

## Zu Problemen der Insektensterilisation<sup>1</sup>

Von HEINZ ADAM

Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin,  
Deutsches Entomologisches Institut, Eberswalde

Mit der Entdeckung der insektiziden Wirksamkeit des DDT durch den Schweizer Chemiker Paul MÜLLER vor jetzt fast 30 Jahren war bekanntlich eine entscheidende Wende in der Praxis der Schädlingsbekämpfung eingetreten. Diese Entdeckung bildete gewissermaßen den Startschuß für eine stürmisch einsetzende Entwicklung, die in vielen Ländern zur Herausbildung mächtiger Industrieunternehmen führte. Sie bescheren uns gegenwärtig mit einer riesigen Zahl von chemischen Präparaten, die in der Schädlingsbekämpfung und im praktischen Pflanzenschutz durch ihre z. T. hervorragende und sichere Wirkung bei gleichzeitiger oft monatelanger Dauerwirkung zweifellos beeindruckende Erfolge zeigen.

Nun haben sich aber bekanntlich die an diese Entwicklung geknüpften zukunftsfrüchtigen Perspektiven oftmals als sehr zweifelhaft erwiesen, da die mit derartigen chemischen Präparaten anfänglich erzielten Erfolge fortwährend – z. B. durch die Herausbildung widerstandsfähiger Rassen und zahlreicher anderer Erscheinungen – beeinträchtigt werden.

Die daraufhin angewendeten Praktiken einer quantitativen und qualitativen Intensivierung der Bekämpfungsverfahren zog, wie zahlreiche Beispiele beweisen, weitere, in ihrer letzten Bedeutung nicht immer abzusehende Folgen nach sich, deren Auswirkung auf die spezifischen Beziehungsgefüge der Ökosysteme häufig noch unterschätzt wird.

Alles in allem zeigt schon diese grobe Skizze der Situation in der Schädlingsbekämpfung, daß die Methoden des vielfach wahllosen Totschlages, dessen wir uns seit der Steinzeit bis zum DDT oder E-605 vom Standpunkt des Biologen im Prinzip gleich gewissenlos, wenn auch laufend radikaler bedienen, keine ausreichenden Möglichkeiten bieten und z. B. im Rahmen des praktischen Pflanzenschutzes keinesfalls zur Lösung der Aufgaben führen, wie sie von seiten einer qualitätssteigernden Nahrungsgüterproduktion gestellt werden.

Auf der Suche nach neuen Wegen und Methoden einer biocöneschonenden Bekämpfung wirtschaftlich bedeutungsvoller Schadinsekten darf und kann es nicht das Ziel sein, herkömmliche Praktiken schlechthin durch neue zu ersetzen; deshalb wird den Verfahren, die für ihre Anwendung die genaue

<sup>1</sup> Vortrag, gehalten während des III. Entomologischen Symposiums zur Faunistik Mitteleuropas vom 23. bis 26. April 1968 in Görlitz.

Kenntnis der Biologie des Schädling und des spezifischen ökologischen Beziehungsgefüges als Voraussetzung haben, zukünftig die größte Bedeutung zukommen. Es ist meines Erachtens dabei völlig bedeutungslos, ob diesen neuen Methoden Bezeichnungen wie Harmonische, Nützlingsschonende, Integrierte oder Biologische Bekämpfung u. ä. zuerkannt werden.

Bedeutungsvoll ist lediglich, daß damit ein Prozeß bzw. eine Entwicklung gekennzeichnet wird, die ein Umdenken und ein völlig verändertes Herangehen an die oftmals so einseitig behandelte Problematik der Schädlingsbekämpfung beinhaltet, wobei das Ziel gestellt ist, das Schwergewicht angewandter entomologischer Forschung auf Verfahren auszurichten, die es erlauben, die Natur zu manipulieren.

Unter diesen Gesichtspunkten verdienen die Methoden, mittels spezifischer Sterilisierungsverfahren gefährliche Schädlingspopulationen zu dezimieren oder gar völlig auszurotten, besondere Aufmerksamkeit.

