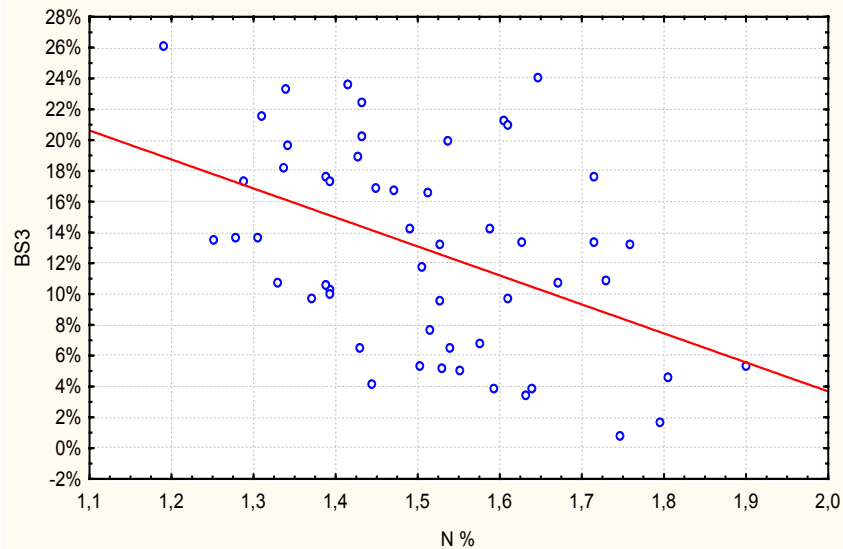
(N kg/ha) gab es nicht. Auch bei der Befallsstärke mit Schwarzbeinigkeit zu BBCH 87 kam es zu keiner Differenzierung.

Tab. 36: Einfluss von Vorfrucht und Blattfungizid (Strobilurin 3x, Fungizid „Unbehandelt“), Weihenstephan 2000, auf die Stickstoffaufnahme (Blattgrünintensität BGI („Spad“ meter), Stickstoffgehalt (N %), Stickstoffaufnahme (N kg/ha), Ertrag, Wurzelbefall (Befallsstärke zum 3. Pobenahmetermin BS3) und Nekrotisierung der oberen beiden Blättetagen zu BBCH 85 (F/F-1 BBBCH85))

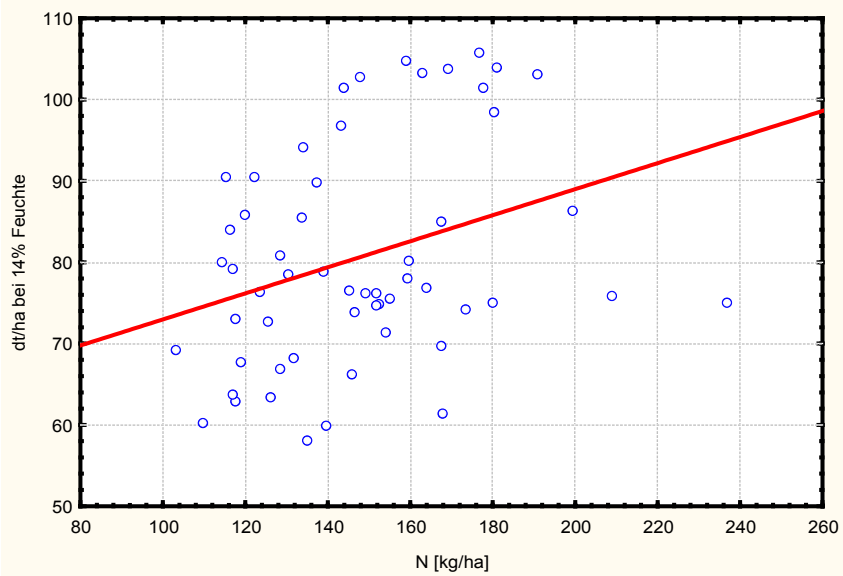
Vorfrucht	Fungizid	Stickstoffaufnahme			Ertrag dt/ha	Befall BS3	Blattnekrose F/F-1 BBCH85
		BGI (Spad)	N [%]	N [kg/ha]			
Winterraps	Strobilurin 3x	585	1.61	164.49	100.01	7.6%	29.5%
	Unbehandelt	563	1.59	165.64	77.59	6.8%	89.3%
Winterraps Ergebnis		574	1.60	165.07	88.80	7.2%	59.4%
Winterweizen	Strobilurin 3x	598	1.44	135.98	82.79	17.9%	34.8%
	Unbehandelt	580	1.44	132.78	66.06	17.2%	97.6%
Winterweizen Ergebnis		589	1.44	134.38	74.42	17.5%	66.2%
Mittelwert	Strobilurin 3x	593	1.51	148.20	90.17	13.3%	32.5%
	unbehandelt	573	1.50	146.86	71.00	12.6%	94.1%
Gesamtergebnis		583	1.51	147.53	80.59	12.9%	63.3%

Die Regression der Spad-Meter Werte auf den Befall (BS3) ($r^2 = 0,01$) und auf den Ertrag (dt/ha) ($r^2 = 0,02$) erbrachte keinen Zusammenhang.

Für die Regression der gemessenen Stickstoffgehalte (N%) auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit ergab sich ein schwacher Zusammenhang ($r^2 = 0,2$). Ein ähnlich geringes Bestimmtheitsmaß ergibt sich auch bei der Regression des Stickstoffgehaltes auf den Ertrag ($r^2 = 0,12$) (Abb. 18).

Schwarzbeinigkeits-
befall

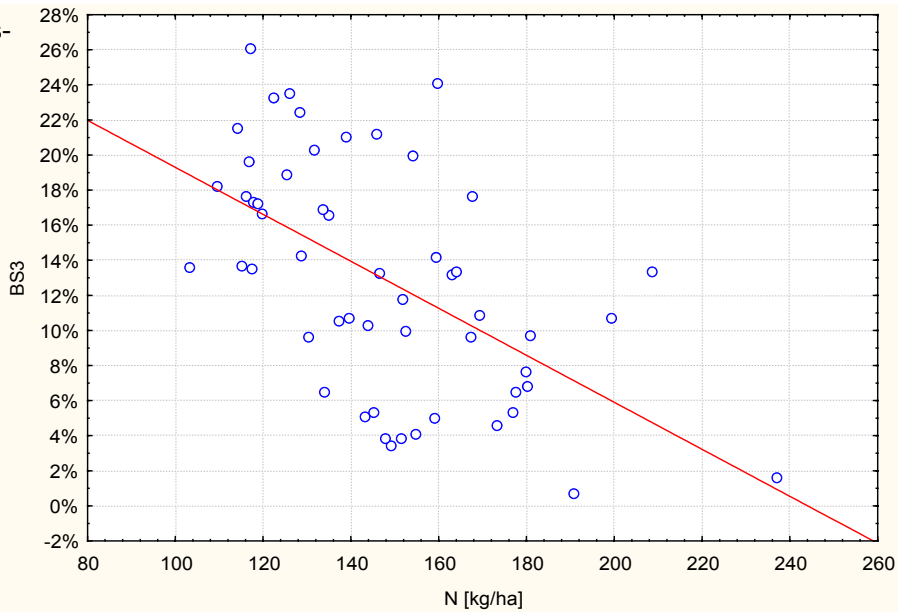
Ertrag



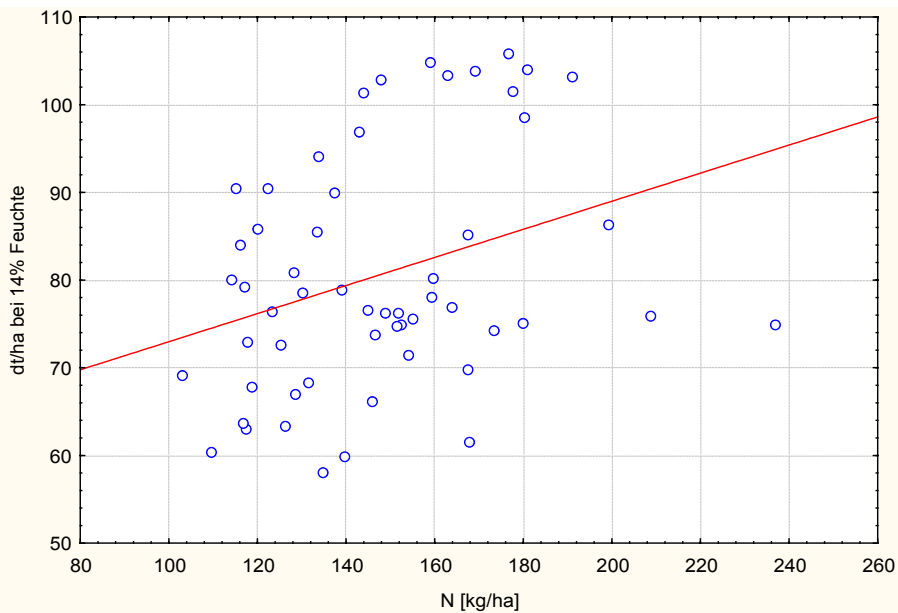
Stickstoffgehalt %

Abb. 18: Regressionen des Stickstoffgehaltes (N%) auf den Befall mit Schwarzbeinigkeits (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)

Bei der Untersuchung zum Einfluss der Stickstoffgesamtaufnahme in kg/ha (N kg/ha) auf die Befallsstärke zu BBCH 87 (BS3) ergibt sich ein besserer Zusammenhang ($r^2 = 0,31$) als für den Stickstoffgehalt (N %), er bleibt aber immer noch schwach. Die Regression der Stickstoffaufnahme auf den Ertrag ergibt einen sehr geringen Einfluss ($r^2 = 0,1$) (Abb. 19).

Schwarzbeinigkeits-
befall

Ertrag



Stickstoffaufnahme (kg/ha)

Abb. 19: Regressionen der Stickstoffaufnahme (N kg/ha) auf den Befall mit Schwarzbeinigkeits (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)

Zur Übersicht wurden die Werte der Stickstoffgehalte und der Blattgrünintensität (BGI) mittels ArcView in einem Parzellenplan farblich abgestuft von hell (schwache Versorgung) bis dunkel (hohe Versorgung) dargestellt (Abb. 20). Gut erkennen lassen sich der Einfluss der Düngungsstufen und der Vorfrucht. Unterschiede aufgrund des Schwarzbeinigkeitsbefalls bzw. der Beizung lassen sich in dieser Darstellung nicht erkennen. Bei dem analog dargestellten Vergleich der Ertragswerte und des Schwarzbeinigkeitsbefalls als Take-All Index (TAI) (Abb. 21), bleibt nur noch der Einfluss der Vorfrucht erkennbar. Der Einfluss von Düngung bzw. Stickstoffversorgung ist kaum erkennbar.

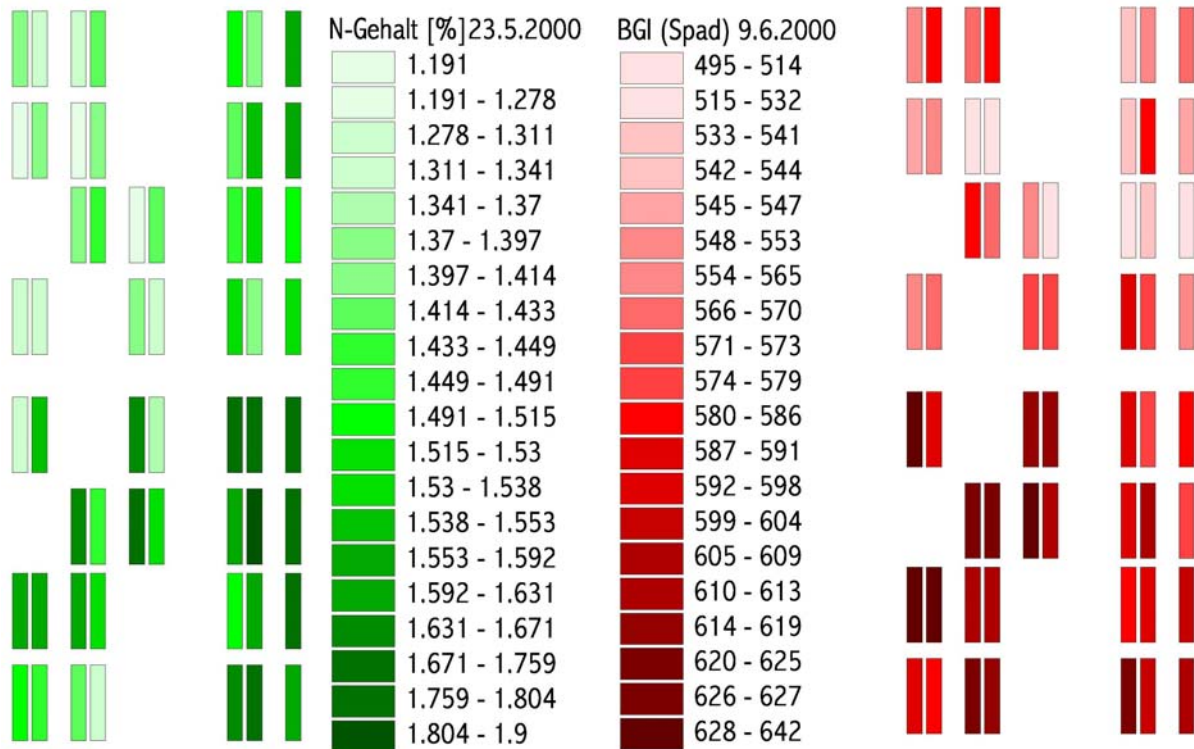


Abb. 20: Vergleich der Messung des Stickstoffstatus mit zwei unterschiedlichen Methoden.

Links die Messung der Stickstoffgehalte am 23.5.2000 in % (N-Gehalt %), rechts die durch ein Spadmeter ermittelten Werte zu Stickstoffversorgung. Die helleren Werte zeigen eine schwächere Versorgung auf. Die Werte sind ähnlich einer Luftaufnahme entsprechend des Parzellenplanes dargestellt.

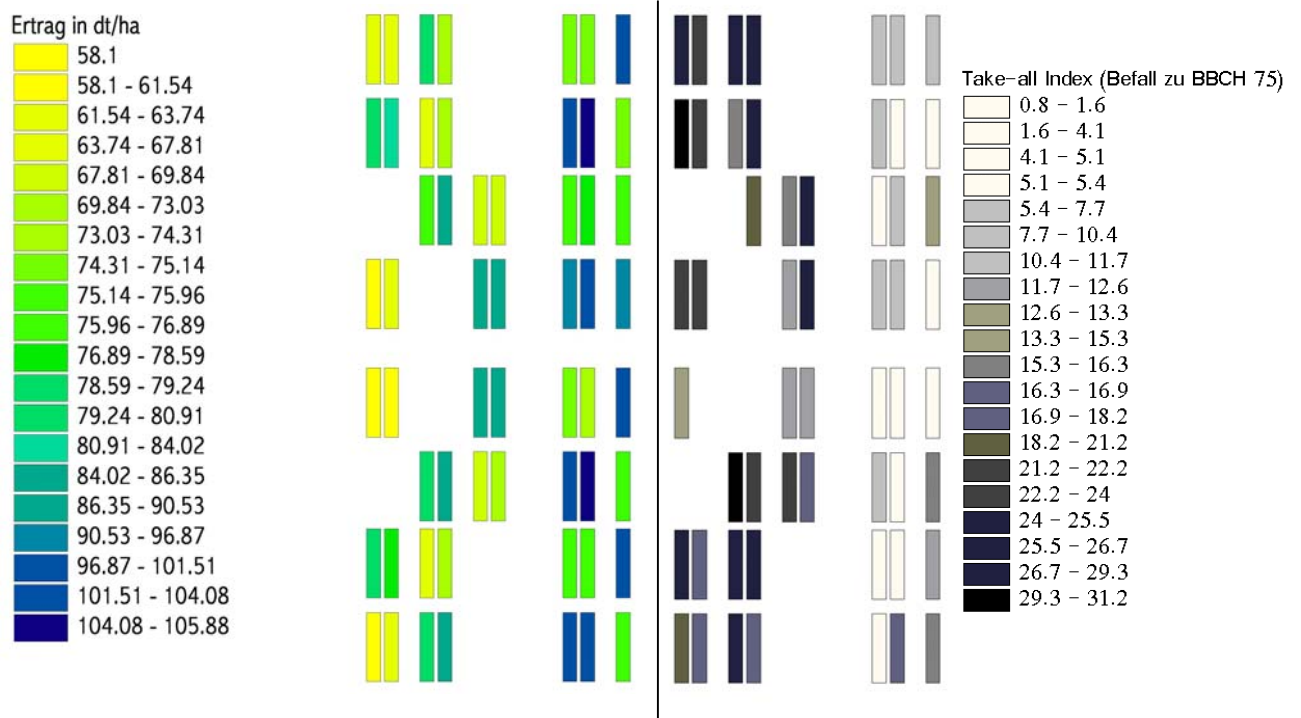


Abb. 21: Vergleich der Ertragswerte und des Befalls mit Schwarzbeinigkeitsindex (TAI).

(Analog zu Abb. 20) Es wird vor allem der Einfluss der Vorfrucht deutlich. Der Einfluss der Düngung bzw. der Stickstoffversorgung lässt sich kaum erkennen.

5.2.2.2 Aufnahme und Versorgung mit Wasser

Die im Erntegut bestimmten $\delta^{13}\text{C}$ Werte liegen in einem Bereich zwischen -27,29 und -25,97. Je kleiner ein Wert und somit der relative Gehalt ist (-27), desto höher war die Diskriminierung von ^{13}C und um so günstiger war die Wasserversorgung. Je größer ein Wert ist (-25), desto geringer war die Diskriminierung des ^{13}C Isotop und um so eher litt die Pflanze unter Trockenstress.

Die $\delta^{13}\text{C}$ Werte nach Winterrapsvorfrucht waren kleiner (-26,81) als nach Vorfrucht Winterweizen (-26,25). Durch die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit wurden die Werte zwar jeweils etwas verringert, doch ließ sich dieser Einfluss in der Varianzanalyse nicht signifikant absichern (Tab. 37 und 61, Anhang).

Tab. 37: Einfluss von Vorfrucht und Beizung gegen Schwarzbeinigkeit auf den Wasserstatus ($\delta^{13}\text{C}$), Weihenstephan 2000

Vorfrucht	Beize	$\delta^{13}\text{C}$	dt/ha	BS3%	F/F-1 BBCH85%
Winterraps	ohne	-26.80	88.21	7.0	62.5
	mit	-26.83	89.97	7.7	53.3
Winterraps Ergebnis		-26.81	88.80	7.2	59.4
Winterweizen	ohne	-26.22	72.65	18.1	66.0
	mit	-26.28	76.20	16.9	66.4
Winterweizen Ergebnis		-26.25	74.42	17.5	66.2
Mittelwert	ohne	-26.51	80.43	12.4	64.3
	mit	-26.46	80.79	13.7	62.0
Gesamtergebnis		-26.49	80.59	12.9	63.3

In der Düngungsstufe „hoch“ sind die $\delta^{13}\text{C}$ Werte weniger geringer, auch wenn dieser Effekt innerhalb der Vorfruchtkategorien schwankt und nicht statistisch signifikant ist (Tab. 38 und 61, Anhang).

Tab. 38: Einfluss von Vorfrucht und Düngung (hoch, niedrig) auf Wasserstatus ($\delta^{13}\text{C}$), Weihenstephan 2000

Vorfrucht	Düngung	$\delta^{13}\text{C}$	dt/ha	BS3	F-F-1 B85
Winterraps	hoch	-26.77	89.86	7.1%	64.7%
	niedrig	-26.85	87.74	7.3%	54.2%
Winterraps Ergebnis		-26.81	88.80	7.2%	59.4%
Winterweizen	hoch	-26.17	74.62	16.4%	60.5%
	niedrig	-26.33	74.23	18.6%	71.9%
Winterweizen Ergebnis		-26.25	74.42	17.5%	66.2%
Mittelwert	hoch	-26.43	81.15	12.3%	62.3%
	niedrig	-26.55	80.02	13.5%	64.3%
Gesamtergebnis		-26.49	80.59	12.9%	63.3%

In Wechselwirkung mit unterschiedlichen Vorfrüchten zeigt die Fungizidbehandlung den deutlichsten Einfluss auf die $\delta^{13}\text{C}$ Werte (Tab. 39). Die dreimalige Applikation von strobilurinhaltigen Fungiziden (Strobilurin 3x) führte innerhalb der Vorfruchtkategorien zu

signifikant verringerten Werten. In der gemeinsamen Betrachtung beider Vorfruchtategorien liegt die Differenzierung mit $p = 0,06$ (Tab. 61, Anhang) nur knapp über der Signifikanzgrenze.

Tab. 39: Einfluss von Vorfrucht und Fungizideinsatz auf $\delta^{13}\text{C}$, Weihenstephan 2000

Vorfrucht	Fungizid	$\delta^{13}\text{C}$	dt/ha	BS3%	F/F-1 BBCH85%
Winterraps	Strobilurin 3x	-26.91	100.01	7.6	29.5
	unbehandelt	-26.71	77.59	6.8	89.3
Winterraps Ergebnis		-26.81	88.80	7.2	59.4
Winterweizen	Strobilurin 3x	-26.32	82.79	17.9	34.8
	unbehandelt	-26.18	66.06	17.2	97.6
Winterweizen Ergebnis		-26.25	74.42	17.5	66.2
Mittelwert	Strobilurin 3x	-26.57	90.17	13.3	32.5
	unbehandelt	-26.41	71.00	12.6	94.1
Gesamtergebnis		-26.49	80.59	12.9	63.3

Der $\delta^{13}\text{C}$ - Wert zeigt in der Regression den von allen untersuchten Parametern besten Einfluss auf den Befall ($r^2 = 0,5$) und den Ertrag ($r^2 = 0,53$) (Abb. 22). Es ergibt sich demnach ein besserer Zusammenhang zwischen Befall und $\delta^{13}\text{C}$ - Wert einerseits und $\delta^{13}\text{C}$ - Wert und Ertrag andererseits, als die direkte Befalls-Ertragsbeziehung oder über die in diesem Zusammenhang untersuchten Werte der Stickstoffversorgung.

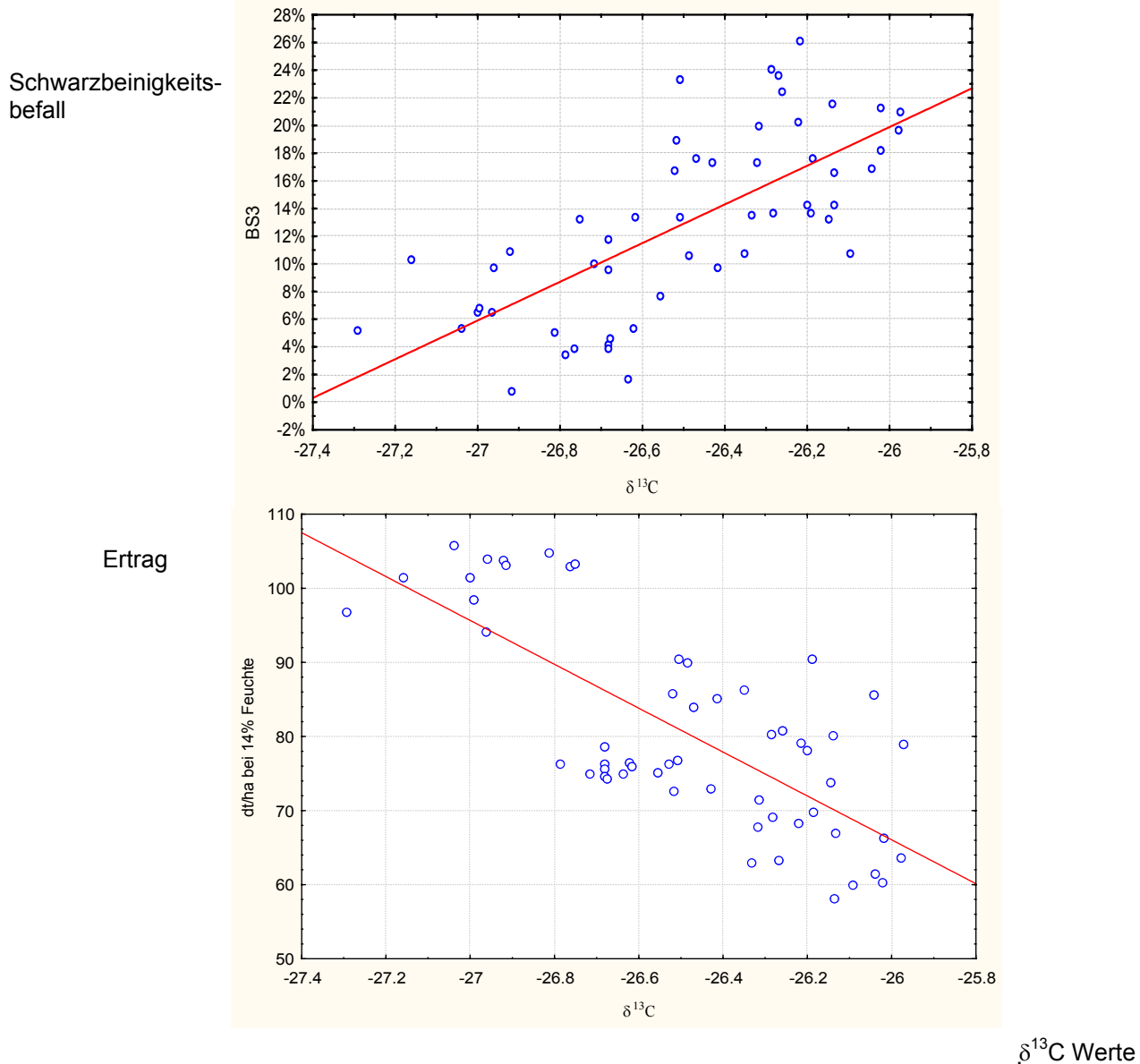


Abb. 22: Regressionen der $\delta^{13}\text{C}$ Werte auf den Befall mit Schwarzbeinigkeits (BS3, oben) und auf den Ertrag (dt/ha, unten)

5.2.3 Gemeinsame Betrachtung der Einflussfaktoren auf den Ertrag beim Feldversuch am Standort Weihenstephan 2000

Bei einem Vergleich der verschiedenen gemessenen oder bonitierten Werte in einer partiellen Korrelation (Tab. 40), bestätigt sich der gute Zusammenhang des $\delta^{13}\text{C}$ - Wertes mit dem Ertrag und dem Befall.

Um den Einfluss der verschiedenen Vorfrüchte beim Zusammenhang zwischen $\delta^{13}\text{C}$ - Wertes zu vermeiden, wurden die Werte nach Vorfrucht Winterweizen betrachtet. Wie am Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,02$ für den Befall und $r^2 = 0,22$ für den Ertrag zu erkennen ist, wurde der Zusammenhang bei der isolierten Betrachtung deutlich schwächer.

Tab. 40: Partielle Korrelationen der gemessenen und bonitierten Parameter, Weihenstephan 2000

		dt/ha	N%	N (kg/ha)	$\delta^{13}\text{C}$	BS3	BGI (Spad)
Korrelation nach Pearson	dt/ha	1.000	.358	.349	-.722	-.429	.163
	N %	.358	1.000	.761	-.396	-.451	.383
	N (kg/ha)	.349	.761	1.000	-.447	-.558	.217
	$\delta^{13}\text{C}$	-.722	-.396	-.447	1.000	.707	.247
	BS3	-.429	-.451	-.558	.707	1.000	.100
	BGI (Spad)	.163	.383	.217	.247	.100	1.000
Signifikanz (einseitig)	dt/ha	.	.004	.005	.000	.001	.120
	N %	.004	.	.000	.002	.000	.002
	N (kg/ha)	.005	.000	.	.000	.000	.057
	$\delta^{13}\text{C}$.000	.002	.000	.	.000	.036
	BS3	.001	.000	.000	.000	.	.235
	BGI (Spad)	.120	.002	.057	.036	.235	.
n	Für alle	54	54	54	54	54	54

Zur Abschätzung des Einflusses aller Faktoren als Prädiktoren auf den Ertrag (dt/ha), wurde abschließend eine Analyse mittels eines CHAID durchgeführt und ein Regressionsmodellbaum aufgestellt (Modell 5, 9.2.5. Anhang).

Zur Beschreibung des Ertrages (dt/ha) wurden Vorfrucht, Düngung, Fungizid, Beize, Spad-Meter Werte (BGI), Stickstoffgehalt (N %), Stickstoffaufnahme (N kg/ha), $\delta^{13}\text{C}$ - Wert, die Befallsstärke mit Schwarzbeinigkeit zu BBCH 87 und der Anteil nekrotisierter Blattfläche der oberen Blattetagen zu BBCH 85 (F/F-1 B85) als Prädiktoren gewählt. Das α für Trennung und Verbindung war 0,05, maximale Baumtiefe 5, Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten/Unterknoten 5/1, 56 Fälle (Parzellen) wurden ausgewertet. Das Modell kann 92,3 % der Varianz erklären und hat 15 Knoten mit 9 Endknoten nach 5 Stufen.

Als erstes trennt die Fungizidbehandlung. Die Gruppe der „unbehandelten“ wird in der nächsten Stufe durch den $\delta^{13}\text{C}$ - Wert in 3 Gruppen unterteilt: 1. Gruppe $\delta^{13}\text{C}$ - Wert > -26,51; 3. Gruppe $\delta^{13}\text{C}$ - Wert < -26,99; die 2. Gruppe schließt die Werte in der Mitte ein und wird als einzige in der 3. Stufe durch die Gesamtstickstoffaufnahme (N kg/ha) in 2 Gruppen unterteilt (größer bzw. kleiner oder gleich 134,78 kg/ha).

Die Gruppe der Blattfungizid-behandelten (Strobilurin 3x) aus der 1. Stufe wird anschließend durch die Vorfrucht aufgeteilt. Die Gruppe Winterweizenvorfrucht unterteilt sich nicht weiter. Die Gruppe nach Vorfrucht Winterraps wird in den nächsten Stufen durch den Spad-Meter Wert, durch die Stickstoffaufnahme (N kg/ha) und nochmals durch den Spad-Meter Wert in Untergruppen geteilt.

5.2.4 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Schwarzbeinigkeit mit dem Blattfungizideinsatz

Aufgrund des geringen Befallsniveaus mit Schwarzbeinigkeit 1998 in Weihenstephan konnte keine Differenzierung im Wurzelbefall bonitiert werden (Kapitel 5.2.1.2). Die ertragsstärkste Blattfungizidvariante war die mit Strobilurinapplikation zu 3 Terminen (90,7 dt/ha). Auch die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit zeigte einen deutlichen Ertragseffekt. Betrachtet man die Wechselwirkung, so führt die Beizung stets zu einer Abstufung im Ertrag innerhalb einer Fungizidvariante. Auch dieser Unterschied ist wiederum am deutlichsten bei der Strobilurin Variante mit dreimaligem Strobilurineinsatz.

Ähnlich stellt sich der Einfluss bei der Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu BBCH 81 und BBCH 85 dar (Tab. 43 F/F-1 B81 % und F B85 %), und auch hier führt die Beize zu einer Abstufung.

Der Einfluss der Beize auf den Ertrag und der Einfluss der Fungizide auf die Blattnekrotisierung ließen sich statistisch in der Varianzanalyse absichern (Tab. 57, Anhang). Dabei unterscheidet sich bei den Fungiziden nur die unbehandelte Kontrolle von den behandelten Varianten, nicht aber die Fungizidvarianten untereinander.

