

1 Einleitung und Problemstellung

Die Anforderungen an die moderne Landwirtschaft werden immer anspruchsvoller, sowohl die verarbeitende Industrie als auch der Verbraucher verlangen pflanzliche Produkte, die hohen Qualitätsanforderungen gerecht werden. Ein Großteil der Kulturpflanzen wird vor der Ernte durch Krankheitserreger, Schädlinge und Unkräuter vernichtet, so dass erhebliche Ertragseinbußen entstehen können (Überblick bei OERKE et al., 1994; HOCK und ELSTNER, 1995). Besonders betroffen ist der Winterweizen, welcher mit einer Anbaufläche von 3,1 Mio. ha die bedeutendste Ackerbaukultur in Deutschland ist (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2005). Durch einen intensiven Anbau kann das Aufkommen von Pathogenen in ökonomisch schädlichem Ausmaß gefördert werden (FINCK, 1991). Eine Qualitätssicherung im Pflanzenbau sowie der Schutz des Naturhaushaltes werden mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes, in dem die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß beschränkt wird, erreicht (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 1997). In diesem Sinne sind nicht nur die Kulturpflanzen und deren Pflanzenerzeugnisse zu schützen, sondern auch Gefahren abzuwenden, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln für die Gesundheit von Mensch und Tier und Naturhaushalt entstehen können (§ 1 PFLANZENSCHUTZGESETZ, 1998; § 7 BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ, 1998).

Alle Unternehmen, die sich mit Pflanzenschutz beschäftigen, stellen sich dieser Herausforderung. In der Fungizidforschung werden ständig neue Produkte entwickelt, welche für die Praxis verschiedene Fungizidanwendungsmöglichkeiten bieten. Der Fungizideinsatz kann eine Verhütung und Bekämpfung von Pilzkrankheiten bewirken und Schäden an Kulturpflanzen verhindern. Durch das Aufkommen ständig neuer Wirkstoffe und Wirkmechanismen hat sich das Untersuchungsschema in der Fungizidentwicklung jedoch ausgedehnt: Neben der eigentlichen Wirkung der Fungizide auf bestimmte Pathogene wird auch die Wirkung auf den Blattapparat und die Beeinflussung des Ertrages betrachtet. Bereits bei der Wirkstoffklasse der Azole, als Fungizide im Getreidebau, zeigt sich, dass diese systemischen Fungizide neben ihrer eigentlichen Wirksamkeit gegen pilzliche

Schaderreger eine direkte Wirkung auf die Pflanze haben (GILGENBERG-HARTUNG, 1999; TIEDEMANN und YUEXUAN, 2001). Der so genannte „Azol-Effekt“ äußert sich in einer Beeinflussung der Pflanzenmorphologie. Dieser Effekt lässt sich durch einen Eingriff der Wirkstoffe in den Hormonhaushalt der Pflanze erklären und führt zu einer Verbesserung der allgemeinen Leistungsfähigkeit der Pflanze. Die Pflanze ist dadurch in der Lage, Stresssituationen besser zu bewältigen und Ertragsverluste können gemindert werden (SIEFERT und GROSSMANN, 1996).

Mit der Einführung der Wirkstoffklasse der Strobilurine in den Getreidebau sind die physiologischen Leistungen der Fungizide noch stärker in den Blickpunkt gerückt. Auch die Strobilurine weisen Auswirkungen auf die Physiologie der Kulturpflanzen auf, welche sich im Anbau anhand des „Greening-Effektes“ erkennen lassen, der sich positiv auf das Ertragsgeschehen auswirken kann (OBST und STECK, 1996; CEYNOWA und LINDENBERG, 1997; KRÖCHER, 1999). Der „Greening-Effekt“ äußert sich in einer längeren Grünphase der behandelten Blattetagen. Als Ursache kann die Verringerung der Ethylenproduktion in Wechselwirkung mit dem Cytokininhaushalt genannt werden. Durch die verlängerte Abreife der Bestände können jedoch gebietsweise Probleme beim Mähdrusch auftreten (BOSSE und KRIEGER, 1998). Das heißt, neben den primären sind ebenfalls die sekundären Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen im Getreideanbau zu kontrollieren.

