

Forstzoologie – *quo vadis* in Freiburg?¹

Von M. BOPPRÉ

Als neuberufener Direktor des Forstzoologischen Institutes möchte ich mich Ihnen durch die Darstellung meiner Ansichten zur Forstzoologie als Fach, der „Chemischen Ökologie“ als einem Forschungsschwerpunkt des Instituts und schließlich mit einer kurzen Übersicht über aktuelle Projekte meiner Arbeitsgruppe vorstellen. Aus der Tatsache, daß ich kein „gelernter Forstwissenschaftler“ bin, resultiert in meiner Einstellung zur Forstwissenschaft wohl eine gewisse Unbefangenheit; mein (derzeitiger) Eindruck von Forstwissenschaft ist im wesentlichen durch das praktische Erleben geprägt, und zumindest einige der folgenden Gedanken mögen „Insidern“ zunächst vielleicht den Eindruck einer gewissen Ignoranz vermitteln. Aber lassen Sie uns die Diskussion führen.

Zoologie und Forstwissenschaft

Wenn man nach dem künftigen Weg der Forstzoologie fragt, muß man sich zunächst im klaren darüber sein, was „Forstzoologie“ eigentlich ist. Meines Erachtens ist Forstzoologie keine wissenschaftliche Disziplin *per se*. Die Aufgaben einer Forstzoologie in Forschung und Lehre und ihre Bedeutung sind vielmehr unmittelbar davon abhängig, wie sich die Forstwissenschaft insgesamt versteht und wie das Fachgebiet mit anderen Disziplinen in einer forstlichen Fakultät vernetzt ist. Folglich muß mit dem sich derzeit wandelnden Verständnis zu Forsten und Wäldern ein Wandel der Inhalte der Forstwissenschaft, d.h. all ihrer Teildisziplinen inklusive der Forstzoologie, einhergehen.

Der modernen Forstwissenschaft geht es um Wald-Ökosysteme, die für den Menschen eine weit größere Bedeutung besitzen, als sie die ökonomische Rolle des nutzbaren Holzes ausmacht. Die Forstwissenschaft kümmert sich um Wälder in den gemäßigten Breiten ebenso wie um die der Tropen und Subtropen, seien es Natur- oder Wirtschaftswälder, seien letztere naturnah oder als Plantagen angelegt. Die Forstwissenschaft erkennt damit ihre Verantwortung für Wälder als Lebensräume für vielfältige Organismen mit ihren wesentlichen Funktionen als Genpool, sich erneuernde Ressourcen für mannigfaltige Rohstoffe (nicht nur für Holz!), aber auch bezüglich Wasserhaushalt und Luftreinigung, als Erholungsort für den Menschen u.a. Das Prinzip der Nachhaltigkeit impliziert, meines Erachtens, über die Verantwortung für die Holzerten der nächsten Generationen hinaus auch, daß unsere Kinder und Kindeskiner eine lebensverträgliche Umwelt vorfinden. Zwar wäre es vermessend, insbesondere die letztgenannte Aufgabe alleine der Forstwissenschaft zuzuschreiben, aber es wäre eine verhängnisvolle Unverantwortlichkeit, wenn Forstwissenschaftler die fundamentale und globale Bedeutung der Wälder unterschätzten und nicht eine besondere Herausforderung darin sehen würden, ihr Tun in den Dienst der schonenden Nutzung und damit letztlich auch des Schutzes dieser Ökosysteme zu stellen.

Ein primär ökologisch ausgerichtetes Verständnis von Wäldern widerspricht keineswegs ökonomischen Interessen, wenngleich sich diese anders berechnen. Künftig darf *weltweit* die Bedeutung von Wäldern nicht nur an der Holzernte gemessen werden, und insbesondere in den Tropen und Subtropen muß die multiple Nutzung von Wäldern

¹ In Anlehnung an einen anlässlich der Forstlichen Hochschulwoche am 7. Oktober 1992 in Freiburg i. Br. gehaltenen Vortrag.

dominieren. Konsequenterweise müssen Forschung und Lehre in Forstwissenschaft noch mehr mit anderen Fakultäten koordiniert und zudem international umfassender vernetzt werden.

An unserer Fakultät sind die oben sehr verkürzt zusammengefaßten Grundzüge eines forstwissenschaftlichen Selbstverständnisses verwirklicht. Die Fakultät sieht ihre Aufgaben im Erfahrungsobjekt „Wald und Mensch“ und möchte als „Universitas in der Universität“ ihr multidisziplinäres Know-how verantwortlich einsetzen. Dabei besteht z. B. der ausgesprochene Wille, ökologische, sozioökonomische und technische Aspekte mehr als bisher miteinander zu verknüpfen – in der Forschung wie in der Lehre. In unserer von Umweltproblemen dominierten Zeit und mit dem Wissen über die fundamentale Bedeutung der Wälder der Erde muß das Wissenspotential unserer Fakultät noch besser als bislang dazu genutzt werden, kompetente Waldwissenschaftler und -manager auszubilden, die auch außerhalb konventioneller Berufsfelder und insbesondere in den Entwicklungsländern verantwortliche Aufgaben erfüllen können. Dabei dürfen wir uns – in Lehre wie Forschung – nicht von einem *aktuellen* Bedarf leiten lassen. Ein heutiges Erstsemester wird erst in mehreren Jahren in das aktive Berufsleben eintreten; daher müssen wir unsere Studierenden auf veränderte und sich weiterhin verändernde Anforderungen vorbereiten, und auch darauf, in bislang nicht existenten Berufen verantwortlich für Wälder und Menschen tätig zu werden; ich erwarte für Waldmanager eine ähnliche Entwicklung der Berufsperspektiven wie sie die jüngste Zeit bezüglich allgemein-ökologisch ausgerichteter Berufsfelder brachte.

