

50 Jahre Ökologie (1965-2015) an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
Eine wissenschaftliche Historiographie

hrsg. von Günter Köhler

Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt

Acta Academiae Scientiarum 15



Erfurter Akademie Verlag –
Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt

50 Jahre Ökologie (1965-2015) an der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Eine wissenschaftliche Historiographie

Herausgegeben von
Günter Köhler



Das Gebäude I des ehemaligen Städtischen Krankenhauses (1939-1996) in der Dornburger Str. 159 wurde 1996 Arbeitsstätte des Instituts für Ökologie.
Foto: Institutsarchiv.

Erfurt 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-932295-99-7 50 Jahre Ökologie (1965-2015) an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Eine wissenschaftliche Historiographie [=Acta Academiae Scientiarum 15 (2016)], Erfurt 2016

ISSN 0942-9875 Acta Academiae Scientiarum 15 (2016)

Herausgeber: Günter Köhler mit Genehmigung der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt

Redaktionsschluss: Erfurt, den 1. April 2016

Layout: Prof. Dr. Günter Köhler und Dr. Jan Engel, Jena

Buchsatz: Dr. Jan Engel, Jena

Erfurter Akademie Verlag – Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt; Erfurt 2016, Gotthardtstr. 21, PF 45 01 22, D-99051 Erfurt

Druckerei Schmitt & Meyer GmbH, Firmensitz Marktbreit, Bachgasse 1, D-97340 Marktbreit, Printed in Germany

Jede Verwertung dieses Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Insbesondere gilt dies für Übersetzungen, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 7 |
| 1 Ökologie an der Universität Jena - vom Begriff zur Institution | 11 |
| 1.1 Das 19. Jahrhundert - Schleiden, Haeckel und Stahl | 11 |
| 1.2 Die Folgezeit bis zur Berufung von Hans Joachim Müller (1965) | 12 |
| 1.3 Der Wissenschaftsbereich Ökologie (1968-1990) | 16 |
| 1.4 Das Institut für Ökologie (seit 1990) | 19 |
| 1.5 Neue Lehrstühle am Institut | 26 |
| 1.6 Außenwirkungen der Jenaer Ökologie | 26 |
| 2 Hauptforschungsgebiete | 31 |
| 2.1 Dormanz, Ökomorphosen, Polymorphismen | 32 |
| 2.2 Terrestrische Ökologie | 39 |
| 2.2.1 Nahrung und Ökoenergetik | 39 |
| 2.2.2 Ökosystemanalysen und Sukzessionsforschung | 41 |
| Naturnahes Grasland | 41 |
| Immissionsbeeinflusstes Grasland | 46 |
| Landwirtschaftlich genutztes Grasland | 50 |
| Renaturierungs- und Restaurationsgebiete | 55 |
| 2.2.3 Geobotanik und Naturschutzforschung | 59 |
| Waldgesellschaften | 59 |
| Gehölze in Siedlungsgebieten | 60 |
| Moosgesellschaften | 60 |
| Heimische Orchideen | 61 |
| Gefährdungsanalysen und Populationsstudien (Heuschrecken) | 64 |
| Floren- und Faunenforschung | 73 |
| 2.2.4 Polar- und Ornitho-Ökologie | 77 |
| Ökologie europäischer Vogelarten | 77 |
| Antarktis-Forschung | 79 |
| 2.2.5 Theoretische Ökologie, Pflanzen- und Dendro-Ökologie | 87 |
| Theoretische Ökologie | 87 |
| Pflanzen- und Vegetationsökologie | 92 |
| Dendro-Ökologie | 93 |
| 2.2.6 Kleinsäuger-Ökologie | 99 |
| 2.2.7 Mykologie und Mikrofossilien | 105 |
| 2.2.8 Bodenökologie und Mykorrhiza-Forschung | 109 |
| 2.2.9 Räumliche Ökologie | 113 |
| 2.2.10 Multitrophische Interaktionen | 117 |

| | |
|--|------------|
| 2.2.11 Biodiversitätsforschung | 123 |
| BIOLOG-Projekt | 123 |
| Jena-Experiment | 130 |
| Biodiversitäts-Exploratorien | 137 |
| 2.2.12 Oberirdisch-Unterirdische Interaktionen | 145 |
| 2.2.13 Funktionelle Vegetationsökologie | 149 |
| 2.3 Aquatische Ökologie | 153 |
| 2.3.1 Ökologie von Fließgewässern | 153 |
| 2.3.2 Stehgewässer und anderweitige Lebensräume | 159 |
| 2.3.3 Aquatische Geomikrobiologie | 161 |
| Biofilme in aquatischen Ökosystemen | 162 |
| Mikrobielle Prozesse in Mooren und Mofetten | 163 |
| Mikroben im Eisen- und Mangankreislauf schwermetallbelasteter Lebensräume | 165 |
| Mikrobielle Kommunikation und Interaktion | 169 |
| Mikroorganismen in unterirdischen Lebensräumen und Grundwasserleitern | 170 |
| 3 Lehre, Exkursionen, Graduierte | 173 |
| 3.1 Lehrangebote und Ökologie-Ausbildung | 173 |
| Wissenschaftsbereich (WB) Ökologie (bis 1990) | 173 |
| Institut für Ökologie (seit 1990) | 174 |
| 3.2 Exkursionen und Fernpraktika | 177 |
| Zu Zeiten der DDR | 177 |
| Im vereinigten Deutschland | 178 |
| 3.3 Graduiertenstatistik | 180 |
| 4 Publikationen, Herausgeberschaften, Würdigungen | 191 |
| 4.1 Bestimmungsliteratur, Lehr- und Fachbücher | 192 |
| 4.2 Weitere Buchbeiträge von Mitarbeitern | 194 |
| 4.3 Schriften zum Ökologie-Begriff und zur Historie | 198 |
| 4.4 Würdigungen und Nachrufe | 199 |
| Anhang | 201 |
| Anhang 1: Arbeitsgruppen und iDiv-Professuren | 201 |
| Anhang 2: Mitarbeiter im Sekretariat und Technischen Bereich | 203 |
| Anhang 3: Mitarbeiter in Herausgeber-Gremien | 206 |
| Anhang 4: Mitwirkende Autoren | 208 |

Vorwort

Die Idee für diese Art wissenschaftlicher Historiographie reifte in den letzten Jahren, nachdem immer deutlicher wurde, wie wenig doch Mitarbeiter, Postdoktoranden, Doktoranden und Studenten über jenes Institut wissen, an dem sie gerade arbeiten oder studieren. Dies mag zwar einem verbreiteten Desinteresse an Wissenschaftsgeschichte schlechthin geschuldet sein, doch fehlte eben auch – von aktuellen Internetseiten abgesehen – eine zusammenfassende und informative Schrift wie die vorliegende, um überhaupt Interesse und tieferes Verständnis zu wecken.

Als Ökologe in Jena beruft man sich gern und zu Recht auf den Zoologen Ernst Haeckel, der hier vor genau 150 Jahren den Begriff „Oecologie“ eher als Lückenfüller im System der zoologischen Fachrichtungen prägte. Umso mehr muss es verwundern, dass erst und fast genau hundert Jahre später für dieses Fachgebiet an der hiesigen Universität ein Lehrstuhl eingerichtet wurde, der sich zwar noch nicht „Ökologie“ nannte, an dem aber vorrangig ökologische Forschung und Lehre betrieben wurden. Nun ist das 50-jährige Bestehen einer solchen universitären Einrichtung an sich nichts Ungewöhnliches, die Entwicklung von einem kleinen, seinerzeit vom Aussterben bedrohten Wissenschaftsbereich (WB) in der DDR zu einem prosperierenden Institut im vereinigten Deutschland aber schon. Denn es ist in erster Linie Gerhard Schaller zu verdanken, dass Ende der 1970er Jahre eine auf Betreiben der Universitätsleitung geplante Auflösung des WB Ökologie letztlich scheiterte.

Inzwischen ist der Begriff „Ökologie“ infolge der rasant voranschreitenden weltweiten Forschung und ihrer zwangsläufigen Verquickung mit vielfältigen Umweltproblemen schon längst so breit und verwaschen geworden, dass er mittlerweile zum Forschungsfeld zahlreicher (und nicht nur biologischer) Fachrichtungen zählt, dessen Inhalte weit über Haeckels Definition(en) hinausreichen. Dieser ausufernden Breite konnte auch die Ökologie an der FSU Jena nicht entgehen, dennoch gelang es, sie immer wieder auf ihren Kerninhalt zu konzentrieren, der nach herkömmlichem Verständnis vor allem die Beziehungen der Tier- und Pflanzenarten unter- und zueinander und zu ihrer Umwelt thematisiert und damit makrobiologisch verankert bleibt.

Am Beginn dieser Entwicklung folgten die Forschungsinhalte in gewisser Weise noch der klassischen, wenn auch miteinander verwobenen Dreiteilung: von einer Autökologie (Ökophysiologie) über eine Demökologie (der Populationen) bis zur Synökologie (der Gemeinschaften und Ökosysteme). Dadurch sahen sich die frühen Mitarbeiter bereits mit jener Themenbreite konfrontiert, welche der Komplexität ökologischer Prozesse eigen ist. Zwangsläufig veränderte sich auch die methodische Herangehensweise – erzwungenermaßen befördert durch forschungspolitische Vorgaben und einen zweimaligen Umzug des Bereiches – die sich von Experimenten

im Gewächshaus und Labor zunehmend hin zu Erhebungen (mit quantifizierenden Erfassungsmethoden) im Freiland und wieder zurück zu Klimakammer-Experimenten verschob. Dabei generierte die langjährige Feldforschung im Laufe von vier Jahrzehnten solch große Datenmengen, dass sie sich mit herkömmlichen statistischen Verfahren nicht mehr zeitgemäß auswerten ließen. Gleichzeitig mathematisierte sich mit der raschen Entwicklung der Computertechnik seit Mitte der 1980er Jahre auch die Jenaer Ökologie, zunächst durch Anwendung multivariat-statistischer Verfahren, später durch mathematische Modellierung und Simulationen populationsökologischer Sachverhalte. In den Forschungsvoraussetzungen begannen sich zunehmend projektgebundene Themen durchzusetzen, mit einer zeitlich und finanziell oft engen Begrenzung, die einerseits viele neue Problemfelder erschlossen, andererseits aber das Verfolgen von abseitigen wie unabsehbaren Fragestellungen auch erschwerten. Von besonderer Bedeutung für das Institut für Ökologie waren die wirklich großen – vom Bundesministerium für Forschung und Technik (BMBF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten – personell wie gerätetechnisch opulent ausgestatteten Forschungs(verbund)projekte, die von Laborexperimenten begleitete, seminaturliche Mesokosmen- sowie Feldversuche in großem Stile ermöglichten.

Doch mit der Zeit wurden die Grenzen zunehmend unschärfer, nachdem in den späten 1990er Jahren mykologisch-bodenkundliche Forschungen mit teils mikrobiologischen Arbeitsmethoden hinzukamen, und aus der Limnologie heraus eine ausschließlich auf Mikroben (Archaeen, Bakterien, Algen, Pilzen, Einzellern) fokussierte Aquatische Geomikrobiologie entstand. Hinzu kamen Vertiefungen in die Physiologie, Biochemie, Genetik und Ethologie, was letztlich ökologische Forschung in einen umfassenderen, definitorisch nicht mehr klar eingrenzenden Kontext einbettet. Dies wiederum erklärt auch, weshalb sich über diese 50 Jahre nur wenige durchgehende themenbezogene Leitlinien zeichnen lassen, veränderte sich doch durch berufsstrategische Entscheidungen und forschungspolitische Vorgaben (und Verbundprojekte) immer wieder die Richtung der hauseigenen ökologischen Forschung oder fand gar ein abruptes Ende. Einer solchen Entwicklung wird am ehesten eine mehr oder weniger zeitlich gestaffelte Kurzdarstellung der einzelnen Hauptforschungsgebiete gerecht, zeigt doch gerade sie eindrucksvoll, woran im Laufe eines halben Jahrhunderts so geforscht und was gelehrt wurde: Tier- und Pflanzenökologie, Wirbellose – Wirbeltiere, Pilze – Kryptogamen – Gefäßpflanzen, Populationen – Gemeinschaften – Ökosysteme, praktische und theoretische, grundlagenbezogene und angewandte, terrestrische und limnische Ökologie. Dabei bildeten Forschung und Lehre in der Jenaer Ökologie immer eine, über weite Strecken gleichberechtigte Einheit, die sowohl im breiten Spektrum an Lehrveranstaltungen als auch in der Vielzahl an Absolventen zum Ausdruck kommt. Überdies wird deutlich, dass gerade ein Institut für Ökologie nicht nur das ständig Neue und Zukunftsweisende,

sondern aufgrund seiner immanenten, oft regional verankerten Natur- und Umweltbezogenheit auch die Bewahrung und Weitergabe herkömmlichen Erfahrungswissens im Blick haben sollte.

Damit sei die Grundlegung für dieses Heft in groben Zügen umrissen, dessen Kapitel vom Herausgeber, einigen (oft langjährigen) Mitarbeitern und Arbeitsgruppenleitern erstellt und von allen noch einmal ergänzt und kritisch überarbeitet wurden. Darin werden wesentliche Forschungsthemen und -linien kurz in ihren möglichen Zusammenhängen beschrieben und durch Zitate von Publikationen (ERSTAUTOR Jahr, Zeitschrift) und teils Qualifizierungsarbeiten (Vorname, Name, Jahr) belegt. Dabei musste so mancher Beitrag und Name unerwähnt bleiben, ging es doch um die tragenden Säulen jenes ökologischen Gebäudes, das im Laufe von fünf Jahrzehnten errichtet und dabei ständig umgebaut wurde. Und es erscheint geradezu folgerichtig, wenn sich die Entwicklung der Jenaer Ökologie auch künftig unter dem Schirm jener alles überdeckenden Biodiversität vollzieht, deren regionale wie globale Bedeutung für die Menschheit allgegenwärtig ist.

Ein besonderer Dank gilt der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt, ihrem Senat und insbesondere dem Generalsekretär PD Dr. Jürgen Kiefer, für die Möglichkeit und bereitwillige Unterstützung, die Abhandlung als Heft der „Acta Academiae Scientiarum“ herauszugeben. Das Layout und den Buchsatz übernahm freundlicherweise Dr. Jan Engel (Institut für Ökologie).

Günter Köhler

Jena, im April 2016

Lehrstuhl für Spezielle Zoologie
und Entomologie
69 Jena, Fraunhoferstr. 6

Prof. Dr. H. J. Müller
Sektion Biologie-Ökologie
der Friedrich-Schiller-Universität
69 JENA, Fraunhofer Str. 6

Universität Jena
Sektion Biologie/V/3 Ökologie
DDR – 6900 Jena
Neugasse 23
German Democratic Republic

Institut für Ökologie
Biologisch-Pharmazeutische Fakultät
Friedrich-Schiller-Universität
Neugasse 23
D-07743 Jena
Germany



1 Ökologie an der Universität Jena - vom Begriff zur Institution

1.1 Das 19. Jahrhundert - Schleiden, Haeckel und Stahl

An der Jenaer Universität kam ökologisches Problemdenken vermutlich mit **Matthias Jacob Schleiden** auf, seit 1840 a.o. Prof. für Botanik, seit 1850 o. Prof. für Medizin (Naturwissenschaften) und Direktor des Botanischen Gartens, und seit 1859 Lehrstuhlinhaber. In seinen Werken, darunter das Buch „Die Pflanze und ihr Leben. Populäre Vorträge“ (1848), behandelte er sowohl ökophysiologische als auch umweltbezogene Zusammenhänge bei Pflanzen, unterschied deren Lebensformen und erkannte den Zeigerwert von Arten. Zudem thematisierte er den Stoffkreislauf in der Natur sowie überorganismische Zusammenhänge.

Doch erst der 1865 auf ein Ordinariat für Zoologie nach Jena berufene junge Zoologe **Ernst Haeckel** (Abb. 1) führte in seinem Erstlings- und Hauptwerk „Generelle Morphologie der Organismen“ (1866, Band 1 u. 2) den **Begriff „Oecologie“** ein. Er verortete ihn – zusammen mit der Geographie der Tiere - in der Zoologie unter „Relations-Physiologie“ oder „Physiologie der tierischen Beziehungsverrichtungen“, mithin als Physiologie der Beziehungen des tierischen Organismus zur (anorganischen wie organischen) Außenwelt (Abb. 2 u. 3). Später (1869) definierte er Ökologie als Lehre von der Ökonomie, also vom Haushalt der tierischen Organismen und davon, dass die verwickelten Wechselbeziehungen zur Umwelt genau jene von DARWIN (1856) benannten Bedingungen des Kampfes ums Dasein seien (MÜLLER 1985, HOSSFELD 2010). Damit gab Haeckel einem herangewachsenen Gebiet zumindest Namen, Definitionen und ein wenig Richtung, während seine wissenschaftlichen Interessen aber den bestehenden Formen und ihrer stammesgeschichtlichen Verwandtschaft galten, nicht aber ihren aktuellen kausalen Verknüpfungen untereinander und mit der Umwelt. Folglich blieb die Begriffsbildung für Haeckel ein eher akademisches Anliegen, ohne dass er sich jemals tiefergründiger mit ökologischen Problemen beschäftigt hätte. Die „Generelle Morphologie ...“ blieb jedoch in ihrer Wirkung seinerzeit auf einen kleinen Teil von teils kritisch dazu eingestellten Fachgelehrten beschränkt, und zu einer Übersetzung ins Englische kam es auch nicht. Dies veranlaßte Haeckel Jahrzehnte später, ausgewählte Teile als „Prinzipien der generellen Morphologie ...“ (1906) herauszubringen (USCHMANN 1966). Dies mag mit ein Grund dafür gewesen sein, dass der Begriff „Oecologie“ (Ökologie, ecology) im deutsch- wie englischsprachigen Raum erst seit dem

späten 19. Jh. allmählich Eingang in die Fachliteratur fand (vgl. Schriften in Kap. 4.3).

Der 1881 auf den Lehrstuhl für Botanik berufene **Ernst Stahl** führte eine Reihe experimenteller Methoden ein und untersuchte den Lichteinfluss auf Pflanzen. Zudem beschäftigte er sich mit sekundären Pflanzenstoffen als Schutz vor Tierfraß (1888 Pilze – Schnecken) und er gilt als Begründer der Chemischen Ökologie, welche danach allerdings wieder weitgehend in Vergessenheit geriet. Zudem klärte er die symbiotische Bedeutung der Mykorrhiza für Waldbäume auf (1900, Der Sinn der Mykorrhizenbildung).

1.2 Die Folgezeit bis zur Berufung von Hans Joachim Müller (1965)

Diese vor allem auf Pflanzen bezogene ökologische Grundlegung in der zweiten Hälfte des 19. Jh. an der Jenaer Universität setzte sich in der Folgezeit zwar in Forschung und Lehre fort, wurde aber an den Lehrstühlen für Botanik und für Zoologie, die hauptsächlich auf physiologische und phylogenetisch-systematische Forschung ausgerichtet waren, eher randlich betrieben. So sind auf **botanischem Gebiet** Themen mit ökologischen Bezügen insbesondere unter den Ordinariaten von Otto Renner (Nachfolge Stahl, 1920-1948), Hans Wartenberg (1949-1965, Allgemeine Botanik) und vor allem Otto Schwarz (1946-1966, Spezielle Botanik) vergeben und bearbeitet worden, insbesondere jene etwa 100 geobotanisch ausgerichteten Qualifizierungsarbeiten, die zwischen 1950 und 1971 (zumeist in den 1960er Jahren) unter Otto Schwarz angefertigt wurden (HEINRICH & MANITZ 1970; HEINRICH 1973, Wiss. Z. FSU Jena).

Auf **zoologischem Gebiet** sind hingegen weder in Haeckels 44jähriger Amtszeit (1865-1909) noch während der zwei nachfolgenden zoologischen Ordinarien (Ludwig Plate 1909-1935, Jürgen Wilhelm Harms 1935-1949) ökologische Themen bearbeitet worden. Unter den bei Plate angefertigten 67 Dissertationen befand sich nur eine einzige (zur Massenverbreitung der Pflaumenschildlaus – Ilse WELSCH 1936, Diss.; 1937, Landwirtsch. Jb.) mit einer angewandt-entomologischen Ausrichtung. Auch Viktor Franz, der in seinen Helgoländer Jahren über Fisch- und Planktonwanderungen geforscht hatte, publizierte in seiner Jenaer Zeit (1919-45) als Inhaber der Ritter-Professur nur je eine malakologische und eine ornithologische Schrift, welche ökologische Aspekte streiften. Eine Ausnahme ist jedoch Eduard Uhlmann (1920-54 am Zoologischen Institut und am Phyletischen Museum), der seit den 1920er Jahren umfangreiche faunistisch-biotopische Studien besonders in der Umgebung von Jena anstellte und seine Ergebnisse in der Tierwelt Jenas (1940) zusammenfasste. Diese wiederum war auch die Grundlage für

erstaunliche 74 Qualifizierungsarbeiten mit großenteils ökofaunistischer Ausrichtung (teils mit bis heute einmaligen Punktkartierungen) an zahlreichen wirbellosen Tiergruppen, die Uhlmann, nach dem Weggang von Jürgen Harms, von 1950-56 anregte und betreute. Nach dem Ausscheiden von Uhlmann sind bis Ende der 1960er Jahre noch weitere ähnliche Arbeiten unter dem Ordinariat von Manfred Gersch (1951-74) angefertigt worden. Somit dominierte an der Jenaer Universität bis in die 1960er Jahre hinein bei ökologischen Themen der deskriptive, klassisch-methodische Bezug zur überwiegend regionalen Floristik/Vegetationskunde und Faunistik (PENZLIN 1994).

Erst in der Nach-Haeckel-Ära hielten auch in der zoologischen Lehre ökologische Themen allmählich Einzug, beginnend mit Uhlmann, der seit 1925 im Rahmen eines Lehrauftrages eine Vorlesung „Tierische Schädlinge“ und seit 1927/28 eine „Einführung in die Morphologie, Biologie und Systematik der Insekten“ hielt. Im Jahre 1940 bot Otto Pflugfelder (1935-1949 in Jena) sogar eine Vorlesung „Ökologie der Tiere“ an (wohl die erste dieser Art in Jena) und 1941 „Umwelt und Eigenwelt der Tiere“. Unter dem Ordinariat von Gersch wurden durch zumeist externe Lehrbeauftragte sowohl Vorlesungen in Angewandter Entomologie (1952-1954 Fritz Paul Müller, 1955-1966 Heinz Esther) als auch in Ökologie (1956-1966 „Tierökologie“ von Theodor Schröder, seit 1961 „Ausgewählte Kapitel der Ökologie“ durch Horst Füller) angeboten (PENZLIN 1994). Hinzu kamen (marin-)zoologische Großexkursionen, die vor dem Bau der Berliner Mauer u.a. an den Golf von Neapel und an die Adria führten.

Am 1. Februar 1965 wurde auf Betreiben von Manfred Gersch, Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine Zoologie und Tierphysiologie, der renommierte Entomologe **Hans Joachim Müller** (1911-2007) auf den neugeschaffenen Lehrstuhl für Spezielle Zoologie und Entomologie berufen und damit die zoologische Forschung an der Universität durch ein zweites Ordinariat gestärkt (Abb. 4). Und H. J. Müller (so sein etabliertes Kürzel) war zu dieser Zeit bereits ein weithin bekannter Entomologe und Ökologe, Träger des DDR-Nationalpreises II. Klasse (1953 im Kollektiv, Resistenzforschung gegen Blattläuse), Mitglied der renommierten Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (1959) und Ordentliches Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1965). International bekannt war er bereits seit seiner Promotion (1938) über Zikadensymbionten bei Paul Buchner in Leipzig, woran sich 1948 (begonnen in Bonn) Forschungen über Blattläuse und seit 1955 solche zur Diapause (am Landkärtchenfalter und an Zikaden) anschlossen. Hans Joachim Müller und sein erster Oberassistent



Abb. 1: Der 32-jährige Zoologe Ernst Haeckel (1866) prägte in Jena den Begriff „Oecologie“. Aus: HAECKEL, W. (1914, Ernst Haeckel im Bilde).

XI. Oecologie und Chorologie.

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir wiederholt darauf hingewiesen, dass alle grossen und allgemeinen Erscheinungsreihen der organischen Natur ohne die Descendenz-Theorie vollkommen unverständliche und unerklärliche Räthsel bleiben, während sie durch dieselbe eine eben so einfache als harmonische Erklärung erhalten¹). Dies gilt in ganz vorzüglichem Maasse von zwei biologischen Phaenomen-Complexen, welche wir schliesslich noch mit einigen Worten besonders hervorheben wollen, und welche das Object von zwei besonderen, bisher meist in hohem Grade vernachlässigten physiologischen Disciplinen bilden, von der Oecologie und Chorologie der Organismen²).

Unter Oecologie verstehen wir die gesammte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle „Existenz-Bedingungen“ rechnen können. Diese sind theils organischer, theils anorganischer Natur; sowohl diese als jene sind, wie wir vorher gezeigt haben, von der grössten Bedeutung für die Form der Organismen, weil sie dieselbe zwingen, sich ihnen anzupassen. Zu den anorganischen Existenz-Bedingungen, welchen sich jeder Organismus anpassen muss, gehören zunächst die physikalischen und chemischen Eigenschaften seines Wohnortes, das Klima (Licht, Wärme, Feuchtig-

Abb. 2: Haeckels Definition von „Oecologie“. Aus: „Generelle Morphologie, Bd. II“ (1866, Teildruck 1906).

ZOOLOGIE ODER TIERKUNDE.

(Gesamtwissenschaft von den Tieren.)

| | | |
|---|---|--|
| Zoostatik oder tierische Morphonomie. | Zoochemie oder tierische Chemie. | Zoodynamik oder tierische Phoronomie. |
| Tierische Morphologie oder Statische Zoologie. | Chemie der tierischen Substrate. Morphologische Chemie der Tiere. | Tierische Physiologie oder Dynamische Zoologie. |
| Tierische Morphologie. | | |
| Zootomie oder Anatomie der Tiere Vergleichende Anatomie oder wissenschaftliche Zootomie. | Zoogenie oder Morphogenie der Tiere (Entwickelungsgeschichte der Tiere im weiteren Sinne. | Relations-Physiologie der Tiere oder Physiologie der tierischen Beziehungs- Vorrichtungen. |
| Tierische Tektologie oder Strukturlehre der Tiere. | Ontogenie der Tiere. Entwicklungs- geschichte der tierischen Individuen. | Physiologie der Beziehun- gen der ein- zelnen Teile des Tier- körpers zueinander. (Physiologie der Muskeln und Nerven usw.) |
| 1. Histologie 3. Antimerologie 5. Prosopologie | Embryologie und Meta- morphologie der Tiere. | Physiologie der tieri- schen Fort- pflanzung oder der Stoffwechsels. • Generation. Erhaltung der tierischen Stämme. |
| 2. Organologie 4. Metamerologie 6. Cormologie. | Phylogenie der Tiere. Entwicklungs- geschichte der tierischen Stämme. Palaeonto- logie und Genealogie der Tiere. | Oecologie und Geographie der Tiere. |

Abb. 3: Die „Oecologie“ (rechts unten) im System der zoologischen Fachgebiete. Aus: „Generelle Morphologie“ (1866, Teildruck 1906).

Gerhard Schaller bezogen einen Arbeitsraum im – nach Kriegszerstörung – 1953/54 neu errichteten Gebäude des Geologisch-Paläontologischen Instituts in der Fraunhoferstraße 6, in dem 1966 weitere Arbeits-, Labor- und Praktikumsräume belegt werden konnten. In den Jahren 1966 und 1969/70 kamen zwei neue Gewächshäuser für die experimentell-ökologische Forschung und Lehre hinzu, und es konnte ein kleiner Garten für Freiland-Anzuchten genutzt werden. In dieser Zeit kamen weitere Mitarbeiter hinzu, darunter 1966 auch der zweite wissenschaftliche Oberassistent Rudolf Bährmann. Der institutionelle Status des Bereiches war aber nach wie vor offen, sah doch die Universitätsleitung (anders als Ordinarius Müller) mit der Berufung nicht auch notwendigerweise eine Institutsgründung verbunden. Der politische Hintergrund dafür war die heraufziehende dritte Hochschulreform der DDR, welche für die Universitäten anstelle weitgehend selbständiger Institute völlig neue Strukturen vorsah (SCHÄLLER et al. 2007).

1.3 Der Wissenschaftsbereich Ökologie (1968-1990)

Im Zuge dieser Hochschulreform wurde 1968 aus der bisherigen Fachrichtung eine Sektion Biologie, innerhalb derer nunmehr Wissenschaftsbereiche (WB) entstanden, darunter auch der **WB** „Morphologie, **Ökologie** und Systematik der Tiere“, zu deren Leiter H. J. Müller am 1. Oktober 1968 ernannt wurde (Abb. 5 u. 6). Das Forschungsprofil baute auf Müllers vorherige Themen auf und war vor allem auf Dormanzen (Entwicklungsruhe i. w. S.) bei Insekten ausgerichtet. Doch wurden diese von ihm in Jena etablierten experimentell-ökologischen Forschungen (an Insekten) bereits 1969 seitens des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen für zu wenig praxisrelevant und daher als nicht förderungswürdig befunden. Dies führte Anfang der 1970er Jahre zu einer (hochschulpolitisch erzwungenen) Richtungsänderung auf praxisnahe ökologische Freilandforschung zunächst in naturnahen, später in immissionsbelasteten Grasland-Ökosystemen. Hierzu waren umfassende faunistisch-floristische Kenntnisse gefragt, die durch die Anstellung von Rolf Marstaller (1969 wiss. Mitarbeiter - Zoologe, später Botaniker und Pflanzensoziologe) und Wolfgang Heinrich (1971, wiss. Oberassistent – Botaniker und Vegetationsökologe) auf eine breitere Grundlage gestellt wurden (Abb. 7). Seine Mitarbeiter verpflichtete H. J. Müller, sich in eine oder mehrere Arthropoden-Ordnungen unter Starthilfe auswärtiger Spezialisten soweit einzuarbeiten, dass dauerhaft im Hause selbst sowohl eine sichere Determination der meisten anfallenden Arten als auch eine öko-logische Interpretation der Ergebnisse ermöglicht wurden. Diese faktisch duale Ausbildung zu Breitband-Ökologen und

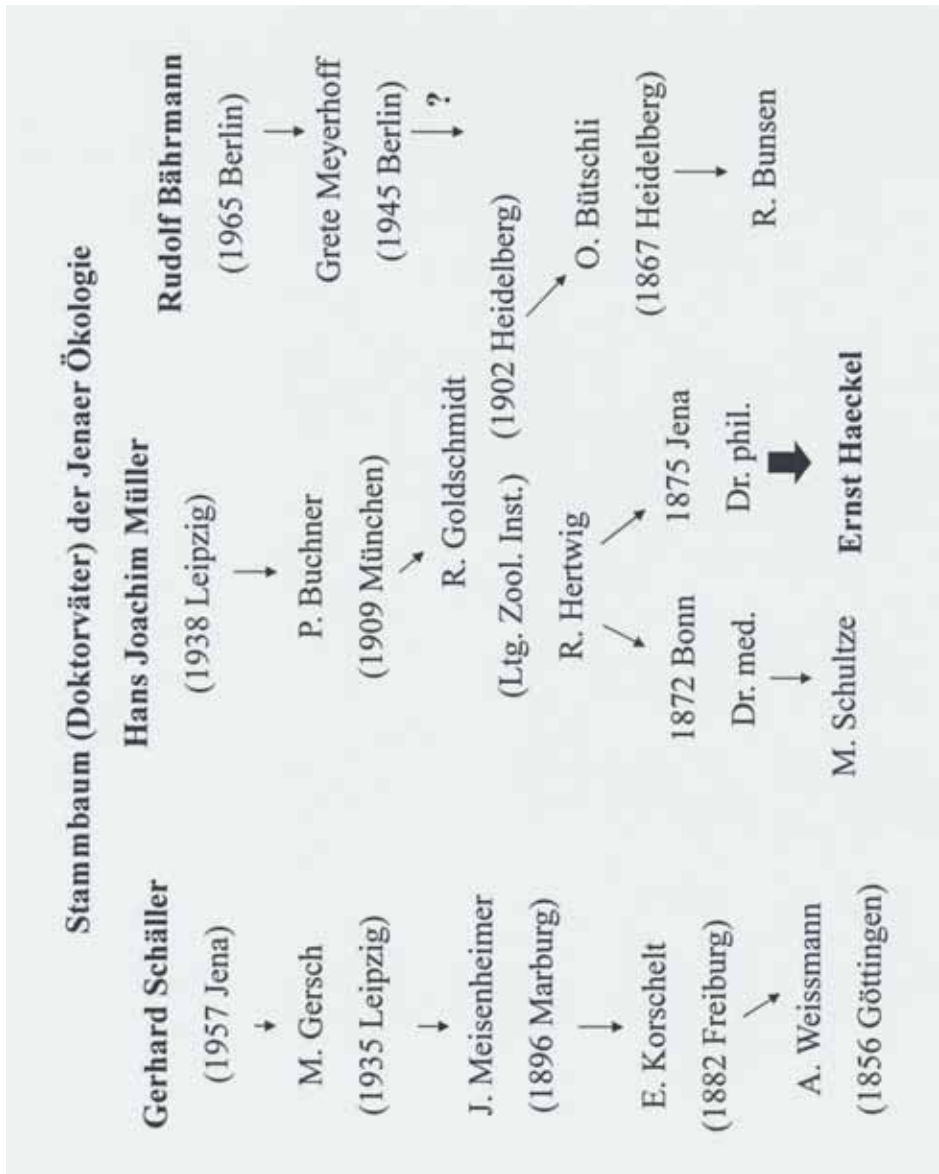


Abb. 4: Die Jenaer Ökologie geht im Stammbaum der Doktorväter nur knapp an Haeckel vorbei. Entwurf: G. Köhler.

Gruppenspezialisten hatte zwei langfristige Folgen. Zum einen sammelte sich am WB ein umfangreiches Wissen zur Biologie, Ökologie, Taxonomie und Systematik zu den Gefäßpflanzen und Kryptogamen sowie mindestens zu 10 Arthropodengruppen an, zum anderen formierten sich allmählich eigenständige Teilforschungsgebiete, aus denen nach der politischen Wende die ersten Arbeitsgruppen hervorgingen. Diese von der Aut- bis zur Synökologie reichende Themenbreite befähigte H. J. Müller, Ökologie in ihrer naturgemäßen Komplexität zu erfassen, wobei sein Bonmot „Es geht eben Alles auch anders“ auf die vielfältigen eigenen Erfahrungen artspezifischen Reaktionsvermögens gründete. Überdies sah er in großer Klarheit die Bedeutung sowohl floristisch-faunistischer Befunde für die Ökologie als auch ökologischer Grundlagen für den Naturschutz, so dass sich dieses Themenspektrum als tragfähige wie zukunftsweisende Grundlage für die weitere Entwicklung der ökologischen Forschung an der FSU Jena erwies (SCHÄLLER et al. 2007).

Mit der Emeritierung von H. J. Müller (1977) geriet der WB Ökologie abermals in schweres Fahrwasser, nutzte doch die Universitätsleitung diesen Umstand, um noch im selben Jahr die Auflösung des Bereiches anzuordnen, was nur dank des besonnenen und umsichtigen Handelns von Gerhard Schäller (als kommissarischem WB-Leiter) und Eberhard Müller (als damaligem Sektionsdirektor Biologie) hinausgezögert und schließlich abgewendet werden konnte. Unter Herausstellung der wachsenden nationalen wie internationalen Bedeutung von Ökologie, insbesondere für die sich verschärfenden Umweltprobleme, kam es 1981 – mit Zustimmung des Rektors Franz Bolck und bestimmten Auflagen – zur formalen Wiedergründung des WB Ökologie. Im Frühjahr 1982 wurde dann ein Umzug in die Räume der Gebäude Neugasse 23 und 24 unausweichlich, nachdem der bereits 1973 in das Haus Fraunhoferstraße 6 eingezogene WB Glaschemie (Otto-Schott-Institut) mit Unterstützung der Universitätsleitung allmählich das ganze Haus beanspruchte. Dies führte in den Folgejahren – aufgrund der Abkopplung von den Experimentalräumen und Gewächshäusern – zu erheblichen Einschränkungen der nebenher immer noch aufrechterhaltenen ökophysiologischen Forschung, welche dadurch allmählich auslief (SCHÄLLER et al. 2007).

Bezüglich des wissenschaftlichen Austausches waren zwar auch zu DDR-Zeiten vielfältige innerdeutsche wie internationale Kontakte möglich, doch beschränkten sich diese – abgesehen von Fachkolloquien mit Gastwissenschaftlern aus der BRD und dem Ausland - weitgehend auf Briefwechsel und Sonderdruck-Sendungen nahezu weltweit sowie Reisen in andere sozialistische Länder. Demzufolge herrschte nach der politischen

Wende auch in der Jenaer Ökologie große Aufbruchstimmung, die einerseits von der Möglichkeit zu Forschungs- und Praktikumsaufenthalten sowie Kongressteilnahmen in aller Welt, andererseits von der Notwendigkeit zu neuen und tragfähigen Konzepten in Lehre und Forschung getragen war, um sich in einer plötzlich unermesslich breit und unübersichtlich gewordenen, untereinander konkurrierenden Bildungs- und Forschungslandschaft dauerhaft zu behaupten.

1.4 Das Institut für Ökologie (seit 1990)

Auf Betreiben von **Gerhard Schäller** (Abb. 8) kam es am 09.10.1990 (mit Schreiben von Magnifizienz Schmutzer) – und mit 25-jähriger Verzögerung – endlich zur Gründung des Instituts für Ökologie, dessen geschäftsführender Direktor er wurde. Ab 01.09.1992 wurde er zudem vom Rektor mit der Wahrnehmung einer C4-Professur für Ökologie beauftragt, und am 01.10.1993 erfolgte die Berufung auf einen Lehrstuhl für Ökologie.

Noch vor Institutsgründung war die Entscheidung der Universität zum Bau eines neuen Kabinen-Gewächshauses (mit Klimakammern in Kellerlabors) für die Ökologie am Standort Neugasse 23 gefallen, welches noch 1990 eingeweiht wurde. Damit begann eine intensive Phase der Neuorientierung ökologischer Forschung und der Etablierung einer breit gefächerten ökologischen Lehre, mit Angeboten für die Aus- und Weiterbildung im Umweltschutz sowie zur Beratung in Fragen des Natur- und Umweltschutzes. Dank der Weitsicht von Gerhard Schäller wurden auch alle sich bietenden Möglichkeiten genutzt, das Institut personell und fachlich zu verstärken. So kamen 1990 zwei Kollegen von der Sektion Mathematik ans Institut und etablierten die neue Arbeitsgruppe „Theoretische Ökologie“ (Ltg. Gottfried Jetschke) mit dem Ziel, mittels theoretisch-konzeptioneller Modelle und darauf basierender Simulationen das Verständnis für ökologische Strukturen und Prozesse in Forschung und Lehre zu verbessern. Die 1990/91 erfolgte Auflösung der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) hatte zur Folge, dass 1993 die Abteilung Limnologie (Ltg.: Wilfried Schönborn), vordem am Jenaer Zentralinstitut für Mikrobiologie und Experimentelle Therapie (ZIMET) der AdW angesiedelt, administrativ an das Institut für Ökologie und damit an die FSU angegliedert wurde (SCHÖNBORN 2008), wenn auch bis 2003 noch in räumlicher Trennung zunächst auf dem Beutenberg und danach im Zeiss-Hauptwerk (vorher Südwerk). Damit bestand das Institut im Jahre 1993 aus sechs Arbeitsgruppen (AG – Anhang 1) mit 18 fest angestellten Mitarbeitern, darunter vier Hochschullehrern (Abb. 10). Nun begann auch die Zeit der verstärkten Einwerbung von Drittmitteln, mit denen



Abb. 5 (li): Prof. Dr. Hans Joachim Müller auf zoologischer Exkursion, mit Feldstecher, Exhaustor, Lupe und Krawatte, Mai 1970. Foto: G. Köhler.

Abb. 6 (re): Emeritus Prof. Dr. H. J. Müller, 1965-1977 Ordinarius für Spezielle Zoologie und Entomologie an der FSU Jena; Frühjahr 1991. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 7: Der Wissenschaftsbereich Ökologie (ohne H. J. Müller) im Garten Fraunhoferstr. 6, Herbst 1976. Foto: Institutsarchiv.

das Institut 1993 bereits acht Forschungsprojekte finanzierte. Zudem konnte nach mehrjährigen Bemühungen (und in Zusammenarbeit mit fünf weiteren Instituten) das Graduiertenkolleg „Funktions- und Regenerationsanalyse belasteter Ökosysteme“ (1995-2004) etabliert werden. Damit gelang es, basierend auf einer weitgehenden personellen Kontinuität, dass in den 1980er Jahren begonnene Steudnitz-Projekt nunmehr unter dem Aspekt der Regeneration weiterzuführen. Diese Entwicklung führte dazu, dass die räumlichen Verhältnisse so begrenzt und beengt geworden waren, dass nach einem größeren Domizil für das rasch wachsende Institut gesucht wurde, welches 1996 schließlich vier Etagen im Gebäude Dornburger Straße 159 (ehemals Städtisches Krankenhaus) beziehen konnte (Foto: Innentitelseite).

Nach dem altersbedingten Ausscheiden von Gerhard Schäller (1995) übernahm Rudolf Bährmann (Abb. 9) für ein Jahr kommissarisch die Leitung des Instituts, und am 1. April 1996 wurde **Stefan Halle** auf den Lehrstuhl für Ökologie berufen und damit Direktor des Instituts für Ökologie. Mit seiner AG Verhaltensökologie mit Schwerpunkt auf Kleinsäugetern (später AG Kleinsäugerökologie) wurde die ökologische Forschung an Wirbeltieren weiter ausgebaut. Mit Jens Schumacher (1996-2001, wiss. Mitarbeiter) kam zudem ein aus der Agrarforschung kommender Statistiker ans Institut, der sein Fachgebiet sowohl in die Lehre als auch in die Forschung einbrachte, mit an der Etablierung des Jena-Experiments (2002) und maßgeblich an >20 Publikationen (1999-2014) beteiligt war. In den späten 1990er Jahren setzte eine zunehmende, international notwendige Anglisierung in Forschung und Lehre am Institut ein. Von 1999-2003 weilte Andrew Davis (von der Univ. Leeds kommend) als Gastdozent am Institut, um in englischsprachigen Lehrveranstaltungen (darunter 'Scientific Writing') diese weltweite Wissenschaftssprache einzuführen, sich in Forschungsvorhaben von Kollegen einzubringen und ihnen bei Manuskripten beratend (und mitunter als Koautor) zur Seite zu stehen. Er selbst forschte an Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Insektenpopulationen (am Beispiel von *Drosophila*-Arten).

Durch entsprechende Berufungen wurden zudem weitere neue Forschungsfelder etabliert. So kam 1997 Heinrich Dörfelt als Hochschuldozent für Landschaftsökologie und Naturschutz hinzu. Im selben Jahr bildete sich in der Nachfolge des internationalen Studienganges „Ecotechnie“ am Institut ein Lehrbereich „Umweltwissenschaften“ mit zwei vor allem mykologisch ausgerichteten Arbeitsgruppen: Naturschutz (Heinrich Dörfelt, bis 2002) und Bodenökologie (François Buscot, bis 2003). Im Jahre 2002 (bis 2009) kam Kerstin Wiegand als Juniorprofessorin und Leiterin der AG Räumliche Ökologie ans Institut. In der Nachfolge von Rudolf Bährmann wurde 1999

Wolfgang W. Weisser auf eine W2-Professur „Terrestrische Ökologie“ berufen, wo er zunächst die AG Populationsökologie übernahm und diese später in die AG Multitrophische Interaktionen umbenannte, welche sich hauptsächlich mit Blattlaus-Räuber/Parasiten-Systemen beschäftigte. Durch sein Engagement und unter seiner Leitung kamen in den 2000er Jahren drei umfangreiche Forschungs(verbund)projekte in Grasland- und Waldökosystemen ans Institut: das Jena-Experiment (seit 2002), BIOLOG DIVA Jena (2004-2007) und die Biodiversitäts-Exploratorien (2008-2011 in Jena). Von 2006-2011 weilte Hugh D. Loxdale als Marie Curie Senior Research Fellow am Institut in der AG Multitrophische Interaktionen, der zuvor in der Rothamsted Research Station gearbeitet hatte und vormals auch Präsident der Royal Entomological Society war. Während eines Sabbaticals von W. W. Weisser wurde H. Loxdale bis 2011 die Vertretung dieser Professur übertragen. Nach der Berufung von W. W. Weisser an die TU München (2011) folgte ihm Nico Eisenhauer - als Leiter der neuen AG Oberirdisch-Unterirdische Interaktionen (2012-2014) - auf diese W2-Professur, bevor er im Frühjahr 2014 auf eine iDiv-Professur nach Leipzig wechselte. In den Vakanzzeiten hatte Günter Köhler die jeweilige Vertretungsprofessur (2011/12 für Terrestrische Ökologie und 2014-2016 für Populationsökologie) inne. Mit Markus Bernhardt-Römermann kam 2014 eine weitere AG Funktionelle Vegetationsökologie hinzu (vgl. Anhang 1).

Die AG Limnologie wurde nach dem altersbedingten Ausscheiden von Wilfried Schönborn (1999) von Heike Zimmermann-Timm (bis 2002) mit Fließgewässerforschung weitergeführt. Nach einem Jahr Vakanz übernahm im Jahre 2004 **Kirsten Küsel** die AG und etablierte eine geomikrobiologische Ausrichtung, seit 2014 auf einem Lehrstuhl für Aquatische Geomikrobiologie.

Eine solche dynamische Entwicklung wäre ohne engagierte Mitarbeiter im Sekretariat sowie Technischen und Gärtnerischen Bereich nicht möglich gewesen, auch wenn deren Beitrag gemeinhin in den skizzierten Forschungsergebnissen untergeht (vgl. Anhang 2).

Experimentalräume und Klimakammern

Unmittelbar nach Bezug der Räume in der Fraunhoferstr. 6 wurden 1966 und 1969/70 ein Pultgewächshaus als südseitiger Anbau ans Haus sowie ein großes, freistehendes Kabinengewächshaus mit einem Anzuchtteil, einem großen Mitteltrakt und mehreren Seitenkabinen für die experimentell-ökologische Forschung und Lehre des Bereiches errichtet. Außerdem standen im Hause mehrere Kellerräume für Experimente zur Photoperiode zur Verfügung, und es konnte ein kleiner Garten für Freiland-Anzuchten (von Futterpflanzen) genutzt werden. Ein regelmäßiger Gewächshausdienst an den Wochenenden und Feiertagen, in den sämtliche

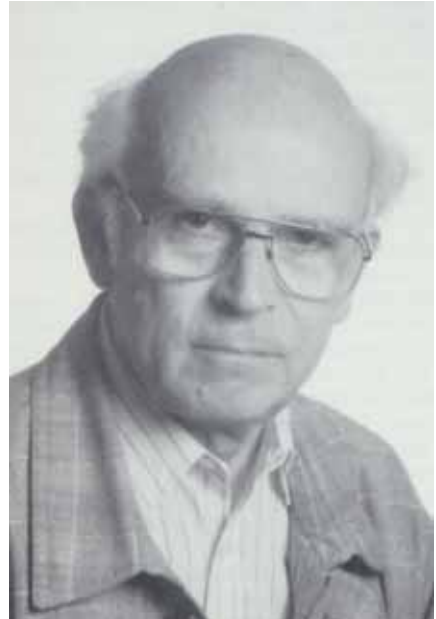


Abb. 8 (li): Prof. Dr. Gerhard Schäller, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Nachfolger von H. J. Müller und seit 1990 Direktor des Instituts für Ökologie; 1994. Foto: Institutsarchiv.

Abb. 9 (re): Prof. Dr. Rudolf Bährmann, seit 1966 am WB Ökologie, 1995/96 kommissarischer Direktor des Instituts für Ökologie; um 2002. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 10: Die Institutsmitarbeiter (mit Emeritus H. J. Müller, vorn rechts) im Hof Neugasse 23; Sommer 1995. Foto: Institutsarchiv.

Mitarbeiter einschließlich Lehrstuhlinhaber einbezogen waren, sorgte für einen reibungslosen Ablauf der Experimente. Nach dem 1982 erfolgten Zwangsumzug in die Neugasse 23/24 gingen zunächst die Kellerräume verloren, und aufgrund der Entfernung (quer durch das Stadtzentrum) war auch nur noch eine eingeschränkte Nutzung und Pflege der Gewächshäuser möglich. Erst 1990 konnte unmittelbar neben dem Gebäude Neugasse 23 wieder ein Gewächshaus eingeweiht werden, in dessen Unterkellerung mehrere neue Klimakammern (Heraeus) Platz fanden, und in dessen oberem Teil, ähnlich gestaltet wie der vorherige und wiederum mit Seitenkabinen, abermals diverse Insektenzuchten (viele Heuschrecken) für ökophysiologische Experimente Platz fanden. Auch diese Nutzung währte nur wenige Jahre, ging sie doch nach dem 1996 erfolgten zweiten Umzug der Ökologie, nunmehr in die Dornburger Str. 159, ebenfalls verloren. Immerhin konnten die Klimakammern in einen Kellerraum des Gebäudes umgesetzt werden.

Im Jahre 2004 wurden umfangreiche Baumaßnahmen – darunter die Errichtung eines Gebäudes mit vier Klimakammern (teils vom Lehrstuhl Pflanzenphysiologie genutzt) – im Hof des Institutsgebäudes abgeschlossen. Damit verbesserten sich die Bedingungen für experimentelle Arbeiten der AG Multitrophische Interaktionen, die bis dahin Klimakammern im Zeiss-Gebäude nutzte. Mangels Gewächshaus-Kapazität mußten allerdings viele Anzuchten und etliche Experimente in einem Gewächshaus am Botanischen Garten durchgeführt werden. Seit 2012 steht dem Institut für Ökologie am Standort Dornburger Str. 159 anstelle der vorherigen Abstellgaragen ein neues, zweistöckiges Gebäude mit begehbaren Klimakammern zur gemeinsamen Nutzung zur Verfügung. Das Gebäude samt seiner Infrastruktur wurde durch den Antrag AquaDiv@Jena im Rahmen der Pro-Exzellenzinitiative eingeworben und wurde im Wesentlichen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert. Es dient der Verbesserung der instrumentalen Ausstattung der Biodiversitätsforschung, insbesondere im Jena-Experiment und im damals noch in der Antragsphase befindlichen Sonderforschungsbereich AquaDiva. Das Gebäude umfasst im Obergeschoß einen großzügigen Lagerraum, im Erdgeschoß eine Kammer zur Trocknung von Biomasse sowie drei Klimakammern. Von diesen sind zwei für Experimente mit Pflanzen-Boden-Systemen vorgesehen und ermöglichen neben der Einstellung eines Temperaturbereiches von 15°C bis 25°C die Wahl definierter Lichtbedingungen (Intensität und spektrale Anteile) mit Hilfe moderner LED-Beleuchtung. Die dritte Klimakammer weist einen tieferen Temperaturregelbereich auf (4-15°C) und dient mit nur einfacher Beleuchtung vorwiegend Experimenten, welche die Verhältnisse in unterirdischen Lebensräumen bzw. Aquiferen simulieren

sollen. Die Computer-basierte Steuerung der Klimakammern ermöglicht die Überwachung und Dokumentation der zu ihrem Betrieb eingestellten Parameter mit hoher zeitlicher Auflösung.

(Einschub: MARTINA HERRMANN, KIRSTEN KÜSEL, GÜNTER KÖHLER, STEFAN HALLE)

Computertechnik in der Ökologie

Im Jahre 1987 genehmigte das Prorektorat für Forschung der FSU dem WB Ökologie den Kauf eines **Schneider-PC** (inkl. Nadeldrucker) in einem staatlichen An/Verkauf-Geschäft für ungläubliche 104.000 DDR-Mark, womit eine neue Ära der Datenanalyse begann. Unmittelbar nach der Wende ergaben sich dann neue Möglichkeiten der Computerbeschaffung, so dass es in der ersten Hälfte der 1990er Jahre am Institut (Neugasse 23/24) einzelne Rechner unterschiedlicher Plattformen (Windows, Mac, Linux) gab. Jeder AG-Leiter war über ein 9,6 kbit-Modem mit dem Internet verbunden, und zudem existierte noch ein separates Netz über drei Räume zu der auch eine Linux-Workstation gehörte (AG Theoretische Ökologie). Im Jahre 1996 bekam die AG Limnologie am Beutenberg immerhin einen respektablen 10 Mbit/s-Internetanschluss. Auch in der Neugasse 23 konnte auf Eigeninitiative des Instituts etwa zeitgleich (und damit deutlich früher als zentral geplant) ein **lokales 10 Mbit/s-Netz** mit File- und Mailserver in Betrieb genommen werden, wobei die Internetanbindung für die angeschlossenen Arbeitsplätze mit 19,6 kbit/s noch ein ziemliches Provisorium blieb.

Nach dem 1996/97 erfolgten Umzug in die Dornburger Str. 159 bekam das Institut zwar eine moderne Netzinfrastruktur sowie einen kleinen **Computerpool** (8 Plätze), jedoch keine Internet-Anbindung. Auch bestand noch eine Unterversorgung mit Computern, so dass sämtliche verfügbaren Provisorien (z. B. modembasierte TAUs) eingesetzt wurden, um irgendwie ins Internet zu kommen. Erst 2000/01 kam es endlich zu einer Anbindung ans Internet über eine sehr teure 2 Mbit/s-Mietleitung fürs ganze Haus, und der institutseigene, aus der Neugasse mitgebrachte Mailserver wurde außer Betrieb genommen. Und 2002/03 kam schließlich die **Glasfaseranbindung** mit 100 Mbit/s an jeden Arbeitsplatz. Ein genehmigter Großantrag (Wissenschaftler-Ausstattungsprogramm) entspannte die Lage deutlich, der Computer-Pool wurde auf 16 Plätze ausgebaut, und dem Sekretariat stand nunmehr ein PC zur alleinigen Nutzung zur Verfügung. In diesem Zusammenhang wurde auch die institutseigene Server-Technik erneuert. Ab 2007 betrieben die Limnologen 3 eigene lokale Server für spezielle Aufgaben. Im Zeitraum 2007/08 wurden im Hause die ersten **WLAN-Zugangspunkte** installiert, deren seinerzeitige Punktlösungen im Institut sich nachträglich als zu kurzfristig erwiesen. Im Zeitraum 2010/11 wurde

das 100 Mbit/s-Netz im Haus auf 1 Gbit/s umgestellt, und 2012 der Computerpool mit neuer PC-Technik ausgestattet. Im Zeitraum 2012/13 wurden die Fileserver-Dienste ins Rechenzentrum verlagert und die hauseigenen lokalen Server schließlich abgeschaltet.

(Einschub: ULRICH MÖLLER, GOTTFRIED JETSCHKE, WINFRIED VOIGT)

1.5 Neue Lehrstühle am Institut

Das 2013 gegründete Deutsche Zentrum für integrative **Biodiversitätsforschung** (iDiv) Halle-Jena-Leipzig (mit Sitz in Leipzig) ist eines von sechs DFG-Forschungszentren. Zum Direktorium dieser Einrichtung gehört seit 2012 auch Kirsten Küsel (stellv. Direktorin) vom Institut für Ökologie als Vertreterin der FSU Jena, die maßgeblich am Zustandekommen dieses Zentrums mit insgesamt acht neugeschaffenen Lehrstühlen beteiligt war. Des Weiteren ist Martina Herrmann (Küsel Lab) wissenschaftliche Koordinatorin zwischen iDiv und FSU Jena. Im Zeitraum 2014/15 konnten auch jene drei Lehrstühle besetzt werden, die an der FSU Jena an das Institut für Ökologie angegliedert sind: Molekulare Interaktionsökologie (Nicole van Dam), Ökosystemare Dienstleistungen (Aletta Bonn) und Biodiversitätstheorie (Ulrich Brose). Zusammen mit dem 2014 eingerichteten Lehrstuhl für Aquatische Geomikrobiologie (Kirsten Küsel) gehören zum Institut für Ökologie seitdem fünf Lehrstühle, von denen der Gründungslehrstuhl für Ökologie (Stefan Halle) mit einer W2-Professur und derzeit sechs Arbeitsgruppen der personell stärkste ist.

1.6 Außenwirkungen der Jenaer Ökologie

Die Wahrnehmung eines Universitätsinstituts ist von Natur aus sehr breit angelegt und zielt – neben der Lehre – vor allem auf wissenschaftliche Sichtbarkeit: mit (wissenschaftlichen und populären) Publikationen, Rezensionen, Berichten, Manuskriptgutachten (Reviews), Projektanträgen (zur Drittmittelinwerbung), Herausgeberschaften, Mitarbeit an Zeitschriften (vgl. Anhang 3), Mitgliedschaften in Fachgesellschaften und Ausrichtung von Tagungen. Darüber hinaus reichen aber einige personengebundene Wirkungen in breitere gesellschaftliche Bereiche hinein, wie Berufungen in nationale und internationale Fachgesellschaften, Mitarbeit in stadt- und landespolitischen sowie internationalen Gremien, oder auch besondere wissenschaftliche Auszeichnungen. Gerade die letztere Art von Außenwirkungen bleibt meist im Hintergrund und soll deshalb an dieser Stelle noch hervorgehoben werden (Würdigungen und Nachrufe – vgl. Kap. 4.4).

Die Außenwahrnehmung der Jenaer Ökologie war anfangs von **Hans Joachim Müller** (1911-2007) geprägt, der lange vor seiner Berufung an die FSU bereits den Nationalpreis der DDR (1953, II. Klasse im Kollektiv) erhalten hatte. Zudem war er berufenes Mitglied der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR (1956), der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (1959, als einer der ersten Ökologen überhaupt) und ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR (1964, Klasse für Chemie, Geologie und Biologie; später Leiter der Arbeitsgruppe „Ökologie“ in der Klasse „Mensch und Umwelt“). Von 1969-1973 war er Vorsitzender der neugegründeten Sektion „Ökologie“ der Biologischen Gesellschaft der DDR, zu deren Ehrenmitglied er 1982 ernannt wurde. Aufgrund seiner vielfältigen Verdienste wurden ihm 1959 die Karl-Escherich-Medaille (der Deutschen Entomologischen Gesellschaft) und 1982 die Fabricius-Medaille (der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie - DGaaE, deren Ehrenmitglied er ebenfalls wurde) verliehen.

Rudolf Bährmann war von 1992-1997 Gutachter des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD), von 1991-1997 im Vorstand der DGaaE, ist als wissenschaftlicher Beirat seit vielen Jahren auch im Vorstand der Entomofaunistischen Gesellschaft und wurde 2003 für seine (vor allem dipterologischen) Verdienste mit der Meigen-Medaille ausgezeichnet. Zusammen mit **Gerhard Schäller** war er Mitorganisator der DGaaE-Tagung 1993 in Jena. Im Rahmen der Biologischen Gesellschaft der DDR organisierten G. Schäller und Wilfried Schönborn die Tagungen für Nachwuchs-Ökologen der DDR. Nach 1987 leitete G. Schäller in Jena innerhalb der Gesellschaft für Natur und Umwelt die Interessengemeinschaft „Stadtökologie“ und engagierte sich seit den 1990er Jahren im Verein „Blühendes Leutratal e.V.“ erfolgreich für den Bau des Jagdbergtunnels der Autobahn 4 und den Trassenrückbau im Leutratal.

Anfang der 1970er Jahre mitbegründete **Wolfgang Heinrich** im Kulturbund die Jenaer „Fachgruppe zur Beobachtung und zum Schutz heimischer Orchideen“, die er viele Jahre lang leitete und damit weitere Fachgruppen von Orchideenfreunden in Thüringen anregte. Auch deshalb wurde er 1987 in den Zentralen Fachausschuss Botanik beim Kulturbund berufen. Im Jahre 1991 wurde er Gründungs- und Vorstandsmitglied im „Arbeitskreis Heimische Orchideen Thüringen e. V.“ (AHO). Durch sein Engagement für Bäume und städtisches Grün wurde er nach der Wende als Sachverständiger in die Baumschutzkommission beim Umweltamt Jena berufen.