In der vorliegenden Arbeit soll anhand von Feldexperimenten die Auswirkung von Fungizidbehandlungen auf Winterweizen dokumentiert werden. Im Speziellen wurden das Abreifeverhalten und die Ertragsbildung unter dem Einfluss von Fungiziden aus der Wirkstoffgruppe der Azole und der Wirkstoffgruppe der Strobilurine analysiert. Des Weiteren wurde anhand bodenmikrobiologischer Parameter betrachtet, wie sich nach der Einarbeitung der fungizidbehandelten Ernte- und Wurzelrückstände in den Boden die bodenmikrobiologische Aktivität entwickelt.

Es ergeben sich folgende Themenkomplexe:

1. Wirkung verschiedener Fungizide während der Vegetationszeit auf das Abreifeverhalten der ertragsessentiellen Blattorgane;
2. Ertragswirksamkeit der einzelnen Fungizide;
3. Entwicklung der bodenmikrobiologischen Parameter nach der Einarbeitung der Ernte- und Wurzelrückstände mit dem Pflug und der Scheibenegge.

Es werden sowohl Einflussgrößen, die sich auf die Pflanzen als auch auf die mikrobielle Biomasse und deren Aktivität auswirken beschrieben. Die Erträge des Winterweizens werden mit den einzelnen Behandlungsvarianten in Beziehung gesetzt, um aufzeigen zu können, ob sich die Maßnahmen ertragssteigernd auswirken. Hierfür wurden Freilandversuche an zwei Standorten (Nöbdenitz, Halle/Saale) angelegt, um zum einen die vorherrschenden Bodeneigenschaften (Stickstoffmineralisierung, Wasserversorgung) und zum anderen die unterschiedlichen Witterungsbedingungen während der gesamten Vegetationsdauer mit einzubeziehen.

2 Stand der Forschung

2.1 Wirkungsweise von Fungiziden auf die pilzlichen Schaderreger

Die Vielfalt der Pilzkrankheiten und deren Herkunft macht es unabdingbar, dass die dagegen eingesetzten Fungizide unterschiedliche Wirkmechanismen haben (Überblick HOCK und ELSTNER, 1995; BÖRNER, 1997; HAIDER und SCHÄFFER, 2000; OERKE und STEINER, 2003; SCHLÜTER, 2004; WOLBER, 2005). Bei Fungiziden handelt es sich um chemisch definierte Substanzen, welche auf die Abtötung pathogener Pilzpopulationen ausgerichtet sind, ohne in der verwendeten Konzentration auf die Wirtspflanze schädigend zu wirken. Bei der Wirkungsart der Fungizide wird zwischen systemisch und protektiv (nicht systemisch) unterschieden (BÖRNER, 1997, Tabelle 1). Bei den systemischen Fungiziden wird der Wirkstoff von der Pflanze aufgenommen und im Saftstrom meist akropetal transportiert. Diese Fungizide wirken kurativ und bieten kurzzeitig einen protektiven Schutz. Die teilsystemischen Fungizide dringen ebenfalls in die Pflanze ein, werden jedoch nur innerhalb der Zellverbände transportiert und verteilt. Eine Verteilung im Saftstrom der Pflanze erfolgt nicht. Die Wirkung dieser Fungizide kann als kurativ-eradikativ eingeschätzt werden. Die nichtsystemischen Fungizide schützen vor Infektionen, indem sie die ersten Entwicklungsstadien des Erregers (Keimung und Keimschlauchwachstum) unterbinden. Sie dringen jedoch nicht in die Pflanze ein und können nur protektiv verwendet werden (OERKE und STEINER, 2003).

Tabelle 1: Einteilung der Fungizide aufgrund ihrer Wirkungsart (in Anlehnung an BÖRNER, 1997)

Systemische Fungizide	Protektive Fungizide
• Benzimidazol- und Thioharnstoff-derivate	• Anorganische Fungizide (Kupfer, Schwefel)
• Carbonsäureamide	• Organische Zinnverbindungen
• Stickstoffheterozyklen (Imidazol-, Triazol- und Pyrimidin-derivate)	• Thiocarbamate und Thiurame
• Morpholine	• Dicarboximide
• Phenylamide	• Strobilurine

Im Folgenden wird ausschließlich auf die Wirkmechanismen der Triazole und Strobilurine eingegangen, da diese im Mittelpunkt der Arbeit standen.

