

Managementstrategien des Pflanzenschutzes der Zukunft im Focus von Umweltverträglichkeit und Effizienz

Pest management strategies of the future with a focus
on environmental compatibility and efficiency

Zusammenfassung

Vor den globalen Herausforderungen an die Landwirtschaft bleibt der Pflanzenschutz essenziell für die Sicherung des Ertrages und der Qualität von Nahrungs- und Rohstoffpflanzen. Das Pflanzenschutzrecht der EU bildet dabei den Rahmen für zwei Grundstrategien des Pflanzenschutz-Managements der Zukunft: den „integrierten Pflanzenschutz“ und den Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau. Sie haben viele gemeinsame Elemente und unterscheiden sich im wesentlichen dadurch, dass im ökologischen Anbau nur chemische Pflanzenschutzmittel auf Naturstoffbasis verwendet werden dürfen, während im integrierten Pflanzenschutz auf eine breitere Palette chemisch-synthetischer Mittel zurückgegriffen werden kann. In beiden Strategien haben aber vorbeugende und pflanzenhygienische Maßnahmen den Vorrang, um den Befallsdruck durch Schadorganismen niedrig zu halten und den Einsatz der Pflanzenschutzmittel auf ein möglichst geringes, notwendiges Maß zu reduzieren.

Aus den Erhebungen im Vergleichsnetz des Julius Kühn-Instituts (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, und der Länder geht hervor, dass die chemische Pflanzenschutzintensität unter den heutigen Randbedingungen (Markt, Fruchtfolge, Sorten, Qualitätsansprüche usw.) bereits nahe diesem notwendigen Maß liegt und die Erschließung des restlichen Reduktionspotenzials einen hohen Beratungsaufwand erfordert.

Langzeitfeldversuche des JKI über mehrere Rotationsperioden zeigen, dass ein situationsbezogener chemischer Pflanzenschutz wesentlich zu einer hohen Stickstoffeffi-

zienz der Pflanzenproduktion beiträgt. Der Nettoenergie-Output bei Ackerfrüchten war in den Varianten des integrierten Landbaus ca. 40% höher als im Ökolandbau, wobei allerdings z.B. bei Roggen unter bestimmten Standortverhältnissen der Unterschied wesentlich geringer ist. Die Energieintensität ist damit im Ökolandbau ungünstiger, das Output-Input-Verhältnis dagegen günstiger.

Zur umfassenden Charakterisierung des Risikopotenzials des chemischen Pflanzenschutzes für die Umwelt wurde am JKI das Bewertungsmodell SYNOPSIS entwickelt. Seine Anwendung ergibt, dass sich das Umwelt-Risikopotenzial des chemischen Pflanzenschutzes in den letzten 20 Jahren stetig verringert hat. Dahingegen ist die Menge der eingesetzten Wirkstoffe pro landwirtschaftliche Nutzfläche in den letzten 10 Jahren in allen Wirkungsbereichen leicht angestiegen. Risikoreduzierung hat also nichts mit Mengenreduzierung zu tun.

Trotz erreichter Risikominderung können in der Praxis Restrisiken (Hot-Spots) verbleiben, die erkannt und analysiert werden müssen, um spezifische und teilweise regional angepasste Maßnahmen zu deren Minderung zu ergreifen. Hierauf sollten Wissenschaft, Behörden und Praxis in enger Zusammenarbeit einen Schwerpunkt legen, um ein hohes Produktionsniveau und Umweltverträglichkeit noch besser in Einklang zu bringen.

Die Erfahrungen aus den Arbeiten zur sogenannten „Lückenindikation“ zeigen, dass die Verfügbarkeit einer ausreichend breiten Palette von Wirkstoffen dringend notwendig ist, um den Anbau „kleiner Kulturen“ (Obst, Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Hopfen, Wein) in Zukunft sicher zu stellen. Vorsichtig optimistisch formu-

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Volkmar Gutsche, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: volkmar.gutsche@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

11. April 2012

liert, kann das neue Pflanzenschutzpaket der EU dafür Möglichkeiten bieten und einer Wettbewerbsverzerrung innerhalb der EU entgegen wirken.

Trotz zahlreicher offener wissenschaftlicher Fragen wird der Klimawandel eher zu einer Zunahme des Schaderregdrucks und zur Einwanderung neuer Schadorganismen führen. Auch aus diesem Grunde wird es kaum zu einer merklichen Verringerung der Intensität des chemischen Pflanzenschutzes kommen, es sei denn, es werden Durchbrüche in der Züchtung, eventuell auch durch die Akzeptanz der grünen Gentechnik, erreicht.

Stichwörter: Pflanzenschutzmanagement, Strategie, Effizienzkennziffern, Risikokennziffern, SYNOPS, Status Quo des chemischen Pflanzenschutzes, Vergleichsbetriebsnetz Landwirtschaft und Gartenbau

Abstract

In view of the global challenges facing agriculture, pest management remains essential for yield protection and quality assurance in food and industrial crop farming. EU Plant Protection Law forms the framework for two basic crop protection strategies of the future: integrated pest management (IPM) and organic pest management. Both strategies have many common features and, basically, only one main difference: a wide range of natural and chemical-synthetic pesticides can be used in IPM, whereas only pesticides made of natural substances can be used in organic farming. Infestation prevention and plant hygiene are, however, the top priorities in both integrated pest management and organic farming. In both strategies, the goal is to keep infestation levels low and to restrict the amount of pesticides used to the necessary minimum needed for effective crop protection.

Surveys conducted within the Reference Farms Network system of the Julius Kühn-Institut (JKI) and the German states revealed two interesting findings. The intensity of chemical pesticide use under the current conditions (market, crop rotation, variety, quality requirements, etc.) is already close to the necessary minimum and to open up remaining reduction potential will require an enormous investment of time and effort by consultants and extension services.

In long-term studies over multiple crop rotations, the JKI demonstrated that situation-dependent pesticide treatment plays an important role in achieving high nitrogen efficiency in plant production. In arable crops, the net energy output in IPM systems was approximately 40% higher than that of organic pest management systems, but the difference was much smaller under certain site-specific conditions, e.g. in the case of rye. These data indicate that organic farming has a less favourable energy intensity profile but a more favourable output-input ratio. Any significant increase in organic farming will inevitably lead to a significant decrease in the average yield per unit area of important major crops.

To characterize the environmental risk of chemical pest control the risk assessment model SYNOPS has been

developed by the JKI. According to SYNOPS, the environmental risk potential of chemical pest control has decreased steadily over the last 20 years. Conversely, the applied volume of active ingredients per unit area of farming land has increased slightly in all spheres of activity in the last 10 years. This shows that risk reduction has nothing to do with volume reduction.

In agricultural practice, residual risks (hot spots) can remain even though risk reduction has been achieved. These hot spots must be identified and evaluated in order to implement specific amelioration measures which, in some cases, must be adapted to the specific regional conditions. Close cooperation between researchers, authorities and farmers is needed to focus attention on achieving an even better balance between high production levels and environmental compatibility.

Experience in the field of „minor uses“ has shown that the availability of a wide range of active ingredients is essential for securing the future of „minor crops“ such as fruits and vegetables, herbs and spices, and hops and grapes. Put in cautiously optimistic terms, the new EU plant protection package can provide such opportunities and can serve to counteract distortion of competition within the European Union.

Although there are still many open scientific questions, climate change will likely lead to an increase in pest pressure and to the invasion of new pest species. For this reason also, a significant reduction of the intensity of chemical pest control can hardly be expected, that is, unless breakthroughs are made in breeding and, perhaps, also in the acceptance of green gene technology.

Key words: Plant protection management, strategy, efficiency scores, pesticide risk indicator SYNOPS, status quo of chemical plant protection, reference farms network in agriculture and horticulture

Hintergrund und politischer Rahmen

Die derzeitigen und zukünftigen Pflanzenschutzstrategien sind nicht losgelöst von den globalen gesellschaftlichen Herausforderungen an die gesamte Landwirtschaft im Allgemeinen und dem, vor allem durch die Europäische Union gesetzten politischen Rahmen im Besonderen zu sehen und zu entwickeln. Erschwert wird dabei ein objektiver gesellschaftlicher Diskurs durch die negative Besetzung des Begriffes „Pestizid“. Dabei stellen chemische Pflanzenschutzmittel nach wie vor ein wesentliches Mittel zur Gesunderhaltung von Kulturpflanzen dar.

Weltweit wird der Verlust durch Schadorganismen immer noch auf 42% geschätzt und die durch Pflanzenschutz vermiedenen Verluste auf 28% (BMF, 2008). Dauerversuche des JKI in Dahnsdorf (Brandenburg), Freising (Bayern) und Oldenburg (Niedersachsen) ergaben bei Getreide, je nach Standort, Bodenbearbeitung, Art und Sorte, Ertragsverluste durch Schadorganismen von 20–75%; bei Kartoffeln von 25% und bei Mais von 10–30% (JKI, 2012). Allein die Wirkung der Fungizide machen nach

VON WITZKE und NOLEPPA (2011) bei Getreide in Deutschland 8–14% Ertragsicherung aus.

Vor den globalen Herausforderungen an die Landwirtschaft (vergleiche Tab. 1), insbesondere der Zwang zu einem höheren Output pro Hektar und der durch die Klimaänderung zu erwartende höhere Befallsdruck an Schadorganismen bleibt der Pflanzenschutz essenzieller Bestandteil der Pflanzenproduktion, um Kulturpflanzen vor Schadorganismen zu schützen und Quantität und Qualität der Produkte zu sichern.

Ende 2009 ist das sogenannte Pflanzenschutzpaket der EU in Kraft getreten. Dazu gehören unter anderem die Verordnung zum Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (EG) 1107/2009 und die Richtlinie für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden 2009/128/EG. Vor allem letztere gibt den Rahmen für Pflanzenschutzstrategien vor. Sie fordert von den Mitgliedsstaaten geeignete Maßnahmen zu treffen, um einen Pflanzenschutz mit niedrigem Pestizideinsatz zu fördern und definiert, dass landwirtschaftliche Verfahren mit niedrigem Pestizideinsatz den sogenannten „integrierten Pflanzenschutz“ sowie den Ökologischen Landbau (nach (EG) 834/2007) einschließen.

Die zwei Grundstrategien des Pflanzenschutzes

Der integrierte Pflanzenschutz (IPS) und der Pflanzenschutz im Ökolandbau bilden nach der genannten Richtlinie für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden ab dem 1. Januar 2014 die beiden verbindlichen Grundstrategien des Pflanzenschutzmanagements in allen Bereichen der Agrarproduktion Deutschlands, wobei dieses Management natürlicherweise Teil einer gesamten Anbaustrategie, also des integrierten Anbaus bzw. des Ökologischen Landbaus, ist.

Im Folgenden sind die in der Rahmenrichtlinie vorgegebenen allgemeinen Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes aufgeführt.