Tab. 41: Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und der Blattfungizidvariante, Weihenstephan 1998, auf Ertrag und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zu BBCH 81 und BBCH 85 dar (F /F-1 BBCH81 % und F BBCH85 %)

Fungizidvariante	Beize	Ertrag dt/ha	Nekrotisierung der oberen Blattetagen	
			F/F-1 BBCH81 %	F BBCH85 %
Unbeh. Kontrolle	mit	86.6	94.4	98.8
	ohne	77.5	98.8	99.6
Ergebnis		82.1	96.6	99.2
Azol 3x	mit	92.6	21.5	61.9
	ohne	83.9	26.3	77.5
Ergebnis		88.3	23.9	69.7
Strobilurin 3x	mit	96.9	25.0	62.5
	ohne	84.4	28.5	73.0
Ergebnis		90.7	26.8	67.8
Mittelwert	mit	90.7	58.8	80.5
	ohne	80.8	63.1	87.4
Gesamtergebnis		85.8	60.9	84.0

Die sich in den Werten andeutende Beziehung zwischen Blattnekrotisierung und Ertrag zeigt sich zwar auch in der Regression, hat aber nur ein schwaches Bestimmtheitsmaß ($r^2=0,4327$).

In Weihenstephan 1999 wurden mit der Frühsaat nach Winterweizenvorfrucht und Spätsaat nach Kartoffelvorfrucht Einflussfaktoren unter zwei gegensätzliche Befallssituationen an

einem Standort untersucht. Bei der Fröhsaat erreichten die Varianten ohne wirksame Beizung bei der Wurzelbonitur auf Schwarzbeinigkeit vom 15.6.1999 (BBCH 65) eine Befallshäufigkeit von 70,4% (BH2) und eine Befallsstärke 15,4%. Die Befallsstärke stieg bis zur Endbonitur am 6.7.1999 (BBCH 75) auf 24% an. Durch die Saatgutbehandlung wurde der Befall auf 19% reduziert. Den höchsten durchschnittlichen Schwarzbeinigkeitsbefall zum Endtermin (BS3) hatte bei den Blattfungizidvarianten die Kontrolle mit 26,3%. Die Fungizidbehandelten lagen um 6-9% darunter. Innerhalb der Fungizidvarianten konnte die Beize den Befall um 4-7% reduzieren.

Die oberen Blattetagen waren am 15.6.1999 (BBCH 65) durchschnittlich zu 6,6% nekrotisiert. Bei der Bonitur am 6.7.1999 (BBCH 75) war der durchschnittliche Nekrotisierungsgrad auf 71,9% angestiegen (F/F-1_3, Tab. 42). Deutlich wurde der Grad der Nekrotisierung durch die zweimalige Behandlung mit Azol-haltigen Fungiziden oder Strobilurin-haltigen Fungiziden reduziert, wobei sich die beiden Varianten nur um wenige Prozent unterscheiden. Die Beize führte zu keiner eindeutigen Differenzierung innerhalb der Varianten.

Der höchste Ertrag wurde in den Varianten mit zweimaligem Strobilurineinsatz mit 86,6 dt/ha erzielt (Strobilurin 2x, Tab. 42). Darunter folgen Azol 2x mit 84,8 dt/ha und die Blattfungizid - unbehandelten Varianten mit 79,2 dt/ha. Durch die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit wurde in allen Varianten eine positive Ertragsdifferenz von 2,4-3,5 dt/ha erreicht. Als signifikant konnte in der Varianzanalyse nur der Einfluss des Blattfungizideinsatzes auf die Nekrotisierung der oberen Blattetagen im Stadium BBCH 75 (F/F-1_3) getestet werden (Tab. 60, Anhang).

Tab. 42: Einfluss der Beize gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, auf Schwarzbeinigkeitsbefall zum Probenahmetermin 2 und 3 (Befallshäufigkeit BH2, Befallsstärke BS), Ertrag (dt/ha) und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zum Termin 2 und 3 (F/F-1_2, _3), Fröhsaat Vorrucht Winterweizen, Weihenstephan 1999

Blattfungizid	Beize	BH2 %	BS2 %	BS3 %	dt/ha	F/F-1_2 %	F/F-1_3 %
Azol 2x	mit	66.7	8.0	15.3	86.0	2.8	69.3
	ohne	40.0	14.5	19.4	83.6	0.7	69.0
Azol 2x Mittelwert		53.3	11.3	17.3	84.8	1.8	69.2
Strobilurin 2x	mit	48.3	17.9	17.4	88.2	17.7	66.8
	ohne	76.7	19.4	24.4	85.0	3.5	67.3
Strobilurin 2x Mittelwert		62.5	18.6	20.9	86.6	10.6	67.1
unbehandelt	mit	89.2	14.6	24.4	81.4	4.4	78.1
	ohne	94.4	18.2	28.3	76.9	10.5	81.0
unbehandelt Mittelwert		91.8	16.4	26.3	79.2	7.5	79.6
	mit Mittelwert	68.1	13.5	19.0	85.2	8.3	71.4
	ohne Mittelwert	70.4	17.3	24.0	81.9	4.9	72.5
Gesamtergebnis		69.2	15.4	21.5	83.5	6.6	71.9

Bei der Spätsaat erreichten die Varianten ohne wirksame Beizung bei der Wurzelbonitur auf Schwarzbeinigkeit vom 15.6.1999 (BBCH 65) eine Befallshäufigkeit von 74,2% (BH2) und eine Befallsstärke von 4,7%. (Tab. 45) Die Befallsstärke stieg bis zur Endbonitur am 14.7.1999 (BBCH 81) bis auf 6,7% an. Einen deutlich erhöhten Befallswert gab es nur bei der Fungizid-unbehandelten Variante ohne Beizung gegen Schwarzbeinigkeit mit 12,2% (BS3). Im allgemeinen war der Befall mit Schwarzbeinigkeit zu gering, um zu differenzieren.

Die oberen Blattetagen waren am 15.6.1999 (BBCH 65) durchschnittlich zu 3,2% nekrotisiert. Bei der Bonitur am 14.7.1999 (BBCH 75) war der durchschnittliche Nekrotisierungsgrad auf 82% angestiegen (F/F-1_3, Tab. 45). Der Grad der Nekrotisierung wurde durch die zweimalige Behandlung mit Azol-haltigen Fungiziden oder Strobilurin-haltigen Fungiziden reduziert, wobei die Strobilurin-haltige Variante mit 69,4% gegenüber 97,7% in der unbehandelten Variante den deutlichsten Effekt erzielt. Die Beize hat nur bei der Azol-Variante einen Effekt, ansonsten kommt es zu keiner eindeutigen Wirkung.

Der höchste Ertrag wurde in den Varianten mit zweimaligem Strobilurineinsatz mit 90,4 dt/ha erzielt (Strobilurin 2x, Tab. 43). Es folgen „Azol 2x“ mit 85,4dt/ha und die Blattfungizid – „unbehandelten“ Varianten mit 75,1 dt/ha. Durch die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit wurde im Durchschnitt eine positive Ertragsdifferenzierung von 1,5 dt/ha erreicht. Die Werte innerhalb der Blattfungizidvarianten für den Einfluss der Beize streuen jedoch, so dass kein eindeutiger Einfluss nachgewiesen werden kann. In der Varianzanalyse war der Einfluss des Blattfungizideinsatzes auf die Nekrotisierung der oberen Blattetagen im Stadium BBCH 75 (F/F-1_3) und auf den Ertrag signifikant (Tab. 60, Anhang).

Tab. 43: Einfluss der Beize gegen Schwarzbeinigkeit (mit, ohne) und Blattfungizidbehandlung (Fungizid „unbehandelt“, Azol 2x, Strobilurin 2x), Weihenstephan 1999, auf Schwarzbeinigkeitsbefall zum Probenahmeternin 2 und 3 (Befallshäufigkeit BH2, Befallsstärke BS2, 3), Ertrag (dt/ha) und Nekrotisierung der oberen Blattetagen zum Termin 2 und 3 (F/F-1_2, _3), Spätsaat, Vorrucht Kartoffel

Blattfungizid	Beize	BH2 %	BS2 %	BS3 %	dt/ha	F/F-1_2 %	F/F-1_3 %
Azol 2x	mit	83.3	2.7	5.2	86.6	0.8	74.0
	ohne	76.7	3.5	4.0	84.3	1.8	83.8
Azol 2x Mittelwert		80.0	3.1	4.6	85.4	1.3	78.9
Strobilurin 2x	mit	86.7	6.0	4.3	92.0	3.7	69.3
	ohne	50.0	4.6	3.9	88.9	0.5	69.5
Strobilurin 2x Mittelwert		68.3	5.3	4.1	90.4	2.1	69.4
unbehandelt	mit	87.5	5.0	5.3	74.8	2.8	97.2
	ohne	95.8	5.9	12.2	75.5	9.7	98.1
unbehandelt Mittelwert		91.7	5.5	8.8	75.1	6.3	97.7
	mit Mittelwert	85.8	4.5	5.0	84.4	2.4	80.2
	ohne Mittelwert	74.2	4.7	6.7	82.9	4.0	83.8
Gesamtergebnis		80.0	4.6	5.8	83.7	3.2	82.0

Die Untersuchung der Regressionen zwischen Befall (Blatt, Wurzel) und Ertrag getrennt nach Frühsaat, Vorfrucht Winterweizen, und Spätsaat, Vorfrucht Kartoffel, ergeben sehr ähnliche Regressionen für die beiden unterschiedlichen Befallssituationen, vor allem hinsichtlich des Schwarzbeinigkeitsbefalls.

Trotz der schwachen Bestimmtheitsmaße (Frühsaat Vorfrucht Winterweizen $r^2=0,3861$, Spätsaat Vorfrucht Kartoffel $r^2=0,3755$) bei der Regression zwischen Befallstärke der Schwarzbeinigkeit bei der Endbonitur (BS3, BBCH75-81) und dem Ertrag, zeichnet sich doch der Trend zu geringerem Ertrag bei höherem Befall mit Schwarzbeinigkeit ab.

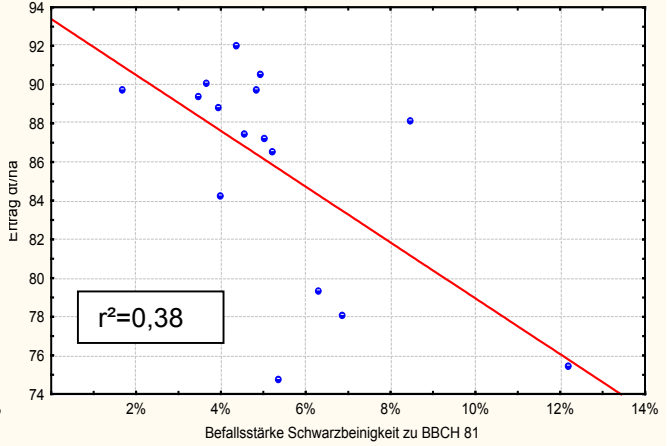
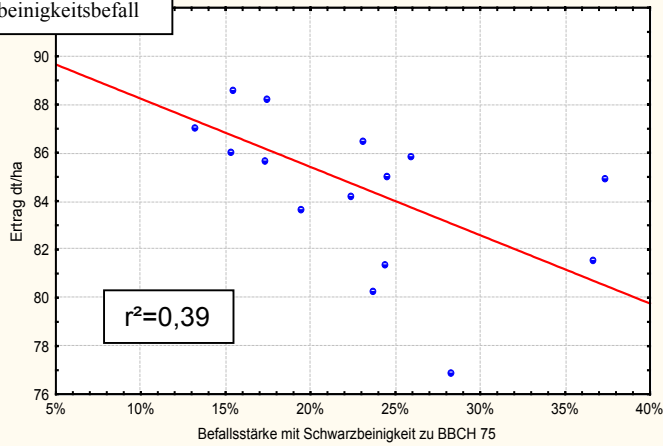
Der Mittelwert der Nekrotisierung des Fahnenblattes (F) und des darunter liegenden Blattes (F-1) ist ein sehr guter Prädiktor der Ertragsunterschiede. Das Bestimmtheitsmaß ist besser in der Spätsaat ($r^2=0,8715$) bei niedrigerem Schwarzbeinigkeitsbefall an der Wurzel als bei der Frühsaat ($r^2=0,6846$).

Die Untersuchung der Regression des Schwarzbeinigkeitsbefalls an der Wurzel auf die Nekrotisierung der oberen Blattetagen ergab bei schwachen Bestimmtheitsmassen ($r^2= 0,31$ und $r^2=0,36$), dass in diesem Versuch höherer Wurzelbefall mit höheren Graden der Nekrotisierung der oberen Blattetagen auftrat. Eine Übersicht zu den Regressionen ist in Abb. 23 wiedergegeben.

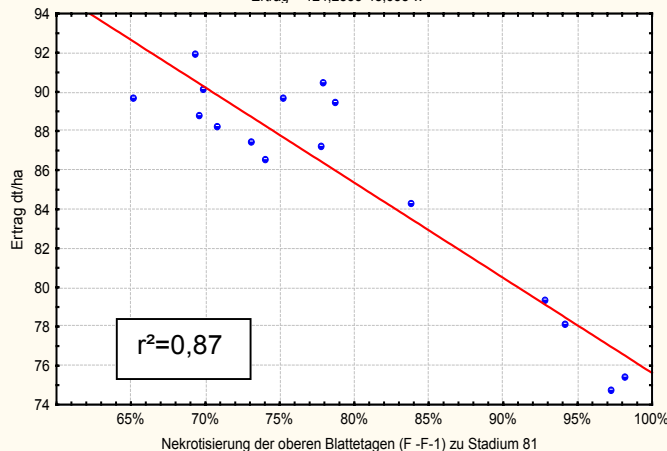
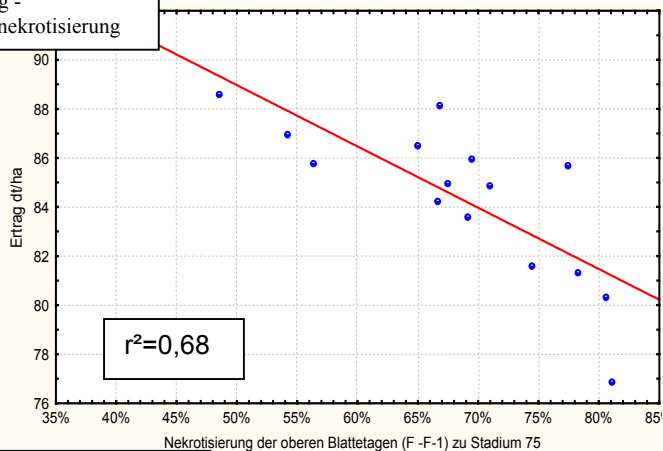
Frühsaat, Vorfrucht Winterweizen

Spätsaat, Vorfrucht Kartoffel

Ertrag -
Schwarzbeinigkeitsbefall



Ertrag -
Blattnekrotisierung



Blattnekrotisierung -
Schwarzbeinigkeitsbefall

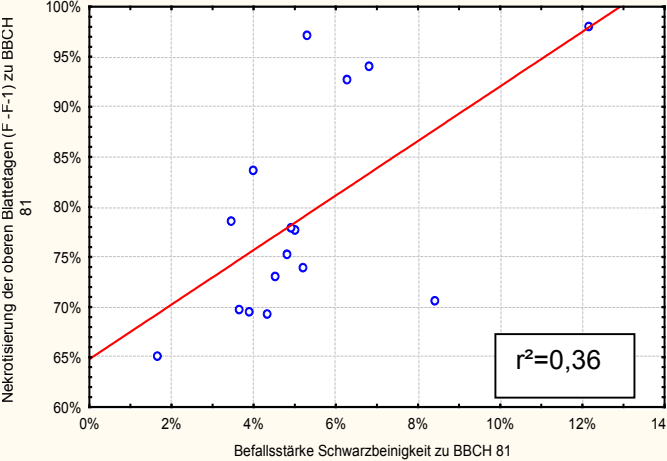
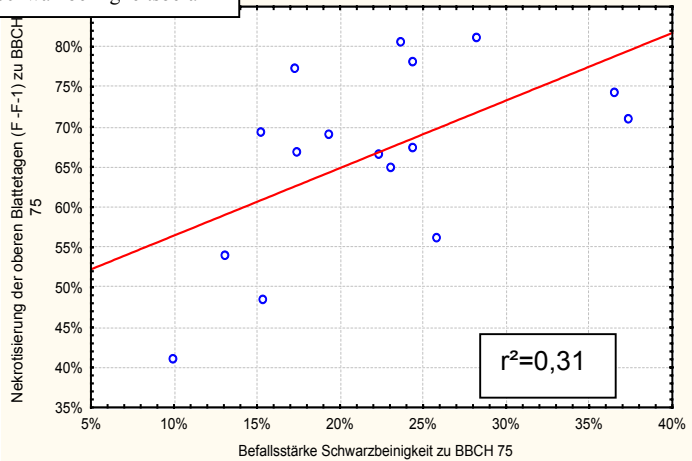


Abb. 23: Regressionen zwischen Ertrag und Schwarzbeinigkeitsbefall, Weihenstephan 1999, (Oben, Befallsstärke zu BBCH 75 bzw. 81), Ertrag und Nekrotisierung der oberen Blättertagen (Mitte, F/F-1 zu Stadium 75 bzw. 81) und zwischen der Blattnekrotisierung und dem Schwarzbeinigkeitsbefall (Unten), getrennt nach Frühsaat mit Vorfrucht Winterweizen und Spätsaat mit Vorfrucht Kartoffel

6 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Vorkommen und die Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland zu klären. Durch den Vergleich verschiedener regionaler Faktoren und Standortfaktoren in ihrem Einfluss auf das Befallsauftreten wurden die Grundlagen erarbeitet, die zu einer Risikoabschätzung notwendig sind. Die Risikoabschätzung bildet die Voraussetzung, um geeignete Maßnahmen zur Bekämpfung bzw. Kontrolle der Krankheit durchzuführen (Hornby 1998b, Yarham 1998). Die Arbeit untersucht daher auch die Möglichkeit der chemischen Bekämpfung durch Einsatz von Saatgutbehandlungen mit Wirkstoffen gegen den Erreger der Schwarzbeinigkeit und den sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Risikobegrenzung.

Methoden

Der Vorteil eines Monitoring liegt in der großen Anzahl von Einzelbeobachtungen an verschiedenen Standorten, die einen Überblick über die mögliche Bandbreite der Befallsbeobachtungen bietet. Aus dem Vergleich der Bedingungen ließ sich die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren auf das Befallsauftreten abschätzen. Dies ist bei der Schwarzbeinigkeit besonders wichtig, da es bei dieser Krankheit durch die Verallgemeinerung einzelner Beobachtungen zu widersprüchlichen Auffassungen über den Einfluss bestimmter Faktoren und die Bedeutung der Krankheit kommt (Hornby 1998, Yarham 1981).

Es ist zu berücksichtigen, dass bei einer großen Streuung der Werte einzelne Beobachtungen durch Mittelwerte nicht mehr ausreichend beschrieben werden können. Dabei sind Komplexität und eine große Streuung in den Ergebnissen, bis hin zur Widersprüchlichkeit, als charakteristisch für diese Krankheit beschrieben (Hornby 1998, Yarham 1981). Dementsprechend kommen der statistischen Auswertung, der überregionalen Betrachtung und dem Vergleich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen besondere Bedeutung zu (Hornby 1998).

Clarkson und Polley (1981) und Hornby (1998) weisen darauf hin, dass bei der Bewertung des Schwarzbeinigkeitsbefalls immer wieder unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen, was Einfluss auf die statistische Auswertbarkeit und die Vergleichbarkeit der Studien hat. Aus diesem Grunde wurde bei der vorliegenden Studie die prozentuale Verschwärzung der Wurzeln für die eingesandten Stichproben ausschließlich am Lehrstuhl und nach einem einheitlichen Schema erhoben, abgeleitet von dem von Clarkson und Polley (1981) beschriebenen Boniturschlüssel. Die Werte werden zu Befallshäufigkeiten und

Befallsstärken verrechnet. Der Vorteil liegt in einer kontinuierlichen Skala, die bei Bedarf in andere Bewertungsskalen und Klassifizierungen umwandelbar ist und somit eine hohe Vergleichbarkeit bietet. Die Ergebnisse bleiben durch die prozentuale Darstellung anschaulich. Anzumerken ist jedoch, dass diese Einteilung zur Schiefe, also zur Abweichung gegenüber der Normalverteilung, neigt. Die für die kategoriellen Variablen verwendete Varianzanalyse ist jedoch laut Wiseman (1997) robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung und ist in den meisten Fällen, aufgrund der höheren Fähigkeit Signifikanzen zu erkennen, nichtparametrischen Verfahren überlegen.

Aufgrund des komplexen Zusammenwirkens zahlreicher Faktoren auf den Befall und dem Verhältnis von Befall und Ertrag (Huber und McCay-Buis 1993, Hornby 1998) sind jedoch multiple Vergleiche eine wichtige Grundlage für die Risikoabschätzung und integrierte Gegenmaßnahmen (Hornby 1998b). Dabei ergibt sich die Schwierigkeit, dass viele der betrachteten Einflussfaktoren nicht unabhängig voneinander sind. Diese Unabhängigkeit ist jedoch Voraussetzung für die sinnvolle Anwendung von multiplen Varianzanalysen und Regressionen (Teng 1985 in Hornby 1998, Wiseman 2002). Ein weiteres Problem ergab sich daraus, dass sowohl kategorielle, als auch kontinuierliche Einflussfaktoren in die Betrachtung einfließen. Für diese Art der Betrachtung zeigte sich das CART Verfahren (Correlation and regression trees) als besonders geeignet. Durch dieses Verfahren können Zielvariablen anhand zahlreicher Prädiktoren oftmals besser beschrieben werden, als durch eine Regression (Breimann et al. 1984). Das Ergebnis steht jedoch in starker Abhängigkeit von den Eingangsdaten und lässt sich nicht ohne weitere Überprüfung auf andere Datensätze z.B. aus anderen Untersuchungen, übertragen (Anonymus 2001).

Auf eine wichtige Einschränkung macht Gilligan (1994) aufmerksam. Die Vorgänge im Boden und somit die verschiedenen Einflüsse im Zusammenhang mit der Betrachtung der Schwarzbeinigkeit, lassen sich nur indirekt oder durch Eingriff in das System beobachten. Ein großer Teil der Zusammenhänge bleibt deshalb (im Boden) verborgen und die Auswirkung des beobachteten Faktors muss indirekt abgeschätzt werden. Dies trifft besonders auf die für das Monitoring ausgewählten regionalen und agronomischen Faktoren zu. Daher müssen sie an dieser Stelle in Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den ergänzenden Feldversuchen und den Ergebnissen aus veröffentlichten, vergleichbaren Studien betrachtet und diskutiert werden.

Schwarzbeinigkeit in Deutschland

Das zentrale Ergebnis dieser Studie war, dass Schwarzbeinigkeit in Deutschland in allen ackerbaulich genutzten Regionen nachgewiesen werden konnte (Vgl. Karte 1). Es wurden bereits früher überregionale Befallserhebungen durchgeführt, die hinsichtlich der Verbreitung und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland ausgewertet wurden (Schaffnit 1930, Wächter und Röder 1990). Auch sie stellten fest, dass die Verbreitung nicht regional begrenzt ist. Dies war zu erwarten, da der Erreger seit seiner Entdeckung in Gebieten der gemäßigten Klimate weltweit nachgewiesen werden konnte (Garrett 1981). Die Verbreitung entspricht der wichtigsten Wirtspflanze, dem Weizen (Oehrke et al. 1994). Oehrke et al. (1994) führten bei einer weltweiten Untersuchung der Ertragseinbußen in den Hauptkulturen *Gäumannomyces graminis* als eines der wichtigsten pilzlichen Pathogene im Zusammenhang mit intensivem Anbau auf.

Im Gegensatz dazu beschrieben Mielke (1998) und Obst und Paul (1993) Schwarzbeinigkeit in Deutschland als eine Krankheit mit begrenztem Auftreten und Bedeutung. Eine Ursache für Zweifel an Verbreitung und Bedeutung liegt weniger in dem Auftreten, als vielmehr in der geringen allgemeinen Beachtung durch Landwirte und landwirtschaftliche Berater, die sich meist auf die Beobachtung vereinzelter weißer Ähren beschränkt (Garrett 1981, Hornby 1998). Hornby (1998) betont daher die Bedeutung von Monitoring, vor allem der Wurzelsymptome, um das Bewusstsein für diese Krankheit zu etablieren.

Die Ergebnisse der weltweit zahlreichen Befallsbeobachtungen (Monitoring) unterscheiden sich aufgrund der Zielsetzung unter der diese durchgeführt wurden (Jenkins 1978) und in der Gewichtung und Interpretation der einzelnen Faktoren. Gemeinsam ist jedoch, dass es aufgrund des Einflusses der Fruchtfolge, Klima, Standort und Bewirtschaftung zu unterschiedlichem Befallsauftreten kommt.

Regionales Befallsauftreten

In dem untersuchten Zusammenhang lässt sich Region als ein Gebiet umschreiben, in dem es aufgrund von ähnlichen Rahmenbedingungen zu einem typischen hohen oder niedrigen Befallsauftreten kommt. Die Rahmenbedingungen fassen den Einfluss des Bodens bzw. der daraus resultierenden Nutzung zum Anbau von Kulturen, typischen Fruchtfolgen und des Klimas zusammen (Colbach 1997, Hornby 1998).

Mielke (1995, 1998) und Obst und Paul (1993) beschreiben Schwarzbeinigkeit in Deutschland als eine Krankheit der leichten Böden, die nur unter besonderen Umständen auf den Löß-, Lehm- und Schwarzerdestandorten in den Zentren des Ackerbaus vorkommt. Dem

entgegen weisen Wächter und Röder (1990) darauf hin, dass der Erreger in allen „Boden-Klima“ Regionen nachweisbar ist und auch Schaffnit (1930) erwähnt keine Beschränkung auf bestimmte Anbaugebiete oder Bodentypen. Ein Vergleich des Befallsauftretens in dieser Studie mit den Bodennutzungsregionen in Deutschland zeigte, dass es in jeder ackerbaulich genutzten Region zu Befall mit Schwarzbeinigkeit kommt, ohne dass sich eine Differenzierung hinsichtlich der Stärke des Befallsauftretens für eine bestimmte Region erkennen lässt. Auch konnten keine Unterschiede zwischen den Zentren und Randbereichen des Ackerbaus oder ein Zusammenhang mit der Bodenart erkannt werden.

In England kam es nach 1930 immer wieder zu verstärktem Auftreten, besonders auf leichten Böden mit hohem pH, dies wurde jedoch mehr auf die Intensivierung des Getreidebaus als auf die Bodentypen zurückgeführt (Hornby 1998). So wird auch beschrieben, wie es unter bestimmten Rahmenbedingungen gerade auch auf schweren Böden, wo erfahrungsgemäß weniger Schwarzbeinigkeit erwartet würde, häufig zu Problemen kommt (Hornby 1998). Eine Studie aus Kanada, bei der Einfluss von Wetter-, Bewirtschaftungs- und Bodenparametern auf das Auftreten von Fußkrankheiten bei Winterweizen untersucht wurde, fand nur einen signifikanten Einfluss der Fruchtfolge (Hall und Sutton 1998). Da das Auftreten der Schwarzbeinigkeit meist im Zusammenhang mit einer Intensivierung des Getreidebaus beobachtet wurde (Yarham 1981, Hornby 1998, Rovira und Parker 1985), wird der Krankheit oft eine besondere Bedeutung in den Regionen intensiven Getreidebaus zugemessen (Hall und Sutton 1998, Becker et al. 1998). Diese Untersuchung zeigt jedoch bei einem Vergleich des Befallsauftretens mit dem regionalen Anteil von Winterweizen an der Ackerfläche, dass unabhängig vom Anteil der Weizenanbaufläche hohe und niedrige Befallswerte auftreten können. Ein Einfluss des Flächenanteils anderer häufiger Vorfrüchte, die regional zu alternativen Fruchtfolgen führen können, war nicht zu erkennen. Demzufolge gibt es keinen direkten Einfluss der regionalen Fruchtfolge auf das Auftreten, sondern vielmehr misst man dem Erreger in den Regionen eine höhere Bedeutung zu, in denen aufgrund des hohen Anteils des Getreideanbaus an der Fläche von einem hohen Anteil an Weizen in kritischer Fruchtfolge ausgegangen wird (Becker et al. 1998). Der große Einfluss der Fruchtfolge ist auch bei dem Vergleich von Monitoringergebnissen zu berücksichtigen. Hornby (1998) führt Unterschiede in der Bewertung der Schwarzbeinigkeit in England in amtlichen Berichten gegenüber einem zeitgleich durchgeführten Monitoring darauf zurück, dass im Monitoring repräsentativ Proben aus allen Weizenanbauflächen gezogen worden waren, während bei den amtlichen Untersuchungen gezielt Weizenschläge nach Getreidevorfrucht untersucht wurden. Studien ohne Angabe der Vorfrucht sind deshalb schwer zu interpretieren (Hornby 1998). Bei einem

Vergleich von Deutschland mit Frankreich und England (Becker et al. 1998) zeigte sich der höchste Befall in England, in Deutschland und Frankreich war der Befall geringer. Es geht aus der Untersuchung jedoch nicht eindeutig hervor, in wie weit diese Unterschiede auf unterschiedliche Fruchtfolgen zurückzuführen sind. Aus diesen Gründen wurde bei dieser Studie bei den meisten Faktoren der Einfluss unter Berücksichtigung der Fruchtfolge betrachtet.

In Frankreich wird, neben der Intensität des Getreidebaus und dementsprechend hohen Anteil von Weizen an der Fruchtfolge, vor allem auch der Umwelt und dabei besonders dem Klima eine große Bedeutung hinsichtlich regionaler Unterschiede im Befallsauftreten zugemessen (Colbach et al. 1997, L. Jamet 1999, pers. Mitteilung). Klima stellt den typischen Witterungsverlauf einer bestimmten Region im langjährigen Mittel dar (Häckel 1993). MacNish (1980, zitiert in Cotterhill und Sivasithamparam 1989) schlug für die südaustralischen Getreideanbauregionen entsprechend der Niederschläge 3 Risikogebiete vor (je mehr Niederschlag, desto größer das Risiko). Auch Schaffnit beobachtete (1930) für Deutschland einen Zusammenhang hoher Bodenwassergehalte als Folge hoher Niederschlagsmengen, mit verstärktem Auftreten der Schwarzbeinigkeit. Mielke (1995) machte, neben der Fruchtfolge, die hohen Niederschläge im Frühjahr für das verstärkte Befallsauftreten 1992 und 1993 verantwortlich. Wächter und Röder (1990) führen einen höheren Befall (Mittelwert der Schaderregerüberwachung 1976-1988) in manchen ostdeutschen Gebieten auf klimatische Bedingungen zurück.

Wie schon hinsichtlich anderer regionaler Einflussfaktoren festgestellt, kommt es bei der Gesamtbetrachtung des von 1997-2000 durchgeführten Monitoring zu keiner regionalen Differenzierung. Deshalb konnten auch keine klimatisch bedingten Risikoregionen gefunden werden. Dies kann einerseits daran liegen, dass der Beobachtungszeitraum von 4 Jahren nicht ausreicht, um den Einfluss des regional unterschiedlichen Klimas beschreiben zu können (Smiley et al. 1996). Andererseits sind die Unterschiede im Befallsauftreten zu gering, als dass man hinsichtlich der Risikoabschätzung klimatische Unterschiede in Deutschland als relevant ansehen kann.