Was ist „Forstzoologie“?

In einem solchen Szenario erscheint die Forstzoologie als ein recht (ge)wichtiges Fach. Die Abgrenzung zwischen der Forstzoologie und der Zoologie an der Biologischen Fakultät ist unschwer, die Aufgaben in der Lehre liegen auf der Hand, und Forschungsfragen gibt es mehr als genügend:

Forstzoologie ist eine auf Wald-Ökosysteme bezogene Zoologie, die im Kanon mit anderen forstwissenschaftlichen Disziplinen agiert. Sie ist primär anwendungsorientiert und zum Teil angewandt. Eine rein angewandte Zoologie, die sich z. B. ausschließlich mit klassischen Forstschutzproblemen und Fragen der Jagdkunde befaßt, kann die oben erörterten Aufgaben nicht befriedigend erfüllen. Es gehören Grundlagen dazu, welche *anwendungsorientiert* behandelt werden müssen. Dabei sind verschiedenste basale Erkenntnisse und Arbeitsgebiete der Zoologie für eine Forstzoologie gänzlich irrelevant, seien es Details zum Aufbau von Membranen, zur Feinstruktur von Neuronen-Netzwerken, oder zur Generierung von Nervenimpulsen. Andere Grundkenntnisse sind jedoch mittelbar für das Management von Waldökosystemen sehr wichtig, d. h. anwendungsorientiert. Wenn wir beim Beispiel der Sinnesphysiologie bleiben, so kann man zwar integrierte Bekämpfung von Schadinsekten betreiben, ohne etwas von Spike-Generatoren zu wissen, aber ohne bestimmte Kenntnisse z. B. zur Spezifität und Sensitivität von Pheromonrezeptoren kommt man letztlich nicht zurande. Die Komplexität von Waldökosystemen wird auch ohne eine Verinnerlichung der Grundlagen der Ökologie und der Evolutionsbiologie nicht verständlich. Jedoch: trotz einer klaren Abgrenzung der Forstzoologie von der Zoologie an einer Biologischen Fakultät, sollten sich die entsprechenden Fächer tunlichst nicht entfremden, sondern vielmehr miteinander austauschen und sich ergänzen; auch außerhalb der Zoologie sind, meines Erachtens, engere Beziehungen der forstlichen mit anderen Fakultäten herzustellen.

Zur Lehre in Forstzoologie

In vom Forstzoologischen Institut angebotenen Lehrveranstaltungen müssen den Studierenden nach wie vor zunächst Grundkenntnisse zu Bauplänen und Leistungen der Tiere, zu ihrer stammesgeschichtlichen Entwicklung und zu Mechanismen der Anpassung an Lebensräume vermittelt werden. Wegen der herausragenden ökologischen wie ökonomischen Bedeutung von Insekten hat die Entomologie im Rahmen der Speziellen Zoologie einen besonderen Stellenwert, und grundsätzliche Phänomene und Zusammenhänge sind bevorzugt an entomologischen Beispielen zu erörtern. Insgesamt darf das Faktenwissen nicht im Vordergrund stehen, sondern das Arbeiten an grundlegendem Verständnis für ökosystemare Zusammenhänge, insbesondere über Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Tieren sowie zwischen Tieren untereinander, muß dominieren. Und ich meine, daß künftig den Studenten auch vermehrt Einblicke in *Forschungsmethoden* gewährt werden müssen, um einerseits Erkenntnisse nachvollziehbar zu machen und andererseits Handwerkszeug für die qualifizierte Bewältigung unvorhergesehener Aufgaben bereitzustellen. So wie die Forschung zukunftsorientiert ausgerichtet sein muß, so muß in der Lehre den heutigen Studierenden als künftigen Entscheidungsträgern ein umfassenderer Wissens- und Verständnispool vermittelt werden, der sie in die Lage versetzt, auch derzeit noch nicht konkret zu beschreibende Anforderungen zu meistern. Um mit NORBERT FIEBIGER zu sprechen, muß der Schwerpunkt der Ausbildung auf sich nicht überholendem „Basiswissen“ liegen, nicht auf schnell veralterndem „Arbeitswissen“. Statt Spezialisten müssen wir „Querdenker“ fördern, die fähig sind, Wissen aus unterschiedlichsten Fachdisziplinen zu Problemlösungen zu integrieren.

