
RESISTENZMANAGEMENT IM ACKERBAU



Bayer CropScience
Deutschland GmbH

RESISTENZMANAGEMENT IM ACKERBAU



Bayer CropScience
Deutschland GmbH

0

INHALT

1.0	Vorwort	05
1.1	Resistenzdefinition	06
2.0	Herbizidresistenz	09
2.1	Aktueller Stand bei Gräsern und Dikotylen	11
2.2	Situation bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm	11
2.3	Entstehung von herbizidresistenten Unkräutern	12
2.4	Wirkstoffe, Wirkmechanismen, Mittelauswahl	13
2.5	Kultur – und Ackerbauliche Maßnahmen	15
2.5.1	Biologie der Ungräser	15
2.5.2	Einfluss von Sortenwahl und Saatterminen	16
2.6	Wie muss der Landwirt das Risiko kalkulieren?	17
2.7	Worauf beim Herbizideinsatz achten	20
3.0	Fungizidresistenz	23
3.1	Wirkmechanismus	24
3.2	Resistenzsituation in Deutschland	25
3.2.1	Strobilurine	25
3.2.2	Azole und Morpholine	26
3.2.3	Weitere Wirkstoffe im Getreide	27
3.3	Die Situation bei Getreidekrankheiten	27
3.4	Mit der Sortenwahl Resistenzen vorzubeugen	29
3.4.1	Stand der Resistenzzüchtung	29
3.4.2	Wie kann der Praktiker nun handeln?	31
3.5	Richtig behandeln, um Resistenzen dauerhaft zu vermeiden	32
4.0	Insektizidresistenz	35
4.1	Aktueller Stand beim Rapsglanzkäfer	37
4.2	Aktueller Stand beim Kartoffelkäfer	38
4.3	Aktueller Stand bei Blattläusen	40
4.4	Wirkstoffe und Wirkmechanismen	41
4.5	Entstehung von Resistenz	41
4.6	Resistenzselektion im Rahmen von Fruchtfolgen	42
4.7	Bekämpfungsstrategie im Raps	43
4.8	Bekämpfungsstrategie in Kartoffeln	44
5.0	Danksagung	47



1

VORWORT

Die Produktion von Pflanzlichen Rohstoffen in der modernen Landwirtschaft steht mehr denn je in einem Spannungsfeld von globalen Herausforderungen. Diese umfassen den Schutz der natürlichen Ressourcen, die Befriedigung eines steigenden Bedarfes von Rohstoffen zur Erzeugung von Nahrungsmittel sowohl tierischer wie auch pflanzlicher Herkunft und als Energielieferant. Ackerfläche wird mit dieser steigenden Nachfrage automatisch zu einem knappen Faktor, den es optimal zu nutzen gilt. Nach Jahren von Überschüssen und Flächenstilllegungen wird dies derzeit in dramatischer Weise deutlich.

Mit steigenden Preisen und erhöhten Nachfrage nach Biomasse wird jetzt folgerichtig eine Intensivierung der Produktion diskutiert, die auch zu einer höheren Bewertung des Faktors Boden führt. Jedoch nur eine nachhaltige Pflanzenproduktion kann diese knappe Ressource Boden erhalten.

Der Integrierte Pflanzenbau und auch der Integrierte Pflanzenschutz sind wesentliche Elemente einer nachhaltigen Pflanzenproduktion. Im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes ist die sorgfältige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nicht die einzige, wohl aber eine herausragende Maßnahme. Diese zu erhalten, ist ein wichtiges Ziel, welches sich Bayer CropScience, als führender Hersteller von Pflanzenschutzmitteln, gesetzt hat.

Gleichzeitig betrachten wir aber auch mit Sorge, dass weltweit verschiedene Schaderreger Resistenzen gegenüber Pflanzenschutzmitteln entwickeln. Gut wirksame Pflanzenschutzmittel geraten damit in Gefahr und werden in Zukunft zu einem knappen Gut. Die hohen Anforderungen an toxikologische Eigenschaften sowie an die Umweltverträglichkeit dieser Stoffe führen dazu, dass nicht ständig neue Substanzen entwickelt werden können.

Die vorliegende Broschüre soll die derzeitige Situation bei Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden in Deutschland erklären und helfen, die Zusammenhänge zu hinterfragen. Nur wer die Mechanismen der Resistenzentwicklung versteht, wird in der Lage sein, Maßnahmen zu ergreifen, um eine weitere Resistenzbildung so gut es geht zu vermeiden.

1.1 | Begriffsdefinition zur Resistenz

Die Entwicklung von Resistenzen sind eine natürliche Erscheinung und Teil des Evolutionsprozesses. Es ist die Fähigkeit eines Organismus sich an die Umweltbedingungen anzupassen.

Die Anwendung eines Pflanzenschutzmittels stellt eine Umweltbedingung dar. Die Schadorganismen, die damit bekämpft werden sollen, liegen in großer Zahl vor. Es ist immer damit zu rechnen, dass innerhalb dieser großen Zahl von Individuen einige wenige dabei sind, die sich auch unter dem Einfluß eines Pflanzenschutzmittels weiter entwickeln können, sie sind resistent.

Wichtig dabei ist, dass diese Eigenschaft nicht durch das Mittel verursacht wurde, sondern dass diese Resistenz eine natürliche Eigenschaft ist die, es einigen wenigen Individuen – den resistenten - ermöglicht, zu überleben, während die anderen Individuen innerhalb der Population abgetötet werden. Die Ausprägung dieser Resistenzen kann ganz unterschiedlich sein, der Prozess der Entstehung ist aber immer gleich und bedeutet Selektion.

Mittlerweile gibt es in Deutschland verschiedenste Resistenzentwicklungen gegenüber Herbiziden, Fungiziden und auch Insektiziden.

Bevor in den folgenden Abschnitten die Zusammenhänge dieser verschiedenen Resistenzentwicklungen beschrieben werden, ist es wichtig, einige immer wieder kehrende Begriffe zu erläutern.

Resistenz:

Die innerhalb einer Population natürlich vorkommende, vererbare Fähigkeit einiger Biotypen, Pflanzenschutzmaßnahmen zu überleben, die unter normalen Umständen diese Population wirksam bekämpfen würde.

Selektion:

Wiederholte Schaffung der gleichen Umweltbedingungen für eine Population (z.B. Einsatz immer des gleichen Wirkstoffes), die dazu führt, dass die Individuen, die mit dieser Umweltbedingung am besten leben können, vermehrt auftreten.

Wirkortspezifische Resistenz (Target Resistenz)

Die molekulare Bindungsstelle im Schadorganismus, an die normalerweise der Wirkstoff ansetzt, hat sich durch eine genetische Anpassung so verändert, dass der Wirkstoff nicht mehr angreifen kann und die Wirkung ausbleibt. Ausgelöst wird diese Art der Resistenz häufig durch nur eine Veränderung in einer Gensequenz (Punktmutation).

Es gibt unterschiedliche Punktmutationen innerhalb der Gensequenzen, deren Ort die Intensität der Resistenz mit beeinflusst.

Metabolische Resistenz

Der resistente Schadorganismus ist in der Lage, den aufgenommenen Wirkstoff im Stoffwechsel schnell zu nicht schädlichen Metaboliten abzubauen, so dass dieser seine Wirkung nicht mehr entfalten kann.

Sie beschränkt sich nicht nur auf derzeit am Markt gehandelte Wirkstoffe, sondern kann sich theoretisch sogar gegen Wirkstoffe ausbilden, die evtl. noch im Zulassungsverfahren sind.

Verhaltensresistenz (Insektizide)

Der Schädling vermeidet den Kontakt mit dem Wirkstoff. Dies führt zu verminderter Wirkstoffaufnahme und damit zu eingeschränktem Bekämpfungserfolg

Penetrationsresistenz

Der resistente Schädling nimmt den Wirkstoff langsamer oder in geringerer Menge auf als das normale empfindliche Individuum.

Qualitative Resistenz (nur Fungizide)

Durch ein Gen gesteuerte Veränderungen im Pilzstoffwechsel, die dazu führt, dass der Wirkstoff nicht mehr an der bisherigen Bindungsstelle angreifen kann (ähnlich der Target Resistenz). Es gibt auch hier unterschiedliche Benennungen und Ausprägungen, je nachdem, an welcher Stelle im Gen eine Mutation aufgetreten ist.

Quantitative Resistenz (nur Fungizide)

Durch Veränderungen an mehreren Genen gesteuerte Fähigkeit, den Kontakt mit dem Fungizid zu überleben. Je höher der Grad der Resistenz desto mehr Gene müssen verändert sein. Die Wahrscheinlichkeit mit der dies passiert, nimmt mit zunehmender Anzahl der Gene, also mit Stärke der Ausprägung, ab. Gleichzeitig wird diese Eigenschaft nicht dominant an die Nachkommen weiter gegeben, so dass sich die Resistenzeigenschaft nicht aufschaukelt, sondern sich unter Einfluß von Fungiziden auf einem gewissen Niveau einpendelt (shifting). Bleiben Fungizide aus, entwickelt sich die Population wieder in Richtung des ursprünglichen Zustandes.

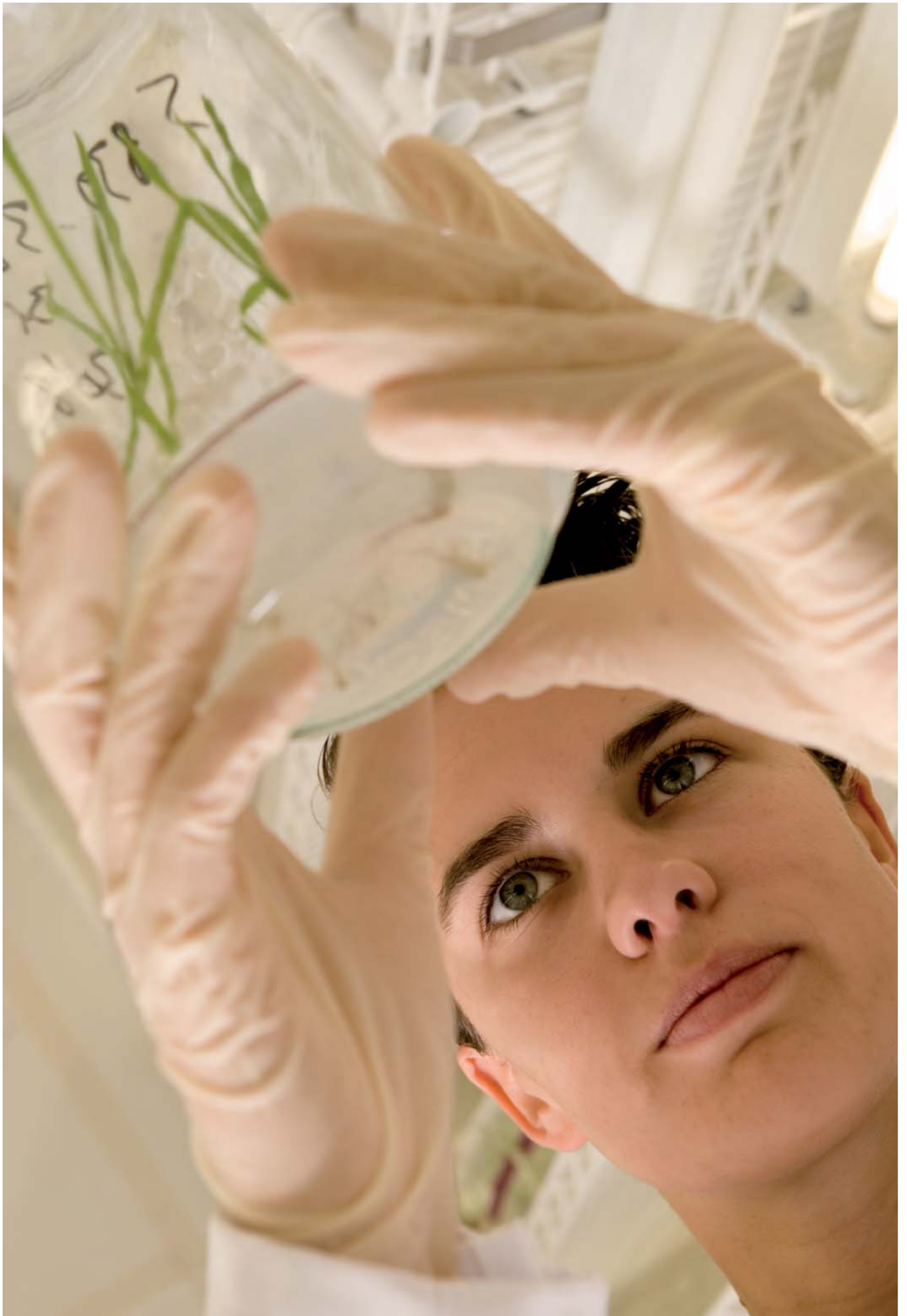
Kreuzresistenz

Resistenz eines Individuums gegen zwei oder mehr Wirkstoffe die durch einen Resistenzmechanismus ausgelöst wird.

Mehrfachresistenz

Resistenz eines Individuums gegen zwei oder mehr Wirkstoffe, die durch das Vorhandensein von mehreren Resistenzmechanismen ausgelöst wird.

Die verschiedenen Formen der Resistenz können die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln erheblich verändern. Ausgelöst wird das Auftreten einer Resistenz immer durch einen Selektionsdruck. Das heißt, durch die wiederholte Anwendung von Mitteln mit dem gleichen Wirkungsmechanismus auf die gleiche Population. Der Status der Resistenzsituation sowie ein mögliches Resistenzmanagement wird den in den folgenden Kapiteln erörtert.



2

HERBIZIDRESISTENZEN

Erste Meldungen über Minderwirkungen von Wuchsstoffen wurden bereits in den 60er Jahren beschrieben, jedoch nur wenig beachtet. erst die Entdeckung von ersten Triazin-Resistenzen liessen Wissenschaft und Praxis aufhorchen.

2.0 | Herbizidresistenz

Die Entwicklung von Herbizidresistenzen und deren Verbreitung ist heute ein weltweites Problem. Die globale Bedeutung wird noch als gering eingeschätzt, regional dagegen ist die Auswirkung für die Landwirte deutlich zu spüren. Das Aufkommen herbizidresistenter Unkrautarten tritt vorrangig in den intensiv bewirtschafteten Gebieten der Welt auf und stellt dort eine dauerhafte Anwendbarkeit von Herbiziden in Frage. Die Resistenzen entwickeln sich so schnell, dass die Innovationskraft der Industrie nicht ausreicht, um neue Mittel

stellen zu können. Dies Phänomen wird dadurch verstärkt, dass immer weniger Firmen forschungsorientiert arbeiten. Parallel steigen die Anforderungen an die Entwicklung und Registrierung von neuen Wirkstoffen, so dass neue Lösungen in deutlich reduzierter Anzahl auf den Markt kommen.

In den letzten 30 Jahren ist kein neuer Wirkmechanismus mehr entdeckt worden (Abb. 2.1). Alle in den letzten Jahren eingeführten Produkte entstammen bekannten Wirkungsgruppen. In dieser Situation muss der Landwirt alle Mög-

lichkeiten nutzen, die Verunkrautung mit geeigneten ackerbaulichen Maßnahmen zu unterdrücken. Trotz dieses Innovationsdefizits von Seiten der beschränkt verfügbaren Wirkmechanismen, werden jedoch auch aus bestehenden Wirkungsgruppen neue, interessante Wirkstoffe gefunden. Da jeder Wirkstoff für sich einzigartige Eigenschaften beinhalten kann, müssen die Wirkstoffe auch einzeln hinsichtlich ihrer Resistenzbedeutung betrachtet werden.

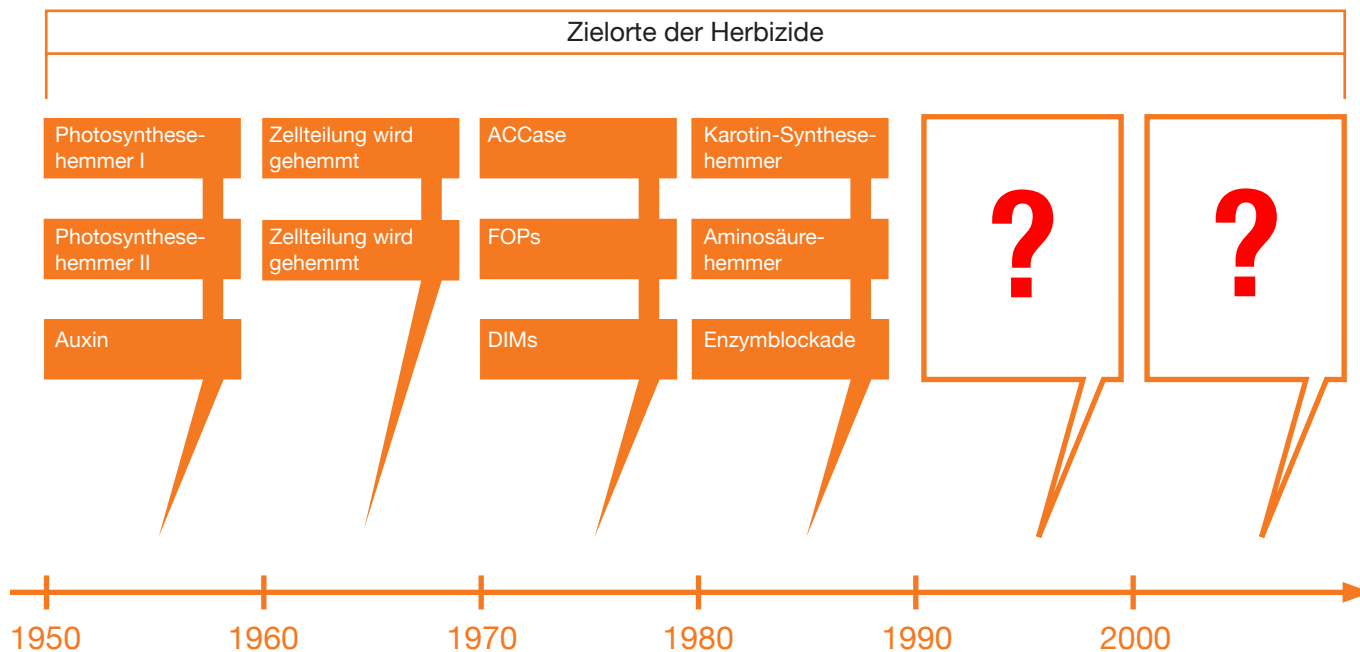


Abb. 2.1 | Die Entwicklung der Getreideherbizide bis heute zeigt keine neuen Zielorte. Die ersten FOPs und DIMs wurden bereits in den 70er Jahren entdeckt und kamen ab Mitte der 80er Jahre auf den Markt. Dazu zählen Produkte wie Topik, Iloxan, Puma, Ralon Super, Focus Ultra, Select, Targa Super, Agil usw. Die ALS-Hemmer oder Aminosäurehemmer stammen aus den 80er Jahren, daraus wurden Produkte wie beispielsweise Husar, Atlantis, Attribut und Lexus. (Quelle: BayerCropScience, verändert in DLG-Mitteilungen 1-2006)

2.1 | Aktueller Stand bei Gräsern und Dikotylen

Erste Meldungen über Minderwirkungen von Wuchsstoffen wurden bereits in den 60er Jahren beschrieben, jedoch nur wenig beachtet. Erst die Entdeckung von ersten Triazin-Resistenzen ließen Wissenschaft und Praxis aufhorchen. Die Bedeutung von Herbizidresistenzen und deren Ausbreitung wurde frühzeitig erkannt; daraus resultiert die Gründung des HRAC (Herbicide Resistance Action Committee), einer Interessengemeinschaft der Industrieunternehmen zum Management von Herbizidresistenzen und eine zentrale Datenbank (www.weedscience.com).

Bis Anfang des Jahres 2008 wurden 317 resistente Biotypen von 183 verschiedenen Unkrautarten gemeldet, aufgeteilt auf 73 resistente Gräserarten und 110 resistente breitblättrige Unkräuter. Nach der Einführung und intensiven Anwendung der Triazine stieg die Zahl der Resistenzbefunde in den 70er Jahren stetig an. Mit der Einführung neuer und moderner Herbizide mit den ACCase und ALS Wirkstoffen veränderte sich das Bild Anfang der 80er Jahre. Die Einführung und Etablierung der GMO Kulturen (genetic modified organisms - gentechnisch veränderte Kulturen) Mitte der 90er Jahre hatte wiederum eine Veränderung des Unkrautmanagements in den Produktionssystemen zur Folge. Der Anstieg der Glyphosat-resistenten Unkrautpflanzen stellen heute die Landwirte vor neue Herausforderungen.

Weltweit gesehen sind die Weidelgräser das größte Problem. Durch ihre hohe Anpassungsfähigkeit konnte besonders das Steife Weidelgras gegen alle wichtigen Wirkungsmechanismen (10) Resistenzen ausbilden. Danach folgen Flughafer, Amarant-, Gänsefuß- und Hirsearten; diese besitzen, mit Ausnahme von Flughafer, ein hohes Samenpotenzial und ein langes Überdauerungsvermögen.

Im Gegensatz zur weltweiten Situation sind für Deutschland nur Ackerfuchsschwanz und der Gemeine Windhalm wichtig (Abb.2.1.1 und 2.1.2), diese haben jedoch nur eine regionale Bedeutung in Europa. Daneben zählen in Europa noch

Weidelgräser und Flughafer in den südlicheren Ländern zu den betroffenen Arten mit Resistenzbildung. Der Klatschmohn als wichtigstes breitblättriges Unkraut hat besonders in Spanien und anderen südlicheren Ländern Resistenzen gegenüber verschiedenen Wirkstoffen ausgebildet. In den Ländern Mitteleuropas und im Norden gibt es einzelne Hinweise bei Vogelmiere, Klatschmohn und Kamillearten.

2.2 | Situation bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm

In Deutschland haben die Ungrasarten Ackerfuchsschwanz und der Gemeine Windhalm bereits eine Vielzahl von resistenten Biotypen ausgebildet.