Die Möglichkeit der Sterilisierung von Insekten durch Röntgenstrahlen ist bereits schon seit 1916 bekannt. Etwa 1938 schlug der amerikanische Entomologe KNIPLING ihre Anwendung zur Schädlingsbekämpfung vor und unternahm ab 1950 eigene Versuche zur Bekämpfung der Schraubenwurmfliege *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel), die in einigen amerikanischen Staaten als gefährlicher Vieh- und Wildschädling auftritt und jährlich über 70 Millionen Dollar Viehverluste verursacht.

Die Weibchen dieser Fliegen, die etwa doppelt so groß wie unsere Hausfliegen sind, legen ihre Eier in die meist harmlosen Wunden der Tiere; die auskriechenden Larven, die sich von dem lebenden Fleisch ernähren, verursachen in der Folge ausgedehnte, oft tödliche Verwundungen. Nun ist in den oftmals riesigen Viehzuchtgebieten – beispielsweise von Texas – eine regelmäßige Kontrolle und Behandlung der einzelnen Tiere ebenso schwierig wie die erfolgreiche Anwendung von Insektiziden. Der einmalige Paarungsakt im Leben der Schraubenwurmfliege hingegen erwies sich für einen Angriff mit der sogenannten „Männchen-Sterilitäts-Methode“ als besonders günstig.

Nach einigen orientierenden Vorversuchen auf den Inseln vor Florida begann 1954 der erste Großversuch auf der 170 Quadratmeilen großen Insel Curaçao im Karibischen Meer. Zu dem ermittelten günstigsten Zeitpunkt wurden wöchentlich etwa 400 sterilisierte männliche und weibliche Fliegen pro 2,59 km<sup>2</sup> vom Flugzeug aus abgeworfen. Nach sieben Wochen waren die Populationen des Schädling so stark dezimiert, daß kein nennenswerter Schaden mehr auftrat; die Fortsetzung der Einsätze führte nach kürzester Zeit zur völligen Ausrottung des Schädling.

Nach diesem großartigen Erfolg wurden in den folgenden Jahren die Aktionen auf noch größere Areale in den Südstaaten der USA ausgedehnt. So gelang es innerhalb von 18 Monaten, den Schädling in einem Gebiet von 70 000 Quadratmeilen ebenfalls auszurotten. In diesem Zeitraum wurden wöchentlich etwa 50 Millionen sterilisierte Fliegen freigelassen.

Um derartige Mengen von Fliegen zu erhalten, wurde eine fabrikmäßig eingerichtete Massenzuchtanlage aufgebaut, in der beispielsweise für die Fütterung der Larven wöchentlich 40 t gehacktes Fleisch und 4 500 Gallonen Rinderblut bereitgestellt werden mußten.

Die Sterilisierung erfolgte im Puppenstadium des Schädlings mittels schwacher Gamma-Strahlen, wobei durch ständige Kontrollen laufend die notwendige Strahlendosis ermittelt wurde, die wohl Sterilität hervorruft, aber die Spermienmobilität, das normale Paarungsverhalten und die Lebensdauer der Fliegen nicht beeinträchtigt. Wenn überhaupt kein Sperma mehr produziert wird, können bekanntlich die Eier der weiblichen Fliegen immer noch durch natürliche, fertile Männchen befruchtet werden. Durch eine Befruchtung mit geschädigten Spermien der bestrahlten Männchen wird somit verhindert, daß andere, gesunde Spermien in die Eier eindringen, die sich dann wohl entwickeln, aber keine geschlechtsreifen Tiere entlassen.

Auf der Grundlage der hier kurz geschilderten Bekämpfungsaktion mit der „Männchen-Sterilitäts-Methode“ sind in den USA ähnliche Versuche bei der Tropischen Melonenfliege, der Orient- und Mittelmeerfliege – *Dacus dorsalis* (Hendel), *Ceratitis capitata* (Wiedemann) – sowie dem Baumwollkapselkäfer *Arthonomus grandis* (Bohemann) und in Kanada beim Apfelwickler *Laspeyresia pomonella* (L.) erfolgreich durchgeführt worden. In der letzten Zeit sind auch erfolgreiche Bekämpfungsaktionen bei Vorratsschädlingen (Korn- und Reismehlkäfer u. a.) bekannt geworden, wobei die entsprechenden Futtermittel einer schwach dosierten Gamma-Strahlung ausgesetzt wurden, die nachweislich keine Sekundärschäden verursachen soll.