1. Vorbeugende Maßnahmen ergreifen (Fruchtfolge, Aussaat, Bodenbearbeitung, Sorten, Saatgut, Düngung, Hygiene, natürliche Regulation und ökologische Infrastrukturen)
2. Befallsermittlung durchführen
3. Schwellenwerte und andere Entscheidungshilfen nutzen
4. Nichtchemische Maßnahmen bevorzugen
5. Chemische Pflanzenschutzmittel (PSM) so spezifisch wie möglich und mit geringsten Nebenwirkungen einsetzen
6. Notwendiges Maß der chemischen Maßnahmen einhalten
7. Resistenzmanagement durchführen
8. Pflanzenschutzmittel-Anwendungen aufzeichnen und Erfolg überprüfen

Vergleicht man diese Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes mit der Strategie des Pflanzenschutzes im Ökolandbau, so stellt man Übereinstimmung in vielen Elementen fest. Theoretisch besteht der Unterschied nur noch darin, dass der Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau auf den Einsatz chemisch-synthetischer Mittel verzichtet und an ihrer Stelle nur Präparate natürlichen Ursprungs, wie z.B. Kupferspritzmittel verwenden darf. Bei Befolgung der reinen Lehre des integrierten Pflanzenschutzes entsteht eine gewisse Konvergenz beider Strategien.

Da im Ökologischen Anbau außerdem auf mineralische Düngemittel verzichtet werden muss, entstehen aber hier gezwungenen Maßes ganz andere Anbausysteme und Fruchtfolgen. Der Verzicht auf die Betriebsmittel synthetische PSM und Mineraldünger führt in der Konsequenz zu teilweise erheblich geringeren Erträgen pro Fläche, die durch höhere Erzeugerpreise ausgeglichen werden.

Während jedoch der Ökolandbau aufgrund der sehr eingeschränkten chemischen Palette auf „Gedeih und Verderben“ auf die, einen Befall vorbeugenden und die nichtchemischen Maßnahmen zur Schadensabwehr angewiesen ist, setzt sich der integrierte Pflanzenschutz im konventionellen Anbau nicht im Selbstlauf durch. Die

Tab. 1. Globale Herausforderungen an die Landwirtschaft (modifiziert nach RICKARD, 2010)

Fakten	Folgen und Herausforderungen
Weiterer Anstieg der Weltbevölkerung	Steigerung der Agrarrohstoffproduktion notwendig → Probleme der Ernährung vor allen in Entwicklungsländern durch Armut
Steigende Energiepreise	Erhöhte Kosten für Agrarproduktion und Flächenkonkurrenz Nahrungsrohstoffe vs. Energiepflanzen
Begrenzter Zuwachs an Landwirtschaftsfläche	Zwang zu höheren Output pro Hektar
Zunehmende Wasserknappheit	Ungleiche räumliche Verteilung der Produktion → Steigerung des Agrarhandels
Klimaänderung	Unsichere Ernten, höherer Befallsdruck und Einwanderung neuer Schaderregern
Urbanisierung	Wachsende urbane Bevölkerung wird abhängig von sinkendem Anteil an Landbevölkerung, veränderte Nahrungsansprüche

Mitgliedsstaaten werden deshalb in der Rahmenrichtlinie aufgefordert, geeignete Anreize für die freiwillige Anwendung von kultur- oder sektorspezifischen Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes zu schaffen, die über die allgemeinen Prinzipien mit konkreten Festlegungen hinausgehen. Das Potenzial des integrierten Pflanzenschutzes für die gewünschte Reduktion des Einsatzes von Pestiziden wird also sehr von der freiwilligen Annahme dieser Leitlinien und den geforderten Anreizen sowie den ökonomischen Bedingungen des Marktes abhängen.

Die Tab. 2 soll die Chancen einiger Reduktionspotenziale verdeutlichen.

Status quo des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel

Die Inlandsabgabe an Pflanzenschutzmittelwirkstoffen seit 1987 liegt in Deutschland zwischen 25 000 und

35 000 Tonnen, oder auf die landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen zwischen 3,08 kg/ha (1988) und 1,49 kg/ha (1993).

Der starke Einbruch (Abb. 1) zwischen 1987 und 1994 hat verschiedene Gründe. Es erfolgte 1987 eine Novellierung des Pflanzenschutzgesetzes bei der der Schutz des Naturhaushaltes umfassend aufgenommen wurde. Damit verbunden, wurden Mittel mit hohen Wirkstoffaufwänden von mehreren Kilogramm vom Markt genommen und durch innovative, mit wesentlich geringerem Wirkstoffaufwand, ersetzt. Infolge der deutschen Wiedervereinigung mussten im Rahmen einer Übergangsregelung die in der DDR verfügbaren Wirkstoffe, die ein höheres Risikopotenzial besaßen, befristet aufgebraucht werden. Damit erklärt sich zumindest teilweise der Einbruch der Inlandsabgabe Anfang der neunziger Jahre. Im Folgenden soll die Entwicklung in der letzten Dekade etwas genauer analysiert werden. Basis der Analyse bilden die dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit

Tab. 2. Reduktionspotenziale einiger Elemente des integrierten Pflanzenschutzes (Quelle: eigene Einschätzung)

Elemente des IPS	Reduktionspotenzial	Hindernisse, Förderung, Herausforderungen
Fruchtfolge	gering bis mittel	stark durch Markt bestimmt, Auflockerung durch finanzielle Anreize zu erreichen, Effekt vom Wirt-Parasit- Komplex abhängig
Sorten	mittel bis hoch	große Herausforderung an Züchtung, Akzeptanzproblem der grünen Gentechnik
natürliche Regulation und ökologische Infrastrukturen	gering bis mittel	Verbesserung der ökologischen Infrastruktur wesentlich nur über finanzielle Förderung erreichbar oder über cross-compliance
Nichtchemische Maßnahmen bevorzugen	mittel	Im Ackerbau wenig praktikable Methoden, bessere Chancen im Gartenbau auch Obst- und Weinbau, insbesondere bei unter Glas- Kulturen
Notwendiges Maß einhalten	gering bis mittel	hoher Beratungsbedarf, Vergleichsbetriebsnetz zeigt Einsparungspotenzial im Ackerbau von ca. 10%
Innovative Pflanzenschutztechnik	mittel	relativ hohe Kosten



Abb. 1. Trend der Inlandsabgabe von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in Deutschland seit 1987 (Quelle: BBA, BVL, DESTATIS).

(BVL) gemäß Pflanzenschutzgesetz übermittelten Angaben der Hersteller und Vertreiber von Pflanzenschutzmitteln. Um eine differenzierte Interpretation zu ermöglichen, werden die Wirkungsbereiche Herbizide, Fungizide und Insektizide einschließlich Akarizide getrennt betrachtet.

Herbizide

(a) **Trend.** Auf die Herbizide fallen ca. 40–45% der jährlich abgesetzten gesamten Wirkstoffmenge.

Es ist über den gesamten Zeitraum betrachtet ein sehr leichter Trend der Zunahme zu verzeichnen (jährlicher linearer Anstieg: 1% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,139$), wobei die ersten 5 Jahre unter den Absatzwerten von 2000 liegen und der Anstieg hauptsächlich auf die Jahre 2006 bis 2008 zurückzuführen ist. Eine wesentliche Ursache hierfür ist die starke Zunahme des Absatzes von Glyphosat (jährlicher linearer Anstieg: 9,5% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,480$) in diesen Jahren, der z.B. 2008 41% der Gesamtmenge der Herbizide ausmachte (Abb. 2).

(b) **mögliche Ursachen.** (1) Im Laufe der letzten 10 Jahre kam es zu einer starken Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung im Ackerbau. Regional unterschiedlich werden mittlerweile 30 bis 40% der meisten Ackerkulturen nicht mehr gepflügt. Das führt zu einem Mehrbedarf an Totalherbiziden wie Glyphosat. Aus dem Vergleichsnetz des JKI und der Länder (FREIER et al., 2011) sowie aus verschiedenen Langzeitversuchen lässt sich eine Erhöhung des Herbizid-Behandlungsindex gegenüber dem Anbau mit Pflug von 0,2 bis 0,5 ableiten. Damit ist diese Zunahme der nicht wendenden Bodenbearbeitung eine wesentliche Triebkraft für den steigenden Bedarf an Herbiziden (Glyphosat). Theoretisch ergibt sich daraus eine zusätzliche Behandlungsfläche von mindestens 600 000 ha.

(2) Seit 2000 kam es zu einer Wiederinbetriebnahme von Bracheflächen (teilweise durch Anbau nachwachsender Rohstoffe) von ca. 600 000 ha und zu einem Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland von ca. 300 000 ha. Allein von 2007 auf 2008 wurden rund 340 000 ha Brache

wieder in Betrieb genommen und 86 000 ha Grünland umgebrochen, was gut mit dem sprunghaften Mehrbedarf an Glyphosat korrespondiert, ihn aber nicht vollständig erklärt. Bemerkenswert ist der Absatzeinbruch von Glyphosat im Folgejahr. Das legt die Vermutung nahe, dass Lagerbestände aufgebraucht wurden. Insgesamt gesehen führt der Flächenzuwachs zu einem höheren Bedarf an Pflanzenschutzmitteln und darüber hinaus in den ersten Jahren zu einem über dem Durchschnitt liegenden Mehrbedarf an Herbiziden. Wobei allerdings zu beachten ist, dass der theoretische Flächenzuwachs von 900 000 ha sich laut Statistik nur in einem Zuwachs der Ackerfläche von rund 140 000 ha im betrachteten Zeitraum niederschlägt. Was auch ein Hinweis auf den wachsenden Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche durch Umwidmung z.B. zu Verkehrs- und Siedlungsflächen ist (Abb. 3).

(3) Im betrachteten Zeitraum kam es zu einer Erhöhung der Anbauflächen von Winterweizen um rund 300 000 ha, von Mais um rund 800 000 ha und von Raps um rund 400 000 ha. Abgenommen haben dagegen die Flächen von Winterroggen, Sommergetreide, Zuckerrüben und Kartoffeln. Unterstellt man die in den NAP-Vergleichsnetz und in den NEPTUN-Erhebungen ermittelten Behandlungsindizes der Kulturen für deren gesamte deutsche Anbaufläche, so erhöht sich der durchschnittliche Behandlungsindex durch die Verschiebung der Kulturanteile für Herbizide von 1,82 (2000) auf 1,85 (2010), was einer Zunahme der Herbizidbehandlungsfläche um rund 300 000 ha entspricht.

(4) Schließlich werden in den letzten Jahren zur Ernteerleichterung zunehmend auch in Getreide und Raps Sikkationen durchgeführt, was zu einem Mehrbedarf der zu den Herbiziden zählenden Sikkationsmittel führt. Außerdem wird anstelle von mechanischer Stoppelbearbeitung zunehmend Glyphosat für die Beseitigung des Unkrautwuchses eingesetzt.

Fungizide

(a) **Trend.** Auf die Fungizide fallen ca. 25% der jährlich abgesetzten gesamten Wirkstoffmenge.