Bei der Betrachtung des Befallsauftretens in den einzelnen Jahren wurden jedoch regionale Unterschiede deutlich, die auf einen Einfluss der Jahreswitterung rückschließen lassen. 1997 zeigte sich ein geringerer Befall im Osten Deutschlands, 1998 war das Befallsauftreten im Norden stärker als im Süden bzw. Südosten. In den Jahren 1999 und 2000 konnten keine regionalen Unterschiede beobachtet werden. Besonders für 1998 war aufgefallen, dass der

Sommer im Westen, Norden und Osten zu kühl und zu nass war. Im Süden fielen dagegen zu geringe Niederschläge bei leicht überdurchschnittlichen Temperaturen. Es fällt jedoch schwer, das Befallsgeschehen an den Standorten einer Region auf die regionale Witterung zurückzuführen. Eine Analyse von Wetter- und Befallsdaten aus einem Zeitraum von 33 Jahren an einem Standort in England (Hornby 1978) konnte zwar einen gewissen Zusammenhang zwischen Witterung und Befallshöhe feststellen, als Erklärung wurde allerdings weniger ein Einfluss auf den Pilz als auf die Reaktion der Pflanze auf die Witterung gesehen. Der Vergleich mit weiteren Untersuchungen verdeutlicht, dass je nach Zeitpunkt, Region und Bewirtschaftung die Witterung sehr unterschiedliche Auswirkungen auf Inokulum, Befallsverlauf und Pflanzenentwicklung, besonders hinsichtlich Befallskompensation und Ertragsentwicklung, haben kann (Clarkson und Polley 1981). Viele Autoren beschreiben den befallsfördernden Einfluss höherer Niederschläge und der sich daraus ergebenden hohen Bodenfeuchten (Clarkson und Polley 1981, Smiley et al. 1996). Cook (1981) machte darauf aufmerksam, dass der Pilz zwar höhere Bodenfeuchten als die Pflanze zum Wachstum braucht, aber Shipton (1981) festgestellt hat, dass während der vegetationsfreien Phase, zwischen zwei anfälligen Kulturen, trockene Böden zu höheren Überdauerungsraten des Bodeninokulums und somit stärkeren Infektionen der nachfolgenden Kultur führen. Sturm et al. (1984) schlossen aufgrund ihrer Untersuchungen in Deutschland auf einen Einfluss der Jahreswitterung sowohl auf Inokulum als auch Infektion. Winter (1940) fand bei verschiedenen Bodentypen auch unterschiedliche Abhängigkeiten des Befalls von der Bodenfeuchte. Hornby (1998) schlägt vor, dass während der Frühjahrstrockenheit das Pilzwachstum stagniert und Pflanzenwurzeln dem Befall davon wachsen können, vorausgesetzt sie wurden zuvor nicht zu stark geschädigt. Bleibt es im Frühjahr jedoch feucht und kommt es anschließend zu Trockenheit, kann die Pflanze Wurzeln nicht mehr ersetzen. Als Folge des zerstörten Wurzelwerks wirkt sich die Trockenheit auf die befallene Pflanze um so stärker aus.

Da der Pilz in einem sehr weiten Temperaturbereich wachsen kann, wird diesem Klimafaktor meist weniger Beachtung beigemessen als den Niederschlägen. Der Einfluss wird im Zusammenhang mit den Bodenleben diskutiert (Cook 1981, Wong et al. 1996). In sehr warmen Gebieten wie Kansas, U.S.A., kann es im Sommer zu hohen Bodentemperaturen kommen, die das Schwarzbeinigkeitssinokulum inaktivieren. Unter diesen Umständen führen tiefere Temperaturen, z.B. durch Beschattung, zu erhöhtem Befall in der nachfolgenden Weizenkultur (Bockus et al. 1994). Während der Vegetationszeit dürften die direkten

Auswirkungen der Temperatur auf die Pflanze größer sein, als auf den im Boden lebenden Pilz.

Diese komplexen und teilweise widersprüchlichen Zusammenhänge hinsichtlich des Einflusses der Witterung auf den Befall führen dazu, dass trotz ihrer großen Bedeutung (Bailey et al. 2001) eine witterungsabhängige Risikoabschätzung oder gar Befallsprognose sehr schwierig ist. Für bestimmte Regionen entwickelte Modelle (Amelung und Focke 1975, zitiert in Hornby 1978, Augustin et al. 1997, Clarkson und Polley 1981) können nicht einfach übernommen werden (Hornby 1978) und müssen über eine große Anzahl von Standortfaktoren und Bewirtschaftungsfaktoren angepasst werden (Augustin et al. 1997). Hornby (1978) und Clarkson und Polley (1981) kommen zu dem Schluss, dass das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Witterung und Risikofaktoren die Basis ist für eine Risikoabschätzung, auf Grund derer die Einleitung geeigneter Gegenmaßnahmen, insbesondere chemischer Kontrollmaßnahmen, erfolgen muss. Der derzeitige Kenntnisstand und die Erfahrungen aus der vorliegenden Untersuchung zeigen aber einen zu unspezifischen Einfluss, als dass über die Witterung eine genügend präzise Prognose möglich ist.

Bei einer abschließenden Betrachtung regionaler Einflussfaktoren wie Bodennutzung, Fruchtfolge und Klima/Witterung, kann festgestellt werden, dass sich in Deutschland hinsichtlich des Auftretens der Schwarzbeinigkeit keine bestimmten Befallsregionen abgrenzen lassen. Ursache ist entweder eine zu geringe Differenzierung der Region hinsichtlich der Faktoren oder ein zu geringer bzw. ein zu wenig differenzierender Gesamtbefall in Deutschland. Nach den vorliegenden Erfahrungen haben demnach in Deutschland Standortfaktoren eine größere Bedeutung für das Auftreten der Schwarzbeinigkeit, als übergeordnete, regionale Faktoren.

Einfluss der Standortfaktoren

Die untersuchten Standorte ließen sich am besten über die Faktoren Fruchtfolge (Vorvorfrucht, Vorfrucht, Sorte), Saattermin, Bodenbearbeitung und Boden (Bodenart, Bodenqualität, pH) charakterisieren. Dabei wurden die Parameter berücksichtigt, die auch für den Landwirt hinsichtlich einer Risikoabschätzung für seine Anbausituation in Betracht kommen.

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen den großen Einfluss der Vorfrucht auf das Befallsauftreten. Bei Betrachtung der Befallswerte nach den einzelnen Vorfrüchten lässt sich

gut der befallsfördernde Einfluss von Wirtspflanzen gegenüber nicht vom Erreger befallenen Pflanzen erkennen. Deutlich unterschieden sich die Mittelwerte der Befallshäufigkeit und der Befallsstärke nach Wirtspflanzen als Vorfrucht im Vergleich zu Nicht-Wirtspflanzen. Auch durch die Vorvorfrucht ließ sich ein gewisser Einfluss erkennen, jedoch führt dieser nur zu geringfügig höheren oder niedrigeren Befallswerten. Der entscheidende Einfluss geht von der Vorfrucht aus.

Bei der Betrachtung der Vorfruchtwirkung der Wirtspflanzen lassen sich Abweichungen erkennen. So traten nach den Gramineen Hafer und Mais geringe Befallswerte auf. Ursache dürfte in der Verbreitung verschiedener Varietäten des Erregers liegen, da nur bestimmte Varietäten sich auf Hafer oder Mais vermehren können (Walker 1981).

Neben einem unerwartet geringen Befall nach möglichen Wirtspflanzen konnte auch ein unerwartet hoher Befall nach Vorfrüchten beobachtet werden, die nicht als Wirtspflanzen eingestuft werden. In den vorliegenden Beobachtungen sind dies vor allem die Vorfrüchte Erbse, Winterraps und Kartoffel. Bei Kohl und Sonnenblumen handelt es sich um Einzelbeobachtungen.

Neben der für Einzelbeobachtungen möglichen Streuung wird die Verungrasung (Gerlagh 1968, Yarham 1981, Cotterill ans Sivasithamparam 1988, Hornby 1998) als eine Ursache für hohen Befall nach einer Nichtwirtspflanze als Vorfrucht bzw. die Mischgesellschaft (MacLeod et al. 1993, Mac Nish und Nicholas 1987 in Hornby 1998, Dulout et al. 1997) mit anfälligen Gramineen oder Ausfallgetreide (Schaffnit 1930, Mielke 1998, Dulout et al. 1997) als Überbrückungsmöglichkeit für den Pilz während der eigentlich wirtsfreien Zeit diskutiert. Bei der Verungrasung wurden Beobachtungen vor allem in Zusammenhang mit Quecke (Hornby 1998, Bockmann und Knoth 1971, Heun und Mielke 1982), aber auch mit anderen wie *Lolium perenne* (Colbach und Huet 1995), *Alopecurus myosuroides* (Dulout et al. 1997) oder *Hordeum murinum* (Hornby 1998) gemacht. MacLeod et al. (1983) und MacNish und Nicholas (1987) stellten Zusammenhänge zwischen dem Grasanteil im Grünland und dem Schwarzbeinigkeitsbefall im nachfolgenden Anbau von Weizen fest. Mielke (1998) und Hornby (1998) machen mangelnde Bekämpfung von Ausfallgetreide für erhöhte Befallswerte nach Vorfrucht Winterraps verantwortlich und Schaffnit (1930) führt die starken Infektionen nach Kleevorfrucht auf ähnliche Beobachtungen zurück. Ausfallgetreide kann auch den Einfluss der Vorvorfrucht erklären, der in der vorliegenden Untersuchung bei der hinsichtlich des Vorfruchtrisikos als „Mittel“ eingestuften Gruppe gefunden worden war. Eine Risiko-Vorvorfrucht führte zu einem leicht höheren durchschnittlichen Befall, als eine Gesund-

Vorvorfrucht. In die Kategorie „Mittel“ waren aufgrund ihrer Zwischenstellung zwischen den Wirts- und den Nichtwirtsvoorfrüchten Mais, Hafer, Winterraps, Kohl, Kartoffel und Erbse eingeordnet worden. Den größten Stichprobenanteil an der Risikogruppe „Mittel“ hat der Winterraps, der oft als einzige Nichtwirtspflanze in sehr getreidereichen Fruchtfolgen steht (Hornby 1998, Mielke 1998). Einen Einfluss einer anfälligen Vorvorfrucht auf den Fußkrankheitsbefall von Weizen nach Raps berichtet schon Bockmann (1962). Auch Colbach et al. (1997) beschreiben einen Einfluss der Vorvorfrucht bei einer Gruppe von Vorfrüchten, die in der Risikoeinschätzung hinsichtlich Schwarzbeinigkeitsbefall zwischen Wirts- und Nichtwirtspflanzen stand. Sie bezeichneten diese Gruppe als „Risk amplifying non-hosts“ und ordneten Mais und Weidelgras in diese Gruppe ein. Sie vermuteten jedoch einen negativen Einfluss dieser Pflanzen auf antagonistisch wirkende Bodenmikroflora als Ursache (Colbach et al. 1994, 1997).

Der Zusammenhang mit dem Grasanteil und der Zusammensetzung der vorangegangenen Kultur erschwert die Beurteilung von Grünland, Futterflächen, Stilllegung oder Brache hinsichtlich des Risikos von Schwarzbeinigkeitsbefall (Hornby 1998). In der vorliegenden Untersuchung kam es nach Grünland zum stärksten Befall, aber auch zu der zweithöchsten Streuung (bei nur 2 Beobachtungen). Bei den aufgeführten Beobachtungen wurde im allgemeinen nicht der Befall der vermeintlichen Zwischenwirte in der vorangegangenen Kultur untersucht, sondern erst die Beobachtung von erhöhtem Befall im nachfolgenden Anbau von Weizen im Nachhinein darauf zurückgeführt.

Abgesehen von der Überbrückung auf anfälligen Gräsern oder Ausfallgetreide während des Anbaus von Nichtwirtspflanzen, konnte auch eine Anpassung des Pilzes beobachtet werden. Durch Anpassung ist der Pilz in der Lage, Nichtwirtspflanzen wie Raps (Hornby 1998) und Soja (Huber 1981b, Scott 1981, Walker 1981, Roy et al. 1982) zu besiedeln und so die befallsreduzierende Vorfruchtwirkung einer Nichtwirts-Pflanze zu verringern (Rothrock und Langdale 1989). Bei Raps wird dabei ein Zusammenhang mit den modernen erucasäurefreien und glucosinolatgarmen Sorten vermutet (Hornby 1998). Glucosinolathaltige Verwandte des Raps wie z.B. Senf gelten als besonders gute Vor- und Zwischenfrüchte und Kirkegaard et al. (2000) konnten zeigen, dass es nach *Brassica* Vorfrüchten zu einem schnelleren Abbau von Bodeninokulum von *G.g.t.* kommt, als bei anderen Nichtwirts-Vorfrüchten. Zum Teil wurde dies auf die Wirkung der in den Pflanzenresten enthaltenen Glucosinolate zurückgeführt (Angus et al. 1994, Sarwar et al. 1998). So kann auch die im Vergleich zu den jetzigen Erfahrungen widersprüchliche Beobachtung von Schaffnit 1930 erklärt werden, der nach seinen Untersuchungen Raps als unwirtschaftliche, aber hinsichtlich der Schwarzbeinigkeits

unbedingt vorteilhafte Vorfrucht empfiehlt. Brendan et al. (2004) relativierten die Hypothese zum Einfluss glucosinolathaltiger Vorfrüchte aus vorangegangenen Veröffentlichungen und stellten fest, dass der Einfluss einer Nicht-Wirtspflanze in der Fruchtfolge auf die nachfolgende Weizenkultur gegenüber dem der Glucosinolate überwiegt.

Auch wenn die Einschätzung des Schwarzbeinigkeitsrisikos auf Grund der Pathogenität und wirtsspezifischen Virulenz des Pilzes schwierig ist und noch weiterer Forschung bedarf, so zeigt sich doch der große Einfluss der Fruchtfolge auf die Bedeutung des Inokulums als Infektionsquelle und damit Ausgangspunkt der Epidemie. Die Fruchtfolge bietet somit wichtige Erklärungen für Standortunterschiede.

Auf der Bedeutung des Inokulums beruhen verschiedene Modelle zur Prognose der Schwarzbeinigkeit (Hornby 1978, Bailey und Gilligan 1999, Herdina und Roget 2000, Roget 2001). Die Erfahrungen mit Testpflanzen zur Feststellung der Infektiosität vor einem möglichen Weizensaattermin, zeigten jedoch keine ausreichende Genauigkeit in der Vorhersage (Hornby 1978). Durch molekulare Methoden konnte die Geschwindigkeit des Nachweises erhöht werden, doch beschränken sich Erfahrungen auf Australien (Herdina und Roget 2000). Untersuchungen der Populationsdynamik des Pilzes im Boden (Sturm 1980) zeigten große Schwankungen, die auf weitere Faktoren im Epidemieverlauf schließen lassen.

Bereits Schaffnit (1930) und Asher (1981) betonen, dass es nicht genügt, den Schaderreger allein zu betrachten, da es einen großen Einfluss von Umweltfaktoren auf Schaderreger und Pflanze gibt.

Der Einfluss des Saattermins auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit war schon früh bekannt (Schaffnit 1930), und eine späte Saat bei Winterweizen in gefährdeter Fruchtfolgestellung war eine der Empfehlungen zur Verminderung des Risikos in England vor 1945 (Samuel 1938 in Yarham 1981). Bei Untersuchungen des Einflusses verschiedener ackerbaulicher Maßnahmen auf den Epidemieverlauf der Schwarzbeinigkeit hatte der Saattermin den größten Einfluss (bei gleichem Fruchtfolgerisiko) (Werker und Gilligan 1990, Colbach et al. 1997). In dem vorliegenden Monitoring konnte der Einfluss des Saattermins bestätigt werden. Im Vergleich der Monatsmittel zeigt sich eine deutliche Abnahme in den Befallswerten der Endbonituren von September bis November. Dieser Effekt ist hauptsächlich nach Risikovorfrucht zu erkennen, wodurch sich ein Einfluss des Inokulums vermuten lässt.

Als Einflussfaktoren im Zusammenhang mit dem Saattermin werden einerseits der Abbau des Inokulums in der wirtsfreien, saprophytischen Phase aufgrund von Konkurrenten und

antagonistischen Bodenorganismen diskutiert (Garrett 1956, Shipton 1981, Bailey und Gilligan 1998). Des Weiteren ergibt sich durch die längere Herbstentwicklung eines früh gesäten Winterweizens ein längerer Zeitraum für mögliche Infektionen (Colbach 1997, Hornby et al. 1990, Hornby 1998) und, bei einer stärkeren Entwicklung des Wurzelsystems durch die Pflanze, eine höhere Wahrscheinlichkeit von Infektionen bzw. des Zusammentreffens von Wurzel und Inokulum (Gilligan und Brasslet 1990, Gilligan 1994, Bailey und Gilligan 1998). Auch Kabbage und Bockus (2002) beschreiben die große Bedeutung des zeitlichen und räumlichen Zusammentreffens von Inokulum und Wurzel für die Stärke von Infektionen, allerdings unter dem Aspekt der Inokulumdichte und der Bodenbearbeitung.

Auch wenn ein späterer Saattermin das Risiko durch Schwarzbeinigkeit verringern mag, so bedeutet dies meist den Verzicht auf Vorteile früher Saattermine hinsichtlich Arbeitserledigung, Bestandesführung und Ertragspotential (Polley und Thomas 1991, Hornby 1998). Witterungsbedingt sind die Möglichkeiten, den Saattermin zu wählen, beschränkt und arbeitstechnische Zwänge haben in der Regel Vorrang vor phytosanitären Überlegungen. Geht man mit dem Saattermin über den günstigen Zeitraum hinaus, so hat dies in den meisten Fällen negative Einflüsse auf die Pflanzenentwicklung. Bei den im Monitoring durchgeführten Beobachtungen zeigten sich hohe Befallswerte bei einzelnen, sehr späten Saatterminen, die im Dezember und Januar lagen. Die hohen Werte lassen sich durch eine verminderte Kompensationsfähigkeit der Pflanzen infolge einer eingeschränkten Jugendentwicklung erklären.

Im Monitoring zeigte sich auch, dass die Wahl des Saattermins nicht unabhängig von der Vorfrucht ist. Ein Teil der positiven Vorfruchtwirkung der Zuckerrübe mag daher auch mit den nach Zuckerrübe üblichen späten Saatterminen zusammenhängen, was wiederum einen Einfluss auf die Beurteilung später Saattermine im Monitoring hat.

Der Boden ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren, der zu Befallsunterschieden zwischen den Standorten führt. Der Boden stellt die Umgebung dar, in der die Wirt-Parasit Interaktion stattfindet. Leider sind die Zusammenhänge nicht ohne weiteres erforschbar, so dass man weitgehend auf empirische Beobachtungen angewiesen ist. Der Faktor Boden wurde im Monitoring als Bodenart und Bodenqualität erfasst und ausgewertet. Im Zusammenhang mit den Einflussmöglichkeiten des Bodens muss aber auch das Bodenleben, das stark antagonistisch wirken kann, diskutiert werden.

Im Monitoring konnte für keine der untersuchten Bodenarten ein statistisch absicherbarer höherer oder niedrigerer Befall gefunden werden, auch unter Berücksichtigung der Vorfruchtkategorie. Entgegen zahlreicher Berichte und Experimente (Garrett 1937, Winter 1940, Ferraz 1972, Brassat und Gilligan 1990, Mielke 1995, 1998) zeichnet sich auch kein Trend zu höherem Befall auf sandigen oder geringerem auf humosen Böden ab. Die besonders hohen Befallswerte auf tonigen Böden gehen auf Einzelbeobachtungen zurück. Die in den Beobachtungen am häufigsten vorkommenden Bodenarten unterscheiden sich nur wenig in Art und Befall.

Die Bodenqualität wurde in dieser Untersuchung über die Bodenzahl eingestuft. Da die Zahl eine Abschätzung der natürlichen Ertragsbedingungen gibt (Pahmeyer et al. 1993), fasst sie viele Bodenfaktoren zusammen, die Wachstumsbedingungen der Pflanze charakterisieren. Bei hohen Bodenzahlen, also günstigen Wachstumsbedingungen, kann dies zu einer besseren Befallskompensation und –toleranz der Pflanze und somit niedrigeren Befallswerten führen (Huber 1981, Yarham 1981, Hornby 1998, Huber und McCay-Buis 1993). Dieser Zusammenhang könnte Ursache sein für die Behauptung, Schwarzbeinigkeit kommt auf bestem Weizenboden nur selten vor (Mielke 1995). Die Regression der Bodenzahl auf die Befallsstärke zeigt jedoch einen zu schwachen Zusammenhang, um diese Hypothese zu bestätigen. Die CHAID Analyse ist dagegen in der Lage, zwischen schwächer befallenen Gruppen bei hoher Bodenzahl und einer höher befallenen Gruppen bei niedrigeren Bodenzahlen zu unterscheiden. Die Gruppen sind je nach Vorfruchtrisikogruppe unterschiedlich unterteilt und unterscheiden sich bei hoher Standardabweichung nur wenig im Mittelwert.

Ein weiterer Hinweis auf den Einfluss der Bodenqualität findet sich bei der Betrachtung des Verhältnisses von Befallshäufigkeit zu Befallsstärke in den einzelnen Jahren. Vor allem im Jahr 1997 ergab sich eine stärkere Streuung um die ansonsten für alle Jahre sehr ähnliche Regression zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke. Bei der Untersuchung besonders stark abweichender Einzelwerte zeigte sich, dass geringere Befallsstärken bei hohen Befallshäufigkeiten oft bei hohen Bodenzahlen (>78) und hohe Befallsstärken trotz geringerer Befallshäufigkeiten bei niedrigen Bodenzahlen (<46) auftreten können. In den anderen Jahren war die Streuung jedoch deutlich schwächer und ein Einfluss der Bodenqualität kaum erkennbar.

Auch wenn sich demnach ein gewisser Einfluss abzeichnet, so ist er, für sich betrachtet, zu gering und es müssen noch weitere Kriterien in die Abschätzung des Gesamtrisikos einfließen.

Der Einfluss des Bodenlebens war in diesem Monitoring nicht erfassbar, doch wird von vielen Autoren die Bedeutung von Fruchtfolge, Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf den Befall mit Schwarzbeinigkeit und das Überdauern des Inokulums im Boden (Garrett 1956) über Einflüsse auf und Wechselwirkungen mit dem Bodenleben diskutiert.

Die besondere Bedeutung des Bodenlebens liegt in der Nutzung des für Schwarzbeinigkeit beschriebenen Decline-Effektes zur biologischen Bekämpfung. Der für die Schwarzbeinigkeit beschriebene Decline-Effekt (Glynne 1935, 1965, Rovira und Wildermuth 1981, Hornby 1983), der sich nach mehrjährigem Anbau von Weizen (oder Gerste) in Monokultur als verringertes Auftreten von Fruchtfolgepathogenen und sich erholende Erträge einstellen kann (Glynne 1965, Slope und Etheridge 1971, Sturm 1981), gilt nach der Definition von Gerlagh (1968) als Beispiel für spezifischen Antagonismus (Gerlagh 1968, Rovira und Wildermuth 1981, Hornby 1983). Spezifischer Antagonismus wird durch die Anwesenheit eines bestimmten Pathogens induziert und bezeichnet hier das vermehrte Auftreten antagonistisch wirkender Bodenorganismen nach mehrjährigem Weizenanbau.

Cook und Rovira (1976) und Rovira und Wildermuth (1981) unterscheiden zwischen nicht übertragbarer, allgemeiner Krankheitsunterdrückung (Suppression) und spezifischer, übertragbarer Unterdrückung. Während der Einfluss vieler Kulturmaßnahmen wie Stickstoff-Düngung, Einbringen organischer Substanz oder Bodenbearbeitung ihre Wirkung hinsichtlich der nicht übertragbaren, allgemeinen Unterdrückung zeigen (Garrett 1934, 1965), ist die Untersuchung und Nutzung der übertragbaren Befallsunterdrückung Grundlage der biologischen Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit. Verringerter Befall mit Schwarzbeinigkeit konnte nach der Übertragung von unterdrückenden Böden beobachtet werden (Shipton et al. 1973, Wong und Siviour 1979). Spezifischer konnte dies erreicht werden, indem entweder Antagonisten in den Boden eingebracht werden z. B. bestimmte Bakterienstämme (Weller und Cook 1983, Stelljes und Hardin 1995, Mathre et al. 1999) oder indem schwach- oder avirulente Pilzstämme aus dem *Gäumannomyces/Phialophora*-Komplex genutzt werden, um spezifischen Antagonismus im Boden und erhöhte Resistenz der Pflanze zu induzieren (Wong 1975, Speakman und Lewis 1978, Wong und Siviour 1979, Speakman 1984, Wong et al. 1996). Dies wird auch als Cross-Protection bezeichnet (Wong 1981, Speakman 1984).

Garrett (1965) und Cook (1994) weisen darauf hin, dass eine biologische Kontrolle sowohl durch geeignete Bewirtschaftung, die Bedingungen zur Nutzung des vorhandenen antagonistischen Potentials schafft, als auch durch Einbringung von entsprechenden Organismen erreicht werden kann. Für den Erfolg wird aber in den meisten Fällen beides notwendig sein. Garrett (1965) bemerkt weiterhin, dass das Gleichgewicht der an einem Standort vorhandenen Arten abhängig von den Umweltbedingungen ist. Eine Verschiebung des Gleichgewichts ist daher nur zeitlich begrenzt. Aufgrund der großen Abhängigkeit von Umweltbedingungen und des technisch hohen Aufwandes zur Nutzung biologischer Organismen zur Kontrolle der Schwarzbeinigkeit, beschränkt sich die Nutzung des Bodenlebens auf die Förderung durch geeignete Kulturmaßnahmen und die Nutzung des Decline- Effektes durch Monokultur.

Vor allem hinsichtlich des Ertrages ist die Nutzung des Decline-Effektes bedenklich. So konnte Sturm (1981) zwar bei zunehmender Monokulturdauer einen Rückgang im Aufbau des Erregerpotentials feststellen, ohne dass sich jedoch die Erträge auf das Ausgangsniveau erholten. Auch Glynne (1965) stellt fest, dass die Erträge in Monokultur stets deutlich unter denen von Fruchtfolgeweizen zurückbleiben.

Die Vorgänge im Boden sind sehr komplex und trotz reger Forschungstätigkeit ebenso schwierig erfassbar wie nutzbar. Der Einfluss auf das Bodenleben bietet jedoch eine Erklärung für den Einfluss verschiedener Faktoren vor allem Bewirtschaftungsfaktoren, bei denen eine direkte Wirkung auf den Erreger nur schwer gefunden werden kann.

Gerade bei dem Einsatz chemischer Bekämpfungsmaßnahmen ist der Einfluss auf das Bodenleben zu berücksichtigen.

Als Einflussfaktoren der Bewirtschaftung wurden pH-Wert des Bodens, die Bodenbearbeitung, Düngung, Sorte und verschiedenen Bekämpfungsmaßnahmen untersucht.

Der pH-Wert ist zwar eher noch zu den Standortfaktoren zu zählen, doch wurden die Beobachtungen im Zusammenhang mit dem Auftreten der Schwarzbeinigkeit vor allem bei der Veränderung des pH-Wertes durch Bewirtschaftungsmaßnahmen gemacht.

Im Mittel der aus Deutschland untersuchten Boden pH-Werte kommt es zwar zu leicht niedrigerem Befall bei höheren pH-Werten, jedoch streuen die Werte in der Regression derart, dass sich kein Zusammenhang zwischen pH-Wert des Standortes und Befallsstärke erkennen lässt. Ein Einfluss des pH-Wertes ist nach Beobachtungen in Zusammenhang mit bestimmten

Böden (Schaffnit 1930), mit Kalkung (Glynn 1935, Cook 1981, Reis et al. 1983) oder Düngung (Hornby und Goring 1972, Smiley und Cook 1973, Cook und Rovira 1976, Sarniguet et al. 1992a,b) vermutet worden. Die untersuchten Einflussmöglichkeiten bezogen sich auf direkte Einflüsse auf das Pilzwachstum (Romanos et al. 1980, Sivasithamparam und Parker 1981, Glenn und Sivasithamparam 1991) und indirekte Einflüsse über den Partialdruck von CO₂ (Garrett, 1937, Smith and Noble 1972, Ferraz 1973, Cook 1981), über das Bodenleben bzw. Antagonisten (Smiley und Cook 1973, Cook und Rovira 1976, Sarniguet et al. 1992a,b, Ownley et al. 1992) und über die Nährstoffverfügbarkeit (Cook 1981, Huber 1981, Reis et al. 1982, Ownley et al. 1992, Huber und McKay-Buis 1993).

Viele befallsfördernde Effekte sind für extreme pH-Werte beschrieben (Cook 1981). Diese traten jedoch im Monitoring kaum auf und haben somit die für Deutschland gemachten Beobachtungen nicht beeinflusst.

Im vorliegenden Monitoring kommt es zu keinen statistisch absicherbaren Unterschieden im Befall durch die Bodenbearbeitung. Aufgrund ähnlicher Ergebnisse kommt Mielke (1983) zu dem Schluss, dass Bodenbearbeitung, bei geringfügig höherem Befall nach nicht wendender Bearbeitung (Grubber), einen unbedeutenden Einfluss auf den Befall hat. Diese Erfahrung bestätigen auch Colbach et al. (1997), Cotterill und Sivasithamparam (1989b) und Ramsey (MSe Thesis, 2001 zitiert in Cook 2003).

Bei dem Vergleich der verschiedenen Bodenbearbeitungsweisen über alle Monitoringergebnisse ergeben sich geringfügig höhere Befallsstärken nach wendender Bodenbearbeitung. Bei den Beobachtungen nach Risikovorfrucht, also in der Situation, in der man von erhöhtem Inokulum ausgehen kann, finden sich die höheren Befallswerte bei der nicht wendenden Bodenbearbeitung. Die Direktsaat hat stets die geringsten Befallsstärken, jedoch liegen diesem Befund nur wenige Beobachtungen zugrunde. Allerdings konnte der günstige Einfluss einer direkten Saat auch von anderen Autoren beobachtet werden (Shipton 1984, Brooks und Dawson 1968, Bailey et al. 2001). Moore and Cook (1984) berichten dagegen von stärkeren Infektionen bei Direktsaat. Als Grund geben Sie die schlechtere Zersetzung des Inokulums (Kronenwurzeln) im Vergleich zu anderer Bodenbearbeitung an. Shipton (1984) gibt bei dem günstigen Einfluss der Direktsaat neben physikalischen und chemischen Eigenschaften vor allem den guten Einfluss auf das Bodenleben als Begründung an.

Winter (1940) erklärt den Einfluss der Bodenbearbeitung dadurch, dass eine lockere Bodenstruktur zu einer schnelleren Infektion durch den Erreger führt. Prew (1980) stellte bei einem Vergleich des Einflusses der Bodenbearbeitung auf die Verbreitung des Erregers 10 cm als autonome Verbreitung und 2,5 m über Verschleppung durch die Bodenbearbeitung fest. Bei der Fortführung des Experimentes kam es jedoch beim Anbau von Weizen nach Weizen zu einer gleichmäßigen Infektion des ganzen Feldes, ohne dass der Einfluss der Bodenbearbeitung auf das ursprüngliche Ausgangsinokulum noch erkennbar war.

Jenkyn (2002) beobachtete einen Einfluss der Bodenbearbeitung in Zusammenhang mit dem Decline-Effekt. Zwar war ein geringeres Ansteigen des Befalls im 2. und 3. Jahr eines Weizenmonokulturversuches in der wendend bearbeiteten Variante im Vergleich zur nicht-wendend (gegrubbert) bearbeiteten Variante zu verzeichnen, jedoch kam es zu einem späteren Einsetzen des Decline- Effektes und somit zu einem höheren Befall im 4. Jahr. Jenkyn (2002) führte dies auf das Unterpflügen, in späteren Jahren aber auch wieder Hochpflügen infektiöser Stoppelreste zurück.

Yarham (1981) fasst in einem Vergleich der wendenden Bodenbearbeitung mit der Direktsaat den möglichen Einfluss der Bodenbearbeitung zusammen. Direktsaat kann durch die Vermehrung von Ungräsern, die Überträger der Schwarzbeinigkeit sein können und durch schlechtere Zersetzung von Stoppelresten, die als Inokulum dienen können, zu stärkerem Befall führen. Andererseits kann es durch höhere biologische Aktivität, die der Schwarzbeinigkeit antagonistisch entgegenwirken kann, und veränderter Bodenstruktur, wie geringerer Bodendurchlüftung und höherer Bodenfeuchte (Siehe Abschnitt Bodenart), zu verringertem Befall kommen. Auch gibt es Einflüsse der Bodenbearbeitung hinsichtlich der Stickstoffmineralisierung und der Nährstoffverfügbarkeit, die sich sowohl auf die Entwicklung des Pilzes als auch der Pflanze auswirken. Cook (2003) gibt in seiner Übersicht zu bedenken, dass die Bodenbearbeitung oftmals nur ein Teil von verschiedenen Anbausystemen ist, die sich auch in Bereichen wie Düngung und Pflanzenentwicklung unterscheiden und daher nicht ohne weiteres zu vergleichen sind.

