



Universität für Bodenkultur Wien

Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie, IFA-Tulln

Institut für Biotechnologie in der Pflanzenproduktion

Genetische Analyse von Ährenfusarioseresistenz bei Weizen

Diplomarbeit

Eingereicht von
Bachar Almaghrabi

Betreut von
Ao.Univ.Prof. Dr. Hermann Bürstmayr

Wien, März 2007

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich dem Initiator und Betreuer dieser Arbeit Herrn Prof. Dr. Hermann Bürstmayr meinen Dank aussprechen. Durch seine Kollegialität, freundschaftliche Unterstützung und konstruktive Hilfe konnten die auftretenden Probleme und Aufgabenstellungen gemeistert werden.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei der gesamten Arbeitsgruppe des Instituts für Biotechnologie in der Pflanzenproduktion für die langjährige Freundschaft, die Zusammenarbeit und das gute Arbeitsklima.

Besonderer Dank gilt auch der österreichischen Orient- Gesellschaft Hammer-Purgstall, die mein Studium durch ein Stipendium förderte, sowie Frau Dr. Theresia Laubichler für ihre freundschaftliche und persönliche Unterstützung.

Zusätzlich bedanke ich mich bei Herrn Mag. Zaid Maleh für seine Hilfe bei der sprachlichen Korrektur des Manuskriptes.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Problemstellung.....	5
1.2. Ziel der Diplomarbeit	6
1.3. Experimentelle Vorgangsweise	6
2. Literatur	8
2.1. Allgemeines über Weizen.....	8
2.1.1. Botanische Taxonomie	10
2.1.2. Inhaltsstoffe des Weizenkornes	13
2.2. <i>Fusarium</i> spp.....	14
2.3. Ährenfusariose (FHB) beim Weizen.....	15
2.3.1. Krankheitssymptome	16
2.3.2. Epidemiologie und Befallszyklus	17
2.3.3. Bedeutung der Ährenfusariose.....	19
- Auswirkung auf Ertrag	19
- Auswirkung auf Körner.....	19
- Mykotoxinbelastung.....	20
2.4. Bekämpfung und Kontrolle der Ährenfusariose.....	23
2.4.1. Pflanzenbauliche Maßnahmen.....	23
2.4.2. Genetische Resistenz.....	24
3. Material und Methoden	26
3.1. Pflanzenmaterial.....	26
3.2. Versuchsanlage	29
3.3. Pflanzenbauliche Maßnahmen	29
3.4. Herstellung des Inokulums	30
3.5. Methodik der Inokulation	31
3.6. Krankheitsbewertung.....	32

3.6.1. Feldbonitur auf Ährenfusariose	32
3.6.2. Weitere Boniturparameter.	33
- Wuchshöhe	33
- Kornbonitur	33
3.7. Statistische Auswertung	34
4. Ergebnisse	36
4.1. Mittelwerte	36
4.2. Varianzanalysen	42
4.3. Grafische Darstellungen der Mittelwerte	43
5. Diskussion	58
5.1. Genotypen	58
5.2. Isolate	59
5.3. Evaluierung der Ährenfusarioseresistenz.....	59
5.3.1. Krankheitsbewertung	59
5.3.2. Kornbonitur	61
5.3.3. Wuchshöhe.....	61
6. Zusammenfassung	62
7. Abstract	63
Tabellenverzeichnis.	64
Abbildungsverzeichnis	66
Literaturverzeichnis	69

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AUDPC	Area under disease processing curve (Fläche unter der Krankheitsverlaufskurve)
BC	Backcross (Rückkreuzung)
BC₁F₁	1. Rückkreuzung einer F ₁ -Pflanze mit dem rekurrenten Eltern
°C	Grad Celsius
Cm.	Zentimeter
CM82036	CM-82036-1TP-10Y-OST-10Y-OM-OFC
DON	Deoxynivalenol
<i>et al.</i>	und andere
<i>F. culmorum</i>	<i>Fusarium culmorum</i>
<i>F. graminearum</i>	<i>Fusarium graminearum</i>
FG	Freiheitsgrade
FHB	Fusarium Head Blight
GLM	General linear model
ha	Hektar
IFA	Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie
l/ha	Liter pro Hektar
NILs	Near isogenic lines
QTL	Quantitative trait loci
SAS	Statistical Analysis System
SSR	Simple sequence repeats

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Der pilzliche Schaderreger *Fusarium* spp. hat verschiedene Arten, die alle Getreidearten in verschiedenen Wachstumsstadien und an mehreren Pflanzenorganen befallen können. Sie können Keimlings, Blatt, Halm und Ähren befallen. Ährenbefall ist aber dabei besonders kritisch und führt zu *Fusarium* head blight (FHB), auch bekannt als *Fusarium* ear blight (FEB), Ährenfusariose oder Scab (Ruckenbauer *et al.* 2001).

Ährenfusariose oder *Fusarium* head blight (FHB) ist eine der wichtigsten ernstzunehmenden Weizenkrankheiten der Welt und hat eine große Bedeutung in den feuchten Weizenanbaugebieten insbesondere wenn die Blütezeit des Weizens von feuchter und warmer Witterung begleitet wird. Die weltweit wichtigsten Krankheitserreger der Ährenfusariose sind *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* (Parry *et al.* 1995) und verursachen Ertragverluste, die bis zu 70 Prozent betragen können, durch Verringerung der Korngrößen und Korngewichte. Daneben hat Ährenfusariose negative Auswirkungen auf die Kornqualität des Weizens, weil die Protein- und Stärkequalität beeinträchtigt werden, sowie die Mykotoxinbildung. Die Mykotoxinbelastung durch Ährenfusariose ist als besonders problematisch anzusehen, weil diese Mykotoxine eine giftige Wirkung haben, sowohl bei der Tierfütterung, als auch bei der menschlichen Ernährung. Die wichtigen Vertreter dieser Mykotoxine sind Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZON).

Die Bekämpfung der Ährenfusariose durch chemische Maßnahmen (Fungizide) und andere pflanzenbauliche Maßnahmen hat keine konkreten praktischen und ökonomischen Folgen ergeben, zusätzlich resultieren daraus unerwünschte ökologische Auswirkungen. Die genetische Resistenz hat das Potential, eine ökonomische und wirkungsvolle Kontrolle dieser Krankheit zur Verfügung zu stellen. Die Verbesserung der Sortenresistenz ist ein hauptsächliches Züchtungsziel weltweit geworden. (Bai & Shaner 2004). Die Züchtung resistenter Sorten ist deshalb die beste Methode diese Krankheit unter Kontrolle zu bringen.

Neuste Entwicklungen in der genetischen Forschung und der Biotechnologie versprechen das Verstehen der genetischen Mechanismen der Ährenfusarioseresistenz und ermöglichen wirkungsvollere Anwendung der Resistenzgene um neue resistente Sorten zu entwickeln. (Bai & Shaner 2004). Es wurde beschrieben, dass das resistente Erbplasma des Weizens in drei Genpools geteilt werden kann: Winterweizen aus Osteuropa, Sommerweizen aus China und Japan, und Sommerweizen aus Brasilien und Italien. (Snijders 1990, Ban & Inagaki 2001).

In der Abteilung Biotechnologie in der Pflanzenproduktion am IFA Tulln, wurde bereits CM82036- 1TP- 10Y- OST- 10Y- OM- OFC (abgekürzt zu CM82036) mit verschiedenen europäischen Winterweizensorten und -Linien gekreuzt. "CM82036" orginiert aus der Kreuzung zwischen dem chinesischen Genotyp "Sumai #3" und den Genotyp "Thornbird-S", und wurde in einem Kreuzungsprogramm (shuttle breeding) zwischen CIMMXT Mexiko und Südamerika entwickelt und zeigte ein hohes Niveau an Ährenfusarioseresistenz (Bürstmayr et al. 1996a, 2002).

CM82036 wurde als Resistenzquelle verwendet und mit den europäischen Winterweizensorten: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525, TO273755, die als rekurrente Eltern mit unterschiedlichem genetischen Hintergrund von Ährenfusarioseresistenz verwendet wurden, gekreuzt. Eine Serie von BC₂ abgeleiteten Linien aus dieser Kreuzung wurde entwickelt. Mit der Hilfe von SSR-Markern nach jeder Rückkreuzung wurden heterozygote Pflanzen für "Qfhs.ndsu-3B" und "Qfhs.ifa-5A" selektiert. Und durch Selbstbefruchtung der BC₂F₁ Pflanzen wurde am Ende homozygote Pflanzen mit vier QTL Kombinationen (Qfhs.ndsu-3B und Qfhs.ifa-5A; Qfhs.ndsu.3B; Qfhs.ifa-5A; kein QTL) gewonnen.

1.2. Ziel der Diplomarbeit

Die Ziele dieser Arbeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Evaluierung von abgeleiteten Linien von BC₂F_{2:4} auf Ährenfusarioseresistenz (Typ I & Typ II).
- Schätzung der Einflüsse von den zwei QTL ("Qfhs.ndsu-3B, Qfhs.ifa-5A") in nahe-isogenen Linien (NILs) mit unterschiedlichem genetischen Hintergrund (anfällig bis moderat resistent).

1.3. Experimentelle Vorgangsweise

Diese Arbeit wurde im Jahr 2005-2006 am IFA-Tulln durchgeführt. Um die Ziele dieser Diplomarbeit erreichen zu können wurde ein Feldversuch im "split-plot-design" in 2 Wiederholungen angelegt. Dabei handelte es sich um BC₂F_{2:4} Linien aus der Kreuzung "CM82036" mit verschiedenen europäischen Winterweizensorten. Diese wurden mit zwei Isolaten von *Fusarium* spp. (*F.graminearum* und *F.culmorum*) künstlich inokuliert und auf ihre Ährenfusarioseresistenz geprüft. Dafür wurden zwei spezifische Resistenzparameter, Befallsintensität (Kombination von Typ I & II Resistenz = Severity) und Befallshäufigkeit (Typ I Resistenz = Inzidenz) ermittelt und der Krankheitsverlauf durch fünf visuelle Feldbonituren geschätzt. Zusätzliche Parameter wie Pflanzenwuchshöhe und Kornbonitur wurden

bestimmt. Die Fläche unter der Krankheitsverlaufskurve (AUDPC) wurde errechnet, um das Ausmaß des Befalls bestimmen zu können.

2. Literatur

2.1. Allgemeines über Weizen

Getreide hat eine besondere Bedeutung und gehört zu den ältesten und wichtigsten Feldfrüchten, die die Menschheit seit Frühgeschichte kannte. Seitdem genießt sie eine außerordentliche Bedeutung für die Ernährung der Menschheit und nimmt dafür eine dominierende Stelle ein (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Auszug verschiedener Nahrungssorten – Pro Kopf Kalorien Einnahmewerte, 2001 – 2003 (FAO statistical yearbook 2006).

<i>Element</i>	Reis	Weizen	Mais	Sorghum	Kartoffel	Maniok	Zucker	Sojaöl
<i>Kcal/Kopf</i>	557	521	147	33	60	42	202	87
<i>Element</i>	Palmöl	Milch	Tierfett	Eier	Schwein	Geflügel	Rind	Schaf
<i>Kcal/Kopf</i>	50	122	62	33	117	46	40	11

Unter allen Getreidearten besitzt der Weizen als Brotgetreide eine wesentliche Stellung und kein anderes Getreide wurde so stark vom Menschen geprägt und verwandelt und in so vielen Sorten angebaut. Weizen ist sehr alte Kulturpflanze, die schon seit etwa 10.000 Jahren angebaut wird. Aufgrund archäologischer Funde weiß man, dass schon bei den alten Kulturen und Zivilisationen wie die babylonische, assyrische, ägyptische, griechische und persische Zivilisationen Weizen ein wichtiges Nahrungsmittel war. Nach der griechischen Mythologie hat die Göttin Demeter, Göttin der Saaten und der Fruchtbarkeit und mütterliche Erdgöttin, den Weizen an die Menschen geschenkt (Küster *et al* 1999).

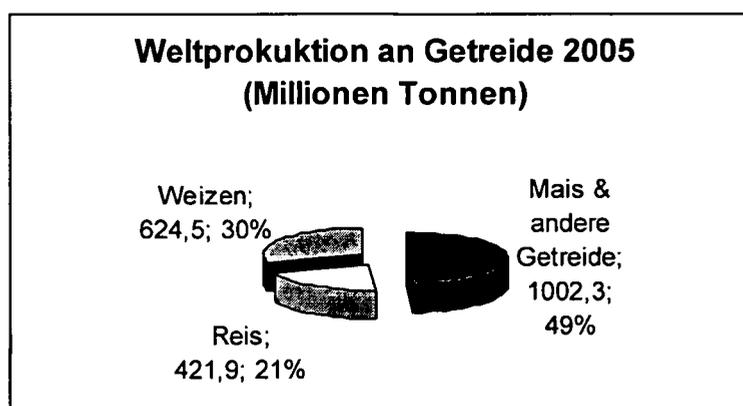
Weizen wird weltweit kultiviert und global ist er das wichtigste menschliche Nahrungsmittelkorn und Anbauprodukt. Es war und ist noch das bevorzugte Grundnahrungsmittel für etwa 35% der Menschheit und gehört neben Reis, Mais und Sorghum zu den vier wichtigsten Anbaupflanzen. Weizen ist für viele Länder sowohl als Grundnahrungsmittel aber auch als ein hochwertiges Exportprodukt von großer Bedeutung und wird daher sowohl in den westlichen Industriestaaten als auch in vielen sogenannten Entwicklungsländern im großem Maßstabe angebaut, vor allem in China, Nordamerika, Indien, Russland, Frankreich und Australien, die zu den größten Weizenproduzenten gehören (Tab. 2.2) (FAO, the statistics division 2005). Außer in einigen Ländern sind Weizen das am meisten angebaute Getreide und laut FAO Statistik beträgt das Produktionsvolumen für Kulturweizen weltweit 2005 ca. 30% der Weltgetreideproduktion (Abb. 2.1) (FAO, corporate document repository 2006).

**Tab. 2.2: Die 20 größten Weizen-produzierenden Länder /
Preisvergleich (FAO, die Statistikabteilung 2005)**

Rang	Land	Produktion (Int \$1000) ^a	Produktion (MT)
1	China	15,027,110	96,340,250 *
2	Indien	11,230,560	72,000,000 *
3	USA	8,907,323	57,105,550
4	Russland	7,425,896	47,608,000 *
5	Frankreich	5,759,093	36,922,000
6	Kanada	3,984,806	25,546,900
7	Australien	3,753,970	24,067,000
8	Deutschland	3,677,696	23,578,000
9	Pakistan	3,367,826	21,591,400
10	Türkei	3,275,580	21,000,000
11	Ukraine	2,916,826	18,700,000
12	Argentinien	2,495,680	16,000,000
13	Großbritannien	2,331,901	14,950,000
14	Iran	2,261,710	14,500,000 *
15	Kasachstan	1,726,698	11,070,000 *
16	Polen	1,334,604	8,556,248
17	Ägypten	1,269,827	8,140,961
18	Italien	1,174,550	7,530,133
19	Rumänien	1,096,071	7,027,000
20	Usbekistan	896,105	5,745,000 *

^a: Produktion in Int \$1000 aus den Jahren 1999-2001

*: nichtamtliche Zahlen.



**Abb. 2.1: Weltproduktion an Getreide und ihre Anteile
(FAO, corporate document repository 2006)**

2.1.1. Botanische Taxonomie

Botanisch gesehen gehört Weizen (*Triticum* L.) wie die übrigen Getreide zur Klasse der einkeimblättrigen Pflanzen (*Monocotyledoneae*) und innerhalb dieser, der Familie der *Gramineae* (*Poaceae*), an. Weizen wird in fast allen Agrarregionen der Welt angebaut aufgrund seiner außerordentlichen ökologischen Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Klimabedingungen und starken Konkurrenzkraft gegenüber anderen Pflanzenarten. Weizenarten sind wie viele andere Kulturpflanzen allopolyploid, die sich trotz der Existenz der zwei oder mehr Chromosomensätze von verschiedenen verwandten Eltern, sich genetisch wie Diploide verhalten und eine normale Fertilität zeigen (Becker 1993). (*Triticum aestivum* L.) zum Beispiel ist hexaploid und besteht aus den drei Diploiden: AA, BB und DD, die von drei verschiedenen Wildarten stammen wie in (Abbildung 2.2) dargestellt sind (Becker 1993).

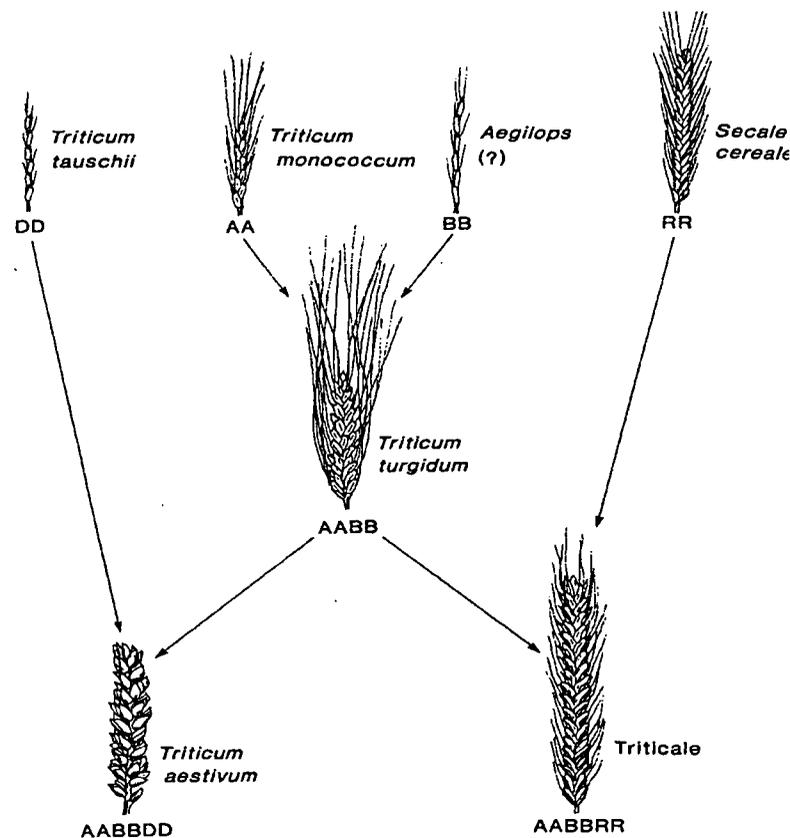


Abb. 2.2: Allopolyploidie beim Weizen und *Triticale* (Becker 1993).

Alle Weizenarten sind fast völlig selbstbefruchtet, deswegen wurde die Weizenvariation in Form von zahlreichen Inzuchtlinien ausgeformt (Zohary & Hopf 2000).

Abgesehen von Wildformen werden beim Weizen folgende Kulturformen unterschieden diploider ($2n = 14$), tetraploider ($2n = 28$) und hexaploider ($2n = 42$). Mit Abstand spielt der hexaploide Weizen oder Saatweizen (*Triticum aestivum* spp. *aestivum* syn. *vulgare*) die dominierende Rolle (Aufhammer 1998). Verschiedene Arten der Gattung (*Triticum* L.) wurden durch Kultivierung geschaffen. Praktisch gehören alle modernen Weizenkulturformen zwei Arten an: Brotweizen (*Triticum aestivum* L.), mit ($2n = 42$) Chromosomen und Hart- oder Durum-Typ-weizen (*Triticum turgidum* L.) mit ($2n = 28$) Chromosomen (Zohary & Hopf 2000). Tabelle 2.3 zeigt die moderne Klassifikation der Kultur- und Wildformen von Weizen (nach Zohary & Hopf 2000; Aufhammer 1998).

Aufgrund der Struktur des Endosperms wird dieser Weizen, in Abgrenzung zum Hartweizen (*Triticum durum* Desf.), als Weichweizen (*Triticum aestivum* L.) bezeichnet. Weltweit beträgt der Anteil des Weichweizens an der Weizenfläche über 90%. Den restlichen Anteil nimmt weitestgehend der Hartweizen (*Triticum durum*) ein. Der Hartweizen hat dort einen Vorrang, wo Trockenperioden die Leistungsfähigkeit des Gemeinen Weizens erheblich beschränken können (Aufhammer 1998). Hartweizen hat einen deutlich höheren Proteingehalt (auch Kleber genannt) als Weichweizen, außerdem besitzt der Kleber des Hartweizens eine andere Struktur und deshalb eignet sich zur Herstellung von Teigwaren und Grießprodukten. Hartweizen ist die einzige tetraploide Weizenart, die heute noch verbreitet angebaut wird. Sie benötigt viel Wärme und ein nährstoffreicher Boden. Es wird am besten in von Kontinentalklima geprägten Anbaugebieten mit trockenen, kurzen und heißen Sommern, wie in Teilen Nordamerikas oder der ehemaligen Sowjetunion angebaut. Weichweizen (*Triticum aestivum* L.) ist eine hexaploide Weizenart und stärkehaltiger als Hartweizen und wird vor allem zu Mehl, aber auch zu Grieß verarbeitet. Es gibt eine Vielzahl von Sorten von Weichweizen, die an unterschiedliche Klimate angepasst sind.

Tab. 2.3: Moderne Klassifikation der Kultur- und Wildformen von Weizen (nach Zohary & Hopf 2000; Aufhammer 1998)

Diploide Arten (2n = 14)	Weizenarten
Genomkonstitution: AA (Ab Ab)	Kulturformen: <ul style="list-style-type: none"> - kultiviertes Einkorn : (<i>T.monococcum</i> L.) Wildformen: <ul style="list-style-type: none"> - Wildeinkorn: (<i>T.boeoticum</i> Boiss.)
Genomkonstitution: AA (Au Au)	Wildformen: <ul style="list-style-type: none"> - (<i>T.urartu</i> Tuman.)

Tetraploide Arten (2n = 28)	Weizenarten
Genomkonstitution: AA BB	Kulturformen: <ul style="list-style-type: none"> - kultivierter Emmer (<i>T. dicoccum</i> Schübl.) - Hartweizen (<i>T. durum</i> Desf.) - Rauhweizen (<i>T. turgidum</i> L.) - Gommer (<i>T. polonicum</i> L.) - (<i>T. carthlicum</i> Nevski.) - (<i>T. parvicoccum</i> Kislev.) Wildformen: <ul style="list-style-type: none"> - Wildemmer (<i>T. dicoccoides</i> Körn.)
Genomkonstitution: AA GG	Kulturformen: <ul style="list-style-type: none"> - (<i>T. timopheevi</i> Zhuk.) Wildformen: <ul style="list-style-type: none"> - (<i>T. araraticum</i> Jakubz.)