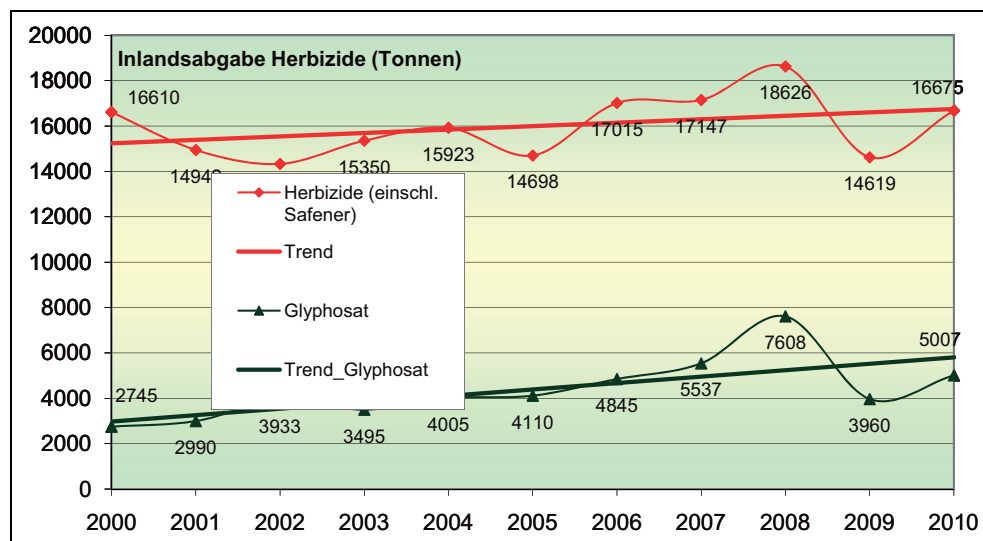


Abb. 2. Inlandsabgabe von Herbiziden einschließlich Glyphosat zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: BBA, BVL).

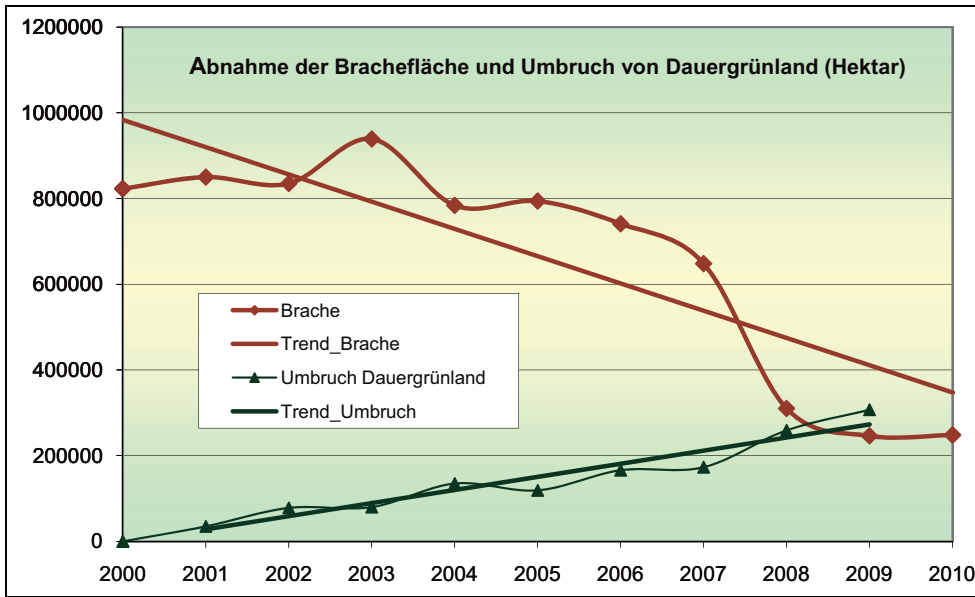


Abb. 3. Wiederinbetriebnahme der Brachefläche und Grünlandumbruch zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: DESTATIS).

Es ist über den gesamten Zeitraum betrachtet ein leichter Trend der Zunahme zu verzeichnen (jährlicher linearer Anstieg: 2,3% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,432$) mit zwei deutlichen Einbrüchen in den Jahren 2001 und 2004 sowie einem Maximum in 2008. Seit 2008 geht der Verkauf wieder zurück. Die beiden Absatzeinbrüche werden im Wesentlichen auf die anorganischen Fungizide (Kupferpräparate und Schwefel) zurückgeführt. Sie erklären theoretisch 2001 75% und 2004 sogar 98% des Einbruchs der Verkaufszahlen (Abb. 4).

(b) mögliche Ursachen. (1) Die Entwicklung pilzlicher Schadorganismen wird sehr stark von Wetterfaktoren getrieben. Im Allgemeinen fördert feuchte und mäßig warme Witterung deren Entwicklung und Befallsstärke während trockene und heiße Perioden sie hemmen. Demzufolge schwankt das notwendige Maß der Anwendung

von Fungiziden zwischen unterschiedlichen Witterungsjahren. So ist der Einbruch des Absatzes 2004 möglicherweise auf das extrem warme und trockene Jahr 2003 zurückzuführen, der wahrscheinlich zu hohen Lagerbeständen z.B. an anorganischen Fungiziden bei den Landwirten führte, die 2004 erst einmal aufgebraucht wurden. Somit ließe sich der zeitversetzte Einbruch erklären.

(2) In den letzten Jahren kam es zu einer verstärkten Anwendung von Triazolen in Raps zur Erhöhung der Stand- und Winterfestigkeit. Verbunden mit der bereits oben beschriebenen Ausweitung der Anbaufläche von Raps führt das zu einem Mehrbedarf an Azolen. Ihr Absatz hat im betrachteten Zeitraum einen jährlichen linearen Anstieg von 4,1% des Wertes aus 2000 mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,493$. Charakteristisch für das Trendbild ist der direkte Absatzeinbruch im extrem sommertrockenen Jahr 2003 (Abb. 5).

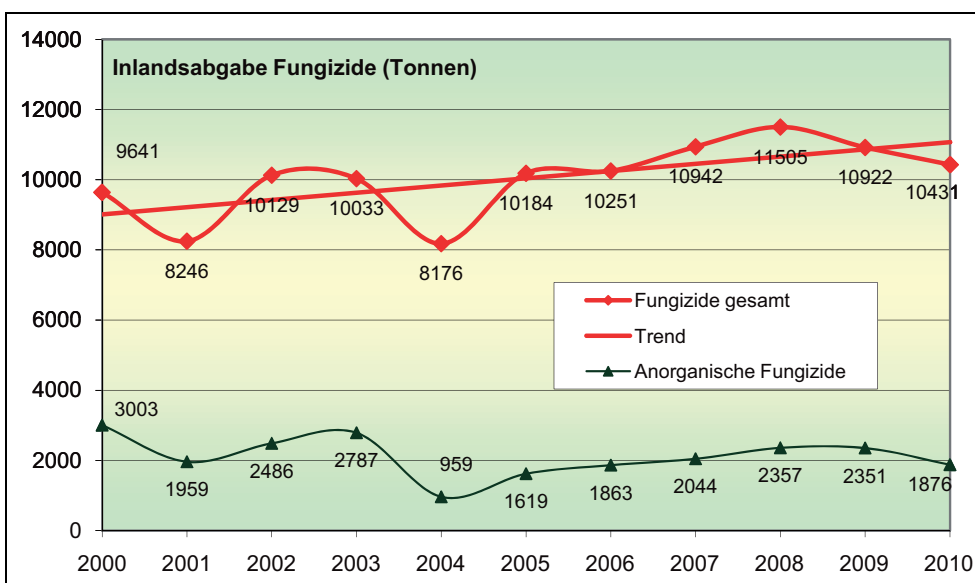


Abb. 4. Inlandsabgabe von Fungiziden einschließlich anorganischen Fungiziden zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: BBA, BVL, JKI).

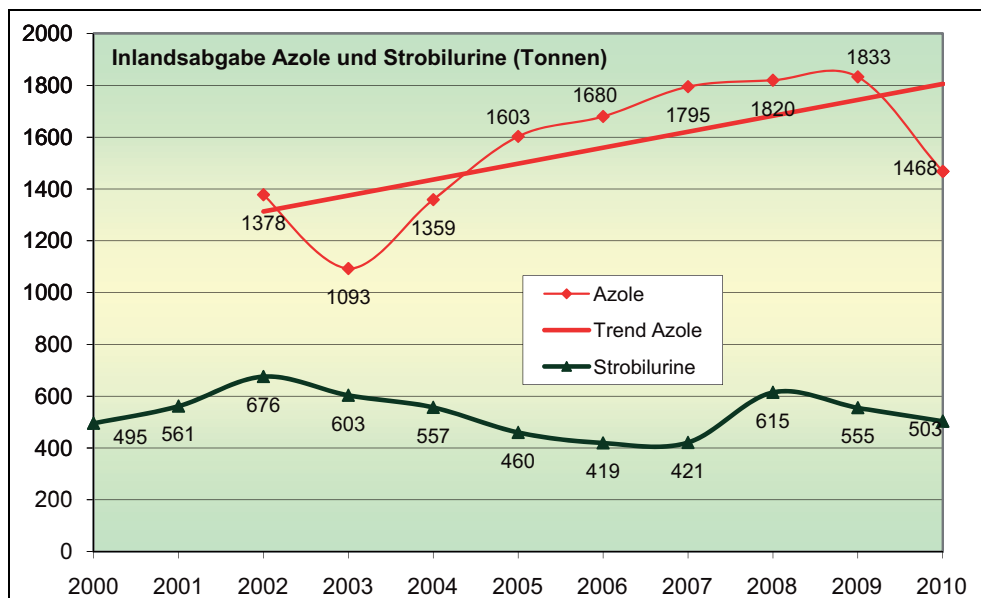


Abb. 5. Inlandsabgabe von Azolen und Strobilurinen zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: BBA, BVL, JKI).

(3) Im betrachteten Zeitraum kam es zur Herausbildung von Resistenzen gegenüber Strobilurinen, so dass empfohlen wurde, diese Anwendungen durch andere Fungizide zu ersetzen. Diese haben gegenüber den im Bereich von 200–250 g/ha liegenden Aufwandmengen der Strobilurine oft höhere Aufwandmengen, was zu einer höheren Menge an Fungiziden bei gleichem Behandlungsumfang führt.

Insektizide (einschließlich Akarizide) ohne inerte Gase
(a) **Trend.** Die Insektizide machen ca. 25% der Inlandsabgabe an Pflanzenschutzmittelwirkstoffen aus.

Den Insektiziden sind auch die inerten Gase Kohlendioxid und Stickstoff zugeordnet, die im Vorratsschutz eingesetzt werden. Sie allein haben einen Anteil von ca. 90% an der gesamten Insektizidmenge und damit einen Anteil von ca. 22% an der in Deutschland verkauften gesamten Wirkstoffmenge. Sie werden im Folgenden nicht betrachtet. Bei den verbleibenden Insektiziden, die einen Anteil

von nur ca. 3% an der Gesamtwirkstoffmenge haben, ist im betrachteten Zeitraum ein leichter Trend der Zunahme (jährlicher linearer Anstieg: 2,9% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,335$) zu verzeichnen. Dabei fallen zwei Ausschläge nach oben in den Jahre 2004 und 2007 auf. Gleichzeitig ist der Absatz der Organophosphate, die 2000 etwa die Hälfte der Insektizide ausmachten, im Betrachtungszeitraum zurück gegangen (jährliche lineare Verminderung: 3,9% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,385$) (Abb. 6).

Dahingegen kam es zu einem nahezu linearen Anstieg bei den Pyrethroiden (jährlicher linearer Anstieg: 9,3% des Wertes von 2000; Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,689$). Ebenso stieg der Inlandabsatz der Carbamate um jährlich 6,4% des Wertes von 2000 mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,324.