Seit vielen Jahren bringt sich **Hans-Ulrich Peter** auf Landesebene in Naturschutzbeiräte (Umweltministerium, Stadt Jena), in die Stiftung Naturschutz sowie – als passionierter Ornithologe und seit 1974 auch Beringer - in den Landesfachausschuss Ornithologie (des NABU) ein. Er war langjähriger Sprecher der Fachgruppe Ornithologie der Polargebiete sowie der Forschungskommission der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft (DO-G) und 2013-2015 deren Vizepräsident. Von ihm und seinem Team wurden 1998 die 131. Jahrestagung dieser Gesellschaft (mit einem Schwerpunkt Vögel der Polargebiete) sowie 2005 die 22. Internationale Polartagung in Jena ausgerichtet. Des Weiteren arbeitet er im wissenschaftlichen Beirat der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung mit und berät Umweltministerium und Umweltbundesamt in antarktischen Fragen. Auf internationalem Parkett ist er Mitglied im Internationalen Ornithologischen Komitee (seit 2006) und arbeitet im Scientific Committee on Antarctic Research (Expert Group on Birds and Marine Mammals) mit. Für seine Leistungen auf dem Gebiet der Ornithologie wurde er 2003 mit dem Horst-Wiehe-Preis der DO-G ausgezeichnet. Der als technischer Mitarbeiter in der Ökologie (1980-2000) tätige Ornithologe **Jürgen Heyer** (1940-2009) war zu DDR-Zeiten neben seiner Beringertätigkeit noch in leitenden ornithologischen Gremien der Fachgruppen Weimar und Jena des Kulturbundes sowie in den Bezirksfachausschüssen Erfurt und Gera für Ornithologie und Vogelschutz sowie als Vertreter Thüringens in der Zentralen Arbeitsgruppe Avifaunistik der DDR tätig. Nach der Wende bis 2002 war er Vorsitzender des Landesfachausschusses Ornithologie im neugegründeten Naturschutzbund Deutschland, Landesverband Thüringen.

Seit 1992 ist **Günter Köhler** berufenes Mitglied des Fachbeirates für Arten- und Biotopschutz der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. Mit seinem Team organisierte er 1994 die 3. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Orthopterologie in Jena. Im März 1998 wurde er von der Schwurgerichtskammer am Landgericht Erfurt als entomologischer Gutachter in einem Mordprozeß bestellt. **Gottfried Jetschke** ist seit 1992 Mitglied (und seit 2000 im Board of Directors) der Melton Foundation, einer Stiftung zur Förderung der weltweiten interkulturellen Kommunikation und Zusammenarbeit von Studenten, und seit 1996 Mitglied (und derzeit im Leitungsgremium) im Naturschutzbeirat des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz. Mitglieder im Landesnaturschutzbeirat Thüringens waren auch **Christiane Roscher** (2002-2004) und **Wolfgang W. Weisser** (2004-2011). **Heinrich Dörfelt** – schon früher in mykologischen Kulturbundgruppen aktiv – wurde 1995 erster amtierender Vorsitzender des Landesfachausschusses „Mykologie Thüringen“ und Gründungsmitglied der

Thüringer AG „Mykologie“. Nach ihm sind auch zwei Pilzarten benannt: *Phacopsis doerfeltii* Scholz 1998 und *Monotosporella doerfeltii* Sadowski et al. 2012. Noch in seiner kurzen Jenaer Zeit erhielt **Nico Eisenhauer** im Jahre 2014 den renommierten Heinz Maier-Leibnitz-Preis der DFG für hervorragende Forschungsleistungen zu Auswirkungen des globalen Wandels auf Biodiversität und Ökosystemfunktionen am Beispiel der Wechselwirkungen von Pflanzen und Bodentieren.

Der Limnologe **Wilfried Schönborn** (1934-2016) war seit 1994 ordentliches Mitglied der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt und 2001-2015 Sekretär der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse. Durch seine engagierte Mitarbeit im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) machte er die bereits zu DDR-Zeiten bekannte Jenaer Limnologie (an der AdW) deutschlandweit sichtbar. Die Geomikrobiologin **Kirsten Küsel** ist seit 2008 in der Senatskommission für Wasserforschung (KoWa) der Deutschen Forschungsgemeinschaft tätig. Sie wirkte am Aufbau (und seit 2013 im Vorstand) der „Water Science Alliance“ mit, einer Initiative zur Stärkung und besseren Positionierung und Sichtbarkeit der Wasserforschung in Deutschland und im internationalen Kontext. Seit 2012 ist sie Ko-Direktorin des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), hat dort die Graduiertenschule yDiv mit aufgebaut, und wurde 2015 in das Direktorium der Graduiertenakademie Jena gewählt. Seit 2013 ist Kirsten Küsel Sprecherin des Sonderforschungsbereichs AquaDiva. Seit 2014 vertritt sie die Hochschulen in der Arbeitsgruppe „Infrastrukturen für terrestrische Forschung“, welche von der Allianz der Wissenschaftsorganisationen, einem Zusammenschluss der bedeutendsten Wissenschafts- und Forschungsorganisationen in Deutschland, initiiert wurde. International engagiert sie sich in der European Association of Geochemistry, in dessen Gremium sie 2016 gewählt wurde. Diese Vereinigung verlieh ihr 2012 den „Eminent Speaker Award“, eine Auszeichnung für herausragende WissenschaftlerInnen in der mittleren Karrierephase. Im Jahre 2015 wurde sie in den Vorstand der International Society of Microbial Ecology (ISME) berufen. Im Mai 2016 wurde Kirsten Küsel auch Direktorin des Instituts für Ökologie.

GÜNTER KÖHLER, GERHARD SCHÄLLER, RUDOLF BÄHRMANN, STEFAN HALLE,
KIRSTEN KÜSEL

Ökologie

Hans Joachim Müller



VEB Gustav Fischer Verlag Jena

2 Hauptforschungsgebiete

Die ökologische Forschung blieb unter dem Ordinariat von Hans Joachim Müller durch den Lehrstuhlinhaber zunächst weitgehend auf die Ursachen und Folgen der Entwicklungsruhe (Dormanz) bei Insekten ausgerichtet. In den Jahren 1970/71 kam eine auf Grasland-Ökosysteme fokussierte Feldforschung hinzu, die sich – ungeachtet wechselnder Untersuchungsgebiete – als jene Richtung mit der längsten Kontinuität erwies. Vor allem aus ihr heraus wurde den wissenschaftlichen Mitarbeitern (als Spezialisten von Pflanzen- und Tiergruppen) mit den Jahren eine zunehmend eigenständige Ausrichtung ermöglicht, die mit Gründung des Instituts (1990) in selbständige Arbeitsgruppen mündete. Nach der politischen Wende kam es dann, befördert durch die Aufbruchstimmung und wissenschaftspolitische Öffnung zu einer großen Breite und Vielfalt an ökologischen Forschungsgebieten (vgl. Anhang 1). Während die Dormanzforschung in den 1980er Jahren erlosch, wurden Aspekte der Ökosystem- und Sukzessionsforschung auf der Basis von Ergebnissen aus den 1970/80er Jahren vor allem im Rahmen eines Graduiertenkollegs (1995-2004) und mit neuen Auswertemethoden weitergeführt. Die seit jeher umfangreiche vegetationskundliche Forschung fand verstärkt Eingang in den Naturschutz, ebenso wie ein Forschungsverbundprojekt zu Gefährdungsanalysen (FIFB, 1993-96). Ausgehend von frühen ornithologischen Forschungen und der in den Jahren 1983-1985 erfolgten Teilnahme von Hans-Ulrich Peter an einer Antarktis-Expedition formierte sich seit 1990 unter seiner Leitung eine prosperierende Polar- und Ornitho-Ökologie. Mit Gottfried Jetschke (und anfangs Markus Beyer) aus der Mathematik setzte eine Forschung ein, die als Theoretische Ökologie begann und sich allmählich hin zu einer Pflanzen- und schließlich Dendro-Ökologie entwickelte. Mit der Eingliederung der Limnologie (1993-1998 Wilfried Schönborn, 1999-2002 Heike Zimmermann-Timm) kam neben dem bisherigen terrestrischen nun auch ein aquatischer Forschungszweig hinzu, der zunächst auf Fließgewässer konzentriert war, nach 2004 aber durch Kirsten Küsel eine aquatisch-geomikrobiologische Ausrichtung erhielt. Nach dem altersbedingten Ausscheiden des Institutsdirektors Gerhard Schaller (1995) und von Rudolf Bährmann (1997) waren durch Neuberufungen auf den Lehrstuhl für Ökologie (1996 Stefan Halle – Verhaltens-/Kleinsäugerökologie) und auf eine W2-Professur für Terrestrische Ökologie (1999 Wolfgang W. Weisser – Populationsökologie/Multitrophische Wechselwirkungen) weitere neue Forschungsgebiete

entstanden. Dabei strahlten besonders drei große, unter W. W. Weisser etablierte Langzeitprojekte (2002-2011) auf die Institutsforschung aus: Jena-Experiment (seit 2002 – Saale-Aue bei Jena), BIOLOG – DIVA Jena (2004-2007 – Thüringisch-fränkisches Schiefergebirge) und Biodiversitäts-Exploratorien (seit 2008 – Schwäbische Alb, Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin). Sie bildeten inhaltlich wie personell die nachhaltigste Grundlage für eine großangelegte experimentelle Forschung zur funktionellen Biodiversität und waren mitentscheidend für die Etablierung des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv, Jena im Verbund mit Leipzig-Halle). Hinzu kamen Forschungsgruppen zur Mykologie (Heiner Dörfelt), Bodenökologie (François Buscot), Räumlichen Ökologie (Kerstin Wiegand), zu Oberirdisch-Unterirdischen Interaktionen (Nico Eisenhauer) und zur Funktionellen Vegetationsökologie (Markus Bernhard-Römermann), wengleich aufgrund von Wegberufungen mit teils nur kurzer Verweildauer am Institut (vgl. Anhang 1).

Diese außerordentlich dynamische Entwicklung ist in 17 nachfolgend skizzierte Hauptforschungsfelder (14 terrestrische und 3 aquatische) gefasst, welche zwar überwiegend durch die jeweiligen Arbeitsgruppen repräsentiert werden, doch gibt es auch vielfältige Unterteilungen in und Querverbindungen zwischen ihnen, so dass im Laufe der fünf Jahrzehnte (insbesondere in deren zweiter Hälfte) eine erstaunliche Themenbreite quer durch die Aut-, Dem- und Synökologie auf praktischem wie theoretischem Gebiet und an einer Vielzahl an Großtaxa im Labor/Gewächshaus und Freiland bearbeitet wurde.

2.1 Dormanz, Ökomorphosen, Polymorphismen

Bereits lange vor seiner Jenaer Zeit veröffentlichte Hans Joachim MÜLLER seine experimentellen Ergebnisse zur Auswirkung der saisonbedingten Tageslänge (Photoperiode) auf die Morphenbildung in der Klein- oder Zwergzikadengattung *Euscelis* (1954, Beitr. Ent.; 1955, Naturwiss.; 1957, Zool. Jb. Syst.), auf Entwicklung und Oogenese bei der Kleinzikade *Stenocranus minutus* (1957, Beitr. Ent.; 1958, Zool. Anz.; 1961, Verh. Ent. kongress Wien) sowie auf Saisonmorphen beim Landkärtchenfalter, *Araschnia laevana*, (1955, 1956, Naturwiss. – Abb. 11) und bei Mottenschildläusen (1962, Z. Morph. Ökol. Tiere, Entom. exp. appl.). Überdies veränderte die Photoperiode bei den ohnehin schwer unterscheidbaren *Euscelis*-Arten neben der Färbung (Hans Pohle 1971) auch die zur Artabgrenzung herangezogenen ♂-Genitalmerkmale durch allometrisches Wachstum (Uwe Gothe 1973, Diss.), so dass bis dahin getrennte Arten (der *incisus*- und *lineolatus*-Gruppe) sich als jeweils durch eunomische Reihen verbunden erwiesen (MÜLLER

1957ff.). Dies führte andernorts zu zahlreichen überprüfenden Experimenten bei weiteren Zikadenarten und zwang zu kritischem Herangehen an die sich entwickelnde genitalmorphologische Artabgrenzung (bei Zikaden). Damit entdeckte H. J. Müller - etwa zur gleichen Zeit wie Aleksandr Sergejewitsch DANILEVSKIJ (1948 ff., zusf. 1961) in der Sowjetunion und Anthony David LEES (1953 ff., zusf. 1955) in England – die modifizierende Wirkung der Tageslänge auf die saisonale Entwicklung und Ausprägung von Arthropoden.

Als H. J. Müller 1965 auf einen Lehrstuhl an die Jenaer Universität berufen wurde, war er als ein führender Vertreter der **Dormanzforschung** weithin anerkannt, stand mit Fachkollegen aus aller Welt in regem Briefwechsel und pflegte einen umfangreichen Tausch von Publikationen, deren Kollektionen (getrennt in Blattläuse, Zikaden und Ökologie) aus jeweils einigen tausend, auf Karteikarten katalogisierten Sonderdrucken allen Mitarbeitern zur Verfügung standen und sie anregten, eigenständige Sonderdrucksammlungen anzulegen. In Jena setzte H. J. Müller 1966/67 die laborexperimentellen Untersuchungen zum Einfluss von Licht und Temperatur auf Phänologie und Dormanz sowie die morphologisch-anatomische Analyse der exogen bedingten Saisonformen von Insekten fort, wiederum an Zikaden (mit Joachim Müller und Werner Witsack), Mottenschildläusen (mit Rudolf Bährmann) und Edelfaltern (mit Rolf Reinhardt und Winfried Voigt). Dabei ist eine flexible, durch Umweltfaktoren kontrollierte Variabilität (als Ökomorphismus) zu trennen von einer starren, weitgehend umweltunabhängigen Variabilität (als Polymorphismus) (BÄHRMANN 1977, Zool. Anz.). Beide Formen haben eine genetische Grundlage und unterliegen damit der Selektion, die ja stets am Phänotyp ansetzt. Durch Ökomorphosen sind Arten in der Lage, sich nicht nur an regionale, sondern auch an saisonal schwankende Umweltbedingungen perfekt anzupassen. Die von H. J. Müller noch bis ins hohe Alter selbst durchgeführten sowie die von ihm angeregten Forschungsarbeiten seiner Mitarbeiter an den genannten Insektengruppen deckten eine breite Palette an verschiedenen stadiengebundenen Dormanzformen, Ökomorphosen und Polymorphismen ab. Zwischen 1968 und 1986 entstanden dazu etwa 30 Qualifizierungsarbeiten, darunter sechs Dissertationen (Joachim Müller 1970, Werner Witsack 1970, Uwe Gothe 1973, Fritz Hinke 1973, Peter Nußbaum 1976, Winfried Voigt 1980) und zwei Habilitationsschriften (Rudolf Bährmann 1978, Werner Witsack 1983).

In Fortführung von H. J. Müllers frühen endosymbiontischen Arbeiten (bei Paul Buchner in Leipzig) führte Joachim Müller zunächst vergleichend-anatomische Studien an intrazellularen Haupt- und Nebensymbionten von 30 **Zikadenarten** der australischen und äthiopischen Region durch, welche

bisherige Befunde zur Zikadenendosymbiose bestätigten und erweiterten (J. MÜLLER 1969, Zool. Jb. Syst.; 1970, Diss.). In Untersuchungen an der heimischen *Euscelis plebejus* zeigte sich ein Einfluss von hohen Temperaturen und unterschiedlicher Ernährung auf die Mycetomausbildung (und Körpergröße), während bei *Stenocranus minutus* die Photoperiode die Infektionsformenbildung der Symbionten beeinflusste (J. MÜLLER 1971, 1973, Zool. Jb. Syst.). Hinsichtlich der Zikadendormanz erweiterte Werner Witsack die durch H. J. Müller an *St. minutus* gewonnenen Erkenntnisse durch Untersuchungen an 16 weiteren Zikadenarten. Die Mehrzahl der aus verschiedenen taxonomischen Gruppen stammenden Arten wiesen Überwinterungsdormanzen im embryonalen Stadium entweder durch photoperiodisch induzierte Eudiapause oder durch Kühle terminierbare Parapause auf. Die bereits im Mittwinter terminierten Dormanzeier verblieben durch thermisch bedingte Quieszenz bis zum Frühjahr in Winterruhe, d.h. in sukzedaner Dormanz. Bei einigen Arten konnten parallel (simultan) verschiedene Dormanzformen (z.B. bei *Anakelisia fasciata* eine Parapause der Embryonen und seltener auch eine thermische Quieszenz der Weibchen) festgestellt werden. Somit wurden bei Zikaden artspezifisch Quieszenz, Oligopause, Parapause und Eudiapause als Dormanzformen nachgewiesen, die selbst zwischen nahe verwandten Arten erstaunlich unterschiedlich waren (WITSACK 1971, 1973, 1985, 1991, alle Zool. Jb. Syst.).

Bei den hierzulande wenigartigen **Mottenschildläusen** (Aleyrodina) wies Rudolf BÄHRMANN sowohl (variable) Oligopausen als auch Eudiapausen nach, deren Induktion und Steuerung durch Temperatur, Photoperiode und physiologischen Zustand der Wirtspflanze im Mittelpunkt der Untersuchungen standen. Bei *Aleyrodes*-Arten beeinflusste die Photoperiode nicht nur die Reproduktion, sondern auch Färbungsmerkmale (1970, Zool. Jb. Syst.). Diese ökomorphischen Erscheinungen (als Saison- und Intermediärformen) wurden vor allem an *Aleurochiton aceris* (1973, 1974, Zool. Jb. Syst., 1979, Biol. Zbl.) und *Asterobemisia paveli* (1974, Zool. Anz.) genauer untersucht, während an *Aleyrodes asari* die Wirkung unterschiedlicher Wellenlängen und Intensitäten des Lichtes nachgewiesen wurde (1981, Zool. Jb. Syst.). Insgesamt zeigte sich, dass Ökomorphismus nur bei bi- und polyvoltinen, nicht aber bei monovoltinen Arten auftrat. Die wichtigsten Ergebnisse aus diesen Forschungen, zu der noch mehrere Diplomarbeiten vorliegen, sind im Band „Mottenschildläuse“ (BÄHRMANN 2002, Neue Brehm-Bücherei 664, Westarp Wiss.) zusammengestellt.

Bei den **Edelfaltern** überprüfte Rolf Reinhardt am Landkärtchenfalter die alte Hypothese, nach der die Temperatur der ausschlaggebende Faktor für die Ausbildung einer rotbraunen Frühjahrsform (f. *levana*) und einer

dunklen Sommerform (f. *prorsa*) sei. Dabei ergaben sich bei verschiedenen Temperaturen und Photoperioden kontinuierliche Variantenreihen, deren Endglieder die *levana*- und die *prorsa*-Form sind, deren Zwischenglieder jedoch im normalen Ablauf der Jahreszeiten aus klimatischen Gründen nur vereinzelt auftreten können (REINHARDT 1969, Zool. Jb. Physiol., Ent. Ber.). Aus der Beschäftigung mit dieser Art entstand ein Band „Landkärtchenfalter“ der Neuen Brehm-Bücherei (REINHARDT 1972). Winfried Voigt untersuchte die Dormanzen am C-Falter (*Polygonia c-album*) und am Kleinen Fuchs (*Aglais urticae*). Wuchsen L5-Raupen des C-Falters bei Kurztag und Kühle auf, entwickelte sich eine Oligopause, aus der dunklere Falter hervorgingen, während unter Langtag ohne Dormanz größere und hellere Tiere schlüpften. Beim Kleinen Fuchs trat hingegen eine reproduktive Dormanz in den Gonaden der Weibchen auf (Winfried VOIGT 1980, Diss.; 1985, Zool. Jb. Syst.).

An gomphocerinen **Feldheuschrecken** (*Chorthippus parallelus*, *Ch. biguttulus*, *Gomphocerippus rufus*) untersuchte Günter Köhler verschiedene Aspekte der Ei(Embryonal)-Parapause. Deren Intensität (als Dauer der terminierenden Kühlephase) war bei unter Kurztag abgelegten Eiern deutlich niedriger als bei solchen, die unter Langtag abgelegt worden waren. Doch ein geringer Anteil an Eiern entwickelte sich auch subitan (ohne Dormanz) (KÖHLER 1989, 1991, Zool. Jb. Syst.). Die wichtigsten Befunde sind im Band „Heuschrecken“ der Neuen Brehm-Bücherei zusammengefasst (INGRISCH & KÖHLER 1998). Darüberhinaus gab es noch Dormanzstudien an Netzflüglern (HINKE 1975, Zool. Jb. Syst.), am Erbsenwickler (Peter Nußbaum 1976, Diss.) und an der Nesselröhren-Schildlaus (KÖHLER 1983, Zool. Jb. Syst.).

Das Hauptaugenmerk von H. J. MÜLLER richtete sich frühzeitig darauf, die verschiedenen Ausprägungen der Entwicklungsruhe in ein terminologisches System zu gießen, liefen doch nach wie vor alle derartigen Erscheinungen unter dem zunehmend verwaschener gewordenen Begriff der Diapause (diapause – Wheeler, 1893). Die mittlerweile bekannt gewordene phänomenologische Vielfalt waren der Anlass (seit 1965/66, Verh. Dtsch. Zool. Ges., Zool. Anz. Suppl.), diese letztlich in ein geordnetes **Begriffssystem** zu bringen, dessen Eckpfeiler die Einleitung und Intensität der jeweiligen Entwicklungsruhe bildeten. Als übergeordneten Begriff schlug er die bereits etablierte „Dormanz“ vor, als jede negative (und adaptive) Abweichung von der optimalen artspezifischen Entwicklungsgeschwindigkeit. Diese kann (a) rechtzeitig vor einer eingetretenen Verschlechterung der Umweltbedingungen und damit quasi vorausschauend (prospektiv) oder (b) nachdem diese bereits eingetreten ist (konsekutiv) ausgelöst werden, wobei er die neuen

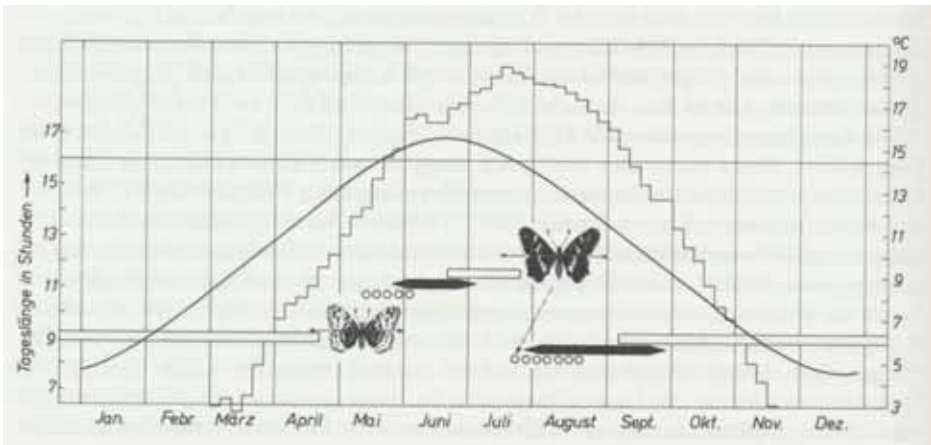


Abb. 11: Die Photoperiode beeinflusst über die Raupen die Morphenausbildung beim Landkärtchenfalter. Aus: MÜLLER (1992, zuerst 1957).

| Phase | DORMANZ | | | | |
|--------------------------|--|---|---|-------------------------|---|
| Induktion | konsekutiv nach Umweltverschlechterung | | prospektiv vor Umweltverschlechterung | | |
| Stadium | subitan beliebig sofort | sukzedan bevorzugt nach Akkumulation Oligopause | obligatorisch endogen fixiert | | fakultativ nur nach exogenem Signal Eu-Diapause |
| Manifestation als Symbol | Quieszenz Qu | Op | Parapause Pp p. Pp s. Pp | Hyperpause Hy | Dp in endogen fixiertem Stadium |
| Termination | konsekutiv subitan sofort | sukzedan allmählich | konditional nach Valenzänderung im folgenden Ontogenesestadium dabei: | | nach Kühlperiode (nach Ablauf der Chilling-phase) |
| Valenzrestitution | jederzeit notwendig | nach Akkommodation nicht-unabdingbar | Stadium beliebig | Stadium festgelegt | |
| Voltinismus | polyvoltin | oligovoltin | oligovoltin | monovoltin | oligovoltin |

Abb. 12: Die Müllersche Gliederung der Dormanzformen. Aus: MÜLLER (1992).

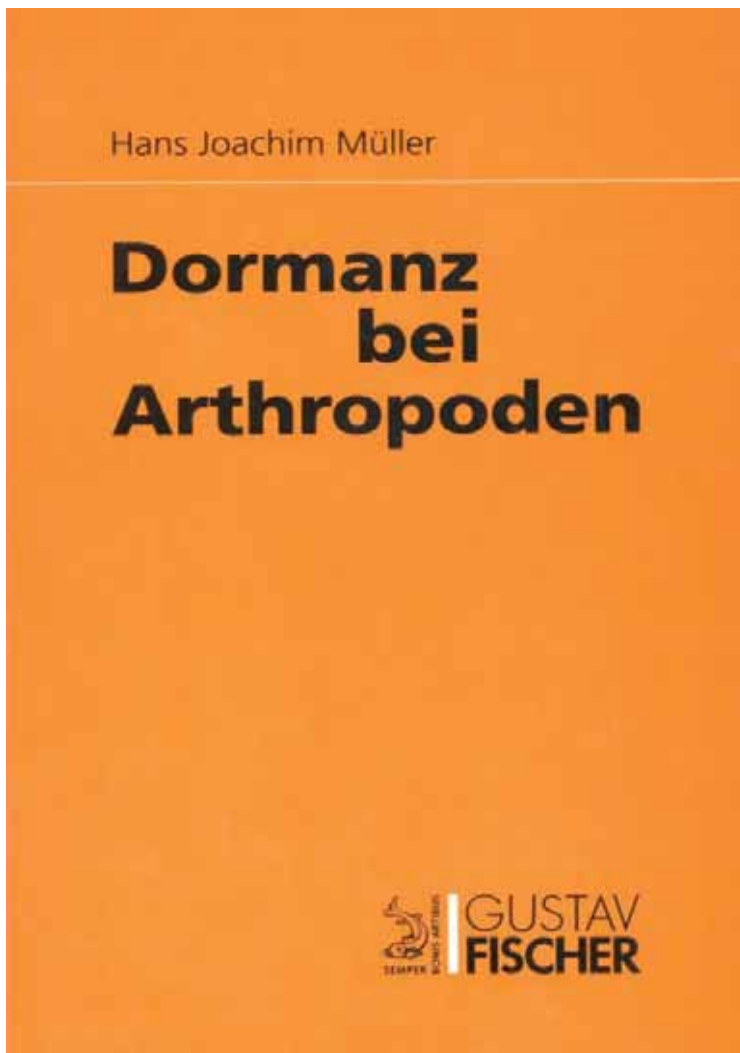
Termini Oligopause, Parapause und Eudiapause einführte (1970, Nova Acta Leopoldina). Die ökologische Bedeutung von Dormanzen sah Müller in der stadienmäßigen Synchronisation (besonders der Kopulationspartner) innerhalb der Populationen und folgte damit der bereits von LEES (1955) geäußerten Ansicht. Populationsgenetisch sind auch meist mehr als nur eine Emanzipationsform (oder auch keine – Nondiapause) im Sinne eines balancierten Polymorphismus angelegt (1974, Abh. Akad. Wiss. DDR; 1976, Verh. Dtsch. Zool. Ges.). Werner Witsack deckte weitere Dormanz-Wirkungsmechanismen bei Zikaden auf, modifizierte und erweiterte das Müllersche System der Dormanzformen (Abb. 12) um die Hyperpause als Extremfall der (prospektiven) Parapause und beschäftigte sich mit der Bedeutung von Dormanzen für die Einnischung und Synchronisation der Zikaden-Populationen (WITSACK 1971, 1973, 1981, 1985, Zool. Jb. Syst.). Bereits im hohen Alter, krönte H. J. MÜLLER sein über 40-jähriges Lebenswerk zur Entwicklungsruhe mit dem Lehrbuch „Dormanz bei Arthropoden“ (1992, Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York), in dem er die weltweiten und eigenen Erkenntnisse (und die seiner Mitarbeiter) aus 1880 Literaturzitate (davon 71 aus eigenem Hause) zu 954 Taxa (meist Insektenarten), unter Berücksichtigung physiologischer, morphologischer, genetischer und evolutiver Befunde akribisch verbal und in einem 60seitigen Tabellenteil zusammenfasste (Abb. 12 und S. 38).

Nachdem H. J. Müller Anfang der 1970er-Jahre den larvalen **Farbpolymorphismus** der Kleinzikade *Mocydia crocea* erkannt hatte, widmete er sich zunächst den Morphenverteilungen in den Populationen und Biotopen, danach der experimentellen Aufklärung der genetischen und ökologischen Verhältnisse. Dabei erwies sich die ökologische Dominanzhierarchie als invers zur genetischen Grundlage, und die Morphen an verschiedenen Grasarten erreichten recht unterschiedliche Überlebensraten (MÜLLER 1974, Zool. Anz.; 1979, 1987, 1988, 1989, Zool. Jb. Syst.; Hans-Ulrich Peter 1978, Diss.). Desweiteren konnten in einer Diplomarbeit der Saisondimorphismus der Weichwanze *Notostira elongata* untersucht (Birgit Schalk 1979) und die mehrjährige Entwicklung der Dornzikade *Centrotus cornutus* aufgeklärt werden (MÜLLER 1984, Zool. Jb. Syst.). Bei Zikaden kam es außerdem noch zu Untersuchungen an Parasitoiden, wie den Mymaridae (WITSACK 1973, Zool. Jb. Syst.; 1986, Dt. ent. Ztschr.), den Augenfliegen, Zikadenwespen und Fächerflüglern (Friedrich W. SANDER 1980, Dtsch. Ent. Z., 1981, Diss., 1985, Wiss. Z. FSU Jena).

Ein nicht unbedeutendes Nebenprodukt der umfangreichen Gewächshaus- und Laborexperimente, vor allem mit Zikaden (MÜLLER 1973,

Wiss. Z. FSU Jena), Mottenschildläusen (als Pflanzensaftsauger), Tagfaltern (Raupen) und Feldheuschrecken (als Pflanzenfresser) waren Erkenntnisse und Erfahrungen sowohl zur Haltungsmethodik und zu Wirtspflanzen als auch zu zahlreichen biologisch-ökologischen Details der Entwicklung und Fortpflanzung, die gemeinhin als Fitness-Parameter zusammengefasst werden. Dieses Wissen floss auch in die genannten monographischen Brehm-Bände zum Landkärtchenfalter (REINHARDT 1972), zu den Heuschrecken (INGRISCH & KÖHLER 1998), Mottenschildläusen (BÄHRMANN 2002) und Zikaden (STRÜMPPEL 2010) ein.

GÜNTER KÖHLER, WERNER WITSACK, WINFRIED VOIGT, RUDOLF BÄHRMANN



2.2 Terrestrische Ökologie

2.2.1 Nahrung und Ökoenergetik

Die experimentelle Dormanzforschung (Kap. 2.1) konzentrierte sich zwar auf den Einfluss von Licht (als Photoperiode) und Temperatur auf die Insektenentwicklung, berücksichtigte aber zum Teil auch eine mögliche Modifizierung durch die Nahrung. Im Vergleich mit abiotischen Faktoren ist Nahrung jedoch ein chemisch-physikalisches Mehrfaktoren-Gefüge, dessen Standardisierung erst durch Herstellung und Verabreichung künstlicher Nahrung (Diät) möglich ist. Unter der Leitung von Gerhard Schaller entwickelte sich daraus ein Forschungsstrang zu trophischen Aspekten, der im Zeitraum 1971-1996 zu insgesamt 15 Qualifizierungsarbeiten, darunter 2 Dissertationen, führte.

Es begann mit Untersuchungen zur Entwicklung und Formenbildung der Kleinzikade *Euscelis plebejus* bei verschiedenen Photoperioden und **künstlicher** (vollsynthetischer) **Nahrung**, die zwar keinen Einfluß auf die Diapause-Ausprägung hatte, jedoch zu einer gewissen Entwicklungsverzögerung bei diesen pflanzensaftaugenden Insekten führte (Dieter Hülbert 1971, HÜLBERT & SCHÄLLER 1972, Zool. Jb. Syst.). Für grasfressende Feldheuschrecken wurde eine halbsynthetische Trockendiät unter Beimischung von pulverisiertem Knaulgras hergestellt. Diese ermöglichte zwar eine normale Entwicklung bis zur Imago, doch waren Gelegezahl und Schlupfrate verringert (Gottfried Haubold 1974; Hannelore Hüttner 1975; SCHÄLLER 1980, Wiss. Z. FSU Jena).

Im Rahmen der beginnenden strukturanalytischen Untersuchungen in Grasland-Ökosystemen erfolgten zeitgleich auch erste Gewächshaus-Experimente zum bevorzugten **natürlichen Nahrungsspektrum** dominanter Heuschreckenarten der Halbtrockenrasen des Leutratales und dessen Einfluss auf die Entwicklung (Ulrich Schwelle 1973, Matthias Enk 1979). In daran anschließenden detaillierteren Experimenten mit (grasfressenden) Gomphocerinen wurde zunächst der Nahrungsverbrauch (*Dactylis glomerata*) des Gemeinen Grashüpfers (*Chorthippus parallelus*) in seinen verschiedenen Entwicklungsstadien untersucht (Michael Reetz 1981). Beim Angebot mehrerer Grasarten ergaben sich je nach Artenmischung etwas wechselnde **Präferenzen** und von den verfütterten Einzelgrasarten abhängige Fitness-Parameter (SCHÄLLER & KÖHLER 1981, Zool. Jb. Syst.) sowie stadienspezifische Verwertungsindices und Biomasseumsätze (KÖHLER

& SCHÄLLER 1981, Zool. Jb. Syst.). Konsequenterweise schlossen sich ökoenergetische Untersuchungen in Wildpopulationen an, bei denen auf der Grundlage paralleler fünfjähriger Untersuchungen (von G. Köhler) zur Populationsdynamik (bes. von *Ch. parallelus* – KÖHLER 1985, 1987, Wiss. Z. FSU Jena, KÖHLER & BRODHUN 1987, Zool. Jb. Syst.) entsprechende **Biomasseumsätze und Energieflüsse** ermittelt wurden, wobei Heuschrecken im Schnitt 10% der Primärproduktion abschnitten, von denen aber nur ein Fünftel wirklich gefressen wurde (Hans-Peter Brodhun 1987, Diss.; KÖHLER et al. 1987, Oecologia). Dennoch blieb unbekannt, welche Gräser in welchen Anteilen von den Heuschrecken tatsächlich im Freiland gefressen wurden. Derartige Einblicke wurden erst durch mikroskopische Bestimmung von Kropfinhalten anhand eines dafür entwickelten Referenzschlüssels (häufiger Gräser) möglich. Ein Nahrungsvergleich an vier Grashüpfer-Arten (Imagines) ergab zwar bestimmte Präferenzen, die zum Teil aber auch der jeweiligen Grashäufigkeit auf der Fläche geschuldet waren (Birgit Arndt 1988). Auch im Laufe der Juvenilenwicklung (von *Ch. parallelus*) zeigten sich gewisse Verschiebungen in der aufgenommenen Grasnahrung (Sylvia Heilmann 1988), eine Folge der möglicherweise sich phänologisch ändernden, aber nicht untersuchten Grasblattqualität.

Die bis dato nur Pflanzenfresser einbeziehenden Untersuchungen wurden noch durch solche an häufig auftretenden räuberischen Arthropoden erweitert, wofür sich radnetzbauende Spinnen besonders eigneten. In den Halbtrockenrasen des Leutratales wurde das Beutespektrum mehrerer großer Araneiden-Arten erfasst, insbesondere von der zu dieser Zeit häufig gewordenen **Wespenspinne**, *Argiope bruennichi* (KÖHLER & SCHÄLLER 1987, Zool. Jb. Syst.), in deren Netzen sich an Großinsekten vor allem Bienen und Grashüpfer fanden (Steffen Malt 1989; MALT et al. 1990, Zool. Jb. Syst.; Malt 1996, Diss.).

In den 1980er-Jahren wurden im Immissionsnahbereich des Phosphatdüngemittelwerkes Steudnitz an den dort aufgewachsenen Gras-Monokulturen die tritrophische Nahrungskette Salzschwaden-Blattläuse-Marienkäfer (Jan Naumann 1984; NAUMANN & SCHÄLLER 1986, Zool. Jb. Syst.) und die Quecke-Konsumenten-Kette (Bernd Rether 1987) genauer untersucht.

Weiterhin kam es zu einer Arbeit über die Nahrungsökologie von Populationen der Zaun- und Waldeidechse in der Jenaer Umgebung (Steffen Möller 1996, Diss.). Des Weiteren liefen im Laufe der Jahre noch zahlreiche Arbeiten zur Nahrungsökologie von heimischen Vogel- (Kap. 2.2.4) und Fledermausarten (Kap. 2.2.6).

2.2.2 Ökosystemanalysen und Sukzessionsforschung

Die über fast vier Jahrzehnte in unterschiedlicher Intensität betriebene Struktur-, Funktions- und Regenerationsanalyse von naturnahen, immissionsbeeinflussten, landwirtschaftlichen, renaturierten und restaurierten Grasland-Ökosystemen (vor allem unter Einbeziehung der oberirdischen Vegetation und Arthropoden) war das seinerzeit aufwendigste und datenreichste Forschungsfeld am WB/Institut für Ökologie, zu dem die Auswertungen noch immer nicht abgeschlossen sind.

Naturnahes Grasland

Im Zuge der 3. Hochschulreform der DDR (1968) musste die ökologische Forschung landesweit auf praxisrelevantere Schwerpunkte, die auf Umwelt- und Naturschutz im weitesten Sinne zielten, ausgerichtet werden. Die dafür neu gegründete Hauptforschungsrichtung Ökologie beim Ministerium für Wissenschaft und Technik wurde von Rudolf Schubert (Inhaber des Lehrstuhls für Botanik an der Martin-Luther-Universität Halle) koordiniert. In enger Abstimmung mit dem Jenaer WB Ökologie (H. J. Müller) konzentrierte man sich auf Grasland-Ökosysteme, deren Struktur, Funktion und Entwicklung es zu erfassen und besser zu verstehen galt. Forschungsflächen waren typische südexponierte Trocken- und Halbtrockenrasen sowie Frischwiesen im südlich von Jena gelegenen Leutratal – weithin bekannt wegen seines Reichtums an 26 Orchideenarten - die in Kooperation von Halle (Vegetation) mit Jena (epigäische Fauna), Görlitz (Bodentiere – Wolfram Dunger) und Eberswalde (mikrobielle Abbauprozesse im Boden – Erich von Törne) untersucht wurden. Im Jahre 1971 sind nach dem Katena-Prinzip drei Hauptprobeflächen am Unter-, Mittel- und Oberhang (A - Arrhenatheretum, M - Mesobrometum, S - Seslerietum) eingerichtet worden. Die teilweise Aufgabe der traditionellen Bewirtschaftung der orchideenreichen Halbtrockenrasen war später der Anlass dafür, in zwei parallelen Langzeit-Projekten den ungestörten **Verlauf der (Sekundär-)Sukzession** als Vergrasung, Verbuschung und Bewaldung am Hang zu verfolgen und zu dokumentieren.

Aufbauend auf die ersten Vegetationsuntersuchungen (1971-75, durch Hallenser Botaniker) führten Wolfgang Heinrich und Rolf Marstaller ab 1976 die drei 20 m × 30 m großen Probeflächen A, M und S, jeweils gegliedert in 24 Teilflächen (à 5 m × 5 m), als **Dauerbeobachtungsflächen** weiter. In 4-jährigen Abständen (bis 2008) erfolgten vegetationskundliche Aufnahmen, insbesondere der Deckungswerte sämtlicher Gefäßpflanzen-

und Moosarten sowie der Gehölzverteilung (HEINRICH et al. 1998, Naturschutzreport). Ebenfalls 1976 wurde mit Unterstützung des Instituts für Landschaftsforschung und Naturschutz in Jena (Eberhard Niemann) ein sich über den gesamten Röt-Wellenkalk-Hang erstreckendes **Vegetationstransect** abgesteckt. Dieses durchgehende, als „Katena“ bezeichnete Band von insgesamt 179 Rasterquadraten zu je 10 m × 10 m erstreckte sich entlang des gesamten Hanggradienten vom Autobahnrand bis zur Hangoberkante (Abb. 13). In dieser Katena konzentrierten sich die Aufnahmen auf die Vegetationsentwicklung, jedoch in 5-jährigen Abständen (bis 2001). Diese 30 bis 40 Jahre überdeckenden Langzeitbeobachtungen – nach derselben Methodik vom selben Bearbeiterteam – gelten zumindest für Thüringen als einmalige Monitoring-Programme im Grasland.

Die oberirdische Arthropoden-Fauna wurde in den ersten Probe- und späteren Dauerflächen von 1971-1975, 1983-1985 und teils 1987-1989 untersucht. Zum Einsatz kamen vor allem Bodenfallen nach Barber (Hans-Ulrich Peter 1974) und durchgehend quantitative Kescherfänge, aber auch etliche andere **Fangmethoden**, die hinsichtlich ihrer Erfassungsgenauigkeit auch getestet wurden: quantitatives Keschern (WITSACK 1975, Ent. Nachr.), Leerfang-Keschern (Hans-Jürgen Zacheja, Klaus-Peter Nagel 1978), Saugsammler (Hans-Peter Brodhun 1980), Biozönometer (Petra Frost 1980) und Dauer-Eklektoren (Max Schröter 1983, Arndt Fiedler 1983). Effektivitätsvergleiche mehrerer Fangverfahren wurden an Fliegen (BÄHRMANN 1976, Ent. Abh. Mus. Dresden), Zikaden (Hans-Ulrich Peter 1979, Diss.) und Heuschrecken (KÖHLER 1987, Wiss. Z. FSU Jena) angestellt. Die zeitaufwendige Bearbeitung des Tiermaterials (Fangen, Auslesen, Artbestimmen, Auszählen) brachte den WB Mitte der 1970er-Jahre an seine Leistungsgrenze. Deshalb wurde entschieden, die ökofaunistischen Erhebungen im Leutratl nicht mehr jährlich, sondern nach Jahren erst wieder geblockt (1983-1985, 1987-1989) durchzuführen, wobei die dadurch entstandenen ungleichmäßigen Datenlücken bei Konsumenten später kaum zu korrigieren waren. Zur Erhellung der **Konsumentenstruktur** wurden dominante und zumeist artenreiche Arthropoden-Gruppen ausgelesen bzw. erfaßt und bearbeitet: vorrangig Asseln, Webspinnen, Tausendfüßer, Heuschrecken, Zikaden, Wanzen, Käfer und Fliegen, zeitbegrenzt außerdem Kanker, Blattläuse, Zikadenparasitoide, Gallen und Minen, Schmetterlinge (meist Tagfalter), Arthropoden auf Blüten und an Gehölzen sowie Vögel und Kleinsäuger. Auf diese Weise häuften sich umfangreiche Kenntnisse über Spektren, Häufigkeiten, Dominanzen und Repräsentanzen sowie über die saisonale und sukzessionsbedingt-räumliche Einnischung der Arten an (zusf.

MÜLLER et al. 1978, Zool. Jb. Syst.; HEINRICH et al. 1998, Naturschutzreport). Einzelne Großtaxa sind hinsichtlich ihrer Zönosestruktur, Dynamik und Biotopbindung umfassend aufbereitet worden: vor allem Doppelfüßer (DUNGER & STEINMETZGER 1981, Zool. Jb. Syst.), Laufkäfer (DUNGER et al. 1980, Abh. Mus. Görlitz), Zikaden (MÜLLER 1978; PETER 1981, Zool. Jb. Syst.), Fliegen (BÄHRMANN 1979 mult.) und Heuschrecken (KÖHLER 1988 mult.), später noch Sichelwanzen (Steffen Roth 1992, 1999, Diss.).

Die erfassten Daten konnten anfangs nur minimal-statistisch analysiert und daher auch meist nur qualitativ interpretiert werden, wobei pflanzensoziologische und ökofaunistische Aspekte überwogen und zwangsläufig objektbezogene Resultate (Taxa, Landschaftselemente) gegenüber prozessbezogenen Auswertungen im Vordergrund standen. Dies änderte sich erst mit der Verfügbarkeit von Personal-Computern (ab 1987 – vgl. S. 25), mit denen eine neue Ära der Datenanalyse begann, konnten doch nunmehr auch methodisch angemessene Ansätze für komplexe Systeme und Fragestellungen entwickelt und eingesetzt werden. Dabei erwiesen sich die bis dahin bevorzugten univariaten, insbesondere auf Mittelwertvergleichen beruhenden Methoden (z.B. ANOVA) zunehmend als ungeeignet, um mit den überaus zahlreichen abiotischen und biotischen Variablen in Ökosystemen umzugehen. So hielten durch Winfried Voigt komplexe Methoden, wie **multivariate Statistik**, Einzug in die ökologische Forschung und Lehre in Jena. Mit zunehmendem Kenntnisstand zur Anwendung dieser Analysemethoden wurden auch Mängel in den experimentellen Designs der bisherigen Feldstudien erkannt und diese, soweit noch möglich, korrigiert. Mit der Gründung des Instituts (1990) formierte sich die AG Ökosystemforschung/-analyse (Leitung: anfangs Gerhard Schäller, später Winfried Voigt), die sich vorrangig der Komplexität in naturnahen und immissionsbeeinflussten Ökosystemen widmete und diese datenbasiert in einer Weise analysierte, dass zentrale Fragen der Ökologie beantwortet werden konnten (VOIGT 1996, Beitr. Ökol.).

Die über 38 bzw. 26 Jahre laufenden Wiederholungsaufnahmen in vier- bzw. fünfjährigem Turnus zur Vegetation im Leutratal lieferten umfangreiche Details zu den strukturellen Veränderungen, insbesondere zu Geschwindigkeit und Verlauf von Vergrasung, Verstaudung und Verbuschung/Wiederbewaldung (Abb. 14). Eine bedeutende generelle Erkenntnis daraus war, dass die Prozesse der Sukzession von Grasland-Ökosystemen zum Mischwald nicht gleichmäßig verliefen: auf eine langsame Anfangsphase folgte ein abrupter Systemwechsel über nur 2-3 Jahre, wonach sich die Sukzession erneut verlangsamte. Über die ganze Zeit nahm die Artenvielfalt mehr oder weniger zu (in A und M bedingt zutreffend),



Abb. 13: Südhang Leutatal mit dem 1976 eingerichteten Vegetationstransect (Katena). Fotomontage: W. Voigt.

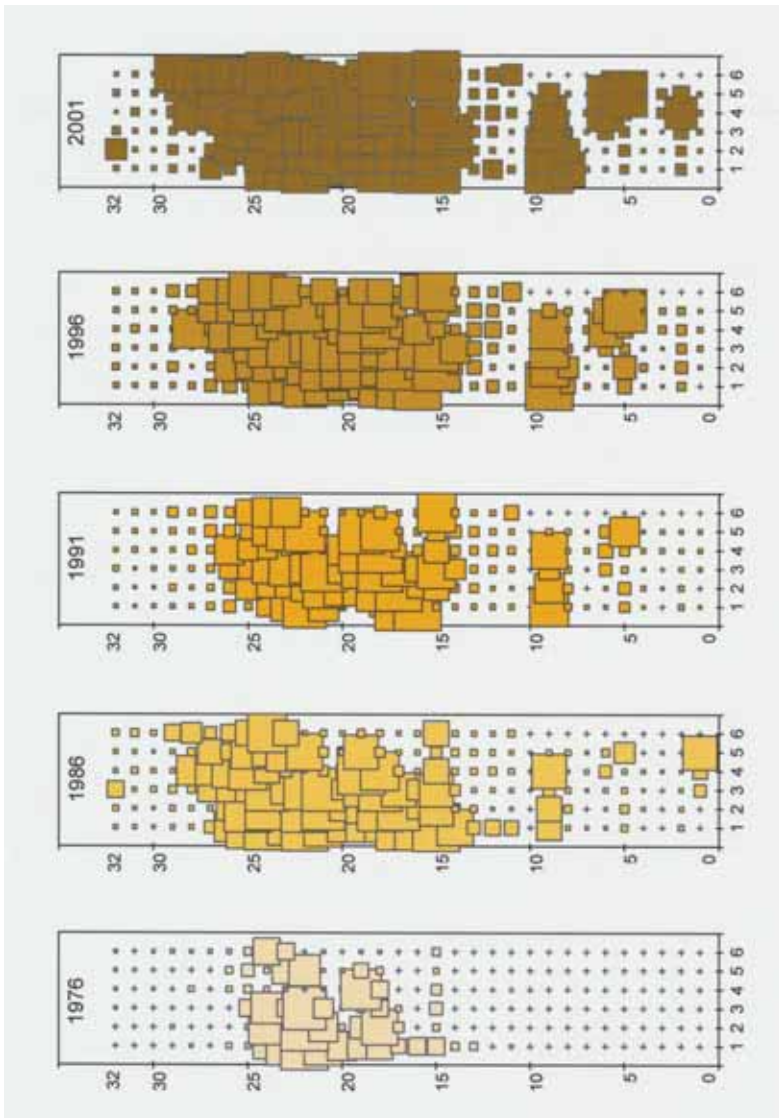


Abb. 14: Zunahme der Gehölzdeckung (Strauchschicht) in der Leutratatal-Katena, 1976-2001, nach Aufnahmen von W. Heinrich u. Mitarbeiter. Grafik: W. Voigt, verändert nach HEINRICH & VOIGT (2007, LNT).

wobei für unterschiedliche Sukzessionsstadien spezifische Indikatorarten, die während dieser Phase optimale Bedingungen erfuhren, kennzeichnend waren. Beispielsweise bildete die Bocks-Riemenzunge (*Himantoglossum hircinum*) hohe Populationsdichten vorwiegend im Verbuschungsstadium aus, nicht aber in den jährlich gemähten Wiesenpartien (neben der Katena), weshalb eine mosaikartige, zeitlich gestaffelte (statt jährlich wiederkehrende) Pflege der Unter- und Mittelhangwiesen angestrebt werden sollte (HEINRICH & VOIGT 2007, LNT; HEINRICH et al. 2012, Artenschutzreport – Heft mit Themenschwerpunkt: Sukzessionsforschung Leutratal; HEINRICH 2012, VERNATE).

Zu diesen struktur- und funktionsanalytischen Untersuchungen im Leutratal liegen 42 Qualifizierungsarbeiten (1973-96) und >70 Publikationen sowie etliche Dutzend unveröffentlichter Forschungsberichte vor. Eingebettet in eine umfassende geomorphologisch-klimatologische und historisch-landnutzende Charakteristik des Leutratales finden sich die floristisch-vegetationskundlichen und ökofaunistischen Erkenntnisse mit Blick auf den Arten- und Biotopschutz umfassend dargestellt bei HEINRICH et al. (1998, Naturschutzreport) und verdichtet bei HEINRICH et al. (1997, LNT), Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Hrsg. (1998, Schriftenr. TLU – 60 Jahre Naturschutzgebiet „Leutratal“. 25 ökologische Forschung) sowie im NSG-Handbuch Thüringen (WENZEL et al. 2012).

An anderen Muschelkalkhängen um Jena sind exemplarisch unverbuschte mit verbuschten/bewaldeten Bereichen aufgenommen und verglichen worden, wobei Verbuschung fast immer mit höheren Biodiversitätsparametern einherging (Spitzberg b. Lobeda – Volker Vopel & Ralf Ballmann 1986, KÖHLER et al. 1989, Arch. Natsch.schutz Landsch.forsch.; Poxdorfer Hang – Andreas Kopetz 1987, KOPETZ & KÖHLER 1991, Zool. Jb. Syst.; KÖHLER & KOPETZ 1993, Arch. Natsch.; Kernberge/Diesbeskrippe – KÖHLER & PFEIFFER 2004, LNT). Zusammenfassend ergaben Untersuchungen an Arthropoden auf 25 Probeflächen im Mittleren Saaletal (verstreut von 1971-1996) ausgeprägte habitatspezifische Fluktuationen und vielfältige Reaktionen auf Sukzessionsprozesse (PERNER & KÖHLER 1998, Schr.-R. Landschaftspfll. Natursch.).

Immissionsbeeinflusstes Grasland

Eine mit der Wiedergründung des WB Ökologie (1981) eingegangene Verpflichtung zur Zusammenarbeit mit Industrie-Kombinaten war auf die Untersuchung schädlicher Einflüsse von Industrie-Emissionen (Abstäuben und Abgasen) auf Grasland-Ökosysteme in der weiteren Umgebung von Jena gerichtet.

Bereits 1979 bahnte sich eine (von Wolfgang Heinrich initiierte) Zusammenarbeit mit dem nördlich von Jena im Saaletal gelegenen **Phosphatdüngemittelwerk Steudnitz** an, dessen stark alkalische Abstäube mit hohen Gehalten an Natrium-, Kalium-, Cadmium-, Phosphor-, Fluor- und Stickstoffverbindungen verheerende und nicht zu übersehende Folgen für das unmittelbare Umland hatten. Nach Voruntersuchungen 1979/80 kam es zu einem mit dem Werk und dem übergeordneten Chemiekombinat Piesteritz vertraglich vereinbarten und teilfinanzierten Forschungsvorhaben (1981-1985) zur Struktur und Funktion belasteter (im Vergleich zu naturnahen) Grasland-Ökosysteme(n), die bodenchemisch (in Zusammenarbeit mit mehreren Analyselabors), bodenökologisch, vegetationskundlich, ökofaunistisch sowie produktionsbiologisch untersucht wurden. Während in Werksnähe immissionstolerante Monokulturen von halophilem Gewöhnlichem Salzschwaden (*Puccinellia distans*) und Gewöhnlicher Quecke (*Elymus repens*) ausgebildet waren, mit wenigen hochdominanten (70-90%), spezialisierten oder euryöken Arthropodenarten in teils sehr hohen Individuendichten, zeigten sich die oberhalb anschließenden Halbtrockenrasen (*Bromus erectus*, *Festuca rupicola*) weniger schadbeeinflusst (Abb. 15 u. 16). Interessant waren dabei auch Literaturvergleiche mit Einflüssen von Luftverschmutzungen auf Ökosysteme in benachbarten Ländern (HEINRICH 1984, Wiss. Z. FSU Jena). Die zu Immissionszeiten auffällig verarmten Artenspektren umfassten oft weniger als die Hälfte der Arten in vergleichbaren naturnahen Rasen, wobei Asseln und Doppelfüßer recht arten- und individuenarm (PETER 1984, Wiss. Z. FSU Jena; Till Eggers 1997), Fliegen jedoch ausgesprochen arten- und individuenreich vertreten waren (BÄHRMANN 2000, Thür. Faun. Abh.).

Die wendebedingte Einstellung der Düngerproduktion (1990) war dann der Anlass, diese Untersuchungen noch im selben Jahr – nunmehr unter dem Aspekt der **Regeneration** – wiederaufzunehmen und intensiv weiterzuführen (Abb. 17). Dabei ergaben Oberboden-Analysen (zwischen 1979 und 1997) auch Jahre nach Immissionsende noch hohe Elementgehalte, modifiziert von Auswaschungen (hangabwärts) und Transferprozessen (in tiefere Schichten) (HEINRICH 1984, Wiss. Z. FSU Jena; METZNER 1997, Beitr. Ökol.; Uwe Langer 2000, Diss.). Die sukzessive Besiedlung stark gestörter Standorte durch Pflanzen war von deren Diasporenmorphologie (Ausbreitungsfähigkeit) und Salztoleranz abhängig, wobei sich in der Samenbank auch noch Arten fanden, die oberirdisch bereits verschwunden waren. Die Vegetationszusammensetzung hing stark vom Stickstoffgehalt und der Bodenfeuchte ab, modifiziert durch abiotischen Stress in stärker gestörten Bereichen und durch Konkurrenzausschluß durch die Quecke

andernorts (Markus WAGNER 2004, Diss. u. Assembly Rules). Dagegen gab es innerhalb weniger Jahre beträchtliche Veränderungen in der Struktur der Vegetation (zusf. HEINRICH et al. 2001, Z. Ökol. Natursch.; Wagner 2004, Diss.) und der Arthropoden-Zönosen (PERNER et al. 2003, Ecography; BRAUN et al. 2004, Ecol. Ent.; KÖHLER 2009, Mauritiana), was folgerichtig auch das trophische Beziehungsgefüge erheblich veränderte (Kyra Metzner 2001, Diss.; Matthias Held 2003, Diss.; Jan Rothe 2004, Diss.). Bei Laufkäfern (aus dem Zeitraum 1980-1996) nahm die durchschnittliche Körpergröße in der Zönose mit Abklingen der Immissionen ab (BRAUN et al. 2004, Ecol. Ent.). Die Erforschung nicht-trophischer Wechselwirkungen stand im Mittelpunkt des von **Winfried Voigt** (Abb. 18) geleiteten Forschungsprojekts „Stabilität und Regeneration von Rasenökosystemen – Vergleich der ökologischen Sukzession in den Immissionsgebieten von Steudnitz bei Jena und in der Dübener Heide“ (1994-1997, mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle), welches auch die systematische Datenerfassung in Steudnitz bis 1999 gewährleistete. Die Auswertung dieser Daten führte zu grundlegenden Erkenntnissen über die unterschiedliche Empfindlichkeit trophischer Ebenen gegenüber Umweltveränderungen (Klima, Industrie-Immissionen), indem höhere Trophie-Ebenen viel sensitiver als die Produzenten reagierten (VOIGT et al. 2003, Ecology - S. 57; DAVIS et al. 2004, Evol. Ecol. Res.; VOIGT et al. 2007, Global Change Biology).

Etwa zeitgleich begann ein maßgeblich von Rudolf Bährmann auf den Weg gebrachtes und unter Stefan Halle weitergeführtes interdisziplinäres DFG-**Graduiertenkolleg** „Funktionsanalyse und Regeneration belasteter Ökosysteme“ (1996-2005, Koord. bis 1998 Jörg Perner, 1998-2000 Jens Gutsell, ab 2001 Ilka Egerer). Es zielte auf weitere relevante Probleme der Regenerationsökologie und beendete offiziell die über 26 Jahre laufenden ökologischen Untersuchungen in Steudnitz. Erste wesentliche Erkenntnisse zu Regenerationsprozessen nach 10 Jahren Dauerflächen-Untersuchungen in Steudnitz sind bereits bei HEINRICH et al. (2001, Z. Ökol. Natursch.) zusammengestellt. Diese sowie weitere Forschungsergebnisse aus dem ehemaligen Uranbergbaugebiet um Ronneburg, dem naturnahen Leutratl (als Referenz) und den eutrophierten Flußsystemen der Ilm und Schwarza sind in 11 Beiträgen von seinerzeit 12 Mitarbeitern im Band „**Assembly Rules and Restoration Ecology**“ (TEMPERTON et al. 2004, Island Press, Washington, S. 58) publiziert worden. Demnach unterliegen Artenkompositionen in Ökosystemen bestimmten Regeln (assembly rules), nach denen ökologisch bzw. funktionell unterschiedliche Artengruppen „ökologische Filter“ passieren müssen, um in den Lebensräumen gemeinsam bzw. nacheinander

aufzutreten (HALLE & FATTORINI; TEMPERTON & HOBBS). Als maßgeblich dafür erwiesen sich bestimmte Muster an korrelativen Wechselwirkungen zwischen funktionellen Gruppen entlang trophischer Ebenen, wobei ein generalistischer Produzent anfangs das System bestimmt und in einer bottom-up-Kontrolle ökologische Strategietypen wie Artenspektren auf allen Konsumentenebenen beeinflusst (VOIGT & PERNER). Mittels stabiler Isotope (^{15}N) ließen sich dabei Nahrungsnetze (hier mit 14 Arten an Asseln, Käfern und Wanzen) in ihrer Entwicklung erforschen (ROTHE & GLEIXNER, alle Assembly Rules). Im Jahre 2007 widmete die Zeitschrift „Restoration Ecology“ dieser Problematik eine ‘Special Section : Present State and Future Perspectives of Restoration Ecology’, in der auch Mitarbeiter des Instituts für Ökologie (Halle, Neumann, Nuttle) wieder mit Beiträgen vertreten waren.