Hexaploide Arten (2n = 42)	Weizenarten
Genomkonstitution: AA BB DD	Kulturformen: <ul style="list-style-type: none"> - Dinkel (<i>T. aestivum</i> L. ssp. <i>Spelta</i>) - Binkelweizen (<i>T. aestivum</i> L. ssp. <i>compactum</i>) - Indischer Kugelweizen (<i>T. aestivum</i> L. ssp. <i>sphaerococcum</i>) - (<i>T. macha</i> Dekr. & Men.) - (<i>T.vavilovii</i> Tuman.) - Gemeiner Weizen (<i>T. aestivum</i> L. ssp. <i>aestivum</i> syn. <i>vulgare</i>)

2.1.2. Inhaltsstoffe des Weizenkornes

Halbiert man ein Weizenkorn längs seiner Bauchrinne, so fällt die Größe des Nährgewebes (Mehlkörper, Endosperm) gegenüber der Keimanlage (2 - 3% des Korngewichts) auf. Die Grundteile des Weizenkorns: Endosperm (Mehlkörper), Aleuronschichte und Samenhaut, Scutellum und Embryo (Keimling) mit seiner Wurzel- und Trieblanlage (Abb. 2.3 & Abb. 2.4).

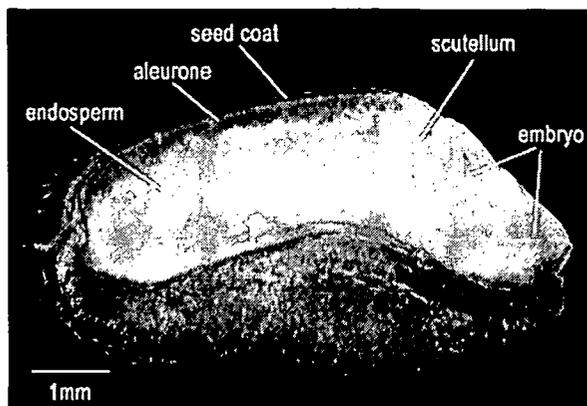


Abb. 2.3: Querschnitt durch ein Weizenkorn

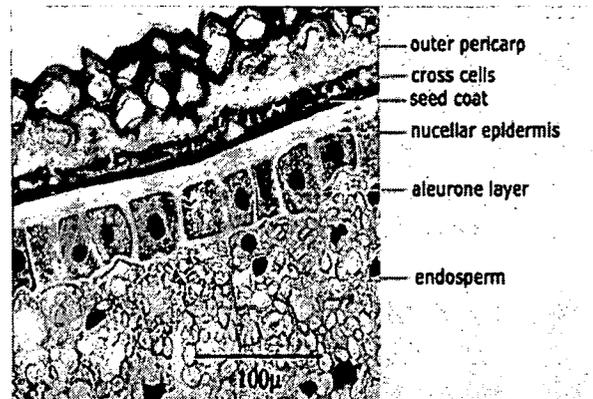


Abb. 2.4: Zellschichten innerhalb des Weizenkornes

Bilder: 'WHEAT: THE BIG PICTURE': <http://www.wheatbp.net/>

Das stärkehaltige Endosperm ist das Material, aus dem weißes Mehl gebildet wird. Es enthält die Stärkekörner, die in einer Matrix von Proteinen eingebettet werden. Die Proteine bestehen aus Albumine, Globuline und Glutenkomplex, der Glutenkomplex wird als Speicherprotein angesehen (Cornell und Hoveling 1998). Tabelle 2.4 gibt eine Übersicht über die quantitative Verteilung der Inhaltsstoffe im Weizenkorn (Belderok *et al* 2000).

Tab. 2.4: Chemische Komponente eines ganzen Weizenkorns und dessen verschiedenen Teile (Belderok *et al* 2000).

	ganzes Korn	Endosperm	Kleie	Embryo
Eiweißstoffe	16	13	16	22
Fette	2	1,5	5	7
Kohlenhydrate	68	82	16	40
Ballaststoffe	11	1,5	53	25
Mineralien	1,8	0,5	7,2	4,5
Zusatzkomponenten	1,2	1,5	2,8	1,5
Total	100	100	100	100

2.2. *Fusarium* spp.

Fusarium ssp. (lat. *fuscus* = Spindel, Spille oder *fuscus* = ausgebreitet) (Schubert und Wagner 2000). Die erste Beschreibung der *Fusarium* Gattung entstand aus dem Jahre 1809 von Link (Desjardins 2006). Die *Fusarium* Gattung gehört zur Abteilung *Deuteromycotina* (*Fungi imperfecti*) und zur Klasse *Hyphomycetes* und hat verschiedene Arten, die weltweit als verbreitete Bodenpilze bekannt sind. Sie gelten als polyphage Pilze und können sowohl saprophytisch als auch parasitär leben. Mit dem Begriff Fusariose wurden bislang eine Vielzahl von Erkrankungen an den unterschiedlichen Kultur- und Wildpflanzenarten bezeichnet, die durch Erreger der Gattung *Fusarium* verursacht werden.

Die *Fusarium* - Arten können Getreidepflanzen in den verschiedenen Wachstumsstadien und an mehreren Pflanzenorganen befallen, sie können Wurzel, Keimling, Blatt, Halm und Ähren befallen. Tabelle 2.5 zeigt die am häufigsten auftretenden *Fusarium*-Arten, die Getreide befallen können.

Tab. 2.5: *Fusarium*- Arten mit ihren Hauptfruchtform (nach Adolf 1998; Hermann 1998; Schade- Schütze 1999).

Nebenfruchtform	Hauptfruchtform
<i>Fusarium avenaceum</i> (Corda: Fr.) Sacc.	<i>Gebberella avenacea</i> R.J. Cook
<i>Fusarium cerealis</i> (Cooke) Sacc.	unbekannt
<i>Fusarium culmorum</i> (W. G. Smith) Sacc.	unbekannt
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	<i>Gebberella zeae</i> (Schw.: Fr.) Petch
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	unbekannt
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	unbekannt
<i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.	<i>Gebberella tricincta</i> El-Gholl, Mc. Ritchie Schoulties & Ridings
<i>Fusarium equiseti</i> (Cad. Sacc.)	<i>Gibberella intricans</i> Wollenweber
<i>Fusarium oxysporum</i>	Unbekannt
<i>Fusarium crookwellense</i> Burgess, Nelson, Toussoun	Unbekannt

Ährebefall ist aber dabei besonders kritisch und führt zu *Fusarium* head blight (FHB), oder Ährenfusariosen, die nicht nur erhebliche Ertragseinbußen verursachen, sondern vor allem zu Beeinträchtigung der Back- und Brauqualität sowie die Güte von Saatgut und Futter, da der Mehrzahl der

Fusarium - Arten die Fähigkeit zur Mykotoxinbildung nachgewiesen wurde (Gilbert & Tekauz 1995, Dexter *et al.* 1996).

2.3. Ährenfusariose (FHB) beim Weizen

Neben den Rost- und Brandkrankheiten ist die Ährenfusariose für den Weizen von besonderer Bedeutung und kann durch verschiedene Arten von der *Fusarium* – Gattung verursacht werden, vor allem *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. und *Fusarium avenaceum* (Corda: Fr.) Sacc., diese drei Arten sind wichtige Vertreter von Ährenfusariose beim Weizen. *F. graminearum* herrscht in den warmen Klimabereichen vor, besonders wo Mais und Reis weit angebaut wird. *F. avenaceum* herrscht in den kühlen Klimabereichen vor, wo Weide und Leguminosen domi nierend sind. *F. culmorum* hat die Fähigkeit im Vergleich zu *F. graminearum* und *F. avenaceum* sich an die Temperatur anzupassen und herrscht in den moderaten bis kühlen Klimabereichen vor, wo Weizen, Gerste und Hafer angebaut werden (Mathur & Cunfer 1993; Mesterhazy 2001).



Abb. 2.5: Makrokonidien von *F. graminearum*



Abb. 2.6: Makrokonidien von *F. culmorum*



Abb. 2.7: Makrokonidien von *F. avenaceum*

Bilder: Canadian Grain Commission: <http://www.grainscanada.gc.ca/>

2.3.1. Krankheitssymptome

Eine Infektion findet primär zur Blüte statt und normalerweise infiziert der Pilz (*Fusarium* spp.) zuerst die ausgestoßenen Antheren und weitet sich dann während der entwickelnden Karyopse, der Braktee und der Rhachis aus (Bai & Shaner 1994; Sutton 1982). Die Ähren sind im Extremfall taub aber nicht die gesamte Ähre, sondern es sind meistens Ährenabschnitte oder einzelne Ährchen betroffen.

Im Anfangsstadium der Erkrankung erscheint die Infektion als kleine hellbraune, wassergetränkte Flecken, die an der Basis oder in der Mitte der Spelzen oder der Spindelstufen einer Weizenähre in Erscheinung treten. Ein frühzeitiger Befall führt zum Absterben der Kornanlage oder des ganzen Ährchens, das etwas heller erscheint und die Farbe der reifen Ähren nimmt. Der Pilz dringt in die Ährenspindel ein und dies bewirkt eine Unterbrechung der Nährstoffversorgung aller darüber liegenden Kornanlagen. Bei feuchter Witterung beobachtet man an den Enden der Spelzen und an der Unterseite der Ährchen einen orange-rosa (lachsrosa) farbiges Sporenlager. Infizierte Körner bleiben klein und werden verkümmert und geschrumpft (Parry *et al* 1995), dies führt zur Verminderung des TKG (Tausendkorngewicht). Sie werden graubraun mit verfärbtem mehligem Inhalt.



Abb. 2.8: Symptome auf Ähren

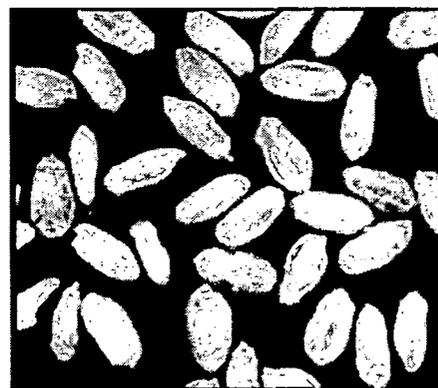


Abb. 2.9: Symptome auf Körnern

2.3.2. Epidemiologie und Befallszyklus

Epidemiologische Aspekte der Ährenfusariose sind sehr komplex und viele Details sind immer noch unklar. Diese Unklarheit ist durch die kurze Entwicklungsperiode (von Anthese bis frühe Teigreifestadium) bedingt. Da in dieser Periode die Weizen Ähren gegen *Fusarium* ssp. sehr empfindlich sind (Sutton 1982; Mathur & Cunfer 1993).

Ährenfusariose benimmt sich als monozyklische Krankheit d.h., nur Sporen, die an oder kurz nach Blütezeit produziert bzw. ausgestreut werden, sind jene der Funktionsinokula (Mathur & Cunfer 1993). Der Befallszyklus von *Fusarium* ssp. (FHB - Verursachend) wird in Abbildung 2.10 dargestellt.

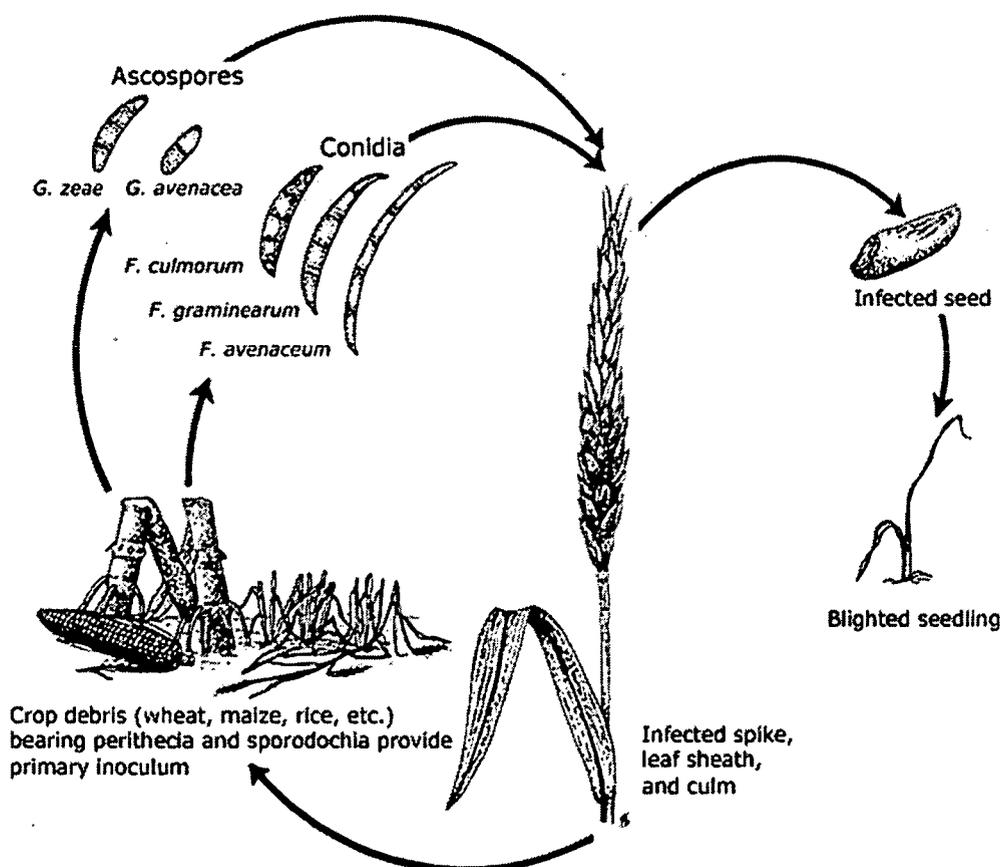


Abb. 2.10: Befallszyklus von FHB verursacht durch *Fusarium* ssp. (Mathur. & Cunfer 1993)

Den Mittelpunkt des Befallszyklus nimmt die Quelle von Fusariuminokulum im Boden ein. Dort überlebt Fusarium entweder als saprophytisches Myzelium oder als dickwandige Chlamydospore. Wenn man Getreide im fusariumverseuchten Boden sät, kommt es zunächst zum Befall des Keimlings und zu Fußkrankheiten. Später, in der Vegetationsperiode, kann Inokulum die Ähren infizieren und Ährenfusariose verursachen. Fusariuminfizierte Körner wiederum können, wenn als Saatgut verwendet, eine bedeutende Inokulumquelle zur Entwicklung von Krankheit darstellen (Parry et al. 1995, Steiner 1998).

2.3.3. Bedeutung der Ährenfusariose

- Auswirkung auf Ertrag

Ährenfusariose verursacht Ertragverluste durch Verringerung der Korngrößen und Korngewichte (Snijders and Perkowski 1990) und hat eine große Bedeutung in den feuchten Weizenanbaugebieten insbesondere wenn die Blütezeit des Weizens von feuchter und warmer Witterung begleitet wird. Die Ertrageinbußen werden durch Verminderung des TKG (Tausendkorngewicht) verursacht und beim Auftreten von Epidemien können diese Ertrageinbußen sogar bis zu 70 Prozent betragen. Alleine in den USA, schätze man den Gesamtschaden aufgrund der Ertragverluste und der Qualitätsverminderung durch Ährenfusariose zwischen 1991 und 1997 auf mehr als \$1.3 Milliarden zusammen (Johnson *et al.* 2003).

Durch das immer wiederkehrende Auftreten von Epidemien in den USA, Kanada, China, Australien und Zentraleuropa (Langer 2004), wird Ährenfusariose in den letzten Jahren vermehrt Bedeutung verliehen.

- Auswirkung auf Körner

Ährenfusariose hat negative Auswirkungen auf die Kornqualität des Weizens durch Beeinträchtigung der Protein- und Stärkequalität, die aus Bildung der Pilzgiften (die so genannte Mykotoxine) verursacht werden. Diese haben eine giftige Wirkung sowohl bei der Tierfütterung als auch bei der menschlichen Ernährung.

Der Pilz zerstört die Stärkekörner und die Zellwände des Weizenkorns (Bechtel *et al.* 1985; Wanyoike 2002). Es wurde in einer Studie die Wirkung der *Fusarium culmorum* Infektion auf Speicherproteine im Weizenendosperm festgestellt, Es wurde festgestellt dass ab der fünften Woche nach der Blütezeit und künstlicher Inokulation die Proteine verlorengegangen sind. Ursache dafür war wahrscheinlich der Proteinverbrauch durch den Pilz und die Hemmung der neuen Proteinproduktion durch die Kumulierung des Mykotoxins Deoxynivalenol (DON) (Snijders & Krechting 1992). Technisch gesehen zeigt das Mehl aus *Fusarium* - befallenen Körner fließende Teige und Brote mit muffigem Geruch, bzw. Mängeln in der Farbe und in der Form (Hermann 1998). Weiters führt die Beeinträchtigung des Stärke- und Eiweißkomplexes zu Problemen in der Mälzerei (Windels 2000; Ruckenbauer *et al.* 2001).

Daneben hat Ährenfusariose indirekte negative Auswirkungen auf das Saatgut von Weizen. Sie führt zur Abnahme der Keimfähigkeit im Feld (Hermann 1998). Zusätzlich stellen die infizierten Körner wiederum eine bedeutende Inokulumquelle zur Entwicklung der Krankheit.

- Mykotoxinbelastung

Viele Pilzgattungen wie *Aspergillus*-, *Penicillium*-, *Claviceps*- und *Fusarium*- Arten produzieren sekundäre Stoffwechselprodukte (sogenannte Mykotoxine oder Schimmelpilzgifte) (Schrödter 2004), die auf Menschen und Tiere giftig wirken. Sowohl aus wirtschaftlicher als auch toxikologischer Hinsicht, stellen die Mykotoxine wie zum Beispiel: Aflatoxine, Fumonisine, Ochratoxine, Patulin und Trichothecene ein weltweites Problem dar. Mykotoxine verursachen aufgrund ihrer sehr unterschiedlichen chemischen Strukturen verschiedene giftige Effekte (Oblak 2003). Folglich führen diese zur Mykotoxikosen bei Menschen und Tieren bzw. zur Phytotoxikosen bei Pflanzen führen (Vesonder et al. 1989). Fast alle Mykotoxine sind hitze- und säurestabil und werden durch das Kochen bzw. Braten der von Mykotoxinverseuchten Lebensmitteln nicht zerstört.

Alle *Fusarium* - Arten, die Getreide infizieren, können ein oder mehrere Mykotoxine produzieren (Edwards 2004). Die am häufigsten vorkommenden Fusarientoxine sind Moniliformin, Trichothecene, Fusarine, Fumonisine und Zearalenon. Praktisch können in allen Nahrungsmitteln aus Getreide Toxine vorkommen. Die am häufigsten *Fusarium*- Arten an Weizenanbaugebiete und die von ihnen produzierten Toxine werden in Tabelle 2.5 dargestellt.

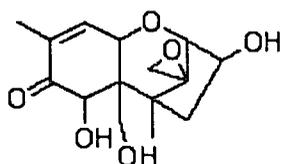


Abb. 2.11:
Strukturformel von DON

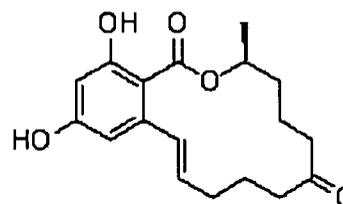


Abb. 2.12:
Strukturformel von ZON

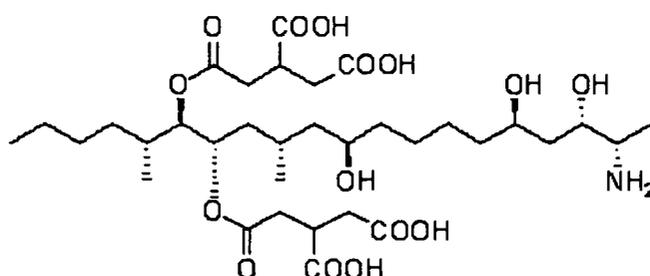


Abb. 2.13: Strukturformel von Fumonisine

Trichothecene werden aufgrund ihrer Struktur in Typ A und in Typ B Trichothecene geteilt (Edwards 2004). Typ A Trichothecene werden u.a. in Diacetoxyscirpenol, T-2 Toxin, HT-2 Toxin und Neosolanol (NEO) dargestellt. Typ B Trichothecenes sind u.a. in Nivalenol (NIV), Fusarenon X und Deoxynivalenol (DON) oder sogenannte Vomitoxin dargestellt (Placinata et al. 1999; Desjardins 2006). Derzeit ist Deoxynivalenol (Vomitoxin) das weitverbreiteteste Mykotoxin der *Fusarium*- Mykotoxine (Tutelyan 2004). DON führt bei Haustieren zu Futterverweigerung und vermindertem Wachstum, während es bei Menschen Unterleibsschmerzen, Schwindel, Brechreiz Kopfschmerz und Kehlenentzündung verursachen kann (Peters et al. 2004).

Zearalenon (ZON) hat östrogene Eigenschaften und kann bei landwirtschaftlichen Nutztieren negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit verursachen (Hoffmann & Schmutterer 1999). Schweine sind auf ZON besonders empfindlich. Durch ZON- enthaltene Futter mit einem Niveau von weniger als 5 µg/g können bei den jungen Schweinen Östrogene Symptome verursacht werden (Desjardins 2006).

Tab. 2.6: Die bedeutendsten Mykotoxine bildende *Fusarium*- Arten von Ährenfusariose (nach Desjardins 2006).

Spezies	Mykotoxine
<i>Fusarium acuminatum</i>	Acuminatum, , fusarins, moniliformin, trichothecenes
<i>Fusarium avenaceum</i>	aurofusarin, beauvericin, enniatins, , moniliformin,
<i>Fusarium culmorum</i>	Aurofusarin, butenolide, culmorin, fusarins, trichothecenes, zearalenone
<i>Fusarium equiseti</i>	Equisetin, trichothecenes, zearalenone, moniliformin
<i>Fusarium graminearum</i>	Culmorin, fusarins, trichothecenes, zearalenone
<i>Fusarium oxysporum</i>	Enniatins, funonisins, fusaric acid, moniliformin
<i>Fusarium poae</i>	Beauvericin, enniatins, fusarins, trichothecenes
<i>Fusarium solani</i>	Fusaric acid, naphthoquinones, trichothecenes
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Butenolide, culmorin, moniliformin, trichothecenes
<i>Fusarium subglutinans</i>	Moniliformin
<i>Fusarium tricinctum</i>	Fusarins, moniliformin

2.4. Bekämpfung und Kontrolle der Ährenfusariose

Um die Gefahr eines epidemischen Auftretens der Ährenfusariose zu verringern und die verfügbare Inokulummenge zu reduzieren, können mehrere vorbeugende Maßnahmen im Laufe einer Bekämpfungsstrategie angewendet werden.

2.4.1. Pflanzenbauliche Maßnahmen

Die ackerbaulichen Maßnahmen können möglicherweise nicht total wirkungsvoll sein, aber in Kombination können sie helfen die Menge an primärem Inokulum zu reduzieren (Mathur & Cunfer 1993, Bai & Shaner 1994).