Der Biologie von sogenannten „schädlichen Tierarten“ und dem Know-how zum Umgang mit ihnen kommt besondere Bedeutung zu. Einerseits sind umweltverträgliche Technologien zur Bekämpfung von schädlichen Einflüssen tierischer Organismen zu vermitteln, andererseits methodisches Wissen zur Analyse der Ursachen von Kalamitäten. „Waldschutz“ muß im Sinne des oben Gesagten mehr heißen als umweltverträglicher Schutz von Wirtschaftsgut und stellt für eine Fakultät, wie ich sie in groben Zügen charakterisiert habe, eine Gemeinschaftsaufgabe dar, obgleich der Forstzoologie ein charakterer Anteil zukommt. Aus ökologischen wie aus ökonomischen Gründen ist ein Umdenken in der Bewertung gewisser Schäden erforderlich, und ohne therapeutische Maßnahmen zu vernachlässigen, müssen künftig die Möglichkeiten der Verhinderung von schädlichen Populationsgrößen wesentlich besser genutzt werden. Es geht dabei um verstärkte ökologische Lehre (und Forschung) mit dem Ziel einer wissenschaftlich begründeten Einflußnahme auf z. B. waldbauliche Entscheidungen und Jagdausübung. In die Zukunft blickend gehe ich davon aus, daß einerseits verschiedene „selbstgemachte“ Waldschutzprobleme stetig geringer werden, andererseits befürchte ich noch nicht absehbare Probleme als Folge der durch Schadstoff-Emissionen vermutlich weiter zunehmenden Labilität von Bäumen.

Die Lehre in Forstzoologie darf sich nicht ausschließlich auf diejenigen Tierarten beschränken, welche derzeit im Wirtschaftswald ökonomisch relevant sind, sondern sie muß umfassender verstanden werden. Wer kennt heute die „Schädlinge“ von morgen? Wer kann vorhersagen, welche Kalamitäten Wäldern in den Entwicklungsländern bevorstehen? Die Lehre muß aber auch nicht alleine im Sinne eines prophylaktischen Waldschutzes auf das gesamte Spektrum der an Waldökosystemen beteiligten Organismen abzielen. Neben den als „nützlich“ bezeichneten Arten dürfen die sogenannten „indifferenten“ Organismen nicht außer Betracht gelassen werden, auch wenn ihre Bedeutung im ökologischen Kontext (noch) nicht erkannt ist: sie gehören zum Wald genauso wie die Bäume. Ein Wald ohne permanente Schädlingskalamitäten ist denkbar, ein Wald ohne Tiere ist schlichtweg nicht existenzfähig. Da sind wir auch wieder bei ökonomischen Aspekten, und ich meine, daß die Forstzoologie im ökonomischen Kontext nicht nur wichtig ist und wichtig bleibt,

sondern künftig noch bedeutungsvoller werden wird, denn die für Menschen nutzbare „Gesamtproduktivität“ von naturnahen Wäldern wird durch Tiere insgesamt eher gefördert als gemindert!

Lassen Sie mich bezüglich der Lehre noch etwas konkreter werden. Lehrinhalte müssen zwischen den Dozenten des Instituts abgestimmt sein, aber auch zwischen den Instituten sind Kooperationen im Unterricht zu intensivieren, andernfalls können wir dem Anspruch nicht gerecht werden, inter- und multidisziplinär gebildete Fachkräfte, „Wald-Manager“, auszubilden. Bezüglich der 1. Ausbildungsphase setze ich mich beispielsweise für eine „Forstbiologie“ als Ringvorlesung von Forstbotanikern, Bodenbiologen und Forstzoologen ein, die fächerübergreifende Themen wie Zellenlehre, Vererbung, Stoff- und Energie-wechsel sowie Stammesgeschichte behandelt und von einer Einführungsveranstaltung zur Ökologie begleitet wird. Auf dieser Basis können nicht nur die drei beteiligten Fachgebiete weiter aufbauen, sondern die Lehre in z.B. Landespflege und Waldbau könnte davon ebenfalls profitieren. Trotz Integration bleiben den einzelnen Fächern noch genügend spezifische Lehrinhalte; für die Forstzoologie u.a.: Grundlagen der Biologie der Tiere, d.h. allgemeine Morphologie und Physiologie, Taxonomie, Evolution, Verhalten, Populationsdynamik, etc., ferner spezielle Anpassungen der Tiere an ihre biotische und abiotische Umwelt, Mechanismen der Kommunikation zwischen artgleichen Individuen, der Interaktion zwischen Produzenten und Konsumenten, zwischen Räubern und Beute, zwischen Parasiten und Wirten, u.ä. Dabei sind – wie gesagt – auch methodische Grundlagen zu vermitteln, und das Akkumulieren von Fakten muß hinter der Vermittlung von Zusammenhängen zurückstehen, denn nur dann ist die Ausbildung ausgerichtet auf fundiertes Verständnis von Waldökosystemen und deren umweltverträglichem Management inclusive nachhaltiger Nutzung.

