

Wesen, Wirkung und Bewertung chemischer Pflanzenschutzmittel.

Von Prof. Dr. G. GASSNER, Braunschweig.

(Vortrag in der Sitzung vom 4. Februar 1929 des Bezirksvereins Braunschweig des Vereins der deutschen Chemiker.)

(Eingeg. am 26. April 1929.)

Als Pflanzenkrankheiten im weitesten Sinne bezeichnen wir jede Abweichung vom normalen Verlauf der Lebensvorgänge, die in der Art stattfindet, daß die Entwicklung der Pflanzen ungünstig beeinflußt wird. Als Ursache von Pflanzenkrankheiten kommen daher sowohl anorganische Faktoren wie auch Krankheitserreger in Frage. Die anorganischen Ursachen sind entweder physikalischer oder chemischer Natur; wenn Klima oder Boden den jeweiligen Ansprüchen des pflanzlichen Organismus nicht entsprechen, so kommt es zu einer schlechteren oder auch typisch krankhaften Entwicklung der Pflanze. Soweit es sich um schädliche klimatische Einflüsse handelt, lassen sich chemische Mittel nicht oder nur in ganz beschränktem Umfange als Schutzmittel anwenden. Anders steht es bei Bodeneinflüssen, wo wir durch die Art der Düngung die Möglichkeit haben, innerhalb weiter Grenzen die Bodenverhältnisse den Ansprüchen der Pflanze anzupassen. In erster Linie ist hier die Regulierung der Bodenreaktion durch Düngemittel, insbesondere durch Kalk, zu erwähnen, wobei wir allerdings nicht von Pflanzenschutzmitteln im eigentlichen Sinne zu sprechen pflegen.

Für den Chemiker sind diejenigen Pflanzenkrankheiten, welche durch parasitäre Erreger pilzlicher oder tierischer Art verursacht werden, deshalb von besonderem Interesse, weil die Möglichkeit besteht, diese Krankheiten weitgehend durch die Anwendung chemischer Mittel zu bekämpfen. Bei allen Infektionskrankheiten können wir grundsätzlich zwischen Allgemeinerkrankungen und lokalen Infektionen bzw. Schädigungen unterscheiden, wobei allerdings von vornherein festgestellt werden muß, daß bei Pflanzenkrankheiten die Schädigungen fast stets, wenigstens zunächst, lokaler Natur sind. Die Parasiten infizieren niemals gleichzeitig die ganze Pflanze, sondern greifen zunächst nur irgendwelche Pflanzenteile an. Sind diese Einzelangriffe außerordentlich zahlreich, so kommt es natürlich auch zu einer allgemeinen Schwächung oder Erkrankung des ganzen Organismus. Werden durch den Angriff der Parasiten lebenswichtige Teile, z. B. das Gefäßsystem der Pflanze, getroffen, so können andere Pflanzenteile, deren Ernährung durch die Vernichtung des Gefäßsystems gestört wird, ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen werden. Grundsätzlich aber ist daran festzuhalten, daß alle parasitären Pflanzenkrankheiten schließlich lokal begrenzt sind.

Auf diesen Punkt ist besonders Wert zu legen, wenn wir einen Einblick in das Wesen der chemischen Pflanzenschutzmittel gewinnen wollen. Es liegt natürlich nahe, Pflanzenkrankheiten mit den Erkrankungen des tierischen und menschlichen Organismus zu vergleichen. Bei einem solchen Vergleich ist aber unter allen Umständen zu berücksichtigen, daß zwischen den Krankheitserscheinungen bei Pflanze und Tier grundsätzliche Unterschiede vorliegen, welche sich natürlich auch in der Auswahl und in der Anwendung derjenigen chemischen Stoffe äußern müssen, welche zur Bekämpfung der einzelnen Krankheiten dienen.

Wir hatten bereits gesehen, daß Pflanzenkrankheiten zunächst stets lokaler Natur sind, während es sich bei

Erkrankungen tierischer Organismen weitgehend um Allgemeinerkrankungen handelt. Dieser Unterschied wird dadurch bedingt, daß nur der tierische Organismus durch den Blutkreislauf ausgezeichnet ist, so daß eingedrungene Krankheitskeime durch das Blut leicht im ganzen Körper verbreitet werden können. Der pflanzliche Organismus entbehrt des Blutkreislaufes. Gewiß haben wir auch bei der Pflanze Leitungsbahnen, welche den ganzen Organismus durchziehen und für den Stoffwechsel der Pflanze von größter Wichtigkeit sind. In diesen Leitungsbahnen werden aber nur Wasser und die im Wasser gelösten Nährsalze oder aber Lösungen organischer Stoffe transportiert, die von einem Teil der Pflanze zu einem anderen Teil überführt werden müssen. Auch nicht im entferntesten können wir diesen Stofftransport mit dem Blutkreislauf des tierischen Organismus in unmittelbaren Vergleich setzen.