Die kontinuierliche Weizen- oder Weizen- Mais- Fruchtfolgen führen zu signifikant höheren Fusariumbefallshäufigkeiten und Befallsstärken (Sutton 1982, Parry 1995), Mais ist im Hinblick auf den Ährenfusariumbefall die schlechteste Getreidevorfrucht (Sutton 1982, Obst *et al.* 1997).

Alle *Fusarium*- Arten, die Getreide befallen können, haben die Fähigkeit saprophytisch an Pflanzenrückständen zu überleben. Die gute Einarbeitung der Ernterückstände und Beseitigung verseuchter Pflanzenrückstände führen deshalb zur Verringerung der Menge vom Inokulum. Eine Studie zeigte: das Unterpflügen von Maisernterückständen reduzierte den DON- Gehalt im Korngut des nachgebauten Weizens um 90% im Vergleich zum DON- Gehalt von nach Maisvorfrucht mittels Mulchsaat bestelltem Weizen (LBP 1997). Auch die Unkräuter können zur Erhöhung des Befallsgrads der Ährenfusariose beitragen, da verschiedene *Fusarium*- Isolate von breitblättrigen Unkräutern identifiziert wurden (Jenkinson *et al.* 1994).

Eine zuverlässige Bekämpfung vom *Fusarium* ssp. durch den Einsatz von Fungiziden ist nicht immer erfolgreich. Keine von den geprüften chemischen Substanzen gab ausreichende Wirkung auf den Befall und die Mykotoxinbildung. Unter den in zahlreichen Untersuchungen geprüften Fungiziden zeigten Tebuconazol- Produkte die besten Erfolge (Mesterhazy 1995, Parry *et al.* 1995).

Eine Studie zeigte: Siranidou (2000) „Die Applikation des Fungizids Tebuconazol zwei Tage vor bzw. zwei Tage nach Inokulation (EC 68) führte bei den Sorten Kontrast, Ritmo, Arina, Pegassos, Petrus und Agent zu Reduktionen des Ährenbefalls gegenüber den infizierten unbehandelten Pflanzen zwischen 33% und 89% und der Menge des Mykotoxins Deoxynivalenol (DON) im Erntegut zwischen 48% und 86%. Die Ertragserhöhungen variierten von 2% bis 19%“

2.4.2. Genetische Resistenz

In keinem Fall Existiert völlige Resistenz und ist auch nicht zu erwarten (Snijders & Krechting 1992). Die Genotypen des Weizens unterscheiden sich weitgehend in teilweiser Resistenz gegen die Ährenfusariose (Mathur & Cunfer 1993). Es wurde beschrieben, dass das resistente Erbplasma des Weizens in drei Genpools geteilt werden kann: Winterweizen aus Osteuropa, Sommerweizen aus China und Japan, und Sommerweizen aus Brasilien und Italien. (Mesterhazy 1987, Snijders 1990, Ban & Inagaki 2001).

Resistenztypen

Nach (Schroeder & Christensen 1963, Miller et al. 1985 sowie Bai & Shaner 2004) wurde es verschiedene Typen der Resistenz gegen Ährenfusariose beschrieben:

Typ I Resistenz:

Oder Resistenz gegenüber einer Primärinfektion des Erregers. Dies wird hauptsächlich von morphologischen Merkmalen der Pflanzen wie Pflanzenlänge, Begrannung und Ährenaufbau und daraus folgend vor allem dem Mikroklima in der Ähre bestimmt (Hermann 1998).

Dieser Typ Resistenz wird durch Aufsprühen von Sporensuspension auf die blühenden Ähren und Zählen der erkrankten Ährchen geschätzt. Die Voraussetzung für Bewertung der Typ I Resistenz durch die Sprühinokulation ist, dass alle Ähren dem Inokulum ausgesetzt sind, und der Typ I Resistenzgrad stellt der Prozentanteil der infizierten Ährchen fest. Inokulationszeitpunkt kann für Auswertung der Art I Widerstand kritisch sein (Bai & Shaner 2004)

Typ II Resistenz:

Oder Resistenz gegenüber der Ausbreitung des Pilzes innerhalb der Ähre. Hier spielen vor allem physiologische Resistenzfaktoren eine Rolle. Sorten mit hoher Ausbreitungsresistenz weisen vor allem Einzelährchenbefall auf (Hermann 1998). Typ II Resistenz wurde im Weizen weitgehend studiert und zeigte, dass sie beständiger und weniger durch nichtgenetische Faktoren beeinflusst als Typ I Resistenz ist. Typ II Resistenz wird durch die Konidienlieferung in einem einzelnen Blütchen in der Ähre und Zählen der erkrankten Ährchen nach einem Zeitabschnitt geschätzt (Bai & Shaner 1994,

2004). Die meisten Weizenzüchter legen ihren Schwerpunkt auf die Typ II Resistenz (Buerstmayr *et al.* 1999).

Andere Typen der Resistenz:

- Resistenz gegen Infektion und Zerstörung des Samenkorns: wird als der Prozentsatz der befallenen Körnern geschätzt
- Typ III Resistenz oder Resistenz gegen DON- Akkumulation
- Toleranz: wird durch relative Ertragverluste geschätzt

Die Resistenz gegenüber Ährenfusariosen kann als horizontal angesehen werden und die Gene für Ährenfusarioseresistenz im Weizen, die quantitativ vererbt wird, sind auf unterschiedlichen Chromosomen lokalisiert (Snijders 1990, Buerstmayr *et al.* 1999). 18 der 21 Weizenchromosomen wirken bei der Ährenfusarioseresistenz mit (Kolb *et al.* 2001). Abgesehen von der großen genotypischen Varianz spielt der Einfluss von Umweltfaktoren eine große Rolle.

3. Material und Methoden

3.1. Pflanzenmaterial

In der Zeit zwischen 2001 - 2004 wurde an der Abteilung Biotechnologie in der Pflanzenproduktion am IFA Tulln, nahe-isogene Linien (NILs) aus Kreuzungen von "CM82036- 1TP- 10Y- OST- 10Y- OM- OFC" (abgekürzt zu CM82036) mit verschiedenen europäischen Winterweizensorten und -linien entwickelt. CM82036 ist Sommerweizen und abgeleitet in Mexiko, es zeigte hohes Niveau an Ährenfusarioseresistenz, aber auch unerwünschte agronomische Merkmale wie z.B. geringen Ertrag. CM82036 wurde als Resistenzquelle verwendet und mit den europäischen Winterweizensorten bzw. -zuchtlinien: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525, TO273755, die als rekurrente Eltern mit unterschiedlichem genetischen Hintergrund von Ährenfusarioseresistenz verwendet wurden, gekreuzt (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Die europäischen Winterweizensorten, die als rekurrente Eltern verwendet wurden, ihre Herkünfte, FHB Resistenz, Wuchshöhe und Reife (Salameh 2004).

Name	Herkunft	Resistenz	Wuchshöhe	Reife
Enno	Deutschland	MR	mittel	früh
P581	Österreich	MA	mittel	mittel
Apache	Frankreich	A	kurz	früh
Orvantis	Frankreich	MA	mittel	früh
CH761525	unbekannt	A	kurz	spät
TO273755	unbekannt	MA	lang	mittel
Ludwig	Österreich	MR	mittel	spät
Augustus	Österreich	MA	lang	mittel
Charger	England	A	kurz	mittel
Ritmo	Niederlande	A	lang	spät
Capo	Österreich	MA	lang	mittel
Petrus	Deutschland	R	lang	spät

R: resistent, MR: moderat resistent, MA: moderat anfällig, A: anfällig (Salameh und Buerstmayr 2004).

Die heterozygoten Pflanzen wurden ab der BC₁F₁ Generation mit Hilfe der SSR-Markern für "*Qfhs.ndsu-3B*" und "*Qfhs.ifa-5A*" selektiert und mit dem entsprechenden Winterweizenelter rückgekreuzt. BC₂F₁ Pflanzen wurden selbstbefruchtet und heterozygote Pflanzen mit SSR-Markern wieder selektiert. Danach wurden BC₂F₂ Pflanzen aufs Feld gepflanzt und parallel dazu im Labor analysiert. Am Ende wurden homozygote Pflanzen für die zwei Genloci "*Qfhs.ndsu-3B*" und "*Qfhs.ifa-5A*" gewonnen (Abb. 3.1).

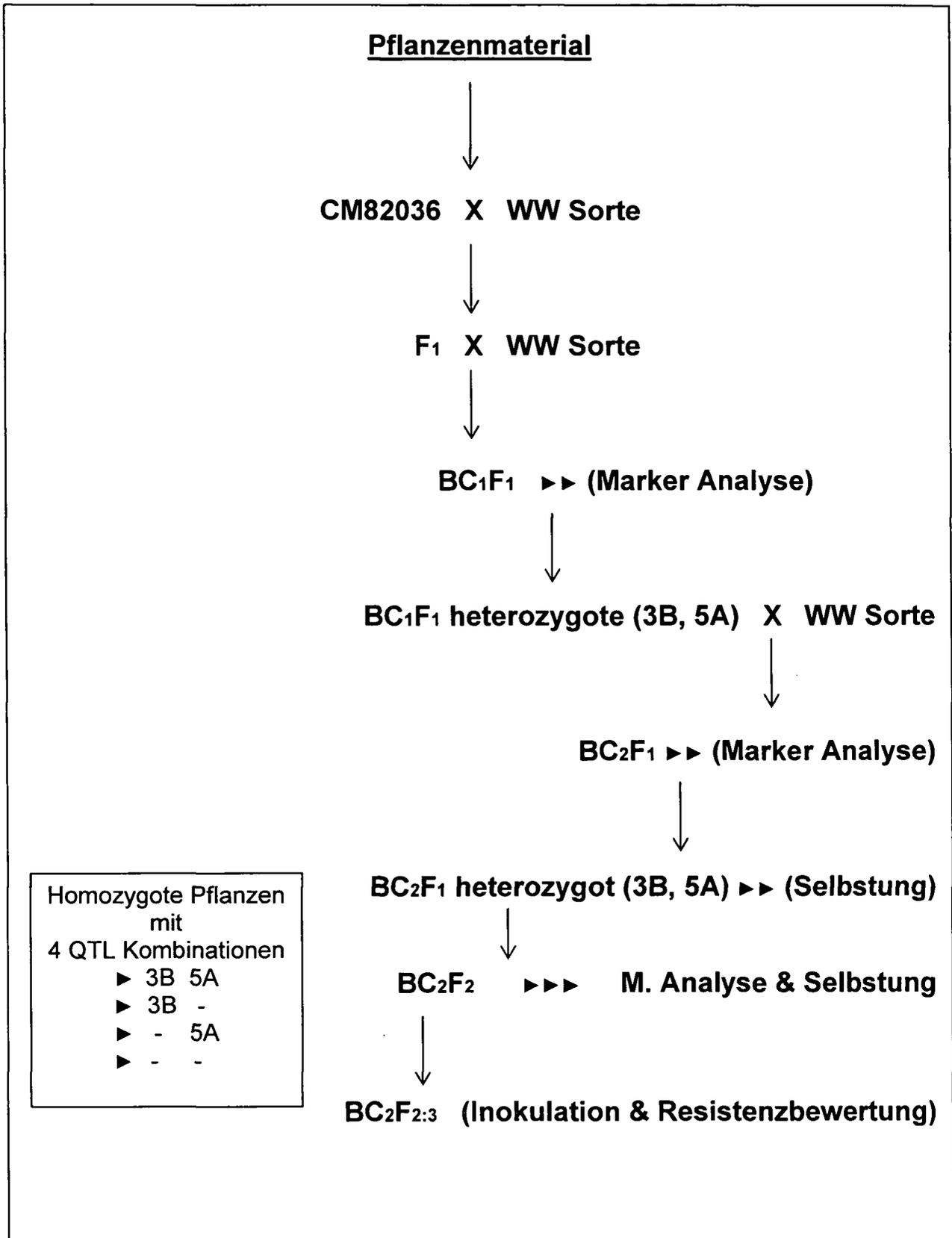


Abb. 3.1: Markergestützte Selektion für die Entwicklung von BC₂F₂ abgeleiteten Linien mit unterschiedlicher Kombination von zwei QTL (3B,5A) für Ährenfusariose-resistenz (Salameh 2004).

Entsprechend der Genotypisierung mit SSR-Markern wurden die Pflanzen mit homozygoten Kombinationen für die zwei Genloci "*Qfhs.ndsu-3B*" und "*Qfhs.ifa-5A*" in vier Klassen eingeteilt:

- ▶ Pflanzen mit beiden QTL (3B + 5A)
- ▶ Pflanzen mit nur einem QTL (3B)
- ▶ Pflanzen mit nur einem QTL (5A)
- ▶ Pflanzen ohne QTL (weder 3B noch 5A)

Das Ziel dieser Diplomarbeit war die Bewertung von Ährenfusarioseresistenz der abgeleiteten Linien von BC₂F_{2:4} und die Schätzung der Einflüsse von den zwei QTL ("*Qfhs.ndsu-3B*, *Qfhs.ifa-5A*") in nahe-isogene Linien (NILs). So wurden die BC₂F_{2:4} aus den abgeleiteten Linien mittels Feldexperiment im Jahr 2005 - 2006 am IFA-Tulln geprüft. Dies geschah durch künstliche Inokulation mit zwei Isolaten von *Fusarium* spp. (*F.graminearum* und *F.culmorum*). Zwei spezifische Resistenzparameter, Befallsintensität (Kombination von Typ I & II Resistenz = Severity) und Befallshäufigkeit (Typ I Resistenz = Inzidenz) wurden ermittelt und der Krankheitsverlauf durch Feldbonituren geschätzt (Abb. 3.2).

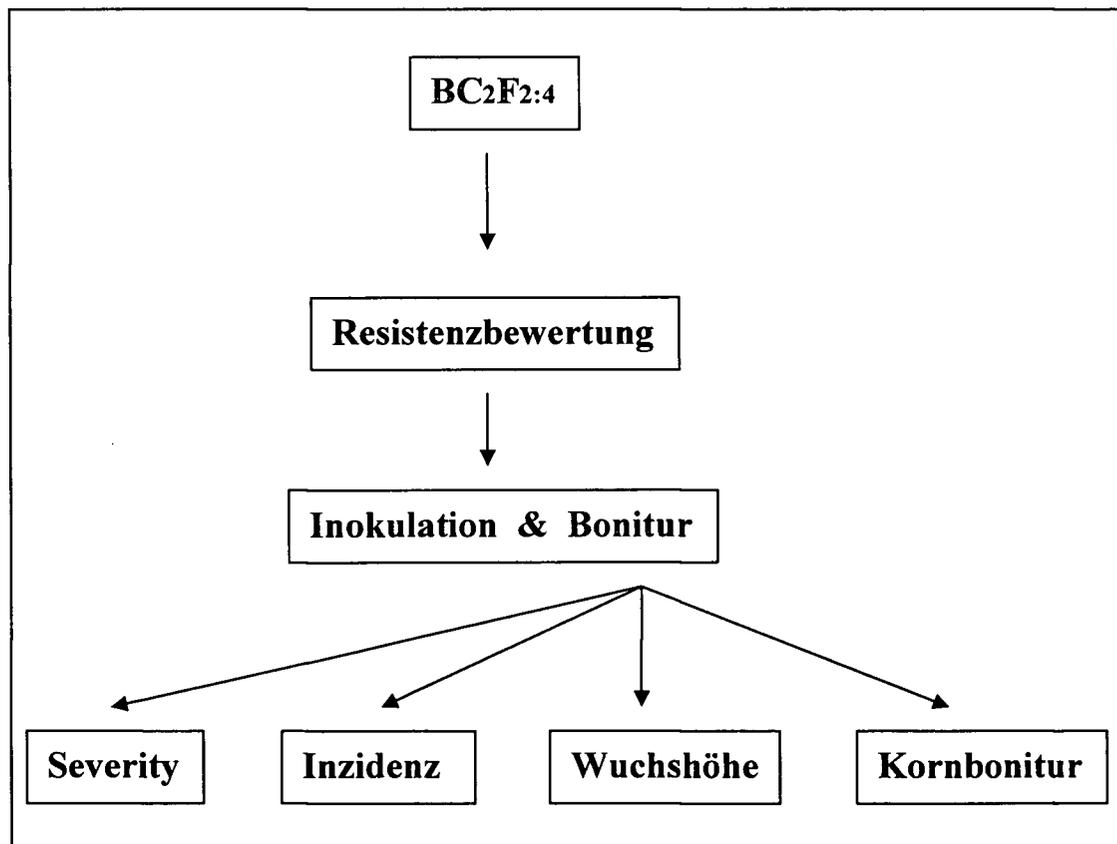


Abb. 3.2: Inokulation und Bonitur von BC₂F_{2:4}

3.2. Versuchsanlage

Der Versuch wurde im Jahr 2005 - 2006 am Gelände des Interuniversitären Forschungsinstitutes für Agrarbiotechnologie, Abteilung für Biotechnologie in der Pflanzenproduktion, durchgeführt. Der Standort befindet sich auf einer Seehöhe von 180m und liegt im Tullnerfeld in Niederösterreich. Die langjährige Durchschnittstemperatur lag bei 9 °C mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 740,4 mm. Die Abbildung 3.3 zeigt die Niederschlagsverteilung und den Temperaturverlauf in der Vegetationsperiode 2005 / 2006. Der Bodentyp der Versuchsfelder ist Feuchtschwarzerde.

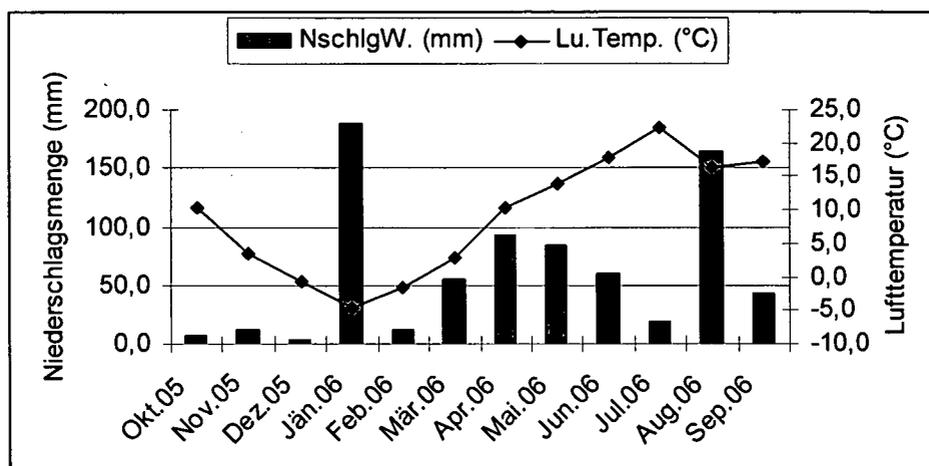


Abb. 3.3: Durchschnittlicher Temperaturverlauf (°C) und Niederschlagsmengen (mm) in der Vegetationsperiode 2005/2006.

3.3. Pflanzenbauliche Maßnahmen

Die Versuchsanordnung bestand aus einer randomisierten Blockanlage (RCB) mit zwei Wiederholungen, die in zwei unterschiedlichen Zeitstufen ausgesät wurden. (Anbau1.Zeitstufe:19.10.2005, Anbau 2. Zeitstufe:

31.10.2005). Zur Bekämpfung samen- bzw. bodenbürtiger Krankheiten wurde Saatgut mit Rovral TS (2,5ml/kg) und Gaucho FS 600 rot (0,58 ml/kg) gebeizt vor dem Anbau am Versuchsfeld des IFA. Jede für die Aussaat bestimmte Parzelle bestand aus einer Doppelreihe mit einem Abstand von 17 cm zwischen den Reihen und einer Parzellenlänge von 70 cm. Saatstärke war 5 g/Doppelreihe ~ 180 kg/ha.

Zur Blütezeit des Weizens kam eine Bewässerungsanlage zum Einsatz, die computergesteuert ist und Sprühnebelbewässerung der Versuchsanlage gibt. Eine Übersicht über weitere pflanzenbauliche Maßnahmen in der Saison 2005/2006 zeigt der Tabelle (3.2).

Tab. 3.2: Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen am Versuchsfeld in der Saison 2005/2006.

Maßnahme	Datum	Material	Menge
Düngung	21.04.2006	Vollkorn plus 20.8.8	60 kgN/ha
	01.06.2006	Kalkammonsalpeter 27% N	28 kgN/ha
Herbizid	05.05.2006	Dicopur 500 flüssig	1,5 l/ha
	22.05.2006	Tristar	1,5 l/ha

3.4. Herstellung des Inokulums

Zwei Isolate von *Fusarium* spp. wurden verwendet, das *F. graminearum*-Isolat „IFA65“ und das *F. culmorum*-Isolat „IPO 39-104“. Die Makrokonidien des *F. graminearum*-Isolats „IFA65“ wurden wie bei Buerstmayr *et al.* (2002) beschrieben hergestellt. 20 Gramm von trockenen Mungbohnen, *Vigna radiata* (L.) Wilczek, wurden pro Liter destilliertem Wasser für 20 Minuten gekocht und anschließend dekantiert. Die Lösung wurde in Glasflaschen abgefüllt und autoklaviert. Nach erfolgter Inokulation mit dem gewünschten *F. graminearum* Isolat wurde das Medium für eine Woche einer kontinuierlichen Strömung steriler Luft für die Makrokonidienentwicklung ausgesetzt.

Die Makrokonidien des *F. culmorum*-Isolats „IPO 39-104“ wurden nach Snijders & Van Eeuwijk (1991) und Buerstmayr *et al.* (2000) hergestellt. Ein Gemisch von Weizen- und Haferkörnern (3:1) wurde mit Wasser vermengt, das Gemenge quoll über Nacht. Danach wurde es autoklaviert und nach dem Abkühlen wurde es mit dem *F. culmorum*-Isolat „IPO 39-104“ inokuliert. In weiterer Folge wurde dieses Gemisch bei Dunkelheit in Klimakammern für zwei Wochen bei 25°C, danach für drei Wochen bei 5°C inkubiert. Dies führte zur Bildung von Makrokonidien. Makrokonidien wurden mit deionisiertem Wasser von den Körnern abgewaschen. Das Inokulum von beiden Isolaten wurde eingefroren bei -80°C bis Gebrauch gespeichert.

Die Konzentration der Konidien wurde mit Hilfe einer Bürker – Türk – Zählkammer ermittelt und mit destilliertem Wasser entsprechend der gewünschten Sporenkonzentration eingestellt. Im diesem Versuch lag die Konzentration bei 50 000 /ml.

3.5. Methodik der Inokulation

Das Inokulationsverfahren erfolgte in Form einer Sprühinokulation mit Hilfe einer motorisch betriebenen Rückenspritze mit ca. 50 ml von Makrokonidiensuspension (*F.graminearum* Isolat und *F.culmorum* Isolat) pro Parzelle (Abb. 3.4). Die erste Inokulation erfolgte, als 50% der Pflanzenähren in jeder Parzelle blühten (Austreten der Antheren im mittleren Ährenabschnitt). Dieser Vorgang wurde alle zwei Tage wiederholt. Die Inokulationsperiode begann mit dem 06.06.2006 und erstreckte sich über einen Zeitraum von über 16 Tagen bis zum 22.06.2006.