Auch wenn an dieser Stelle nicht vertieft auf die vielfältigen Anforderungen an einen neuen Studienplan eingegangen werden kann, möchte ich hervorheben, daß es besonders wichtig ist, das derzeit völlig verschulte Studium von einem offeneren Lehrplan abzulösen, welcher neben den für die universelle Ausbildung erforderlichen Pflichtveranstaltungen ausreichend Möglichkeiten bietet, zumindest in einer zweiten Ausbildungsphase Lehrveranstaltungen zu wählen, in denen in kleinen Gruppen vertiefend gearbeitet wird. Lehraufträge und Gastvorträge werden an Bedeutung gewinnen, um den Studierenden ein möglichst umfassendes und vielfältiges Angebot zu bieten. Es ist meines Erachtens durchaus möglich, ohne eine Verlängerung der Studienzeit ein breiteres Spektrum an Lehrveranstaltungen zu absolvieren, wenn diese entsprechend konzipiert sind. Gerade ein so zentrales Fach wie die Forstzoologie muß ein Interesse an möglichst vernetzter Lehre haben; ich erwarte eine umfangreichere Berücksichtigung forstzoologischer Aspekte im forstwissenschaftlichen Studiengang.

Zur Forschung in Forstzoologie

Forschung und Lehre sind untrennbar, weshalb Forschungsfragen bereits mehrfach angesprochen wurden. Es erübrigt sich, zu erläutern, wie groß und wie vielschichtig das Forschungsdefizit bezüglich Waldökosystemen ist. Für das Forstzoologische Institut stelle ich mir drei Forschungsfelder vor, wobei die für die Lehre propagierte Kooperation auch in der Forschung zwingend ist:

1. Aufgaben im Verbund mit anderen Instituten der Fakultät, beispielsweise im Rahmen der Entwicklungshilfe bei Aufforstungs- und Schutzprojekten,
2. Bearbeitung akuter Waldschutz-Probleme, insbesondere in Zusammenarbeit mit Forstlichen Versuchsanstalten und Forstverwaltungen bzw. mit entsprechenden Institutionen im Ausland, und schließlich
3. anwendungsorientierte chemisch-ökologische Forschung als längerfristige Forschungsthematik.

Da die beiden erstgenannten Bereiche keiner Erklärung bedürfen, konzentriere ich mich im folgenden auf die „Chemische Ökologie“, der ich meine eigene wissenschaftliche Arbeit in besonderem Maße widme. Der Name dieses jungen Wissenschaftszweiges wird oft mißverstanden; ich verstehe darunter die Erforschung derjenigen Wechselbeziehungen zwischen Organismen, welche durch Naturstoffe vermittelt werden; nicht gemeint ist die Erforschung ökologischer Auswirkungen von Industriechemikalien. Wir sprechen von Semiochemikalien, Naturstoffen, welche Interaktionen zwischen Organismen beeinflussen. Chemische Ökologie befaßt sich in einem evolutionsbiologischen Rahmen mit allen Organisationsebenen, vom Individuum über Populationen bis hin zu Ökosystemen, sie bezieht trophische Beziehungen genauso ein wie intra- und interspezifische Kommunikation und Konkurrenz. Es gilt also, Mechanismen von Wechselbeziehungen in der belebten Welt zu beschreiben und ihre Bedeutung sowie ihre stammesgeschichtliche Entwicklung zu verstehen.

Mein Vorgänger im Amt, Herr Professor VITÉ, hat Ihnen mit seinem Vortrag über Borkenkäfer bereits sehr eindrucksvoll ein Beispiel chemoökologischer Studien geschildert und dabei auch die Verflechtung von (mindestens zum Teil zielgerichteter) Grundlagenforschung mit angewandter Forschung demonstriert; die Erforschung der Pheromonbiologie der Borkenkäfer kann ohne Überreibung als Pionierleistung bezeichnet werden, die dabei erkannte Komplexität ist für die Chemoökologie typisch.

Lassen Sie mich Ihnen zumindest einige wenige weitere Aspekte zu Forschungsgebieten bzw. -ergebnissen aus dem Bereich der Chemischen Ökologie kurz vorstellen. Pheromone (Kommunikationsstoffe zwischen Individuen einer Art) erfüllen bei allen Organismen – von Einzellern bis hin zu Wirbeltieren – entscheidende Funktionen. Sie treten als Aggregations- und Sexualdüfte nicht nur als Lockstoffe im Fernbereich auf, sondern auch im Nahbereich, wo sie oft die Partnerwahl bestimmen. Zu den Pheromonen gehören auch Stoffe mit abstoßender Wirkung, welche beispielsweise die Eiablage hemmen und so eine Überbelegung von Wirtspflanzen verhindern. Bei Überbevölkerung werden oft repellierende Pheromone abgegeben; Sie wissen, daß mit der Anwendung solcher „spacing-Pheromone“ z. B. Erfolge beim Schutz von Poltern vor Borkenkäfern erwartet werden können. Da sind Markierungsstoffe zu nennen, die besonders bei sozialen Insekten auftreten, etwa als Spurstoffe bei Ameisen und Termiten, wo sie den Weg zum Nest oder zu Futterplätzen markieren. Pheromonspuren werden auch von gesellschaftlich lebenden Schmetterlingsraupen gelegt. Schließlich spielen Pheromone eine große Rolle bei der Abgrenzung von Territorien, sei es bei Insekten oder bei Wirbeltieren. Alarmstoffe, welche Wehr- bzw. Fluchtverhalten auslösen, gehören ebenfalls zu der großen Gruppe der Pheromone.