Zur **chemischen Gruppe der Triazole** (fungizide Wirkstoffe wie z.B. Tebuconazol, Prothioconazol, Epoxiconazol) zählen wichtige systemische Fungizide, die weltweit bei sehr vielen Kulturpflanzenarten zur Bekämpfung von Erregern aus allen Pilzklassen (Ausnahme Oomyceten) verwendet werden. Das Wirkprinzip der Triazole besteht in der Hemmung der Sterolbiosynthese in den Pilzen. Die Sterole stellen eine wichtige Strukturkomponente von Zellmembranen dar und sind für deren Funktion unentbehrlich. Als Folge kommt es zu morphologischen Fehlbildungen im Membransystem der Pilzzellen sowie zu Fehlbildungen in der Zellwand (Wachstum der Keimschläuche bzw. Ausbildung von Apressorien wird unterdrückt). Die Wirkstoffe aus der Gruppe der Triazole haben jedoch nur eine geringe Wirkung auf Pilzsporen und stoppen die Erreger erst nach erfolgter Infektion (Myzelwirkung).

Die **chemische Gruppe der Strobilurine** (fungizide Wirkstoffe wie z.B. Kresoxim-methyl, Azoxystrobin, Trifloxystrobin) gilt aufgrund eines neuartigen Wirkungsmechanismus - Atmungshemmung von Pilzen - als eine Innovation im Pflanzenschutz. Die an die Atmungskette gekoppelte Bildung von Adeno-

sintriphosphat (ATP) wird unterbunden und es kommt zu einer ausgeprägten Hemmung von stark energieabhängigen Wachstumsprozessen (Sporenkeimung) (MINDT, 1996; SAUTER et al., 1999). Sie wirken protektiv, d. h. die pilzlichen Schaderreger werden, anders als bei den Triazolen, bereits abgetötet, bevor es zu einer energieintensiven Abwehrreaktion von Seiten der Pflanzen kommt (BERTELSON, 1999).

2.2 Physiologische Effekte der Fungizide auf die Pflanze und Blattseneszenz

Neben der eigentlichen fungiziden Leistung wurde nach der Behandlung mit Triazolverbindungen und den Strobilurinen eine physiologische Veränderung an den Pflanzen beobachtet (SIEFERT und GROSSMANN, 1996; OBST und STECK, 1996; BOSSE und KRIEGER, 1998; KRÖCHER, 1999; TIEDEMANN und YUEXUAN, 2001). SIEFERT und GROSSMANN (1996) verweisen bei **Triazolverbindungen** auf nichtfungizide Substanzen mit wachstumsregulatorischen Funktionen, die eine direkte Wirkung auf Syntheseprozesse im pflanzlichen Stoffwechsel haben. Abgesehen von der direkten Wirkung auf pilzliche Pathogene konnten bei Epoxiconazol eine Reihe nichtfungizider Sekundäreffekte in der Pflanze nachgewiesen werden. Diese äußerten sich in einer verzögerten Seneszenz, einem deutlich grüneren Aussehen und einer Steigerung des Kornertrages. Die Pflanzen sind zum Teil viel unempfindlicher gegen verschiedene Formen von Stress, wie Trockenheit und hohe Temperaturen (HOCK und ELSTNER, 1995).

Auch die **Strobilurine** haben - unabhängig von ihrer Wirkung auf Pathogene - einen positiven Einfluss auf den Ertrag. Behandlungen von Getreide mit dem Wirkstoff Azoxystrobin führen vor allem in der Abreifephase zu einem „Greening-Effekt“. Nach KONRADT et al. (1996) lässt sich dieser zum einen durch das Ausschalten von Pathogenen erklären, durch eine bessere Nährstoffausnutzung der Pflanze und zum anderen durch seneszenzverzögernde physiologische Effekte. Diese physiologischen Leistungen kommen primär bei einer Ausbringung in der späten Schoßphase zum tragen (OBST und STECK, 1996). Die Wirkung der

Strobilurine auf das Abreifeverhalten der Pflanzen kann unterschiedlich andauern, teilweise nur vier Wochen (HANHART und FRAHM, 1996) oder bis zu sechs Wochen (KLINGENHAGEN und GEBEL, 1997). Mit der verzögerten Abreife kann natürlich die Gefahr einer Ernteverzögerung einhergehen.