In Europa ist der Ackerfuchsschwanz das wichtigste Ungras mit Resistenzausbildung besonders in Großbritannien, Frankreich, die Benelux Staaten und Deutschland. Die selektive Bekämpfung mit Photosystem II (PSII) Wirkstoffen, wie Chlortoluron und später mit Isoproturon, führte nach kurzer Zeit zur Selektion von ersten Resistenzen. Schon bei der Einführung der ers-

ten ACCase Wirkstoffe Mitte der 80er Jahre wurden erste Minderwirkungen festgestellt. Die vorhergehenden Maßnahmen zum Herbizidmanagement stellten bereits einen so hohen Selektionsdruck dar, dass bereits Kreuzresistenzen gegenüber ACCase Wirkstoffen gefunden werden konnten. Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei der Einführung der ersten ALS Wirkstoffe gemacht. In 2008 schätzten Experten für Großbritannien eine fast 100%ige Ausbreitung der Ackerfuchsschwanzresistenz für die gesamte konventionell bewirtschaftete ackerbauliche Fläche, dabei ergeben sich nur graduelle Unterschiede im Ausmaß der Resistenzselektion. Die Rahmenbedingungen in Großbritannien sind prädestiniert, um einen entsprechend hohen Selektionsdruck auszuüben. Untersuchungen im Monitoring von Ackerfuchsschwanz Samenproben haben ergeben, dass bereits mehr als 60% der untersuchten Biotypen wirtortspezifische Resistenzen gegenüber ACCase Wirkstoffen beinhalten. Im Gegensatz zu Großbritannien ist die Situation in Deutschland noch deutlich entspannter. Der Flächen-



Abb. 2.1.1 | nesterweises Auftreten von Ackerfuchsschwanz



Abb. 2.1.2 | Versuchsfläche mit Windhalm

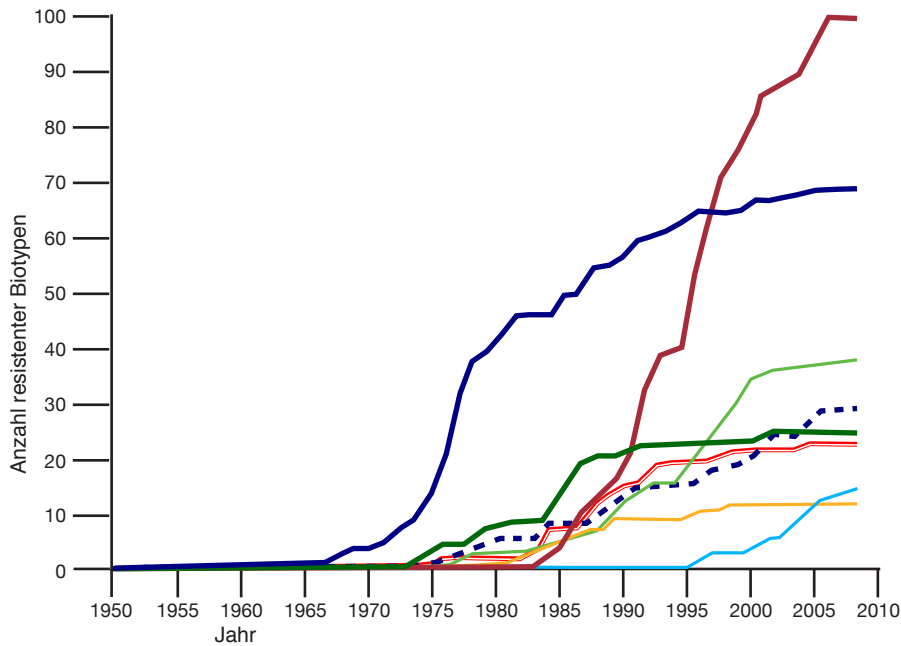
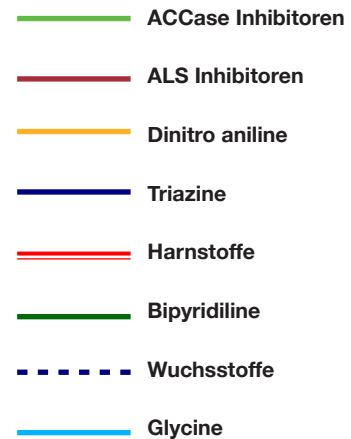


Abb. 2.2.1 | Weltweite Entwicklung resistenter Biotypen gegen verschiedene Wirkstoffgruppen von 1950 bis 2007. (Quelle: Dr. Ian Heap, WeedScience)



anteil der Gebiete mit Resistenzen wird auf unter 10% geschätzt. Sowohl Ackerfuchsschwanz als auch Windhalm kommen ihren Ansprüchen entsprechend vorwiegend im Wintergetreide vor. Während Ackerfuchsschwanz mehr auf schweren Böden zu finden ist, bevorzugt der Windhalm mittlere bis leichtere Böden. Im Jahre 1997 wurden erste Resistenzen im Windhalm gegen Isoproturon auf Standorten in Niedersachsen gefunden. Weitere Befunde folgten aus Nordrhein-Westfalen und anderen Bundesländern. Seit 2005 wird auch von ersten Minderwirkungen von ALS Wirkstoffen berichtet, welche in der Regel auf das Produktionssystem und einseitige Anwendung von Herbiziden zurückzuführen sind.

2.3 | Entstehung von herbizidresistenten Unkräutern

Die Fruchtfolgen haben sich auf Grund von ökonomischen Rahmenbedingungen in den letzten Jahren dahingehend verändert, dass oft nur noch die rentabelsten Kulturen angebaut werden. Die Begrenzung auf nur eine oder zwei Kulturen und die verstärkte Anwendung von Herbiziden begünstigen die Entwicklung herbizidresistenter Unkräuter. Verschiebungen innerhalb einer Unkrautpopulation beginnen immer mit einer kleinen Anzahl oder mit einzelnen resistenten Individuen, die in jeder natürlichen Population vorkommen. Durch die wiederhol-

te Anwendung von Herbiziden mit dem gleichen Wirkungsmechanismus kommt es zu einem Selektionsdruck, der das Überleben entsprechend angepasster (resistenter) Individuen begünstigt (Abbildung 2.3.1). Wird keine Strategie zur Abwendung oder Unterbrechung dieses Selektionsprozesses durchgeführt, können resistente Individuen in der Population im Laufe der Zeit vorherrschend werden und Bekämpfungsprobleme entstehen. Die Geschwindigkeit der Resistenzentwicklung hängt von mehreren Faktoren ab, etwa von der Häufigkeit resistenter Individuen in der ursprünglichen Population, von der Unkrautdichte, vom Umfang des Samenvorrates im Boden, von dem Vermehrungspotenzial und Keimverhalten der Unkräuter sowie der „Fitness“ und Vitalität der resistenten Biotypen.

Aus globaler Sicht ist Herbizidresistenz bei Unkräutern nur ein Nebenthema, da nur wenige Regionen davon betroffen sind und auch nur wenige Unkräuter Resistenzen entwickelt haben. Aus lokaler Sicht hingegen können Herbizidresistenzen ernsthafte Probleme aufwerfen (Abb. 2.2.1). Es gibt unterschiedliche Definitionen für die Herbizidresistenz. In der Regel wird jedoch die Definition des Herbicide Resistance Action Committee (HRAC, 2001) verwendet.

Dabei ist **Resistenz** die innerhalb einer bestimmten Unkrautpopulation natürlich vorkommende, ver-

erbare Fähigkeit einiger Biotypen, Herbizidbehandlungen zu überleben, die unter normalen Umständen diese Population wirksam bekämpfen würden.

Mehrfachresistenz ist eine Resistenz gegen mehrere Herbizide, die sich aus der Anwesenheit von zwei oder mehreren Resistenzmechanismen in ein- und derselben Pflanze ergibt. Im Wesentlichen treten zwei unterschiedliche Resistenzmechanismen auf:

- **wirkortspezifische Resistenz:** Sie entsteht in Folge einer Punktmutation innerhalb der Gensequenz und führt zu einer Veränderung der Bindungsstelle. Dies kann bedeuten, dass ein Wirkstoff (z.B. bekannt bei ACCase, ALS- und Triazin-Resistenz) nicht mehr an seiner bisherigen Wirkungsstelle „andocken“ kann.

- **metabolische Resistenz:** Sie ist enzymatisch bedingt; dabei kann die resistente Pflanze einen herbiziden Wirkstoff schneller zu nicht pflanzenschädlichen Metaboliten abbauen als eine empfindliche Pflanze (z.B. gewisse Formen der Resistenz, ebenfalls bekannt bei ACCase, ALS- und Triazin-Wirkstoffen bei Ackerfuchsschwanz und Weidelgräsern) (Abbildung 2.3.2). Für beide Arten der Resistenz können Kreuzresistenzen zwischen verschiedenen Wirkstoffen auftreten. Bei einer wirkortspezifischen Resistenz treten in der Regel Kreuzresistenzen nur zwischen Wirkstoffen der gleichen Wirkstoffgruppe auf.

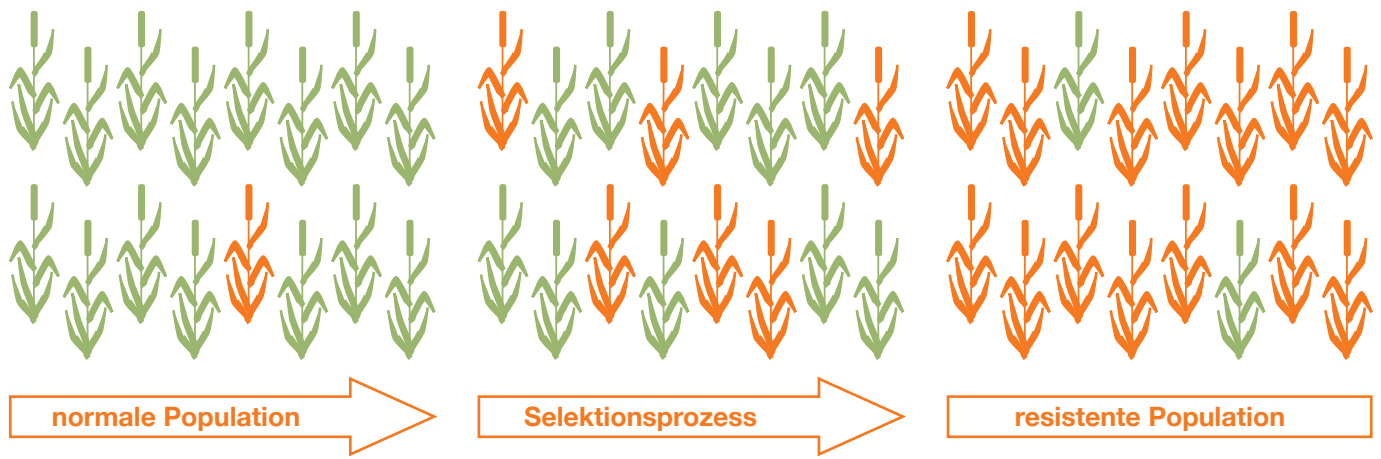


Abb. 2.3.1 | So entstehen Herbizidresistenzen in einer Ungraut/Ungraspopulation

Metabolische Resistenzen können jedoch auch zu Kreuzresistenzen zwischen Wirkstoffen unterschiedlicher Wirkstoffgruppen führen.

Während wirkortspezifische Resistenzen bei breitblättrigen Unkräutern dominieren, so sind metabolische Resistenzen bei Ungräsern weit verbreitet. Die Förderung dieser metabolischen Resistenzen wird u.a. durch eine Verringerung der Aufwandmenge provoziert. Durch die Reduzierung der Wirkungssicherheit der Herbizide können die „fittesten“ Pflanzen überleben und sich vermehren. Wissenschaftler aus Australien konnten in Versuchen mit Weidelgräsern belegen, dass durch reduzierte Aufwandmengen nach wenigen Generationen der Anteil an metabolischer Resistenz stark anstieg. Solche metabolischen Resistenzen können zu Kreuzresistenzen zwischen Wirkstoffen unterschiedlicher Wirkstoffgruppen führen.

Diese Art der Kreuzresistenz ist beispielsweise auch für Ackerfuchsschwanz bekannt. Ackerfuchsschwanz Biotypen aus Großbritannien weisen Kreuzresistenzen

zu Wirkstoffen der HRAC-Gruppe A (z.B. Fenoxaprop), B (z.B. Flupyrsulfuron), C2 (z.B. Isoproturon) und K1 (Pendimethalin) auf. Auch Deutschland hat Flächen in den norddeutschen Marschen, auf denen Produkte wie Ralon Super, Topik, Axial, Lexus, Attribut und Isoproturon nicht mehr wirken.

2.4 | Wirkstoffe, Wirkmechanismen, Mittelauswahl

In der Regel sind Herbizide die wirksamste und in den meisten Fällen auch die preisgünstigste und zuverlässigste Form der Unkrautbekämpfung. Dennoch sollten sie erst dann zum Einsatz kommen, wenn andere geeignete Kulturmaßnahmen bereits in Betracht gezogen oder durchgeführt worden sind. Zur Vermeidung von Problemen, die durch die häufig wiederholte Anwendung eines einzelnen Wirkstoffs entstehen, sollten im Rahmen einer Fruchtfolge Herbizide mit unterschiedlichen Wirkungsweisen genutzt werden. Der Wirkmechanismus beschreibt den Weg oder die Art und Weise

wie physiologische Prozesse innerhalb einer Pflanze verändert bzw. beeinflusst werden. Aufgrund ihrer Wirkungsweise und ihrer chemischen Struktur werden alle für die Unkrautbekämpfung zur Verfügung stehenden Wirkstoffe in Gruppen nach HRAC klassifiziert. Das potenzielle Resistenzrisiko ist jedoch unterschiedlich für jeden Wirkmechanismus zu bewerten. Je nach Resistenzmechanismus können Kreuzresistenzen zwischen Wirkstoffen der gleichen Gruppierung oder auch zwischen Wirkstoffen unterschiedlicher Wirkmechanismen vorkommen. Erfahrungen haben jedoch auch gezeigt, dass es je nach Resistenzmechanismus auch Unterschiede zwischen Wirkstoffen eines Wirkmechanismus kommt. Eine potenzielle Kreuzresistenz muss im Endeffekt für jeden einzelnen Wirkstoff bestimmt werden.

Für die Anwendung in Getreidefruchtfolgen sind verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen verfügbar. Die einzelnen Herbizide unterscheiden sich u.a. im Wirkungsspektrum,

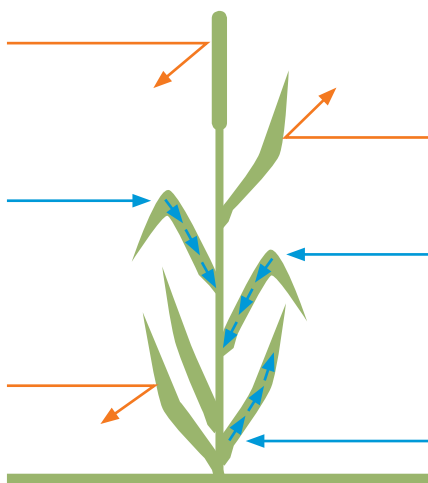
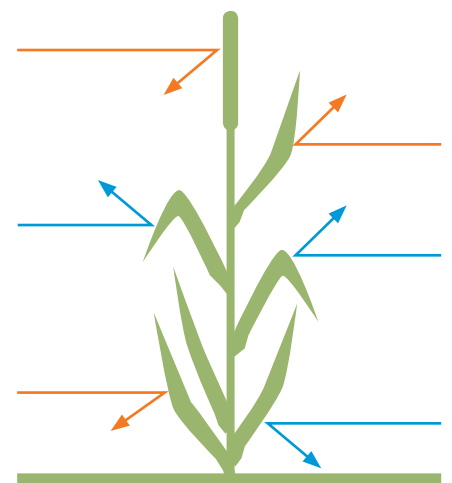


Abb. 2.3.2 | Resistenzmechanismen der Herbizide

linke Abbildung: Wirkort-Resistenz ist Wirkstoffspezifisch

rechte Abbildung: Metabolische Resistenz kann Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkorten aus unterschiedlichen chemischen Klassen betreffen



HRAC Gruppe	Produkt***	Wirkstoff	Wirkmechanismus	Kultur						
				WW	WG	SG	OR	ZR	M	N
A	Agil S	Propaquizafop	ACCCase				x	x		
A	Aramo	Tepraloxymid	ACCCase				x	x		
A	Axial	Pinoxaden	ACCCase	x	x	x				
A	Focus Ultra	Cycloxydim	ACCCase				x	x		
A	Fusilade Max	Fluazifop-p	ACCCase				x	x		
A	Ralon Super	Fenoxaprop-pethyl	ACCCase	x	x	(x)				
A	Select	Clethodim	ACCCase				x	x		
A	Targa Super	Quizalafop-p	ACCCase				x	x		
A	Topik	Clodinafop-propargyl	ACCCase	x						
B	Absolute M*	Flupyrsulfuron-methyl	ALS	x						
B	Alister*/ **	Mesosulfuron-methyl	ALS	x						
B	Atlantis	Mesosulfuron-methyl	ALS	x						
B	Attribut	Propoxycarbazone	ALS	x						
B	Broadway**	Pyroxsulam	ALS	x						
B	Cato	Rimsulfuron	ALS							x
B	Ciral*	Metsulfuron-methyl	ALS							
B	Concert*	Metsulfuron-methyl	ALS							
B	Falkon**	Penoxsulam	ALS	x	x					
B	Gropper	Metsulfuron-methyl	ALS							
B	Husar	Iodosulfuron-methyl	ALS	x		x				
B	Lexus	Flupyrsulfuron-methyl	ALS	x						
B	MaisTer	Foramsulfuron	ALS							x
B	Monitor	Sulfosulfuron	ALS	x						
B	Motivell	Nicosulfuron	ALS							x
C2	Arelon	Isoproturon	PSII	x	x	x				
C2	Azur*	Isoproturon	PSII	x	x	x				
C2	Fenikan*	Isoproturon	PSII	x	x					
C2	Lentipur	Chlortoluron	PSII	x	x					
E	Sumimax	Flumioxazin	PPO	x						
F1	Bacara*	Flurtamone	PDS	x	x					
F1	Bacara Forte **/ *	Flurtamone	PDS	x	x					
F3	Bandur	Aclonifen	Unbekannt							x
G	Roundup	Glyphosate	EPSP							x
H	Basta	Glufosinat	Glutamin							x
K1	Kerb Flo	Propyzamid	Mikrotubuli				x			
K1	Malibu	Pendimethalin	Mikrotubuli							
K1	Treflan	Trifluralin	Mikrotubuli				x			
K1	Stomp	Pendimethalin	Mikrotubuli							
K3	Bacara Forte **/ *	Flufenacet	Zellteilung	x	x					
K3	Brasan*	Dimethachlor	Zellteilung				x			
K3	Butisan	Metazachlor	Zellteilung				x			
K3	Cadou	Flufenacet	Zellteilung							
K3	Devrinol FL	Napropamid	Zellteilung				x			
K3	Herold*	Flufenacet	Zellteilung							
K3	Terano	Flufenacet	Zellteilung							x
N	Boxer	Prosulfocarb	Fetts.-synthese	x	x	(x)				

Tab. 2.4.1 | Übersicht von Herbiziden mit Gräserwirkung gegen Ackerfuchsschwanz und/oder Windhalm, die im Ackerbau eingesetzt werden können. WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, SG = Sommergetreide, () beschränkte Zulassung, OR = Winterraps, ZR = Zuckerrüben, M = Mais, N = Nicht-selektiv * Mischprodukte mit unterschiedlichen Wirkstoffen und Wirkmechanismen, ** im Zulassungsverfahren, *** Produkte als Beispiel; lt. Zulassungsregister stehen noch weitere Produkte zur Verfügung



Flughafer

Wirkungssicherheit oder Anwendungszeitraum. Der Landwirt sollte alle für seine spezielle Situation verfügbaren Produkte prüfen und alternierend einsetzen. (Tab. 2.4.1)

In vielen Fällen wird aus ökonomischen Gesichtspunkten nur eine eingeschränkte Fruchtfolge mit z.B. Winterweizen und Raps praktiziert. Diese eingeschränkte Fruchtfolge birgt generell schon ein hohes potenzielles Risiko einer Resistenzselektion. Daher ist es um so wichtiger, unterschiedliche Kulturmaßnahmen konsequent zu nutzen und alle Möglichkeiten zur Reduzierung des Unkrautsamenvorrates im Boden durch Voraufaufbehandlung entweder mit einem nicht selektiven Herbizid oder Voraufaufherbiziden in Betracht zu ziehen. Diese Gräserherbizide kommen für die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und/oder Windhalm in entsprechenden Fruchtfolgen in Frage (Tabelle 2.4.1).

2.5 | Kultur- und Ackerbauliche Maßnahmen

Herbizidresistente Unkrautpflanzen treten meistens in Gebieten auf, in denen u.a. bestimmte Standortfaktoren vorherrschen und Fruchtfolgen und/oder ackerbauliche Maßnahmen aus unterschiedlichen Gründen nicht praktiziert werden. Damit bekommt die Fruchtfolge einen besonders großen Stellenwert und hat direkten Einfluss auf die Auswahl der Bodenbearbeitungsmethode, das Auftreten natürlich vorkommender Unkräuter, die Konkurrenzfähigkeit der angebauten Kulturen innerhalb der Rotation und das Spektrum der



Ackerfuchsschwanz

für die Unkrautbekämpfung verfügbaren Herbizide. Die Anzahl der Unkrautarten, die unter den Bedingungen einer Monokultur gedeihen, ist oft nur gering, aber sie haben sich an die jeweiligen Kulturen gut angepasst und kommen entsprechend in hohen Dichten vor. Ein gutes Beispiel zeigt die Resistenzsituation von Ackerfuchsschwanz in der Küstenregion Norddeutschlands.

In der Reihenfolge ihrer Bedeutung haben folgende Gründe die Ausbreitung von Ackerfuchsschwanz in dieser Region begünstigt:

1. **Das Fehlen einer Fruchtfolge, Monokultur Winterweizen**
2. **kontinuierlicher Einsatz von PSII und später FOP-Herbiziden, kein Wirkstoffwechsel**
3. **Frühsaaten, welche die Verungrasung fördern**
4. **schwere ton- und humusreiche Böden mit reduzierter Bodenbearbeitung**
5. **Anbau ertragreicher, aber konkurrenzschwacher Weizensorten (Kurzstroh-Sorten)**

Zu den ackerbaulichen Maßnahmen, die die Unkrautdichte reduzieren können, gehören u.a. mechanische Unkrautbekämpfung, optimaler Aussaattermin und optimale Aussaatdichte, Reduzierung des Unkrautsamenvorrates, Auswahl von geeigneten Sorten. Die Art der Bodenbearbeitung hat einen entscheidenden Einfluss auf Selektion, Aufaufverhalten und Dichte der Unkräuter. Verschiedene Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung begünstigen zumeist die Entwicklung bestimmter Arten,



Windhalm

die später dominant werden. Dies lässt sich u.a. dadurch erklären, dass einige Arten wie z.B. Ackerfuchsschwanz oder Weidelgrasarten nur flach unter der Bodenoberfläche und nicht aus tieferen Schichten keimen können. Wenn Unkrautsamen in tiefere Bodenschichten kommen, sinkt ihre Keimungsrate in den meisten Fällen signifikant. Der Besatz mit Bromusarten (Trespen) ist erst durch reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren zum Problem geworden. Durch seine kurze Lebensdauer verursachte er in der Vergangenheit durch den Pflugeinsatz kein Problem. Die Keimfähigkeit von Flughafer hingegen wird von der Art der Bodenbearbeitung nicht so stark beeinflusst, denn dieses Ungras kann auch aus größeren Bodentiefen heraus aufaufen und seine Samen besitzen eine gute Überlebensfähigkeit.

2.5.1 | Biologie der Ungräser und Unkräuter

Kenntnisse über Biologie und Wachstumsverlauf von Unkräutern und Ungräsern sind für die Komplexität der Unkrautbekämpfung aus mehreren Gründen von wesentlicher Bedeutung. Das charakteristische Aufaufverhalten unterschiedlicher Spezies bestimmt den optimalen Zeitpunkt für Herbizidanwendungen. In Deutschland keimen zum Beispiel ca. 80 % der Samen von Ackerfuchsschwanz im Herbst (siehe Tabelle 2.5.1.1). Beobachtungen in den norddeutschen Marschen im Frühjahr stellen diese Annahme jedoch in Frage, da kaum noch Nachläufer im Frühjahr festgestellt werden konnten (mündlich

Unkraut	Keimung	Samen/Pflanze	Überlebensdauer im Boden (in Jahren)
Ackerfuchsschwanz	80% Herbst 20% Frühjahr	40-400	1 (5-10)
Flughafer	Frühjahr	15-150	5-10
Windhalm	Herbst	1000-12000	1-2
Trespen	das ganze Jahr	200	1-2
Hühnerhirse	Spätes Frühjahr	200-1000	Max. 5
Kamille	das ganze Jahr	45000	Bis 100
Vogelmiere	das ganze Jahr	15000	keine Angaben
Klatschmohn	Herbst bis Frühjahr	50000	keine Angaben
Amaranth	Frühjahr	117000	40
Weißer Gänsefuß	Frühjahr	72000	40

Tab. 2.5.1.1 | Biologische Parameter einiger Unkrautsamen

Weidelgras (<i>Lolium rigidum</i>) m ²		
Kulturart	Mit Samenaufnahme	Ohne Samenaufnahme
Erbsen	1810	5215
Gerste	346	577
Weizen	627	1290

Tab. 2.5.1.2 | Effekt von Aufnahme und Abtransport von Unkrautsamen mit der Ernte auf die Anzahl von *Lolium rigidum*-Samen zu Beginn der nächsten Saison. Ergebnisse aus Australien. (Quelle: Powles, 1997)

Mitteilung). Die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern ist bekannterweise sehr hoch, wenn beide gleichzeitig auflaufen und eine hohe Unkrautdicke gegeben ist. Durch eine Verzögerung der Weizenaussaat können im Falle von Ackerfuchsschwanz aufgelaufene Pflanzen während der Saatbettbereitung vernichtet und so die Ungraspopulation erheblich reduziert werden.