Auf den ersten Blick mag pheromonale Kommunikation recht simpel erscheinen, obgleich auch sehr vielfältig. Bei genauerer Betrachtung ist Pheromonbiologie jedoch sehr viel komplizierter. Pheromone stellen z. B. in der Regel komplexe Gemische von Stoffen dar. Ihre Einzelkomponenten übernehmen oft verschiedene Funktionen (z. B. Fernanlockung und Arretierung), im Mengenverhältnis und/oder in der chiralen Komposition von Molekülen liegt Artspezifität, und chemische Verständigung mit Duftstoffen ist meist mit anderen Sinnesmodalitäten (Optik, Akustik) verschränkt. Die Rolle von Pheromonen kann sogar das Artniveau überschreiten, denn es gibt Antagonisten (Prädatoren, Parasiten, Parasitoide), welche Pheromone der sie produzierenden Individuen zur Lokalisation von Beute bzw. Wirten „mißbrauchen“.

Noch spannender ist die Chemische Ökologie, wenn wir Allelochemikalien betrachten, also biogene Substanzen, die Interaktionen zwischen verschiedenen Arten vermitteln wie Signale zur Wirtsfindung und -erkennung, Wehr- und Schutzstoffe u. v. a. m. Im folgenden beschränke ich mich auf sekundäre Metabolite von Pflanzen; nicht nur für den Botaniker, auch für den Zoologen sind diese Naturstoffe von besonderer Bedeutung, denn sie bestimmen alle Tier-Pflanze Beziehungen.

Als nicht mobile Lebewesen haben Pflanzen besondere Probleme bei der Abwehr von Feinden zu meistern; sie wehren sich oft mechanisch (harte Kutikulen, Stacheln, Dornen), insbesondere und äußerst vielfältig jedoch chemisch gegen Feinde. Gemeint sind die sog. „sekundären Pflanzenstoffe“, worunter wir all diejenigen Chemikalien verstehen, welche keine essentiellen Bestandteile einer jeden Zelle sind; sie sind meist nicht für die Lebensfähigkeit an sich erforderlich, erhöhen jedoch die *Überlebenschancen* eines Pflanzenindividuums entscheidend, zum Beispiel, indem sie Herbivoren abschrecken. Gleichzeitig nutzen angepaßte Tiere die Wehrstoffe von Pflanzen zur Erkennung von Nahrungsressourcen. Pflanzliche Sekundärstoffe sind damit verantwortlich für die allgemein bekannte Wirtsspezifität von herbivoren Tieren. Jedoch: im Detail verstehen wir die Mechanismen der Wirtsspezifität noch lange nicht. Und selbst wenn wir die Wirtsspektren sehr vieler Tiere phänomenologisch beschreiben können: „Animals do not eat latin names.“ Mit diesem Statement von DANIEL JANZEN ist gemeint, daß wir nicht länger davon ausgehen dürfen, daß mit der wissenschaftlichen Namensgebung aufgrund morphologischer Merkmale eine Pflanze umfassend charakterisiert ist: Chemische Merkmale können die Individuen einer Art, oft sogar Teile eines Individuums, in ökologischem Bezug grundverschieden machen!

Die Sekundärstoffkonzentrationen von Pflanzen variieren in Abhängigkeit von standörtlichen Unterschieden (Boden, Temperatur), sie betreffen Organe, physiologische Stadien (Keimling, junge Pflanze, alte Pflanze, blühende Pflanze, fruchtende Pflanze) und zeigen Veränderungen im Jahres-, ja oft sogar im Tageslauf. Verglichen mit der enormen Differenzierung bezüglich sekundärer Metabolite, sind Unterschiede im Nährstoffgehalt meist völlig vernachlässigbar.

Pflanzliche Sekundärstoffe bewirken auch weit mehr als eine klare („Entweder-Oder“-) Entscheidung im Verhalten der Tiere, denn sie haben gravierende physiologische Konsequenzen. Für ein an die Nutzung einer bestimmten Pflanze angepaßtes Tier bestimmt die Qualität und Quantität ihrer Ausstattung mit sekundären Metaboliten wesentlich ihre Eignung als Futter. Beispielsweise ist die Verdaulichkeit (Verwertbarkeit) der Nährstoffe durch einen Phytophagen von der Art und Konzentration der Inhaltsstoffe abhängig, in vielen Fällen über deren Wirkung auf symbiotische Mikroorganismen. Damit entscheiden nicht (nur) Primärprodukte, sondern insbesondere Sekundärstoffe über Entwicklungsgeschwindigkeit, Fertilität etc. von Konsumenten (mit) und können letztlich die Populationsdynamik maßgeblich beeinflussen.