Hinter derartigen komplexen ökosystembezogenen Verallgemeinerungen standen über den gesamten Zeitraum erfasste Veränderungen bei 12 Arthropodengruppen, von denen zusammenfassende ökofaunistische Arbeiten zu Springschwänzen (Frank Fritzlar 1985, FRITZLAR et al. 1986, Pedobiologia), Fliegen (BÄHRMANN 1982-2000) und Geradflüglern (KÖHLER 2009, Mauritiana) sowie zahlreiche Einzelbeiträge vorliegen. Interessante Nebenergebnisse waren immissionsbedingt auffällige Farbvarianten bei Springschwänzen (bes. *Orchesella villosa* – PETER 1984, Wiss. Z. FSU Jena) und bei der Kugelspinne *Neottiura bimaculata*. Letztere kam in naturnahen Halbtrockenrasen um Jena mit weitgehend dunklen Farbmorphen vor (Cornelia Krieger 1981), in Steudnitz während der Immissionsphase jedoch mit einer Population von fast reinweiß gefärbten Tieren (bes. Weibchen), die sich im Laufe der Regeneration aber wieder zu einer ‘normal’ gefärbten Population entwickelte. Dieser von Gerhard Schaller entdeckte **Industrialbinismus** ist wohl überhaupt erstmalig auf Populationsebene nachgewiesen worden (SCHÄLLER & KÖHLER 2009, Acta Soc. Zool. Bohem.). Umfangreichere Untersuchungen liefen auch an Kleinsäugetern (mit Dietrich von Knorre und Kollegen der Univ. Bratislava), Moosen, Salzschwaden und Quecke, begleitet von Forschungen zu Samenbanken, Bodenmikroben sowie Pilzsporen und Mykorrhizen (vgl. Kap. 2.2.8). Zum „Steudnitz-Projekt“ entstanden insgesamt >70 Qualifizierungsarbeiten, darunter 5 Dissertationen, zahlreiche Publikationen und unveröffentlichte Forschungsberichte (Teilbibliographien in Carsten Renker 2003, Diss. und KÖHLER 2009, Mauritiana).

Die hochschulpolitisch wichtige Weiterführung industriegebundener Forschung nach Auslaufen des Steudnitz-Immissionsprojekts (1985) konnte nach langwierigen und zähen Verhandlungen schließlich durch einen Vertrag mit dem **Chemiefaser-Kombinat Schwarza** (bei Rudolstadt)

gewährleistet werden. So schlossen von 1986-1990 (mit >500.000 DDR-Mark an Drittmitteln) umfangreiche Erhebungen im weiteren Immissionsgebiet dieses Werkes an, das vor allem stark schwefelhaltige Abgase (20.000 t/Jahr) und Abstäube (6.400 t/Jahr) emittierte, die sichtbare Schäden in Waldkieferbeständen hervorriefen, deren Beurteilung aber nur in Zusammenarbeit mit Forstbehörden möglich war. Vorrangig konzentrierten sich die Untersuchungen des WB auf strukturelle Aspekte der Trockenrasen (am Immissionsprallhang des Gleitz bei Oberpreilipp), und dabei auch auf etwaige Regenerationserscheinungen nach Emissionsverringern durch neue Technologien, welche allerdings nur teilweise und zeitlich stark verzögert umgesetzt wurden. Die Immissionssituation wurde noch dadurch kompliziert, dass zusätzlich Schwermetalleinflüsse des 7,5 km östlich gelegenen Stahl- und Walzwerkes Maxhütte (Unterwellenborn) nachweisbar waren, was eine Trennung möglicher ökologischer Folgen unmöglich machte. Wesentliche Teile der umfangreichen Erhebungen und Fänge – Käfer, Heuschrecken, epigäische Webspinnen – wurden ausgewertet und publiziert, wobei ein Vergleich mit ähnlichen Kalktrockenrasen im Leutratal und am Johannisberg einen (neben der Besonnung) größeren Einfluss der sukzessionsbedingten Vegetationsstruktur auf die Zönosen ergab (Jörg PERNER 1993, Diss., 1997, Faun. Abh. Dresden). Das für die Hauptfragestellung ungünstige Design sowie kaum nachweisbare Immissionsmischeinflüsse ließen die weitere Auswertung der Schwarza-Daten zum Erliegen kommen.

Landwirtschaftlich genutztes Grasland

In der AG Ökosystemforschung/-analyse wurde von Beginn an durch **Jörg Perner** (Abb. 19) auch angewandte Feldforschung auf Landwirtschaftsflächen betrieben. Im **Großen Bruch** der Magdeburger Börde sind in einer von Uwe Schrader angeregten Umwelt- und Agrarstudie (1992-1994) die Einflüsse nachhaltiger Grünlandnutzung in einem Niedermoorgebiet (mit Feuchtwiesen, Wiesen und Weiden) auf die Artenvielfalt von Pflanzen und Arthropoden untersucht worden, wobei Webspinnen (det. S. Malt), Käfer (J. Perner) und Libellen (K. Reinhardt) einbezogen wurden (Perner 1995, Bestandsanalyse in einem Niedermoorgebiet, unpubl.). An der Unstrut bearbeiteten im Rahmen des BMBF-Schwerpunktes „Ökologische Forschung in der Stromtallandschaft Elbe“ Steffen Malt und Jörg Perner das F/E-Vorhaben „**Unstrut-Revitalisierung**, Teilprojekt 3“ (1996-98) zu Auswirkungen der Umnutzung ufernaher Landwirtschaftsflächen auf Arthropoden-Zönosen. Die großenteils eingedeichte Unstrut-Aue im zentralen Thüringer Becken wird wegen ihrer sehr guten Böden überwiegend ackerbaulich, zum geringeren Teil auch durch intensive Grünlandbewirtschaftung genutzt. Die

Hauptuntersuchungen zielten auf die Reaktion der Vegetation sowie von Spinnen und Laufkäfern auf unterschiedliche Umnutzungen von Acker- in Grünland (PERNER & MALT 2003, Agric. Ecosyst. Environ.), begleitet von Diplomarbeiten zu modellgestützten Untersuchungen zum Einfluss des Anordnungsdesigns auf die Fangeffizienz von Bodenfallen (Silvio Schüler 2000; PERNER & SCHÜLER 2004, J. Anim. Ecol. – Nested cross array) und zu Arthropoden in Luftklektoren (Mareike GÜTH 2000). Auf methodischem Gebiet wurde die Optimierung des Kompromisses von Stichprobenumfang und Ergebnisgenauigkeit anhand umfangreicher Laufkäfer- und Webspinnen-Datensätze (Bodenfallen) untersucht (PERNER 2003, Agric. Ecosyst. Environm.). Darüber hinaus liegen ökofaunistische Auswertungen zu Webspinnen, Weberknechten und Käfern (MALT & PERNER 2002a und b, Faun. Abh. Dresden), Ohrwürmern aus Luftklektoren (KÖHLER & GÜTH 2006, Thür. Faun. Abh.) und Heuschrecken (KÖHLER et al. 2010, Thür. Faun. Abh.) vor.

Komplexe Datenanalysen

Trotz vielfältiger statistischer Methoden blieb es problematisch, die Komplexität in diesen unterschiedlichen Ökosystemen datenbasiert in einer solchen Weise zu analysieren, dass zentrale Fragen der Ökologie beantwortet werden konnten. Dazu waren neue Konzepte nötig, welche die interpretierbare Information in umfangreichen Daten ohne Verluste – also unter Erhaltung der wichtigen Strukturen – hinreichend zusammenfassen konnten. Da Ökosystemdaten gewöhnlich einen hohen Anteil redundanter Information enthalten, entstand der Gedanke, alle beteiligten Produzenten- und Konsumentenarten bestimmten **funktionellen Gruppen** auf der Basis von funktionellen Merkmalen zuzuordnen (VOIGT & PERNER 2004, Assembly Rules; Jörg Perner 2004, Habil.) Dies ermöglichte ein wesentlich vereinfachtes, kompaktes Abbild von Ökosystemen und den in ihnen stattfindenden Prozessen in Form von **Interaktionsnetzen**, die über gängige trophische Beziehungen (Nahrungsnetze) hinaus sämtliche, also auch nicht-trophische Interaktionen zwischen und innerhalb der trophischen Ebenen berücksichtigten. Da die Individuen der Arten in funktionellen Gruppen nicht einfach aufsummiert, sondern mit ihren individuellen Quantitäten als Spalten in einer entsprechenden Matrix gehalten wurden, war es möglich, die artspezifische Information während des Gruppierungsprozesses auszuwerten bzw. zu erhalten. Mit Hilfe der auf funktionellen Gruppen basierenden Interaktionsnetze konnte gezeigt werden, dass Anzahl und Stärke der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Trophie-Ebenen mit Erhöhung der Produzentendiversität ebenfalls zunahm. Insbesondere die entscheidende Rolle von Leguminosen für die Entwicklung des

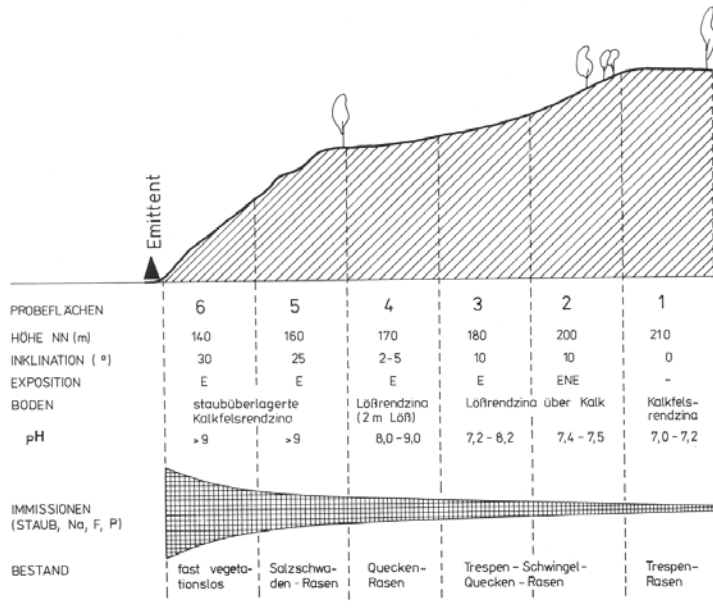


Abb. 15: Hangprofil (Stuednitz) mit Probeflächendaten während der Immissionsphase, Zustand 1979-1981. Aus: HEINRICH (1984, Wiss. Z. FSU Jena).

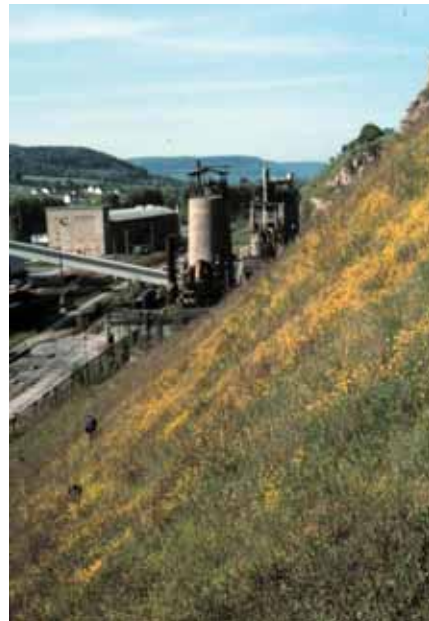


Abb. 16 (li): Immissionsstaubbelasteter Unterhang (mit Salzschwaden) am Phosphatdüngemittelwerk Stuednitz, Sommer 1983. Foto: G. Köhler.

Abb. 17 (re): Derselbe Unterhang (jetzt mit Glanz-Melde) vier Jahre nach Einstellung der Düngemittelproduktion, Okt. 1994. Foto: G. Köhler.



Abb. 18: Dr. Winfried Voigt, langjähriger wissenschaftlicher Mitarbeiter, seit 1995 Leiter der AG Ökosystemforschung/-analyse; 15.05.2003. Foto: Institutsarchiv.

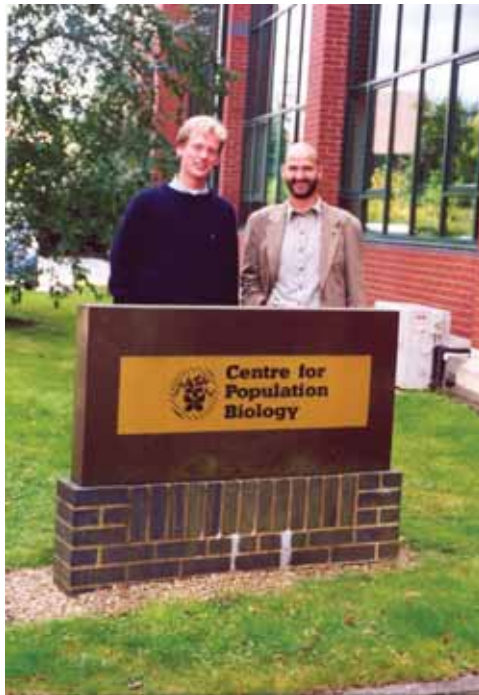


Abb. 19: Dr. Jörg Perner (rechts) und Dr. Till Eggers in Silwood Park, U.K.; Sept. 2000. Foto: G. Köhler.

Produzenten-Destruenten-Prädatoren-Pfades in Grasland-Ökosystemen konnte überzeugend dargestellt werden (Michael RZANNY 2014, Diss.). Dieser neuartige Ansatz fand international große Beachtung und eine dazu publizierte Arbeit (RZANNY & VOIGT 2012, J. Anim. Ecol.) wurde 2014 in das Virtual Issue „Food Webs“ dieses Fachjournals gewählt, das die zwanzig bedeutsamsten Arbeiten zu dieser Thematik zusammenfasste. Darauf aufbauend wurde der Einfluss bestimmter Struktureigenschaften von Interaktionsnetzen auf die Stabilität von Ökosystemen gegenüber langjährigen Umweltveränderungen mit Hilfe eines ökologischen Simulationsmodells untersucht (Jan Engel 2014, Diss.).

Ein solch neuartiges Konzept musste mit neuen, nach speziellen Designs erhobenen Daten bedient werden, um die erforderliche Information zu generieren, was infolge des sehr hohen Aufwandes bei der Datenerfassung im Gelände nur im Rahmen größerer Projekte realisiert werden konnte. Solch eine Plattform lieferte das Jena-Experiment (seit 2002), an dessen Entwicklung und Durchführung die AG Ökosystemanalyse von Anfang an beteiligt war (vgl. Kap. 2.2.11). Die systematische Erfassung der epigäischen Wirbellosen mit Saugsammlern/Biozönometern, Bodenfallen (Arthropoden) und Kartonplatten (Nacktschnecken) lieferte Kerndaten zur Beantwortung wesentlicher Fragen des Jena-Experiments (SCHERBER et al. 2010, Nature!; RZANNY & VOIGT 2012, J. Anim. Ecol.).

Der methodische Ausbau der Datenanalyse in Forschung und Lehre in der AG führte auch zu Angeboten an W. Voigt, in **globalen Projekten** mitzuwirken. Im EWVAR-Projekt (East West Variations in North Atlantic impacts on ecosystem processes; 1997-2001; Leitung: Univ. Sheffield) wurde zusammen mit 7 weiteren europäischen Teams untersucht, inwieweit sich Großklimaindizes nutzen lassen, um die Entwicklungen bzw. Veränderungen in Ökosystemen verlässlich zu prognostizieren. Anliegen von GLIDE (Global Litter Decomposition Experiment; 2001-2005; Leitung: Colorado State Univ., Fort Collins) war es, zusammen mit 30 internationalen Forschergruppen den Einfluss von großklimatischen Unterschieden und lokalen Standortbesonderheiten auf die Dekompositionsrate in Streusubstraten zu untersuchen (WALL et al. 2008, Global Change Biol.). Neueste Arbeiten unter Beteiligung von W. Voigt beschäftigen sich mit dem Einfluss anthropogener Stickstoffeinträge in Europa auf die C/N-Verhältnisse in Böden (MULDER et al. 2015, Biogeosciences) sowie mit Ökosystemdienstleistungen seit dem Millenium Ecosystem Assessment 2001-2005 (MULDER et al. 2015, Adv. Ecol. Res.; BOHAN et al. 2016, TREE).

(Einschub: WINFRIED VOIGT)

Renaturierungs- und Restaurationsgebiete

Neben der zuvor skizzierten zentralen Forschungsthematik eröffnete sich nach der Wende infolge tiefgreifender gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Veränderungen auch die Möglichkeit (und Notwendigkeit), sich an ökologischen Untersuchungen auf stillgelegten oder umgestalteten Militär-, Bergbau- und Verkehrsflächen in Thüringen zu beteiligen, die in etlichen Fachgutachten, studentischen Geländepraktika und Qualifizierungsarbeiten untersucht wurden.

Bereits in den Jahren 1990/91 wurden bis dahin von der Sowjetarmee genutzte **Truppenübungsplätze** (TÜP) und Militärstandorte nach deren Abzug und der Beräumung für die Forschung zugänglich, wobei es zunächst vorrangig und im Rahmen des Naturschutzgroßprojektes „Orchideenregion Jena – Muschelkalkhänge im Mittleren Saaletal“ (1996-2005) um biotopische, floristisch-vegetationskundliche und faunistische Bestandsaufnahmen in diesen noch wenig bekannten Gebieten ging. In der unmittelbaren Umgebung von Jena waren es vor allem drei, teils recht ausgedehnte Gebiete: TÜP Schießplatz Rothenstein (BAUER et al. 1997, LNT), TÜP Windknollen (SAMIEZ et al. 1993, LNT; KÖHLER & FROMMEYER 2014, VERNATE) und das Militärgelände (Raketensilo) auf dem Jenaer Forst (KÖHLER et al., 2009, Thür. Faun. Abh.).

Der triasische Muschelkalk um Jena wurde in großem Stile seit dem ausgehenden 19. Jh. für Bauzwecke aller Art gebrochen, was in der Landschaft etwa 30 aufgelassene **Kalksteinbrüche** ganz verschiedener Größe hinterließ, die aufgrund ihrer teils noch erhaltenen steinig-schottrigen und oft einstrahlungsbegünstigten Extrembiotopie ein besonderes Artenspektrum bieten: Mönchsberg – nach zwischenzeitlicher paramilitärischer Nachnutzung (Jörg Weiß 1993; KÖHLER et al. 2011, LNT, Thür. Faun. Abh.), Münchenroda (KÖHLER et al. 2005, Thür. Faun. Abh.), Oberes Eule-Tal (Heinrich, in lit.; Voigt et al., unpubl.) und Steudnitz (Gerd WAGNER 2000, Diss., Articulata, Beih.).

Nach Einstellung der seit 1954 im Tagebau betriebenen Uranförderung um Ronneburg, dem einst größten **Uranerzbergbauggebiet** Europas, infolge der politischen Wende 1989/90 begann der aus der Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft WISMUT (1954-1991) hervorgegangene Sanierungsbetrieb mit der gewaltigen Umgestaltung der ehemaligen Abbaugebiete von 2.500 ha, davon 16 größeren Halden mit insgesamt 700 ha Fläche. Die schwierige terrestrisch-ökologische Forschung in diesen sehr unterschiedlichen Extrembiotopen wurde von anderen Institutionen bereits im Jahre 1982 begonnen und insbesondere vom Vegetationsökologen Hartmut Sänger (BIOS, Crimmitschau) in langjährigen und umfangreichen

Untersuchungen weitergeführt (zusf. SÄNGER 1993, 2003a, 2006, Weissdorn-Verlag). Das Institut für Ökologie beteiligte sich maßgeblich an einem um 1996 auf den Weg gebrachten Projekt mit vor allem ökologischen Untersuchungen auf und an den Halden, welches jedoch durch die anders konzipierte Landschaftsgestaltung seitens der WISMUT (einschließlich Haldenabtrag und -verlagerung) letztlich scheiterte. Einige Studien liefen dennoch auf den alten, teils jahrzehntealten Schiefer-Halden (Drosen und Nordhalde), auf denen sich vielfältige Sekundärbiotope mit extremen abiotischen Eigenschaften, wie sauren Böden, Drainagewässern mit hohen Salz-, Uran- und Schwermetallgehalten sowie Radonexhalationen, ausgebildet hatten, die in unterschiedlichem Maße die Sukzession beeinflussten (ROTHE & KROUPA 2000, Beitr. Ökol.). Mit langjährigen Vegetationsdaten (nach 20 Jahren ca. ein Drittel des umgebenden Artenspektrums) vom Haldenkomplex Paitzdorf (H. Sänger) ging man der Frage nach, ob die Regeneration von Pflanzengemeinschaften bestimmten Regeln unterliegt. Vielmehr ergab sich ein Mischeinfluss mehrerer Faktoren, wie Dispersalvermögen und Strategietypen seitens der Pflanzen und Mikroklima, Bodenbildung und -chemie sowie Substrattextur seitens des Haldenkörpers (SÄNGER & JETSCHKE 2004, Assembly Rules). Im Rahmen von Biomonitorings - initiiert und maßgeblich unterstützt von Hartmut Sänger – konnten 2003 in einer Diplomarbeit verschiedene Biozönosen auf den Halden Reust und Stolzenberg untersucht werden (Nico und Anke SCHNEIDER 2005; Heuschrecken – KÖHLER et al. 2008, Thür. Faun. Abh.). Im Jahre 2010 sind dann noch Webspinnen und Laufkäfer auf der rekultivierten Halde Beerwalde im Rahmen zweier Bachelorarbeiten erfasst worden (LANGFERMANN et al. 2010, Mauritiana).

Nach Fertigstellung des Jagdbergtunnels für die neue Trassenführung der Bundesautobahn 4 zwischen Leutra und Oßmaritz/Bucha und nach Inbetriebnahme der Fahrbahnen (Herbst 2014) erfolgte bis zum Frühjahr 2015 zwischen Leutra und Magdala ein **Rückbau der alten Autobahntrasse** durch Entfernung von Oberdecke und Betonunterbau, dem noch verschiedene Renaturierungs- und Restaurationsmaßnahmen folgen sollen. Im Vorfeld schrieb die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Bergisch Gladbach) ein FE-Projekt zu floristisch-vegetationskundlichen und ökofaunistischen Begleituntersuchungen aus, welches im Herbst 2011 an das Institut für Spezielle Botanik (Prof. Frank Hellwig) der FSU vergeben wurde, zu dessen forschungsbegleitendem Arbeitskreis auch das Institut für Ökologie gehört. In den Jahren 2012/13 wurden jeweils drei Kurztransekte auf Wiesen im Nahbereich der Autobahn mit Bodenfallen und (teils) Kescherfängen mit dem Ziel beprobt, zunächst den Zustand der Zönosen (Artenspektren, Diversitäten etc.) vor dem Rückbau zu dokumentieren. Im Fokus stehen (1)

Auswirkungen der Trasse auf die Phyto- und Zoozönosen in den angrenzenden Biotopen (nach Aufhebung von Zerschneidung, Abstoff- und Lärmbelastung) und (2) die Neubesiedlung des rückgebauten Abschnitts. Dazu liegen aus dem Zeitraum 2012-2014 jährliche Zwischenberichte (Hellwig et al.), 18 Bachelor- und 3 Masterarbeiten sowie bislang zwei Publikationen vor (KÖHLER et al. 2012, Thür. Faun. Abh. – Heuschrecken; MEYER & FABIAN 2015, LNT – Webspinnen). Ab 2016 wird die Vergleichserhebung in den Katenen fortgesetzt und die Entwicklung auf der rückgebauten Trasse verfolgt.

GÜNTER KÖHLER, WINFRIED VOIGT, WOLFGANG HEINRICH

Ecology, 84(9), 2003, pp. 2444–2453
© 2003 by the Ecological Society of America

TROPHIC LEVELS ARE DIFFERENTIALLY SENSITIVE TO CLIMATE

WINFRIED VOIGT,^{1,4} JÖRG PERNER,¹ ANDREW J. DAVIS,² TILL EGGERS,^{3,5} JENS SCHUMACHER,¹
RUDOLF BÄHRMANN,¹ BÄRBEL FABIAN,¹ WOLFGANG HEINRICH,¹ GÜNTER KÖHLER,¹ DORIT LICHTER,¹
ROLF MARSTALLER,¹ AND FRIEDRICH W. SANDER¹

¹*Institute of Ecology, Friedrich Schiller University, 07743 Jena, Germany*

²*Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan*

³*NERC Centre for Population Biology, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7PY United Kingdom*

Abstract. Predicting the response of communities to climate change is a major challenge for ecology. Communities may well not respond as entities but be disrupted, particularly if trophic levels respond differently, but as yet there is no evidence for differential responses from natural systems. We therefore analyzed unusually detailed plant and animal data collected over 20 years from two grassland communities to determine whether functional group climate sensitivity differed between trophic levels. We found that sensitivity increases significantly with increasing trophic level. This differential sensitivity would lead to community destabilization under climate change, not simple geographical shifts, and consequently must be incorporated in predictive ecological climate models.

Key words: arthropods; climate sensitivity; community; functional groups; grasslands; plants; trophic levels.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL

*Assembly Rules
and Restoration Ecology*

BRIDGING THE GAP BETWEEN THEORY AND PRACTICE



Edited by

VICKY M. TEMPERTON, RICHARD J. HOBBS,
TIM NUTTLE, AND STEFAN HALLE

2.2.3 Geobotanik und Naturschutzforschung

Die seit jeher enge Verbindung praktisch-ökologischer Lehre (Exkursionen und Geländepraktika) und Forschung (Qualifizierungsarbeiten und Freilanderhebungen) mit der unmittelbaren Jenaer Umgebung und dem Thüringer Raum häufte am WB Ökologie ein breites floristisch-vegetationskundliches und ökofaunistisches Wissen an, das sowohl in zahlreiche naturschutzbezogene Projekte und Berichte einfluss als auch in einer Vielzahl an Zeitschriftenaufsätzen sowie in größeren Floren- und Faunenwerken dokumentiert wurde. Dabei sind die Übergänge von den Arten mit ihren Populationen zu den Pflanzengesellschaften und Tierzönosen ebenso fließend wie die Bezüge zum Naturschutz. Auf entsprechende vogel- und säugetierkundliche Arbeiten wird in den Kapiteln 2.2.4 und 2.2.6 Bezug genommen.

Waldgesellschaften

In den 1970/80er Jahren untersuchte Rolf MARSTALLER in umfangreichen pflanzensoziologischen Studien die Waldvegetation in Ostthüringen zwischen Saale, Orla und Mittlerer Weißer Elster. Dazu liegen frühe Veröffentlichungen zu den naturnahen Laubwäldern der Wöllmisse bei Jena (1970, Arch. Natursch. Landsch.forsch.) sowie zu Bach-Eschenwäldern im ost- und mittelhüringischen Muschelkalkgebiet vor (1976, Veröff. Mus. Gera). Schon aufgrund der Größe des Gebietes nahmen die Wälder auf Buntsandstein besonders breiten Raum ein, und die Ergebnisse wurden in der großangelegten Studie „Waldgesellschaften des Ostthüringer Buntsandsteingebietes“ publiziert, mit Punktverbreitungskarten zu >70 Pflanzenarten und 414 Literaturzitate, darunter zahlreichen polnischen und tschechischen Arbeiten. Diese Beschreibung naturnaher Waldgesellschaften berücksichtigte zum einen klimatische, geomorphologische und waldgeschichtliche Verhältnisse des Gebietes, zum anderen charakterisierte sie die Gesellschaften (in 15 wichtigen Assoziationen) hinsichtlich ihrer floristischen Struktur, ökologischen Ansprüche, Verbreitung und synsystematischen Stellung (MARSTALLER 1978-1989, Wiss. Z. FSU, Teil 1-7). Einzelne waldbezogene Diplomarbeiten folgten später zum Jenaer Forst (Sabine Köhler 1996) und – unter Heinrich Dörfelt - zu Kiefernforsten auf Kalkböden um Jena (Sigrun Wald 1999). Außerdem liegt ein Beitrag zur historischen und aktuellen Entwicklung der Wälder in der Umgebung von Jena vor (DÖRFELT & KIRSCH 1991, Schr.reihe TLL). Neuere Anknüpfungspunkte gibt es dazu aus der dendro- sowie vegetationsökologischen Forschung (Kap. 2.2.5 und 2.2.13).

Gehölze in Siedlungsgebieten

Im Zuge der in den späten 1970er Jahren verstärkt aufkommenden Stadtökologie widmete sich Wolfgang Heinrich vor allem den Gehölzen und Bäumen in Jena und anderen Siedlungsbereichen Thüringens. Ausgehend von Aufnahmen für ein Baumkataster der Stadt (Klotz & Heinrich 1978, unpubl.) folgten Vorarbeiten zu einer Gehölzflora (HEINRICH et al. 1980, Wiss. Z. FSU Jena, 1988, Haussknechtia) und eine Studie zu den Straßenbäumen von Jena (HEINRICH & KOCH 1989, Wiss. Z. FSU Jena) sowie zu wertvollen Bäumen und Alleen in Thüringen (HEINRICH et al. 1994, LNT). In dieser Zeit betreute er dazu 10 Diplomarbeiten (1989-1995), darunter auch solche zur Biotopkartierung in Jena und Hildburghausen, zum Baumbestand der Dörfer um Jena und jenem von Elxleben, Zeitz sowie vom Heine-Park in Rudolstadt. In einer bemerkenswerten Studie erfaßte Friedrich W. SANDER – zoologisch-botanisches Universalgenie am WB Ökologie – sämtliche 361! Gehölzarten der Görlitzer Grünanlagen und veröffentlichte die Ergebnisse in einem umfangreichen Band, einschließlich Bildbestimmungsschlüssel, Blattformentafeln (alles selbst gezeichnet) und Fotoanhang (1980, Suppl. Abh. Ber. Nat.mus. Görlitz).

Moosgesellschaften

Durch die frühzeitige Konzentration des promovierten Zoologen und späteren Vegetationskundlers **Rolf MARSTALLER** (Abb. 20) auf die Kryptogamenflora (besonders die Moose) und deren Gesellschaften entwickelte sich in seiner Person am WB seit den 1970er Jahren eine bryosoziologische Forschung mit hohem privatem Einsatz, deren Kontinuität (bis heute) in Europa ihres gleichen sucht. Sie bezieht insbesondere Thüringen ein, umfaßt aber auch das südliche Sachsen-Anhalt, einige Teile von Sachsen mit dem Vogtland, dem Elbsandsteingebirge und dem Zittauer Gebirge, außerdem angrenzende Teile von Niedersachsen mit dem südlichen und südwestlichen Harzvorland und der Umgebung von Göttingen, im angrenzenden Hessen das Unterwerragebirge, in Oberfranken den Frankenwald und in Unterfranken das südöstliche Rhönvorland mit dem Streu- und Saalegebiet. Darüber hinaus verfasste R. Marstaller umfangreiche Publikationen über die Moosvegetation von Ungarn, vor allem der Gebirge in der Umgebung von Budapest und in Südungarn (1982, Herzogia; 1986, Gleditschia; 1993, Phytocoenologia; 1995, Beitr. Ökol.).

Mit dem 1. und 2. Beitrag zur „Moosflora von Thüringen“ (MARSTALLER 1972, Wiss. Z. Univ. Halle) und dem 1. Beitrag zur „**Moosvegetation von Thüringen**“ (1978, Feddes Repert.) begann eine Folge mit jährlich(!) oft 4-6 Beiträgen (allein zu Moosen in Thüringen), von denen im Jahre 2015 der

172. Teil (Singener Berg, VERNATE) erschien. All diesen oft umfangreichen Publikationen sind gebietsbeschreibende und vegetationsökologische Charakterisierungen vorangestellt, denen die jeweiligen Moosarten (mitunter in regionalen Punktverbreitungskarten) und -gesellschaften auf Mineralböden, Gestein (epilithische) und Gehölzen (epiphytische) mit bryogeographischen Angaben folgen, und von denen Rolf Marstaller etliche Gesellschaften überhaupt erst als neue Syntaxa beschrieben hat. So konnte, aufbauend auf einer früheren Arbeit für Mitteleuropa (1993, Herzogia), mit dem „Syntaxonomische(n) Konspekt der Moosgesellschaften Europas und angrenzender Gebiete“ (2006, Haussknechtia) eine europaweite Monographie als **bryosoziologisches Standardwerk** vorgelegt werden. Für den regionalen Naturschutz sind seine zahlreichen bryofloristischen und -soziologischen Bearbeitungen von Schutzgebieten in Thüringen und im südlichen Sachsen-Anhalt von Bedeutung, von denen beispielhaft nur wenige umfangreiche Aufnahmen mit jeweils oft über 150 Moosarten genannt seien: Waldecker Schloßgrund (1973, Wiss. Z. FSU Jena), Koberfelsen (1988, Hercynia), Rothenburg/Kyffhäuser (1991, Gleditschia) sowie Drei Gleichen und Seeberg (2008, Abh. Mus. Natur Gotha). Gleich mehrere Arbeiten liegen zu den Moosgesellschaften des Leutratales vor (1981, 1984, Veröff. Mus. Gera; 1983, Feddes Repert.; 1987, Wiss. Z. FSU Jena). Während zahlreiche Moosbelege im Herbarium Haussknecht der FSU Jena hinterlegt wurden, flossen diese umfangreichen Kenntnisse sowohl in den „Verbreitungsatlas der Moose Deutschlands“ (MEINUNGER & SCHRÖDER 2007, Bd. I-III, Regensburg) als auch in das „Handbuch der Naturschutzgebiete Thüringens“ (WENZEL et al. 2012, Weissdorn, Jena) ein, für das Rolf Marstaller eine große Zahl an bryologischen Textbausteinen verfasste und in dessen Literaturverzeichnis er mit 126 botanischen Veröffentlichungen (als Alleinautor!) vertreten ist. Demnach dürfte Thüringen zu den bryosoziologisch bestdurchforschten Gebieten in Europa zählen.

Heimische Orchideen

Seit jeher gelten Orchideen (Fam. Orchidaceae) als „Flaggschiffe“ des botanischen Artenschutzes, die im mittleren Saaletal um Jena mit immerhin 41 Arten (von 66 in Deutschland) überaus reich vertreten sind. Am WB Ökologie beschäftigte sich der Botaniker und Vegetationsökologe **Wolfgang HEINRICH** (Abb. 21) seit den 1970er Jahren mit dieser Pflanzenfamilie und gründete in Jena eine Interessengruppe im damaligen Kulturbund. Anfangs ging es um punktgenaue Artvorkommen im früheren Kreis Jena, zu denen innerhalb kurzer Zeit **Verbreitungskarten** (unter Einbeziehung historischer Fundstellen) aller hier nachgewiesenen 41 Arten entstanden (1980, 1984,



Abb. 20 (li): Dr. Rolf Marstaller bei bryologischen Aufnahmen auf der Culmloch-Halde bei Lehesten, 2001. Foto: W. Heinrich.

Abb. 21 (re): Dr. Wolfgang Heinrich bei demographischen Erhebungen zur Bocksriemenzunge im Leutratal, Mai 2000. Foto: G. Jetschke.



Abb. 22: Schlupf-Eklektoren von Wolfgang Adaschkiewitz zu Biotopstudien an Fliegen in Halbtrockenrasen des Leutratales, Juni 1997. Foto: W. Heinrich.

Wiss. Z. FSU Jena). Diese Kartierungen wurden dann auf den gesamten damaligen Bezirk Gera ausgeweitet (1984, LNT; 1987, Veröff. Mus. Schleusingen).

Ausgehend vom ersten Leutratal-Projekt (Kap. 2.2.2) wurde in **Dauerbeobachtungsflächen** des 1976 eingerichteten Vegetationstransekts (Katena) auch die Blüh- und Populationsdynamik von Orchideenarten verfolgt. Im Mittelpunkt stand die gesetzlich geschützte und in Thüringen gefährdete **Bocks-Riemenzunge** (*Himantoglossum hircinum*), deren Exemplare dazu individuell markiert wurden. Das umfangreiche Datenmaterial aus diesen Langzeit-Aufnahmen erbrachte sowohl interessante Details zur Populationsbiologie der Art als auch fundierte Vorschläge für eine optimale artbezogene Wiesenpflege durch ein Mahdregime im Rotationsprinzip (HEINRICH 1994, LNT; 2000, Ber. AHO; HEINRICH et al. 2005, Ber. AHO Thür., 2012, Artenschutzreport; HEINRICH & HIRSCH 2007, LNT – Dauerpflege vs. Auffassung). Die weitere Auswertung dieser Daten durch Marion Pfeifer (2006, Diss.) lieferte gesicherte Erkenntnisse zum Einfluss von Witterung und Klima auf das Blühverhalten dieser Art (PFEIFER et al. 2006 a und b, J. Appl. Ecol., Bot. J. Linn. Soc.), und die Einbeziehung weiterer europäischer Populationen zeigte die Beziehung zwischen geografischer Isolation und genetischer Diversität von *Himantoglossum* auf (PFEIFER & JETSCHKE 2006, Folia Geobotanica) (vgl. Kap. 2.2.5). Des Weiteren wurde auf diesen Dauerflächen die Populationsentwicklung (über 25 Jahre) des Helm-Knabenkrautes (*Orchis militaris*) verfolgt (HEINRICH 2007, J. Eur. Orch.). Und in der Nähe von Gotha sind bei langjährigen Individuenzählungen (1982-2010) Bestandsentwicklung und Blühverhalten vom Kleinen Knabenkraut (*Orchis morio*) detailliert registriert und unter Mitwirkung von G. Jetschke ausgewertet worden (HEINRICH et al. 2011, Ber. AHO). Ebenso liegt eine Studie zur Ansiedlung und Wiedereinbürgerung heimischer Orchideen vor (HEINRICH 2003, J. Eur. Orch.).

Nach der Wende zählte Wolfgang Heinrich zum Gründungs- und Vorstandsmitglied im **Arbeitskreis „Heimische Orchideen Thüringen“** (AHO Thüringen), einem von bundesweit neun derartigen Arbeitskreisen. Die Thüringer Fachgruppe konzentriert sich sowohl auf die kleinräumige Kartierung und Ökologie der Arten als auch auf die Pflege ihrer Lebensräume. Aufgrund der Ergebnisse aus Langzeitbeobachtungen im Leutratal begann man im Jahre 1995 mit einem Fundortmonitoring an verschiedenen Lokalitäten der Jenaer Umgebung, das gebietsweise eine starke Dynamik in den Orchideenvorkommen zeigte (etwa im Steinbruch Mönchsberg – in: KÖHLER et al. 2011, LNT). Diese umfangreichen Erkenntnisse aus fast vier Jahrzehnten fanden Eingang in >40 wissenschaftlichen Beiträgen, vor allem

aber in drei Bücher, für die Wolfgang Heinrich zahlreiche Teil- und Artkapitel verfasste: „Orchideen in Thüringen“ (ECCARIUS 1997, AHO Thüringen) sowie die monumentalen Werke „Flora von Thüringen“ (ZÜNDORF et al. 2006, Weissdorn, Jena) und „Thüringens Orchideen“ (HEINRICH et al. 2014, AHO Thüringen).

Gefährdungsanalysen und Populationsstudien (Heuschrecken)

Seit den 1980er Jahren verstärkte sich die Einsicht, dass die fortschreitende Zergliederung (Fragmentierung) der Kulturlandschaft zu einer Verkleinerung der Lebensräume und der in ihnen siedelnden Populationen führt, was deren Überlebenswahrscheinlichkeiten verringert und letztlich zum Aussterben führen kann. Die Folge ist ein trotz vielfältiger Schutzmaßnahmen anhaltender Rückgang der biologischen Mannigfaltigkeit. Um diesen Prozess in seinen ökologisch-genetischen Grundlagen besser verstehen zu können, bedarf es populationsbezogener Gefährdungsanalysen, in denen es um (1) die Untersuchung von das lokale Aussterben beeinflussenden Parametern der Lebensgeschichte (life history) und (2) die Ermittlung von (unteren) Schwellenbereichen für überlebensfähige Populationsgrößen (und deren Mindesthabitatflächen) geht. Zu diesem Problemkreis förderte das BMBF einen Verbund aus 11 Forschergruppen an 7 deutschen Universitäten (darunter auch eine in Jena am Institut für Ökologie) und dem Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig/Halle, um die Bedeutung von Isolation, Flächenbedarf und Biotopqualität für das Überleben von Tier- und Pflanzenarten mit unterschiedlichen Flächenansprüchen zu untersuchen: 1992/93-1996, **IFB-Projekt** (dazu Bücher von SETTELE et al. 1996, Kluwer, Dordrecht, und AMLER et al. 1999, Ulmer, Stuttgart). Das auf verinselte Trockenstandorte fokussierte Verbundprojekt mit dem Hauptforschungsterrain in der Porphyrkuppenlandschaft bei Gimritz nordwestlich von Halle/Saale wurde von Untersuchungen in fünf weiteren Naturräumen Deutschlands, darunter auch im mittleren Saaletal um Jena, flankiert (dazu 1994-1997 noch begleitendes DFG-Projekt). Hier verfolgte die AG Populationsökologie (Ltg.: bis 1996 Rudolf Bährmann, 1996-99 Günter Köhler) zwei Ziele. Zum einen ging es (unter Ltg. von **R. Bährmann**) um die Untersuchung der Ansprüche charakteristischer Fliegenarten an die Biotopqualität und Raumstruktur von Halbtrockenrasen (mit Wolfgang Adaschkiewitz). Dazu wurden 1994-1996 im Leutratl und an den Kernbergen jeweils Bodenfallen und Schlupf-Eklektoren (Abb. 22) installiert, die Vegetationsstruktur sowie verschiedene mikroklimatische Parameter erfasst und mit einer Gradientenanalyse ausgewertet (Adaschkiewitz, unpubl.). Zum anderen – und als Hauptziel – ging es um die Erstellung von Populationsgefährdungsanalysen an

Heuschrecken (unter Ltg. von **G. Köhler** – Abb. 23 u. 24) unter den Szenarien der Wiesenpflege (in einem NSG) und der Habitatverkleinerung (durch Steinabbau). Als Bezugsraum bot sich das bereits beantragte Naturschutzgroßprojekt „Orchideenregion Jena - Muschelkalkhänge im Mittleren Saaletal“ (1996-2005) an, in dem die für Heuschrecken wichtigen Xerothermrassen mit insgesamt >1.000 ha etwa ein Viertel der zentralen Schutzgebietsflächen ausmachten. Zu dieser Problematik entstanden im Zeitraum 1993-2012 in Jena 10 Qualifizierungsarbeiten (1994-2000) und 63 Publikationen, davon 8 Buchbeiträge (auch KÖHLER 2001, Thür. Faun. Abh.).

In 6-jähriger projektbezogener Feldforschung (1992-1997) wurden insgesamt 11 Heuschreckenarten auf 38 Probeflächen in 6 Naturräumen (davon 3 außerhalb Deutschlands) in unterschiedlicher Intensität einbezogen (zusf. Günter KÖHLER 1999, Habil., Laurenti, Bochum). Dazu sind >5300 Heuschrecken individuell nummeriert worden, und eine zusätzliche Reflexfolie-Markierung (zuerst bei HELLER & VON HELVERSEN 1990, Entomol. Gener.) ermöglichte bei Dunkelheit mit Stirnlampen ein effektives Auffinden der Tiere (knapp 20.000 Wiederfunde) über ihre gesamte Lebensdauer (Abb. 25 u. 26). Auf diese Weise konnten zahlreiche, bislang wenig bekannte Parameter von Wildpopulationen dieser Arten gewonnen werden. Ergänzend sind in Gewächshaus- und Klimakammer-Experimenten Daten zur temperaturabhängigen Entwicklungsdauer, zur Ei- und Larvalmortalität sowie zum Reproduktionspotential ermittelt worden. Ein besonderer Stellenwert kam dabei den statistisch-modellierenden Verfahren zu, die Jens Schumacher, Uta Berger und Silke Bauer einbrachten. Unter Einbeziehung all dieser Parameter konnten mittels Simulationen umfassende Populationsgefährdungsanalysen am Großen Heidegrashüpfer, *Stenobothrus lineatus* (NSG Leutratal - Jörg SAMIETZ 1998, Diss., Cuvillier, Göttingen; zuvor SAMIETZ et al. 1996, Kluwer, Dordrecht), und an der Rotflügeligen Ödlandschrecke, *Oedipoda germanica* (Kalksteinbruch Steudnitz - Gerd WAGNER 1999, Diss., 2000, Articulata Beih.; zuvor WAGNER & BERGER 1996, Kluwer, Dordrecht; WAGNER et al. 1997, LNT), erstellt werden (Abb. 27).

In allen untersuchten Populationen war die Verteilung der breit streuenden individuellen **Mobilitätsparameter** auffällig in Richtung niedriger Werte verschoben, mit medianen Aktionsdistanzen von nur 10-30 m und mittleren Aktionsflächen von <100-300 m² über die Lebensdauer der Imagines. Diese Parameter (bei ♂♂ > ♀♀) korrelierten positiv mit der Populationsdichte und Habitatfläche, waren aber abhängig vom konkreten Aussetz-Wiederauffang-Design und von der Untersuchungsintensität (zusf. KÖHLER 1999, Laurenti, Bochum). Zudem unterschätzten lineare Parameter generell die Mobilität,



Abb. 23: PD Dr. Günter Köhler bei Praktikumsvorbereitungen im Leutratatal, 27.06.2007. Foto: S. Creutzburg.



Abb. 24: Heuschreckengruppe vor dem Forschungsgewächshaus Neugasse 23, Febr. 1996. Foto: Archiv Köhler.

deren Präzision jedoch mit der Kürze des Beobachtungsintervalls und der Zahl an Wiederfundereignissen stieg (SAMIEZ & BERGER 1997, Oecologia; BERGER et al. 1999, Ecol. Modelling). Die Richtung der Bewegungen wurde durch die Habitatform kanalisiert, was in Korridoren die lineare Mobilität erhöhte (OPITZ & KÖHLER 1997, Mitt. DGaaE; OPITZ et al. 1998, Proc. Exp. Appl. Ent.). Nur wenige markierte Individuen (meist <5%) verließen ihre Habitate, wobei solche Tiere (meist ♂♂) oft schon recht alt (>20 Tage) waren, was zwangsläufig Nachteile für einen Fortpflanzungserfolg im neuen Lebensraum resp. in einer benachbarten Population bringen mußte (zusf. REINHARDT & KÖHLER 2002, Natursch. Landsch.plan.). Die weitesten nachgewiesenen Aktionsdistanzen von Grashüpfern betragen 50-80 m (max. 174 m), von *Oe. germanica* 190 m (WAGNER 1995, Verh. GfÖ, 2000, Articulata Beih.) und von der gut flugfähigen *Phaneroptera falcata* um die 500 m (SAMIEZ & KÖHLER 1996, Mitt. DGaaE). Aus den räumlich dargestellten Wiederfunden markierter Imagines konnte die tatsächliche Nutzung des Habitats durch eine Population samt Korrelationen zu maßgeblichen Faktoren abgeleitet werden (SAMIEZ 1996, Verh. GfÖ, 1998, Cuvillier, Göttingen; OPITZ et al. 2004, Articulata). Anhand der Ruhepflanzen bei Nacht ließen sich – bei einer Bevorzugung von Stellen mit Aufrechter Trespe - enge (*Stenobothrus lineatus* – SAMIEZ 1996, Verh. GfÖ) und breite (*Gomphocerus rufus* – OPITZ 1996, Saltabel) Strukturnischen ausmachen, woraus insgesamt ein Konzept des **Mesohabitats** (als tatsächlich genutzte Habitatstrukturen) abgeleitet wurde (zusf. KÖHLER 1999, Laurenti, Bochum). Der für den Populationserhalt wichtige Bereich liegt zwischen Eiablage und Larvenschlupf, wobei die Ablagerate eines Weibchens von der Lebensdauer, Thermoregulation und Mobilität beeinflusst wird (*S. lineatus* - SAMIEZ & KÖHLER 1996, Balkema, Rotterdam; SAMIEZ 1998, Cuvillier, Göttingen; SAMIEZ & KÖHLER 2012, Ecol. Evol.; *Oe. germanica* – WAGNER et al. 1997, LNT; WAGNER 2000, Articulata Beih.). Diese **life history-Parameter** schwankten beträchtlich und unvorhersehbar zwischen Arten, Populationen und Generationen, mit sehr variablen und erst ansatzweise bekannten Fluktuationsfaktoren ($\times 2,5$ - >100) und sowohl regionalen wie lokalen habitatspezifischen Dynamiken. Infolgedessen unterliegen Populationen den Extinktionsstrudeln auf ganz verschiedene Weisen, was Verallgemeinerungen unmöglich macht (KÖHLER 1996, Kluwer, Dordrecht; 1999, Laurenti, Bochum; PERNER & KÖHLER 1998, BfN Bonn; KÖHLER et al. 1999, Ecography). Da die Gefährdung einer Population letztlich immer an ihrer (habitatbezogenen) Individuenzahl ansetzt, bleibt deren möglichst präzise Ermittlung grundlegend für derartige Analysen. Dazu sind von 1993-1998 mit 7 Schätzverfahren insgesamt 160 (effektive) **Populationsgrößen** ermittelt worden, wobei sich

(aufwendige) Fang-Wiederfang-Methoden als durchweg genauer gegenüber (zeitsparenden) Quadratsammel-Methoden und Linientaxationen erwiesen, deren Korrekturfaktoren ($\times 1,4-3,2$) erheblich streuten. Da die Genauigkeit (Unschärfe) einer Schätzung obendrein noch von der (eigentlich erst zu bestimmenden) Größe und Verteilung der jeweiligen Population sowie deren Habitatfläche (und somit Dichte) abhängt, lassen sich sehr kleine Populationen (<60 Ind.) selbst mit hohem Zeitaufwand nicht mit hinreichend niedriger Unschärfe erfassen (KLINGELHÖFER & KÖHLER 2000, WAGNER 2000, SCHUMACHER et al. 2000, alle Beitr. Ökol.).

Um mit all diesen Parametern schließlich den **Gefährdungsgrad von Populationen** abzuschätzen, sind neben aufwendigen Gefährdungsanalysen noch vereinfachende Standardsimulationen und Standardisierte Populationsprognosen an vier Arten ausgearbeitet worden. Mittels individuenbasierter Modelle konnten langfristige Gefährdungsabschätzungen von Populationen und Metapopulationen (mit Andreas Heidenreich, Mainz) für verschiedene Habitatgrößen und -qualitäten simuliert werden (BERGER et al. 1995, Verh. Ges. Ökol.; SAMIETZ 1998, Cuvillier, Göttingen; Verh. GfÖ; WAGNER 2000, Articulata Beih., zuzf. KÖHLER 1999, Laurenti, Bochum; BAUER et al. 2005, Behav. Ecol.). Die daraus resultierenden Mindestpopulationsgrößen streuten je nach Art und Modellannahmen in erheblicher Breite (<200 bis >>1.000 Imagines). Am Zoologischen Institut der Universität Mainz (Direktor: Alfred Seitz) wurden außerdem Proben etlicher Jenaer Populationen genetisch analysiert und dabei keine – wie auch immer zu interpretierende – Isolationseffekte selbst zwischen entfernteren Populationen der jeweiligen Arten festgestellt (*S. lineatus*, 8 Pop. - JOHANNESSEN et al. 1999, J. Insect Conserv.; *O. germanica* – Nicklas-Görge 1997, Diss. Univ. Mainz), was jedoch keinen irgendwie nachweisbaren Individuenaustausch impliziert.

Dass individuenarme Populationen tatsächlich mehr oder weniger rasch aussterben können, ergaben zwei gut dokumentierte Versuche zur **Wiederansiedlung** der deutschlandweit vom Aussterben bedrohten Rotflügeligen Ödlandschrecke (KÖHLER 1993, LNT; KÖHLER & WAGNER 2000, Mauritiana; Köhler, in lit.). Beide Male wurden die Tiere von durch fortschreitenden Steinabbau verkleinerten Schuttkegeln im Kalksteinbruch Steudnitz entnommen und (1) 1994 mit 19 ♀♀ und 13 ♂♂ am steilen südseitigen Oberhang des Leutratalles sowie (2) 2002 mit 20 ♀♀ und 10 ♂♂ auf der Jenzig-Nase (noch laufend) ausgesetzt. Die Leutratal-Population verschwand bereits nach 3-4 Jahren und damit noch rascher, als es eine modellgestützte Nachhinein-Prognose mit zwei Szenarien erwarten ließ (WAGNER et al. 1999, LNT; 2005, J. Nature Conservation).

Am Beispiel der in den deutschen Bundesländern ausgestorbenen Heuschreckenarten (und -populationen) ließ sich das Zusammenspiel von anthropogenen Habitatveränderungen, biologischen Artbegrenzungen und Klimaveränderungen herausarbeiten (KÖHLER et al. 2003, Articulata). Dabei zeigten sich komplexe Korrelationen der Aussterbegeschwindigkeiten mit Arealgrößen, Habitatbindungen und Ausbreitungsfähigkeiten (REINHARDT et al. 2005, Ecography).

Seit Mitte der 1980er Jahre begann G. Köhler mit Experimenten und Erhebungen zur adaptiven Lebensgeschichte (life history – KÖHLER 1989, Wiss. Beitr. FSU Jena, 1995, Lenz Verlag) von Heuschrecken, wozu sich der in Fläche und Höhe weitverbreitete Gemeine Grashüpfer (*Chorthippus parallelus*) sehr gut eignete. Aufgrund widriger Umstände und anderweitiger Projekte mußten die Untersuchungen jedoch immer wieder unterbrochen werden, manche Aufbereitung von Ergebnissen geriet ins Stocken und deren Veröffentlichung konnte oft erst viele Jahre später erfolgen. So blieb das „**Life-history-Projekt**“ (noch 1995 als Habilitationsthema angegeben) letztlich ein Fragment, während zumindest der Gemeine Grashüpfer über vier Jahrzehnte die hauptsächliche „Modellart“ war.

In sukzessiven Gewächshaus- und Laborexperimenten wurden zunächst die breit gestreute saisonale und diurnale Schlupfstreuung erfaßt (KÖHLER 1983, Zool. Jb. Syst., 2012, Articulata) und in Kombination mit Freilandbonituren die Farbmorphenverteilung (in den Populationen) und die Morphenfitness ermittelt (KÖHLER 2006, KÖHLER & RENKER 2006, beide Articulata) sowie das Phänomen der gelegentlichen Langflügeligkeit untersucht (KÖHLER 2002, Articulata). Noch in den 1980er Jahren wurden vier Populationen verschiedener Herkünfte und Höhenlagen in Gewächshauszuchten detailliert und vergleichend auf ihre Entwicklung und Reproduktion hin untersucht (Köhler, in lit.). Um mögliche Anpassungen von Populationen an die Höhenlage (mit deren verkürzter Vegetationsperiode) zu finden, ergab sich 1993 die Gelegenheit, 17 alpine Fangserien (aus 500->2300 mNN) in der Sammlung bei Dr. Adolf Nadig (Chur/Schweiz) zu vermessen und die Farbmorphen zu notieren (Köhler & Samietz, in lit.). Im Zeitraum 1993/94 wurden weitere 18 Populationen, diesmal entlang eines Höhengradienten im Erzgebirge (250-1040 mNN) erfaßt und ebenfalls diesbezüglich ausgewertet (KÖHLER 2008, Mauritiana). Eine entscheidende Einflußgröße auf die Entwicklung, nämlich die tatsächliche Körpertemperatur der Heuschrecken (mit Einstichfühler gemessen) im Vergleich zur Umgebungstemperatur, wurde bei einem AG-Aufenthalt 1994 in den Hohen Tauern zu verschiedenen Tageszeiten und an mehreren Stellen im subalpinen Bereich bei *Ch. parallelus*



Abb. 25: Mit Opalithplättchen (rot) und Reflexfoliefähnchen markierter Großer Heidegrashüpfer, Leutratal, 1994. Foto: F. Julich.



Abb. 26: Bei Dunkelheit lassen sich mit Reflexfolie markierte Heuschrecken gut aufspüren, mit Jörg Samietz und Jörg Klingelhöfer im Leutratal, Aug. 1995. Foto: G. Köhler.



Abb. 27: Erfassung der Rotflügeligen Ödlandschrecke durch Gerd Wagner im Kalksteinbruch Steudnitz, Juli 1994. Foto: G. Köhler.



Abb. 28: Sogar Klaus Reinhardt (mit Exhaustor) züchtete Heuschrecken, Aug. 1998. Foto: G. Köhler.

und weiteren Arten untersucht (Köhler et al., in lit.). Zudem sind bereits 1986-1990 erfolgreiche Kreuzungsexperimente der Art mit *Ch. montanus* angestellt worden (TSCHUCH & KÖHLER 1990, Articulata – Hybridgesang; KÖHLER 2013, Articulata), die möglicherweise für Überlappungsbereiche ihrer Lebensräume von Bedeutung sind. Besonders interessante Einsichten in eine der bestbekanntesten Hybridzonen überhaupt – nämlich der von *Ch. parallelus parallelus* × *Ch. p. erythropus* in den französischen Ostpyrenäen – ergaben sich durch die Vermittlung und Gastfreundschaft von Klaus Reinhardt. Er war damals an der Univ. Leeds (bei Roger Butlin) und hatte sich in Saillagouse für etliche Wochen eingemietet, um Paarungsuntersuchungen an *Ch. parallelus* in dieser Hybridzone durchzuführen. Bei einem zweiwöchigen Aufenthalt ergab sich hierbei die Gelegenheit, die Rein- und Hybridpopulationen und ihre Lebensräume in ihren ökologischen Charakteristika quer durch deren Hybridzone und teils auch später in Laborzuchten zu untersuchen (KÖHLER et al. 2007, Articulata Beih.).

Ein weitgehend vernachlässigter (weil schwierig zu untersuchender) Aspekt rankte sich um **Paarungshäufigkeit**, **Spermien-speicherung** und **Spermienkonkurrenz** sowie deren Einfluss auf Populationsprozesse. Wie Freilandbeobachtungen (1994-1996) an fünf Acrididenarten ergaben, sind Paarungen recht seltene und selten zu beobachtende Ereignisse, die je nach Art diurnal wie saisonal unterschiedlich gehäuft auftreten (REINHARDT et al. 2001, J. Orth. Res.). Dazu wurden von Klaus Reinhardt (Abb. 28) 1996-1999 etliche Experimente vor allem an *Ch. parallelus* durchgeführt (Reinhardt 2000, Diss.). Demnach hatte die potentielle Paarungshäufigkeit der Weibchen keinerlei Einfluss auf deren Fekundität und Fertilität (REINHARDT & KÖHLER 1999, J. Insect Behav.; auch nicht bei *Locusta migratoria* und *Chorthippus biguttulus* – REINHARDT & MEISTER 2000, J. Insect Behav.; REINHARDT 2000, Articulata). Auch die Nachkommen solcher Weibchen zeigten keinerlei Vor- oder Nachteile (REINHARDT et al. 1999, Proc. Roy. Soc. London). Doch im Freiland verpaarten sich Weibchen ohnehin seltener als bei Käfighaltung im Gewächshaus (REINHARDT et al. 2007, Ecol. Ent.). Die von den Männchen übertragene Spermienmenge hing weder von deren körperlicher Kondition (REINHARDT 2001, Behav. Ecol. Sociobiol.) noch von der Zahl anwesender Konkurrenten sowie der potentiellen Weibchen-Fitness ab (REINHARDT & ARLT 2003, Behaviour – *L. migratoria*). Mittels steriler Männchen (*Ch. parallelus*, *Ch. biguttulus*) konnte der Einfluß einer zweiten Paarung auf die Fertilität abgeschätzt werden (REINHARDT et al. 1999, Proc. Roy. Soc. London; REINHARDT 2000, Physiol. Ent.). Wie Aspekte dieses Reproduktionsverhaltens mit Bezug auf den Populationserhalt ineinandergreifen, konnte für *Oe.*

germanica detailliert aufgezeigt werden (REINHARDT & KÖHLER 2002, Biol. Conserv.)