Bodenbearbeitung zielt darauf ab, die Eigenschaften des Bodens zu verbessern und ist die Bewirtschaftungsmaßnahme, die den direktesten Eingriff in den Boden und somit in den Lebensraum des Erregers bedeutet. Es ist jedoch schwer abzuschätzen, wie die Bodenbearbeitung letztendlich auf den Befall wirkt.

Cook (2003) fasst die Düngung als einen der am intensivsten untersuchten Einflussfaktoren zusammen. Die Einflüsse umfassen neben der Art des Düngers auch Zeitpunkt und Ausbringung (Hornby 1998). Generell gleicht Düngung Nährstoffmangel der Pflanze aus. Der Nährstoffmangel kann im Zusammenhang mit der Schwarzbeinigkeit einerseits auf die Versorgung durch den Boden zurückzuführen sein, so dass die Pflanze in Toleranz und Widerstandsfähigkeit gegenüber eingeschränkt ist, oder durch den Verlust an Wurzelmasse nach Pathogenbefall und der dadurch verringerten Aufnahme (Schoeny et al. 2003). Im letzteren Fall führt der Verlust an Wurzelmasse zu einer geringeren Nährstoffeffizienz, der Kompensation durch erhöhte Düngung sind jedoch Grenzen, abgesehen von der Wirtschaftlichkeit, durch die Problematik der Auswaschung gesetzt.

Neben dem Ausgleich von Nährstoffmangel kann erhöhte Nährstoffzufuhr, besonders von Stickstoff, auch zur Befallskompensation durch so genanntes „Davonwachsen“ (engl. „disease escape“, Garrett 1948, Trolldenier 1985) führen. Bei dem im Jahr 2000 in Weihenstephan durchgeführten Feldversuch waren unterschiedliche Stickstoffdüngungsstufen untersucht worden. Eine deutlich höhere Stickstoffdüngung (200 kg/ha gegenüber 130 kg/ha) hatte nur zu geringfügig niedrigeren Befallsstärken in den höher gedüngten Varianten geführt (bei Vorfrucht Winterraps 7,1%, gegenüber 7,3%, bei Vorfrucht Winterweizen 16,4% gegenüber 18,6 %). Der Versuch sollte feststellen, in wie weit Befallsunterschiede (durch Beizung) zu einer unterschiedlichen Nährstoffeffizienz, ausgedrückt in Stickstoffgehalten (NNI, engl. Nitrogen Nutrition Index) führen. Lemaire und Gastal (1997) hatten festgestellt, wie frühe Unterschiede in den Stickstoffgehalten sich zu späteren Entwicklungsstadien in unterschiedlichen Biomassen und Erträgen umsetzen. Vor allem Schoeny et al. (2003) stellten in Ihren Untersuchungen fest, dass Schwarzbeinigkeitsbefall zwar die Aufnahme von Stickstoff verringert, die Pflanze jedoch über verbleibendes, gesundes Wurzelwerk stark kompensiert.

Bei Stickstoff sind neben dem Einfluss der Menge auch Unterschiede bei der Art der Stickstoffdüngung (Ammonium oder Nitrat) beschrieben (Huber et al. 1968, Hornby und Goring 1972, Smiley und Cook 1973, Huber 1981, Trolldenier 1981, Colbach et al. 1997). Der Einfluss kann zum Teil auf Veränderungen im pH-Wert zurückgeführt werden (Smiley und Cook 1973) und einige Autoren führen einen Einfluss auf das Bodenleben an (Trolldenier 1985, Sarniguet et al. 1992b). Ähnliche Effekte wie für den Stickstoff sind für fast alle Makro- und Mikroelemente beschrieben (Huber 1981, Reis et al. 1982, Hornby 1998, Cook 2003). Es werden unterschiedliche Einflüsse auf Pflanze, Pathogen und antagonistisch wirkendes Bodenleben beschrieben, wobei im allgemeinen der Einfluss auf die Pflanze

überwiegt. Huber und McCay-Buis (1993) gehen darüber hinaus noch auf Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Nährstoffen ein, aber auch anderen Faktoren, die über die Nährstoffe beeinflusst werden können. Werker und Gilligan (1990) diskutieren, wie komplex und zahlreich die durch Düngung beeinflussten Faktoren und Resultate sind.

Die meisten Autoren (Huber 1981, Brennan 1992, b, Colbach et al. 1997) stellen bei zusammenhängender Betrachtung des Einflusses der Nährstoffversorgung bzw. Düngung auf den Schwarzbeinigkeitsbefall fest, dass die größte Bedeutung weniger bestimmten Nährstoffen als mehr einer der Pflanzenentwicklung und Ertragserwartung angepassten Düngung zukommt.

Im vorliegenden Monitoring waren zwar Angaben zur Düngung abgefragt worden, doch sind diese hinsichtlich des angepassten Ernährungszustandes der Pflanzen nicht auswertbar. Ein Einfluss der Düngung wäre nach den allgemeinen Ergebnissen bei Extremen hinsichtlich pH-Wert, Bodenversorgung oder Düngung zu erwarten. Da diese extremen Standorte aber in dieser Studie kaum untersucht wurden, kann in Deutschland unter normalen Bedingungen nur von einem geringen Einfluss der Düngung auf den Befall ausgegangen werden.

Das im Monitoring auftretende Sortenspektrum zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Schwarzbeinigkeit. Diese Beobachtung bestätigt die Untersuchungen von Mielke (1995, 1997, 1998), der nur geringe Unterschiede im Weizensortiment finden konnte. Unterschiede gehen hauptsächlich auf die Anbausituation (Vorfruchtrisiko) zurück und hohe Werte finden sich fast ausschließlich bei Einzelbeobachtungen, so dass eine statistische Vergleichbarkeit des Sortenspektrums nicht gegeben ist. Ursache für die geringen Unterschiede ist, dass trotz intensiver Suche nach Resistenz und Untersuchung der unterschiedlichen Anfälligkeiten der verschiedenen Pflanzenfamilien (Jensen und Jørgensen 1973, Scott 1981, Mielke 1998) bisher keine bedeutende Resistenz für wirtschaftliche Weizensorten (Heun und Mielke 1982) gefunden werden konnte. Die Sorten unterscheiden sich also nur geringfügig in ihrer Anfälligkeit gegenüber der Schwarzbeinigkeit.

Obwohl es keine Resistenz gibt, wurden doch Unterschiede in der Anfälligkeit gefunden. Diese Unterschiede wurden auf das Wurzelsystem zurückgeführt (Penrose 1994). Dazu gehört die Fähigkeit der Pflanze, schneller neue Wurzeln zu bilden, als diese durch den Pilz befallen und zerstört werden („disease escape“, Garrett 1948, Asher 1972, Manners und Myers 1981). Des weiteren unterscheidet sich die Anfälligkeit der Wurzeln nach Alter, Art und

Widerstandsfähigkeit. Die unterschiedliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Penetration durch die Pilzhyphe wurde zurückgeführt auf die Bildung und Einlagerung von Stoffen wie Lignin und Phenolen aufgrund von Wurzeltyp, Seneszenz oder Induktion (Speakman und Lewis 1978, Skou 1981, Penrose 1994, Wilmsmeyer 2002).

Neben der Widerstandsfähigkeit gegenüber Befall spielt bei den Sorten auch die Toleranz des Befalls vor allem hinsichtlich des Ertrages eine Rolle (Huber und McCay-Buis 1993). Spink et al. (1996) fanden geringere Ertragsverluste bei Sorten mit früher Blüte, ökonomischer Bestockung (maximale Anzahl von Trieben im Vergleich zur endgültigen Triebzahl), einer geringen Rate der Stickstoffaufnahme durch den Trieb im Verhältnis zur gebildeten Blattfläche und größeren Mengen an Reservestoffen im Halm.

Gerade die Ausprägung von Eigenschaften hinsichtlich Wurzelsystem und Wurzeleistung sind besonders abhängig von Einflüssen des Standortes und der Bewirtschaftung. Schmid et al. (1997) konnten einen deutlichen Einfluss von Standort, Bewirtschaftung und Jahr auf die Entwicklung der Wurzelmasse und des Wurzelumsatzes feststellen. Die eigenen Untersuchungen bestätigen den Einfluss von Standort, Vorfrucht, Düngung, Sorte und Saattermin auf die Wurzelmasse. In der Regel waren die Varianten mit höherer Wurzelmasse auch weniger befallen. Es konnte jedoch in den Regressionen kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden und die Befallsunterschiede waren nur gering.

Neben der Wurzelmasse kommen der Wurzelumsatz und die Nährstoffeffizienz (Rengel et al. 1996) als Einflussfaktor in Frage. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die Eignung der Sorte für den Standort und die Produktionsbedingungen eine größere Bedeutung hat, als die Resistenz gegenüber der Schwarzbeinigkeit. Dieser geringe Selektionsdruck erklärt auch das Fehlen von geeigneten Resistenzen (Scott 1981).

Gerade aber der Zusammenhang mit der Bedeutung der Vorfrucht für den Schwarzbeinigkeitsbefall weist auf die große Bedeutung der Sorte hinsichtlich der Resistenz gegenüber weiteren Fruchtfolgepathogenen in ihrer Eignung für die Anbausituation hin.

Durch den Einsatz der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit konnte im Monitoring eine Befallsreduzierung im Endbefall beobachtet werden. Dieser Effekt war abhängig von dem Befallsniveau und trat nach Risikovorfrucht in den Jahren mit dem höchsten Befallsniveau am deutlichsten auf.

Ein Vergleich der mittleren Befallsverläufe auf den Standorten nach Risikovorfrucht mit und ohne Wurzelschutzbeize zeigte eine gewisse Reduzierung in der Befallshäufigkeit bei Boniturbeginn während des Schossens. Dieser Unterschied bleibt im weiteren Epidemieverlauf erhalten und bewirkt vor allem eine Verzögerung im Aufbau der Befallsstärken. Der Einfluss der Beize ist jedoch im Vergleich zum Einfluss der Vorfrucht auf das Befallsniveau und den zeitlichen Verlauf weniger deutlich.

Wilmsmeier (2002) fand für den in dieser Untersuchung verwendeten Wirkstoff Fluquinconazole mehrere Wirkmechanismen hinsichtlich Befallsreduzierung und Ertragsabsicherung. Neben direkten fungiziden Wirkungen auf den Pilz kommt es bei der Pflanze zu einer Verdickung und verstärkten Lignineinlagerung der Wurzeln, was zu einer höheren Penetrationsresistenz beitragen kann (Skou 1981). Zusätzlich zu den Wirkungen auf Pilz und Pflanze konnte Wilmsmeier (2002) in Zusammenhang mit der Behandlung eine Vermehrung von fluoreszierenden Pseudomonaden beobachten, einer Gattung von Rhizosphärenbakterien, die Potential zur biologischen Bekämpfung gezeigt haben. Auch Dawson und Bateman (2000) vermuteten eine Unterstützung der Wirkung von Fluquinconazole durch Antagonisten, in diesem Fall Pilze, aufgrund der Selektivität des Mittels gegenüber dem Erreger der Schwarzbeinigkeit.

Nach Beizapplikation konnten auch Nebeneffekte auf Blattpathogene beobachtet werden (Weinert und Wolf 1999, Wilmsmeier 2002, T. Puhl 1999, pers. Mitteilung), die zwar nicht für eine vollständige Kontrolle der Blattpathogene ausreichen, aber durch eine Veränderung im Epidemieverlauf Auswirkungen auf Pflanzenentwicklung und Ertragsbildung haben können.

Eine Wirksamkeit gegenüber dem Erreger der Schwarzbeinigkeit kann auch mit anderen Wirkstoffen und Applikationstechniken erreicht werden (Bateman 1980, 1989), doch die Zusammenstellung von Bateman (1989) zeigt die Schwierigkeit, unter Feldbedingungen eine ausreichende Wirkung über den langen Infektionszeitraum zwischen Aussaat und Ernte zu erzielen. Einer Erhöhung der Wirkstoffmenge zur Erhöhung der Wirkung sind dabei Grenzen durch Kosten, Persistenz, Umwelt- und Pflanzenverträglichkeit gesetzt. Die Untersuchungen zu Fluquinconazole zeigen außerdem, dass der Wirkstoff ausreichend selektiv sein muss, um nicht durch die Beeinträchtigung des antagonistisch wirkenden Bodenlebens nach einer vorübergehenden Reduzierung des Schaderregers zu einer verstärkten Epidemie zu führen. Derartige Beobachtungen konnten nach Schwarzbeinigkeitsbekämpfung durch

Bodendämpfung oder Bodenbegasung gemacht werden (Ebbels 1969, Ridge 1976, Williams und Salt 1970, Gardner et al. 1998).

Die Schwierigkeit, diese Summe an Anforderungen in einem Wirkstoff zur Schwarzbeinigkeitsbekämpfung mit einer ausreichenden Wirkung zu vereinen, konnte in eigenen Feldversuchen mit experimentellen Wirkstoffen bestätigt werden. So gibt es bisher nur ein weiteres, zur Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit zugelassenes Mittel, das mit dem in dieser Studie eingesetztem Fluquinconazole bzw. dem Produkt Jockey[®] hinsichtlich der Wirkung verglichen werden kann (Mindt 1999). Es handelt sich dabei um das Produkt Latitude[®] mit dem Wirkstoff Silthiofam (Beale et al. 1998, Mindt 1999). Obwohl es sich um eine andere Wirkstoffgruppe handelt, zeigen verschiedene Studien ähnliche Wirkungen im Einfluss auf Befall (Spink et al. 2002), Epidemie (Schoeny und Lucas 1999, Spink et al. 2002) und Wurzelmorphologie (Huang et al. 2001) wie sie für Fluquinconazole beobachtet wurden. Bei den wenigen direkten Vergleichen konnten in der Regel keine signifikanten Vorteile für eines der Produkte gefunden werden (von Kröcher 1999). Dies bestätigen auch eigene Beobachtungen aus dem Jahr 2000. Die Schwierigkeit bei der Differenzierung der Wirkung von Behandlungen gegen Schwarzbeinigkeit stellt immer die große Streuung im Befall der einzelnen, bonitierten Pflanzen dar und dass durch eine Behandlung der Befall reduziert, nicht aber verhindert wird.

Wie das Monitoring zeigte, lässt sich jedoch im Befall stets der Unterschied von der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit zur Standardbeizung feststellen.

Eine interessante Beobachtung wurde von Jenkyn et al. (2000) gemacht, die eine Wirkung der Blattapplikation von dem Wirkstoff Azoxystrobin auf den Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit feststellen konnten. Aufgrund der biologischen Aktivität ist zwar eine direkte Wirkung auf den Pilz möglich und der Wirkstoff wurde auch schon zur Schwarzbeinigkeitskontrolle in Nutzrasen eingesetzt (Soika und Sanders 1996). Eine direkte Wirkung kann jedoch aufgrund der applizierten Menge und der geringen Verlagerung in den Wurzelraum ausgeschlossen werden. Die Autoren führten die beobachteten Effekte auf pflanzenphysiologische Nebenwirkungen, wie sie für Azoxystrobin bzw. die Wirkstoffgruppe der Strobilurine beschrieben sind (Habermeyer et al. 1998, Gerhard 2002), und auf Wechselwirkungen mit der eigentlichen Kontrolle der Blattpathogene durch das Fungizid zurück. Die eigenen Untersuchungen zu Wirkungen des Blattfungizideinsatzes hinsichtlich des Befalls mit Schwarzbeinigkeit zeigten, dass die Hauptwirkung der eingesetzten Strobilurine in einer Reduzierung der Nekrotisierung der oberen Blattetagen besteht. Dies ist

auch die Hauptwirkung im Vergleich zu Fungiziden anderer Wirkstoffgruppen. Über diese Unterschiede in der Blattnekrotisierung können auch die fungizidbedingten Ertragsunterschiede erklärt werden. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen der Studien zum Einsatz von Strobilurinen von Müller (in Druck). Ein signifikanter Einfluss auf den Wurzelbefall mit Schwarzbeinigkeit konnte nicht beobachtet werden. Umgekehrt konnte in den durchgeführten Feldversuchen auch kein Einfluss der Beizung auf den Blattbefall gefunden werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die erwähnten Studien zur Wirkung der Beizung auf Blattpathogene Effekte auf den frühen Blattbefall bestimmter Pathogene beobachten konnten. In den vorliegenden Untersuchungen dominierte jedoch der Einfluss *Drechslera tritici repentis*, die verstärkt zur Abreife hin auftrat und nur wenig sensitiv gegenüber dem Wirkstoff ist.

Bei den Sorteneffekten war eine Hypothese, dass sich Unterschiede im Befall auf Unterschiede in der gebildeten Wurzelmasse zurückführen lassen (Asher 1972, Penrose 1994). In den Feldversuchen konnte jedoch kein Einfluss der Beize oder der Fungizidbehandlung auf die Wurzelmasse (Wurzellängendichte) beobachtet werden. Auch Spink et al. (2002) kamen bei ihren Untersuchungen zur Wirkung von Silthiofam zu diesem Ergebnis.

Bei einem Vergleich verschiedener Methoden zur Schwarzbeinigkeitskontrolle stellten Gardner et al. (1998) fest, dass die größte Wirkung über die Vorfrucht erreicht werden kann. Die Vermeidung des Weizenanbaus stellt jedoch keine Alternative zur Kontrolle der Schwarzbeinigkeit im Weizenanbau dar. Bei dem Vergleich weiterer Kontrollmaßnahmen (Hornby et al. 1993, Gardner et al. 1998) wurde durch Fungizideinsatz die beste Wirkung erzielt, wenn auch nicht ausreichend. Dabei standen noch nicht die hier beschriebenen Fluquinconazole und Silthiofam zur Verfügung, die eine bessere Wirkung besitzen. Auch mit der Applikation von Antagonisten zur biologischen Bekämpfung konnte eine Wirkung gegenüber der Schwarzbeinigkeit erzielt werden, jedoch war diese geringer und weniger zuverlässig, als die Wirkung der Fungizide (Weller 1988, Hornby et al. 1993, Gardner et al. 1998, Mathre et al. 1999).

Gesamtbetrachtung der Einflussfaktoren auf den Befall

Die gemeinsame Betrachtung der Einflussfaktoren auf den Befall in einem Regressionsmodellbaum erbrachte sowohl für die Befallshäufigkeit als auch für die Befallsstärke den Faktor Vorfrucht als stärksten Prädiktor für einen höheren oder niedrigeren Befall. Als wichtige Prädiktoren erscheinen auch Jahr und Saatzeit. Die allgemein große

Bedeutung von Jahreswitterung und Saattermin wird auch durch die Untersuchungen von Bailey et al. (2001) bestätigt. Weitere Prädiktoren waren pH-Wert, Bodenzahl, Sorte, Bodenbearbeitung und Saatgutbehandlung gegen Schwarzbeinigkeit. Da die Prädiktoren pH-Wert, Bodenzahl und Sorte in der Einzelanalyse wenig Einfluss zeigten, scheint ihre Bedeutung in dieser Analyse weniger in ihrem direkten Einfluss zu liegen, als in der Möglichkeit, über sie die Standorte zu differenzieren. Aufgrund der unterschiedlichen Verzweigung nach den verschiedenen Prädiktoren kann geschlossen werden, dass je nach Befallsituation (Vorfrucht, Jahr, Standort) immer wieder andere Einflussfaktoren für den Befallsverlauf und das endgültige Befallsniveau verantwortlich sind. Auf der Grundlage des gemittelten Befallsverlaufs aus dem Monitoring und Überlegungen zum Zeitpunkt des Eingreifens, wurde ein Modell zum Einfluss der verschiedenen Faktoren in den Verlauf der Epidemie entwickelt (Abb. 24). Der Einfluss des Jahres dürfte hauptsächlich im Witterungsverlauf begründet liegen.

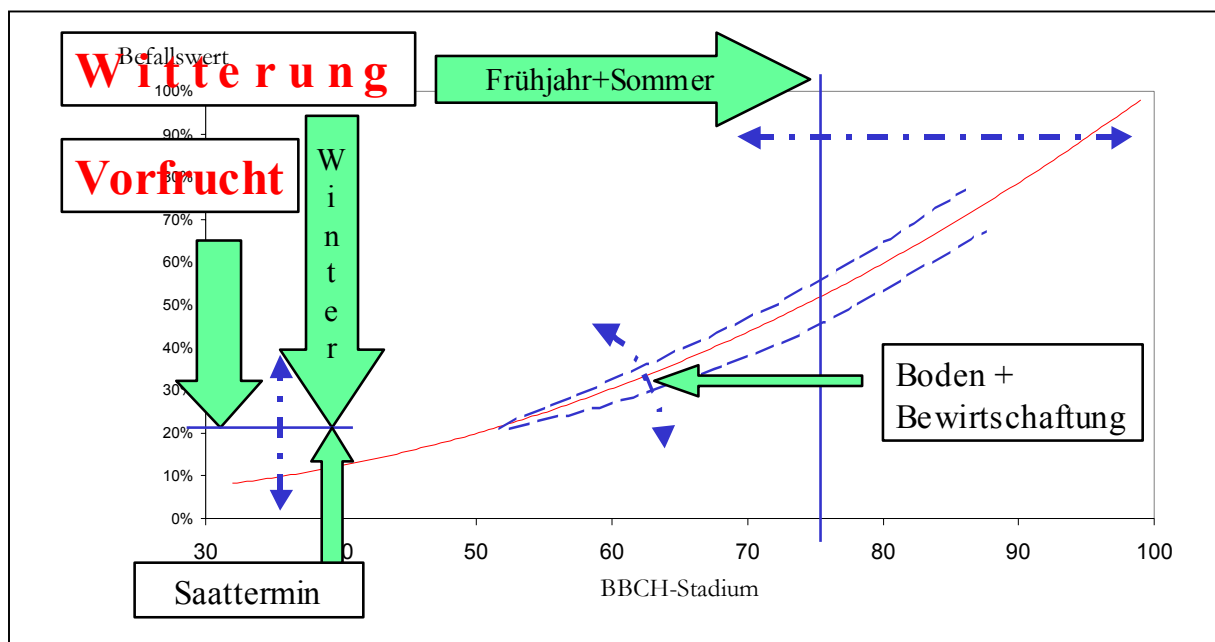


Abb. 24: Modell zum Einfluss verschiedener Faktoren auf den Befallsverlauf

Entsprechend dem Modell bestimmt die Vorfrucht das Inokulum und zusammen mit dem Saattermin das Befallsniveau zum Ausgangspunkt der Epidemie im Frühjahr. Der Einfluss der Faktoren ist dabei abhängig von der Witterung in Herbst und Winter. Der weitere Epidemieverlauf, und somit der Zeitpunkt, zu dem der Befall ein bestimmtes Niveau erreicht, wird durch die Witterung in Frühjahr und Sommer bestimmt. Standortfaktoren wie Boden und Bewirtschaftung können den Verlauf dämpfen oder forcieren. Entscheidend für den Ertrag ist das zur Kornfüllung erreichte Befallsniveau. Die große Streuung der Punkte im eigentlichen

Befallsverlauf, von dem der Zusammenhang abgeleitet ist, zeigt, dass dieses Modell nicht geeignet ist, den Befallsverlauf zu prognostizieren. Ansätze, den Befall über eine Regression zu beschreiben, sind problematisch (Gilligan 1994, Schoeny und Lucas 1999, Hornby 1998), da der resultierende Befallsverlauf nicht in der Lage ist, das komplexe Zusammenwirken von Faktoren an verschiedenen Standorten ausreichend genau zu beschreiben. Dies liegt auch daran, dass Einflussfaktoren wie das Bodenleben nicht in externen Betrachtungen erfasst werden können. Das hier aus der Regression aufgestellte Modell soll vielmehr eine Beurteilung der Standortepidemie und des Zusammenwirkens der Einflussfaktoren erleichtern.

Die Relation von Befall zu Ertrag

Während die Abschätzung des Befalls Voraussetzung bzw. Indikation für den gezielten Einsatz einer Bekämpfungsmaßnahme ist (Bateman 1989, Hornby 1998), ist die Bedeutung des Erregers und die Wirtschaftlichkeit der Bekämpfungsmaßnahme abhängig von dem Einfluss des Befalls auf den Ertrag (Cook und King 1984). Erst durch gezielte Bekämpfungsmaßnahmen wurde es möglich, das vorhandene Befallsniveau bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen zu variieren und darüber eine Abschätzung zum Ertrags Einfluss der Schwarzbeinigkeit zu treffen (Schoeny und Lucas 1999).

In der vorliegenden Studie waren an zahlreichen Standorten für Varianten mit und ohne Jockey[®]-Beize Befallswerte und Erträge ermittelt worden. Es kam im allgemeinen zu einer Befallsreduzierung und einem Ertragsanstieg nach Einsatz der Beize. Die Effekte waren bei dem höheren Befallsniveau nach Risikovorfrucht deutlicher und schwankten mit dem Befallsniveau in den einzelnen Jahren. In der Regression zeigt sich jedoch kein eindeutiger Einfluss der Befallsstärke auf die Höhe des Ertrags. Auch bei einer Umrechnung in relative Werte, also Ertragsdifferenz v. H. und Befallsreduktion v. H. durch Beizung gegen Schwarzbeinigkeit, um die Wirkung an den Standorten mit unterschiedlichem Befall und Ertragsniveau besser vergleichen zu können, streuen die Werte zu stark, als das sich in der Regression ein Zusammenhang erkennen ließe. Die Beobachtungen, die von Spink et al. (2002) in England bei Untersuchungen mit dem Wirkstoff Silthiofam gemacht wurden, kommen zum gleichen Ergebnis.

Allgemein ergeben Untersuchungen der Beziehung zwischen Befall und Ertrag (Polley und Clarkson 1980, Clarkson und Polley 1981, Hornby 1998, Gilligan 1999, Schoeny et al. 2001, 2003), dass sich zwar prinzipiell ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Schwarzbeinigkeit und der Ertragsdepression in der Monokultur feststellen lässt,

Korrelationen aus einem Experiment sich aber nur selten auf andere Beobachtungen übertragen lassen.

Eine grundlegende Fragestellung ist dabei, welche Ertragsbedeutung Wurzeln haben. Zur Untersuchung dieser Fragestellung war ein Modell aufgestellt worden. Entsprechend dem Modell kann die Ertragsbeeinflussung erfolgen über die Konkurrenz zwischen Spross und Wurzel um die in der Photosynthese gebildeten Assimilate (Asher 1972) und der Beeinflussung der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen (Schoeny et al. 2001, 2003). Die Prozesse der Wurzel- und Sprossentwicklung stehen dabei in starker Wechselwirkung (Manners und Myers 1981, Ayres 1984, Aiken und Smucker 1996).

Bei der Untersuchung der Wurzellängendichten in 4 Feldversuchen ergab sich kein enger Zusammenhang zwischen den gemessenen Wurzellängendichten und den Befalls- und Ertragswerten. Die Richtung der Regression zeigt zwar bei höherer Wurzellängendichte allgemein niedrigere Befalls- und höhere Ertragswerte, doch gibt es keinen statistisch absicherbaren Zusammenhang. Die Wurzellängen variierten deutlich zwischen Probenahmeterminen und Standorten. In den verschiedenen Versuchen zeigten die Faktoren Saattermin, Düngung, Bodenfruchtbarkeit und, nur knapp nicht signifikant, Sorte unterschiedliche Wurzellängendichten. Schmid et al. (1997) finden bei Ihren Untersuchungen von Wurzelsystemen Einflüsse von Boden, Jahr und Bewirtschaftung. Dabei stellen sie größere Unterschiede im Bruttowurzelsystem fest als im Nettowurzelsystem. Das Nettowurzelsystem stellt die zum Messzeitpunkt vorhandene Wurzelmasse dar, während das Bruttowurzelsystem über mehrere Messungen hinweg Rückschlüsse auf den Wurzelumsatz zulässt. Diese Ergebnisse zur Wurzelentwicklung zusammen mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Studie deuten darauf hin, dass der Einfluss des Befalls, zumindest bei den hier vorgefundenen Befallsstärken, auf das Wurzelsystem schwächer ist als der Einfluss verschiedener Standortfaktoren und des Anbaujahres. Umgekehrt scheint aber durchaus die Wachstumsdynamik des Wurzelsystems einen Einfluss auf den vorgefundenen Befall zu haben. So beobachteten Brooks und Dawson (1968) einen Befallsrückgang im Frühjahr, den sie auf die starke Wurzelentwicklung zu diesem Zeitpunkt zurückführen. Smucker (1993) zeigt auf, dass Wurzeldynamik, Entwicklung von Wurzelkrankheiten und Umweltfaktoren in einer komplexen Wechselwirkung miteinander stehen. Erst weitere Forschung und ein besseres Verständnis der Zusammenhänge ermöglichen Modelle, die den Einfluss des Wurzelsystems auf die oberirdische Entwicklung und die Ertragsbildung ausreichend beschreiben können (Aiken und Smucker 1996).

Neben dem Einfluss des Schwarzbeinigkeitsbefalls auf den Ertrag über die Wurzelmasse wird aber auch ein Einfluss auf die Wurzeleistung hinsichtlich der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen (Manners und Myers 1981) diskutiert. Spink et al. (2002) beobachteten als Folge der Befallsreduktion durch eine Saatgutbehandlung mit Siltiofam ein Ansteigen der effektiven Wurzelmasse (Anteil nicht erkrankter Wurzeln), was zu Auswirkungen auf die Wasser- und Stickstoffaufnahme führte.

Bei der Nährstoffaufnahme war in der vorliegenden Untersuchung als Parameter die Stickstoffversorgung im Verhältnis zur gebildeten Biomasse der Pflanze untersucht worden. Lemaire und Gastal (1997) beschreiben den Einfluss der Stickstoffversorgung auf die Bildung der Trockenmasse und wie Unterschiede im Stickstoffgehalt der Trockenmasse mit Unterschieden in der Biomasseproduktion zusammenhängen. Die in Weihenstephan 2000 durchgeführten Untersuchungen in Zusammenhang mit dem Schwarzbeinigkeitsbefall erbrachten eine starke Streuung der Werte, so dass kein deutlicher Einfluss des Befalls auf die Stickstoffversorgung als Anteil des Stickstoffes in der Trockenmasse (N%) gefunden werden konnte. Bei einem Vergleich der gemessenen Werte mit den von Justes et al. (1997) veröffentlichten, deuten die relativ geringen Messwerte darauf hin, dass eine etwaige Differenzierung in den Stickstoffgehalten bereits in Trockenmasse umgesetzt worden ist. Doch auch die Einbeziehung der Trockenmassen bei dem Vergleich der Gesamtaufnahme an Stickstoff (N kg/ha) mit den Befalls- und Ertragswerten erbrachte nur eine geringfügig bessere Regression, ohne dass ein signifikanter Zusammenhang gefunden werden konnte. Die Regression der Stickstoffversorgung auf den Ertrag streute jeweils sehr stark. Die Untersuchung der Stickstoffversorgung über die Blattgrünintensität korrelierte zwar gut mit den gemessenen Stickstoffgehalten, brachte aber die schlechteste Korrelation mit dem Befall.

Diese Befunde lassen die Nährstoffversorgung, zumindest die Stickstoffversorgung, als Parameter zur Beurteilung des Einflusses des Wurzelbefalls auf den Ertrag als ungeeignet erscheinen. Dabei ist als eine Ursache in diesem Versuch die geringe Differenzierung in Folge des geringen Befallsniveaus anzunehmen. Allgemein scheint die Versorgung mit Nährstoffen bereits von verschiedenen Kompensationsmöglichkeiten durch die Pflanze beeinflusst, so dass der unmittelbare Effekt durch eine Wurzelschädigung nicht mehr direkt erfassbar ist. Auch Schoeny et al. (2003) kommen bei ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass prinzipiell eine ausgeglichene Stickstoffversorgung zur besseren Befallstoleranz beitragen kann, im Prozess der Stickstoffaufnahme die Pflanze den Verlust durch befallenes Wurzelwerk allerdings stark kompensiert.

Als weiterer Parameter der Wurzeleistung wurde die Wasserversorgung untersucht. Hall (1986) kommt bei seiner Zusammenfassung des Einflusses von Wurzelpathogenen auf die Wasserversorgung der Pflanze zu dem Schluss, dass eine Kontrolle bzw. Reduzierung des Wurzelbefalls zweifellos Wasserstress für die Pflanzen reduzieren wird. Er stellt dabei auch fest, dass es schwierig ist, den Einfluss von leichtem, pathogenbedingtem Wasserstress im Verhältnis zum umweltbedingtem Wasserstress zu beurteilen.

