

Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow – Biologische Zentralanstalt Berlin –
der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

Klaus ARLT und Bernd HOFMANN

Vorschläge zur ökologischen Testung der Herbizidwirkung auf Kulturpflanzen

Optimale Wachstumsbedingungen gewährleisten im allgemeinen eine höchstmögliche Toleranz der Kulturpflanzen gegenüber einem Herbizid, das in der jeweiligen Kulturart eine selektive Unkrautbekämpfung bewirkt. Sehr häufig muß sich aber der Selektionsmechanismus auch unter stark vom Optimum abweichenden Bedingungen bewähren. Die Reaktion der Pflanze auf den Umweltfaktor Herbizid, der den natürlichen Faktoren Temperatur, Wasser und Licht überlagert ist, sollte die Reversibilität der Schadeffekte unter ungünstigen Bedingungen garantieren.

Im Freilandversuch kann nur ein kleinerer Teil aller abweichenden ökologischen Faktorenkombinationen erfaßt werden, wenn er über 2 bis 3 Jahre durchgeführt wird. Es erschien daher naheliegend, durch Einzeltests unter simulierten Umweltbedingungen zusätzliche Informationen über die Reaktion von Kulturpflanzen auf Herbizide zu gewinnen und damit eine genauere Beurteilung der Anwendungssicherheit zu erlangen (ARLT und HOFMANN, 1975).

Die Überlegungen, die unseren Versuchsarbeiten vorausgingen, führten zu folgenden Grundvorgaben für die zu wählenden Tests:

- Verwendung von weitgehend unversehrten Pflanzen als Testobjekte;
- Beobachtung der Testpflanzen über einen bestimmten Zeitraum (max. 14 Tage);
- Einschätzung der Reaktion der Pflanzen mit Hilfe eines physiologischen, einfach zu bestimmenden Parameters („Vitalitätsindikator“);
- möglichst vielseitige Verwendung der benutzten Grund- und Arbeitsmittel;
- Eignung der Tests für Serienbestimmungen.

Als Versuchsobjekte für die Entwicklung der Einzeltests wurden vorwiegend Zuckerrübensämlinge verwendet. Für die Anzucht der Versuchspflanzen und die Durchführung eines Teils der Versuche wurde ein relativ temperaturkonstanter Kellerraum genutzt. Das Gewächshaus erwies sich wegen zu starker Temperaturschwankungen als ungeeignet. Die Beleuchtung (12 Stunden) erfolgte durch Leuchtstoffröhrenaggregate (15 Leuchtstoffröhren/m²), die 10 bis 15 cm über den Pflanzen hingen und dort eine Beleuchtungsstärke von ca. 12 000 Lux ermöglichten. Die Tagestemperaturen betragen 26 bis 28 °C, die Nachttemperaturen 22 bis 24 °C.

Von grundsätzlicher Bedeutung erschien die Wahl eines physiologischen Parameters zur Bewertung der Reaktion der

Pflanzen auf die Herbizideinwirkungen. Eine visuelle Bonitur der Schadsymptome wurde verworfen, da diese Erscheinungen erst als Endeffekt einer Reihe von Vorgängen auftreten und damit nicht gestatten, den Verlauf der Herbizidwirkung auf die Pflanzen zu beobachten. Nach einer Reihe von Vorversuchen wurde die Beobachtung der Dynamik der reduzierenden Zucker gewählt (HOFMANN, 1976). Mit einer einfachen Methode (kolorimetrische Bestimmung der reduzierenden Zucker nach SOMOGYI-NELSON) kann ein hoher Probenumsatz erzielt werden.

Dieser Grundtest wurde als Phytotoxizitätstest bezeichnet. Er erfaßt die Verläufe des Gehaltes an reduzierenden Zuckern während der Herbizidkontaminationsphase bis zu maximal 264 Stunden nach der Wirkstoffapplikation. Die Herbizidapplikation erfolgt im Zweiblattstadium der Zuckerrübenpflanzen mit einer Pipette auf die Bodenoberfläche der Versuchsgefäße (11-cm-Plastetöpfe). Die Verminderung des Gehaltes an reduzierenden Zuckern als Folge der Herbizideinwirkung tritt wirkstoffabhängig schon bis zu 4 Stunden nach der Applikation ein. Bei einem nicht oder wenig selektiven Wirkstoff ist die Produktion der reduzierenden Zucker langfristig gehemmt. Dagegen ist nach Applikation gut verträglicher Herbizide eine Erholung zu beobachten, die Zuckergehalte nehmen wieder zu und können in günstigen Fällen die Kontrollwerte erreichen oder übersteigen. Am besten läßt sich dieses Prinzip