Um optimale und konstante Bedingungen (hohe Temperaturen und Luftfeuchtigkeit) für Pilzinfektion bzw. –Entwicklung zu bieten, wurden die Parzellen jeden zweiten Tag ab 16 Uhr inokuliert und die Versuchsanlage sprühnebelbewässert. Vor jeder Inokulation wurden die Parzellen kurz bewässert. Nach der Inokulation wurde diese Sprühnebelbewässerung über 20 Stunden durchgeführt. Diese Nebelbewässerungsanlage ist computergesteuert durch eine Blattfeuchtemessung. Sobald die Blattnässe unter einen bestimmten Sollwert sinkt, wird die Nebelbewässerungsanlage automatisch für 10 Sekunden aktiviert (Abb. 3.5). Abbildung 3.6 zeigt den Temperaturverlauf und die Niederschlagsverteilung in der Inokulationsperiode.



Abb. 3.4: Methode der Sprühinokulation



Abb. 3.5: Nebelbewässerungsanlage

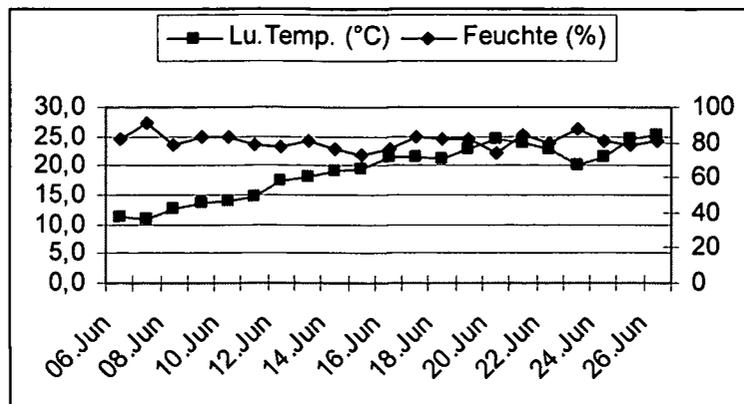


Abb. 3.6: Tagesstemperaturmittel (°C) und Feuchte (%) während der Inokulationsperiode 2006

3.6. Krankheitsbewertung

3.6.1. Feldbonitur auf Ährenfusariose

In jeder Parzelle wurden die Pflanzen visuell bonitiert. Dies wurde am Tag 10, 14, 18, 22 und 26 nach der ersten Inokulation durchgeführt. Jede Parzelleinheit wurde als Maß für Typ I Resistenz (Inzidenz = Prozent befallener Ähren) und als Maß für Kombination (Typ I & Typ II) Resistenz (Severity = Prozent befallener Ährchen) bewertet.

Als Maß für Eindringungsresistenz wurde der Prozentanteil befallener Ähren je Parzelle geschätzt, in dem 20 Ähren je Parzelle bonitiert werden und als befallen oder befallfrei eingeschätzt werden. Als Maß für die "Feldresistenz" wurde der Prozentanteil befallener Ährchen je Parzelle bonitiert, in dem der befallsgrad visuell geschätzt wurde. Als Boniturhilfe diente das Schema, welches in Tabelle 3.3 dargestellt ist.

Tab. 3.3: Boniturschema von befallenen Ährchen pro Ähre für Typ I & II Resistenz (Severity)

% infizierter Ährchen pro Parzelle	Skala
0	Keine sichtbare Symptome
1	Erste Symptome
2	0,4 erkrankte Ährchen pro Ähre
3	0,6 erkrankte Ährchen pro Ähre
5	1 erkranktes Ährchen pro Ähre
10	2 erkrankte Ährchen pro Ähre
15	3 erkrankte Ährchen pro Ähre
20	4 erkrankte Ährchen pro Ähre
25	5 erkrankte Ährchen pro Ähre
30	6 erkrankte Ährchen pro Ähre
40	8 erkrankte Ährchen pro Ähre
50	10 erkrankte Ährchen pro Ähre
60	12 erkrankte Ährchen pro Ähre
70	14 erkrankte Ährchen pro Ähre
80	16 erkrankte Ährchen pro Ähre
90	18 erkrankte Ährchen pro Ähre
100	Alle Ährchen pro Ähren sind erkrankt

3.6.2. Weitere Boniturparameter

- Wuchshöhe

Die Wuchshöhe einer Weizensorte spielt eine wichtige Rolle auf die Anfälligkeit von Ährenfusariose, da die niedrigen Pflanzen leichter erreichbar für die Pilzsporen sind. Um dieses Verhältnis bestimmen zu können, wurden in diesem Versuch das Wuchshöhemittel jeder Parzelle von der Bodenoberfläche bis zur Ährenspitze mit Hilfe einer Meßlatte abgemessen. Dies wurde unter Nichtbeachtung der Grannen und auf 5 cm genau erhoben.

- Kornbonitur

Nach dem Dreschen der Weizenlinien, wurde der Anteil der erkrankten Körner für jede ausgedroschene Parzelle von *F. graminearum*-inokulierte Linien abgeschätzt. Dies wurde nach einer Bewertungsskala abgeschätzt

(Tab. 3.4). Eine Probe für jede Parzelle wurde an erkrankte Körner visuell bonitiert (verfärbte, ausgebleichte, verschrumpelte, kleine Körner).

Tab. 3.4: Bewertungsschema für die Kornbonitur

% erkrankte Körner pro Probe	Skala
0	0 bis 1 erkranktes Korn pro 100 Körner
1	2 erkrankte Körner pro 100 Körner
3	3 erkrankte Körner pro 100 Körner
5	5 erkrankte Körner pro 100 Körner
10	10 erkrankte Körner pro 100 Körner
15	15 erkrankte Körner pro 100 Körner
20	20 erkrankte Körner pro 100 Körner
33	1/3 aller Körner erkrankt
50	Die Hälfte aller Körner erkrankt
66	2/3 aller Körner erkrankt
80	20 gesunde Körner pro 100 Körner
90	10 gesunde Körner pro 100 Körner
95 - 100	alle Körner erkrankt

3.7. Statistische Auswertung

Die einzelnen Boniturdaten für *Fusarium*- Befall wurden zur Berechnung der Fläche unter der Krankheitsverlaufskurve (AUDPC) benutzt. AUDPC (area under disease progress curve) wurde zur Zusammenfassung des Krankheitsverlauf verwendet und nach folgender Gleichung errechnet:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n [((y_i + y_{i-1}) / 2) \times (x_i - x_{i-1})]$$

AUDPC: Summe der Flächen der einzelnen Trapeze

y_i : Bonitурwert bei der i -ten Beobachtung

x_i : Tag der i -ten Beobachtung

n : Gesamtzahl der Beobachtungen

Der Feldversuch wurde in 2 benachbarten Experimenten in jeweils 2 Wiederholungen angelegt. Ein Experiment wurde mit *F. graminearum* inokuliert und das zweite Experiment mit *F. culmorum*. Die Statistische

Datenverarbeitung wurde mit dem Programm SAS Version 8.02 durchgeführt. Die Varianzanalysen erfolgten mit Hilfe der (GLM) Prozedur (general linear model). Das statistische lineare Modell war:

$$Y_{ijk} = \mu + bi_{(ij)} + ij + g_k + ig_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} beobachteter Werte für ijk - te

μ Mittelwert

$bi_{(ij)}$ Block innerhalb Isolat

ij Effekt des Isolats j

g_k Effekt des Genotyps k

ig_{jk} Interaktionseffekt von Isolat j mit Genotyp k

ε_{ijk} restlicher Versuchsfehler

4. Ergebnisse

4.1. Mittelwerte

Im Feldversuch wurden zwei Isolate von *Fusarium* spp. in 2 benachbarten Experimenten in jeweils 2 Wiederholungen verwendet, das *F. graminearum*-Isolat „IFA65“ und das *F. culmorum*-Isolat „IPO 39-104“. Am 10. Tag nach der künstlichen Inokulation wurde mit der visuellen Feldbonitur begonnen. Die Mittelwerte für Befallsstärke (severity), Befallshäufigkeit (incedence), Kornbonitur, Blütezeitpunkt und Wuchshöhe (in cm.) von der elterlichen Sorten -und ihren abgeleiteten Linien sind in Tabelle 4.1 bzw. Tabelle 4.2 dargestellt.

Tab. 4.1: Mittelwerte für Befallsstärke (AUDPC.*sev*), Befallshäufigkeit (AUDPC.*sev*), Kornbonitur (K-Bonitur), Blütezeitpunkt (B-Datum in Tagen nach dem 1. Mai) und Wuchshöhe (WUH. in cm.) von den *F.graminearium*- inokulierten elterlichen Sorten und ihren abgeleiteten Linien, die in vier QTL Klassen eingeteilt wurden.

Sorten	QTL	<i>F. graminearium</i>				
		AUDPC. <i>sev</i>	AUDPC. <i>inc</i>	K-Bonitur	B-Datum	WUH.
APACHE K_9_21AB	5A 3B	36	762	2	40	70
APACHE K_9_21Ab	5A -	92	974	16	41	82,5
APACHE K_9_21aB	- 3B	46	782	6	40	70
APACHE K_9_21ab	- -	104	952	20	41	75
APACHE K_9_12AB	5A 3B	38	752	4	38	72,5
APACHE K_9_12Ab	5A -	38	742	11	40	82,5
APACHE K_9_12aB	- 3B	82	904	8	38	62,5
APACHE K_9_12ab	- -	56	800	3,5	39	72,5
APACHE K_9_11AB	5A 3B	26	590	1	39	77,5
APACHE K_9_11Ab	5A -	42	646	4	39	77,5
APACHE K_9_11aB	- 3B	44	712	3,5	39	72,5
APACHE K_9_11ab	- -	72	812	10	40	72,5
APACHE APACHE		98	730	20	40	70
Capo K_21_21AB	5A 3B	52	674	4	38	95
Capo K_21_21Ab	5A -	26	466	1,5	39	100
Capo K_21_21aB	- 3B	44	550	1,5	39	97,5
Capo K_21_21ab	- -	76	532	15,5	41	110
Capo K_21_1AB	5A 3B	56	692	1,5	41	102,5
Capo K_21_1Ab	5A -	78	524	16	41	102,5
Capo K_21_1aB	- 3B	42	574	4	40	95
Capo K_21_1ab	- -	124	674	10,5	41	100

Sorten		<i>F. graminearum</i>				
		AUDPC.Sev	AUDPC.Inc	K-Bonitur	B-Datum	WUH.
CH761525 K_11_5AB	5A 3B	46	650	20	43	85
CH761525 K_11_5Ab	5A -	295,5	1057,5	35	45	92,5
CH761525 K_11_5aB	- 3B	108	774	20	44	85
CH761525 K_11_16AB	5A 3B	92	912	13	43	90
CH761525 K_11_16Ab	5A -	163,5	927,5	32,5	43	90
CH761525 K_11_16aB	- 3B	90	810	4	42	85
CH761525 K_11_16ab	- -	272	982	35	43	87,5
CH761525 CH761525		382	950	40	43	90
CHARGER K_17_2AB	5A 3B	142	938	8	40	72,5
CHARGER K_17_2Ab	5A -	359,5	1255,5	18	42	82,5
CHARGER K_17_2aB	- 3B	102	934	6	40	67,5
CHARGER K_17_2ab	- -	190	992	18	40	72,5
CHARGER K_17_17aB-2	- 3B	156	1064	8	39	72,5
CHARGER K_17_17AB	5A 3B	80	784	3,5	40	77,5
CHARGER K_17_17Ab	5A -	178	920	27,5	40	87,5
CHARGER K_17_17ab	- -	428	1250	40	41	67,5
CHARGER CHARGER		434	1130	40	41	70
ENNO K_6_7AB	5A 3B	126	882	1,5	39	90
ENNO K_6_7Ab	5A -	278	1172	10	42	87,5
ENNO K_6_7aB	- 3B	80	850	0,5	41	95
ENNO K_6_7ab	- -	302	1102	20	40	80
ENNO ENNO		212	1122	6	43	87,5
LUDWIG LUDWIG		363,5	1297,5	25	44	100
LUDWIG K_15_9AB	5A 3B	60	844	2	41	102,5
LUDWIG K_15_9Ab	5A -	164	1014	20	41	95
LUDWIG K_15_9aB	- 3B	154	1070	8	42	87,5
LUDWIG K_15_9ab	- -	272	942	30	41	97,5
LUDWIG K_15_16aB-2	- 3B	106	822	5	40	92,5
LUDWIG K_15_16aB-1	- 3B	78	702	6	40	100
LUDWIG K_15_16AB	5A 3B	80	704	11	40	95
LUDWIG K_15_16Ab	5A -	162	1092	20	42	105
LUDWIG K_15_16ab	- -	182	872	40	41	95
LUDWIG K_15_12AB	5A 3B	102	752	5	43	100
LUDWIG K_15_12Ab	5A -	200	833,5	18	42	102,5
LUDWIG K_15_12aB	- 3B	133,5	890	16	42	95
LUDWIG K_15_12ab	- -	254	880	30	42	97,5
ORVANTIS ORVANTIS		575,5	1360,5	45	42	72,5
ORVANTIS K_10_9AB	5A 3B	128	842	15	42	80
ORVANTIS K_10_9aB	- 3B	277,5	1283,5	22,5	42	75
ORVANTIS K_10_9ab	- -	280	950	15	40	85
ORVANTIS K_10_10AB	5A 3B	135,5	1143,5	4	42	80
ORVANTIS K_10_10Ab	5A -	389,5	1327,5	30	42	87,5
ORVANTIS K_10_10aB	- 3B	241,5	1215	15,5	42	82,5
ORVANTIS K_10_10ab	- -	499,5	1307,5	30	42	77,5

Sorten	QTL	<i>F. graminearum</i>				
		AUDPC.Sev	AUDPC.Inc	K-Bonitur	B-Datum	WUH.
P581 P581		401	1150,5	30	43	82,5
P581 K_7_1AB	5A 3B	138	960	2	44	85
P581 K_7_1Ab	5A -	146	792	8	43	87,5
P581 K_7_1aB	- 3B	151,5	1047,5	4	43	82,5
P581 K_7_1ab	- -	148	902	8	43	87,5
PETRUS PETRUS		205	967	6	47	90
PETRUS K_22_12AB	5A 3B	63,5	797	2	47	95
PETRUS K_22_12Ab	5A -	129	1057	4	46	100
PETRUS K_22_12aB	- 3B	66	757	3,5	47	92,5
PETRUS K_22_12ab	- -	197,5	1187	8	47	92,5
RITMO_P RITMO_P		861,5	2082,5	45	2	80
RITMO_P K_19_55AB	5A 3B	181,5	1233,5	9	46	90
RITMO_P K_19_55Ab	5A -	527	1488,5	25	46	90
RITMO_P K_19_55aB	- 3B	185,5	1197,5	6	51	85
SL-152/90-5 SL-152/90-5		236	1036	25	41	85
SL-152/90-5 K_16_7AB	5A 3B	24	312	1,5	39	87,5
SL-152/90-5 K_16_7Ab	5A -	32	292	3,5	39	92,5
SL-152/90-5 K_16_7aB	- 3B	88	982	10	41	90
SL-152/90-5 K_16_1AB	5A 3B	96	984	22,5	41	87,5
SL-152/90-5 K_16_1Ab	5A -	114	814	20	41	87,5
SL-152/90-5 K_16_1aB	- 3B	84	912	4	41	85
SL-152/90-5 K_16_1ab	- -	138	902	30	41	87,5
SL-152/90-5 K_16_15AB	5A 3B	74	886	8	40	87,5
SL-152/90-5 K_16_15Ab	5A -	120	628	15	40	85
SL-152/90-5 K_16_15ab	- -	155,5	673,5	27,5	40	85
Standardsorte Arina_orig.		38	370	1	44	92,5
Standardsorte 20816-4		54	442	1,5	43	90
TO273755 TO273755		270	842	35	44	82,5
TO273755 K_12_24AB	5A 3B	90	492	10,5	43	95
TO273755 K_12_24Ab	5A -	77,5	489,5	4	42	90
TO273755 K_12_24aB	- 3B	102	584	6	43	90

Tab. 4.2: Mittelwerte für Befallsstärke (AUDPC_{sev}), Befallshäufigkeit (AUDPC_{inc}), Blütezeitpunkt (B-Datum in Tagen nach dem 1. Mai) und Wuchshöhe (WUH, in cm.) von den *F.culmorum*-inokulierten elterlichen Sorten und ihren abgeleiteten Linien, die in vier QTL Klassen eingeteilt wurden.

Sorten	QTL	<i>F. culmorum</i>			
		AUDPC _{sev}	AUDPC _{inc}	B-Datum	WUH.
APACHE K_9_21AB	5A 3B	174	1066	40	67,5
APACHE K_9_21Ab	5A -	269	1137	40	77,5
APACHE K_9_21aB	- 3B	221,5	1143,5	40	67,5
APACHE K_9_21ab	- -	345,5	1163,5	40	70
APACHE K_9_12AB	5A 3B	197,5	1313,5	37	65
APACHE K_9_12Ab	5A -	195,5	1045,5	40	75
APACHE K_9_12aB	- 3B	307	1387	37	57,5
APACHE K_9_12ab	- -	321	1127	39	70
APACHE K_9_11AB	5A 3B	79	887	39	75
APACHE K_9_11Ab	5A -	135	917	39	75
APACHE K_9_11aB	- 3B	185,5	1143,5	40	72,5
APACHE K_9_11ab	- -	269,5	1223,5	40	72,5
APACHE APACHE		361,5	1193,5	40	70
Capo K_21_21AB	5A 3B	252	1062	38	92,5
Capo K_21_21Ab	5A -	132	782	38	95
Capo K_21_21aB	- 3B	322	1092	40	95
Capo K_21_21ab	- -	481,5	1263,5	42	102,5
Capo K_21_1AB	5A 3B	446	1252	42	100
Capo K_21_1Ab	5A -	675	1337	43	102,5
Capo K_21_1aB	- 3B	423,5	1273,5	42	92,5
Capo K_21_1ab	- -	653,5	1303,5	42	90
CH761525 K_11_5AB	5A 3B	161	1227	44	80
CH761525 K_11_5Ab	5A -	781,5	1577	45	90
CH761525 K_11_5aB	- 3B	413	1560,5	45	82,5
CH761525 K_11_16AB	5A 3B	233,5	1173,5	42	87,5
CH761525 K_11_16Ab	5A -	521,5	1253,5	42	92,5
CH761525 K_11_16aB	- 3B	267,5	1233,5	41	87,5
CH761525 K_11_16ab	- -	937	1527	44	87,5
CH761525 CH761525		1097	1615	44	85
CHARGER K_17_2AB	5A 3B	551	1367	40	72,5
CHARGER K_17_2Ab	5A -	1171	1755	43	82,5
CHARGER K_17_2aB	- 3B	446,5	1467	40	65
CHARGER K_17_2ab	- -	770	1535	40	72,5
CHARGER K_17_17aB-2	- 3B	521	1470,5	39	67,5
CHARGER K_17_17AB	5A 3B	434	1482,5	43	75
CHARGER K_17_17Ab	5A -	884,5	1610	42	82,5
CHARGER K_17_17ab	- -	1288	1712	43	65
CHARGER CHARGER		1414,5	2020	43	67,5

Sorten	QTL	<i>F. culmorum</i>			
		AUDPC.Sev	AUDPC.Inc	B-Datum	WUH.
ENNO K_6_7AB	5A 3B	204	1200	39	87,5
ENNO K_6_7Ab	5A -	436	1330	41	80
ENNO K_6_7aB	- 3B	197,5	1283,5	41	85
ENNO K_6_7ab	- -	547	1377	39	75
ENNO ENNO		535	1500,5	43	85
LUDWIG LUDWIG		980,5	1717,5	44	92,5
LUDWIG K_15_9AB	5A 3B	259	1493,5	43	100
LUDWIG K_15_9Ab	5A -	719	1527	42	90
LUDWIG K_15_9aB	- 3B	579	1595	43	85
LUDWIG K_15_9ab	- -	719,5	1417,5	41	92,5
LUDWIG K_15_16aB-2	- 3B	525	1501	41	87,5
LUDWIG K_15_16aB-1	- 3B	435	1495	42	92,5
LUDWIG K_15_16AB	5A 3B	469	1518,5	42	90
LUDWIG K_15_16Ab	5A -	661	1548,5	44	95
LUDWIG K_15_16ab	- -	701,5	1515	42	90
LUDWIG K_15_12AB	5A 3B	313,5	1493,5	44	100
LUDWIG K_15_12Ab	5A -	439,5	1373,5	43	102,5
LUDWIG K_15_12aB	- 3B	287,5	1373,5	42	92,5
LUDWIG K_15_12ab	- -	731	1541	44	97,5
ORVANTIS ORVANTIS		1282	1877,5	42	72,5
ORVANTIS K_10_9AB	5A 3B	810,5	1597,5	43	75
ORVANTIS K_10_9aB	- 3B	1104,5	1915	43	72,5
ORVANTIS K_10_9ab	- -	967	1567	42	82,5
ORVANTIS K_10_10AB	5A 3B	409	1511	41	75
ORVANTIS K_10_10Ab	5A -	1294,5	1950	43	87,5
ORVANTIS K_10_10aB	- 3B	1315,5	2055	43	80
ORVANTIS K_10_10ab	- -	1375	2055	43	75
P581 P581		780,5	1587,5	43	77,5
P581 K_7_1AB	5A 3B	341	1385	43	85
P581 K_7_1Ab	5A -	441	1434	43	82,5
P581 K_7_1aB	- 3B	547	1468	43	80
P581 K_7_1ab	- -	493	1387	43	87,5
PETRUS PETRUS		571,5	2125	47	90
PETRUS K_22_12AB	5A 3B	256,5	1710	47	95
PETRUS K_22_12Ab	5A -	303	1407	45	95
PETRUS K_22_12aB	- 3B	268	1528,5	46	90
PETRUS K_22_12ab	- -	506	2070	47	90
RITMO_P RITMO_P		1675	2230	47	77,5
RITMO_P K_19_55AB	5A 3B	452,5	1722,5	46	85
RITMO_P K_19_55Ab	5A -	910,5	1740	46	90
RITMO_P K_19_55aB	- 3B	382	1837,5	50	82,5

Sorten	QTL	<i>F. culmorum</i>			
		AUDPC.sev	AUDPC.inc	B-Datum	WUH.
SL-152/90-5 SL-152/90-5		621	1447	42	82,5
SL-152/90-5 K_16_7AB	5A 3B	146	1044	40	82,5
SL-152/90-5 K_16_7Ab	5A -	205,5	1047,5	40	87,5
SL-152/90-5 K_16_7aB	- 3B	323	1470	43	85
SL-152/90-5 K_16_1AB	5A 3B	396	1212	41	85
SL-152/90-5 K_16_1Ab	5A -	392	1240	41	85
SL-152/90-5 K_16_1aB	- 3B	196	1220	41	80
SL-152/90-5 K_16_1ab	- -	591,5	1253,5	41	82,5
SL-152/90-5 K_16_15AB	5A 3B	179,5	1183,5	39	85
SL-152/90-5 K_16_15Ab	5A -	497	1300,5	40	80
SL-152/90-5 K_16_15ab	- -	745	1534	42	80
Standardsorte Arina_orig.		303,5	1503,5	45	92,5
Standardsorte 20816-4		39,5	883,5	46	92,5
TO273755 TO273755		958	1430	44	80
TO273755 K_12_24AB	5A 3B	349,5	1373,5	44	95
TO273755 K_12_24Ab	5A -	333,5	1175,5	41	90
TO273755 K_12_24aB	- 3B	471,5	1373,5	44	90

4.2. Varianzanalysen

Die Varianzanalysen für die Merkmale Befallsstärke, Befallshäufigkeit, Wuchshöhe und Kornbonitur sind in den Tabellen 4.3 bis 4.6 dargestellt.