Dieser grundsätzliche Unterschied zwischen Pflanze und Tier erklärt uns zunächst die Tatsache, daß Allgemeinerkrankungen des ganzen Organismus bei der Pflanze durch Verschleppung der Keime in den Leitungsbahnen nicht oder kaum vorkommen; er erklärt uns weiter auch die ganz verschiedenartige Anwendungs- und Wirkungsweise chemischer Mittel bei der Bekämpfung von Tier- und Pflanzenkrankheiten.

Bei Infektionskrankheiten des tierischen Organismus spielt heute die serologische Behandlung eine überaus wichtige Rolle, sei es, daß es sich um eine passive Immunisierung durch Einführung von Antikörpern in die Blutbahn handelt, sei es, daß der Weg der aktiven Immunisierung eingeschlagen wird, indem abgeschwächte Krankheitskeime in die Blutbahn gebracht werden, worauf dann erst die Bildung der Antikörper einsetzt. Auf dem Gebiete der Pflanzenkrankheiten ist eine Bekämpfung und Heilung auf serologischem Wege unmöglich. Alle bisherigen Versuche, dieses Ziel zu erreichen, sind fehlgeschlagen. Sie mußten ergebnislos bleiben, weil die Pflanze des Blutkreislaufes entbehrt und in ungleich geringerem Maße eine organische Einheit darstellt als das Tier; die Selbständigkeit der einzelnen Zellen, aus denen sich der pflanzliche Organismus zusammensetzt, ist eben eine weit größere als diejenige der tierischen Zellen.

Die Anwendung von chemischen Heilmitteln erfolgt bei Erkrankungen des tierischen und menschlichen Organismus so, daß diese Heilmittel in irgendeiner Weise, sei es per os oder durch Injektion oder aber auch durch äußeres Auftragen dem Organismus einverleibt werden. Bei der Pflanze ist ein solcher Weg nicht oder nur in ganz beschränktem Umfang gangbar. Die pflanzlichen Zellen haben ein ausgeprägtes Wahlvermögen und nehmen daher nur diejenigen Stoffe auf, die normalerweise für ihre Ernährung von Wichtigkeit sind. Es ist daher außerordentlich schwer, chemische Heilmittel in das Innere einer Pflanze einzuführen, wenn man nicht gerade den Weg wählt, solche Stoffe in die Leitungsbahnen und in das Gewebeinnere zu injizieren oder durch andere Wunden eindringen zu lassen. Wenn wir die innere Aufnahme zu Heilzwecken als innere Chemo-

therapie bezeichnen, so spielt diese also bei der Heilung tierischer und menschlicher Krankheiten eine außerordentliche Rolle, fällt aber bei Pflanzenkrankheiten so gut wie ganz fort. Neuerdings sind zwar Versuche gemacht, auch Pflanzenkrankheiten auf dem Wege der inneren Chemotherapie zu bekämpfen. Diese Versuche haben aber bis jetzt zu keinem nennenswerten Erfolg geführt und werden auch schwerlich jemals praktische Bedeutung erlangen; es wird kaum möglich sein, etwa die einzelnen Individuen eines ganzen Getreidefeldes künstlich innerlich mit chemotherapeutischen Stoffen zu versorgen. Nur bei großen und wertvollen Pflanzen, wie z. B. bei Obstbäumen, könnte man überhaupt daran denken, durch innere Darreichung von chemischen Stoffen das Verhalten dieser Pflanzen gegenüber Parasiten zu beeinflussen.

Wir sehen also, daß bei der Bekämpfung oder zur Heilung von Pflanzenkrankheiten auf chemischem Wege wesentlich größere Schwierigkeiten vorliegen als bei Tierkrankheiten. Da chemische Mittel von der Pflanze im allgemeinen nicht freiwillig aufgenommen werden, und da die zwangsläufige Aufnahme in das Innere praktisch meist nicht durchführbar ist, kann es sich nur um die äußerer Anwendungsmöglichkeit handeln. Daraus folgt, daß die chemischen Mittel, die wir zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten anwenden können, in der Hauptsache oder ausschließlich rein äußerlich wirksame Mittel sind. Diese äußerlich wirkenden Mittel sind natürlich nicht imstande, Krankheitserreger im Innern der Pflanze maßgeblich zu beeinflussen. Sie können daher nur einen prophylaktischen Wert besitzen, indem sie dem Eindringen der Krankheitserreger in das Innere vorbeugen. Daher sprechen wir auch nicht von chemischen Pflanzenschutzmitteln, sondern wir reden von Pflanzenschutzmitteln bei denjenigen chemischen Stoffen, welche zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten bestimmt sind.

Das Problem der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten auf chemischem Wege muß also davon ausgehen, Mittel zu finden, welche bei äußerer Anwendung auf die Pflanzen die an die Oberfläche der Pflanzen gelangenden Parasiten entweder direkt abtöten oder ihre Entwicklung hemmen. Es ist einleuchtend, daß auch hierbei Art und Anwendung der Pflanzenschutzmittel von der Natur, der Lebensweise und der Verbreitung der Parasiten in ganz besonderem Maße abhängig sind. In wie hohem Maße dieses der Fall ist, sehen wir am besten, wenn wir einige Beispiele von Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung pflanzlicher und tierischer Parasiten kurz besprechen.