Weiterhin führen die „Internationale Atomenergie-Organisation“ und die „Organisation für die Ernährung und Landwirtschaft der Vereinten Nationen“ in Mittelamerika und in Griechenland seit 1965 mit Hilfe der Strahlensterilisation ein dreijähriges Programm zur Bekämpfung von Fruchtfliegen, besonders der Olivenfruchtfliege *Dacus oleae*, durch, die in diesen Ländern einen Schaden von jährlich 82 Millionen Dollar verursachen.

Im Falle der *Dacus*-Fliege ist das Problem dadurch kompliziert, daß dieser Schädling ungeheuer zahlreich auftritt. So wurden in den von der Olivenfliege heimgesuchten Gebieten Griechenlands während der Hauptbrutzeit 50 000 *Dacus*-Weibchen pro Quadratmeile festgestellt. Einer der Gründe für dieses ständige Massenauftreten sind die vielen Möglichkeiten der Eiablage, die nicht wie bei der Schraubenwurmfliege vom Auffinden eines lebenden Tieres abhängt. Jede Olive ist ein geeignetes Objekt, in dem die *Dacus*-Fliegenlarven ihre entsprechende Nahrung finden und die Früchte schädigen oder völlig vernichten können. Ein *Dacus*-Weibchen legt insgesamt etwa 300 Eier, wobei fast ausschließlich jede Frucht nur einmal belegt wird. Auf Grund der raschen Entwicklung treten im Jahr zwei bis drei Generationen auf.

Um einen so rapiden Lebenszyklus in der Gefangenschaft nachzuahmen (die Sterilisierung ist ja nur eine Phase), ist eine stete Versorgung mit Millionen, mitunter sogar Milliarden von zur Aufzucht notwendigen gesunden Fliegen erforderlich. Infolgedessen muß auch ein dieser riesigen Produktion entsprechendes Medium, eine Art Olivenersatz, gefunden werden, das sich für die Eiablage eignet. Weiterhin muß in kurzen Zeitabständen eine große Überzahl steriler Männchen freigelassen werden können, um eine ausreichende Konkurrenz zu den normalen fertilen Männchen darzustellen. In Anbetracht der Tatsache, daß in den Mittelmeerländern fast ein Drittel aller Oliven an den Bäumen von der *Dacus*-Fliege zerstört wird, ist die Lösung der genannten Pro-

bleme unter Anwendung der „Männchen-Sterilitäts-Methode“ ein beachtlicher Erfolg für die moderne entomologische Forschung und bietet ein Beispiel für die friedliche und nutzbringende Anwendung der Atomenergie.

Der vielleicht wichtigste Kandidat für die Autozid-Methode ist die Tse-Tse-Fliege. In weiten Gebieten, insbesondere in Afrika, verhindert diese Insektenart jegliche Viehzucht, ganz abgesehen davon, daß sie als Überträger der tödlichen Schlafkrankheit für den Menschen auch heute noch sehr gefährlich ist. Bestimmte Arten der Tse-Tse-Fliegen können in England und in Portugal bereits so erfolgreich gezüchtet werden, daß sie in großen Mengen auch an andere Forschungsstellen geliefert werden können.

Nachdem sich Bestrahlungsversuche, die von Spezialisten der Atom-Energie-Behörde durchgeführt wurden, erfolgreich zeigten, dürfte die Anwendung der „Männchen-Sterilitäts-Methode“ bei der Tse-Tse-Fliege in abschbarer Zeit möglich sein.