Die Herbizidanwendung sollte sich nach dem Wachstumsstadium der vorhandenen Unkrautarten sowie nach der Wirkungsweise der Aktivsubstanzen richten.

Ein blattaktives Herbizid sollte erst dann gespritzt werden, wenn sich genügend Blattmasse bei Ungräsern oder Unkräutern gebildet hat, ein bodenaktives Mittel spätestens bis zum Auflaufen der Unkräuter oder Ungräser.

Die Lebensdauer der Unkrautsamen ist ein wichtiger Faktor, der die Entwicklung einer Herbizidresistenz wesentlich beeinflussen kann. Sie bestimmt die Zeit, in der es zu einer Verschiebung innerhalb einer Unkrautpopulation kommen kann. Tabelle 2.5.1.1 zeigt Angaben zum

Auflaufverhalten, der Samenzahl je Pflanze sowie der Überlebensdauer einiger Grassamen unter europäischen Bedingungen. Einige Grassamen, z.B. Ackerfuchsschwanz und Windhalm keimen hauptsächlich im Herbst, andere, wie z.B. Flughafer und Hühnerhirse, überwiegend im Frühjahr. Die Samen von Flughafer überdauern länger im Boden als die von Windhalm. Aus diesem Grunde dauert eine potenzielle genetische Erneuerung für Flughafer viel länger als für Windhalm. Die längere Lebensdauer der Samen verlangsamt damit eine mögliche Verschiebung innerhalb der Population.

Im Gegensatz zu Gräsern haben breitblättrige Unkräuter ein riesiges Samenpotenzial und teilweise ein sehr langes Überdauerungsvermögen im Boden. Daher ist es verwunderlich, dass bisher in Deutschland nur wenige Resistenzfälle bekannt geworden sind. Neben den bekannten Triazin-resistenten Arten aus dem Maisbereich, gibt es einzelne wenige Fälle einer ALS Resistenz bei Kamille in Schleswig Holstein. Für die Bekämpfung breitblättriger Arten steht den Landwirten noch eine Vielzahl von Optionen zur Ver-

fügung. Einige Mähdrescher sind in der Lage, aufgenommene Samen von Ungräsern separat zu sammeln. Diese können dann nachfolgend verbrannt bzw. vernichtet werden. Da Unkrautsamen auf diese Weise äußerst effektiv reduziert werden können, empfiehlt sich diese Methode insbesondere in Gegenden mit sehr hohen Unkrautpopulationen (Tab. 2.5.1.2). Da diese Technik nicht immer zufriedenstellend funktioniert, könnten weitere Verbesserungen zu einer höheren Akzeptanz und damit auch zu einer breiteren Anwendung führen.

Effiziente Lösungen wurden bereits in Australien untersucht, die Unkrautsamen in separate Behälter sammeln bzw. direkt zermahlen. Grundsätzlich sollten Mähdrescher und Erntemaschinen gereinigt werden, bevor von einem Feld zum anderen gewechselt wird. Dies ist besonders dann wichtig, wenn auf einem Standort resistente Ungras oder Unkrautspezies vermutet werden oder bestätigt sind.

2.5.2 | Einfluss von Sortenwahl und Saatterminen

Die Sortenwahl ist eine weitere Möglichkeit zur Unterdrückung von Unkräutern. Die Konkurrenzfähigkeit einer bestimmten Sorte kann von der Struktur und der Dichte ihres Blattapparates und ihrer Wurzeln abhängen. Kurzstrohige, ertragreiche Weizensorten mit einem niedrigen Ernteindex (d.h. mit einem niedrigen Verhältnis von Blättern zu Körnern) werden häufig von Züchtern und Landwirten bevorzugt. In bestimmten Fällen ist es jedoch zu empfehlen, Sorten mit starkem Blattapparat und dichtem Wurzelsystem für den Anbau auszuwählen, da solche Sorten eine stärkere Konkurrenzkraft besitzen und somit den Besatz mit Unkräutern oder Ungräsern stärker unterdrücken.

Wird der Aussaatzeitpunkt der Kultur verzögert, können Unkrautkeimlinge bereits vor dem Saattermin der Kulturpflanzen auflaufen, möglich z.B. im Herbst bei Ackerfuchsschwanz (Abb. 2.5.2.1) und Weidelgräsern (Tab. 2.5.2.1) oder im Frühjahr bei Flughafer. Erfolgt die Bodenbearbeitung rechtzeitig vor der Aussaat der Folgekultur, so haben die Unkrautsamen optima-

le Keimbedingungen. Unmittelbar nach dem Auflaufen können die Unkräuter durch die letzte Saatbettbereitung mechanisch oder mit einem nicht selektiven Herbizid auf chemischem Wege bekämpft werden. Durch eine Hinauszögerung der Aussaat wurde der Ungrasbesatz deutlich reduziert (Tab. 2.5.2.1). Spätere Aussaattermine ermöglichen zudem in den Untersuchungen einen höheren Wirkungsgrad der eingesetzten Herbizide infolge eines geringeren Bedeckungsgrades mit Ackerfuchsschwanz.

In einigen Regionen gibt es einen weiteren Trend zu früheren Saatzeitpunkten mit niedrigeren Saaddichten. Dadurch wird die Konkurrenzfähigkeit der Kulturpflanzen speziell in den frühen Stadien deutlich verringert. Werden geeignete Maßnahmen zur Verhinderung einer Verunkrautung getroffen, hat dies keine nachteiligen Auswirkungen auf den Ertrag. In der Praxis muss in solchen Situationen darauf geachtet werden, dass die eingesetzten Herbizide mit den vollen zugelassenen Aufwandmengen dosiert werden.

2.6 | Wie muss der Landwirt das Risiko kalkulieren?

Herbizidanwendungen sollten nach den Grundsätzen der Guten Fachlichen Praxis sowie des Integrierten Pflanzenschutzes erfolgen. Der erste Schritt im Entscheidungsprozess ist deshalb, die Unkrautarten und ihre Dichte festzustellen, danach erfolgt die Festlegung des optimalen Anwendungstermins für das ausgewählte Herbizid. Die Wirksamkeit des Produktes und damit auch der Erfolg der Unkrautmaßnahme werden von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Wachstumsbedingungen, der Anwendungszeitpunkt, die Applikationstechnik sowie die Aufwandmenge. Nur wenn alle Faktoren sorgfältig optimiert werden, haben die Herbizide einen maximalen Wirkungsgrad und können das volle Potenzial ausspielen.

Landwirte sind zumeist aus Kostengründen bestrebt, die Aufwandmenge so niedrig wie möglich zu halten. Solche Reduzierungen können – in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen – jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze vorgenommen werden. Je weiter reduziert wird,

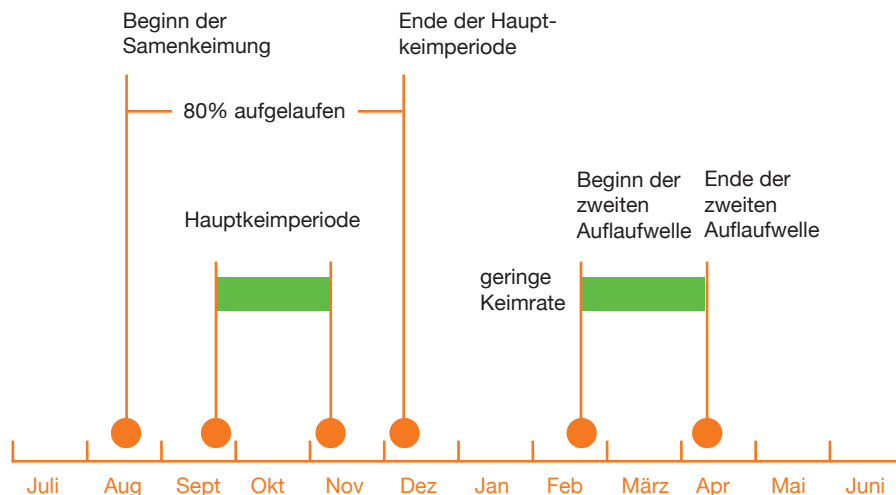


Abb. 2.5.2.1 | Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz in Deutschland

Saattermin	Mitte September	Anfang Oktober	Mitte Oktober
Anzahl Pflanzen/m ²	268	193	78
Prozent	100%	-28%	-71%
Anzahl Ähren/m ²	618	290	148
Prozent	100%	-53%	-76%

Tab. 2.5.2.1 | Einfluss des Saattermins auf das Auflaufverhalten von Ackerfuchsschwanz in den Norddeutschen Marschen (Mittel von vierjährigen Versuchen), Krüssel und Hoppe, 2006

desto höher ist das Risiko einer unzureichenden Wirkung, und um so höher kommt der Selektionsdruck für metabolische Resistenzen zum Tragen. Eine Herbizid-Maßnahme, mit der die Unkräuter nicht zufriedenstellend erfasst werden, führt zu einem weiteren Auffüllen des Unkrautsamenvorrates im Boden und macht evtl. eine Nachbehandlung erforderlich. Eine um 5 % niedrigere Wirksamkeit reicht aus, um den im Boden verfügbaren Samenvorrat über einen Zeitraum von 15 Jahren um das 100-fache zu erhöhen. Dies wird besonders dann kritisch, wenn es innerhalb der Population eine Tendenz in Richtung Resistenzausbildungen gibt. Niedrige Dosierungen, welche nur unzureichend wirken, beschleunigen innerhalb einer Unkrautpopulation die Verschiebung hin zu resistenten Biotypen. Hat ein Ungras oder Unkraut eine Resistenz gegen einen bestimmten Wirkstoff entwickelt, bedeutet dies im Falle einer metabolischen Resistenz nicht automatisch, dass es auch gegen andere Vertreter derselben chemischen Gruppe oder gegenüber Wirkstoffen mit der gleichen Wirkungsweise resistent ist.

Erfahrungen aus den Marschen zeigen, dass z.B. Atlantis auf Standorten bei denen Ralon, Topik, Axial, Arelon oder Lexus nicht mehr wirken, noch eine hohe Wirkungsleistung zeigt. Diese darf jedoch nicht überstrapaziert werden. Die Unterbrechung des Lebenszyklus einer Pflanze, das bedeutet konkret die Verhinderung der Samenbildung, ist die beste Methode der Resistenzselektion entgegenzutreten. Landwirte sollten sich bei Fragen zu diesem Thema mit ihrem örtlichen Herbizidfachmann oder Fachberater in Verbindung setzen.

Der Landwirt – wie jeder andere Unternehmer auch – wird tendenziell immer ein Produktionssystem wählen, welches ihm im Moment den höchsten Gewinn verspricht. Eine möglicherweise geringere Rentabilität durch Vermeidung von Monokultur und Optimierung der Fruchtfolge fällt für ihn stärker ins Gewicht als die Vorsorge gegen Herausbildung von resistenten Unkräutern. In den meisten Teilen der Welt sind Fruchtfolgen mit zwei und mehr Kulturarten geläufige Praxis. In diesen Gebieten ist das Risiko der Entstehung herbizidresisten-

Resistenzrisiko	Niedriges Risiko	Mittleres Risiko	Hohes Risiko
Anbausystem	Fruchtfolge vielfältig	Fruchtfolge eingeschränkt	Keine Fruchtfolge
Unkrautbekämpfung	Ackerbauliche Maßnahmen, mechanisch und chemisch	Ackerbauliche Maßnahmen und chemisch	Nur chemisch
Herbizidanwendungen in Mischung oder Spritzfolgen	Mehr als zwei unterschiedliche Wirkungsmechanismen	2 unterschiedliche Wirkungsmechanismen	Nur 1 Wirkungsmechanismus
Nutzung von Herbiziden mit demselben Wirkungsmechanismus	Einmal pro Jahr	Mehr als einmal pro Jahr	Mehrmals jährlich
Unkrautbesatz	gering	moderat	hoch
Bekannte Resistenzen bei eingesetzten Herbiziden	Nein/unbekannt	Wenige Fälle/ begrenztes Auftreten	Viele bekannte Fälle/ weit verbreitet
Wirkungsgrad in den letzten Jahren	gut	abnehmend	schlecht

Tab. 2.6.1 | Beurteilung eines möglichen Resistenzrisikos

ter Unkrautarten sehr gering. Eine schematische Risikobewertung, die alle für Feldkulturen möglichen Rahmenbedingungen berücksichtigt, ist vom HRAC herausgegeben worden (siehe Tabelle 2.6.1).

Anhand einer derartigen Risikobewertung lassen sich unter optimaler Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten Anti-Resistenz-Strategien entwickeln und durchführen. Im Mittelpunkt einer nachhaltigen Bekämpfungsstrategie dürfen Maßnahmen gegen entstehende Resistenzen nicht zu spät getroffen werden (Abbildung 2.6.1). In Modellversuchen wurde in der Vergangenheit untersucht, mit welchen Mehrkosten im Falle einer Resistenzstehung (höhere Herbizidkos-

ten, geringere Erträge) zu rechnen ist im Vergleich mit den Mehrkosten einer Anti-Resistenzstrategie. Während anfänglich die Rendite in Produktionssystemen mit Anti-Resistenzstrategien geringer ausfällt als in solchen, die diese Strategie nicht berücksichtigen, kehrt sich das Verhältnis mittelfristig um. Ein Resistenzmanagement ist deshalb immer eine Investition für die Zukunft.

Es muss im Interesse der Hersteller, der Landwirte und auch der Fachberatung liegen, die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Herbizide langfristig aufrecht zu erhalten, denn die Entdeckung, Entwicklung und Zulassung neuer Herbizide mit neuen Wirkungsmechanismen ist extrem schwierig geworden (Tab.

2.6.2). Mittelfristig werden einige Wirkstoffe nicht mehr für ein Resistenzmanagement zur Verfügung stehen (EU-Directive). „Integrated Weed Management“ ist die Grundlage für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Pflanzenproduktion.

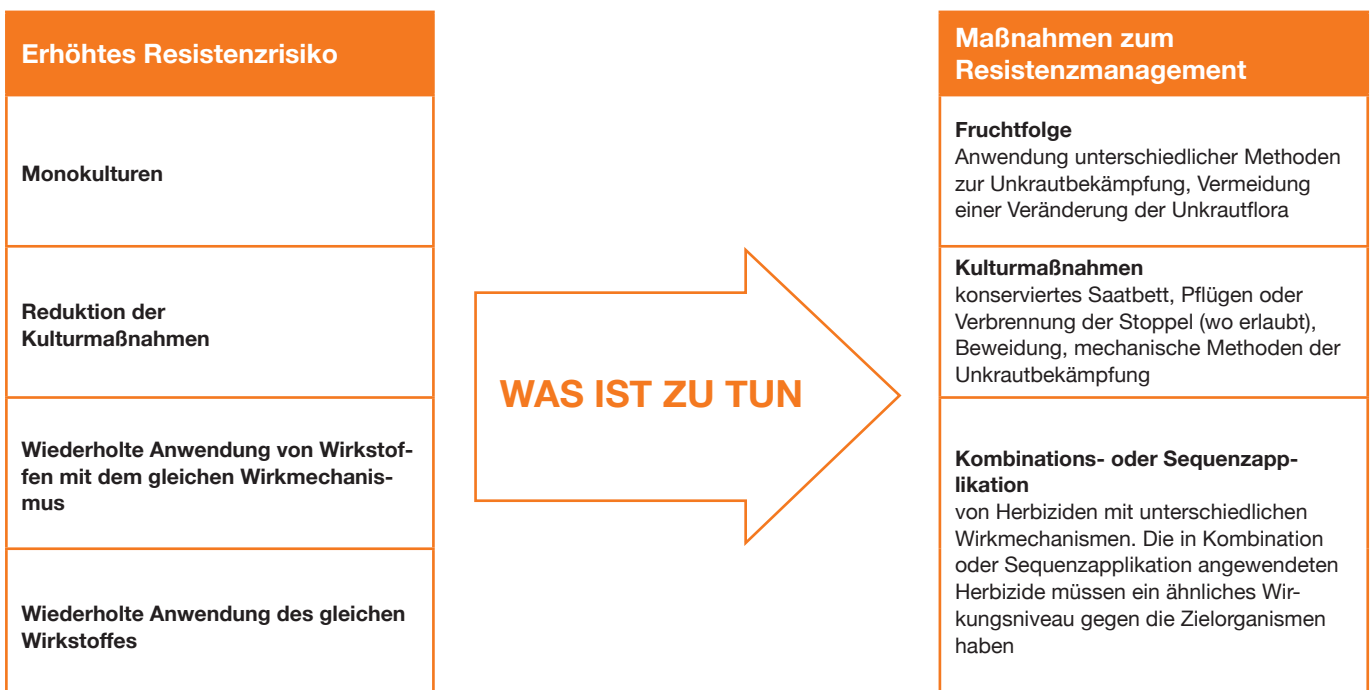


Abb. 2.6.1 | Strategien zum Resistenzmanagement (HRAC)

Herbizidauswahl mit und ohne Resistenzrisiko in Deutschland

Kultur	mit Resistenzrisiko	ohne Resistenzrisiko
Getreide	Ralon Super* (Fenoxaprop-P) Topik* (Clodinafop) Arelon flüssig* (Isoproturon) Lexus* (Flupyrsulfuron) Monitor (Sulfosulfuron) Husar (Iodosulfuron) Atlantis WG (Iodosulfuron, Mesosulfuron) Axial (Pinoxaden) Brazzos (Imazosulfuron) Gropper (Metsulfuron) Hoestar Super (Amidosulfuron) Pointer (Tribenuron) Primus (Florasulam) Attribut (Propoxycarbazone) Starane XL (Fluroxypyr, Florasulam)	Bacara (Flurtamone, Diflufenican) Basagran DP (Bentazon, Dichlorprop-P) Boxer (Prosulfocarb) Cadou (Flufenacet) Certrol B (Bromoxynil) Herold (Flufenacet, Diflufenican) Pico (Picolinafen) Platform (Carfentrazone) Starane 180 (Fluroxypyr) Stomp SC (Pendimethain) U 46 D-Fluid (2,4-D) U 46 M-Fluid (MCPA)
Zuckerrübe	Agil-S* (Propaquizafop) Fusilade Max* (Fluazifop-P) Aramo (Tepaloxymidim) Focus Ultra (Cycloxydim) Select 240 EC (Clethodim) Debut (Triflursulfuron)	Betanal Expert (Phenmediphan, Ethofumesat, Desmedipham) Betanal Quattro (Phenmediphan, Desmedipham, Ethofumesat, Metamitron) Goltix 700 SC (Metamitron) Lontrel 100 (Clopyralid) Powertwin u.a. (Phenmediphan, Ethofumesat) Pyramin WG (Chloridazon) Rebell (Chloridazon, Quinmerac)
Raps	Agil-S* (Propaquizafop) Fusilade Max* (Fluazifop-P) Gallant Super* (Haloxypop-P) Targa Super* (Quizalofop-P) Aramo (Tepaloxymidim) Select 240 EC (Clethodim)	Butisan (Metazachlor) Cirrus 50 WP (Clomazone) Devrinol Kombi CS (Trifluralin, Napropamid) Kerb 50 W (Propyzamid) Nimbus CS (Clomazone, Metazachlor) Brasan (Clomazone, Dimethachlor)
Mais	Harmony (Thifensulfuron) Cato (Rimsulfuron) Motivell (Nicosulfuron) MaisTer (Foramsulfuron, Iodosulfuron) Focus Ultra (Cycloxydim) Click (Terbuthylazin) Gardobuc (Bromoxynil, Terbuthylazin) Gardo Gold (S-Metolachlor, Terbuthylazin)	Callisto (Mesotrione) Certrol B (Bromoxynil) Lentagran WP (Pyridat) Spectrum (Dimethenamid-P) Stomp SC (Pendimethalin) Terano (Flufenacet, Metosulam) Lontrel (Clopyralin) Starane 180 (Fluroxypyr) Clio (Topramezone)
Kartoffel	Agil-S* (Propaquizafop) Fusilade Max* (Fluazifop-P) Gallant Super* (Haloxypop-P) Targa Super* (Quizalofop-P) Aramo (Tepaloxymidim) Focus Ultra (Cycloxydim) Select 240 EC (Clethodim) Sencor WG (Metribuzin) Cato (Rimsulfuron)	Bandur (Aclonifen) Boxer (Prosulfocarb) Centium 36 CS (Clomazone) Racer CS (Flurochloridon)

Tab. 2.6.2 | Herbizidangebot in Deutschland, eingestuft nach potenziellem Resistenzrisiko. (Quelle: Zwerger, DLG-Mitteilungen 1/2006)
 * hohes Resistenzrisiko aufgrund des jeweiligen Wirkmechanismus sowie tatsächlicher Resistenzfälle.

2.7 Worauf beim Herbizideinsatz achten ?

Herbizidresistenzen sind betriebs- bzw. schlagspezifische Ereignisse. Insofern sind auch die zu ergreifenden Maßnahmen sehr spezifisch und können sich von Betrieb zu Betrieb unterscheiden. Dennoch bleiben die Grundsätze für ein effektives Resistenzmanagement die gleichen.

Dort, wo Resistenzen beobachtet wurden, waren entweder Bewirtschaftungsweisen anzutreffen, die die Entwicklung der Ungräser und ihre Vermehrung fördern (Marschgebiete) oder über Jahre ein einseitiger Einsatz von Herbiziden erfolgt, d.h. langjährig kamen nur Wirkstoffe mit dem gleichen Wirkungsmechanismus zum Einsatz. Auf Standorten mit Ungrasresistenzen herrscht in der Regel ein hoher bis extremer Besatz an Ungräsern vor. Diese Standorte sind in Deutschland in der Minderheit.

Es überwiegen jedoch die Flächen, auf denen noch keine Resistenzen beobachtet wurden. Da infolge der Bewirtschaftungsweisen gerade der Ungrasdruck auf diesen Flächen zunimmt, sind auch hier Überlegungen des Resistenzmanagements in das Anbausystem und die Unkrautbekämpfung zu integrieren.

Welche Ziele sollen im Rahmen des Resistenzmanagements mit dem Herbizideinsatz verfolgt werden? Wie soll der Herbizideinsatz konkret erfolgen? Dies wird an zwei Beispielen mit unterschiedlichen Ausgangssituationen dargestellt.

Beispiel 1: Fruchtfolge aus Blattfrüchten und Getreide mit einem geringeren bis mittleren Befallsdruck (Tab. 2.6.3). Dort werden mit dem Herbizideinsatz vorrangig zwei Ziele verfolgt: 1. **Die Ungrasdichte auf niedrigem Niveau** zu halten, 2. **keinen Selektionsdruck** gegenüber einer Wirkstoffgruppe aufbauen. Mit jeder chemischen Unkrautbekämpfungsmaßnahme sind hohe Wirkungsgrade – möglichst 100 % Wirkung – gegen die Ungräser anzustreben. Dazu sollten in den jeweiligen Kulturen die stärksten Ungrasmittel zum Einsatz kommen und keine Kompromisse bei den Aufwandmengen eingegangen werden. Aufwandmengen-Reduzierungen können nicht nur zu Minderwirkungen führen, sondern auch die Entwicklung metabolischer Resistenzen induzieren. In diesem Anbausystem verringert man den Selektionsdruck auf resistente Pflanzen, indem in jedem Glied der Fruchtfolge Wirkstoffe mit unterschiedlicher Wirkungsweise eingesetzt werden (Tab. 2.6.3).

Beispiel 2: Monokultur Weizen, ein Anbausystem, das in den Marschgebieten Norddeutschlands praktiziert wird. Diese Standorte weisen einen hohen bis extrem hohen Ackerfuchsschwanz-Besatz sowie

Resistenzen gegen Wirkstoffe der HRAC-Gruppe A (u.a. Ralon Super, Topic, Axial) und Minderwirkungen gegenüber IPU-Produkten auf. Auch sind Resistenzen gegenüber einigen ALS-Hemmern wie Flupyr-sulfuron und Propoxycarbazone bekannt. Aus dieser Gruppe hat lediglich der Wirkstoff Mesosulfuron aus dem Produkt Atlantis WG noch volle Wirksamkeit (Tab. 2.6.4).