Tab. 4.3: Varianzanalyse für Befallsstärke (AUDPC_{Sev})

Varianzursache	DF	SS	MS	F-Wert	P-Wert
WH(Isolat)	2	160426,93	80213,46	5,78	0,0036
Isolat	1	13121688,2	13121688,2	945,99	<.0001
Genotyp	95	21082521,2	221921,28	16	<.0001
Genotyp*Isolat	95	5105521,83	53742,34	3,87	<.0001
Fehler	190	2635453,07	13870,81		

Tab. 4.4: Varianzanalyse für Befallshäufigkeit (AUDPC_{Inc}).

Varianzursache	DF	SS	MS	F-Wert	P-Wert
WH(Isolat)	2	546077,63	273038,82	6,78	0,0014
Isolat	1	27782858,1	27782858,1	690,02	<.0001
Genotyp	95	25381399,2	267172,62	6,64	<.0001
Genotyp*Isolat	95	4124916,62	43420,17	1,08	0,328
Fehler	190	7650153,87	40263,97		

Tab. 4.5: Varianzanalyse für Wuchshöhe.

Varianzursache	DF	SS	MS	F-Wert	P-Wert
WH(Isolat)	2	52,60417	26,30208	1,54	0,2173
Isolat	1	876,04167	876,04167	51,26	<.0001
Genotyp	95	35840,625	377,26974	22,07	<.0001
Genotyp*Isolat	95	673,95833	7,0943	0,42	1
Fehler	190	3247,39583	17,09156		

Tab. 4.6: Varianzanalyse für Kornbonitur.

Varianzursache	DF	SS	MS	F-Wert	P-Wert
WH(Isolat)	1	118,75521	118,75521	1,65	0,2015
Genotyp	95	27295,9948	287,32626	4	<.0001
Fehler	95	6819,74479	71,78679		

Für das Merkmal Befallsstärke (AUDPC_{sev}) zeigt die Tabelle 4.3, dass es sowohl einen signifikanten Unterschied zwischen den verwendeten Isolaten gab als auch signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Linien gab. Die Genotyp mal Isolat Interaktion war ebenfalls signifikant, wobei der F-Wert deutlich kleiner als die F-Wert für die beiden Haupteffekte Isolat und Genotyp.

Tabelle 4.4 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Befallshäufigkeit (AUDPC_{inc}). Aus dieser Tabelle sind signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Isolaten und zwischen den untersuchten Linien abzulesen. Die Genotyp mal Isolat Interaktion war nicht signifikant. Die deutet auf eine ähnliche Reaktion der Genotypen mit beiden Isolaten hin.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Wuchshöhe über alle untersuchten Genotypen sind in Tabelle 4.5 zur Darstellung gebracht. Daraus kann man ableiten, dass sowohl einen signifikanten Unterschied zwischen den verwendeten Isolaten gab als auch signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Linien. Die Genotyp mal Isolat Interaktion war nicht signifikant.

Für das Merkmal Kornbonitur, welches nur in dem mit *F. graminearum* inokulierten Experiment erhoben wurde, zeigt die Varianzanalyse (Tabelle 4.5), dass es signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Linien gab.

4.3. Grafische Darstellungen der Mittelwerte

Die Mittelwerte der aller erhobenen Merkmale sind in den Abbildungen 4.1 bis 4.13 dargestellt. In diesen Diagrammen wurden die Mittelwerte für Befallsstärke, Befallshäufigkeit, Kornbonitur und Wuchshöhe der untersuchten Linien bzw. Genotypen im Vergleich zu deren jeweiligem Winterweizen-Elter dargestellt.

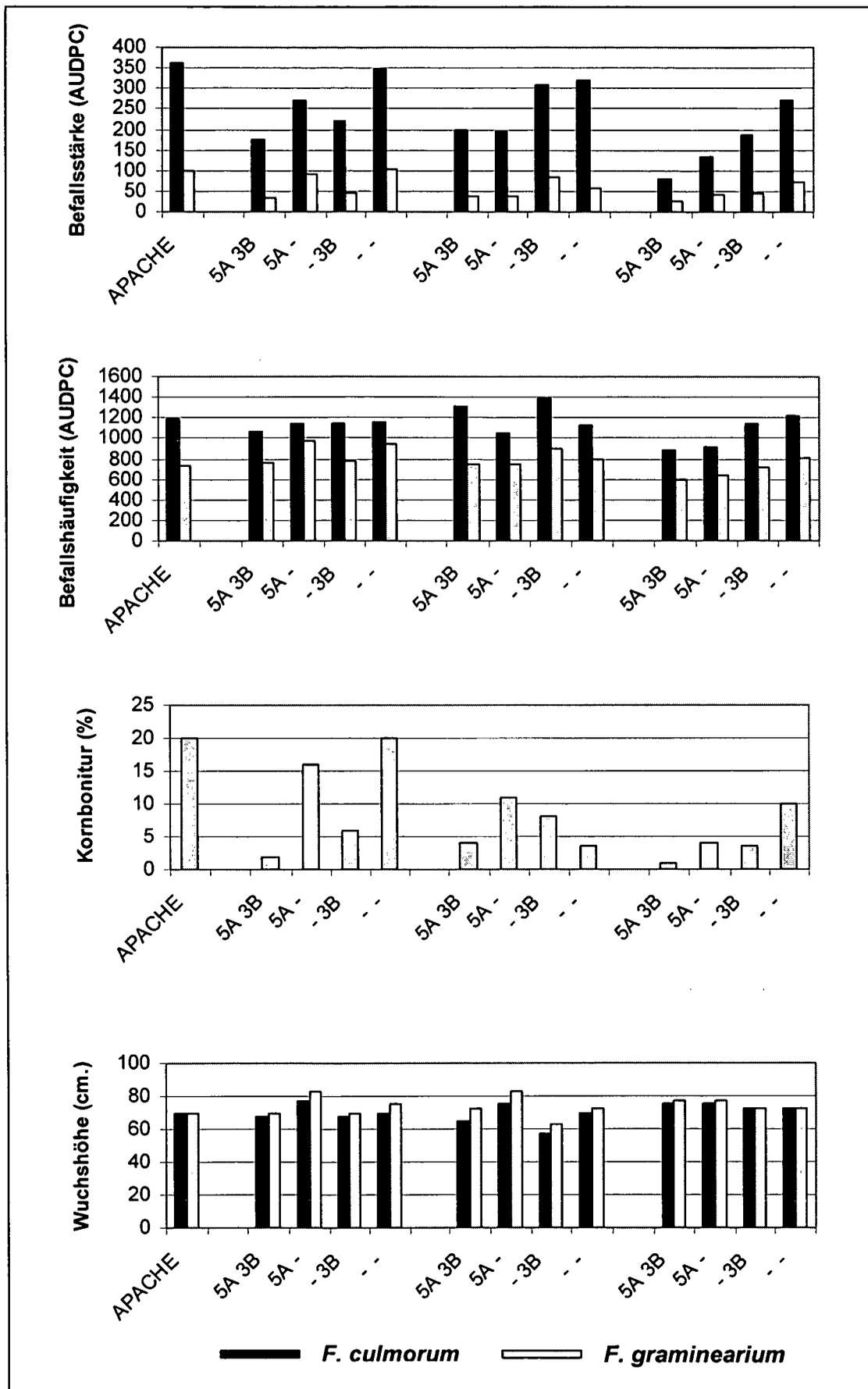


Abb. 4.1: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von APACHE und selektierten BC₂F_{2.4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

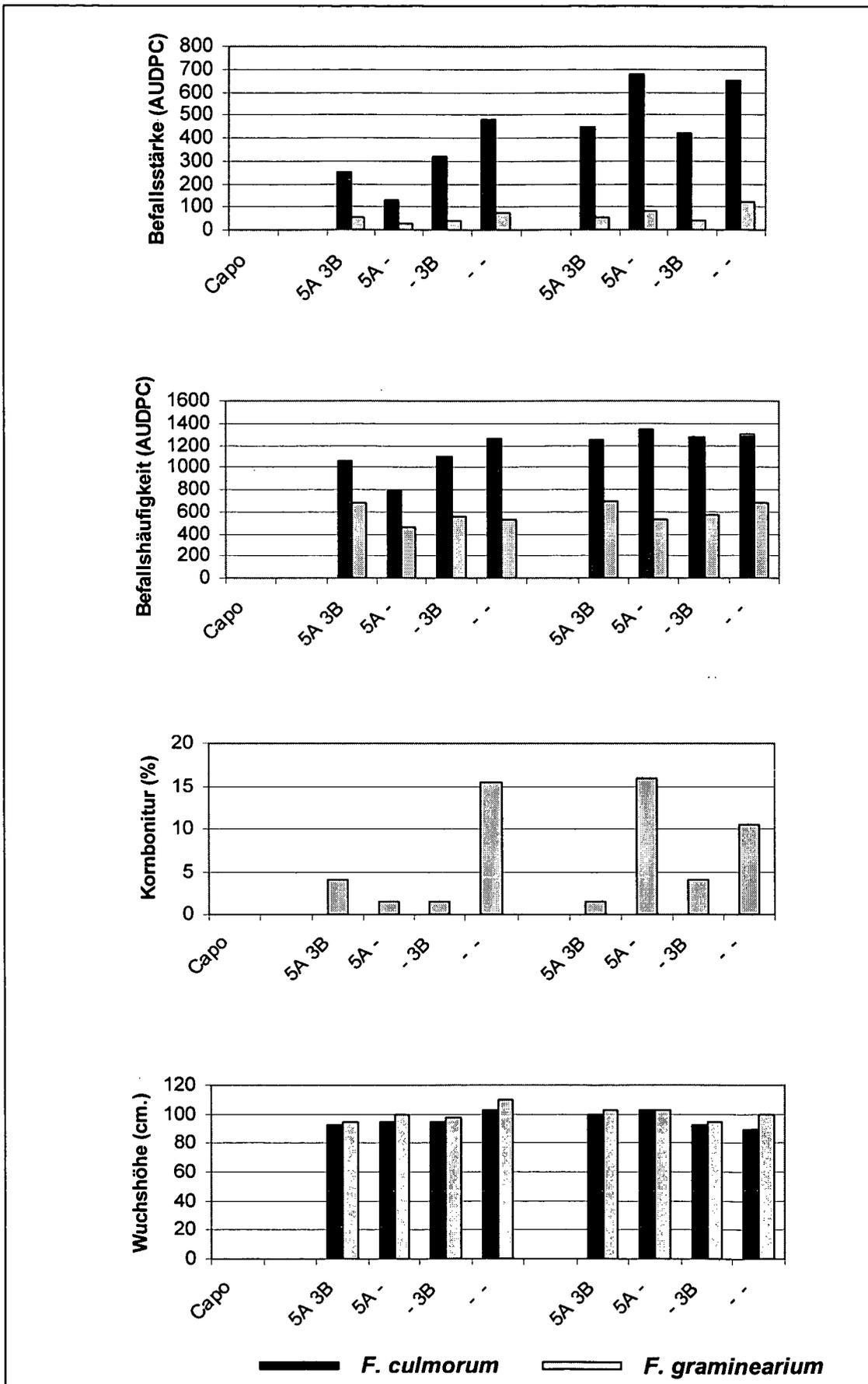


Abb. 4.2: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von Capo und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

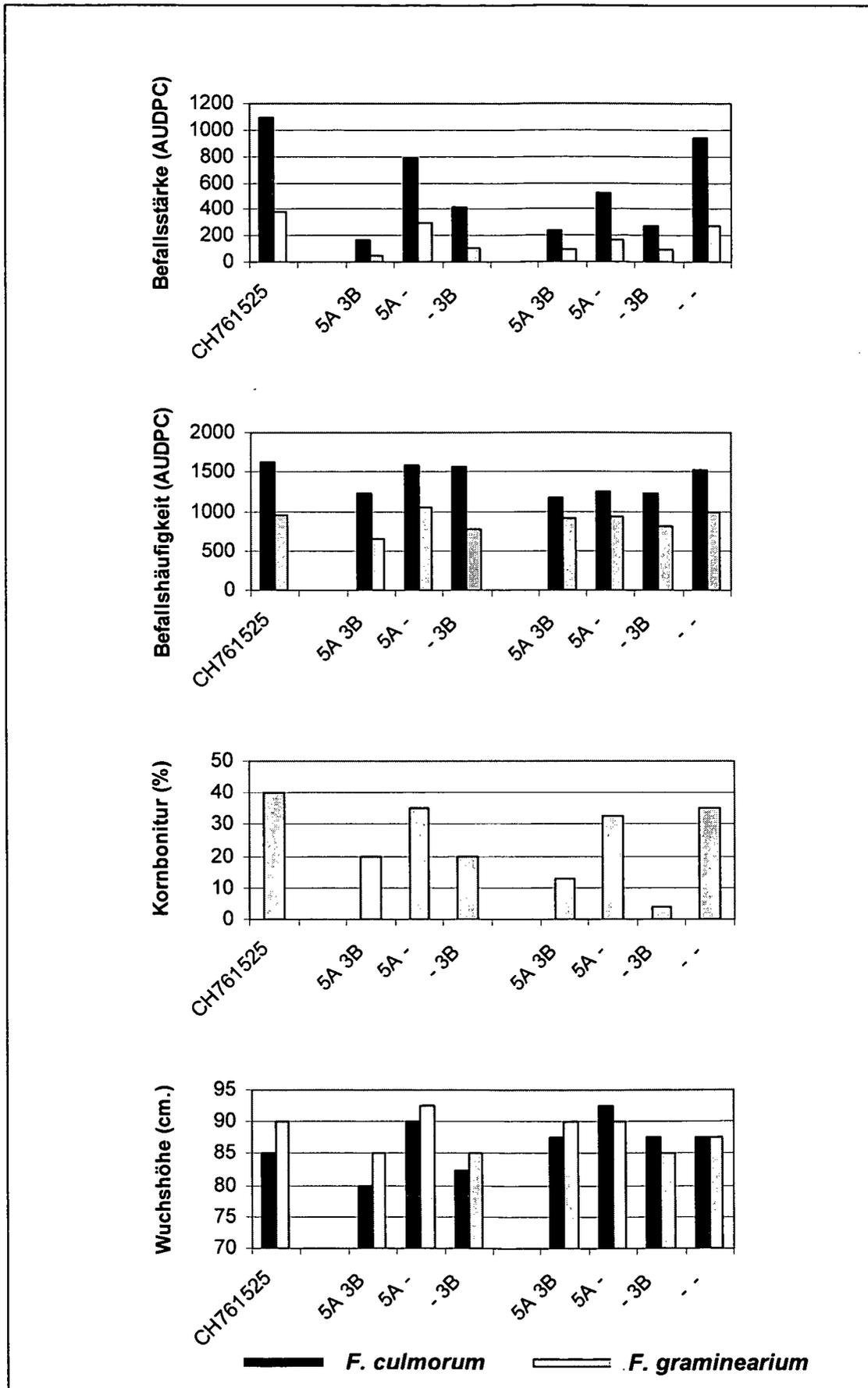


Abb. 4.3: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von CH761525 und selektierten $BC_2F_{2.4}$ Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC_2F_1 Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

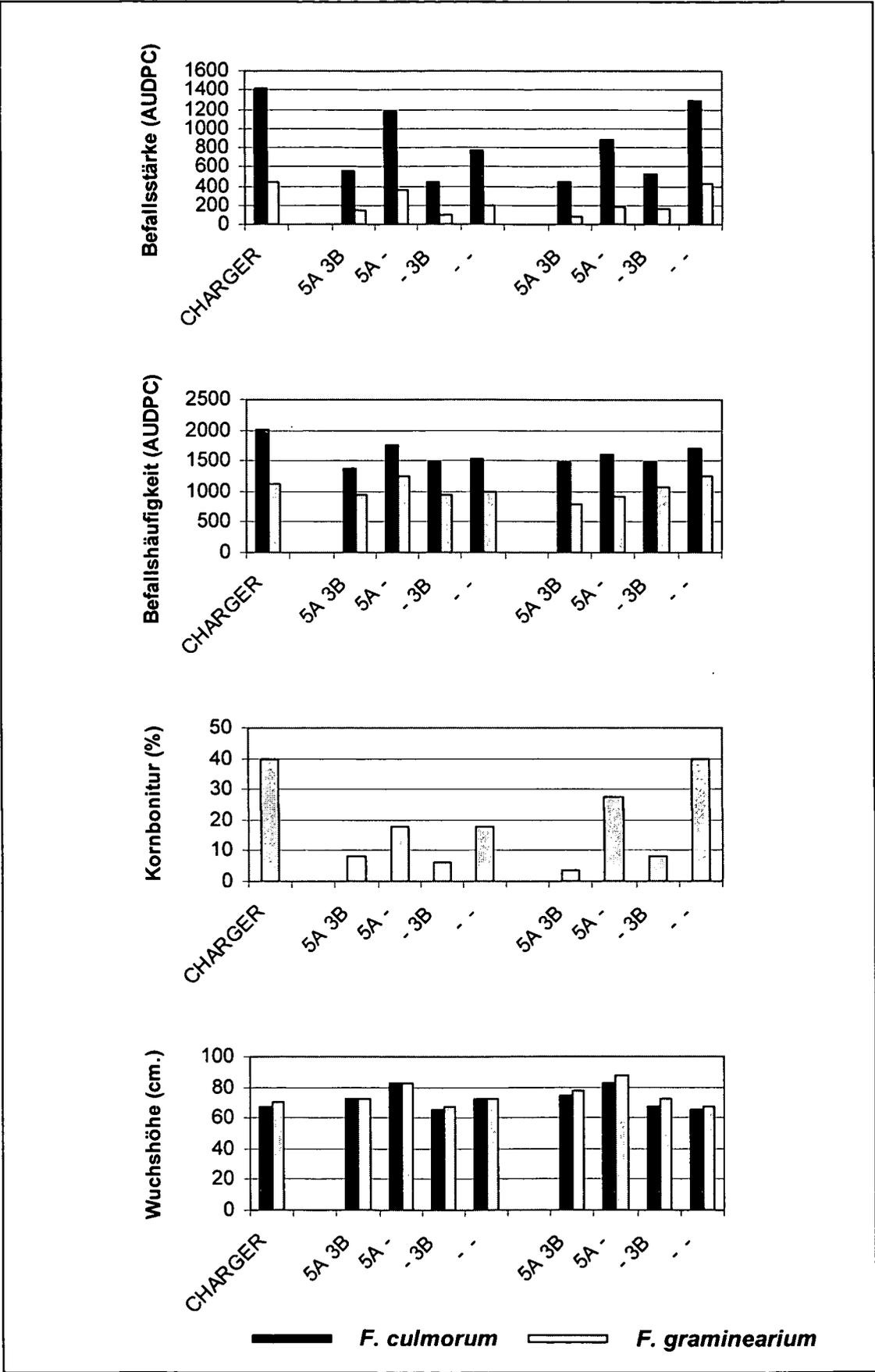


Abb. 4.4: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von CHARGER und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

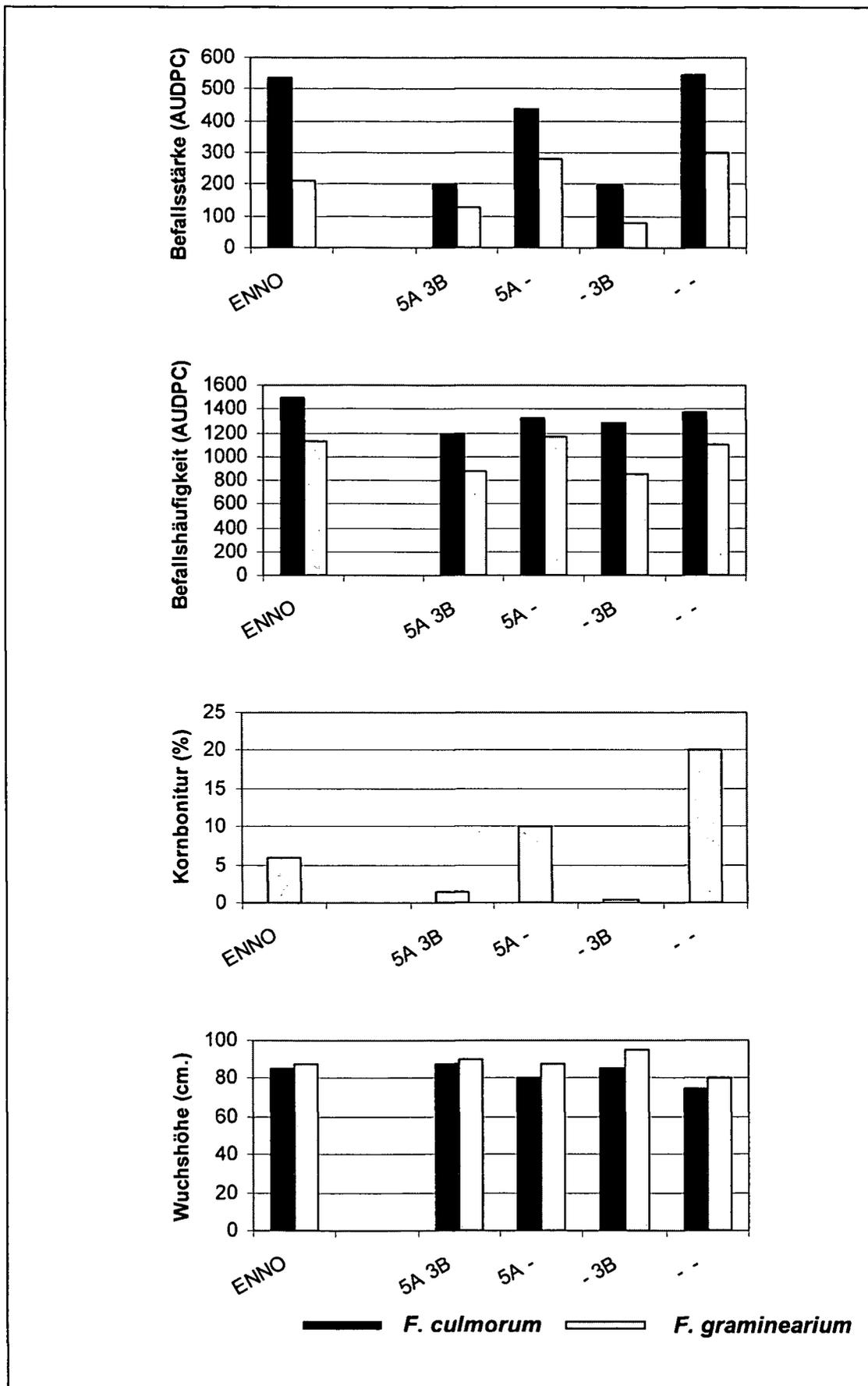


Abb. 4.5: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von ENNO und selektierten $BC_2F_{2:4}$ Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC_2F_1 Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