Was zunächst pflanzliche, also vor allem pilzartige Krankheitserreger anbetrifft, so haben die praktischen Erfahrungen schon seit langem gezeigt, daß oft auch verhältnismäßig nah verwandte Parasiten den Gebrauch verschiedenartiger Pflanzenschutzmittel erforderlich machen. Die sogenannten falschen Meltaupilze, zu denen der falsche Meltaupilz des Weines und der Rübe sowie vor allem der Erreger der Krautfäule der Kartoffel, *Phytophthora infestans*, gehören, werden durch Kupfermittel bekämpft. Da die Wirkung des reinen Kupfersulfates Verbrennungen der Pflanzen nach sich zieht, gebraucht man zweckmäßig eine Kombination von Kupfervitriol und Kalk, die unter dem Namen „Bordelaiser Brühe“ bekannt ist.

Im Gegensatz zu den falschen Meltaupilzen wird zur Bekämpfung der echten Meltaupilze, die der Familie der Erysiphaceen angehören, Schwefel verwendet. Die Wirksamkeit der Schwefelpräparate steigt mit der Feinheit der Verteilung; die neueren Schwefel-

präparate sind daher kolloidaler Natur. Während man früher der Ansicht war, daß die unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen einsetzende Bildung von schwefliger Säure die fungizide Wirkung bedingt, nehmen wir heute an, daß schwache Schwefeldämpfe entstehen, welche die Keimung der Meltausporen und damit eine Neuinfektion verhindern. Denn sowohl Kupferkalk als auch Schwefel wirken weniger abtötend, als vielmehr entwicklungs-hemmend, indem die durch Windströmungen oder in anderer Weise auf die Pflanzen gelangenden Krankheitskeime an ihrer weiteren Entwicklung, insbesondere an der Keimung gehindert werden.

Weitere Beispiele von Pflanzenkrankheiten, die durch chemische Mittel bekämpfbar sind, stellen die Brandpilze dar. Bei den meisten Brandpilzen erfolgt die Infektion in der Weise, daß auf dem Felde oder erst später bei der Ernte oder beim Drusch die Sporen dieser Pilze an das Saatgut gelangen; sie keimen dann gleichzeitig mit dem Korn dort aus und infizieren nunmehr die vorher gesunde Pflanze. Da sich im weiteren Verlauf der Erkrankung bestimmte Pflanzenteile in schwarze, staubförmige Massen verwandeln, werden diese Pilze als Brandpilze bezeichnet. Die Bekämpfung dieser Pilze erfolgt am einfachsten durch Behandlung des Saatgutes mit chemischen Mitteln, wodurch die dem Saatgut anhaftenden Sporen abgetötet oder doch in ihrer Entwicklung gehemmt werden, ohne daß die Keimfähigkeit des Saatgutes leidet. Je nachdem, ob das Saatgut in die fungizide Flüssigkeit getaucht oder damit besprengt wird, oder aber ob staubförmige Mittel in Anwendung kommen, sprechen wir von Tauchbeize, Benetzungsbz. und Trockenbeize. Bei den beiden erstgenannten Verfahren erfolgt der eigentliche Beizvorgang, d. h. das Abtöten der Krankheitskeime, während der Beührung des Saatgutes mit der Beizflüssigkeit. Bei den Trockenbeizen setzt das Abtöten bzw. die Entwicklungshemmung der Sporen erst nach der Aussaat im Erdboden ein, wenn die Bodenfeuchtigkeit die trocken aufgebrachten Mittel löst. Das älteste chemische Beizmittel stellt das Kupfersulfat dar, das aber besser nicht rein, sondern wegen der sonst zu beobachtenden Schädigung ebenfalls in Verbindung mit Kalk, also als Kupferkalkbrühe, angewendet wird. Auch heute noch wird Kupfervitriol als Beizmittel angewendet, obwohl es längst durch bessere Mittel überholt ist. Rein geschichtlich schließt sich an das Kupfervitriol die Entdeckung des Formaldehyds als Beizmittel an, der jedoch bei vielen Brandkrankheiten bald nicht mehr in Frage kam, weil sich auch hier oft starke Schädigungen des Saatgutes herausstellten; auch ist die Wirkung des Formaldehyds gegen gewisse Krankheitskeime nur unvollkommen. Nur bei der Bekämpfung des Haferflugbrandes hat Formaldehyd heute noch praktische Bedeutung.

Unsere modernen Beizmittel sind in der Hauptsache Quecksilberbeizmittel. Das älteste ist das von Hiltner vorgeschlagene Sublimat, während die neueren Mittel, wie Uspulon und Germisan, ausnahmslos organische Quecksilberverbindungen darstellen. Außer den Quecksilber- sind neuerdings auch Arsenverbindungen mit Erfolg als Saatbeizmittel verwendet.