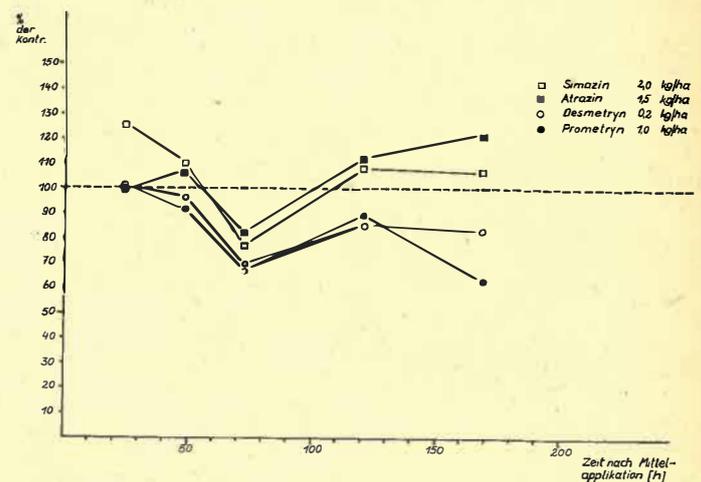


Abb. 1: Der Einfluß einiger Triazine auf die Dynamik reduzierender Zucker bei Mais-sämlingen

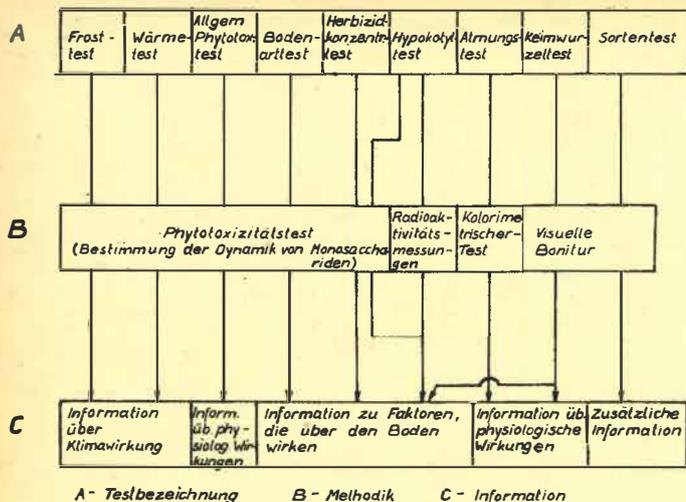


Abb. 2: Übersicht über das Testspektrum

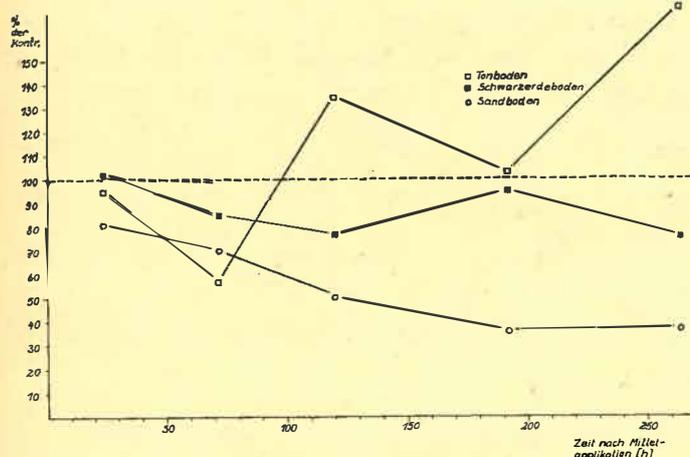


Abb. 3: Der Einfluß von Lenacil auf den Verlauf des Gehaltes an reduzierenden Zuckern in Rübensämlingen auf Ton-, Löß- und Sandböden

am Beispiel der Reaktion von Mais auf die selektiv wirkenden Herbizide Simazin und Atrazin sowie die nicht selektiv wirkenden Substanzen Desmetryn und Prometryn demonstrieren (Abb. 1).