Neben der **Erzielung hoher Wirkungsgrade** muss die Zielsetzung der Herbizidstrategie auf solchen Standorten sein, die Wirkung des heute noch wirksamen Produktes Atlantis langfristig zu erhalten und die **Populationsdichte an Ackerfuchsschwanz kontinuierlich zu reduzieren**.

Ein konsequenter Wirkstoffwechsel im Rahmen einer Spritzfolge hilft den Selektionsdruck zu vermindern und den „Verschleiß“ von wirksamen Produkten hinaus zu zögern. Dies erreicht man durch eine Vorlage von Flufenacet-haltigen Produkten, z.B. Cadou SC + Bacara im Voraufbau bis frühen Nachaufbau gefolgt von einer Atlantis-Anwendung mit 400 g/ha +(FHS)

Wirkstoffmanagement in der Gräserbekämpfung am Beispiel Raps oder Zuckerrüben-Fruchtfolge

Raps/ Zuckerrüben	Winterweizen	Wintergerste/ Winterweizen
Fop's/ Dim's HRAC: A z.B. Targa Super	Sulfonylharnstoffe HRAC: B z.B. Atlantis WG, Husar PowerSet, Attribut	Flurtamone HRAC: F1 z.B. Bacara Flufenacet HRAC: K3 z.B. Cadou Phenyl-Harnstoff-Derivate wie IPU HRAC: C2 z.B. Fenican, Azur/ Accord SP Den's/ Fop's HRAC: A z. B. Ralon Super

Wirkstoffmanagement in der Gräserbekämpfung am Beispiel einer Winterweizen - Monokultur

Winterweizen - Monokultur

Vorsaat	Vorlage im Voraufbau/ frühen Nachaufbau	Nachlage im Nachaufbau
mechanisch und/ oder Glyphosate HRAC: G	Flufenacet HRAC: K Cadou + Partner	Sulfonylharnstoffe HRAC: B Atlantis WG

im Nachaufbau Herbst oder 500 g/ha (+ FHS) im Nachaufbau Frühjahr. Die Vorsaatbehandlung mit Glyphosate ist vorteilhaft und mindert den Selektionsdruck.

Herbstanwendungen von Atlantis eignen sich in diesem System nur, wenn die Vorlage infolge von Bodentrockenheit nicht ausreichend gewirkt hat und günstige Witterungsbedingungen nach der Anwendung (noch mind. 10 Tage Vegetation) vorherrschen. Die Wirkung von Atlantis muss durch Additiv-Zusatz stabilisiert werden. Die Zugabe von 30 l/ha AHL-Lösung zur Spritzbrühe hat sich hervorragend bewährt. Das Problem Ackerfuchsschwanz kann mit den Herbizidmaßnahmen mittel- bis langfristig nicht gelöst werden kann. Der Besatz mit Ackerfuchsschwanz muss durch ackerbauliche Maßnahmen kontinuierlich re-

duziert werden. Hierzu zählen:

- der Einsatz des Pfluges,
 - spätere Saattermine,
- der Anbau langstrohiger Sorten mit größerer Konkurrenzkraft bis hin zum Anbau von Sommerungen. Andernfalls ist die Nachhaltigkeit des Standortes für den Ackerbau in Frage gestellt.

Gute fachliche Praxis beim Herbizideinsatz beachten!

Eine vollständige Bekämpfung der Ungräser ist das beste Antiresistenz-Management. Unabhängig vom Standort ist stets darauf zu achten, dass die Anwendungsbedingungen für die eingesetzten Herbizide optimal sind. So sollen Bodenherbizide nur bei ausreichender Bodenfeuchte eingesetzt werden, während blattaktive Mittel bei ausreichend Luftfeuchte (>60%) zum Einsatz kommen sollen. Auf ausreichende Benetzung ist zu achten,

der Spritzbelag sollte genügend Zeit haben, um anzutrocknen, d.h. kein Einsatz bei unmittelbar einsetzenden Niederschlägen.

Die Anwendung soll bei aktivem Wachstum der Zielpflanzen erfolgen. Bei durch Staunässe oder Frost geschädigten Ungräsern ist die Aufnahme behindert und somit eine ausreichende Wirkung nicht sichergestellt. Mit der Behandlung sollte dann solange gewartet werden, bis die Ungräser und die Kultur sich wieder erholt haben. Bei einigen Wirkstoffen haben sich Additiv-Zusätze bewährt. Sie verbessern die Anlagerung, die Haftung der Spritzbrühe an den Ungräsern und verbessern die Wirkstoffaufnahme durch die Wachsschicht. Nicht jedes Additiv ist für jeden Wirkstoff geeignet: Atlantis WG wird als Pack mit dem am besten geeigneten Additiv vermarktet. Husar WG wird mit dem Additiv MERO als Husar PowerSet vermarktet. Auf Marsch-Standorten verbessert die Zugabe von 30 l/ha AHL zum Atlantis die Wirkung deutlich.

Die oben genannten Beispiele zeigen, dass es bei Herbizideinsatz ein breites Spektrum an Möglichkeiten gibt, Resistenzmanagement zu betreiben. Dies ist jedoch rechtzeitig anzugehen, um Resistenzen vorbeugend zu vermeiden. Ist „das Kind erst in den Brunnen gefallen“, sind die Möglichkeiten arg begrenzt und über die Jahre betrachtet, werden die dann möglichen Verfahren deutlich kostenintensiver und verlustreicher.





3

FUNGIZIDRESISTENZEN

Resistenzbildung gegenüber Fungiziden ist zu einem viel diskutierten Thema geworden. Besteht derzeit ein Grund, in Panik zu verfallen?

Nein, denn nicht jede weniger gute Wirkung ist gleich auf Resistenzentwicklung zurückzuführen. Einiges hat sich aber in den vergangenen Jahren verändert - und sollte deshalb künftig bei der Anwendung von Fungiziden noch stärker berücksichtigt werden.

3.0 | Fungizidresistenz

Resistenzbildung gegenüber Fungiziden ist zu einem viel diskutierten Thema geworden. Besteht derzeit ein Grund, in Panik zu verfallen? Nein, denn nicht jede weniger gute Wirkung ist gleich auf Resistenzentwicklung zurückzuführen. Einiges hat sich aber in den vergangenen Jahren verändert - und sollte deshalb künftig bei der Anwendung von Fungiziden noch stärker berücksichtigt werden.

Dabei ist die Entwicklung resistenter Pilzrassen nicht neu (Abb. 3.1). Überraschend ist aber die Geschwindigkeit, mit der dies bei einzelnen Schaderregern im Zusammenhang mit bestimmten Wirkstoffen beobachtet werden musste. Das Risiko der Ausbreitung resistenter Schaderreger ist von dessen Vermehrungsrate und vor allem vom

Wirkungsmechanismus des Fungizides sowie von der Art der genetischen Veränderung (= Mutation) im Pilz abhängig.

3.1 | Wirkmechanismus

Wenn nur eine einzelne genetische Veränderung genügt, den Pilz unempfindlich gegenüber einem Wirkstoff zu machen, ist die Gefahr der Resistenzbildung sehr hoch. Diese Erfahrungen mussten beispielsweise mit der Wirkung von Benzimidazolen gegen Halmbruch in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts und erst vor kurzer Zeit bei der Anwendung von Strobilurinen gemacht werden.

Bei dieser Art der Resistenz gibt es fast nur ein „Ja“ oder „Nein“ - entweder empfindliche oder unemp-

findliche Individuen. Bei Anwendung der gleichen Wirkstoffgruppe werden dann die unempfindlichen Pilzstämme herausselektiert und bilden sehr schnell eine neue Population, die mit der entsprechenden Wirkstoffgruppe dann nicht mehr ausreichend bekämpft wird (Abb. 3.1.1).

Sind hingegen Veränderungen an mehreren Genen notwendig, um weniger empfindliche Rassen entstehen zu lassen, so ist die Gefahr von deren Ausbreitung wesentlich geringer. Dabei kann sich der Erreger über die Veränderung mehrerer Gene schrittweise anpassen – „shifting“ (Abb. 3.2.2.1/Kap. 3.2.2). Je höher der Grad der Resistenz, desto mehr genetische Veränderungen müssen in einem einzelnen Individuum zusammentreffen. Die Wahr-

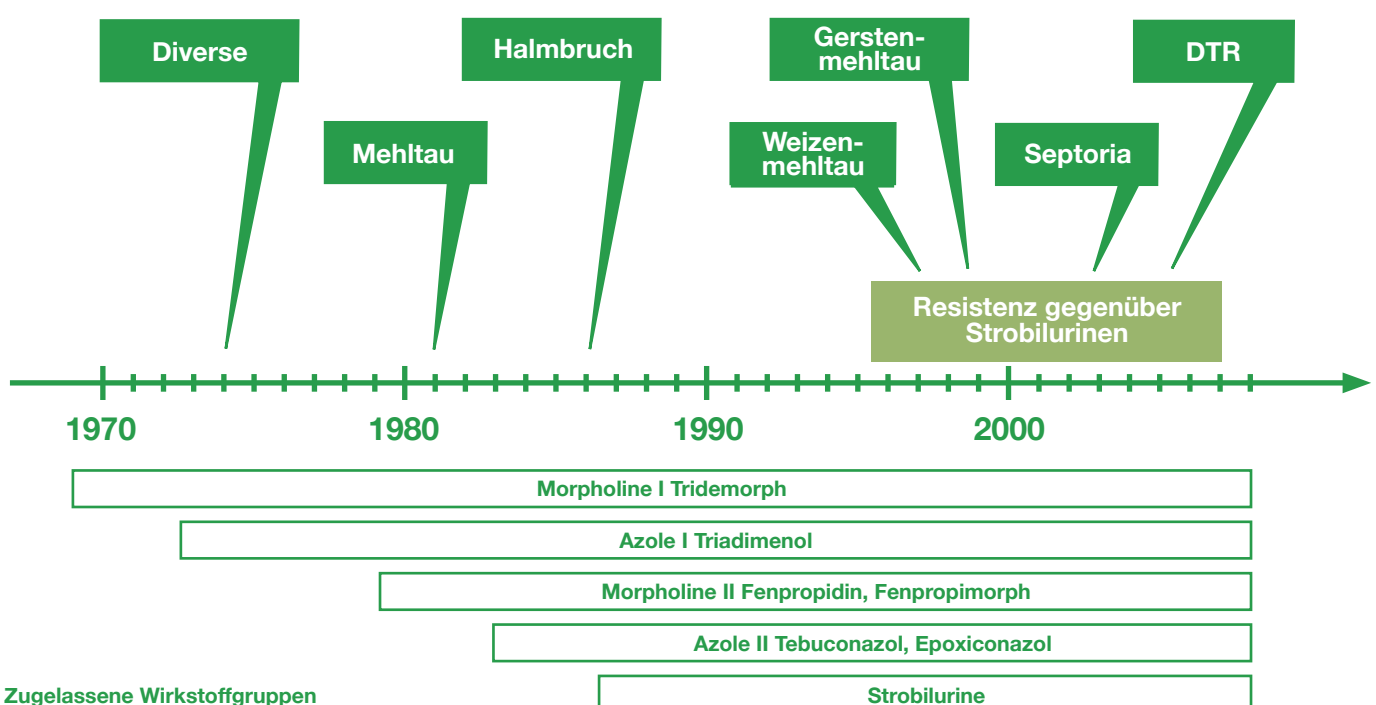


Abb. 3.1 | Auftreten von Fungizidresistenzen (Quelle: Rodemann, DLG-Mitteilungen 2/2006)

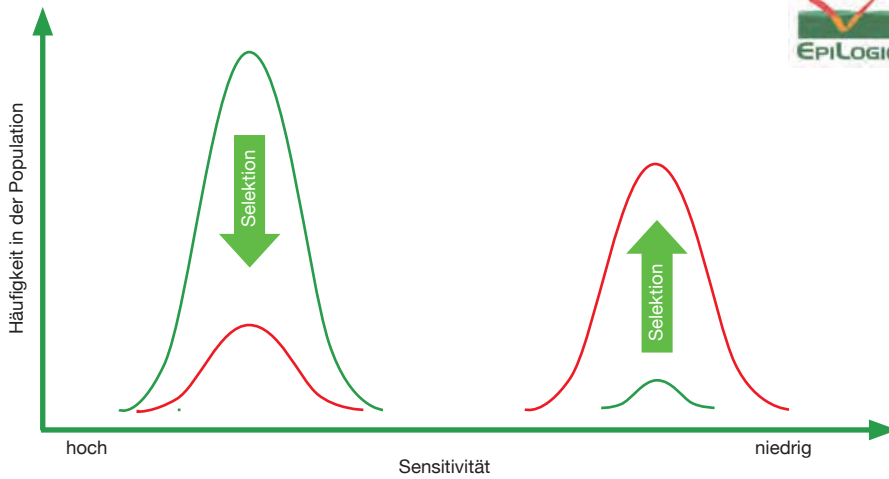


Abb. 3.1.1 | Qualitative Resistenzbildung z. B. bei Strobilurinen. Schematisierte Wiedergabe der Populationsdynamik bei einem Sensitivitätsverlust der Erregerpopulation durch disruptive Selektion: grüne Kurven: ursprüngliche Sensitivitätsverteilung; rote Kurven: Sensitivitätsverteilung nach Selektion durch Fungizidanwendung (Quelle: Felsenstein und Jaser, Epilogic, Situationsbericht 2007)

scheinlichkeit nun für ein Individuum, mehrere dieser genetischen Veränderungen zu akkumulieren, wird bei einem höheren Resistenzniveau immer geringer. Gleichzeitig wird diese Eigenschaft nicht dominant an die Nachkommen weitergegeben, sondern es erfolgt bei der Generationenabfolge immer wieder eine neue Rekombination der Gene. So pendelt sich im Laufe der Jahre ein bestimmtes Niveau ein und die Fungizidempfindlichkeit bewegt sich dann in einer Bandbreite je nach Selektionsdruck durch die eingesetzten Fungizide auf und ab (Abb. 3.2.2.2/Kap. 3.2.2). Diese Anpassung bleibt also in gewissem Maße stabil. In der Regel tritt dann kein vollkommener Wirkungsverlust des Wirkstoffs ein. Eher ist mit einem Nachlassen in der Kurativ-

leistung oder der Dauerwirkung zu rechnen. Beispiele für ein solches „shifting“ wurden bei Morpholin- und Azolwirkstoffen beobachtet.

3.2 | Resistenzsituation in Deutschland

Wie ist die Situation in Deutschland bei verschiedenen Fungizidgruppen und Krankheitserregern zu bewerten?

3.2.1 | Strobilurine

Die größten Veränderungen hat es in den vergangenen Jahren bedingt durch die Ausbreitung der Resistenz gegenüber den Strobilurinen gegeben (Abb. 3.2.1.1). Ursache hierfür war die in der Vergangenheit hervorragende Wirkung dieser Wirk-

stoffgruppe und damit verbunden deren breiter Praxiseinsatz. Gleichzeitig genügt gegenüber Strobilurinen eine einzige genetische Veränderung im Pilz, um Resistenz auszulösen (Abb. 3.1.1). Liegt diese genetische Veränderung („**qualitative Anpassung**“) in einem Pilz vor, so ist die Auswirkung auf alle Strobilurinwirkstoffe im Prinzip ähnlich („Kreuzresistenz“). Allerdings ist hier zwischen mindestens zwei Mutationen zu unterscheiden, die sich im Feld ganz unterschiedlich auswirken: Zum einen gibt es die Mutation mit der Bezeichnung „F129L“. Sie führt nur zu einer teilweisen Resistenzausprägung. Ihre Auswirkung ist jedoch noch nicht abschließend einzuschätzen. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist sie für die Praxis weniger bedeutsam hinsicht-

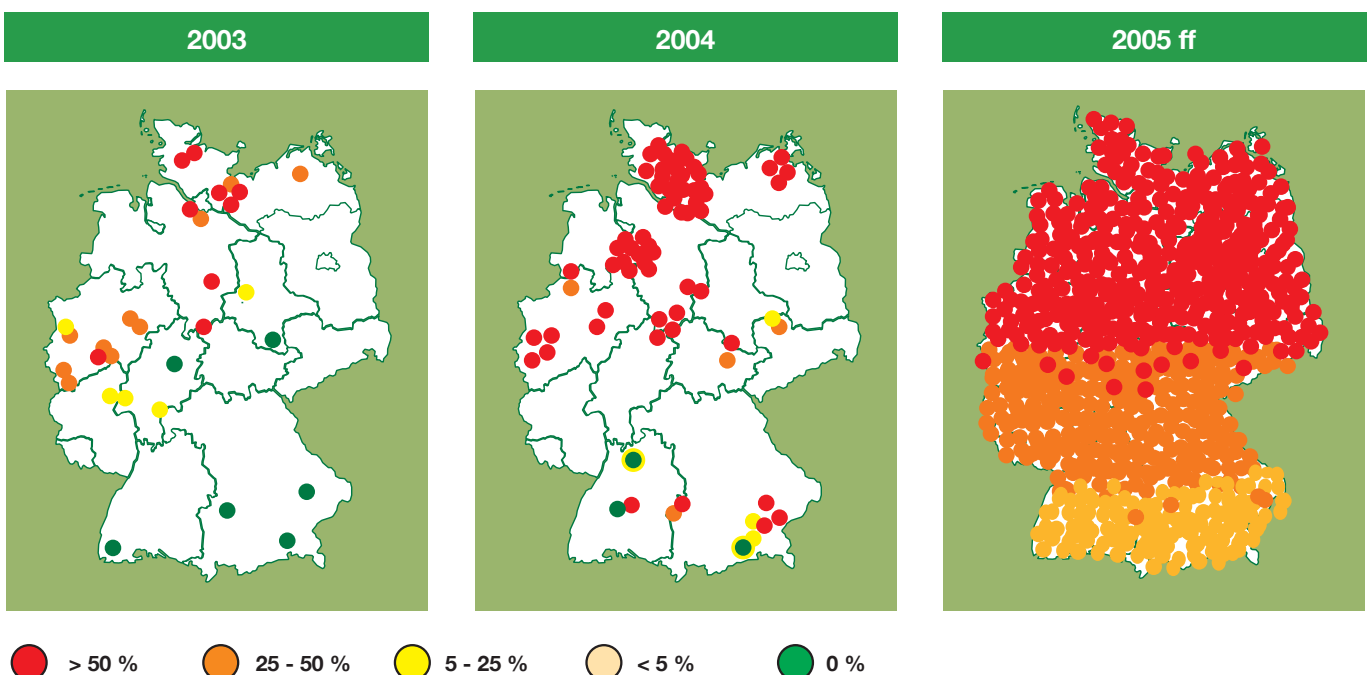


Abb. 3.2.1.1 | Häufigkeit des Auftretens resistenter Isolate von *Septoria tritici* (G143A) gegenüber Strobilurinen über die Jahre 2003 ff. (Daten: Bayer CropScience)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Weizenmehltau										
Gerstenmehltau										
Triticalemehltau										
Septoria tritici										
DTR/HTR										
Netzflecken/Gerste										
Weizenbraunrost										
Gerstenzwergrost										

Tab. 3.2.1.1 | Zeitschiene für das erstmalige Auftreten resistenter Stämme seit der Markteinführung der Strobilurine in Deutschland (Quelle: Felsenstein, DLG-Mitteilungen 2-2006) ■ keine Resistenz ■ F129L Resistenz ■ G143A Resistenz

lich eines Wirkungsverlustes. Die weitaus gravierendere, kritischere Mutation trägt die Bezeichnung „G143A“. Diese löst eine derart verminderte Empfindlichkeit aus, dass das Strobilurin bei dem betroffenen Erregerstamm in der empfohlenen Aufwandmenge nicht mehr - oder nur sehr stark eingeschränkt - wirkt. Diese Mutationen wurden bisher bei Mehltau im Weizen, Gerste und Triticale sowie bei Septoria-Blattdürre (*S. tritici*) und Drechslera-Blattfleckenkrankheit (*D. tritici-repentis*) im Weizen beobachtet. Für eine praxisrelevante Beurteilung der Resistenzsituation bei dieser Art von qualitativer Anpassung mit hohen Resistenzfaktoren werden relativ einfache Maßzahlen für die Beurteilung der noch vorliegenden Wirksamkeit herangezogen (Abb. 3.3.1/Kap. 3.3). Im Rahmen von Ringprojekten wurden in den letzten Jahren laufend Erhebungen

durch die Firma EpiLogic (Freising-Weihenstephan) vorgenommen (Tab. 3.2.1.1).

3.2.2 | Azole und Morpholine

Azole und Morpholine gehören zu den ältesten, spezifisch wirksamen Fungiziden im Markt. Sie haben in der Landwirtschaft eine große Verbreitung gefunden und weisen nach wie vor eine gute Wirksamkeit auf. Diese fungiziden Wirkstoffe gehören zu den so genannten Sterol-Biosynthese-Hemmern („SBI-Fungizide“) und werden zudem in zwei weitere Klassen die DMI-Fungizide („Azole“) und die Amine („Morpholine“) unterteilt. Innerhalb der Klassen der Azole oder Morpholine geht man von einer Kreuzresistenz zwischen den verschiedenen Wirkstoffen aus. Zwischen den beiden Klassen, besteht diese hingegen nicht. Die Anpassung von Krankheitser-

regern an „SBI-Fungizide“ weist jedoch grundsätzliche Unterschiede gegenüber der Situation bei Strobilurinen auf. Es handelt sich hier um eine **kontinuierliche** oder auch **quantitative** Anpassung die als „**shifting**“ diskutiert wird (Abb. 3.2.2.1). Die kontinuierliche Ausprägung und der Einfluß auf die Wirksamkeit der einzelnen Wirkstoffe ist von Substanz zu Substanz unterschiedlich. Sie ist jedoch als weitaus weniger dramatisch einzustufen, als dies bei den Strobilurinen der Fall ist.

Wie bereits beschrieben, bleibt das Resistenzniveau bei dieser Form der quantitativen Anpassung bei SBI-Fungiziden in einer spezifischen Bandbreite und schreitet nicht unaufhörlich fort. Die Produkte bleiben weiterhin wirksam, können aber in ihrer Ausgangsleistung eingeschränkt sein, was sich in aller Regel mit einer verkürzten Kurativ-

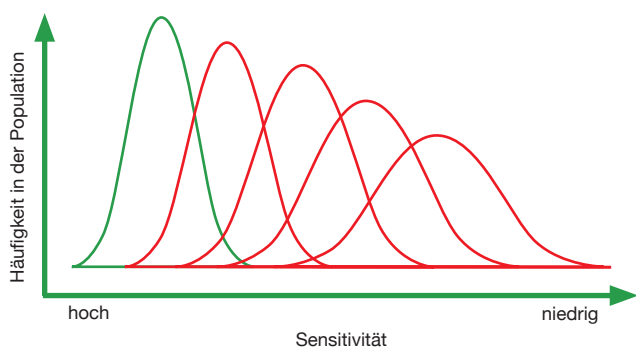


Abb. 3.2.2.1 | **Kontinuierliche Selektion („Shifting“)** Quantitative Resistenzbildung z. B. bei Azolen. Schematisierte Wiedergabe der Populationsdynamik bei nachlassender Sensitivität der Erregerpopulation durch kontinuierliche Selektion: grüne Kurve: ursprüngliche Sensitivitätsverteilung; rote Kurven: Anpassungsdynamik nach Selektion durch Fungizidanwendung.

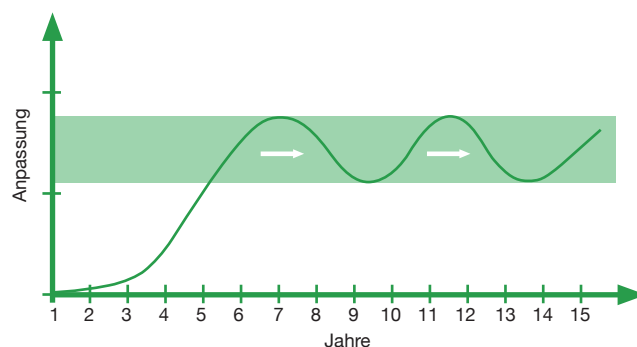


Abb. 3.2.2.2 | **Quantitative Resistenzbildung** Stabilisierung der Anpassungsreaktion in einem „Seitwärtstrend-Kanal“ (z. B. bei Azolen und Morpholinen)

(Quelle beider Grafiken: Felsenstein und Jaser, EpiLogic, Situationsbericht 2007)

leistung oder Dauerwirkung zeigt. Insgesamt ist die Resistenzproblematik bei SBI-Fungiziden als deutlich entspannter als bei den Strobilurinen zu bewerten. Da jedoch bei der Krankheitsbekämpfung im Getreide ein Hauptteil der Wirkung von den Azolen zu leisten ist, muss gerade deren Anwendung sorgfältig geplant und durch kontinuierliche Monitoringuntersuchungen begleitet werden, damit auch langfristig eine hohe Wirksamkeit gewährleistet wird.