Zur Beurteilung der Wassereffizienz unabhängig von Standort- und Umwelteinflüssen zeigte sich in zahlreichen Untersuchungen der Diskriminierung von Kohlenstoffisotopen, speziell der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert, als geeignetes und zuverlässiges Kriterium (Farquar et al. 1988, Richards et al. 2002, Royo et al. 2002). Asher (1972b) konnte bei seinen Untersuchungen mit markiertem Kohlenstoff (^{14}C -Isotopen) einen geringeren Verlust der Isotope in der Respiration von mit Schwarzbeinigkeit infizierten Pflanzen feststellen. Darüber hinaus kam es zu Unterschieden in der Verteilung der Assimilate in der Pflanze. Die von ihm beobachteten Effekte waren abhängig von der Wasseraufnahme durch die Pflanze.

Die Untersuchung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Feldversuch in Weihenstephan 2000 zeigt in der Regression trotz des geringen Befallsniveaus einen guten Zusammenhang zwischen Befall und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten einerseits und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und Ertrag andererseits. Der Zusammenhang ist dabei jeweils enger, als die direkte Korrelation von Befall und Ertrag. Dies deutet darauf hin, dass ein Einfluss des Schwarzbeinigkeitsbefalls auf den Ertrag über die Wasseraufnahme besteht und kann die starke Abhängigkeit der Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit von Standort und Witterungsfaktoren erklären.

Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wurde in diesem Versuch am stärksten durch die Vorfrucht beeinflusst. Darüber hinaus zeigte sich ein Einfluss der Fungizidbehandlung, wenn auch gerade nicht mehr signifikant. Die Düngung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den $\delta^{13}\text{C}$ -Wert. Aufgrund des geringen, nur schwach differenzierenden Befallsniveaus führte die Befallsreduzierung durch die Beizung gegen Schwarzbeinigkeit nur zu leichten, nicht signifikanten Effekten. Eine physiologische Wirkung der Beizung, die über eine Befallsreduktion hinaus geht, konnte somit nicht festgestellt werden. Dass auch der Fungizideinsatz einen Einfluss auf den $\delta^{13}\text{C}$ -Wert bzw. den Wasserhaushalt hat, kann die beobachtete Wechselwirkung von Schwarzbeinigkeitsbefall bzw. Schwarzbeinigkeitsbeizung mit dem Blattfungizideinsatz in dieser Untersuchung und den Beobachtungen von Jenkyn et al. (2000) erklären. Ayres und Paul (1986) beschreiben den Einfluss von Befall mit Blattpathogenen auf die Wassernutzungseffizienz und das Wurzelwachstum der Pflanzen. Die

Hauptwirkung der Blattfungizide lag in den vorliegenden Untersuchungen auf der Kontrolle von Blattpathogenen und der Gesunderhaltung des Blattapparates. Ein Hinweis auf physiologische Wirkungen, wie von Gerhard (2001) beschrieben, konnte nicht beobachtet werden. Vielmehr unterschieden sich die Varianten mit Strobilurinfungiziden in der besseren Wirkungsdauer, die in der Abreife zu geringeren Nekrotisierungsgraden auf den oberen Blattetagen führte. Diese Beobachtung wird auch durch die Ergebnisse in einem Vergleich der Wirkung verschiedener Blattfungizide unterstützt (Müller 2000, pers. Mitteilung). Auch unterscheiden sich die Strobilurine untereinander teilweise sehr deutlich in Parametern wie Aufnahme, Abbau und Mobilität in der Pflanze und somit in den Möglichkeiten physiologischer Wirkungen, gemeinsam ist jedoch eine ausgeprägte Wirkungsdauer (Köhle 2002, pers. Mitteilung). In den vorliegenden Untersuchungen wurden die positiven Beobachtungen auch beim Einsatz verschiedener Strobilurine gemacht.

Bei der Betrachtung der Bedeutung des Schwarzbeinigkeitsbefall darf nicht außer Acht gelassen werden, dass Monokultur vielfältige Auswirkungen auf den Ertrag hat. Gerade bei einem Bodenpathogen muss der Einfluss weiterer ertragsrelevanter Faktoren berücksichtigt werden. Darauf weist auch die untersuchte Wechselwirkung mit dem Fungizideinsatz gegenüber Blattpathogen hin. Gutser et al. (1981) stellten bei ihren Untersuchungen des geringeren Ertragsniveaus in Winterweizen-Monokulturen im Vergleich zu Fruchtfolgeweizen Einflüsse der Nährstoffversorgung, Verunkrautung und des Krankheitsauftretens fest.

Getreidereiche Fruchtfolgen fördern das Auftreten von Halmbasiskrankheiten. Daher war in den vorliegenden Untersuchungen die Halmbasis mitbonitiert worden. Der Vergleich der Schwarzbeinigkeitsbonituren mit dem Auftreten von Halmbasiskrankheiten zeigt, dass zwar beide unter ähnlichen Rahmenbedingungen auftreten (z.B. Vorfrucht Getreide), die Stärken des Befallsauftretens jedoch unabhängig voneinander sind. Dieses Ergebnis bestätigt die Beobachtungen von Sturm (1981) und Sturm et al. (1984). Da sowohl Schwarzbeinigkeit als auch Halmbruch zu dem Symptom der Weißährigkeit führen können, ist bei der Beurteilung von Ertragseffekten das Auftreten von Wurzel- und Halmbasisbefall zu berücksichtigen. In dem durchgeführten Monitoring lag der Index des Halmbasisbefalls meist unter der als ertragsrelevant eingestuften Schwelle von 40.

Im Jahr 2000 waren in Roggenstein deutliche Unterschiede in der Ertragsleistung der Schwarzbeinigkeitsbeize innerhalb eines Versuches nach unterschiedlicher

Grundbodenbearbeitung gefunden worden (Dennert 2000, persönliche Mitteilung). In diesem Versuch hatte die Grundbodenbearbeitung zu einem deutlichen Unterschied in dem Befall mit *Drechslera tritici repentis* geführt. Dabei hat der hohe Befall in der einen Variante das Ertragsniveau entscheidend verringert und etwaige Effekte der Saatgutbehandlung maskiert.

Neben diesen klassischen Fruchtfolgekrankheiten (Hoffmann et al. 1994) kann es in getreidereichen Fruchtfolgen allgemein zu einem stärkeren Auftreten von Blatt- und Ährenkrankheiten wie Mehltau, Rosten, Septoriosen, Fusariosen kommen (Mielke 1998). Nebeneffekte einer Saatgutbehandlung in diesem Bereich (Weinert und Wolf 1999, Wilmsmeier 2002) können zu einer zusätzlichen Absicherung gegenüber Ertragsverlusten in der Monokultur führen und zur Ökonomie der Saatgutbehandlung beitragen (Bateman 1989).

Gutser et al. (1981) beobachteten allerdings, dass es über den Einfluss der Faktoren Nährstoffversorgung, Verunkrautung und Krankheitsauftreten hinaus zu Ertragseinbußen in der Monokultur kommt. Insgesamt betrachtet lässt sich der Ertragsrückgang in Monokulturen nicht über gesteigerte Intensität ausgleichen (Sturm 1981, Gutser et al. 1981, Hoffman et al. 1994).

Die Bedeutung von Schwarzbeinigkeitsbefall für den Ertrag

Wie für den Befall sind auch für den Ertrag Regressionen aufgestellt worden, um zu überprüfen, in wie weit sich Erträge bzw. Ertragsunterschiede über den Befall mit Schwarzbeinigkeits erklären lassen. Hinsichtlich der Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeits waren mehrere Modellansätze verfolgt worden. Die Analyse von Einflussfaktoren (Prädiktoren) hinsichtlich des absoluten Ertrages zeigte vor allem eine Abhängigkeit vom Standort (Sorte, Bodenzahl, pH-Wert). Der Einfluss des Schwarzbeinigkeitsbefalls führt nur zu einer geringen Differenzierung. Die Analyse der relativen Ertragsdifferenz, also in wie weit sich anhand der gewählten Prädiktoren nach einer Beizbehandlung die zu erwartende Ertragsdifferenz prognostizieren lässt, brachte in 2 Ansätzen kein sicheres Ergebnis.

Der theoretische Einfluss des Befalls schwankt zwischen 0% und 100%, also zwischen Bedeutungslosigkeit (0%) und Totalausfall (100%). Bisher wurde meist der Anteil an Ertragsminderungen, der bei Fruchtfolgeversuchen nicht zu erklären war, der nicht bekämpfbaren Schwarzbeinigkeits zugerechnet. Die Ergebnisse aus den vorliegenden Untersuchungen zur Bekämpfung mit dem schwarzbeinigkeitswirksamen Beizmittel Jockey[®] deuten darauf hin, dass der Einfluss in der Regel überschätzt worden ist (Sturm 1981). Dabei

ist anzumerken, dass die Beizmittel den Befall nur verringern und daher der Vergleich zu einer befallsfreien Variante nicht möglich ist. In Deutschland tritt im Verhältnis zu anderen Ländern eher schwacher Befall auf (Bateman und Jenkyn, persönliche Mitteilung, Zadoks und Rijdsdijk 1984, Hornby 1998), daher werden die dramatischen Auswirkungen, die zu dem Namen „Take-all“ führten und für andere Länder beschrieben sind, nur selten beobachtet. Die Krankheit ist jedoch überall verbreitet und stellt entsprechend der Fruchtfolge, Standort und Bewirtschaftung ein Ertragsrisiko dar. Aufgrund der starken und vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Standort und Bewirtschaftung lassen sich keine Risikoregionen abgrenzen. Eine sinnvolle Risikoabschätzung ist daher nur über die Erfahrung über das Zusammenspiel der untersuchten und diskutierten Faktoren am Standort möglich.

Am deutlichsten treten Ertragsunterschiede, die sich auf Schwarzbeinigkeit bzw. die Beizbehandlung zurückführen lassen, bei hoher oder niedriger Intensität auf (Hornby 1998). Dazwischen werden meist bestimmte andere Faktoren ertragslimitierend und maskieren so den Einfluss der Schwarzbeinigkeit.

Die Feldversuche zeigen, dass der direkteste Einfluss des Schwarzbeinigkeitsbefalls auf den Ertrag über die Wasseraufnahme besteht. Dies kann die starke Abhängigkeit der Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit von Standort und Witterungsfaktoren erklären. Ohne dass eine Variable in der Beurteilung hinzugenommen wird, die den Befall in ein Verhältnis zu diesen Faktoren setzt, ist eine Beurteilung der Ertragsbedeutung schwierig. Der $\delta^{13}\text{C}$ – Wert als Kenngröße der Wasserversorgung kann dieses leisten, jedoch muss der Zusammenhang noch durch weitere Ergebnisse bestätigt werden.

In den vorliegenden Untersuchungen zeigten die Wurzelbehandlung über die Beize und die Blattbehandlung durch Fungizide weitgehend voneinander unabhängige Effekte. Die Untersuchung des Wasserhaushalts deutet dabei darauf hin, dass beide Maßnahmen durch die Reduzierung von pathogenbedingtem Stress zu einer höheren Wassernutzungseffizienz führen, was zu einer höheren Ertragsabsicherung beitragen kann. Bei der Blattbehandlung scheint dabei weniger die Art oder Wirkstoffklasse, als vielmehr die Wirkung eine Rolle zu spielen.

Bedeutung der Schwarzbeinigkeit für den Landwirt

Aufgrund der im Monitoring festgestellten, deutschlandweiten Verbreitung ist in allen Regionen, vor allem nach Getreidevorfrucht, mit Auftreten von Schwarzbeinigkeit zu

rechnen. Darüber hinaus konnte der Einfluss des Saattermins durch die Ergebnisse des Monitorings bestätigt werden. Über die beiden Faktoren Vorfrucht und Saattermin kann eine Abschätzung des Befallsrisikos zum Zeitpunkt der Aussaat erfolgen. Die Ergebnisse des Monitorings und Modelle, wie das aus dem Ergebnissen abgeleitete, helfen bei der Einschätzung der verschiedenen Einflussfaktoren. Der große Einfluss von Standortfaktoren wie Witterung, Boden und Bewirtschaftung auf den tatsächlichen Epidemieverlauf erschwert eine exakte Befallsprognose und die Abschätzung des Risikos von Ertragseinbußen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass alle Faktoren, die sich positiv auf Bodenleben und Pflanzenentwicklung auswirken, eher Befalls- und Befallseffekt mindernd sind. Doch gerade nach Getreidevorfrucht reagiert der Weizen besonders leicht und empfindlich auf negative Einflüsse durch Witterung und Bewirtschaftung. Schwarzbeinigkeitsbefall verstärkt dieses Risiko und kann somit zu Ertragseinbußen führen. Durch die gezielte Beizeung werden der Befall und das Risiko reduziert. Dabei ersetzt die Beize nicht die positive Wirkung durch Bewirtschaftungsmaßnahmen, die bisher die einzige Möglichkeit einer Verringerung des Ertragsrisikos darstellte, sondern ergänzt sie und stellt somit einen integrierten Teil von Maßnahmen zur Ertragsicherung dar. Dies bestätigen in besonderem Maße Untersuchungen, die sich mit der Wechselwirkung der Schwarzbeinigkeitsbehandlung mit dem Decline-Effekt (Bateman et al. 2004), dem Saattermin (Gutteridge und Hornby 2003) und der Stickstoffdüngung (Schoeny et al. 2003) befasst haben. Die Studien stellten fest, dass die Saatgutbehandlung nicht auf die positive Wirkung der Bewirtschaftungsmaßnahmen verzichten kann. Ein zu starkes Vertrauen auf die Wirkung der Beize bringt auf Dauer auch ein erhöhtes Risiko der Anpassung und Resistenzbildung durch den Erreger mit sich (Freeman und Ward 2004).

Die Biologische Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit stellt derzeit keine Alternative dar, da sie schwierig handhabbar und in der Wirkung stark abhängig von Umwelt und Witterung ist. Mögliche Auswirkungen auf das Bodenleben sollten jedoch bei den Bewirtschaftungsmaßnahmen und bei chemischen Bekämpfungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Kein Risiko durch Schwarzbeinigkeit gibt es bei Vermeidung des Getreideanbaus. Doch stehen bei der Fruchtfolge die ökonomischen Anforderungen vor phytopathologischen Erwägungen. Kompetenz und Verantwortung über die entscheidenden Faktoren in der konkreten Anbausituation liegen hierbei beim Landwirt. Letztendlich können erst mehrjährige Erfahrungen mit dem Anbau von Weizen in Monokultur zu einer fundierten Entscheidung führen, welche konkreten ökonomischen Risiken und Vorteile bestehen und in wie weit der Einsatz der Beize gegen Schwarzbeinigkeit zur Ertragsabsicherung beiträgt. In der Summe

der vorliegenden Erfahrungen ist dies bei korrekter Abwägung der Risikofaktoren der Fall. Schwarzbeinigkeit zu übersehen oder zu ignorieren ist in Anbetracht der Verbreitung und der Ergebnisse zur Ertragsbeeinflussung nicht gerechtfertigt.

Bedeutung der Schwarzbeinigkeit für die Forschung

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schwierigkeiten der Befallsprognose und der Einschätzung der Ertragsbedeutung weiterhin eine Herausforderung für die Wissenschaft darstellen. Vor allem die Ertragsbedeutung der Schwarzbeinigkeit führt dabei zur grundlegenden Fragestellung, welche Ertragsbedeutung Wurzeln überhaupt für die Pflanze haben. Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs bietet sich Schwarzbeinigkeit als messbare Schädigung und die Beizung als Mittel zur Befallsdifferenzierung an. Die Ergebnisse aus dem Feldversuch im Jahr 2000 zeigen deutlich die Bedeutung des Wasserhaushalts, gemessen über die Kohlenstoffdiskriminierung, für die Beziehung zwischen Befall und Ertrag auf. Die Messung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte erscheint besonders geeignet, da der Wert weitgehend die gesamte Vegetationszeit integriert und die Ergebnisse darauf hinweisen, dass der Wasserstatus weniger kompensatorischen Einflüssen durch die Pflanze unterliegt als z.B. die Nährstoffversorgung. Auch bietet der Wasserstatus eine Verbindung zu dem starken Einfluss der Witterung, der in den vorliegenden Untersuchungen beobachtet werden konnte. Ob sich dieses Kriterium zur Beurteilung des Ertragseinflusses der Schwarzbeinigkeit auch über eine größere Anzahl von Standorten, Witterungen und Jahren eignet, sollte in weiteren Untersuchungen bestätigt werden.

Die besondere Bedeutung der Ergebnisse aus Deutschland im Vergleich zu Studien aus anderen Ländern liegt darin, dass es bei dem vergleichsweise geringeren Befallsniveau und dem feuchten, gemäßigten Klima nicht zu den extremen Ausprägungen der Krankheit kommt, wie sie aus anderen Ländern beschrieben werden. Daher lassen sich in Deutschland sehr gut die Wechselwirkungen zwischen Wurzelbefall und den Auswirkungen auf die Physiologie der Pflanze untersuchen.

Für die Kontrolle der Schwarzbeinigkeit hat sich gezeigt, dass die zur Verfügung stehenden Beizen gegen Schwarzbeinigkeit zwar einen deutlichen Fortschritt gegenüber den bisherigen Möglichkeiten darstellen. Eine weitere Verbesserung bleibt besonders hinsichtlich der Wirkung die Herausforderung. Da es sich bei der Beizung um eine präventive Maßnahme handelt, besteht immer die Schwierigkeit der Prognose des zu erwartenden Risikos. Da aber

derzeit keine Resistenzen oder alternative biologische Bekämpfungsverfahren verfügbar sind, gilt es, die Beizmaßnahme bestmöglich in einen integrierten Ansatz zur Vermeidung des Risikos von Ertragseinbußen einzubeziehen.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, anhand mehrjähriger, überregionaler Befallserhebungen Aussagen über Vorkommen und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland zu treffen. Die aus den Ergebnissen abgeleitete Risikoabschätzung ist Grundlage für die gezielte Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit durch wirksame Beizen. Ergänzend zu den Erhebungen aus dem deutschlandweiten Monitoring von 1997-2000 wurden bestimmte Fragestellungen in Feldversuchen untersucht. Dies waren vor allem quantitative und qualitative Einflüsse von Befall bzw. Behandlung auf das Wurzelsystem und das Verhältnis zwischen Befall und Ertrag. Folgende Ergebnisse können zusammengefasst werden:

1. Der Erreger der Schwarzbeinigkeit an Getreide, *Gäumannomyces graminis*, ist in Deutschland weit verbreitet und konnte in allen ackerbaulich genutzten Regionen nachgewiesen werden. Der durchschnittliche Endbefall (BBCH >70) der im Monitoring untersuchten Proben lag bei einer Befallshäufigkeit von 72% und einer Befallsstärke von 19%. Das Auftreten war dabei abhängig von verschiedenen regionalen Faktoren und der Bewirtschaftung.
2. Bei den regionalen Faktoren wurden Vergleiche mit der Bodennutzung, der Verbreitung der häufigsten Vorfrüchte und dem Einfluss der Jahreswitterung anhand der räumlichen Verteilung der Befallswerte untersucht. Bei der Bodennutzung zeigte sich keine Begrenzung auf die Zentren des Ackerbaus oder ein Trend zu stärkerem Befall in den Randgebieten. Hohe Befallswerte traten verstärkt in Regionen mit hohem Anteil von Weizen in der Fruchtfolge auf. Es konnten aber hohe Befallswerte auch außerhalb dieser Bereiche gefunden werden. Bei einem Vergleich des Auftretens in den einzelnen Untersuchungsjahren zeigte sich eine unterschiedliche, regionale Verteilung, die unter Umständen auf die Jahreswitterung zurückgeführt werden kann. Eine konkrete Zuordnung bleibt jedoch schwierig. Es gibt kein regional abgrenzbares Befallsauftreten.
3. An Bewirtschaftungsfaktoren wurden die auch in der Literatur beschriebenen Einflussfaktoren Fruchtfolge, Saattermin, Sorte, Bodenbearbeitung, Bodenart, Bodenqualität und Bodenreaktion (pH) untersucht.
4. Der größte Einfluss ging von der Vorfrucht aus. Die häufigsten im Monitoring vorkommenden Vorfrüchte waren Winterweizen, Winterraps und Zuckerrübe. Nach Gramineen als Wirtspflanzen lag der Befall bei einer Befallshäufigkeit von 78% und

einer Befallsstärke von 25%. Dem gegenüber waren die Befallswerte nach Nicht-Wirtspflanzen mit einer Befallshäufigkeit von 57% und einer Befallsstärke von 10% deutlich niedriger. Trotz einer größeren Streuung sind diese Unterschiede signifikant. Für die Untersuchungen wurden 3 Kategorien unterschieden. Die Gruppe der Risikovorfrüchte bildeten alle Gramineen als potentielle Wirtspflanzen mit Ausnahme von Hafer und Mais. Die Gesund-Vorfrüchte stellen die Nicht-Wirtspflanzen dar. Dazwischen gibt es eine Gruppe mit Vorfrüchten, bei denen die Befallswerte stark streuen und die ein mittleres Befallsrisiko zeigen. Dies waren Raps, Hafer, Mais, Kartoffel, Erbse und Stilllegung bzw. verschiedene Arten von Grünland. Die durchschnittlichen Befallswerte im Endbefall (BBCH >70) waren bei der Risiko-Gruppe eine Befallshäufigkeit von 84% und einer Befallsstärke von 26%, bei der Gruppe mit mittlerem Befallsrisiko eine Befallshäufigkeit von 56% und einer Befallsstärke von 11% und bei den Gesund-Vorfrüchten eine Befallshäufigkeit von 51% und einer Befallsstärke von 8%.

5. Nach frühen Saatterminen kam es zu höheren Befallswerten als bei späten. Dabei ist der Einfluss des Saattermins abhängig von der Vorfrucht, da nach Risikovorfrüchten allgemein frühere Saattermine möglich sind als nach einigen Gesundvorfrüchten. Auch zeigte sich ein gewisser Einfluss der Vorvorfrucht. Eine Tabelle, in der die Befallswerte nach Saatdekaden und Vorfruchtkategorien zusammengestellt sind, kann zur Abschätzung des Risikos dienen. Ein deutliches Abweichen von den üblichen Saatzeiträumen führte bei wenigen Beobachtungen generell zu hohen Befallswerten.
6. Die Sortenwahl zeigte keinen Einfluss auf das Befallsauftreten, da keine Resistenzen verfügbar sind.
7. Bei der Bodenbearbeitung wurde zwischen wendender Bodenbearbeitung (Pflug), nichtwendender Bodenbearbeitung und Direktsaat unterschieden. Bei erhöhtem Befallsrisiko aufgrund der Vorfrucht lag die Befallsstärke nach wendender Bodenbearbeitung geringfügig niedriger als bei nichtwendender Bodenbearbeitung. Die geringsten Befallswerte wurden nach Direktsaat beobachtet, allerdings ist hier die geringe Stichprobenzahl anzumerken.
8. Ein Einfluss der Bodenart auf den Befall war nicht auswertbar.
9. Es zeigte sich ein schwacher Zusammenhang von Befallsauftreten mit der Bodenqualität, die über die Bodenpunkte festgehalten worden war. Im Trend tritt auf sehr guten Böden mit hohen Bodenpunkten ein schwächerer Befall auf.

10. Kein Einfluss konnte im Monitoring für die Bodenreaktion, gemessen über den pH-Wert, gefunden werden. Es traten allerdings keine extremen pH-Bereiche auf.
11. Der gleichzeitig bestimmte Halmbasisbefall durch die verschiedenen, an der Halmbasis auftretenden Erreger stand in keinem Zusammenhang mit dem Wurzelbefall durch Schwarzbeinigkeit. Beide können zu Weißährigkeit führen und treten unter ähnlichen Rahmenbedingungen auf, beeinflussen sich jedoch nicht in der Entwicklung.
12. Bei den durchschnittlichen Befallsverläufen fällt auf, dass abhängig von der Vorfruchtcategory erst eine Befallshäufigkeit von 70% überschritten werden muss, bevor die Befallsstärken Werte über 10% erreichen. Der Einfluss der Vorfrucht zeigt sich neben leichten Unterschieden im Ausgangsbefall im zeitlichen Verlauf der Kurve. Der Epidemiestieg ist bei Gesundvorfrucht um ca. 4 Wochen verzögert.
13. Durch den Einsatz der Beize Jockey[®] gegen Schwarzbeinigkeit konnte eine Befallsreduzierung im Endbefall beobachtet werden. Dieser Effekt war abhängig von dem Befallsniveau und trat nach Risikovorfrucht und in den Jahren mit dem höchsten Befallsniveau am deutlichsten auf. Am Befallsverlauf lässt sich erkennen, dass die Wirkung hauptsächlich in einer Befallsverzögerung liegt. Sie entspricht etwa der Hälfte der Vorfruchtwirkung. Bei den Ertrageffekten wurden nach Anwendung der Beize durchschnittlich um 2,9 dt/ha höhere Erträge erzielt. Bei erhöhtem Befall nach Risikovorfrucht waren dies durchschnittlich 3,4 dt/ha.
14. Eine direkte Korrelation zwischen Befall und Ertrag lässt sich nicht herstellen. Bei der Gesamtbetrachtung in verschiedenen Modellen bestätigen sich der große Einfluss von Vorfrucht und Witterung. Aufgrund des großen Einflusses der Witterung bleibt eine Befallsprognose zum Zeitpunkt der Aussaat ungenau. Über Daten aus dem Monitoring zusammen mit Standorterfahrung kann über Vorfrucht und Saatzeit eine ausreichende Risikoabschätzung erfolgen. Die beste Wirkung zeigte die Beize unter Bedingungen mit hohem Befallsniveau. Zur Klärung der Bedeutung des Wurzelbefalls bzw. der Wurzel für den Ertrag bedarf es noch weiterer Forschung.
15. In den Feldversuchen wurde versucht, über die Faktoren Wurzelmasse und Wurzeleistung hinsichtlich der Stickstoff- und Wasserversorgung eine Beziehung zwischen Wurzelbefall und Ertrag herzustellen. Dabei zeigte sich die Bestimmung der Wasserversorgung über den δC^{13} -Wert als besonders geeignet, da er die gesamte Vegetationszeit und den Einfluss der Witterung integriert.

Der Einsatz der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit kann das Risiko von Ertragseinbußen bei den enger werdenden Fruchtfolgen reduzieren. Damit sind neue Möglichkeiten für den Landwirt gegeben, dem ökonomischen Druck zu begegnen. Durch gezielten Einsatz können positive Ertragseffekte erreicht werden. Dazu sollte die Beizung auf Basis einer Risikoabschätzung erfolgen, unterstützt durch Standorterfahrung und Ergebnissen aus überregionalen Befallserhebungen sowie integriert in die positiven Einflussmöglichkeiten der Bewirtschaftung. Geschieht dies nicht, besteht die Gefahr der Resistenzbildung bei dem Erreger. Fehler in der Bewirtschaftung können den positiven Effekt der Beizbehandlung überlagern.

8 Verzeichnis der zitierten Literatur

- AIKEN, R. M. und SMUCKER, A. J. M. 1996: Root system regulation of whole plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, 34. 25-346.
- AMELUNG, D. und FOCKE, I. 1975: Untersuchungen zur Befallsverteilung von *Cercospora herpotrichoides* Fron und *Ophiobolus graminis* Sacc. Sowie deren Schadwirkung an Weizen. Symposium mit Internationaler Beteiligung zur Schaderregerüberwachung in der industriemäßigen Getreideproduktion. Martin Luther Universität Halle-Wittenberg. 297-332.
- ANGUS, J. F., GARDNER, P. A., KIRKEGAARD, J. A. und DESMARCHELIER, J. M. 1994: Biofumigation: Isothiocyanates released from Brassica roots inhibit the growth of the take-all fungus. *Plant and Soil*, 162. 107-112.
- ANONYMA
1996 Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft: 4-5.1.6 Richtlinie für die Prüfung von Fungiziden gegen *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton (Halmbruchkrankheit) an Getreide
2001: AnswerTree 3.0 Benutzerhandbuch. SPSS Inc., Chicago. <http://www.spss.com/>. 1-280.
1996/2-2000/2: Halbjahresberichte des Deutschen Wetterdienstes.
http://www.dwd.de/services/glw/lw_home.html.
- ARX, J. A. von und OLIVIER, D. L. 1952: The taxonomy of *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Transactions of the British mycological Society* 35. 29-33.
- ASHER, M. J. C. 1972: Effect of *Ophiobolus graminis* infection on the growth of wheat and barley. *Annals of Applied Biology*, 70. 215-223.
- ASHER, M. J. C. 1972b: Effect of *Ophiobolus graminis* infection on the assimilation and distribution of ¹⁴C in wheat. *Annals of Applied Biology*, 72. 161-167.
- ASHER, M. J. C. 1980: Variation in Pathogenicity and cultural characters in *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Transactions of the British mycological Society*, 75 (2). 213-220.
- ASHER, M. J. C. 1981: Pathogenic Variation. In ASHER, M. J. C. und SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 199-218.
- ASHER, M. J. C. und SHIPTON, P. J. eds., 1981: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London.
- AUGUSTIN, C., JUERGEN JACOB, H. und WERNER, A. 1997: Effects on growth of wheat plants of isolates of *Gaeumannomyces/Phialophora*-complex fungi in different conditions of

- soil moisture, temperature, and photoperiod. *European Journal of Plant Pathology*, 103. 417-426.
- AUSLEY, C., 1919: Quarantine on account of flag-smut and take-all. US Department of Agriculture. Notice of Quarantine No. 39. S. 1-6. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- AYRES, P. G. 1984: Effects of infection on root growth and function; consequences for plant nutrient and water relations. In WOODS, R. K. S. und JELLIS, G. J. eds 1984: *Plant Diseases: infection, damage and loss*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 105-117.
- AYRES, P. G. und PAUL, D. 1986: Foliar pathogens alter the water relations of their hosts with consequences for both host and pathogen. In AYRES, P. G. und BODDY, L. (eds): *Water, fungi, and plants: Symposium of the British Mycological Society held at the University of Lancaster, April 1985*. Cambridge University Press, Cambridge. 267-285.
- BAILEY, D. J. und GILLIGAN, C. A. 1999: Dynamics of Primary and Secondary Infection in Take-All Epidemics. *Phytopathology*, 89. 84-91.
- BAILEY, K. L. GOSSEN, B. D., LAFOND, G. P., WATSON, P. R. und DERKSEN, D. A. 2001: Effect of tillage and crop rotation on root and foliar diseases of wheat and pea in Saskatchewan from 1991 to 1998: Univariate and multivariate analyses. *Canadian Journal of Plant Science*, 81. 789-803.
- BAKER, K. F. und COOK, R. J. 1974: *Biological Control of Plant Pathogens*. W. H. Freeman and Co, San Francisco. (Reprinted in 1982, American Phytopathological Society, St. Paul, MN). 1-433.
- BATEMAN, G. L. 1989: Progress in research on the control of take-all in cereals with fungicides: a review. *Crop Protection*, 8. 75-81.
- BATEMAN, G. L., WARD, E., HORNBY, D. und GUTTERIDGE, R. J. 1997: Comparisons of Isolates of the take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, from different cereal sequences using DNA probes and non-molecular methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 29. 1225-1232.
- BEALE, R. E., PHILLION, D. P., HEADRICK, J. M., O'REILLY, P. und COX, J. 1998: Mon 65500: A unique fungicide for the control of take-all in wheat. *Proceedings of the BCPC 1998 Brighton Conference, Pests and Diseases*. 343-350.
- BETZ, H. 1984: Untersuchungen über die Rolle des Avenacins bei Interaktionen zwischen *Avena sativa* und Varietäten von *Gaeumannomyces graminis* sowie Arten von *Fusarium*. Inaugural-Dissertation, Justus-Liebig-Universität. Gießen.