Die **Blattseneszenz** ist ein genetisch kontrollierter terminaler Differenzierungsprozess. Es handelt sich hier um keinen passiven Zufallsprozess, sondern um eine aktive Phase der pflanzlichen Entwicklung. Während der Seneszenz kommt es zum Abbau des in den Chloroplasten lokalisierten Photosyntheseapparates. Dieser Prozess unterliegt einer komplexen Regulation und wird durch Veränderungen in den Umweltbedingungen (z.B. Licht und Temperatur) beeinflusst (MOHR und SCHOPFER, 1999). Jedoch sind die zugrunde liegenden Regulationsmechanismen noch weitgehend ungeklärt (HEISE, 2004).

Aus ertragsphysiologischer Sicht ist die Blattseneszenz von großer Bedeutung, so stellt die Nekrotisierung des Blattgewebes die für die Ertragsbildung der Pflanze entscheidende Größe dar (SCHEID, 1997; MOHR und SCHOPFER, 1999). Eine vorzeitige Blattseneszenz kann eine Minderung des Ernteertrages zur Folge haben (GAN und AMASINO, 1997).

Bei Weizen konnte eine sequentielle Seneszenz beobachtet werden, d.h. die zuerst angelegten Blätter sterben zuerst ab, da diese als Quelle für Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen für die jüngeren sich noch entwickelnden Organe genutzt werden. Durch die fortschreitende Alterung des reifenden Getreides vermindert sich die Zahl der grünen Blätter zunehmend, bis die Pflanze schließlich abstirbt. Die Seneszenz schreitet innerhalb eines Blattes von der Blattspitze zur Blattbasis und von den Mesophyll- zu den Epidermiszellen voran (INADA et al., 1998). Als ein charakteristisches Merkmal für die Seneszenz ist eine Abnahme des Chlorophyllgehaltes anzusehen. Der Chlorophyllgehalt ist im Getreideblatt am größten, wenn dieses seine volle Größe erreicht hat, und unterliegt anschließend einer kontinuierlichen Abnahme (LAWLOR, 1990). Die Blattseneszenz wird durch Umweltfaktoren und interne Faktoren gesteuert. Beim Weizen werden damit verknüpfte Prozesse (Chlorophyllabbau, Abbau von Proteinen) speziell durch die Temperatur beschleunigt (AL-KHATIB und PAULSEN, 1984).

Verschiedene Autoren (AL-KHATIB und PAULSEN, 1984; STONE und NICLAS, 1994) geben die Optimaltemperatur für die Photosynthese und das reproduktive Wachstum bei Weizen zwischen 18,0 °C und 24,0 °C an. Darüber liegende Temperaturen führen zu einer Minderung der Photosyntheseaktivität und zu einer verstärkten Versorgung der Ähre mit Assimilaten (WARDLAW et al., 1990).

2.3 Wirkung der Stickstoffdüngung und Fungizidbehandlung auf den Ertrag

Die Stickstoffdüngung (N-Düngung) hat beim Weizenanbau einen hohen Stellenwert, da durch sie sowohl der Ertrag als auch die Qualität beeinflusst werden (BUCHNER und STURM, 1985; PUHL, 1986; GOH und HAYNES, 1986; SCHILLING, 2000). Sinnvoll ist die Aufteilung der N-Düngung in mehrere Gaben, um eine an den zeitlichen Bedarf angepasste optimale N-Ernährung der Pflanze zu gewährleisten. Häufig wird eine Dreiteilung der Gesamtdüngermenge zu folgenden Terminen vorgeschlagen:

1. N-Gabe zu Vegetationsbeginn im Frühjahr → fördert die Bestockung;
2. N-Gabe zu Bestockungsende bzw. zu Schoßbeginn → steuert die optimale Ausbildung von Bestandesdichte und Kornzahl/Ähre;
3. N-Gabe als Ertrags- und Qualitätsspätdüngung zum Ährenschieben → steigert Tausendkorngewicht und Rohproteingehalt im Korn.

Von verschiedenen Autoren werden Wechselwirkungen zwischen Fungizidbehandlungen und mineralischer Stickstoffdüngung beschrieben (HANUS, 1984; BARTELS, 1987; HANUS und SCHOOP, 1987). So konnten bei fungizidbehandelten Winterweizenbeständen mit einer hohen mineralischen Stickstoffdüngung deutliche Mehrerträge erzielt werden, d. h. der eingesetzte Dünger wurde durch den Fungizideinsatz besser in Ertrag umgesetzt.