Die Behandlung des Saatgutes erfolgte früher ausschließlich zur Bekämpfung der schon erwähnten Brandkrankheiten. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß noch eine ganze Anzahl anderer Krankheiten durch Keime am Saatgut verbreitet wird, so daß der Beizung heute eine viel größere und allgemeinere Bedeutung zukommt, als wir es früher gehabt haben. Von solchen außerordentlich wichtigen Krankheiten, die sich durch Beizung er-

folgreich bekämpfen lassen, ist in erster Linie der Schneeschimmel des Roggens zu erwähnen, der sich in starken Wintern vor allem unter der Schneedecke reichlich entwickeln und ganze Felder zum Absterben bringen kann. Weitere Beispiele von Krankheiten, die sich durch Saatgutbeizung bekämpfen lassen, sind die Streifenkrankheit der Gerste, die Brennfleckenerkrankheit der Bohne und Erbse sowie viele Keimlingskrankheiten anderer Samen. Es mußte daher naheliegen, die Beizmittel so zu gestalten, daß man mit dem gleichen Beizmittel die verschiedenen Krankheiten gleichzeitig bekämpfen kann. In dieser Hinsicht sind die Quecksilberbeizmittel unzweifelhaft die universellsten. Kupfervitriol und Formaldehyd wirken in erster Linie nur gegen die Brandkrankheiten, während es ohne weiteres gelingt, durch Quecksilberbeizmittel und zum Teil auch durch Arsenverbindungen nicht nur die Brandkrankheiten, sondern auch den Schneeschimmel und die Streifenkrankheit erfolgreich zu bekämpfen.

Alle eben erwähnten Pflanzenschutzmittel, die gegen pilzliche Krankheiten angewendet werden, haben das übereinstimmende Merkmal, rein äußerlich zu wirken, d. h. die an der Oberfläche des Kornes bzw. der Blätter und Stengel befindlichen Krankheitskeime abzutöten oder zu hemmen. Sind die Krankheitskeime in das Innere der Pflanze eingedrungen, genügt diese äußere Behandlung nicht. Aus diesem Grunde ist es bisher auch nicht gelungen, gewisse Krankheiten, die durch Keime im Innern der Pflanze verbreitet werden, durch äußere Behandlung mit fungiziden Stoffen zu beseitigen. Hier müssen andere Wege, vor allem solche physikalischer Natur, eingeschlagen werden. Bei der Bekämpfung derjenigen Keime, welche z. B. im Innern von Getreidekörnern vorhanden sind, wird mit Erfolg die Warmwasserbehandlung angewendet, indem das Saatgut auf eine bestimmte Zeit und in ganz bestimmter Weise in warmem Wasser von etwa 50° gebadet wird. Da die Empfindlichkeit der inneren Krankheitskeime gegen Temperaturen anscheinend größer ist als diejenige der Zellen des Getreidekornes, so gelingt es, diese Keime zu beseitigen und so aus infiziertem Saatgut gesunde Pflanzen zu erzielen.

Genau so vielseitig und je nach der Art der Krankheitserreger verschieden sind auch diejenigen Pflanzenschutzmittel, die wir zur Bekämpfung tierischer Schädlinge anwenden. In erster Linie handelt es sich hier um Vergiftungsmittel, die als Fraßgifte von den tierischen Parasiten aufgenommen werden, also um Mittel, die vor allem auch als Magengifte den tierischen Organismus schädigen. Sie werden entweder aufgespritzt oder trocken aufgestäubt. Das Ausgangsmaterial der meisten Vergiftungsmittel stellt das Arsen dar, wobei erwähnt sei, daß Bleiarseniate von der Verwendung ausgeschlossen sind, weil die Gefahr von Bleivergiftungen für andere Organismen, insbesondere auch für den Menschen selbst, zu groß ist. Man hat auch vielfach, und mit Erfolg, versucht, diese Arsenpräparate, die zur Bekämpfung tierischer Schädlinge dienen, mit Kupferpräparaten, welche zur Bekämpfung der Meltaupilze verwendet werden, zu verbinden. Das Nosprasan stellt ein solches Kombinationsprodukt dar, das im Weinbau zur gleichzeitigen Bekämpfung des Heu- und Sauerwurms sowie des falschen Meltaus viel verwendet wird.