Die hier zusammengefaßten Befunde wurden durch Vergleich des Verhaltens von *Sinapis alba* und Zuckerrübenjungpflanzen gegenüber dem Präparat Betanil 70 (Propham + Proximpham + Lenacil) sowie die Reaktion von *Plantago lanceolata*, der weitgehend tolerant gegenüber Diuron ist, bestätigt.

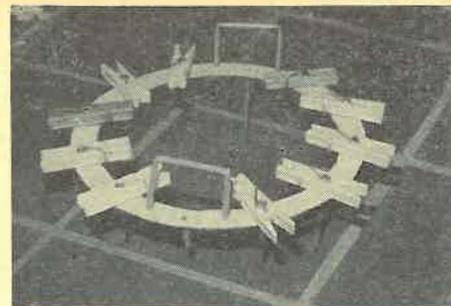
Nach dem Phytotoxizitätstest kann bei allen Pflanzen, deren Reaktionen auf die Folgen einer Herbizideinwirkung vollständig oder teilweise reversibel sind, eine weitgehende physiologische Selektivität gegenüber dem jeweils eingesetzten Herbizid angenommen werden. Im günstigsten Falle wird nach einer zeitweiligen Depression die ursprüngliche Tendenz der Stoffproduktion wieder erreicht („Auslenkung“ nach HÄRTEL, 1976).

Der Phytotoxizitätstest erlaubt natürlich nur sichere Aussagen über Herbizide, die hauptsächlich auf die Photosynthese wirken. Das zeigten Versuche mit 2,4-D und Inhibitoren der Atmung bzw. der Eiweißbiosynthese.

Um den Phytotoxizitätstest gruppieren sich eine Reihe von Einzeltests, welche die Wechselbeziehungen zwischen Herbiziden und Pflanzen charakterisieren sollen. (Abb. 2).

Der Bodenarttest ermittelt den Einfluß der Bodenart auf die Phytotoxizität herbizider Wirkstoffe. Er entspricht in der Durchführung dem Phytotoxizitätstest, die Versuchspflanzen werden aber nicht nur auf einem Standardboden (lehmiger

Abb. 4: Haltevorrichtung für Versuchspflanzen bei Wasserkulturerfahrungen



Sand), sondern zusätzlichen Testböden kultiviert und behandelt. Als Testböden sollten natürliche Böden mit bestimmtem Humusgehalt (1 bis 2, 3 bis 5, 5%) verwendet werden. Der Einsatz jeweils eines Sandbodens, eines sandigen Lehmbodens, eines Lößbodens und Tonbodens ergibt zusätzlich verschiedene Abstufungen des Tongehaltes. Zweckmäßig ist die Einbeziehung eines humusarmen, aber sorptionsstarken Bodens und eines Bodens mit höherem CaCO_3 -Gehalt (Abb. 3). Mit dem Konzentrationstest sollen die niedrigsten phytotoxisch wirksamen Konzentrationen eines herbiziden Wirkstoffes ermittelt werden. Dieser Test wird als Wasserkulturerfahrung durchgeführt, da nur so die gewünschten Herbizidkonzentrationen mit den Wurzeln in Kontakt gebracht werden können. Die Wirkstoffe werden den Kulturlösungen zugesetzt. Die in leichtem Boden angezogenen Pflanzen werden nach dem Auswaschen der Wurzeln in einer speziellen Haltevorrichtung für die Wasserkultur befestigt (Abb. 4). Die niedrigste Konzentration für den Test kann mit $\frac{1}{10}$ der Feldaufwandmenge angenommen werden. Die Herbizidwirkung wird durch den Phytotoxizitätstest ermittelt (Abb. 5).