Weniger linear, dafür mit einem deutlichen Sprung von + 163 t in 2007 stieg der Absatz der Neonicotinoide. Insgesamt gesehen, machte der Anstieg dieser drei genann-

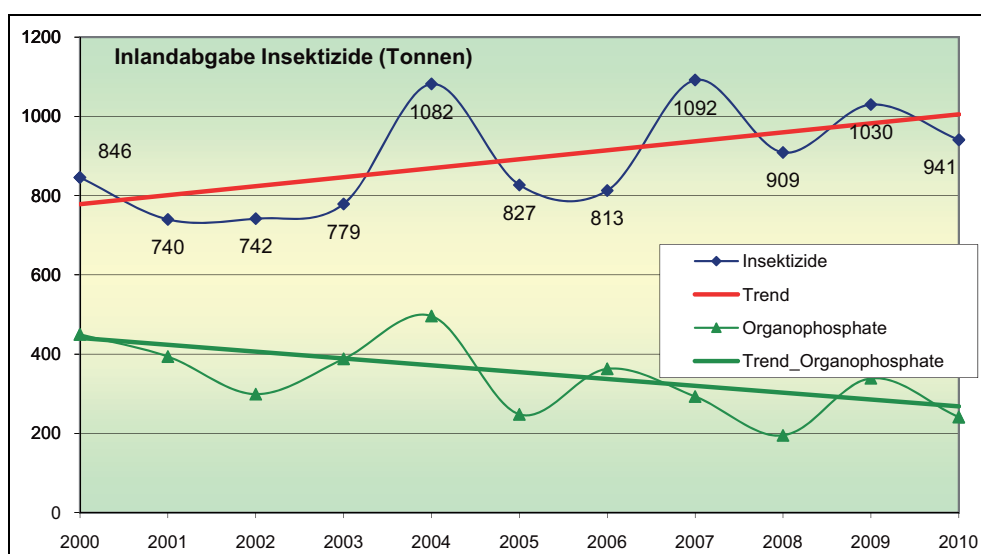


Abb. 6. Inlandsabgabe von Insektiziden einschließlich Organophosphaten zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: BBA, BVL, JKI).

ten Klassen die Verminderung bei den Organophosphaten mehr als wett. Vor allem der Sprung bei den Neonicotinoiden führte zu dem insgesamt leichten Anstieg der Insektizide im betrachteten Zeitraum (Abb. 7).

(b) mögliche Ursachen. (1) Auch die Entwicklung von Insektenpopulationen ist von Wetterschwankungen abhängig, wengleich vielleicht nicht so stark wie die von Pflanzenkrankheiten. Im Gegensatz zu letzteren sind für Insekten vor allem warme und trockene Perioden förderlich. So ist der Sprung im Jahr 2007 möglicherweise auf den warmen Sommer (zweithöchste Durchschnittstemperatur im betrachteten Zeitraum) und Herbst (höchste Durchschnittstemperatur im betrachteten Zeitraum) 2006 und den darauf folgenden milden Winter (höchste Durchschnittstemperatur im betrachteten Zeitraum) und das milde Frühjahr (höchste Durchschnittstemperatur im betrachteten Zeitraum) 2007 zurück zu führen.

(2) Im betrachteten Zeitraum kam es, wie bereits oben ausgeführt, u.a. zu einer Zunahme der Winterweizen- und Rapsflächen. Die Veränderung des Kulturartenspektrums führte bereits ohne Betrachtung der Beizung zu einer Erhöhung des durchschnittlichen Behandlungsindex der Ackerfläche für Insektizide von 0,87 auf 0,92. Hinzu kommt noch der Mehrbedarf für die Sattgutbeizung. So werden z.B. die Neonicotinoide auch in starkem Maße als Beizmittel eingesetzt.

Einhaltung des notwendigen Maßes bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel

Das notwendige Maß bei der Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln (PSM) beschreibt die Intensität der Anwendung von PSM, die notwendig ist, um den Anbau der Kulturpflanzen, besonders vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit, zu sichern. Dabei wird vorausgesetzt, dass alle anderen praktikablen Möglichkeiten

zur Abwehr und Bekämpfung von Schadorganismen ausgeschöpft und die Belange des Verbraucher- und Umweltschutzes sowie des Anwenderschutzes ausreichend berücksichtigt werden (BMELV, 2008). Um die Frage zu beantworten, inwieweit die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes dem notwendigen Maß entspricht, wurde 2007 mit dem Aufbau eines Vergleichsbetriebsnetzes in Deutschland begonnen. Es ist ein gemeinsames Projekt von BMELV, JKI und den Pflanzenschutzdiensten der Länder, in dem durch Fachexperten vor Ort vor allem die Notwendigkeit der durch den Landwirt ergriffenen Maßnahmen eingeschätzt wird. Und zwar unter Hinzuziehung aller Informationen, die zum Zeitpunkt der Entscheidung verfügbar waren. Mittlerweile sind 86 über Deutschland verteilte Ackerbau-, 16 Gemüsebau-, 20 Obstbau-, 9 Wein- und 3 Hopfenbaubetriebe Bestandteil des Netzes (FREIER et al., 2011).

Als Maß für die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes wurde in Deutschland 1999 der sogenannte normierte Behandlungsindex eingeführt (ROSSBERG et al., 2002).

Der Behandlungsindex stellt die Anzahl von PSM-Anwendungen auf einer betrieblichen Fläche, in einer Kultur oder in einem Betrieb unter Berücksichtigung von reduzierten Aufwandmengen und Teilflächenbehandlungen dar, wobei bei Tankmischungen jedes PSM gesondert zählt.

Bei der Berechnung des Behandlungsindex ist zu beachten, dass die Anwendung eines Pflanzenschutzmittels in der höchsten für das betreffende Anwendungsgebiet (Zielorganismus an der Kultur) zugelassenen Aufwandmenge mit 1,0 bewertet wird. Erfolgt eine Reduzierung der Aufwandmenge z.B. um die Hälfte, verringert sich der Behandlungsindex auf 0,5. Erfolgt diese Applikation weiterhin nur auf einem Teil der betrachteten Fläche, z.B. 70%, verringert sich der Behandlungsindex weiterhin auf 0,7 so dass als Ergebnis für dieses Pflanzenschutzmittel

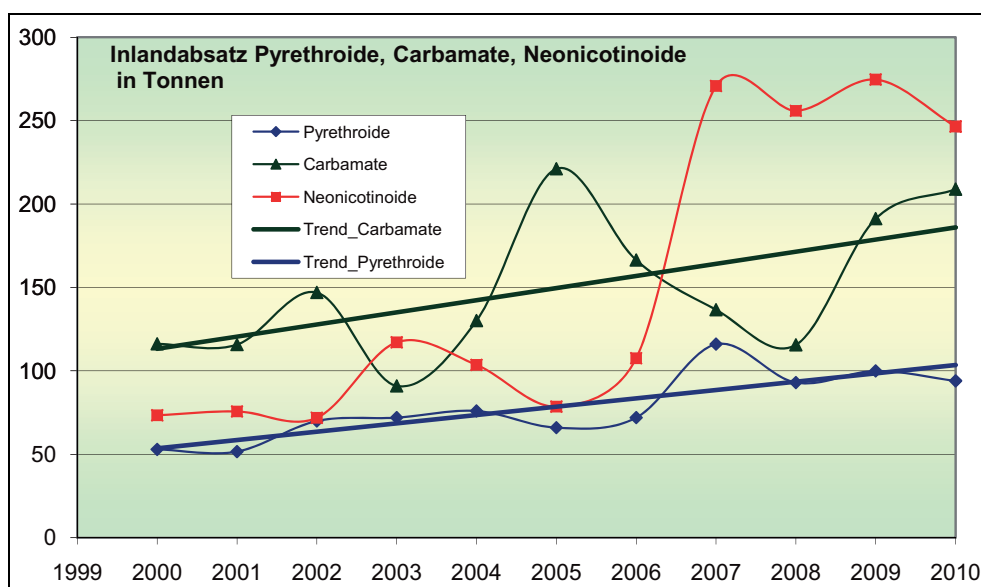


Abb. 7. Inlandsabgabe von Pyrethroiden, Carbamaten und Neonicotinoiden zwischen 2000 und 2010 in Deutschland (Quelle: BBA, BVL, JKI).

ein Index von $0,5 * 0,7 = 0,35$ entsteht. Entsprechend der Anzahl der Pflanzenschutzmittel-Anwendungen auf der betrachteten betrieblichen Fläche im Anbaujahr werden diese Werte addiert und stellen dann die Pflanzenschutzintensität für diese Fläche dar. Mittelt man diese Indices für eine gewählte Einheit (z.B. Deutschland, Erhebungsregion, Betrieb), lässt sich bei entsprechend hohen Stichprobenzahlen ein repräsentativer Behandlungsindex für diese Einheit berechnen.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine klare jährliche Schwankung der Behandlungsindizes (Tab. 3). Das deutet auf situationsbezogene Entscheidungen zum Einsatz chemischer Mittel hin. Auch wird die zugelassene Aufwandmenge in vielen Fällen zum Teil deutlich unterschritten. Schließlich zeigt die Einschätzung der Bekämpfungsnötigkeit durch die Pflanzenschutzexperten, dass bei den Ackerfrüchten und dem Freilandgemüse 10–15% der Maßnahmen über dem notwendigen Maß lagen, während im Obst-, Wein- und Hopfenbau ein geringeres Reduktionspotenzial erschlossen werden kann. Voraussetzung dafür ist aber eine intensive Beratung der Landwirte, die bei der angespannten Personalsituation der Officialberatung zurzeit nicht flächendeckend geleistet werden kann. Eine ausführliche Analyse der Ergebnisse 2007 bis 2010 ist in FREIER et al. (2011) zu finden (Tab. 4, Tab. 5).

Betrachtungen zur Effizienz von Pflanzenschutzstrategien

Seit 1995 wird auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf (Brandenburg) des JKI ein Dauerfeldversuch zum Vergleich umweltschonender Strategien des Pflanzenschutzes durchgeführt, der sich jetzt in der dritten Fruchtfolgerotation befindet. Eine umfassende Darstellung der bisher erreichten Ergebnisse ist im Journal für Kulturpflanzen **62** Heft 7 und Heft 9, 2010 zu finden.

Im Vergleich befinden sich eine getreidebaubetonte (BS1) und eine futterbaubetonte (BS2) Fruchtfolge des integrierten Landbaus sowie ein Fruchtfolge (BS3) des Ökolandbaus.

Standort Dahnsdorf 88 m über NN:
lemiger Sandboden, Bodenwertzahl 48 (stark heterogen zwischen 30 und 55);
von 1997–2009 Jahresdurchschnittstemperatur $9,5^{\circ}\text{C}$ (8,6–10,2), Jahresniederschlag 587 mm (392–787)
der Standort repräsentiert ca. ein Drittel der Ackerfläche der neuen Bundesländer

BS1: Winterraps – Winterweizen1 – Winterroggen – Brache (bis 2001)/Erbsen – Winterweizen2 – Wintergerste.

BS 2: Winterraps – Wintergerste – Luzerne/Klee/Gras – Winterroggen – Mais – Winterweizen.