Neben endogenen oder durch abiotische Faktoren ausgelösten Unterschieden in der sekundären Pflanzenchemie kennen wir vielfältige *aktive* Reaktionen auf Befall mit Herbivoren. Sie beziehen sich gelegentlich auf morphologische Effekte (z. B. Gewebsveränderungen, welche einem Insekt den Konsum verbieten), meist betreffen sie jedoch den pflanzlichen Chemismus. Die Bildung von Pflanzenabwehrstoffen bzw. ihre erhöhte Produktion als Resultat eines Angriffs von Pflanzenfressern findet derzeit großes Interesse, vor allem auch bei angewandten Disziplinen. Erst kürzlich hat man entdeckt, daß von Phytophagen befallene Pflanzen „SOS-Signale“ aussenden: sie reagieren auf Fraß mit der Produktion von Sekundärstoffen, welche Parasitoide anlocken! Besonders lebhaft diskutiert man z. B. auch das Phänomen der „Talking Trees“; dieses Schlagwort meint, daß Bäume bei Schädigung Pheromone abgeben, welche sogar bei Individuen in der Nachbarschaft qualitative oder quantitative Veränderungen in der Ausstattung mit Wehrstoffen induzieren und diese Bäume akut schützen.

Es sei betont, daß die besprochenen Phänomene nicht auf Beziehungen zwischen Insekten und Pflanzen beschränkt sind. Vielmehr gelten sie – wenngleich graduell verschiedenen – für alle Organismen, für winzige Bodenorganismen wie für große Weidetiere; sie pflanzen sich in höhere trophische Ebenen fort und sekundäre Pflanzenstoffe regeln wesentlich auch die Konkurrenz zwischen Pflanzen selbst („Allelopathie“).

Ein vielzitiertes Beispiel über die Reaktionen von Bäumen auf Fraß durch Antilopen sei

zur Veranschaulichung referiert – es ist zudem ein Beispiel aus dem Gebiet des „game-farming“, einem Interessensbereich der Forstzoologie: Der Versuch, durch Einzäunung von Gebieten natürliche Populationsdichten von Kudus zu erhöhen, scheiterte kläglich, die Tiere verendeten mit prall gefüllten Mägen, und Blutanalysen ergaben, daß die Tiere verhungert waren. Es stellte sich heraus, daß die Wirtsbäume sehr rasch auf Verbiß reagierten und innerhalb von weniger als einer Stunde ihren Gehalt an Tanninen verdoppelten, ausgelöst durch die ruckartigen Schüttelbewegungen beim Fressen; stark tanninhalige Blätter sind unverdaulich. Als Anpassung an den Abwehrmechanismus ihrer Wirtsbäume fressen Kudus eigentlich nie längere Zeit an einem Baum, sondern pflücken von verschiedenen Bäumen jeweils nur wenige Blätter; die Umzäunung führte dazu, daß die Tiere immer wieder an denselben Bäumen fraßen und sich damit selbst töteten.

Insgesamt ist festzustellen, daß Pflanzen nur begrenzt auf dem Artniveau chemisch charakterisiert werden können, denn selbst auf dem Niveau des Individuums können wesentliche Unterschiede bestehen. Ich muß die gravierenden Konsequenzen dieser pflanzlichen Eigenschaften auf ihre (potentiellen) Konsumenten nicht näher erläutern, um nachvollziehbar zu behaupten, daß Ergebnisse chemisch-ökologischer Forschung künftig wachsenden Einfluß auf (Pest-)Management-Maßnahmen in Land- und Forstwirtschaft bezüglich Insekten wie Wirbeltieren haben und zudem vielfältige Erkenntnisse zum Verständnis ökologischer Zusammenhänge liefern werden.

Chemische Ökologie ist ein multi- und interdisziplinäres Forschungsgebiet, dessen Herausforderung und Bedeutung in der Integration von Wissen aus unterschiedlichen Spezialfächern sowie in seiner organismischen und systemischen Betrachtungsweise liegt. Chemische Ökologie ist zunächst ein Gebiet der Grundlagenforschung, aber aus guten Grundlagenfächern erwachsen letztendlich konkrete Anwendungsbereiche. Ich erwähne nur die Erfolge mit synthetischen Pheromonen, die sich zwar (noch) nicht so einfach wie ursprünglich angenommen einstellten, sich inzwischen jedoch mehr und mehr sehen lassen können, insbesondere bezüglich der Prognose von Schadinsekten. Mit den Borkenkäfern kennen Sie eine der bislang erfolgreichsten Anwendungsbereiche der Pheromonforschung. Nicht nur in der Entomologie kommt es zur wirtschaftlichen Nutzung von Kenntnissen über Pheromone, Pheromone von Ebern, welche Duldungsstarre bei Sauen bewirken, leisten heutzutage – in Sprühflaschen konfektioniert – in der Tierzucht wertvolle Dienste.

Daß wir von einem derart wichtigen Gebiet wie der Chemischen Ökologie heute lediglich die Spitze des Eisberges sehen, liegt übrigens daran, daß Naturstoffe meist in Mikromengen auftreten und ihre detaillierte Erforschung erst durch die in den letzten Jahren enorm verfeinerten analytischen Techniken möglich geworden ist. Für die Bestimmung des Sexualpheromons des Seidenspinners hat Adolf Butenandt in der Mitte der 50er Jahre die Lockdrüsen von einer halben Million weiblicher Schmetterlinge aufarbeiten müssen, mit heutigen Techniken würde man höchstens einige Dutzend benötigen.