So erfolgreich, vielversprechend und aussichtsreich auch die genannten Beispiele der Schädlingsbekämpfung mittels Radiosterilisation sein mögen, werden doch einige Schwächen bereits sichtbar:

Voraussetzung für einen Bekämpfungserfolg ist eine verhältnismäßig geringe Populationsdichte des Schädlings, da mehr bestrahlte Tiere ausgesetzt werden müssen, als in der Natur vorhanden sind. Der Schädling muß in großer Zahl kontinuierlich zu züchten sein; er muß sicher sterilisiert werden können, ohne daß durch die Bestrahlung eine Schwächung eintritt, die zu einem veränderten Verhalten führt. Die Weibchen sollen möglichst nur einmal kopulieren. Die freigelassenen Insekten dürfen selbst keine Schäden verursachen oder Krankheiten übertragen usw. Weil diese Bedingungen nicht immer vorliegen, gewinnen in zunehmendem Maße die Verfahren der Chemosterilisation an Bedeutung.

Gegenüber der Radiosterilisation weist die Verwendung sogenannter Chemosterilantien den Vorteil auf, daß sie noch gezielter, billiger und auch ungefährlicher sind. Diese Substanzen können die Fortpflanzung unterbinden:

1. durch Verhinderung der Entwicklung oder Reifung der Geschlechtszellen,
2. durch Abtötung der Eier oder Spermien im Organismus,
3. durch Schädigung des genetischen Materials, so daß die Entwicklung unterbleibt oder unterbrochen wird, obwohl Eier und Spermien normal erscheinen.

Für die Anwendung der Chemosterilantien bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten.

Man kann sie benutzen:

- a) als Ersatz für die Bestrahlung zum Zwecke der Sterilisation von in großen Mengen gezüchteter, für die Freilassung in befallenen Gebieten vorgesehener Insekten,
- b) zur Sterilisierung eines großen Teils der natürlichen Population unter Umgehung der Züchtung und Freisetzung großer Insektenzahlen.

In den USA, der Sowjetunion, Japan und anderen Ländern sind unter tausenden überprüfter Verbindungen bisher mehr als 90 Stoffe gefunden worden, die die Vermehrung von Insekten verhindern, darunter einige, die nur Weib-

chen sterilisieren. Bisher meistversprechend ist eine Gruppe von Äthylениminen, die sowohl männliche als auch weibliche Insekten unfruchtbar machen. Zu ihnen zählt das 1-Aziridinphosphormitril (Hexakis), mit dem man unter Zusatz eines Köders innerhalb von fünf Wochen praktisch alle Stubenfliegen einer kleinen Insel der Florida Keys ausrottete, während die Stubenfliege mit Insektiziden kaum noch erfolgreich zu bekämpfen ist.

Wenig erfreulich ist allerdings die hohe Warmblütertoxizität der bisher bekannten Chemosterilantien. Infolge ihrer geringen Stabilität sind Rückstandsprobleme aber kaum zu befürchten. Man unterscheidet zwei Gruppen von Sterilisierungsmitteln:

1. Stoffe, die einer von den Zellen in den Geweben benötigten Substanz ähneln und die sie in ihre normalen Aufbaureaktionen einzubeziehen versuchen (Antimetabolite, z. B. Purine und Pyrimidine; vorwiegend auf Weibchen wirkend);
2. auf die Chromosomen einwirkende Stoffe; alkylierende Stoffe, äußerst reaktionsfähig, schädigen die Chromosomen und lösen Mutationen aus (vor allem Aziridin-Verbindungen, z. B. Alphamid, Apholat, Aphoxid oder Tapa, Metepa, Thiotepa und Tretamin; bevorzugt auf Männchen wirkend).

Gegenwärtig wird eine dritte Gruppe mit toxikologisch günstigen Eigenschaften untersucht, zu der Hexamethylphosphoramid und Hexamethylmelamin gehören.

Besonders aussichtsreich sind die Chemosterilantien für Aktionen in begrenzten Arealen. Aber auch bei weiträumiger Verbreitung der Insekten oder starkem Wandertrieb der Schädlinge bestehen Möglichkeiten für eine auf genauere Kenntnis der Biologie der Schädlinge aufbauende, gezielte Anwendung, wenn die Insekten unter Verwendung spezifischer Lockstoffe geködert werden können oder bestimmte Ruheplätze bevorzugen.

Der Einsatz von Chemosterilantien sollte günstigerweise dann erfolgen, wenn kleine Populationen vorhanden sind, und nicht zu einem Zeitpunkt, an dem – beispielsweise bei gradierenden Schädlingen – Höhepunkte im Auftreten zu verzeichnen sind.