Tab. 3. Behandlungsindizes von Winterweizen, Wintergerste und Winterraps 2007–2010 auf der Basis des Vergleichsbetriebsnetzes

Behandlungsindex Wirkungsbereich	Winterweizen				Wintergerste				Winterraps			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Herbizide	1,9	2,0	1,8	1,8	1,5	1,7	1,6	1,7	1,6	1,8	1,7	1,6
Fungizide	1,9	2,2	2,0	1,9	1,1	1,3	1,3	1,3	0,5*	0,8*	0,9*	0,9*
Insektizide	1,2	1,2	1,0	0,8	0,9	0,7	0,3	0,3	2,3	2,3	2,8	2,8
Wachstumsregler	0,8	1,1	0,9	0,9	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0**	1,1**	1,1**	1,0**
Gesamt	5,7	6,2	5,8	5,4	4,1	4,6	4,0	4,0	5,4	5,8	6,4	6,4

* Fungizide während der Blüte ** Wachstumsregler + Fungizide bis zur Blüte

Tab. 4. Durchschnittlich Ausschöpfung der zugelassenen Aufwandmenge im Zeitraum 2007–2010 auf der Basis des Vergleichsbetriebsnetzes

Ausnutzung der Aufwandmenge	Ackerfrüchte ²	Tafeläpfel	Gemüse ³	Wein	Hopfen
Herbizide	69%	74%	64%	36%	40%
Fungizide	65%	89%	96%	86%	85%
Insektizide ¹	93%	68%	98%	94%	99%
Akarizide	–	91%	–	80%	93%
Wachstumsregler	47%	61%	–	98%	–

¹ ohne Pheromone, ² Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, ³ Frischkohl, Bundmöhren, Spargel, Zwiebeln

Tab. 5. Reduktionspotenzial des chemischen Pflanzenschutzes, ermittelt aus dem Vergleichsbetriebsnetz

Reduktionspotenzial	2007	2008	2009	2010
Winterweizen	11,3%	14,2%	10,2%	10,8%
Wintergerste	5,2%	15,1%	14,0%	9,4%
Winterraps	12,3%	18,2%	12,6%	10,7%
Freilandgemüse	16,6%	10,2%	13,3%	12,7%
Tafeläpfel	5,5%	5,4%	8,3%	14,7%
Wein	0,5%	4,5%	1,7%	12,5%
Hopfen	0,0%	3,4%	1,2%	17,5%

BS 3: Luzerne/Klee/Gras – Luzerne/Klee/Gras (ab 2004 Winterraps) – Winterweizen – Kartoffeln – Winterroggen – Wintergerste (ab 2002 Sommergerste).

Bei den beiden Fruchtfolgen des integrierten Landbaus werden zusätzlich als Faktor A das Reduktionspotenzial des chemischen Pflanzenschutzes in 2 Stufen (situationsbezogener Einsatz – 50% vom situationsbezogenen Einsatz) und als Faktor B der Effekt der unterschiedlichen Wirkungsbereiche in 4 Stufen (unbehandelt – nur Herbizide – nur Fungizide/Insektizide – alle) geprüft. Erst in der zweiten Rotation (2002–2007) haben sich vor allem hinsichtlich der Verunkrautung deutliche Unterschiede zwischen den Varianten herausgebildet.

Beispielhaft für die Ergebnisse soll zunächst die Stickstoffbilanz der Varianten in den beiden Fruchtfolgen des integrierten Landbaus dargestellt werden. In der Tab. 6 ist der Stickstoffentzug der vier Hauptfrüchte als Mittelwert der 2. Rotation angegeben (PALLUTT und JAHN, 2009). Die Mittelwerte des Stickstoffentzuges aus 2002–2007 (2. Rotation) zeigen klar die Effizienz steigernde Wirkung des Einsatzes der Pflanzenschutzmittel. Das gewogene Mittel über die vier Kulturen fasst die Fakten in der vorletzten Zeile zusammen. Bilanziert man den Entzug mit dem gewogenen Mittel der eingebrachten Stickstoffmenge über die Düngung (115 kg N/ha) und den Lufteintrag (30 kg N/ha), so entsteht das in der letzten Zeile aufgeführte Stickstoff-Saldo.

Durch den Einsatz der Mittel kommt es also zur Steigerung der N-Ausnutzung. Das ist besonders vor dem Hin-

tergrund der Forderung nach besseren Stickstoffbilanzen wichtig. Außerdem wird dadurch die N₂O-Emission vermindert, was somit zur Senkung von Treibhausgas-Emission (CO₂-Äquivalent) im Produktionsprozess der Pflanzen beiträgt.

Unter Benützung der Energieäquivalente für Ernteprodukte und eingesetzte Güter (Diesel, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel, Maschinen, Transport), zusammengestellt von DEIKE et al. (2010) auf der Basis verschiedener Autoren, wurden außerdem alle drei Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Energiebilanz untersucht. Die Tab. 7 zeigt die erreichten Kennziffern in der zweiten Rotation.

Der Energieinput in der Fruchtfolge des Ökologischen Landbaus war um mehr als ein Drittel geringer als in den beiden Fruchtfolgen des integrierten Anbaus. Das ist vorrangig durch den Verzicht auf Mineraldünger im Ökolandbau zu erklären. Dahingegen war der Energiegewinn im integrierten Anbau deutlich signifikant höher, wobei im Winterweizen größere Unterschiede als im Winterroggen auftraten und letzterer damit unter den gegebenen Standortbedingung als gut geeignet für den Ökologischen Landbau angesehen werden kann.

Die Energieintensität ist von der Tendenz beim Ökolandbau ungünstiger, das Output/Input-Verhältnis dahingegen günstiger. HÜLSBERGEN et al. (2001) weisen deshalb auch auf die unterschiedlichen Aussagewerte der Indikatoren hin, die je nach Zielstellung zu bewerten sind.

Eindeutig ist jedoch, dass der signifikant höhere Nettoenergieoutput der Fruchtfolgen des integrierten Anbaus auf die wesentlich höheren Flächenerträge der Haupt-

Tab. 6. Mittlerer (2002–2007) Stickstoffentzug der Hauptfrüchte in beiden Fruchtfolgen des integrierten Landbaus am Versuchsstandort Dahnsdorf (nach PALLUTT und JAHN, 2009)

N-Entzug kg N/ha	unbehandelt	nur Herbizide	nur Fungizide und ggfls. Insektizide	alle Wirkbereiche
Winterraps	103	118	114	126
Winterweizen	77	122	87	130
Winterroggen	76	90	90	104
Wintergerste	59	102	79	117
gewogenes Mittel Entzug	78	111	91	121
Saldo kg N/ha	67	34	54	24

Tab. 7. Vergleich der Energiebilanz (Mittelwert 2002–2007) der Fruchtfolgen zwischen dem integrierten und dem ökologischen Landbau am Versuchsstandort Dahnsdorf (nach DEIKE et al., 2010)

Kriterien	Bewirtschaftung		Signifikanz
	integriert	ökologisch	
Energieinput (GJ/ha)	12,4	8,0	+
Nettoenergie-Output (GJ/ha)	187,1	103,9	+
Energieintensität (MJ/GE)	199,6	318,3	-
Output/Input-Verhältnis	17,4	20,7	-

früchte zurück zu führen ist. So waren im deutschlandweiten Vergleich z.B. die Flächenerträge von Ackerbaubetrieben im ökologischen Anbau bei Weizen in der letzten Pentade (2005–2010) um durchschnittlich 55% und die bei Kartoffeln um 45% niedriger als im konventionellen Anbau (BMELV, 2005–2011) (Abb. 8).

Bei einer Ausdehnung des Ökologischen Landbaus von derzeit 5,6% auf einen Anteil von 20% entstünde z.B. bei Winterweizen ein Rückgang des durchschnittlichen Flächenertrages (2005–2010) von derzeit 75 dt/ha auf 69 dt/ha. Bei einer durchschnittlichen Anbaufläche (2005–2010) von 3 116 500 ha Winterweizen in Deutschland käme das einem Minderoutput von 1 869 900 Tonnen gleich.

Entwicklung des Umwelt-Risikopotenzials der Pflanzenschutzmittel seit 1996

Im zurzeit geltenden deutschen „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ (BMELV, 2008) ist formuliert: „Es ist anzunehmen, dass

bis zum Jahre 2020 eine Reduktion der Risikopotenziale um weitere 25% erreicht werden kann. Als Basis für die Berechnung der Risiken werden die Mittelwerte der Berechnungen für die Jahre 1996 bis 2005 herangezogen“.

Doch was heißt überhaupt ein Risiko? Es gibt keine einhellige Definition des Begriffes „Risiko“. Allgemein kann man Risiko als das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines negativen Ereignisses und seinem Ausmaß, das unerwünscht ist oder sogar einen Schaden für ein Gut darstellt, definieren. Während der Schaden ein eingetretenes negatives Ereignis darstellt, ist das Risiko nur eine Wahrscheinlichkeit, dass es eintritt oder eben nicht. Risiko ist also nicht direkt messbar sondern allenfalls abschätzbar oder berechenbar, also auch immer mit einem gewissen Grad von Unsicherheit versehen.

Anzumerken ist, dass in der Konsequenz der obigen Definition zum Beispiel einer Handlung, bei der mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% ein Schaden von 1000 Euro entsteht, dasselbe quantitative Risiko zugemessen wird, wie einer Handlung, bei der mit nur 0,1% Wahrscheinlichkeit ein Schaden von aber 50 000 Euro entsteht.

Am Julius Kühn-Institut wurde bereits vor Jahren der Risikoindikator SYNOPSIS (Synoptischen Bewertung von Pflanzenschutzmitteln) entwickelt (GUTSCHE und ROSSBERG, 1997; GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007). Er ist ein Modell zur quantitativen Abschätzung des Risikopotenzials von Pflanzenschutzmaßnahmen für die Umwelt und berechnet, wie stark verschiedene Stellvertreterorganismen des Naturhaushaltes mit Pflanzenschutzmitteln unbeabsichtigt in Berührung kommen können (Exposition) und setzt diese Exposition ins Verhältnis zur im Labor unter Standardbedingungen ermittelten Giftigkeit der Mittel für eben diese Organismen (Toxizität). Es entsteht also für jede Maßnahme bzw. für jede Spritzfolge und für jeden Stellvertreterorganismus eine solche Verhältniszahl (SYNOPSIS-Risikoindex). Je größer sie sind, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit von unerwünschten Ereignissen in der Umwelt, also je größer ist das entsprechende Risiko. Im Kontext der obigen Definition des Risikobegriffs errechnet dabei SYNOPSIS, dass die Anwendung eines Pflanzen-

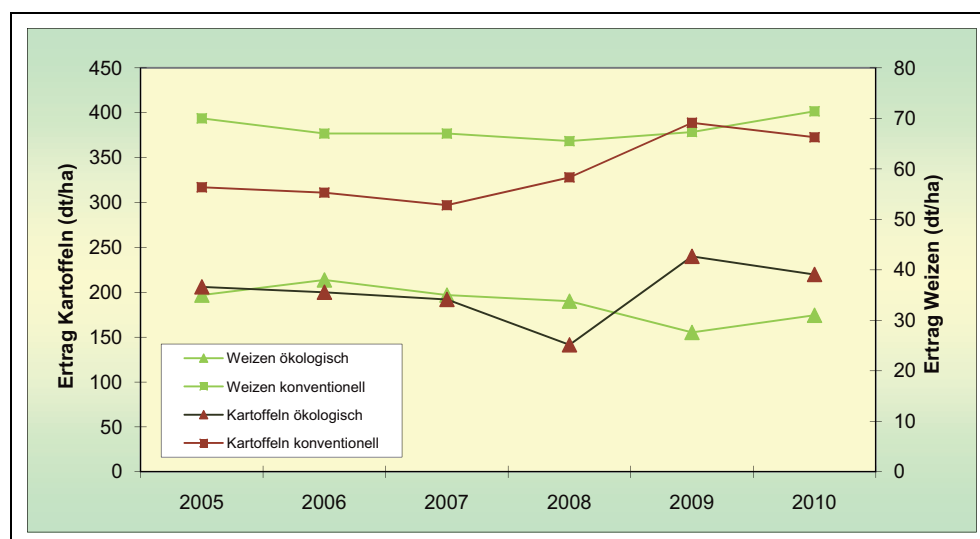


Abb. 8. Vergleich der Flächenerträge von Weizen und Kartoffeln im ökologischen und konventionellen Anbau 2005 bis 2010 (Quelle: Statistisches Bundesamt, BMELV 123).

schutzmittels mit einer Aufwandmenge von 500 g/ha dasselbe Risikopotenzial hat wie die Anwendung eines Mittels mit der hundertfachen Toxizität auf demselben Feld unter den gleichen Bedingungen, aber mit einer Aufwandmenge von nur 5 g/ha.