Die Anwendung von Fraßgiften ist dann ohne weiteres möglich, wenn tierische Parasiten ganze Pflanzenteile fressen. Wir finden nun aber gerade bei den in erster Linie in Frage kommenden Insekten sehr oft eine ganz andere Nahrungsaufnahme. Viele Insekten, wie

z. B. die bekannten Blattläuse, fressen die Pflanzenteile nicht an, sondern durchbohren nur mittels eines feinen Saugrüssels die Oberhaut der Pflanzen und entnehmen so den lebenden Zellen bzw. dem Zellinhalt der angebohrten Zellen die Stoffe, deren sie zu ihrer Ernährung bedürfen. Da die äußerlich auf die Oberfläche der Pflanzen aufgetragenen Gifte nicht in das Innere der Zellen eindringen, so ist eine Vergiftung dieser Insekten durch Fraßgifte nicht möglich. Hier müssen andere Wege zur Bekämpfung eingeschlagen werden. Wir verwenden entweder Kontaktgifte, die so wirken, daß sie durch die Oberhaut der Insekten in das Innere gelangen und die Insekten abtöten. Hierin gehören z. B. Nicotinlösungen und von pulverförmigen Stoffen das Nitrophenol, das unter dem Namen Eklatin ein bekanntes Mittel gegen Erdflöhe darstellt. Weiter können wir solche Mittel gebrauchen, welche die oberflächlich liegenden zahlreichen Atemöffnungen der Insekten verstopfen und die Insekten damit zum Ersticken bringen. Seifen- und Petroleum-Emulsionen wirken meist durch Behinderung der Atmung. Schließlich können wir auch besondere Atemgifte, die gasförmig zur Anwendung kommen, mit Erfolg benutzen. In dieser Hinsicht sind besonders der Schwefelkohlenstoff und die Blausäure zu erwähnen. Grundbedingung für die Anwendung dieser Mittel ist die Behandlung der Pflanzen oder Pflanzenteile in abgeschlossenen Räumen. Bei der Bekämpfung der Schildläuse im Apfelsinenbau wird so vorgegangen, daß man die ganzen Apfelsinenbäume unter große Zelte bringt, in deren Innerem die Blausäure entwickelt wird. Man kann sich hier entweder des sogenannten Bottichverfahrens bedienen, bei welchem die Blausäure durch Hineinwerfen von Cyanatrium in verdünnte Schwefelsäure erzeugt wird, oder des sogenannten Zyklonverfahrens, bei dem Kieselgur, die mit flüssiger Blausäure getränkt ist, ausgestreut wird, worauf nunmehr wieder Blausäure frei wird. Für Durchgasungen von Gewächshäusern hat sich in den letzten Jahren auch bei uns das Calciumcyanid sehr rasch eingebürgert. Dieses hat den großen Vorzug, verhältnismäßig ungefährlich in der Handhabung zu sein, weil die Blausäure nur sehr allmählich und langsam abgegeben wird.

Bei allen Pflanzenschutzmitteln handelt es sich also zunächst darum, Stoffe zu finden, welche die Parasiten abtöten bzw. so weit schädlich beeinflussen, daß ihre Weiterentwicklung gehemmt wird. An sich können wir natürlich diesen Zweck mit den verschiedensten Mitteln erreichen, die aber deshalb zum großen Teil nicht anwendbar sind, weil sehr häufig schädliche Nebenwirkungen auf die mit diesen Mitteln zu behandelnden Pflanzen vorliegen. Es handelt sich also bei jedem Pflanzenschutzmittel nicht nur darum, die Parasiten abzutöten oder zu hemmen, vielmehr muß auch stets die weitere Bedingung erfüllt sein, daß diese Mittel innerhalb der anzuwendenden Konzentrationen für die Pflanze unschädlich sind.

Wir müssen also bei der Bewertung chemischer Pflanzenschutzmittel die gleichen Begriffe einführen, auf Grund deren Ehrlich seinerzeit die planmäßige chemotherapeutische Untersuchung von Heilstoffen für den tierischen und menschlichen Organismus durchgeführt hat, d. h. wir müssen die Dosis curativa (c) und die Dosis tolerata (t) bestimmen und daraus den chemotherapeutischen Index berechnen, der als Maßstab der Brauchbarkeit eines Mittels dient. Unter der Dosis curativa verstehen wir diejenige Konzentration eines Mittels, die gerade ausreichend ist, um den Parasiten abzutöten oder doch genügend zu hemmen. Die Dosis tolerata, auch Dosis toxicum genannt, stellt

diejenige Konzentration dar, welche von dem zu behandelnden Organismus, in unserem Falle also von der Pflanze, gerade noch vertragen wird, ohne daß nennenswerte Schädigungen auftreten. Der Quotient $\frac{c}{t}$ ist der schon erwähnte chemotherapeutische Index, der bei allen brauchbaren Präparaten kleiner als 1 sein muß.

Wenn wir von diesem Gesichtspunkt aus beliebige chemische Präparate auf ihre Brauchbarkeit als Pflanzenschutzmittel prüfen, so zeigt sich, daß diejenigen Präparate, deren chemotherapeutischer Index kleiner als 1 ist, in verhältnismäßig geringer Zahl vorhanden sind. Wir sehen vor allem, daß unsere modernen Desinfektionsmittel, welche bei entsprechender Stärke die Entwicklung aller Krankheitskeime unterbinden, deshalb zu Pflanzenschutzzwecken meist nicht brauchbar sind, weil sie gleichzeitig stark schädigend auf die Pflanzen einwirken. Auch Konservierungsmittel wie Fluor-Verbindungen scheiden weitgehend als Pflanzenschutzmittel aus, weil sie die behandelten Pflanzen zu stark angreifen.