Für die Bekämpfung vieler Schädlingsarten bietet sich auf Grund dieser Überlegungen eine Integration mit anderen Mitteln oder Verfahren an, in dem die Populationsdichte vorerst auf ein Niveau gesenkt wird, das mit sterilen Insekten zu bewältigen schwierig oder unökonomisch wäre. Derartige Maßnahmen – etwa mit chemischen Bekämpfungsmitteln oder durch Anbauverfahren – sind uns bereits bekannt, und oft erweist sich eine Verminderung um 95 bis 99 % als nicht schwierig. Die Abtötung der restlichen 1 bis 5 % mit chemischen Mitteln ist aber oft ebenso schwierig, wenn nicht schwieriger, als die Vernichtung der 95 bis 99 %. Unter solchen Umständen kann die Freilassung von sterilen Insekten die wirksamste und ökonomisch günstigste Methode für eine endgültige Ausrottung sein. Sie ist ferner geeignet, neu eingebürgerte Schädlinge zu vernichten oder die Einwanderung von Insekten in neue Gebiete zu verhindern.

Für letztere Möglichkeit ist kürzlich ein markantes Beispiel bekannt geworden. Die Mittelmeerfruchtfliege *Ceratitis capitata* (Wied.) wurde vor einiger

Zeit nach Europa eingeschleppt und beginnt neuerdings auch in Bayern, am Unterlauf des Mains, heimisch zu werden. Da sie im unterfränkischen Raum bis jetzt nur in kleineren Biotopen auftritt, wurde von chemischen Bekämpfungsmaßnahmen, die nur unrentabel wären und doch nicht alle Individuen erfassen würden, abgesehen. Statt dessen gelangt die Methode der Selbstvernichtung durch Sterilisation zur Anwendung. Zu diesem Zwecke wurde in den letzten Jahren eine Massenzucht der Mittelmeerfruchtfliege aufgebaut, die nach anfänglichen Schwierigkeiten insbesondere durch Verbesserung der Ernährung der Imagines sowie der Larven soweit gediehen ist, daß in der Vegetationsperiode allwöchentlich mit etwa 400 000 Individuen gerechnet werden kann.

Das ist aber nicht der einzige Fall, bei dem Methoden der Selbstvernichtung in europäischen Ländern Anwendung finden. Beispielsweise werden in Frankreich diese Verfahren zur Bekämpfung von Aphiden, Coleopteren und Lepidopteren, z. B. *Mamestra brassicae* L. und *Plutella maculipennis* Curt., angewandt. In der UdSSR ist ein umfangreiches Programm zur Erforschung der Methoden zur Selbstvernichtung der Insekten entwickelt worden, das in den letzten zehn Jahren nach folgenden Richtungen verlief:

- a) Forschungen über experimentelle Methoden zur Massenzucht der Insekten unter Verwendung von Kunstfutter,
- b) Entwicklung und Erprobung von Chemosterilisatoren, die die Unfruchtbarkeit der Schadinsekten hervorrufen,
- c) Auswahl der Objekte, an denen vorrangig die Methoden der Selbstvernichtung zu erarbeiten sind.

Die Untersuchungen werden hauptsächlich an schädlichen Lepidopteren (Noctuidae, Tortricidae und Gelecheidae) durchgeführt.

Im Rahmen eines integrierten Programms wurden in der Schweiz Sterilisationsmethoden zur Bekämpfung von *Melolontha vulgaris* F. mit sehr guten Erfolgen angewendet. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Schädling, dessen Weibchen mehrmals kopulieren und bei dem eine rasche Massenvermehrung infolge der langen Entwicklungsdauer unmöglich ist, sogar in einem geographisch nicht völlig isolierten Gebiet ausgerottet werden kann.