Das Berechnungsmodell SYNOPSIS wurde auf die seit 1996 im Inland abgesetzten Wirkstoffe angewendet. Um mit SYNOPSIS rechnen zu können, mussten zunächst für jeden Wirkstoff alle Anwendungen, die laut Zulassung für den Wirkstoff in dem betreffenden Jahr erlaubt sind, zusammengestellt werden. Eine Anwendung ist charakterisiert durch die Kultur, den Schadorganismus bzw. die Zweckbestimmung, den Anwendungszeitraum, die Aufwandmenge, die maximale Anzahl der Anwendungen und Auflagen zur Risikominimierung. Dann wurde mittels eines von GUTSCHE und ROSSBERG (OECD, 1999) entwickelten Verfahrens die Verkaufsmenge des Wirkstoffes auf diese Anwendungen aufgeteilt und die daraus mögliche Applikationsfläche für die einzelnen Anwendungen berechnet. Bei der hier vorgestellten Berechnung wurden bewusst keine Anwendungsaufgaben, wie z.B. Mindestabstände zu Oberflächengewässern, berücksichtigt, um das Risikopotenzial voll sichtbar zu machen.

Die Grafiken in Abb. 9 zeigen die ermittelten Trends der Risikopotenziale für Herbizide, Fungizide und Insektizide. Dabei wurden die für jedes Jahr errechneten Werte relativ zum Mittelwert des Basiszeitraumes 1996 bis 2005 dargestellt. Als Vergleich ist in den Grafiken auch die Entwicklung des Inlandabsatzes, ebenfalls relativ zum Mittelwert der Jahre 1996 bis 2005 angegeben (Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit).

In allen drei Wirkungsbereichen ist eine klare Abnahme der Risikopotenziale über den gesamten betrachteten Zeitraum zu verzeichnen, während der Inlandabsatz sich im Wesentlichen auf gleichem Niveau bewegt, teilweise sogar mit der Tendenz nach oben. Dabei ist der Abwärtstrend bei den Herbiziden am stabilsten. Sowohl für den aquatischen als auch den terrestrischen Bereich liegen die Risikokennziffern für 2010 bei ca. 55% des Basiswertes. Bei den Insektiziden sind die Indizes mittlerweile wesentlich geringer als am Anfang des Basiszeitraumes, aber im aquatischen Bereich kam es in den letzten drei Jahren wieder zu einem Anstieg, so dass sie jetzt 75% des Basiswertes erreicht. Am wenigsten haben die Risikopotenziale der Fungizide abgenommen.

Es wird also sichtbar, dass die Risiko-Kennziffern teilweise schwanken und erst die nächsten Jahre zeigen werden, ob das teilweise schon niedrige Niveau gehalten werden kann.

Mit dem Modell SYNOPSIS sind auch detaillierte Trendanalysen durch Einbeziehung der GIS-Technologie und unter Nutzung von NEPTUN-Erhebungsdaten zum praktischen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln möglich. So wurde z.B. der Trend des Restrisikos für Oberflächengewässer im Obstbau analysiert, wobei auf drei NEPTUN-Erhebungen aus den Jahren 2001, 2004 und 2007 zurückgegriffen werden konnte (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2010). Damit standen tatsächliche Anwendungsdaten (2001: 3003 Spritzfolgen 2004: 3959 Spritzfolgen und

2007: 3262 Spritzfolgen) zur Verfügung (ROSSBERG, 2003, 2006 und 2009). Unter Zuhilfenahme der im JKI vorhandenen umfangreichen Geo-Datenbasis wurden diese Anwendungsdaten auf alle 28 819 Obstflächen der relevanten Obstanbaugebiete verteilt. Aus der Geodatenbank konnten auch wesentliche Parameter, die für die SYNOPSIS-Berechnung wichtig sind, wie z.B. die Bodenart oder der tatsächliche Abstand der Anlage zum nächsten Oberflächengewässer entnommen werden. Auch wurden die Abstandsauflagen der Mittel zu Oberflächengewässern beachtet.

Es zeigt sich das Bild einer klaren Abnahme der Potenziale (siehe Abb. 10).

Dies gilt durchweg für alle Regionen. Es werden aber auch die deutlichen Unterschiede des Risikoniveaus zwischen den Regionen sichtbar. Hier kommt unter anderem die Tatsache zum Ausdruck, dass die Regionen sich in der Intensität der Nachbarschaft von Obstanlagen zu Oberflächengewässern unterscheiden. So hat z.B. die Region Niederelbe, zu der das „Alte Land“ gehört, die größte Gewässerdichte, in diesem Falle Gräben, in unmittelbarer Nachbarschaft zu Obstanlagen und damit höhere absolute Risikoindeizes. Aber auch in dieser Region ist eine klare Abnahme des Risikopotenzials über der Zeit zu erkennen.

Interessant ist der Vergleich mit der Entwicklung des Behandlungsindex, der ja die Anzahl der Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln unter der Beachtung von eventuell reduzierter Dosis und von Teilflächenbehandlungen zählt. Dieser ist zwischen 2001 und 2007 nahezu stabil geblieben mit einem leichten Trend nach oben. Das zeigt einmal mehr ganz deutlich, dass Behandlungshäufigkeit und damit indirekt die Menge der eingesetzten Pflanzenschutzmittel nichts mit dem damit verbundenen Risikopotenzial zu tun hat.

Hot-Spot Analysen des Restrisikos durch chemische Pflanzenschutzmittel für die Umwelt

Trotz der erreichten Fortschritte bei der Minimierung des Restrisikopotenzials der Pflanzenschutzmittel (PSM) bleiben bei der Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis bestimmte Bereiche mit erhöhtem Risiko, die es zu erkennen gilt, um einvernehmliche Strategien für deren Minderung, teilweise regionalspezifisch zu entwickeln.

Als ein Bereich wurde der punktuelle Eintrag von PSM in Oberflächengewässer, verursacht in der Regel durch unsachgemäße Reinigung der Pflanzenschutzgeräte, bereits identifiziert. (BLARR et al., 2009). Diese sogenannten Punkteinträge machen über 50% der gemessenen Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer aus (AGRARHEUTE.COM, 2011). Hier kann durch Beratung und Aufklärung der Landwirte entgegengewirkt werden. Die zukünftig gesetzlich vorgeschriebene Weiterbildungspflicht der Anwender ist hierfür sehr nützlich.

Aber auch das Risiko diffuser Einträge in Oberflächengewässer, verursacht durch das Zusammentreffen ungünstiger Umstände wie häufiges Anwenden eines bestimmten Wirkstoffes in einer Region von hoher Gewässerdichte, gepaart mit extremen Regenereignissen und ungünstigen

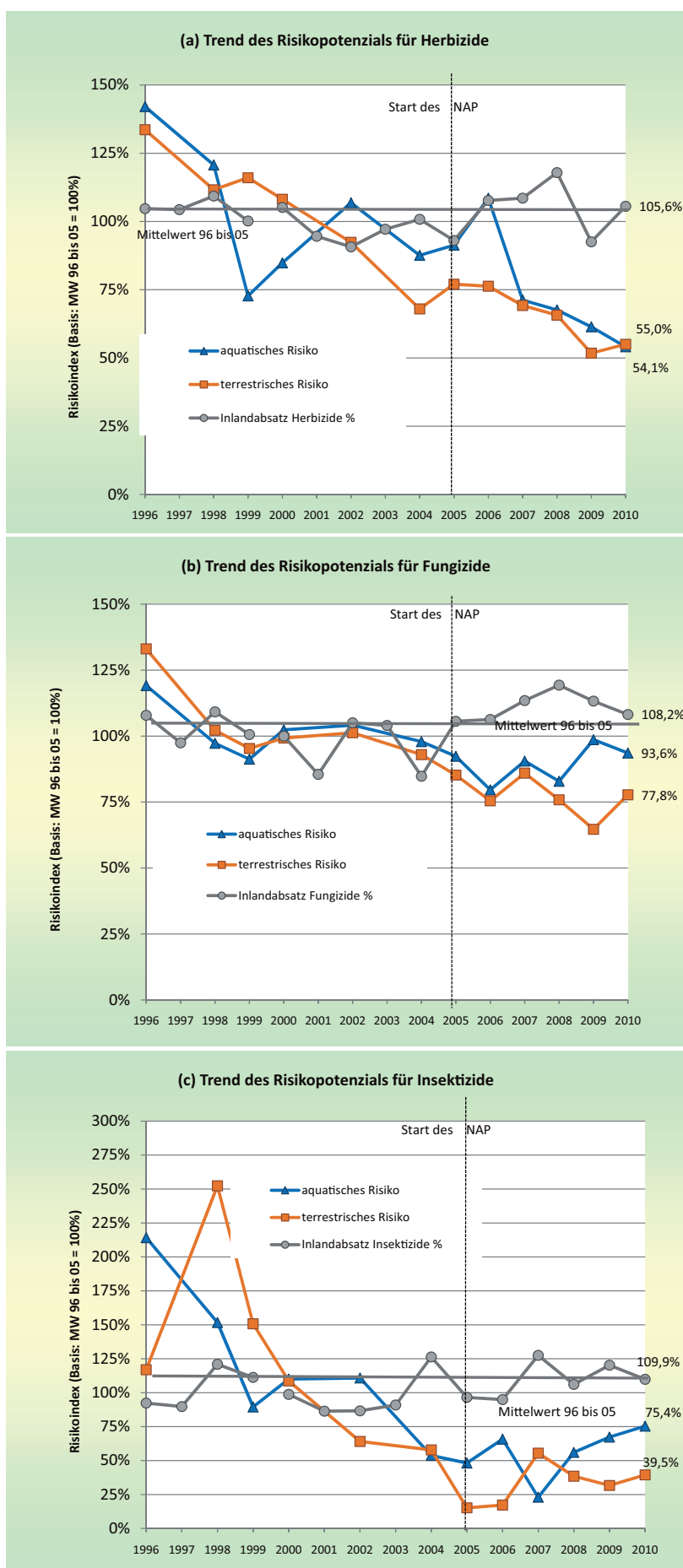


Abb. 9. Trend der Risikopotenziale und der Mengen für die in Deutschland abgesetzten Herbizide (a), Fungizide (b) und Insektizide (c) seit 1996 (dargestellt relativ zum zehnjährigen Mittelwert aus 1996–2005).