An sich erscheint die chemotherapeutische Prüfung von Pflanzenschutzmitteln auf Grund der eben dargelegten Begriffe verhältnismäßig einfach. Sie gestaltet sich jedoch in der Praxis aus verschiedenen Gründen recht schwierig. Es hat sich nämlich gezeigt, daß der Quotient $\frac{c}{t}$ ebenso wie die absoluten Werte der Dosis curativa und der Dosis tolerata weitgehend von äußeren Verhältnissen und von der Prüfungsmethodik abhängen. Während wir bei der Auswertung chemischer Präparate zu tier- und humanmedizinischen Zwecken insoweit verhältnismäßig einfach arbeiten können, als wir diese Mittel in den jeweils gewünschten Konzentrationen dem infizierten oder kranken Organismus einzuverleiben und nunmehr die Wirkung auf Tier und Parasiten festzustellen vermögen, liegen bei der chemotherapeutischen Bewertung von Pflanzenschutzmitteln deshalb wesentlich kompliziertere Verhältnisse vor, weil die Anwendung der Pflanzenschutzmittel im einzelnen außerordentlich verschieden ist; vor allem aber müssen wir hier von Fall zu Fall die Frage prüfen, ob die laboratoriumsmäßigen Bedingungen in ausreichendem Maße den Verhältnissen der Praxis entsprechen. Am genauesten ist das chemotherapeutische Verhalten der erwähnten Beizmittel geprüft, indem man einerseits die Wirkung dieser Mittel auf die Krankheitserreger, vor allem auf die Brandpilze, andererseits auf die Getreidekörner untersucht. Wenn wir aber auf Grund dieser Feststellungen den Versuch machen würden, eine bestimmte Konzentration als für die Praxis geeignet vorzuschreiben, so würden sich hier ganz unerwartete Schwierigkeiten ergeben, indem sich vor allem Adsorptionserscheinungen außerordentlich störend und in unübersichtlicher Weise bemerkbar machen. Wenn wir Getreidekörner, denen äußerlich pilzliche Krankheitskeime anhafteten, in einer fungiziden Lösung beizeien, so hängt das Ergebnis auf den Parasiten, also die fungizide Wirkung, davon ab, daß die wirksame Substanz nicht unnötig rasch von der Oberfläche der Körner absorbiert und dadurch inaktiviert wird. Diese Adsorptionsvorgänge können wir aber durch eine getrennte Bestimmung der Dosis curativa und Dosis tolerata nicht ohne weiteres erfassen. Noch auf ein weiteres Moment muß hingewiesen werden; die Prüfung der fungiziden Wirkung auf Pilzsporen erfolgt in der Weise, daß die behandelten Pilzsporen auf Nährboden ausgesät und auf Keimverhalten geprüft werden. Das Keimverhalten hängt seinerseits wieder weitgehend von dem Substrat, insbesondere auch von der Reaktion des Substrates ab. Behandeln wir z. B.

Steinbrandsporen mit Kupfersulfatlösungen und säen die Sporen dann auf Wasser aus, so sehen wir, daß schon ganz minimale Kupfermengen jegliche Sporenkeimung unterdrücken. Die Dosis tolerata scheint also außerordentlich tief zu liegen. Wiederholen wir diesen Versuch, indem wir statt des destillierten Wassers gewöhnlichen Erdboden als Substrat verwenden, so erfolgt auch noch dann eine volle Keimung, wenn die Beizung mit sehr hohen Konzentrationen von Kupfersulfat vorgenommen war. Diese Unterschiede erklären sich so, daß die Sporen gewisse Mengen Kupfer adsorbieren, die dann bei Aussaat in Erde wieder gelöst werden und herausdiffundieren. Die fungizide Wirkung des Kupfersulfates hängt also von den Bedingungen ab, unter denen die Sporen oder das mit Sporen behaftete Saatgut später zur Aussaat gelangt.

Die vorstehenden Ausführungen sollen nur einen kleinen Begriff von den Schwierigkeiten geben, die sich bei der wissenschaftlichen und laboratoriumsmäßigen chemotherapeutischen Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere der Beizmittel, ergeben. Daneben müssen noch weitere Momente, wie die Haftfähigkeit und Geschwindigkeit der Einwirkung, sowie die Möglichkeit einer späteren Nachwirkung, berücksichtigt werden, wenn man auf die praktische Brauchbarkeit eines Mittels Rückschlüsse ziehen will. Wir können daher auch heute nicht davon absehen, neben der laboratoriumsmäßigen chemotherapeutischen Auswertung der Pflanzenschutzmittel praktische Versuche, also Feldversuche, in vollem Umfange durchzuführen. Die Prüfung eines Pflanzenschutzmittels zerfällt somit in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Die theoretisch und laboratoriumsmäßig durchgeführte Untersuchung erfolgt durch Feststellung der Wirkung des betreffenden Stoffes einerseits auf den Parasiten, andererseits auf die Pflanze; sie zeigt, ob überhaupt Aussicht besteht, das fragliche Mittel als Pflanzenschutzmittel gegen den betreffenden Parasiten zu gebrauchen. Nach erfolgter laboratoriumsmäßiger Prüfung und Feststellung der Dosis curativa und Dosis tolerata ist dann der Nachweis für die praktische Verwertbarkeit des Mittels durch Feldversuche besonders zu erbringen. Unsere modernen Pflanzenschutzmittelfabriken nehmen heutzutage in ihren eigenen Laboratorien und auf ihren eigenen Versuchsfeldern beide Prüfungen in der angegebenen Reihenfolge vor. Die Ergebnisse werden durch entsprechende Untersuchungen in den Pflanzenschutzstellen und in der Mittelpfüstelle der Biologischen Reichsanstalt kontrolliert. Wenn die hier vorgenommene Nachprüfung die Wirksamkeit eines Mittels bestätigt hat, wird dieses in die Liste der amtlich empfohlenen Pflanzenschutzmittel aufgenommen.