3.2.3 | Weitere Wirkstoffe im Getreide

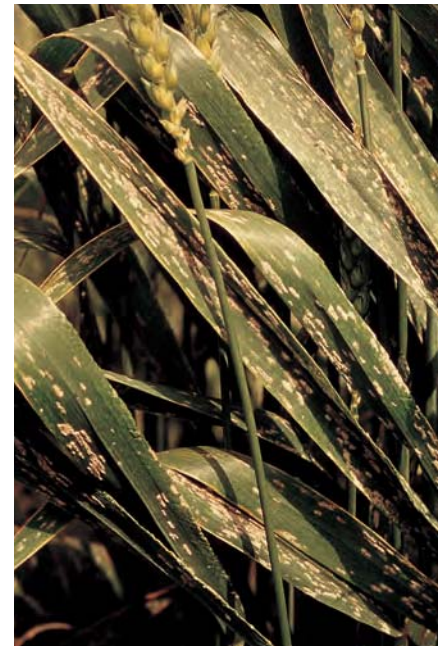
Neben den bereits beschriebenen, wichtigsten fungiziden Wirkstoffgruppen gibt es noch verschiedene andere zugelassene Wirkstoffe im Getreide - jedoch mit deutlich schmalerer Wirkung. Situationsbedingt können sie spezifisch bei der Bekämpfung der erfassten Krankheiten mit genutzt werden. Chlorthalonil ist ein Kontaktfungizid, welches an verschiedenen Stellen im Pilzstoffwechsel angreift („multi site inhibitor“). Eine Resistenzentwicklung ist damit eher unwahrscheinlich. Die Wirksamkeit

beschränkt sich jedoch auf Septoria-Arten insbesondere bei vorbeugender Anwendung. Boscalid gehört zur Gruppe der Carboxamide. Das Wirkungsspektrum beschränkt sich überwiegend auf Septoria-Arten. Für diesen Wirkstoff liegen derzeit keine Hinweise über Resistenzen im Getreide vor. Da die Wirkung aber auch nur an einem Punkt im pilzlichen Stoffwechsel ansetzt, ist bei dieser Wirkstoffgruppe auch auf ein entsprechendes Resistenzmanagement zu achten. Bei Wirkstoffen wie Metrafenone, Proquinazid und Cyflufenamid ist das Leistungsspektrum im Wesentlichen auf die Kontrolle von Mehltau ausgerichtet. Zu diesen Wirkstoffen sind in Deutschland ebenfalls keine Resistenzbildungen bekannt. Ein geeignetes Resistenzmanagement sollte aber immer in Betracht gezogen werden.

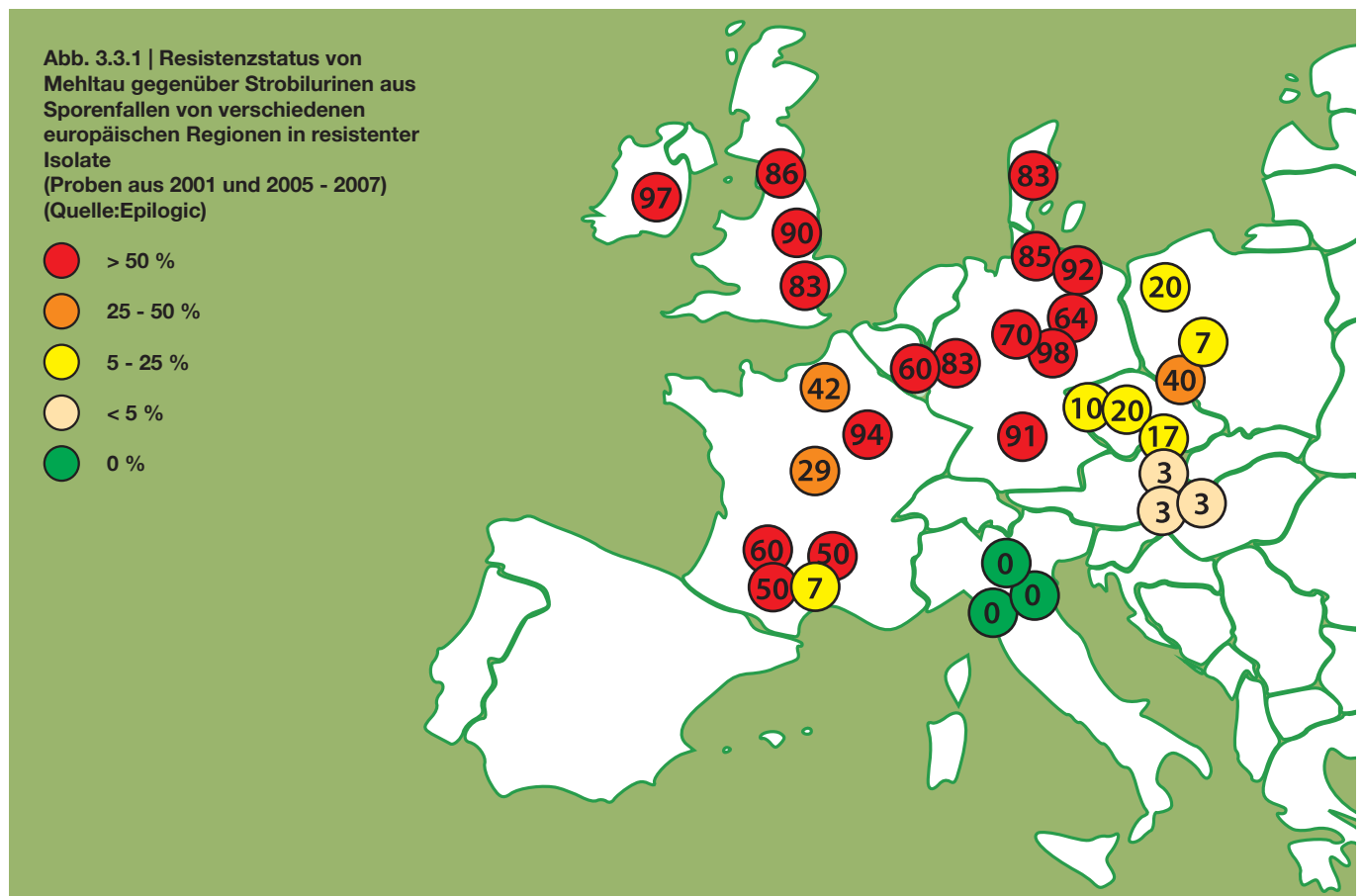
3.3 | Die Situation bei Getreidekrankheiten

Die Situation bei Getreidekrankheiten ist für die einzelnen Schaderreger in den Tabellen (Tab. 3.3.1 und Tab. 3.3.2) nach Monitoringergebnissen von EpiLogic dargestellt.

Getreidemehltau



Obwohl Strobilurine bei Weizenmehltau kaum, bei Gerstenmehltau nur eingeschränkt und einzig in Triticale noch wirksam sind, ist eine sichere Bekämpfung und ein Resistenzmanagement aufgrund der Vielzahl von anderen Alternativen weitgehend problemlos möglich (Abb. 3.3.1).



Region	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Schleswig-Holstein	2	71	59	84	79	52
Mecklenburg-Vorpommern	0	30	54			
Niedersachsen	0	62	58	98	60	79
Brandenburg			43	71	66	64
Sachsen-Anhalt			48	67	77	
Hessen	0	28	57	61	87	75
Thüringen	0	13	30	68	82	64
Sachsen	0	1	13	60	67	79
Rheinland-Pfalz	0	0	11	41	59	43
Baden-Württemberg	0	0	1	31	55	79
Bayern	0	7	7	38	46	58

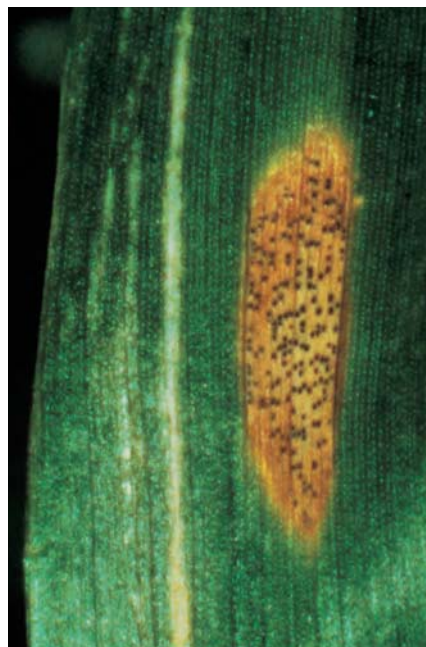
Getreideroste (Gelbrost und Weizenbraunrost)



Die ausreichende Bekämpfung ist mit Azolen (Kurativwirkung) bzw. Strobilurinen (Dauerwirkung) möglich. Für beide Wirkstoffgruppen ist eine volle Wirksamkeit vorhanden. Für die Strobilurine ist in diesem Fall günstig, dass die kritisch

zu betrachtende Mutation „G143A“ im Pilz so gravierend ist, dass diese Pilz-Mutante mit der Veränderung selbst nicht überleben kann.

Septoria Blattdürre



Die Entwicklung von Resistenzen bei diesem Pilz stellt den größten Problembereich im Weizen dar.

Region	2005	2006	2007
Schleswig-Holstein	57	100	32
Niedersachsen		43	45
Brandenburg			15
Hessen (Nord)	60		18
Thüringen	3	46	19
Sachsen		36	23
Rheinland-Pfalz	0		<1
Baden-Württemberg		25	3
Bayern	0	0	3

Tab. 3.3.1 | Strobilurin/QoI-Resistenz von *Septoria tritici* in Stichproben aus Feldbeständen in den Bundesländern SH, MV, NI, BB, ST, HE, TH, SN, RP, BW, und BY, 2002 - 2007; Mittelwert des Anteils an Strobilurinresistenz mit G143A-Mutation je Bundesland und Jahr in %. (Quelle: Epilagic) Anteil resistenter Isolate und erzielbarer Krankheitsschutz durch entsprechende Wirkstoffe.

Wirksamkeit	Resistente Isolate
sehr gut bis gute	0 – 10 %
mäßig, aber merklich reduziert	10 – 20 %
deutlich (bei starkem Krankheitsdruck schwächer reduziert)	20 – 50 %
nur noch gering bis unbedeutend	über 50 %

Zum einen, weil dieser Pilz in den vergangenen Jahren die größte wirtschaftliche Bedeutung erlangte (neben Braunrost in 2007) und zum anderen, weil er offensichtlich über eine gute Anpassungsfähigkeit verfügt. Es gibt zwar (vier) verschiedene Wirkstoffgruppen mit denen eine Bekämpfung von *Septoria tritici* grundsätzlich möglich ist, dennoch ist die Anwendungsmöglichkeit einzelner Wirkstoffgruppen und deren sichere Nutzung aufgrund schon bestehender Resistenzen und der spezifischen Wirkungsweise teilweise eingeschränkt.

Azole tragen dabei die Hauptlast zur Kontrolle von *Septoria tritici*. Obwohl gegenüber Azolwirkstoffen ein „shifting“ beobachtet wurde, sind diese nach wie vor wirksam und besitzen als einzige Wirkstoffgruppe auch die so wichtige Kurativleistung, ohne die eine gezielte Bekämpfung nicht möglich wäre. Insbesondere leistungsstarke Azole, wie z.B. Prothioconazol, verfügen über ausgezeichnete Wirkungsreserven, so dass derzeit von einer guten Wirksamkeit ausgegangen werden kann.

Tab. 3.3.2 | Strobilurin/QoI-Resistenz von *Pyrenophora tritici-repensis* (DTR) in Stichproben aus Feldbeständen in den Bundesländern SH, NI, BB, HE, TH, SN, RP, BW, und BY, 2002 - 2007; Mittelwert des Anteils an Strobilurin-Resistenz mit G143A-Mutation je Bundesland und Jahr in % (Quelle: Epilagic)

BioTest: in vitro-Analyse von Isolaten aus dem (über)lebenden Erregermaterial in der Stichprobe.

qPCR: quantitativer molekularer Test zur Bestimmung des Anteils an der Mutation G143A in der Stichprobe aus überlebendem und abgestorbenem Erregermaterial

Bei Strobilurinen ist die Wirksamkeit gegenüber *Septoria tritici* hingegen nicht mehr ausreichend. Deren Leistung in der *Septoria*-Kontrolle ist eher von untergeordneter Bedeutung und kann bestenfalls nur als unterstützendes Element gesehen werden, um ein „shifting“ bei Azolen zu verlangsamen (Tab. 3.3.1).

Chlorthalonil und Boscalid sind uneingeschränkt wirksam. Allerdings wirken diese überwiegend nur bei vorbeugendem Einsatz. Chlorthalonil kann dabei als flankierende Maßnahme im Rahmen des Resistenzmanagements insbesondere bei weniger gut wirksamen Azolen oder Strobilurinen genutzt werden. Boscalid sollte nur in Kombination mit gut wirksamen Azolen eingesetzt werden, um diese in der *Septoria*-Wirkung zu unterstützen.

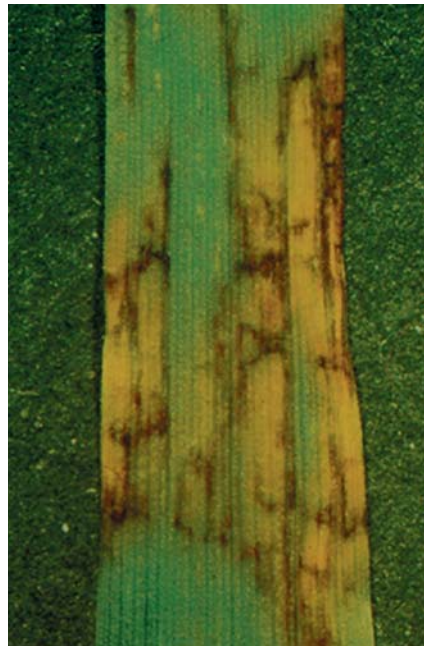
DTR-Blattdürre



Azole und mit Einschränkung Strobilurine sind insgesamt gut wirksam und stellen auch bei diesem Pilz die Basis der Bekämpfungsmöglichkeit dar. Allerdings wurden bei Freilanduntersuchungen bereits Pilzisolat gefunden, bei denen eine Mutation gegenüber Strobilurinen vorliegt. Nach Untersuchungen von EpiLogic gibt es ein eindeutiges Nord-Süd-Gefälle (Tab. 3.3.2). Während im Norden davon auszugehen ist, dass Strobilurine aufgrund dieser Mutation vielerorts nicht mehr ausreichend wirken, ist in Süddeutschland noch von einer allgemein guten Wirksamkeit auszugehen.

(Dem Chlorthalonil wird lediglich eine Nebenwirkung zugeschrieben.)

Netzflecken in der Gerste



Die Bekämpfungsmöglichkeiten bei Netzflecken sind positiv zu beurteilen. Obwohl erste Resistenzen gegenüber Strobilurinen nachgewiesen wurden, handelt es sich hier ausschließlich um die weniger kritische „F129L“ Mutation. Die gefährlichere Variante „G143A“ kann sich wie bei den Rosten nicht etablieren, da diese für den Pilz selbst letal ist. Hier können Strobilurine weiter eingesetzt werden. Ebenso sind Azole weiterhin voll wirksam

Rhynchosporium- und Ramularia-Blattflecken



Zu diesen beiden Pilzen sind bisher keine Resistenzen in Deutschland bekannt, so dass derzeit von einer vollen Wirksamkeit aller bisher eingesetzten Wirkstoffe ausgegangen werden kann.

3.4 | Mit der Sortenwahl Resistenzen vorzubeugen

Nach Dr. Bernd Rodemann, DLG-Mitteilungen 2/2006

Wenn die Chemie nicht mehr hilft, bleibt nur die Wahl der richtigen Sorte, um die Ertragsfähigkeit im Weizen oder in der Gerste zu erhalten. In Gebieten mit ausgeprägter Resistenz sollten dennoch alle vorgegebenen Faktoren wie Ausstattung der Sorten, Aussattermine und Bodenbearbeitung im Vorfeld überprüft werden. Die Nutzung der Sortenresistenz minimiert nicht nur das Problem „Krankheitsauftreten“, sondern vermindert auch die Ausbreitung der Schaderreger, die bereits von mutierenden Herkünften mit Resistenz stammen.

3.4.1 | Stand der Resistenzzüchtung

Auf der Basis der aktuellen beschreibenden Sortenliste mit der Merkmalseinstufung in Ausprägungsstufen von 1 bis 9 zeigt sich, dass bei den Krankheiten wie Echter Mehltau, Gelbrost und Braunrost zwischen 67% und 85% der zugelassenen Sorten in die gering anfälligen bis resistenten Stufen 1 bis 4 eingeordnet wurden. Bezogen auf die angemeldete Vermehrungsfläche 2005, die stellvertretend für das Anbauverhalten der Praxis steht, wurden die Sorten mit Mehltau- bzw. Gelbrostresistenz auf über 85% der Fläche angebaut. Die Berücksichtigung der guten Widerstandskraft gegen Braunrost fand nur auf knapp 60 % der Vermehrungsfläche statt (Tab. 3.4.1.1)

Bei den Krankheiten Ährenfusarium und Spelzenbräune lag der Anteil Sorten mit geringer Anfälligkeit zwischen 55% und knapp über 60%, dennoch wurden diese Sorteneigenschaften stärker berücksichtigt, wie Vermehrungsflächeanteile mit über 70% belegen. Am Beispiel der Sortenleistung bei Ährenfusarium wird

Erreger	Anfälligkeit 1-4* 1: sehr gering 4: gering - mittel	Anteil an der Vermehrungsfläche**
Mehltau	85	89,9
Gelbrost	78	82,7
Braunrost	67	57,4
Ährenfusarium	55	67,7
Blattseptoria	51	56,2
Spelzenbräune	52	75,0
Cercospora	17	47,2
DTR	8	4,0

Tab. 3.4.1.1 | Anteile und Verbreitung der Winterweizensorten mit geringer Anfälligkeit für einzelne Erreger nach BSL 2005 (Quelle: Spanakakis/Rodemann, Resistenztagung Fulda 2005) *100% = 109 zugelassenen Sorten **100% = 58 699 ha, ohne EU-Sorten



Eine gute Resistenz gegen Braunrost hilft besonders in Jahren mit hoher Braunrostepidemie

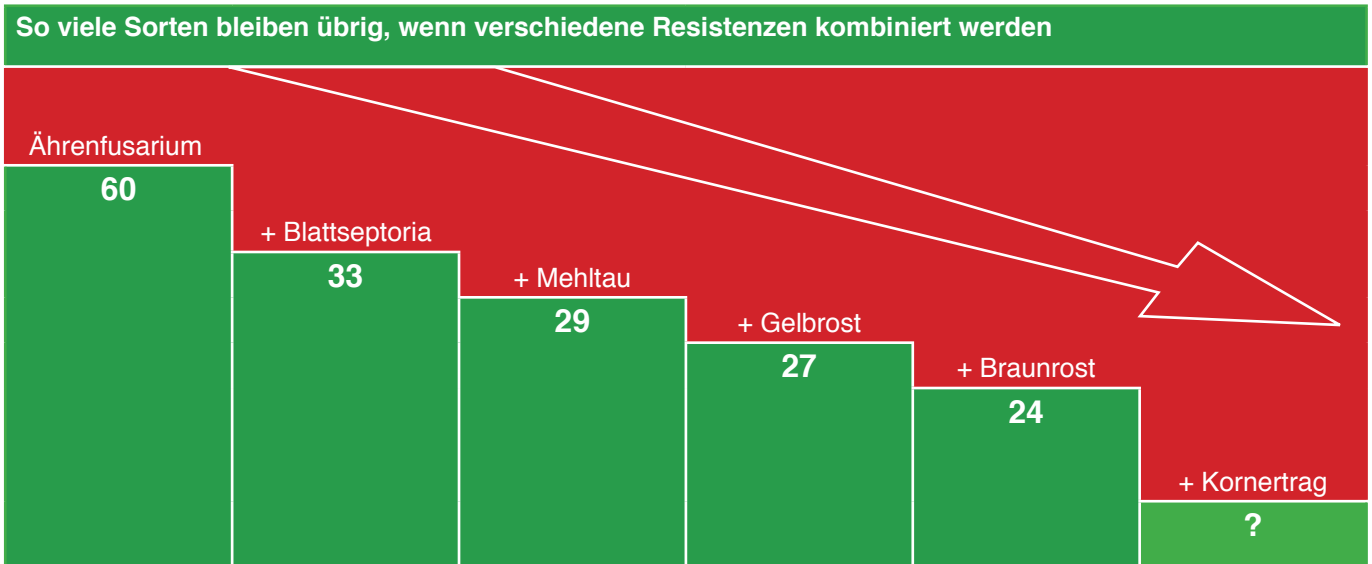
unten Abb. 3.4.1.1 | Anzahl von Winterweizensorten mit kombinierten Resistenzeigenschaften (Quelle: Spanakakis, in Rodemann, DLG-Mitteilungen 2/2006)

deutlich, dass die Brisanz der Fusariumproblematik mit zusätzlichen Auflagen wie Mykotoxinhöchstmengenverordnung, Verschneidungsverbot und Hygienevorschriften von den Landwirten wesentlich stärker bei der Anbauplanung beachtet wurden.

Bei den weiteren Krankheiten wie Blattseptoria, Halmbruch und auch DTR-Blattdürre ist deutlich zu erkennen, dass hier noch weitere züchterische Arbeit notwendig ist, um Sorten mit noch besseren Resistenzeigenschaften zu entwickeln. Die niedrigen Anteile an der Vermehrungsfläche (51% / 17% / 8%) belegen, dass die Vorteile dieser Eigenschaften in der Praxis bislang noch keine Akzeptanz gefunden haben.

Der Kornertrag ist in der Praxis nach wie vor ein wichtiges Kriterium für die Anbauentscheidung einer Sorte. In Abb. 3.4.1.1 der Zusammenhang zwischen Resistenzausstattung, Kornertrag und Vermehrungsfläche dargestellt. Aufgrund der Mykotoxinproblematik wurde die geringe Anfälligkeit (APS 1 bis 4) gegenüber Ährenfusarium als Basiseigenschaft angenommen, die bei 60 der 109 zugelassenen Sorten vorhanden ist. Wird diese Eigenschaft mit Resistenz gegen Blattseptoria, Mehltau, Gelbrost und Braunrost kombiniert, so weisen nur 24 (ca. 22% der zugelassenen Sorten) Sorten diese Mehrfacheigenschaften auf. Der Anteil an der Vermehrungsfläche entspricht 27%.

Wird nun das Merkmal Kornertrag mit einer Ausprägung 7 bis 9 zusätzlich berücksichtigt, sinkt die Zahl dieser Sorten auf 15 (=14%)



und der Anteil an der Vermehrungsfläche beträgt nur noch 23%. Trotz eines großen Angebotes sind Sorten mit guter Resistenzausstattung und einem hohen Ertragsniveau bislang nur zu einem geringen Anteil in der Praxis von Bedeutung.

3.4.2 | Wie kann der Praktiker nun handeln?