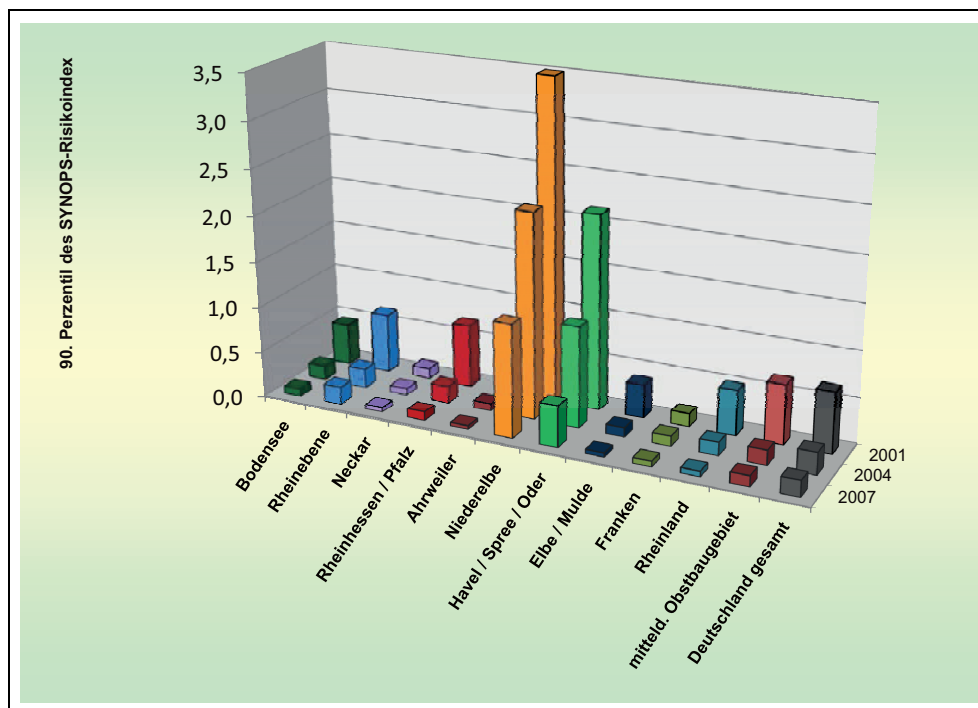


Abb. 10. Trend der SYNOPSIS-Indizes für das aquatische Risikopotenzial in den Hauptobstbaugebieten Deutschlands auf der Basis der NEPTUN-Erhebungen 2001, 2004 und 2007.

Bodenverhältnissen, sollte erkannt, analysiert und durch geeignete Maßnahmen entschärft werden.

Letzterem Problemkreis widmet sich z.B. ein Pilotvorhaben des JKI in Kooperation mit dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Als ein weiteres Beispiel, das im weitesten Sinne der Hot-Spot Analyse zuzuordnen ist, sei die Kupferproblematik genannt, auch aus dem Grund, weil hier sowohl der integrierte als auch der Ökologische Landbau involviert sind und letzterer von einem Kupferverbot besonders getroffen würde.

Kupferhaltige Präparate werden seit etwa 150 Jahren gegen Pilzkrankheiten der Kulturpflanzen eingesetzt. Sie gehören zu den ältesten Pflanzenschutzmitteln, haben aber noch immer eine große Bedeutung. So sind sie im Ökolandbau unverzichtbar. Ohne kupferhaltige Präparate müsste im ökologischen Anbau bei Gemüse mit 10–15%, bei Kartoffeln mit 15–20% und bei Hopfen, Wein und Obst sogar mit 50–100% Ertragsausfall gerechnet werden (WILBOIS et al., 2009). Aber auch im konventionellen Anbau benötigt man sie zum Resistenzmanagement.

Aufgrund seiner geringen Mobilität reichert sich Kupfer, welches über den Pflanzenbedarf hinaus geht, im Boden an. Als natürlicher Hintergrundgehalt gelten 8 bis 42 mg Cu/kg Boden (KRATZ et al., 2010). In Weinbergen mit langjähriger Nutzung z.B. an Mosel und Saar wurden in 98% der Fälle Gehalte über 100 mg Cu/kg Boden mit einem Spitzenwert von 2880 mg gemessen (RIEPERT, 2009). Neuere JKI-Untersuchung von STRUMPF et al. (2011) in 56 ökologischen und 29 konventionellen Weinbaubetrieben in allen relevanten Weinbauregionen Deutschlands ergaben die in der Tab. 8 dargestellten Bodenbelastungen.

Besonders hohe Belastungen wurden in Böden gefunden, die sich über Jahrzehnte in Nutzung befanden. Wie aus der Tab. 8 auch hervorgeht, wurden keine wesentlichen Unterschiede zwischen aktuell genutzten Böden und Böden, die seit mindestens 10 Jahren aus der Nutzung genommen wurden, festgestellt. Nach EIKMANN und KLOKE (1993) sind Werte bis 100 mg Cu/kg Boden noch tolerierbar während bei Werten > 200 mg Schäden an Pflanzen, Mensch und Ökosystem auftreten können.

Die Tab. 9 zeigt den aus der NEPTUN-Erhebung abgeschätzten jährlichen Kupfereintrag durch Pflanzenschutzmittel für Deutschland. Hinzu kommen Frachten aus Wirtschaftsdünger von ca. 2300 t und aus Klärschlamm von ca. 450 t (KÜHNE et al., 2009).

Eine Aufwandmenge von 4,0 kg/ha, wie sie z.B. im ökologischen Hopfenbau eingesetzt wird, entspricht in den oberen 5 cm Boden einer Bodenkonzentration von

Tab. 8. Kupfergehalte in Weinbergböden nach STRUMPF et al., 2011

Kupfergehalt	Prüfflächen (in Bewirtschaftung)	Referenzflächen (mindestens 10 Jahre Weinbaubrachten)
Anzahl Proben	581	306
< 50 mg Cu/kg Boden	37%	42%
50–100 mg Cu/kg Boden	28%	20%
> 100 mg Cu/kg Boden	35%	38%
Maximalwert	774 mg Cu/kg Boden	627 mg Cu/kg Boden

Tab. 9. Abschätzung der jährlich eingesetzten Kupfermenge aus NEPTUN-Erhebungen nach KÜHNE et al., 2009

	Wein	Hopfen	Kartoffeln	Kernobst
Ökologischer Landbau				
jährliche Aufwandmenge (kg/ha)	2,5	4,0	2,0	3,0
Anbaufläche 2008 (ha)	3500	80	8200	2900
Eintragsmenge (t)	8,7	0,3	16,4	8,7
Summe Eintrag (t)		34,1		
Konventioneller Landbau				
jährliche Aufwandmenge (kg/ha)	1,3	7,0		1,2
Anbaufläche 2008 (ha)	93900	18600		30963
Eintragsmenge (t)	122,1	130,2		37,2
Summe Eintrag (t)		289,5		

5,3 mg Cu/kg. Dabei ist allerdings zu beachten, dass nur ein Teil des ausgebrachten Kupfers den Boden erreicht und die Hopfenpflanze selbst ca. 2 kg Cu/ha dem Boden entzieht. (WILBOIS et al., 2009). Der Anreicherungsseffekt durch die jetzigen Aufwandmengen also wesentlich langsamer als in der Vergangenheit verläuft.

Die Problematik der Anreicherung von Kupfer im Boden und das damit wachsende Risiko von negativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt wurde auch von der EU-Kommission erkannt. Deshalb wurde Kupfer als Wirkstoff befristet bis 2016 zugelassen mit der Auflage, Maßnahmen zur Reduzierung der Anwendungen zu ergreifen und ein Zulassung begleitendes Monitoring einzurichten. In Deutschland wurde unter Beteiligung der Stakeholder eine „Kupfer-Minimierungsstrategie“ beschlossen, die auch die Suche nach wirksamen Alternativen im Rahmen der Forschung sowie die Züchtung neuer resistenter oder

toleranter Sorten einschließt. Jährlich wird im vom JKI organisierten Fachgespräch „Kupfereinsatz im Pflanzenschutz“ über die Situation und Umsetzung der Minimierungsstrategie berichtet.

Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland

Wenngleich beide Hauptstrategien auf einen möglichst geringen Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln abzielen, bleibt doch eine breite Palette von verfügbaren Wirkstoffen unabdinglich für die Pflanzenproduktion in Deutschland. Die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmittel hat sich von 1790 im Jahre 1987 auf 644 im Jahre 2010 verringert. Die Entwicklung bei den darin enthaltenen Wirkstoffen zeigt die Abb. 11.

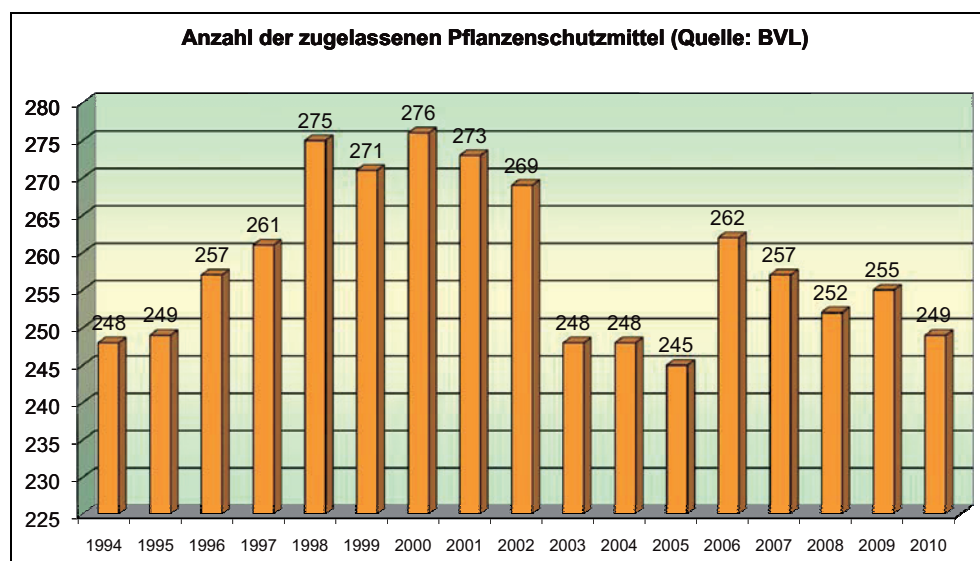


Abb. 11. Anzahl der in Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe seit 1994 (Quelle: BVL).