Ich hoffe, daß ich mit meinen Ausführungen über Chemische Ökologie deutlich machen konnte, daß wir quasi revolutionisierende Erkenntnisse zu Interaktionen in der belebten Welt erwarten können, die – obgleich keineswegs „waldtypisch“ – auch für die Praxis des Managements von Waldökosystemen enorme Konsequenzen mit ökonomischem Bezug haben werden. Ich hoffe auch, einleuchtend gezeigt zu haben, daß Chemische Ökologie wegen ihrer grundlegenden Fragestellungen und ihres interdisziplinären Ansatzes als „Forschungsrahmen“ für das Forstzoologische Institut sehr geeignet ist: es umfaßt alle Arbeitsbereiche des Instituts (Forstzoologie und -entomologie, Waldschutz, Wildökologie) und verbindet sie mit anderen forstlichen Fächern.

Derzeitige Forschungsvorhaben

Forstzoologie kann an dieser Stelle nicht vollständig behandelt werden; viele wesentliche Aspekte müssen unangesprochen bleiben, u. a. zugunsten der Darstellung einiger Themen, die in meiner Arbeitsgruppe derzeit bearbeitet werden:

Wir beschäftigen uns intensiv mit „pharmacophagen Insekten“, das sind solche, welche unabhängig vom Nahrungserwerb gezielt bestimmte sekundäre Pflanzenstoffe aufsuchen und aufnehmen und zur Erhöhung ihrer Fitness nutzen. Es ist ein neuer und besonderer Typ von Insekten-Pflanzen-Beziehungen, der uns grundlegende Einblicke z. B. zur Geschlechterfindung, zur Partnerwahl, zum chemischen Schutz und zur Verknüpfung chemischer Kommunikation mit chemischem Schutz liefert. Unsere vergleichenden Untersuchungen beinhalten im ökologischen Kontext auch die Rezeptorphysiologie, Aspekte der Pheromonbiosynthese sowie morphologische, taxonomische und evolutionsbiologische Fragen. Entsprechend erstreckt sich das eingesetzte Methodenrepertoire von der Sinnesphysiologie über Morphologie und Verhalten bis zur Gaschromatographie. Die untersuchten Organismen (insbesondere Schmetterlinge) liefern auch basale Informationen zu Ursachen der Wirtsspezifität und zu Mechanismen der Wirtserkennung.

An der Heuschrecke *Zonocerus variegatus* arbeiten wir derzeit besonders intensiv. Sie ist ein pharmacophager Schädling in der Land- und Forstwirtschaft West-Afrikas, der unsere grundlegenden und auf verschiedenen Ebenen vergleichenden Untersuchungen um eine weitere Insektenordnung ergänzt, und der gleichzeitig zeigt, daß Grundlagenforschung zu praktischer Anwendung führt und dazu nötig ist. Auf der Basis der Pharmacophagie entwickeln wir im Rahmen eines GTZ-Projekts ein Attraktizid, welches eine umwelt- und gesundheitsschonende neue Methode im Pest-Management darstellt.

Beziehungen zwischen Tieren und Neophyten werden künftig mehr Raum bei unseren Forschungsaktivitäten einnehmen. Aus chemoökologischer Sicht bieten Phytophage an Neophyten einen weiteren Ansatz zur Aufklärung von Prinzipien der Wirtsspezifität, implizieren jedoch auch Naturschutzaspekte sowie die Problematik der ökologischen Verträglichkeit von Importen von Nutzarthropoden aus fremden Faunenbereichen. Konkrete Projekte betreffen die ökologische Bedeutung einer aus Südamerika nach Asien und Afrika eingeschleppten Pflanze (*Chromolaena*), welche die früher indifferenten *Zonocerus* zum Schädling machte, und verschiedene Untersuchungen zum Einfluß von eingeführten Pflanzen auf die heimische Tierwelt. Vergleichende Studien zur Disposition exotischer Baumarten gegenüber „Schädlingen“ und faunistische Erhebungen im Kontext der Bewertung von Wäldern gehören ebenfalls zum Spektrum unserer derzeitigen Forschungsaktivitäten.

Die inzwischen wesentlich verbesserte apparative Ausstattung des Instituts bezüglich chemischer, morphologischer und sinnesphysiologischer Arbeiten sowie das in o.g. Projekten gewonnene Know-how kommt nicht nur den genannten längerfristigen Vorhaben zugute, sondern auch verschiedensten weniger umfangreichen Untersuchungen, die hier nicht im einzelnen aufgeführt werden können. Die am Institut traditionell beheimateten Borkenkäferthemen möchte ich zunächst insbesondere durch Studien zur Verschränkung chemischer Kommunikation mit optischen und akustischen Reizen erweitern.