Die Sorte mit einem ausgeprägten Resistenzniveau kann heute mehreren Krankheiten gut widerstehen, jedoch alle weiteren missachteten Einflussgrößen nicht kompensieren. Umgekehrt ergeben sich auch für den Erzeuger Probleme, wenn bereits durch Sortenwahl, Aussaattermin und Bodenbearbeitung ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für die neue Ernte geschaffen wurde. Da der Weizen ausgesät ist und bereits bis Vegetationsruhe schon ein kräftiges Wachstum vorgelegt hat, stellt sich nun der Praxis die Frage, welche Strategie ist bei den vorgegebenen Faktoren zu entwickeln?

Über Düngung, Wachstumsreglereinsatz und besonders Pflanzenschutz bestehen hier effektive Steuerungsmöglichkeiten. Hinsichtlich der Bekämpfung pilzlicher Erkrankungen ist die Wirkstoffwahl, die einzusetzende Aufwandmenge und die Terminierung von entscheidender Bedeutung. Gerade vor dem Hintergrund einer Zunahme der Fungizidresistenz bei verschiedenen Schaderregern sollte beim Anbau einer anfälligen Sorte die Bekämpfungsstrategie sehr genau durchdacht werden (Abb. 3.4.2.1). Hierbei sind insbesondere die bekämpfbaren Stadien im Pilzzyklus zu beachten. Sollen Sporenkeimung und eine nachfolgende Infektion präventiv unterbunden werden, sind Kontaktmittel bzw. teilweise noch Strobilurine von Vorteil. Ist eine Infektion bereits erfolgt und hat Myzelwachstum im Pflanzengewebe eingesetzt, eignen sich für diese kurative Bekämpfung vorrangig Azole und Morpholine, während die Strobilurine in dieser Phase der Epidemiologie nur bedingt nutzbar sind. Ist die Ausbreitung der Krankheit bereits weit fortgeschritten und hat die Fruchtkörperbildung mit nachfolgender Sporulation eingesetzt, ist eine Unterbindung der Schad-



Abb. 3.4.2.1 | Einfluss acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Getreideproduktion (Quelle: Rodemann, DLG-Mitteilungen 2/2006)

Sporen-keimung	Infektion	Myzel-wachstum	Pyknidium (Fruchtkörper)	Sporulation
Chlorthalonil, Strobilurine, Quinoline				
	Azole, Morpholine, Anilino-Pyrimidine			
			Eingeschränkte Wirkung von Fungiziden möglich (nur Mehltau und Roste)	
Präventive Wirkung		Kurative Wirkung		

Abb. 3.4.2.2 | Bekämpfbare Entwicklungsstadien pilzlicher Schaderreger abhängig von der gewählten Wirkstoffgruppe mit unterschiedlichen Wirkmechanismen (Quelle: Rodemann, DLG-Mitteilungen 2,2006)

erregerausbreitung kaum möglich. Derzeit existieren im Getreidebau keine fungiziden Wirkstoffe, die diese pilzlichen Entwicklungsstadien direkt bekämpfen können. Vor dem Hintergrund einer standortspezifischen Befallsentwicklung sollte die Fungizidwahl erfolgen. (Abb. 3.4.2.2)

Durch intensive Bemühungen im Rahmen der Resistenzzüchtung stellen die Pflanzenzüchter mittlerweile eine große Anzahl von Weizensorten mit mehreren Resistenzen zur Verfügung. Auch unter Berücksichtigung der Ertrageigenschaften bietet sich dem Praktiker ein breites Spektrum an Sorten, die für die standortspezifischen Gegebenheiten des Einzelbetriebes genutzt werden können. Bei zukünftig zu erwartenden Restriktionen für Pflanzenschutzmittel

sollte die Praxis intensiver den Anbau gering anfälliger bis resistenter Sorten vornehmen. Gerade bei der Bekämpfung des hochpotenten Erregers Drechslera tritici-repentis zeigen zugelassenen Sorten eine große Variation in der Sortenanfälligkeit. Die Nutzung der gering anfälligen Sorten sollte besonders auf gefährdeten Standorten mit nicht wendender Bodenbearbeitung eingeplant werden. Gerade unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Resistenz des Schaderregers gegenüber Strobilurinen sollte dieser Sortenaspekt bedacht werden. Bei der Einschätzung der Sortenleistung wird auch deutlich, dass die derzeit zur Verfügung stehenden nahezu resistenten Sorten Wirkungsgrade erzielen können, die denen wirksamerer Fungizide vergleichbar sind.

3.5 Richtig behandeln, um Resistenzen dauerhaft zu vermeiden

Ein sinnvolles Resistenzmanagement beginnt mit einer durchdachten Anbauplanung.

Eine abgestimmte Gestaltung der Anbaufaktoren wie Sortenwahl, Aussattermin, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung und Strohmanagement sollte, neben der Entscheidung für eine angepasste Fungizidstrategie, im Vordergrund stehen.

Im Zusammenhang mit der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sollte gerade der Gedanke der „Nachhaltigkeit“ grundsätzlich im Vordergrund stehen. Auch, wenn kurzfristig wirtschaftliche Aspekte dagegensprechen können, so sind doch Maßnahmen wie:

- der Anbau resistenterer Sorten, oder
- die Anwendung der wendenden Bodenbearbeitung (zur Verringerung des Infektionspotenzials an der Bodenoberfläche)

langfristig sinnvoll. Resistenzmanagement bei Fungiziden ist Krankheitsmanagement und umfasst mehr als nur die Auswahl des besten Mittels!

Für die Anwendung von Fungiziden bedeutet das:

1. Optimale Anwendung und Nutzung der Wirkstoffe/Produkt
2. Möglichst einen Wechsel von Wirkstoffgruppen zur Bekämpfung eines einzelnen Schaderregers anstreben.
3. Strobilurinwirkstoffe nur einmal pro Saison einsetzen.

Allerdings ist gerade der zweite angeführte Punkt, ein Wechsel von Wirkstoffgruppen, im Getreide nur schwer umzusetzen. Einerseits treten Pilzkrankheiten im Getreide selten alleine, meist gemeinsam im Komplex mit anderen Erregern auf, so dass in der Regel mehrere Krankheiten gleichzeitig sicher ausgeschaltet werden müssen. Andererseits gibt es kaum eine Pilzkrankheit bei der mehrere Wirkstoffgruppen diesen Schaderreger gleichermaßen gut bekämpfen.

Weizen

Im Weizen stellt die Septoria-Blattdürre den Hauptschaderreger dar.



Gleichzeitig gibt es gerade bei der Bekämpfung dieser Blattkrankheit die größten Schwierigkeiten. Deshalb müssen sich die Bekämpfungsstrategie, das sinnvolle Krankheitsmanagement und damit das Resistenzmanagement, zunächst an dieser Krankheit ausrichten. Die Basis der Septoria-Bekämpfung stellen die Azolfungizide dar. Nur diese Wirkstoffgruppe verfügt sowohl über eine sichere kurative als auch über eine gute protektive Leistung. Je höher nun der Wirkungsgrad des eingesetzten Azolfungizides, desto stärker wird der Befallsdruck durch diesen Erreger aus dem Weizenbestand genommen (Krankheitsmanagement).

Werden hingegen, ungeeignete Produkte oder eine zu gering bemessene Aufwandmenge eines ansonsten leistungsfähigen Produktes gewählt, sind zusätzliche Nachbehandlungen erforderlich. Es sinkt nicht nur der Behandlungserfolg, sondern auch die Ausbreitung von Resistenzen wird dadurch unterstützt.

Für die frühen Anwendungen ab Stadium BBCH 31/32 sind insbesondere gegen Septoria tritici die leistungstärksten Azolwirkstoffe, wie z.B. Prothioconazol, in robuster Aufwandmenge zu wählen. Hier bietet sich das Fungizid Input an. Dabei wird die Leistung des Azolwirkstoffes (Prothioconazol) durch Kombination mit dem Aminwirkstoff (Spiroxamin) ergänzt und hinsicht-

lich der Wirkungsbreite zusätzlich abgesichert. Bei starkem Mehltau druck kann ein Mehltaupartner zugegeben werden. Als Ergänzung bei der Septoria-Kontrolle ist grundsätzlich eine Kombination mit Chlorthalonil (Bravo) möglich. Da Bravo jedoch gegen S.tritici nur über eine protektive Wirkung verfügt, darf der Azol-Partner nicht reduziert werden. Sonst verringert sich die Kurativleistung und die Fungizidwirkung ist im ungünstigsten Falle dann nicht mehr ausreichend wirksam. Die Zugabe eines Strobilurin fungizides zu diesem frühen Anwendungstermin ist wenig sinnvoll, da i.d.R. die Vorteile der Strobilurine (Rostwirkung, ertragsphysiologische Effekte) zu diesem frühen Zeitpunkt nicht benötigt werden.

Bei Anwendungen im Stadium 37/39 – 55 steht der Schutz der oberen drei Blätter im Vordergrund. Hier kann mit einer Kombination aus Azol und Strobilurin gearbeitet werden. Aber auch dabei bleibt das Azol die tragende Kraft, wenn z.B. Septoria-Blattdürre und HTR-Blattflecken ausgeschaltet werden müssen. Deshalb sollte die Aufwandmenge des Azols nicht reduziert werden. Das Strobilurin kann die Septoria-Wirkung teilweise unterstützen, ist aber vor allem bei Auftreten von Rost dann der richtige Wirkstoffpartner.

Mit Fandango-Input Perfekt wird



Gerste

Gegenüber den wichtigsten Krankheiten wie Rhynchosporium-Blattflecken, Netzflecken und Ramularia-Blattflecken ist die aktuelle Situation wesentlich entspannter als im Weizen. Die leistungstärksten Wirkstoffe sind Azole und Strobilurine, beide sind nach wie vor gleichermaßen wirksam. Es sollte generell darauf geachtet werden, dass diese beiden Wirkstoffgruppen in Kombination zum Einsatz gelangen. Wird hingegen eine Doppelbehandlung eingeplant, sollte nur einmal ein strobilurinhaltes Produkt zur Anwendung kommen.

Mit der Problemlösung Fandango-Input Perfekt in Gerste wird für den Landwirt ebenfalls eine sehr gute Möglichkeit der Krankheitsbekämpfung angeboten.

Andere Getreidearten

Die bereits genannten Problemlösungen sind auch in den anderen Kulturen (Roggen und Triticale) weitgehend einsetzbar.

Faktoren die bei der Anwendung von Fungiziden zu beachten sind:

- **Keine unnötigen Fungizidbehandlungen**
- **Geeignete Produktwahl, unter Berücksichtigung von Erregerspektrum und Wirkstoffvielfalt**
- **Kurativleistung der Fungizide nicht überansprechen (rechtzeitiger Einsatz)**
- **Kurativ gut wirksame Azolfungizide in robuster Aufwandmenge verwenden**
- **Aufwandmengen nicht reduzieren - insbesondere bei kurativ eingesetzten Produkten**
- **Strobilurinfungizide nur einmal in der Saison anwenden**
- **Strobilurine nur in Kombination mit anderen Wirkstoffgruppen (z.B. Azolen) einsetzen**
- **applikationstechnische Parameter berücksichtigen - BBCH Stadium**
- **Nutzung von Prognose-systemen zum Krankheitsaufreten**

gerade zu diesem Zeitpunkt für häufig gemeinsam auftretenden Erreger eine sehr gute Problemlösung für den Praktiker angeboten. Diese neue Kombination bietet die aus Input bekannte fungizide Leistung, kombiniert zusätzlich mit einem Strobilurinpartner. Neben optimaler Wirkung, liefern die drei sich ergänzenden Wirkstoffe ebenfalls einen Beitrag zum Resistenzmanagement.

In Bezug auf *S.tritici* können Wirkstoffe wie Chlorthalonil oder Boscalid ebenfalls die Azolwirkung unterstützen und damit einem „shifting“ entgegenwirken. Doch auch hier darf die Zugabe dieser Wirkstoffe nicht zu einer Reduzierung der Azole führen. In Tankmischungen ist, bei Boscalid der verkürzte Anwendungszeitraum (bis BBCH 49 zugelassen) zu beachten.

Wird außerdem eine späte Ährenbehandlung (BBCH 65) eingeplant, so sind in aller Regel Ährenfusariosen, der Braunrost und weiterer Abreifekrankheiten das Bekämpfungsziel. Zu diesem Zeitpunkt sollte der Infektionsdruck von Septoria und DTR-Blattflecken mit den bereits erfolgten Behandlungen bereits ausreichend herausgenommen sein, so dass eine gezielte Krankheitskontrolle gegenüber diesen Erregern nicht im Vordergrund steht.

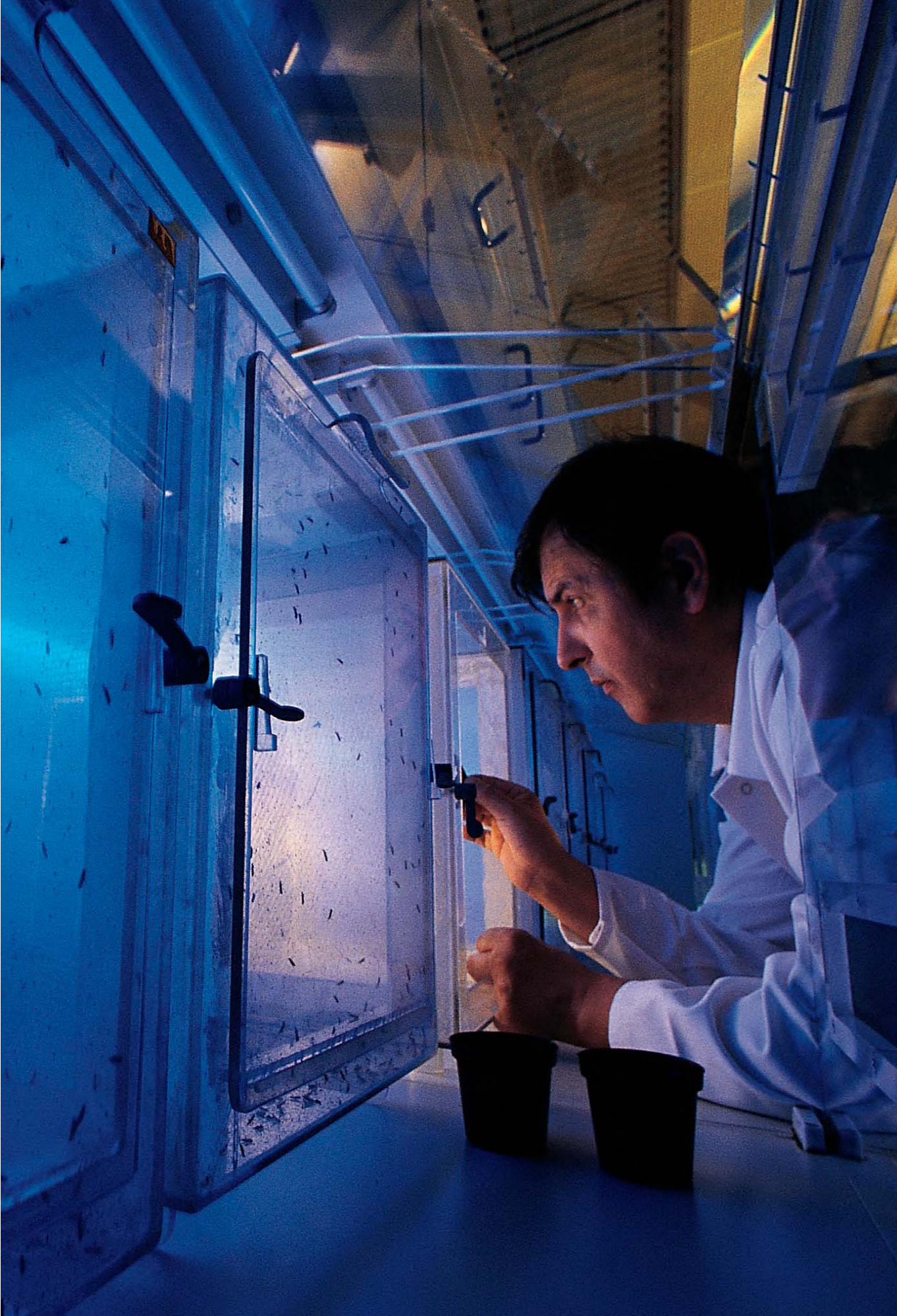
Bei einer qualitätsorientierten Abschlussbehandlung werden hoch-

wirksame Wirkstoffe gegen Fusariosen benötigt, die gleichermaßen sicher andere Krankheiten, insbesondere den Braunrost, erfassen. Dafür bieten sich vorrangig Azole an, da diese nicht zu einer unerwünschten Ernteverzögerung führen. Prosaro, eine Kombination der Wirkstoffe Tebuconazol und Prothioconazol verfügt genau über diese geforderten Produkteigenschaften.

Ist ein Wechsel zwischen verschiedenen Azolen auch ein wirksames Resistenzmanagement?

Eher nicht, da zwischen den Azolen eine generelle Kreuzresistenz besteht. Wird nun ein Azol durch ein anderes – möglicherweise schwächeres – ersetzt, erhöht sich der Selektionsdruck insgesamt und damit auch auf das stärkere Produkt, da in jedem Falle bei den Nachfolgebehandlungen dann mehr Leistung gefordert wird.

Vor diesem Hintergrund ist die Anwendung des stärksten Azols gegen den entsprechenden Hauptschadernerreger (z.B. Prothioconazol gegen Septoria) als bester Kompromiss von Krankheitsmanagement und gleichermaßen Resistenzmanagement für diese Produktgruppe anzusehen. Der Zusatz von Wirkstoffen anderer Gruppen wie z.B. Chlorthalonil bei Septoria ist dagegen sinnvoller.



4

INSEKTIZIDRESISTENZEN

Die chemische Klasse der Pyrethroide wurde vor mehr als 30 Jahren in den Markt eingeführt und bedingt durch den häufigen Einsatz (manchmal auch aus Mangel an Alternativen) haben einige Schadinsekten „gelernt“, Behandlungen mit diesen Insektiziden zu überleben.

4.0 | Insektizidresistenz

Pyrethroide wie Decis (Wirkstoff: Deltamethrin) oder Karate (Wirkstoff: Lambda-Cyhalothrin) gehören sicher zu den wirksamsten Insektiziden gegen viele wichtige Schadinsekten. Pyrethroide werden durch Kontakt aufgenommen (Kontaktinsektizide) und wirken spezifisch auf das zentrale Nervensystem der Insekten, genauer gesagt auf so genannte "spannungsabhängige Natriumkanäle". Damit die Reizleitung im Nervensystem funktioniert, müs-

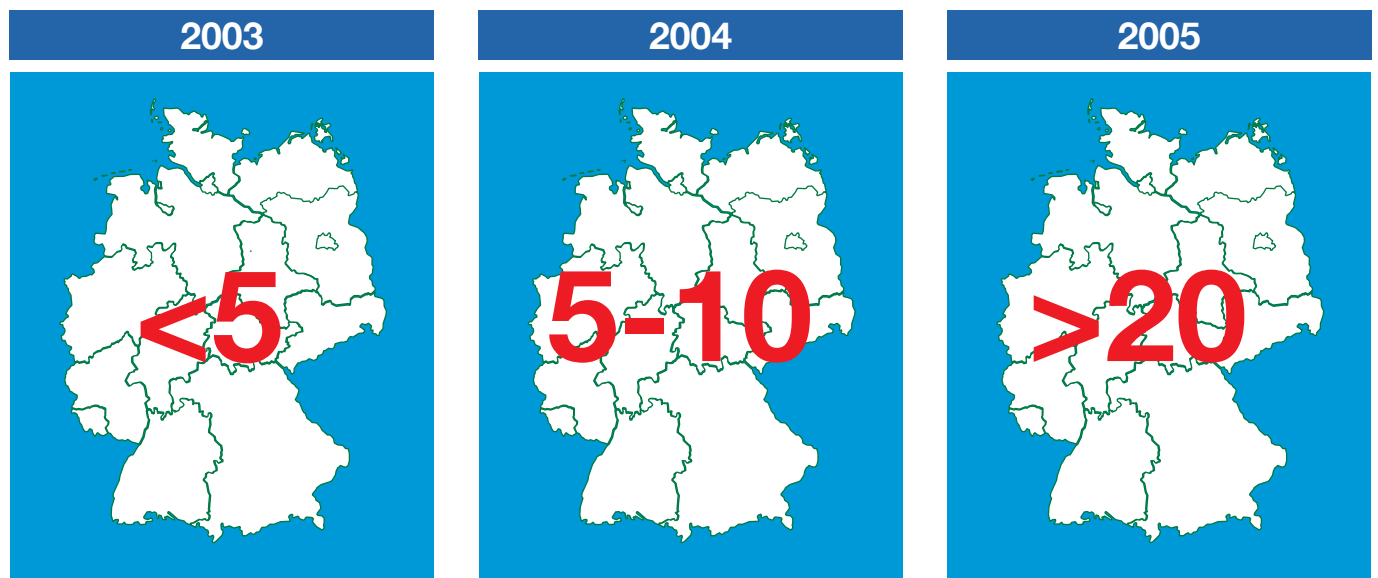
sen diese Kanäle kurzzeitig auf und auch wieder zu gehen. Pyrethroide halten diese Kanäle dauerhaft offen, was sehr schnell zum Absterben des Schadinsekts führt. Wichtig ist hier, dass alle Pyrethroide an die gleiche Stelle dieses Natriumkanals binden um ihre Wirkung zu entfalten. Alle Pyrethroide haben somit denselben Wirkungsmechanismus.

Die chemische Klasse der Pyrethroide wurde vor mehr als 30 Jahren

in den Markt eingeführt und bedingt durch den häufigen Einsatz (manchmal auch aus Mangel an Alternativen) haben einige Schadinsekten „gelernt“, Behandlungen mit diesen Insektiziden zu überleben. Der Fachmann spricht hier von Resistenz und in den Ackerkulturen in Deutschland sind das vor allem der Rapsglanzkäfer, der Kartoffelkäfer und die grüne Pflirsichblattlaus (Tabelle 4.1.1.) Es gibt weitere Schädlinge mit dokumentierter Pyrethroidresistenz in Deutschland. Die Resistenz von Schadinsekten entsteht durch eine genetisch bedingte Veränderung als Reaktion auf eine häufige Insektizidanwendung. Resistente Insekten sind zum Beispiel in der Lage den Wirkstoff schneller abzubauen als sensible Insekten (metabolische Resistenz), oder aber die Pyrethroide binden nicht oder kaum noch an die oben erwähnten Natriumkanäle, weil diese sich verändert haben (Wirkortspezifische Resistenz).