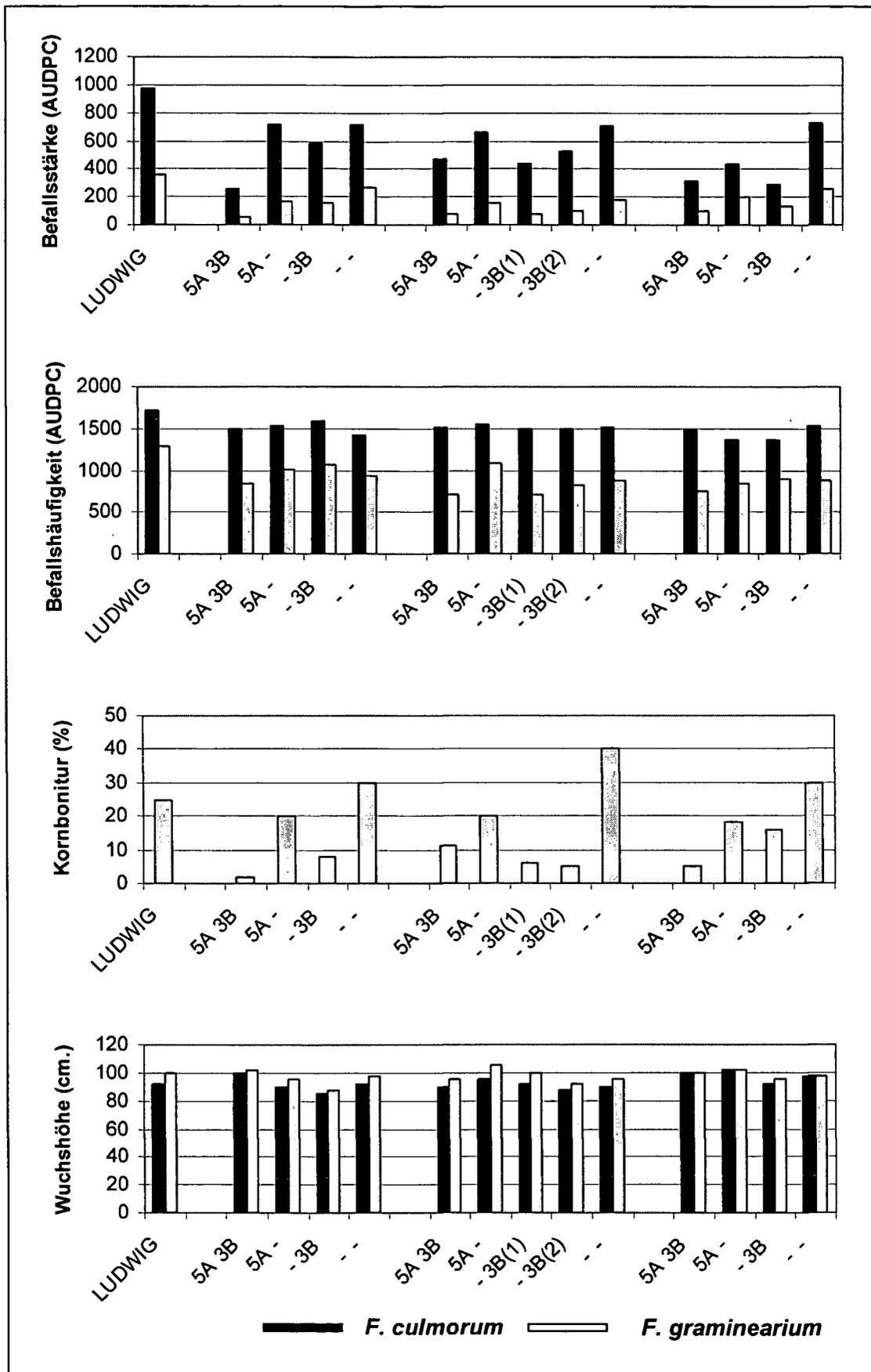


Abb. 4.6: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von LUDWIG und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

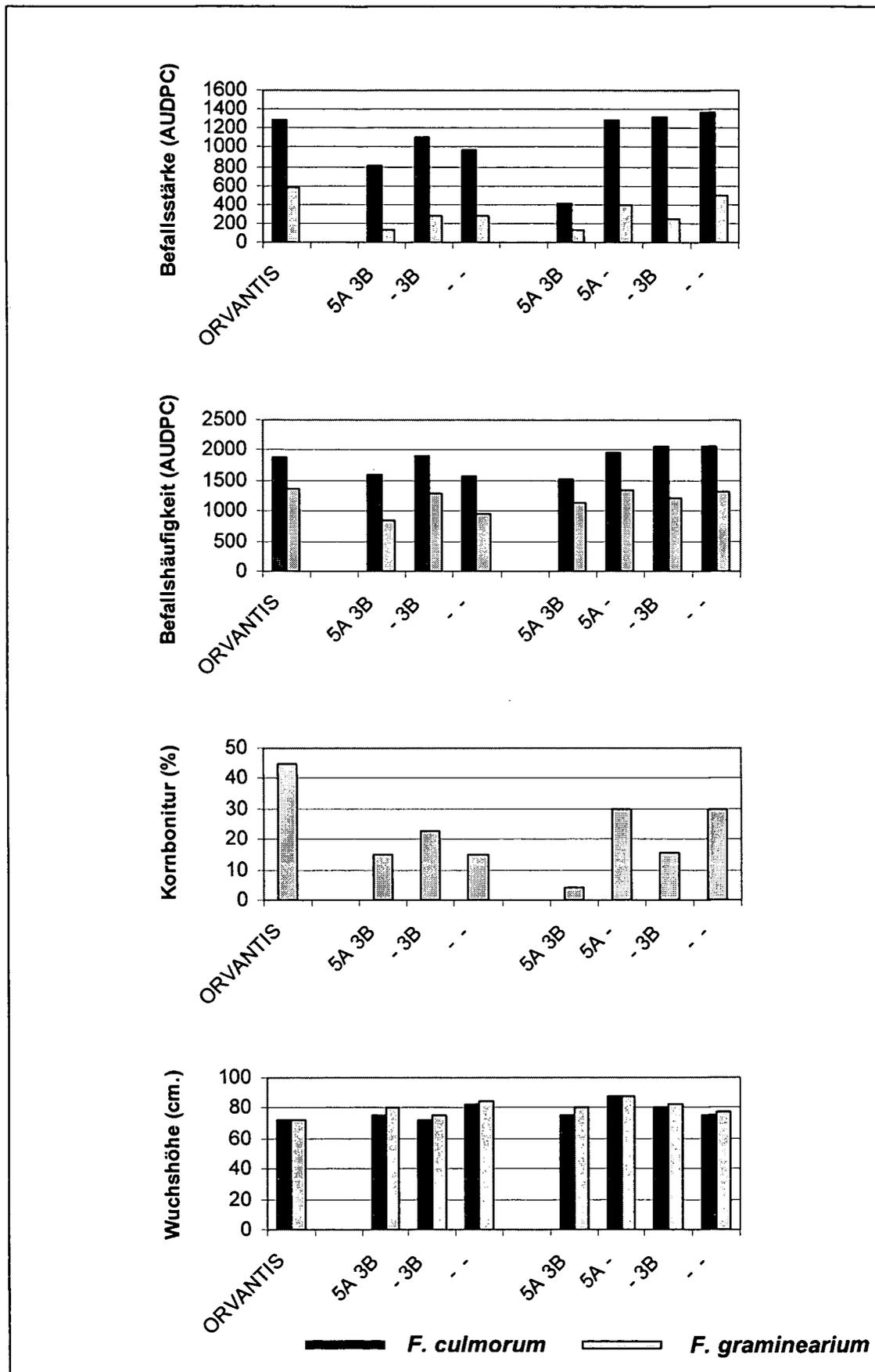


Abb. 4.7: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von ORVANTIS und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

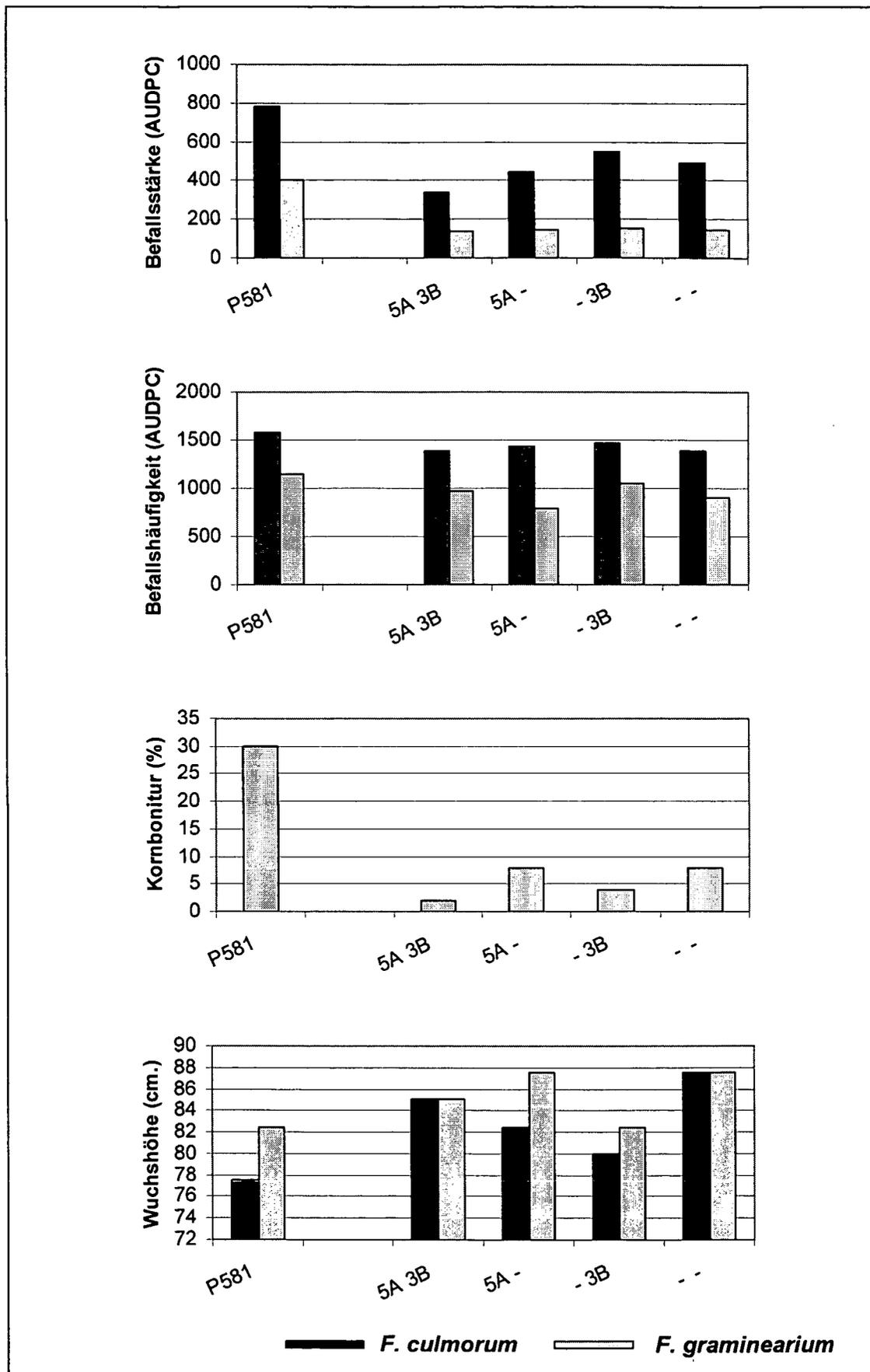


Abb. 4.8: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von P581 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

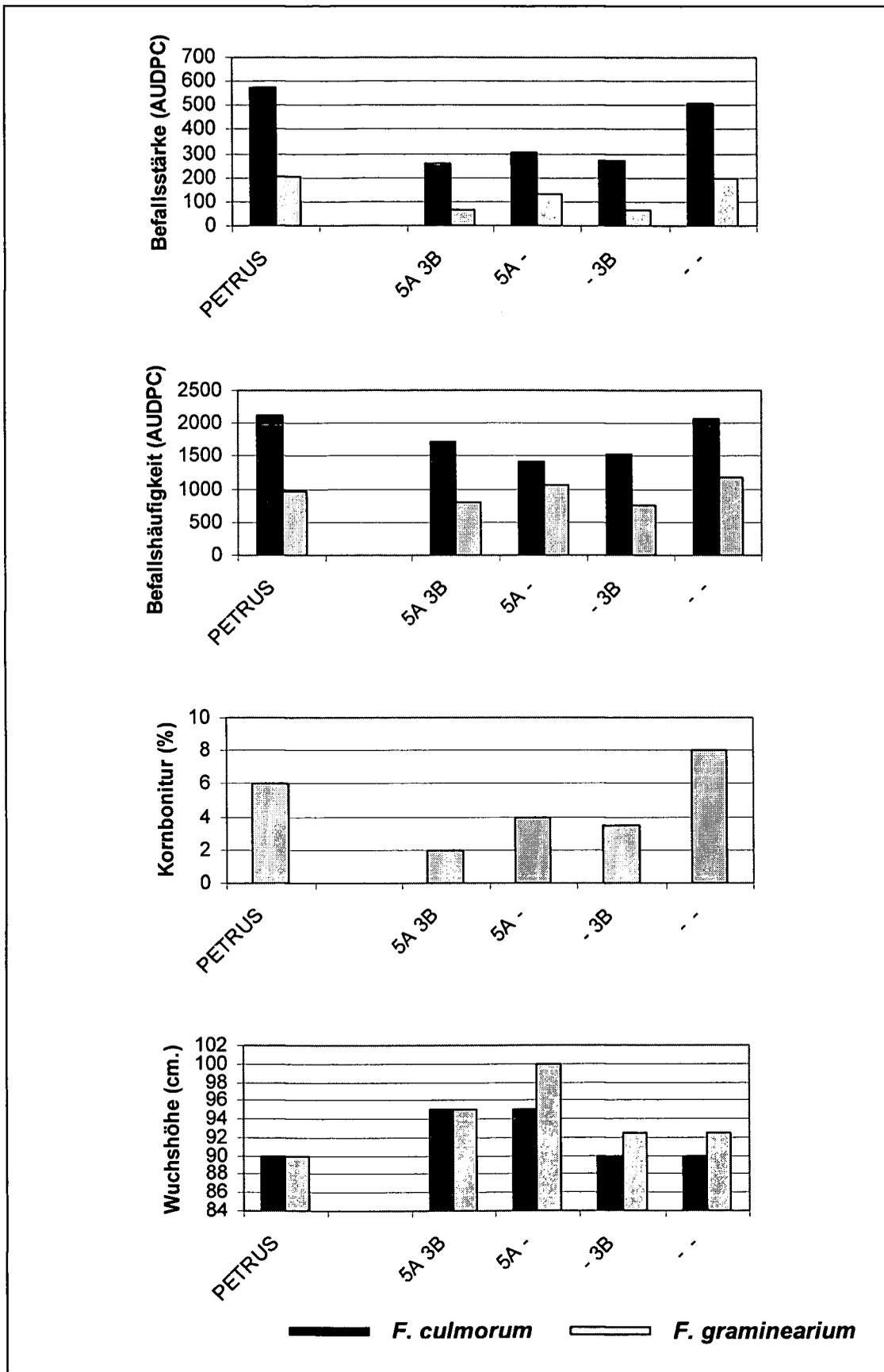


Abb. 4.9: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von PETRUS und selektierten $BC_2F_{2,4}$ Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC_2F_1 Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

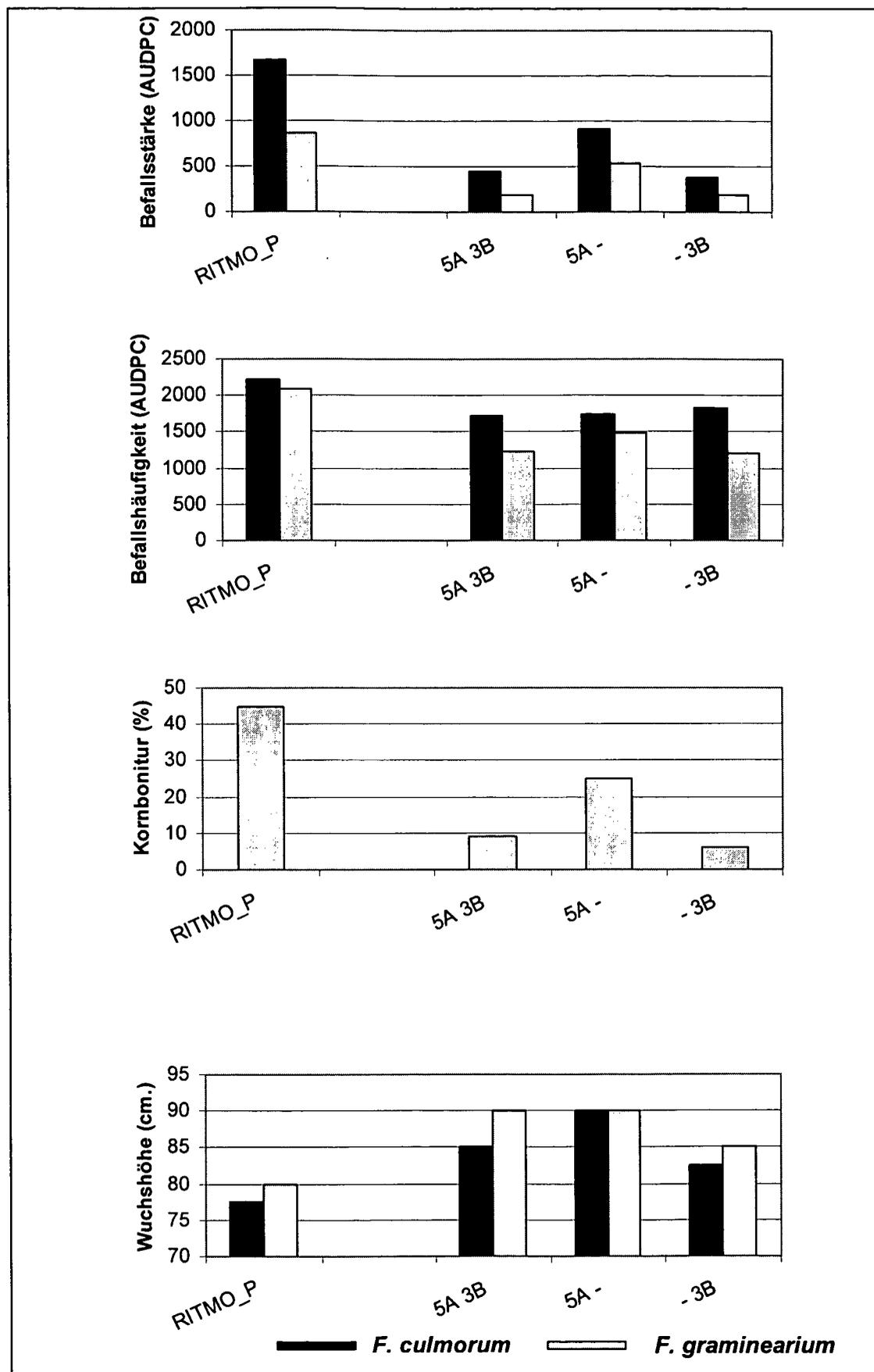


Abb. 4.10: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von RITMO_P und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

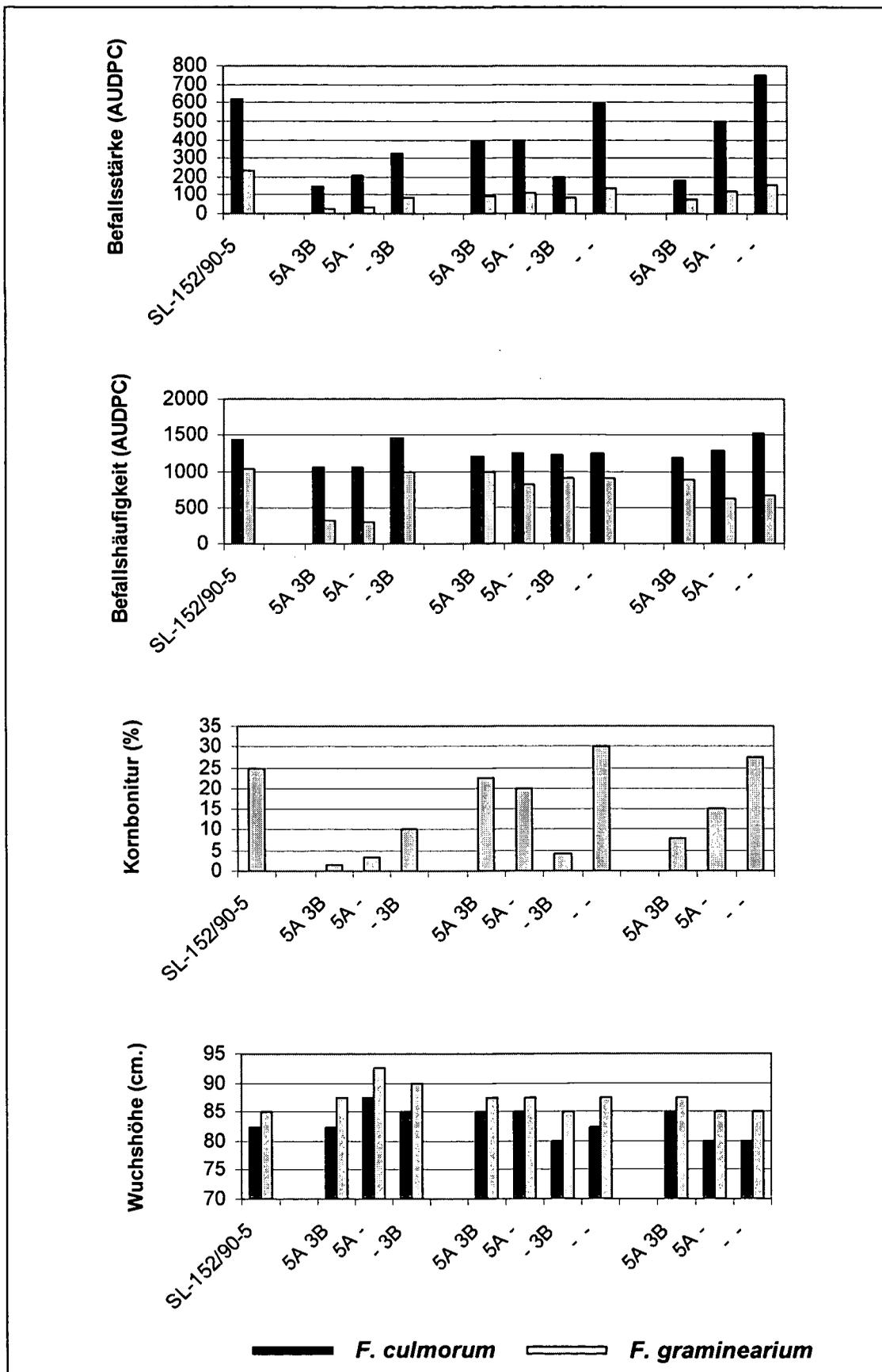


Abb. 4.11: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von SL-152/90-5 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