Eine aufwendige separate Freilandstudie von Markus Ritz im Jahre 2000 kombinierte Populationsgröße, Morphometrie, Mobilität (zwischen markierten Höhlen) und Verhalten an einer komplett individuell (mit nummerierten Reflexfolie-Fähnchen an den Hintertibien) markierten ♂-Teilpopulation der **Feldgrille**, *Gryllus campestris*, an der Lobdeburg. Daraus ergaben sich eine negative Korrelation von Mobilität und Lebensdauer, eine saisonal bei sinkender Populationsgröße zunehmende Aggregation sowie tages- und jahreszeitliche Paarungsspitzen (RITZ & KÖHLER 2007, Ecol. Ent.). Weiterhin ließen sich aus den sehr detaillierten Daten erstmals Hinweise zur natürlichen und sexuellen **Selektion** (auf ♂♂) und zur Partnerwahl (der ♀♀) in einer Wildpopulation der Feldgrille gewinnen (RITZ & KÖHLER 2010, Evol. Ecol.).

Teils aus dem Umfeld der Gefährdungsanalysen, teils auch aus sich bietenden Gelegenheiten kam es zu Populationsuntersuchungen an weiteren Heuschreckenarten in teils anderen Landschaften. Dabei wurden dieselben bewährten Markierungs- und Wiederfundtechniken angewandt, um individuelle Mobilitäten und Habitatnutzungen zu erforschen: *Phaneroptera falcata* – Samietz 1994; SAMIETZ & KÖHLER 1994, Mittg. DGaaE; KÖHLER & SAMIETZ 1998, Thür. Faun. Abh.; 2015, Articulata; *Ch. parallelus* und *Gomphocerus sibiricus* - Hohe Tauern / Österreich (KÖHLER et al. 2003, Articulata); *Miramella formosanta* – KÖHLER et al. 1999, Mitt. Schweiz. Ent. Ges.; *Phymateus leprosus* - Große Karoo / Südafrika (KÖHLER et al. 1999, Mauritiana; 2001, Opusc. zool. flumin.; 2009, Bonner zool. Beitr. – Zucht ergab mit 10 Juvenilstadien den Höchstwert bei Acridoidea), *Pezotettix giornae* – Insel Giglio / Italien (REINHARDT et al. 2003, Articulata). Ephemere Studien erfolgten zu Eiablagepräferenzen im Freiland und Labor (*Euthystira brachyptera* – REINHARDT 1998, Articulata), zur Altersbestimmung durch Mandibelabnutzung (*Ch. parallelus* - KÖHLER et al. 2000, J. Orth. Res.), zur Morphometrie (*Oedipoda caerulea* - KÖHLER et al. 2001, Thür. Faun. Abh.) und Fluktuierenden Asymmetrie (*Ch. parallelus* - JENTZSCH et al. 2003, Zoology).

Floren- und Faunenforschung

Zur **Flora und Vegetation** sind über die bereits erwähnten Beiträge von Rolf Marstaller und Wolfgang Heinrich hinaus zahlreiche Nachweise weiterer naturschutzfachlich wertvoller Pflanzenarten erbracht worden, die teils in den „Informationen zur floristischen Kartierung Thüringens“ publiziert wurden, teils auch Eingang in den „Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen“

(KORSCH et al. 2002, Weissdorn, Jena) und in die „Flora von Thüringen“ (ZÜNDORF et al. 2006, Weissdorn, Jena) fanden. Berücksichtigt wurden dabei neben naturschutzfachlich wertvollen Arten wie *Lathyrus nissolia* (HEINRICH 1999, Haussknechtia) bereits in den 1980er Jahren auch invasive Pflanzenarten wie *Bunias orientalis* (HEINRICH 1985, Wiss. Z. FSU Jena) und *Puccinellia distans* (HEINRICH 1985, Haussknechtia). Auf dieser Grundlage entstand die zusammenfassende Übersicht „Die Pflanzengesellschaften Thüringens“, ergänzt durch eine „Bibliographie der vegetationskundlichen und vegetationsökologischen Literatur Thüringens“ (HEINRICH & MARSTALLER 1993, Naturschutzreport; 2010 durch Heinrich ergänzt). Eine Kombination aus floristisch-vegetationskundlichen mit ökofaunistischen Untersuchungen boten jene 16 Diplomarbeiten (1971-1998), die in 12 herausragenden Gebieten der Jenaer Umgebung durchgeführt wurden: vom Großen Gleisberg im N bis zum Dohlenstein im S und von der Saale-Aue bis auf die Hochflächen. Da fast alle auch in Schutzgebieten lagen, fanden die Ergebnisse Eingang in „Die Naturschutzgebiete der Bezirke Erfurt, Suhl und Gera“ (Mitarbeit von W. Heinrich in GÖRNER et al. 1984, Urania-Verlag, Leipzig u.a.) und „Die Naturschutzgebiete Thüringens“ (Mitarbeit von R. Marstaller und W. Heinrich in WENZEL et al. 2012, Weissdorn, Jena).

Zur **Fauna und Ökofaunistik** entstanden – aus den ökologischen Forschungsprojekten heraus – ebenfalls zahlreiche Publikationen und für den Naturschutz wertvolle Übersichten. Besonders hervorzuheben sind zum einen die von H. J. Müller eingebrachten und (mit W. Witsack, H.-U. Peter und F. W. Sander) weitergeführten Arbeiten an Zikaden (Kap. 2.1), wodurch von Jena ausgehend die – später von W. Witsack (in Köthen und Halle) weitergeführte – Zikadenkunde national wie international maßgeblich befördert wurde. Ebenso einflussreich wurden die vielfältigen dipterologischen Untersuchungen von Rudolf BÄHRMANN, welche von 1976-2015 in über 100! Publikationen zu insgesamt 20 Fliegenfamilien ihren Niederschlag fanden. Das beeindruckende Spektrum reicht von methodischen (zu Fangverfahren und Determination) bis zu historischen Schriften (zu Dipteren-Kollektionen), in den Lebensräumen von Magerrasen und Gehölzen auf Buntsandstein und Muschelkalk über Agrar- und Hochmoorflächen bis zu Salzwiesen und Höhlen, und geographisch von Thüringen bis zum Brocken, nach Mecklenburg und in andere Bundesländer. Allein fünf Arbeiten liegen zu Fliegen aus der Vesser-Emergenz (1983 u. 1987, Abh. Ber. Mus. Natur Gotha) vor. Die orthoptero-faunistischen Untersuchungen (vor allem zu Heuschrecken) von Günter KÖHLER sind von 1984-2015 in etwa 80 Publikationen beschrieben, auch zu ephemeren (teils zugetragenen) Aufsammlungen in über 10 Ländern (außer Deutschland), und für Thüringen zusammengefasst in

einer Landesfauna der Heuschrecken (2001, Naturschutzreport) sowie als Textbausteine für das NSG-Handbuch (2006, Schriftenreihe TLUG). Eine besondere Entdeckung war der Nachweis des pannonisch verbreiteten Zwerggrashüpfers (*Stenobothrus crassipes*) im Kyffhäuser, dem seinerzeit einzigen bekannten Vorkommensgebiet in Deutschland (KÖHLER 1985, Ent. Nachr. Ber., 2009, Articulata). In jüngster Zeit bestätigte sich die weithin bekannte biogeographische Sonderstellung des Kyffhäusers auch anhand der Schildläuse, von denen fünf süd/südosteuropäisch verbreitete Arten nachgewiesen und die Polnische Cochenille (*Porphyrophora polonica*) nach 100 Jahren wiederentdeckt werden konnten (KÖHLER 2005-2013, Ent. Nachr. Ber., Thür. Faun. Abh.). Weitere Arbeiten zu sieben Insekten-Neubürgern in Thüringen – wie Bernstein-Waldschabe, Südliche Eichenschrecke, Violette Holzbiene, Asiatischer Marienkäfer und Orientalische Mauerwespe – erschienen 2006-2014 (KÖHLER / KÖHLER et al., Ent. Nachr. Ber., Thür. Faun. Abh.).

Im Zuge einer in den letzten drei Jahrzehnten stark vorangetriebenen Arteninventarisierung in Deutschland wurden aktuelle systematisch-taxonomische Übersichten (als **Checklisten**) sowie die Bewertung dieser Arten hinsichtlich ihres Gefährdungsgrades (in **Roten Listen**) immer wichtiger. Waren letztere anfangs noch weitgehend von subjektiven Einschätzungen der jeweiligen Spezialisten geprägt, sind Rote Listen mittlerweile das Ergebnis komplexer Zusammenhänge unter Berücksichtigung zahlreicher ökofaunistischer Artdetails (LUDWIG et al. 2009, Rote Liste Dtl., Band 1). Auch Mitarbeiter des Instituts für Ökologie beteiligten sich immer wieder an der Erstellung von zumeist regionalen Checklisten und Roten Listen für verschiedene Organismengruppen. Das Wissen um die Pflanzenarten fand Eingang in die „Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen“ (1980, 2001 – mit W. Heinrich), die „Rote Liste der Moose“ (MARSTALLER 2001, 2011, Naturschutzreport) und in die „Rote Liste der Pflanzengesellschaften Thüringens“ (HEINRICH et mult. 1993, 2001, 2011, Naturschutzreport). Auf faunistischem Gebiet wurden von Institutsmitarbeitern Checklisten Thüringens für 12 Großgruppen in teils verschiedenen Fassungen (1993-2009) erstellt: Webspinnen (Malt, Sander), Ohrwürmer, Schaben, Heuschrecken, Schildläuse (alle Köhler), Mottenschildläuse und Zweiflügler (48 Fam. – Bährmann), Blattflöhe, Landwanzen, Zikaden, Augenfliegen (mit Sander, Lichter) und Blattkäfer (mit Perner). Im Rahmen der „Entomofauna Germanica“ liegt eine umfangreiche kommentierte Checkliste der Zweiflügler vor (SCHUMANN, BÄHRMANN & STARK 1999). Für den Katalog der paläarktischen Schildläuse bearbeitete Köhler die Eriococcidae (KOZÁR 1998, Akad. Kiadó, Budapest). Für die Roten Listen Thüringens (1993,

2001, 2011) sind die Webspinnen (Sander, Malt), Geradflügler, Schildläuse (Köhler), Wanzen (Lichter, Sander) und Zikaden (Sander) bearbeitet worden. Schließlich gab es eine Mitarbeit an der Roten Liste Deutschlands bei Heuschrecken (INGRISCH & KÖHLER 1998), Ohrwürmern (MATZKE & KÖHLER 2011) und Schaben (KÖHLER & BOHN 2011).

GÜNTER KÖHLER, WOLFGANG HEINRICH, ROLF MARSTALLER, KLAUS REINHARDT



2.2.4 Polar- und Ornitho-Ökologie

Die ornithologische Forschung von **Hans-Ulrich Peter** konzentrierte sich seit den frühen 1970er Jahren auf die Fortführung der Untersuchungen an der Dohlen- und Turmfalken-Kolonie in der 1938-1941 errichteten Autobahnbrücke Jena-Göschwitz. Mitte der 1980er Jahre ergab sich für ihn die einmalige Gelegenheit, an einer anderthalbjährigen sowjetischen Antarktis-Expedition teilzunehmen, bei der er vor allem Untersuchungen an Seevögeln durchführte. Diese beiden ornitho-ökologisch ausgerichteten Forschungsgebiete bildeten den Hintergrund für eine 1990 von ihm begründete und seitdem geleitete Arbeitsgruppe, deren Schwerpunkt die Erforschung antarktischer Land-Ökosysteme wurde.

Ökologie europäischer Vogelarten

Zwischen 1983 und 2015 wurden zu europäischen Vogelarten insgesamt 39 Qualifizierungsarbeiten, darunter 2 Dissertationen, verfaßt, von denen sich allein 19 vor allem mit der Brutbiologie, Nahrungs- und Populationsökologie sowie Jahresaktivität der **Dohle** beschäftigten (Abb. 29 u. 30). Die meisten Untersuchungen liefen in der oben erwähnten Brutkolonie südlich von Jena und in ihrer weiteren Umgebung (u.a. PETER 1994a u. b, Jenaer Geogr. Schr., Naturschutzreport). Mit der Einbeziehung früherer Kontrollergebnisse liegt mittlerweile ein Langzeitdatensatz (1949-1957 und 1973-2015) vor, der Einsichten über die Veränderungen in der Kolonie, insbesondere zur Abnahme des Bruterfolgs, gewährt und daraus die entsprechenden Schutzmaßnahmen ableitet. So konnten der Neubau der zweiten Saaletalbrücke (der BAB 4) im Jahre 2006 und die Rekonstruktion der alten Brücke erfolgreich im Rahmen der Ökologischen Baubegleitung (Peter, unpubl.) realisiert werden.

Eine Reihe von Einzelarbeiten (teils nach Anregung und Mitbetreuung durch Jochen Wiesner und Siegfried Klaus, Jena) widmete sich der Ökologie von knapp 20 zumeist gefährdeten und geschützten Vogelarten: u.a. Aktionsraum und Habitatnutzung des Sperlingskauzes, Verhaltens- und Nahrungsökologie von Uhu und Waldkauz, Bestandsentwicklung und Nahrungsökologie des Rotmilans, Eimaße als Indikator für die Lebensraumqualität bei Kohlmeisen, Reproduktionsgenetik bei Tannenmeisen, Bruterfolg und Nahrungsverhalten insektenfressender Höhlenbrüter, Quantifizierung der Flügelform von Amseln sowie Rolle der Farbmorphen beim Mäusebussard. Angeregt vom Rauhußhuhn-Spezialisten Siegfried Klaus (Jena) beschäftigte sich



Abb. 29: Dr. Hans-Ulrich Peter, Leiter der AG Polar- und Ornitho-Ökologie, beim Dohlen-Keschern von der Autobahnbrücke Göschwitz, 21.05.2007. Foto: Archiv Peter.



Abb. 30: Wiegen und Beringen von Dohlen-Küken in der Autobahnbrücke Göschwitz, Mai 2008. Foto: H.-U. Peter.

Christoph Unger mit dieser Vogelgruppe und promovierte (2009) über die Raum- und Habitatnutzung nach Thüringen umgesiedelter russischer Auerhühner. Im Zeitraum 1999-2003 wurden 145 Auerhühner und -hähne in Thüringen ausgesetzt, und anhand markierter und besendeter Vögel ergab sich eine hohe Sterblichkeitsrate bei einer mittleren Überlebensdauer von unter einem Jahr (UNGER & KLAUS 2005, Beitr. Jagd- u. Wildforsch., 2007, LNT, 2009, Ornithol. Anz.). An Wasservögeln gab es Studien zu verhaltensökologischen Mechanismen der Reproduktion von Rotschenkeln unter hohem Prädationsdruck, zur Geschwisterkonkurrenz bei Küstenseeschwalbenküken, zum Schadstoffmonitoring an Küstenvögeln im Wattenmeer sowie zum Sivash-Gebiet (auf der Krim) als Rastplatz arktischer Limikolen. Desweiteren wurden die bioakustischen, phänotypischen und genetischen Differenzierungen bei Großmöwen der *Larus argentatus*-Gruppe untersucht sowie deren phylogeographische Unterschiede und Verwandtschaftsbeziehungen erforscht (hierzu Dorit Liebers 2001, Diss.; LIEBERS et al. 2001, Molecular Ecol., 2002, J. Evol. Biol.).

Im Jahre 1980 kam **Jürgen Heyer** als Technischer Mitarbeiter an den WB Ökologie, er war zuvor Lehrer (an verschiedenen Schulen in Thüringen) gewesen, beschäftigte sich schon seit seiner Jugendzeit intensiv mit der heimischen Vogelwelt und war ein weithin bekannter Ornithologe. Von seinen fast 70 ornithologischen Veröffentlichungen (1957-2006) fiel etwa ein Drittel in seine Mitarbeiterzeit in der Ökologie, darunter Beiträge zur Vogelwelt des Mittleren Saaletales (1981, 1989, Wiss. Z. FSU Jena), des Hainspitzer Sees (1981, LNT) und des Kreises Weimar (1991, Weimarer Schriften), zu Beringungsergebnissen im damaligen Bezirk Gera sowie zu einzelnen Vogelarten, wie Zilpzalp, Aaskrähe, Beutel- und Schwanzmeise, Heckenbraunelle und Sommergoldhähnchen (alle Thür. Ornithol. Mitt.). Und für die „Vogelwelt Thüringens“ (VON KNORRE et al. 1986, Fischer, Jena) verfaßte er die 'Landschaftselemente als Lebensräume' sowie Beiträge zu 26 Vogelarten. Seine letzte große Studie „Die Vogelwelt im Saale-Holzland-Kreis und in der Stadt Jena“ – eine Zusammenfassung seiner 50jährigen Beobachtungen – erschien posthum als Buch im Selbstverlag (HEYER & DAMER 2000).

Antarktis-Forschung

Mit der Teilnahme von H.-U. Peter (Abb. 31 u. 32) an der 29. Sowjetischen Antarktisexpedition 1983-1985 (zwei Südsommer und ein Südwinter) begann seine Forschungstätigkeit in antarktischen Gefilden, wobei King George Island (Süd-Shetland-Inseln) zum Hauptuntersuchungsgebiet wurde. Während dieser Expedition im Rahmen des internationalen Programms BIOMASS

(**B**iological **I**nvestigations **o**n **A**ntarctic **S**ystems and **S**tocks) stand die zahlenmäßige Erfassung der Vogel- und Robben-Arten der Fildes-Halbinsel und der Ardley-Insel im Mittelpunkt der Forschung. Dies war der Beginn eines Langzeit-Monitorings, das nach der deutschen Wiedervereinigung (und mit Unterstützung des Alfred-Wegener-Instituts Bremerhaven) mit lückenloser Kontinuität und großer Intensität fortgesetzt werden konnte. So arbeiteten in den letzten 20 Jahren in jedem Südsommer (von Oktober/November bis Februar/März) er und jeweils zwei bis neun Diplomanden, Masterstudenten, Doktoranden und Wissenschaftliche Mitarbeiter der AG, davon manche in bis zu sieben Südsommern, in der Umgebung der russischen Station Bellingshausen (Abb. 33) und des deutsch-argentinischen Dallmann-Labors. Eine besondere logistische Herausforderung waren die 2000/01 und 2007/08 von H.-U. Peter organisierten und geleiteten internationalen Studenten-Expeditionen (letztere im Rahmen des Internationalen Polarjahres) mit 15 bzw. 14 Teilnehmern, darunter auch aus Luxemburg, Russland, Argentinien und Spanien. Weitere Arbeitsorte waren die chinesische Station Great Wall, die südkoreanische Station King Sejong, die brasilianische Station Ferraz sowie Penguin Island und Hannah Point (Livingston Island). Außerdem wurden bei schiffsgebundenen Expeditionen im Bereich der Antarktischen Halbinsel, Südgeorgiens und der Falkland-Inseln Blutproben von Vögeln für genetische Untersuchungen gesammelt. Die Ergebnisse fanden ihren Niederschlag in bislang 25 Qualifizierungsarbeiten (1995-2015), darunter 3 Dissertationen, und in zahlreichen Publikationen.

Im Zentrum der hauptsächlich von der DFG finanzierten Forschungen standen von Anfang an populations-, nahrungs- und verhaltensökologische Studien an verschiedenen Seevogelarten, besonders an Raubmöwen (Skuas), beginnend schon 1984 (von Peter) mit Untersuchungen an der Braunen Skua (*Catharacta antarctica lonnbergi*) und der Südpolarskua (*Catharacta maccormicki*) (Abb. 34). Diese beiden nahe verwandten Arten unterscheiden sich zwar während der Brutzeit im selben Gebiet in ihrer Nahrungsökologie, dennoch können sie hybridisieren und fertile Nachkommen erzeugen (PETER et al. 1990, Zool. Jb. Syst.). Während die größere Braune Skua als Nahrungsterritorium überwiegend Kolonien von Pinguinen besetzt (und sich von ihnen auch ernährt), sucht die Südpolarskua ihre (an Fischen reiche) Nahrung hauptsächlich auf dem Meer (Klaus Reinhardt 1995; PETER 1995, in: Biologie der Polarmeere; Steffen Hahn 2002, Diss.). Solche Nahrungsflüge beider Skua-Arten konnten mit Hilfe von GPS-Loggern während der Brutzeit dokumentiert werden. Eine Erfassung der Migrationsrouten von mit GLS-Loggern besenderten Skuas zeigte erstmals, dass die meisten der individuell markierten Südpolarskuas den antarktischen Winter im Nordatlantik

verbringen, während sich etwa ein Drittel in dieser Zeit tausende Kilometer davon entfernt im Nordpazifik aufhält (Abb. 35 – KOPP et al. 2011, Marine Ecol. Progr. Ser.). Dagegen überwintern Braune Skuas im Südwestatlantik vor der argentinischen Küste. Seit Beginn der Untersuchungen in den 1980er Jahren wurden >4000 Skuas (farb)beringt, wobei dies die Grundlage für nachfolgende Studien war, bei denen die Vögel auch individuell unterschieden worden sind. So wurden umfangreiche Studien an Raubmöwen zur Populationsdynamik, Nahrungsökologie, zu akustischen Signalen, zur Hybridisierung und Phylogeographie, zum reversen Sexualdimorphismus sowie zur Orts- und Partnertreue durchgeführt (u.a. REINHARDT et al. 1997, Polar Biology; HAHN & PETER 2003, Emu; RITZ et al. 2006, Polar Biology, 2008, Molecular Phyl. Evol; HAHN et al. 2007, Marine Ecol. Progr. Ser.; RITZ 2007, Ibis, Markus Ritz 2009, Diss.; LISOVSKI et al. 2016, Am. Nat.). Die Auswertung eines (weitgehend AG-eigenen) Langzeit-Datensatzes (1980-2014) zu Raubmöwen auf King George Island erbrachte neben starken Populationsfluktuationen eine deutliche Abnahme der Brutpaarzahlen in den letzten Jahren (KRIETSCH et al. 2015, Polar Biol.).

Während der jeweils etwa viermonatigen Feldsaisons (Nov-Feb) wurden auch etliche andere subantarktische Seevogel-Arten in ihrer Ökologie und Anpassung an die extremen wie jahrweise sehr variablen Brutbedingungen im Gebiet erforscht. Bei den kleinsten antarktischen Brutvögeln, der Buntfußsturmschwalbe (*Oceanites oceanicus*) und dem Schwarzbauchmeerläufer (*Fregetta tropica*) als höhlenbrütende und nachtaktive Arten, werden die Jungvögel schon früh allein gelassen, während beide Altvögel für 24 Stunden oder länger auf dem Meer auf Nahrungssuche unterwegs sind. Life-History-Studien an Sturmschwalben umfassten auch das Bettelverhalten der Küken, elterliche Investitionen, die Eignung von Leukozyten als Stressindikatoren sowie die morphometrische Geschlechtsbestimmung (dazu Petra Quillfeldt 2002, Diss. FU Berlin; QUILLFELDT et al. 2000, Polar Biology; QUILLFELDT 2001, Antarctic Science, 2002, Animal Behaviour; QUILLFELDT & MÖSTL 2003, Acta Ethologica; Christina Büber 2003; GLADBACH et al. 2007, Polar Biology, 2009, Emu, Polar Biology, J. Ethol.). Ferner wurden verschiedene Aspekte der Verhaltens-, Brut- und Nahrungsökologie bei der Antarktiseseeschwalbe (*Sterna vittata* – Heike Wemhoff 2000) und der Brutökologie der Dominikanermöwe (*Larus dominicanus* – Jorg Welcker 2001) untersucht.

Ein besonders aktueller und seit mehr als fünfzehn Jahren vom Umweltbundesamt geförderter Forschungsschwerpunkt sind die Auswirkungen der zunehmenden anthropogenen Aktivitäten auf antarktische Ökosysteme, aus denen Vorschläge und Pläne für ein nachhaltiges Gebietsmanagement

abgeleitet werden. Dazu zählen Untersuchungen des Tourismus-Einflusses auf zwei durch Passagiere von Kreuzfahrtschiffen bei Landgängen stark frequentierte Gebiete und die Erfassung der Umweltsituation sowie das Monitoring der Vogel- und Robbenbestände der Fildes Peninsula und Ardley Island (Braun u.a.). Dabei wurden weitere wertvolle Kenntnisse zur Populationsdynamik von Brutvögeln und Robben in antarktischen Sommern gewonnen, und es gelangen erste Brutnachweise vom Rußalbatros (*Phoebetria palpebrata*) in der Maritimen Antarktis (LISOVSKI 2009, Polar Biology). Für den SW-Teil von King George konnte nach umfangreichen Kartierungen die rasche Ausbreitung der Antarktischen Schmiele (*Deschampsia antarctica*) als offensichtliche Folge der Klimaerwärmung (im Bereich der Westlichen Antarktischen Halbinsel) nachgewiesen werden. Basierend auf diesen Daten sowie auf der Erfassung der Umweltsituation wurden eine Gefährdungsgrad-Analyse (Environmental Risk Assessment) erstellt und Managementpläne zur Schutzgebietsausweisung sowie alternative Managementmaßnahmen erarbeitet. Dabei sind Ergebnisse einer umfassenden Untersuchung menschlicher Aktivitäten auf antarktische Vögel mit Hilfe von Hormonanalysen und Herzschlagratenmessungen an Riesensturmvögeln und Skuas berücksichtigt worden (Simone Pfeiffer 2005, Diss.). Die erarbeiteten Vorschläge flossen unmittelbar auf internationaler Ebene in die Diskussionen auf den Antarktisvertragstaatenkonferenzen und speziell im Ausschuss für den Umweltschutz (CEP) ein, um die verschiedenen menschlichen Aktivitäten vor Ort (Forschung, Logistik, Tourismus) besser koordinieren und deren Auswirkungen künftig minimieren zu können (PETER et al. 2008, 2013, Veröff. Umweltbundesamt).

Eine größere, derzeit >7.000 Brutpaare dreier Arten umfassende Pinguin-Kolonie (Abb. 36) ist seit Anfang der 1980er Jahre ebenfalls Gegenstand eines Langzeit-Monitorings und liefert weitere Hinweise zu den Auswirkungen der aktuell zu beobachtenden Klimaveränderungen. So hat sich die Brutpaarzahl der Adélie-Pinguine (*Pygoscelis adeliae*), wie auch in anderen Bereichen der Westlichen Antarktischen Halbinsel, drastisch verringert und derzeit auf einem niedrigen Niveau eingependelt, während die Brutpaarzahl der Eselspinguine (*Pygoscelis papua*) stetig ansteigt. Das Pinguin-Monitoring wird mit jährlichen Bodenzählungen fortgesetzt und durch Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (in Kooperation mit ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz) ergänzt. Dazu erfolgte 2014/15 auch eine Untersuchung des Einflusses von Drohnen (Abb. 37), die zunehmend zu wissenschaftlichen Zwecken eingesetzt werden, auf Adélie-Pinguine (RÜMMLER et al. 2015, Polar Biol.).

HANS-ULRICH PETER, CHRISTINA BRAUN, GÜNTER KÖHLER



Abb. 31: Brief von H.-U. Peter während der Schiffsreise zu seiner ersten Antarktis-Expedition; Äquator, 04.12.1983. Archiv Köhler.



Abb. 32: Dr. H.-U. Peter neben Zügelpinguin auf Nelson Island, 15.01.1984. Foto: A. Gebauer.



Abb. 33: Fildes-Halbinsel von King George Island mit der russischen Antarktisstation Bellinghousen, Basislager Jenaer Polarökologen, Febr. 2006. Foto: Ch. Braun.



Abb. 34: Vermessen und Wiegen von Raubmöwen-Küken durch Jan Esefeld und Johannes Krietsch, Südsommer 2012/13. Foto: Archiv Peter.

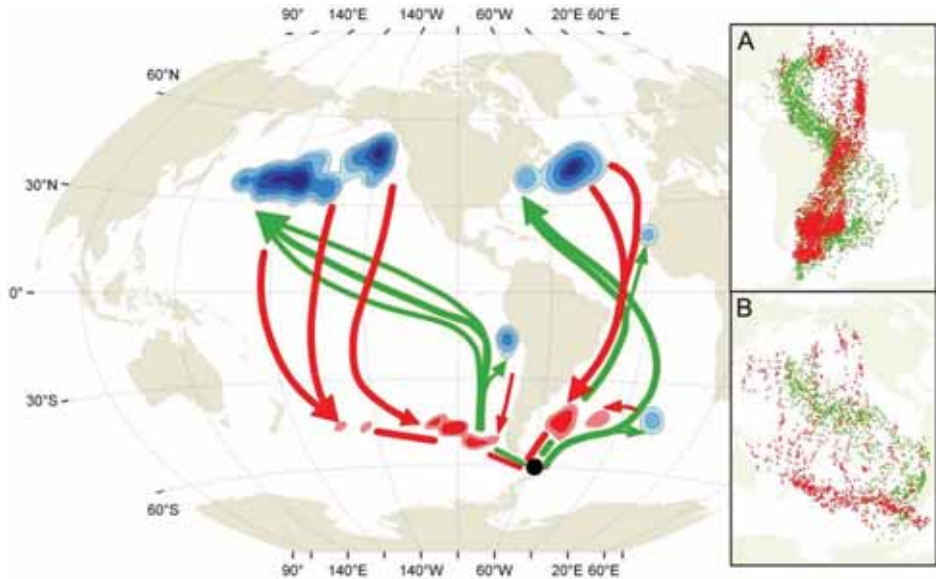


Abb. 35: Wanderungen besonderer Südpolar-Skuas von King George Island aus: Frühjahrs- (rot) und Herbststrouten (grün), Überwinterungsgebiete (blau). Aus: KOPP et al. (2011, Marine Ecol. Progr. Ser.).



Abb. 36: Zählung von Eselspinguinen auf Ardley Island, Dez. 2008. Foto: V. Pavel.



Abb. 37: Oktokopter-Drohne (von Osama Mustafa) über einer Pinguinkolonie, Witham Island, Jan. 2014. Foto: H.-U. Peter.

2.2.5 Theoretische Ökologie, Pflanzen- und Dendro-Ökologie

Theoretische Ansätze kamen zwar schon in den 1920er Jahren in der Populationsökologie und Ökophysiologie auf, doch darüber hinaus gewannen sie erst nach 1950 allmählich an Akzeptanz, wobei es vor allem Mathematiker und Physiker waren, die modellierende Forschungsansätze einbrachten. Bedeutet doch Theoretische Ökologie in erster Linie, theoretisch-konzeptionelles Denken in die ökologische Forschung zu integrieren, und dies führt in der Regel zum Einsatz mathematischer Modelle als Untersuchungsmethode. Modelle sind in erster Abstraktion vereinfachte Abbilder der angenommenen Wirklichkeit, die - unter dem Blickwinkel einer bestimmten Fragestellung - als verbale Wortmodelle nur die für das Verständnis nötigsten Annahmen enthalten. In zweiter Abstraktion werden diese auf mathematische Gleichungen und Regeln abgebildet, für die dann etablierte Lösungsmethoden oder Algorithmen für die Computersimulation zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse müssen dann wieder in den ökologischen Kontext rückinterpretiert und mit weiteren Beobachtungen verglichen werden. Dabei können Modelle einerseits relativ kompakt und überschaubar sein und dann allgemeingültige Aussagen erlauben, andererseits aber auch für eine bestimmte Situation sehr komplex formuliert werden, woraus sich dann notwendigerweise ein sehr eingeschränkter Gültigkeitsbereich der Aussagen ergibt. Immer aber sind Modelle vom „Wenn-Dann“-Typ, also 'wenn' bestimmte abstrahierende Annahmen gemacht werden (über die man sich trefflich streiten kann), 'dann' sind die mathematisch abgeleiteten Resultate (falls man richtig gerechnet hat) und deren Interpretationen logisch und zwangsläufig.

Theoretische Ökologie

Auch der spätere Leiter der AG Theoretische Ökologie, **Gottfried Jetschke**, promovierte zunächst in (Theoretischer) Physik (1978) und habilitierte sich – nach 12 Jahren Arbeit als Mathematiker an der FSU – 1993 in Mathematik (Stochastik). Die vermeintlich fehlenden Jahre kommen daher, dass er bereits 1990 zur Ökologie stieß, um dort neue, den persönlichen Interessen entsprechende Herausforderungen zu finden. In den frühen 1990er Jahren bestimmten stochastische Modelle die AG-Forschung, zunächst zur Simulation der life history des Gemeinen Grashüpfers (Stefan Holz 1991, mit G. Köhler), danach zur **Gefährdung kleiner Populationen** durch zufälliges

Aussterben, erweitert um die räumliche Dynamik der zufälligen Ausbreitung mittels Trittsteinen (FRÖBE 1994, Z. Ökol. Natursch.). Das tägliche Miteinander mit ökophysiologisch und feldökologisch geprägten Kollegen führte dazu, dass die Notwendigkeit und der Vorteil von theoretischen Ansätzen immer wieder begründet und neben allgemein-konzeptionellen Modellen auch zunehmend Anwendungen gesucht werden mussten. So modellierte Ralf Hohmann (1999, Diss.) die Ausbreitung und Populationsgenetik von Laufkäfern in einer räumlich heterogenen Landschaft, wobei die Daten zum Gold-Laufkäfer (*Carabus auronitens*) von der Universität Münster kamen. Die damalige Mitarbeiterin Uta Berger untersuchte (mit anderen) ein Modell zur Populationsgefährdung der vom Aussterben bedrohten Rotflügeligen Ödlandschrecke (*Oedipoda germanica*), von der kurz zuvor im Steinbruch Steudnitz eine vom 1993 wiederaufgenommenen Kalkabbau beeinträchtigte Population wiederentdeckt worden war (BERGER et al. 1995, Verh. Ges. Ökol.). Eckhard FINKE (1999, Diss.) entwickelte erstmals Modelle, in der sowohl die Dynamik der Individuenzahl einer Population als auch deren genetische Struktur gemeinsam behandelt werden konnten. Die zunehmend bessere Verfügbarkeit von Personalcomputern erlaubte dabei die Simulation der Modelle, für die aus zigtausendfachen zufälligen Realisierungen aussagekräftige Mittelwerte zum Verhalten, speziell auch zu den Auswirkungen von Inzucht bzw. Auszucht, erhalten werden konnten (FINKE 1999, Math. Biosci.).

Im Rahmen einer Kooperation mit den israelischen Universitäten in Jerusalem und in Be'er-Scheva wurden zwischen 1996 und 2002 theoretisch-konzeptionelle Zuarbeiten zur luftbildgestützten Rekonstruktion der Populationsdynamik von Akazien in der Negev-Wüste geliefert (Abb. 38). Ebenso wurde ein Modell zur Source-Sink-Dynamik und der daraus resultierenden räumlichen **Strukturbildung** (Patchiness) entwickelt, das in semiariden Strauchsteppen den Wasserablauf auf der harten und wenig durchlässigen biologischen Kruste und die Wasseraufnahme durch annuelle Pflanzen, die auf der Laubstreu unter Sträuchern siedeln, bilanzierte (Karin Nadrowski 1999; NADROWSKI & JETSCHKE 2001, in: Sustainable Land Use in Deserts, Springer).

Angeregt durch die am Institut beginnenden umfangreichen Forschungen zur Rolle der Biodiversität für das Funktionieren von Ökosystemen (BIOLOG-Projekt, Jena-Experiment – Kap. 2.2.11) wurden etwa ab 2001 verschiedene Modelle zur **Raumkonkurrenz** von Pflanzen entwickelt, die sich am Phä-

nomen der Selbstausdünnung, am sukzessionsbedingten Biomassezuwachs und am Vergleich von Mono- mit Mischkulturen orientierten (Erek Mennecke, Christian Meyenberg, beide 2005). Danach konzentrierten sich theoretisch-konzeptionelle Ansätze auf die **Habitatmodellierung**, mithin die Suche nach empirisch-statistisch zu findenden Beziehungen zwischen dem Vorkommen von Arten/Gemeinschaften und dafür ausschlaggebenden Umweltvariablen. Da über größere räumliche Ausmaße in der Regel nur indirekt steuernde Variable (Topographie, Klima, Geologie/Boden) in Form von digitalen Karten zur Verfügung standen, wurden die Modelle auf die Suche nach solchen Umweltvariablen ausgerichtet, die das Vorkommen und die Verbreitung von ausgewählten Waldgesellschaften, z.B. Eichen-Hainbuchen-Wäldern (*Galio-Carpinetum*), besonders gut beschreiben und damit Schlüsse auf die zugrundeliegenden Mechanismen zuließen. Da in den letzten Jahren auch Daten über mögliche künftige Klimaszenarien verfügbar wurden, konnten zugleich Prognosen über die im Rahmen des Klimawandels zu erwartenden Arealverschiebungen von Waldgesellschaften erstellt und in Form von Karten visualisiert werden (Dennis Görlich 2008, Sylvio Koch 2011, Marcel Frömming 2013). Und auf lokaler Skala wurden derartige Habitatmodelle zur Verbreitung von Trocken- und Halbtrockenrasen im Jenaer Raum entwickelt (Mostafa Tarkesh 2008, Diss.; TARKESH & JETSCHKE 2012, *Envir. Ecol. Stat.*).

Eine sehr interessante **ethnobiologische Anwendung** ergab sich im Rahmen der Dissertation von Mohammed Al-Duais (2009, Diss., AL-DUAIS et al. 2009a und b, *European Food Res., J. Agricult. Food Chem.*) aus dem Jemen (Abb. 39). Er war nämlich überzeugt, dass eine von seiner Großmutter in der Küche verwendete und vielfach vergessene Pflanzenart, *Cyphostemma digitatum* (Vitaceae), die in den dortigen Bergen vorkommt, eine große Bedeutung für Ernährung und Medizin haben könnte. Auf der Grundlage von Präsenz-Absenz-Daten sowie pflanzensoziologischen Aufnahmen, die von uns in den Jahren 2005 und 2007 im Jemen erhoben wurden, gelang die Modellierung der potentiellen Verbreitung dieser Pflanzenart sowie ihrer tragenden Pflanzengesellschaften und – über Prognosekarten – sogar die Entdeckung neuer Vorkommen weit nördlich der bisher angenommenen Arealgrenze. In Kooperation mit dem Institut für Ernährungswissenschaften unserer Fakultät konnte tatsächlich der Nachweis erbracht werden, dass diese Pflanzenart außerordentlich reich an Vitaminen, Karotenoiden und anderen Antioxidantien ist und – bei geeigneter Kultivierung – eine billige und wirksame Quelle zur verbesserten Ernährung und zur Vermeidung von (Augen-)Krankheiten werden kann (Al-Duais 2009, Diss.).



Abb. 38: Untersuchungen an Akazien in der israelischen Negev-Wüste, Apr. 1999. Foto: G. Jetschke.



Abb. 39: Mohammed Al-Duais befragt Bauern im jemenitischen Hochland, 02.09.2007. Foto: G. Jetschke.



Abb. 40: PD Dr. Gottfried Jetschke bei Vegetationsaufnahmen mit Studenten im Leutratatal, Juni 2012. Foto: W. Voigt.



Abb. 41: Sophie Engelmann forscht auf den bekannten Krokuswiesen in Drebach/Erzg., Apr. 2005. Foto: G. Jetschke.

Pflanzen- und Vegetationsökologie

Die genannten Forschungsthemen verdeutlichen eine bereits 1996 beginnende, immer stärkere Hinwendung zur Pflanzen- und Vegetationsökologie (AG Pflanzenökologie seit 2002/03) bis hin zu angewandten Problemen (Abb. 40). So wurden im Rahmen des Graduiertenkollegs „Funktion und Regeneration belasteter Ökosysteme“ (1996-2005) für den limnischen Bereich Modelle zur Populationsdynamik der Grünalge *Cladophora*, zum Einfluss von Störungen auf die benthische Sukzession in Flüssen sowie zur Dynamik von *Baetis*-Larven (Eintagsfliegen) ober- und unterhalb von Wehren entwickelt (Mona Vetter 2002, Diss. – vgl. Kap. 2.3.1). Auf terrestrischem Gebiet wurde im Zuge der Renaturierung die Dynamik der Diasporenbank am ehemaligen Düngemittelwerk Steudnitz in verschiedenen Bodentiefen untersucht, mit einer erstaunlichen Persistenz des Salzschwadens (*Puccinellia distans*) in tieferen Schichten auch noch zehn Jahre nach seinem oberirdischen Verschwinden (Markus WAGNER 2004, Diss.; WAGNER et al. 2006, Acta Oecologia – vgl. Kap. 2.2.2).

Zwischen 2002 und 2012 sind neben verschiedenen Beiträgen zur Demographie, Dynamik und Populationsgenetik auch etliche naturschutzbezogene populationsökologische Themen bearbeitet worden, die im Laufe der Jahre als Anfragen herangetragen wurden. Ein Schwerpunkt waren das durch W. Heinrich und andere im NSG „Leutratal“ seit 1976 regelmäßig registrierte Wachstum und Blühverhalten der **Bocks-Riemenzunge** (*Himantoglossum hircinum*). Aus umfangreichen Daten (Blattanzahl, Blühereignisse, Lebensdauer) zu vielen Tausenden von Individuen dieser gesetzlich geschützten Orchideenart konnten neue und artenschutzrelevante Ergebnisse zu Blühverhalten, Allokation von Ressourcen, räumlicher Ausbreitung und zum Genaustausch zwischen benachbarten Populationen gewonnen und in renommierten internationalen Zeitschriften publiziert werden (Marion PFEIFER 2006, Diss.; PFEIFER et al. 2006a und b, Bot. J. Linn. Soc., J. Appl. Ecol. – vgl. Kap. 2.2.3). Dass mit zunehmender Pflanzendiversität, insbesondere der Artenzahl, auch die genetische Vielfalt ausgewählter Pflanzenarten – wie Scharfer Hahnenfuß (*Ranunculus acris*) oder Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*) – zunimmt, konnte im Rahmen des BIOLOG-Projekts und in Kooperation mit dem Institut für Spezielle Botanik durch Untersuchungen auf Bergwiesen im Thüringer Schiefergebirge nachgewiesen werden (Nidal ODAT 2005, Diss.; ODAT et al. 2004, Mol. Ecol., 2010, J. Plant Ecol.). Die mittelerzgebirgische Gemeinde Drebach war sehr an der Klärung des Problems interessiert, warum ihre berühmten und touristisch bedeutsamen **Krokuswiesen** in den letzten Jahren deutlich an Fläche und Dichte verloren hatten. Durch Zählungen, gezielte

Eingriffe und Befragungen der Anwohner konnten wir nachweisen, dass insbesondere die immer frühere Wiesenmahd die vollständige Ausreifung der Samen verhinderte und überdies Mulchen im Herbst (statt Ausräumen des Mahdgutes) den Krokussen im Folgejahr schlechtere Startbedingungen verschaffte (Sophie Engelmann 2007 – Abb. 41). Im **Saukopf-Moor** (Thüringer Wald) wurde im Auftrag einer Unteren Naturschutzbehörde geprüft, ob die Wiedervernässung durch Einbau von Stauhindernissen eine baldige positive Entwicklung erwarten lässt. Dabei zeigte sich der unmittelbare Erfolg der Maßnahme durch Einsatz der Chlorophyll-Fluoreszenz-Methode an ausgewählten *Sphagnum*-Arten, deren Photosyntheseleistung (als Maß für die Vitalität) als Folge der Vernässung bereits gestiegen war, während ein erkennbarer Umbau der Moos-Gesellschaften erst nach Jahren erfolgt.

Weitere Forschungsthemen waren der Verlauf der nach Nutzungsaufgabe einsetzenden Primärsukzession auf Industriebrachen, speziell auf durch Beton oder Asphalt versiegelten Flächen (Sebastian König 2012), die naturschutzfachliche Bewertung aufgelassener Gipssteinbrüche einschließlich von Vorschlägen zu ihrer Erhaltung (Daniela Särchinger 2007), die Erfassung und Charakterisierung von Hecken, Feldgehölzen und Waldrändern auf dem Kernbergplateau (Wöllmisse) einschließlich der Erarbeitung eines naturschutzfachlichen Pflegeplans für die Stadt Jena (Stefanie Poser 2014) und das Vorkommen von Säure bzw. Moder anzeigenden Arten in der Krautschicht von Kiefernforsten auf Muschelkalk (Juliane Helm 2013). Mit anderen Instituten der Biologisch-Pharmazeutischen Fakultät ergab sich mitunter eine Zusammenarbeit, wenn spezielle biostatistische Methoden angefragt wurden, so zur Physiologie und Ökogeographie von Wasserlinsen-Arten (APPENROTH et al. 2008, Aquatic. Toxicol., 2014, Physiol. Plant.) und zum detaillierten Vergleich morphometrischer Merkmale von Haus- und Wildkatze (KRÜGER et al. 2009, J. Zool. Syst. Evol. Res., PLATZ et al. 2011, Mammal. Biol.).

Dendro-Ökologie

Etwa ab dem Jahre 2000 wurden zunehmend Themen der in Thüringen erstmalig etablierten Dendro-Ökologie in der 2011 so umbenannten AG (Ltg.: G. Jetschke – Abb. 42) bearbeitet. Zunächst standen Wachstum, Demographie und ökologische Standortvergleiche von Gemeiner Esche und Schwarzkiefer (und deren Rolle in der einsetzenden Sukzession auf Trocken- und Halbtrockenrasen) an den Muschelkalk/Röt-Hängen im Mittleren Saaletal im Vordergrund. Dazu wurden Bohrkerne von Bäumen entnommen und die Strukturen der Jahrringe ausgewertet, hinzu kamen Erhebungen zu den Arten der Krautschicht. Anhand der rekonstruierten Altersstruktur der

Gemeinen Esche ergab sich, dass viele Bestände bis um 1950 regelmäßig geschnitten wurden und seitdem durch Stockausschläge mehrstämmig aufwuchsen, während nur sehr wenige ungenutzte >100jährige Bestände existieren. Des Weiteren zeigten Jahrringmessungen, dass die Esche entlang eines aufsteigenden Hanggradienten sehr rasch in ihr physiologisches Pessimum gerät und daher an den Steilhängen kaum Fuß fassen kann (Uwe Langer 1996; Ralf Wagner 2002, Sebastian Musche 2008, Christian Acker 2008, Daniel Knopf 2009). Auf dem Rötsockel hingegen ist ein von Eschen dominierter Wald nicht nur ein kurzes Pionierstadium, sondern über längere Zeit stockender Bestand (Juliane Weisheit 2008). Im Gegensatz dazu kann die **Schwarzkiefer** als submediterrane und windverbreitete Baumart die Kalksteilhänge vollständig besiedeln, auch nach einer vollständigen Freistellung von Flächen (Langer 1996; Rita Kraupner 2010). Wenn allerdings der Schwarzkieferschirm behutsam aufgelichtet wird, können in der vorhandenen Streu (die Schwarzkiefer selbst ist ein Rohbodenkeimer!) Laubholzarten, wie Berg- und Spitz-Ahorn, Gemeine Esche, Trauben-Eiche, Rotbuche, Elsbeere und Linde, aufwachsen und die Sukzession zu einem standortgerechten Laubmischwald begünstigen (Johanna Chervontseva 2010).

Seit etwa 2011 wurden vermehrt **dendrochronologische** und **-klimatologische** Probleme an Baumarten in Mitteldeutschland untersucht. Dies setzt voraus, dass jedem Jahrring das genaue Kalenderjahr zugeordnet werden muss, was zwar als Konzept einfach klingt (und jedem Laien als offensichtliches Muster eines Baumstumpfs vor Augen liegt), sich in der Praxis aber mitunter als problematisch erweist. So können stärkere Witterungsschwankungen innerhalb einer Wachstumsperiode „falsche“ Ringe vortäuschen und extrem schlechte Jahre zu Ringausfällen führen. Bei diffusporigen Hölzern, insbesondere Ahorn, Hainbuche und Birke, sind die Jahrringgrenzen äußerst schlecht erkennbar, andere Baumarten, wie Rotbuche und Elsbeere, erfordern einen enorm hohen manuellen(!) Kraftaufwand beim Ein- und Ausdrehen des Zuwachsbohrers. Obwohl die individuellen Schwankungen zwischen den einzelnen Bäumen beträchtlich sind, ergibt sich dennoch nach Überlagerung einer Vielzahl von Messkurven eine baumartspezifische, standortabhängige Kurve des relativen Wachstums, eine sogenannte Chronologie. Für eine solche kann dann gefragt werden, welche lokalklimatischen Variablen den größten Einfluss auf das Wachstum haben. Dies liefert zum einen das ökologische Verständnis über die Reaktion der Baumart und erlaubt zum anderen – falls genügend lange Messreihen von Holz aus der Vergangenheit vorliegen (unsere derzeit älteste noch



Abb. 42: PD Dr. Gottfried Jetschke, Leiter der AG Dendro-Ökologie, bei der Entnahme eines Bohrkerns im Leinawald bei Altenburg, 18.05.2015. Foto: M. Bernhardt-Römermann.

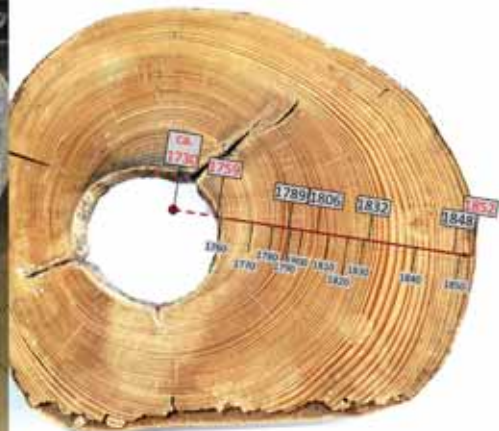


Abb. 43: Die Fichte für das Drackendorfer Wasserrohr wurde 1852 gefällt. Fotos: G. Jetschke.

lebende Eiche in der Jagdanlage Rieseneck bei Hummelshain zeigt ihren ersten Ring vor 1539! (Marco Schmidt 2016) – die Rekonstruktion von Temperaturen oder Niederschlägen für Zeiten vor dem Beginn regelmäßiger instrumenteller Messungen (seit 1813 Wetterstation Jena). So wird für Schwarzkiefern die Spanne der jährlichen Zuwächse in erster Linie vom Niederschlag in den Monaten Juni und Juli sowie im September des Vorjahres und erst in zweiter Linie durch die Sommer-Temperaturen bestimmt, wobei die Bäume an allen typischen Standorten ein vitales Wachstum und eine hohe Konkurrenzkraft zeigen (Pascal Scherreiks 2013, Abdulfattah Alghurbani, unpubl.). Ähnlich reagieren Eschen an Muschelkalk-Hängen, mit positivem Einfluss von Regen im Mai/Juni und negativer Auswirkung hoher Temperaturen im Juni und im Vorjahres-September, allerdings werden die absoluten Zuwächse mit zunehmender Höhe am Hang extrem klein (Florian Kohler 2014). Auch die Reaktionen der Trauben-Eiche sowie der Rotbuche, speziell an Extremstandorten an der Hangkante, wurden bereits dendroklimatologisch untersucht (Johannes Kühn 2004, Benjamin Lützkendorf 2008, Chuang Ma 2013). Probenahmen erfolgten auch an sehr alten Eichen in Trockengebieten Nord- und Mittelthüringens, darunter im NSG „Hohe Schrecke“ bei Heldrungen. Bei vergleichenden Jahrring-Auswertungen von Eiche, Hainbuche und Buche im Jenaer Raum konnte durchweg eine hohe Wüchsigkeit der Buche festgestellt werden, was die Aussage von Geobotanikern stützt, die um Jena Buchenwälder als potentielle natürliche Vegetation postulierten. Dendrochronologische und statistische Methoden wurden auch bei der **Klimarekonstruktion eines Paläowaldes** aus dem Spätglazial (in der Oberlausitz) an Hand von Isotopenverhältnissen angewendet, wobei die Arbeiten am UFZ Leipzig/Halle begonnen und in unserer AG abgeschlossen wurden (Ralf Wagner 2010, Diss.).

Durch eine Kombination von dendrochronologischen Untersuchungen und der Auswertung alter Karten und schriftlicher Archivquellen konnten zudem wertvolle Beiträge zur Rekonstruktion der **Rest- und Wiederbewaldung** an den Muschelkalkhängen um Jena geleistet werden. So zeigte sich übereinstimmend an den Nordhängen von Jenzig und Kernbergen, dass etwa ab 1850 Aufforstungen mit Wald- und Schwarzkiefern erfolgten. Erst ab etwa 1920 wuchsen in deren Schatten Laubhölzer (bes. Rotbuche) auf und verdrängten allmählich die Kiefern, welche derzeit nur noch spärlich, oft wenig vital oder als Totholz anzutreffen sind (Julia Greitzke 2013, Jennifer Bleck 2014).

Seit 2014 laufen in Kooperation mit dem Forstlichen Forschungs- und Kompetenzzentrum von ThüringenForst (Gotha) Untersuchungen zum

Zuwachsverhalten der **Weißtanne in Thüringen** und zu ihrer forstlichen Bedeutung im Rahmen des sich abzeichnenden Klimawandels. Im Einzelnen geht es – im Vergleich zur Fichte – um die Größe ihrer physiologischen Amplitude (manche Förster postulieren die Existenz einer „Trockentanne“ in Ostthüringen) und um ihre Reaktion nach extrem trockenen Jahren, insbesondere auf bereits sommertrockenen warmen Standorten. Es deutet sich an, dass der Zuwachsrückgang bei der Tanne in solchen ungünstigen Jahren geringer ausfällt als bei der Fichte. Die Hoffnung, dass die Weißtanne in Zukunft eine viel stärkere Bedeutung gewinnen wird, gründet sich auch darauf, dass sie unter der früheren Luftbelastung durch Schwefeldioxid extrem stark gelitten hat (zwischen 1960 und 1990 sind fast alle Jahrringe äußerst eng, viele sind ausgefallen!), aber nach 1990 sehr rasch zu ihrer ursprünglichen Leistungsfähigkeit zurückfand, so dass auch >100jährige Tannen plötzlich wieder normale Jahrringbreiten aufwiesen. Die Auswertung der an bisher 13 Standorten erhobenen Proben – sowohl im submontanen „Normalbereich“ als auch in Trockengebieten südlich und nordöstlich des Thüringer Waldes – belegt die höhere Trockenresistenz der Tanne (A. Alghurbani; David Cebulla 2015). Weiterhin sind in Kooperation mit der Fachhochschule Erfurt 14 verschiedene Herkünfte der **Douglasie** (aus Kanada und den USA), die 1962 an einem Versuchsstandort bei Kranichfeld ausgebracht wurden, dendrochronologisch verglichen worden. Dabei kommt der Beobachtung, dass manche Herkünfte fast doppelt so schnell wie andere wuchsen, beträchtliche forstliche Bedeutung zu (Christin Carl 2016).

Zwei Episoden am Rande seien abschließend noch erwähnt. So bat 2014 der Heimatverein Drackendorf (zu Jena gehörend) um Unterstützung bei der Datierung eines bei Bauarbeiten gefundenen **hölzernen Wasserrohres** (Abb. 43). Schnell wurde klar, dass es sich um Fichte handelt, bearbeitet mit einer früher gebräuchlichen Technologie des Aufbohrens von Baumstämmen. Ausmessungen der Jahrringbreiten entlang von vier Radien und Abgleich mit einer Fichten-Chronologie für Thüringen (mit freundlicher Unterstützung durch das Deutsche Archäologische Institut in Berlin, K.-U. Heußner) ergaben, dass der Fichtenstamm 1852 gefällt wurde und vermutlich seit ca. 1730 in einem nahegelegenen Wald aufgewachsen war, der dem damaligen Rittergutsbesitzer Ferdinand von Helldorf gehörte (am inneren Röhrenrand beginnen die Ringe erst 1759). Diese Datierung paßt gut in den historischen Kontext, ließ doch Clara von Helldorf 1854 im Drackendorfer Park das heute noch stehende Teehaus bauen, zu dem auch ein Springbrunnen gehörte, der mit Quellwasser vom Einsiedlerberg gespeist wurde.

Auf Wunsch des Forstamts Jena-Holzland wurden mächtige **Solitäreichen**

im Revier Hummelshain (Jagdanlage Rieseneck) beprobt. Da die meisten Bäume im Innern noch völlig intaktes Holz aufwiesen, konnten zahlreiche Bohrkerne gewonnen werden. Es war für alle Beteiligten eine kleine Sensation, dass etliche vitale Eichen auf den Anfang des 16. Jahrhunderts datiert werden konnten (also fast 500 Jahre alt und damit älter als die Jenaer Universität sein müssen!), da die Jahrringe bis vor 1540 ausgezählt werden konnten, was noch nicht im unmittelbaren Kernbereich war (Marco Schmidt 2016).

Nach wie vor ist Thüringen in Deutschland hinsichtlich der Dendrochronologie unterrepräsentiert. Die Rolle der Schwarzkiefer auf Muschelkalk, die Zukunft der lokalen Eichen-Hainbuchen-Wälder, der waldbauliche Bedeutungswandel von Fichte und Tanne und die Wuchskraft eingeführter Baumarten bleiben auch zukünftig wichtige Forschungsthemen, die sowohl mit theoretisch-konzeptionellen Ansätzen als auch mit handfester Dendrochronologie bearbeitet werden sollten.

GOTTFRIED JETSCHKE

2.2.6 Kleinsäuger-Ökologie

Als **Stefan Halle** 1996 auf den Lehrstuhl für Ökologie berufen wurde, kam er von der Philipps-Universität Marburg, wo er sich – nach vierjähriger Postdoktoranden-Zeit am Biologischen Institut der Universität Oslo/Norwegen – bei Prof. Hermann Remmert habilitierte. Als Postdoktorand bei Prof. Nils Christian Stenseth (Oslo) führte er verhaltensökologische Studien zur Wirkung von Habitatfragmentation auf Kleinsäuger durch. Diese Forschungsrichtung brachte er nach Jena mit, um sie hier an Feldmäusen, für die Thüringen ein bekanntes Gradationszentrum ist, weiter auszubauen, wobei es vor allem um die weitere Aufklärung des Ursachenkomplexes für Massenvermehrungen gehen sollte (HALLE & STENSETH 2000, Springer, S. 104).

Dazu kombiniert die AG Kleinsäuger-Ökologie (Ltg. Stefan Halle – Abb. 44) in ihrem Forschungsansatz Fragen der Populations-, Verhaltens- und Landschaftsökologie. Neben empirischen Freilandstudien an experimentellen Populationen spielt auch die häufig parallel durchgeführte theoretische Modellierung eine Rolle. Eine Spezialität der Gruppe sind experimentelle Arbeiten auf Populationsniveau sowie die verhaltensökologische Untersuchung von räumlich-zeitlichen Mustern. Bei allen Fragen steht stets die evolutive Entstehung und Stabilisierung von Verhaltensstrategien im Vordergrund, was die Betrachtung der ultimativen Ebene über Fitnesskonsequenzen sowie Analysen zu evolutionär stabilen Strategien (ESS) beinhaltet.

Die Forschung wird vor allem mit Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten in der **Gehegeanlage Remderoda** durchgeführt. Remderoda liegt nur 5 km westlich von Jena und bietet mit den Arbeitsräumen und der zur Verfügung stehenden Wohnung ideale Arbeitsbedingungen, die sowohl von anderen Arbeitsgruppen am Institut als auch für Praktika häufig genutzt werden. Die Anlage selbst besteht aus sechs weitgehend identischen Gehegen von jeweils 50 m x 50 m Größe, die durch Metallbleche mäuseicher eingezäunt sind, und überdies ist die gesamte Anlage von etwa 3 ha Fläche von einem 2 m hohen Maschendrahtzaun zur Abwehr von Bodenprädatoren umgeben (Abb. 45). Nach oben ist sie offen, so dass Taggreife und Eulen ungehindert Beute machen können. Dies ist auch erwünscht, da die Optimierung der räumlich-zeitlichen Aktivität nur unter Räuberdruck sinnvoll zu untersuchen ist. In zwei zusätzlichen Kleingehegen von 10 m x 10 m Größe können bei Bedarf auch Greifvögel über Netze ausgeschlossen werden. In den Gehegen bietet die Wiesenvegetation den natürlichen Lebensraum mit

Nahrung und Deckungsmöglichkeiten für die als Studienobjekte genutzten Wühlmäuse: Hauptart ist die **Feldmaus** (*Microtus arvalis*), gelegentlich finden auch Versuche mit der **Rötelmaus** (*Clethrionomys glareolus*) statt. Beide Arten sind hinsichtlich ihrer allgemeinen Ökologie gut bekannt, lassen sich leicht handhaben und sind sehr gut fängig, wodurch sie sich in idealer Weise als Modellorganismen eignen. Die Gehege sind groß genug, um selbsttragende Populationen mit weitgehend natürlichen Sozialstrukturen zu beherbergen. Durch regelmäßige Fallenfänge und nötigenfalls sanfte Korrekturen wird gewährleistet, dass die Dichteentwicklung jener in natürlichen Populationen entspricht. Alle Tiere werden individuell mit Transpondern (zur Funkkommunikation) markiert, so dass sich – nach regelmäßigen Wiederfängen – vollständige Lebenstabellen mit Angaben zum Körpergewicht und zur Reproduktion erstellen lassen (Abb. 46).