Für den Temperaturtest werden die Pflanzen wie für den Phytotoxizitätstest auf lehmigem Sand angezogen, nach der Herbizidapplikation in der Phytokammer abgestuften Temperaturbedingungen unterworfen. Die Kleinphytotrone des Typs KTLK 1250 des VEB NEMA Netzschkau sind für derartige Versuche gut geeignet. Für Tests mit Zuckerrüben werden folgende Tag/Nacht-Temperaturkombinationen vorgeschlagen: $25^\circ/10^\circ\text{C}$, $15^\circ/5^\circ\text{C}$, $10^\circ/0^\circ\text{C}$ sowie ein Programm, bei dem Frostbedingungen mit nachfolgend ansteigenden Temperaturen simuliert werden (Abb. 6). Die Herbizidwirkung wird in diesem Test wiederum durch den Phytotoxizitätstest bestimmt. Ein besonderer Teil zur Ermittlung des Einflusses von Kälte auf die Reaktion der herbizidbehandelten Pflanzen (Frosttest) kann erwogen werden. Es fehlen aber noch Grundlagenuntersuchungen über die Wechselbeziehungen zwischen Frosthärte und Herbizidwirkung.

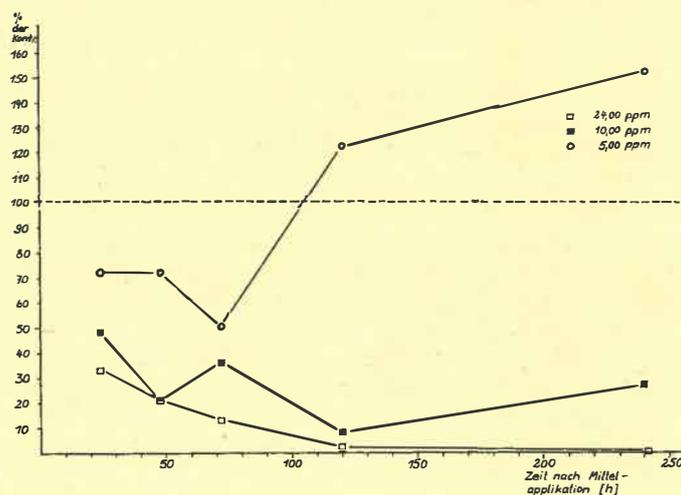


Abb. 5: Der Einfluß der Pyrazon-Konzentration auf die Dynamik der reduzierenden Zucker in Rübensämlingen (Wasserkultur)

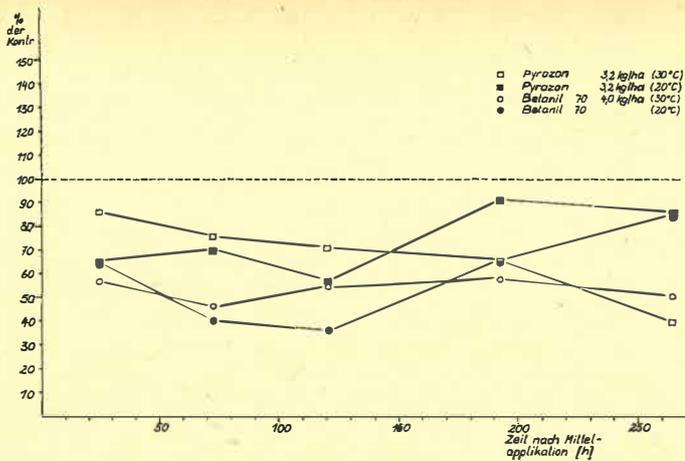


Abb. 6.: Der Einfluß der Temperatur auf die Dynamik der reduzierenden Zucker in Rübensämlingen nach Behandlung mit Herbiziden

Der Keimwurzeltest soll über die Reaktionen der Keimwurzel auf in den Boden eingewaschene Herbizide informieren. Dazu wird der Keimwurzelzuwachs eines einheitlichen, vorgekeimten Materials (5 bis 7 mm Ausgangswurzellänge) auf Filterpapier, das mit Herbizidlösung angefeuchtet wurde, gemessen. Nach unseren Ergebnissen hatten Protham, Proxipham und Pyrazon die stärksten Hemmwirkungen, Lenacil beeinflusste dagegen das Keimwurzelwachstum von Zuckerrüben und Weißem Senf nicht wesentlich (Abb. 7). Die Ermittlung der Keimfähigkeit unter Herbizideinfluß hatte nur geringen Aussagewert. Die Zuckerrübenjungpflanze kommt in der Phase des Auflaufens und der Entfaltung der Keimblätter und des ersten Laubblattpaares in engen Kontakt mit der oberen, mit Bodenherbiziden angereicherten Bodenschicht. Da neben der Herbizidaufnahme durch die Wurzel auch mit einem Eindringen des Wirkstoffes durch das Hypokotyl gerechnet werden muß, wird der Hypokotyltest vorgeschlagen. Hierzu werden die Sämlingswurzeln am Wurzelhals abgeschnitten, die Schnittstelle mit Silikonfett abgedichtet und das Hypokotyl in der bereits vorgestellten Haltevorrichtung in Herbizidlösung getaucht. Die Wirkung wird wieder mit Hilfe des Phytotoxizitätstestes geprüft. Da das Eindringen des Herbizids über das Hypokotyl von der Formulierung des Mittels abhängig sein kann, sollten Paralleltests mit reinen Substanzen und Präparaten gemacht werden.