Schädling	
Leptinotarsa decemlineata	Kartoffelkäfer
Meligethes aeneus	Rapsglanzkäfer
Myzus persicae	Grüne Pflirsichblattlaus
Aphis frangulae	Faulbaumlaus
Aphis gossypii	Gurkenlaus
Phorodon humuli	Hopfenblattlaus
Bemisia tabaci	Weißer Fliege

Tab. 4.1.1: Wichtige Schadinsekten mit dokumentierter Pyrethroidresistenz





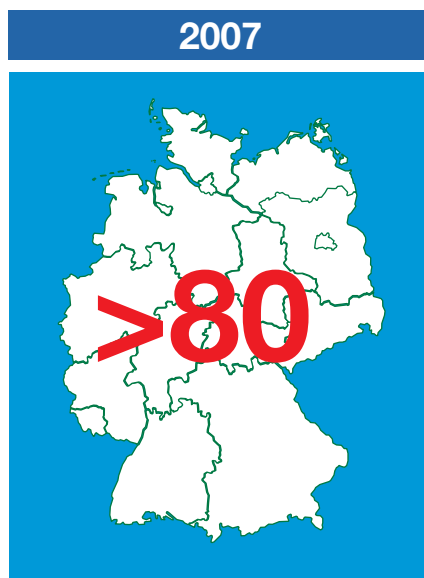
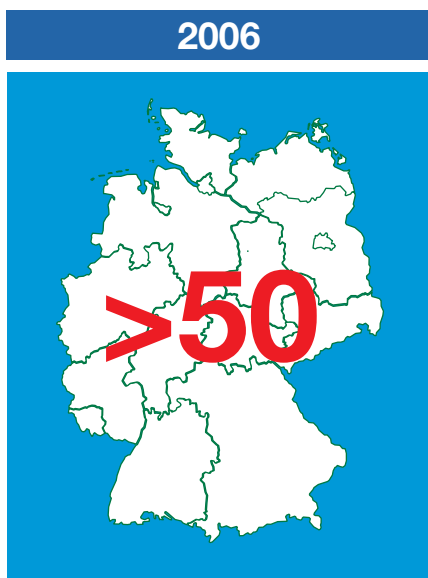
4.1 | Aktueller Stand beim Raps- glanzkäfer

Besonders dramatisch zeigte sich in Deutschland die Auswirkung der einseitigen Nutzung der Pyrethroide bei der sich schnell ausbreitenden Resistenzentwicklung beim Raps-
glanzkäfer (Abb. 4.1.1). 2006 mussten aufgrund der Minderwirkung von Pyrethroiden ca. 30.000 ha Winterraps umgebrochen werden, das entspricht einem geschätzten Verlust von ca. 22,5 Mio Euro. 2006 waren für die Bekämpfung des Glanzkäfers im Raps acht Produkte registriert und verfügbar, alle gehörten zur Klasse der Pyrethroide und hatten somit denselben Wirkungsmechanismus. Auch in den Vorjahren wurden zur Bekämpfung des Glanzkäfers immer nur Pyrethroide eingesetzt. Ein enormer Selektionsdruck baute sich auf. Somit ist es nicht verwunderlich, dass sich die Pyrethroidresistenz beim Raps-
glanzkäfer hochgeschaukelt

hat. Waren im Jahr 2003 weniger als 5% der Anbaufläche betroffen, so musste 2006 schon eine Fläche von mehr als 50% mit einer Pyrethroidminderwirkung ausgewiesen werden (Abbildung 4.1.2). Der Mangel an Alternativen zur Bekämpfung des Glanzkäfers hat zu dieser Entwicklung geführt und wird durch das landesweite Monitoring vom JKI (in Zusammenarbeit mit den Ländern) unterstrichen. Lediglich 14 % der im Monitoring 2006 untersuchten Proben reagierten im Test noch empfindlich auf den Wirkstoff Cyhalothrin, der stellvertretend für die anderen zugelassenen Klasse II Pyrethroide getestet wurde. Ein Großteil der untersuchten Proben (54 %) reagierte mit stark verringerter Mortalität. (Abb. 4.1.2) In den letzten Jahren ist eine in der Fläche zunehmende Minderwirkung von Pyrethroiden gegen Raps-
glanzkäfer in verschiedenen Regionen Europas, z.B. Frankreich, Skandinavien, Schweiz und Polen sowie in



mehreren Bundesländern Deutschlands zu beobachten. Die Verteilung der resistenten Populationen im Bundesgebiet zeigt deutliche Problembereiche: Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Bayern sind von der Resistenz massiv betroffen. Die nordwestlichen und zentraleren Bundesländer wie Niedersachsen, Hessen und Nordrhein-



Fotos von links nach rechts:
Abb. 4.1.1 | Vom Raps-
glanzkäfer abgefressene Raps-
pflanzen.
Abb. 4.1.3 | Raps-
glanzkäfer zerstört noch geschlossene
Knospe.
Abb. 4.1.4 | Larven des Raps-
glanzkäfers in der Blüte (Quelle
der drei Fotos: R. Kahl)
Abb. 4.1.5 | Raps-
glanzkäfer

Karten links: Abb. 4.1.2 | Kon-
servativ geschätzter Anteil von
Rapsflächen mit Pyrethroid-
Minderwirkung gegen den
Raps-
glanzkäfer in Deutschland
(Angaben in %)

Jahr	Stamm	Region	Wirkung, %
	FFM	Sensibler Referenzstamm	100
2005	GE 01-05	90453 Nb.-Koppenhof; Bayern	100
	GE 02-05	67487 Maikammer; Rheinland-Pfalz	100
	GE 03-05	01833 Dürrröhrsdorf; Sachsen	46
	GE 04-05	04827 Machern; Sachsen	40
	GE 05-05	84163 Steinberg; Bayern	45
	GE 07-05	79424 Auggen; Baden-Württemberg	100
	GE 08-05	51399 Burscheid; Nordrhein-Westfalen	100
	GE 09-05	18279 Lalendorf; Mecklenburg	96
	GE 10-05	18279 Lalendorf; Mecklenburg	100
	2006	GE 01-06	14532 Kleinmachow, Brandenburg
GE 02-06		79424 Auggen, Baden-Württemberg	95
GE 03-06		39164 Blumenberg, Sachsen-Anhalt	90
GE 04-06		36211 Alh. - Oberellenbach, Hessen	100
GE 05-06		67149 Meckenheim, Rheinland-Pfalz	100
GE 06-06		23566 Lübeck, Schleswig-Holstein	100
GE 07-06		04509 Delitzsch, Sachsen	60
GE 08-06		24118 Kiel, Schleswig-Holstein	91

Tab. 4.2.1 | Pyrethroid-Wirkungen auf Kartoffelkäfer-Populationen.
Bei vollständig sensiblen Populationen zeigt die gewählte Dosis 100% Wirkung.

Westfalen sind weniger stark betroffen. Allerdings gibt es Resistenz schon überall zumindest in Ansätzen, so dass bei weiterer alleiniger Nutzung von Pyrethroiden starke Resistenz innerhalb von 2 - 3 Jahren in allen Regionen zu erwarten ist. Spritzungen mit Pyrethroiden gegen Rapsglanzkäfer, die normalerweise 90 bis 100 %-igen Erfolg zeigten, erzielen oft nur 50 bis 60 % Wirkung, auf besonders betroffenen Flächen sogar deutlich weniger. Im Feld ist es unmöglich festzustellen, ob derartige beobachtete Minderwirkungen auf eine nicht adäquate Anwendung der Mittel (z.B. falscher Anwendungstermin, reduzierte Aufwandmenge, nicht optimale Temperaturen, ungenügender Wasseraufwand), auf nicht erkannten Zuflug der Käfer von anderen Flächen oder auf Resistenz gegen die eingesetzten Pyrethroide zurückzuführen sind. Der sichere Nachweis einer Resistenz kann in der Regel nur in Verbindung mit standardisierten Laborversuchen erfolgen. Die

in Deutschland bis Sommer 2006 verfügbaren Pyrethroide (alle Klasse II Pyrethroide) unterliegen alle dem gleichen Resistenzmechanismus (metabolische Resistenz) und zeigen in unterschiedlicher Ausprägung Kreuzresistenz.

Da in den letzten Jahren nur pyrethroidhaltige Mittel genutzt wurden, hat die Selektion von resistenten Tieren und der Anteil betroffener Flächen zugenommen. Nach Schätzungen der amtlichen Dienste lag 2004 der Anteil der Rapsanbaufläche mit Resistenzproblemen bei ca. 10 %, 2005 stieg dieser Anteil bereits auf ca. 20 % und 2006 auf deutlich über 50 %.

4.2 | Aktueller Stand beim Kartoffelkäfer

Der Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) ist ein Insekt, das für seine Resistenzentwicklung gegen Insektizide berüchtigt ist. Nach der Praxiseinführung von neuen insekti-

ziden Wirkstoffen dauerte es in etwa vier bis fünf Jahre, und schon waren abnehmende Wirkungsgrade nach den Behandlungen feststellbar. In den fünfziger und sechziger Jahren entwickelte der Käfer in den USA Resistenzen gegen die chlorierten Kohlenwasserstoffe. Anschließend folgten Resistenzen gegen die Phosphorsäureester und die Carbamate. Diese Entwicklung vollzog sich in Europa mit leichter Verzögerung. In den neunziger Jahren trat dann die Resistenz gegen die beiden letztgenannten Wirkstoffgruppen auch in Deutschland verbreitet auf.

Mit der Markteinführung der Pyrethroide entspannte sich die Situation ein wenig. Häufig gemeldete Minderwirkung, bei denen sofort Resistenz des Kartoffelkäfers vermutet wurde, hatten andere Ursachen. Meist wurde die starke Temperaturabhängigkeit der Insektizidwirkung nicht beachtet und bei zu hohen Temperaturen behandelt. Oft wurden die Insektizide auch nicht

zum optimalen Zeitpunkt im Hinblick auf die Kartoffelkäferentwicklung ausgebracht. Diese war häufig schon weit fortgeschritten, und nicht die empfindlichen Junglarvenstadien, sondern die wesentlich robusteren Altlarven wurden vom Insektizid getroffen und überlebten großen Teils. Wirkungsgrade gegen Junglarven sind im Vergleich zu Altlarven oft 20 – 40% höher. Die Erleichterung über die besseren Bekämpfungserfolge wich aber bereits wieder ab dem Jahr 2000 durch Berichte über Minderwirkungen nach Pyrethroideinsatz, die nicht mehr auf Anwendungsfehler zurückzuführen waren.

Um solche Entwicklungen frühzeitig zu erkennen, führen die forschenden Chemieunternehmen in Kooperation mit den Pflanzenschutzdienststellen der Länder (Abb. 4.2.1) und auch mit polnischen Kollegen ein so genanntes "Resistenzmonitoring" durch. Ende der neunziger Jahre traten bereits Resistenzen gegen verschiedene Wirkstoffe aus der Gruppe der Pyrethroide im Westen Polens auf. Beispielsweise zeigten in den Jahren 2005 und 2006 an Kartoffelkäferpopulationen verschiedener Standorte durchgeführte Untersuchungen, dass es in einigen Bundesländern sowie in Österreich Pyrethroid-resistente Stämme gab. Damit unterliegt der Wirkstoff, der die Hauptlast der Bekämpfung trägt, einer Resistenz beim Käfer. Teilweise war die Resistenz so hoch, dass die empfohlenen Aufwandmengen nicht mehr wirkten (z.B. bei einer Population aus Machern in Sachsen (Tabelle 4.2.1). Für den Test wurde solch eine Dosis verwendet, mit der man resistente von sensiblen Populationen unterscheiden (diskriminieren) kann. Alle Populationen stammen aus solchen Standorten mit Resistenzverdacht.

Aber lange nicht alle der untersuchten Populationen waren resistent und die Ergebnisse des Monitorings zeigen, dass Pyrethroide in vielen Regionen durchaus immer noch gut wirksam sind. Andererseits zeigt das Beispiel der Carbamate, dass sich Resistenzen über Jahre dauerhaft halten und teilweise über Jahrzehnte in Kartoffelkäferpopulationen vorhanden bleiben können. Diese Resistenz gegen den Wirkstoff Ben-



Kartoffelkäferlarven



Kartoffelkäfer

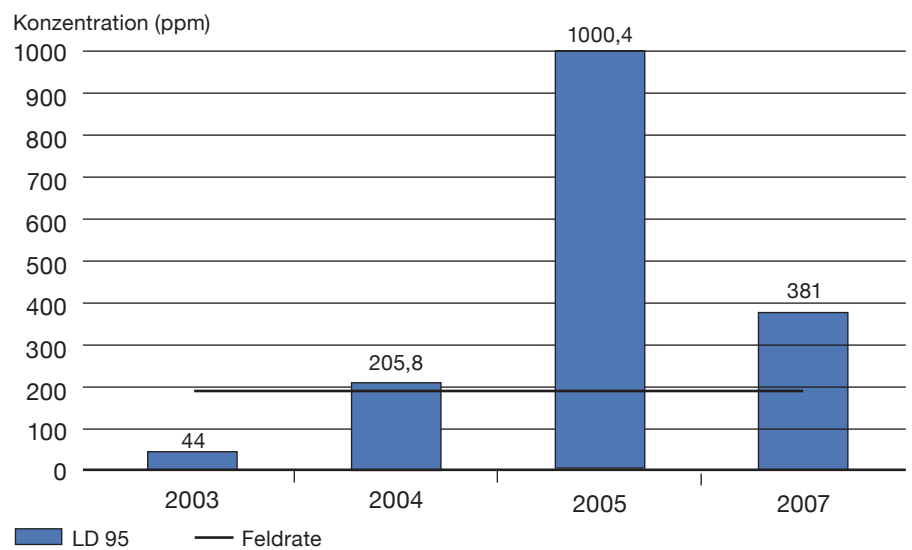


Abb. 4.2.1 | Pyrethroidresistenz beim Kartoffelkäfer. So verändert sich die Sensitivität (LD 95 – Werte) einer Kartoffelkäferpopulation in Rheinland – Pfalz gegen Karate Zeon (Lambda – cyhalothrin) Quelle: Jörg und Racca, DLG-Mitteilungen 3-2008
Erläuterungsbeispiel: Im Jahr 2005 war eine Wirkstoffkonzentration von 1000,4 ppm erforderlich, um im Durchschnitt 95% (LD 95) der Population abzutöten.

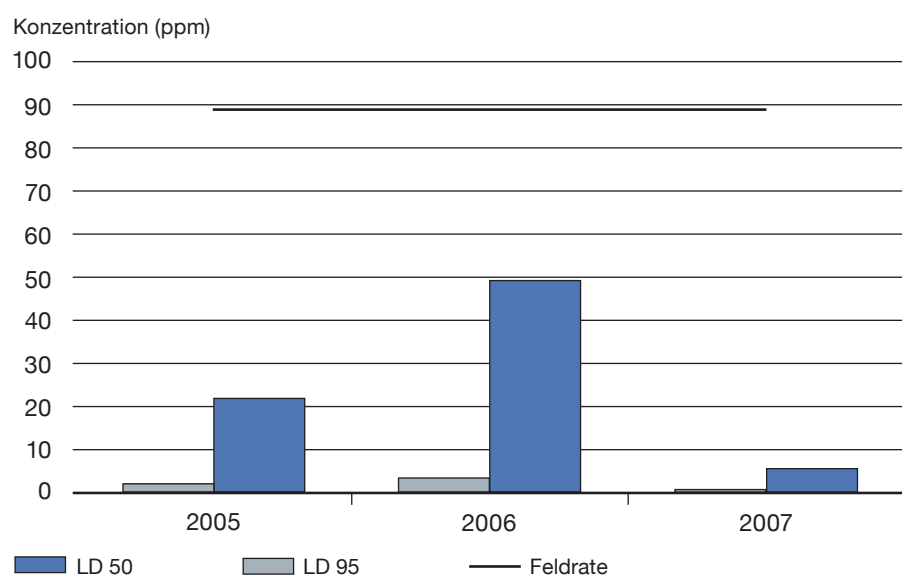


Abb. 4.2.2 | Veränderung der Sensitivität (LD 95 – Werte) von Kartoffelkäferpopulationen gegen Dantop (Chlothianidin) in Deutschland (n = 5 bis 6) (Quelle: Jörg und Racca, DLG-Mitteilungen, 3, 2008).

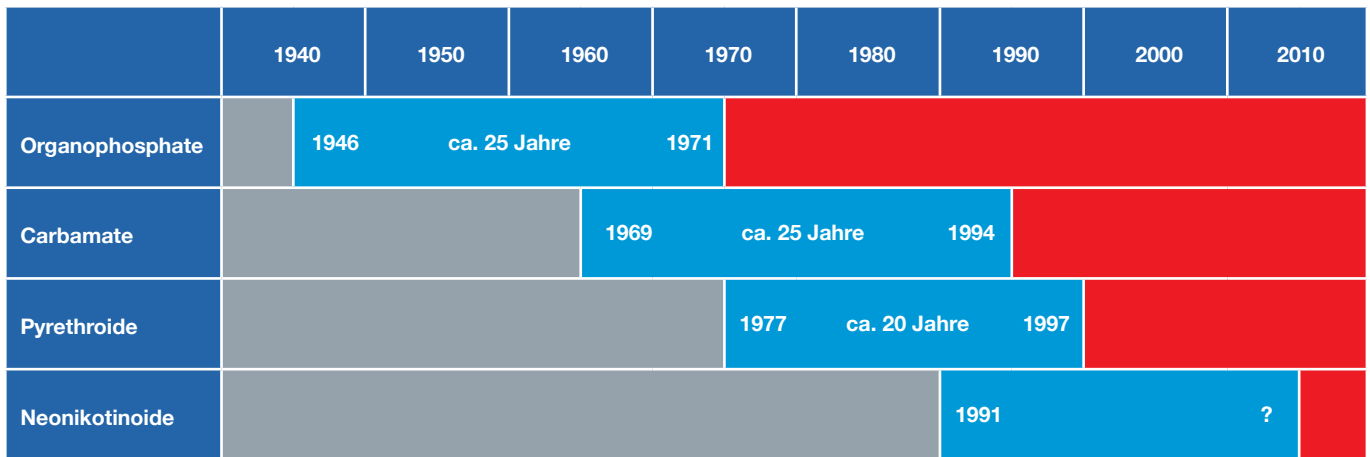


Abb. 4.3.1: Zeitraum von der Einführung einer chemischen Insektizidklasse bis zur Bildung von Resistenz im Feld am Beispiel der Grünen Pflirsichblattlaus, *Myzus persicae*

furacarb wurde Mitte der neunziger Jahre festgestellt und hatte nach mehr als zehn Jahren ohne diesen Wirkstoff ein unverändert hohes Resistenzniveau.

Im Jahre 2005 wurde eine neue Wirkstoffgruppe der Neonicotinoide zur Bekämpfung der Kartoffelkäfer in die Praxis eingeführt. Der erste Wirkstoff war Clothianidin, dem weitere Wirkstoffe bzw. Mittel folgten. Die Resistenzentwicklung und der –verlauf für den Wirkstoff Clothianidin wurden von Beginn an für die Jahre 2005 bis 2007 verfolgt (Abb. 4.2.2).

Wie bei den Carbamaten war auch bei Clothianidin zunächst ein Anstieg der LD 95 – Werte von 2005 nach 2006 zu beobachten, dann folgte ein Rückgang bis 2007. Der Resistenzgrad ist sehr gering. Auch bei den Neonicotinoiden findet natürlich eine Selektion statt. In Deutschland und Europa ist allerdings (im Gegensatz zu lokal begrenzten Fällen in den USA) noch

volle Wirksamkeit gegeben und Minderwirkungen sind auszuschließen. Die sehr überzeugenden Wirkungsgrade der Neonicotinoide haben bereits dazu geführt, dass sie stärker verbreitet und häufiger eingesetzt werden. Dadurch erhöht sich der Selektionsdruck für eine mögliche Resistenzentwicklung. Dagegen ist der Selektionsdruck auf die Pyrethroide merklich abgeschwächt worden und in einigen Regionen mit dokumentierter Pyrethroidresistenz, ist diese sogar zurückgegangen. Beratung und die Praxis müssen hier reagieren und ein Bekämpfungskonzept empfehlen, dass auf dem Wechsel des Wirkmechanismus (inklusive der Pyrethroide) basiert.

4.3 | Aktueller Stand bei Blattläusen

Auch einige Blattlausarten haben im Laufe der Jahre durch wiederholte Anwendung der Pyrethroide Resistenz entwickelt. Das bekann-

teste Beispiel ist sicher die Grüne Pflirsichblattlaus (*Myzus persicae*), die es geschafft hat, immer wieder neue Resistenzmechanismen auszubilden und somit angefangen bei den Organophosphaten, über Carbamate auch gegen Pyrethroide Resistenz entwickelt hat (Abbildung 4.3.1). Bei den ökonomisch bedeutsamen Insektizidklassen gibt es lediglich gegen die Neonikotinoide (Biscaya, Confidor, Actara etc.) noch keine dokumentierte Resistenz im Feld.

Neben der Grünen Pflirsichblattlaus findet sich Pyrethroidresistenz auch bei der Gurkenlaus, der Faulbaumlaus, sowie der Hopfenblattlaus. Eine rasante Entwicklung der Pyrethroidresistenz zeigte sich Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre bei der Hopfenblattlaus, als ausschliesslich Pyrethroide zur Bekämpfung eingesetzt wurden. Innerhalb weniger Jahre waren die Blattlauspopulationen in allen Anbaugebieten bis zu 5000-fach unempfindlicher

Carbamate	Organophosphate	Pyrethroide	Neonicotinoide	Pymetrozine Flonicamide	Oxadiazine Semicarbazone
Pirimor	Tamaron Perfekthion Reldan 22* Pyrinex* u.a.	Karate Zeon Trafo WG Sumicidin Alpha EC Decis flüssig Fastac SC Talstar 8 SC Bulldock Trebon Fury10 EW u.a.	Dantop Biscaya Actara Monceren G Gaucho 600 FS Poncho Cruiser 350 FS u.a.	Plenum 50 WG TEPPEKI	STEWART Alverde
1A	1B	3	4A	BB,BC	22A, 22B

Abb. 4.4.1 | Zugelassene Insektizide und die für ein Resistenzmanagement wichtige Wirkortdifferenzierung (Quelle: Krüssel, DLG-Mitteilungen 4-2008) Wirkort Klassifizierung nach IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) * Genehmigung nach § 11 PflSchG für 120 Tage ab 01.02. bzw. 01.03.2008



Grüne Pfirsichblattlaus



Grüne Pfirsichblattlaus

– und damit nicht mehr bekämpfbar – geworden. Allerdings war den Hopfenbauern das Glück wohlgesonnen, da mit der Zulassung von Imidacloprid eine neue chemische Klasse zur Bekämpfung der Hopfenlaus zur Verfügung stand. Tatsächlich war es dann so, dass nach jahrelanger „Pyrethroid-Abstinenz“ die Hopfenlaus wieder sensibel gegen Pyrethroide wurde. Während es zu den in Tabelle 4.1.1 genannten Blattlausarten immer wieder Befunde zur Pyrethroidresistenz in der Literatur gibt, konnte bislang im wichtigen Schädlingskomplex der Getreideläuse (Virenübertragung) in ganz Europa – trotz regelmäßiger Anwendung – noch keine Pyrethroidresistenz festgestellt werden.

4.4 | Wirkstoffe und Wirkmechanismen

Aus der Anzahl der aktuell zugelassenen oder genehmigten Insektizidpräparate gewinnt man durchaus den Eindruck, aus dem „Vollen“ schöpfen zu können (Abb. 4.4.1). Es sind verschiedene chemische Gruppen mit unterschiedlichen Wirkorten auf dem Markt, so dass auf den ersten Blick unterschiedliche Maßnahmen im Rahmen eines Resistenzmanagements möglich sind und für eine entspannte Situation sorgen könnten. Auch wurden in den letzten Jahren neue Insektizide mit unterschiedlichen Zielorten „Targets“ im Insektenkörper entwickelt und zugelassen. Für eine exakte Bewertung des vorhandenen Resistenzrisikos müssen aber auch die jeweiligen Indikationen und biologischen Wirkungen betrachtet werden. Dabei fällt auf, dass in den großen

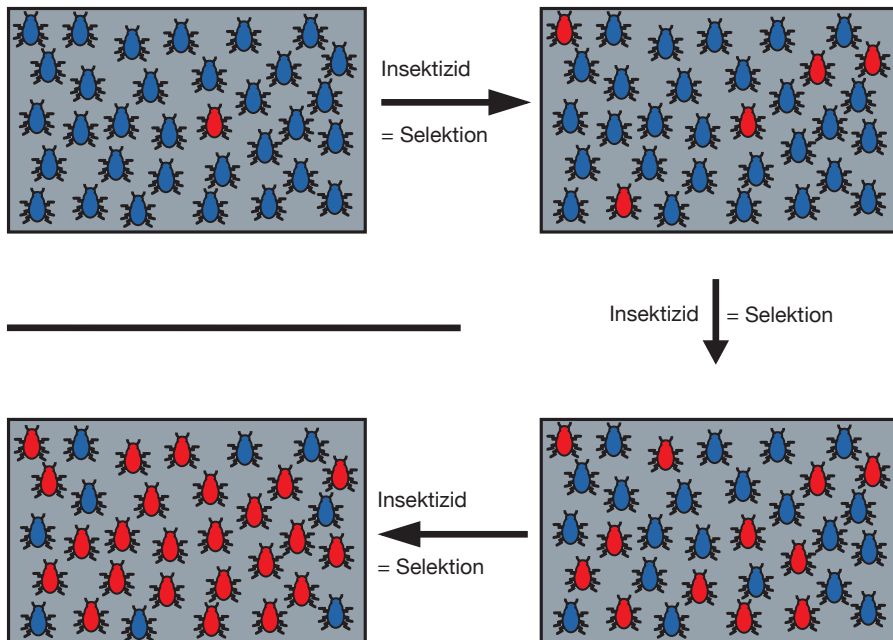
Ackerbaukulturen im Wesentlichen zwei Wirkstoffgruppen Bedeutung haben: Das sind die Pyrethroide und Neonikotinoide. Präparate aus beiden Gruppen sind i. d. R. breit wirksam und können universell gegen eine Vielzahl von Schädlingen eingesetzt werden. Während Pyrethroide fast ausschließlich als Spritzmittel Verwendung finden, sind Neonikotinoide schon seit vielen Jahren als Beizmittel im Einsatz (z. B. Imidacloprid). Inzwischen gibt es kaum einen insektiziden Beizschutz ohne Wirkstoffe aus dieser chemischen Gruppe. Daneben gibt es immer mehr Zulassungen von Neonikotinoiden auch zur Spritzapplikation. Auf Grund zunehmender Resistenzen von Schadkäfern gegenüber Pyrethroiden kommen alternativ derzeit vorrangig neonikotinoide Wirkstoffe für eine nachhaltige Schaderregerkontrolle zum Einsatz. Der Selektionsdruck auf diese Wirkstoffgruppe nimmt daher zu. Mit dem Wirkstoff Metaflumizone im Produkt Alverde hat sich die Wirkstoffpalette für die Kartoffelkäferbekämpfung erweitert. Mittlerweile stehen sechs verschiedene Wirkmechanismen (die biologischen Präparate auf *Bacillus thuringiensis* – und Neem – Basis eingerechnet) zur Verfügung. Neben den breit wirksamen Insektiziden, wie z. B. Biscaya, sind selektiv wirkende Präparate, wie z. B. Pirimor Granulat, Teppeki und Plenum WG zur Blattlausbekämpfung, das Mittel Alverde zur Kartoffelkäferkontrolle einsetzbar. Es handelt sich dabei um Wirkstoffe aus anderen chemischen Gruppen ohne Kreuzresistenz (nach bisherigen Erkenntnissen) zu Pyrethroiden und Neonikotinoiden. Diese Spezialpräparate

sollten, wo immer möglich, alternierend mit anderen Wirkstoffgruppen eingesetzt werden, auch wenn dies z. T. mit geringfügig höheren Kosten verbunden ist.