Nicht für alle Pflanzenkrankheiten ist es bisher gelungen, gut wirkende chemische Pflanzenschutzmittel zu finden. In anderen Fällen kann man wohl durch Laboratoriumsversuche nachweisen, daß es chemische Stoffe gibt, die sich zur Bekämpfung eignen, ist aber aus grundsätzlichen Erwägungen und praktischen Gründen nicht in der Lage, diese Stoffe im Pflanzenbau anzuwenden. Ein bekanntes Beispiel dieser Art stellen die Rostpilze dar, die erfahrungsgemäß die Getreideernten mehr oder minder stark schädigen. Es gelingt ohne weiteres, die Rostsporen, welche durch die Luft verbreitet werden und auf die Blätter der Getreidepflanzen auffallen, durch Bestäuben mit chemischen Stoffen, z. B. Schwefelpräparaten, an der Keimung zu hindern und damit eine Infektion auszuschließen. Es erscheint aber sehr zweifelhaft, ob diese Art der Bekämpfung jemals praktische Bedeutung erlangen wird, weil es kaum möglich

sein dürfte, Getreidefelder, vor allem in späteren Entwicklungsstadien, in geeigneter Weise zu bestäuben.

Eine besonders schwierige Frage stellt das Problem der Bodensterilisation dar. Einige sehr wichtige Pflanzenkrankheiten, vor allem der Kartoffelkrebs, werden in der Weise verbreitet, daß die im Boden befindlichen Keime eine ständige Infektionsquelle darstellen, so daß aus gesundem Saatgut kranke Pflanzen hervorgehen. Im Gewächshaus und in Mistbeeten lässt sich der Boden so weit chemisch sterilisieren, daß eine Ansteckungsgefahr vermieden wird. Im gärtnerischen und landwirtschaftlichen Pflanzenbau aber ist eine solche Bodensterilisation undurchführbar, weil die anzuwendende Menge von Chemikalien in keinem Verhältnis zu dem Wert der landwirtschaftlichen Produktion stehen würde; hier versagen also chemische Mittel aus wirtschaftlichen Gründen. Wir müssen uns in anderer Weise helfen. Was den eben erwähnten Kartoffelkrebs betrifft, gelingt es, durch Anbau widerstandsfähiger Sorten einen gesunden Feldbestand zu erzielen; die Frage der Immunitätszüchtung, d. h. der Erzielung resisterenter Sorten, hat also für diejenigen Fälle höchste praktische Bedeutung, in denen eine direkte Bekämpfung durch chemische Mittel aus den erwähnten Gründen versagt.

Ganz neue Wege in der Bekämpfung von Bodenschädlingen hat man neuerdings in der Nematodenfrage eingeschlagen. Die Rübenematode ist in vielen Rübenbaugegenden außerordentlich stark verbreitet, so daß sie eine ernste Gefahr für den Rübenbau darstellt. Es hat sich nun gezeigt, daß die Dauerzustände oder Zysten der Nematoden durch gewisse Stoffe zu einer vorzeitigen Entwicklung gebracht werden können. Wenn wir diese Stoffe, zu denen z. B. Chlorkalk gehört, in den Boden bringen, so werden die im Boden vorhandenen Zysten aktiviert. Wenn wir dann dafür sorgen, daß nach dieser Behandlung der Anbau von solchen Pflanzen, die den betreffenden Nematoden als Nährpflanze dienen können, unterbleibt, gehen die aus den Zysten hervorgegangenen Schädlinge zugrunde. Wir bezeichnen dieses Verfahren,

das neuerdings von verschiedenen Seiten sehr empfohlen wird, als Aktivierungsmethode.

Im übrigen aber wird, wie schon erwähnt, in den Fällen, in denen wir eine unmittelbare Bekämpfung der Parasiten durch chemische Mittel nicht vornehmen können, der Anbau widerstandsfähiger Sorten eine entscheidende Rolle spielen. Worauf diese Widerstandsfähigkeit beruht, ist natürlich schließlich ebenfalls eine chemische Frage, die aber mit der Frage der chemischen Pflanzenschutzmittel nicht im Zusammenhang steht, da die Resistenz durch ganz andere Momente bedingt wird als die Wirksamkeit der chemischen Pflanzenschutzmittel.