Eleganter läßt sich der Test mit radioaktiv markierten Herbiziden durchführen. Nach unseren Erfahrungen sind die Ergebnisse mit denen des einfachen Verfahrens vergleichbar.

Durch den Sortentest kann eine mögliche unterschiedliche Reaktion von Kulturpflanzensorten auf Herbizide ermittelt werden. Dieser Test lehnt sich an den Wurzeltest nach ORTH

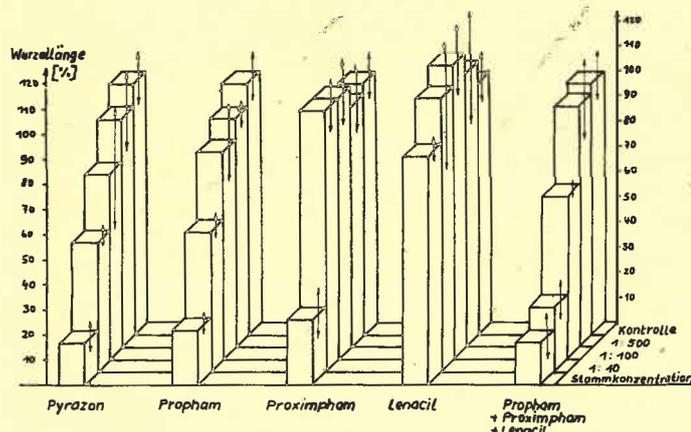


Abb. 7. Der Einfluß von Herbiziden auf das Wurzellängenwachstum von Rübensämlingen

(1967) an. Das Prinzip dieses Verfahrens beruht auf der zeitweiligen Einwirkung (meist 1 Stunde) von Herbizidlösungen auf Pflanzen, deren Wurzelsystem durch Auswaschen freigelegt wurde, und die nach der Behandlung in Erde weiterkultiviert werden. Das Verhalten der Pflanzen wird in der nachfolgenden Kultur beobachtet und visuell eingeschätzt. Unter den Zuckerrübensorten waren in unseren Untersuchungen gesicherte Sortenunterschiede nicht erkennbar, dagegen reagierten Futterrübensorten differenzierter. Der Sortentest kann auch mit Hilfe des Phytotoxizitätstestes gemacht werden. Es muß aber beachtet werden, daß hierdurch die Anzahl der Zuckeranalysen gesteigert und der Gesamtablauf des Testverfahrens ungünstig beeinflusst wird.

Zusatzinformationen über den Herbizideinfluß auf die Aktivität der Pflanzen können durch den Atmungstest gewonnen werden. Als einziger Einzeltest arbeitet er mit ausgestanzten Blattstücken, nach der von LLETH (1960) weiterentwickelten kolorimetrischen Methode nach KAUKO. Bei schwach atmen den Objekten, wie Sämlingsblättern von Zuckerrüben, werden die Ergebnisse von Störgrößen überlagert. Daher muß durch Vorversuche geklärt werden, ob die Methode für das vorgesehene Objekt geeignet ist.

Für die Entwicklung von weiteren Tests wurden Untersuchungen zum Einfluß von pH-Wert, N-Form und Salzkonzentration sowie von Bodenverdichtungen (Stauässe) auf die Reaktion herbizidbehandelter Zuckerrübenjungpflanzen durchgeführt. Da aber Einflußgrößen, die zumeist durch Fehler in der Bodenkultur bedingt sind, nicht testwürdig sind, wird auf diesbezügliche Testvorschläge verzichtet.