Zur Bekämpfung von Forstschädlingen werden seit 1966 in der niedersächsischen forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen orientierende Versuche mit dem Borkenkäfer (*Ips typographus* L.) durchgeführt; dabei wird die Wirkung einer Kombination von spezifischen Lockstoffen und Chemosterilantien geprüft. Auf einer ähnlichen Stufe der Entwicklung befinden sich die Forschungen über die Anwendung von Selbstvernichtungsmethoden in der Volksrepublik Polen (Poznań, Śkierniówice) und in der Volksrepublik Ungarn (Budapest). Grundlegende Arbeiten zu diesen Problemen werden gleichfalls in der ČSSR (Prag) und in beschränktem Umfang auch in der DDR (in der Abteilung für angewandte Zoologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, sowie im Deutschen Entomologischen Institut, Eberswalde) seit einigen Jahren durchgeführt.

Das Prinzip der Regulierung von Schädlingspopulationen durch Verwendung der Sterilitätsmethode anstelle der Abtötungsmethode sowie der gegenwärtige

Stand der Ergebnisse und Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ist damit wohl kurz umrissen.

Viel Forschungsarbeit wird noch notwendig sein, um weitere geeignete Stoffe zu finden und um praktische und sichere Methoden zu ihrer Anwendung zu entwickeln. In den USA hat es 20 Jahre harter, zäher Entwicklungsarbeit bedurft, bis der erste praktische Erfolg gegen die Schraubenwurmflye gelang. Die hierdurch geschaffenen neuen Möglichkeiten und der zu erzielende Gewinn sind aber so groß, daß ein erhöhter Forschungsaufwand voll gerechtfertigt erscheint. Es ist, ohne zu übertreiben, festzustellen, daß gegenwärtig vor allem in den USA, in Canada, in der UdSSR und anderen führenden Ländern das Schwergewicht angewandter entomologischer Forschung bei solchen Verfahren liegt, die es erlauben, auf der genauen Kenntnis der biocölogischen Beziehungsgefüge fußend, sinnvoll regulierend einzugreifen und es letztlich ermöglichen, die Natur zu manipulieren.

#### Zusammenfassung

Es wird eine Übersicht über den derzeitigen Stand der Männchen-Sterilisations-Methode gegeben. Der Mechanismus der Sterilisation, die Faktoren, die die Auslösung der Sterilität beeinflussen, und die Erfordernisse und Grenzen der Methode werden besprochen. Es wird eine Reihe von Insekten angeführt, an denen die Männchen-Sterilisation erprobt wurde. Weiterhin wird eine kurze Übersicht über die in europäischen Ländern laufenden Untersuchungen und Forschungsvorhaben gegeben.

#### Summary

The author deals with the present position of the sterilization method in male insects. The mechanism of sterilization, the factors influencing the evocation of sterility as like as requisites and limits of the method are discussed. There is listed a number of insects the males of which have experimentally been sterilized. A survey is given on current research work in this field in some European countries.

#### Literatur

- BAUMHOVER, A. H., GRAHAM, A. J., HOPKINS, D. E., DUDLEY, W. O., and BUSHLAND, R. C. (1955): Control of screw-worms through release of sterilized flies. — *Jour. Econ. Ent.* **48**, S. 462—466.
- BORKOVEC, A. B. (1962): Sexual sterilization of insects by chemicals. — *Science* **137**, S. 1034—1037.
- BUSHLAND, R. C., and HOPKINS, D. E. (1951): Experiments with screw-worm flies sterilized by X-rays. — *Jour. Econ. Ent.* **44**, S. 725—731.
- HORBER, E. (1966): Eradication of the grub (*Melolontha vulgaris* F.) by the sterile-male technique: Radiation and radioisotopes applied to insects of agricultural importance Vienna. — *Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **73**, Nr. 7.
- KNIPLING, E. F. (1965): Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. — *Jour. Econ. Ent.* **48**, S. 459—462.
- (1959): Sterile male method of population control. — *Science* **130**, S. 902—904.
- LINDQUIST, A. W. (1955): Possibilities on the use of gamma radiation for control or eradication of the screw-worm. — *Jour. Econ. Ent.* **48**, S. 467—469.

Anschrift des Verfassers: Dr. Heinz Adam, Wissenschaftlicher Oberassistent am Deutschen Entomologischen Institut, Eberswalde, 13 Eberswalde, Schicklerstraße 5