Bei der Verwendung chemischer Pflanzenschutzmittel spielt naturgemäß auch die Frage der Wirtschaftlichkeit eine besondere Rolle. Auch in dieser Hinsicht liegen bei der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten größere Schwierigkeiten vor als bei der Bekämpfung und Heilung tierischer und menschlicher Erkrankungen, vor allem deshalb, weil das einzelne Pflanzenindividuum einen ungleich geringeren Wert darstellt als etwa ein Haustier. Wenn der Ertrag der einzelnen Getreidepflanze nur den winzigen Bruchteil eines Pfennigs beträgt, müssen die zur Sicherung oder Erhöhung des Ertrages je Pflanze für Pflanzenschutzmittel aufzuwendenden Kosten noch geringer sein. Daher stellen wirtschaftliche Erwägungen weitgehend einen begrenzenden Faktor bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln dar, so daß sich solche Mittel in extensiven Betrieben vielfach überhaupt nicht lohnen. Je intensiver die Wirtschaft, um so eher kann man auch zu kostspieligen Pflanzenschutzmitteln übergehen.

Die weitere Entwicklung der chemischen Pflanzenschutzmittelindustrie hängt also in erster Linie von wirtschaftlichen Erwägungen ab. In der Ausarbeitung und der Neuschaffung von gut wirkenden Pflanzenschutzmitteln sind wir in den letzten Jahrzehnten sehr gut vorwärtsgekommen. Dieses Verdienst gebührt sowohl unseren wissenschaftlichen Instituten als auch, was einmal klar ausgesprochen werden muß, der Mitarbeit der chemischen Industrie, die sich in dieser Hinsicht als treue Helferin der Landwirtschaft erwiesen hat. [A. 89.]

Die Fortschritte in der organischen Chemie seit 1924. (Allgemeiner Teil.)

Von Dr. ERICH LEHMANN, Berlin.

Chemisches Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule.

(Eingeg. 15. Mai 1929.)

(Fortsetzung und Schluß aus Heft 34, S. 856.)

Inhalt: IV. Stereochemie. 1. Konfiguration. 2. Sterische Hinderung. 3. Rotation. 4. Racemisierung. 5. Ringsysteme.

5. Ringsysteme.

Als Maß für die Beurteilung der relativen Ringbeständigkeit hat man das Verhalten gegen Brom, Jodwasserstoff, Wasserstoff usw. benutzt. Drei- und Vierringe addieren diese Agenzien wie die Kohlenstoffdoppelbindung unter Ringöffnung, während Sechs- und Siebenringe nie von ihnen aufgespalten werden, sondern höchstens Ringerweiterung erfahren. Auf Grund seiner Studien über Muscon und Zibeton sowie über den Aufbau hochzahliger Kohlenstoffringe kommt L. Ruzicka¹⁰⁷⁾ zu der Ansicht, daß die Bäeyer'sche Spannungstheorie für höhengliedrige Ringe keine Gültigkeit besitzen könne. Die aus der Bäeyer'schen Theorie sich ergebende Ablenkung der Kohlenstoffvalenz beträgt beim Siebenring $-9^\circ 33'$ und ist annähernd gleich der des Vierrings mit $+9^\circ 44'$; die

Spannung des Dreirings mit $+24^\circ 44'$ sollte erst wieder beim Siebzehnring erreicht werden ($-24^\circ 41'$). Aus den Versuchen geht hervor, daß hochgliedrige Ringe bis C_{18} ebenso beständig sind wie die Fünf- und Sechsringe, denn es gelingt nicht, Ringsysteme von C_6 aufwärts nach Verfahren aufzuspalten, die zur Sprengung von Drei- und Vierringen dienen. Beim Vergleich der Dichten und Molekularvolumina der homologen, aliphatischen Verbindungen mit den entsprechenden cyclischen fällt auf, daß die Dichten in der aliphatischen Reihe mit steigendem Molekulargewicht fortlaufend zunehmen, während in der cyclischen Reihe ein Maximum erreicht wird, nach dessen Überschreitung wieder Abnahme eintritt. Die Molekularvolumina der cyclischen Verbindungen sind durchgängig kleiner als die der entsprechenden aliphatischen. Aus diesen Tatsachen ist zu schließen, daß der räumliche Bau niedriger Ringe von demjenigen höherer Ringe verschieden sein muß. Vom Sechsring an aufwärts müssen die Ringglieder auf mehr als eine Ebene

¹⁰⁷⁾ Helv. chim. Acta 9, 230, 249, 339, 399, 499, 715, 1008; 10, 680, 691; Chem. Ztrbl. 26, I, 3029 ff.; II, 184 ff.; II, 2967; 27, I, 998; II, 2450/51.