Mit dem zur Zeit vorliegenden Bestand an Einzeltests müssen die Arbeiten zur Weiterentwicklung des Testspektrums in zwei Hauptrichtungen ablaufen:

- Erprobung des Testspektrums im Rahmen der staatlichen Pflanzenschutzmittelpfung;
- Erweiterung des Anwendungsbereiches der Tests auf die wichtigsten Kulturarten.

Hierbei ist vor allem wichtig, den Grad der Vergleichbarkeit zwischen Labortest und Feldversuch weiter zu steigern. Die Erweiterung des Anwendungsbereiches wird ohne Schwierigkeiten für Getreide, Körnerleguminosen und einige Gemüsearten möglich sein. Dagegen sind für Kartoffeln einige Veränderungen in der Versuchstechnik notwendig. Arbeiten zu beiden Hauptrichtungen sind bereits angelaufen. Nach dem derzeitigen Stand kann geschätzt werden, daß 2 Arbeitskräfte in 6 Monaten etwa 10 Wirkstoffe bearbeiten können. Es bestehen aber noch eine Reihe von Intensivierungsmöglichkeiten, so daß der Probanddurchsatz noch erhöht werden könnte. Abschließend muß darauf hingewiesen werden, daß ein Ersatz der Feldversuche durch ökologische Tests nicht erwartet werden darf und auch nicht angestrebt wird. Das Ziel derartiger Testungen ist der Gewinn zusätzlicher Informationen sowie die Einsparung von Entwicklungs- und Prüfzeit durch frühzeitige Aussonderung ungeeigneter Wirkstoffe und Verkürzung der Gesamtdauer der Feldversuche.

Zusammenfassung

Es wird ein Testspektrum vorgestellt, das der Ermittlung phytotoxischer Nebenwirkungen von Herbiziden dient. Die Tests wurden mit Wirkstoffen erarbeitet, die im Zuckerrübenanbau eingesetzt werden; die Anwendung des Testspektrums ist grundsätzlich auch für Boden- und Blattherbizide, die in anderen landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Kulturen eingesetzt werden, möglich. Bei den Tests wurde als Vitalitätsindikator für die Wirkung photosyntheseaktiver Herbizide die Dynamik der Bildung reduzierender Zucker über einen bestimmten Zeitraum hinweg verwendet. Neben diesem Grundtest, der als Phytotoxizitätstest bezeichnet wird, werden 7 wei-

tere Einzeltests vorgeschlagen, die Informationen über die potentielle Gefährdung der Kulturpflanzen durch Herbizide geben sollen. Das Testspektrum kann in der Herbizidentwicklung wie auch in der staatlichen Pflanzenschutzmittelprüfung nach Ablauf einer gewissen Erprobungszeit eingesetzt werden.

Резюме

Предложения об экологическом испытании действия гербицидов на культурные растения

Изложены различные методы испытания фитотоксического побочного действия гербицидов. При разработке методов испытания использовались действующие вещества, применяемые при возделывании сахарной свеклы. В принципе данные методы испытания могут распространяться и на почвенные и листовые гербициды, применяемые в посевах других сельскохозяйственных культур, а также в овощеводстве и плодоводстве. В испытаниях, в качестве индикатора жизнеспособности при изучении действия активных в фотосинтезе гербицидов, использовалась динамика образования редуцирующих сахаров за определенный период времени. Кроме этого основного теста, именуемого тестом на фитотоксичность, предлагаются еще 7 методов индивидуального испытания, дающих информации о потенциальной опасности гербицидов для культурных растений. По истечении определенного контрольного периода, предлагаемые методы испытания побочного действия можно использовать при разработке новых гербицидов, а также в государственных испытаниях средств защиты растений.

Wir danken allen Mitarbeitern, die ständig oder zeitweilig durch ihre Leistungen die Erarbeitung des Testspektrums in relativ kurzer Zeit ermöglichten, insbesondere D. FILIPP, Ch. KLICKE, I. SCHREIBER, D. SPERLING, H. VOIGT und H. WESTPHAL.