- BECKER, J., LAVIER, B. und LEAPER, D. J., 1998: Take-all (*Gäumannomyces graminis* var. *tritici*) infestation survey for Germany, France and the UK, 1996-1997. Proceedings of the BCPC 1998 Brighton Conference, Pests and Diseases, 77-82.
- BOCKMANN, H. 1963: Die Notreife durch Fuß- und Ährenkrankheiten als Begrenzungsfaktor für den Weizenanbau in einseitigen Getreidefruchtfolgen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 108. 129-133.
- BOCKMANN, H. und KNOTH, K. E. 1971: Der verstärkte Getreideanbau aus pflanzenpathologischer und pflanzenhygienischer Sicht. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 78. 1-33.
- BOCKUS, W. W., DAVIS, M. A., und NORMAN, B. L. 1994: Effect of soil shading by surface residues during summer fallow of take-all of winter wheat. Plant Disease, 78. 50-54.
- BÖHM, W. ed. 1979: Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies 33. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979. 1-188.
- BRASSET, P. R. und GILLIGAN, C.A. 1990: Effects of self-sown wheat on levels of take-all disease on seedlings of winterwheat grown in a model system. Journal of Phytopathology, 129. 46-57.
- BRENDAN, J. S., KIRKEGAARD, J. A. and HOWE, G. N. 2004: Impacts of *Brassica* break-crops on soil-biology and yield of following wheat crops. Australian Journal of Agricultural Research, 55. 1-11.
- BRENNAN, R. F. 1992: The role of manganese and nitrogen nutrition in the susceptibility of wheat plants to take-all in Western Australia. Fertilizer Research 31. 35-41.
- BRENNAN, R. F. 1992b: Effect of superphosphate and nitrogen on yield and take-all of wheat. Fertilizer Research 31. 43-49.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J. H., OLSHEN, R. A. und STONE, C. J. 1984: Classification and regression trees. Chapman and Hall, London. S. 1.
- BROOKS, D. H. und DAWSON, M. G. 1968: Influence of direct drilling of winter wheat on incidence of take-all and eyespot. Annals of Applied Biology, 61. 57-64.
- BROSCHWITZ, B., FRAHM, J., KAKAU, J., KÖRSCHENHAUS, J.-W., KAUTHAUSEN, H.-J., KRÖCHER, C. VON, LAERMANN, H.-T., MAULER-MACHNIK, A., MIELKE, H., PUHL, T. und STECK, U. 1999: F01. Deutscher Vorschlag für eine EPPO-Richtlinie zur Prüfung der Wirksamkeit von Saatgutbehandlungsmitteln gegen luft- und bodenbürtige Krankheitserreger an Getreide. German proposal for an EPPO-guideline for testing the

- efficacy of seed treatments against air and soil-borne pathogens on cereal. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Bundesrepublik Deutschland.
- BRYAN, G. T., P., DANIELS, M. J. und OSBOURN, A. E. 1995: Comparison of Fungi within the *Gaeumannomyces-Phialophora* Complex by Analysis of Ribosomal DNA Sequences. *Applied and Environmental Microbiology*, 61. 681-689.
- BRYAN, G. T., LABOURDETTE, E., MELTON, R. E., NICHOLSON, P., DANIELS, M. J. und OSBOURN, A. E. 1999: DNA Polymorphism and host range in the take-all fungus *Gaeumannomyces graminis*. *Mycological Research*, 103. 391-401.
- CANNON, P. F. 1994: The newly recognized family *Magnaporthaceae* and its interrelationships. *Systema Ascomycetum*, 13. 25-42.
- CHAMBERS, S. C. und FLENTJE, N. T. 1967: Studies on oat-attacking and wheat-attacking isolates of *Ophiobolus graminis* in Australia. *Australian Journal of Biological Science*. 20. 927-940.
- CLARKSON, D. T., DREW, M. C., FERGUSON, I. B. und SANDERSON, J. 1975: The effect of the Take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis*, on the transport of ions by wheat plants. *Physiological Plant Pathology*, 6. 75-84.
- CLARKSON, J.D.S. und POLLEY, R.W., 1981: Diagnosis, assessment, Crop-loss Appraisal and Forecasting. In: ASHER, M. J. C. AND SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 251-269.
- COBB, N. A. 1892: Plant diseases , and how to prevent them. *Agricultural Gazette New South Wales* 3. 991-1006. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- COLBACH, N. und HUET, P. 1995: Modelling the frequency and severity of root and foot diseases in winter wheat monocultures. *European Journal of Agronomy*, 4(2). 217-227.
- COLBACH, N., DUBY, C., CAVALIER, A. und MEYNARD, J.-M. 1997: Influence of cropping systems on foot and root diseases of winter wheat: fitting of a statistical model. *European Journal of Agronomy*, 6. 61-77.
- COLBACH, N., LUCAS, PH. und CAVALIER, A. 1994: Influence des successions culturales sur les maladies du pied et des racines du blé d'hiver. *Agronomie*, 14. 525-540.
- COLBACH, N., LUCAS, PH. und MEYNARD, J.-M. 1997: Influence of Crop Management on Take-all Development and Disease Cycles on Winter Wheat. *Phytopathology*, 87. 26-32.

- COOK, R. J. und ROVIRA, A. D. 1976: The role of bacteria in the biological control of *Gaeumannomyces graminis* by suppressive soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 8. 267-273.
- COOK, R. J. und NAIKI, T. 1982: Virulence of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* from fields under short-term and long-term wheat cultivation in the Pacific Northwest, U.S.A.. *Plant Pathology*, 31. 201-207.
- COOK, R. J. 1981: 15 The Effect of Soil Reaction and Physical Conditions. In ASHER, M. J. C. AND SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 343-352.
- COOK, R. J. 1994: Garrett Memorial Lecture. Problems and progress in the biological control of wheat take-all. *Plant Pathology*, 43.429-437.
- COOK, R. J. 2003: Review: Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62. 75-86.
- COOK, R. J. und King, J. E. 1984: 19 Loss caused by cereal diseases and economics of fungicidal control. In WOOD, R. K. S. und JELLIS, G. J. eds.: *Plant Diseases: infection, damage and loss*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 237-245.
- COTTERILL, P. J. und SIVASITHAMPARAM, K. 1988: Survival of the Take-all Fungus in the Presence and Absence of Susceptible Grasses. *Australian Journal of Soil Research*, 26. 313-322.
- COTTERILL, P. J. und SIVASITHAMPARAM, K. 1988b: The effect of tillage practices on distribution, size, infectivity and propagule number of the take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Soil and Tillage Research*, 11. 183-195.
- COTTERILL, P. J. und SIVASITHAMPARAM, K. 1989: An Autoecological Study of the Take-all Fungus *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40. S. 229-240.
- CUNNINGHAM, P. C. 1981: Isolation and Culture. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 103-123.
- DAVIES, F. R. 1937: Superiority of silver nitrate over mercuric chloride for surface sterilization in the isolation of *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Canadian Journal of Research* 13, 168-173. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- DAWSON, W. A. J. M. und BATEMAN G. L. 2000: Sensitivity of fungi from cereal roots to fluquinconazole and their suppressiveness towards take-all on plants with or without fluquinconazole seed treatment in a controlled environment. *Plant Pathology*, 49. 477-486.

- DE NOTARIS, G. 1863: Sferiacei italici. Genova (aus HOLM 1957).
- DEACON, J. W. 1981: 3 Ecological Relationships with other Fungi: Competitors and Hyperparasites. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London. 75-102.
- DENNIS, R. W. G. 1960: British cup fungi and their allies. An introduction to the Ascomycetes. Ray Society, London.
- DRECHSLER, C. 1934: Phytopathological and taxonomic aspects of *Ophiobolus*, *Pyrenophora*, *Helminthosporium*, and a new genus, *Cochliobolus*. Phytopathology 24. 953-983.
- DULOT, A., LUCAS, PH., SARNIGUET, A. und DORÉ, TH. 1997: Effects of wheat volunteers and blackgrass in set-aside following a winter wheat crop on soil infectivity and soil conductiveness to take-all. Plant and Soil, 197. 149-155.
- DUFFY, B. K. UND WELLER, D. M. ,1994: A Semiselective and Diagnostic Medium for *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Phytopathology 84. 1407-1415.
- EBBELS, D. L. 1969: Effects of soil fumigation on disease incidence, growth and yield of spring wheat. Annals of Applied Biology, 63. 81-93.
- FRIES, E. 1823: In „Systema mycologicum“, 2. 504. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- FARQUHAR, G. D., HUBICK, K. T., CONDON, A. G. und RICHARDS, R. A. 1988: Carbon Isotope Fractionation and Plant Water-Use Efficiency. In RUNDEL, P. W., EHLERINGER, J.R. und NAGY, K. A. (eds.): Stable isotopes in ecological research. Springer Verlag, New York. 21-40.
- FERRAZ, J. F. P. 1973: Influence of the soil atmosphere on spread of *Ophiobolus graminis* along wheat roots. Transaction of the British mycological Society, 61 (2). 237-249.
- FREEMAN, J. und WARD, E. 2004: *Gaeumannomyces graminis*, the take-all fungus and its relatives. Molecular Plant Pathology, 5 (4). 235-252.
- FOULY, H. M., PEDERSEN, W. L., WILKINSON, H. T. und ABD EL-KADER, M. M., 1996: Wheat root rotting fungi in the “old“ and “new“ agricultural lands of Egypt. Plant Disease 80. S 1298-1300.
- GARDNER, P. A., ANGUS, J. F., PITSON, G. D. und WONG, P. T. W. 1998: A comparison of six methods to control take-all in wheat. Australian Journal of Agricultural Research, 49. 1225-1240.
- GARRETT, S. D. 1934: Factors affecting the severity of take-all. I. The importance of soil micro-organisms. J. Dep. Agric. S. Austr., 37. 664-674. (Aus GARRETT 1956)
- GARRETT, S. D. 1937: Soil conditions and the take-all disease of wheat. II. The relation between soil reaction and soil aeration. Annals of Applied Biology, 24. 747-751.

- GARRETT, S. D. 1948: Soil conditions and the take-all disease of wheat. VI. Interaction between host plant nutrition, disease escape and disease resistance. *Annals of Applied Biology*, 35. 14-17.
- GARRETT, S. D. ed., 1956: *Biology of root infecting fungi*. Cambridge University Press. 1-293
- GARRETT, S. D., 1965: Towards Biological Control of Soil-Borne Plant Pathogens. In BAKER, K. F. und SNYDER, W. C. eds. 1965: *Ecology of Soil-borne Pathogens*. University of California, Berkeley. 4-17.
- GARRETT, S. D., 1981: Introduction .In ASHER, M. J. C. AND SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 1-11.
- GERHARD, M. 2001: Einfluss strobilurinhaltiger Fungizide auf physiologische Abläufe der Ertragsbildung an Winterweizensorten. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- GEESING, D. 2003 Site-specific effects of water supply and nitrogen fertilization on winter wheat. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- GERLAGH, M. 1968: Introduction of *Ophiobolus graminis* into new polders and its decline. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 74(2). 1-97.
- GILLIGAN, C.A. 1994: Temporal aspect of the development of root disease epidemics. In: CAMPBELL, C. L. and BENSON, D.M. eds.: *Epidemiology and Management of Root Diseases*. Springer-Verlag, Berlin. S. 148-194.
- GILLIGAN, C.A. und BRASSET 1990: Modelling and Estimation of the Relative Potential for Infection of Winter Wheat by Inoculum of *Gaeumannomyces graminis* Derived from Propagules and Infected Roots. *Journal of Phytopathology*, 129. 58-68.
- GLENN, O. F. und SIVASITHAMPARAM, K. 1991: The Influence of Soil pH on the Saprophytic Growth in Soil of the take-all Fungus *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Australian Journal of Soil Research*, 29. 627-634.
- GLYNNE, MARY D. 1935: Incidence of take-all on wheat and barley on experimental plots at Woburn. *Annals of Applied Biology*, 22. 225-235.
- GLYNNE, MARY D. 1965: Crop sequence in relation to soil-borne pathogens. In BAKER, K. F. und SNYDER, W. C. eds. 1965: *Ecology of Soil-borne Pathogens*. University of California, Berkeley. 423-435.
- GUTSER, R., AMBERGER, A. und HOFFMANN, G. M. 1981: Gesundung einer Winterweizen-Monokultur durch Düngung und Pflanzenschutz. *Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 38*. 693-707.

- GUTTERIDGE, R. J. und HORNBY, D. 2003: Effects of sowing date and volunteers on the infectivity of soil infested with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and on take-all disease in successive crops of winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 143, 3. 275-282.
- HÄCKEL, H. ed. 1993: Meteorologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HABERMEYER, J., GERHARD, M. und ZINKERNAGEL, V. 1998: The impact of strobilurins on the plant physiology of wheat. *Proceedings of the 7th International Congress of Plant Pathology*, 3. Abstract 5.6.3..
- HALL, R. 1986: Effects of root pathogens on plant water relations. In AYRES, P. G. und BODDY, L. (eds): *Water, fungi, plants: Symposium of the British Mycological Society held at the University of Lancaster, April 1985*. Cambridge University Press, Cambridge. 241-265.
- HALL, R. und SUTTON, J. C. 1998: Relation of weather, crop and soil variables to the prevalence, incidence and severity of basal infections of winter wheat in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 20: 1. S. 69-80.
- HARDWICK, N. V., JONES, D. R. und SLOUGH, J. E., 2001: Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989-98. *Plant Pathology* 50. S. 453-462.
- HARVEY, P. R., LANGRIDGE, P. und MARSHALL, D. R. 2001: Genetic drift and host-mediated selection cause genetic differentiation among *Gaeumannomyces graminis* populations infecting cereals in southern Australia. *Mycological Research*, 105. 927-935.
- HENRY, A. W. 1932: The influence of soil temperature and soil sterilisation on the reaction of wheat seedlings to *Ophiobolus graminis* Sac. *Canadian Journal of Research*, 7. 198-203. (Aus GARRETT 1965)
- HERDINA und ROGET, D. K. 2000: Prediction of take-all disease risk in field soils using a rapid and quantitative DNA soil assay. *Plant and Soil*, 227. 87-98.
- HERDINA, NEATE, S., JABAJI-HARE, S. und OPHEL-KELLER, K. 2004: Persistence of DNA of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in soil as measured by a DNA-based assay. *FEMS Microbiology Ecology*, 47. 143-152.
- HEUN, M. und MIELKE, H. 1982: Resistenzzüchtung gegen *Pseudocercospora herpotrichoides* und *Gaeumannomyces graminis* beim Weizen. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem*. Heft 207
- HOFFMANN, G. M., NIENHAUS, F., POEHLING, H. – M., SCHÖNBECK, F., WELTZIEN, H. C. und WILBERT, H. (Hrsg.) 1994: *Lehrbuch der Phytomedizin*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

- HOLM, G. 1957: Étude taxonomiques sur les Pléosporacées. Symb. Bot. upsal. 14 (3). 1-188.
(Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- HOLZ, J. 2003: Sortentrends bei Winterweizen. Getreide Magazin. 4. 224-227.
- HORNBY, D. 1969: Methods of investigating populations of the take-all fungus (*Ophiobolus graminis*) in soil. Annals of Applied Biology, 64. 503-513.
- HORNBY, D. 1975: Inoculum of the take-all fungus: nature, measurement, distribution and survival. EPPO Bulletin, 5. 319-333.
- HORNBY, D. 1978: The problems of trying to forecast take-all. In SCOTT, P. R. und BAINBRIDGE, A. eds.: Plant Disease Epidemiology. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 151-158.
- HORNBY, D. 1978b: Microbial Antagonisms in the rhizosphere. Annals of Applied Biology, 89. 97-100.
- HORNBY, D. 1981: Inoculum. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London. 271-294.
- HORNBY, D. 1983: Suppressive Soils. Annual Review of Phytopathology, 21. 65-85.
- HORNBY, D. 1998b: Interaction between husbandry and Take-all: background for newer methods of controlling the disease. Proceedings of the BCPC 1998 Brighton Conference, Pests and Diseases, 67-76.
- HORNBY, D. ed. 1998: Take-all disease of cereals: a regional perspective. University Press, Cambridge.
- HORNBY, D. und GORING, C. A. I. 1972: Effects of ammonium and nitrate nutrition on take-all disease of wheat in pots. Annals of Applied Biology, 70. 225-231.
- HORNBY, D., BATEMAN, G. L., GUTTERIDGE, R. J., LUCAS, P., MONFORT, F. und CAVALIER, A. 1990: Experiments in England and France on fertilisers, fungicides and agronomic practices to decrease take-all. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference 1990. 67-76
- HORNBY, D., BATEMAN, G. L., PAYNE, R. W., BROWN, M. E., HENDEN, D. R. und CAMPBELL, R. 1993: Field tests of bacteria and soil applied fungicides as control agents for take-all in winter wheat. Annals of Applied Biology, 122. 253-270.
- HUANG, L., KANG, Z., HEPPNER, C. und BUCHENAUER, H. 2001: Ultrastructural and immunocytochemical studies on effects of the fungicide Mon 65500 (Latitude) on colonization of roots of wheat seedlings by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 108 (2). 188-203.

- HUBER, D. M. 1981: The role of Nutrients and chemicals. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 317-340.
- HUBER, D. M. 1981b: Incidence and severity of take-all of wheat in Indiana. *Plant Disease*, 65. 734-737.
- HUBER, D. M., PAINTER, C. G., MCKAY, H. C. und PETERSSON, T. S. 1968: Effect of nitrogen fertilization on take-all of winter wheat. *Phytopathology*, 57. 1470-1478.
- HUBER, D. M. und MCCAY-BUIS, T. S. 1993: A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. *Plant Disease*, 77. 437-447.
- JENKINS, J. E. E. 1978: Monitoring diseases in crops. – In SCOTT, P. R. AND BAINBRIDGE, A. eds.: *Plant Disease Epidemiology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 45-54.
- JENKYN, J. 2002: Le piétin échaudage en Angleterre. Colloque les 13 et 14 mars 2002: *Raisonnons ensemble le patrimoine risques*, St. Albans 2002. Aventis CropScience, France.
- JENKYN, J. F., BATEMAN, G. L., GUTTERIDGE, R. J. und EDWARDS, S. G. 2000: Effects of foliar sprays of azoxystrobin on take-all in wheat. *Annals of Applied Biology*, 137. 99-106.
- JENSEN, H.P. und JØRGENSEN, J.H. 1973: Reactions of five cereal species to the take-all fungus (*Gaeumannomyces graminis*) in the field. *Phytopathologische Zeitschrift*, 78; 193-203.
- JUHNKE, M. E., MATHRE, D. E. und SANDS, D. C. 1984: A selective Medium for *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Plant Disease*, 68. 233-236.
- JUSTES, E., JEUFFROY, M. H. und MARY, B. 1997: Wheat, Barley, and Durum Wheat. In LEMAIRE, G. (ed) 1997: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 73-91.
- KABBAGE, M. und BOCKUS, W. W. 2002: Effect of placement of Inoculum of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* on severity of take-all in winter-wheat. *Plant Disease*, 86. 298-303.
- KIRBY, R. S. und THOMAS, H. E., 1925: The take-all disease of wheat in New York State. *Science N.Y.* 52. 368-369. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- KIRBY, R. S. 1925: The take-all disease of cereals and grasses caused by *Ophiobolus cariceti* (Berkeley und Broome) Saccardo. *Mem. Cornell University agric. Exp. Stn No.* 88. 45ff. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)

- KIRKEGAARD, J. A., SARWAR, M., WONG, P. T. W., MEAD, A., HOWE, G. und NEWELL, M. 2000: Field studies on the biofumigation of take-all by Brassica break crops. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51. 445-456.
- KLUGE, E., ENZIAN, S. und GUTSCHE, V. 1999: Befallsatlas: Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands. Hrsg. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Ribbesbüttel. Saphir Verlag 1999.
- KRÖCHER, C. VON 1998: Erste Versuche mit Beizen. *DLG-Mitteilungen*, 9/1998.
- LANDSHOOT, P. J. 1993: Taxonomy and biology of ectotrophic root-infecting fungi associated with patch diseases of turfgrasses. In CLARKE, B.B. und GOULD, A. B. eds: *Turfgrass Patch Diseases caused by Ectotrophic Root-Infecting Fungi*. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 41-71.
- LEMAIRE, G. und GASTAL, F. 1997: N Uptake and Distribution in Plant Canopies. In LEMAIRE, G. (ed) 1997: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 3-41.
- LIEBLER, J. 2003: Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- LINDE-LAUERSEN, I.; JENSEN, H.P.; JØRGENSEN, J.H. 1973: Resistance of *Triticale*, *Aegilops* and *Haynaldia* species to the take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis*. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 70. 200-213.
- MACLEOD, W. J., MACNISH, G. C. und THORN, C. W. 1993: Manipulation of ley pastures with herbicides to control take-all. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44. 1235-1244.
- MACNISH, G. C., DODMAN, R. L. und FLENTJE, N. T. 1973: Bioassay of undisturbed soil cores for the presence of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Australian Journal of Biological Science*, 26. 1267-1276.
- MACNISH, G. C. und NICHOLAS, D. A. 1987: Some effects of field history on the relationship between grass production in subterranean clover pasture, grain yield and take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) in a subsequent crop of wheat at Bannister, Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38. 1011-1018.
- MACNISH, G. C. 1980: Management of cereals for control of take-all. *Journal of Agriculture, Western Australia*, 21. S. 48-51.

- MAIZEL, J. V., BURKHARDT, H. J. und MITCHELL, H. K. 1964: Avenacin, an antimicrobial substance isolated from *Avena sativa*. I. Isolation and antimicrobial activity. *Biochemistry*, 3. 424-426.
- MANGIN, L. 1899: Contribution à l'étude de quelques parasites du blé. Overs. K. danske Vidensk. Selsk. Forh. Medlemmers Arbejder 1899. 213-272. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- MANNERS, J. G. und MYERS, A. 1981: Effects on host growth and physiology. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 237-248.
- MATHRE, D. E., COOK, R. J. und CALLAN, N. W. 1999: From Discovery to Use. Traversing the World of Commercializing Biocontrol Agents for Plant Disease Control. *Plant Disease*, 83 (11). 972-983.
- MCALPINE, D. 1904: Take-all and white-heads in wheat. *Bull. Dep. Agric. Victoria* No. 9, 20pp. A. Morrison, Melbourne. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- MIELKE, H. 1974: Untersuchungen über die Anfälligkeit verschiedener Getreidearten gegen den Erreger der Schwarzbeinigkeit *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Landwirtschaft und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*, 160. 1-61.
- MIELKE, H. 1983: Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungen auf Fußkrankheiten des Getreides. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 35. 33-39.
- MIELKE, H. 1988: Untersuchungen zur Übertragung des Fußkrankheitserregers *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx et Olivier var. *tritici* Walker von befallenen Wurzeln verschiedener Getreidearten auf Winterweizen (Gewächshausversuche). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, Braunschweig, 40. 132-133.
- MIELKE, H. 1995: Schwarzbeinigkeit im Weizenbau. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*. 47(7). 177-180.
- MIELKE, H. 1997: Wie sich die Neuen schlagen. *DLG-Mitteilungen*, 9. 36-38.
- MIELKE, H. 1998: Studien zum Befall des Weizens mit *Gäumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx et Olivier var. *tritici* Walker unter Berücksichtigung der Sorten- und Artenanfälligkeit sowie der Bekämpfung des Erregers. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem*. Heft 359.

- MIND, G. 1998: Neu bei AgrEvo: Wurzelschutz gegen Schwarzbeinigkeit mit Fluquinconazol. *Gesunde Pflanzen*, 50 (4). 117-120.
- MIND, G. 1999: MON 65500-das neue Fungizid gegen die Schwarzbeinigkeit. *Gesunde Pflanzen*, 51 (7). 240-247.
- MOORE, K. J. und COOK, R. J. 1984: Increased take-all of wheat with direct drilling in the Pacific Northwest. *Phytopathology*, 74. 1044-1049.
- MÜCKE, C. 1870: The take-all (*Zenodochius cerealium*). The corn disease of Australia, scientifically considered. Prize essay, Board of Agriculture, Victoria, Mason, Firth & Co., Melbourne, 19ff
- MÜLLER-KÖGLER, E. 1934: Die Anfälligkeit der Hauptgetreidearten gegenüber *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 44. 481-485.
- NAIKI, T. und COOK, R. J. 1983: Factors in loss of pathogenicity in *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* to cause take-all. *Phytopathology*, 73. 1652-1656.
- NILSON, H. E. 1972: The occurrence of lobed hyphopodia on an isolate of the take-all fungus, "*Ophiobolus graminis* Sacc.", on wheat in Sweden. *Swedish Journal of agricultural research*, 2. 105-118.
- OBST, A. und PAUL, V. H. eds. 1993: Schwarzbeinigkeit. In: *Krankheiten und Schädlinge des Getreides*. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buir. S. 29-31.
- OEHRKE, E.-C., DEHNE, H.-W., SCHÖNBECK, F. UND WEBER, A., 1994: *Crop Protection and Crop Production*. Elsevier, Amsterdam.
- OSBOURN, A. E. 1996: Saponins and Plant defense – a soap story. *Trends in plant science*, (1) 1. 4-9.
- OSBOURN, A. E., BOWYER, P., BRYAN, G., LUNNESS, P., CLARKE, B. R. und DANIELS, M. J. 1994: Detoxification of plant saponins by fungi. In: DANIELS, M. J., DOWNIE, J. A. und OSBOURN, A. E. (eds.) *Advances in Molecular Genetics of Plant-Microbe Interactions*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 215-221.
- OSBOURN, A. E., CLARKE, B. R., DOW, J. M. und DANIELS, M. J. 1991: Partial Characterization of avenacinase from *Gaeumannomyces graminis* var. *avenae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 38. 301-312.
- OWNLEY, B. H., WELLER, D. M. und THOMASHOW, L. S. 1992: Influence of in situ and in vitro pH on suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* 2-79. *Phytopathology*, 82. 178-184.

- PAHMEIER, H. L., BRINKER, W. und SPANAU, P. 1993: Betriebsorganisation. Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau, Landwirtschaftsverlag Münster Hilstrup, 12 Auflage 1993. 62-113.
- PARKER, C. A. und ROVIRA, A. D. 1985: Preface. In: PARKER, C. A. , ROVIRA, A. D, MOORE, K. J., WONG, P. T. W. und KOLLMORGEN, J. F. eds.: Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens. The American Phytopathological Society, St. Paul.
- PADWICK, G. W. 1936: Biologic strains of *Ophiobolus graminis* Sacc.. Annals of Applied Biology, 23. 45-56.
- PAYAK, M. M., SANGAAM LAL, JANKI LILARAMANI und RENFRO, B.L. 1970: *Cephalosporium maydis*-a new threat to maize in India. Indian Phytopathology, 23. 562-569.
- POLLEY, R.W. und CLARKSON, J.D.S. 1980: Take-all severity and yield in winter wheat: relationship established using a single plant assessment method. Plant Pathology, 29. 110-116.
- POLLEY, R.W. und THOMAS, M. R. 1980: Surveys of diseases of winter wheat in England and Wales, 1976-1988. Annals of Applied Biology, 119. 1-20.
- PREW, R. D. 1980: Studies on the Spread of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in wheat. I. Autonomous spread. Annals of Applied Biology, 94. 397-404.
- PREW, R. D. 1980b: Studies on the Spread of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in wheat. II. The effect of cultivation. Annals of Applied Biology, 94. 391-396.
- PRILLIEUX, E. E. und DELACROIX, G. 1890: La maladie du pied du blé, causée par l'*Ophiobolus graminis*, Sacc.. Bull. Soc. Mycol. Fr. 6, 110-113. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- RAAIJMAKERS, J. M., WELLER, D. M. und THOMASHOW, L. S. 1997: Frequency of Antibiotic-Producing *Pseudomonas* spp. in Natural Environments. Applied and Environmental Microbiology, Mar. 1997. 881-887.
- RAAIJMAKERS, J. M. und WELLER, D. M. 1997b: Natural Plant Protection by 2,4-Diacetylphloroglucinol-Producing *Pseudomonas* spp. In Take-All Decline Soils. Molecular Plant-Microbe Interactions, 11 (2). 144-152.
- RAWLINSON, C. J. und BUCK, K. W. 1981: Viruses in *Gaeumannomyces* and *Phialophora* spp.. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London. 151-172.
- REIS, E. M., COOK, R. J. und MCNEAL, B. L. 1982: Effect of mineral nutrition on take-all of wheat. Phytopathology, 72. 224-229.

- REIS, E. M., COOK, R. J. und MCNEAL, B. L. 1983: Elevated pH and associated reduced trace-nutrient availability as factors contributing to increased take-all of wheat upon soil liming. *Phytopathology*, 73. 411-413.
- RENGEL, Z. , GUTTERIDGE, G. W., HIRSCH, P. und HORNBY, D. 1996: Plant genotype, micronutrient fertilization and take-all infection influence bacterial populations in the rhizosphere of wheat. *Plant and Soil*, 183. 269-277.
- RICHARDS, R. A., REBETZKE, G. J., CONDON, A. G. und VAN HERWAARDEN, A. F. 2002: Breeding Opportunities for Increasing the Efficiency of Water Use and Crop Yield in Temperate Cereals. *Crop Science*, 42. 111-121.
- RIESS, H. 1854: Neue Kernpilze. *Hedwigia* 1, 25-28. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- RIDGE, E. H. 1976: Studies on soil fumigation. II. Effects on bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 8. 249-253.
- ROMANOS, M. A., RAWLINSON, C. J., ALMOND, M. R. und BUCK, K. W. 1980: Production of fungal growth inhibitors by isolates of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Transactions of the British Mycological Society*, 74(1). 79-88.
- ROGET, D. K. 2001: Prediction modelling of soilborne plant diseases. *Australasian Plant Pathology* 30 (2). 85-89.
- ROTHROCK, C. S. und LANGDALE, G. W. 1989: Influence of Nonhost Summercrops on take-all in double-cropped winter wheat. *Plant Disease*, 73. 130-132.
- ROUMEGUÈRE, C. und SACCARDO, P. A. 1881: Reliquiae mycologicae Libertinae, Series altera (i). *Revue Mycol.* 3, 39-59. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- ROY, K.W., ABNEY, T.S., HUBER, D. M. und KEELER, R. 1982: Isolation of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* from soybeans in the midwest. *Plant Disease*, 66. 822-825.
- ROYO, C., VILLEGAS, D., GARCIA DEL MORAL, L. F., ELHANI, S., APARICIO, N., RHARRAHTI, Y. und ARAUS, J. L. 2002: Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotype differences in durum wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53. 561-569.
- ROVIRA, A. D. und WILDERMUTH, G. B. 1981: The Nature and Mechanisms of Suppression. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 385-415.
- RUSSEL, R. C. 1939: Pathogenicity tests with cultures of *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Scientific Agriculture*, 19. 662-669. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)

- SABATINI, M. A. und INNOCENTI, G. 2000: Soil-borne plant pathogenic fungi in relation to some collembolan species under laboratory conditions. *Mycological Research*, 104. 1197-1201.
- SACCARDO, P. A. 1875: *Fungi veniti novi vel critici*. Ser. II. *Nuovo G. bot. ital.* 7, 299-329. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- SAMRA, A. S., SABET, K. A. und HINGORANI, M. K. 1963: Late wilt disease of maize caused by *Cephalosporium maydis*. *Phytopathology*, 53. 402-406.
- SAMUEL, G. 1938: Whiteheads or take-all in wheat. *Agriculture*, London, 44. 231-241. (Aus ASHER und SHIPTON 1981)
- SANFORD, G. B. und BROADFOOT, W. C. 1931: Studies of the effects of other soil-inhabiting micro-organisms on the virulence of *Ophiobolus graminis* Sacc.. *Scientific Agriculture*, 11. 512-528. (Aus GARRETT 1965)
- SARNIGUET, A., LUCAS, P. und LUCAS, M. 1992a: Relationships between take-all, soil conductiveness to the disease, populations of fluorescent pseudomonads and nitrogen fertilizer. *Plant and Soil* 145, 17-27.
- SARNIGUET, A., LUCAS, P., LUCAS, M. und SAMSON, R. 1992b: Soil conductiveness to take-all of wheat: Influence of nitrogen fertilizers on structure of populations of fluorescent pseudomonads. *Plant and Soil* 145, 29-36.
- SARWAR, M., P. A., KIRKEGAARD, J. A. WONG, P. T. W. und DESMARCHELIER, J. M. 1994: Biofumigation potential of brassicas. III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil*. 201. 103-112.
- SCHAFFNIT, E. 1930: Ertragseinbußen im Getreidebau durch Fußkrankheiten. *Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts Gesellschaft*, 247-251.
- SCHMID, H., GUTSER, R. und CLAASEN, N. 1997: Wurzelentwicklung und -umsatz von Winterweizen. Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 3. – 4. März 1997, Bonn. 297-285.
- SCHOENY, A. und LUCAS, P. 1999: Modeling of take-all epidemics to evaluate the efficacy of a new seed-treatment fungicide on wheat. *Phytopathology*, 89. 954-961.
- SCHOENY, A. DEVIENNE-BARRET, F., JEUFFROY, M.-H. und LUCAS, P. 2003: Effect of take-all root infections on nitrate uptake in winter wheat. *Plant Pathology*, 52. 52-59.
- SCOTT, P. R. 1981: Variaton in Host Susceptibility. In ASHER, M. J. C. und SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 219-236.