Im Jahr 2010 standen in Deutschland 249 Wirkstoffe zur Verfügung. Im Anhang I der neuen EU-Verordnung (EG) 1107/2009 sind mit Stand vom Mai 2011 353 Wirkstoffe gelistet. Allerdings können in Deutschland etwa 7% der Wirkstoffe unter die mit der Verordnung angekündigten Ausschlusskriterien fallen (NOLTING, 2010). Die Situation wird von den Experten als vorsichtig optimistisch eingeschätzt.

Vor allem für den Anbau „kleiner Kulturen“ sind ausreichend viele Wirkstoffen sehr wichtig, weil hier sehr oft die Übertragung der Zulassung aus großen Ackerkulturen unter Beibringung entsprechender Rückstandversuchsergebnissen durch die Pflanzenschutzdienste und Verbände beantragt werden muss. 77% der Mittelanwendungen des Gemüsebaus, 62% der Anwendungen in Baumschulen und 53% der Anwendungen im Obstbau (Stand 2010) stammen z.B. aus solchen Übertragungen, im Fachjargon „Lückenindikationen“ genannt.

Klimawandel und Schaderregerdruck

Laut derzeitigen Klimaprojektionen könnte sich der Jahrestemperaturdurchschnitt bis 2100 um 3,5 K erhöhen mit vermutlich mehr Niederschlägen im Winter, trockeneren Sommern und mehr Extremereignissen. Damit ist mit einem Vordringen Wärme liebender Schaderreger nach Norden, einer Verschiebung in der Bedeutung etablierter Arten und einer Erhöhung von Generationszahlen zu rechnen (ORDON, 2008).

Nach JUROSZEK et al., 2009 kann man mögliche Veränderungen wie folgt zusammenfassen:

- Insekten: vermutlich eine Zunahme der Bedeutung, obwohl wärmere, feuchte Winter gefolgt von Frost Mortalitäten erhöhen; höhere Anzahl von Generationen möglich.
- Unkräuter: vermutlich eine Zunahme der Bedeutung durch wärmere, feuchte Winter und warme Sommer.
- Nematoden: vermutlich eine Zunahme der Bedeutung durch wärmere, feuchte Winter und warme Sommer.
- Viren: vermutlich eine Zunahme auch durch Begünstigung der Virusvektoren.
- Pilze: vermutlich eine Abnahme der Bedeutung durch Frühsommertrockenheit.
- Bakterien: vermutlich Abnahme der Bedeutung durch Sommertrockenheit.

Generell kommt es wohl eher zu einer Zunahme der Bedeutung der meisten Schadorganismen und der Einwanderung neuer. Allerdings sind noch viele Einflussfaktoren und deren Interaktionen unbekannt, das gilt auch für mögliche Anpassungen von Schadorganismen und deren Gegenspieler. Insgesamt ergibt sich hier noch ein großer Forschungsbedarf. Nach CHRISTEN (2008) ist es bei der relativ großen Unsicherheit notwendig, Kulturpflanzensysteme größtmöglicher Artenvielfalt zu etablieren, um das System gegen bekannte und unbekannte Risiken besser abzupuffern.

Fazit

- Vor den globalen Herausforderungen bleibt der Pflanzenschutz essenziell für die Sicherung des Ertrages und der Qualität von Nahrungs- und Rohstoffpflanzen.
- Das EU-Pflanzenschutzrecht bildet den Rahmen für 2 Grundstrategien: integrierter Pflanzenschutz (IPS) ↔ Pflanzenschutz im Ökolandbau, die viele gemeinsame Elemente haben.
- IPS wird sich nicht im Selbstlauf durchsetzen, auch wenn ein allgemeiner ordnungspolitischer Rahmen gesetzt wurde (Beratung, Freiwilligkeit, Förderung).
- Auch aus Kostengründen liegt die chemische Pflanzenschutzintensität unter den heutigen Randbedingungen (Markt, Fruchtfolge, Sorten, Qualitätsansprüche, ...) bereits nahe dem notwendigen Maß. Die Erschließung des restlichen Reduktionspotenzials erfordert einen hohen Beratungsaufwand.
- Der situationsbezogene chemische Pflanzenschutz trägt wesentlich zu einer hohen Stickstoffeffizienz der Pflanzenproduktion bei.
- Der Nettoenergie-Output bei Ackerfrüchten ist im integrierten Landbau ca. 40% höher als im Ökolandbau, wobei allerdings z.B. bei Roggen unter bestimmten Standortverhältnissen der Unterschied wesentlich geringer ist.
- Die Energieintensität ist damit im Ökolandbau ungünstiger, das Output-Input-Verhältnis dagegen günstiger.
- Das Umwelt-Risikopotenzial des chemischen Pflanzenschutzes hat sich in den letzten 20 Jahren stetig verringert.
- Trotzdem können in der Praxis Restrisiko-Hot-Spots verbleiben, die erkannt und analysiert werden müssen, um spezifische oder regional angepasste Maßnahmen zu deren Minderung zu ergreifen.
- Die Verfügbarkeit einer ausreichend breiten Palette von Wirkstoffen ist notwendig, um den Anbau „kleiner Kulturen“ (Obst, Gemüse, Heil- u. Gewürzpflanzen, Hopfen, Wein) in Zukunft sicher zu stellen.
- Vorsichtig optimistisch formuliert, kann das neue Pflanzenschutzpaket der EU dafür Möglichkeiten bieten und einer Wettbewerbsverzerrung entgegen wirken.
- Der Klimawandel wird eher zu einer Zunahme des Schaderregerdruckes und zur Einwanderung neuer Schadorganismen führen.
- Auch aus diesem Grunde wird es kaum zu einer merklichen Verringerung der Intensität des chemischen Pflanzenschutzes kommen, es sei denn, es werden Durchbrüche in der Züchtung, eventuell auch durch die Akzeptanz der grünen Gentechnik, erreicht.

Danksagung

Ich möchte meinen Kollegen Dr. STRASSEMAYER, Prof. Dr. FREIER und Dr. SCHWARZ für die anregenden wissenschaftlichen Diskussionen im Vorfeld dieser Arbeit danken. Ebenso geht mein Dank an meine Assistentin Frau SIEMON

für die technischen Arbeiten bei der Datenaufbereitung und Manuskripterstellung.

Literatur

- AGRARHEUTE.COM, 2011: Punkteinträge beim Pflanzenschutz sind vermeidbar (18.10.2011) <http://www.agrarheute.com/symposium-pflanzenschutz> (Zugriffsdatum 19.01.2012).
- BLARR, S., J. EYRING, M. BACH, H. FREDE, 2009: Identifizierung und Vermeidung der hot spots von Pflanzenschutzmittel in Oberflächengewässer – Erkennung und Quantifizierung punktueller Einträge. Abschlussbericht. Gießen, BMELV-BLE-Projekt 05HS022, 3/09.
- BMELV, 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bonn, BMELV 2008, 1-32.
- BMELV, 2005–2011: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Jahrgänge 2005 bis 2007, Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag; Jahrgänge 2008 bis 2011, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW.
- BMF, 2008: Monatsbericht des BMF. BMF, September 2008.
- DEIKE, S., B. PALLUTT, O. CHRISTEN, 2010: Untersuchungen zur Energieeffizienz im integrierten und ökologischen Landbau am Beispiel eines Langzeitversuches auf einem lehmigen Sandboden. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (7), 259-263.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. SCHWARZ, M. JAHN, E. MOLL, V. GUTSCHE, W. ZORNACH, 2011: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2010 Analyse der Ergebnisse 2007 bis 2010. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut H. **161**, 86 S.
- GUTSCHE, V., D. ROSSBERG, 1997: SYNOPSIS 1.1: a model to assess and to compare the environmental risk potential of active ingredients in plant products. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **64**, 181-188.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, 2007: SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotenzials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. *Nachrichtenblatt Deut. Pflanzenschutzd.* **59** (9), 197-210.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, 2010: Pflanzenschutz und Umweltschutz – das bisher Erreichte nicht vergessen. *Obstbau* **12**, 634-636.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. FEIL, G.-W. BIERMANN, W.D. RATHKE, W. KALK, W. DIEPENBROCK, 2001: A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **86**, 303-321.
- JKI, 2012: Zusammenfassung bundesweite Langzeitversuche 2003/2006–2008. <http://www.nap-pflanzenschutz.de/praxis/langzeitversuche/ergebnisse/zusammenfassung-bundesweite-langzeitversuche-20032006-2008/> (Zugriffsdatum: 07.02.2012).
- JUROSZEK, P., M. SIEBOLD, A. VON TIEDEMANN, 2009: Klimafolgenforschung in der Pflanzenproduktion. 52. Jahrestagung vom 1.–3. September in Halle/S., *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* **21**, 169-170.
- JUROSZEK, P., 2012: Schaderreger im Klimawandel – vieles noch unklar. [Klimaps.jki.bund.de](http://www.klimaps.jki.bund.de) (Zugriffsdatum: 07.02.2012).
- KÜHNE, S., J. STRASSEMAYER, D. ROSSBERG, 2009: Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen*, **61** (4), S.126-130.
- NOLTING, H.-G., 2010: Anforderungen an Pflanzenschutzmittel – Entwicklungen im Laufe der Zeit. (Mündl. Information 2010).
- ORDON, F., 2008: Pflanzenzüchterische Möglichkeiten der Anpassung von Nutzpflanzen an zukünftige Produktionsbedingungen. *DPG Spectrum Phytomedizin*. DPG Selbstverlag Braunschweig, 90-102.
- CHRISTEN, O., 2008: Langfristige Trends und Anpassung der Anbausysteme an den Klimawandel. *DPG Spectrum Phytomedizin*. DPG Selbstverlag Braunschweig, 57-64.
- PALLUTT, B., M. JAHN, 2009: Das rechte Maß beim Pflanzenschutz finden. *Getreidemagazin* **14** (1), 46-49.
- RICKARD, S., 2010: The Value of Crop Protection – An assessment of the full benefits for food chain and living standards. Peterborough, Crop Protection Association, 37 pp.
- RIEPERT, F., 2009: Auswirkung von Kupferbelastungen auf ausgewählte Indikatoren der Biozönose. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (4), 126-130.
- ROSSBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt H.* **98**, 27 S., Anhänge.
- ROSSBERG, D., 2003: NEPTUN 2001 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Obstbau, im Hopfen und in Erdbeeren. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft H.* **122**, 24 S., Anhänge.
- ROSSBERG, D., 2006: NEPTUN 2004 Obstbau – Erhebung von Daten zur Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft H.* **129**, 29 S., Anhänge.
- ROSSBERG, D., 2009: NEPTUN 2007 – Obstbau. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut H.* **147**, 71 S.
- STRUMPF, T., A. STEINDL, J. STRASSEMAYER, F. RIEPERT, 2011: Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden, Teil1: Gesamtgehalt in Weinbergböden deutscher Qualitätsanbaugebiete. *Journal für Kulturpflanzen* **63** (5), 131-143.
- WILBOIS, K.P., R. KAUER, B. FADER, J. KIENZLE, P. HAUG, A. FRITSCHMARTIN, N. DRESCHER, E. REINERS, P. RÖHRIG, 2009: Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (4), 140-152.
- WITZKE, H. von, S. NOLEPPA, 2012: Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland. <http://www.agrar.hu-berlin.de/struktur/institute/wisola/fg/ihe/Veroeff> (Zugriffsdatum: 07.02.2012).