VEB Fahlberg-List Magdeburg und Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow – Biologische Zentralanstalt Berlin – der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

Jürgen JENTZSCH, Hermann GRÜNZEL und Wilhelm HARTMANN, Bernhard PALLUTT, Günter FEYERABEND

Zum derzeitigen Stand der chemischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

Die vom IX. Parteitag der SED hervorgehobene Chemisierung als Bestandteil der Intensivierung erfordert im Zuckerrübenanbau u. a. die ständige Verbesserung industriemäßiger Produktionsverfahren. Bei der Rübenproduktion stehen handarbeitsarme bzw. handarbeitslose Pflegeverfahren im Mittelpunkt. Neben der Verbesserung der Technik, der Saatgutqualität und der Ackerbaukultur ist es erforderlich, die chemische Unkrautbekämpfung auf der Grundlage der derzeitigen vorhandenen Herbizide nach wissenschaftlichen Maßstäben durchzuführen. Nur so kann ein hoher Grad der Unkrautvernichtung unter den verschiedenen Boden- und Witterungsbedingungen ohne Beeinträchtigung der Rüben im Aufgang und Wachstum erreicht werden.

1. Hauptprobleme der chemischen Unkrautbekämpfung

Resultierend aus der allen Herbiziden eigenen Abhängigkeit der herbiziden Wirkung und in gewissem Umfang auch der Selektivität von den Boden- und Witterungsbedingungen sowie dem begrenzten Wirkungsspektrum aller Herbizide und den technischen Möglichkeiten der Applikation (Befahrbarkeit der Schläge) wurden örtlich unterschiedliche Erfahrungen mit den in der DDR verfügbaren Herbiziden (Tab. 1) gesammelt.

Summary

Proposals for ecological testing of herbicidal effects on cultivated plants

A test spectrum is presented that serves the detection of phytotoxic secondary effects of herbicides. The tests have been elaborated with active principles used in sugar beet growing. In principle, the test spectrum is also applicable to soil- and leaf-applied herbicides in other agricultural and horticultural crops. The dynamics in the formation of reducing sugars over a certain period served as a vitality indicator for the effect of herbicides acting through the plant photosynthesis. Apart from that basic test, which is referred to as the phytotoxicity test, another 7 single tests are proposed for obtaining information as to the potential hazard to the cultivated plants that is involved in the use of herbicides. The test spectrum can be applied in the development of herbicides as well as in the State testing scheme for plant protectives after a certain trying period will have elapsed.

Literatur

- ARLT, K.; HOFMANN, B.: Rationelles Prüfverfahren für die Eignung von Bodenherbiziden. Kleinmachnow, Institut für Pflanzenschutzforschung, Forschungsabschluss-Ber., 1975
- HÄRTEL, O.: Wie lassen sich Pflanzenschäden definieren, Umschau (1976), Nr. 76, S. 347-348
- HOFMANN, B.: Der Einfluß von Herbiziden auf die Dynamik der reduzierenden Zucker in Zuckerrübenjungpflanzen. Kleinmachnow, Institut für Pflanzenschutzforschung, Diss 1976
- LIETH, H.: Über den Lichtkompensationspunkt der Landpflanzen. Planta 54 (1960), S. 49 ff.
- ORTH, H.: Prüfung von Pre-emergence-Herbiziden durch Wurzeltest. Nachr.-Bl. dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig) 19 (1967), S. 178-181

Jedes dieser Herbizide, für sich eingesetzt, führt zu einer Unkrautvernichtung, die für moderne Pflegeverfahren nicht ausreichend ist. Alle Herbizide – auch die im internationalen Maßstab verwendeten – besitzen ein begrenztes Wirkungsspektrum.

Tabelle 1

Präparate für die Unkrautbekämpfung in Rüben

Herbizid	Wirkstoff	AT	Aufwandmenge kg/ha bzw. l/ha	Wirkungsspektrum
1. Voraussaat-herbizid Bi 3411	Trichloracetaldehydhydrat	VS	20 . . . 30	Wildhafer, Quecke
2. Bi 3411 Neu	Trichloracetaldehydhydrat + Chloralhalbacetal	VS	20 . . . 25	Wildhafer, Quecke
3. Betanil 70	Propham + Proximpham + Lenacil	VA	5 . . . 10	einjährige Unkräuter
4. Betanal	Phenmedipharm	NA	6	einjährige dikotyle Unkräuter
5. Elbatan	Lenacil	NA	0,75 . . . 1,0 bzw. 1,5 . . . 2,0	einjährige Unkräuter (Spätverunkrautung)

AT \triangleq Anwendungstermin