- SIVASITHAMPARAM, K. und PARKER, C. A. 1981: Physiology and Nutrition in Culture. In ASHER, M. J. C. und SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London. 125-150.
- SHIPTON, P. J. 1972: Take-all in spring-sown cereals under continuous cultivation: disease progress and decline in relation to crop succession and nitrogen. *Annals of Applied Biology*, 71. 33-46.
- SHIPTON, P. J. 1975: Yield trends during take-all decline in spring barley and wheat grown continuously. *Eppo Bullitin* 5(4), 363-374.
- SHIPTON, P. J. 1981: Saprophytic Survival between Susceptible Crops. In ASHER, M. J. C. und SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London. 295-316.
- SHIPTON, P. J. 1984: Infection by foot and root rot pathogens and subsequent damage. In WOOD, R. K. S. und JELLIS, G. J. eds.: Plant Diseases: infection, damage and loss. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 139-148.
- SHIPTON, P. J., COOK, R. J. und SITTON, J. W. 1973: Occurrence and transfer of a biological factor in soil that suppresses take-all of wheat in eastern Washington. *Phytopathology*, 63. 511-517.
- SIMMONDS, P. M. 1928: Report Dominion Botanist for 1927. Rep. Dep. Agric. Can. 1928. 98-112.
- SKOU, J. P. 1968: Studies on the take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis*. II. The virulence as measured in infection experiments with cereal seedlings. Yearbook, Royal Veterinary and Agricultural College, Copenhagen 1968. 117-133.
- SLOPE, D. B. und ETHERIDGE, J. 1971: Grain yield and incidence of take-all in wheat grown in different crop sequences. *Annals of Applied Biology*, 67. 13-22.
- SMILEY, R. W. und COOK, R. J. 1973: Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. nitrate-nitrogen. *Phytopathology*, 63. 882-890.
- SMILEY, R. W., COLLINS, H. P. und RASMUSSEN, P. E. 1996: Diseases of wheat in long-term agronomic experiments at Pendleton, Oregon. *Plant Disease*, 80. 813-820.
- SMITH, A. M. und NOBLE, D. 1972: Effects of oxygen and carbon dioxide on the growth of two varieties of *Gaeumannomyces graminis*. *Transaction of the British Mycological Society*, 58 (3). 499-532.
- SMUCKER, A. J. M. 1993: Soil environmental modifications of root dynamics and measurement. *Annual Review of Phytopathology*, 31. 191-216.

- SOIKA, J. H. und SANDERS, P. L. 1996: Evaluation of fungicides for control of take-all patch, 1995. Fungicide and Nematicide Tests, 51. 364.
- SPEAKMAN, J. B. 1984: Control of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in Wheat by Isolates of the *G. graminis* var. *graminis*/*Phialophora* sp (Lobed Hyphopodia) Complex under Field Conditions. Phytopathologische Zeitschrift, 109. 188-191.
- SPEAKMAN, J. B. und LEWIS, B. G. 1978: Limitation of *Gaeumannomyces graminis* by wheat root responses to *Phialophora radicumicola*. New Phytologist, 80. 373-380.
- SPINK, J. H., FOULKES, J., CLARE, R. W., SCOTT, R. K. SYLVESTER-BRADLEY, R. und WADE, A. 1996: Physiological traits of wheat varieties conferring suitability to rotations with continuous successions of wheat. Aspects of Applied Biology, 47. 265-275.
- SPINK, J. H., BLAKE, J. J., FOULKES, J., PILLINGER, C. und PAVELEY, N. 2002: Take-all in winter wheat: Effects of silthiofam (Latitude) and other management factors. Home-Grown Cereals Authority (HGCA) Project Report No. 268. 1-62.
- STELLJES, K. B. und HARDIN, B. 1995: Tackling Wheat Take-all. Agricultural Research, 43(8). 4-7.
- STRAUB, R., BLEIHOLDER, VAN DER BOOM, T., BUHR, L., HACK, H., HEB, M., KLOSE, R., MEIER und U., WEBER, E. 1994: Einheitlich Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen.
- STURM, K. 1981: Untersuchungen zur Ertragsbildung einer Weizenmonokultur unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung von *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Dissertation Technische Universität München. 1-156.
- STURM, K. HOFFMANN, G. M. und FISCHBECK, G. 1984: Zur Populationsdynamik von *Gaeumannomyces graminis* in einem gestaffelten Weizenmonokulturversuch. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 91 (5). 533-542.
- THOMASHOW, L. S. und WELLER, D. M. 1988: Role of a phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Journal of Bacteriology, 170. 3499-3508.
- TENG, P. S. 1985: Construction of predictive models. II. Forecasting crop losses. In: Gilligan, C.A. (ed.) Mathematical Modelling of Crop Disease. Academic Press, London. S. 179-206.
- TROLLDENIER, G. 1981: Influence of soil moisture, soil acidity and nitrogen source on take-all of wheat. Phytopathologische Zeitschrift, 102. 163-177.
- TROLLDENIER, G. 1985: Effect of varied NPK nutrition and inoculum density on yield losses of wheat caused by take-all. In: PARKER, C. A. , ROVIRA, A. D, MOORE, K. J., WONG,

- P. T. W. und KOLLMORGEN, J. F. eds.: Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens. The American Phytopathological Society, St. Paul. 218-220.
- TURNER, E. M. 1940: *Ophiobolus graminis* Sacc. var. *avenae* var n., as the cause of take-all or white-heads of oats in Wales. Transaction of the British Mycological Society, 24. 269-281.
- TURNER, E. M. 1961: An enzymic basis for pathogen specificity in *Ophiobolus graminis*. Journal of experimental Botany, 12. 169-175.
- WÄCHTER, V. und RÖDER, K. 1990: Verbreitung der Schwarzbeinigkeitskrankheit des Weizens in der DDR sowie der Einfluß von ökologischen Faktoren auf das Auftreten. Nachrichtenblatt Pflanzenschutz DDR, 44. 238-240.
- WALKER, J. 1972: Type studies on *Gaeumannomyces graminis* and related fungi. Transaction of the British Mycological Society, 58. 427-457.
- WALKER, J. 1973a: *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. No. 381
- WALKER, J. 1973b: *Gaeumannomyces graminis* var. *avenae*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. No. 382
- WALKER, J. 1973c: *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. No. 383
- WALKER, J. 1980: *Gaeumannomyces*, *Linocarpon*, *Ophiobolus* and several other genera of scoleospored Ascomycetes and *Phialophora* conidial states, with a note on hyphopodia. Mycotaxon 11. 1-129.
- WALKER, J. 1981: Taxonomy of Take-all Fungi and related Genera and Species. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: Biology and Control of Take-all. Academic Press, London..
- WEINERT, A. und WOLF, G. 1999: Nebenwirkungen einer Wurzelschutzmaßnahme mit Jockey auf Blattpathogene: a) Ergebnisse aus Gewächshausversuchen zu Mehltau, *Septoria tritici* und Rost. AgrEvo Wurzelschutzsymposium am 23./24. März 1999 in Mettmann.
- WELLER, D. M. 1988: Biological Control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. Annual Review of Phytopathology, 26:379-407.
- WELLER, D. M. und COOK, R. J. 1983: Suppression of take-all of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads. Phytopathology, 73. 463-469.
- WELLER, D. M., RAAIJMAKER, J. M., MCSPADDEN GARDENER, B. B. und THOMASHOW, L. S. 2002: Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. Annual Review of Phytopathology, 40. 309-348.

- WERKER, A. R. und GILLIGAN, C. A. 1990: Analysis of the effects of selected agronomic factors on the dynamics of take-all disease of wheat in field plots. *Plant Pathology*, 39. 161-177.
- WILLETTS, H. J. 1969: A comparison between *Ophiobolus graminis* and *Ophiobolus graminis* var *avenae*. Transaction of the British Mycological Society, 44. 504-510.
- WILLIAMS, T. D. und SALT, G. A. 1970: The effects of soil sterilants on the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae* Woll.), take-all (*Ophiobolus graminis* Sacc.) and yields of spring wheat and barley. *Annals of Applied Biology*, 66. 329-338.
- WILMSMEIER, B. 2002: Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen von Fluquinconazol gegen den Erreger der Schwarzbeinigkeit, *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx et Olivier var. *tritici* Walker, nach Saatgutbehandlung von Weizen. D100 Dissertation Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin, Stuttgart.
- WINTER, A. G. 1940: Die Infektion des Weizens durch *Ophiobolus graminis* als Funktion der Bodenfeuchtigkeit. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*, 50. 326-355.
- WINTER, A. G. 1940b: Untersuchungen über den Einfluß biotischer Faktoren auf die Infektion des Weizens durch *Ophiobolus graminis*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*, 50. 113-134.
- WISEMAN, M. 1997: SPSS für Windows unter Windows 95 bzw. Windows NT. Eine Einführung. Leibniz – Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München.
- WISEMAN, M. 2001: SPSS für Windows für Windows. Eine Einführung. Leibniz – Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München.
- WISEMAN, M. 2002: SPSS für Windows Special Topics: Regressionsanalysen. Leibniz – Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München.
- WONG, P. T. W. 1975: Cross-protection against the wheat and oat take-all fungi by *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*. *Soil Biology and Biochemistry*, 7. 189-194.
- WONG, P. T. W. 1981: Biological Control by Cross-protection. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 417-431.
- WONG, P. T. W., MEAD, J. A. und HOLLEY, M. P. 1996: Enhances field control of wheat take-all using cold tolerant isolates of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* and *Phialophora* sp. (lobed hyphopodia). *Plant Pathology*, 45. 285-293.

- WONG, P. T. W. und SIVIOUR, T. R. 1979: Control of *Ophiobolus* patch in *Agrostis* turf using avirulent fungi and take-all suppressive soils in pot experiments. *Annals of Applied Biology*, 92. 191-197.
- YAO, J. M., WANG, Y. C. und ZHU, Y. G., 1992: [A new variety of the pathogen of maize take-all]. *Acta Mycologica Sinica*, 11. 99-104.
- YARHAM, D. J. 1981: Practical Aspects of Epidemiology and Control. In ASHER, M. J. C. and SHIPTON, P. J. eds.: *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London. 353-384.
- YARHAM, D. J. 1998: Take-all - the past and the future. *Proceedings of the BCPC 1998 Brighton Conference, Pests and Diseases*. 62-66.
- YEATES, J. S., FANG, C. S. und PARKER, C. A. 1986: Distribution and importance of oat attacking isolates of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in Western Australia. *Transaction of the British Mycological Society*, 86. 683-685.
- ZADOKS, J. C. und RIJSDIJK, F. H. 1984: *Agro-ecological Atlas of Cereal Growing in Europe*. Vol III. *Atlas of Cereal Diseases and Pests in Europe*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen.

9 Anhang

9.1 Tabellen

Tab. 44: Varianzanalyse zum Einfluss der Vorvorfrucht auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke

		ONEWAY ANOVA				
		QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Befallshäufigkeit [%]	Zwischen den Gruppen	8428.557	3	2809.519	2.908	.034
	Innerhalb der Gruppen	859861,4	890	966.136		
	Gesamt	868290,0	893			
Befallsstärke [%]	Zwischen den Gruppen	5679.376	3	1893.125	6.043	.000
	Innerhalb der Gruppen	278820,9	890	313.282		
	Gesamt	284500,2	893			

Tab. 45: Mittelwertsvergleich der Befallshäufigkeiten für die Risikokategorien der Vorvorfrucht (Risiko VVF).

1 waren die Werte ohne Angabe der Vorvorfrucht.

Tukey-HSD^{a,b}

Risiko_VVF	n	Untergruppe für Alpha = .05.
		1
1	84	68.139
Risiko	477	69.929
Gesund	166	75.317
Mittel	167	76.448
Signifikanz		.089

Tab. 46: Mittelwertsvergleich der Befallsstärken für die Risikokategorien der Vorvorfrucht (Risiko VVF).

1 waren die Werte ohne Angabe der Vorvorfrucht.

Tukey-HSD^{a,b}

Risiko_VVF	n	Untergruppe für Alpha = .05.	
		1	2
1	84	13.430	
Gesund	166		19.098
Risiko	477		19.104
Mittel	167		23.368
Signifikanz		1.000	.149

Tab. 47: Varianzanalyse zum Einfluss der Saatzeit auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke**ONEWAY ANOVA**

		QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Befallshäufigkeit [%]	Zwischen den Gruppen	45727.683	8	5715.960	6.076	.000
	Innerhalb der Gruppen	778010,8	827	940.763		
	Gesamt	823738,5	835			
Befallsstärke [%]	Zwischen den Gruppen	7677.465	8	959.683	3.005	.002
	Innerhalb der Gruppen	264128,0	827	319.381		
	Gesamt	271805,5	835			

Tab. 48: Mittelwertsvergleich der Befallshäufigkeiten für die Saatdekaden (SAAT_DEC)

Tukey-HSD

SAAT_DEC	n	Untergruppe für Alpha = .05.	
		1	2
11.3	4	26.097	
10.3	112		58.220
11.1	37		59.908
11.2	24		68.341
10.2	215		71.491
9.1	10		71.502
10.1	175		71.509
9.2	52		77.420
9.3	207		78.742
Signifikanz		1.000	.482

Tab. 49: Mittelwertsvergleich der Befallsstärken für die Saatdekaden (SAAT_DEC)Tukey-HSD^{a,b}

SAAT_DEC	n	Untergruppe für Alpha = .05.
		1
11.3	4	6.112
11.1	37	11.477
10.3	112	14.991
10.1	175	18.383
11.2	24	19.339
10.2	215	19.830
9.1	10	20.628
9.2	52	21.024
9.3	207	22.609
Signifikanz		.095

Tab. 50: Mittelwerte der Befallshäufigkeiten (BH) und Befallsstärken (BS) der im Monitoring untersuchten Sorten entsprechend der Risikokategorien der Vorfrucht (Risiko, Gesund, Mittel). n entspricht der Anzahl der Beobachtungen.

Sorte	VF-Risiko			Gesund			Mittel			Risiko			Gesamt: BH	Gesamt: BS	Gesamt: n
	BH	BS	n	BH	BS	n	BH	BS	n	BH	BS	n			
Kanzler/Athlet							100,0%	81,1%	1	100,0%	81,1%	1	100,0%	81,1%	1
Sortenmischung							93,6%	49,2%	1	93,6%	49,2%	1	93,6%	49,2%	1
Cockpit							100,0%	45,0%	1	100,0%	45,0%	1	100,0%	45,0%	1
Mewa				7,4%	0,7%	1	100,0%	80,3%	1	53,7%	40,5%	2	53,7%	40,5%	2
Previa				99,2%	28,9%	1	100,0%	43,5%	1	99,6%	36,2%	2	99,6%	36,2%	2
Orestis				97,0%	19,1%	1	93,7%	40,1%	3	94,5%	34,9%	4	94,5%	34,9%	4
Greif	66,4%	16,7%	3	56,4%	40,4%	2	78,9%	42,2%	5	70,7%	34,2%	10	70,7%	34,2%	10
Gorbi	97,6%	34,2%	1							97,6%	34,2%	1	97,6%	34,2%	1
Pepital	17,1%	1,7%	1				94,6%	49,4%	2	68,7%	33,5%	3	68,7%	33,5%	3
Aristos				87,6%	18,7%	3	100,0%	45,0%	3	93,8%	31,9%	6	93,8%	31,9%	6
Toni							83,6%	30,1%	2	83,6%	30,1%	2	83,6%	30,1%	2
Atlantis	25,3%	2,6%	1	60,7%	18,2%	5	85,8%	37,3%	10	74,2%	29,1%	16	74,2%	29,1%	16
Haven	38,3%	4,0%	1	73,6%	8,7%	2	84,7%	39,0%	6	77,1%	28,4%	9	77,1%	28,4%	9
Kanzler				60,4%	9,4%	3	87,7%	39,2%	5	77,5%	28,0%	8	77,5%	28,0%	8
Rialto	52,4%	7,7%	8	48,6%	6,2%	5	89,7%	37,1%	19	74,0%	24,9%	32	74,0%	24,9%	32
Contur	54,5%	11,9%	2	76,8%	15,0%	4	88,9%	29,5%	11	82,0%	24,0%	17	82,0%	24,0%	17
Soisson	56,2%	5,8%	2				74,6%	29,7%	6	70,0%	23,8%	8	70,0%	23,8%	8
Herzog							100,0%	22,2%	1	100,0%	22,2%	1	100,0%	22,2%	1
Astron	67,6%	15,1%	2	45,4%	11,7%	7	80,9%	30,5%	9	65,6%	21,5%	18	65,6%	21,5%	18
Batis	13,1%	1,3%	2	54,8%	13,6%	16	84,7%	30,8%	17	66,9%	21,3%	35	66,9%	21,3%	35
Bandit	68,5%	10,1%	9	35,8%	4,0%	3	93,9%	29,5%	18	80,5%	21,1%	30	80,5%	21,1%	30
Hanseat	34,4%	4,1%	1				99,0%	29,0%	2	77,5%	20,7%	3	77,5%	20,7%	3
Pegassos	71,9%	13,0%	3	62,8%	14,2%	5	75,6%	24,6%	11	71,6%	20,1%	19	71,6%	20,1%	19
Tarso	84,3%	17,4%	2	64,0%	12,3%	12	84,4%	30,6%	9	73,7%	19,9%	23	73,7%	19,9%	23
Zentos	43,3%	6,1%	5	57,7%	15,2%	7	76,6%	27,1%	14	65,1%	19,8%	26	65,1%	19,8%	26
Monopol	52,4%	10,3%	5	96,4%	33,1%	3	68,9%	20,5%	8	68,9%	19,6%	16	68,9%	19,6%	16
Carolus				16,7%	1,7%	1	98,9%	25,5%	3	78,4%	19,5%	4	78,4%	19,5%	4
Ritmo	59,7%	8,2%	20	61,5%	9,2%	35	85,2%	24,5%	115	77,3%	19,4%	170	77,3%	19,4%	170
Flair	53,7%	6,1%	5	52,1%	11,8%	8	88,6%	26,1%	19	74,0%	19,4%	32	74,0%	19,4%	32
(Leer)	70,4%	12,7%	8	87,8%	17,1%	4	88,7%	24,7%	7	80,8%	18,0%	19	80,8%	18,0%	19
Tilburi	61,3%	7,3%	1				96,2%	26,7%	1	78,7%	17,0%	2	78,7%	17,0%	2
Transit	38,0%	3,8%	1				77,8%	19,1%	6	72,1%	16,9%	7	72,1%	16,9%	7
Terra				77,5%	16,7%	2				77,5%	16,7%	2	77,5%	16,7%	2
Charger	66,5%	8,9%	4	100,0%	20,6%	1	86,6%	28,8%	2	77,0%	16,2%	7	77,0%	16,2%	7
Drifter				58,3%	9,7%	1	89,6%	22,7%	1	74,0%	16,2%	2	74,0%	16,2%	2
Contra	44,0%	5,6%	3	31,6%	7,8%	7	73,0%	23,6%	12	55,8%	16,1%	22	55,8%	16,1%	22
Ronus				60,0%	15,7%	1				60,0%	15,7%	1	60,0%	15,7%	1
Bussard	21,0%	3,3%	4	58,3%	9,4%	11	85,0%	33,3%	6	58,8%	15,1%	21	58,8%	15,1%	21
Toronto				27,6%	3,5%	7	76,3%	20,8%	13	59,2%	14,7%	20	59,2%	14,7%	20
Tambor	30,9%	3,2%	2	69,8%	9,6%	6	72,1%	20,7%	9	66,5%	14,7%	17	66,5%	14,7%	17
Borneo				41,0%	6,8%	3	100,0%	35,6%	1	55,7%	14,0%	4	55,7%	14,0%	4
Estica				78,3%	11,1%	3	96,7%	18,0%	2	85,7%	13,8%	5	85,7%	13,8%	5
Ritmo/Bandit							87,2%	12,3%	1	87,2%	12,3%	1	87,2%	12,3%	1
Brigadier	85,3%	12,3%	1							85,3%	12,3%	1	85,3%	12,3%	1
Asketis	26,7%	3,5%	3				96,2%	38,0%	1	44,0%	12,1%	4	44,0%	12,1%	4
Bourbon	46,4%	7,5%	1	42,6%	16,6%	1				44,5%	12,1%	2	44,5%	12,1%	2
Complet	24,6%	2,6%	2				96,6%	21,1%	2	60,6%	11,8%	4	60,6%	11,8%	4
Pajero				82,9%	10,5%	1				82,9%	10,5%	1	82,9%	10,5%	1
Hybnos				61,2%	8,6%	2				61,2%	8,6%	2	61,2%	8,6%	2
Aron	57,0%	7,4%	4	8,2%	0,9%	1	67,7%	11,2%	4	56,3%	8,4%	9	56,3%	8,4%	9
Rektor							40,0%	8,3%	1	40,0%	8,3%	1	40,0%	8,3%	1
Vivant	66,7%	8,1%	1							66,7%	8,1%	1	66,7%	8,1%	1
Kontrast	24,0%	3,0%	3	42,3%	9,6%	2	85,7%	19,8%	1	40,4%	8,0%	6	40,4%	8,0%	6
Alidos	30,8%	3,2%	1	52,9%	6,3%	1	73,6%	10,0%	3	60,9%	7,9%	5	60,9%	7,9%	5
Club	2,3%	0,2%	1				87,8%	15,3%	1	45,1%	7,8%	2	45,1%	7,8%	2
Florida				26,7%	2,9%	1	76,7%	12,3%	1	51,7%	7,6%	2	51,7%	7,6%	2
Borenos				39,4%	4,3%	1	75,3%	10,8%	1	57,3%	7,5%	2	57,3%	7,5%	2
Taras				72,8%	7,4%	1				72,8%	7,4%	1	72,8%	7,4%	1
Urban	0,0%	0,0%	1				72,9%	13,6%	1	36,4%	6,8%	2	36,4%	6,8%	2
Mikon				3,3%	0,3%	1	92,2%	12,8%	1	47,8%	6,6%	2	47,8%	6,6%	2
Glockner	28,3%	3,0%	2	30,3%	3,0%	1	96,7%	15,9%	1	45,9%	6,2%	4	45,9%	6,2%	4
Contrast				51,7%	6,1%	1				51,7%	6,1%	1	51,7%	6,1%	1
Sperber	25,5%	3,2%	1				56,1%	7,7%	1	40,8%	5,4%	2	40,8%	5,4%	2
Optimus							33,3%	3,4%	1	33,3%	3,4%	1	33,3%	3,4%	1
Esprit							29,8%	3,0%	1	29,8%	3,0%	1	29,8%	3,0%	1
Zentos/Bussard							15,6%	2,5%	1	15,6%	2,5%	1	15,6%	2,5%	1
Xanthos							13,5%	1,3%	1	13,5%	1,3%	1	13,5%	1,3%	1

Weiter auf der nächsten Seite =>

VF-Risiko	Gesund			Mittel			Risiko			Gesamt: BH	Gesamt: BS	Gesamt: n
	BH	BS	n	BH	BS	n	BH	BS	n			
Sorte												
Ronos				11,7%	1,2%	1				11,7%	1,2%	1
Ares				10,1%	1,1%	1				10,1%	1,1%	1
Athlet	10,6%	1,1%	1							10,6%	1,1%	1
Compact	0,0%	0,0%	1							0,0%	0,0%	1
Gesamtergebnis	51,4%	8,0%	119	57,1%	11,3%	186	83,5%	27,2%	387	70,9%	19,6%	692

Tab. 51: Varianzanalyse zum Einfluss einer Auswahl der häufigsten Sorten aus der Übersicht (Tab. 50, n > 10) auf Befallshäufigkeit und Befallsstärke bei Risikovorfrucht

		QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Befallshäufigkeit [%]	Zwischen den Gruppen	5608.725	13	431.440	.839	.618
	Innerhalb der Gruppen	195330,0	380	514.026		
	Gesamt	200938,7	393			
Befallsstärke [%]	Zwischen den Gruppen	7223.009	13	555.616	1.731	.053
	Innerhalb der Gruppen	121996,4	380	321.043		
	Gesamt	129219,4	393			

Tab. 52: Mittelwerte der Befallshäufigkeiten (BH) und Befallsstärken (BS) der im Monitoring untersuchten Bodenarten entsprechend der Risikokategorien der Vorfrucht (Risiko, Gesund, Mittel). Punkte gibt die durchschnittlichen Bodenpunkte (Qualität) an, n entspricht der Anzahl der Beobachtungen.

Bodenart	Gesund				Mittel				Risiko				Gesamt: BH	Gesamt: BS	Gesamt: Punkte	Gesamt: n
	BH	BS	Punkte	n	BH	BS	Punkte	n	BH	BS	Punkte	n				
tMarsch									100,0%	85,5%	78	1	100,0%	85,5%	78	1
(h) IIS									95,7%	63,2%		1	95,7%	63,2%		1
sLS									100,0%	59,4%		2	100,0%	59,4%		2
tU	46,4%	7,5%		1					100,0%	94,8%		1	73,2%	51,2%		2
Lsu					100,0%	18,4%	65	1	100,0%	62,7%	70	2	100,0%	47,9%	68	3
(h) IU					98,5%	28,9%		2	98,3%	33,0%		19	98,4%	32,6%		21
TI					66,0%	15,1%	47	6	97,9%	33,3%	67	23	91,3%	29,6%	63	29
IT	97,4%	23,0%	56	3	59,7%	6,8%	60	1	89,1%	33,5%	64	8	88,7%	28,6%	61	12
hL	46,2%	5,8%		1	98,3%	40,8%	50	1					72,3%	23,3%	50	2
IS	70,1%	10,9%	75	11	66,9%	13,9%	55	34	89,6%	26,8%	55	81	81,7%	22,0%	57	126
sL	31,7%	5,6%	67	24	49,4%	9,2%	53	43	84,8%	32,1%	65	88	66,8%	21,6%	62	155
sL-L									98,0%	21,5%	45	1	98,0%	21,5%	45	1
T									72,3%	19,5%	40	1	72,3%	19,5%	40	1
uL	20,6%	2,5%	76	14	43,2%	4,9%	70	4	77,9%	23,7%	68	45	63,0%	17,8%	70	63
S					83,8%	9,3%	35	2	82,0%	19,0%	55	2	82,9%	14,1%	45	4
L	26,2%	3,5%	82	10	38,8%	5,6%	70	10	68,3%	19,3%	68	34	55,0%	13,8%	71	54
LU	31,0%	4,0%	60	5					57,2%	30,0%	84	3	40,8%	13,7%	69	8
sW									89,2%	13,3%	55	1	89,2%	13,3%	55	1
IL									57,5%	10,4%	72	7	57,5%	10,4%	72	7
Lts									34,0%	3,6%	65	1	34,0%	3,6%	65	1
Gesamtergebnis	38,0%	6,2%	71	69	57,5%	11,3%	55	104	84,5%	28,4%	63	321	72,3%	21,7%	63	494

Tab. 53: Varianzanalyse zum Einfluss der Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ja-nein) auf den Ertrag (mit und ohne Beizbehandlung).

	QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	533.129	1	533.129	2.159	.143
Innerhalb der Gruppen	62710.266	254	246.891		
Gesamt	63243.395	255			

Tab. 54: Varianzanalyse zum Einfluss der Vorfruchtisikokategorie auf den Ertrag (für die Werte aus der Befall-Ertrag Betrachtung)

	QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	763.382	2	381.691	1.593	.207
Innerhalb der Gruppen	29465.206	123	239.555		
Gesamt	30228.588	125			

Tab. 55: Varianzanalyse zum Einfluss des Untersuchungsjahres auf die durch Beizung gegen Schwarzbeinigkeit (ja-nein) erzielte Ertragsdifferenz (bei Vorfruchtkategorie „Risiko“).

	QS	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	510.285	2	255.142	1.029	.359
Innerhalb der Gruppen	62733.110	253	247.957		
Gesamt	63243.395	255			

Tab. 56: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Roggenstein 1998

Tab. Sorten, Tab. Boden

	Allgemein				VF Winterweizen				VF Hafer		
	Beize	Vorfrucht	Düngung	Aussaat	Beize	Beize	Düngung	Aussaat	Sorte	Beize	Sorte
WLD1	0.670	0.806	0.016	0.105	0.990	0.379	0.081	0.052	0.884	0.059	0.821
WLD2	0.774	0.114	0.016	0.178	0.037	0.380	0.249	0.087	0.218	0.660	0.056
WLD3	0.104	0.314	0.050	0.450	0.567	0.133	0.551	0.474	0.455	0.495	0.377
WLD_ges	0.081	0.153	0.024	0.134	0.195	0.076	0.400	0.198	0.151	0.711	0.159
Ertrag	0.980	0.011	0.016	0.037	0.000	0.951	0.192	0.607	0.000	0.916	0.012
BH_Wurzel	0.189	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.738	0.117	0.177	0.283	0.325
BS_Wurzel	0.116	0.002	0.009	0.002	0.002	0.074	0.575	0.097	0.814	0.279	0.355

Tab. 57:p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Weihenstephan 1998

	Fungizid=unbehandelt(1)		VF Winterweizen, Sorte Astron		
	Vorfrucht	Beize	Sorte	Beize	Fungizid
WLD 27.2.1998	0.289	0.335	0.166		
WLD 17.6.1998	0.719	0.575	0.175	0.884	0.500
WLD 8.8.1998				0.458	0.374
BS Blatt (F- F-1) 29.6.1998 BBCH 72		0.148			
BS Blatt (F- F-1) 14.7.1998 BBCH 81		0.020		0.889	0.000
BS Blatt (F) 22.7.1998 BBCH 85		0.014		0.607	0.002
Trockenmasse 18.6.1998	0.000	0.991	0.098	0.788	0.122
BH Wurzel 20.5.1998 BBCH37	0.287	0.743	0.258	0.879	0.475
BS Wurzel 20.5.1998 BBCH37	0.274	0.719	0.266	0.874	0.474
Ertrag (dt/ha)	0.371	0.064	0.053	0.023	0.334

Eine spätere Stichprobenuntersuchung des Wurzelbefalls ergab eine Befallsstärke unter 10% und wurde wegen der zu geringen Differenzierung nicht weiter ausgewertet.