Für eine erste Vorstellung muß das Gesagte ausreichen. Die künftige Aufgabenfülle in der Lehre wird unser Institut wohl bewältigen können; in der Forschung müssen wir uns zwangsläufig beschränken, werden uns jedoch sehr bemühen, einen möglichst großen Beitrag zum Abbau der Wissensdefizite über Waldökosysteme und zum Waldschutz in mehrfachem Sinn zu liefern. Mir ist bewußt, daß ich mir persönlich „einiges vorgenommen“ habe. Wieviel ich davon erreichen werde, hängt sicherlich wesentlich von mir selbst ab, aber gleichzeitig auch von der weiteren Entwicklung des Selbstverständnisses der Fakultät, von den Kollegen am Institut und in der Fakultät und last but not least von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Ich bin dankbar dafür, daß mich Rektorat und

Ministerium im Rahmen der Berufungsverhandlungen recht gut bedacht haben, und ich hoffe, daß die bislang unerfüllten Zusagen bald realisiert werden können. Und ich freue mich, meine Arbeit in den Dienst dieser Fakultät stellen zu können.

Zusammenfassung

Der anlässlich der Freiburger Forstlichen Hochschulwoche 1992 gehaltene Vortrag diskutiert Gedanken zu Lehr- und Forschungsaufgaben des Forstzoologischen Instituts. Nach Überlegungen zur Rolle der Forstzoologie als Disziplin werden einige Grundsätze zu Inhalten und zur Organisation der Lehre erörtert. Das Gebiet der „Chemischen Ökologie“ wird vorgestellt und als Schwerpunkt der Forschung der Forstzoologie in Freiburg bewertet. Aktuelle Forschungsvorhaben der Arbeitsgruppe des Autors werden referiert.

Summary

Forest Zoology – quo vadis in Freiburg?

This paper, based on a presentation made during the Freiburger Forstliche Hochschulwoche, 1992, discusses some ideas about teaching and research objectives of the Forstzoologisches Institut. Following considerations on forest zoology as a discipline, principles affecting the scope and organization of the curriculum are discussed. The field of „Chemical Ecology“, planned to become the principal area of research at the institute, is outlined, and current research projects of the author are briefly reviewed.

Literatur

Auswahl neuerer Bücher, die Aspekte der „Chemischen Ökologie“ behandeln

- BARBOSA, P., LETOURNEAU, D. K. (Hrsg.), 1988: Novel Aspects of Insect-Plant Interactions. New York: John Wiley & Sons.
- HARBORNE, J. B., 1988: Introduction to Ecological Biochemistry. London: Academic Press.
- MAYER, M., McLAUGHLIN, J. R., 1990: CRC Handbook of Insect Pheromones and Other Attractants. Boca Raton: CRC Press.
- MILLER, J. R., MILLER, T. A. (Hrsg.), 1986: Insect-Plant Interactions. New York: Springer Verlag.
- PRICE, P. W., LEWINSOHN, T. M., FERNANDES, G. W., BENSON, W. W. (Hrsg.), 1991: Plant-Animal Interactions. Evolutionary Ecology in Tropical and Temperate Regions. New York: John Wiley & Sons.
- RIDGWAY, R. L., SILVERSTEIN, R. M., INSCOE, M. N. (Hrsg.), 1990: Behavior-modifying Chemicals for Insect Management. Practical Applications of Sex Pheromones and Other Attractants. New York: Marcel Dekker.
- ROITBERG, B. D., ISMAN, M. B. (Hrsg.), 1992: Insect Chemical Ecology - An Evolutionary Approach. New York, London: Chapman & Hall.
- ROSENTHAL, G. A., BERENBAUM, M. R. (Hrsg.), 1991/1992: Herbivores. Their Interaction with Secondary Plant Metabolites. New York: Academic Press.
- SCHLEE, D., 1992: Ökologische Biochemie. Jena, Stuttgart: G. Fischer Verlag.
- SPENCER, K. C. (Hrsg.), 1988: Chemical Mediation of Coevolution. 1988. London: Academic Press.

Auswahl zusammenfassender Veröffentlichungen des Autors

- BOPPRÉ, M., 1984: Chemically mediated interactions between butterflies. In: The Biology of Butterflies. Hrsg.: VANE-WRIGHT, R. I. & P. R. ACKERY. London: Academic Press. Nachdruck 1989: Princeton University Press. S. 259–275.
- 1986: Insects pharmacophagously utilizing defensive plant chemicals (pyrrolizidine alkaloids). *Naturwissenschaften* 73, 17–26.
- 1987: Pharmacophage Insekten. *Jhb. Göttinger Akademie der Wiss.* 1986, 29–34.
- 1989: Wie Insekten pflanzliche Sekundärstoffe nutzen oder Sex und Drogen bei Schmetterlingen. Freiburg i.Br.: Gödecke.
- 1990: Lepidoptera and pyrrolizidine alkaloids: exemplification of complexity in chemical ecology. *J. Chem. Ecol.* 16, 165–185.
- 1991: Pheromonbiologie, chemoökologischer Kontext der Sexualpheromone von Lepidopteren. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 84, 201–211.
- BOPPRÉ, M., MALCOLM, S. B., 1990: Chemoecology, a new journal. *Chemoecology* 1, 1–2.
- VANE-WRIGHT, R. I., BOPPRÉ, M., 1993: Visual and chemical signalling in butterflies: functional and phylogenetic perspectives. *Phil. Trans. R. Soc. B* 340, 197–205.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. MICHAEL BOPPRÉ, Forstzoologisches Institut der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-79098 Freiburg i.Br., Deutschland