4.5 | Entstehung von Resistenz

Alle Lebewesen einer Art zeichnen sich durch bestimmte, genetisch fixierte Eigenschaften aus. Dennoch variieren alle Organismen einer Art in ihren Merkmalen, d.h. dass kaum zwei Individuen derselben Art genau gleich sind. Das hat zur Folge, dass einzelne Eigenschaften innerhalb einer Art ganz unterschiedlich ausfallen und es somit in jeder Population bei den einzelnen Tieren Unterschiede in der Empfindlichkeit gegen Schadstoffe gibt. Die Fähigkeit zur Anpassung ist latent im Genpool einer jeden Art vorhanden. Zusätzlich treten ständig kleinere Mutationen auf, die sich auf die Empfindlichkeit auswirken können. Individuen, die genetisch eine Unempfindlichkeit gegen einen Schadstoff haben, sind zum Teil nur in sehr geringem Anteil vorhanden (z.B. zu 1.000.000 oder noch seltener). Bei extrem hohem Selektionsdruck, z.B. wenn nun eine Population von Schadtieren immer wieder demselben Wirkstoff ausgesetzt wird, überleben eher die unempfindlichen Individuen und vererben dieses Merkmal. Damit verschiebt sich das Verhältnis von empfindlichen zu unempfindlichen immer mehr zu Ungunsten der empfindlichen.

Dies macht sich besonders bemerkbar, wenn das Merkmal für Unempfindlichkeit dominant vererbt wird, als wenn es rezessiv vererbt wird. Je häufiger dann eine Popu-



links Abb. 4.5.1 | Zunahme von resistenten Individuen in einer Population durch wiederholten Einsatz von Präparaten mit gleicher Wirkungsweise (Quelle: Krüssel, DLG-Mitteilungen 4/2008)

 Sensitive Individuen
 Resistente Individuen

rechts Tab. 4.7.1 | Empfohlene Strategie gegen Rapsschädlinge, JKI 2008

lation einem Insektizid ausgesetzt ist, um so höher wird der Anteil an unempfindlichen Individuen, die dann eine Bekämpfung überleben. Im Feld wird dies zuerst nur wenig auffallen, nimmt dann aber schnell zu. Bezogen auf den Einsatz von Insektiziden bedeutet das, dass bereits bei wenigen Individuen einer Population – genetisch bedingt – Resistenzeigenschaften vorliegen, noch bevor der Wirkstoff überhaupt angewendet wird. Diese Individuen besitzen häufig eine geringere biologische Fitness (sind weniger überlebensstark) und stellen eher einen kleineren Anteil in der Population. Erst wenn ein Insektizid vermehrt eingesetzt wird, steigt der Selektionsdruck, wobei ein hoher Selektionsdruck und ein häufiger Generationenwechsel diese Anpassung beschleunigt.

Diese Faktoren begünstigen die Entwicklung und das Auftreten von Resistenz:

Der Selektionsdruck wird u. a. durch

- die Anzahl von Insektizidapplikationen
- Wirkstoffkonzentrationen
- Anwendungsbedingungen
- Entwicklungsstadium des Schädlings
- Umwelteinflüsse

und mehr beeinflusst. Eine häufige Anwendung von Präparaten mit gleichen Wirkmechanismen ist hier extrem förderlich. Und genau dies ist in den vergangenen Jahren wegen der eingeschränkten Wirkstoffpa-

lette wiederholt geschehen: Es kam immer wieder zu Situationen mit einem starken Selektionsdruck. In diversen Kulturen standen beispielsweise den Rapsanbauern vorrangig nur Mittel aus der Gruppe der Pyrethroide zur Verfügung. Bei gleichzeitig hoher Anwendungshäufigkeit, so sind Rapsglanzkäfer im Frühjahr i.d. R. zu allen Applikationsterminen im Bestand vorhanden, steigt die Wahrscheinlichkeit der Zunahme resistenter Käfer in einer Population (Abb. 4.5.1). Einem solchen Sensitivitätsverlust unterliegen prinzipiell alle Schädlinge, die einem häufigen Insektizideinsatz ausgesetzt sind. Durch die große Mobilität der Insekten können Resistenzen zudem sehr rasch auf große Gebiete verbreitet werden.

Um problematischen Entwicklungen rechtzeitig begegnen zu können, ist es von größter Bedeutung, dass bei Feststellung von Minderwirkungen von Insektiziden unter optimalen Applikationsbedingungen umgehend der zuständige Pflanzenschutzdienst informiert wird.

4.6 | Resistenzselektion im Rahmen von Fruchtfolgen

Nach Dr. Stefan Krüssel, DLG-Mitteilungen 4/2008

In Resistenzdiskussionen fehlen oft zeitliche und räumliche Dimension der Insektizidanwendungen. Schädlinge werden im Rahmen

von Fruchtfolgen in verschiedenen Situationen durchaus gleichen Wirkstoffgruppen ausgesetzt. Neonikotinoide werden als Beizung in Zuckerrüben zur Bekämpfung von Blattläusen ebenso eingesetzt wie als Spritz- oder auch Beizapplikation in Kartoffeln. Kommt in der gleichen Region auch Raps vor, der mit gleichen Wirkstoffen gebeizt und auch behandelt wird, findet durchaus eine Selektion auf Neonikotinoide, beispielsweise der Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*), statt. Inzwischen kommen auf Grund der Virusproblematik und der damit höheren Beizquote auch Getreideblattläuse verstärkt mit diesen Mitteln in Berührung. Eine Selektion findet auch dann statt, wenn bei Insektizidmaßnahmen im Raps vorhandenes Ausfallgetreide mit Blattläusen getroffen wird. Ähnliches gilt z. B. auch für Rapsglanzkäfer, die sich in blühenden Kartoffeln tummeln und dort mit Insektiziden in Kontakt kommen. Es ist daher im Rahmen eines Insektizidmanagements einzelbetrieblich kritisch zu prüfen, welcher insektizide Wirkstoff in der jeweiligen Situation zum Einsatz kommt.

Vorbeugende Maßnahmen

Milde Winter und andere Wetterextreme sind die Ursache für eine Zunahme möglicher Schädigungsprobleme. Vorbeugende Maßnahmen und ein gleichzeitiges Verhindern von Resistenzbildung bekommen eine immer größere Bedeutung. Dazu gehört beispielsweise die Feldhy-

Indikation (bekämpfungswürdig)	Auftreten der Rapsglanzkäfer (RGK)	Strategie empfehlende Mittel
Stängel- und Triebrüssler	Keine RGK	alle Pyrethroide
Stängel- und Triebrüssler	RGK vorhanden	Klasse I Pyrethroide
Stängel- und Triebrüssler und RGK	Gefahr Starkbefall mit RGK	Pyrethroid plus Organophosphorverbindung
RGK vor Blüte	RGK unter Bekämpfungsrichtwert	Keine Bekämpfung
RGK vor Blüte	RGK über Bekämpfungsrichtwert	Biscaya
RGK vor Blüte	RGK Starkbefall	Organophosphorverbindung
RGK in Blüte	RGK gering	Keine Bekämpfung
RGK in Blüte (auch Larven)	RGK hoch	Biscaya (falls schon 2 Anwendungen Biscaya, Klasse I Pyrethroid)
Schotenschädlinge	RGK gering	alle Pyrethroide oder Biscaya
Schotenschädlinge	RGK deutlich vorhanden	Biscaya (falls schon 2 Anwendungen Biscaya, Klasse I Pyrethroid)

giene, wie die rechtzeitige Beseitigung von Ausfallgetreide z. B. im Winterraps aber auch im Wintergetreide. Stoppelflächen, die im Extrem bis zur Aussaat der nächsten Sommerung mit Getreidebewuchs stehen bleiben, stellen gerade in Jahren mit hohem Viruspotenzial und einer möglichen Überwinterung von Getreideblattläusen ein großes Risiko für eine frühe und lange andauernde Infektionsgefahr für die Getreidebestände im Frühjahr dar. Dies ist besonders ein Problem bei pflugloser Bestellung von Getreide nach Getreide, wenn das Altgetreide nicht konsequent beseitigt wurde. Eine ähnliche Problematik gibt es auch bei der Kartoffel: Wegen des milden Winters wurde im Jahr 2007 eine sehr frühe Vermehrung von Kartoffelkäfern auf Durchwuchskartoffeln und auf Abfallhaufen beobachtet. Blattläuse profitieren ebenfalls von solchen Bedingungen und müssen konsequent von Wirtspflanzen in anderen Kulturen beseitigt werden.

Gezielter Pflanzenschutz - Insektizidmaßnahmen erst bei Bedarf

Neue Wirkstoffe dürfen nicht verheizt werden. Das kann nur durch eine konsequente Antiresistenzstrategie geschehen. Diese im Vergleich zu anderen Schädlingsbekämpfungsproblemen in Kartoffeln eher komfortable Situation sollte aber nicht dazu verführen, mit den neuen Wirkstoffen eine einseitige Insektizidstrategie zu fahren. Die Folgen einer solchen Vorgehensweise sind

ausreichend bekannt. Zurzeit besteht die Aussicht ein erfolgreiches und nachhaltiges Resistenzmanagement zu betreiben, denn alle Werkzeuge stehen der Praxis zur Verfügung.

Eine Antiresistenzstrategie beginnt damit festzustellen, ob eine Behandlung erforderlich ist oder nicht. Der Bekämpfungsschwellenwert von 15 Kartoffelkäferlarven pro Pflanze wurde in vielen Versuchen gerechtfertigt. Nur bei Überschreiten dieses Wertes sollte behandelt werden. Überflüssige Behandlungen erzeugen unnötigen Selektionsdruck und beschleunigen die Resistenzentwicklung.

Eine wichtige Einflussgröße auf Schädlingspopulationen sind die natürlichen Gegenspieler, die bei günstigen Bedingungen die Vermehrung soweit begrenzen können, dass Gegenmaßnahmen nicht notwendig werden. Ein Beispiel sind Blattläuse, die als Beute einer Vielzahl von räuberisch lebenden Insekten fungieren. Einige, wie z. B. die Marienkäfer und Schwebfliegen, aber auch die Schlupfwespen haben sich fast ausschließlich auf diese Schädlingsfamilie spezialisiert.

4.7 | Bekämpfungsstrategie im Raps

Bei der Bekämpfung des Rapsglanzkäfers soll der Schwerpunkt bei der Nutzung von Mitteln ohne Selektion auf Pyrethroidresistenz

liegen. Dies ist zurzeit (Stand Frühjahr 2008) nur mit Biscaya (maximal 2 Anwendungen) und bei Starkbefall mit Rapsglanzkäfer z.B. mit einer Organophosphorverbindung (z.B. Reldan 22, Pyrinex) möglich (Tab. 4.7.1).

Stängel- und Triebrüssler sollen bevorzugt mit Klasse I (sonst Klasse II) Pyrethroiden bekämpft werden, wenn gleichzeitig Rapsglanzkäfer in Gelbschalen vorhanden sind. Bei gleichzeitig hoher Zahl von Rapsglanzkäfern (Starkbefall) sollten ein Pyrethroid (Klasse I oder II) plus eine Organophosphorverbindung (z.B. Reldan 22, Pyrinex) genutzt werden.

Schotenschädlinge sollten bei Anwesenheit von Rapsglanzkäfern (auch Larven beachten) wenn noch möglich mit Biscaya (maximal 2 AW), sonst bevorzugt mit Klasse I Pyrethroiden bekämpft werden. Ohne anwesende Rapsglanzkäfer ist die Nutzung aller dafür zugelassenen Mittel möglich.

Wichtige Aspekte für die Strategie sind die regionale Befallsstärke, sowie das zeitliche Auftreten von Rapschädlingen. Darüber hinaus ist das zu erwartende Resistenzniveau, sowie die Vermeidung einer weiteren Selektion beim Rapsglanzkäfer auf Pyrethroidresistenz von hoher Bedeutung.

Aber es gibt noch einige Dinge, die beim Ausbringen der Mittel zu beachten sind:

Eine unterschiedliche Nutzung der

zur Verfügung stehenden Mittel unter Beachtung der aktuellen Zulassungs- bzw. Genehmigungssituation wird je nach Zeitpunkt und Intensität des Auftretens der Rapsglanzkäfer, bei Beachtung des Auftretens der übrigen Rapsschädlinge und des notwendigen Bienenschutzes empfohlen. Kurz vor oder in der Blüte dürfen keine Anwendungen mit Zugabe von Additiven erfolgen, die nicht im Hinblick auf den Bienenschutz sicher sind bzw. überprüft wurden. Die Landwirte sind für die Umsetzung der Strategie im Sinne der guten fachlichen Praxis mit verantwortlich und müssen die Empfehlungen aktiv unter Nutzung aller zugelassener Mittel umsetzen. Dabei muss vor allem beachtet werden:

Um die Entwicklung der Resistenz zu verzögern oder gar zu verhindern sind so genannte Resistenzmanagement-Strategien erforderlich, die nicht nur auf einem Wirkstoffwechsel basieren, sondern auf die Verwendung von Insektiziden mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen beruhen. Da alle Pyrethroide den gleichen Wirkungsmechanismus haben, macht es keinen Sinn

in einer Behandlungsfolge verschiedene Produkte auf Pyrethroidbasis zu verwenden. Es ist erforderlich, in eine Spritzfolge alle verfügbaren Mittel mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen zu verwenden. Verschiedene Wirkungsmechanismen haben Pyrethroide (z.B. Decis, Karate), Organophosphate (z.B. Reldan) und Neonicotinoide (z.B. Biscaya, Dantop). Die drei genannten chemischen Klassen sind also unterschiedlich und bei Resistenz gegen eine der Klassen, sollten die beiden anderen noch funktionieren, d.h. die Insektizide dieser verschiedenen Klassen sind nicht kreuzresistent untereinander. Im Falle des Rapsglanzkäfers gab es für 2007 die klare Empfehlung seitens des Fachausschusses „Pflanzenschutzmittel-Resistenz Insektizide/Akarizide“ des Julius Kühn-Instituts (ehemals Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft) einen entsprechenden Wirkstoffwechsel vorzunehmen. Eine ähnliche Resistenzmanagement-Strategie wird auch für das Jahr 2008 empfohlen um den Selektionsdruck von den Pyrethroiden zu nehmen, und langfristig eine gegenläufige Ent-

wicklung, d.h. Resistenzverlust und Wiederherstellung der Pyrethroidsensitivität, einzuleiten (www.jki.bund.de).

4.8 | Bekämpfungsstrategie in Kartoffel

Jeder notwendige Insektizideinsatz sollte den maximalen Wirkungsgrad zum Ziel haben. Das bedeutet, die Behandlung sollte zum optimalen Zeitpunkt erfolgen, wenn sich die große Masse der Kartoffelkäferpopulation im Junglarvenstadium befindet. Verschiedene Prognosemodelle (z.B.: Simblight, SIMLEP 3) ermitteln diesen optimalen Behandlungstermin und stehen als Entscheidungshilfe zur Verfügung. Daneben sind aber auch die Anwendungsbedingungen, besonders die Temperaturbereiche, für die verschiedenen Wirkstoffe strikt zu beachten. Eine maximale Wirkung ist besonders in Starkbefallsgebieten mit zwei Generationen sehr wichtig. Eine weitgehend ausgeschaltete erste Generation garantiert, dass die Populationsdichte einer zweiten Generation gering bleibt.

Voraussetzungen sind: die Nutzung

Mittel	Wirkstoff g/l o. kg	Aufw./ha	Max. Anw.	WZ Tage
Semicarbazone: Fraßgift; nicht systemisch; weitgehend temperaturunabhängig				
Alverde (N, Xn, B4)	Metaflumizone 240	250 ml	2	F
Neonicotinoide: Kontakt- und Fraßgift; systemisch; weitgehend temperaturunabhängig				
Actara (N, Xn, B1)	Thiamethoxam 250	80 g	2	7
Biscaya (N, Xn, B4)	Thiacloprid 240	300 ml	2	14
Dantop (N, Xn, B1)	Clothianidin 500	35 g	2	F
Pyrethroide: Kontakt- und Fraßgift; volle Wirkung bei 5 °C bis 25 °C				
Bulldock (N, Xn, B2)	beta-Cyfluthrin 25	300 ml	1	28
Decis flüssig (Xn, B2)	Deltamethrin 25	200 ml	1	7
Karate Zeon (Xn, N, B4)	lambda-Cyhalothrin 100	75 ml	1	14
Trafo WG (N, Xn, B4)	lambda-Cyhalothrin 50	150 g	1	14
Phosphorsäureester: Kontakt- und Fraßgift; volle Wirkung bei 15 °C bis 27 °C				
Tamaron (N, T+, B1)	Methamidophos 600	800 ml	3	14
Bacillus-Präparat: Fraßgift; volle Wirkung bei 15 °C bis 27 °C und bedecktem Himmel				
Novodor FC (Xi, B4)	Bacillus thuringiensis	3,0 l	2	F
		5,0 l	3	F
Pflanzenextrakt:				
Neem/Azal-T/S (B4)	Azadirachtin (Neem)	2,5 l	2	

Tab. 4.8.1 | Insektizide zur Kartoffelkäferbekämpfung (Stand 04/08)



Randbehandlung mit Biscaya

angepasster Applikationstechnik mit genügend hohem Wasseraufwand und vollen Mittelaufwänden, die Auswahl von Wirkstoffen innerhalb einer Wirkstoffgruppe mit möglichst guter Wirksamkeit und die strikte Berücksichtigung des Bienenschutzes.

In Gebieten, in denen pro Vegetationsperiode nur eine Behandlung erforderlich ist, sollten in zwei aufeinander folgenden Jahren Mittel aus verschiedenen Wirkstoffgruppen zum Einsatz kommen. In Rotation sollten Mittel aus den Gruppen der Pyrethroide, Phosphorsäureester und Neonicotinoide oder weiterer Wirkstoffgruppen eingesetzt werden. In Regionen mit sehr starkem Befallsdruck, in denen zwei Insektizideinsätze notwendig sind, ist strikter Wechsel zwischen den Wirkstoffgruppen im selben Jahr angesagt. Von Bedeutung ist auch, ob das Kartoffelpflanzgut mit einem Neonicotinoid – Wirkstoff behandelt wurde (z.B. Imidacloprid). Ist dies

der Fall, so sollte zur Kartoffelkäferbekämpfung zunächst ein Wirkstoff aus einer anderen Wirkstoffgruppe eingesetzt werden, bevor eventuell ein zweiter Insektizideinsatz mit einem Neonicotinoid erfolgt (Tab. 4.8.1).

Niemand kann erwarten, dass die Firmen in kurzen Zeitabständen immer wieder insektizide Wirkstoffe mit stets völlig neuen Wirkmechanismen entwickeln, die eventuell nicht mehr wirksame Mittel ersetzen. Um so sorgfältiger sind die verfügbaren Insektizide einzusetzen, um sie möglichst lange nutzen zu können.

Fazit: Pyrethroide bleiben auch in Zukunft eine der wichtigsten insektiziden Wirkstoffklassen und sind somit ein wertvoller Baustein in vielen Resistenzmanagement-Strategien. Ein überlegtes Resistenzmonitoring ist erforderlich, um Resistenzentwicklungen frühzeitig zu erkennen und gegensteuern zu können. Die Nutzung von Insektiziden mit

unterschiedlichen Wirkungsmechanismen ist zwingend erforderlich um Resistenzbildung langfristig zu vermeiden, aber auch um die Effektivität wertvoller Wirkstoffklassen nachhaltig für die Bekämpfung wichtiger Schädlinge zu konservieren. Es ist nicht unbedingt selbstverständlich, dass es in Zukunft immer neue und bessere Wirkstoffe geben wird, mit denen man resistente Schadinsekten bekämpfen kann. Achten Sie auf eine ausbalancierte Strategie bei der Verwendung aller verfügbaren Mittel mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen.

5

DANKSAGUNG

Mit der vorliegenden Broschüre möchten wir auf die Problematik der Resistenzentwicklung von Schadorganismen gegenüber Pflanzenschutzmittelwirkstoffen aufmerksam machen.

Es ist uns wichtig Ihnen die komplexen Zusammenhänge zu erläutern um gemeinsam mit Ihnen eine Nachhaltige Nutzung von Pflanzenschutzmitteln zu erzielen.

Um Ihnen einen Überblick zu vermitteln haben wir die neuesten Erkenntnisse aus der Wissenschaft sowie Inhalte aus bereits veröffentlichten Artikeln der Deutschen Fachliteratur zusammengestellt.

An dieser Stelle bedanken wir uns ganz herzlich für die Überlassung von Text- und Bildmaterial sowie die freundliche Unterstützung bei folgenden Personen:

Frau Dr. Doris Ahlers; KOM.PA.S, Idstein

Herrn Dr. Friedrich Felsenstein, EpiLogic, Freising - Weihenstephan

Herrn Dr. Bernd Rodemann, Julius Kühn Institut, Braunschweig

Herrn Dr. Stefan Krüssel, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

Bei Beratungsfragen:

Regionalbüro Nord
Halchtersche Str. 33
38304 Wolfenbüttel
Telefon (0 53 31) 85 60 410
Telefax (0 53 31) 85 60 419

Regionalbüro Süd
Kitzinger Str. 5
97228 Rottendorf
Telefon (0 93 02) 90 77 0
Telefax (0 93 02) 29 65

Kostenloses AgrarTelefon:
Ackerbau 0 800-220 220 9
Sonderkulturen 0 800-22 537 22

Kontaktadresse in Notfällen:
(Vergiftungen, Brände
und Transportschäden)

Bayer Industry Services
Sicherheitszentrale/Feuerwehr
D-41539 Dormagen
Telefon (0 21 33) 51-99 3 99

Aktuelle Veränderungen entnehmen
Sie bitte dem Internet unter:
www.bayercropscience.de



Bayer CropScience
Deutschland GmbH

Elisabeth-Selbert-Str. 4a
D-40764 Langenfeld
Telefon +49 (0) 21 73-20 76-0
Telefax +49 (0) 21 73-20 76-4 51

ID BCSD 00000000