Mit dem Rasenmäher lassen sich ohne großen Aufwand unterschiedliche Landschaftsstrukturen in den Gehegen schaffen, etwa hinsichtlich des Fragmentierungsgrades oder der Matrixstruktur, die dann miteinander in ihren Auswirkungen auf die Populationsdynamik und das Verhalten der Mäuse verglichen werden können. Über Tore lassen sich die Gehege bei Bedarf miteinander verbinden, so dass eine sehr flexible Gestaltung in Abstimmung auf das jeweilige Experiment und die Fragestellung möglich ist. Normalerweise werden die Versuche während der Reproduktionsperiode von etwa April bis Oktober durchgeführt, für besondere Fragestellungen sind aber auch Winterarbeiten möglich. Seit Inbetriebnahme der Anlage im Jahre 2000 und dem Beginn der Versuche ist **Volkmar Haus** (Abb. 47) als Techniker für die Infrastruktur der Anlage verantwortlich und sein außergewöhnlicher Einsatz garantierte über die Jahre hinweg und bei wechselnder sonstiger Belegschaft ein hohes Maß an Kontinuität. Die Anlage diente seitdem – mit gelegentlichen Unterbrechungen zur Erholung der Vegetation – als Basis für eine Vielzahl von Abschlussarbeiten. Besonders hervorzuheben sind Arbeiten zu Dispersalerfolg und Fitnesskonsequenzen bei Wühlmäusen (Jörg Hahne 2009, Diss.; HAHNE et al. 2011, Oikos) und zur Wirkung von Prädatoren-Duftmarken auf die Reproduktion (Breeding Suppression Hypothesis) (Mateusz Jochym 2012, Diss.). Beide Studienkomplexe liefen mit großem Erfolg und – jeweils von mehreren Examensarbeiten begleitet – über einige Jahre, wobei die letztere durch die theoretische Dissertation von Sebastian Germerodt (2012) auf Basis eines individuenbasierten, spieltheoretischen Modells unterstützt wurde. Weitere Versuche wurden unter anderem zu Habitatfragmentierung, Edge-Effekt und Matrix-Durchlässigkeit durchgeführt. Obwohl es sich klar um experimentelle Situationen handelte, sind diese hinreichend naturnah, um Schlüsse auf natürliche Verhältnisse zu ziehen.

Neben den Forschungsarbeiten in Remderoda wurden auch Studien an freilebenden Populationen durchgeführt, wobei insbesondere drei Dissertationen zu nennen sind. So ging es um die Habitatnutzung und Populationsdynamik von Kleinsäugetieren (auch nach Überflutung) auf unterschiedlich bewirtschafteten Flächen der Unstrut-Aue (Jens JACOB 2000, Diss., 2003, Mammal. Biol.; JACOB & BROWN 2000, Oikos; JACOB & HEMPEL 2003, J. Ethol.). Es gab Freiland-Experimente an Graurötelmäusen zur Breeding Suppression Hypothesis durch Räuber in Schwedisch-Lappland (Olaf Fülling 2001, Diss.; LINDNER & FÜLLING 2002, J. Zool.; FÜLLING & HALLE 2004, Oecologia). Hinzu kamen Studien an Kleinsäugetieren und Huftieren in Abhängigkeit von der Landnutzung in den Biodiversitäts-Exploratorien (Eric Heinze 2010, Diss.; HEINZE et al. 2011, Forest Ecol. Manag.).

Weitere Untersuchungen wurden im Thüringer Raum im Rahmen von Diplom- bzw. Masterarbeiten zu Nutria (Jork Meyer 1999; MEYER et al. 2005, Acta Theriol.), Fischotter (Maria Siegesmund) und Biber (Janett Förster 2010, Anne Cziommer 2015) durchgeführt. An Fledermäusen liefen die meisten Arbeiten zur Kleinen Hufeisennase: Verhaltensökologie und Quartiernutzung einer Wochenstubenkolonie (Inken Meyer 2000; Antje Seckerdiek 2002; SECKERDIEK et al. 2005, Mammal. Biol.; Caroline Breitenbach 2009), Nahrungsspektrum (Nadine Mitschunas 2004; MITSCHUNAS & WAGNER 2015, Acta Chiropt.), potentiell Nahrungangebot in Kronenbereichen verschiedener Waldtypen (Christian Tehenes 2006) sowie Aktivität von Fledermausarten in Streuobstwiesen (Elena Höhne 2011). Im Rahmen der Arbeitsgruppe und in Zusammenarbeit mit (häufig skandinavischen) Partnern wurden über die Jahre zudem Studien zu Rentier, Elch, Schalenwild, Wildkatze, Fuchs, Wolf, Mink, Waschbär, Buschratten, Delphinen und sogar Affen betreut. Gerade bei diesen Arbeiten spielten Anwendungsaspekte hinsichtlich Management und Artenschutz eine wichtige Rolle.

Obwohl die Arbeit mit Säugetieren eine methodische Herausforderung darstellt, lohnt sich der Aufwand, da diese Tiergruppe einerseits aufgrund ihrer komplexen Anforderungen an die Umwelt stark von anthropogenen Einflüssen betroffen ist, sie andererseits aber aufgrund der großen Verhaltensplastizität auch eine erstaunliche Anpassungsfähigkeit aufweist. Das vorrangige und systemübergreifende Ziel der AG Kleinsäugetier-Ökologie ist es daher, jenen Mechanismen auf die Spur zu kommen, die auf die Auswahl zwischen verschiedenen Verhaltensstrategien einwirken.

STEFAN HALLE



Abb. 44: Prof. Dr. Stefan Halle, seit 1996 Inhaber des Lehrstuhls und Direktor des Instituts für Ökologie und Leiter der AG Kleinsäugerökologie, 08.09.2011. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 45: Versuchsanlage für Wühlmäuse in Remderoda, Luftbild vom Sendemast: Archiv Halle.



Abb. 46: Besondern von Rötelmäusen durch Susanne Arnhold und Elisabeth Fial in der Feldstation Remderoda, Herbst 2013. Foto: S. Frommeyer



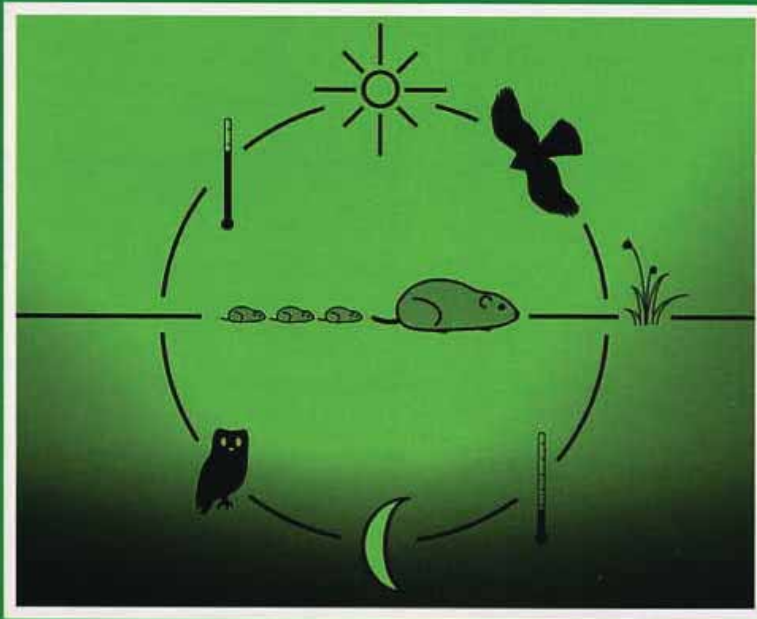
Abb. 47: Techniker Volkmar Haus bei der Fallenkontrolle in Remderoda, Herbst 2005. Foto: Archiv Halle.

Ecological Studies 141

S. Halle
N.C. Stenseth (Eds.)

Activity Patterns in Small Mammals

An Ecological Approach



Springer

2.2.7 Mykologie und Mikrofossilien

Nach der politischen Wende wurde auch das Jenaer Zentralinstitut für Mikrobiologie und Experimentelle Therapie (ZIMET) der Akademie der Wissenschaften der DDR aufgelöst (vgl. Kap. 2.3), an dem **Heinrich Dörfelt** (Abb. 48) seit 1989 tätig war. So kam er 1992 an die FSU Jena, und hier über mehrere Stationen letztlich an das Institut für Ökologie, an dem er von 1999-2003 (und danach bis 2006 mit Lehraufträgen) als Hochschuldozent für Landschaftsökologie und Naturschutz arbeitete und die AG Naturschutz leitete. Er war schon seit Jahrzehnten ein auch international bekannter Mykologe, dessen ungemein vielfältige Arbeiten nunmehr unter neuer Adresse weiterliefen.

Schon seit einiger Zeit interessierten ihn in Bernstein eingeschlossene Mikrofossilien, zu denen von 1998-2014 mit seiner Beteiligung 21 Publikationen erschienen. Anfangs waren es fossile Pilze und Mikrozoözen aus der (damals noch als triasisch datierten) alpinen Kreide (DÖRFELT & SCHÄFER 1998, *Z. Mykol.*, 2000, Hoppea), von denen sich manche (SCHÖNBORN et al. 1999, *J. Eukar. Microbiol.*) später als Farnindusien herausstellten (revidiert in SCHMIDT & DÖRFELT 2007, *Rev. Palaeobot. Palynol.*). Es folgten etliche Arbeiten zu Pilzen, Cyanobakterien und Schleimpilzen aus känozoischem Bernstein (DÖRFELT & STRIEBICH 2000, *Z. Mykol.*, DÖRFELT et al. 2000, *J. Basic Microbiol.*, 2003, *Mycol. Res.*; RIKKINEN et al. 2003; DÖRFELT & SCHMIDT 2005, *Mycol. Res.*, 2006 *Palaeontology*).

Ein besonderer Glücksfall war der botanisch bereits sehr versierte **Alexander Schmidt** (Abb. 49), der am Institut für Ökologie studierte und im Rahmen eines DFG-Projekts über die von ihm 2000-2003 bearbeiteten Mikroinkluden (ca. 4000 Proben - Bakterien, Algen, Pilze, Protozoen sowie Sporen und Pollen) im kreidezeitlichen Schliersee-Harz (ca. 100 Mio Jahre alt – SCHMIDT et al. 2001, *Cretaceous Res.*) aus den Bayerischen Alpen bei H. Dörfelt promovierte (SCHMIDT 2003, *Diss.*; SCHMIDT et al. 2006, *Nature!*). In der Folgezeit baute A. Schmidt das neue Forschungsgebiet über Bernsteineinschlüsse von Pilzen und anderen Kryptogamen weiter aus, zunächst am Museum für Naturkunde zu Berlin und seit 2008 an der Georg-August-Universität Göttingen. In dieser Zeit entstanden zahlreiche gemeinsame Veröffentlichungen (auch mit anderen Autoren) zu bislang unbekanntem Mikroeinschlüssen in Bernsteinen der Trias- und Kreidezeit sowie des Eozäns (GROLLE & SCHMIDT 2001, *The Bryologist*; SCHMIDT & SCHÄFER 2005, *J. Palaeontology*; SCHMIDT et al. 2004,

Palaeontology, 2007, Science, 2010, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 2014, Rev. Palaeobot. Palynol.; BEIMFORDE et al. 2011, New Phytologist, 2014 Molecular Phylog. Evol.; TUOVILA et al. 2013, Fungal Diversity).

Auf mykologischem Gebiet bearbeitete H. Dörfelt floristische, ökologische und systematische Arbeiten auf regionaler Ebene (NSG Leutratat: DÖRFELT et al. 1998, Naturschutzreport) und bundesweit zu ausgewählten Großpilzen in Deutschland (mit Verbreitungskarten) (DÖRFELT & BRESINSKY 2003, Z. Mykol.). In seiner Zeit am Institut für Ökologie war er an mehreren Publikationen zur Biochemie von Pilzen und zur medizinischen Mykologie beteiligt. So wurden neue pilzliche Inhaltsstoffe beschrieben (BERG et al. 1999, J. Basic. Microbiol., 2002; DÖRFELT et al. 2000; KLEINWÄCHTER et al. 1999, alle J. Antibiotics) und ein neues Atmungsallergen im Arbeitsumfeld von Imkern entdeckt (RUDESCHKO et al. 2004, Allergy).

Ein besonderes Interesse von H. Dörfelt galt seit jeher auch historischen Aspekten der Pilzkunde, darunter zu den Anfängen der mykologischen Erforschung Sibiriens (HEKLAU & DÖRFELT 2007, Z. Mykol.) und zur Geschichte der Mykologie (DÖRFELT & HEKLAU 1998, Einhorn-Verlag; DÖRFELT, Hrsg. 2000, NABU Bonn). Außerdem erschienen in dieser Zeit sein „Wörterbuch der Mykologie“ (DÖRFELT & JETSCHKE 2001, Spektrum Akad. Verlag, S. 108) und „Die Welt der Pilze“ (DÖRFELT & RUSKE 2008, Weissdorn, Jena) in jeweils zweiter Auflage. Mittlerweile liegen von H. Dörfelt über 400 Publikationen allein zu mykologischen Themen aus allen nur denkbaren Forschungsbereichen vor. Auf seinen zahlreichen Reisen und Expeditionen auf allen Kontinenten forschte, sammelte und fotografierte er in vielen Biomen der Welt, über die er in mitreißenden Lehrveranstaltungen eindrucksvoll zu erzählen wusste.

ALEXANDER SCHMIDT, GÜNTER KÖHLER, HEINRICH DÖRFELT



Abb. 48: Der Mykologe Doz. Dr. Heinrich Dörfelt, hier auf Sibirien-Expedition, 2002. Foto: Archiv Dörfelt.



Abb. 49: Prof. Dr. Alexander Schmidt auf Bernsteinsuche im Otago-Gebiet, Neuseeland, 2011. Foto: Archiv Schmidt.

Heinrich Dörfelt / Gottfried Jetschke (Hrsg.)

Wörterbuch der Mycologie



2. Auflage

Spektrum
VERLAG
GUSTAV FISCHER

2.2.8 Bodenökologie und Mykorrhiza-Forschung

Bevor **François Buscot** 1997 auf eine Professur an die FSU Jena berufen wurde, war er an den Instituten für Bodenökologie in Braunschweig und München-Neuherberg tätig gewesen. Nunmehr am Institut für Ökologie leitete er – Im Rahmen des Lehrbereichs Umweltwissenschaften – die AG Bodenökologie (1997-2003), die über Bodenpilze, Symbiosen zwischen Pilzen und Pflanzenwurzeln (Mykorrhizen) sowie deren Rolle im ökosystemaren Gefüge forschte (Abb. 50). Die umfangreichen Ergebnisse aus dieser Zeit und deren Folgestudien fanden (in Zusammenarbeit mit etlichen Fachkollegen) ihren Niederschlag in etwa einem Dutzend Qualifizierungsarbeiten (davon 4 Dissertationen) und in >40 Publikationen, darunter mehreren Buchbeiträgen.

Anfangs wurde die Rolle von Ektomykorrhizen (EM) in *in-vitro*-Systemen mit Eiche (*Quercus robur*) und Pappelhybriden (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) untersucht (BUSCOT et al. 2000, FEMS Microbiol. Rev.; KALDORF et al. 2002, Planta; HERMANN et al. 2004, J. Plant Physiol.). Hinzu kamen zunehmend Freilandstudien, und im ersten bundesweiten Freisetzungsexperiment mit transgenen Bäumen wurde die EM von transgenen Pappeln und Wildtyp-Pappeln morphologisch und molekularbiologisch charakterisiert (KALDORF et al. 2004, Mycorrhiza). In der Uranbergbau-Folgelandschaft um Ronneburg konnte die EM-Vergesellschaftung auf unterschiedlichen Abraumhalden untersucht werden (STAUDENRAUSCH et al. 2005, Biology and Fertility of Soils).

Durch Einbindung in das DFG-geförderte **Graduiertenkolleg** „Funktions- und Regenerationsanalyse belasteter Ökosysteme“ (1996-2005) rückte ab dem Jahr 2000 auch die Untersuchung arbuskulärer Mykorrhizen (AM) in den Fokus. Während EM in gemäßigten Breiten meist an Gehölzen auftreten, handelt es sich bei AM um die vorherrschende Mykorrhizaform im Grasland. Terrestrisches Hauptuntersuchungsgebiet des Graduiertenkollegs war das unmittelbare Umfeld des ehemaligen Phosphatdüngemittelwerkes Steudnitz, dessen Stilllegung 1989/90 die Möglichkeit bot, die Regeneration belasteter Grasland-Ökosysteme umfassend zu untersuchen (vgl. Kap. 2.2.2). In einem ersten Arbeitsschritt ging es um die Optimierung molekularökologischer Methoden zur Charakterisierung der AM mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) und Sequenzierung (Carsten Renker 2003, Diss.; RENKER et al. 2003, 2006, Mycorrhiza, 2004, Assembly Rules), um anschließend die AM-Diversität auf den nach wie vor phosphatbelasteten Flächen zu erfassen (Michael Moos 2002; RENKER et al. 2005, Environm. Poll.) und deren

Rolle für die jeweiligen Pflanzengesellschaften und Monokulturen zu veranschaulichen (RENKER et al. 2004, Assembly Rules). Im Rahmen einer weiteren Doktorarbeit (Verena Blanke 2007, Diss.) wurde der Einfluss der AM auf die Regeneration des Ökosystems dokumentiert. Dabei konnte – abweichend von der herrschenden Lehrmeinung – die Bedeutung der AM für die Mobilisierung von Stickstoffverbindungen in Grasland-Ökosystemen gezeigt werden (BLANKE et al. 2005, New Phytologist, 2011, Plant and Soil). Eine abschließende Synthese zur Bedeutung regenerativer Kräfte in Ökosystemen („The Power of Regeneration“) verdeutlichte – wenngleich erst nach Auslaufen des Graduiertenkollegs – nochmals die Bedeutung der AM während des Regenerationsprozesses (BLANKE et al. 2007, Restor. Ecol.).

Im Rahmen des BMBF-finanzierten BIOLOG-Verbundprojekts (2000-2010) wurden im Teilprojekt „Der Einfluss von Biodiversität auf Ökosystemprozesse in Grünlandbeständen“ (**DIVA-Projekt**) experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Bedeutung der biologischer Vielfalt für die Stabilität von Ökosystemen durchgeführt (vgl. Kap. 2.2.11). Die AG Bodenökologie untersuchte im Rahmen mehrerer Diplomarbeiten (Boris Börstler 2003, Sonja Spindler 2004, Thomas Schönberg 2006) und einer Doktorarbeit (Stefan Hempel 2008, Diss.) im Thüringer Schiefergebirge und angrenzenden Frankenwald die Zusammensetzung der AM auf Bergwiesen im Vergleich zu Fettwiesen (Abb. 51 – BÖRSTLER et al. 2006, Biology and Fertility of Soils; HEMPEL et al. 2007, Environm. Microbiol.).

Ein wesentliches Problem bei der molekularökologischen Bearbeitung von Mykorrhizapilzen aus dem Freiland war stets das mit den klassischen molekularen Methoden zu bearbeitende Probevolumen. Im Rahmen des **Jena-Experiments** (seit 2002) wurde ein weiterer Optimierungsschritt der Probenbearbeitung erreicht, um mittels TaqMan Real-Time PCR eine schnelle und zuverlässige Bearbeitung großer Probenmengen von 81 Teilflächen des Jena-Experiments zu gewährleisten (KÖNIG et al. 2010, Appl. Environm. Microbiol.).

Zu einer zentralen Fragestellung innerhalb der AG entwickelte sich die Interaktion der AM und EM mit anderen Organismengruppen. Mittels eines tritrophischen Experiments konnte der Einfluss von AM über die Wirtspflanzen, assoziierte Herbivoren (Aphidoidea) bis auf die Ebene der Parasiten (Hymenoptera: Braconidae) gezeigt werden (HEMPEL et al. 2009, Oecologia). Weiterhin wurden interaktive Effekte von AM und hemiparasitischen Pflanzen auf die Produktivität und Diversität von Pflanzengesellschaften untersucht (STEIN et al. 2009, Oecologia). Dagegen konnte gezeigt werden, dass der Einfluss von AM und Regenwürmern auf die Pflanzenentwicklung offenbar unabhängig voneinander erfolgt (EISENHAUER et al. 2009, Soil

Biol. Biochem.). Im Rahmen von Nahrungswahlexperimenten wurde die Interaktion zwischen Hornmilben (Oribatida) und EM untersucht (SCHNEIDER et al. 2005, Mycorrhiza). Hierbei ergab sich auch, dass Hornmilben eine bedeutende Rolle bei der Verbreitung von Bodenpilzen spielen (RENKER et al. 2005, Microb. Ecol.).

Neben der ökologischen Bearbeitung und Auswertung von mykorrhizalen Feldproben liefen auch mehrere α -taxonomische und phylogenetische Arbeiten. In Zusammenarbeit mit Herbert Boyle (Sektionsleiter Mykologie am heutigen Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz) wurden die verwandtschaftlichen Beziehungen in der Pilzgattung *Hebeloma*, zu der auch viele ektomykorrhizale Arten gehören, geklärt (BOYLE et al. 2006, Mycol. Res.). Ebenso wurden die systematischen Verhältnisse in der Gattung *Morchella* (Harald KELLNER 2003, Diss., 2005, Organisms Divers. Evol.) untersucht. Zusammen mit Janusz Błaszowski (West Pommernian University of Technology, Szczecin) wurden mehrere Vertreter der AM für die Wissenschaft neu beschrieben (BŁASZKOWSKI et al. 2004, Mycotaxon, 2006, Mycol. Res.). Diese gut charakterisierten Pilzstämme konnten dabei stets als Referenzen im Zusammenhang mit ökologischen Arbeiten genutzt werden.

Um eine weitere Vertiefung in der Untersuchung funktionaler Aspekte im Boden zu erreichen, wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Soils as Source and Sink of CO₂“ die Verteilung von pilzlichen Laccasen – Exoenzymen mit niedriger Substratspezifität – in unterschiedlichen Bodenhorizonten eines Laubmischwaldes auf den Versuchsflächen des Bayreuther Instituts für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) im Steigerwald (Bayern) untersucht (Patricia Luis 2004, Diss). Dabei konnte gezeigt werden, dass die organische Bodenaufgabe (O_h-Horizont) die höchste Diversität an Laccase-Genen aufweist. Saprophytische Pilze waren in den unterschiedlichen Bodenhorizonten weniger stark vertreten als mykorrhizale Pilze, zeigten aber insgesamt eine höhere Gendiversität (LUIS et al. 2004, Soil Biol. Biochem., 2005, Microb. Ecol.). In einem weiteren Schritt wurde die Expression der Laccase-Gene auf RNA-Ebene untersucht. Ein wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung war, dass weniger als 30 % der auf DNA-Ebene detektierten Laccase-Gene auf RNA-Ebene tatsächlich exprimiert wurden – ein entscheidender Schritt von einer reinen Untersuchung der Diversität hin auf eine funktionale Ebene (LUIS 2005, Geoderma).

GÜNTER KÖHLER, CARSTEN RENKER, FRANÇOIS BUSCOT



Abb. 50: Prof. Dr. François Buscot (rechts) mit seiner AG Bodenökologie, 14.07.2003. Foto: Archiv Renker.



Abb. 51: Entnahme von Bodenproben durch Stefan Hempel und Thomas Schönberg bei Bayreuth, 24.05.2005. Foto: Archiv Renker.

2.2.9 Räumliche Ökologie

Im Rahmen ihrer Juniorprofessur (2002-2008) baute **Kerstin Wiegand** am Institut für Ökologie die AG Räumliche Ökologie auf, welche den Einfluss räumlicher Prozesse auf die Dynamik von (mehrjährigen) Pflanzenpopulationen und -gemeinschaften erforschte, ein Forschungsfeld, das sie auch nach Ihrer Wegberufung in Göttingen fortsetzte, so dass auch einige dieser Folgearbeiten hier mit erwähnt sind. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf aride Gebiete, vor allem Baum-Savannen in Südafrika (Abb. 52) und Trockenflüsse in Wüstengebieten Israels, es wurden aber auch temperate Wälder sowie Agrarlandschaften einbezogen. Die (teils langjährigen) Felddaten wurden meist von Kooperationspartnern, teils auch von eigenen Mitarbeitern erhoben. Um diese Daten auszuwerten, sind Simulationsmodelle entwickelt und räumliche Muster statistisch analysiert worden. Dazu entstanden 27 Publikationen, basierend auf 11 Qualifizierungsarbeiten, darunter fünf Dissertationen. Als Postdoktoranden, beginnend noch in Jenaer Zeiten, arbeiteten Carlos Rodriguez (2006-2008, Auswirkungen von Landschaftsfragmentierung auf Biodiversität), Stephan Getzin (2007-2011, Räumliche Muster der Biodiversität) und Javier Rodriguez (2008, Modelle zur Samenverbreitung durch Tiere).

Vor dem Hintergrund zyklischer Sukzessionen in **semiariden Savannen** (WIEGAND et al. 2005, J. Veg. Sci., 2006, Perspect. Ecol. Evol. Syst, 2008, Ecol. Modelling) wurden die Dynamiken von Vegetationsgruppierungen untersucht und mit einem dafür entwickelten räumlichen Modell zur Simulation von Wachstum, Konkurrenz und Sterblichkeit (SATCHMO) der beteiligten Hauptarten erklärt (Katrin Meyer 2006, Diss.; MEYER et al. 2005, Afr. J. Ecol., 2007a und b, J. Ecol., Ecol. Modelling; 2008a und b, Perspect. Ecol. Evol. Syst., Afr. J. Ecol., 2009, Basic Appl. Ecol.). Auf Landschaftsniveau wurde die langzeitliche Vegetationsdynamik in Savannengebieten im Südlichen Afrika verfolgt, wobei Veränderungen in den räumlichen Mustern von Akazien-Bäumen (neuerdings als *Vachellia* und *Senegalia* bezeichnet) in der Kalahari über 61 Jahre einbezogen werden konnten (Aristides Moustakas 2006, Diss.; MOUSTAKAS et al. 2006, J. Veg. Sci., 2008, Acta Oecologia, 2009, Ecol. Modelling, 2010, Frontiers Biogeogr.; EISINGER & WIEGAND 2008, S. Afr. J. Science). Ebenfalls in einer semiariden Savanne sind die Wechselbeziehungen zwischen verholzten Pflanzen (Jana Förster 2010, Diss.; SCHLEICHER nee Förster et al. 2011a und b, J. Arid Environm., J. Veg. Sci.; Sabine Reinsch 2009) sowie der Einfluss der Pflanzen auf den Boden

erforscht worden (Juliane Trinogga 2009). Später in Göttingen entwickelte Sebastian Hanß (2013) ein weiteres Landschaftsmodell mit dem Fokus auf Degradation beweideter Savannen. Seltene Regeneration von Pflanzen wurde in der israelischen Negev-Wüste ebenfalls an Akazien untersucht (CHESSON et al. 2004, *Oecologia*; WIEGAND et al. 2004, *Oecologia*; J. RODRIGUEZ et al. 2011, *Oecologia*). Und in ariden Steppengebieten Patagoniens untersuchte Jakob Gerstenlauer (2006) den Einfluss einer strauchartigen Leguminose auf die Grasregeneration in überweideten Gebieten. Danach forschte er in den Biodiversitäts-Exploratorien zur Metapopulationsdynamik von Gräsern in fragmentierten Landschaften in Abhängigkeit von ihrem Lebenszyklus (Gerstenlauer 2011, Diss.).

Demgegenüber basierten Analysen hierarchischer Strukturen mittels räumlicher Statistik auf Untersuchungen in **borealen Waldgebieten** (Stephan Getzin 2007, Diss.). Dabei ging es zum einen um räumliche Muster von Baumarten in verschiedenen alten Douglasien-Beständen auf der kanadischen Vancouver Island und um den Einfluß von Heterogenität auf diese räumlichen Muster (GETZIN et al. 2006, *Ecography*, 2008, *J. Ecol.*), zum anderen um die Quantifizierung des asymmetrischen Wachstums und der räumlichen Beziehungen zwischen Haupt- und Nebenbaumarten in Laubmischwäldern Thüringens (Abb. 53 – GETZIN et al. 2007, 2008, *Forest Ecol. Manag.*).

Im Bereich der **Agrar- und Stadtökologie** wurden der Einfluss der Struktur von Agrarlandschaften auf die Biodiversität untersucht (C. RODRIGUEZ & WIEGAND 2009, *Agric. Ecosys. Environm.*; VISSER et al. 2009, *Open Ecol. J.*) und die Treiber von Stadtwachstum identifiziert (AGUAYO et al. 2007, *Ecol. Soc.*). Yvonne Fabian (2006) untersuchte in Neuseeland die Interaktion zwischen heimischen Ameisenarten und einer aus Argentinien eingeschleppten invasiven Ameisenart um Nahrungsressourcen.

KERSTIN WIEGAND, GÜNTER KÖHLER



Abb. 52: Fahrt zur Felddaten-Aufnahme mit Dr. Katrin M. Meyer (rechts) nördlich von Kimberley, Südafrika. Foto: Archiv Meyer.

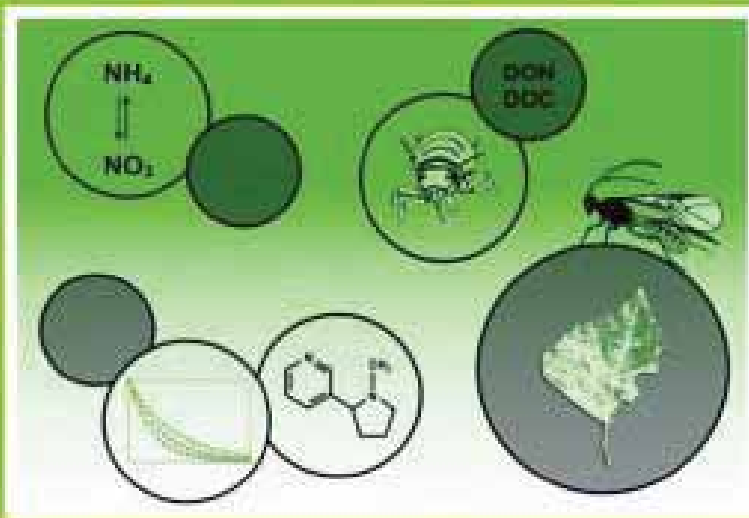


Abb. 53: Altersklassenwald im Nationalpark Hainich, Okt. 2008. Drohnenluftbild: S. Getzin.

Ecological Studies 173

W. W. Weisser E. Siemann (Eds.)

Insects and Ecosystem Function



 Springer

2.2.10 Multitrophische Interaktionen

Bevor **Wolfgang W. Weisser** (Abb. 54) 1999 auf eine Professur für Terrestrische Ökologie ans Institut für Ökologie berufen wurde, war er Postdoktorand und Assistent am Imperial College in Silwood Park / U.K. (1994-96) und an der Universität Basel (ab 1996), von wo er sein Forschungsgebiet zu multitrophischen Wechselwirkungen mit Blattläusen als Modellgruppe mitbrachte (WEISSER 2001a, b, Oxford Univ. Press). Unter seiner Leitung wurden diese Untersuchungen in der Jenaer AG Populationsökologie, später AG Multitrophische Interaktionen (in enger Kooperation mit dem hiesigen MPI für Chemische Ökologie) sowohl für Räuber-Beute- als auch Parasit-Wirt-Beziehungen in ethologischer, populationsbiologischer und -genetischer sowie ökochemischer Richtung erweitert und vertieft (HATANO et al. 2008, Review, Eur. J. Entomol.). Dazu entstanden im Zeitraum 1999-2013 in der multinational besetzten AG zwei Diplom- und zwei Staatsexamensarbeiten, vier Dissertationen und 52(!) Publikationen, mit Doktoranden und Postdoktoranden aus Deutschland, England, Frankreich, der Schweiz, Rumänien, den USA, Kenia und dem Iran. Durch seine Vermittlung weilte 2006-2011 mit **Hugh Loxdale** (Abb. 55), zuvor Präsident der Royal Entomological Society (2004-2006), ein versierter Insektenökologe und -genetiker als Senior Research Fellow am Institut für Ökologie, wo er vor allem die Mikrosatelliten-Technik einführte und zeitweilig eine Vertretungsprofessur (2009-2010) innehatte.

Ein Hauptforschungsfeld rankte sich um die **Geflügeltenbildung** in Blattlaus-Populationen, als deren Ursachen man bislang hohe Dichten und geringe Nahrungsqualität in der Elterngeneration kannte. Erstmals war jetzt – durch W. W. Weisser noch in Basel - das flügelinduzierende Mitwirken von räuberischen Marienkäfern bei Nachkommen von *Acyrtosiphon pisum* nachgewiesen worden (WEISSER et al. 1999, Proc. Roy. Soc. London). Dies führte zu zahlreichen Nachfolge-Experimenten mit anderen Blattlausfeinden, die ebenfalls die Flügelbildung bei *A. pisum* induzierten: hymenoptere Parasitoide (SLOGGETT & WEISSER 2002, Oikos; WEISSER et al. 2004, INRA), Schwebfliegen- und Flurfliegenlarven (KUNERT & WEISSER 2003, Oecologia; Grit Kunert 2006, Diss. – Abb. 56), entomophage Pilze (HATANO et al. 2012, Ecol. Entomology) und sogar polyphage Kurzflügelkäfer, für die Blattläuse nur eine Gelegenheitsbeute sind (BALOG et al. 2013, Eur. J. Entomol.).

Demnach folgt die Geflügeltenbildung einem generellen Muster, auf das Prädationsrate und Räuberdichte modifizierend einwirken. Allerdings ist dieser Induktionsmechanismus artspezifisch, da *Aphis fabae* und *Megoura viciae* sich durch Feinde (hier Florfliegenlarven) nicht zur Bildung geflügelter Nachkommen anregen ließen (KUNERT et al. 2008, Bull. Ent. Res.).

Diese verstärkte Geflügeltenbildung in der Filialgeneration wird bereits bei den Müttern durch deren Körperkontakte mit Feinden eingeleitet, woraufhin die attackierten Blattläuse das Alarmpheromon Farnesen (ein Sesquiterpen) abgeben, das die Artgenossinnen offenbar über die Antennen wahrnehmen (Abb. 57 – KUNERT et al. 2007, Eur. J. Entomol.). Daraufhin lassen sich die Blattläuse von den Pflanzen fallen oder laufen weg, wodurch die direkten Kontakte mit anderen Kolonisten weiter verstärkt werden (wie bei hohen parentalen Blattlausdichten auch), was als Pseudo-crowding-Hypothese eingeführt wurde (SLOGGETT & WEISSER 2004, Int. Symp. Aphids 2001; KUNERT et al. 2007, Eur. J. Entomol.). Die Wirkung des Farnesens auf Blattlausgruppen konnte sowohl in Labortests bei Anwesenheit natürlicher Feinde (KUNERT & WEISSER 2005, Bull. Ent. Res.; KUNERT et al. 2005, Ecol. Letters, 2007, Eur. J. Entomol.) als auch unter Freiland-Bedingungen mit synthetischem Farnesen (HATANO et al. 2010, PLoS ONE) nachgewiesen werden. Die Blattläuse (Kolonien) gaben das Pheromon nur dann ab, wenn Räuber zugegen waren, wobei das geblockte Pheromonsignal in Gegenwart von Marienkäfern schwächer ausfiel als bei Anwesenheit von Florfliegenlarven (JOACHIM & WEISSER 2013a, b, J. Chem. Ecol.). Erstmals konnten solche Pheromon-Emissionen auch bei einzelnen Blattläusen gemessen werden. Verschiedene Larvenstadien gaben nach einer Florfliegenattacke das Alarmpheromon zwar gleichschnell ab, doch Nymphen emittierten mehr Farnesen als Imagines (SCHWARTZBERG et al. 2008, J. Chem. Ecol.). Insgesamt variierten die Mengen jedoch erheblich sowohl innerhalb von Blattlauskolonien als auch von Klonen (SCHWARTZBERG et al. 2008, Ent. Exp. Appl.), und ebenso unterschieden sich verschiedene Wirtsrassen von *A. pisum* in ihrem Verhalten unter dem Einfluß von (synthetischem) Alarmpheromon (KUNERT et al. 2010, Ecol. Ent.). Physiologisch konnten weder ein Effekt des Juvenilhormon-Titers auf die Geflügeltenrate (SCHWARTZBERG et al. 2008, J. Insect Physiol.) noch eine Verstärkung des Alarmsignals durch zusätzliche Emission von Farnesen (HATANO et al. 2008, J. Chem. Ecol.) nachgewiesen werden. Weiterführende Untersuchungen, dann bereits nach der Berufung von W. W. Weisser an die TU München (2011), galten der Rolle von Farnesen (und dessen volatiler Kommunikation) im Zusammenwirken von Wirtspflanze, Blattläusen, Ameisen und natürlichen Feinden.

Ein zweites Hauptforschungsfeld widmete sich der Dynamik und Genetik von **Metapopulationen** bei Blattläusen und deren Feinden am klassischen Modell des Rainfarns (*Tanacetum vulgare*) mit seinen monophagen Blattlausarten und deren Parasitoiden, die sowohl häufiges lokales Aussterben als auch zahlreiche Neubesiedlungen zeigten (WEISSER 2000, Ent. Exp. Appl.). Für die genetischen Untersuchungen wurden (6-9) polymorphe Mikrosatelliten als molekulare Marker entwickelt und getestet: für die Blattläuse *Macrosiphoniella tanacetaria* (MASSONET et al. 2001, Molecular Ecol.) und *Metopleurum fuscoviride* (MASSONET et al. 2002, Molecular Ecol. Notes) sowie für den hymenopteren Parasitoiden *Lysiphlebus hirticornis* (NYABUGA et al. 2008, Permanent Genetic Res. Note). Die Untersuchungen konzentrierten sich auf Ruderalstellen im Stadtgebiet von Jena, wo die geklumpt verteilten Kolonien von *M. tanacetaria* an Rainfarn-Ramets (Ablegern) oft nur eine Woche überlebten und Aussterbe- wie Besiedlungsereignisse über die gesamte Vegetationsperiode hinweg auftraten. Dabei erwiesen sich die Jena- Populationen (wie auch jene der französischen Alsace-Region) genetisch sowohl regional als auch über die Zeit hinweg als recht verschieden, was auf häufige Populationswechsel und Driftereignisse zurückgeführt wurde (Blondine Massonet, Diss. 2002; MASSONET et al. 2002, Molecular Ecol.; MASSONET & WEISSER 2004, Heredity). Die beiden genannten Blattlausarten waren räumlich wie zeitlich weitgehend getrennt, eine mögliche Folge von trophobiotisch (durch Ameisenbesuch) verstärkter Konkurrenz bei *M. fuscoviride*. Auch diese Art wies große lokale Unterschiede in den meisten Parametern und eine noch ausgeprägtere Philopatrie (Ortsgebundenheit) aufgrund von durchweg ungeflügelten Herbst-Männchen auf (LOXDALE et al. 2011, Biol. J. Linn. Soc.). Der auf *M. fuscoviride* spezialisierte Parasitoid *Lysiphlebus hirticornis* (Hymenoptera: Aphidiidae, heute Braconidae) erwies sich ebenfalls als sehr ortstet, mit offenbar eingeschränktem Genfluß zwischen genetisch verschiedenen strukturierten Subpopulationen (Franklin Nyabuga 2010, Diss.; NYABUGA et al. 2010, Heredity). So ergab die genetische Untersuchung von Tieren von 72 Rainfarn-Pflanzen an 11 Stellen eine hohe Variabilität sowohl an einzelnen Rainfarnen als auch an verschiedenen Stellen, was wiederum auf häufige Aussterbe/Besiedlungsereignisse in Verbindung mit Inzucht zurückgeführt wurde (NYABUGA et al. 2011, Biol. J. Linn. Soc.). Dabei zeigte die Wirtsart *M. fuscoviride* in ihrer Genetik etwas stärker getrennte räumliche Muster als ihr Parasitoid (NYABUGA et al. 2012, Bull. Ent. Res.).

Weitere Untersuchungen galten verschiedenen ethologisch-ökologischen Aspekten, wobei neben Pflanzen und Blattläusen noch weitere Blattlaus-



Abb. 54: Prof. Dr. Wolfgang W. Weisser, Leiter der AG Multitrophische Interaktionen, bei der Feldarbeit im Jena-Experiment, 09.07.2005. Foto: Archiv Weisser.



Abb. 55: Dr. Hugh Loxdale bei genetischen Analysen an Blattläusen am MPI Chemische Ökologie, 09.04.2008. Foto: S. Creutzburg.



Abb. 56: Grit Kunert bei der Vorbereitung eines Blattlaus-Räuber-Experiments, 11.06.2003. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 57: Duftstoff-Sammlung im Jena-Experiment, Sommer 2008. Foto: Institutsarchiv.

Parasitoide (Hymenoptera: Aphidiidae, heute Braconidae) in die Untersuchungen einbezogen wurden. So führten einige bakterielle Endosymbionten von *A. pisum* zu einer gewissen Resistenz gegen Parasitoide, in dem sie entweder deren Larvenentwicklung hemmten oder Imaginalfitness verringerten, was zuerst an *Aphidius ervi* (Braconidae) nachgewiesen wurde (LI et al. 2002, J. Insect Physiol.). In einem weiteren Experiment mit 30 Blattlaus-Klonen von unterschiedlicher Endosymbionten-Ausstattung korrelierte die Zahl an Endosymbionten positiv mit Resistenzparametern gegen diesen Parasitoiden, wobei allein schon die Gegenwart bestimmter Endosymbionten die Fekundität selbst unparasitierter *A. pisum* erhöhen konnte (NYABUGA et al. 2010, Ent. Exp. Appl.). Solitäre Blattlaus-Parasitoide unterschieden sich in ihren Paarungsstrategien hinsichtlich ihrer Verweildauer im Schlupfgebiet, was durch vorhandene Wirte und besuchende Ameisen modifiziert werden konnte (NYABUGA et al. 2012, J. Insect Behav.).

Fütterungsversuche ergaben, dass bei Florfliegenlarven und Marienkäfern eine aus nur einer bestimmten Blattlausart bestehende Diät zu den höchsten Fitnesswerten bei den Räubern führte, während eine andere Blattlausart als alleiniges Futter hingegen hohe Mortalitätsraten unter den Prädatoren zur Folge hatte. Auch mit einer gemischten Diät aus mehreren Blattlausarten erreichten die Räuber nicht jene Fitnesswerte, die sie bei Fütterung mit ihrem bevorzugten Futter erlangten. Somit konnte gezeigt werden, dass bei diesen Räubern Mischdiäten zwar negative Effekte ungeeigneten Futters verringern konnten, aber nicht zu maximalen Fitnesswerten führten (MEHRPARVAR et al. 2013, Biol. Control).

Von 2006-2010 beteiligte sich das Institut für Ökologie maßgeblich am Projekt „AGRIPOPES“ (AGRIcultural POLICY-induced landscaPe changes: Effects on Biodiversity and Ecosystem Services). Dabei untersuchten 10 Arbeitsgruppen in 9 Ländern über 1.200 Weizenschläge, um Zusammenhänge zwischen Landnutzungsintensität, Wildpflanzendiversität, Laufkäfern, Vögeln und biologischem Kontrollpotential von Gegenspielern aufzudecken. Dabei koordinierte Lars W. Clement im Rahmen seiner Dissertation (2011) die Arbeiten zum biologischen Kontrollpotential. Dazu wurden lebende Blattläuse in alle teilnehmenden Länder versandt, dort nach einem vorgegebenen Protokoll vermehrt und – aufgeklebt auf Stecketiketten – auf den Weizenschlägen ausgebracht und für 36 Stunden immer wieder kontrolliert. Die daraus hervorgegangene Hauptpublikation (GEIGER et al. 2010, Basic Appl. Ecol.) mit den Jenaer Koautoren L. W. Clement und W. W. Weisser wurde zu einer der meistzitierten Arbeiten in der Agrarökologie.

GÜNTER KÖHLER, GRIT KUNERT, WOLFGANG W. WEISSER

2.2.11 Biodiversitätsforschung

Starke Veränderungen in der Umwelt infolge intensiverer Landnutzung und damit verbundener Eingriffe in Stoff- und Energiekreisläufe führten in den letzten Jahrzehnten zu einem Verlust an biologischer Vielfalt, wie er in Ausmaß und Geschwindigkeit für kein anderes Zeitalter der Erdgeschichte nachweisbar ist. Da die Folgen für Ökosystemeigenschaften derzeit kaum abschätzbar sind, hat sich der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemprozessen zu einer zentralen Fragestellung der weltweiten ökologischen Forschung entwickelt. Allerdings beeinflussen zahlreiche unkontrollierbare Faktoren (wie Standortverhältnisse und -geschichte) sowohl Artendiversitäten als auch Ökosystemprozesse, was die Untersuchungen solcher Wechselbeziehungen erheblich erschwert. Deshalb sind in den letzten Jahrzehnten weltweit, darunter auch in Deutschland, etliche großflächige Biodiversitätsexperimente etabliert worden, an denen das Institut für Ökologie, insbesondere die AG Multitrophische Interaktionen (Ltg. W. W. Weisser) maßgeblich beteiligt war und noch ist (Abb. 58).

(1) BIOLOG-Projekt

Ein zentraler Fokus gegenwärtiger Biodiversitätsforschung richtet sich auf die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen- und Arthropodenartenvielfalt im weitesten Sinne. Dabei kommt den trophischen Beziehungen (besonders über die phytophagen Insekten) eine Schlüsselrolle zu, was wiederum Kenntnisse zu deren Nahrungswahl und Nahrungsspektrum sowie zur Häufigkeit und Diversität ihrer Futterpflanzen voraussetzt. Im interdisziplinären BMBF-Projekt „Biodiversität und Globaler Wandel“ war ein Verbundprojekt angesiedelt, in dem insbesondere Mitarbeiter des MPI für Biogeochemie (Jena), des Umweltforschungszentrums Halle-Leipzig und des Instituts für Ökologie der FSU Jena (DIVA-Jena, Koord. Institut für Ökologie, Sprecher: W. W. Weisser) über 10 Jahre (2000-2010) zusammen forschten. Dabei stand der Zusammenhang zwischen Pflanzenartenvielfalt und verschiedenen Prozessen, wie Biomasseproduktion und Herbivorie, im Vordergrund. Während sich die Untersuchungen des MPI für Biogeochemie vorwiegend auf Pflanzenaspekte und Elementkreisläufe konzentrierten, standen am Institut für Ökologie die Pflanzen-Herbivoren-Beziehungen im Vordergrund. Dazu gab es umfangreiche Untersuchungen auf extensiv genutzten zweischürigen Grünlandflächen mit unterschiedlicher pflanzlicher Artenvielfalt im Thüringer Schiefergebirge (meist Fettwiesen) und bayerischen Frankenwald



Abb. 58: Die AG Multitrophische Interaktionen auf dem Jena-Experiment, 09.09.2009. Foto: Institutsarchiv.

(meist Bergwiesen) (Abb. 59 u. 60). Von den anfangs 78 aufgenommenen Probeflächen wurden 19 dauerhaft für Freilandaufnahmen und -experimente eingerichtet (KAHMEN et al. 2005, Ecography). Die Ergebnisse auf Seiten des Instituts liegen in 8 Qualifizierungsarbeiten (davon 4 Dissertationen) und ca. 20 Publikationen vor. Einige der Arbeiten zur Pflanzen- und Bodenökologie werden in den Kap. 2.2.5 und 2.2.8 erwähnt.

Bei den herbivoren Insekten standen die Feldheuschrecken (unter Mitarbeit von G. Köhler) im Mittelpunkt etlicher Untersuchungen, deren Assoziationen auf den Dauerflächen in insgesamt vier Jahren (2003-2005, 2007) mit quantitativen Kescherfängen erfasst wurden (KÖHLER & RENKER 2004, Veröff. Naturkundemus. Erfurt; und unpubl.). Besonders häufig und verbreitet war der Gemeine Grashüpfer (*Chorthippus parallelus*), der deshalb auch in mehreren trophisch ausgerichteten (teils semi-natürlichen) Käfig-Experimenten zu Nahrungspräferenz und Fitnessfolgen eingesetzt wurde. An in einem Hausgarten in Remptendorf/Thür. Schiefergebirge gekäfigten *Ch. parallelus* wurden die Nahrungspräferenzen während der Juvenilentwicklung und der Einfluss verschiedener Gräser-Kräuter-Mischungen von vier BIOLOG-Wiesen auf die Fitness (Körpermasse, Überlebensdauer, Fekundität) der Heuschrecken untersucht (Abb. 61). Eine Acht-Arten-Mischung erwies sich für alle Fitness-Parameter als am besten, und an den Drei-Arten-Mischungen überlebten die Insekten meist besser als an den einzeln angebotenen Futterpflanzen. Demnach sollten für diese Heuschrecken an Pflanzenarten reiche Habitate trophisch günstigere Voraussetzungen als wenig- oder gar einartige Wirtschaftswiesen bieten (OSWALD et al. 2005, Verh. Ges. Ökologie; Anett Oswald 2006; UNSICKER et al. 2008, Oecologia). Erstmals konnte auch unter teils natürlichen Bedingungen gezeigt werden, dass die Vielfalt an Pflanzenarten (besonders als potentielle Futterpflanzen) der BIOLOG-Wiesen mit Fitnessparametern (Abundanz, Ablagerate und Nachkommenzahl - nicht aber mit der Körpergröße) von *Ch. parallelus* positiv korrelierte. Dies zeigte ebenfalls, dass aus trophischer Sicht (vor allem an Gräsern) artenreiche Wiesen förderlicher für Grashüpferpopulationen sind, was letztlich auch ein Argument für deren extensive Nutzung ist (Sybille Unsicker 2006, Diss.; UNSICKER et al. 2010, Ecology). In einem weiteren Experiment wurden wiederum gekäfigte *Ch. parallelus* (der Jenaer Saale-Aue) in der Versuchsstation Remderoda mit Futterpflanzen (meist Gräsern) von vier verschiedenen Wiesentypen (darunter auch BIOLOG-Wiesen) gefüttert, was jedoch keine relevanten Unterschiede in den Fitness-Parametern der Heuschrecken erbrachte (Alexandra Franzke 2006; FRANZKE et al. 2010, Ecol. Ent.; UNSICKER et al. 2010, Ecology). Diese Ergebnisse legen nahe, dass

kein weiterer Vorteil einer Mischung von Futterpflanzen für die Herbivoren entsteht, sofern eine Mindestartenzahl vorhanden ist.

Auf der Grundlage der Oswald'schen Ergebnisse (Oswald 2006) führte Sybille Unsicker in Anlehnung an den zum Vergleich von Pflanzenproduktivitäten eingeführten 'Relative Yield Total' (CONNOLLY 1986) den auf Herbivorenfraß bezogenen 'Relative Forage Total (RFT)' als neue Berechnungsgröße zur Fraßquantifizierung in Mischungen ein. Drei Hauptresultate waren hierbei von Bedeutung. (1) Im Laufe der Juvenilentwicklung erweiterte sich das Nahrungsspektrum der Heuschrecken, indem etwas mehr an Kräutern gefressen wurde. (2) Mischnahrung war (sofern Gräser beteiligt) günstiger als einartige Nahrung - größere Fraßmenge, längeres Überleben, höhere Körper- und teils auch Oothekenmasse, wobei die entwicklungsbasierten Fitnessparameter vielfach von der jeweiligen individuellen und je Ansatz durchschnittlichen Lebensdauer der Heuschrecken abhingen. (3) Der RFT-Wert war bei Mischungen höher, und zwar aufgrund einer komplementär erhöhten Futterraufnahme an den meisten an der Mischung beteiligten Pflanzenarten. Folglich ließen sich weder die Futterpflanzenwahl noch die Fraßmengen in den Mischungen aus den Fraßergebnissen bei den Einzelarten vorhersagen. Aufgrund der geografischen Nähe zwischen Hausgarten-Experiment und BIOLOG-Flächen (weitere Umgebung, von dort auch die Futterpflanzen) war anzunehmen, dass sich damit die gefundenen positiven Einflüsse der (Futter)pflanzendiversität auf die Heuschrecken der Experimentalwiesen erklären ließen (UNSICKER et al. 2008, Oecologia).

Nach Erhebungen auf 15 Mittelgebirgswiesen (2005) ergaben sich positive Korrelationen vor allem der Pflanzenartenvielfalt zur Abundanz (auf den Wiesen) und Fekundität (mitgenommener und gekäfertger Weibchen) von *Ch. parallelus*. Dieser Effekt war offenbar darauf zurückzuführen, dass artenreichere Wiesen auch eine diversere Mischnahrung (vor allem Gräser) zur Verfügung stellten, welche fitnessfördernd wirkte (UNSICKER et al. 2010, Ecology; Juliane Heimann 2012, Diss.). Von den bei *Ch. parallelus* auftretenden Farbmorphen korrelierte der Anteil der Braun-Morphe signifikant positiv mit der Pflanzenartenvielfalt und -zusammensetzung ihrer Habitate. Braungefärbte Weibchen produzierten im Durchschnitt mehr Eigelege und hatten somit einen höheren Reproduktionserfolg als andere Farbmorphen derselben Art. Die Ergebnisse belegten, dass die Körperfärbung bei Heuschrecken auch für deren Fitness bedeutsam war (UNSICKER et al. 2008, Ecol. Ent.). In einem 2006 laufenden Freilandkäfig-Experiment (mit Laboranteilen) auf 6 Mittelgebirgswiesen wurden jeweils

parallel Tiere der Heimatwiese mit solchen entfernterer Herkunft gehalten. Dabei hatten die Fremdpopulationen tendenziell eine höhere Gesamtfitness (aufgrund von Überlebensraten, Entwicklungsdauern und Fekundität) als die Heimatpopulationen. Folglich dominierten Herkunftseinflüsse und es konnte keine trophische Anpassung an ihre jeweiligen Wiesenhabitats nachgewiesen werden (Juliane Heimann 2012, Diss.). Außerdem wurde 2007 die Fitness von Heuschrecken aus Laborschlupf und aus Wildfängen an Wiesen- versus Standardnahrung untersucht. Dabei unterschieden sich die verschiedenen Ansätze zumeist nicht, nur die Labortiere zeigten bei Wiesennahrung eine etwas höhere Fitness als an Standardnahrung. Nahrungsübergreifend überlebten Labortiere etwas besser als Wildfänge, während die Ablageraten gleich waren. Aufgrund niedrigerer C/N-Werte der Standardnahrung waren auch die C/N-Werte der damit gefütterten Labortiere etwas niedriger als jene bei Wiesennahrung, während Wildfänge erstaunlicherweise keine C/N-Unterschiede zwischen beiden Nahrungsklassen aufwiesen (Juliane Heimann 2012, Diss.).

Kombinierte Freiland/Labor-Untersuchungen zu den Nahrungsspektren von neun Arthropodengruppen, darunter auch Heuschrecken, auf den Mittelgebirgswiesen ergaben, dass – entgegen der Annahme – weder die Nahrungsspezialisten auf (artenarmen) Fettwiesen noch die Nahrungsgeneralisten auf (artenreichen) Bergwiesen überwogen (Nadine Baer 2005). Auf unterschiedlich pflanzenartenreichen Wiesen korrelierte (vor der Juni-Mahd) der Herbivoriegrad negativ mit der Pflanzenartenzahl, wobei Biomasse und Zönoseparameter modifizierend einwirkten. Die ebenfalls negative Korrelation von Herbivoriegrad und Spinnenabundanz ließ auf den Einfluss dieser Räubergilde auf die Nahrungskette schließen (UNSICKER et al. 2006, Oecologia). Wurden wirbellose Pflanzenfresser mittels Bioziden ausgeschlossen, korrelierten Pflanzendiversität und -biomasse nicht miteinander, doch auch der herbivore Einfluss auf die Biomasse blieb (über 5 Jahre) vernachlässigbar (Sybille Unsicker 2006, Diss.; STEIN et al. 2010, Ecology).

In zwei Kurzzeit-Experimenten (72 Std.) und einem Langzeit-Experiment (37 Tage) wurden drei Substanzen mit ^{15}N oberflächlich in eine parzellierte Phytozönose eingebracht und daran (in Käfigen) fressende Heuschrecken auf ihren (signifikant erhöhten und pflanzenkorrelierten) Gehalt an diesem Isotop untersucht (Abb. 62). Dabei erwies sich diese Markierung als geeignet, um die (sonst schwierig aufzuklärende) trophische Insekt-Pflanze-Interaktion im Freiland zu untersuchen (UNSICKER et al. 2005, Ent. Exp. Appl.).

Aufgrund populationspezifischer Dichten und Fitnesswerte stellte sich letztlich die Frage nach möglichen genetischen Unterschieden



Abb. 59: Artenreiche Bergwiese bei Tschirn/Frankenwald (BIOLOG-Projekt), Sommer 2004. Foto: I. Wolf.



Abb. 60: Experimentelle Bergwiesenmähd bei Steinbach am Wald (BIOLOG-Projekt), Sommer 2003. Foto: S. Unsicker.



Abb. 61: Heuschrecken-Fraßexperiment von Annett Oswald in Remptendorf/Thür. Schiefergebirge, 29.07.2004. Foto: G. Köhler.



Abb. 62: Herbivorie-Experiment von Sybille Unsicker (BIOLOG-Projekt), bei Tschirn/Frankenwald, August 2003. Foto: J. Heimann.

zwischen den Populationen. Dazu wurde die genetische Variabilität von 19 Populationen mittels (6) Mikrosatelliten untersucht, woraus sich – bei hohem intrapopularem Heterozygotiegrad - eine nur geringe genetische Differenzierung zwischen den Populationen ergab (Kerstin Wiesner 2011, Diss; WIESNER et al. 2011, Biol. J. Linn. Soc.). Hingegen unterschieden sich zwei der drei mituntersuchten Erzgebirgspopulationen erheblich von allen anderen, was als mögliche Folge der holozänen Verbreitungssituation interpretiert wurde (KÖHLER & WIESNER 2010, Articulata).

GÜNTER KÖHLER, SYBILLE UNSICKER, WOLFGANG W. WEISSER

(2) Jena-Experiment

Eines der weltweit größten Biodiversitätsexperimente ist das im Jahre 2002 eingerichtete und von der DFG geförderte Jena-Experiment (Abb. 63), welches in enger Kooperation zwischen dem Institut für Ökologie (Sprecher: 2002-2015 Wolfgang W. Weisser, seit 2015 Nico Eisenhauer, iDiv Leipzig) und dem MPI für Biogeochemie (damaliger Direktor: Ernst-Detlef Schulze) etabliert wurde. Nachdem Anfang 2001 das experimentelle Design erstellt, ein Standort gesucht und der Antrag auf Förderung einer Forschergruppe bei der DFG eingereicht wurde, konnte nach einem Vorbereitungsjahr dann im Mai 2002 die Aussaat auf den Versuchspartellen erfolgen. Auf einer ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzfläche (10 ha) in der Saaleaue bei Kunitz im Norden von Jena wurden – basierend auf einem Pool von 60 Pflanzenarten der mitteleuropäischen Frischwiesen (Arrhenatherion) – 90 große (20 m × 20 m) und >400 kleine Parzellen (3,5 m × 3,5 m) angelegt, die sich in ihrer Artenzahl und -zusammensetzung unterschieden (ROSCHER et al. 2004, Basic Appl. Ecol.). Im Hauptexperiment wurden die Artenzahl (1, 2, 4, 8, 16, 60) und die Zahl funktioneller Gruppen (1, 2, 3, 4) in allen möglichen Kombinationen variiert. Dafür sind die Pflanzenarten anhand funktioneller Merkmale in Leguminosen, Gräser, kleine und große Kräuter eingeteilt worden; außerdem wurden alle 60 Arten auch als Monokulturen etabliert. Für ein „**Dominanz-Experiment**“ sind aus dem Gesamtartenpool neun potentiell dominante Grünlandarten ausgewählt worden, die ebenfalls in Gemeinschaften unterschiedlicher Artenzahl und -zusammensetzung (1, 2, 3, 4, 6 und 9 Arten) ausgesät wurden. Mit diesem Experiment sollte insbesondere getestet werden, ob Diversitätseffekte auch zwischen dominanten Arten auftreten können. Ein weiteres Experiment, das zusätzlich zur Pflanzenartenzahl (hier 1, 2, 3, 4 und 8) auch die Diversität der Pflanzenmerkmale manipuliert („**Trait-Based-Diversity Experiment**“) wurde im Jahre 2010 mit dem Ziel etabliert, jene

Mechanismen zu untersuchen, die zu Diversitätseffekten führen (EBELING et al. 2014, Basic Appl. Ecol.).