Tab. 58:p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Thalhausen 1999

Abhängig Variable	Sorte	Beize	Stickstoff	Bodenfruchtbarkeit
FM1	0.902	0.795	0.834	0.915
TM1	0.656	0.851	0.992	0.790
FM2	0.733	0.860	0.000	0.251
TM2	0.697	0.770	0.000	0.207
WLD1	0.867	0.864	0.078	0.065
WLD2	0.653	0.817	0.031	0.003
WLD	0.897	0.987	0.027	0.007
BH Wurzel	0.730	0.149	0.084	0.241
BS Wurzel	0.673	0.153	0.058	0.510

Tab. 59: p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren auf die Wurzellängendichte, Weihenstephan 1999

Abhängig Variable	Standort	Beize	Fungizid (alle)	Fungizid (Var 1,4,8)
WLD T1	0.000	0.563	1.000	1.000
WLD T2	0.035	0.201	0.960	0.960
WLD T3		0.278	0.344	0.344
Ertrag	0.571	0.091	0.000	0.000
Trockenmasse T1	0.000	0.805	1.000	1.000
Trockenmasse T2	0.113	0.115	0.345	0.916
BH Blatt BBCH 65	0.251	0.481	0.110	0.074
BS Blatt BBCH 65	0.513	0.980	0.134	0.301
BH Wurzel T3	0.000	0.581	0.992	0.835
BS Wurzel T3	0.000	0.103	0.970	0.610
Frischmasse T2		0.130	0.794	0.916
BS Blatt BBCH 81		0.321		0.009

Tab. 60: : p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren, getrennt nach Standortkategorie, Weihenstephan 1999

Abhängige Variable	Frühsaat, VF Winterweizen		Spätsaat, VF Kartoffel	
	Beize	Fungizidvar. 1,4,8	Beize	Fungizidvar. 1,4,8
WLD T1		1.000		1.000
WLD T2	0.717	0.623	0.032	0.696
WLD T3	0.278	0.344		
Ertrag	0.356	0.109	0.058	0.005
Trockenmasse T1		1.000		1.000
Trockenmasse T2	0.052	0.979	0.652	0.107
Trockenmasse T3	0.051	0.878		
BH Wurzel T1		1.000		1.000
BS Wurzel T1		1.000		1.000
BH Wurzel T2	0.238	0.489	0.915	0.062
BS Wurzel T2	0.300	0.195	0.918	0.083
BH Wurzel T3	0.392	0.226	0.368	0.359
BS Wurzel T3	0.254	0.192	0.566	0.336
BH Blatt BBCH 65	0.913	0.184	0.432	0.433
BS Blatt BBCH 65	0.578	0.467	0.626	0.368
BS Blatt BBCH 81	0.860	0.004	0.776	0.013

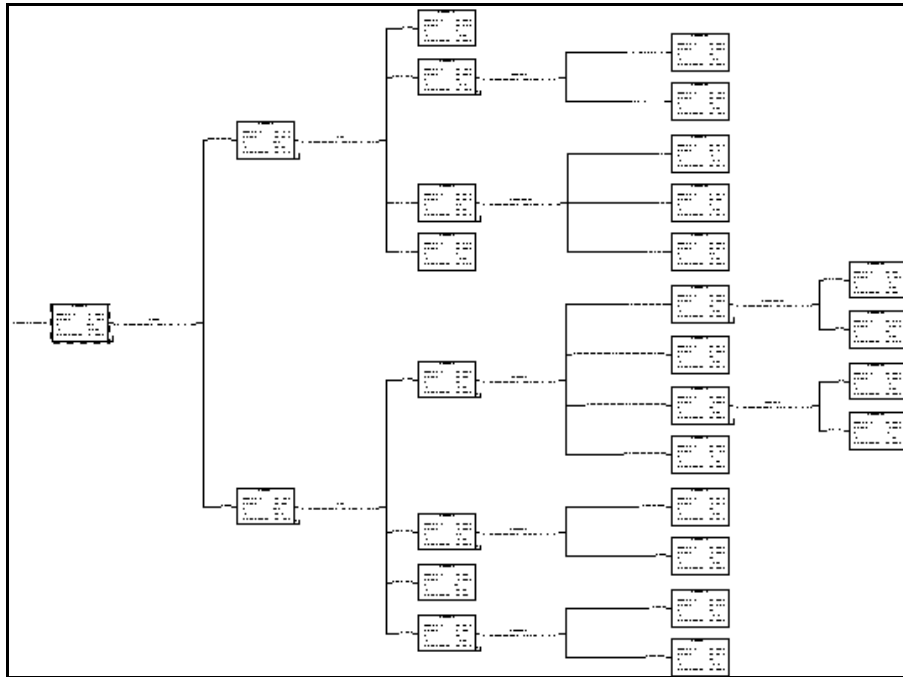
Tab. 61:p-Werte der Varianzanalysen zu den Einflussfaktoren, zusammen und getrennt nach Vorfrucht, Weihenstephan 2000

Abhängige Variable	Alle				WW			R		
	VF	Beize	Fungizid	Düngung	Beize	Fungizid	Düngung	Beize	Fungizid	Düngung
$\delta^{13}\text{C}$	0.000	0.578	0.060	0.164	0.381	0.022	0.009	0.749	0.007	0.302
BGI (Spad)	0.102	0.783	0.026	0.000	0.666	0.140	0.000	0.543	0.078	0.000
N%	0.000	0.568	0.809	0.000	0.801	0.980	0.000	0.669	0.660	0.000
Nkg/ha	0.000	0.127	0.857	0.000	0.865	0.681	0.000	0.194	0.911	0.035
dt/ha	0.000	0.922	0.000	0.758	0.315	0.000	0.915	0.770	0.000	0.709
BS3	0.000	0.467	0.697	0.495	0.454	0.672	0.194	0.653	0.648	0.930
BS2	0.000	0.553	0.696	0.719	0.096	0.637	0.608	0.910	0.736	0.903
BH1	0.018	0.589	0.483	0.968	0.787		0.357	0.054	0.055	0.057
BSBlatt1.7BBCH85 Nekt	0.722	0.906	0.000	0.916	0.989	0.000	0.678	0.791	0.002	0.749
TM4	0.002	0.096	0.850	0.113	0.994	0.510	0.005	0.077	0.749	0.897

9.2 Regressionsmodellbäume

Da die Bäume aufgrund ihrer Größe in dieser Arbeit nicht vollständig abgebildet werden können, werden sie hier schematisch unter vollständiger Angabe zu Analyse und Modell wiedergegeben.

9.2.1 Modell 1, Befallshäufigkeit



Projektinformationen

Projektdatei: C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Projekt 1.atp

Name des Baumes: Megatree BH

FILE='C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\97_2000_Gesamtanalyse.sav'.

Anzahl der Fälle

	Gewichtet	Nicht gewichtet
Fälle	894.00	894.00

Partitionsinformationen

Partition: Aus

Kreuzvalidierungsinformationen

Kreuzvalidierung: Aus

Baumaufbaukriterien

Aufbaumethode: CHAID

Algorithmusspezifikationen

Alpha für Trennung: 0.05

Alpha für Verbindung: 0.05

Chi-Quadrat-Statistik: Likelihood-Quotienten

Trennen von verbundenen Kriterien zulassen: Aus

Verwendung der Bonferroni-Anpassung: Ein

Abbruchregeln

Maximale Baumtiefe: 10

Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten: 10

Mindestanzahl der Fälle für Unterknoten: 5

Modell

Zielvariable

Name BH_PROZ

Beschriftung Befallshäufigkeit [%]

Typ Numerisch

Skalenniveau Kontinuierlich

Prediktoren

Name	Typ	Skalenniveau	Beschriftung
JAHR	Numerisch	Kontinuierlich	
RISIKO	Zeichenfolge	Nominal	
MM_DEC	Zeichenfolge	Nominal	
BODENPUN	Numerisch	Kontinuierlich	Bodenpunkte
BODEN_PH	Numerisch	Kontinuierlich	pH-Wert
BODENBEA	Zeichenfolge	Nominal	Bodenbearbeitung
VVF_NO	Numerisch	Nominal	Risiko_VVF

Ergebnisbaum

Größe

Gesamtzahl der Knoten 28

Gesamtzahl der Stufen 4

Gesamtzahl der Endknoten 18

Gewinnübersicht

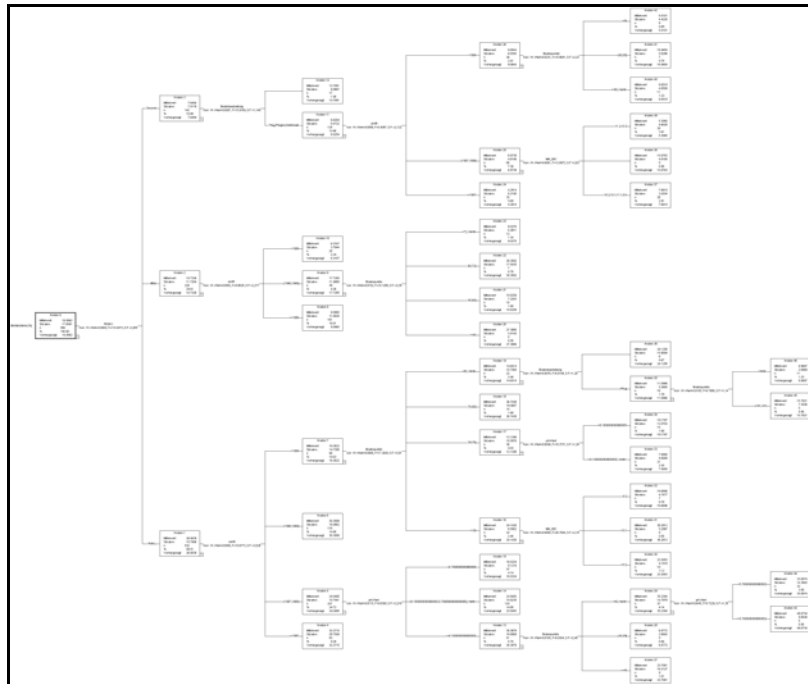
Zielvariable: Befallshäufigkeit [%]

Knotenweise

Kumulative Statistiken

Knoten	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
24	15	1.7	99.83	138.7	15	1.7	99.83	138.7
13	70	7.8	96.30	133.8	85	9.5	96.93	134.7
26	23	2.6	92.92	129.1	108	12.1	96.07	133.5
23	43	4.8	89.45	124.3	151	16.9	94.19	130.9
14	63	7.0	88.90	123.5	214	23.9	92.63	128.7
25	7	0.8	86.85	120.7	221	24.7	92.45	128.4
4	221	24.7	86.74	120.5	442	49.4	89.59	124.5
11	55	6.2	79.30	110.2	497	55.6	88.45	122.9
17	32	3.6	70.56	98.0	529	59.2	87.37	121.4
27	6	0.7	70.54	98.0	535	59.8	87.18	121.1
19	157	17.6	62.70	87.1	692	77.4	81.63	113.4
22	30	3.4	57.12	79.4	722	80.8	80.61	112.0
21	19	2.1	56.43	78.4	741	82.9	79.99	111.1
12	28	3.1	50.77	70.5	769	86.0	78.93	109.7
15	12	1.3	43.76	60.8	781	87.4	78.39	108.9
10	21	2.3	39.90	55.4	802	89.7	77.38	107.5
7	71	7.9	26.02	36.1	873	97.7	73.20	101.7
20	21	2.3	21.20	29.5	894	100.0	71.98	100.0

9.2.2 Modell 2, Befallsstärke



Projektinformationen

Projektdatei: C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Projekt 1.atp

Name des Baumes: Megatree BS

FILE='C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\97_2000_Gesamtanalyse.sav'.

Anzahl der Fälle

	Gewichtet	Nicht gewichtet
Fälle	894.00	894.00

Partitionsinformationen

Partition: Aus

Kreuzvalidierungsinformationen

Kreuzvalidierung: Aus

Baumaufbaukriterien

Aufbaumethode: CHAID

Algorithmusspezifikationen

Alpha für Trennung: 0.05

Alpha für Verbindung: 0.05

Chi-Quadrat-Statistik: Likelihood-Quotienten

Trennen von verbundenen Kriterien zulassen: Aus
 Verwendung der Bonferroni-Anpassung: Ein
 Abbruchregeln
 Maximale Baumtiefe: 10
 Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten: 10
 Mindestanzahl der Fälle für Unterknoten: 5

Modell

Zielvariable

Name BS_PROZ

Beschriftung Befallsstärke [%]

Typ Numerisch

Skalenniveau Kontinuierlich

Prediktoren

Name	Typ	Skalenniveau	Beschriftung
JAHR	Numerisch	Kontinuierlich	
RISIKO	Zeichenfolge	Nominal	
MM_DEC	Zeichenfolge	Nominal	
BODENPUN	Numerisch	Kontinuierlich	Bodenpunkte
BODEN_PH	Numerisch	Kontinuierlich	pH-Wert
BODENBEA	Zeichenfolge	Nominal	Bodenbearbeitung

Ergebnisbaum

Größe

Gesamtzahl der Knoten 47

Gesamtzahl der Stufen 5

Gesamtzahl der Endknoten 31

Gewinnübersicht

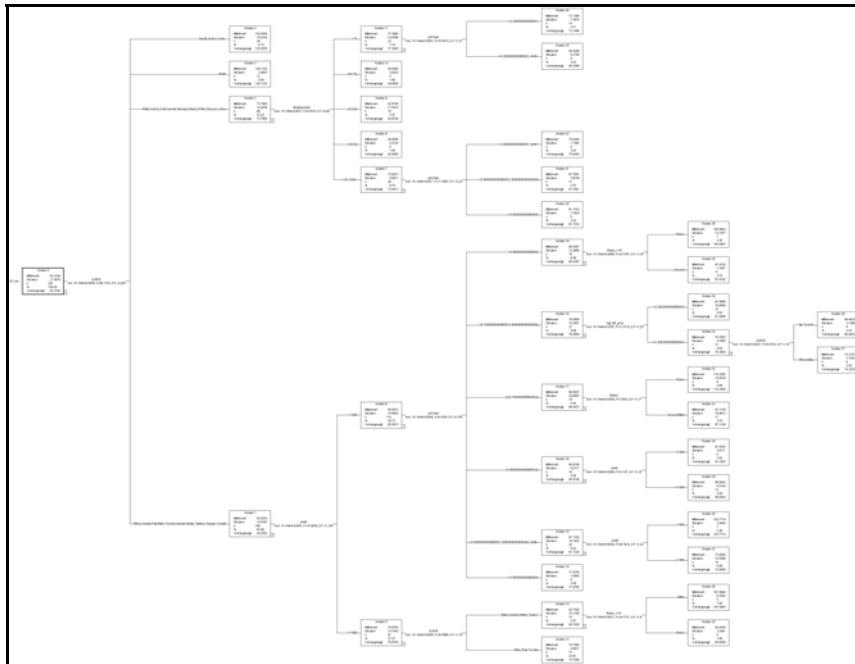
Zielvariable: Befallsstärke [%]

Knotenweise

Kumulative Statistiken

Knoten	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
43	5	0.6	49.07	253.4	5	0.6	49.07	253.4
18	15	1.7	36.74	189.7	20	2.2	39.83	205.6
31	5	0.6	36.28	187.3	25	2.8	39.12	202.0
44	32	3.6	33.07	170.7	57	6.4	35.72	184.4
4	83	9.3	32.27	166.6	140	15.7	33.68	173.9
6	133	14.9	30.31	156.5	273	30.5	32.04	165.4
22	7	0.8	30.31	156.5	280	31.3	31.99	165.2
20	5	0.6	27.31	141.0	285	31.9	31.91	164.8
36	6	0.7	24.13	124.6	291	32.6	31.75	163.9
14	133	14.9	23.85	123.1	424	47.4	29.27	151.1
27	9	1.0	23.71	122.4	433	48.4	29.16	150.6
30	10	1.1	23.31	120.3	443	49.6	29.02	149.9
34	15	1.7	19.18	99.0	458	51.2	28.70	148.2
41	7	0.8	16.95	87.5	465	52.0	28.52	147.3
32	7	0.8	16.67	86.1	472	52.8	28.35	146.4
15	37	4.1	16.03	82.8	509	56.9	27.45	141.8
45	5	0.6	15.78	81.5	514	57.5	27.34	141.2
21	15	1.7	15.63	80.7	529	59.2	27.01	139.5
38	5	0.6	15.08	77.8	534	59.7	26.90	138.9
12	17	1.9	13.71	70.8	551	61.6	26.49	136.8
8	161	18.0	9.59	49.5	712	79.6	22.67	117.0
23	12	1.3	9.03	46.6	724	81.0	22.44	115.9
46	11	1.2	8.97	46.3	735	82.2	22.24	114.8
40	11	1.2	8.05	41.6	746	83.4	22.03	113.8
37	26	2.9	7.66	39.6	772	86.4	21.55	111.3
33	21	2.3	7.09	36.6	793	88.7	21.16	109.3
28	5	0.6	6.58	34.0	798	89.3	21.07	108.8
10	20	2.2	6.32	32.6	818	91.5	20.71	106.9
42	8	0.9	5.51	28.5	826	92.4	20.56	106.2
39	35	3.9	5.31	27.4	861	96.3	19.94	103.0
24	33	3.7	4.29	22.2	894	100.0	19.37	100.0

9.2.3 Modell 3, Ertrag (dt/ha)



Risikostatistiken

Risikoschätzung 43.5894

Std.f. der Risikoschätzung 4.67452

Projektinformationen

Projektdatei

C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\dt_ha\dt_ha.atp

Name des Baumes: Baum 02 - DT_HA

/FILE='C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Regressionsbaum\97_2000.xls'

/SHEET=name '97_2000'

/CELLRANGE=full

/READNAMES=on .

Anzahl der Fälle

	Gewichtet	Nicht gewichtet
Fälle	297.00	297.00

Partitionsinformationen

Partition: Aus

Kreuzvalidierungsinformationen

Kreuzvalidierung: Aus

Baumaufbaukriterien

Aufbaumethode: CHAID

Algorithmusspezifikationen

Alpha für Trennung: 0.05

Alpha für Verbindung: 0.05

Chi-Quadrat-Statistik: Likelihood-Quotienten

Trennen von verbundenen Kriterien zulassen: Aus

Verwendung der Bonferroni-Anpassung: Ein

Abbruchregeln

Maximale Baumtiefe: 6

Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten: 10

Mindestanzahl der Fälle für Unterknoten: 3

Modell

Zielvariable

Name DT_HA

Beschriftung DT_HA

Typ Numerisch

Skalenniveau Kontinuierlich

Prädiktoren

Name	Typ	Skalenniveau	Beschriftung
JAHR	Numerisch	Kontinuierlich	
RISIKO_V	Zeichenfolge	Nominal	Risiko_VVF
RISIKO	Zeichenfolge	Nominal	
SORTE	Zeichenfolge	Nominal	
MM_DEC	Zeichenfolge	Nominal	
BODENPUN	Numerisch	Kontinuierlich	Bodenpunkte
V11	Numerisch	Kontinuierlich	pH-Wert
BODENBEA	Zeichenfolge	Nominal	Bodenbearbeitung
GGT_BH_P	Numerisch	Kontinuierlich	Ggt_BH_proz
GGT_BS_P	Numerisch	Kontinuierlich	Ggt_BS_proz
GGTSCHUT	Zeichenfolge	Nominal	Ggtschutz
BLATTFUN	Zeichenfolge	Nominal	Blattfungizid

Ergebnisbaum

Größe

Gesamtzahl der Knoten 58

Gesamtzahl der Stufen 6

Gesamtzahl der Endknoten 40

Gewinnübersicht

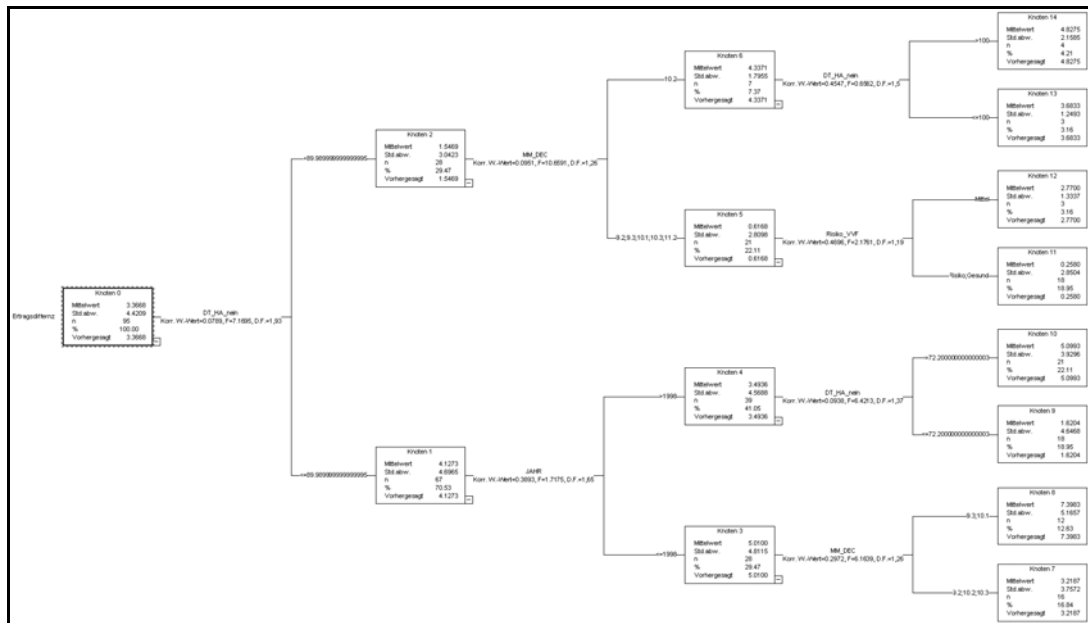
Zielvariable: DT_HA

Knotenweise

Kumulative Statistiken

Knoten	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
3	12	4.0	126.13	151.4	12	4.0	126.13	151.4
32	8	2.7	110.25	132.3	20	6.7	119.78	143.8
4	20	6.7	102.94	123.6	40	13.5	111.36	133.7
28	7	2.4	102.77	123.4	47	15.8	110.08	132.1
26	5	1.7	101.08	121.3	52	17.5	109.21	131.1
36	7	2.4	100.09	120.1	59	19.9	108.13	129.8
29	12	4.0	98.00	117.6	71	23.9	106.42	127.7
30	6	2.0	91.44	109.8	77	25.9	105.25	126.3
31	11	3.7	87.11	104.6	88	29.6	102.99	123.6
23	9	3.0	85.54	102.7	97	32.7	101.37	121.7
25	5	1.7	84.40	101.3	102	34.3	100.53	120.7
9	10	3.4	82.67	99.2	112	37.7	98.94	118.8
20	6	2.0	81.73	98.1	118	39.7	98.06	117.7
34	15	5.1	81.57	97.9	133	44.8	96.20	115.5
35	11	3.7	81.02	97.2	144	48.5	95.04	114.1
22	9	3.0	75.44	90.6	153	51.5	93.89	112.7
12	71	23.9	74.76	89.7	224	75.4	87.83	105.4
37	6	2.0	74.23	89.1	230	77.4	87.47	105.0
27	18	6.1	73.55	88.3	248	83.5	86.46	103.8
24	14	4.7	72.15	86.6	262	88.2	85.70	102.9
14	8	2.7	71.98	86.4	270	90.9	85.29	102.4
21	11	3.7	67.77	81.3	281	94.6	84.60	101.6
38	6	2.0	66.48	79.8	287	96.6	84.23	101.1
10	5	1.7	59.50	71.4	292	98.3	83.80	100.6
8	5	1.7	54.60	65.5	297	100.0	83.31	100.0

9.2.4 Modell 4, Ertragsdifferenz



Risikostatistiken

Risikoschätzung 14.1048

Std.f. der Risikoschätzung 2.88682

Projektinformationen

Projektdatei

C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Regressionsbaum\Ertragsdiff.atp

Name des Baumes: Baum 04 - ERTRAGSD

/FILE='C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Regressionsbaum\MehrertragII.xls'

Anzahl der Fälle

	Gewichtet	Nicht gewichtet
Fälle	95.00	95.00

Partitionsinformationen

Partition: Aus

Kreuzvalidierungsinformationen

Kreuzvalidierung: Aus

Baumaufbaukriterien

Aufbaumethode: CHAID

Algorithmusspezifikationen

Alpha für Trennung: 0.05
 Alpha für Verbindung: 0.05
 Chi-Quadrat-Statistik: Likelihood-Quotienten
 Trennen von verbundenen Kriterien zulassen: Aus
 Verwendung der Bonferroni-Anpassung: Ein
 Abbruchregeln
 Maximale Baumtiefe: 4
 Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten: 10
 Mindestanzahl der Fälle für Unterknoten: 3

Modell

Zielvariable

Name ERTRAGSD
 Beschriftung Ertragsdifferenz
 Typ Numerisch
 Skalenniveau Kontinuierlich

Prädiktoren

Name	Typ	Skalenniveau	Beschriftung
JAHR	Numerisch	Kontinuierlich	
BODENPUN	Numerisch	Kontinuierlich	Bodenpunkte
V11	Numerisch	Kontinuierlich	pH-Wert
BODENBEA	Zeichenfolge	Nominal	Bodenbearbeitung
DT_HA_NE	Numerisch	Kontinuierlich	DT_HA_nein
MM_DEC	Zeichenfolge	Nominal	
RISIKO_V	Zeichenfolge	Nominal	Risiko_VVF
RISIKO	Zeichenfolge	Nominal	

Ergebnisbaum

Größe

Gesamtzahl der Knoten 15
 Gesamtzahl der Stufen 3
 Gesamtzahl der Endknoten 8

Gewinnübersicht

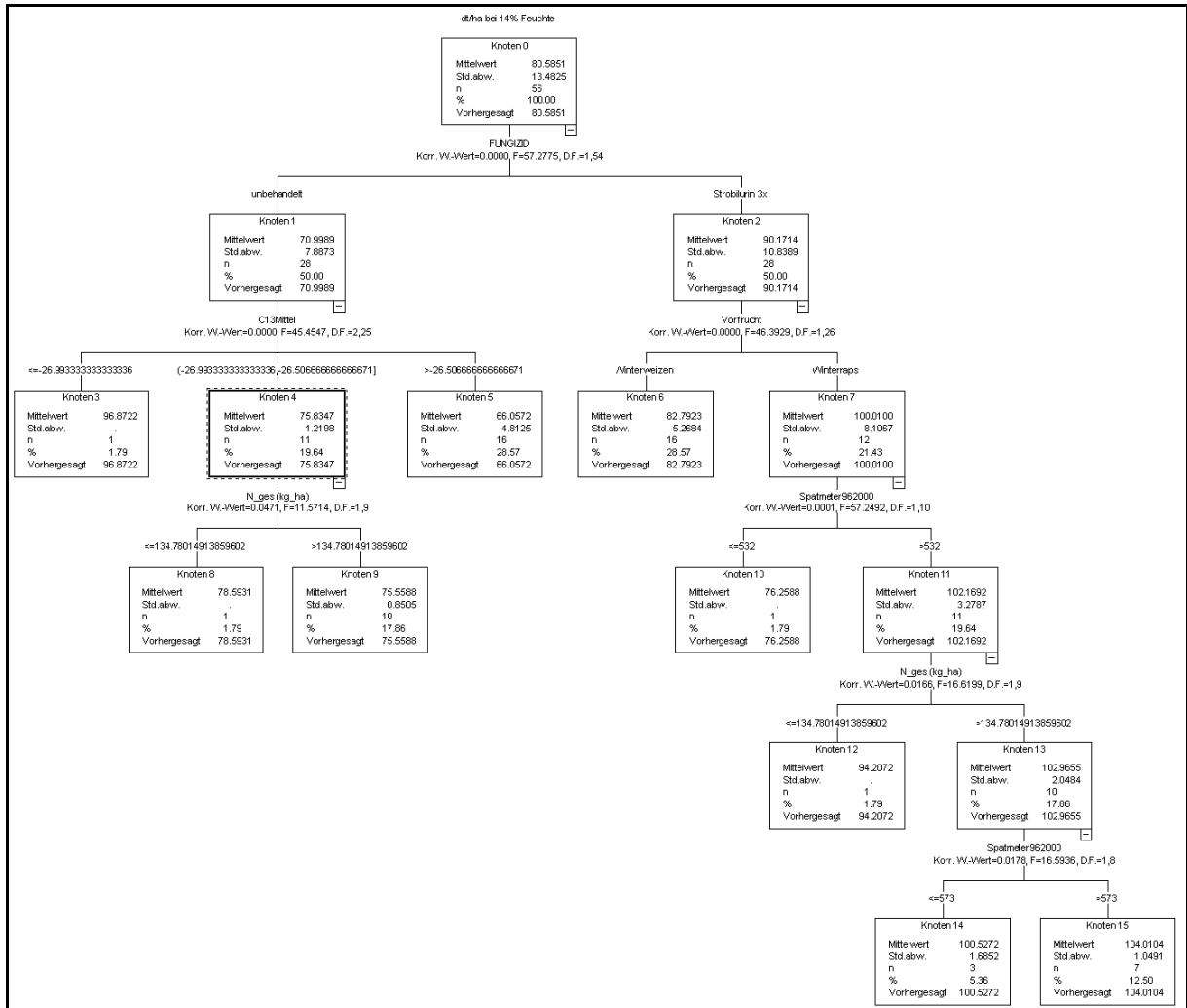
Zielvariable: Ertragsdifferenz

Knotenweise

Kumulative Statistiken

Knoten	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
8	12	12.6	7.40	219.7	12	12.6	7.40	219.7
10	21	22.1	5.10	151.5	33	34.7	5.94	176.3
14	4	4.2	4.83	143.4	37	38.9	5.82	172.7
13	3	3.2	3.68	109.4	40	42.1	5.66	168.0
7	16	16.8	3.22	95.6	56	58.9	4.96	147.3
12	3	3.2	2.77	82.3	59	62.1	4.85	144.0
9	18	18.9	1.62	48.1	77	81.1	4.09	121.6
11	18	18.9	0.26	7.7	95	100.0	3.37	100.0

9.2.5 Modell 5, Feldversuch 2000 Ertrag (dt/ha)



Risikostatistiken

Risikoschätzung 14.1048

Std.f. der Risikoschätzung 2.88682

Projektinformationen

Projektdatei

C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Regressionsbaum\Ertragsdiff.atp

Name des Baumes: Baum 04 - ERTRAGSD

/FILE='C:\Eigene Dateien\dissertation\Monitoring\DatenTab.n\Regressionsbaum\MehrertragII.xls'

Anzahl der Fälle

Gewichtet Nicht gewichtet

Fälle 95.00 95.00

Partitionsinformationen

Partition: Aus

Kreuzvalidierungsinformationen

Kreuzvalidierung: Aus

Baumaufbaukriterien

Aufbaumethode: CHAID

Algorithmusspezifikationen

Alpha für Trennung: 0.05

Alpha für Verbindung: 0.05

Chi-Quadrat-Statistik: Likelihood-Quotienten

Trennen von verbundenen Kriterien zulassen: Aus

Verwendung der Bonferroni-Anpassung: Ein

Abbruchregeln

Maximale Baumtiefe: 4

Mindestanzahl der Fälle für Hauptknoten: 10

Mindestanzahl der Fälle für Unterknoten: 3

Modell

Zielvariable

Name ERTRAGSD

Beschriftung Ertragsdifferenz

Typ Numerisch

Skalenniveau Kontinuierlich

Prädiktoren

Name	Typ	Skalenniveau	Beschriftung
------	-----	--------------	--------------

JAHR	Numerisch	Kontinuierlich	
------	-----------	----------------	--

BODENPUN	Numerisch	Kontinuierlich	Bodenpunkte
V11	Numerisch	Kontinuierlich	pH-Wert
BODENBEA	Zeichenfolge	Nominal	Bodenbearbeitung
DT_HA_NE	Numerisch	Kontinuierlich	DT_HA_nein
MM_DEC	Zeichenfolge	Nominal	
RISIKO_V	Zeichenfolge	Nominal	Risiko_VVF
RISIKO	Zeichenfolge	Nominal	

Ergebnisbaum

Größe

Gesamtzahl der Knoten 15

Gesamtzahl der Stufen 3

Gesamtzahl der Endknoten 8

Gewinnübersicht

Zielvariable: Ertragsdifferenz

Knotenweise

Kumulative Statistiken

Knoten	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)	Knoten: Anzahl	Knoten: %	Profit	Index (%)
8	12	12.6	7.40	219.7	12	12.6	7.40	219.7
10	21	22.1	5.10	151.5	33	34.7	5.94	176.3
14	4	4.2	4.83	143.4	37	38.9	5.82	172.7
13	3	3.2	3.68	109.4	40	42.1	5.66	168.0
7	16	16.8	3.22	95.6	56	58.9	4.96	147.3
12	3	3.2	2.77	82.3	59	62.1	4.85	144.0
9	18	18.9	1.62	48.1	77	81.1	4.09	121.6
11	18	18.9	0.26	7.7	95	100.0	3.37	100.0