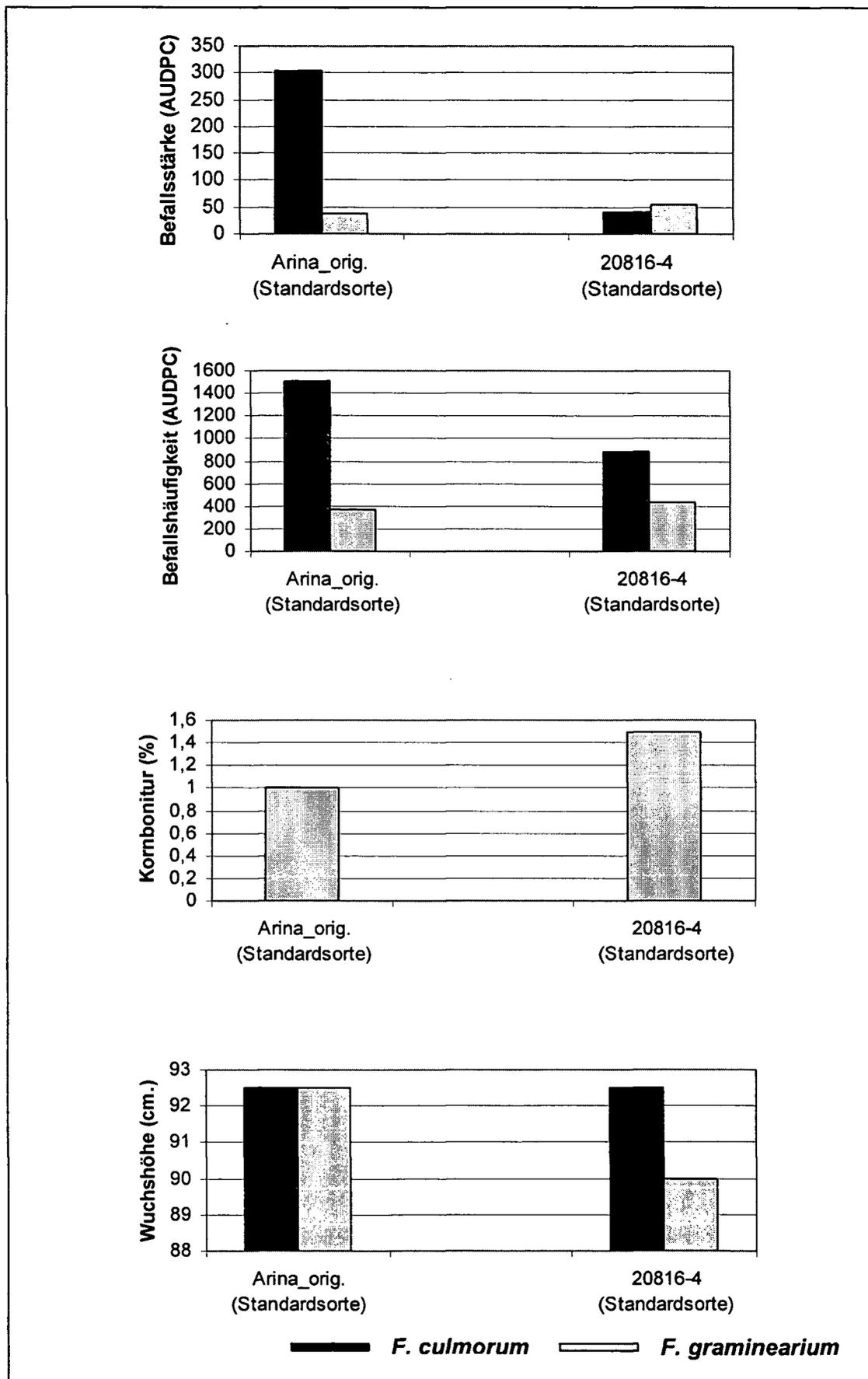


Abb. 4.12: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von (Arina_orig. & 20816-4) und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

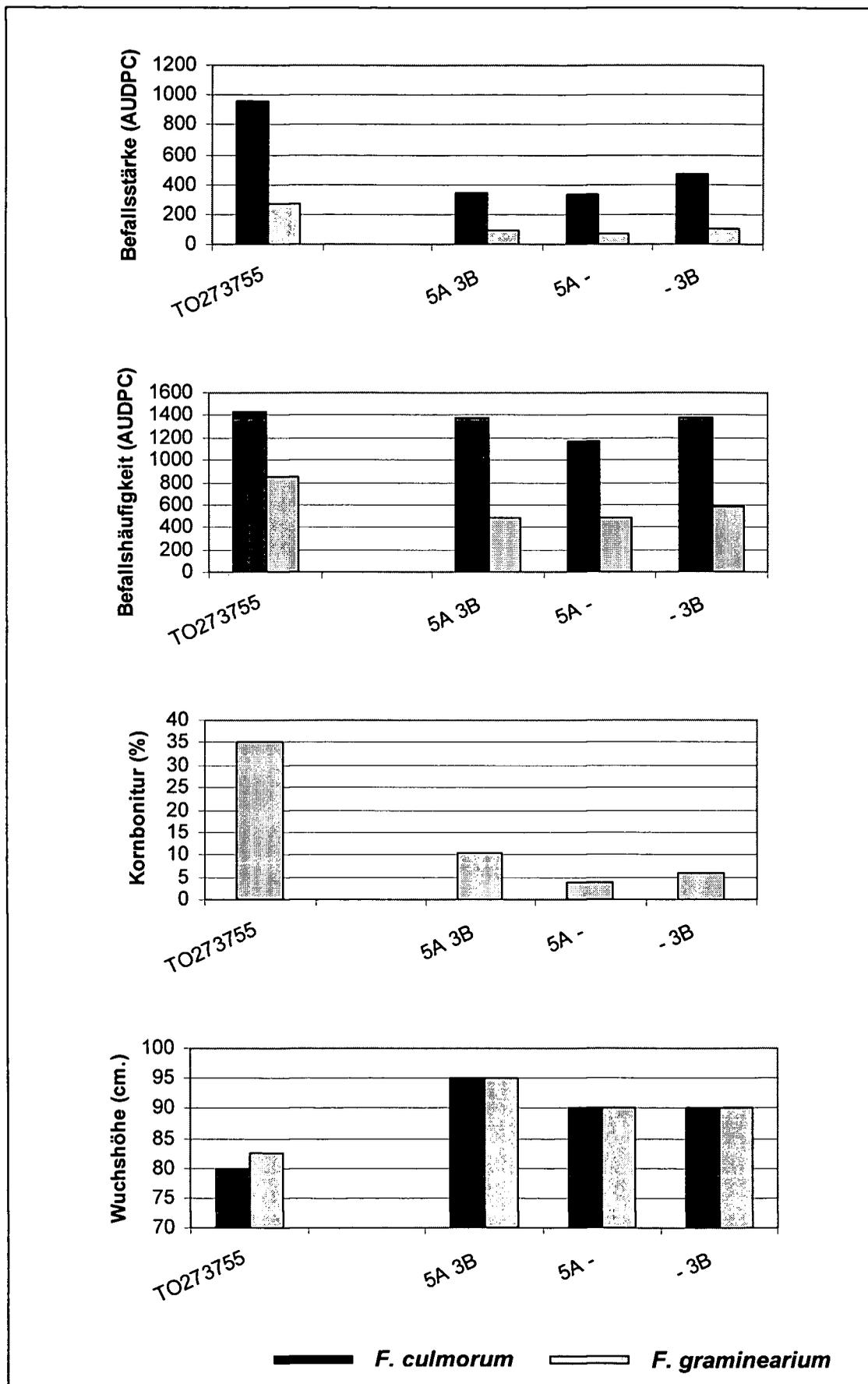


Abb. 4.13: Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von TO273755 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B und 5A. Geschwisterlinien welche von derselben BC₂F₁ Pflanze abstammen sind in den jeweils benachbarten Säulen dargestellt.

Die Abbildungen 4.1 bis 4.13 zeigen deutlich, dass das mittlere Befallsniveau der einzelnen Familien stark vom Resistenzgrad des Winterweizen-Elters abhing. So war beispielsweise der mittlere Befallsgrad der Linien abgeleitet von den moderat resistenten Sorten Apache und Petrus (Tab. 4.1 und 4.9) deutlich geringer als der Befallsgrad jener Linien welche von den hoch anfälligen Sorten Ritmo oder Orvantis abstammen (Abb. 4.7 und 4.10), und zwar sowohl was die Befallsstärke auf den Ähren und den Körnern betrifft als auch was die Befallshäufigkeit betrifft. Ebenso zeigte sich deutlich dass in den meisten der untersuchten Familien jene Linien welche eine Kombination der beiden QTL auf den Chromosomen 3B und 5A tragen deutlich geringere Befallsstärken auf den Ähren und bei der Kornbonitur aufwiesen, wobei zwischen den untersuchten Familien beträchtliche Schwankungen zutage traten. In der Regel hatten jene Linien welche nur einen QTL trugen, entweder 3B oder 5A, geringeren Befall als jene Linien die keinen QTL aufwiesen aber höheren Befall als jene Linien mit beiden QTL kombiniert. Die Befallshäufigkeit zeigte ebenfalls abnehmende Tendenz bei Vorhandensein von einem oder zwei QTL im Vergleich zu den Linien ohne QTL, allerdings war der Effekt der QTL weniger deutlich ausgeprägt als bei Befallstärke und Kornbonitur. Ebenso zeigte sich, dass einzelne Linien mit dem 5A QTL deutlich in der Wuchshöhe über den Elternlinien lagen (z.B. Abb. 4.3, 4.9, 4.11.).

5. Diskussion

Ährenfusariose oder *Fusarium* head blight (FHB) ist eine Pilzkrankheit, der Erreger gehört zur *Fusarium* Gattung, in die Abteilung *Deuteromycotina* und hat viele Arten, die Ährenfusariose an allen Getreidearten verursachen können. Im Weizenanbau kommt dem Ährenbefall die größte Bedeutung zu, da durch den Befall sowohl die Ertragsmenge reduziert als auch die Qualität von Futter- und Nahrungsmitteln beeinträchtigt werden kann (Parry *et al.* 1995, Mesterhazy & Bartok 1996), da *Fusarium* Arten sekundäre Stoffwechselprodukte (sogenannte Mykotoxine) produzieren können. Die Resistenz gegen Ährenfusariose in Weizen ist horizontal, nicht speziesspezifisch (Van Eeuwijk *et al.* 1995). Es wurde beschrieben, dass das resistente Erbplasma des Weizens in drei Genpools geteilt werden kann: Winterweizen aus Osteuropa, Sommerweizen aus China und Japan, und Sommerweizen aus Brasilien und Italien (Mesterhazy 1987, Snijders 1990, Ban & Inagaki 2001).

5.1. Genotypen

In der vorliegenden Arbeit handelte es sich um BC₂F_{2:4} Linien aus der Kreuzung CM82036 mit den europäischen Winterweizensorten: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525 und TO273755. In vorangegangenen Studien wurde der genetische Resistenz-Hintergrund der besagten Genotypen durch die Verwendung molekularbiologischer Methoden untersucht. Mit der Information dieser Ergebnisse wurden vier QTL Klassen gebildet. Die vier Klassen unterschieden sich wie folgt: Klasse 1 hatte zwei QTLs für Ährenfusarioseresistenz ("*Qfhs.ndsu-3B*" und "*Qfhs.ifa-5A*"), Klassen 2 und 3 trugen jeweils nur einen QTL für Ährenfusarioseresistenz ("*Qfhs.ndsu-3B*" bzw. "*Qfhs.ifa-5A*") und Klasse 4 hat die anfälligen Allele auf beiden Loci (Buerstmayr *et al.* 2002). Dazu sollte diese Arbeit dienen, die abgeleiteten Linien von BC₂F_{2:4} auf Ährenfusarioseresistenz (Typ I & Typ II) zu evaluieren sowie den Einfluss von den zwei QTL ("*Qfhs.ndsu-3B*, *Qfhs.ifa-5A*") in nahe-isogenen Linien (NILs) mit unterschiedlichem genetischen Hintergrund abzuschätzen. Künstliche Inokulationen wurden dafür mit zwei Isolaten vorgenommen: *F.graminearum* und *F.culmorum*. Spezifische Resistenzparameter wurden ermittelt: Befallsintensität (Severity), Befallshäufigkeit (Inzidenz), Pflanzenwuchshöhe und Kornbonitur. Die Schätzung des Krankheitsverlaufs erfolgte durch fünf visuelle Feldbonituren.

Um die Genotyp-Umwelt Interaktion gering zu halten wird vorgeschlagen die Inokulationsperiode möglichst kurz zu halten (Parry *et al.* 1995). Aus diesem Grund wurden die Genotypen für den Versuch auf ungefähr gleichen Datums für Blütezeitpunkt ausgewählt; dies machte es möglich, die Inokulationsperiode möglichst kurz zu halten. Die Inokulationen erfolgten in

einer kurzen Zeitspanne und der Umwelt-Einfluss konnte dadurch herabgesetzt zu werden.

Die erste Inokulation wurde durchgeführt, als 50% der Pflanzenähren in jeder Parzelle blühten (Austreten der Antheren im mittleren Ährenabschnitt). Für eine erfolgreiche Infektion ist eine Feuchthaltung von mindestens 24 Stunden notwendig (Parry *et al.* 1995). Im vorliegenden Fall und vor jeder Inokulation wurden die Parzellen kurz bewässert. Nach der Inokulation wurde eine Sprühnebelbewässerung über 20 Stunden durchgeführt.

5.2. Isolate

Snijders und Van Eeuwijk (1991) empfehlen für Krankheitsbewertungen im größeren Umfang ein Inokulum mit höherer Aggressivität. Von den dominierenden *Fusarium*-Spezies sind *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* am pathogensten (Wilcoxson *et al.* 1988). Bei diesem Versuch wurden zwei Isolate von *Fusarium* spp. verwendet, das *F. graminearum*-Isolat „IFA65“ und das *F. culmorum*-Isolat „IPO 39-104“ und es zeigte sich, dass die Entwicklung der Ährenfusarioser-Symptome bei *F. culmorum* inokulierten Linien schneller als bei *F. graminearum* inokulierten Linien war. Es ist vorgeschlagen worden, dass bei den niedrigeren Temperaturen *F. culmorum* Konidien mehr Fähigkeit als *F. graminearum* zu wachsen haben. Weil *F. culmorum* die Fähigkeit hat im Vergleich zu *F. graminearum* und *F. avenaceum* sich an kühle Temperaturen anzupassen, dominiert diese in den moderaten bis kühlen Klimabereichen, wo Weizen, Gerste und Hafer angebaut werden (Mathur & Cunfer 1993; Mesterhazy 2001). Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Isolaten und das heißt, in dieser Studie das *F. culmorum* Isolat mehr Aggressivität als das *F. graminearum* Isolat hatte. Dieses Ergebnis widerspricht der Meinung, dass *F. graminearum* am aggressivsten ist (Velluti *et al.* 2000). Es scheint daher, dass die Umweltbedingungen eine entscheidende Rolle für die Aggressivität spielen. Der Aggressivitätsunterschied zwischen den Isolaten hat allerdings die Rangreihung der untersuchten Weizenlinien für den Befallsgrad nur wenig verändert.

5.3. Evaluierung der Ährenfusarioseresistenz

5.3.1. Krankheitsbewertung

Ährenfusarioseresistenz kann durch Befallsstärke (severity = Kombination von Typ I & II Resistenz), Befallshäufigkeit (Inzidenz = Typ I Resistenz) und andere Parameter bewertet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden vier Parameter erhoben: Befallsstärke, Befallshäufigkeit, Kornbonitur und Pflanzenwuchshöhe.

Resistente Linien aus Asien zeigen zwar ein hohes Resistenzniveau, besitzen aber auch eine Reihe unerwünschter agronomischer Merkmale wie zum Beispiel geringen Ertrag. Daher sind diese Linien für die Züchtung von Hochleistungssorten nicht so gut geeignet wie europäische Sorten (Schmolke *et al.* 2005).

Die BC₂F_{2.4} Linien aus der Kreuzung CM82036 mit den europäischen Winterweizensorten: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525 und TO273755 haben unterschiedlichen genetischen Hintergrund für Ährenfusarioseresistenz. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass keine Immunität oder komplette Ährenfusarioseresistenz in irgendwelchen untersuchten Linien gefunden wurde, was mit der Literatur gut übereinstimmt (z. Bsp. Buerstmayr *et al.* 1996).

Die Ährenfusarioseresistenz ist ein kompliziertes Merkmal in Weizen und eine beträchtliche Zahl von Genomregionen scheint mit Ährenfusarioseresistenz verbunden zu sein (Bai *et al.* 2000 & Steiner *et al.* 2004). In diesem Experiment waren alle elterlichen Winterweizensorten, mittel anfällig bis hoch empfindlich. APACHE war die resistentste Sorte und RITMO war die anfälligste.

Die Befallsstärke und die Befallshäufigkeit der abgeleiteten Linien, welche die beiden QTL (3B und 5A) gemeinsam aufwiesen, waren niedriger als wenn nur ein QTL (3B oder 5A) vorlag. Jene Linien die keinen QTL (weder 3B noch 5A) trugen hatten die höchste Befallsstärke, was mit den Ergebnissen von Salameh (2005) übereinstimmt. In dieser Arbeit zeigten die beiden QTL 3B und 5A, die aus CM82036 abgeleitet sind, einen signifikanten Einfluss auf die Reduzierung der Befallsstärke bei allen Winterweizenlinien. Das Vorhandensein von zwei QTL, (3B und 5A) in den Rückkreuzungslinien hat die Befallshäufigkeit und Befallsstärke somit wesentlich reduziert.

Innerhalb der gleichen Familie war der Effekt von zwei QTL (3B und 5A) hoch im Vergleich mit dem Vorhandensein von nur einem QTL (3B oder 5A) oder mit der Abwesenheit der beiden QTLs NILs höher. Dies stimmt mit der Literatur gut überein (Bai *et al.* 2000, Zhou *et al.* 2003, Liu *et al.* 2005).

Der Effekt des QTL in den abgeleiteten Linien war nicht immer in der gleichen Richtung. Manche Linien, die keine QTLs haben, zeigten weniger Befallsstärke als die Linien mit einem QTL, Auch innerhalb einiger Familien, waren die Linien mit einem einzelnen QTL resistenter als die Linien mit der Kombination von zwei QTLs. Dies könnte wahrscheinlich auf den Effekt der Umweltbedingungen zurückzuführen sein. Ebenso könnte in solchen Linien eine Rekombination zwischen den Markern und den QTL erfolgt sein.

5.3.2. Kornbonitur

Nach (Rudd *et al.* 2001) könnten mehrere Parameter für die Beurteilung des den Kornbefalls herangezogen werden, wie beispielsweise relative Kornzahl, relatives spezifisches Gewicht, relativer Ertrag und Prozentanteil erkrankter Körner.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Anteil der erkrankten Körner für jede ausgedroschene Parzelle der mit *F. graminearum* inokulierten Linien abgeschätzt. Die allgemeine Tendenz war, dass der Prozentanteil erkrankter Körner in den abgeleiteten Linien, die zwei QTL (3B und 5A) haben, niedriger war als in den Linien, die nur einen QTL (3B oder 5A) haben. Bei den Linien die keinen QTL aufwiesen war der Kornbefall am höchsten.

5.3.3. Wuchshöhe

Die Pflanzenwuchshöhe spielt eine bedeutende Rolle in der Anfälligkeit einer Sorte (Mesterhazy 1995). Erhöhte Anfälligkeit von niedrigen Pflanzen wird durch Regentropfen, die von der Bodenoberfläche zurückprallen und in 40 – 60 cm Bodenoberfläche auftreffen, bedingt (Mesterhazy 1995, Adolf 1998). Das heißt, die Ähren niedriger Pflanzen sind für ausgeschleuderte Ascosporen oder mit Wassertropfen verbreitete Konidien leichter erreichbar. Mesterhazy (1995) berichtet über eine erhöhte Anfälligkeit von Genotypen < 70 cm. Wuchshöhe im Vergleich zu großwüchsigeren (> 100 cm).

In diesem Versuch wurde das Wuchshöhemittel jeder Parzelle von der Bodenoberfläche bis zur Ährenspitze gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass das Vorhandensein des QTL auf Chromosom 5A die Pflanzenwuchshöhe um 5 – 15 cm im Vergleich zu den rekurrenten Winterweizen-Eltern erhöhte. Möglicherweise ist der QTL für Ährenfusarioseresistenz aus der Linie CM-82036 gekoppelt mit einem oder mehreren Genen für erhöhte Wuchshöhe am gleichen Chromosom.

Alles in allem zeigten die durchgeführten Untersuchungen, dass durch die Übertragung von Resistenz- QTL aus Sommerweizen das Resistenzniveau von Winterweizen deutlich verbessert werden konnte. Moderat resistente Winterweizen-Genotypen reagierten ebenso mit einer Verminderung des Befallsgrades im Vergleich zur rekurrenten Sorte wie anfällige Winterweizen, wenn einer oder noch besser zwei QTL eingelagert wurden. Der aufgezeigte Weg, nämlich die markergestützte Einkreuzung von wirksamen QTL aus Sommerweizen in Winterweizen-Sorten, scheint daher sinnvoll um für die praktische Züchtung brauchbares neues Zuchtmaterial zu entwickeln.

6. Zusammenfassung

Ährenfusariose (*Fusarium* head blight FHB) ist eine bedeutende Pilzkrankheit, die alle Getreidearten befallen kann. Bei Weizen ist Ährenfusariose aufgrund von Ertragseinbußen und Qualitätsverminderung des Ernteguts durch Mykotoxinbildung eine der wichtigsten Weizenkrankheiten der Welt und hat eine große Bedeutung in den feuchten Weizenanbaugebieten insbesondere wenn die Blütezeit des Weizens von feuchter und warmer Witterung begleitet wird.