Die wissenschaftliche Koordination des Jena-Experiments befindet sich von Beginn an am Institut für Ökologie. Das Management des Versuchsfeldes (Abb. 64) einschließlich der Erhebung von Zeitreihen zentraler Daten wurde während der Etablierung 2001-2005 von Christiane Roscher, von 2005-2009 von Alexandra Weigelt und wird seit 2009 von Anne Ebeling koordiniert. Alle Parzellen werden jährlich zwei- bis dreimal gejätet und das gesamte Versuchsfeld (genau wie Extensivgrünland) wird zweimal gemäht (Abb. 65). Die technischen Arbeiten liegen in den Händen eines fünfköpfigen Gärtner-Teams, einer Technischen Assistentin und (über die Jahre) Hunderter(!) studentischer Hilfskräfte (vor allem zum Jäten), was mit einem erheblichen bürokratischen Aufwand verbunden ist (Koord. Gerlinde Kratzsch). An dieser Stelle muss auch lobend hervorgehoben werden, dass ohne die sehr tatkräftige Unterstützung der Personalabteilung (insbesondere von Frau A. Bodien, Frau L. Eckey und Frau H. Möckel) sowie der weiteren Verwaltung der FSU Jena, mit denen die Zusammenarbeit nahezu reibungslos verlief, das Jena-Experiment nicht durchführbar gewesen wäre.

Die Folgen von mehrfach unvorhersehbarem Winterhochwasser und das große Sommerhochwasser 2013 brachten überdies viel zusätzliche Arbeit mit sich. Die diesbezüglichen wissenschaftlichen Arbeiten am Institut für Ökologie konzentrierten sich zum einen auf die Pflanzenökologie, zum anderen auf die Untersuchung trophischer Wechselwirkungen. Insgesamt liefen im Rahmen des Jena-Experiments von 2004-2015 ca. 20 Qualifizierungsarbeiten, davon 8 Dissertationen, und es liegen bisher etwa 90 Publikationen vor, an denen Institutsmitarbeiter in irgendeiner Form beteiligt waren. Von den Doktoranden promovierten an der FSU Jena Christoph Scherber (2006), Norma Nitschke (2013), Anja Vogel (2013), Jan Engel (2014) und Michael Rzanny (2014), und an der Universität Zürich - mit W. W. Weisser als Ko-Betreuer - Peter N. Mwangi (2006) und Jana Petermann (2009), die beide jedoch die meiste Arbeitszeit am Institut in Jena verbrachten. Hinzu kommen noch Anne Ebeling (2009), die in Göttingen unter der Hauptbetreuung von Teja Tschardt und Alexandra-Maria Klein promovierte, und Christiane Roscher (2009) mit ihrer Habilitation an der FSU Jena. Eine erste Übersicht zur Geschichte des Jena-Experiments und zu wichtigen Ergebnissen lieferten WEISSER & WEIGELT (2008, Verlag Pfeil, München).



Abb. 63: Das Jena-Experiment in der Saale-Aue, 04.06.2006. Luftbild: W. Voigt.



Abb. 64: Fuhrpark zum Management der Biodiversitätsprojekte, 09.09.2009. Foto: Institutsarchiv.

Pflanzenökologische Forschungen.

Eine besonders 'mutige' junge Forscherin war Katrin Heiße, die sich für die erste Diplomarbeit im Jena-Experiment entschied, und zwar noch bevor die Versuchsflächen überhaupt angesät waren. Sie untersuchte nämlich die Etablierung aller Arten in Monokulturen und konnte zeigen, dass besonders erfolgreiche (=produktive) Monokultur-Arten sich durch sehr unterschiedliche Kombinationen an funktionellen Merkmalen auszeichneten (Katrin Heiße 2003; HEISSE et al. 2007, *Oecologia*). Zu den ersten Schlüsselergebnissen gehörte auch die Analyse der oberirdischen Biomasseproduktion, an der sich ein Jahr nach Etablierung sowohl für das Haupt- als auch das Dominanzexperiment zeigte, dass sie mit zunehmender Artenzahl anstieg. Diese höhere Produktivität artenreicherer Mischungen war nicht nur darauf zurückzuführen, dass diese mit höherer Wahrscheinlichkeit hochproduktive Arten enthielten (Selektionseffekt), sondern die Arten erreichten in Mischungen durchschnittlich eine höhere Produktivität als in Monokultur (Komplementaritätseffekt) (ROSCHER et al. 2005, *Ecol. Letters*). Die komplementäre Nutzung von Ressourcen zwischen potentiell dominanten Arten stand deshalb im Mittelpunkt von Folgeuntersuchungen zur räumlichen Einnischung dieser Arten (Sönke Lorentzen 2004; LORENTZEN et al. 2008, *Persp. Plant Ecol.*), zum Zusammenhang zwischen Pflanzendichte und -größe (ROSCHER et al. 2007, *Oecologia*) und zur komplementären Nutzung von Stickstoff (Abb. 66 – ROSCHER et al. 2008, *J. Ecol.*). Die Untersuchungen der Pflanzenbestände zeigten allerdings auch schnell, dass sich die Biomasseproduktion einzelner Arten positiv, negativ oder gar nicht mit zunehmender Artendiversität der Mischungen änderte und die Reaktionen der Arten nicht unbedingt aus der Produktivität der Monokulturen hergeleitet werden konnten (ROSCHER et al. 2007, *Oecologia*, 2011, *Persp. Plant Ecol.*). Folgerichtig beschäftigten sich weitere Arbeiten mit morphologischen und ökophysiologischen Anpassungen ausgewählter Pflanzenarten an die zunehmende Diversität der Pflanzengemeinschaften, wobei Arten in artenreicheren Mischungen größere Aufwendungen unternehmen müssen, um sich essentielle Ressourcen anzueignen (DASSLER et al. 2008, *Plant Biol.*; THEIN et al. 2008, *Basic Appl. Ecol.*).

In den ersten Jahren nach Etablierung des Jena-Experiments wurde auch der Zusammenhang zwischen der Diversität der angesäten Artengemeinschaften und ihrer Invasionsresistenz untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass Artenzahl, Individuenzahl und Biomasse von spontan eingewanderten Pflanzenarten mit zunehmender Diversität der angesäten Artengemeinschaften sank, was vor allem durch weniger verfügbare Ressourcen für die 'Invasoren' in den artenreicheren Beständen erklärbar war (ROSCHER et al. 2009, *J. Ecol.*).

Des Weiteren wurde gezeigt, dass durch die Einwanderung von Arten in ungejätete Flächen der positive Zusammenhang zwischen Artendiversität und Biomasseproduktion verschwand (ROSCHER et al. 2009, Acta Oecol.).

Zu den wissenschaftlichen Arbeiten der ersten Koordinatorin, Christiane Roscher, zählte auch die Frage, ob die Effekte der Diversität auf eine Pflanzenart von ihrer genetischen Identität abhängen. Für diese Untersuchungen wurde das Weidelgras (*Lolium perenne*) ausgewählt, von dem 15 genetisch verschiedene Sorten in Subplots auf allen Versuchsflächen des Hauptexperiments eingesät wurden. Die Ergebnisse des „**Lolium-Experiments**“ zeigten, dass die genetische Variation einer Pflanzenart eine wichtige Grundlage für ihre phänotypische Plastizität und Resistenz gegen pathogene Pilze darstellt, aber heterogene Umwelten (d.h. unterschiedliche Artengemeinschaften) erforderlich sind, um die intraspezifische genetische Variation zu erhalten (ROSCHER et al. 2007, Oecologia; 2008, Ann. Bot.). Darauf aufbauend wurde die genetische Differenzierung der *Lolium*-Populationen vier Jahre nach Etablierung des Jena-Experiments untersucht, und es konnte ein negativer Zusammenhang zwischen der Artendiversität der Gemeinschaft und der Gendiversität des Weidelgrases gefunden werden (NESTMANN et al. 2011, Molecular Ecol.).

Neben Arbeiten zur Produktivität und räumlichen Stabilität der Pflanzengemeinschaften (WEIGELT et al. 2008, Ecol. Letters; 2010, Ecology; MARQUARD et al. 2009, Ecology) war das „**Management-Experiment**“ ein Forschungsschwerpunkt der zweiten wissenschaftlichen Koordinatorin, Alexandra Weigelt. Hierfür wurden ebenfalls Subplots in allen Versuchsflächen des Hauptexperiments eingerichtet, diese jedoch mit unterschiedlicher Intensität gedüngt und gemäht. Es zeigte sich, dass höhere Pflanzendiversität effizienter als hohe Management-Intensität war, um den Biomasse-Ertrag zu steigern (WEIGELT et al. 2009, Biogeosci. Disc.). Bei manipulierter Sommertrockenheit, wofür der Niederschlag durch Dächer experimentell verringert wurde, hatte die Management-Intensität einen negativen Einfluss auf die Resistenz und Resilienz der Pflanzengemeinschaften, während die positiven Diversitätseffekte auf die Biomasseproduktion erhalten blieben (Anja Vogel 2013, Diss.; VOGEL et al. 2012, PLoS ONE). Weitere Untersuchungen zeigten, dass erhöhte Diversität nicht die negativen Effekte der Sommertrockenheit auf Streuabbau und mikrobielle Aktivität im Boden pufferte (VOGEL et al. 2013, Global Change Biol.). Ein methodisch wichtiger Aspekt der Arbeit von Anja Vogel war auch ihre Untersuchung von Artefakten durch die Dachbehandlung bei der experimentellen Manipulation der Niederschläge (VOGEL et al. 2013, PLoS ONE).



Abb. 65: Die Flächen des Jena-Experiments müssen zwei- bis dreimal im Jahr gejätet werden, 10.07.2003. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 66: Tracer-Versuch zur Wasser- und Nährstoffaufnahme mit stabilen Isotopen mit Frau PD Dr. Christiane Roscher (links) im Jena-Experiment, Okt. 2011. Foto: Institutsarchiv.

Trophische Wechselwirkungen.

Kurz nach Etablierung der experimentellen Versuchsfläche – in den Jahren 2003 und 2005 – wurden erstmals die (natürlich entstandenen) oberirdischen Arthropoden-Gemeinschaften aufgenommen. Unter der Betreuung von W. Voigt leisteten die Diplomanden Dirk Lauterbach, Markus Lange und Esther Kowalski hierbei Pionierarbeit, in dem sie 2003 die Diversität und Abundanz der Arthropoden auf 50 Experimentalflächen quantitativ erfassten. Im Vergleich dazu wurden Arthropoden-Zönosen auf Frischwiesen im unmittelbaren Umfeld des Jena-Experiments aufgenommen (René Pratsch 2004). Die Erfassungen auf den Experimentalplots wurden 2005 wiederholt und ab 2010 unter Leitung von A. Ebeling jährlich fortgeführt. Eine Optimierung der Diversitätsexperimente lässt sich durch räumliche Analyse der Muster in der Arthropodenverteilung erreichen (Andreas Menzel 2011).

Eine wichtige Erkenntnis aus den Versuchen war, dass eine höhere Zahl an Pflanzenarten oft auch die Dichten und Artenzahlen in den Konsumenten-Gruppen (Herbivore, Karnivore, Parasitoide, Omnivore, oberirdische Destruenten) erhöhte, wobei sich dieser Zusammenhang mit zunehmender Entfernung in der Nahrungskette abschwächte (SCHERBER et al. 2010, Nature!; EBELING et al. 2014, PLoS ONE). Weitere Untersuchungen zeigten, dass sich auch die Komplexität der multitrophischen Interaktionen zwischen Pflanzen und Konsumenten veränderten. So wiesen **Interaktionsnetze** aus artenarmen Pflanzengemeinschaften, verglichen mit Netzen hochdiverser Flächen, geringere Interaktionsdiversität, Konnektivität und Interaktionsstärken zwischen den trophischen Ebenen auf (RZANNY & VOIGT 2012, J. Anim. Ecol.). Dabei wurden sowohl die Veränderungen in Häufigkeiten und Artenzahlen der Konsumenten als auch die Struktur der multitrophischen Interaktionen überwiegend durch bottom-up-Effekte bestimmt (SCHERBER et al. 2010, Nature, S. 144).

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten lag auf Untersuchungen zu den Wechselbeziehungen zwischen herbivoren Insekten und verschiedenen diversen Pflanzengemeinschaften. In Experimenten (mit G. Köhler) mit auf den Parzellen gekäfigten Feldheuschrecken (*Chorthippus parallelus*) zeigte sich, dass die Pflanzenartenzahl das Überleben und die Fitness der Heuschrecken nicht, eine Düngung diese aber positiv beeinflusst (Juliane Specht 2006; SPECHT et al. 2008, J. Anim. Ecol.; EBELING et al. 2013, Basic Appl. Ecol.). Daran anschließend wurde untersucht, wie die Pflanzengemeinschaften sich nach intensiven Fraßereignissen (im Vorjahr) durch die Heuschrecken weiterentwickelten. Dabei waren der durch die Heuschrecken verursachte Schaden an der Vegetation und auch die Erholung danach unbeeinflusst

von der Pflanzendiversität, doch kam es zu starken Veränderungen in der Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften (Christoph Scherber 2006, Diss.; SCHERBER et al. 2010, *Oecologia*).

Bei Einbeziehung der gesamten Invertebraten-Gemeinschaft ergab sich, dass höhere Pflanzendiversität zu einem Anstieg im Blattfrass führte, wobei die Anwesenheit einzelner funktioneller Pflanzengruppen entscheidenden Einfluss hatte. So trat ein stärkerer Blattfrass dann auf, wenn Leguminosen vorhanden waren, und ein geringerer, wenn Gräser Bestandteil der Pflanzengemeinschaften waren (SCHERBER et al. 2005, *Oecologia*). Erklärt werden konnte der höhere Herbivoriegrad in diverseren Pflanzengemeinschaften nicht durch die Menge an verfügbaren Ressourcen (Pflanzenbiomasse), sondern durch die Futterqualität (Pflanzen-C/N) und eine erhöhte Herbivorendichte (EBELING et al. 2014, *PLoS ONE*).

Die seinerzeit am Institut beschäftigten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (auch anderer Arbeitsgruppen) waren und sind zudem an zahlreichen weiteren Publikationen aus dem Jena-Experiment beteiligt, die aus der Zusammenführung verschiedener Datensätze entstanden.

CHRISTIANE ROSCHER, ANNE EBELING, WINFRIED VOIGT, GÜNTER KÖHLER, WOLFGANG W. WEISSER, ALEXANDRA WEIGELT

(3) Biodiversitäts-Exploratorien

Das Schwerpunktprogramm „Biodiversitäts-Exploratorien“ wird seit 2006/07 von der DFG mit dem Ziel gefördert, in einem Langzeit-Monitoring den Zusammenhang zwischen Landnutzungsintensität, biologischer Vielfalt und Ökosystemprozessen wie Herbivorie, Kohlenstoffspeicherung und Prädation/Parasitismus zu untersuchen (FISCHER et al. 2010, *Basic Appl. Ecol.*). Initiatoren dieses Programms waren W. W. Weisser (Institut für Ökologie), Ernst-Detlef Schulze (MPI Biogeochemie), Markus Fischer (Univ. Potsdam, Sprecher), Karl-Eduard Linsenmair (Univ. Würzburg) und die jüngst unerwartet verstorbene Elisabeth Kalko (Univ. Ulm), wobei das Institut für Ökologie maßgeblich an der Auswahl und Einrichtung der Probeflächen sowie der Organisation und Ausführung der Forschungsarbeiten beteiligt war. Entlang eines Diagonalprofils durch Deutschland (Schwäbische Alb, Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin) wurden insgesamt 150 Wald- und 150 Grünlandparzellen (à 100 m × 100 m) mit unterschiedlicher Bewirtschaftung ausgewiesen, die eine Forschungsplattform für derzeit (2016) >40 Projekte mit >300 Teilnehmern bilden. Die Organisation und Betreuung im **Hainich-Dün** einschließlich Management und Feldstation in Mülverstedt liegt seither

in der Verantwortung von W. W. Weisser. In der Etablierungsphase hatte das Institut zudem die Federführung (zusammen mit dem MPI Biogeochemie) für initiale Untersuchungen zum Boden und zu dessen Kohlenstoffspeicherung für eine Probeflächenauswahl. Hier war Ingo Schöning (als Postdoktorand) die treibende Kraft, der die Bodenprobennahme auf den insgesamt 3.000 Untersuchungsflächen anleitete und zum großen Teil selbst durchführte, die >30.000 Beutel mit Bodenproben (>10 t) und genauso viele **C/N-Analysen** ergaben. Weiterhin war das Institut für die Standardisierung von Insekten im Grünland und Wald verantwortlich. Dieses 2008 begonnene (und noch laufende) umfangreiche Monitoring mit Kreuzfenster-, Trichter- und Bodenfallen, Kescherfängen sowie anderweitigen Bonituren und Experimenten wurde unter Federführung von Martin M. Goßner (Postdoktorand) am Institut für Ökologie entwickelt und aufgebaut (Abb. 67 u. 68). Zum einen standen die Folgen der Grünland- und Waldnutzung für die Diversität und Struktur von Arthropodengemeinschaften im Fokus der Forschung. Zum anderen wurden in Wäldern sowohl einige Forstschädlinge als auch anderweitige Tiergruppen in ihren ökologischen Netzwerken in Beziehung zur Waldnutzung untersucht. Dabei kamen auch neu berechnete Indices der Landnutzungsintensität (LUI) für das Grünland (BLÜTHGEN et al. 2012, Basic Appl. Ecol.) und den Wald zur Anwendung. Die Ergebnisse der bis 2011 (der Berufung von W. W. Weisser an die TU München) vom Institut aus betriebenen Forschungsarbeiten fanden in 13 Qualifizierungsarbeiten, darunter 4 Dissertationen, und etwa 30 Publikationen ihren Niederschlag. Wichtige Ergebnisse der sehr breitgefächerten Untersuchungspalette werden nachfolgend in ungefährer zeitlicher Folge beschrieben.

Die meisten Forschungsergebnisse wurden in Buchenwäldern gewonnen. Im Zeitraum 2007-2009 wurde die Prädation bzw. Ausbreitung von Samen myrmecochorer Pflanzen in ameisenarmen Buchenwäldern experimentell untersucht (Manfred Türke 2011, Diss.), wobei sich vor allem Nacktschnecken als Samenfresser (**Gastropodochorie**) von früh reifenden Buschwindröschen und spät reifender Haselwurz erwiesen (Kerstin Andreas 2010; TÜRKE 2011, Nova Science). In anschließenden Keimexperimenten (Labor/Freiland) ging von Kontrollsamensamen wie von Schnecken gefressenen und wieder ausgeschiedenen Samen jeweils etwa ein Drittel auf (TÜRKE et al. 2010, Oecologia). Angebotene Samen von insgesamt sieben myrmecochoren Pflanzenarten wurden in unterschiedlichen Anteilen von den Schnecken (an)gefressen, in Abhängigkeit von der Samenstruktur und der Größe der Schnecken, wobei schwerere, ältere Tiere die meisten Samen konsumierten. Zudem gab es Hinweise, dass von Schnecken gefressene und



Abb. 67 (li): Mit der Einfachseil-Technik gelangt Dr. Martin Gossner an wassergefüllte Baumhöhlen in Buchenkronen, Exploratorium Hainich-Dün, Juni 2011. Foto: Archiv Gossner.



Abb. 68 (re): Markus Lange installiert eine Kreuzfensterfalle für Insekten in Baumkronen, Exploratorium Schorfheide-Chorin, Apr. 2008. Foto: Archiv Gossner.



Abb. 69: In einem Phytometer-Experiment fressen Schwammspinnerrauen an Jungbuchen und locken dadurch Parasitoide an, Exploratorium Hainich-Dün, Juni 2008. Foto: M. Groß.

wieder ausgeschiedene Samen von nachfolgenden Prädatoren gemieden wurden (TÜRKE & WEISSER 2013, PLoS ONE). Unter Einbeziehung der Grundaufnahmedaten aus allen drei Exploratorien zeigte sich, dass die Myrmecochorendeckung signifikant positiv mit der Aktivitätsdichte von Schnecken und negativ mit der Präsenz von Ameisen korrelierte, ohne Unterschiede zwischen Buchenwäldern verschiedener Nutzungstypen. Demnach sind in mitteleuropäischen Buchenwäldern nicht Ameisen, sondern vorrangig Schnecken am Fraß und damit an der Ausbreitung von Samen myrmecochorer Pflanzenarten beteiligt, ein in dieser großräumigen Beteiligung am „Myrmecochorendispersal“ bislang unbekanntes Phänomen (TÜRKE et al. 2012, Am. Nat.).

Im Jahre 2008 wurde auf allen 150 Waldparzellen der Einfluss ihrer Nutzung auf mit Bodenfallen erfassten Lauf- und Kurzflügelkäfern untersucht, mit dem neuen Fokus auf einem (in geografischem Maßstabe) großräumigen Vergleich von diesbezüglich wenig untersuchten Laubwäldern (Markus Lange 2011, Diss.; LANGE 2011, Meth. Ecol. Evol. – methodisches Vorexperiment 2007). Dabei ergab sich eine geringere Diversität (bei höheren Fangzahlen) in Buchen- gegenüber Nadelwäldern und in unbewirtschafteten(!) gegenüber bewirtschafteten Beständen, wobei Laufkäfer etwas empfindlicher reagierten. Derzeitige Bewirtschaftungsformen scheinen Generalisten und Offenlandarten zu fördern und damit die epigäischen Käfergemeinschaften zu verändern (LANGE 2014, For. Ecol. Manag.). So zeigen auch andere Untersuchungen in den Exploratorien, dass die Buchenwälder im Hainich-Dün von einem „Urwald“ noch weit entfernt sind – zu jung ist die nutzungsfreie Geschichte, und auch großflächige Störungen wie Brände, Windwürfe oder Kalamitäten blieben bisher aus.

Zum generellen Einfluss von Waldnutzung auf streuzersetzende Wirbellose (auf Ordnungsebene) wurden Bodenfallen-Daten aus Südbrasilien (2003/04) mit solchen im Hainich-Dün (2008) verglichen. In beiden Regionen änderte sich die Vielfalt an (36) Großtaxa nicht mit der Nutzungsintensität, doch bei deren Zunahme sanken die Fangzahlen im subtropischen Brasilien, während sie im gemäßigten Deutschland stiegen, und zwar weitgehend konsistent über verschiedene trophische Ebenen. Diese teils divergierenden Befunde wurden hauptsächlich auf die unterschiedliche Geschichte von Nutzungs- und Schutzstrategien in beiden Regionen zurückgeführt (LANGE 2011, Biodiv. Conserv.).

Im Jahre 2008 wurde im Hainich-Dün in 18 unterschiedlich genutzten Beständen die biologische Kontrolle von Buchenherbivoren untersucht, wozu

Buchenphytometer ohne (Kontrolle) und mit Raupen des Schwammspinners (*Lymantria dispar*) bestückt worden sind (Abb. 69). In daneben installierten Luftklektoren fanden sich in allen Nutzungstypen bei Raupenfraß signifikant mehr Parasitoide als in den Kontrollen, was erstmals unter Feldbedingungen zeigte, dass Parasitoide durch von Herbivoren induzierte Buchenduftstoffe angelockt wurden (GOSSNER et al. 2014, Oecologia). Die Gesamtherbivorie an Buchenblättern war hoch, und drei Viertel aller Blätter sowohl in der Sonnenkrone als auch in der Buchenverjüngung wiesen Schadsuren auf. Der insgesamt geringe Effekt der Bewirtschaftungsintensität ließ vermuten, dass die Waldstruktur und mit ihr gekoppelte mikroklimatische Veränderungen hauptsächlich die Herbivorie an Buchen beeinflussten (Patricia Geesink 2009; GOSSNER et al. 2014, PLoS ONE).

Im Sommer 2009 wurde als Teil einer vor allem die Kronenbereiche berücksichtigenden Bonitur von herbivoren Insekten (KOWALSKI et al. 2011, Ent. Exp. Appl.; GOSSNER et al. 2014, PLoS ONE) in allen 104 Buchenwaldparzellen der drei Exploratorien das Auftreten der **Buchenwollschildlaus** (*Cryptococcus fagisuga*), einem Wegbereiter der Buchenrindennekrose, bonitiert (Esther Kowalski u.a.). Die Befallsraten nahmen von Süd (16%) nach Nord (35%) zu, jedoch ohne signifikanten Bezug zur Waldnutzung (KÖHLER et al. 2014, Agric. Forest Entomol.). Im Hainich-Dün fanden sich befallene Bäume in der Hälfte aller Parzellen und verstreut über alle drei Waldnutzungsformen. Im Kontext des Thüringer Langzeitmonitorings (1967-2013) zur Buchenwollschildlaus und Buchenrindennekrose wurden die komplexen Zusammenhänge für den Naturschutz in heimischen Buchenwäldern verdeutlicht (KÖHLER et al. 2015, LNT).

In den Jahren 2010-2012 wurden die Abundanzen des **Laubnutzholz-Borkenkäfers** (*Trypodendron domesticum*) sowie der Befall von Stämmen durch diesen potentiellen Fortschädling untersucht (Konstantin Falck 2013). Dazu sind 2010 in allen 150 Waldflächen jeweils zwei Pheromonfallen platziert und im Hainich-Dün außerdem noch unbefallene Buchenstammstücke (verschiedener Größe) ausgelegt worden. Zudem wurden Buchenstämme eines im Winter 2008/09 angelegten Holzabbau-Experiments (mit 13 Baumarten) einbezogen. In beiden Untersuchungen wurden der Befall anhand der Einbohrlöcher und der Bruterfolg anhand der ausgeschlüpften Käfer und deren Antagonisten (in Brutsystem-Eklektoren) abgeschätzt. Mit diesen Fangmethoden konnten an die 316 000! Borkenkäfer, davon mehr als die Hälfte im Hainich-Dün, erbeutet werden. Die Hauptergebnisse waren geografische (exploratorienspezifische) Fangzahlunterschiede

in gleichaltrigen Wäldern, zunehmende Fangzahlen mit abnehmender Waldnutzung sowie mehr Gegenspieler (20 Arten) des Borkenkäfers in unbewirtschafteten Buchenwäldern (Falck 2013).

Auf der Schwäbischen Alb und im Hainich-Dün wurden in insgesamt 53 Waldbeständen die Insektengemeinschaften ephemerer **Baumhöhlengewässer** in Abhängigkeit vom forstlichen Management untersucht (Anja Schober 2009, Peggy Lade 2011, Nora Sichardt 2011). Von den 910 kartierten wassergefüllten Baumhöhlen konnten 199 (von Wurzelhöhlen bis zu Astgabelgewässern in 35 m Höhe) auf ihre Insektenzönosen beprobt werden (Abb. 67). Deren Abundanzen und Artenzahlen sanken mit zunehmender Nutzungsintensität, was vor allem auf indirekte Effekte durch die als Habitatfilter wirkende (reduzierte) Detritusmasse als basale Nahrungsquelle sowie eine veränderte Wasserchemie zurückgeführt wurde. Die Artenvielfalt auf regionaler Ebene nahm mit der Nutzungsintensität ebenfalls ab, höchstwahrscheinlich aufgrund der verringerten Habitatdiversität (GOSSNER et al. 2015, J. Anim. Ecol.).

Basierend auf umfangreichen Datensätzen zu Arthropoden (2008ff.) aus allen drei Exploratorien ergaben sich weitere neue Erkenntnisse zum generellen Einfluss der Landnutzungsintensität auf die Biodiversität in Wäldern und im Grünland (GOSSNER et al. 2014, PLoS ONE, Basic Appl. Ecol.; SIMONS et al. 2014a, b, J. Anim. Ecol., PLoS ONE). So konnte die Bedeutung der beta-Diversität zwischen Waldbeständen für die regionale Diversität aufgezeigt werden, wobei dies hauptsächlich auf einen Artenwechsel und weniger auf Unterschiede in der Artenzahl zurückzuführen war. Dabei korrelierte die beta-Diversität zwischen trophischen Gilden deutlich stärker als die alpha-Diversität (GOSSNER et al. 2013, Biol. Conserv.). Eine andere Studie verdeutlichte die Schwierigkeit, überregionale Indikatorarten (Arthropoden) für heute unbewirtschaftete Wälder aufgrund ihrer Nutzungsgeschichte, ihrer unterschiedlichen regionalen Artenpools sowie der jährweisen Populationsschwankungen zu definieren (GOSSNER et al. 2014, Biodiv. Conserv.).

Darüber hinaus lieferten die umfangreichen standardisierten Erfassungen wertvolle Beiträge für projektübergreifende Auswertungen, wie beispielsweise die europaweite Analyse zu **Totholzkäfern** in Buchenwäldern. Diese Studien belegten deren hohen Artenreichtum in europäischen Buchenwäldern, der vor allem eine Folge des hohen Artenturnovers zwischen klimatisch unterschiedlichen Buchenwaldstandorten ist und in Naturschutzstrategien berücksichtigt werden sollte (MÜLLER et al. 2015, Insect Conserv. Divers.). Dabei erwies sich eine hohe Totholzmenge (temperaturbeeinflusst) als der entscheidende Faktor für den Artenreichtum und die funktionale Diversität

von Totholzkäfer-Gemeinschaften (GOSSNER et al. 2013, Conserv. Biol.). Während die Artenzahl allgemein mit steigender Mitteltemperatur an den Standorten zunahm, war ihre Zunahme mit der Totholzmenge signifikant schwächer bei höheren als bei niederen Temperaturen. Demnach sollten Totholzanreicherungen entsprechend der standortspezifischen Temperaturen erfolgen (MÜLLER et al. 2015, Ecography).

Studien im Grünland verdeutlichten die Bedeutung von indirekten, negativen Auswirkungen der Nutzungsintensität auf die Diversität von Herbivoren und Prädatoren. Die Herbivorendiversität korrelierte positiv signifikant mit der Pflanzenartenzahl, nicht aber mit deren Biomasse, hingegen die Prädatorendiversität stärker mit der Biomasse als mit der Artenzahl der Herbivoren (SIMONS et al. 2014, PLoS ONE). Steigende Nutzungsintensität führte zu einer stärkeren Dominanz der ohnehin häufigsten Arten, und Arten mit begrenzter Verbreitung waren mit höherer Wahrscheinlichkeit lokal seltener und unterlagen damit einem höheren Aussterberisiko unter hoher Nutzungsintensität (SIMONS et al. 2015, J. Anim. Ecol.). Des Weiteren wirkte ein erhöhter Landnutzungsindex (LUI) als Umweltfilter, der taxonübergreifend für im Schnitt kleinere, mobilere und weniger spezialisierte Arten selektierte (SIMONS et al. 2015, Ecology). Dies führte zu einer veränderten funktionalen Zusammensetzung von Gemeinschaften, was sehr wahrscheinlich Folgen für Ökosystemprozesse hatte (BIRKHOFER et al. 2015, Ecography). In einer sehr umfangreichen, insgesamt 49 Organismengruppen einbeziehenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Ökosystem-Diversität (als neu eingeführte 'Multidiversität') mit steigendem LUI abfiel, vor allem im Bereich zwischen geringer und mittlerer Nutzungsintensität und seltene wie oberirdische Taxa betreffend. Dies bedeutet, dass die meiste Diversität bereits bei einer kleinen Erhöhung der Landnutzungsintensität in extensiven Flächen verloren geht. Eine von Jahr zu Jahr wechselnde Landnutzung (sintensität) erhöhte die Multidiversität vor allem von seltenen Arten (ALLAN et al. 2014, PNAS). Eine weitere Analyse dieses umfangreichen Datensatzes ergab, dass höhere Nutzungsintensität die Korrelation zwischen den Diversitäten verschiedener Taxa signifikant schwächte, möglicherweise eine Folge des Verlusts an Diversität und des Zusammenbruchs spezialisierter Interaktionen bei hohem LUI (MANNING et al. 2014, Ecology).

Zudem wurden bereits 2009 im Hainich-Dün auf 22 Grünlandparzellen deren Populationen des Gemeinen Grashüpfers (*Chorthippus parallelus*) genetisch mittels Mikrosatelliten untersucht, wobei nur eine geringe interpopuläre genetische Differenzierung gefunden werden konnte. Weder die Populationsgröße (Ø 2008-2012) und die Habitatfläche noch der LUI

korrelierten signifikant mit der genetischen Diversität, was auf die Existenz großer lokaler Populationen in der Landschaft zurückgeführt wurde (Kerstin Wiesner 2011, Diss.; WIESNER et al. 2014, Roy. Soc. Open Sci.).

GÜNTER KÖHLER, MARTIN M. GOSSNER, WOLFGANG W. WEISSER

LETTER

23 NOVEMBER 2010 | VOL 468 | NATURE | 353

Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment

Christoph Scherber^{1,2}, Nico Eisenhauer^{3,4}, Wolfgang W. Weisser², Bernhard Schmid⁵, Winfried Voigt², Markus Fischer^{6,7}, Ernst-Detlef Schulze⁸, Christiane Roscher^{2,9}, Alexandra Weigelt^{3,10}, Eric Allan², Holger Beßler¹¹, Michael Bonkowski¹², Nina Buchmann¹³, François Buscot¹⁴, Lars W. Clement², Anne Ebeling^{1,2}, Christof Engels¹¹, Stefan Halle², Ilona Kertscher², Alexandra-Maria Klein^{1,15}, Robert Koller¹², Stephan König¹⁴, Esther Kowalski², Volker Kummer², Anneli Kuu¹⁶, Markus Lange², Dirk Lauterbach², Cornelius Middelhoff², Varvara D. Miganova¹⁷, Alexandru Milcu¹⁸, Ramona Müller², Stephan Pärtel¹, Jana S. Petermann^{3,19}, Carsten Renker^{1,3,20}, Tanja Rottstock², Alexander Sabais², Stefan Scheu¹, Jens Schumacher^{2,21}, Vicky M. Temperton^{8,22} & Teja Tscharnke²

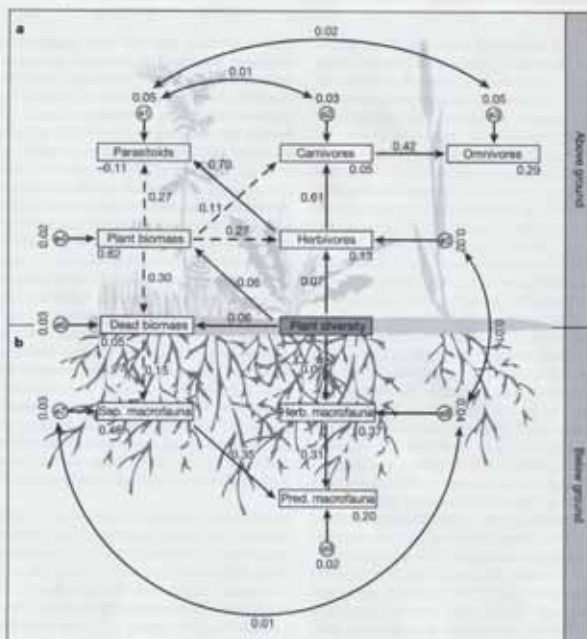


Figure 3 | Food web of above- and below-ground biodiversity. Results of a path analysis (see Supplementary Table 1) showing the effects of species diversity on multitrophic interactions. Solid and dashed arrows connecting boxes show significant and non-significant interactions, respectively. The numbers in the boxes represent the standardized path coefficients (beta weights) and the numbers in the circles represent the standardized partial regression coefficients (beta weights) for the species diversity terms (x1–x9). However, horizontal species loss may also affect other trophic levels and extrapolation to other systems (see Supplementary Table 1 and Supplementary Table 2).

2.2.12 Oberirdisch-Unterirdische Interaktionen

Im November 2012 folgte der erst 32-jährige **Nico Eisenhauer** einem Ruf an die FSU Jena auf die Professur für Terrestrische Ökologie und baute hier die AG Oberirdisch-Unterirdische Interaktionen auf (Abb. 70). Er kam von der University of Minnesota (USA), wo er am BioCON-Experiment (**Biodiversity, CO₂, Nitrogen**) die unterirdische Lebewelt untersucht hatte. Um das Funktionieren von Ökosystemen besser verstehen und erklären zu können, müssen Boden und überirdische Vegetation nicht isoliert voneinander (wie bisher), sondern in ihren Wechselwirkungen untersucht werden. Im Mittelpunkt stehen dabei zahlreiche dominante Gruppen an Bodenorganismen – insbesondere Regenwürmer, Milben, Springschwänze, Fadenwürmer und Mikroben – mit ihren Wechselbeziehungen sowohl zur Bodenumwelt als auch zu den Pflanzen (Abb. 71), und dies im Kontext der Biodiversitäts- und Klimawandelforschung. Die entsprechenden Studien wurden vor allem im Jena-Experiment (VOGEL et al. 2013, *Global Change Biol.*), aber auch in den deutschen Baumdiversitätsexperimenten (Kreinitz und BIOTREE-FD, BIOTREE-SIMPLEX) (SCHWARZ et al. 2015, *Europ. J. Soil Biol.*) sowie in der für Langzeitstudien berühmten US-amerikanischen Biodiversitätsplattform von Cedar Creek in Minnesota durchgeführt (EISENHAUER et al. 2013, *PNAS*; STEINAUER et al., 2014, *Ecology*). Wo sonst in diesen Experimenten die größte Aufmerksamkeit der oberirdischen Pflanzenwelt galt, richtete Nico Eisenhauer oft als erster den Blick auch in den Boden.

Dabei deckten die Mitarbeiter, Doktoranden und Postdoktoranden in der sich in Jena rasch etablierenden AG ganz unterschiedliche Forschungsfelder ab: Simone Cesarz brachte ihre Kenntnisse zu verschiedenen direkten und indirekten Untersuchungsmethoden an Bodenorganismen ein, Jes Hines erstellte eine neuartige Interaktionsmatrix von Nahrungsbeziehungen aller im Jena-Experiment untersuchten Organismen, und Dylan Craven untersuchte in Meta-Analysen die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Stabilität von Ökosystemfunktionen (in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung in Leipzig). Und in Jena begannen Nathaly Ramirez, Katja Steinauer, Madhav Thakur und Christoph Dietrich ihre Doktorandenzeit. Viele dieser Arbeiten wurden nur möglich durch die tatkräftige Unterstützung der Technischen Angestellten am Institut Ilka Wolf, Silke Schroeckh, Sylvia Creutzburg und Gerlinde Kratzsch, und im Jena-Experiment durch die Hilfe des Gärtner-Teams mit Steffen Eismann, Steffen

Ferber, Silke Hengelhaupt, Ute Köber, Katja Kunze und Heike Scheffler (vgl. Anhang 2).

Auch konnte die Arbeitsgruppe nicht nur renommierte Wissenschaftler – wie Oswald Schmitz, Forest Isbell, Jim Grace und Ernst-Detlef Schulze – als Referenten im Institutskolloquium begrüßen, sondern in kurzer Zeit auch weitere fruchtbare Kooperationen und Forschungsfelder erschließen. So erfolgte 2013 in Zusammenarbeit mit Anne Ebeling in Remderoda die Etablierung einer JeNut-Fläche für das **Nutrient Network** (NutNet), einem weltweiten Netz von Flächen, auf denen die Rolle verschiedener Nährstoffe untersucht werden soll. JeNut wird sich – neben dem Jena-Experiment – zu einer weiteren experimentellen Plattform entwickeln, die das Institut für Ökologie international noch sichtbarer werden läßt.

Das Jahrhundert-**Hochwasser** im Juni 2013 überschwemmte auch das Jena-Experiment in der Saale-Aue und bot die einzigartige Gelegenheit, hierbei Zusammenhänge zwischen Pflanzendiversität und Stabilität von Ökosystemfunktionen nach einer solchen ephemeren Katastrophe zu untersuchen. Es zeigte sich, dass erhöhte Pflanzendiversität zwar mit erhöhter Biomasseproduktion, aber auch reduzierter Stabilität einhergehen kann, was verdeutlicht, dass Pflanzengemeinschaften sehr variabel auf Umweltereignisse reagieren können. In Zusammenarbeit mit Alexandra Wright (Bard College, USA; damals vom iDiv bezahlt) wurde geschlussfolgert, dass Stabilität allein nicht immer die wichtigste Eigenschaft ist, um das Funktionieren von Ökosystemen zu bewerten (WRIGHT et al. 2015, Nature Comm.).

Ein weiteres wichtiges Forschungsfeld sind die Auswirkungen eines **Biodiversitätsverlustes** auf Ökosystemfunktionen, zu dem neue Publikationen immer kritisch und intensiv diskutiert wurden. Aus einer solchen Diskussion heraus entstand eine AG-übergreifende Veröffentlichung mit Markus Bernhard-Römermann und Jan Engel, in der eine Meta-Analyse von VELLEND et al. (2013, PNAS) kommentiert wurde, nach der Biodiversität kleinräumig nicht abnimmt und die das Fehlen lokaler Ansätze vermerkt. Dabei wurde herausgestellt, dass gerade kleinräumige Experimente das erste und oft auch einzige Mittel sind, um Änderungen zu untersuchen, und dass diese Ergebnisse zur Theoriebildung unbedingt notwendig sind. Zudem lieferte die Auswahl an Studien ein eher verzerrtes Bild der Realität. Da Ergebnisse aus der Forschung immer wieder dazu genutzt werden, Politiker und Interessenvertreter zu informieren und geeignete Schutzmaßnahmen vorzuschlagen, ist es umso bedeutungsvoller, derartig komplexe Zusammenhänge richtig abzubilden (WRIGHT et al. 2014, Proc. Peer. Sci.). Während eines einwöchigen Blockpraktikums mit Masterstudenten und

AG-Mitgliedern konnte ein Manuskript erarbeitet werden, welches noch am Ende der Praktikumswoche eingereicht wurde, ein bislang einmaliger publizistischer Coup am Institut. Dabei ging es um die Verbesserung einer vielgenutzten **Methode**, der Bait-Lamina Strips, zur Bestimmung der biologischen Aktivität im Boden (EISENHAUER et al. 2014, Appl. Soil Ecol.).

Im April 2014 folgte Nico Eisenhauer einem Ruf der Universität Leipzig an das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), was zu einem frühen Ende der AG in Jena führte. Doch bleibt der nunmehrige Lehrstuhl für Experimentelle Interaktionsökologie dem Institut weiter verbunden, steckt doch Nico Eisenhauer als designierter Sprecher des Jena-Experiments viel Kraft und Energie in die Weiterführung dieser Forschungsplattform.

SIMONE CESARZ, NICO EISENHAUER



Abb. 70: Prof. Dr. Nico Eisenhauer, von seiner AG Oberirdisch-Unterirdische Interaktionen auf Händen getragen, 13.02.2013. Foto: Institutsarchiv.



Abb. 71: Duftstoffmessung in einem Pflanze-Boden-Experiment von Nathaly Ramirez zusammen mit dem MPI Chemische Ökologie. Foto: Archiv Cesarz.

2.2.13 Funktionelle Vegetationsökologie

Nach Stationen als Wissenschaftlicher Angestellter an den Universitäten München (TU), Göttingen, Frankfurt/M. und Regensburg kam **Markus Bernhardt-Römermann** (Abb. 72) im Herbst 2013 nach Jena an das Institut für Ökologie, wo er seitdem die AG Funktionelle Vegetationsökologie aufbaut.

Im Forschungsfokus stehen die Auswirkungen von Landnutzung, Nährstoffversorgung (bes. Stickstoffeinträge) und Klimawandel auf die Vegetationszusammensetzung und (funktionelle) Biodiversität von Ökosystemen (Abb. 73). Es werden Untersuchungen auf Artebene, aber auch unter Einbeziehung funktioneller (morphologischer, anatomischer und ökophysiologischer) Merkmale durchgeführt. Primäres Ziel ist es, die den Vegetationsveränderungen zu Grunde liegenden ökologischen Prozesse besser zu verstehen. Die Untersuchungen decken verschiedene räumliche und zeitliche Ebenen ab, und schließen Dauerbeobachtungen, Gradientenanalysen, Raum-für-Zeit-Substitutionen sowie Experimente unter Einbeziehung von Boden-, Klima- und Landnutzungsparametern ein. Neben einem Schwerpunkt auf temperaten Wäldern (weltweit) werden auch Offenland- und tropische Savannen-Ökosysteme in Westafrika (Burkina Faso, Benin) untersucht.

In einer kürzlich am Institut entstandenen Arbeit (BERNHARDT-RÖMERMANN et al. 2015, Global Change Biology) wurde in einer Meta-Analyse von 39 Studien aus europäischen Wald-Ökosystemen gezeigt, dass sich entgegen aller Erwartung die Pflanzenvielfalt in der Krautschicht in den zurückliegenden Jahrzehnten im Mittel nicht verändert hat. Allerdings kam es auf lokaler Ebene durchaus zu gravierenden Veränderungen: so gibt es Regionen, in denen die Artenvielfalt in den vergangenen Jahren deutlich gesunken ist, während sie in anderen Regionen zugenommen hat. Wichtig ist, zwischen lokaler und überregionaler Ebene zu unterscheiden: lokalen Faktoren, wie der Standorthistorie (z. B. Vorbelastung durch Stickstoffeinträge) und den Lichtverhältnissen – die wiederum in Folge menschlicher Nutzung variieren können – stehen großräumig wirkende Faktoren wie die Stickstoffdeposition oder die Wilddichte gegenüber. Die genauere Untersuchung der Auswirkungen von Wildverbiss und forstlicher Nutzung stehen bei kleinräumigen Untersuchungen, wie der Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen und Wiederholungsaufnahmen in Naturwaldparzellen (aus der Nutzung

genommenen Wäldern) Thüringens im Vordergrund. So fanden 2015 erste Untersuchungen mit der von M. Bernhardt-Römermann eingebrachten Probekreis-Methode in Kiefern- und Eschenbeständen im Jenaer Pennickental statt, bei denen sowohl Waldstruktur- und Vegetationsdaten als auch – in Zusammenarbeit mit Kollegen – Prädationsraten und etliche Tiergruppen erfaßt wurden (dazu 14 Bachelorarbeiten).

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen wiederum in globale Wissenschaftsnetzwerke ein, um generelle Trends der Vegetationsveränderung zu erkennen.

MARKUS BERNHARDT-RÖMERMANN

Ökologie

BIODIVERSITÄT DER PFLANZEN

Universität Jena

Große botanisch-ökologische Exkursion
Süd-Frankreich (Provence, Côte-d'Azur)
19. bis 30. Mai 2015

Worum es geht:
 Naturerleben der südfranzösischen Ökosysteme

Camargue (Rhönemündung/ Naturschutz - Reisianbau - Salzgewinnung)
 Crau (Trockensteppe/ Naturschutz - Renaturierungsökologie)
 Alpilles (Hartlaubvegetation/ Gestrübe und Macchie - Olivenanbau)
 Luberon (Landnutzung/ Weinbau - Lavendelanbau)
 Aix-en-Provence (Waldwirtschaft/ Feuerökologie)
 Côte d'Azur (Calanques / Steilufer - Küste - Weinbau)

Gemeinsame Exkursion der Institute für Ökologie und Spezieller Botanik



Abb. 72: PD Dr. Markus Bernhardt-Römermann, Leiter der AG Funktionelle Vegetationsökologie. März 2015. Foto: Archiv Bernhardt-Römermann.



Abb. 73: Die Entwicklung ungenutzter, totholzreicher Wälder, ein Forschungsthema der AG Funktionelle Vegetationsökologie. Nationalpark Bayerischer Wald, 20.10.2012. Foto: M. Bernhardt-Römermann.

Wilfried Schönborn
Ute Risse-Buhl

2. vollständig
überarbeitete Auflage

Lehrbuch der Limnologie



Schweizerbart · Stuttgart

2.3 Aquatische Ökologie

Durch die wendebedingte Auflösung der Akademie der Wissenschaften der DDR kam am 01. Juli 1993 ein Großteil der Abteilung Limnologie, welche bis dahin zum Jenaer Zentralinstitut für Mikrobiologie und Experimentelle Therapie gehört hatte, als eigenständige Arbeitsgruppe unter der Leitung von **Wilfried Schönborn** (Abb. 74) an das Institut für Ökologie und damit administrativ an die FSU Jena. Dadurch wurde die bisher ausschließlich terrestrische Ökologie um einen aquatischen Teil erweitert, dessen Forschungsschwerpunkt die Fließgewässer waren. Auch **Dietrich Flößner**, der international bekannte Spezialist für Branchiopoda, Cladocera und Copepoda im Süßwasser, kam pro forma mit ans Institut, doch nutzte er die Zeit bis zu seinem Ruhestand (1996) mit der weiteren Aufarbeitung seiner jahrzehntelangen Forschungsergebnisse (u.a. FLÖSSNER 2000, Haplopoda und Cladocera Mitteleuropas, Leiden, 428 S.).

Die AG Limnologie verfügte durch ihre Vorgeschichte über eine weit zurückreichende **Literatursammlung**, die – finanziert aus Mitteln eines Hochschulsonderprogramms – unter Leitung von Anita Lange aufgearbeitet und für wissenschaftliche Anfragen verfügbar gemacht wurde. Dazu wurden von ihr und Heidrun Hopfgarten ca. 10.000 wissenschaftliche und historische Sonderdrucke (mit dem Schwerpunkt auf Thüringer Gewässern) katalogisiert.

2.3.1 Ökologie von Fließgewässern

Die Forschungen der AG Limnologie umfassten die gesamte Bandbreite von der Ökologie von Mikroorganismen und Protozoen bis zur Dynamik von Algen, wirbellosen Tieren und Fischen (Abb. 75), bezogen aber auch ökotoxikologische Aspekte (Nähr- und Schadstoffbelastung) mit ein. Sie konzentrierten sich zum einen auf die mittlere Saale und ihre Nebengewässer im Jenaer Raum, zum anderen auf die Ilm sowie die Schwarza und später auf die Elbe. Im Zeitraum 1994-2006 entstanden dazu >30 Qualifizierungsarbeiten, davon 7 Dissertationen. Wilfried Schönborn, der 1998 altersbedingt in den Ruhestand ging, trug in seiner Amtszeit am Institut für Ökologie maßgeblich zum Aus- und Aufbau der Arbeitsschwerpunkte Fließgewässerökologie und Protozoologie bei. Unter seiner Anleitung entstanden im Bereich der **mittleren Saale** die folgenden Studien: Lebensräume und Dynamiken makrozoobenthischer Gruppen (Mario Blei 1995, Falko Wagner 1998), Einträge von Arthropoden und Falllaub in die Leutra (Jens Jacob 1996,

Jürgen Baumert 1999), Diatomeen-Verteilung in Abhängigkeit von der Strömungsdynamik (Sandra Leistner 1998), Schutzwürdigkeit sowie Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen im Gembdenbach (Maiko Klosch 1998), Einfluss von Nebenflüssen auf die Phytoplankton-Dynamik der Saale (Susanne Salzmann 1999) und Hyporheal von Bächen im Muschelkalk (Frank Mattiasch 1999). Außerdem wurde eine Reihe angewandter Probleme bearbeitet: Einsatz des Wasserfloh *Daphnia magna* zur Klärung kommunaler Abwässer (Steven Naujoks 1998), Bakteriologie und Ökotoxikologie in Steinach, Saale und Pleiße (Manuela Erbse 1998), Populationsstruktur und Nahrungswahl der Plötze bei hohem Fraßdruck durch andere Fischarten (Uwe Kahl 1999), Rolle des Edelkrebse in kleineren Fließgewässern (Wolfgang Schmalz 1999) und Einfluss eines Wehres auf die Drift aquatischer Insekten (Andrea Lange 2004). Aus seinen vorherigen Untersuchungen bei Bonn publizierte Kurt JAX als Postdoktorand in seiner Jenaer Zeit (1993-1996) noch Arbeiten zum Einfluss des Substratalters auf Protistengemeinschaften (1996, Hydrobiologia) und zur Rolle beschalteter Amöben im Aufwuchs (1997, Europ. J. Protist.).

Im Zeitraum 1993-2005 bestimmten vier größere Projekte die limnologische Forschung am Institut.

(1) Modellhafte Erarbeitung ökologisch begründeter Sanierungskonzepte für kleine Fließgewässer am Beispiel der Ilm

Das Wegbrechen von Industriestandorten und damit auch ihrer Abwässer im Einzugsgebiet der Ilm eröffnete die Möglichkeit, deren Renaturierung forschend zu begleiten. Dies geschah im Rahmen eines BMBF-Verbundprojekts (1991-1994; Schönborn 1995, Bericht), das die limnologische Arbeitsgruppe mit in das Institut einbrachte, und welches (von anderen Partnern) die ökologische Entwicklung von Hunte, Lahn, Stör, Vils und Warnow einschloss. Die AG Limnologie nahm sich die Ilm vor, wobei es vor allem um ihren Chemismus, Stoffhaushalt und Saprobiezustand ging (mit Ludwig Krey, Siegfried Polz, Gottfried Proft, Ullrich Möller und Gisela Guthke). Begleitend dazu wurde der Abbau Polyzyklischer Aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) in Ilm, Saale und Unstrut untersucht (Nanette Marr 1994). Praxisrelevante Ergebnisse zu einem Sanierungskonzept der Ilm faßte Schönborn (1996, Beitr. Ökol.) zusammen, und sie gingen in das DVWK-Merkblatt 240/1996 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) ein.

(2) Regenerations- und Funktionsanalyse degradierter Ökosysteme

Es schloss sich im Rahmen eines Graduiertenkollegs ein umfangreicheres,

DFG-finanziertes Verbundprojekt zur „Regenerations- und Funktionsanalyse degradierter Ökosysteme“ (1996-2005) an, in dem eine ökologisch begründete Sanierungskonzeption unter Einbeziehung des Uferbereiches und der angrenzenden Flussauen der **Ilm** erarbeitet wurde, zu der sowohl limnische als auch terrestrische Aspekte untersucht wurden. Im Einzelnen ging es um Mosaikstrukturen, Stoffhaushalt und Dynamik verschiedener Flussabschnitte vom Oberlauf bis zur Mündung, um daraus mögliche Prozesse der Renaturierung abzuleiten. Für die Restaurationsökologie konnten Ergebnisse zur Verifizierung eines dynamischen Umweltfiltermodells herangezogen werden (FATTORINI & HALLE 2004, Assembly Rules). Zudem wurden neue Bewertungskriterien und Steuermöglichkeiten erarbeitet, mit denen der Grad der Naturnähe eines solchen Fließgewässers beurteilt werden konnte. In Detailstudien wurde die zoozönotische Längszonierung der Ilm anhand von Köcherfliegen untersucht (Eva-Barbara Meidl 1997), während das Gros der Ergebnisse in vier Dissertationen einfluss. Ausgehend von der Besiedlungsdynamik benthischer Wirbelloser (Paul Elser 2001, Diss.) wurden die Auswirkungen von Störungen auf benthische Lebensgemeinschaften modelliert (Mona Vetter 2002, Diss.). Weiterhin sind die Retention Partikulärer Organischer Substanzen (POM) in Abhängigkeit von der anthropogen geänderten Gewässerstruktur (Falko Wagner 2003, Diss.), die Bedeutung der Kolmation (Verringerung der Durchlässigkeit) für die hyporheische Zone in der Schwarza (MEIDL & SCHÖNBORN 2004, Assembly Rules) und die Auswirkungen einer niedrigen Staustufe auf Makrozoobenthos-Zönosen und POM-Speicherung untersucht worden (Jens Arle 2005, Diss.). Eine Literaturstudie über die Saale, durchgeführt von Stefan Schubert (2001, Akad. gemeinnütziger Wiss. Erfurt), über anthropogene Nutzungsformen der letzten Jahrhunderte und deren Auswirkungen auf das Fließgewässerökosystem ergänzten das Wissen um die Ökologie dieses Flusses. Mit Blick auf die **Beprobungsmethoden** entwickelte Falko Wagner einen Bottom-Sampler, der die Sediment-Zusammensetzung genauer als der herkömmliche Hess-Sampler erfaßte (WAGNER et al. 2003, Hydrobiologia). In ihrer Diplomarbeit verglich Heidi Domhardt (2006) die Entnahme von Makroinvertebraten mit Handpumpen versus Freeze coring (Abb. 76).

Im terrestrischen Projektteil (Koord. Steffen Malt) wurden die Ilm-nahen Biotopkartiert (Ronald Süß) sowie die Vegetation der Ilmtalwiesen (Christiane Roscher 1993) und der unmittelbaren Uferzone (Eva Krummscheidt) erfaßt. Im Zusammenhang damit wurden die Großschmetterlinge (87 Arten) der Ilm-Aue, deren Auftreten in Abhängigkeit von Umweltfaktoren und 1992/93 die Ressourcennutzung blattfressender Schmetterlingslarven in fünf Transekten von der Quelle bis zur Mündung erforscht (Christoph SCHÖNBORN 1998; 1999, Z. Ökol. Naturschutz, 2000, Beitr. Ökol.).



Abb. 74: Dr. habil. Wilfried Schönborn leitete von 1992-1998 die AG Limnologie.
Foto: AG-Archiv.



Abb. 75: Elektrofischung in einem thüringischen Fluss. Foto: Falko Wagner.



Abb. 76: Freeze-core sampler im Einsatz mit Falko Wagner in der Ilm, Sommer 2002. Foto: B. Klein.



Abb. 77: Frau Doz. Dr. Heike Zimmermann-Timm, Leiterin der AG Limnologie 1999-2002, bei der Bearbeitung von Probenmaterial im Nasslabor des Forschungsschiffes „Meteor“, 1999. Foto: R. Koppelman.

(3) Beweissicherung und Monitoring für die Trinkwassertalsperre Leibis/Lichte

Dieses Projekt im Rahmen des letzten großen Trinkwassertalsperrenprojekts im Thüringer Schiefergebirge am Bach Lichte ergänzte die Forschung zu Störungen und Stressoren in Fließgewässern. Unter Federführung und mit viel Eigeninitiative von Eva-Barbara Meidl wurden im Vorfeld des Baues ein Beweissicherungsprogramm (1997-1998) für die Makroinvertebraten und die Sedimentbeschaffenheit der Sohloberflächen und des hyporheischen Interstitials durchgeführt sowie ein Monitoring-Programm entwickelt. Die zusammengefaßten Ergebnisse finden sich in mehreren Tagungsberichten (DGL, DZG und DGaaE) sowie in MEIDL & SCHÖNBORN (2004, Assembly Rules).

(4) Struktur und Dynamik pelagischer, benthischer und aggregat-assoziiertes Biozönos sowie ihre Wechselwirkungen und Stoff-Flüsse

Mit der Ernennung zur Hochschuldozentin und der damit verbundenen AG-Leitung (1999-2002) durch die von der Univ. Hamburg kommende **Heike Zimmermann-Timm** (Abb. 77) wurden die Erfahrungen in der Fließgewässerforschung um große Fließgewässer am Beispiel der **Elbe** erweitert. Das BMBF-Projekt „Struktur und Dynamik pelagischer, benthischer und aggregat-assoziiertes Biozönos sowie ihre Wechselwirkungen und Stoff-Flüsse“ befasste sich – in enger Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg – mit den Sediment-Freiwasser-Interaktionen. Vier Promovierende und drei Diplomanden waren in das Projekt einbezogen, das auch Kooperationen mit dem Institut für Gewässerökologie in Berlin und dem MPI Marine Mikrobiologie in Bremen einschloss. Im Rahmen von Längs- und Querschnittsuntersuchungen in der Elbe ging es im Makrobereich um Nahrungsökologie von Kleinkrebsen im Potamal (Mirko Lunau 2001, Hamburg/Jena), Längs- und Querverteilung planktischer Organismen (HOLST et al. 2002, Int. Rev. Hydrobiol.), räumliche Verteilung der pelagischen Ciliaten von der Quelle bis zur Mündung der Elbe in Abhängigkeit von der Turbulenz (Ute Risse-Buhl 2004, Diss.) sowie um die Bedeutung von Uferstreifen als Retentionsgebiete für Rotatorien (ZIMMERMANN-TIMM et al. 2007, Hydrobiol.). Besonderes Augenmerk fanden Schwebstoffuntersuchungen in den Bühnenfeldern der Mittel-elbe: mit Studien an Zweiflüglern (Andreas Plank 2003), am Phytoplankton (Cindy Tefs 2004) sowie an Wimper- und Geißeltierchen (Sandra Kröwer, unveröff.; Marlene Willkomm, Diss. Univ. Köln). Im Mikrobereich liefen Forschungen zur Charakterisierung, Dynamik und Bedeutung von **Aggregaten** in Fließgewässern (ZIMMERMANN-TIMM 2002, Int. Rev. Hydrobiol.), zu Mikrobengemeinschaften und Atmungsraten

an Mikroaggregaten (PLOUG et al. 2002, Aquatic Microbiol. Ecol.), zu Bakterien und heterotrophen Flagellaten in Aggregaten (WÖRNER et al. 2002, Int. Rev. Hydrobiol.), zum Einfluß der Kanaltopographie auf Aggregate in der Elbmündung (ZIMMERMANN-TIMM et al. 2002, Arch. Hydrobiol.) sowie zur Mikrobenaktivität im Freiwasser (KARRASCH et al. 2003, Acta Hydrochem.). Ein Großteil dieser Ergebnisse fand seinen Niederschlag zudem in 5 Buchkapiteln und 12 Berichten in Projekt- und Tagungsbänden.

2.3.2 Stehgewässer und anderweitige Lebensräume

Im Gegensatz zu den umfangreichen Untersuchungen der früheren Forschungsstelle (mit 5 Arbeitsgruppen) und späteren Abteilung Limnologie (der AdW) im Stechlinsee und in benachbarten Seen (1959-1992) blieben Stehgewässer nunmehr nur ein Nebenschauplatz der limnologischen Forschung, auf dem nur wenige Arbeiten entstanden: so zum Phytoplankton in der Versuchsanlage Dagowsee in Brandenburg (Ulrike Siedel 1996) und zur Überwachung eines Badeteichs in Pottenstein (Pia Öhlund 2003), letztere in enger Kooperation mit der Hamburger Firma KLS – Konzepte, Lösungen und Sanierungen. Ein weiterer Aspekt war die Ökologie temporärer Kleingewässer, mit Studien zu Wasserkäfer-Zönosen in Abhängigkeit von abiotischen Faktoren auf dem Jenaer Windknollen (Jens Arle 2000) sowie mit den Arbeiten von Doreen Seidl (2002) und Clemens Schweitzer (2003). Mit Bezug zum Artenschutz wurde das Wanderverhalten von Erd- und Knoblauchkröte untersucht (Iris John 2003). Hinzu kamen noch Untersuchungen in Salzlacken am Neusiedlersee (ZIMMERMANN-TIMM & HERZIG 2006, Proc. Int. Assoc. Theor. Appl. Limnol.; ZIMMERMANN-TIMM 2007, 2011, Buchbeiträge). In Kooperation mit meeresbiologischen Instituten entstanden Studien über den Süßwassereinfluss auf Küstengebiete am australischen Great Barrier Reef (Zimmermann-Timm, unveröff.) sowie zur Dynamik und Biomasse von Bakterien und Mesozooplankton in den Tiefen des NW-Indiks (KOPPELMANN et al. 2005a, b, Deep Sea Res.).

Ein besonderes, die wissenschaftliche Vernetzung innerhalb des Instituts für Ökologie beförderndes Projekt widmete sich den fossil-terrestrischen und -limnischen Lebensgemeinschaften im mesozooischen Bernstein aus den nördlichen Kalkalpen, die von Wilfried Schönborn, Alexander Schmidt, Heinrich Dörfelt und Ursula Schäfer initiiert und durchgeführt wurden (Alexander Schmidt 2003, Diss. ff. – vgl. Kap. 2.2.7).

HEIKE ZIMMERMANN-TIMM, GÜNTER KÖHLER, WILFRIED SCHÖNBORN (†), UTE RISSE-BUHL, EVA-BARBARA MEIDL

Altered carbon turnover processes and microbiomes in soils under long-term extremely high CO₂ exposure

Felix Beulig^{1*}, Tim Urich^{2,3}, Martin Nowak⁴, Susan E. Trumbore⁴, Gerd Gleixner⁴, Gregor D. Gilfillan⁵, Kristine E. Fjelland⁵ and Kirsten Küsel^{1,6}

There is only limited understanding of the impact of high $p(\text{CO}_2)$ on soil biomes. We have studied a floodplain wetland where long-term emanations of temperate volcanic CO₂ (mofettes) are associated with accumulation of carbon from the Earth's mantle. With an integrated approach using isotope geochemistry, soil activity measurements and multi-omics analyses, we demonstrate that high (nearly pure) CO₂ concentrations have strongly affected pathways of carbon production and decomposition and therefore carbon turnover. In particular, a promotion of dark CO₂ fixation significantly increased the input of geogenic carbon in the mofette when compared to a reference wetland soil exposed to normal levels of CO₂. Radiocarbon analysis revealed that high quantities of mofette soil carbon originated from the assimilation of geogenic CO₂ (up to 67%) via plant primary production and subsurface CO₂ fixation. However, the preservation and accumulation of almost undegraded organic material appeared to be facilitated by the permanent exclusion of meso- to macroscopic eukaryotes and associated physical and/or ecological traits rather than an impaired biochemical potential for soil organic matter decomposition. Our study shows how CO₂-induced changes in diversity and functions of the soil community can foster an unusual biogeochemical profile.

2.3.3 Aquatische Geomikrobiologie

Mit der Berufung von **Kirsten Küsel** (Abb. 78) auf eine apl. Professur für Limnologie (2004) und ihrer Ernennung zur W3-Professorin auf einen Lehrstuhl für Aquatische Geomikrobiologie (2014) veränderte sich der Forschungsfokus. In seinem Kern ging es nunmehr darum, mit Methoden der Mikrobiologie, der molekularen mikrobiellen Ökologie und mit biogeochemischen Analysen die Struktur, Diversität und Funktion von mikrobiellen Gemeinschaften in Element- und Stoffkreisläufen (Eisen, Mangan, Stickstoff und Kohlenstoff) in aquatischen und (semi)terrestrischen Lebensräumen aufzuklären. Während auf dem Gebiet terrestrischer und semiterrestrischer Lebensräume in den vergangenen 11 Jahren Böden, Niedermoore und Mofetten untersucht wurden, reichte das Spektrum aquatischer Lebensräume von Flüssen und Seen bis zum Grundwasser. Auf dem Forschungsgebiet der Karstaquifere, bearbeitet im Rahmen des Sonderforschungsbereiches AquaDiva, werden Aspekte der Untersuchung terrestrischer (‘terrestrial subsurface’) und aquatischer Lebensräume (Grundwasser) verknüpft.

Eine zunehmend wichtige Rolle spielte bei den genannten Untersuchungen auch die mikrobielle Biodiversität, welche – insbesondere auch im Zuge der allgemein stattfindenden rapiden methodischen Entwicklung in diesem Fachgebiet – einer ständigen Veränderung und Erweiterung unterworfen war. Grundlage ihrer Erfassung in Umweltproben (Boden, Grundwasser, etc.) ist die Sequenzanalyse phylogenetischer bzw. funktioneller genetischer Marker und, darauf basierend, eine taxonomische Zuordnung der gewonnenen Sequenzen. Hier werden in der Regel Gene, die für 16S ribosomale RNA codieren, als phylogenetische Marker herangezogen. Während anfangs die Erstellung von Klonbibliotheken erste Einblicke in die Diversität mikrobieller Gemeinschaften durch Analysen von ca. 100 Sequenzen ermöglichte, wurden seit 2011 zunehmend Verfahren des „Next Generation Sequencing“ verwendet, welche die Analyse von >50 000 Sequenzen pro Probe erlauben und damit eine viel tiefere und höher aufgelöste Erfassung der mikrobiellen Diversität ermöglichen. Durch die Anbindung an das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), das durch Kirsten Küsel als Ko-Direktorin für den Standort Jena repräsentiert ist, erfuhr die Biodiversitätsforschung in ihrer Arbeitsgruppe seit 2012 eine weitere Intensivierung im Rahmen diverser Kooperationen mit Wissenschaftlern des iDiv-Konsortiums (vgl. Kap. 1.5).

Als weitere Aspekte der Biodiversitätsforschung kamen in den letzten Jahren Forschungsprojekte zur mikrobiellen Kommunikation über chemische Botenstoffe/Metaboliten sowie Metagenom- und Metatranskriptom-Analysen hinzu, welche die Erfassung der taxonomischen Diversität und des genetischen metabolischen Potentials ganzer mikrobieller Gemeinschaften (Metagenomik) sowie die aktiv vertretenen Funktionen und Prozesse (Metatranskriptomik) abbilden. Diese Neuausrichtung erforderte eine stärkere Anbindung an die Chemische Ökologie und die Bioinformatik. Im Laufe eines Jahrzehnts und im Verbund eines breiten Forschungsnetzwerkes, unter anderem durch die Anbindung an iDiv sowie die Leitung bzw. Mitwirkung in zwei Sonderforschungsbereichen (AquaDiva, ChemBioSys), einer Forschergruppe (Dynamik von Bodenprozessen bei extremen meteorologischen Randbedingungen) und vier Graduiertenprogrammen (Alteration and element mobility at the microbe-mineral interface, Jena School for Biogeochemical Cycles, Young biodiversity research training group - yDiv) entstanden aus 64 Qualifizierungsarbeiten (davon 13 Promotionen) mehr als 80 Publikationen zu fünf nachfolgend skizzierten Hauptforschungsthemen.

Biofilme in aquatischen Ökosystemen

Die durch Heike Zimmermann-Timm eingebrachten Forschungen an aggregat-assoziierten mikrobiellen Gemeinschaften wurden unter Kirsten Küsel an Biofilmen weitergeführt. Derartige mehrschichtige biologische Systeme auf der Mikroskala bilden sich durch Ansiedlung von Mikroorganismen (Bakterien, Algen, Pilze und Protozoen) an Grenzflächen vor allem im wässrigen Milieu. Ihre Bedeutung besteht – insbesondere in kleinen Fließgewässern wie der intensiv untersuchten Ilm – darin, dass in Assoziation mit Biofilmen der größte Teil des Kohlenstoff-Umsatzes des Gewässers (aus autochthonen und allochthonen Quellen) durch mikrobielle Aktivitäten stattfindet (AUGSPURGER et al. 2008, *Limnol. Ocean.*). Dabei werden beispielsweise an Wehren bei herabgesetzter Fließgeschwindigkeit Partikuläre Organische Substanzen (POM) länger zurückgehalten, und durch die Förderung der Entstehung von Biofilmen in diesen Bereichen und den darin ablaufenden Nährstoffumsetzungen wird letztlich der Abbau dieser organischen Substanzen beschleunigt (POHLON et al. 2007, *Restor. Ecol.*), wenngleich dabei von dynamischen Prozessen im Sediment überlagert (SPÄNHOF et al. 2007, *Aquatic Sci.*). Freilandexperimente zeigten, dass die Bildung von Biofilmen (an versenkten Objektträgern) bereits innerhalb einer Stunde einsetzte, wobei die in der initialen Besiedlung dominierenden Bakterien und Grünalgen anfangs vor allem autochthone anorganische

C-Quellen nutzten (POHLON et al. 2010, FEMS Microbiol. Ecol.). In Laborexperimenten konnte im Strömungskanal mittels stabiler Isotope in Inkubationen mit $^{13}\text{CO}_2$ gezeigt werden, dass mehr als die Hälfte des markierten Kohlenstoffs in die Biomasse von autotrophen Grünalgen, Cyanobakterien und Diatomeen im Biofilm eingebaut wurde. Etwa ein Drittel des markierten Kohlenstoffes wiederum fand sich in einer Spezies beschalter Amöben, die sich von diesen Bakterien und Algen ernährte (RISSE-BUHL et al. 2012, FEMS Microbiol. Ecol.). Eine wichtige C-Quelle in entstehenden epilithischen Biofilmen war dabei folglich die Primärproduktion, wobei starke Strömung wiederum Abbauraten verstärkte (AUGSPURGER & KÜSEL 2010, Aquatic Sci.). Weitere Studien zeigten die Auswirkungen der Strömungsgeschwindigkeit und Sedimentation auf die Struktur von Ciliaten-Gemeinschaften und auf mikrobielle Nahrungsnetze innerhalb der Biofilme (Anne Huchel 2006; Ute Risse-Buhl 2008, Diss.) sowie auf deren Besiedlungsdynamik und mikrobielle Aktivität (Andrea Scheibe 2007; Elisabeth Pohlen 2009, Diss.). In Fließzellen-Experimenten konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass Wimpertierchen verschiedener Ernährungstypen die Größe und Raumstruktur von Biofilmen derart veränderten, dass eine bessere Nährstoffverfügbarkeit gewährleistet war (BÖHME et al. 2009, FEMS Microbiol. Ecol.; RISSE-BUHL & KÜSEL 2009, Eur. J. Protistol.; RISSE-BUHL et al. 2009, Aquat. Microb. Ecol.). Als weiterer Aspekt wurde die Nitrifikationsaktivität von Biofilmen in Fließgewässern anhand von Fließrinnenexperimenten unter Laborbedingungen untersucht. Bei verschiedenen Temperaturen und Ammonium-Konzentrationen dominierten in den Biofilmen unterschiedliche Gruppen von Ammonium-oxidierenden Bakterien bzw. Archaea (AVRAHAMI et al. 2011, Appl. Environm. Microbiol.), wobei überdies unter den verschiedenen experimentellen Bedingungen im Laufe von drei Monaten eine starke Veränderung der ursprünglichen Diversität und Zusammensetzung dieser Gemeinschaften festzustellen war (HERRMANN et al. 2011, Appl. Environm. Microbiol.).

Mikrobielle Prozesse in Mooren und Mofetten

Vor dem Hintergrund des Klimawandels rückten zunächst Moore und später Mofetten als großflächige bzw. punktuelle natürliche Freisetzer von Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan) in den Blick der Forschung. Diese Thematik, intensiv untersucht an **Niedermooren** im bayerischen Fichtelgebirge (Schlößnerbrunnen – Abb. 79), brachte Kirsten Küsel von der Universität Bayreuth mit ans Jenaer Institut, wo weitere Aspekte zu mikrobiellen Prozessen unter oxischen wie anoxischen Bedingungen bearbeitet wurden. Die hier durchgeführten Forschungsarbeiten fokussierten vor allem auf (a) vertikale Veränderungen von mikrobiellen Prozessen mit zunehmender Bodentiefe und

(b) Auswirkungen simulierter Sommertrockenheit und nachfolgender starker Regenereignisse auf Bodenprozesse und mikrobielle Gemeinschaften. So wurde mit zunehmender Tiefe (bis 50 cm) unter anoxischen Bedingungen eine hohe Diversität von Mikroorganismen nachgewiesen, die maßgeblich an der Sulfatreduktion im Moorkörper beteiligt waren (SCHMALENBERGER et al. 2007, Environm. Microbiol.). Die über drei Jahre untersuchte Biogeochemie des Porenwassers im natürlichen Moorkörper unter experimentell veränderten Trocken- und Regenphasen zeigte eine Anreicherung von Fe(III) und Sulfat als Folge langer Trockenperioden und deren wichtige Rolle als alternative Elektronenakzeptoren bei Sauerstoffmangel in vernässten Böden im Zuge nachfolgender starker Regenfälle, was in begleitenden Laborexperimenten durch Untersuchungen des Potentials zur Eisenreduktion bestätigt wurde (KÜSEL et al. 2008, Biogeosciences). Freilandexperimente unter den Bedingungen simulierter Trockenperioden zeigten ferner, dass derartige extreme Wetterereignisse die Kohlenstoffspeicherung in den Moorböden nicht veränderten (REICHE et al. 2009, J. Geophys. Res.). Experimentelle Wasserstandsabsenkungen zur Simulation sommerlicher Trockenperioden ließen die Nitratkonzentration in den oberen 10 cm des Moorbodens stark ansteigen. Nachfolgende Untersuchungen zur Nitrifikationsaktivität und zu den daran beteiligten Organismengruppen zeigten, dass die Gemeinschaften Ammonium-oxidierender Mikroorganismen im Moorboden durch Archaea dominiert wurden und dass diese auch für einen hohen Anteil der Nitrifikationsaktivität verantwortlich waren (HERRMANN et al. 2012, Environm. Microbiol.). In mehreren Arbeiten wurden die Diversität und die Rolle säuretoleranter mikroaerophiler Fe(II)-oxidierender sowie anaerober Fe(III)-reduzierender Bakterien für den Eisenkreislauf in Mooren untersucht (Anke Hädrich 2008, Diss.; Grit Torburg 2009; Claudia Lüdecke 2009; LÜDECKE et al. 2010, Environm. Microbiol.). Dabei erwiesen sich Fe(III)-Reduktion und Methanbildung als konkurrierende Prozesse im Moorboden (REICHE et al. 2008, FEMS Microbiol. Ecol.). Weitere Untersuchungen der Beziehungen zwischen Torfqualität und dem Potential zur CO₂- und Methanbildung resultierten in der Entwicklung eines Torfqualität-Indexes mit dem Potential, beispielsweise in Modellen zur Moor-Renaturierung oder zu auftauenden Permafrostböden, die Freisetzung von Treibhausgasen besser vorhersagen zu können (REICHE et al. 2010, Biogeosciences). Weitere Studien anaerober Prozesse des Kohlenstoffkreislaufes in fast ganzjährig wassergesättigten Bereichen des Schläppnerbrunnen-Niedermoors untersuchten Bildung und Umsetzung von Acetat als zentralem Metaboliten verschiedener mikrobieller Prozesse und wiesen die wasserstoff-abhängige Acetogenese ebenso wie die acetat-abhängige Bildung von Methan als

wichtige Prozesse aus. Untersuchungen der beteiligten Organismengruppen wiesen zudem auf die Anwesenheit bisher nicht beschriebener Gruppen von Acetogenen in dem schwach sauren Niedermoorboden hin (HÄDRICH et al. 2012, FEMS Microbiology Ecology).

Seit 2011 erfolgten Studien in der postvulkanisch aktiven Zone des Cheber Beckens (Nordwestböhmen), aus deren **Mofetten** (Abb. 80) große Mengen an Kohlendioxid freigesetzt werden. Untersuchungen der mikrobiellen Gemeinschaften in diesen Böden zeigten eine geringere Diversität der Gemeinschaften sowie einen deutlich erhöhten Anteil von Methanogenen und Vertretern der Acidobacteria im Vergleich mit nicht durch erhöhte CO₂-Gehalte beeinflussten Referenzböden sowie ein erhöhtes Potential zur Bildung von Acetat und Methan (Alexander Schulze 2011; BEULIG et al. 2014, ISME J.). Die kombinierte Anwendung von Verfahren der Isotopengeochemie, Bodenaktivitätsmessung sowie metagenomischen und metatranskriptomischen Analyse zeigte ferner, dass extrem hohe CO₂-Konzentrationen in diesen Mofettensystemen einen starken Einfluss auf Stoffwechselwege der Bildung und des Abbaus organischer Kohlenstoffverbindungen und damit auf den gesamten Kohlenstoffumsatz ausüben. Radiocarbonatierungen der Mofettenböden ergaben, dass bis zu 67% des organischen Kohlenstoffs aus geogenem CO₂ stammte. Der hohe Anteil an wenig zersetztem organischem Material in diesen Böden ließ sich weniger durch eine Beeinträchtigung des biogeochemischen Potentials für den Kohlenstoffabbau als vielmehr durch den Ausschluss meso- und makroskopischer Eukaryoten aufgrund der hohen CO₂-Konzentrationen erklären (Alexander Schulze 2011; Felix Beulig 2015, Diss.; BEULIG et al. 2014, ISME J., 2016, Nature Microbiol., S. 160). Die Auswirkungen von hohen CO₂-Ausgasungen auf biogeochemische Prozesse und die Kohlenstoffspeicherung in Böden sind von Bedeutung hinsichtlich von Verfahren, Kohlendioxid in den Untergrund zu verpressen, was zu Leckagen (unerwünschten Gasaustritten) führen könnte. Von daher fanden diese Arbeiten auch in der Presse ein großes Echo.

Mikroben im Eisen- und Mangankreislauf schwermetallbelasteter Lebensräume

Das ehemalige **Uranbergbauggebiet** um Ronneburg mit seinen schwermetallbelasteten Böden und Fließgewässern (bes. dem Gessenbach, Abb. 81) wurde zu einem weiteren Untersuchungsgebiet. Die Bedeutung mikrobieller Prozesse für Schwermetallmobilisierung und -festlegung zeigte sich hier z. B. dadurch, dass Schwermetalle (und Uran) an zwei geochemischen (Fe- bzw. Mn-reichen) Barrieren innerhalb der Böden zurückgehalten wurden



Abb. 78: Frau Prof. Dr. Kirsten Küsel formte aus der 2004 übernommenen AG Limnologie seit 2009 die AG und seit 2014 den Lehrstuhl für Aquatische Geomikrobiologie. Foto: Archiv Küsel.



Abb. 79: Niedermoor Schlöppnerbrunnen im bayerischen Fichtelgebirge, Forschungszelt der Universität Bayreuth. Foto: Archiv Küsel.



Abb. 80: Kohlendioxid-Austritte in einer überstauten Mofette im Cheber Becken, Nordwestböhmen, 2011. Foto: F. Beulig.



Abb. 81: Probenahme am Gessenbach bei Ronneburg, stark belastet durch Abwässer der Uranbergbauhalden, 2009. Foto: D. Akob.

(Sylvia Löffler 2007, Isabel Bayer 2007, Gina Freyer 2009; BURCKHARDT et al. 2009, Geochemistry). In diesen belasteten Böden waren auch heterotrophe Bakteriengemeinschaften an der Immobilisierung bzw. am Abbau von Uran und Nitrat beteiligt (AKOB et al. 2011, Appl. Environm. Microbiol.). Auch das Porenwasser der Böden wies teils hohe Konzentrationen an Schwermetallen und Radionukliden auf, wobei Fe(III)-Reduzierer deren Abbau beschleunigten (BURCKHARDT et al. 2010, Environm. Sci. Technol.). Die beteiligten Mikroorganismengruppen aus der Gattung *Geobacter* erwiesen sich in Kultur als überaus tolerant gegenüber hohen Konzentrationen von Kupfer, Cadmium, Kobalt, Nickel und Zinn (BURCKHARDT et al. 2011, Appl. Environm. Microbiol.). In weiteren Studien wurde die Rolle von Sulfat- und Fe(III)-reduzierenden Bakterien in diesen schwermetallkontaminierten Böden untersucht (Steffi Rothhardt 2008; SITTE et al. 2010, Appl. Environm. Microbiol.; Eva-Maria Burkhardt 2010, Diss.; Maria Fabisch 2014, Diss.). Die Sulfat-Reduzierer trugen durch Bildung von Metallsulfid-Ausfällungen (hier Nickel und Kobalt) zur Schwermetall-Festlegung bei (SITTE et al. 2013, Geomicrobiol.). In stark belasteten Bachsedimenten mit Eisenablagerungen fanden sich trotz hoher Schwermetallgehalte hohe Abundanzen mikroaerophiler, Eisen-oxidierender Vertreter der *Gallionellaceae* (FABISCH et al. 2013, Front. Microbiol., 2015, Geobiology). Weitere Untersuchungen gab es zur Gemeinschaftszusammensetzung und biogeochemischen Bedeutung Mn(II)-oxidierender Bakterien und Pilze (Andrea Beyer 2010, Felicitas Boie 2013, Katrin Seiler 2014; AKOB et al. 2014, Appl. Environm. Microbiol.). Hier zeigte sich unter anderem, dass dieser Oxidationsprozess von Begleitelementen wie Barium, Cadmium und Kupfer beeinflusst wurde (Daniel Raabe 2014; SITTE et al. 2015, Environm. Sci. Poll.).

Ein anderes Untersuchungsgebiet waren stark eisenhaltige [Fe(II)], nährstoffarme **Restseen des Braunkohletagebaus** in der Niederlausitz, deren als „iron snow“ (Eisenschnee) bezeichnete makroskopische Aggregate wesentliche Komponenten im Eisenkreislauf zwischen Freiwasser und Sediment darstellen. Für ihre Bildung sind neben chemischen auch mikrobiell katalysierte Redoxprozesse verantwortlich, in deren Folge Fe(III)-Hydroxide schließlich zu Boden sinken und dort, ebenfalls unter Beteiligung mikrobieller Prozesse, abgebaut werden. Hauptuntersuchungsgebiet war der „See 77“, der in zwei Bereiche mit unterschiedlichem Schichtungsverhalten (ganzjährig stabil bzw. mit Herbst-Frühjahrs-Durchmischung) aufgeteilt war. Die Bereiche wiesen ein oxisches Epilimnion und ein anoxisches Hypolimnion auf, die durch eine scharfe Redoxkline getrennt waren. In ihr wurde der „iron snow“ durch chemolithoautotrophe, eisenoxidierende Bakterien der

Gattungen *Acidimicrobium*, *Ferrovum*, *Acidithiobacillus* u. a. gebildet (REICHE et al. 2011, Limnol. Oceanogr.), sank dann in den anoxischen Bereich ab, wo Fe(III) durch Vertreter der Gattungen *Acidiphilum*, *Albidiferax* und *Geobacter* reduziert wurde (Ulrike Litzba 2009; Shipeng Lu, 2012, Diss.; LU et al. 2010, 2013, Appl. Environ. Microbiol.). Eine Quantifizierung der anorganischen Bestandteile im „iron snow“ gelang mittels Raman-Spektroskopie (CIOBOTĂ et al. 2013, Vib. Spectroscop.). Diese Untersuchungen wurden begleitet von der genaueren Charakterisierung dieser eisen-reduzierenden mikrobiellen Gemeinschaften und deren Abhängigkeit beispielsweise vom pH-Wert (BLÖTHE et al. 2008, Appl. Environm. Microbiol.; Marco Jung 2011, Sebastian Vetter 2013, Michaela Kempf 2014).

Ein sich aus dieser Forschungsthematik ergebender angewandter Aspekt war die Aufklärung von Struktur und Funktion säuretoleranter Eisenoxidierer und -reduzierer in technischen Systemen von Tagebau-Gebieten. Hier setzen sich Wasserleitungen und Pumpen durch Rost (Eisenoxide) rasch zu, welcher vor allem infolge Biomineralisierung, katalysiert durch eisenoxidierende Bakterien, entsteht. Hier wurde die Mikroben-Gemeinschaft in den Pumpensystemen qualitativ und quantitativ in Abhängigkeit von der Mineralzusammensetzung verschiedener Rostformen untersucht und mit geochemischen Parametern sowie der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften im Grundwasser verglichen (WANG et al. 2015, Water Res.).

Mikrobielle Kommunikation und Interaktion

Mikroorganismen leben und agieren in der Natur in komplexen Gemeinschaften, in denen sie viele Mechanismen entwickelt haben, um untereinander und mit ihrer Umwelt zu kommunizieren. Diese Kommunikation läuft über ausgeschiedene chemische Botenstoffe, die Reaktionen in anderen Mikroorganismen hervorrufen. Erst jetzt stehen uns viele neue Methoden zur Verfügung, um diese chemische Diversität zu erfassen und solche Interaktionen aufzuklären. Als Modellsystem dienen seit 2012 die erwähnten pelagischen Aggregate („iron snow“) aus den Braunkohlerestseen. Sie weisen aufgrund des hohen Eisengehalts und der extremen Standortbedingungen eine geringere Biodiversität auf als pelagische Aggregate aus unbelasteten Seen. Hier konnten die wichtigen Schlüsselorganismen isoliert (MORI et al., 2016, Microbiology) und in unterschiedlichen Kombinationen kultiviert werden. Mit Hilfe von chemometrischen Methoden wurde gezeigt, dass die filamentösen Eisenoxidierer Substanzen ausscheiden, die eine Aggregatbildung bei den sonst beweglichen Eisenreduzierern in Kontakt mit den Eisenoxidierern hervorrufen, wodurch der interne Eisenkreislauf beschleunigt wurde.

Mikroorganismen in unterirdischen Lebensräumen und Grundwasserleitern

Hierbei geht es um die mikrobielle funktionelle Diversität in unterirdischen Lebensräumen, insbesondere um die bislang erst wenig bekannte Rolle autotropher Mikroben im Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelzyklus in tieferen Gesteinsschichten der sogenannten kritischen Zone, die vom unteren Wurzelhorizont bis zu den oberflächennahen Grundwasserleitern, den **Aquiferen** (in teils unter 200 m Tiefe), reicht. Als Besonderheit unterirdischer terrestrischer Lebensräume wurden hier in einer ersten Studie zunächst mikrobielle Gemeinschaften und ihre Beteiligung an biogeochemischen Systemen in Karsthöhlen untersucht. In der beim Tunnelbau für eine Schienentrasse durch den Thüringer Wald entdeckten spektakulären Herrenberg-**Karsthöhle** konnte im kurzen Zeitfenster bis zu ihrem Verschluss die Karbonatmineralisation (Calcit) an Stalaktiten mittels Raman-Spektroskopie und Laser-Scanning-Mikroskopie untersucht werden. Es fanden sich vor allem metabolisch aktive Proteobakterien etlicher Gattungen, durch deren metabolische Aktivität und Koloniebildung unterschiedliche Kristallkonglomerate gebildet wurden (Felix Kögler 2011; RUZNYAK et al. 2011, Appl. Environm. Microbiol.; KEINER et al. 2013, Anal. Chem.). Im Rahmen der Forschungsplattform **AquaDiva** (seit 2009 als Projekt „AquaDiv@Jena“ im Rahmen der Pro-Exzellenz-Initiative des Freistaates Thüringen, seit Oktober 2013 Sonderforschungsbereich 1076 AquaDiva) wurde 2010/11 von den bewaldeten Bereichen des Hainichs hinunter ins Vorland ein Aquifer-Transekt in Schichten des Oberen Muschelkalkes aus 11 Tiefenbohrungen an 5 Untersuchungsstellen angelegt, welche die Beprobung zweier übereinanderliegender Aquifersysteme ermöglichen. Die Themen des SFB AquaDiva mit den Sprechern Kirsten Küsel (Institut für Ökologie), Kai-Uwe Totsche (Institut für Geowissenschaften) und Susan Trumbore (Max-Planck-Institut für Biogeochemie) beinhalten den Einfluss von Wasser (Aqua) und Biodiversität (Diva) auf die Struktur, Eigenschaften und Funktionen unterirdischer Lebensräume. Grundlegende Fragen sind hier: (a) Welche Organismen leben in den unterirdischen Lebensräumen? (b) Welche Interaktionen gibt es zwischen diesen Organismen und mit ihrer Umwelt? (c) Welche Zusammenhänge und Verbindungen gibt es zwischen ober- und unterirdischen Lebensräumen? Erste Untersuchungen der in diesen Karstgrundwasser-Ökosystemen lebenden mikrobiellen Gemeinschaften zeigten, dass ihre Zusammensetzung von Landnutzungsgradienten und Gesteinsformen modifiziert wurden (Isabel Schulze 2011, Patricia Lange 2012). Unter Verwendung von im Aquifer exponierten Gesteinsstückchen (sogenannte 'passive sampler') zur beschleunigten Ansiedlung von

Mikroorganismen auf natürlichem Kalkstein konnte gezeigt werden, dass mit Oberflächen assoziierte mikrobielle Gemeinschaften in den Aquiferen das Potential zur Nitrifikation und Denitrifikation aufwiesen (Falko Gutmann 2011, Laura Degenkolb 2012, Romy Harzer 2013). Insgesamt bildeten die Lebensgemeinschaften der terrestrischen unterirdischen Lebensräume Nahrungsnetze mit pro- und eukaryotischen Organismen verschiedener trophischer Niveaus (AKOB & KÜSEL 2011, Biogeosciences). Dabei fanden sich etliche Taxa von Flagellaten, unbeschalteten Amöben und Ciliaten, die sich vermutlich von Biofilm-assoziierten Bakterien an Oberflächen des Karstgrundwasserleiters ernährten (RISSE-BUHL et al. 2013, J. Eukaryot. Microbiol.). Als wichtige Faktoren, welche die Diversität und Verteilungsmuster mikrobieller Gemeinschaften im Aquifer maßgeblich bestimmten, erwiesen sich die Verfügbarkeit von Sauerstoff sowie die mögliche Verbindung mit oberirdischen Lebensräumen, was am Beispiel der Verteilungsmuster bakterieller Gemeinschaften im Allgemeinen und derjenigen aerober Ammonium-Oxidierer im Besonderen demonstriert werden konnte. Weitere Untersuchungen zeigten, dass eine hohe Fraktion der mikrobiellen Gemeinschaft das genetische Potential zur autotrophen CO₂-Fixierung besaß und dass autotrophe C-Fixierung im oberen, sauerstoffärmeren Aquifer vermutlich im Wesentlichen auf Energiegewinnung durch Oxidation von Schwefelverbindungen basierte, während im tieferen, sauerstoffreichen Aquifer noch die Energiegewinnung durch Oxidation reduzierter Stickstoffverbindungen hinzukam (OPITZ et al. 2014, FEMS Microbiol. Ecol.; HERRMANN et al., 2015, KÜSEL et al. 2016). Neben der Untersuchung der funktionellen mikrobiellen Diversität in den Umweltproben finden noch Experimente zu verschiedenen mikrobiellen Prozessen unter simulierten Aquiferbedingungen in einer der Klimakammern des Institutes für Ökologie statt.

MARTINA HERRMANN, KIRSTEN KÜSEL, GÜNTER KÖHLER

Bestimmung wirbelloser Tiere im Gelände
 Herausgegeben von H. J. Müller, Jena
 2. Auflage



3 Lehre, Exkursionen, Graduierte

3.1 Lehrangebote und Ökologie-Ausbildung

Wissenschaftsbereich (WB) Ökologie (bis 1990)

Mit der Berufung von H. J. Müller auf den neugeschaffenen Lehrstuhl für Spezielle Zoologie und Entomologie (1965) sollte in der Lehre auch die gesamte Breite der **Speziellen Zoologie** abgedeckt werden, mit der üblichen Hauptvorlesung samt Seminaren, den Zoologischen Praktika, Übungen und Exkursionen. Die ersten Veranstaltungen wurden bereits im Herbstsemester 1965/66 angeboten: die Vorlesungen Tierökologie und Zoologie (für Landwirtschaftsstudenten) sowie zoologische Exkursionen (gemeinsam mit Kollegen vom Lehrstuhl für Allgemeine Zoologie und Tierphysiologie von Manfred Gersch), ergänzt im nachfolgenden Frühjahrs- und Herbstsemester von den Vorlesungen Spezielle Zoologie I (Wirbellose ohne Arthropoda), Spezielle Zoologie der Arthropoda und Spezielle Zoologie II (Chordata). Erstmals wurden auch ein ganztägiges Großes Zoologisches Praktikum (Teil I) sowie Tierbestimmungsübungen durchgeführt, und 1967 folgten das Zoologische Praktikum (Teil II) sowie die Vorlesungen Allgemeine Parasitologie und Tierische Schädlinge an Pflanzen.

Von Beginn an hatte H. J. Müller die Absicht, in die zoologisch orientierte Ausbildung ein fundiertes Studium der Ökologie zu integrieren. Dies manifestierte sich bereits in den ersten mehrwöchigen Ökologischen Blockpraktika für Biologen (so 1969), die zusammen mit Kollegen aus der Speziellen Botanik bestritten wurden. Neben verschiedenen Exkursionen gab es etliche Vorlesungen sowohl zu vegetations- und grundlagenökologischen, entomologischen und systematischen Themen als auch zu Sammel-, Präparations- und Bearbeitungsmethoden, und am Ende stand die Untersuchung eines Gebietes im Jenaer Raum. Ohne ersichtliche Zäsur entwickelte sich daraus Anfang der 1970er Jahre am WB ein (zu DDR-Zeiten nie offiziell bestätigtes) **Fachstudium Ökologie**, an dem sich Kollegen aus der Speziellen Botanik, Meteorologie, Geographie und Bodenkunde beteiligten. Aus dieser Zeit wurden die Diplomanden Winfried Voigt, Friedrich Sander (1973) und Hans-Ulrich Peter (1974) später Doktoranden und langjährige Wissenschaftliche Mitarbeiter in der Ökologie. Anfang der 1970er Jahre konzipierte R. Bährmann für Diplomlehrer (Biologie/Körpererziehung, ab 1983 auch noch Körpererziehung/Biologie) noch ein Kurspraktikum zur Vergleichenden Morphologie der Arthropoda (seit 1978 mit G. Köhler -

KÖHLER 1985, Wiss. Ztschr. FSU Jena), das bis zur Wende fortgeführt wurde. Die Vorgehensweise und Inhalte bei ökologischen Praktika für Biologen beschrieben BÄHRMANN & HEINRICH (1980, Wiss. Ztschr. FSU Jena). In den späten 1970er Jahren kamen zur Ausbildung von Diplombiologen und -lehrern für die WB-Mitarbeiter noch Teile der Biologieausbildung für Medizin-Studenten (die der Zoologe Erwin Hentschel mit großem Engagement durchführte) hinzu. Diese beinhalteten die Vorlesungen Humanökologie (R. Bährmann) und Parasitologie (G. Schäller) sowie einen humanparasitologischen Praktikumsteil mit etwa 300 Studenten (der Human- und Zahnmedizin) pro Jahrgang, der aufgrund der hohen Teilnehmerzahlen jeweils in vier aufeinanderfolgenden Durchgängen an zwei Tagen absolviert werden musste. In den 1980er Jahren waren die Mitarbeiter seitens der Sektion Biologie zudem verpflichtet, einen zweiwöchigen Hochschulpädagogischen Kurs (des Bereiches Hochschuldidaktik) zur Verbesserung der Lehre zu absolvieren und dazu eine Abschlussarbeit über eine selbst gehaltene Lehrveranstaltung zu schreiben.

In den 1980er Jahren schärfte sich auch in der DDR das Umweltbewusstsein der Menschen, zum einen durch die teils verheerenden regionalen Luft-, Boden- und Gewässerbelastungen, zum anderen durch eine Vielzahl an internationalen Veröffentlichungen zum Thema Mensch-Umwelt, von denen nur jene des 1968 begründeten Club of Rome (bes. MAEDOWS & MEADOWS 1972, Die Grenzen des Wachstums) genannt seien. Dieser Entwicklung trug frühzeitig auch der WB Ökologie Rechnung, in dem die Vorlesungen Angewandte Ökologie, Humanökologie sowie Landeskultur/Naturschutz (W. Heinrich) das diesbezügliche Spektrum erweiterten, während in den Grundlagenfächern noch die Ökophysiologie der Tiere, Vegetation der Erde, Klimatologie und Geologie/Bodenkunde hinzukamen. Mit diesem Angebot an speziell-zoologischen, botanisch-vegetationskundlichen und ökologischen Lehrveranstaltungen kam der Wissenschaftsbereich in die Wendezeit.

Institut für Ökologie (seit 1990)

Die speziell-zoologischen Lehrveranstaltungen wurden von Mitarbeitern der Ökologie noch bis 1991/92 weitergeführt, danach aber mit der Berufung von Martin S. Fischer (1993) auf den Lehrstuhl für Spezielle Zoologie und Evolutionsbiologie an diesen abgegeben. Dadurch eröffnete sich die Möglichkeit und auch Notwendigkeit, in der Aufbruchzeit der frühen 1990er Jahre das Spektrum an ökologischen Lehrveranstaltungen beträchtlich zu erweitern. So stiegen mit den Studentenzahlen auch die Lehranforderungen auf ökologischem Gebiet, die sich nach Institutsgründung auch mit personeller Verstärkung durch zwei Mitarbeiter der Sektion Mathematik

und mit der 1993 hinzugekommenen Limnologie umsetzen ließen. Nach einer (hochschulpolitisch bedingten) Unterbrechung in den 1980er Jahren bauten die Mitarbeiter im Jahre 1992/93 erneut ein **Fachstudium Ökologie** mit wahlweise terrestrischer oder limnischer Ausrichtung und sehr viel breiteren Dimensionen auf: mit einem Ökologischen Großpraktikum (übers Sommersemester) im Zentrum, flankiert von insgesamt 27 Lehrveranstaltungen, in die teilweise auch Wissenschaftler anderer Bereiche sowie aus der Praxis eingebunden waren: Geologie und Bodenkunde, Klimatologie, Geobotanik und Pflanzensoziologie, Vegetation Mitteleuropas, Ökologische Biochemie, Ökologische Energetik, Ökophysiologie der Tiere und Pflanzen, Polarökologie, Mikrobenökologie, Evolutionäre Ökologie, Populationsökologie, Humanökologie, Natur- und Umweltschutz, Umweltwissen/Ökologie, Analyse und Interpretation ökologischer Daten, Numerische Ökologie, Theoretische Ökologie und Computersimulation sowie auf aquatischem Gebiet Hydrologie/Hydrochemie, Grundlagen der Limnologie, Angewandte Limnologie, Ökologie der Fließgewässer, Ökologische Konzepte in der Limnologie, Planktonkunde, Ökologie aquatischer Organismen und Marine Ökologie. Seitdem wurden in der Fachökologen-Ausbildung auch die jeweils neuesten Methoden der Versuchsplanung, Datenanalyse und (multivariat-)statistischen Auswertung gelehrt sowie in Kursen und Praktika Kenntnisse zu skalenübergreifenden Raummuster- und Zeitreihenanalysen, Netzwerken und Strukturgleichungsmodellen (SEM) vermittelt (W. Voigt). Hinzu kamen einwöchige Praktika zu statistischen Methoden (in der Biodiversitätsforschung), zur multivariaten Analyse ökologischer Daten sowie zur Computersimulation ökologischer Systeme – eine Kombination, die längst ein Markenzeichen unserer Absolventen geworden ist. Zudem wurde im Jahre 2000 die praktische Einführung in Geografische Informationssysteme (GPS und GIS) obligatorischer Bestandteil der Ausbildung.

Da Anfang der 1990er Jahre fächerübergreifend ein großes und breites Interesse an ökologischem und umweltbezogenem Wissen bestand, wurden einige Lehrangebote immer auch von Studierenden anderer Studiengänge belegt, wie Biologie-Lehramt, Ernährungswissenschaften, Umweltchemie, Geographie/Geologie, Mathematik/Informatik und Physik. Bereits 1990 konnte ein zertifiziertes Postgradualstudium „Ökologie-Umweltschutz“ von der Biologisch-Pharmazeutischen, Chemisch-Geowissenschaftlichen und Medizinischen Fakultät etabliert werden. Und vom internationalen Studiengang „Ecotechnie“ (mit Deutschland, Belgien, Frankreich, Rumänien und Spanien) wurde 1992 der erste Jahrgang immatrikuliert. Auch an der im Frühjahrssemester 1995/96 angebotenen Ringvorlesung „Prinzipien der

Ökologie“ für Hörer aller Fakultäten beteiligten sich etliche Mitarbeiter des Instituts für Ökologie. Seit 1990 wurden obligatorisch Biostatistik (Dietmar Beyer, dann Uta Berger), später dann Mathematik/Biostatistik (Kerstin Wiegand, dann Gottfried Jetschke - meist >250! Teilnehmer) für Studenten der Biologie, Biochemie und Ernährungswissenschaften angeboten sowie Mathematische Biologie (G. Jetschke) als Nebenfach.

Mit diesem, der Fachrichtung angemessenen breit angelegten Konzept brach man in Jena bewusst mit der in Deutschland noch üblichen Tradition, die Ökologie in der Lehre an verschiedene Fachbereiche bzw. Organismengruppen (als Mikrogen-, Pflanzen- oder Tierökologie) anzubinden, was vor allem in der Umbruchzeit 1991/92 nur gegen erhebliche Widerstände (besonders aus den Altbundesländern) gelang, wo man vermutlich künftige Konkurrenz witterte. Zu diesem Konzept gehörte auch, dass die Ökologie an der Universität Jena durch ein Ordinariat vertreten wird, was 1992 zur Berufung von Gerhard Schaller - zuvor langjähriger geschäftsführender Direktor des WB/Instituts - auf eine C4-Professur und ein Jahr später auf einen **Lehrstuhl für Ökologie** führte, den es so zuvor noch nie in Deutschland gegeben hatte. Mit der Berufung von Stefan Halle zum Lehrstuhlinhaber und Institutsdirektor (1996) und weiterer neuer Kolleginnen und Kollegen weitete sich das Angebot derart aus, dass ab Ende der 1990er Jahre im Hauptfach Ökologie jährlich 50-60 Lehrveranstaltungen (davon ein Drittel obligatorisch) zu allen nur denkbaren ökologischen Fachgebieten auf dem Programm standen. Hinzu kamen in terrestrischer Ökologie noch Vorlesungen zur Agrarökologie (Jörg Perner – seit 1995) und Restaurationsökologie (zuletzt Hartmut Sänger 2001-2011), die jeweils mit einer Exkursion endeten. In aquatischer Ökologie wurden neben mehreren Seminaren und Praktika die Vorlesungen Angewandte Limnologie, Aquatische Lebensgemeinschaften und Ökologie der Fließgewässer weitergeführt und dazu noch eine Spezialvorlesung (Sediment-Freiwasser-Kopplungen) angeboten. Diese wurden in der Folgezeit durch Kirsten Küsel für Angebote an Studierende der Biogeowissenschaften noch erweitert, u.a. durch eine einwöchige Limnologische Geländeübung und die Vorlesung Limnochemie und mikrobielle Ökologie.

Ab 1999 stellte die Universitätsleitung Sondermittel für **Tutorien** zur Verfügung. Seither werden für die Grundvorlesung Allgemeine Ökologie regelmäßig vier Tutorengruppen angeboten, um den Vorlesungsstoff zu vertiefen und sich auf die Klausur vorzubereiten. Auch in anderen, kleineren Veranstaltungen wurden inzwischen immer mal wieder Tutoriumsangebote gemacht. Im Zuge der Bologna-Reform wurde im Studienjahr 2007/08 zunächst der Diplomstudiengang modularisiert, wobei aber die ursprüngliche

Aufteilung in Haupt- und Nebenfach noch beibehalten wurde. Mit der Einführung der Bachelor- und Master-Studiengänge im Studienjahr 2010/11 erfolgte eine grundlegende Neuorganisation der Lehre, auf die das Institut aufgrund des schon im bisherigen Diplomstudiengang klar strukturierten Lehrangebotes gut vorbereitet war. Durch die Bachelor-Vertiefungsrichtung und vor allem durch den konsekutiven Masterstudiengang „Evolution, Ecology and Systematics“ (EES) sind die drei organismisch arbeitenden Institute für Spezielle Zoologie, Spezielle Botanik und Ökologie in den letzten Jahren immer enger zusammengewachsen, so dass es inzwischen auch gemeinsame (teils englischsprachige) Lehrveranstaltungen und Module gibt.

Neben wöchentlichen wissenschaftlichen Institutsseminaren und Kolloquien (in den Vorlesungswochen) wurde 1997 ein zweitägiges **Weihnachtskolloquium** am Institut ins Leben gerufen, dessen Vorbild Klaus Reinhardt 1995/96 während eines Forschungsaufenthaltes an der University of Pretoria (Südafrika) kennengelernt hatte. Dabei ist jeder am Institut Tätige (vom Master bis zum Professor) angehalten, über ein im laufenden Jahr bearbeitetes Thema zu referieren. Von 1997-2015 wurden insgesamt etwa 700 Kurzvorträge (seit 2004 überwiegend in Englisch) gehalten, die allen Beteiligten einen breiten Überblick zur laufenden Institutsforschung verschafften.

3.2 Exkursionen und Fernpraktika

Zu Zeiten der DDR

Ein prägender Teil der praktischen Ausbildung von Biologen und Biologielehrern waren seit jeher die Exkursionen zum Kennenlernen von Tier- und Pflanzentaxa sowie ihrer natürlichen Lebensräume, welche in Jena zumeist als Halbtagsveranstaltungen in die (auch geologisch) abwechslungsreiche artenreiche Trias-Landschaft des mittleren Saaletales führten. Seit den späten 1960er Jahren war ein Ökologisches Blockpraktikum obligatorischer Bestandteil des Grundstudiums für Biologen, das teils in Jena, teils auch in der Umgebung (Martinsroda, Taupadel, Numburg/Kyffhäuser, Plothen) stattfand. Hinzu kamen Tagesexkursionen (mit Bus) in andere Landschaftsteile Thüringens, wie den Thüringer Wald, das Thüringer Becken und den Kyffhäuser. Überdies gab es in den 1970/80er Jahren mehrtägige WB-Exkursionen zur eigenen Weiterbildung, die in den Thüringer Wald und ins Obere Erzgebirge, nach Brandenburg (Gülper See) und Mecklenburg (Galenbecker See, Insel Hiddensee) sowie in die Pohlauer Berge bei Mikulov/Slowakei führten.

Die Höhepunkte im Biologie-Studium blieben aber die Großexkursionen,

welche über zwei, drei Wochen in andere Länder, Landschaften und Ökosysteme führten. Seit den späten 1960er Jahren wurden diese auch von der Ökologie – neben der Speziellen Zoologie, der Speziellen und der Allgemeinen Botanik – maßgeblich mit organisiert und getragen. So ermöglichten Rahmenvereinbarungen mit Partneruniversitäten des (sozialistischen) Auslandes jährweise wechselnde Großexkursionen sowohl in die jeweiligen Länder als auch Gegenexkursionen von Biologie-Studenten dieser Länder in die DDR, die von Biologen der jeweils beteiligten Universitäten vorbereitet und geleitet wurden. So konnten mit Studenten ausgehend von der georgischen Hauptstadt Tbilissi weite Teile des südlichen Kaukasus bereist werden, die polnische Universität Wrocław ermöglichte Reisen über Warschau und das Heilig-Kreuz-Gebirge nach Kraków, und von dort in das Pieniny-Gebirge und in die Hohe Tatra, während die rumänische Universität Iași uns das Gebiet vom Ceahlau-Gebirge und den Moldau-Klöstern im Norden bis zum Donau-Delta und zur rumänischen Schwarzmeerküste im Süden erschloss. Ein in den 1980er Jahren geschlossener Vertrag mit der Universität Priština ermöglichte es auch Mitarbeitern der Ökologie, bei einwöchigen Kosovo-Aufenthalten sowohl die (seinerzeit albanisch- wie serbischsprachige) Universität als auch interessante Teile des Landes kennenzulernen.

Im vereinigten Deutschland

Nach der Wende öffnete sich für Fernpraktika und Großexkursionen die Welt mit einem Male auf bis dahin nicht für möglich gehaltene Weise (Abb. 82). Aus Kontakten zu westdeutschen Kollegen und mit deren Unterstützung wurden ein/zweiwöchige **Marinökologische Praktika** mit breit angelegten marinterrestrischen Programmen an der deutschen Nordseeküste möglich: 1991-1995 Wattenmeerstation Helgoland (Abb. 83 – Ltg. H.-U. Peter u. Kollegen), 1991-1994 Wattenmeerstation List auf Sylt (Abb. 84 – Ltg. G. Köhler u. Kollegen). Von 1994-1997 eröffnete sich durch Jörg Weiß (damals tauchender Promotionsstudent in der Allgemeinen Botanik) zudem die Gelegenheit zu meeresökologischen Praktika auf der tyrrhenischen Insel Giglio/Italien (Abb. 85 u. 86 – Ltg.: G. Köhler), wo an der Meeresbiologischen Station von Claus Valentin mediterrane marine Lebensräume bei Schnorchel- und auch Tauchgängen inspiziert und von Stationsmitarbeitern ertauchtes reichhaltiges Material im Kursraum bestimmt und untersucht werden konnte, wo aber auch Studien in den vielfältigen Macchien und Garrigues der Insel durchgeführt wurden (KÖHLER et al. 2009, Ann. Mus. Civ. Storia Natur. Genova).

Seit dieser Zeit führten nahezu jährlich angebotene, von den jeweiligen Leitern aufwendig organisierte und finanziell verkraftbare Großexkursionen



Abb. 82: Zielorte von Fernpraktika und Großexkursionen mit Jenaer Ökologen.
Entwurf: H.-U. Peter.

zu Zielen auf fünf Erdteilen, viele davon in kältere Regionen der Erde, darunter mehrfach in die Arktis (Taymir-Halbinsel, Murmansk, Spitzbergen, Grönland, Kanada) und sogar zweimal mit international besetzten Studentengruppen in die Antarktis: in den Südsommern 2000/01 und 2007/08 King George Island (Ltg. alle H.-U. Peter). Darüber hinaus führten Großexkursionen nach Norwegen und Finnland (Ltg. S. Halle), Kasachstan, Kamtschatka, Island, Bulgarien und Estland, aber auch in subtropische Gefilde, so mehrfach nach Südafrika (Kap-Provinz, Kalahari, Robben Island) sowie (unter Ltg. von W. Voigt) nach Florida, auf die Azoren und nach Madeira. Die Unterstützung durch Kollegen der betreffenden Länder, wie der (Partner-) Universitäten bzw. Forschungseinrichtungen in Groningen, Moskau, St. Petersburg, Irkutsk, Magadan, Tartu, Jyväskylä, Helsinki, Montreal, Kapstadt und Funchal ermöglichte es, in 2-4 Wochen sehr effektiv herausragende Naturräume meist außerhalb der Zivilisation kennenzulernen (Abb. 87-94). In den Exkursionsgebieten, die in etlichen Jahren nur mit Zelt und Rucksack erreicht werden konnten, sind Flora, Fauna und ökologische Zusammenhänge untersucht, vermittelt und zumeist in umfangreichen (schriftlichen und mündlichen) Exkursionsberichten dokumentiert worden. Die AG **Limnologie** bestritt neben zahlreichen Tagesexkursionen ebenfalls etliche Große Hydrobiologische Exkursionen: Flachwasserseen und Stehgewässer in Brandenburg (in Kooperation mit der Biologischen Station Neuglobsow/IGB Berlin) sowie Maar-Seen und Quellbäche der Eifel (1993-1999, jeweils Ltg. W. Schönborn), Steh- und Fließgewässer in Finnland (2000, Ltg. E.-B. Meidl), Helgoland (2001, mit Univ. Hamburg), Stechlinsee (2001) sowie Gewässer der Alpen und der ungarischen Tiefebene (2002, alle drei Ltg. H. Zimmermann-Timm).

3.3 Graduiertenstatistik

Im Laufe der fünf Jahrzehnte wurden an der Jenaer Ökologie insgesamt 569 Qualifizierungsarbeiten angefertigt, davon ein Fünftel vor und vier Fünftel nach der Wende (Institutsarchiv). Zudem fungierten Mitarbeiter auch als Betreuer von Arbeiten, die an anderen Fakultäten eingereicht wurden und deshalb hier unberücksichtigt geblieben sind. Die damit erreichten Abschlüsse waren zu DDR-Zeiten überwiegend Diplomarbeiten, vor allem von Lehramtsstudenten Bio/Sport und Sport/Bio (seit 1970 als Diplomlehrer) und Fachbiologen, an die sich nur in Einzelfällen noch Promotionen anschlossen. So wurden am WB Ökologie in den ersten 25 Jahren (1966-1990) insgesamt 126 Qualifizierungsarbeiten verfasst, darunter 3 Habilitationen und 17 Dissertationen (Abb. 95). Nach der Wende

dominierten weiterhin Diplomarbeiten (ab jetzt nur noch von Fachbiologen), zuzüglich weniger Staatsexamens- und Magisterarbeiten. Mit der Bologna-Reform stellte dann auch das Institut für Ökologie auf Bachelor- (seit 2011/13) und Masterarbeiten (seit 2014/15) um. So entstanden im Laufe der letzten 25 Jahre (1991-2015) insgesamt 443 Qualifizierungsarbeiten, davon 3 Habilitationen, 69 Dissertationen und 371 sonstige Arbeiten (Abb. 96). Die insgesamt sechs Habilitationsschriften verteilten sich nach den Abschlußjahren wie folgt: 1966 Gerhard Schäller (Blattlausspeichel und Gallbildung), 1978 Rudolf Bährmann (Ökomorphosen und Dormanzen bei Aleyrodina), 1983 Werner Witsack (Dormanzen bei Zikaden), 2001 Günter Köhler (Populationsgefährdungsanalysen an Feldheuschrecken), 2005 Jörg Perner (Arthropoden als ökologische Indikatoren) und 2008 Christiane Roscher (Pflanzenarten, Biodiversität und Ökosystemprozesse).

Die sehr wechselvolle Qualifizierungsstatistik (der jährlich abgeschlossenen Zahl an Arbeiten) spiegelt mit einiger Verzögerung sowohl die jeweilige wissenschaftspolitische Situation als auch die finanzierende Projektlage wider. Während der ersten 25 Jahre entstanden relativ viele Arbeiten in den 1970er Jahren (max. 1973 – 13 Arbeiten) auf dem Höhepunkt der Dormanz- und Leutratat-Forschung, während die Zahlen danach nur noch bei 4-6 Arbeiten pro Jahr lagen, mit jährweise bestenfalls 1-2 Dissertationen, was maßgeblich durch die verordnete Ausbildungskonzentration auf Mikrobiologie zurückzuführen war. Während der letzten 25 Jahre vervielfachten sich die jährlichen Zahlen an Qualifizierungsarbeiten, mit Spitzenwerten 1993 (18 - im Nachgang zur Institutsgründung) und 1998-2007 (12-20 Arbeiten). Im Jahre 2008 wurde erstmals und nahezu dauerhaft die 20 überschritten, wobei 2009 (37) und 2013 (40 Arbeiten) sogar die doppelte Zahl erreicht wurde. Diese letzte Hoch-Zeit von 2008-2015 stand zum einen im Zeichen der drei Großprojekte BIOLOG, Jena-Experiment und Exploratorien (unter W. W. Weisser) sowie von großen Forschungsprojekten der AG Aquatische Geomikrobiologie (K. Küsel). Zum anderen kamen nach Einführung der Bachelor/Master-Studiengänge jährweise hohe Zahlen an Bachelorarbeiten nach 6 Semestern hinzu, geblockt vor allem zum Leutratat (2012 und 2013 Autobahn-Rückbau-Projekt), Windknollen (2014 – Schutzgebiet) und Pennickental (2015 – Waldflächen außer Nutzung).

GÜNTER KÖHLER



Abb. 83: Meeresökologisches Praktikum auf Helgoland, Juli 1991. Foto: G. Köhler.

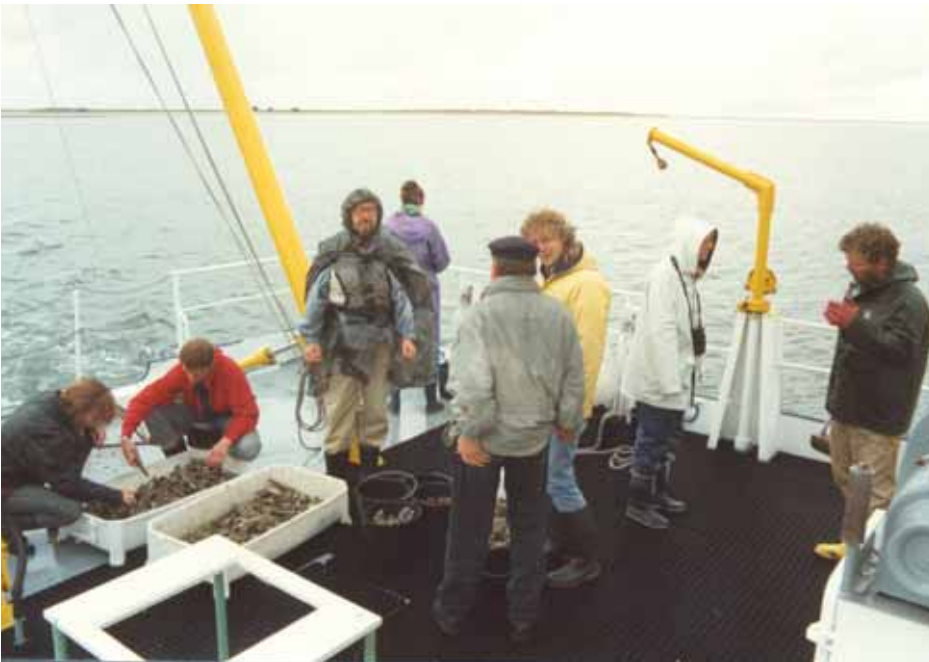


Abb. 84: Dredgen im Wattenmeer vor Sylt, Juni 1994. Foto: Archiv G. Köhler.



Abb. 85: Zistrosen-Macchie mit Ginster vor der Bucht von Campese auf Giglio/ Italien, Mai 1996. Foto: G. Köhler.



Abb. 86: Vor einem Schnorchelgang in der Bucht von Campese, Insel Giglio, Mai 1994. Foto: G. Köhler.



Abb. 87: Durch Skandinavien zur Nordspitze der Kola-Halbinsel, Juli 1992.
Foto: H.-U. Peter.



Abb. 88: Großexkursion auf Spitzbergen, Umgebung Ny Ålesund, Juli 1994.
Foto: H.-U. Peter.



Abb. 89: Vogelbeobachtungen im ostsibirischen Malkatschan-Delta, Juli 1997.
Foto: H.-U. Peter.



Abb. 90: Internationale Studenten-Expedition nach King George Island, Antarktische Halbinsel; Südsommer 2000/01. Foto: H.-U. Peter.



Abb. 91: Tierberg Research Centre in der Großen Karoo, Südafrika, März 1995.
Foto: G. Köhler.



Abb. 92: Vogelberingung auf Robben Island vor Kapstadt/Südafrika, Sept. 2003.
Foto: Archiv H.-U.Peter.



Abb. 93: Florida-Großexkursion, auf den Florida Keys, 25.09.2011. Foto: Archiv W. Voigt.



Abb. 94: Azoren-Großexkursion, auf São Miguel, 13.09.2013. Foto: D. Wagner.

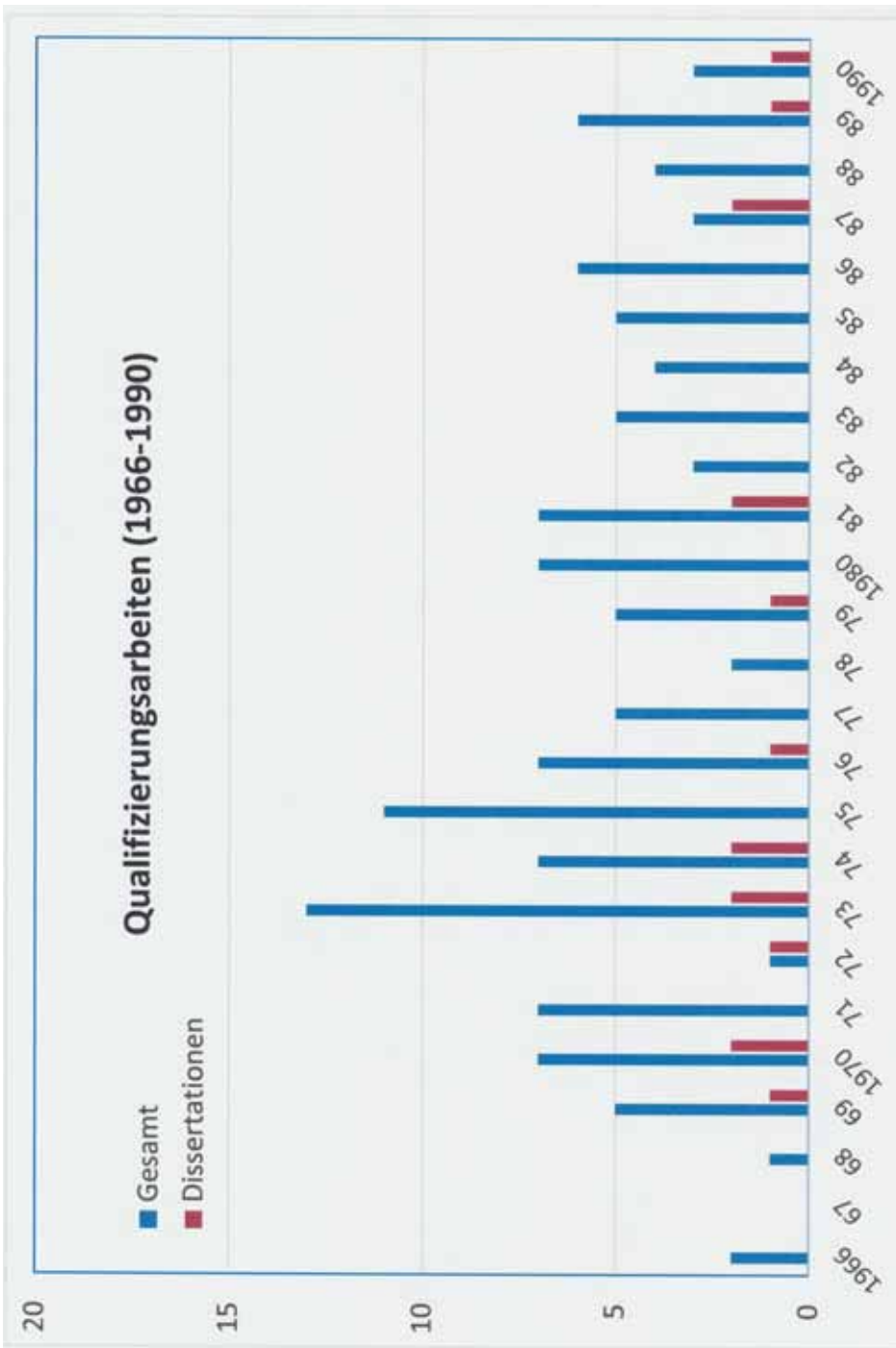


Abb. 95: Statistik der Qualifizierungsarbeiten am WB Ökologie, 1966-1990.
 Entwurf: G. Köhler.

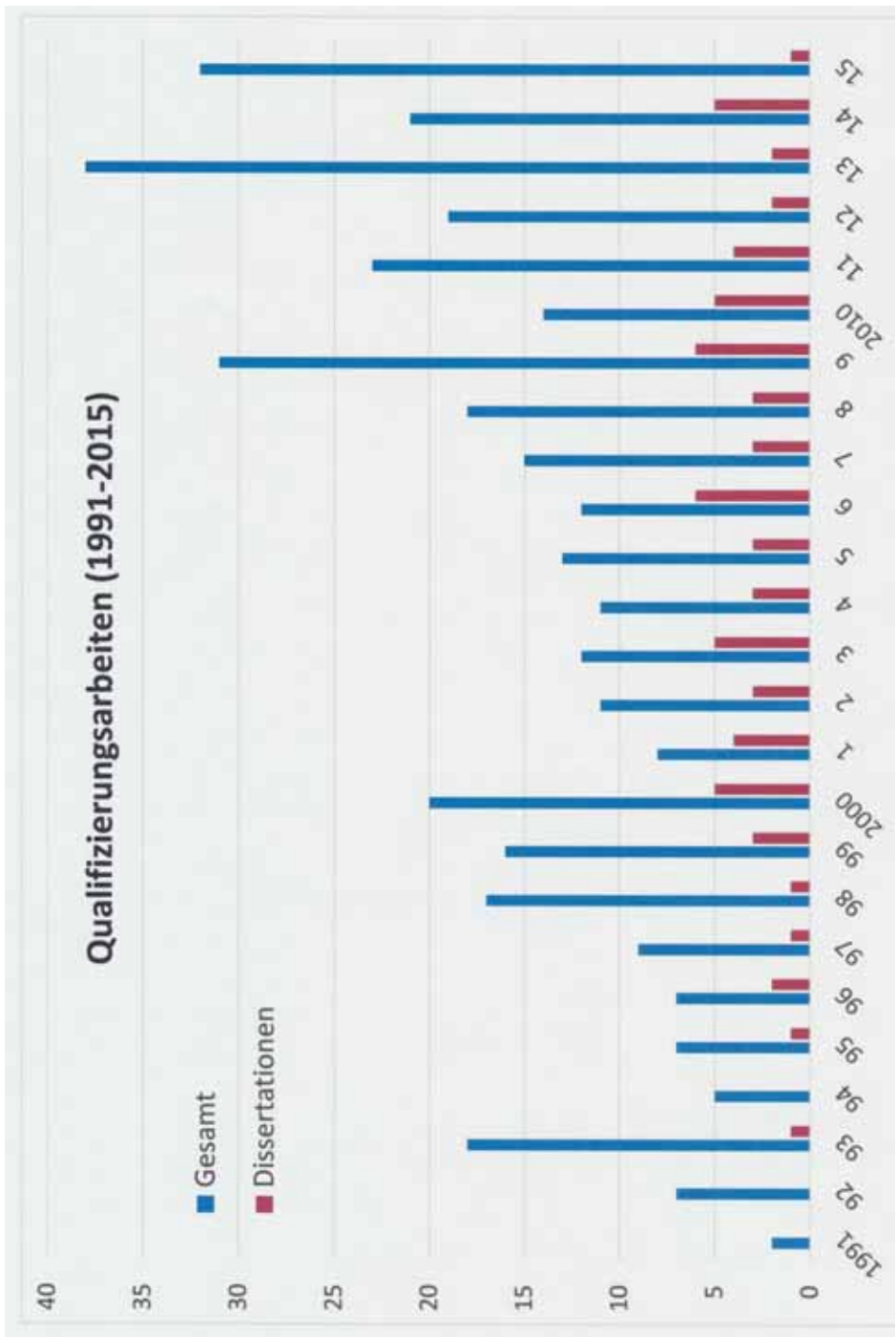
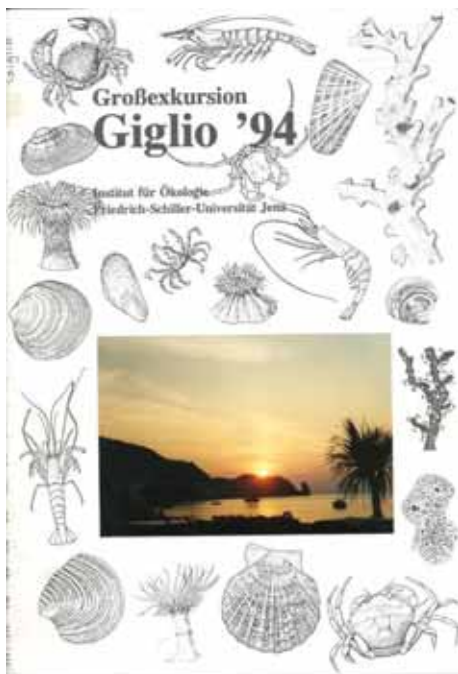


Abb. 96: Statistik der Qualifizierungsarbeiten am Institut für Ökologie, 1991-2015. Entwurf: G. Köhler.



GROßEXKURSION FLORIDA
2011

11. SEPTEMBER BIS 27. SEPTEMBER

THE SUN DOESN'T WAIT!



Die Berichte der teilnehmenden Studierenden und Dozenten des Institutes für Ökologie der FSU Jena über die Großexkursion nach Florida

Institut für Ökologie

2012

Großexkursion Shetlands, Jan Mayen und Spitzbergen



17. Juni bis 26. Juni

Die Berichte der teilnehmenden Studierenden und Dozenten des Institutes für Ökologie der FSU Jena über die Großexkursion nach Spitzbergen.

4 Publikationen, Herausgeberschaften, Würdigungen

Nach groben Zählungen erschienen in den fünf Jahrzehnten aus dem WB/ Institut für Ökologie über 1200 Veröffentlichungen, berücksichtigt man nur jene Schriften, die unmittelbar aus der hauseigenen Forschung und Lehre hervorgingen. Dabei unterlag das Publizieren im Laufe der Jahrzehnte einem beträchtlichen Wandel. So veröffentlichte man zu DDR-Zeiten fast ausschließlich in deutscher Sprache und in hiesigen Zeitschriften, wobei der am WB Ökologie von H. J. Müller 1972-1988 herausgegebenen (und von G. Schaller und R. Bährmann bis 1994/95 weitergeführten) renommierten peer-review-Zeitschrift „**Zoologische Jahrbücher** für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere“ (seit 1886) ein besonders hoher Stellenwert zukam. Außerdem bot sich über diese, vom VEB Gustav Fischer Verlag Jena (Ltg. Frau Dr. Johanna Schlüter) edierte Zeitschrift die Möglichkeit, Fachbücher aus dem westlichen Ausland als Rezensionsexemplare zu bekommen. So verfassten die Mitarbeiter über die Jahre zahlreiche Buchbesprechungen für die Jahrbücher wie auch für etliche andere Zeitschriften, eine Art des (durchaus aufwendigen) kritischen Lesens und Schreibens, die seit den 1990er Jahren mehr und mehr verebbte, und heutzutage kaum noch praktiziert wird. Zudem gab der WB im Rahmen der „Wissenschaftlichen Zeitschrift der FSU Jena“ eine eigenständige Reihe ‘Beiträge zur Ökologie und Landeskultur’ heraus (Bd. I-VII, 1973-1989, interne Redaktion W. Heinrich) sowie deren institutsinterne Weiterführung „Beiträge zur Ökologie“ (Bd. 1-4, 1995-2000, Hrsg. W. Voigt & R. Marsteller), die überwiegend mit Artikeln der eigenen Mitarbeiter gefüllt wurden. Von der AG Limnologie wurde die Fachzeitschrift „Limnologica“ herausgegeben, die sich zunehmend zu einem wichtigen Sprachrohr der internationalen limnologischen Forschung entwickelte. Zum Herausgebergremium gehörten viele Jahre Wilfried Schönborn (Managing Editor), Heike Zimmermann-Timm (Advisory Board) und Anita Lange (Editorial Assistant). Die Zeitschrift wird seit 1992 in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Limnologie herausgegeben und findet sich seit 1993 im Science Citation Index Expanded. Eine Übersicht zur Mitarbeit Jenaer Ökologen in Herausgebergremien wissenschaftlicher Zeitschriften gibt Anhang 3.

Nach der Wende wandelten sich recht rasch der Anspruch an und der Druck auf Fachveröffentlichungen, und man publizierte wissenschaftliche Arbeiten zunehmend in englischer Sprache und weltweit in >60 renommierten peer-review-Fachzeitschriften (mit Impact-Faktor), für die Institutsmitarbeiter

im Gegenzug auch wieder als Manuskriptgutachter tätig waren und sind. Im Zuge dieser Entwicklung und Internationalisierung verloren deutschsprachige floristisch-vegetationskundliche und öko-faunistische Publikationen am Institut immer mehr an Bedeutung und Wertschätzung. Die heutige harte Wissenschaftswährung auch von Ökologen sind Impact-Punkte und Zitierhäufigkeiten eigener Publikationen, für die das Internet längst entsprechende Plattformen bereitstellt.

Auf wichtige Veröffentlichungen (auch mit Beteiligung) von Mitarbeitern der Ökologie wird jeweils bei den Hauptforschungsgebieten verwiesen, wohingegen eine Gesamtaufzählung den Rahmen bei weitem sprengen würde. Abschließend sollen aber zumindest noch die aus der Lehre heraus entstandenen Schriften zur Pflanzen- und Tierbestimmung sowie die hauseigenen Lehr- und Sachbücher (Kap. 4.1), dazu anderweitige Buchbeiträge von Institutsmitarbeitern (Kap. 4.2) aufgelistet werden. Abschließend sind noch Schriften zum Ökologie-Begriff und die Jenaer Ökologie unmittelbar betreffende geschichtliche Beiträge (Kap. 4.3) sowie publizierte Würdigungen und Nachrufe für Mitarbeiter genannt (Kap. 4.4).

4.1 Bestimmungsliteratur, Lehr- und Fachbücher

Ein wesentlicher Teil der Lehre in Spezieller Zoologie (1966-1992) und in Ökologie waren seit jeher Exkursionen, Bestimmungsübungen und Geländepraktika, in denen die Studierenden befähigt werden sollten, Pflanzen und Tiere möglichst genau anzusprechen. Für Anfänger erwies sich dies mit den herkömmlichen weitgehend verbal-fachterminologischen Bestimmungsbüchern (in der DDR: „Exkursionsflora – Rothmaler“, „Exkursionsfauna – Stresemann“) meist als recht schwierig und unbefriedigend. Aus dieser Erfahrung heraus wurden am WB Ökologie seit den 1970er Jahren vereinfachte Bildbestimmungsschlüssel mit wichtigen diagnostischen Merkmalen erarbeitet, bei denen nunmehr instruktive Merkmalszeichnungen in den Vordergrund rückten. Bereits 1978 erschien ein von Elsbeth Lange und Wolfgang Heinrich verfasstes und von 13 Illustratoren ausgestattetes Buch **„Wir bestimmen Pflanzen“** mit 120 durchgängig farbigen Bildschlüsselafeln von hohem Erkennungswert, das erstaunliche sechs Auflagen erreichte. Für wirbellose Tiere wurden die ersten einfachen Bildschlüssel für Landgehäuseschnecken (R. Marsteller) und Zweiflügler-Familien (BÄHRMANN 1978, 1982, Ent. Nachr. Ber.) entworfen und diese teils als Handblätter erfolgreich bei zoologischen Exkursionen eingesetzt. Letztlich entstand daraus 1985 unter hauptsächlicher Mitwirkung der Mitarbeiter des WB Ökologie das von H. J. MÜLLER herausgegebene

Buch „**Bestimmung wirbelloser Tiere**“, welches 2015 in der mittlerweile 7. Auflage erschien (S. 172).

Jenaer Ökologen waren zudem an Überarbeitungen und Neubearbeitungen von Insektenordnungen im „Stresemann“ (Exkursionsfauna von Deutschland) beteiligt: Zikaden (MÜLLER – seit 5. Aufl. 1986; zusammen mit WITSACK – 9.-11. Aufl. 2000, 2005, 2011), Mottenschildläuse (BÄHRMANN – seit 5. Aufl. 1986) und Heuschrecken (Köhler – seit 9. Aufl. 2000). In der Reihe „Neue Brehm-Bücherei“ erschienen Monographien zu Bockkäfern (SANDER, mit KLAUSNITZER), Heuschrecken (KÖHLER, mit INGRISCH, S. 76) und Mottenschildläusen (BÄHRMANN).

Mit den Erstausgaben der „Fließgewässerökologie“ (1992) und dem daraus folgenden „**Lehrbuch für Limnologie**“ (2003, 2. Aufl. 2013 mit Ute Risse-Buhl, S. 152) setzte Wilfried Schönborn Meilensteine für den Limnologie-Standort Jena.

In den nachfolgenden, jahresgeordneten Schriftenverzeichnissen (Kap. 4.1 u. 4.2) sind die Mitarbeiter der Ökologie in Fettdruck hervorgehoben. Dabei werden Teilbearbeitungen in Bestimmungsbüchern, Checklisten und Roten Listen nicht berücksichtigt. Die Buchtitel in Kap. 4.1 und 4.2 sowie die Zeitschriftentitel in Kap. 4.3 sind kursiv gesetzt.

1978. KLAUSNITZER, B. & F. SANDER: *Die Bockkäfer Mitteleuropas. Cerambycidae* (Die Neue Brehm-Bücherei Bd. 433). – A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 222 S. [2. Aufl. 1981]

1978. LANGE, E. & W. HEINRICH: *Wir bestimmen Pflanzen*. – Der Kinderbuchverlag Berlin, 256 S. [1981 Aulis-Verlag Köln, insgesamt 6 Aufl.]

1980. SANDER, F. W.: *Bäume und Sträucher der Görlitzer Grünanlagen*. – Suppl. Abh. Ber. Nat. mus. Görlitz, 184 S., 32 S/W-Fototafeln.

1984. MÜLLER, H. J. (Hrsg.): *Ökologie* (Studienreihe Biowissenschaften). – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 393 S. (unter Mitarbeit von R. Bährmann, W. Heinrich, R. Marstaller & G. Schäller) [1991. *Ökologie* – UTB 1318. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, 415 S.]

1985-2015. *Bestimmung wirbelloser Tiere im Gelände. Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen*. Hrsg. MÜLLER, H. J. (1. u. 2. Aufl., 1985, 1986), BÄHRMANN, R. (3. Aufl. 1995 – davon ungar. Übersetzung 2000, 4.-6. Aufl. 2005, 2008, 2011), KÖHLER, G. (7. Aufl. 2015). – VEB Gustav Fischer Verlag Jena u.a., jetzt Springer Verlag Heidelberg, von anfangs 280 S. bis jetzt 396 S.

1992. MÜLLER, H. J.: *Dormanz bei Arthropoden*. – Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York, 289 S.

1998. HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; BÄHRMANN, R.; PERNER, J. & G. SCHÄLLER: *Das Naturschutzgebiet „Leutratal“ bei Jena – Struktur- und Sukzessionsforschung in Grasland-Ökosystemen*. – Naturschutzreport 14, Jena, 424 S.

1998. INGRISCH, S. & G. KÖHLER: *Die Heuschrecken Mitteleuropas*. (Die Neue Brehm-

Bücherei Bd. 629). – Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 460 S.

1999. LEPPER, L. & W. HEINRICH (Gesamtbearbeitung): *Jena. Landschaft, Natur, Geschichte. Heimatkundlicher Lehrpfad* (Naturwanderungen um Jena, Band 1). – Ahorn-Verlag, Jena, 198 S. [Neubearbeitung von Heinrich & Lepper 1969]

1999. KÖHLER, G.: *Ökologische Grundlagen von Aussterbeprozessen - Fallstudien an Heuschrecken (Caelifera et Ensifera)*. – Laurenti V., Bochum, 253 S. [Habilschrift]

1999. SCHUMANN, H.; BÄHRMANN, R. & A. STARK (Hrsg.): *Entomofauna Germanica 2. Checkliste der Dipteren Deutschlands*. – *Studia dipterologica*, Suppl. 2, Halle, 354 S.

2000. HALLE, S. & N. C. STENSETH (eds.): *Activity Patterns in Small Mammals. An Ecological Approach*. (Ecological Studies 141). – Springer Verlag, Heidelberg, 322 pp.

2001. DÖRFELT, H. & G. JETSCHKE (Hrsg.): *Wörterbuch der Mycologie*. – Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg, Berlin, 384 S. [1. Aufl. 1994, Dörfelt, H. (Hrsg.), *Lexikon der Mykologie*]

2001. KÖHLER, G.: *Fauna der Heuschrecken (Ensifera et Caelifera) des Freistaates Thüringen*. – Naturschutzreport, Jena 17, 378 S. [unter Mitarbeit von F. Fritzlar, J. Samietz, K. Seifert, F. Julich u. A. Nöllert; 2010, unveränd. Nachdruck]

2001. SCHUBERT, S.: *Die Saale und ihre Biotope – Eine Literaturstudie über anthropogene Nutzungsformen der letzten Jahrhunderte und deren Auswirkungen auf das Fließgewässerökosystem*. – Verlag d. Akademie, Erfurt, Sonderschriften Bd. 35, 119 S.

2002. BÄHRMANN, R.: *Die Mottenschildläuse Aleyrodina*. (Die Neue Brehm-Bücherei Bd. 664). – Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 240 S.

2003. SCHÖNBORN, W.: *Lehrbuch der Limnologie*. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 588 S. [2. Aufl. 2013, mit U. RISSE-BUHL]

2004. TEMPERTON, V. M.; HOBBS, R. J.; NUTTLE, T. & S. HALLE (eds.): *Assembly Rules and Restoration Ecology*. – Island Press, Washington, Covelo, London, 464 pp. [mit 11 Beiträgen von Fattorini, Halle, Jetschke, Meidl, Nuttle, Perner, Renker, Rothe, Schönborn, Temperton, Voigt und Wagner]

2004. WEISSER, W. W. & E. SIEMANN (eds.): *Insects and Ecosystem Function*. (Ecological Studies 173). – Springer, Berlin, Heidelberg, xxi + 415 pp. [mit 3 Beiträgen von W. W. Weisser als Koautor]

2005. SCHÖNBORN, W.: *Beschaltete Amöben: Testacea*, 2. Aufl. (Die Neue Brehm-Bücherei Bd. 357). – Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 112 S. [1966, 1. Auflage, Ziemsen, Wittenberg]

2008. JETSCHKE, G.: *Mathematik der Selbstorganisation*. 2. Aufl. – V. Harri Deutsch, 335 S. [1. Aufl. 1989, VEB Dt. Verlag d. Wiss./ Vieweg, Braunschweig]

2010. Heyer, J.: *Die Vogelwelt im Saale-Holzland-Kreis und in der Stadt Jena*. (Posthum hrsg. von Heyer, S. & D. Damer). – Selbstverlag, 295 S.

4.2 Weitere Buchbeiträge von Mitarbeitern

1968. MÜLLER, H. J.: VI. Ökologie, Abiotische Faktoren. A. Licht. In: FRITSCHKE, R., GEILER, H. & U. SEDLAG (Hrsg.), *Angewandte Entomologie*. – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 279-307.

1972. MÜLLER, H. J.: Homoptera Cicadaria. Homoptera Psyllina. In: SCHWENKE, W.

- (Hrsg.), *Die Forstschädlinge Europas. Band 1.* – Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 127-157.
- 1972/1973. KAESTNER, A.: *Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Band I: Wirbellose, 3. Teil, Insecta: A. Allgemeiner Teil, B. Spezieller Teil.* – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, ges. 907 S. [nach dem plötzlichen Tod von A. Kaestner von **H. J. Müller** in zwei Bänden technisch vollendet und endredaktionell bearbeitet]
1976. **MÜLLER, H. J.**: Beziehungen zur Umwelt. In: LIBBERT, E. (Hrsg.), *Kompendium der Allgemeinen Biologie.* – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 391-441.
1980. **KÖHLER, G.**; TENCKHOFF, V. & G. MOTTE: *Krankheiten und Schädlinge an Kaffee in Kuba.* - Hochschulstudium Tropische Landwirtschaft, Leipzig, 166 S.
1984. GÖRNER, M.; HAUPT, R.; HIEKEL, W.; NIEMANN, E. & W. WESTHUS: *Die Naturschutzgebiete der Bezirke Erfurt, Suhl und Gera.* – Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin, 344 S. [unter Mitarbeit von **W. Heinrich**]
1984. **SCHÄLLER, G.**: Wirkung der Umweltfaktoren und Anpassung der tierischen Organismen. In: SCHUBERT, R. (Hrsg.): *Lehrbuch der Ökologie.* – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 165-173. [2. Aufl. 1986]
1986. KNORRE, D. VON; GRÜN, G.; GÜNTHER, R. & K. SCHMIDT: *Die Vogelwelt Thüringens – Bezirke Erfurt, Gera, Suhl.* – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 339 S. [mit 26 Artbeiträgen von **J. Heyer** und 1 Artbeitrag von **H.-U. Peter**]
1987. **BÄHRMANN, R.**: Morphologie, Anatomie und Ökologie der Honigbiene. In: HÜSING, J. O. & J. NITSCHMANN (Hrsg.), *Lexikon der Bienenkunde.* – Verlag Edition Leipzig, Leipzig. [2. Aufl. 1995]
1993. **BÄHRMANN, R.**: Bienenbiologischer Teil. In: DROEGE, G. (Hrsg.), *Die Honigbiene, ein lexikalisches Fachbuch.* – Ehrenwirth-Verlag, München.
1994. **JAX, K.**: Renaturierung kleiner Fließgewässer. Möglichkeiten und Probleme einer Einbeziehung des Konzepts der natürlichen Störungen. In: GRÜNEWALD, U. (Hrsg.), *Wasserwirtschaft und Ökologie. Umweltwissenschaften Bd. 2.* – Blottnet, Taunusstein, 118-126.
1995. **KÖHLER, G.**: Das ökologische Umfeld evolutiver Prozesse oder die Schwierigkeit, Evolution zu erkennen. In: CIMUTTA, J. & F. WUKETITS (Hrsg.), *Lebt Darwins Erbe? Fragen und Standpunkte zur Evolutionstheorie.* – Verlag Angelika Lenz, Neustadt/Rbge., 139-167.
1995. **PETER, H.-U.**: Von der Nahrungsökologie zur Artbildung bei Raubmöwen. In: HEMPEL, I. & G. HEMPEL (Hrsg.), *Biologie der Polarmeere.* – Gustav Fischer Verlag, Jena, 316-321.
1996. **JAX, K.**: Über die Leblosigkeit ökologischer Systeme. Gedanken zur Rolle des individuellen Organismus in der Ökologie. In: INGENSIEP, H.-W. & R. HOPPE-SAILER (Hrsg.), *Naturstücke.* – Ed. Tertium, Ostfildern, 209-230.
1996. SETTELE, J.; MARGULES, CH.; POSCHLOD, P. & K. HENLE (eds.): *Species Survival in Fragmented Landscapes.* - Kluwer Acad. Publs, Dordrecht u. a. [mit Beiträgen von **G. Köhler**, 290-298, und **J. Samietz** et al., 299-311]
1997. **DÖRFELT, H.** [Mitautor mykologischer Begriffe]. In: WEBER, H. (Hrsg.), *Wörterbuch Mikrobiologie.* – Gustav Fischer Verlag, Jena u.a.
1998. KAPPEN, L.; SATTELMACHER, B.; DITTERT, K. & **F. BUSCOT**: Symbiosen in ökosystemarer Sicht. In: FRÄNZEL, O.; MÜLLER, F. & W. SCHRÖDER (Hrsg.), *Handbuch für*

Ökosystemforschung. – Ecomed Verlag, Landsberg.

1998. **KÖHLER, G.**: Family Eriococcidae Cockerell, 1899. In: KOZÁR, F. (ed.), *Catalogue of Palaearctic Coccoidea*. - Plant Protection Inst., Hung. Acad. Sci., Budapest, 371-402.

1998. **PERNER, J. & G. KÖHLER**: Veränderungen auf Populations- und Assoziationsniveau bei ausgewählten phytophagen Insektengruppen - Ergebnisse aus Langzeit-Untersuchungen in Magerrasen. In: DRÖSCHMEISTER, R. & H. GRUTTKE (Hrsg.), *Die Bedeutung ökologischer Langzeitforschung für Naturschutz*. – Schr.R. f. Landschaftspfl. u. Natursch., BfN, Bonn-Bad Godesberg 58, 129-160.

1998. **SAMIETZ, J. & G. KÖHLER**: The impact of behavioural thermoregulation on reproductive rates in a grasshopper. In: BAUMGÄRTNER, J.; BRANDMAYR, P. & B. F. MANLY (eds.), *Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation*. – Balkema, Rotterdam and Brookfield, 63-73.

1999. AMLER, K.; BAHL, A.; HENLE, K.; KAULE, G.; POSCHLOD, P. & J. SETTELE (Hrsg.): *Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis*. - Ulmer, Stuttgart, 336 S. [mit zwei Beiträgen unter Beteiligung von **G. Köhler** und **J. Samietz**]

1999. SCHRÖER, T. & B. THIESMEIER (Hrsg.): *Harenberg-Enzyklopädie der Tiere*. - Harenberg Lexikon-Verlag. [50 Stichworte von **G. Köhler** bearbeitet]

2001. **DÖRFELT, H.**: Fungi. In: HANELT, P. (ed.), *Mansfeld's Encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals)*. – Springer Verlag, Heidelberg u.a.

2001. **NADROWSKI, K. & G. JETSCHKE**: The Effect of Landscape Structure on Primary Productivity in Source-Sink Systems. In: BRECKLE, S.-W. et al. (eds.), *Sustainable Land Use in Deserts*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 303-309.

2001. **WEISSER, W. W.**: The effects of predation on dispersal. In: CLOBERT, J.; DANCHIN, E.; DHONDT, A. & D. NICHOLS (eds.), *Causes, Consequences and Mechanisms of Dispersal at the individual, Population and Community Level*. – Oxford Univ. Press, Oxford, 180-188.

2002. **DÖRFELT, H.**; RICHTER, U.; SAMPE, G. & P. SCHOLZ (Hrsg.): *Die Geschichte der Mykologie des 20. Jahrhunderts in Sachsen-Anhalt*. – Boletus, Sonderheft, Jg. 25/2001.

2002. **KÖHLER, G.**: Heuschrecken (Saltatoria). In: GÖRNER, M. (Hrsg.), *Thüringer Tierwelt*. – Arbeitsgruppe Artenschutz Thüringen e.V., Jena, 245-257.

2004. **KALDORF, M.**; ZHANG, C.; NEHLS, U.; HAMPP, R. & **F. BUSCOT**: Interactions of microbes with genetically modified plants. In: VARMA, A.; ABBOTT, L.; WERNER, D. & R. HAMPP (eds.), *Plant surface microbiology*. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 179-196.

2005. DRAKE, H. L. & **K. KÜSEL**. Acetogenic clostridia. In: DÜRRE, P. (ed.), *Handbook of Clostridia*. – CRC Press, Boca Raton / Florida, 719-746.

2005. SCHOLTEN, M.; BRUNKE, M.; HOLST, H.; **KRÖWER, S.**; WÖRNER, U. & **H. ZIMMERMANN-TIMM**: Lebensräume der Stromlandschaft Elbe. In: SCHOLZ, M.; STAB, S.; DZIOCK, F. & K. HENLE (Hrsg.), *Lebensräume der Elbe und ihrer Auen*. – Weißensee Verlag Ökologie, Berlin, 103-138. [Nachdruck 2015]

2005. EICHHORN, M. (Hrsg.): *Langenscheidt Fachwörterbuch Biologie Englisch/Deutsch - Deutsch/Englisch*. 1. Aufl. – Langenscheidt, Berlin u. a., 1613 S. [2. Aufl. 2007, Mitautor **G. Köhler**]

2005. **KÖHLER, G. & S. PFEIFFER**: Der Steinbruch Münchenroda - ein faunistisches Kleinod. In: MUSIL, R. (Hrsg.), *Festband „750 Jahre Münchenroda 1255-2005“*. – quartus-Verlag, Bucha, 257-271.

2006. BOBBINK, R. et al. (eds.): *Wetlands as a Natural Resource, Vol. 2* (Ecological Studies Vol. 190). – Springer, New York, 205-238. [mit 2 Beiträgen unter Mitwirkung von **K. Küsel**]
2006. DRAKE, H. L.; **KÜSEL, K.** & C. MATTHIES: Acetogenic Prokaryotes. In: DWORKIN, M. et al. (eds.), *The Prokaryotes*, Vol. 2. – Springer, New York, 354-420.
2006. **PETER, H.-U.**: Die Vogelwelt der Polarregionen und ihre Gefährdung. In: LOZAN, J. L. et al. (eds.), *Warnsignale aus den Polarregionen*. – Verlag Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 140-146. [2. Aufl. 2014]
2006. RIFFENBURGH, B. (ed.): *Encyclopedia of the Antarctic*. – Routledge Taylor & Francis Group, New York. [mit 6 Artbeiträgen zu Raubmöwen und Seeschwalben von **H.-U. Peter**]
2007. **LOXDALE, H. D.** & D. LUSHIA: Population genetic issues: the unfolding story revealed using molecular markers. In: VAN EMDEN, H. F. & R. HARRINGTON (eds.), *Aphids as Crop Pests*. – CAB International, Wallingford, 31-67.
2008. **KÜSEL, K.**; **BURKHARDT, E. M.** & **J. SITTE**: Effects of metal-reducing microorganisms on element fluxes in a former uranium-mining district. In: LIU, S. J. & H. L. DRAKE (eds.), *Microbes in the Environment: Perspectives and Challenges*. – Science Press, Beijing, 128-137.
2011. **KÜSEL, K.** & H. L. DRAKE: Acetogens. In: REITNER, J. & V. THIEL (eds.), *Encyclopedia of Geobiology*. – Springer Science+Business Media B. V., Berlin.
2011. PIEPENBURG, D.; WERNER, I.; AUDEL, H. & **H.-U. PETER**: Der Rückgang des polaren Meereises und seine ökologischen Auswirkungen. In: LOZÁN, J. L.; GRASSL, H.; KARBE, L. & K. REISE (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Die Meere – Änderungen & Risiken*. – Verlag Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 207-212.
2011. **TÜRKE, M.**: Gastropodochory: knowledge and perspectives. In: BIANCHI, A. & J. FIELDS (eds.), *Gastropods: Diversity, Habitat and Genetics*. – Nova Science Publs, Inc., New York, 183-194.
2011. **KÖHLER, G.** & CH. ARENHÖVEL: Heuschrecken (Orthoptera). In: ARENHÖVEL, CH.; JAHN, E.; MAUL, L. & W. ZIMMERMANN (Hrsg.), *Die Fauna Weimars und seiner Umgebung*. – Weimarer Schriften, Weimar, Heft 66, 196-210.
2012. WENZEL, H.; WESTHUS, W.; FRITZLAR, F.; HAUPT, R. & W. HIEKEL: *Die Naturschutzgebiete Thüringens*. – Weissdorn, Jena, 944 S. [Mitarbeit von **R. Marsteller** und **G. Köhler**]
2013. DRAKE, H. L.; **KÜSEL, K.** & C. MATTHIES: Acetogenic prokaryotes. In: ROSENBERG et al. (eds.), *The Prokaryotes – Prokaryotic Physiology and Biochemistry*. – Springer, Berlin, 3-60.
2013. **BRAUN, C.**; HERTEL, F.; **MUSTAFA, O.**; **NORDT, A.**; **PFEIFFER, S.** & **H.-U. PETER**: Environmental Situation and Management Challenges for the Fildes Peninsula Region. In: TIN, T.; LIGGETT, D.; MAHER, P. & M. E. LAMERS (eds.), *The Future of Antarctica: Human impacts, strategic planning, and values for conservation*. – Springer-Verlag, Berlin u.a., 169-191.
2015. **KÜSEL, K.**; TOTSCHKE, K. U.; TRUMBORE, S. & F. BUSCOT: The vertical dimension of biodiversity research. In: *Global Soil Biodiversity Atlas*. – GSB Initiative.

4.3 Schriften zum Ökologie-Begriff und zur Historie

Aufgeführt sind zum einen Veröffentlichungen, in denen der Ökologie-Begriff bei Ernst Haeckel thematisiert wird, zum anderen solche, welche die Geschichte der Jenaer Ökologie betreffen oder tangieren.

1947. RENNER, O.: 150 Jahre Botanische Anstalt zu Jena. – *Jenaische Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft* 78. [Ernst Stahl, S. 153-156]

1957. STAUFFER, R. C.: Haeckel, Darwin, and Ecology. – *Quarterly Rev. Biol.* 32(2), 138-144.

1967. USCHMANN, G.: 100 Jahre „Generelle Morphologie“. – *Biol. Rdsch.* 5(6), 241-252.

1970. HEINRICH, W. & H. MANITZ: Die unter Anleitung von Prof. Dr. Otto Schwarz angefertigten Habilitationsschriften, Dissertationen, Diplom- und Staatsexamensarbeiten. – *Wiss. Z. FSU Jena, Math.-Nat. R.* 19(3), 459-465.

1973. HEINRICH, W.: Zusammenstellung der am Institut für Spezielle Botanik und an der Sektion Biologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena abgeschlossenen Staatsexamensarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilitationsschriften und anderen Manuskripte mit geobotanischem Inhalt (1950-1971). – *Wiss. Z. FSU Jena, Math.-Nat. R.* 22(3/4), 437-466.

1979. HEINRICH, W.: Schleiden zu Fragen der Ökologie. – *Biologie in der Schule* 28(4), 147-150, 153-155.

1985. MÜLLER, H. J.: Die Begründung der Ökologie als Lehre vom Haushalt der Natur durch ERNST HAECKEL. – *Biol. Rdsch.* 23, 337-343.

1994. SCHÄLLER, G.: Entomologie in Jena. – *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 9, 13-20.

1994. PENZLIN, H. (Hrsg.): *Geschichte der Zoologie in Jena nach Haeckel (1909-1974)*. – Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 196 S.

2001. KÖHLER, G.: Qualifizierungsarbeiten (1970-2000) mit Bezug zu Heuschrecken aus dem Institut für Ökologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena. – *Thür. Faun. Abh.* VIII: 95-102.

2006. BÄHRMANN, R.: Haeckels Ökologie-Begriff – Inhalt, Deutung, Bedeutung. – In: LENZ, A. E. & V. MUELLER (Hrsg.), *Darwin, Haeckel und die Folgen. Monismus in Vergangenheit und Gegenwart*. – Angelika Lenz Verlag, Neustadt/Rbge., 93-126.

2007. SCHÄLLER, G.; BÄHRMANN, R. & G. KÖHLER: Die Entwicklung des Institutes für Ökologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. In: HOSSFELD, U.; KAISER, T. & H. MESTRUP (Hrsg.), *Hochschule im Sozialismus. Studien zur Geschichte der Friedrich-Schiller-Universität Jena (1945-1990), Bd. 2*. – Böhlau-Verlag Köln, Weimar, Wien, 1233-1252.

2007. WALLASCHEK, M.: Zoologische Lehre und Forschung an der Pädagogischen Hochschule Halle/Köthen (1953-1993). – *Abh. Ber. Naturkde.*, Magdeburg 30, 201-246.

2008. SCHÖNBORN, W.: Geschichte der limnologischen Forschung und Lehre in Jena. In: KÖHLER, W. (Hrsg.), *Vitalprinzip Akademie: Festgabe der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt zur 450-Jahrfeier der Friedrich-Schiller-Universität Jena*. – Verlag d. Akademie, Erfurt, Sonderschriften Bd. 38, 337-350.

2010. HOSSFELD, U.: *absolute Ernst Haeckel*. – orange press, Freiburg, 223 S.

4.4 Würdigungen und Nachrufe

Die Tradition, Professoren und langjährige Mitarbeiter zu besonderen Jubiläen publizistisch zu würdigen, wird auch in der Jenaer Ökologie gepflegt, sind es doch in erster Linie die personenbezogenen Leistungen, deren Summe als jene des Instituts erscheinen.

1986. BÄHRMANN, R.: Prof. Dr. H. J. Müller – 75 Jahre. – *Ent. Nachr. Ber.* 30, 131-139. [mit Schriftenverzeichnis]
1992. BÄHRMANN, R. & G. SCHÄLLER: Laudatio auf Herrn Prof. Dr. Hans Joachim Müller. – *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 8, 12-15. [zum 80. Geburtstag]
2001. MÜLLER, J.: Prof. em. Dr. H. J. Müller zum 90. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 45, 243-244.
2002. KÖHLER, G.: Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Rudolf Bährmann zum 70. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 46, 201-206. [mit Schriftenverzeichnis]
2003. KÖHLER, G.: On the occasion of the 70th birthday of Prof. Dr. rer. nat. habil. Rudolf Bährmann. – *Mitt. Mus. Nat.kd. Berlin, Dtsch. Entomol. Z.* 50(1), 5-11. [mit Schriftenverzeichnis]
2004. FRIEDRICH, G.; ZIMMERMANN-TIMM, H.; LANGE, A. & R. KOSCHEL: On the 70th birthday of Wilfried Schönborn. – *Limnologica* 34, 173-175.
2004. KÖHLER, G.: Dr. rer. nat. Wolfgang Heinrich zum 65. Geburtstag. – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 41(3), 95-96.
2006. ZIMMERMANN-TIMM, H.; SCHÖNBORN, W. & R. KOSCHEL: Anita Lange – a veteran of limnology. – *Limnologica* 36(1), 1.
2007. BELLSTEDT, R.; KÖHLER, G. & B. KLAUSNITZER: Prof. em. Dr. rer. nat. Rudolf Bährmann zum 75. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 51, 243-244. [mit Ergänzung Schriftenverzeichnis]
2007. WITSACK, W.: Nachruf für Herrn Prof. (em.) Dr. habil. Hans Joachim Müller (11.11.1911 bis 20.06.2007). – *Beiträge zur Zikadenkunde* 9, 1-14. [mit Schriftenverzeichnis]
2008. KÖHLER, G.; SCHÄLLER, G. & U. HOSSFELD: Nachruf auf Hans Joachim Müller. 11.11.1911 – 20.06.2007. – *Mitt. Dt. Zool. Ges.* 2008, 59-64.
2009. ZÜNDORF, H.-J.; JETSCHKE, G. & G. KÖHLER: Dr. Rolf Marstaller zum 70. Geburtstag. – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 46(1), 47-48.
2009. KRÜGER, H.: Jürgen Heyer, ein Vormann (10.1.1940 - 21.8.2009). – *Anz. Ver. Thür. Ornithol.* 6, 363-367. [dazu 2010. KNORRE, D. VON, *Thür. Ornithol. Mitt.* 55, 67-72; beide mit Schriftenverzeichnis]
2010. KÖHLER, G.: Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Schäller zum 80. Geburtstag. – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 47(1), 41-42; *DGaaE-Nachrichten* 24(1), 38-40.
2012. KÖHLER, G.; BELLSTEDT, R. & B. KLAUSNITZER: Prof. Dr. Rudolf Bährmann zum 80. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 56(3-4), 265-266. [mit Ergänzungen zum Schriftenverzeichnis]

2012. MÜLLER, J.: Dozent Dr. rer. nat. habil. Werner Witsack zum 70. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 56(3/4), 267-273. [mit Schriftenverzeichnis]
2012. KÖHLER, G.: Dr. rer. nat. Hans-Ulrich Peter zum 60. Geburtstag. – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 49(1), 41.
2012. BELLSTEDT, R.: Zum 80. Geburtstag von Dr. Dietrich Flößner. – *VERNATE* 31, 101-104. [mit Schriftenverzeichnis]
2013. GRIMM, H.: Dr. rer. nat. Hans-Ulrich Peter 60 Jahre. – *Anz. Ver. Thür. Ornithol.* 7, 405-410. [mit Schriftenverzeichnis]
2013. KÖHLER, G. & K. REINHARDT: Nachruf auf Dr. rer. nat. Jörg Samietz (1969-2013). – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 50(2), 89-90; *Articulata* 28(1/2), 139-144. [mit Verzeichnis orthopterologischer Schriften] [dazu noch KÖHLER, G. & R. BELLSTEDT, *Mitt. Thür. Ent.* 20(2), 74-77.]
2015. REINHARDT, K.: Prof. Dr. rer. nat. habil. Günter Köhler zum 65. Geburtstag. – *Ent. Nachr. Ber.* 59(2), 145-155. [mit Schriftenverzeichnis] [dazu noch: CREUTZBURG, F. & R. BELLSTEDT, *Mitt. Thür. Ent.* 22(1), 25-47 (mit Schriftenverzeichnis); FRITZLAR, F., *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 52(2), 91.]
2015. PUSCH, J.; BARTHEL, K.-J. & W. HEINRICH: Die Botaniker Thüringens. – *Hausknechtia*, Beih. 18, 932 S. [mit Kurzbiographien zu Heinrich Dörfelt, Wolfgang Heinrich, Gottfried Jetschke, Rolf Marstaller und Christiane Roscher]
2016. KÖHLER, G.: PD Dr. rer. nat. habil. Gottfried Jetschke zum 65. Geburtstag. – *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 53(2), 92.
2016. KNORRE, D. VON: In memoriam Dr. habil. Wilfried Schönborn. 03.02.1934 – 04.03.2016. – *Thür. Ornithol. Mitt.* 60, i. Dr.

GÜNTER KÖHLER

Anhang

Anhang 1: Arbeitsgruppen am Institut für Ökologie (1990-2016) und assoziierte Professuren am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv).

| Gruppenbezeichnung | Leitung | Zeitraum |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Ökosystemforschung | Gerhard Schaller | 1990-1995 (Ruhestand) |
| Ökosystemforschung | Winfried Voigt | 1995-1996, 1998-2001 |
| Ökosystemforschung I | Rudolf Bährmann | 1996-1997 (Ruhestand) |
| Ökosystemforschung II | Winfried Voigt | 1996-1997 |
| Ökosystemanalyse | Winfried Voigt | seit 2002 |
| Ökophysiologie | Rudolf Bährmann | 1990-1992 |
| Populationsökologie | Rudolf Bährmann | 1992-1996 |
| Populationsökologie | Günter Köhler | 1996-1999 |
| Populationsökologie | Wolfgang Weisser | 1999-2003 |
| Multitrophische Interaktionen | Wolfgang Weisser | 2003-2011 |
| Populationsökologie | Holger Schielzeth | seit 2016 |
| Naturschutz/Landschaftsgestaltung | Wolfgang Heinrich | 1990-1992 |
| Naturschutz/Landschaftsgestaltung | Rolf Marstaller | 1992-1996 |
| Geobotanik | Rolf Marstaller | 1996-1998 (Ruhestand) |
| Naturschutz | Heinrich Dörfelt | 1999-2002 |
| Wirbeltierökologie | Hans-Ulrich Peter | 1990-1996 |
| Ornitho-Ökologie | Hans-Ulrich Peter | 1996-1998 |
| Polar- und Ornitho-Ökologie | Hans-Ulrich Peter | 1998-heute |
| Verhaltensökologie | Stefan Halle | 1996-2000 |
| Kleinsäuger-Ökologie | Stefan Halle | seit 2000 |

| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Theoretische Ökologie | Gottfried Jetschke | 1990-2000 |
| Pflanzenökologie | Gottfried Jetschke | 2000-2011 |
| Dendro-Ökologie | Gottfried Jetschke | 2011-2016 (Ruhestand) |
| Funktionelle Vegetationsökologie | Markus Bernhardt- Römermann | seit 2014 |
| Limnologie | Wilfried Schönborn | 1993-1998 (Ruhestand) |
| Limnologie | Heike Zimmermann- Timm | 1999-2002 |
| Limnologie / Geomikrobiologie | Kirsten Küsel | 2004-2009 |
| Aquatische Geomikrobiologie | Kirsten Küsel | seit 2009 |
| Bodenökologie | Francois Buscot | 1999-2003 |
| Räumliche Ökologie | Kerstin Wiegand | 2003-2008 |
| Ober-/unterirdische Interaktionen | Nico Eisenhauer | 2012-2014 |
| iDiv-Professuren | | |
| Ökosystemare Dienstleistungen | Aletta Bonn | seit 2014 |
| Molekulare Interaktionsökologie | Nicole van Dam | seit 2014 |
| Biodiversitätstheorie | Ulrich Brose | seit 2015 |

Anhang 2: Mitarbeiter im Sekretariat und Technischen Bereich am WB/
Institut für Ökologie (1966-2015).

| Funktion | Vorname Name | Zeitraum (Projekt) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|
| Wissenschaftsbereich Ökologie | | |
| Sekretärin (WB) | Ilse Weinhold | 1966-um 1990 |
| Gärtner | Ingo Schröter | 1966-um 1970 |
| Technische Assistentin | Ute Gangloff | 1965-vor 1973 |
| Technischer Assistent | Herr Hoffmann | Anfang 1970er |
| Technische Assistentin | Marianne Bedziecha | bis 1973/74 |
| Technische Assistentin | Agnes v. Berlepsch, verh. Schmidt | 1974-1977 |
| Technische Assistentin | Grimm, Ulrike | 1975/76 |
| Technische Assistentin | Bärbel Fabian | 1973/75-2006 |
| Technische Assistentin | Ingrid Jakobi | 1979-2008 |
| Technischer Assistent | Jürgen Heyer | 1980-2000 |
| Technische Mitarbeiterin | Frau Zenker | 1980er (kurzzeitig) |
| Institut für Ökologie | | |
| <i>Terrestrische Ökologie</i> | | |
| Sekretär (Institut) | Alexander Haase | ca. 1994-1996 |
| Techn. Assistentin/Sekretärin | Katja Thiele | 1994-1996 |
| Sekretärin (Institut) | Carola Schache | 1989-1997 |
| Sekretärin / FA Bürokommunikation (Institut) | Denise Goepfert | seit 1996 |
| Technische Assistentin | Sybille Koch | 1994-vor 2000 (Stuednitz-P.) |
| Technischer Mitarbeiter | Volkmar Haus | seit 2000 (Remderoda) |
| Technische Assistentin | Sylvia Creutzburg | seit 2001 (BIOLOG) |

| | | |
|--|------------------------|---|
| Technische Assistentin | Silke Schroeckh | seit 2008 (Exploratorien) |
| Technische Assistentin | Ilka Egerer verh. Wolf | seit 2001 (BIOLOG) |
| Technischer Mitarbeiter | Tim Walther | 2006-2008 (Bodenanalytik) |
| | | <i>Jena-Experiment</i> |
| Gärtnerischer Mitarbeiter | Steffen Eismann | seit 2002 |
| Gärtnerische Mitarbeiterin | Heike Scheffler | seit 2002 |
| Gärtnerischer Mitarbeiter | Bernhard Lenk | 2002-2003 |
| Gärtnerin/Techn. Assistentin | Ulrike Wehmeier | 2002-2005 |
| Gärtnerische Mitarbeiterin | Sylvia Junghans | 2002-2009 |
| Gärtnerische Mitarbeiterin | Silke Hengelhaupt | seit 2004 |
| Gärtnerische Mitarbeiterin | Katja Kunze | seit 2005 |
| Technische Assistentin | Gerlinde Kratzsch | seit 2005 |
| Gärtnerische Mitarbeiterin | Ute Köber | seit 2006 |
| Gärtnerischer Mitarbeiter | Steffen Ferber | mit Unterbrechungen |
| <i>Limnologie / Aquatische Geomikrobiologie</i> | | |
| Sekretärin | Heidrun Hopfgarten | 1999-2003 |
| Sekretärin | Karina Liebsch | seit 2013 |
| Bibliothekarin/Techn. Assist. | Ursula Schäfer | 1993-2002 |
| Herausgeber-Assistentin | Anita Lange | 1993-2006 (auch Spez.Botanik) |
| Wissenschaftliche Mitarbeiterin | Gisela Guthke | 1993-1994 (Ilm- Projekt) |
| Technische Assistentin | Gudrun Härtel | 1999-2004 |
| Technischer Assistent | Dr. Wolfgang Fischer | 2005-2013 |
| Technische Assistentin | Susanne Grube | 2009-2011 (Mikrobielle Verockerung) |

| | | |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Technische Assistentin | Maren Sickinger | 2011-2015 (SFB 1076 AquaDiva) |
| Technischer Assistent | Bernd Ruppe | seit 2014 |
| Technischer Assistent | Falko Gutmann | seit 2014 |
| Technischer Assistent | Jens Wurlitzer | seit 2013 |
| Technische Assistentin | Patricia Lange | seit 2015 |

Anhang 3: Mitarbeiter der Ökologie in Herausgeber-Gremien von Zeitschriften (diese in alphabetischer Folge).

| Zeitschrift | Mitarbeiter | Zeitraum |
|---|---------------------|-----------------|
| Applied and Environmental Microbiology (Editorial Board) | Küsel | 2005-2013 |
| Archiv f. Protistenkunde / Archive for Protist Research (Editorial Assistant) | Lange | 1984-1997 |
| Archiv f. Protistenkunde / Archive for Protist Research (Co-Editor) | Schönborn | |
| Articulata (Dt. Ges. Orthopterologie) (Wiss. Beirat) | Köhler | seit 2000 |
| Beiträge zur Ökologie (Hrsg.) | Voigt | 1995-2000 |
| Beiträge zur Ökologie (Hrsg.) | Marstaller | 1996-2000 |
| Beiträge zur Ökologie (Wiss. Beirat) | Bährmann | 1995-2000 |
| Berichte aus den Arbeitskreisen Heimische Orchideen (Redaktionsmitglied) | Heinrich | seit 1991 |
| Biogeosciences (Associate Editor) | Küsel | seit 2008 |
| Entomologia experimentalis et applicata (Co-editor) | Müller | 1958-1973 |
| Folia Geobotanica | Bernhardt-Römermann | seit 2013 |
| Forstarchiv | Bernhardt-Römermann | seit 2011 |
| Informationen zur floristischen Kartierung Thüringens (Redaktionsmitglied) | Heinrich | seit 1991 |
| Journal of Ornithology | Peter | seit 2013 |
| Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen (Redaktionskollegium) | Peter | seit 1994 |
| Limnologica (Editorial Assistant) | Lange | 1982-2005 |
| Limnologica (Hrsg.) | Schönborn | 1992-2004 |
| Limnologica (Advisory Board) | Zimmermann-Timm | seit 2002 |
| Pedobiologia – Journal of Soil Biology (ed.) | Eisenhauer | seit 2013 |

| | | |
|--|----------|-----------|
| PLoS ONE (Academic Editor) | Peter | seit 2011 |
| Polarforschung (Editorial Board) | Peter | seit 2005 |
| Studia dipterologica | Bährmann | seit 1995 |
| Wiss. Zeitschrift FSU Jena, Beiträge zur Ökologie u. Landeskultur (Schriftleitung) | Heinrich | 1973-1989 |
| Zoologische Jahrbücher für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere (Hrsg.) | Müller | 1972-1988 |
| Zoologische Jahrbücher Syst. (Hrsg.) | Schaller | 1988-1995 |
| Zoologische Jahrbücher Syst. (Hrsg.) | Bährmann | 1988-1995 |

Anhang 4: Mitwirkende Autoren

| Name, Vorname | Titel | E-Mail / Adresse |
|-----------------------------|------------------|---|
| Bährmann, Rudolf | Prof. Dr. habil. | r.baehrmann@t-online.de |
| Bernhardt-Römermann, Markus | PD Dr. habil. | markus.bernhardt@uni-jena.de |
| Braun, Christina | Dipl.biol. | christina.braun77@gmx.de |
| Buscot, François | Prof. Dr. habil. | francois.buscot@ufz.de |
| Cesarz, Simone | Dr. | simone.cesarz@idiv.de |
| Dörfelt, Heinrich | Doz. Dr. habil. | heinrich.doerfelt@t-online.de |
| Ebeling, Anne | Dr. | anne.ebeling@uni-jena.de |
| Eisenhauer, Nico | Prof. Dr. habil. | nico.eisenhauer@idiv.de |
| Goßner, Martin M. | Dr. habil. | martin.gossner@tum.de |
| Halle, Stefan | Prof. Dr. habil. | stefan.halle@uni-jena.de |
| Heinrich, Wolfgang | Dr. | wope.heinrich@t-online.de |
| Herrmann, Martina | Dr. | martina.herrmann@uni-jena.de |
| Jetschke, Gottfried | PD Dr. habil. | bgj@uni-jena.de |
| Köhler, Günter | Prof. Dr. habil. | guenter.koehler@uni-jena.de |
| Küsel, Kirsten | Prof. Dr. habil. | Kirsten.kuesel@uni-jena.de |
| Kunert, Grit | Dr. | gkunert@ice.mpg.de |
| Marstaller, Rolf | Dr. | Distelweg 9, 07745 Jena |
| Meidl, Eva-Barbara | Dipl.biol. | eva-barbara.meidl@reg-ufr.bayern.de |
| Möller, Ulrich | Dipl.-Ing. | b5ulmo@uni-jena.de |
| Peter, Hans-Ulrich | Dr. | hans-ulrich.Peter@uni-jena.de |
| Reinhardt, Klaus | Prof. Dr. habil. | klaus.reinhardt@tu-dresden.de |
| Renker, Carsten | Dr. | carsten.renker@stadt.mainz.de |
| Risse-Buhl, Ute | Dr. | ute.risse-buhl@ufz.de |
| Roscher, Christiane | PD Dr. habil. | christiane.roscher@ufz.de |
| Schäller, Gerhard | Prof. Dr. habil. | Birkenweg 2, 07745 Jena |
| Schmidt, Alexander | Prof. Dr. habil. | alexander.schmidt@geo.uni-goettingen.de |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Schönborn, Winfried | Dr. habil. | (†) |
| Unsicker, Sybille | Dr. | sunsicker@ice.mpg.de |
| Voigt, Winfried | Dr. | winfried.voigt@uni-jena.de |
| Weigelt, Alexandra | Dr. habil. | alexandra.weigel@uni-leipzig.de |
| Weisser, Wolfgang W. | Prof. Dr. habil. | wolfgang.weisser@tum.de |
| Wiegand, Kerstin | Prof. Dr. habil. | kerstin.wiegand@uni-goettingen.de |
| Witsack, Werner | Prof. Dr. habil. | witsack@gmx.de |
| Zimmermann-Timm, Heike | PD Dr. habil. | zimmermann-timm@bio.uni-frankfurt.de |