Die Sommerweizenlinie CM82036 ist eine interessante Resistenzquelle für Ährenfusariose und wurde bereits (2003 – 2005) am IFA Tulln mit verschiedenen europäischen Winterweizensorten und -linien gekreuzt. Eine Serie von BC₂ abgeleiteten Linien aus dieser Kreuzung wurde entwickelt. Mit der Hilfe von SSR-Markern nach jeder Rückkreuzung wurden heterozygote Pflanzen für "*Qfhs.ndsu-3B*" und "*Qfhs.ifa-5A*" selektiert. Durch Selbstbefruchtung der BC₂F₁ Pflanzen wurden am Ende homozygote Pflanzen mit vier QTL Kombinationen (*Qfhs.ndsu-3B* und *Qfhs.ifa-5A*; *Qfhs.ndsu.3B*; *Qfhs.ifa-5A*; kein QTL) gewonnen.

In der vorliegenden Arbeit handelte es sich um BC₂F_{2:4} Linien aus der Kreuzung CM82036 mit den europäischen Winterweizensorten: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525 und TO273755. Ziel dieser Arbeit war es: Evaluierung von abgeleiteten Linien von BC₂F_{2:4} auf Ährenfusarioseresistenz (Typ I & Typ II) und Schätzung der Einflüsse von den zwei QTL ("*Qfhs.ndsu-3B*, *Qfhs.ifa-5A*") in nahe-isogenen Linien (NILs) mit unterschiedlichem genetischen Hintergrund (anfällig bis moderat resistent). Dafür wurden die Linien mit zwei Isolaten von *Fusarium* spp. (*F.graminearum* und *F.culmorum*) künstlich inokuliert und auf ihre Ährenfusarioseresistenz geprüft. Zwei spezifische Resistenzparameter wurden ermittelt: Befallsintensität (= Severity) und Befallshäufigkeit (= Inzidenz). Die Schätzung des Krankheitsverlaufs erfolgte durch fünf visuelle Feldbonituren. Zusätzliche Parameter wie Pflanzenwuchshöhe und Kornbonitur wurden bestimmt. Die Fläche unter der Krankheitsverlaufskurve (AUDPC) wurde errechnet, um das Ausmaß des Befalls bestimmen zu können.

Die Ergebnisse zeigten, dass das verwendete *F. culmorum* Isolat höhere Befallsstärke als das *F. graminearium* Isolat bewirkte, die Rangreihung der untersuchten Genotypen blieb allerdings weitgehend unverändert. Als allgemeiner Trend war die Befallsstärke der abgeleiteten Linien, die die beide QTL (3B und 5A) trugen, niedriger als wenn nur ein QTL (3B oder 5A) vorhanden war. Linien die keinen der beiden QTL (weder 3B noch 5A) aufwiesen, zeigten die höchste Befallsstärke. Ähnlich waren die Ergebnisse für die Merkmale Befallshäufigkeit und Kornbonitur. Beim Merkmal Wuchshöhe führte die Anwesenheit des QTL auf Chromosom 5A zu einer erhöhten Pflanzenwuchshöhe von 5 – 15 cm. im Vergleich zu den Eltern. Ursache dafür ist möglicherweise die Kopplung der Gene für Wuchshöhe.

6. Abstract

Fusarium head blight (FHB) is an important fungal disease which can infest all species of cereals. FHB of wheat is due to yield loss and quality impairment of the grains by mycotoxins formation one of the most important serious wheat diseases of the world and has a great importance in humid areas of wheat cultivation in particular when the flowering time of wheat is accompanied by humid and warm weather.

The spring wheat cultivar CM82036 is a promising source of resistance for FHB and was already crossed at IFA Tulln (2003 – 2005) with different European winter wheat cultivars and lines. A series of BC₂ derived lines from this crossing was developed. With the assistance of SSR-markers after each back crossing heterozygous plants were selected for "*Qfhs.ndsu-3B*" and "*Qfhs.ifa-5A*" and by selfing of the BC₂F₁ plants, homozygous plants were obtained for the four possible combinations of two QTL (*Qfhs.ndsu-3B* and *Qfhs.ifa-5A*; *Qfhs.ndsu.3B*; *Qfhs.ifa-5A*; no QTL).

This study concerns BC₂F_{2:4} lines derived from the crosses of CM82036 with European winter wheat cultivars: Capo, Ludwig, Augustus, Petrus, Enno, Apache, Orvantis, Ritmo, Charger, CH761525, and TO273755. The objective of this study was to evaluate the FHB resistance (Type I & Type II) of derived BC₂F_{2:4} lines and the estimation of the influences of the two QTL ("*Qfhs.ndsu-3B*, *Qfhs.ifa-5A*") in near isogenic lines (NILs) with different genetic backgrounds. Therefore, the lines were artificially inoculated with two isolates of *Fusarium* spp. (*F.graminearum* and *F.culmorum*) and examined for FHB resistance. Two specific resistance parameters were determined: disease severity and disease incidence. The estimation of the disease progress was done by five visual field ratings. Additional parameters such as plant height and grain damage were determined. The area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated, in order to be able to determine the extent of the infestation.

The results showed that the used *F. culmorum* isolate caused higher FHB severity than the *F. graminearium* isolate, but the ranking of the lines was similar. The FHB severity of the derived lines, which have the two QTL (3B and 5A) combined, was lower than the case when only one QTL (3B or 5A) was present. Lines with no QTL (neither 3B nor 5A) developed the highest FHB severity. Similar results were obtained for *Fusarium* incidence and seed rating. For plant height the influence of the exclusive presence of QTL 5A was rather clear because such lines had a plant height increase of 5 - 15 cm. compared with their winter wheat parent. Possibly linkage of plant height genes with FHB resistance genes is responsible for this finding.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Auszug verschiedener Nahrungssorten – Pro Kopf Kalorien Einnahmewerte (2001 – 2003).....	8
Tabelle 2.2: Die 20 größten Weizen- produzierenden Länder / Preisvergleich (2005).	9
Tabelle 2.3: Moderne Klassifikation der Kultur- und Wildformen von Weizen.	12
Tabelle 2.4: Chemische Komponente eines ganzen Weizenkorns und dessen verschiedenen Teile.	13
Tabelle 2.5: <i>Fusarium</i> - Arten mit ihren Hauptfruchtform.	14
Tabelle 2.6: Die bedeutendsten Mykotoxine bildende <i>Fusarium</i> - Arten von Ährenfusariose.	22
Tabelle 3.1: Die europäischen Winterweizensorten, die als rekurrente Eltern verwendet wurden, ihre Herkünfte, FHB Resistenz, Wuchshöhe und Reife.	26
Tabelle 3.2: Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen am Versuchsfeld in der Saison 2005/2006.	30
Tabelle 3.3: Boniturschema von befallenen Ährchen pro Ähre für Typ I & II Resistenz (Severity).	33
Tabelle 3.4: Bewertungsschema für die Kornbonitur.....	34
Tabelle 4.1: Mittelwerte für Befallsstärke (AUDPC _{sev}), Befallshäufigkeit (AUDPC _{sev}), Kornbonitur (K-Bonitur), Blütezeitpunkt (B-Datum in Tagen nach dem 1. Mai) und Wuchshöhe (WUH. in cm.) von den <i>F.graminearium</i> - inokulierten elterlichen Sorten und ihren abgeleiteten Linien, die in vier QTL Klassen eingeteilt wurden..	36
Tabelle 4.2: Mittelwerte für Befallsstärke (AUDPC _{sev}), Befallshäufigkeit (AUDPC _{sev}), Blütezeitpunkt (B-Datum in Tagen nach dem 1. Mai) und Wuchshöhe (WUH. in cm.) von den <i>F.culmorum</i> - inokulierten elterlichen Sorten und ihren abgeleiteten Linien, die in vier QTL Klassen eingeteilt wurden.	39

Tabelle 4.3: Varianzanalyse für Befallsstärke (AUDPC_{sev}).....	42
Tabelle 4.4: Varianzanalyse für Befallshäufigkeit (AUDPC_{inc}).....	42
Tabelle 4.5: Varianzanalyse für Wuchshöhe.....	42
Tabelle 4.6: Varianzanalyse für Kornbonitur.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Weltproduktion an Getreide und ihre Anteile (2005).....	9
Abb. 2.2: Allopolyploidie beim Weizen und <i>Triticale</i>	10
Abb. 2.3: Querschnitt durch ein Weizenkorn.	13
Abb. 2.4: Zellschichten innerhalb des Weizenkornes.	13
Abb. 2.5: Makrokonidien von <i>F. graminearum</i>	15
Abb. 2.6: Makrokonidien von <i>F. culmorum</i> . ..	15
Abb. 2.7: Makrokonidien von <i>F. avenaceum</i> . ..	15
Abb. 2.8: Symptome auf Ähren.	16
Abb. 2.9: Symptome auf Körnern. ..	16
Abb. 2.10: Befallszyklus von FHB verursacht durch <i>Fusarium</i> ssp.. ..	17
Abb. 2.11: Strukturformel von DON.	20
Abb. 2.12: Strukturformel von ZON. ..	20
Abb. 2.13: Strukturformel von Fumonisine. ..	21
Abb. 3.1: Markergestützte Selektion für die Entwicklung von BC ₂ F ₂ abgeleiteten Linien mit unterschiedlicher Kombination von zwei QTL (3B,5A) für Ährenfusarioseresistenz . .	27
Abb. 3.2: Inokulation und Bonitur von BC ₂ F _{2:4}	28
Abb. 3.3: Durchschnittlicher Temperaturverlauf (°C) und Niederschlagsmengen (mm) in der Vegetationsperiode 2005/06. .	29
Abb. 3.4: Methode der Sprühinokulation.	31
Abb. 3.5: Nebelbewässerungsanlage.	31
Abb. 3.6: Tagestemperaturmittel (°C) und Feuchte (%) während der Inokulationsperiode 2006.	32

- Abb. 4.1:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von APACHE und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 44
- Abb. 4.2:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von Capo und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 45
- Abb. 4.3:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von CH761525 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 46
- Abb. 4.4:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von CHARGER und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 47
- Abb. 4.5:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von ENNO und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 48
- Abb. 4.6:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von LUDWIG und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 49
- Abb. 4.7:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von ORVANTIS und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 50
- Abb. 4.8:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von P581 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 51
- Abb. 4.9:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von PETRUS und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 52

-
- Abb. 4.10:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von RITMO und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 53
- Abb. 4.11:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von SL-152/90-5 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 54
- Abb. 4.12:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von Arina & 20816-4 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz- QTL 3B & 5A. 55
- Abb. 4.13:** Mittelwerte der Befallsstärke, der Befallshäufigkeit, der Kornbonitur und der Wuchshöhe von TO273755 und selektierten BC₂F_{2:4} Linien mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Fusariumresistenz-QTL 3B & 5A. 56

7. Literaturverzeichnis

- Adolf B. 1998: Epidemiologie und Nachweis von Getreidefusariosen; Untersuchungen an Weizen und Gerste. Dissertation technische Universität, München.
- Aufhammer W. 1998 Getreide- und andere Körnerfruchtarten: Bedeutung, Nutzung und Anbau. Stuttgart, Verl. Eugen Ulmer 1998.
- Bai G. H. and Shaner G.E. 1994: Scab of wheat; Prospects for control. *Plant Dis.* 78:760–776.
- Bai G.H. and Shaner G. E. 2004: Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* head blight. *Annual Review of Phytopathology* 42: 135- 161.
- Ban T., and Inagaki M. 2001: Genetic difference of resistance to *Fusarium* Head blight in two winter wheat cultivars, Nobeokabouzu-komugi and Sumai3. In: bedö Z., Lang L. (eds): *Wheat in global environment. Proceedings of the 6th International wheat conference, 5-9 June 2000, Budapest, Hungary, p. 359-365.*
- Bechtel D. B., Kaleikau L.A., Gaines R. L. and Seitz L.M. 1985: The effects of *Fusarium graminearum* on wheat kernels. *Cereal Chemistry* 62: 191 – 197.
- Becker H. 1993: Pflanzenzüchtung. Stuttgart, Deutschland, Verl. Ulmer
- Belderok B., Mesdag J. and Donner D. A. 2000: Bread – Making quality of Wheat, A century of breeding in Europe. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Netherlands.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Grausgruber H. and Ruckenbauer P. 1996a: Scab resistance of international wheat germplasm. *Cereal Research Communications* 24: 195-202.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Hartl L., Doldi L., Steiner B., Stierschneider M. and Ruckenbauer P. 2002: Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (Typ II resistance). *Theoretical and applied Genetics* 104: 84-91.
- Buerstmayr H., Steiner B., Lemmens M., Ruckenbauer P. 2000: Resistance to *Fusarium* head blight in two winter wheat crosses: heritability and trait associations. *Crop Science* 40: 1012-1018.
- Bürstmayr H., Lemmens M., Doldi M. L., Stierschneider M., Steiner B., Werner K., Hartl L. und Ruckenbauer P. 1999: Resistenzzüchtung bei Weizen

- Gegenüber Ährenfusariosen. Bericht über die 50. Arbeitstagung (1999) der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, BAL Gumpenstein, 63 – 68.
- Cornell H. J. and Hoveling A. W. 1998: *Wheat, Chemistry and Utilization* Technomic Publishing Company, Pennsylvania.
- Desjardins A. E. 2006: *Fusarium Mycotoxins; Chemistry, Genetics and Biology*. The American Phytopathological Society Minnesota U.S.A.
- Dexter J. E., Clear R. M. and Preston K. R. 1996: *Fusarium* head blight, effect on milling and baking of some Canadian Wheats. *Cereal Chemistry*, 73: 695 – 701.
- Edwards S. G. 2004: Influence of agricultural practices on *Fusarium* infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Toxicology Letters* 153: 29 – 35.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations 2005: the statistics division, www.fao.org.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations 2005 - 2006: *FAO statistical yearbook*, Rome, Italy.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations 2006: corporate document repository, www.fao.org.
- Gilbert J. and Tekauz A. 1995: Effects of *Fusarium* head blight and seed treatment on germination, emergence and seedling vigour of spring wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17: 252 – 259.
- Hermann W. 1998: Befall und Toxinproduktion durch Ährenfusarien bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim.
- Hoffmann G. & Schmutterer H. 1999: *Parasitäre Krankheiten und Schädlinge An landwirtschaftlichen Kulturpflanzen*. Ulmer Verlag Stuttgart.
- Jenkinson P. and Parry D. W. 1994: Isolation of *Fusarium* species from common broad-leaved weeds and their pathogenicity to winter wheat. *Mycological Research* 98: 776 – 780.
- Johnson D.D., Flaskerud G.K., Taylor R.D. and Satyanarayana, V. 2003: Quantifying economic impacts of *Fusarium* head blight in wheat. In: Leonard, K.J., Bushnell, W.R. (Eds.), *Fusarium* head blight of wheat and barley. The American Phytopathological Society, St. Paul, pp. 461 – 483.

- Kolb F. L., Bai G.H., Muehlbauer G.J., Anderson J. A., Smith K. P. and Fedak G. 2001: Host plant resistance genes for *Fusarium* head blight: mapping And manipulation with molecular markers. *Crop Sci.* 41: 611 – 619.
- Küster H., Nefzger U., Seidl H., Waechter N. 1999: Korn, Kulturgeschichte des Getreides. Salzburg, München, Verl. Anton Pustet 1999.
- Langer G. 2004: Resistenz gegen Ährenfusariose bei Weizen: Untersuchungen
Zur horizontalen Resistenz von zwei quantitative trait loci (QTL)
Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- LBP 1997: Ährenfusariosen des Getreides 2. Auflage. Bayerische Landes-Anstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (Hrsg.) Sondernummer 1/97. In: Hermann W. 1998: Befall und Toxinproduktion durch Ährenfusarien bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von produktions-technischen Maßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim.
- Mathur S. B. and Cunfer Barry M. 1993: Seed-borne Diseases and Seed Health Testing of Wheat. Jordburgsforlaget Frederiksberg, Denmark.
- Mesterhazy A 1995: Beeinflussung der epidemiologischen Ausbreitung der Weizen- Fusariosen durch unterschiedliche Resistenzen, Fungizide und unterschiedliche Pathogene. Bericht über die 46. Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter im Rahmen der (Vereinigung Österreichischer Pflanzenzüchter), BAL Gumpenstein, 21 – 23 November 1995, 139 – 149.
- Mesterhazy A. 1987: Selection of head blight resistant wheat though improved seedling resistance. *Plant Breeding*, 98: 25 – 36.
- Mesterhazy A. 2001: Breeding for *Fusarium* head blight resistance in Wheat
Wheat in global Environment, 353 – 358. Kluwer Academic Publishers Netherlands.
- Mesterhazy A. und Bartok T. 1996: Bekämpfung von Ährenfusariosen des Weizens durch Fungizide und deren Effekt auf die Toxinverseuchung der Körner. *Pflanzenschutznachrichten Bayer* 49, 187 – 206.
- Miller J. D., Young J. C., Sampson D. R. 1985: Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. *Phytopathology* 113: 359 – 367.
- Oblak Sabine 2003: The effect of *Fusarium* mycotoxins on cultured mammalian cells. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

- Obst A., Lepschy-Bon Gleissenthall and Beck R. 1997: On the etiology of *Fusarium* head blight of winter wheat in south Germany- preceding crops, weather conditions for inokulum production and head infection, proneness of the crop to infection and mycotoxin production. Fifth European *Fusarium* Seminar, Szeged, Hungary. Cereal research communications 25: 699-703.
- Parry D. W., Jenkinson P. and Mcleod L. 1995: *Fusarium* ear blight (scab) in Small grain cereals, a review, Plant pathology 44: 207-238.
- Pieters N. P., Bakker M. and Slob W. 2004: Reduced intake of deoxynivalenol in The Netherlands: a risk assessment update. Toxicology Letters 153: (2004) 145 – 153.
- Placinta C. M., D Mello J.P.F. and Macdonald A.M.C 1999: A review of world-wide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* Mycotoxins. Animal feed science and Technology 78: 21 – 37.
- Ruckenbauer P., Buerstmayr H. and Lemmens M. 2001: Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). Euphytica 119:121-127.
- Ruckenbauer P., Buerstmayr H. and Lemmens M. 2001: Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). Euphytica, 119: 121– 127, 2001.
- Rudd J. C., Horsley R. D. and McKendry A. L. 2001: Host plant resistance genes for *Fusarium* head blight: Sources, mechanisms and utility in conventional breeding systems. Crop Sci. 41: 620 – 627.
- Salameh A. 2005: Development and evaluation of Near-Isogenic Lines in Winter wheat for *Fusarium* head blight resistance. Wien, Univ. für Bodenkultur, Diss., 2005
- Salameh A. and Buerstmayr H. 2004: Development of Niar-Isogenic Lines for Validation of QTL for *Fusarium* head blight resistance. In: Proceedings of The 2nd international symposium on *Fusarium* head blight incorporating the 8th European *Fusarium* seminar. Orland.US: Michigan state university.155.
- Schade -Schütze A. 1999: Auftreten und biologische Charakterisierung von *Fusarium* – Arten im Weizenanbau. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms- Universität, Bonn.
- Schmolke M., Zimmermann G., Buerstmayr H. et al. 2004: Molecular mapping Of *Fusarium* head blight resistance in the winter wheat population Dream/ Lynx. Theoretical and Applied Genetics 111: 747-756.
- Schrödter R. 2004: Influence of harvest and storage conditions on

- trichothecenes levels in various cereals. *Toxicology Letters* 2004 153: 47 – 49.
- Schroeder H. W. and Christensen J. J. 1963: Factors affecting resistance of Wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology*, 53: 831 – 38.
- Schubert R. und Wagner G. 2000: Botanisches Wörterbuch, Pflanzennamen Und botanische Fachwörter. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Siranidou Eleni 2000: Untersuchungen zur chemischen Bekämpfung der Ährenfusariosen und Trichothecenproduktion von *Fusarium* ssp. Sowie biochemische Studien zur Resistenz der Weizenähren gegenüber *F. culmorum*. Dissertation Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin.
- Snijders C. H. A. and Van Eeuwijk F. A. 1991: Genotype X strain interactions for resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* in winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 81: 239-244.
- Snijders C.H.A. and Krechting C. F. 1992: Inhibition of Deoxynivalenol translocation and fungal colonization in *Fusarium* head blight resistant Wheat. *Canadian Journal of Botany* 70: 1570 – 1576.
- Snijders C.H.A. and Perkowski J. 1990: Effects of head blight caused by *Fusarium culmorum* on toxin content and weight of wheat kernels. *Phytopathology* 80: 566 – 570.
- Snijders C.H.A., 1990: Genetic variation for resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat. *Euphytica* 50: 171-179.
- Steiner B. 1998: Quantitativ- genetische Analyse der Ährenfusarioseresistenz in zwei Winterweizen- Kreuzungspopulationen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- Sutton J.C. 1982: Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4: 195-209.
- Tutelyan V. A. 2004: Deoxynivalenol in cereals in Russia. *Toxicology Letters* 153 (2004) 173 – 179.
- Van Eeuwijk F.A., Mesterhazy A., Kling Ch.I., Ruckebauer P., Saur L., Buerstmayr H., Lemmens M., Keizer L.C.P., Maurin N. and Snijders C.H.A. 1995: Assessing non-specificity of resistance in wheat to head blight caused by inoculation with European strains of *F. culmorum*, *F. graminearum* and *F. nivale* using a multiplicative model for interaction. *Theoretical and applied Genetics*, 90: 221- 228.

Velluti A., Marin S., Bettucci L. *et al.* (2000): The effect of fungal competition on colonization of maize grain by *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* and on fumonisin B1 and zearalenone formation.

International Journal of Food Microbiology 59: 59-66.

Vesonder R. F. and Golinski 1989: Metabolites of *Fusarium*. In: Chelkowski J. (Hsgb.): *Fusarium: Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier, Amsterdam, 1 – 40.

Wanyoike M. W. 2002: Investigation on the pathogenicity of *Fusarium graminearum*, the cause of head blight in Wheat. Dissertation, Hohenheim Universität, Stuttgart.

Wheat: The big picture; <http://www.wheatbp.net>

Wilcoxson R. D., Kommedahl T., Ozmon E. A. and Windels C. E. 1988: Occurrence of *Fusarium* species in scabby wheat from Minnesota and their Pathogenicity to wheat. *Phytopathology* 78, 586 – 589.

Windels C. E. 2000: Economic and social impacts of *Fusarium* head blight: Changing farms and rural communities in the Northern Great Plains. *Phytopathology* 90: 17 – 21.

Zohary D. and Hopf M. 2000: Domestication of plants in the old world, the origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley. New York, Oxford Uni. Press.

Zwatz B., Cate P. und Berger H. K. 1996: Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge im Getreide- und Maisbau. Institute für Phytomedizin im Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien.