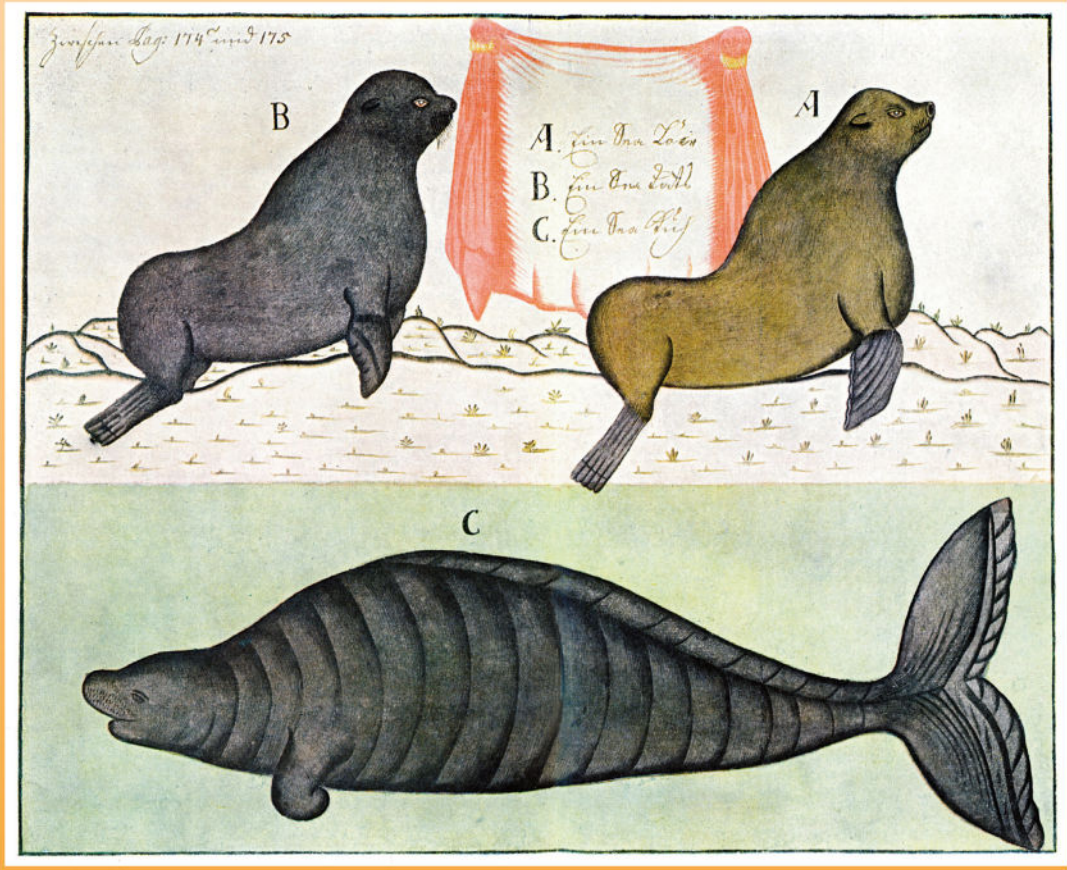
ZOOLOGIE 2022

Mitteilungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft

Herausgegeben von
Rudolf Alexander Steinbrecht



113. Jahresversammlung
Würzburg, 30. 8. - 3. 9. 2021

Biohistoricum im Zoologischen Museum
Alexander Koenig · Bonn
Basilisken-Presse · Rangsdorf

ZOOLOGIE 2022

Mitteilungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft

Herausgegeben von Rudolf Alexander Steinbrecht

Basilisken-Presse Rangsdorf
2022

Umschlagsbild
Eine Tafel aus Sven Waxells Bericht von Berings Seereise nach Amerika, die Stellers Seelöwen, *Eumetopias jubatus* (A *Ein See Leuw*), Nördlichen Seebär, *Callorhinus ursinus* (B *Ein See Kats*) und Stellers Seekuh, *Hydrodamalis gigas* (C *Eine See Kuh*) zeigt. Wie Büchner (1891), der das Manuskript von Waxell samt den dort eingeklebten Abbildungen in der Privatbibliothek des Zaren entdeckte, darlegt, sind wahrscheinlich diese und andere Darstellungen der Stellerschen Seekuh Kopien von Zeichnungen, die seinerzeit von Stellers Begleiter Friedrich Christian Plenisner auf der Beringinsel angefertigt wurden. Da die Stellersche Riesenseekuh schon kurz nach ihrer Entdeckung ausgerottet wurde, existieren keine weiteren Darstellungen „nach der Natur". Auch Waxells Manuskript entging nur knapp dem Verlust, als die Zarenbibliothek in Zarskoe Selo während der Revolution 1917 aufgelöst wurde. Über Privathände gelang es 1938 wieder in öffentlichen Besitz, wurde 1940 erstmals in russischer Sprache veröffentlicht, dann 1948 aus der deutschen Sprache des Originals ins Dänische übersetzt und 1968 erschien eine deutsche Ausgabe. Das Original befindet sich jetzt in der Russischen Nationalbibliothek in Sankt Petersburg. (Abb. aus Waxell, 1940).

Siehe auch den Beitrag von A.V. Smirnov über Georg Wilhelm Steller in diesem Heft (dort auch die zitierte Literatur).

Die Mitteilungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft
erscheinen einmal jährlich.
Einzelhefte sind bei der Geschäftsstelle (Corneliusstr. 12, 80469 München),
zum Preis von 10,00 € erhältlich.

Gestaltung:
Klaus Finze ProSatz&Gestaltung
Adam-Brüderle-Straße 33
86633 Neuburg an der Donau

Druck:
FORSTNER
Nunzenrieder Straße 9
92526 Oberviechtach

Copyright 2022 by Basilisken-Presse
im Verlag Natur + Text · Rangsdorf
Printed in Bundesrepublik Deutschland
ISSN 1617-1977

Inhalt

Gabriele Uhl	5	Grußwort der Präsidentin der DZG
Gabriele Uhl	7	Laudatio auf Jürgen Heinze anläßlich der Verleihung des Karl-Ritter-von-Frisch-Preises 2021
Jürgen Heinze	11	Die Königin, die Arbeiterinnen und der Tod: Altern und reproduktiver Erfolg bei sozialen Insekten
Ralph Tollrian	23	Laudatio auf Linda Weiss anlässlich der Verleihung des Walther-Arndt-Preises 2021.
Linda Weiss	27	Neuronale und Zelluläre Grundlagen der Räuber- induzierten phänotypischen Plastizität
Walter Salzburger	41	Laudatio auf Fabrizia Ronco anlässlich der Verleihung des Horst-Wiehe-Preises 2021
Fabrizia Ronco	43	Neue Erkenntnisse zum Verlauf der adaptiven Radiation afrikanischer Buntbarsche
	49	Werner-Rathmayer-Preis der Deutschen Zoologischen Gesellschaft
Klaus Rehfeld	51	Darstellung und Selbstdarstellung der Wissenschaften und die Aufgaben des Wissenschaftsjournalismus
Alexey V. Smirnov	69	Die deutschen Wurzeln der russischen Zoologie III. Georg Wilhelm Steller
Helmut Berger	91	Nachruf auf Wilhelm Foissner 18. August 1948 – 20. März 2020

Stefan Scheu 95 Nachruf auf Matthias Schaefer
23. April 1942 – 28. September 2021

Gabriele Uhl 101 Nachruf auf Peter Weygoldt
24. April 1933 – 23. Oktober 2021

Michael Schmitt 107 Nachruf auf Klaus-Günter Collatz
25. April 1942 – 6. November 2021

Randolf Menzel 111 Nachruf auf Hans-Joachim Pflüger
7. März 1949 – 25. Januar 2022

Grußwort der Präsidentin der Deutschen Zoologischen Gesellschaft

Gabriele Uhl

Liebe Zoologinnen, liebe Zoologen,

die Wahl des Vorstands durch die Mitglieder hat im letzten Herbst stattgefunden, und ich bedanke mich bei allen Mitgliedern für das Vertrauen, durch das ich für die nächsten zwei Jahre Präsidentin der DZG sein darf. Da ich schon sechs Jahre im Vorstand mitgearbeitet habe, bin ich auf die meisten Aufgaben eingestimmt. Mein Wunsch ist es, die Kommunikation zwischen Mitgliedern, Fachgruppen und Vorstand auszubauen. Ich möchte dazu anregen gemeinsam zu überlegen, wie wir verschiedene wissenschaftliche Interessen und persönliche Bedürfnisse aktiv in die Gesellschaft und ihre Tagungsformate integrieren können.

Seit meiner ersten DZG Tagung in Tübingen hat mir die Breite der Themen sehr gut gefallen. Damals war die große Frage, ob und wie die DZG der Zersplitterung der Zoologie in Teildisziplinen mit ihren separaten Tagungen standhalten könnte; ob solche übergeordneten Tagungen überhaupt noch gebraucht werden, ob man - gerade als junge Wissenschafter:in - nicht besser beraten sei, ebensolche spezifischeren Tagungen auf internationaler Bühne zu besuchen, statt zu nationalen Treffen zu gehen.

Durch die Kombination von Hauptvorträgen aus verschiedenen Teildisziplinen und dem intensiven Austausch in und zwischen den Fachgruppen ist es aus meiner

Foto: Wally Pruss

Sicht gelungen, die DZG als wichtige Plattform mit drei Standbeinen fest im Jahresplan der Zoolog:innen zu etablieren. Die Tagungen bieten zoologische Horizonterweiterung, wissenschaftlichen Diskurs im Detail und reichlich Möglichkeit zum Netzwerken, sei es am Poster, in den Pausen oder abends in der Kneipe. Die Fachgruppen bieten regelmäßig Workshops und Graduiertentreffen an; das sind großartige Möglichkeiten zur Fortbildung und zum intensiven Austausch in einer überschaubaren Gruppe.

Fachgruppenüberspannende Themen sind bei der DZG durch Satellitensympo-

sien und Graduiertentreffen seit vielen Jahren etabliert. Die einzelnen Fachdisziplinen sind methodisch und konzeptionell auf verschiedenen Ebenen verknüpft. Ich habe mich selbst über viele Jahre auf die Fachgruppe Evolutionsbiologie konzentriert, besonders als ich dort Sprecherin war. Vorträge und Poster anderer Fachgruppen zu besuchen war jedoch immer ein entscheidender Mehrwert der DZG-Tagungen für mich. Wo bekommt man innerhalb von wenigen Tagen mit, was die Zoologie als Ganzes und im Detail derzeit beschäftigt? Viele Ideen sind durch persönliche Gespräche während der DZG-Tagungen entstanden.

Für den wissenschaftlichen Nachwuchs ist es unabdingbar, dass wir als zoologische Gemeinschaft einen Rahmen schaffen, in dem die Ergebnisse der Abschlussarbeiten vorgestellt und diskutiert werden können, in dem auch Kontakt zu den etablierten Wissenschaftler:innen geknüpft werden kann, auch um mögliche Anschlussfinanzierungen zu besprechen. Aber auch der Austausch über gute und schlechte Seiten des Wissenschaftssystems und, zum Beispiel, wie Forschung und Familie vereinbart werden können, sind wichtig und immer Teil unserer Tagungen, zumindest im persönlichen Gespräch.

Nach dem letztjährigen virtuellen Treffen und nach einer gefühlt sehr langen Zeit der Kommunikation mit Kolleg:innen in Kachelansicht, freue ich mich auf die diesjährige Tagung in Bonn, weil wir den direkten, persönlichen Austausch untereinander brauchen. Noch stärker gilt dies für Bachelor-, Masterstudierende und Doktorierende – sie brauchen dringend Gelegenheit um „live" ihre Forschungsprojekte vorstellen zu können und sich auszutauschen. Durch eine Präsenz-Jahrestagung werden die drei Standbeine der Zoologischen Gesellschaft wieder erfahrbar: Horizonterweiterung, Diskurs und Netzwerken. Ich freue mich auch darauf, einfach so mit Personen, die ich noch nicht kenne, ins Gespräch zu kommen, am Poster, in den Pausen oder abends in der Kneipe im bunt zusammengewürfelten Haufen.

Aber zunächst wünsche ich Ihnen Freude beim Lesen der Originalartikel sowie eine besinnliche Zeit beim Lesen der Nachrufe, in denen den Lebensläufen verstorbener DZG Mitglieder nachgespürt wird.

Mit den besten Wünschen,
Gabriele Uhl

Prof. Dr. Gabriele Uhl
Universität Greifswald, Allgemeine und Systematische Zoologie
Loitzer Straße 26
17489 Greifswald
gabriele.uhl@uni-greifswald.de

Laudatio auf Jürgen Heinze anläßlich der Verleihung des Karl-Ritter-von-Frisch-Preises 2021

Gabriele Uhl

Lieber Jürgen, liebe Kollegen, Studenten, Gäste und Freunde, vor Ort und online verbunden,

dieser Preis ist dem Lebenswerk des Nobelpreisträgers Prof. Dr. Karl Ritter von Frisch gewidmet, der die Vielfalt der biologischen Wissenschaften als Einheit begriffen hat.

Karl von Frisch und Jürgen Heinze haben viel gemeinsam: die Liebe zur Erforschung der Natur, die Begeisterung für soziale Insekten und vor allem das Händchen für detaillierte experimentelle Untersuchungen, um faszinierenden Phänomenen auf die Spur zu kommen. Bevor ich die vielen Leistungen des Preisträgers hervorhebe, möchte ich auf diese "Liebe zur Erforschung der Natur" näher eingehen, denn ich denke, dass Jürgen Heinzes Faszination für die Natur die Grundlage für seine erfolgreiche Forschung ist. Einige kleine Anekdoten mögen helfen, seine Begeisterung widerzuspiegeln: Während einer großen internationalen Tagung über soziale Insekten wurde er außerhalb des Tagungsortes mit einem Taschenmesser in der Hand und einem Stück Holz gesichtet, aus dem er gerade eine *Cardiocondyla*-Ameisenkolonie herausgezogen hatte. Er war überglücklich. Oder Jürgen Heinze zückte in einer Konferenzpause zum Erstaunen der anderen Teilnehmer einen Exhaustor und fing an, Ameisen zu sammeln, während die anderen sich unterhielten - er kümmerte sich nicht darum, was die anderen denken könnten, sondern war begeistert von dem, was er entdeckte.

Jürgen Heinze ist ein sorgfältiger Beobachter der Natur, ein Naturforscher. Die Naturgeschichte ist der Ort, an dem die Untersuchung beginnt: mit der sorgfältigen Beobachtung einzelner Organismen in ihrer Umgebung - und von dort auf die verschiedenen Organisationsebenen ausweitend - vom einzelnen Organismus über die Arten bis hin zu größeren ökologischen Wechselwirkungen und evolutionären Mustern. So kann eine erste Beobachtung der Ausgangspunkt für gut durchdachte Experimente sein - mit dem Ziel, ein umfassenderes Verständnis dessen zu erlangen, was um uns herum vor sich geht, und uns zu allgemeinen Schlussfolgerungen und grundlegenden Prinzipien zu führen.

Viele experimentelle Biologen verfolgen den umgekehrten Ansatz. Eine konzeptionelle Frage führt zu einem Experiment, in dem das Konzept getestet wird. Dieser Ansatz erfordert natürlich eine gute Übereinstimmung zwischen der Fragestellung und der gewählten Art. Ob die Frage für das untersuchte System relevant ist, hängt wiederum vom Wissen über die Biologie der Art ab. Experimente zum Sozialverhalten müssen beispielsweise die natürliche Gruppengröße und -zusam-

mensetzung berücksichtigen, um aussagekräftige Schlussfolgerungen zu ermöglichen. Jürgen Heinze verfolgt in seiner Forschung beide Forschungsrichtungen in einer sich wechselseitig befruchtenden Weise. Er lässt sich von naturkundlichen Beobachtungen inspirieren, führt kluge Experimente durch, leitet aus den Ergebnissen Verallgemeinerungen ab und testet theoretische Konzepte an geeigneten Studiensystemen.

Das Hauptinteresse von Jürgen Heinze gilt den Ameisenvölkern. Er zeichnet sich dadurch aus, dass er die Naturgeschichte der vielen Ameisenarten, die er studiert, im Detail kennt. Dieses Wissen ermöglicht es ihm, prägnante vergleichende Fragen zur Organisation und Evolution von Ameisengesellschaften zu stellen.

Ein großer Teil seiner Forschung konzentriert sich auf "Konflikt und Konfliktlösung" und die "Evolution alternativer Fortpflanzungstaktiken" in Ameisengesellschaften, wo er Licht in Kommunikationsnetzwerke und in bisher unbekannte Taktiken von Königinnen und - ein sehr wichtiger Aspekt seiner Arbeit - der oft vernachlässigten Männchen gebracht hat. Er konzentriert sich speziell auf zwei Ameisentaxa: *Leptothorax* und *Cardiocondyla*, die eine extrem vielfältige Biologie zwischen den Arten aufweisen und faszinierende Polymorphismen in beiden Geschlechtern. Jürgen Heinze hat viele Facetten dieser Taxa erforscht, von der Zusammensetzung der Kolonie über die Entwicklung und Alterung bis hin zu Aspekten der sexuellen Selektion und der lokalen Konkurrenz um Partner, die die Gruppendynamik stark beeinflussen. In ein paar Minuten werden wir durch seinen Vortrag einen Einblick in diese faszinierende Welt erhalten.

Schon früh erkannte Jürgen Heinze den Nutzen der Kombination von naturkundlichen und molekularen Methoden. Er etablierte als einer der ersten molekulare und genomische Expertise in seinem Labor und befasste sich mit populationsgenetischen und soziogenetischen Aspekten von Ameisengesellschaften. In jüngster Zeit kombiniert er experimentelle Manipulationen mit Transkriptomik, um beispielsweise die Mechanismen zu bestimmen, die zur Differenzierung der Fortpflanzungsaufgaben bei einer klonalen Ameisenart führen. Ebenso spannend ist das Phänomen, dass hoch reproduktive Königinnen länger leben als Arbeiterinnen, obwohl die Theorie besagt, dass es einen Kompromiss zwischen Investitionen in die Fortpflanzung und Langlebigkeit geben sollte. Darüber hinaus untersucht sein Team derzeit die genetischen Mechanismen, die dem Expansionserfolg einer invasiven Ameisenart zugrunde liegen, indem die Rolle der Rekombinationsrate und transponierbarer Elemente analysiert wird. All diese Aspekte sind Teil einer umfassenderen Agenda, die letztlich auf ein ganzheitliches Verständnis der Funktionsweise von Ameisenkolonien, ihrer Anpassung an die Umwelt und ihrer Evolution abzielt.

Als Gruppenleiter, zunächst in Erlangen und seit 2000 in Regensburg, zog er viele Nachwuchswissenschaftler*innen an, die sich für die Ameisenforschung interessierten - aber das war keine Voraussetzung. Die Mitarbeiter*innen seiner Gruppe sollten seine Fähigkeiten ergänzen und nicht unbedingt seine "Helfer im

Ameisenforschungsnest" sein. Er schien ihr naturforschendes Talent erkannt zu haben - mehrere hoch anerkannte Forscher *innen sind aus seinem Labor hervorgegangen. Sie sind voll des Lobes und beschreiben ihn als einen sehr unterstützenden Gruppenleiter, ruhig, gut organisiert und engagiert. Er unterstützt den wissenschaftlichen Nachwuchs zuverlässig mit wertvollen Ratschlägen zu Forschungsfragen, Versuchsaufbauten und mit seinem enormen Wissen über die Literatur zu vielfältigen Themen. Dies alles tut er ohne viel Aufhebens.

Darüber hinaus ist Jürgen Heinze in wissenschaftlichen Gesellschaften und Gremien sehr aktiv. So war er über viele Jahre Mitglied der DFG-Fachkommission, Mitglied des Senats der DFG und Mitglied des Fachkollegiums Zoologie der DFG. Seit 2016 ist er Mitglied des Expertengremiums für die Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder. Seit 2018 ist er Mitglied des Wissenschaftsrates, dessen Mitglieder wissenschaftliche Exzellenz mit wissenschaftspolitischer Kompetenz verbinden. Seine Verdienste um Wissenschaft und Gesellschaft sind herausragend. So ist es nicht verwunderlich, dass er bereits 2004 zum Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina ernannt wurde.

Die Verdienste von Jürgen Heinze um die Gemeinschaft beziehen sich auch auf die Zoologie als solche. Um dies zu erläutern, möchte ich auf die Motivation für die Einführung des Karl-Ritter-von-Frisch-Preises im Jahr 1979 zurückkommen. Damals schrieb Martin Lindauer an Karl von Frisch. "*Wir machen uns Sorgen darüber, dass die Zoologie zunehmend in Teildisziplinen zerfällt, die sich gegeneinander abkapseln und damit die grossen Zusammenhänge aus den Augen verlieren. Durch die Stiftung eines ,,Karl-Ritter-von-Frisch-Preises'' möchten wir solchen Entwicklungen entgegentreten.....*"[1]

Das Engagement von Jürgen Heinze für eine einheitliche Zoologie ist offensichtlich. Zusammen mit Barbara König gründete er 1994 die Sektionsgruppe "Evolutionsbiologie" innerhalb der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, die dem wachsenden Interesse an diesem Fachgebiet auf nationaler Ebene eine Plattform bot. Diese Sektion ist seither sehr aktiv und mit anderen Sektionen wie Systematik, Ökologie und Verhalten gut vernetzt. Ein weiteres Beispiel ist sein Engagement in der Internationalen Gesellschaft für Zoologische Wissenschaften. Seit 2008 ist er Mitglied des Vorstands dieser Gesellschaft. Das Ziel der Gesellschaft ist es, Wissenschaftler zu vereinen, um die Zoologie auf integrative Weise zu fördern und die internationale Zusammenarbeit zu unterstützen.

Die Integration von Teildisziplinen der Zoologie ist auch das Ziel des Journals *Frontiers in Zoology*, dessen Mitherausgeber Jürgen Heinze seit der Gründung des Journals im Jahr 2004 ist. Mit dieser Zeitschrift, die mit Unterstützung der DZG herausgegeben wird, ist die Zoologie wieder zu einer integrativen Disziplin geworden, die verschiedene Aspekte des

1. Gießler, S., Steinbrecht, R.A., 2007. Zur Historie der DZG: Wie der Karl Ritter von Frisch-Preis entstand. ZOOLOGIE 2007, Mitt. d. Dtsch. Zool. Ges., 37-42.

tierischen Lebens umfasst, von den Genen bis zu den Ökosystemen. Sie ist eines der wichtigsten Aushängeschilder der zoologischen Forschung, und Jürgen Heinzes ständiges Engagement ist Teil dieses Erfolgs.

Ich hoffe, dass diese komprimierte Darstellung von Jürgen Heinzes wissenschaftlichen Leistungen, seiner Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und seines Engagements in den Wissenschaftsgremien deutlich gemacht hat, dass Jürgen Heinze ein außerordentlich würdiger Preisträger ist.

Lieber Jürgen, ich möchte Dir im Namen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft von ganzem Herzen zur Karl-Ritter-von-Frisch-Medaille gratulieren, die Du so sehr verdient hast.

Prof. Dr. Gabriele Uhl
Zoologisches Institut und Museum
der Universität Greifswald
Loitzer Str. 26, 17489 Greifswald
gabriele.uhl@uni-greifswald.de

Die Königin, die Arbeiterinnen und der Tod: Altern und reproduktiver Erfolg bei sozialen Insekten

Jürgen Heinze

Altern und Tod sind so allgegenwärtig, dass die Frage nach dem „Warum" naiv und die Antwort darauf banal erscheint. „Das entscheidend Charakteristische dieser Welt ist ihre Vergänglichkeit" heißt es bei Franz Kafka – schließlich geht ja alles mit der Zeit kaputt. Dennoch gehören Altern und Tod zu den großen ungeklärten Problemen der Evolutionsbiologie (Sherratt und Wilkinson, 2009). Mittlerweile versuchen mehr als 300 mehr oder weniger fundierte Theorien und Hypothesen zu erklären, warum die Lebensdauer von Organismen begrenzt ist und warum sogar Individuen nah miteinander verwandter Arten so unterschiedlich schnell altern können (Medvedev, 1990; Viña et al., 2007).

Wikipedia definiert Altern als fortschreitenden, nicht umkehrbaren biologischen Prozess, der nach und nach zum Verlust der gesunden Körper- und Organfunktionen und schließlich zum biologischen Tod führt. Beim Menschen nehmen beispielsweise die Leistungsfähigkeit des Stoffwechsels, der Lungen, des Immunsystems und des Gedächtnisses mit steigendem Lebensalter ab. Auch Seh-, Hör- und Riechvermögen verschlechtern sich. Gleichzeitig steigt mit dem Alter die Häufigkeit von Krebs, Herz- und Kreislauferkrankungen usw. und damit die Wahrscheinlichkeit, innerhalb der nächsten Jahre zu versterben, an. Dies gilt so oder so ähnlich für alle Lebewesen, wobei sich das Tempo des Alterns und damit die mittlere Lebenserwartung zwischen Arten natürlich sehr stark unterscheiden. Bei Pflanzen sind beispielsweise einzelne Vertreter der Westlichen Grannen-Kiefer *Pinus longeva*, treffend auch als „Langlebige Kiefer" bezeichnet, über 4000 Jahre alt, während die Acker-Schmalwand *Arabidopsis thaliana* üblicherweise nur eine Lebensdauer von wenigen Wochen hat. Bei Tieren erreichen Arten wie der antarktische Schwamm *Cinachyra antarctica*, die Islandmuschel *Arctica islandica*, Riesenschildkröten oder Grönlandwale ein methusalemisches Alter von weit über hundert Jahren, Bauchhärlinge (Gastrotricha) durchlaufen ihren Lebenszyklus aber innerhalb weniger Tage (www.senescence.info). Und auch Organismen, die sich in Morphologie und Körpergröße weniger unterscheiden als Grönlandwale und die mikroskopisch kleinen Gastrotrichen, können sehr unterschiedliche Lebensdauern aufweisen – beispielsweise können bei Fischen Stachelköpfe (*Sebastes*) oder auch Kois (*Cyprinus carpio*) über hundert Jahre alt werden, während die ähnlich großen und schweren Rotlachse (*Oncorhynchus nerka*) mit einem Alter von ca. acht Jahren nach einmaligem Ablaichen sterben (Mangel et al., 2007).

Von den oben erwähnten Alternstheorien finden nur wenige eine breitere An-

erkennung und Anwendung. Zum einen sind dies die Schadenstheorien, wonach Altern und Tod die Konsequenz von Mutationen in der DNA somatischer Zellen, von Schädigungen von DNA, Proteinen oder Zellmembranen durch reaktive Sauerstoffverbindungen („oxidativer Stress") oder der Verkürzung der für die DNA-Replikation nötigen Telomere sind (Jin, 2010). Allerdings können all diese Schäden prinzipiell durch effiziente DNA-Reparatursysteme, Antioxidantien oder das Enzym Telomerase behoben werden.

Hier greifen nun die Evolutionstheorien des Alterns an (Ljubuncic und Reznick, 2009; Johnson et al., 2019): vereinfachend gesagt findet danach keine Selektion gegen sich spät im Leben negativ auswirkende Mutationen statt, da die meisten Organismen in der Natur aufgrund von Prädation oder Pathogenen gar nicht bis ins hohe Alter überleben („Selektionsschatten", Medawar, 1952). Auch könnten die zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht ausreichen, um sowohl Nachkommen zu produzieren als auch auftretende Schäden in den eigenen Zellen zu reparieren, so dass eine Balance zwischen der Investition in Fortpflanzung und in die Aufrechterhaltung des eigenen Körpers gefunden werden muss („disposable soma", Kirkwood, 1977). Tatsächlich sind reproduktiver Erfolg und Lebensdauer häufig negativ korreliert, wenngleich es in der Natur oft nicht einfach ist, diesen fundamentalen „trade-off" nachzuweisen (van Noordwijk und de Jong, 1986).

Weltweit werden die meisten Untersuchungen zum Altern an Modellorganismen wie Mäusen, *Caenorhabditis* oder *Drosophila* durchgeführt. In den letzten Jahren ist aber deutlich geworden, dass soziale Insekten neue Erkenntnisse zu den ultimaten und proximaten Ursachen des Alterns beitragen können (Jemielity et al., 2005; Heinze und Schrempf, 2008; Amdam, 2011; Korb, 2016; Korb und Heinze, 2021). Die Königinnen von Honigbienen und Ameisen und die Königinnen und Könige von Termiten sind im Vergleich zu anderen Insekten sehr langlebig: während die meisten Insekten als Adulte nur wenige Monate leben, erreichen die Reproduktiven vieler sozialer Insekten eine Lebensdauer von zwanzig oder mehr Jahren (Keller und Genoud, 1997). Die Königinnen leben auch sehr viel länger als die Arbeiterinnen in ihrem Nest, obwohl sie sich genetisch nicht von ihnen unterscheiden. Und schließlich sind Königinnen sowohl langlebig als auch sehr fertil, was den oben erwähnten negativen Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Fortpflanzung umkehrt.

Dabei ist anzumerken, dass die oft drastisch verschiedene Lebensdauer von Königinnen und Arbeiterinnen nicht nur auf solche Arten beschränkt ist, bei denen sich die beiden Kasten in ihrer Larvalentwicklung, Körpergröße, Anatomie usw. unterscheiden. Reproduktive leben auch bei „königinnenlosen" Ameisen, bei denen sich alle Individuen morphologisch sehr ähnlich sind, länger als ihre sterilen Nestgenossinnen. So können beispielsweise bei *Platythyrea punctata,* einer Ameise aus den Tropen Mittelamerikas, Arbeiterinnen aus unbefruchteten Eiern neue, mit ihnen klonal identische Arbeiterinnen heranziehen (Abb. 1). Eierlegerinnen leben dennoch sehr viel länger als genetisch identische Tiere, die dies nicht

tun (Hartmann und Heinze, 2003). Auch bei der japanischen Ameise *Diacamma* sp. leben begattete, Eier legende Arbeiterinnen länger als unbegattete Arbeiterinnen, die aus unbefruchteten Eiern Männchen produzieren, und diese leben wiederum länger als Arbeiterinnen, die überhaupt keine Eier legen – wohlgemerkt alles im Labor, wo die Mortalität durch Räuber und Krankheitserreger und auch Kosten und Verschleiß durch langwierige Nahrungssuche gering sind (Tsuji et al., 1996).

Abb. 1: Arbeiterinnen der Ameise *Platythyrea punctata* auf dem Bruthaufen mit Puppenkokons und Larven. Bei jungen Arbeiterinnen ist die Cuticula noch nicht ausgehärtet und rotbraun gefärbt, ältere Arbeiterinnen sind schwarz (Foto: Abel Bernadou).

Die besonderen Zusammenhänge zwischen Fortpflanzung und Altern bei sozialen Insekten werden mittlerweile in mehreren Arbeitsgruppen näher untersucht, unter anderem in der DFG-Forschungsgruppe FOR 2281. Nicht alle Arten sozialer Insekten eignen sich dabei gleich gut für solche Projekte. Idealerweise sollte beispielsweise der zeitliche Verlauf der Fortpflanzung über die gesamte Lebenszeit der Königinnen beobachtbar sein. Allerdings verpaaren sich die Geschlechtstiere der meisten Arten unter Laborbedingungen nicht, verlässliche Marker für das Alter von Individuen fehlen (Hartmann et al., 2019), und die Königinnen sind für die komplette Analyse ihres Lebenszyklus oft viel zu langlebig (Keller und Genoud, 1997).

Hier bietet sich die Ameisengattung *Cardiocondyla* an. Mit 2-3mm Körpergröße sind die Ameisen dieser in Eurasien, Afrika und Australien mit rund 80 Arten verbreiteten Gattung sehr klein, und auch ihre Kolonien bestehen nur aus wenigen Dutzend oder Hundert Individuen (Seifert, 2002; Heinze, 2017). Charakteristisch für *Cardiocondyla* ist ein Polyphänismus mit geflügelten, friedfertigen Männchen und flügellosen Kämpfermännchen, die versuchen, die Paarung mit Jungköniginnen in ihrem Nest zu monopolisieren, indem sie alle Rivalen mit ihren zangen- oder sichelförmigen Mandibeln eliminieren (Abb. 2). Im Gegensatz zu anderen Ameisenmännchen, bei denen die Hoden frühzeitig degenerieren, können diese Kämpfermännchen zeitlebens neue Spermien produzieren und somit zahlreiche Jungköniginnen begatten (Heinze und Hölldobler, 1993).

Aufgrund der enormen Variabilität reproduktiver Taktiken und der Vielzahl an Koloniestrukturen ist *Cardiocondyla* ein ideales Modellsystem für Untersuchungen zur Evolution unterschiedlicher Lebens-

Abb. 2: Ein ergatoides Männchen von *Cardiocondyla thoracica* attackiert einen frisch geschlüpften Rivalen – mehrere Arbeiterinnen antennieren die Kontrahenten und werden das unterlegene Männchen später umbringen und zerlegen (Foto: V. Zieschank). Die kleine Abbildung zeigt den Kopf eines ergatoiden Männchens mit den für Männchen dieser Art typischen säbelartigen Mandibeln.

strategien (Oettler et al., 2010; Heinze, 2017). Die in diesem Text beschriebenen Arbeiten bilden daher nur ein kleiner Teil unserer laufenden Projekte zur Verhaltensökologie, Genomik und Phylogenie dieser Gattung ab. Tatsächlich eignen sich aber viele *Cardiocondyla* Arten wegen der nur wenige Monate dauernden Lebenszeit ihrer Königinnen sehr gut für Studien zur Regulation des Alterns. Als ideales Modellsystem erwies sich dabei die Art *Cardiocondyla obscurior*. Sie wurde 1929 von William Morton Wheeler auf Basis von Material aus Taiwan beschrieben und stammt vermutlich aus dem südostasiatischen Raum. Mittlerweile wurde sie durch den Menschen weltweit verbreitet, sie nistet beispielsweise in eingerollten Zitrusblättern und sich nicht weiterentwickelnden Anlagen von Kokosnüssen in Brasilien, in Tamariskengallen in Israel oder in hohlen Zweigen von Korallenbäumen auf Okinawa (Seifert, 2002; Heinze et al., 2006).

Durch umfangreiche experimentelle Manipulationen, Verhaltensbeobachtungen und genetische Analysen an *C. obscurior* versuchten wir, folgende Fragen zu beantworten und dadurch zu einem besseren Verständnis von Altern und Seneszenz bei sozialen Insekten beizutragen:

Warum sind die Königinnen sozialer Insekten so langlebig?

Wie können Königinnen gleichzeitig hoch fertil und langlebig sein?

Welche Mechanismen regeln die Lebensdauer?

Warum sind Königinnen sozialer Insekten so langlebig?

Keller und Genoud stellten 1997 Daten zur Lebensdauer von Reproduktiven und Nichtreproduktiven bei zahlreichen sozialen Insekten zusammen und erklärten die lange Lebensdauer der Königinnen im Einklang mit Williams' (1957) Vorstellung, wonach eine hohe Mortalität durch externe Faktoren, wie Räuber oder Krankheitserreger, zur Evolution schnelleren Alterns und einer kürzeren Lebenszeit führt. Die Wahrscheinlichkeit, dass Arbeiterinnen sozialer Insekten bei der Suche nach Nahrung oder der Verteidigung des Nests und Territoriums ihrer Kolonie Feinden oder Pathogenen zum Opfer fallen, ist hoch. Arbeiterinnen der nordafrikanischen Wüstenameise *Cataglyphis bicolor* überleben beispielsweise im Mittel nur noch für wenige Tage, nachdem sie mit

der Nahrungssuche außerhalb des Nests begonnen haben (Schmid-Hempel und Schmid-Hempel, 1984). Im Gegensatz dazu sind die Königinnen im Inneren des Nests meist sehr gut vor solchen Risiken geschützt. Dies scheint nahezulegen, dass die resultierende geringe extrinsische Mortalität die Evolution langlebiger Königinnen bedingt. Tatsächlich zeigen aber mathematische Modelle und empirische Untersuchungen, dass die extrinsische Mortalität die Stärke der natürlichen Selektion und damit die Lebensdauer von Organismen in unterschiedlicher Weise beeinflussen kann: auch ein hohes Sterberisiko kann zur Evolution langer Lebensdauern führen (Reznick et al., 2004; Moorad et al., 2019). Die Rolle externer Faktoren wurde somit häufig überschätzt. Entscheidend für die Evolution des Alterns ist vielmehr, in welchem Alter Eltern Nachkommen produzieren (Hamilton, 1966).

Wir konnten in künstlichen Kolonien mit jeweils nur einer Königin ("monogyne" Kolonien) bei drei *Cardiocondyla*-Arten zeigen, dass der reproduktive Erfolg der Königinnen positiv mit der Lebensdauer korreliert ist: Königinnen, die länger lebten, hatten mehr Nachkommen als solche, die früh starben, selbst wenn sie alle aus der gleichen Stammkolonie stammten und die Anzahl ihrer Arbeiterinnen konstant gehalten wurde (Heinze und Schrempf, 2012; Heinze et al., 2013; Kramer et al., 2015; Fuessl et al., 2015, Abb. 3). Dies scheint auf den ersten Blick trivial zu sein, denn langlebige Königinnen haben natürlich mehr Zeit, Eier zu legen. Tatsächlich war aber auch die wöchentliche Eiablagerate positiv mit der

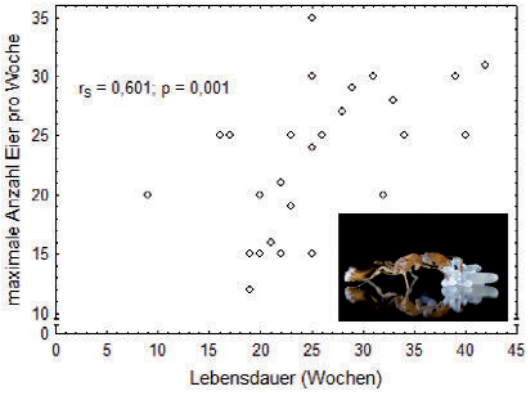


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Lebensdauer von Königinnen der Ameisenart *Cardiocondyla obscurior* und ihrer Fekundität, hier ausgedrückt durch die maximale Anzahl in einer Woche abgelegter Eier (siehe auch Heinze und Schrempf, 2012). Das kleine Bild zeigt eine Königin von *C. obscurior* mit Eiern und Larven (Photo: Matti Leponiemi, Univ. Graz)

Lebensdauer korreliert, d.h., sehr fertile Königinnen erreichten längere Lebenszeiten als Königinnen, die wenige Eier legten. Worauf die doch erhebliche Variabilität in der Fertilität zurückzuführen ist, wo doch die Königinnen genetisch sehr ähnlich waren und auch unter exakt gleichen Umweltbedingungen gehalten wurden, ist noch unklar. Bei der klonalen Ameise *Platythyrea punctata* konnten wir zeigen, dass sich Ernährungszustand, experimentell erzeugter „Stress" und auch die Temperatur während der Larvalentwicklung auf den späteren reproduktiven Erfolg auswirken können (Bernadou et al., 2018).

Weiterhin zeigten unsere Experimente, dass die Eiablagerate der *Cardiocondyla*-Königinnen mit dem Alter zunahm und sich erst kurz vor ihrem Tod verringerte, d.h. sie zeigten eine sehr geringe reproduktive Seneszenz (Abb. 4). In Kolo-

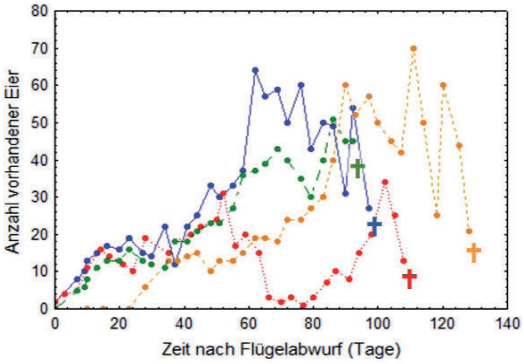


Abb. 4: Anzahl der Eier in vier monogynen Nestern von *Cardiocondyla itsukii* über die gesamte Lebensdauer der Königin vom Zeitpunkt des Flügelabwurfs nach der Paarung an. Die Anzahl der Eier und damit die Eiablagerate nimmt meist erst wenige Tage vor dem Tod der Königinnen ab (siehe auch Heinze et al., 2013).

nien mit nur einer Königin werden aufgrund der lokalen Paarungskonkurrenz zwischen den Kämpfermännchen nur sehr wenige Männchen aufgezogen (Cremer und Heinze 2002), und da die Arbeiterinnen von *Cardiocondyla* komplett steril sind, wird die Fitness der Königin maßgeblich durch die produzierten Jungköniginnen bestimmt. Die Königinnen produzierten die meisten Jungköniginnen erst in einer späten Lebensphase. Die Stärke der Selektion nimmt also entgegen der Vorstellung eines „Selektionsschattens" (Medawar, 1952) bei *Cardiocondyla* – und vermutlich auch bei anderen sozialen Insekten – nicht ab, im Gegenteil, sie nimmt mit dem Alter zu. Dies wird auch durch genetische Untersuchungen bestätigt, wonach bei *C. obscurior* Gene, die hauptsächlich im Alter exprimiert werden, einer stärkeren gerichteten Selektion unterliegen als Gene, die in früheren Alter oder unabhängig vom Alter der Königinnen aktiv sind (Harrison et al., 2021).

Unsere Daten deuten somit darauf hin, dass der Lebenszyklus sozialer Insekten mit einer Wachstumsphase, in der nur nicht-reproduktive Arbeiterinnen aufgezogen werden, und einer späteren, die Fitness bestimmenden Reproduktionsphase unabhängig von der extrinsischen Mortalität die Ursache für die hohe Lebenserwartung der Königinnen ist (s.a. Moorad et al., 2019; Kramer et al., 2022; Jaimes-Nino et al., 2022).

Wie können Königinnen gleichzeitig hoch fertil und langlebig sein?

Die „disposable soma" Theorie sagt vorher, dass Individuen eine Balance zwischen ihrer Investition in Nachkommen und den eigenen Körper finden müssen, wenn die ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen limitiert sind. Individuen, die viele Nachkommen produzieren, sollten daher weniger lange leben als solche, die mehr in die Aufrechterhaltung ihrer Gesundheit investieren. *Cardiocondyla* Königinnen zeigen diesen „trade-off" jedoch nicht. Besonders eindrucksvoll zeigt dies ein Experiment, in dem Schrempf et al. (2017) die Reproduktion der Königinnen manipulierten, indem sie regelmäßig alle frisch gelegten Eier entfernten. Die Königinnen glichen dies dadurch aus, dass sie pro Woche rund doppelt so viele Eier produzierten wie Königinnen in nicht gestörten Kolonien. Nach der „disposable soma" Theorie wäre nun zu erwarten gewesen, dass die Königinnen mit erhöhter Produktivität aufgrund dieser zusätzlichen Anstrengungen kürzer lebten als die Kontrollköniginnen – tatsächlich unterschie-

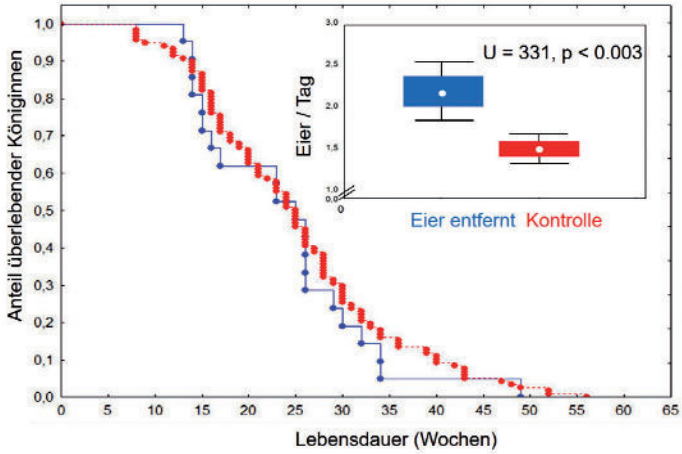


Abb. 5: Lebensdauer von Königinnen der Ameisenart *Cardiocondyla obscurior*, deren Eiablagerate durch regelmäßiges Entfernen aller Eier manipuliert wurde (blau) im Vergleich zu Königinnen, aus deren Nestern die Eier entfernt und durch die gleiche Anzahl anderer Eier ausgetauscht wurden (rot). Die kleine Grafik belegt, dass die Manipulation die Eiablagerate der Königinnen signifikant erhöhte. Ihre Lebensdauern unterschieden sich jedoch nicht (siehe auch Schrempf et al., 2017).

den sie sich in ihrer mittleren Lebensdauer aber nicht (Abb. 5).

Man könnte nun vermuten, dass die Königin nicht selbst die Kosten der Reproduktion trägt, sondern dass diese von Arbeiterinnen „aufgefangen" werden (Kramer und Schaible, 2013). Weiterhin könnte im Superorganismus Insektenstaat der „trade-off" von der Investition in Nachkommen vs. Selbsterhaltung auf die Kolonieebene verschoben worden sein, d.h. der „trade-off" würde nun zwischen der Investition in Jungköniginnen und Männchen einerseits und der Investition in Arbeiterinnen andererseits erfolgen. Die Ergebnisse zweier einfacher Experimente an *C. obscurior* sprechen aber gegen diese Annahmen. Zum einen lebten fertile Königinnen auch in Isolation länger als solche, die keine oder wenige Eier gelegt hatten (Rueppell et al., 2015), was eine „social facilitation" durch die Arbeiterinnen unwahrscheinlich macht. Zum anderen produzierten Kolonien, die viele Geschlechtstiere aufzogen, gleichzeitig auch viele Arbeiterinnen, der postulierte „trade-off" war also nicht zu erkennen (Kramer et al., 2015).

Vielmehr scheint ein ursächlicher Zusammenhang zwischen hoher Fertilität und längerer Lebensdauer zu bestehen. Untersuchungen der Genexpression junger und alter Königinnen deuteten darauf hin, dass Altern und Reproduktion durch die gleichen konservierten Signalwege gesteuert werden wie beispielsweise bei *Drosophila*, dass bei *Cardiocondyla* die einzelnen Elemente aber anders miteinander verknüpft sind (von Wyschetzki et al., 2015; Oettler und Schrempf, 2016; Rodrigues und Flatt, 2016). Eine veränderte Steuerung könnte mechanistisch den positiven Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Fekundität erklären.

Welche Mechanismen regeln die Lebensdauer?

Bevor ich näher auf die Signalwege eingehe, die die Steuerung von Lebensdauer und Fekundität beeinflussen, gilt es kurz noch einmal auf die Variabilität des Alterns bei sozialen Insekten einzugehen. Wie bereits dargestellt, werden fertile Königinnen älter als sterile Arbeiterinnen

und Königinnen mit hoher Eilegerate leben länger als solche, die wenige Eier legen. Die Flexibilität des Alterns beschränkt sich aber nicht nur darauf. Wir konnten beispielsweise zeigen, dass bei *C. obscurior* schon die Paarung selbst die Lebenserwartung von Königinnen gegenüber unverpaarten, jungfräulichen Königinnen erhöht, auch wenn der Paarungspartner durch Röntgenstrahlen sterilisiert wurde (Schrempf et al., 2005). Königinnen lebten auch länger, wenn sie die einzigen reproduktiven Tiere in einer Kolonie waren, als in Kolonien mit sieben weiteren Königinnen, unabhängig von der Anzahl Arbeiterinnen pro Königin und auch ohne wahrnehmbare Aggression zwischen den Königinnen (Schrempf et al., 2011). Und selbst die Lebensdauer von Arbeiterinnen ist flexibel: *C. obscurior* Arbeiterinnen lebten in kleinen Kolonien länger als in großen Kolonien oder wenn sie nach der Hälfte ihrer üblichen Lebenszeit mit einer neuen Königin zusammengebracht wurden (Heinze und Giehr, 2021; Giehr et al., 2017). Auch bei der Honigbiene und anderen sozialen Insekten konnten solche Einflüsse der Umwelt, speziell der sozialen Umwelt, auf die Lebenserwartung von Arbeiterinnen nachgewiesen werden (z.B. Rueppell et al., 2007, 2009; Münch und Amdam, 2010; Kramer et al., 2016; Bernadou et al., 2020).

Wie genau Informationen über die Umweltbedingungen in Veränderungen der Genexpression übersetzt werden und damit Fortpflanzung und Selbsterhaltungsmechanismen steuern, ist für soziale Insekten nur unzureichend geklärt. Bei zahlreichen Tieren wird die Balance zwischen Reproduktion und Lebensdauer über „nutrient-sensing pathways" von der Verfügbarkeit von Nahrung beeinflusst: eine kalorien-reduzierte Diät kann bei Mäusen, *Drosophila, Caenorhabditis* und vielleicht auch beim Menschen das Leben verlängern, allerdings meist bei gleichzeitiger Einschränkung der Fortpflanzung (Sinclair, 2005). Von zentraler Bedeutung an der Steuerung sind dabei unter anderem die Target-of-Rapamycin (TOR) und Insulin-IGF1 Signalwege (IIS). Durch Manipulation dieser Signalwege ließen sich bei Modellsystemen der Alternsforschung Phänotypen erzeugen, die deutlich länger lebten als unveränderte Kontrolltiere (Gems und Partridge, 2013; Mathew et al., 2017; Regan et al., 2020), und auch bei außergewöhnlich langlebigen Säugetierarten scheinen Gene dieser Signalwege besonders schnell zu evolvieren (Tian et al., 2017; Yu et al., 2021).

Bei *Drosophila* und anderen solitären Insekten führt eine hohe Nahrungsaufnahme zur Produktion von insulinähnlichen Peptiden, die über den IIS die Bildung von Juvenilhormon (JH) anregen. IIS und JH aktivieren wiederum die Produktion von Vitellogenin und Dotterproteinen, und dies scheint die Investition in die Fortpflanzung zu erhöhen – auf Kosten der Aufrechterhaltung und Reparatur des Körpers (Rodrigues und Flatt, 2016). Bei sozialen Insekten wird dieses Netzwerk aber offensichtlich anders reguliert: beispielsweise ist bei der Honigbiene die Produktion von Dotterproteinen unabhängig vom JH-Titer, was eine Entkopplung von Altern und Reproduktion ermöglicht (Corona et al., 2007).

Ein Vergleich der Transkriptome unterschiedlich alter Königinnen von *Cardio-*

condyla obscurior mit denen unterschiedlich alter *Drosophila* zeigt, dass sich die Genexpression vieler Gene mit dem Altern gegenläufig verändert: während beispielsweise Gene für den Kohlenhydrat- und Aminosäurestoffwechsel bei alten *Drosophila* stärker, Gene für Reproduktion und Zellteilung schwächer exprimiert werden als bei jungen Fliegen, ist dies bei *Cardiocondyla* genau umgekehrt (von Wyschetzki et al., 2015, Abb. 6). Dass sich die Expression des Gens für den Insulinrezeptor und von Genen, deren Produkte am Auf- bzw. Abbau von JH beteiligt sind (*jhamt, jheh*), bei jungen und alten Königinnen von *Cardiocondyla* signifikant unterscheidet, deutet außerdem auf die Beteiligung der beiden oben genannten Signalwege und des JH-Titers bei der Steuerung von Lebensdauer und Fekundität hin. Dies wird durch eine Analyse der altersbedingten Veränderungen in den Transkriptomen anderer sozialer Insekten bestätigt, wonach vor allem die nachgeschalteten Komponenten und Zielgene dieser Signalwege beim Altern eine Rolle spielen („TI–J–LiFe"-Netzwerk, Korb et al., 2021).

	Cardiocondyla	*Drosophila*
Neurogenesis (GO:0022008)	↑	↑
Anatomical structure homeostasis (GO:0060249)	↑	↑
Reproduction (GO:0000003)	↑	↓
Cell division (GO:0051301)	↑	↓
Carbohydrate metabolism (GO:0005975)	↓	↑
Organic acid metabolism (GO:0006082)	↓	↑
Muscle system processes (GO:0003012)	↓	↑

Abb. 6: Beispiele für Veränderungen der Genexpression mit dem Altern bei *C. obscurior* und *Drosophila melanogaster*. Schwarze und rote Pfeile stehen für eine höhere bzw. niedrigere Genaktivität in älteren Individuen (siehe von Wyschetzki et al., 2015).

Wenngleich noch nicht alle Details dieser Regulation aufgeklärt werden konnten, wird doch deutlich, dass die Evolution der Sozialität mit drastischen Veränderungen in der Verschaltung zwischen den einzelnen Komponenten fundamentaler Signalwege einhergeht. Ein Fokus der Alternsforschung auf solitäre und relativ kurzlebige Modellorganismen reicht daher nicht aus, um die proximaten und ultimaten Ursachen der Vielfalt an Alternstypen und ihre Evolution aufzudecken (Cohen, 2017; Jones et al., 2014). Für soziale Insekten ist hier *Cardiocondyla* aufgrund der kurzen Lebensdauer der Königinnen und Arbeiterinnen das ideale Modellsystem.

Zitierte Literatur

Amdam, G.V., 2011. Social context, stress, and plasticity of aging. Aging Cell 10, 18-27.

Bernadou, A., Schrader, L., Pable, J., Hoffacker, E., Meusemann, K., Heinze, J., 2018. Stress and early experience underlie dominance status and division of labour in a clonal insect. Proceedings of the Royal Society B 285, 20181468.

Bernadou, A., Hoffacker, E., Pable, J., Heinze, J., 2020. Lipid content influences division of labour in a clonal ant. Journal of Experimental Biology 223, jeb219238

Cohen, A.A., 2017. Aging across the tree of life: the importance of a comparative perspective for the use of animal models in aging. Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease 1864, 2680–2689.

Corona, M., Velarde, R.A., Remolina, S., Moran-Lauter, A., Wang, Y., Hughes, K.A., Robinson, G.E., 2007. Vitellogenin, juvenile hormone, insulin signaling, and queen honey bee longevity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 104, 7128-7133.

Cremer, S. Heinze, J., 2002 Adaptive production of fighter males: queens of the ant *Cardiocondyla* adjust the sex ratio under local mate competition. Proceedings of the Royal Society B 269, 417-422.

Fuessl, M., Heinze, J., Schrempf, A., 2015. Queen and male longevity in the Southeast Asian ant *Cardiocondyla tjibodana* Karavaiev, 1935. Asian Myrmecology 7, 131-141.

Gems, D., Partridge, L., 2013. Genetics of longevity in model organisms: debates and paradigm shifts. Annual Review of Physiology 75, 621–644.

Giehr, J., Heinze, J., Schrempf, A., 2017. Group demography affects ant colony performance and individual speed of queen and worker aging. BMC Evolutionary Biology 17, 173.

Hamilton, W.D., 1966. The moulding of senescence by natural selection. Journal of theoretical Biology 12, 12-45.

Harrison, M., Jaimes Niño, L.M., Rodrigues, M.A., Ryll, J., Flatt, T., Oettler, J., Bornberg-Bauer, E., 2021. Gene coexpression network reveals highly conserved, well-regulated anti-ageing mechanisms in old ant queens. Genome Biology and Evolution 13, evab093.

Hartmann, A., Heinze, J., 2003. Lay eggs, live longer: division of labor and life span in a clonal ant species. Evolution 57, 2424-2429.

Hartmann, C., Heinze, J., Bernadou, A., 2019. Age-dependent changes in cuticular color and pteridine levels in a clonal ant. Journal of Insect Physiology 118, 103943.

Heinze, J., 2017. Life history evolution in ants: the case of *Cardiocondyla*. Proceedings of the Royal Society B 284, 20161406.

Heinze, J., Giehr, J., 2021. The plasticity of life span in social insects. Philosophical Transactions of the Royal Society B 376, 20190734.

Heinze, J., Hölldobler, B., 1993. Fighting for a harem of queens: physiology of reproduction in *Cardiocondyla* male ants. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 90, 8412-8414.

Heinze, J., Schrempf, A., 2008. Aging and reproduction in social insects–a mini-review. Gerontology 54, 160-167.

Heinze, J., Schrempf, A., 2012. Terminal investment: individual reproduction of ant queens increases with age. PloS One 7, e35201.

Heinze, J., Cremer, S., Eckl, N., Schrempf, A., 2006. Stealthy invaders: the biology of *Cardiocondyla* tramp ants. Insectes Sociaux 53, 1-7.

Heinze, J., Frohschammer, S., Bernadou, A., 2013. Queen life span and total reproductive success are positively associated in the ant *Cardiocondyla* cf. *kagutsuchi*. Behavioral Ecology and Sociobiology 67, 1555-1562.

Jaimes-Nino, L.M., Heinze, J., Oettler, J., 2022. Late-life fitness gains and reproductive death in *Cardiocondyla obscurior* ants. eLife 11, e74695.

Jemielity, S., Chapuisatm M., Parker, J.D., Keller, L., 2005. Long live the queen: studying aging in social insects. Age 27, 241–248.

Jin, K., 2010. Modern biological theories of aging. Aging and Disease 1, 72-74.

Johnson, A.A., Shokirev, M.N., Shoshitaishvili, B., 2019. Revamping the evolutionary theories of aging. Ageing Research Reviews 55, 100947.

Jones, O.R., Scheuerlein, A., Salguero-Gómez, R., Camarda, C.G., Schaible, R., Casper, B.B., Dahlgren, J.P., Ehrlén, J., García, M.B., Menges, E.S., Quintana-Ascencio, P.F., Caswell, H., Baudisch, A., Vaupel, J.W., 2014. Diversity of ageing across the tree of life. Nature 505, 169–173.

Keller, L., Genoud, M., 1997. Extraordinary lifespans in ants: a test of evolutionary theories of ageing. Nature 389, 958-960.

Kirkwood, T.B.L., 1977. Evolution of ageing. Nature 270, 301-304.

Korb, J., 2016. Why do social insect queens live so long? Approaches to unravel the sociality-aging puzzle. Current Opinion in Insect Science 16, 104-107.

Korb, J., Heinze, J., 2021. Ageing and sociality: why, when and how does sociality change ageing patterns? Philosophical Transactions of the Royal Society B 376, 20190727.

Korb, J., Meusemann, K., Aumer, D., Bernadou, A., Elsner, D., Feldmeyer, B., Foitzik, S., Heinze, J., Libbrecht, R., Lin, S., Majoe, M.,

Monroy Kuhn, J.M., Nehring, V., Negroni, M.A., Paxton, R.J., Séguret, A.C., Stoldt, M., Flatt, T. et al., 2021. Comparative transcriptomic analysis of the mechanisms underpinning ageing fecundity in social insects. Philosophical Transactions of the Royal Society B 376, 20190728.

Kramer, B.H., Schaible, R., 2013. Life span evolution in eusocial workers—a theoretical approach to understanding the effects of extrinsic mortality in a hierarchical system. PLoS ONE 8, e61813.

Kramer, B., Schrempf, A., Scheuerlein, A., Heinze, J., 2015. Ant colonies do not trade-off reproduction against maintenance. PLoS ONE 10, e0137969.

Kramer, B., Schaible, R., Scheuerlein, A., 2016. Worker lifespan is an adaptive trait during colony establishment in the long-lived ant *Lasius niger*. Experimental Gerontology 85, 18–23.

Kramer, B.H., van Doorn, G.S., Arani, B.M.S., Pen, I., 2022. Eusociality and the evolution of aging in superorganisms. American naturalist 200,63-80.

Münch, D., Amdam, G.V., 2010. The curious case of aging plasticity in honey bees. FEBS Letters 584, 2496–2503.

Ljubuncic, P., Reznick, A.Z., 2009. The evolutionary theories of aging revisited – a mini-review. Gerontology 55, 205-216

Mangel, M., Kindsvater, H.K., Bonsall, M.B., 2007. Evolutionary analysis of life span, competition, and adaptive radiation, motivated by the Pacific Rockfishes (*Sebastes*). Evolution 61, 1208–1224.

Mathew, R., Bhadra, M.P., Bhadra, U., 2017. Insulin/insulin-like growth factor-1 signalling (IIS) based regulation of lifespan across species. Biogerontology 18, 35-53.

Medawar, P.B., 1952. An Unsolved Problem of Biology. H. K. Lewis, London

Medvedev, Z.A., 1990. An attempt at a rational classification of theories of aging. Biological Reviews 65, 375–398.

Moorad, J., Promislow, D., Silvertown, J., 2019. Evolutionary ecology of senescence and a reassessment of Williams' 'Extrinsic Mortality' Hypothesis. Trends in Ecology and Evolution 34, 519-530.

Oettler, J., Schrempf, A., 2016. Fitness and aging in *Cardiocondyla obscurior* ant queens. Current Opinion in Insect Science 16, 58–63.

Oettler, J., Suefuji, M., Heinze, J., 2010. The evolution of alternative reproductive tactics in male *Cardiocondyla ants*. Evolution 64, 3310–3317.

Regan, J.C., Froy, H., Walling, C.A., Moatt, J.P., Nussey, D.H., 2020. Dietary restriction and insulin-like signalling pathways as adaptive plasticity: A synthesis and re-evaluation. Functional Ecology 34, 107–128.

Reznick, D.N., Bryant, M.J., Roff, D., Ghalambor, G.K., Ghalambor, D.E., 2004. Effect of extrinsic mortality on the evolution of senescence in guppies. Nature 431, 1095 – 1099.

Rodrigues, M.A., Flatt, T., 2016. Endocrine uncoupling of the trade-off between reproduction and somatic maintenance in eusocial insects. Current Opinion in Insect Science 16, 1-8.

Rueppell, O., Bachelier, C., Fondrk, M.R., Page Jr., R.E., 2007. Regulation of life history determines lifespan of worker honey bees (*Apis mellifera L.*). Experimental Gerontology 42, 1020–1032.

Rueppell, O., Kaftanoglu, O., Page Jr., R.E., 2009. Honey bee (*Apis mellifera*) workers live longer in small than in large colonies. Experimental Gerontology 44, 447–452.

Rueppell, O., Königseder, F., Heinze, J., Schrempf, A., 2015. Intrinsic survival advantage of social insect queens depends on reproductive activation. Journal of evolutionary Biology 28, 2349–2354.

Schmid-Hempel, P., Schmid-Hempel, R., 1984. Life duration and turnover of foragers in the ant *Cataglyphis bicolor* (Hymenoptera, Formicidae). Insectes Sociaux 31, 345-360.

Schrempf, A., Heinze, J., Cremer, S., 2005. Sexual cooperation: mating increases longevity in ant queens. Current Biology 15, 267-270.

Schrempf, A., Cremer, S., Heinze, J., 2011. Social influence on age and reproduction: reduced lifespan and fecundity in multi-queen ant colonies. Journal of evolutionary Biology 24, 1455–1461.

Schrempf, A., Giehr, J., Röhrl, R., Steigleder, S., Heinze, J., 2017. Royal Darwinian demons: enforced changes in reproductive efforts do not affect the life expectancy of ant queens. American Naturalist 189, 436-442.

Seifert, B., 2002. The ant genus *Cardiocondyla* (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) – a taxonomic revision of the *C. elegans, C. bulgarica, C. batesii, C. nuda, C. shuckardi, C. stambuloffii, C. wroughtonii, C. emeryi,* and *C. minutior* species groups. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien 104B, 203–338.

Sherratt, T.N., Wilkinson, D.M., 2009. *Big Questions in Ecology and Evolution*. Oxford University Press, Oxford.

Sinclair, D.A., 2005. Toward a unified theory of caloric restriction and longevity regulation. Mechanisms of Ageing and Development 126, 987-1002.

Tian, X., Seluanov, A., Gorbunova, V., 2017. Molecular mechanisms determining lifespan in short- and long-lived Species. Trends in Endocrinology & Metabolism 28, 722-734.

Tsuji, K., Nakata, K., Heinze, J., 1996. Lifespan and reproduction in a queenless ant. Naturwissenschaften 83, 577-578.

Van Noordwijk, A.J., de Jong, G., 1986. Acquisition and allocation of resources: their influence on variation in life history tactics. American Naturalist 128, 137-142.

Viña, J., Borrás, C., Miquel, J., 2007. Theories of ageing. IUBMB Life 59, 249–254.

von Wyschetzki, K., Rueppell, O., Oettler, J., Heinze, J., 2015. Transcriptomic signatures mirror the lack of the fecundity longevity trade-off in ant queens. Molecular Biology and Evolution 32, 3173–3185.

Williams, G.C., 1957. Pleiotropy, natural selection, and the evolution of senescence. Evolution 11, 398–411.

Yu, Z., Seim, I., Yin, M., Tian, R., Sun, D., Ren, W., Yang, G., Xu, S., 2021. Comparative analyses of aging-related genes in long-lived mammals provide insights into natural longevity. Innovation 2, 100108.

Prof. Dr. Jürgen Heinze
LS Zoologie / Evolutionsbiologie,
Universität Regensburg,
93040 Regensburg
Juergen.Heinze@biologie.uni-regensburg.de

Laudatio auf Linda Weiss anlässlich der Verleihung des Walther-Arndt-Preises 2021.

Ralph Tollrian

Sehr geehrter Herr Präsident,
sehr geehrtes Publikum, liebe Linda,

es ist mir eine große Ehre und Freude, die Laudatio auf Dr. Linda Weiss zu halten, die in diesem Jahr mit dem Walther-Arndt-Forschungspreis ausgezeichnet wird. Ein solcher Preis für Forschende in frühen Karrierestufen ist ein gutes Signal, gerade in Zeiten des Protests von Nachwuchswissenschaftler/innen gegen die nach wie vor sehr unsichere Karrieresituation (#IchbinHanna). Er unterstreicht, dass wir uns um die Nachwuchswissenschaftler/innen kümmern müssen, die immer noch unter oft prekären Bedingungen, mit befristeten Verträgen, sozialer Unsicherheit und großem Druck, arbeiten müssen, weil es viel zu wenige Dauerstellen im Mittelbau und zu wenige verfügbare Professuren gibt.

Linda Weiss ist eine würdige Preisträgerin. Ich lernte Linda kennen, kurz nachdem ich von der Lancaster University an die Ruhr-Universität Bochum gewechselt war. Sie beendete gerade ihre Diplomarbeit in Neurobiologie, als sie an meiner jährlichen Tauchexkursion zu den Korallenriffen des Roten Meeres teilnahm. Sie war bereits eine erfahrene Taucherin und ich merkte schnell, dass ich ihr nicht nur die Führung einer Tauchgruppe überlassen, sondern ihr auch die ängstlicheren Taucher anvertrauen konnte, da sie über ein hohes Maß an Sensibilität und Verantwortungsbewusstsein verfügte - Verhaltensmerkmale, die im Allgemeinen wichtig sind, wenn man es mit Studierenden zu tun hat.

Sie kam an meinen Lehrstuhl, um über "Cellular and Neuronal Mechanisms of Phenotypic Plasticity in *Daphnia*" zu promovieren. Aus ihrer Promotion gingen 5 hervorragende Veröffentlichungen und viele Ideen hervor.

Trotz ihrer hervorragenden Leistungen entschied sich Linda, die Wissenschaft zu verlassen. Sie hatte zwei "Testbewerbungen" abgeschickt und zwei attraktive Stellenangebote für Festanstellungen erhalten. Ich konnte diesen Schritt in eine "sichere" Zukunft nachvollziehen, bedauerte ihn aber sehr, weil es wieder einmal so aussah, als würde die Wissenschaft eine hervorragende junge Forscherin verlieren. Doch ich versuchte zumindest, sie zurück zu locken. Zunächst beschrieb ich ihr, wie sich ihre Zukunft bis zur Pensionierung als Beamtin entwickeln würde – in möglichst langweiligen Bildern. Sie ahnte, was ich vorhatte und es funktionierte nicht. Aber als letzten Joker versprach ich ihr, für zwei Jahre eine Post-Doc-Stelle für sie bereitzuhalten. Nach weniger als einem Jahr klopfte sie an meine Tür und kam zurück, weil sie die Wissenschaft vermisste. Linda weiß also genau, was sie als Wissenschaftlerin erwartet. Sie kün-

digte ihre Festanstellung, entwickelte ein neues Forschungsprojekt und erhielt ein Postdoktorandenstipendium der Deutschen Akademie der Naturforscher „Leopoldina", mit dem sie für zwei Jahre zu Prof. John Colbourne nach Birmingham/UK, an das Environmental Genomics Center ging, wo sie ihre methodischen Kenntnisse erweiterte.

Seitdem leitet Linda Weiss ihre eigene Arbeitsgruppe an meinem Lehrstuhl. Seit 2016 hat sie 3 Promotionen, 33 Bachelor- und 17 Masterstudierende betreut. Die Studierenden loben ihre virulente Begeisterung für die Wissenschaft.

Ein Zweig ihrer Forschung konzentriert sich auf die physiologischen und neuronalen Mechanismen, die der phänotypischen Plastizität zugrunde liegen, am Beispiel der Daphnien. Dabei bedient sie sich eines breiten methodischen Spektrums von der klassischen Immunozyto- und Histochemie in Kombination mit konfokaler Mikroskopie, Calcium-Imaging und Next-Generation-Sequencing bis hin zu modernen Gen-Editing-Methoden wie RNAi und CRISPR/Cas.

Ihre wissenschaftliche Kompetenz hat ihr schnell zu einem guten internationalen Ruf verholfen. Internationale Vortragseinladungen nach Schweden, Japan, Österreich, Großbritannien und in die USA zeugen davon. Aber Linda war nie eine "eindimensionale" Wissenschaftlerin. Neben ihrem wissenschaftlichen Engagement ist sie auch ein gutes Vorbild für die erfolgreiche Verbindung von exzellenter Forschung und dem Leben mit einer Familie.

Für den Walter-Arndt-Forschungspreis sollten Kandidaten/innen bevorzugt werden, die ihre spezifischen Ergebnisse in einen größeren biologischen Kontext einordnen können. Als Beispiel verweise ich auf den Artikel: Weiss et al. "Rising pCO_2 in freshwater ecosystems has the potential to negatively affect predator-induced defenses in *Daphnia*", erschienen in Current Biology. Mit dem Preis sollen sowohl die wissenschaftlichen Verdienste als auch der politische Mut von Walther Arndt gewürdigt werden. Damit drückt der Preis zumindest die Verpflichtung zu politischem Engagement aus, was in Zeiten des rasanten Biodiversitätsverlustes und des Klimawandels unerlässlich ist. In dieser Studie wurden neue Aspekte des Klimawandels in Süßwassersystemen aufgezeigt. Die Analyse stützt sich auf Monitoringdaten aus einem Zeitraum von mehr als 35 Jahren. Die gemessenen Parameter ermöglichen die Berechnung des pCO_2 im Süßwasser. Die Studie zeigt erstmals, dass auch in Süßwasserseen der CO_2-Partialdruck mit der Zeit zunimmt und der pH-Wert sinkt. Das Ergebnis ist generell für alle Arbeiten im Süßwasser und vergleichende Studien im marinen Bereich relevant. Linda Weiss hörte jedoch an diesem Punkt nicht auf, sondern untersuchte mögliche Konsequenzen für den Schlüsselorganismus *Daphnia*. Sie zeigt, dass Daphnien unter erhöhtem pCO_2 schwächere induzierbare Abwehrkräfte gegen ihre Fressfeinde entwickeln. Folglich könnte ihre Sterblichkeit zunehmen. Im schlimmsten Fall könnte dies zu trophischen Kaskaden und Folgen für das Ökosystem führen.

Ihre Arbeit trägt damit nicht nur zur Klärung der grundlegenden Frage der Biologie bei, wie sich die erstaunliche Vielfalt der Anpassungen entwickelt, son-

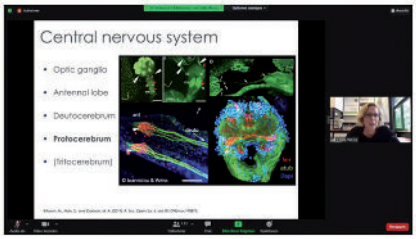
dern auch, wie aktuelle anthropogene Störungen diese Anpassungen gefährden und damit die Interaktionen der Organismen beeinflussen.

Ich bin überzeugt, dass Linda Weiss ihren wissenschaftlichen Weg gehen wird, und dieser Preis ist sicherlich ein Meilenstein auf dem Weg. Linda Weiss verbindet Begeisterung für die Wissenschaft mit hervorragender fachlicher Qualifikation und brillanter Kreativität.

Liebe Linda, herzlichen Glückwunsch zum Walter-Arndt-Preis und alles Gute für deine Jagd nach dem heiligen Gral aller Nachwuchsforschenden - einer Professur.

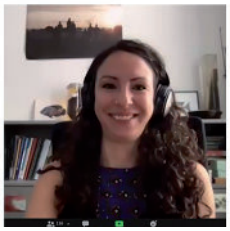
Prof. Dr. Ralph Tollrian
Ruhr-Universität Bochum
Dept. of Animal Ecology, Evolution and Biodiversity
Universitätsstr. 150, 44780 Bochum
tollrian@rub.de

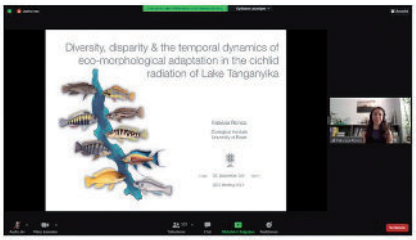
Walther-Arndt Preis



Linda Weiss

Horst-Wiehe Preis





Fabricia Ronco

Beide Preisverleihungen konnten leider nur online stattfinden; Jacob Engelmann hat dankenderweise diese Mitschnitte zur Verfügung gestellt. Oben links der Laudator Ralph Tollrian virtuell aus der historischen Bibliothek des Klosters Strahov zu Prag, daneben Linda Weiss mit ihren schönen immunfluoreszenzmarkierten Gehirnschnitten. Unten der Laudator Walter Salzburger mit der Preisträgerin Fabrizia Ronco und daneben das Titelbild ihres Preisvortrags.

Die Eröffnung der DZG-Jahrestagung 2021 mit der Verleihung der 20. Karl-Ritter-von-Frisch-Medaille an Herrn Prof. Dr. Jürgen Heinze fand als einzige Präsenzveranstaltung der Tagung am 30. August 2021 in der Festaula der Universität, der ehrwürdigen Neubaukirche in Würzburg, statt. An der Schuke-Orgel Herr Gerhard Vonend (li oben). Laudatorin Prof. Dr. Gabriele Uhl (re mitte). Überreichung von Urkunde und Medaille an Prof. Heinze durch den Präsidenten Prof. Dr. Jacob Engelmann (re oben). Der Preisträger im Gespräch mit Professor Dr. Bert Hölldobler (li mitte). Preisträger und Preisstifter (unten): Frau Stefanie Wolf (2. v. li) und Frau Sarah Koch (ganz re) vertreten den Springer-Verlag und Herr Volker Kraft (2. v. re) den Inter-Research Wissenschaftsverlag, Oldendorf/Luhe Fotos Dr. Sabine Gießler

Neuronale und Zelluläre Grundlagen der Räuber-induzierten phänotypischen Plastizität

Linda Weiss

Einleitung

Ökologische Systeme beherbergen komplexe Artengemeinschaften, welche nicht nur miteinander und untereinander, sondern auch mit ihrer räumlich und zeitlich dynamischen Umwelt interagieren. Um mit diesen sich ständig verändernden abiotischen und biotischen Faktoren zurechtzukommen, müssen Organismen in der Lage sein die relevanten Reize aus ihrer Umgebung zu erkennen, um angemessen zu reagieren (DeWitt and Scheiner, 2004; Kirkpatrick and Price, 2008). Phänotypische Plastizität ist die Fähigkeit von Organismen mit einem gegebenen Genotyp auf variierende Umweltbedingungen mit der Anpassung des Phänotyps zu antworten (Bradshaw, 1965). Phänotypische Reaktionen können weitreichende Veränderungen in der Morphologie, Physiologie, im Verhalten, in den Lebenszyklus-Parametern und sogar in der Kombination all dieser adaptiven Formen umfassen. Der Phänotyp wird gebildet aus der Summe aller individuellen Merkmale; d. h. wenn z. B. Verhaltensänderungen ausgebildet werden, erfordert dies oft die Entwicklung bestimmter morphologischer Merkmale in Übereinstimmung mit den notwendigen hormonellen Bedingungen, die diese Bewegungen regulieren und die Ausführung komplexer Verhaltensweisen koordinieren. Schließlich optimiert dies die Fitness des Organismus in Anpassung an die neuen Umweltbedingungen (West-Eberhard, 2008). Prädation als Selektionsfaktor ist eine wichtige Kraft, welche die Evolution von Beute-Phänotypen vorantreibt.

Räuber-induzierte Verteidigungen

Das saisonale Auftreten von Räuberpopulationen stellt Beuteorganismen vor besondere Herausforderungen. Für das Überleben der Organismen ist es von entscheidender Bedeutung, Fressfeinde zu erkennen und entsprechend zu reagieren, um das Prädationsrisiko zu reduzieren. Räuber-induzierte Verteidigungen sind eine besondere Form der phänotypischen Plastizität, die die Wahrscheinlichkeit der Räuber-Begegnung oder deren Detektion verringern und/oder die Wirksamkeit von Attacken reduzieren können. Ökologisch betrachtet sind induzierbare Verteidigungen von besonderer Bedeutung, da sie Räuber-Beute-Oszillationen dämpfen und so die Populationsdynamik stabilisieren (Verschoor et al., 2004). Es sind eine Vielzahl von Verteidigungsstrategien gegen ein erhöhtes Prädationsrisiko beschrieben (Tollrian and Harvell, 1999). So passen einige Organismen ihr Verhalten, ihre Morphologie und/oder ihre Lebenszyklusparameter an den jeweiligen Räuber an (Weiss, 2019). Darüber hinaus müssen die Beuteorganismen auch in der Lage sein, auf mehrere Räu-

ber zu reagieren, da in den meisten Ökosystemen in saisonaler Abhängigkeit viele unterschiedliche Räuber gleichzeitig präsent sind. All dies erhält eine weitere Ebene der Komplexität, da die Ausbildung induzierbarer Verteidigungen nicht nur an den Räuber, sondern auch an das Prädationsrisiko angepasst ist (Crane and Ferrari, 2017; Tollrian et al., 2015).

Daphnia als Modellorganismus phänotypischer Plastzität

Wasserflöhe der Gattung *Daphnia* haben in der ökologischen Forschung eine besonders lange Geschichte. Sie sind ökologisch bedeutsam, da sie in limnischen Ökosysetmen ein trophisches Bindeglied zwischen Primärproduzenten und höheren trophischen Ebenen darstellen (Lampert and Kinne, 2011). Dieser Süßwasserkrebs besitzt zudem die Fähigkeit, spezifisch auf Umweltveränderungen einschließlich variabler Prädationsdrücke zu reagieren. Dies ermöglicht die Untersuchung Räuber-induzierter Veränderungen der Lebenszyklusparameter, Verhaltensweisen und adaptiven Morphologien innerhalb eines Taxons.

Einige *Daphnia*-Arten zeigen Verhaltensanpassungen an die Anwesenheit von Fischen, und führen tagesperiodische vertikale Wanderungen durch. Dabei suchen sie tagsüber Zuflucht in tieferen Wasserschichten, um den visuell jagenden Räubern zu entgehen (Ringelberg, 2010). Nachts wandern sie zur Nahrungsaufnahme an die Wasseroberfläche. Interessanterweise wird diese Verteidigungsstrategie durch zwei Indikatoren ausgelöst: den Räuber und die Lichtverhältnisse. Eine andere Form der Verhaltensanpassung zeigt sich im Schwimmverhalten. *D. pulex*, welche der taktil-jagenden Büschelmückenlarve *Chaoborus* ausgesetzt sind, schwimmen langsamer und erzeugen so vermutlich weniger, vom Räuber detektierbare, Turbulenzen (Dodson et al., 1997). Verschiebungen von Lebenszyklusparametern werden ebenfalls gegen Fischprädation eingesetzt (Brett, 1992; Hanazato et al., 2001; Haupt et al., 2009). Hier wird in die Reproduktion anstelle des somatischen Wachstums investiert. Die Anwesenheit von Fischen führt so zu einer früheren Geschlechtsreife und der Produktion von mehreren aber kleineren Nachkommen in den nachfolgenden Generationen (Brett, 1992; Tollrian, 1995; Carvajal-Salamanca et al., 2008; Boersma et al., 2009). Vor allem die morphologischen Verteidigungen bei Daphnien stehen seit Jahrzehnten im Fokus der ökologischen Forschung (Krueger and Dodson, 1981; Stollewerk, 2010; Tollrian, 1993; Tollrian and Leese, 2010; Weiss et al., 2012). Darunter zählen die Ausbildung von Helmen bei *D. cucullata* (Tollrian, 1990) und Nackenzähnen bei *D. pulex* in Anwesenheit von *Chaoborus spec.* (Krueger and Dodson, 1981; Tollrian, 1993; Weiss et al., 2016, Abb. 1). *D. longicephala* entwickelt einen sogenannten ‚crest' (dt. Kamm) als Verteidigung gegen den Rückenschwimmer *Notonecta* spec. (Grant and Bayly, 1981; Weiss et al., 2015, Abb. 1) und *D. lumholtzi* verlängert die Kopf- und Schwanzspina in der Gegenwart von Fischen (Graeve et al., 2021b; Tollrian, 1994, Abb. 1). Bei *D. atkinsoni* sind Dornenkronen beschrieben, welche vom Rückenschalter *Triops spec.* indu-

Abb. 1. In Anwesenheit von Beutegreifern bilden Wasserflöhe Morphen mit Verteidigungsstrukturen (jeweils rechts) aus. *Daphnia longicephala* (oben links), *D. lumholtzi* (oben rechts), *D. pulex* (unten links) und *D. cucullata* (unten rechts).

ziert werden (Petrusek et al., 2009). Oft bewirken diese morphologischen Strukturen Handhabungsschwierigkeiten beim Räuber. Dieser kann die verteidigte Beute nicht mehr optimal greifen, festhalten und konsumieren und erhöht so die Fluchtchancen und somit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Daphnien. Von entscheidender Bedeutung für die Ausbildung von induzierbaren Verteidigungen ist, dass die Beute ihren Räuber schnell detektiert und identifiziert, um so unverzüglich mit der Ausbildung der Verteidigung zu beginnen und die Zeit zwischen dem Auftreten des Räubers und einer effektiven Verteidigung so kurz wie möglich zu halten (Weiss and Tollrian, 2018).

Daphnien sind schon länger als nützliches Instrument zur Untersuchung der Ökologie und Evolution induzierbarer Abwehrmechanismen anerkannt. Darüber hinaus ist *Daphnia* klein, hat kurze Generationszeiten und eine parthenogenetische Fortpflanzungsweise, die die Zucht mehrerer klonaler Linien im Labor ermöglicht. Mit der Veröffentlichung des "ecoresponsive" Genoms von *D. pulex* (Colbourne et al., 2011) wurde dieser Süßwasserkrebs als Modellart in der biowissenschaftlichen Forschung anerkannt (http://www.nih.gov/science/models). Die genetische Analyse, die eine Beschreibung und einen Vergleich der Genomstruktur und des Genflusses bzw. der genetischen Drift infolge der natürlichen Selektion umfasst, wird ein detailliertes Verständnis der adaptiven evolutionären Reaktionen auf Populationsebene ermög-

lichen (Tollrian and Leese, 2010). Gleichzeitig erlaubt die Sequenzierung des Genoms nun aber auch die Verwendung einer Vielzahl von molekularen Methoden, u.a. den Gen-Editierungsverfahren. Mit deren Hilfe ist es nun möglich die Signalkaskaden, die der phänotypischen Anpassungen an variierende Umwelten dienen, im Detail zu untersuchen - beginnend mit der Wahrnehmung von dezidierten Umweltsignalen, über die neuronale Signalverarbeitung bis hin zu den hormonellen Veränderungen, welche die adaptiven Phänotypen bedingen. Auslöser für die Ausbildung von Verteidigungen sind Räuber-spezifische chemische Stoffe, sogenannte Kairomone, so dass auch deren Beschreibung und Identifizierung für das Verständnis der Signalkaskaden elementar ist.

Chemische Signalstoffe

Kairomone werden von einem Sender freigesetzt und bieten einen Vorteil für den Empfänger, da sie ein erhöhtes Prädationsrisiko anzeigen. Letztendlich verringern Kairomone die Effizienz des Räubers (Jeschke et al., 2002) und beeinflussen so die Dynamik ganzer Nahrungsnetze (Dicke and Grostal, 2001; Kats and Dill, 1998; Verschoor et al., 2004). Wenn diese Stoffe darüber hinaus den Aktivitätslevel des Räubers indizieren, steigt der Wert dieses Signalmoleküls für die Beuteorganismen erheblich und die Evolution zur Empfindlichkeit gegenüber solchen chemischen Signalen sollte begünstigt werden.

Die Fähigkeit, diese Stoffe insbesondere in der aquatischen Umwelt zu identifizieren und zu quantifizieren, stellt eine große Herausforderung für die chemische Ökologie dar. So ist die Struktur und/oder Zusammensetzung vieler Infochemikalien nach wie vor ungeklärt. Die Stoffe, die bereits bekannt sind, stammen aus verschiedenen chemischen Gruppen, z. B. können bestimmte Proteine des räuberischen Ciliaten *Lembadion* die Entwicklung von wehrhaften lateralen Fortsätzen in der Beute *Euplotes* induzieren (Kusch and Heckmann, 1992). Alternativ dazu lösen aliphatische Sulfate, die von Daphnien freigesetzt werden, Coenobien und teilweise laterale Dornen in Algen aus (Yasumoto et al., 2005) und polare Lipide, wie die Copepodamide, induzieren die Produktion von paralytischen Toxinen in dem Dinoflagellaten *Alexandrinum minutum* (Selander et al., 2015). Bei Nagetieren werden Furchtreaktionen durch flüchtige Moleküle wie Trimethylthiazolin, 2-Phenylalanin und 2-*Sec*-butyl-4,5-dihydrothiazol, die bei der Fleischverdauung des Räubers entstehen, ausgelöst (Pereira and Moita, 2016). Auch Kairomone, die Verteidigung in Daphnien induzieren, wurden kürzlich chemisch identifiziert. *Chaoborus*-Larven geben ein Gemisch von fettsäurehaltigen Aminosäuren bei der Egestion der unverdaulichen Nahrungsbestandteile an die Umgebung ab. Während die Fettsäuren unterschiedliche Kettenlängen aufweisen (>C14 mit unterschiedlichen Sättigungsgraden), so ist die an sie über den N-Terminus gebundene Aminosäure immer ein Glutamin (Weiss et al., 2018a). Diese Konjugate sind in die Verdauungsprozesse der *Chaoborus* Larven involviert, was erklärt, warum sie trotz des Nachteils für ihren Sender immer wieder freigesetzt werden (Weiss et al., 2018a).

Die Identifizierung solcher Signalstoffe ist zudem eine entscheidende Komponente, vor allem wenn es darum geht, die Signalkaskaden der Räuberwahrnehmung im Beuteorganismus nachzuvollziehen. Hier spielen Chemorezeptoren eine entscheidende Rolle, deren Identifizierung und Deorphanisierung die Kenntnis des Liganden erfordert. Die Tatsache, dass Organismen in der Lage sind, zwischen Fressfeinden, Kon- und Heterospezies zu unterscheiden und dadurch eine Bewertung des Prädationsrisikos in Kombination mit einer fein abgestimmten Verteidigung durchzuführen, zeigt, dass sich spezielle sensorische Systeme entwickelt haben müssen, die eine korrekte Interpretation der Umwelt ermöglichen.

Chemische Räuberdetektion

Die chemische Wahrnehmung ist neben der visuellen, der mechanischen Wahrnehmung und den elektrischen Sinnen in aquatischen Systemen elementar (Ferrari et al., 2010; Wisenden, 2000). Chemische Signale sind unabhängig von Sichtweiten und können sogar Informationen über den Aktivitätszustand des Räubers übermitteln. Darüber hinaus sind viele Beuteorganismen in der Lage, die Anwesenheit von Fressfeinden selbst vor dem Hintergrund einer großen chemischen Diversität zu erkennen. Dies ermöglicht es den Beutetieren, auf die Anwesenheit von Räubern mit einer Plastizität ihres Phänotyps zu reagieren und ihre Überlebenschancen zu erhöhen. Damit jedoch Plastizität im Kontext eines erhöhten Prädationsrisikos adaptiv sein kann, ist die korrekte Interpretation der Räuberstoffe entscheidend.

Im Vergleich zu anderen Taxa (wie Insekten und Säugetieren) ist über Chemorezeptoren bei Daphnien nicht viel bekannt. Die Rezeptoren, die bei der Räuberwahrnehmung eine Rolle spielen, sind auf den ersten Antennen der Daphnien lokalisiert. Schaltet man die Antennen durch Bedeckung mit Unterwasserkleber aus, können die Daphnien ihre Räuber nicht mehr Wahrnehmen und sie verlieren ihre Fähigkeit Verteidigungsformen auszubilden (Weiss et al., 2015).

Eine Rezeptorgruppe, die an der Kairomon-Wahrnehmung beteiligt ist, ist derzeit noch nicht hinlänglich identifiziert. Das Daphnien-Genom kodiert für eine Gruppe von 58 Chemorezeptoren, die in drei verschiedenen Überfamilien zusammengefasst sind und eine Sequenzhomologie mit den Geschmacksrezeptoren (Grs) der Insekten aufweisen. In Daphnien ist deren Expressionsort jedoch vollkommen unbekannt. Zudem wurden keine Gene gefunden, die für Proteine kodieren, die den Geruchsrezeptoren (Ors) der Insekten ähneln, was auf eine recht junge Expansion dieser Genfamilie im Zusammenhang mit der Evolution der Hexapoden hinweisen könnte (Pẽnalva-Arana et al., 2009). Dies wird auch durch die Beobachtung gestützt, dass Ors auch in keinen anderen Crustacea-Genomen identifiziert wurden. Kürzlich wurde aber eine weitere Gruppe von Geruchsrezeptoren in Crustaceen beschrieben, welche ortholog zu den ionotropen Rezeptoren (Irs) der Insekten sind. Auch in Daphnien wurde diese Rezeptorgruppe nachgewiesen (Croset et al., 2010), welche offenbar eine zentrale Rolle bei der Räuber-Perzeption spielen (Graeve et al., 2022).

Neuronale Grundlagen der Räuber Detektion

Neuronale Netzwerke sind sowohl anatomische als auch funktionelle Einheiten und die beteiligten Neuronen funktionieren nie isoliert. Um die neuronalen Mechanismen der Plastizität zu verstehen, ist zunächst ein Überblick über das gesamte Nervensystem und die Funktionsweisen der einzelnen Komponenten erforderlich. Auch wenn die Neuroanatomie des Nervensystems von Daphnien vergleichsweise einfach erscheint, ist dies doch in der Lage, eine Vielzahl von intra- und interspezifischen Signalen zu unterscheiden. Das Gehirn von *Daphnia* ist klassisch organisiert und besteht aus drei Regionen, dem Protocerebrum, dem Deuterocerebrum und dem Tritocerebrum, wie sie auch bei anderen Branchiopoden-Krebstieren beschrieben sind (Fritsch and Richter, 2010; Harzsch and Glötzner, 2002; Kirsch and Richter, 2007; Kress et al., 2016). Das Komplexauge ist über die optischen Ganglien (gebildet aus Lamina und Tekta) mit dem Protocerebrum verbunden (Weiss et al., 2012). Das Deuterocerebrum ist innerviert von Nervenfasern aus den ersten Antennen (Weiss et al., 2012). Von den tritocerebralen Ganglien ausgehende Nerven innervieren die (Schwimm-) Antennen, das Labrum und den Verdauungstrakt (Weiss et al., 2012). Das Tritocerebrum ist somit auch an Funktionen des stomatogastrischen Nervensystems beteiligt (Bullock and Horridge, 1965; Weiss et al., 2012). Das Volumen betreffend ist das Protocerebrum das größte Neuropil. Das Deuterocerebrum befindet sich proximal zum protocerebralen Neuropil. Das deutocerebrale Neuropil ist weniger ausgeprägt als das Protocerebrum und besteht aus einem Paar undifferenzierter Neuropile (Hallberg et al., 1992; Harzsch, 2006). Die Frage ist nun, wie adaptive Prozesse auf neuronaler Ebene kodiert werden. Glomeruli, wie sie im Deuterocerebrum bei vielen anderen Arthropoden vorkommen, wurden in Daphnien noch nicht nachgewiesen (Hallberg et al., 1992; Weiss et al., 2012).

Neurophysiologische Grundlagen der induzierbaren Verteidigung

Neurophysiologische Stimulationen haben gezeigt, dass die der Räuber-Detektion zugrunde liegende Kaskade mehrere Signalkomponenten umfasst, einschließlich der Beteiligung von cholinergen, glutaminergen und GABA-ergen Signalen (Miyakawa et al., 2015; Weiss et al., 2012a, Abb. 2). Im Allgemeinen verändert Acetylcholin im Gehirn die neuronale Erregbarkeit, beeinflusst die synaptische Übertragung, induziert synaptische Plastizität und koordiniert das Feuern von Gruppen von Neuronen (Picciotto et al., 2012). Infolgedessen verändert es den Zustand neuronaler Netzwerke im gesamten Gehirn und modifiziert deren Reaktion auf interne und externe Reize, was die klassische Rolle eines Neuromodulators ist (Picciotto et al., 2012). Glutamat ist ein dominanter Neurotransmitter in Nervensystemen und aktiviert Neurone (Meldrum, 2000). Neuronale Rezeptoren für Glutamat werden in zwei Gruppen unterteilt: die metabotropen Glutamatrezeptoren, die zur Familie der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren gehören, und die ionotropen Glutamatrezeptoren, die zur Familie der Liganden-gesteuerten Io-

nenkanäle gehören. Ionotrope Glutamatrezeptoren werden weiter in drei Gruppen unterteilt, deren Namen sich von den spezifischen Agonisten ableiten: NMDA-Typ, AMPA-Typ und Kainat-Typ (Meldrum, 2000). Diese Subtypen werden hauptsächlich im Zentralnervensystem exprimiert und sind bei vielen Tierarten an verschiedenen biologischen Prozessen beteiligt, darunter Gedächtnis und Lernen (Malenka and Nicoll, 1999). Gene, die für diese Rezeptoren kodieren, wurden in *D. pulex* mithilfe von Microarrays identifiziert, und ihre Beteiligung an der Expression von Abwehrmechanismen wurde durch eine funktionelle Analyse unter Verwendung von Antagonisten der Rezeptoren weiter validiert (Miyakawa et al., 2015). GABA ist ein wichtiger inhibitorischer Neurotransmitter, der das Membranpotenzial einer Nervenzelle und dadurch ihre Erregbarkeit verringert (Wu and Sun, 2015). GABA ist im Nervensystem stets funktionsfähig und sorgt für die Feinabstimmung der neuronalen Reaktionen und die Kontrolle neuronaler Erregbarkeit.

In Räuber-exponierten *D. pulex* wurden Gene für G-Protein-gekoppelte GABA-Rezeptoren differenziell exprimiert (Miyakawa et al., 2015). Nur der $GABA_B$-Rezeptortyp ist metabotrop und daher G-Protein-gekoppelt. Während Barry (2002) die Wirkung von GABA mit Picrotoxin, einem nicht-kompetitiven Antagonisten des ionotropen $GABA_A$-Rezeptors, antagonisierte (Barry, 2002), konnte durch neurophysiologische Stimulation mit GABA keine direkte Beteiligung der GABA-ergen Signalübertragung nachgewiesen werden (Weiss et al., 2012a). Eine indirekte GABA-erge Signalübertragung ist zwar plausibel, aber mit einfacher neurophysiologischer Stimulation in Bioassays nicht zu überprüfen.

Neuronale Plastizität

Seit den Pionier-Arbeiten von Hubel und Wiesel vor mehr als 40 Jahren haben Neurobiologen erkannt, dass die Umwelt eine wesentliche Rolle bei der Gestaltung der neuronalen Konnektivität spielt. Diese Beobachtungen werden mit dem Begriff der neuronalen Plastizität beschrieben, der die Fähigkeit des Gehirns bezeichnet, sich im Laufe des Lebens zu verändern. Dazu gehören Veränderungen der grauen Substanz, ein ständiger Ab- und Aufbau von Synapsen oder eine Anpassung des dendritischen Wachstums in Abhängigkeit vom Aktivitätsniveau der Neuronen. Diese Art der aktivitätsabhängigen Plastizität ist eine Form der funktionellen und strukturellen Neuroplastizität, die sich aus Kognition und Erfahrung ergibt. Sie ist somit die Grundlage für das Lernen und die Bildung von Erinnerungen. Außerdem ist die neuronale Plastizität das Ergebnis von Veränderungen der Genexpressionsmuster, die durch spezielle Signalkaskaden ausgelöst werden, wie z.B. durch die Signalmoleküle Kalzium, Dopamin und Glutamat. Ebenso hat sich gezeigt, dass relative Gehirngröße und -struktur mit Umweltparametern korreliert sind. Dazu gehören die räumliche Komplexität der natürlichen und sozialen Umwelt, die Wassertiefe, die Lichtverhältnisse und die Prädation (Samuk et al., 2018). Eine Analyse von 623 Paaren aus Raub- und Beutetierarten von Fischen ergab beispielsweise, dass Beutetierarten im

Durchschnitt größere Gehirne haben als die Arten, die sie erbeuten, was möglicherweise auf ein "kognitives Wettrüsten" schließen lässt (Samuk et al., 2018). Andere Studien beschreiben, wie sich die Hirnmorphologie verändern kann, z. B. wachsen Neunstachligen Stichlingen, die Prädatoren ausgesetzt sind, größere Bulbi olfactorii (Gonda et al., 2011). Die Ursache für diese morphologische Veränderung wurde jedoch nicht untersucht, so dass unklar ist, woher die strukturelle Veränderung stammt. Eine Zunahme der Gehirngröße könnte auf eine erhöhte Anzahl von Nervenzellen oder eine erhöhte Anzahl von Zellverbindungen hinweisen.

In Räuber-exponierten *D. longicephala* wird diese Form der neuronalen Plastizität ebenfalls beschrieben (Graeve et al., 2021a). Räuber-induzierte *D. longicephala* weisen im Vergleich zu naiven Daphnien signifikant größere Volumina ihres Protocerebrums auf. Dies ist allerdings unabhängig von der Anzahl der Nervenzellen im Protocerebrum, welche zwar mit dem Alter, aber nicht mit der Prädation zunimmt. Die Ausbildung der morphologischen Verteidigungsformen geht mit einer Zunahme an inhibitorischen Synapsen einher, so dass das erhöhte Gehirnvolumen eventuell durch eine erhöhte Anzahl an synaptischen Zell-Zell Verbindungen zu erklären ist (Graeve et al., 2021a, Abb. 2).

Es bleibt in Zukunft zu klären, wie genau die neurophysiologischen Mechanismen letztendlich in hormonelle Signale transferiert werden, was schließlich in einer verlängerte Zellwachstums-Phase bei der Ausbildung von morphologischen Verteidigungsformen resultiert (Annette Graeve et al., 2022).

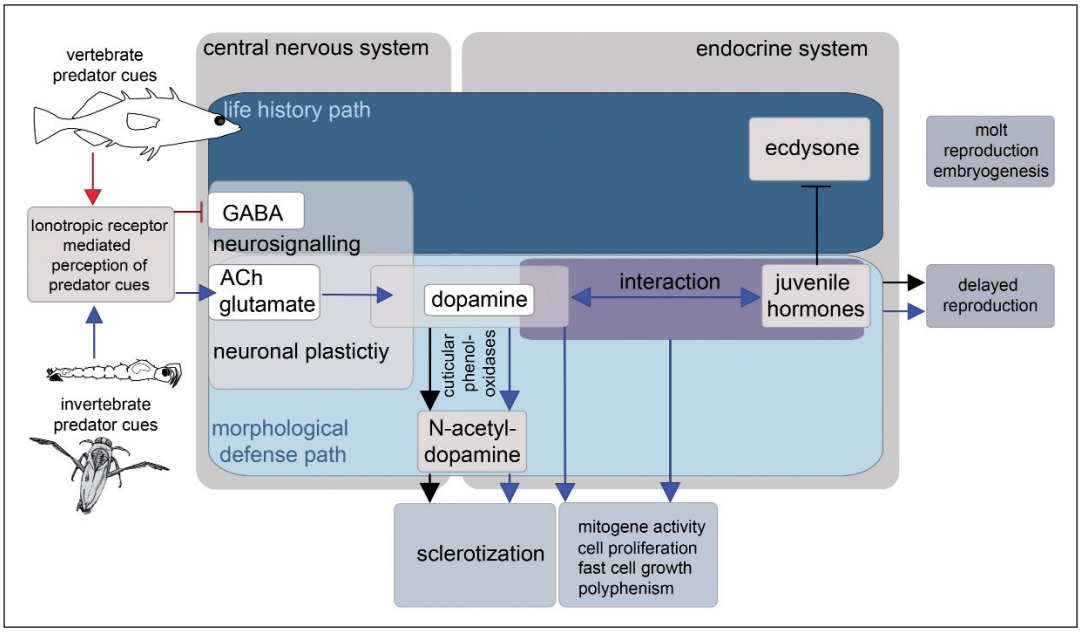


Abb. 2. Allgemeines Schema der Signalkaskaden, die der Räuber-Detektion und Ausbildung von Verteidigungsformen bei *Daphnia* zu Grunde liegen (aktualisiert nach Weiss et al. 2015).

Das Verständnis der sensorischen Mechanismen und neuronalen Signalverarbeitung, die der Räuberwahrnehmung zugrunde liegen, ist auch entscheidend im Hinblick auf anthropogene Störungen, die häufig die neuronalen Signalkaskaden beeinträchtigen.

Anthropogene Stressoren

Temperaturanstieg ist ein globales Problem und wirkt sich auf terrestrische und aquatische Ökosysteme aus; ebenfalls bekannt ist, dass erhöhte pCO_2-Werte mit Meer- und auch Süßwasser reagieren und die Wasserchemie beeinflussen (Doney et al., 2009; Hasler et al., 2016; Phillips et al., 2015; Weiss et al., 2018b). Es wurde gezeigt, dass die pCO_2-bedingte Versauerung des Wassers das Anpassungspotenzial verschiedener Invertebraten und Vertebraten in Süß- und Salzwasser beeinträchtigt (Munday et al., 2012; Ou et al., 2015; Weiss et al., 2018b). Tatsächlich werden nicht nur kalzifizierende Arten in ihren Wachstumsraten und ihrer allgemeinen Fitness gestört, auch die olfaktorischen Fähigkeiten von Tieren werden beeinträchtigt, wodurch sie (insbesondere Fische) desorientiert werden (Ellis et al., 2017). Fische, die erhöhten CO_2-Werten ausgesetzt waren, zeigten eine entsprechende Verringerung des am Riechepithel aufgezeichneten Elektro-Olfaktogramms, was darauf hindeutet, dass CO_2 die Geruchsempfindlichkeit beeinträchtigt (Ou et al., 2015). Dies kann zu veränderten Verhaltensreaktionen führen mit maladaptiven Anti-Prädator-Strategien und erhöhter Angst (Ou et al., 2015). Selbst Feldversuche haben gezeigt, dass junge Atlantische Lachse unter hohen pCO_2-Bedingungen eine höhere Prädationsrate aufweisen (Elvidge et al., 2014).

Auch Süßgewässer scheinen nun vermehrt CO_2 zu akkumulieren. In vier Talsperren konnte die Entwicklung des pCO_2 über einen Zeitraum von 38 Jahren nachverfolgt werden. Im Laufe der Beobachtungsperiode verdreifachte sich der pCO_2 im Vergleich zum Ausgangswert (Abb. 3, aktualisiert aus (Abb. 3, Weiss et al., 2018b).

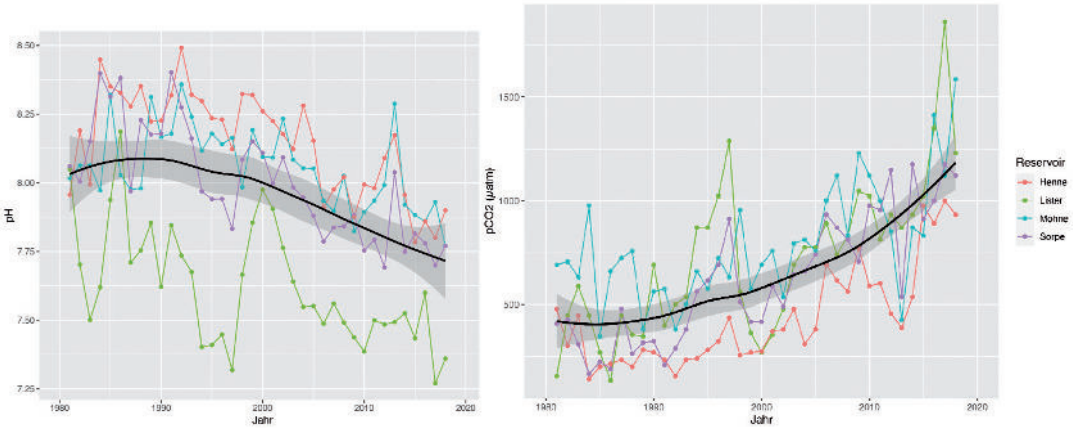


Abb. 3. Entwicklung von pH (links) und pCO_2 (rechts) in 4 verschiedenen Talsperren. Über einen Zeitraum von 38 Jahren ist der mittlere pH in den Talsperren von 8.02 auf 7.70 gesunken bei einem kontinuierlichen Anstieg des mittleren pCO_2 von 433 µatm auf 1217 µatm.

Im Süßwasser mit hohen pCO_2-Werten werden Daphnien anfälliger für ihre Räuber, da sie signifikant kleinere Verteidigungsstrukturen ausbilden, als Daphnien unter normalen CO_2-Bedingungen. Da das allgemeine Wachstum und die Reproduktion der Daphnien nicht von erhöhten pCO_2-Werten beeinflusst wird, sondern lediglich Räuber-induzierte Effekte reduziert werden (Pötter et al., 2021), scheint es nahe zu liegen, dass CO_2 auch in Daphnien die Sensorik beeinträchtig. Da ein erhöhter CO_2-Gehalt zumeist mit einer Reduktion des pH-Wertes einhergeht, stellt sich die Frage, ob der erhöhte CO_2-Gehalt diese sensorischen Defizite bedingt, oder der pH-Wert. Verringert man den pH-Wert bei konstanter Karbonatchemie hat dies keine sensorischen Defizite zur Folge und die Daphnien bilden ihre volle Verteidigung aus, so dass diese Effekte auf den erhöhten pCO_2 zurückzuführen sind.

Ähnliche Beobachtungen wurden bei Daphnias Räuber, der *Chaoborus* Larve, gemacht. Unter erhöhtem pCO_2 verfehlen die Larven beim Schlagen nach ihrer Beute häufiger ihr Ziel (Kowalewska et al., 2020). Gleichzeitig führen die *Chaoborus*-Larven mehr ungerichtete Bewegungen durch, wodurch der Energiebedarf steigt. Dieser kann dann nicht gedeckt werden, wenn sie beim Beutefang nicht effektiv sind (Kowalewska et al., 2020). Auch hier ist noch unklar, wodurch diese Effekte genau bedingt sind.

Zusammenfassend verändern erhöhte pCO_2 Level die chemische Kommunikation zwischen aquatisch lebenden Organismen, was den intra- und interspezifischen Informationstransfer stört, und dies könnte sich kaskadenartig auf alle trophische Ebenen auswirken.

Ausblick

Die Fähigkeit vieler Organismen, sich an das Prädationsrisiko anzupassen und zwischen Raubtieren zu unterscheiden, zeigt eine ausgeprägte Kapazität die Umwelt wahrzunehmen und zu interpretieren. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Fitness des Einzelnen und letztlich für die Stabilität des Ökosystems. In den letzten Jahren ist immer deutlicher geworden, dass viele anthropogene Stoffe, die in die Umwelt freigesetzt werden, die sensorischen Systeme von Meeres- und Süßwassertieren beeinträchtigen. Viele Studien haben zum Beispiel gezeigt, dass erhöhte pCO_2-Werte in den Ozeanen und in Süßwasserökosystemen die Neurobiologie von Organismen beeinflussen (Hamilton et al., 2013; Munday et al., 2012; Weiss et al., 2018b). In vielen Fällen verhindert dies die richtige Interpretation der Umwelt und kann unangemessenen Reaktionen als Konsequenz haben (Chivers et al., 2014; Weiss et al., 2018b). Schließlich werden Beutetierarten anfälliger für ihre Räuber, mit kaskadenartigen Folgen auf den Ebenen des Ökosystems. Ebenso deuten eine Reihe von Laborstudien darauf hin, dass anthropogene Schadstoffe die Chemorezeption stören können, selbst bei niedrigen, nicht toxischen Konzentrationen. Es gibt derzeit aber nur wenige Untersuchungen darüber, ob sich Schwankungen der Wasserqualität in der realen Welt auf die Umweltperzeption auswirken (Troyer and Turner, 2015). Diese Erkenntnisse zeigen, dass es notwendig ist, die Infochemikalien zusam-

men mit den sensorischen Mechanismen zu analysieren, die Umweltanpassungen vermitteln. Mit *Next-Generation-Sequencing-Strategien* ist das Genom-Mining z. B. für Chemorezeptoren möglich und für alle molekularen Untersuchungen von zentraler Bedeutung. Die Verfügbarkeit neuartiger Genom-Editierungs-Verfahren (CRISPR/Cas9, TALEN, RNAi) (Kato et al., 2012; Naitou et al., 2015; Nakanishi et al., 2014) in Kombination mit optogenetischen Anwendungen (Deisseroth, 2011; Herlitze and Landmesser, 2007) und Elektroantennogrammen (Simbeya et al., 2012) wird uns ermöglichen, die molekularen Mechanismen zu entschlüsseln, die der Räuber-induzierten phänotypischen Plastizität zugrunde liegen.

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen Mitgliedern meiner Arbeitsgruppe bedanken, ohne die die hier vorgestellten Arbeiten niemals möglich gewesen wären. Ein großer Dank geht auch an alle Kolleginnen und Kollegen, Kollaborationspartnerinnen und -partner und Freunde, die meinen bisherigen Weg begleitet haben. Ein spezieller Dank geht an Ralph Tollrian, John Colbourne und Petra Wahle, die mir stets mit Rat und Tat als Mentoren zur Seite standen.

Literaturverzeichnis

Barry, M.J., 2002. Progress toward understanding the neurophysiological basis of predator-induced morphology in *Daphnia pulex*. Physiol. Biochem. Zool. 75, 179–186.

Bradshaw, A.D., 1965. Evolutionary Significance of Phenotypic Plasticity in Plants. Adv. Genet. 13, 115–155.

Brett, M.T., 1992. *Chaoborus* and fish mediated influences on *Daphnia longispina* population structure, dynamics and life history strategies. Oecologia 89, 69–77.

Bullock, T., Horridge, G.A., 1965. Structure and Function in the Nervous Systems of Invertebrates. San Francisco, Freeman.

Chivers, D.P., Mccormick, M.I., Nilsson, G.E., Munday, P.L., Watson, S.A., Meekan, M.G., Mitchell, M.D., Corkill, K.C., Ferrari, M.C.O., 2014. Impaired learning of predators and lower prey survival under elevated CO_2: A consequence of neurotransmitter interference. Glob. Chang. Biol. 20, 515–522.

Colbourne, J.K., Pfrender, M.E., Gilbert, D., Thomas, W.K., Tucker, A., Oakley, Boore, J.L. et al., 2011. The ecoresponsive genome of *Daphnia pulex*. Science 331, 555–561.

Crane, A.L., Ferrari, M.C.O., 2017. Evidence for risk extrapolation in decision making by tadpoles. Sci. Rep. 7, 1–7.

Croset, V., Rytz, R., Cummins, S.F., Budd, A., Brawand, D., Kaessmann, H., Gibson, T.J., Benton, R., 2010. Ancient protostome origin of chemosensory ionotropic glutamate receptors and the evolution of insect taste and olfaction. PLoS Genet.6(8) e1001064. doi:10.1371/journal.pgen.100106

Deisseroth, K., 2011. Optogenetics. Nat. Methods. 8(1) doi:10.1038/nmeth.f.324

DeWitt, T.J., Scheiner, S.M., 2004. Phenotypic variation from single genotypes. In: DeWitt, T.J., Scheiner, S.M. (Eds.), Phenotypic Plasticity: Functional and Conceptual Approaches. Oxford and New York: Oxford University Press, New York, pp. 1–10.

Dicke, M., Grostal, P., 2001. Chemical detection of natural enemies by arthropods: an ecological perspective. Annu. Rev. Ecol. Syst. 32, 1–23.

Dodson, S.I., Tollrian, R., Lampert, W., 1997. *Daphnia* swimming behaviour during vertical migration. J. Plankton Res. 19, 969–978.

Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A., Kleypas, J.A., 2009. Ocean acidification: the other CO_2 problem. Ann. Rev. Mar. Sci. 1, 169–192.

Ellis, R.P., Urbina, M.A., Wilson, R.W., 2017. Lessons from two high CO_2 worlds – future oceans and intensive aquaculture. Glob. Chang. Biol. 23, 2141–2148.

Elvidge, C.K., Brown, G.E., MacLatchy, D., 2014. Predation costs of impaired chemosensory risk assessment on acid-impacted juvenile

Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 71, 756–762.
Ferrari, M.C.O., Wisenden, B.D., Chivers, D.P., 2010. Chemical ecology of predator-prey interactions in aquatic ecosystems: A review and prospectus. Can. J. Zool. 88, 698–724.
Fritsch, M., Richter, S., 2010. The formation of the nervous system during larval development in *Triops cancriformis* (Bosc) (Crustacea, Branchiopoda): An immunohistochemical survey. J. Morphol. 271(12), 1457-1481
Gonda, A., Välimäki, K., Herczeg, G., Merilä, J., 2011. Brain development and predation: plastic responses depend on evolutionary history. Zebrafish 249–252.
Graeve, A., Huster, J., Görl, D., Ioannidou, I., Gomez, R., Weiss, L.C., 2022. Distinct cell proliferation patterns underlying the development of defensive crests in *Daphnia longicephala*. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4039657
Graeve, A, Huster, J., Mayweg, J., Fiedler, R., Plaßmann, J., Wahle, P., Weiss, L., 2022. Functional assessment of the ionotropic receptors IR25a and IR93a in predator perception in the freshwater crustacean *Daphnia* using RNA interference. bioRxiv 2022.02.11.480022.
Graeve, A., Ioannidou, I., Reinhard, J., Görl, D.M., Faissner, A., Weiss, L., 2021a. Brain volume increase and neuronal plasticity underly predator-induced morphological defense expression in *Daphnia longicephala*. Sci. Rep. 11.
Graeve, A., Janßen, M., Villalba De La Pena, M., Tollrian, R., Weiss, L.C., 2021b. Higher, faster, better: Maternal effects shorten time lags and increase morphological defenses in *Daphnia lumholtzi* offspring generations. Front. Ecol. Evol. 9, 324.
Grant, J.W.G., Bayly, I.A.E., 1981. Predator induction of crests in morphs of the *Daphnia carinata* King complex. Limnol. Oceanogr. 26(2), 201-218
Hallberg, E., Johansson, K.U.I., Elofsson, R., 1992. The Aesthetasc Concept: Structural Variations of Putative Olfactory Receptor Cell Complexes in Crustacea. Microscopy Research and Technique 335, 325–335.
Hamilton, T.J., Holcombe, A., Tresguerres, M., 2013. CO_2-induced ocean acidification increases anxiety in Rockfish via alteration of $GABA_A$ receptor functioning. Proc. Biol. Sci. 281, 20132509.
Hanazato, T., Fueki, K., Yoshimoto, M., 2001. Fish-induced life-history shifts in the cladocerans *Daphnia* and *Simocephalus:* are they positive or negative responses? J. Plankton Res. 23, 945–951.
Harzsch, S., 2006. Neurophylogeny: Architecture of the nervous system and a fresh view on arthropod phyologeny. Integr. Comp. Biol. 46, 162–194.
Harzsch, S., Glötzner, J., 2002. An immunohistochemical study of structure and development of the nervous system in the brine shrimp *Artemia salina* Linnaeus, 1758 (Branchiopoda, Anostraca) with remarks on the evolution of the arthropod brain. Arthropod Struct. Dev. 30, 251–270.
Hasler, C.T., Butman, D., Jeffrey, J.D., Suski, C.D., 2016. Freshwater biota and rising pCO_2? Ecol. Lett. 19, 98–108.
Haupt, F., Stockenreiter, M., Baumgartner, M., Boersma, M., Stibor, H., 2009. *Daphnia* diel vertical migration: Implications beyond zooplankton. J. Plankton Res. 31, 215–524.
Herlitze, S., Landmesser, L.T., 2007. New optical tools for controlling neuronal activity. Curr. Opin. Neurobiol. 17(1), 87-94
Jeschke, J.M., Kopp, M., Tollrian, R., 2002. Predator functional responses: Discriminating between handling and digesting prey. Ecol. Monogr. 72, 95–112.
Kato, Y., Matsuura, T., Watanabe, H., 2012. Genomic integration and germline transmission of plasmid injected into crustacean *Daphnia magna* eggs. PLoS One 7 (9). 10.1371/journal.pone.0045318
Kats, L.B., Dill, L.M., 1998. The scent of death: chemosensory assessment of predation risk by prey animals. Ecoscience. 5(3), 361-394
Kirkpatrick, M., Price, T., 2008. Sensory ecology: In sight of speciation. Nature 455, 601.
Kirsch, R., Richter, S., 2007. The nervous system of *Leptodora kindtii* (Branchiopoda, Cladocera) surveyed with Confocal Scanning Microscopy (CLSM), including general remarks on the branchiopod neuromorphological ground pattern. Arthropod Struct. Dev. 36(2), 143-156
Kowalewska, A.A., Krebs, N., Tollrian, R., Weiss, L.C., 2020. Elevated pCO_2 affects behavioural patterns and mechano-sensation in

predatory phantom midge larvae *Chaoborus obscuripes*. Sci. Rep. 10, 1–9.
Kress, T., Harzsch, S., Dircksen, H., 2016. Neuroanatomy of the optic ganglia and central brain of the water flea *Daphnia magna* (Crustacea, Cladocera). Cell Tissue Res. 363(3), 649-677
Krueger, D.A., Dodson, S.I., 1981. Embryological induction and predation ecology in *Daphnia pulex*. Limnol. Oceanogr. 26, 219–223.
Kusch, J., Heckmann, K., 1992. Isolation of the *Lembadion*-factor, A morphogenetically active signal, that induces *Euplotes* cells to change from their ovoid form into a larger lateral winged morph. Dev. Genet. 13, 241–246.
Lampert, W., 2011. *Daphnia*: Development of a model organism in ecology and evolution. Excellence in Ecology 21, 1–275.
Malenka, R.C., Nicoll, R.A., 1999. Long-term potentiation - A decade of progress? Science 285, 1870–1874.
Meldrum, B.S., 2000. Glutamate as a neurotransmitter in the brain: review of physiology and pathology. Journal of Nutrition. American Institute of Nutrition. doi:10.1093/jn/130.4.1007s
Miyakawa, H., Sato, M., Colbourne, J.K., Iguchi, T., 2015. Ionotropic glutamate receptors mediate inducible defense in the water flea *Daphnia pulex*. PLoS One 10, 1–12.
Munday, P.L., McCormick, M.I., Nilsson, G.E., 2012. Impact of global warming and rising CO2 levels on coral reef fishes: What hope for the future? J. Exp. Biol. doi:10.1242/jeb.074765
Naitou, A., Kato, Y., Nakanishi, T., Matsuura, T., Watanabe, H., 2015. Heterodimeric TALENs induce targeted heritable mutations in the crustacean *Daphnia magna*. Biol. Open 4, 364–9.
Nakanishi, T., Kato, Y., Matsuura, T., Watanabe, H., 2014. CRISPR/Cas-mediated targeted mutagenesis in *Daphnia magna*. PLoS One 9(5) 10.1371/journal.pone.0098363.
Ou, M., Hamilton, T.J., Eom, J., Lyall, E.M., Gallup, J., Jiang, A., Lee, J., Close, D. a., Yun, S.-S., Brauner, C.J., 2015. Responses of pink salmon to CO_2-induced aquatic acidification. Nat. Clim. Chang. 5, 1–24.
Peñalva-Arana, D.C., Lynch, M., Robertson, H.M., 2009. The chemoreceptor genes of the waterflea *Daphnia pulex*: Many Grs but no Ors. BMC Evol. Biol. 9. 10.1371/journal.pone.0098363
Pereira, A.G., Moita, M.A., 2016. Is there anybody out there? Neural circuits of threat detection in vertebrates. Curr. Opin. Neurobiol. 41, 179–187.
Petrusek, A., Tollrian, R., Schwenk, K., Haas, A., Laforsch, C., 2009. A "crown of thorns" is an inducible defense that protects *Daphnia* against an ancient predator. Proc. Natl. Acad. Sci. 106(7), 2248-2252
Phillips, J.C., McKinley, G.A., Bennington, V., Bootsma, H.A., Pilcher, D.J., Sterner, R.W., Urban, N.R., 2015. The potential for CO_2-induced acidification in freshwater: A Great Lakes case study. Oceanography 28, 136–145.
Picciotto, M.R., Higley, M.J., Mineur, Y.S., 2012. Acetylcholine as a neuromodulator: Cholinergic signaling shapes nervous system function and behavior. Neuron.76(1), 116-129
Pötter, L., Krebs, N., Horstmann, M., Tollrian, R., Weiss, L.C., 2021. Long-term effects of elevated pCO_2 levels on the expression of *Chaoborus*-induced defences in *Daphnia pulex*. Zoology 146. Doi:10.1016/j.zool.2021.125909
Ringelberg, J., 2010. Diel Vertical Migration of Zooplankton in Lakes and Oceans, Springer Netherlands, Dordrecht.
Samuk, K., Xue, J., Rennision, D.J., 2018. Exposure to predators does not lead to the evolution of larger brains in experimental populations of threespined stickleback. Evolution (N.Y). 72, 916–929.
Selander, E., Kubanek, J., Hamberg, M., Andersson, M.X., Cervin, G., Pavia, H., 2015. Predator lipids induce paralytic shellfish toxins in bloom-forming algae. Proc Natl Acad Sci U S A 112, 6395–6400.
Simbeya, C.K., Csuzdi, C.E., Dew, W.A., Pyle, G.G., 2012. Electroantennogram measurement of the olfactory response of *Daphnia* spp. and its impairment by waterborne copper. Ecotoxicol. Environ. Saf. 82, 80–84.
Stollewerk, A., 2010. The water flea *Daphnia* - a "new" model system for ecology and evolution? J. Biol. 9, 21.
Tollrian, R., 1990. Predator induced helmet formation in *Daphnia cucullata* (SARS). Arch. für Hydrobiol.119(2), 191-196

Tollrian, R., 1993. Neckteeth formation in *Daphnia pulex* as an example of continuous phenotypic plasticity morphological effects of *Chaoborus* kairomone concentration and their quantification 15, 1309–1318.
Tollrian, R., 1994. Fish-kairomone induced morphological changes in *Daphnia lumholtzi* (Sars). Arch. Fur Hydrobiol. 130(1), 69-75
Tollrian, R., Duggen, S., Weiss, L.C., Laforsch, C., Kopp, M., 2015. Density-dependent adjustment of inducible defenses. Sci. Rep. 5, 12736.
Tollrian, R., Harvell, C.D., 1999. The Ecology and Evolution of Inducible Defenses. Princeton University Press 395p.
Tollrian, R., Leese, F., 2010. Ecological genomics: steps towards unraveling the genetic basis of inducible defenses in *Daphnia*. BMC Biol. 8, 51.
Troyer, R.R., Turner, A.M., 2015. Chemosensory perception of predators by larval amphibians depends on water quality. PLoS One 10, 1–10.
Verschoor, A.M., Vos, M., Van Der Stap, I., 2004. Inducible defences prevent strong population fluctuations in bi- and tritrophic food chains. Ecol. Lett. 7, 1143–1148.
Weiss, L., Laforsch, C., Tollrian, R., 2012. The taste of predation and the defences of prey. In: Chemical Ecology in Aquatic Systems. Oxford University Press, 371p.
Weiss, L.C., 2019. Sensory ecology of predator-induced phenotypic plasticity. Front. Behav. Neurosci. 12, 1–12.
Weiss, L.C., Albada, B., Becker, S.M., Meckelmann, S.W., Klein, J., Meyer, M., Schmitz, O.J., Sommer, U., Leo, M., Zagermann, J., Metzler-Nolte, N., Tollrian, R., 2018a. Identification of *Chaoborus* kairomone chemicals that induce defences in *Daphnia*. Nat. Chem. Biol. 14, 1133–1139.
Weiss, L.C., Heilgenberg, E., Deussen, L., Becker, S.M., Kruppert, S., Tollrian, R., 2016. Onset of kairomone sensitivity and the development of inducible morphological defenses in *Daphnia pulex*. Hydrobiologia 779, 1–11.
Weiss, L.C., Kruppert, S., Laforsch, C., Tollrian, R., 2012a. *Chaoborus* and *Gasterosteus* antipredator responses in *Daphnia pulex* are mediated by independent cholinergic and gabaergic neuronal signals. PLoS One 7. 10.1371/journal.pone.0036879
Weiss, L.C., Leimann, J., Tollrian, R., 2015. Predator-induced defences in *Daphnia longicephala:* Location of kairomone receptors and timeline of sensitive phases to trait formation. J. Exp. Biol. 218, 2918–2926.
Weiss, L.C., Pötter, L., Steiger, A., Kruppert, S., Frost, U., Tollrian, R., 2018b. Rising pCO_2 in freshwater ecosystems has the potential to negatively affect predator-induced defenses in *Daphnia*. Curr. Biol. 28, 1–6.
Weiss, L.C., Tollrian, R., 2018. Inducible defenses in Crustacea. In: The Natural History of the Crustacea, Life Histories, Volume 5.
Weiss, L.C., Tollrian, R., Herbert, Z., Laforsch, C., 2012b. Morphology of the *Daphnia* nervous system: A comparative study on *Daphnia pulex*, *Daphnia lumholtzi*, and *Daphnia longicephala*. J. Morphol. 273, 1392–1405.
West-Eberhard, M.J., 2008. Phenotypic Plasticity. Encycl. Ecol. Five-Volume Set 2701–2707.
Wisenden, B.D., 2000. Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 355, 1205–1208.
Wu, C., Sun, D., 2015. GABA receptors in brain development, function, and injury. Metab Brain Dis 30, 367–379.
Yasumoto, K., Nishigami, A., Yasumoto, M., Kasai, F., Okada, Y., Kusumi, T., Ooi, T., 2005. Aliphatic sulfates released from *Daphnia* induce morphological defense of phytoplankton: Isolation and synthesis of kairomones. Tetrahedron Lett. 46, 4765–4767.

Dr. Linda Weiss
Ruhr-Universität Bochum
Dept. of Animal Ecology, Evolution and Biodiversity
Universitätsstr. 150, 44780 Bochum
linda.weiss@rub.de

Laudatio auf Fabrizia Ronco anlässlich der Verleihung des Horst-Wiehe-Preises 2021

Walter Salzburger

Fabrizia Ronco erhält den Förderpreis der Horst-Wiehe-Stiftung 2021 für ihre herausragende kumulative Dissertation „*Diversity, disparity and the temporal dynamics of eco-morphological adaptation in the cichlid radiation of Lake Tanganyika*". Mir als Betreuer dieser Arbeit kommt die ehrenvolle Aufgabe zuteil, Fabrizia Ronco für ihre aussergewöhnlichen Leistungen zu würdigen.

Fabrizia Ronco hat in ihrer Heimatstadt Basel Organismische Biologie studiert und sich bereits in ihrer Masterarbeit am Zoologischen Institut der Universität Basel mit Afrikanischen Buntbarschen beschäftigt (*Mol. Ecol.* 23 [2014] 5304-5322). Für ihre Doktorarbeit hat sich Fabrizia dann einer ganz besonderen Herausforderung gestellt, nämlich dem evolutionären Phänomen der adaptiven Radiation durch eine eingehende Untersuchung der überaus vielfältigen und artenreichen Tanganjikasee-Buntbarsche («Cichliden») im wahrsten Sinne des Wortes auf den Zahn zu fühlen.

Insgesamt fast neun Monate verbrachte Fabrizia Ronco im Rahmen ihrer Doktorarbeit in Afrika – auf abenteuerlichen Expeditionen, die uns bis in die entlegensten Buchten des mächtigen Tanganjikasees führten, zu den Nilpferden im Rusizi-Delta an der Grenze zwischen Burundi und der Demokratischen Republik Kongo, zu den heissen Quellen von Kanfonki in Sambia und zu den Schimpansen auf der Mahale Halbinsel in Tansania. Nur aufgrund dieser ausgiebigen Feldarbeiten und den vielen Stunden unter Wasser war es möglich, eine einzigartige Beleg-Sammlung aufzubauen, in der jeweils 10 Nasspräparate von nahezu allen 250 im Tanganjikasee vorkommenden Buntbarsch-Arten vertreten sind. Dem grossen Einsatz von Fabrizia ist es zu verdanken, dass diese Sammlung taxonomisch und datenbanktechnisch hervorragend kuratiert ist (*J. Great Lakes Res.* 46 [2021] 1067-1078).

Die knapp 2500 Belegexemplare von Tanganjikasee-Buntbarschen waren dann auch der Ausgangspunkt für die Hauptarbeit der Dissertation von Fabrizia Ronco: der bis dato umfangsreichsten morphologischen, ökologischen und genomischen Untersuchung einer massiven adaptiven Radiation. Für diese Studie hat Fabrizia einen immensen Aufwand betrieben und u.a. mehr als 2000 Röntgenbilder morphometrisch analysiert, von über 1000 Fischen computertomographische Scans erstellt, um deren Kieferstrukturen in 3D zu vermessen, und – gemeinsam mit einer Kollegin – über 500 Genome von Tanganjikasee-Buntbarschen sequenziert. Mindestens ebenso beeindruckend ist es, dass Fabrizia das analytische Rahmenwerk entwickelte, um diese Fülle an unterschiedlichen Daten überhaupt erst

analysieren und in einem evolutionären Kontext interpretieren zu können. So konnte sie zeigen, dass die Evolution der Buntbarsche im Tanganjikasee nicht kontinuierlich verlief, sondern von pulsartigen Phasen besonders schneller morphologischer Veränderung geprägt war, und dass die Vertreter von artenreichen Untergruppen von Buntbarschen eine höhere genetische Diversität aufweisen als solche von artenarmen Linien (*Nature* 589 [2021] 76-81). Diese neuen Erkenntnisse zum Verlauf einer adaptiven Radiation bieten einen wichtigen Ansatz für weiterführende Studien zur Frage, wie biologische Vielfalt entsteht.

In einem weiteren Kapitel ihrer Doktorarbeit untersuchte Fabrizia Geschlechtsunterschiede in den Kiemenreusen der Tanganjikasee-Cichliden in Abhängigkeit von Nahrungsanpassungen und Brutpflegeverhalten (*Proc. R. Soc.* B 286 [2019] 20191050). Daneben trug sie zu weiteren Arbeiten zur Evolution und Ökologie von Buntbarschen bei, wie etwa zu einer umfangreichen Studie zur Geschlechtsbestimmung (*Science Adv.* 7 [2021] eabe8215), und engagierte sich in der Lehre und akademischen Selbstverwaltung am Zoologischen Institut in Basel.

Fabrizia Ronco ist eine Naturforscherin, Zoologin und Evolutionsbiologin aus Leidenschaft und eine überaus würdige Trägerin des Horst-Wiehe Preises. Wie kaum jemand anderes verkörpert sie die moderne Zoologie: Ausgehend von einem tiefgreifenden Interesse an einer Organismengruppe und unter Einsatz von fortschrittlichen Analyseverfahren sowie «high-performance computing» widmete sich Fabrizia Ronco – in origineller Art und Weise – grundlegenden Fragen zu einem evolutionären Phänomen, welches Evolution und Ökologie verbindet. Congrats, liebe Fabrizia!

Prof. Dr. Walter Salzburger
Zoologisches Institut
Department Umweltwissenschaften
Universität Basel
Vesalgasse 1
CH-4051 Basel
walter.salzburger@unibas.ch

Neue Erkenntnisse zum Verlauf der adaptiven Radiation afrikanischer Buntbarsche

Fabrizia Ronco

Das Phänomen der *adaptiven Radiation*, welches die rasche, teils nahezu gleichzeitige, ökologische Diversifizierung einer einzigen Abstammungslinie in eine Vielzahl neuer Arten beschreibt, ist einer der bemerkenswertesten evolutionären Prozesse, der wahrscheinlich für einen Großteil der Artenvielfalt auf der Erde verantwortlich ist (Schluter, 2000; Simpson, 1953). So sind zum Beispiel die meisten derzeit existierenden Tierstämme im Verlauf der kambrischen Radiation (auch «kambrische Explosion» genannt) vor etwa 540 Millionen Jahren entstanden.

Adaptive Radiationen umfassen oft eine Vielzahl an Arten, welche alle auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgehen und meist innerhalb relativ kurzer evolutionärer Zeiträume entstanden sind (Schluter, 2000). Da der zugrundeliegende Artbildungsprozess hauptsächlich durch natürliche Selektion auf Anpassungen an verschiedene ökologische Nischen geprägt ist, ist ein enger Zusammenhang zwischen morphologischen Merkmalen einer Art und der von ihr genutzten ökologischen Nische ein wesentliches Merkmal adaptiver Radiationen (Schluter, 2000).

Diese Charakteristika einer adaptiven Radiation sind in der Regel relativ gut anhand der heute existierenden Arten zu erkennen. Viele Aspekte jedoch, insbesondere die Auslöser und der Verlauf von adaptiven Radiationen, sind erst unzureichend verstanden und meist nur theoretischer Natur. Dabei legte George G. Simpson (Simpson, 1953) den gedanklichen Grundstein für die Annahme, dass adaptive Radiationen keine graduellen Prozesse sind, sondern anfänglich sehr schnell von statten gehen und sich im Verlauf der Zeit verlangsamen. Der Grund dafür soll im «ökologischen Potential» liegen, welches sich im Verlauf einer Radiation verändert. So gehen adaptive Radiationen in der Regel mit einem Ereignis einher, welches einen Überfluss an ökologischem Potential eröffnet. Ein solches Ereignis kann zum Beispiel die Kolonisierung eines neuen Lebensraums mit unbesetzten ökologischen Nischen sein (z.B. eine neu entstandene Insel oder ein See); ein Massenaussterben von konkurrierenden Arten, welches zuvor besetzte Nischen freigibt; oder die Evolution eines neuartigen Merkmales, welches es einer evolutionären Linie ermöglicht, in nicht oder nur wenig genutzte Nischen vorzudringen. Als Folge dieses Überflusses an ökologischem Potential erwartet man zunächst erhöhte Evolutionsraten, da Arten rasch und in Abwesenheit von Konkurrenten in unbesetzte, adaptive Zonen vordringen. Im Laufe der Zeit jedoch, während ökologische Nischen zunehmend besetzt werden, nimmt das ökologische Potential ab, und folglich verlangsamt sich die Evolutionsrate. Diese

Idee der zeitlichen Dynamik des ökologischen Potentials wurde später als mathematisches Modell für adaptive Radiation formuliert, welches wir heute als «Early-Burst-Modell» kennen (siehe z.B. Gavrilets and Losos, 2009). In seinem wegweisenden Buch postulierte Simpson (Simpson, 1953) weiter, dass sich die Diversifizierung in Untergruppen einer Radiation in wiederholten Schüben fortsetzt, wenn neue Anpassungsstufen nacheinander erreicht werden (Simpson, 1953, S. 229). Diese Ansicht wurde wiederum in das so genannte «Stufenmodell» (Streelman and Danley, 2003) aufgenommen, welches vorhersagt, dass adaptive Radiationen entlang verschiedener und zeitlich versetzter Achsen der Diversifizierung verlaufen. Zu Beginn einer Radiation wird die Anpassung entlang der Makrohabitatachsen erwartet (z.B. die Aufteilung auf verschiedene Lebensräume), gefolgt von der Spezialisierung auf verschiedene Nahrungsquellen (trophische Spezialisierung) und letztlich die Diversifizierung entlang einer Signalachse (z.B. Merkmale, die mit Kommunikation oder sexueller Selektion zusammenhängen).

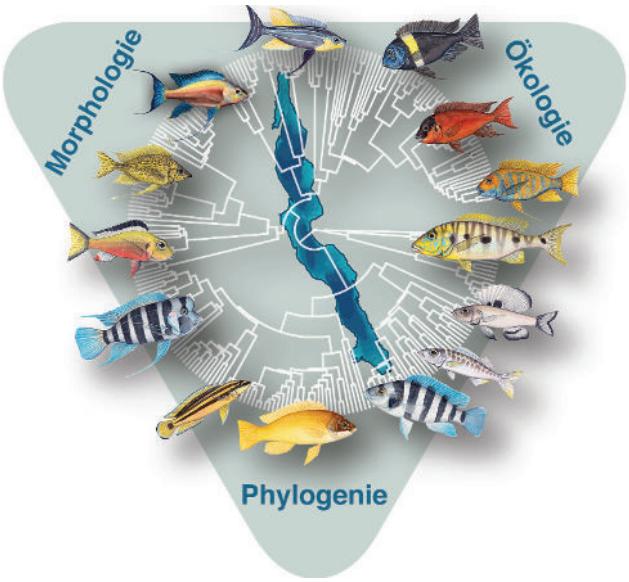


Abb. 1: Schematische Darstellung zentraler Komponenten der adaptiven Radiation der Buntbarsche im Tanganyikasee, die wir im Rahmen meiner Doktorarbeit untersuchten. Phylogenie modifiziert von Ronco et al. 2021, Fischillustrationen von Julie Himes.

Obwohl sich bereits Generationen von Wissenschaftlern mit adaptiven Radiationen beschäftigt haben, sind empirische Daten, die die genannten Modelle unterstützen, rar und stammen grösstenteils von kleineren Radiationen oder begrenzten Stichproben grösserer Radiationen. Zudem wurden die verschiedenen Modelle wie das «Early-Burst-Modell» und das «Stufenmodell» der adaptiven Radiation in der Regel separat behandelt (z.B. Harmon et al., 2010; Streelman and Danley, 2003).

Im Rahmen meiner Dissertation an der Universität Basel, unter der Betreuung von Prof. Dr. Walter Salzburger, habe ich die grosse adaptive Radiation der Buntbarsche des Tanganyikasees genauer untersucht. Das Ziel meiner Doktorarbeit war es, zum ersten Mal die gesamte Tanganjika-Radiation hinsichtlich verschiedener Aspekte der Morphologie, der Ökologie und der phylogenetischen Verwandtschaftsbeziehungen zu analysieren (Abb. 1). Einerseits wollten wir öko-morphologische Anpassungen quantifizieren und, andererseits, unsere empirischen Daten mit den bestehenden mathematischen Mo-

dellen der adaptiven Radiation vergleichen.

Die adaptive Radiation der Buntbarsche im Tanganjikasee umfasst etwa 250 endemische Arten, die in 12 phylogenetische Untergruppen, so genannte «tribes», unterteilt werden. Als ersten Schritt unserer Untersuchungen habe ich ein taxonomisches Inventar der Buntbarsche des Tanganyikasees aufgestellt (Ronco et al., 2020). Dazu listeten wir alle beschriebenen und eine Vielzahl von unbeschriebenen Arten auf und sammelten, im Rahmen von mehreren Forschungsexpeditionen an den Tanganjikasee, jeweils 10 Belegexemplare einer jeden Art. Die daraus resultierende wissenschaftliche Sammlung an Nasspräparaten ist die vollständigste Sammlung von Tanganjika-Buntbarschen weltweit und stellt die Grundlage für meine weiteren Untersuchungen dar. Basierend auf der Sequenzierung der gesamten Genome von jeweils zwei Individuen jeder Art erstellten wir einen umfassenden phylogenetischen Stammbaum. Durch die Kalibrierung mittels einer aufgestellten Zeitachse der Buntbarschevolution (Matschiner et al., 2020) konnten wir zeigen, dass die Buntbarschradiation des Tanganjikasees vor ca. 9.7 Mio. Jahren begann. Diese Datierung fällt mit einer frühen Phase der Entstehung des Tanganjikasees zusammen und lässt folglich vermuten, dass alle Arten der Radiation im Tanganjikasee selbst entstanden sind (Ronco et al., 2021).

Ein nächster Schritt bestand darin, die Nischennutzung jeder Art mittels molekularer ökologischer Messungen (stabile Kohlenstoff- und Stickstoffisotopensignaturen des Muskelgewebes) zu bestimmen und eine umfassende Phänotypisierung mehrerer morphologischer Merkmale vorzunehmen: Basierend auf Röntgenbildern der Belegexemplare untersuchten wir die Morphologie des gesamten Körpers sowie des oralen Kiefers. Mittels computer-tomographischer Aufnahmen analysierten wir zudem die Form des unteren Pharyngal-Kiefers. Dieser zusätzliche Kieferapparat im Rachen der Buntbarsche dient der Zerkleinerung der Nahrung und unterscheidet sich von Art zu Art zum Teil erheblich in Form und Bezahnung. Als viertes Merkmal quantifizierten wir die melaninbasierte Pigmentierung der Haut mit Hilfe von Fotos der frisch gefangen Belegexemplare. Dieser umfangreiche Datensatz ermöglichte es uns, erstmalig die ökologische und morphologische Vielfalt einer gesamten adaptiven Radiation von Buntbarschen zu quantifizieren und einen Zusammenhang zwischen morphologischen Charakteristika und den ökologischen Nischen der Arten zu etablieren (Ronco et al., 2021).

In einem weiteren Schritt rekonstruierten wir, wie sich die Raten der morphologischen Evolution im Verlauf der adaptiven Radiation für jedes der vier untersuchten Merkmale entwickelt haben und wie folglich die morphologische Diversität über den Zeitraum der Radiation hinweg zugenommen hat. Dabei stellte sich heraus, dass die verschiedenen morphologischen Merkmale nicht graduell evolviert sind, sondern vielmehr in Form zeitlich versetzter Pulse (Abb. 2). Der erste Puls – vor 6 bis 8 Millionen Jahren – betraf vor allem die Differenzierung der Körperform. Da dieses Merkmal eng mit der Lebensraumnutzung in Zusammen-

hang steht, deutet dies darauf hin, dass die Artentrennung entlang der Makrohabitate die erste Achse der Diversifizierung der Tanganjikabuntbarsche darstellte. Nach diesem "early burst" in der Körperform kam es zwischen 4 und 6 Mio. Jahren zu einem zweiten Puls der morphologischen Evolution, der diesmal hauptsächlich den oralen Kiefer betraf und somit ein Merkmal, das mit der Nahrungssuche und -aufnahme zusammenhängt (Fryer and Iles, 1972). Schliesslich, in den letzten zwei Millionen Jahren, sind überlappende Signale für eine beschleunigte morphologische Evolution und einen steilen Anstieg der morphologischen Diversität in zwei Merkmalen zu erkennen: dem unteren Pharyngeal-Kiefer und dem melaninbasierten Pigmentierungsmuster. Während das Pigmentierungsmuster ein Merkmal darstellt, das wahrscheinlich der Kommunikation dient (und möglicherweise unter sexueller Selektion steht), ist der Unterkieferknochen des Rachenapparats Teil eines trophisch bedeutsamen Merkmalkomplexes (Fryer and Iles, 1972; Liem, 1973).

Zusammengenommen weisen diese pulsartigen Phasen der Evolution in den afrikanischen Buntbarschen auf ein «early burst» Szenario hin, das in ein Stufenmodell übergeht. Im Gegensatz zum klassischen Stufenmodell dominieren die trophischen Anpassungen jedoch nicht nur eine, sondern gleich zwei der Stufen. Die zeitliche Trennung der morphologischen Spezialisierung von Mund- und Rachenkiefer deutet zudem darauf hin, dass diese beiden trophischen Strukturen weitgehend unabhängig voneinander evolvieren konnten (siehe auch Ronco und Salzburger, 2021).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass meine Doktorarbeit eine Reihe neuer Erkenntnisse und Beiträge für die wissenschaftliche Gemeinschaft bietet. Zum einen bildet die Bestandsaufnahme der taxonomischen Vielfalt (Ronco et al., 2020) in Kombination mit dem Aufbau der umfassenden wissenschaftlichen Samm-

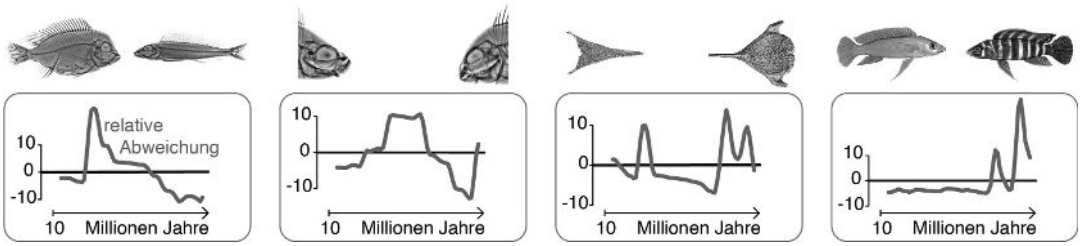


Abb. 2: Signale der pulsartigen Evolution von verschiedenen morphologischen Merkmalen der adaptiven Radiation der Buntbarsche im Tanganyikasee. Die relative Abweichung ist der Unterschied zwischen dem rekonstruierten Verlauf der Diversitätsakkumulation im Vergleich zu einem erwarteten Szenario unter Annahme neutraler Evolution (Nullinie, «brownian motion» Simulationen). Für Körperform lässt sich ein «early burst» feststellen, gefolgt von einem Puls der morphologischen Evolution des Oralkiefers und letztlich einem Puls der erhöhten Diversitätsanhäufung sowohl im Unterkieferknochen des Rachenapparats, wie auch im melaninbasierten Pigmentierungsmuster. Abbildung modifiziert von Ronco et al. 2021.

lung von Tanganjika-Buntbarschen eine wertvolle Grundlage für weitere Projekte im Bereich der Grundlagenforschung sowie in der angewandten Naturschutzbiologie. Zum andern liefern die empirischen Studien neue Einblicke in den Verlauf von adaptiven Radiationen und tragen somit zu einem besseren Verständnis essentieller Konzepte und Modelle der Artbildung, sowie der Entstehung von biologischer Vielfalt bei.

Ausblick

Seit meiner Dissertation habe ich mich weiterhin mit der Thematik der adaptiven Radiation beschäftigt. Zwei Jahre arbeitete ich als Postdoktorandin an der Universität Basel, wo ich mich unter anderem vertieft mit der Evolution der beiden Kieferapparate bei Buntbarschen auseinandersetzte. Seit April 2022 bin ich als Postdoktorandin am Naturhistorischen Museum in Oslo, Norwegen, tätig, wo ich meine Forschung zur adaptiven Radiation fortsetze – mich in diesem Fall jedoch der adaptiven Radiation der antarktischen Notothenioid-Fische widme.

Die antarktischen Notothenioid-Fische sind ein Musterbeispiel einer marinen adaptiven Radiation innerhalb der Wirbeltiere und haben sich unter den wohl gegensätzlichsten ökologischen Bedingungen entwickelt im Vergleich zu den tropischen Gebieten, in denen die meisten Modellradiationen stattgefunden haben. Die etwa 77 Arten weisen eine eindrucksvolle (öko-)morphologische Vielfalt auf. Bisher wurde noch nicht untersucht, ob und inwiefern Hybridisierung zum evolutionären Erfolg der antarktischen Notothenioiden beigetragen hat. Zudem bleiben viele Fragen im Zusammenhang mit morphologischer Evolution in dieser adaptiven Radiation unbeantwortet. Um diesen Fragen nachzugehen, erarbeite ich die bisher umfassendste zeitlich kalibrierte Phylogenie dieser Radiation und teste diese auf Signale von Hybridisierung zwischen phylogenetischen Untergruppen und Artenpaaren. Darüber hinaus untersuche ich auch in dieser Radiation die zeitlichen Muster der morphologischen Evolution. Denn nur der Vergleich verschiedener Radiationen – die idealerwiese unter unterschiedlichen ökologischen Voraussetzungen und über unterschiedliche Zeitspannen evolviert sind – wird es uns ermöglichen, schlüssig zu beurteilen, ob pulsartige morphologische Evolution ein allgemeines Merkmal adaptiver Radiationen ist. Dies wiederum wird zu einem tieferen Verständnis der Prozesse beitragen, welche der schnellen phänotypischen Anpassung und der Entstehung von biologischer Vielfalt zugrunde liegen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich während meiner Dissertation auf verschiedenste Weise unterstützt haben. Zunächst möchte ich meinem Doktorvater Walter Salzburger dafür danken, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, an diesem faszinierenden System zu arbeiten, er mich immer unterstützt und gefördert hat, mir jedoch gleichzeitig die Freiheit gab, meine eigenen Ideen zu verwirklichen. Er hat mich als Wissenschaftlerin stark geprägt und mich immer ermutigt, integrativ zu arbeiten, mein Fachwissen zu erweitern

und nie den Bezug zum biologischen System und den Fragen, die meine Forschung antreiben zu verlieren. Als nächstes möchte ich Adrian Indermaur und Heinz H. Büscher dafür danken, dass sie mich mit ihrer Faszination für Buntbarsche "angesteckt" haben – ihre Begeisterung und ihr Wissen über Tanganjika-Buntbarsche inspirieren mich immer wieder aufs Neue! Ich habe unsere Diskussionen über verschiedene Aspekte der Biologie, Evolution und Taxonomie der Buntbarsche immer sehr genossen und geschätzt. Weiter möchte ich mich ganz herzlich bei allen Freunden/innen, Kollegen/innen und Co-Autoren/innen für interessante und wertvolle Diskussionen zu verschiedenen Themen und Projekten bedanken, sowie auch Carolin Sommer-Trembo für ihre hilfreichen Kommentare zu diesem Artikel. Abschliessend möchte ich mich bei der Deutschen Zoologischen Gesellschaft bedanken – es ist mir eine grosse Ehre, diesjährige Trägerin des Horst-Wiehe Preises zu sein!

Referenzen

Fryer, G., Iles, T.D., 1972. The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa. T.F.H. Publications, Neptune City, NJ.

Gavrilets, S., Losos, J.B., 2009. Adaptive radiation: Contrasting theory with data. Science. 323, 732–737.

Harmon, L.J., Losos, J.B., Jonathan Davies, T., Gillespie, R.G., Gittleman, J.L., Bryan Jennings, W., Kozak, K.H., McPeek, M.A., Moreno-Roark, F., Near, T.J., Purvis, A., Ricklefs, R.E., Schluter, D., Schulte, J.A., Seehausen, O., Sidlauskas, B.L., Torres-Carvajal, O., Weir, J.T., Mooers, A.T., 2010. Early bursts of body size and shape evolution are rare in comparative data. Evolution (N.Y). 64, 2385–2396.

Liem, K.F., 1973. Evolutionary strategies and morphological innovations: Cichlid pharyngeal jaws. Syst. Zool. 22, 425–441.

Matschiner, M., Böhne, A., Ronco, F., Salzburger, W., 2020. The genomic timeline of cichlid fish diversification across continents. Nat. Commun. 11, 1–8.

Ronco, F., Büscher, H.H., Indermaur, A., Salzburger, W., 2020. The taxonomic diversity of the cichlid fish fauna of ancient Lake Tanganyika, East Africa. J. Great Lakes Res. 46, 1067–1078.

Ronco, F., Matschiner, M., Böhne, A., Boila, A., Büscher, H.H., El Taher, A., Indermaur, A., Malinsky, M., Ricci, V., Kahmen, A., Jentoft, S., Salzburger, W., 2021. Drivers and dynamics of a massive adaptive radiation in cichlid fishes. Nature 589, 76–81.

Ronco, F., Salzburger, W., 2021. Tracing evolutionary decoupling of oral and pharyngeal jaws in cichlid fishes. Evol. Lett. 5, 625–635.

Schluter, D., 2000. The ecology of adaptive radiation. Oxford University Press, New York.

Simpson, G.G., 1953. The Major Features of Evolution. Columbia University Press, New York.

Streelman, J.T., Danley, P.D., 2003. The stages of vertebrate evolutionary radiation. Trends Ecol. Evol. 18, 126–131.

Dr. Fabrizia Ronco
Zoologisches Institut,
Department Umweltwissenschaften,
Universität Basel, Vesalgasse 1, 4051 Basel, Schweiz
Aktuelle Adresse:
Naturhistorisches Museum Oslo, 0562 Oslo, Norwegen
fabrizia.ronco@gmail.com

Werner-Rathmayer-Preis der Deutschen Zoologischen Gesellschaft

Der diesjährige Werner-Rathmayer-Preis der Deutschen Zoologischen Gesellschaft wurde Armin Höcherl (15 J.) und Nikolaus Weiland (16 J.) zugesprochen (Abb. 1). Die Preisträger wurden beim 57. Bundeswettbewerb der Stiftung *Jugend forscht* am 25.-27. Mai in Lübeck ermittelt. Armin Höcherl und Nikolaus Weiland kommen vom Schyren-Gymmnasium in Pfaffenhofen/Ilm. Der Preis ist mit 500 Euro dotiert und mit einer Einladung auf die Jahrestagung der DZG 2022 in Bonn verbunden.

Der Titel der eingereichten Arbeit war: ,,Plastik am Himmel? - Untersuchung von Speiballen''.

Abb. 1. Die beiden Preisträger Armin Höcherl (li.) und Nikolaus Weiland (re.)
Bild: Jugend forscht

Die Autoren schreiben in der Einleitung ihrer Arbeit:

"Dass sich Kunststoff im Meer und in den dort lebenden Tieren befindet, ist schon seit längerer Zeit bekannt (vgl. Nabu Bundesverband, 2016). In der Natur abseits von Gewässern kann man ebenfalls Plastik finden. Dafür reicht meist ein Spaziergang in einem nahegelegenen Wald aus. Doch bisher war noch nie die Rede von Plastik in den Vögeln, also den ,,Bewohnern der Lüfte''. Aus diesem Grund haben wir uns die Frage gestellt, ob diese Tiere Plastikteile mit Nahrung verwechseln und so in sich aufnehmen. Dies könnte, wie es bei den Meeresbewohnern der Fall ist, schlimme Auswirkungen auf die Gesundheit des Tieres haben."

Um diese Frage zu beantworten, sammelten Armin Höcherl und Nikolaus Weiland Speiballen von Störchen und Greifvögeln und untersuchten diese auf ihren Inhalt, denn diese Vogelarten würgen unverdauliche Nahrungsreste als sog. Gewölle aus dem Magen wieder hervor, die sich dann bei Störchen in und um den Horst einsammeln lassen. Die Untersuchung kann darum nichtinvasiv ohne Störung der Tiere erfolgen. In Zusammenarbeit mit offiziellen Beringern vom Landesbund für Vogelschutz konnten sie insgesamt 85 Speiballen von Störchen aus ganz unterschiedlichen Gegenden untersuchen. Bei Gewöllen von Greifvögeln waren sie dagegen auf Zufallsfunde in den Wäldern rund um Pfaffenhofen angewiesen und konnten nur 7 Proben untersuchen. Alle Gewölle wurden vermessen,

gewogen, makro- und mikroskopisch untersucht, zudem kam Infrarotspektrometrie zum Einsatz, sodaß auch auf Mikroplastik getestet wurde und Aussagen zu Typ und Zusammensetzung der gefundenen Plastikteile möglich waren.

Es ergab sich, daß 19% aller Gewölle Plastik enthielten; die Höhe des Anteils war dabei sehr standortabhängig. Keines der Greifvogelgewölle enthielt Plastik, was die Jungforscher auf deren ganz andere Ernährungsweise zurückführten.

Armin Höcherl und Nikolaus Weiland fassen ihre Ergebnisse folgendermaßen zusammen:

"Durch dieses Projekt wird deutlich, dass Plastik tatsächlich auch von Vögeln aufgenommen wird. In fast jedem fünften Gewölle ist Plastik enthalten. Das bedeutet, dass der Weißstorch im Schnitt bei jeder fünften großen Nahrungsaufnahme Plastik in seinen Körper aufnimmt. Kunststoff stellt also auch für unsere Umwelt ein großes Problem dar, auch wenn wir nicht in der Nähe von einem Meer leben. Man sollte seinen Plastikkonsum überdenken und reduzieren, damit die Gefahr, die durch Plastik entsteht, für andere Lebewesen verringert wird. Auf keinen Fall sollte man Plastik in der freien Natur entsorgen, auch nicht in kleinen Mengen. Wenn wir aber so weiter machen und den Verbrauch von Kunststoffen nicht einschränken, wird möglicherweise bald in jedem Speiballen Plastik vorhanden sein und die Vogelwelt auch hierdurch stark bedroht werden. ...Die Hypothese, dass Weißstörche und andere Greifvögel über ihre Nahrung auch teilweise Plastikteile aufnehmen, hat sich damit für die Störche bestätigt".

Abb.2. Beim Beringen der Jungstörche wurde jeder Horst sogleich nach Speiballen durchsucht.
Bild: Armin Höcherl und Nikolaus Weiland

Abb.3. Ein Speiballen vor und nach Sektion
Bild: Armin Höcherl und Nikolaus Weiland

Darstellung und Selbstdarstellung der Wissenschaften und die Aufgaben des Wissenschaftsjournalismus

Ein persönlicher Rück- und Ausblick

Klaus Rehfeld

Prolog

Als mich Alexander Steinbrecht einlud, „etwas über Wissenschaftsjournalismus" zu schreiben, sagte ich spontan zu, da ich ohnehin zum Abschluss meiner Tätigkeit als Herausgeber und Redakteur der *Naturwissenschaftlichen Rundschau* eine persönliche Rückschau halten wollte. Ich sah und sehe das Thema als doppelte Herausforderung: persönlich und generell.

Zunächst zum Persönlichen: Über Wissenschaftsjournalismus wird gelehrt, es gibt eine Reihe von Kolleginnen und Kollegen, die den klassischen Weg über Volontariate bei einer Tageszeitung gegangen sind und auf vielfältige Weise „Journalisten" sind (vgl. Mast 2018). Heißt Journalist nicht: *à jour* berichten, die Öffentlichkeit auf dem Laufenden halten, gestern über Stammzellen, heute über neue Entwicklungen der Solarzelltechnik und morgen über ein Weltraum-Teleskop und dabei immer die aktuellen gesellschaftlichen Fragen im Blick haben? Und das in heutigen Zeiten möglichst auch *online*?

Ich war hingegen in einer anderen Lage, da ich mit Fachautorinnen und -autoren, häufig auch mit Aktiven der Wissenschaft zusammengearbeitet habe. Ich war damit vor allem als Redakteur und oft als Lektor gefordert, um einen Beitrag vorzubereiten. Bin ich daher von meinem Selbstverständnis her das, was man „Wissenschaftsjournalist" nennt? – Zweifellos wurde ich als ein solcher wahrgenommen, auch wenn für mich diese Etikettierung aus den genannten Gründen eigentlich nicht recht passt; manche, die auf dem Gebiet der Wissenschaftspublizistik arbeiten (ein Begriff der sich als differenzierende – aber keineswegs wertende oder gar erhöhende! – Alternative anbietet), mögen das ähnlich sehen. Andererseits wäre dieser Begriff dann doch etwas „blutleer", fehlt ihm doch das Bekenntnis, Zeitzeuge von Entwicklungen sein zu wollen und in vielen Fällen schlicht einer Chronistenpflicht nachzukommen.

Mein Werdegang und meine vorwiegend herausgeberische und redaktionelle Tätigkeit geben den Ausschlag für die Art meiner Betrachtung, die auch eine Standortbestimmung ist. So habe ich die folgenden Überlegungen gleichermaßen aus Sicht des berichtenden und kommentierenden Autors, aber auch aus Sicht des redigierenden und lektorierenden Kollegen und nicht zuletzt aus der Sicht des Beobachters verfasst. Nach allgemeinen Überlegungen zum Wissenschaftsjournalismus werde ich die Formen der Darstel-

lung und der Selbstdarstellung von Wissenschaft betrachten, die sich in der Zeit, in der ich tätig war, tiefgreifend gewandelt haben, um am Ende herauszuarbeiten, worin nun die Aufgaben des Wissenschaftsjournalismus liegen und wohin die Entwicklung gehen könnte.

Wissenschaftsjournalismus – eine stete Herausforderung

Auch wenn es eine Selbstverständlichkeit ist, muss es vorab gesagt sein: Was für jeden Journalismus gilt, der den Namen verdient, gilt in besonderem Maße für den Wissenschaftsjournalismus: Die Verpflichtung zur Wahrheit und zur Redlichkeit. Diese Kardinaltugenden sind verankert in einem wissenschaftlichen Weltbild, das Wissenschaftsjournalisten mit den Akteuren der Wissenschaft teilen. Ein (natur)wissenschaftliches Studium – zumindest eine Beheimatung in der wissenschaftlichen Welt – sind somit zwingend erforderlich.

Dass man den hohen Ansprüchen kaum je vollkommen genügen kann, da kein Mensch frei ist von Vorurteilen, Interessen, Deutungsrahmen und prägenden Erfahrungen, tut der Forderung nach Einhaltung der Kardinaltugenden keinen Abbruch. Sie sind als Leitlinie und Orientierung für Wissenschaftsjournalisten unverzichtbar. Schließlich handelt es sich um das höchste Gut, über das sie und auch die Wissenschaft verfügen: Glaubwürdigkeit. Nicht verlangen kann man hingegen, dass man aus „der Wissenschaft" geradezu eine „Lebensform" macht. Dies wäre wohl auch gar nicht sinnvoll, denn Wissenschaft hat zwar ihren Platz in einem Menschenleben, doch dieses weist auch andere Facetten auf, die anzusprechen gerade für Journalisten wichtig ist. Ihre Arbeit verlangt den Blick auf die Adressaten mitsamt deren Lebenswirklichkeit, sozialer, historischer und politischer Situation und damit zusammenhängenden Sichtweisen, Interessenlagen und Werten.

Auch wenn ich aus den eingangs genannten Gründen kein „klassischer" Wissenschaftsjournalist bin, so möchte ich zu Anfang zwölf Punkte herausstellen, die Leitlinien meiner Tätigkeit waren, und die ich zugleich mit Wissenschaftsjournalismus verbinde:

- die Freude und das brennende Interesse an den Gegebenheiten und Prozessen in dieser Welt,
- das Bedürfnis, diese zu verstehen und auf dem Wege der geistigen Aneignung zu einer Klärung und Darstellung zu gelangen, die der Mitteilung lohnt,
- Entwicklungen auf dem Gebiet der Wissenschaften zu verfolgen, sachkundig darüber zu berichten und anderen zugänglich zu machen,
- die Bedeutung bzw. Relevanz konkreter wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Fortschritte herauszuarbeiten und
- aufzuzeigen, in welcher Weise Probleme und Herausforderungen mit Hilfe der Wissenschaften angegangen werden können,
- bewusst zu machen, in welch hohem Ausmaß wir unsere Welt gestalten bzw. gestalten können und dass wir damit Verantwortung für unser Tun haben,
- durch saubere Darstellung von Sachverhalten, Hypothesen und verläss-

lichen Erkenntnissen Grundlagen zu schaffen, über Wissenschaft reden und reflektieren zu können, und somit
- beizutragen, aktuelle Entwicklungen einordnen zu können und zu einem eigenen Urteil zu gelangen;
- ein Verständnis für die wissenschaftliche Methode, ihre Möglichkeiten und ihre Grenzen zu vermitteln und damit verbunden
- die „Fackel der Aufklärung" gegen Ignoranten und Widersacher der Wissenschaften zu erheben,
- eine Idee von der kulturellen Bedeutung der Wissenschaften zu geben, als eine Möglichkeit, sich selbst und die Welt zu betrachten.
- Letztlich bedeutet dies, Wissens- und Erkenntnisangebote zu machen, neue Horizonte für das Denk-, Mach- und Wünschbare zu öffnen und einen Diskurs darüber zu ermöglichen, anzustoßen und gegebenenfalls zu moderieren.

Ein Großteil der wissenschaftsjournalistischen Arbeit – und da möchte ich auch die Geistes- und Sozialwissenschaften einbeziehen (wiewohl im Folgenden vor allem die Naturwissenschaften im Blick sind) – besteht in der Übersetzung der oft komplexen Sachverhalte, mit denen es die Wissenschaften zu tun haben und die uns die heutige Welt besser verstehen lassen. Dabei geht es nicht allein um die Vermittlung von Fakten, Wissen und Fragestellungen, sondern auch darum, sie in einen Zusammenhang zu stellen. Und nicht zuletzt ist es ein Anliegen, etwas von der Faszination der Wissenschaften zu vermitteln und Neugier zu wecken. Gerade das Neue, das Staunenswerte, alles, was jenseits von Nützlichkeits- und Anwendungsaspekten das Innerste berührt und eine Ahnung von der Vieldimensionalität der Welt vermittelt: Das ist, was alle fesselt, besonders auch junge Menschen fasziniert und anspricht, und worüber es sich zu sprechen lohnt.

Mit Blick auf die jeweilige Zielgruppe ist stets zu berücksichtigen: Welche Vorstellungen und Erwartungen haben sie, woran kann man anknüpfen, wo lassen sich Schneisen zum Verständnis schlagen, wo sind noch Grundlagen zu legen? Dies sind Herausforderungen, die sich permanent neu stellen, denn nicht nur die Wissenschaften, sondern auch die Möglichkeiten, sie zur Darstellung zu bringen, sind in ständigem Fluss.

Journalismus ist somit im höchsten Maße individuell und zugleich sozial verankert, zielt immer darauf ab, momenthaft in einem Gegenüber präsent zu werden. Der Autor, die Autorin auf der einen, die Leserin, der Leser auf der anderen Seite: Sie stehen in einem Wechselverhältnis voller Dynamik, immer offen für Einflüsse von außen, die sich oft als Trend verfestigen und in schwer vorhersehbare Richtung gehen.

Im Wissenschaftsjournalismus im Besonderen tritt noch das Verhältnis zu den Akteuren der Wissenschaft hinzu. Jeder, der auf diesem Feld tätig ist, fungiert als Mittler und Vermittler, muss beide Seiten im Blick haben. Hierbei ist eine Asymmetrie zu bedenken: Die Beziehung zu den Akteuren der Wissenschaft ist durch Lektüre von Originalarbeiten, möglicherweise Kontaktaufnahme und Begegnungen konkreter, persönlicher und enger –

„das Publikum" hingegen ist meist nur eine ungefähr erahnbare Größe; das gilt zumindest für die journalistische Arbeit am Schreibtisch, die hier im Vordergrund steht, oder im Studio. Wer sich in die sozialen Medien begibt oder gar auf offener Bühne auftritt, der erfährt unmittelbar Rückmeldungen, die dem Gegenüber Konturen geben und eine neue Dynamik in Gang setzt (von Zustimmung bis Shitstorm).

Als Wissenschaftsjournalist mag man sich an der Figur des ehrlichen Maklers orientieren, was sich, soweit es um die Vermittlung von Sachverhalten geht, annähernd verwirklichen lässt. Doch auch beim Übersetzen und Vermitteln schwingen Vorlieben und Prägungen mit. Wer zur Feder greift oder sich auf irgendeine andere Weise öffentlich äußert, ist somit Steuermann und Lotse zugleich, setzt Schwerpunkte und ist auf seine Weise wirkungsmächtig. Bereits in der Themenauswahl und Schwerpunktsetzung wird das persönliche Element spürbar. Gerade hierin liegen die besondere Verantwortung und zugleich der Reiz jeder redaktionellen und journalistischen Arbeit. Speziell beim Journalismus kommt noch eine ausgeprägte Meinungsfreudigkeit hinzu, Freude an pointierten Formulierungen und der Blick auf Medienwirksamkeit und – wenn nötig – auch Mut. Damit dies überzeugend gelingt, ist die für jeden seriösen Journalismus klassische Trennung zwischen der möglichst objektiven Darstellung von Sachverhalten und bewertender Kommentierung notwendig. Aus der Stimmigkeit zwischen Autoren und Rezipienten erwächst der besondere „Geist", der Vertrautheit und Vertrauen schafft, der bei Printprodukten als Leserblatt-Bindung gepflegt und beworben wird.

Dies sind sicherlich sehr allgemeine, vielleicht triviale Feststellungen, die ich dennoch gemacht habe, um zwei Punkte deutlich zu machen: Wissenschaftsjournalismus bedeutet stete Herausforderung. Und: „Den" Wissenschaftsjournalismus gibt es nicht. Es ist immer ein facettenreiches Unterfangen, weil Themen und Adressaten unterschiedlich sind. Entsprechend ist eine Vielfalt an Darstellungsweisen notwendig, um ein breites Spektrum von (möglichen) Interessenten auf geeignete Weise anzusprechen. Leser der *Naturwissenschaftlichen Rundschau* müssen nicht durch einen emotionalen Einstieg „abgeholt" werden, sie schätzen vielmehr, dass man gleich „zur Sache" kommt, doch mit voller Berechtigung wird man das für andere Zielgruppen tun. Gerade im Bereich der Naturwissenschaften ist ein solches „orchestriertes" Vorgehen umso dringlicher, als diese – zusammen mit den ihr verbundenen Technikwissenschaften – zu den tragenden Säulen unserer materiellen und geistigen Kultur gehören, also im Prinzip jeden betreffen. Und so wundert es nicht, dass die Wissenschaftsjournalisten nicht die einzigen sind, die die Wissenschaften zum öffentlichen Thema machen. Historisch gesehen waren sie auch nicht die ersten.

Wissenschaft im öffentlichen Raum – die Arena und ihre Mitspieler

- *Die Ära der Popularisierung*

Hierzulande war es Alexander von Humboldt (1769-1859), der das, was man zunächst Naturforschung, dann Naturwis-

senschaft nannte, öffentlich machte und damit Wegbereiter und Leitstern der öffentlichen Rede über die Wissenschaft wurde. Zugleich wurde er weit über Deutschland hinaus inspirierendes Vorbild für viele andere, es ihm gleichzutun und sich mit der Natur zu beschäftigen. Hierzu trugen seine geschickte Selbstinszenierung durch Korrespondenzberichte während seiner großen Südamerika-Reise, seine Schriften, wie die literarisch anspruchsvollen *Ansichten der Natur*, und vor allem die nicht weniger anspruchsvollen Kosmos-Vorträge in der Berliner Singakademie bei, die zu einem gesellschaftlichen Ereignis wurden (Wulf 2016, Daum 2019). ,,Kosmos'' und ,,Natur'' waren nicht bloß Begriffe, mit ihnen verbanden sich die Einladung und das Versprechen, dass die Gebildeten aller Stände hier aus einem Kraftquell schöpfen könnten, der jeden zum Teilhaber und Mitgestalter eines großen Geschehens mache. In diesem Sinne hatte auch Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), ein wesentlicher Inspirator von Humboldts Lebensentwurf, 1828 anlässlich seiner Ernennung als Korrespondierendes Mitglied der *Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* geschrieben: ,,*Wer Kunst und Wissenschaft fördert, bereitet grenzenlose Folgen vor*'' (Schäfer 1972). Ähnliche, Zukunft verheißende Impulse gingen von der 1822 gegründeten *Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* (GDNÄ) aus, über deren an unterschiedlichen Orten abgehaltene Versammlungen bald auch überregionale Blätter berichteten. Wissenschaft wurde zu einem Ereignis und wurde von der GDNÄ – aber auch von regionalen Gesellschaften und Vereinen – als für Wohlfahrt und Wohlergehen von Nationen unerlässliche Voraussetzung angesehen, weshalb man über sie berichten müsse. So hielt Justus Liebig (1803-1873) seine Zeitgenossen mit den *Chemischen Briefen*, die in Cottas Augsburger *Allgemeinen Zeitung* veröffentlicht wurden, über die neuesten Entwicklungen auf dem Laufenden.

Dem Bedürfnis, an die Öffentlichkeit zu treten, folgten auch andere Gelehrte. Nach dem Scheitern der Revolution von 1848 zeichnete sich in Zeiten ungebrochenen Reformwillens eine gewisse Spaltung bei den ,,berufsmäßigen Naturforschern'' ab. Der Zoologe Emil Adolf Roßmäßler (1806-1867), der sich selbst als Hochschullehrer der ,,Volksbildung'' widmete, schrieb dazu: ,,*Unter den an Zahl täglich zunehmenden Naturforschern muß man zwei Classen unterscheiden. Die einen haben bei ihrem Forschen nur die Förderung der Wissenschaft an sich im Auge, wobei sie dem sehr verzeihlichen Ehrgeiz huldigen, ihrem Namen in den Annalen der Wissenschaft einen Ehrenplatz zu erringen. Die Anderen bestimmen ihr wissenschaftliches Streben nur nach dem Grundsatz, daß vor allen anderen die Wissenschaft der Natur Gemeingut Aller sei, und ihr Ehrgeiz ist darauf gerichtet, den Dank des Volkes zu gewinnen.*'' (Daum 1998).

Daneben etablierten sich, befeuert durch Initiativen zur Hebung des Bildungsstands, Popularisierer der Wissenschaft, die vorwiegend von naturkundigen Privatleuten und -gelehrten mit schriftstellerischem Talent betrieben wurde. Sie hatten häufig ein Universitätsstudium ab-

solviert, waren aber aus verschiedensten Gründen nicht vollständig in der akademischen Welt verankert, also in gewissem Sinne Außenseiter und schrieben zum Broterwerb. Bis heute bekannt ist Wilhelm Bölsche (1861-1939), ein Literat und prominenter Autor des 1904 begründeten *Kosmos – Handweiser für Naturfreunde*. Er verstand sich als „Dolmetscher" in der Tradition der „*volkstümlichen Naturforschung*" (Kockerbeck 2009); wir würden ihn heute als Wissenschaftsjournalist bezeichnen. Bölsche war Ernst Haeckel (1834-1919) freundschaftlich verbunden und gleich ihm ein entschiedener Verkünder von Darwins Evolutionstheorie.

Manche der Popularisierer hingegen hatten im akademischen Milieu Ablehnung erfahren und waren entsprechend geneigt, umso mehr bei „ihrem" Publikum Anerkennung zu erlangen, das sich für manche skurrile Thesen empfänglich zeigte (vgl. Daum 1998). Denn das Etikett „Wissenschaft" hatte wie heute einen guten Klang und verband sich in bestimmten Kreisen mit der Erwartung, durch sie in den Besitz einer Lehre zu kommen, die die „Weihen der Wissenschaft" habe.

Die von Roßmäßler vorgenommene Unterscheidung zweier „*Classen*" mag überzeichnet sein, denn es gab durchaus aktive und hochanerkannte Naturwissenschaftler, die „nebenher" im Sinne der „Volksaufklärung" wirkten. Genannt sei der Astronom Wilhelm Foerster (1832-1921), der in der Tradition Alexander von Humboldts allgemeinverständliche Vorträge hielt und 1888/89 Mitbegründer der Berliner Urania war, einer der „*naturwissenschaftlichen Anschauung und Belehrung gewidmete*[n] *öffentliche Schaustätte*" zur „*Verbreitung der Freude an der Naturerkenntnis*". Roßmäßler mag vor allen auch an seinen Freund Alfred Edmund Brehm (1829-1884) gedacht haben, der erst nach seiner Afrikareise, mit der er sich bereits einen Namen gemacht hatte, studierte und dessen *Illustrirtes Thierleben* (1864) das bis heute wohl berühmteste populärwissenschaftliche Werk ist.

Aus heutiger Perspektive ist es erhellend, dass Roßmäßler einen Punkt anrührte, der für die Wertschätzung der Popularisierung von Wissenschaft folgenreich war: Forscher, die ihren Schwerpunkt auf „Volksbildung" legten, gerieten leicht in Gefahr, als zweitklassig angesehen und „nur" als „Popularisierer" angesehen zu werden. Schon an der Idee, Wissenschaft „populär" machen zu können, schieden sich die Geister, und bis heute gibt es Vorbehalte, die Ernst Peter Fischer mit Blick auf eine Äußerung von Max Planck (1858-1947) zur These veranlasste: „*Wissenschaft kann nicht populär sein*" (Fischer 2008, Rehfeld 2009). Wohl mit Bedacht nannte der Springer-Verlag seine 1927 mit Karl von Frischs (1886-1982) *Aus dem Leben der Bienen* begründete Buchreihe *Verständliche Wissenschaft*. Selbst der „Fernsehprofessor" Heinz Haber (1913-1990), ein glänzender Vermittler der Wissenschaften, der bei Walt Disney in die Lehre ging (Gründungsherausgeber von *Bild der Wissenschaft*, 1964), mied bewusst den Begriff „populär" und sprach von „öffentlicher Wissenschaft", was auch einer von ihm herausgegebenen Buchreihe den Namen gab.

In diesem Vorbehalt gegen den Begriff „populär" drückt sich eine Verpflichtung

in zweierlei Richtung aus: gegenüber der Wissenschaft, deren Prinzipien der Sachlichkeit und Korrektheit man treu bleiben müsse und deren Grundlagen schaffende Arbeit am besten in einem abgeschiedenen Bereich (dem berühmten Elfenbeinturm) gedeihe, und gegenüber dem Publikum, dem man nicht zu billig, sondern auf höchstmöglichem Niveau begegnen solle – getreu dem Motto von Albert Einstein (1879-1955): ,,*Man muss die Dinge so einfach wie möglich machen – aber nicht einfacher*''.

In diesem Satz ist das Dilemma bzw. die große Herausforderung aller Vermittler von Wissenschaft auf den Punkt gebracht: solide wissenschaftliche Erkenntnisse zu vermitteln, ohne unstatthaft zu vereinfachen. Doch die Herausforderungen sind umfassender. Es geht nicht allein um die ,,Übersetzung'' des Fachlichen, sondern auch darum, Zusammenhänge aufzuzeigen, Orientierung zu geben und – darauf aufbauend – zu befähigen, über Wesen, Ziele und Möglichkeiten der Wissenschaften zu reflektieren und ins Gespräch zu kommen.

Wie die historischen Beispiele zeigten, wurden diese vielfältigen Herausforderungen bereits im 19. Jahrhundert erkannt und angegangen. Viele Wissenschaftler und Popularisierer der Wissenschaften sahen sich in der Pflicht, zur ,,Volksbildung'' beizutragen. Bei einigen kam auch das Motiv hinzu, ihre Zeitgenossen an den Forscherfreuden und dem Reichtum der Natur teilhaben zu lassen, wie bei Karl von Frisch und Adolf Portmann (1897-1982). Wissend um ihr Privileg, empfanden sie eine Dankesschuld gegenüber der Allgemeinheit (so Carl Chun, 1852-1914, im Vorwort seines hervorragend illustrierten Berichts über die erste deutsche Tiefsee-Expedition mit der *Valdivia*; heute wird – mit einer gewissen Erwartungshaltung – von einer ,,Bringschuld'' gesprochen).

Es ist hier nicht die Stelle, alle Akteure zu würdigen, die im letzten Jahrhundert mit den medialen Möglichkeiten ihrer Zeit (Presse, Funk und Fernsehen) dazu beigetragen haben, die Wissenschaft in die Öffentlichkeit zu tragen. Vielmehr möchte ich zwei Entwicklungsstränge aufgreifen, die den Wissenschaftsjournalismus in den letzten zwei Jahrzehnten geprägt und verändert haben.

- *Die Öffnung der Wissenschaften – wissenschaftspolitische Entwicklungen*

Um die symbolträchtige Jahrtausendwende wurde ein Bündel von Maßnahmen geschnürt, das sich zum Ziel setzte, den Wissenschaften einen angemessenen Stellenwert in der Öffentlichkeit und vor allem im Bildungsbereich zu verschaffen. Es handelte sich um die Gründung von *Wissenschaft im Dialog*, die Einrichtung der *Wissenschaftsjahre* und die Auslobung des *Communicator-Preises.*

Alle drei ergänzen einander; insbesondere *Wissenschaft im Dialog* (WiD) knüpft an die *PUSH*-Initiative (*Public Unterstanding of Sciences and Humanities*) an, die 1985 in Großbritannien mit dem sogenannten Bodmer-Report der Royal Society gestartet wurde (The Royal Society 1985), um die wissenschaftliche Bildung in der Gesellschaft zu verbessern. Denn es hatte sich eine Kluft zwischen der faktischen Bedeutung der Wissenschaft und ihrer Wahrnehmung in der Bevölkerung aufgetan,

die den gesellschaftlichen Zusammenhalt und den Wohlstand gefährdet. Man sah sie als eine Selbstverständlichkeit an, ohne daran zu denken, dass sie steter Selbsterneuerung und Förderung bedarf. Wie schon einmal nach dem Sputnik-Schock 1957, der drastisch vor Augen führte, wie schnell ein Land technologisch ins Hintertreffen geraten kann (vor diesen Hintergrund hielt C. P. Snow seine berühmte Rede von den „zwei Kulturen"; Kreuzer 1987), wurde nun erneut der Ruf nach Verbesserung der wissenschaftlichen Bildung und der Allgemeinbildung laut.

Die Gründung von *Wissenschaft im Dialog* erfolgte auf Initiative des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft (Stifterverband 1999). Maßgeblich unterstützt wird WiD (eine Gemeinnützige GmbH) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Hier war es nun kein epochales Ereignis, das ein Schlaglicht auf eine desolate Situation warf, sondern die Erkenntnis, dass die Erzählung vom gesellschaftlichen Fortschritt durch Wissenschaft und Technik Risse bekommen hatte.

Allein schon Buchtitel auf dem deutschen Büchermarkt aus den 1970er-Jahren wie *Die Bevölkerungsbombe* (1971), *Die Grenzen des Wachstums* (1972), *Ein Planet wird geplündert* (1975), *Der Atomstaat* (1977) und *Rettet den Wald* (1979) geben eine Vorstellung von den Problemen und Herausforderungen, die letztlich mit unserer modernen Lebensweise zusammenhängen und nun öffentlich verhandelt wurden.

Wissenschaftlich-technische Neuerungen wurden zunehmend kritisch hinterfragt und zum Anlass für Grundsatzdiskussionen genommen, die auch die Wissenschaften herausforderten. Angemahnt wurde eine Mitsprache bei Entwicklungen von weitreichenden Folgen für kommende Generationen. Der vehemente Streit um die Nutzung der Atomkraft war nur der Anfang. Debatten über die Gentechnik, genetische Diagnostik, Stammzellforschung und ähnliche „Zumutungen", mit denen sich die Bürger konfrontiert sahen, folgten. Hierzulande machte sich eine wissenschaftsskeptische und technikfeindliche Stimmung breit, was für ein rohstoffarmes Land, dessen Erfolg im Wesentlichen auf Innovationen und Industrieprodukten beruht, fatal ist. Zulauf fanden auch esoterische Strömungen, die all jenen Entlastung versprachen, die sich von der immer komplexer werdenden Welt mit ihren irritierenden Handlungsofferten abwandten.

Die drei genannten Initiativen hatten zum Ziel, dieser Skepsis durch wissenschaftliche Aufklärung entgegenzuwirken und nicht zuletzt Jugendliche für wissenschaftlich-technische Berufe zu gewinnen. Wissenschaftler wurden explizit aufgefordert und ermutigt, den „Elfenbeinturm" zu verlassen und die Bürger „aus erster Hand" darüber zu informieren, worüber sie forschen, welche Perspektiven sich daraus ergeben und wofür wir Forschung brauchen. Vor allem die Veranstaltungen im Rahmen der *Wissenschaftsjahre* versuchen seitdem, durch Öffnung der Forschungsstätten und direkte Begegnungen Begeisterung zu wekken und Wissenschaft auch als soziales Phänomen greifbar zu machen. Es geht also um eine umfängliche Selbstauskunft der Wissenschaft (über Inhalte, Motive,

Perspektiven bis zur Organisation), zugleich verbunden mit der Intention, über Wissenschaft ins Gespräch zu kommen. Mit einem Wort: Es geht um *Wissenschaftskommunikation*, den Austausch zwischen Vertretern der Wissenschaft und der Öffentlichkeit.

Dass die Zeit reif für solche Initiativen war, zeigt sich auch daran, dass die großen Forschungsinstitutionen und die Universitäten ihre *Presse- und Öffentlichkeitsarbeit* professionalisierten. Diese wurde mit einem Mal zu einem Erfolgsfaktor bei anstehenden Evaluationen, wozu dann auch die Exzellenzinitiative (2005/06) beigetragen hat (vgl. Beck und Wandt 2022). So bietet die Max-Planck-Gesellschaft mit dem Magazin *Max-Planck-Forschung* ein auch optisch sehr ansprechendes Quartalsjournal an, das jeder beziehen kann. Bereits 1995 hatte die MPG mit dem BIOMAX eine Reihe hochaktueller „Arbeitspapiere" gestartet, die mit dem GEOMAX und TECHMAX thematisch erweitert wurde und von Anbeginn u.a. über die *Naturwissenschaftliche Rundschau* verbreitet wird. Die vierseitige Beilage richtet sich insbesondere an Lehrer und Schüler von Gymnasien und ist mittlerweile Teil eines Portals für Schulen (www.max-wissen.de). Auch für Fachgesellschaften ist es mittlerweile eine Selbstverständlichkeit, an die Öffentlichkeit zu gehen, wie für die *Deutsche Zoologische Gesellschaft*, die anlässlich der DZG-Jahresversammlung in Jena 2019 eine Stellungnahme zur „Rassenfrage" vorlegte.

Zwei Mitspieler an der Schnittstelle Öffentlichkeit und Wissenschaft seien noch genannt, weil sie das, was Wissenschaft in Reinform ausmacht, die wissenschaftliche Expertise, auf höchst unterschiedliche Weise in die Gesellschaft tragen:

(1) Die *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina*, die mit der Erhebung zur Nationalakademie (2008) auch in der Politikberatung tätig wurde und seitdem mit Stellungnahmen und Empfehlungen zu aktuellen Themen an die Öffentlichkeit geht,

(2) und die *Bürgerwissenschaften* im Rahmen von *Citizen Science*-Projekten, die in Kooperation mit Wissenschaftlern ein „Expertentum von unten" schaffen. Letztlich knüpfen sie an die Tradition naturforschender Vereine und Museen an, die im 19. Jahrhundert ihre Blütezeit hatte und nun eine neue Wertschätzung erfährt (Daum 1998, Böhning-Gaese 2022).

So präsentieren sich die Wissenschaften – d.h. ihre aktiven Mitspieler – dank der genannten Initiativen heute vielfältiger als je zuvor in der Öffentlichkeit. An „Wissens- und Gesprächsangeboten", ja selbst an Möglichkeiten, „sich einzubringen", fehlt es heute also nicht. Es geht auch um die Bereitschaft jedes einzelnen, sich darauf einzulassen („Holschuld").

- *Die Öffnung der Gesellschaft – Wissenschaft im Netz und auf der Straße*

Dass die Wissenschaften in den letzten zwei Jahrzehnten deutlicher sichtbar wurden, liegt aber nicht allein an den genannten Aktivitäten, sondern hängt in ganz entscheidendem Maße von zwei weiteren Entwicklungen ab.

An erster Stelle ist die *Digitalisierung* mit dem alles Leben durchdringenden und verändernden Internet zu nennen (Start des World Wide Web, www, 1991), das ungeahnte Möglichkeiten der Infor-

mationsangebote, der Interaktion und Partizipation mit allen ihren positiven und negativen Effekten geschaffen hat (freie Internetenzyklopädie Wikipedia: 2001,soziales Netzwerk facebook: 2004, Videoportal YouTube: 2005, Kurznachrichtendienst Twitter: 2006). Entscheidend ist, dass hierdurch auch neue, ,,fluide'' Akteure auf der Bühne sind, die sich zu wissenschaftsrelevanten Themen äußern, die schwer zu fassen, aber umso wirkungsmächtiger sind. Sie nutzten die ,,sozialen Medien'', in denen auch die Kommunikatoren der Wissenschaft, Wissenschaftler und Wissenschaftsjournalisten aktiv sind (vgl. Könneker 2020). Mit einem Schlag werden Menschen dadurch in die Lage versetzt, nicht nur Empfänger, sondern auch Sender von Nachrichten zu sein. Durch dieses partizipative – konstruktiv wie destruktiv wirkende – Element hat sich die mediale Welt und damit die Gesellschaft tiefgreifend verändert.

Zum zweiten sind es die nun offensichtlich gewordenen *globalen Probleme,* allen voran der Klimawandel und die Biodiversitätskrise, die die Bedeutung der Wissenschaften bewusst machen, deren Warnungen lange Zeit ignoriert wurden. Aufforderungen wie *Follow the Science,* wie sie seit den Demonstrationen der *Fridays for Future*-Generation in der (westlichen) Welt zu hören sind und von Wissenschaftlern unterstützt werden (*Scientists for Future*), zeigen, dass die Bedeutung der Wissenschaften für das Überleben der Menschheit erkannt ist. Die demonstrative, ja bekennerhafte Hinwendung zur Wissenschaft etwa beim *March for Science* (April 2017) richtet sich nicht nur gegen Ignoranten in Politik und Wirtschaft, die allzu lange untätig geblieben sind, sondern auch gegen jene, die mit Hilfe ,,alternativer Fakten'' eine Art ,,Gegenwissenschaft'' zu konstruieren versuchen. Gerade diese Auseinandersetzung erinnert daran, dass die Wissenschaften eine soziale und letztlich politische Dimension haben.

Wenn nun auch aktive Wissenschaftler in dieser Auseinandersetzung das Wort ergreifen und ihre Expertise im Sinne der Aufklärung weitergeben, was ist dann die spezifische Rolle der *Wissenschaftsjournalisten*? Wie greifen sie die Herausforderungen auf, und wie wird ihre Arbeit durch die neuen medialen Möglichkeiten verändert, bzw. wie nutzen sie sie und gestaltet sie mit?

Wissenschaftsjournalismus im Wissenschaftsbetrieb

Auch wenn Wissenschaftsjournalisten über ,,Wissen kommunizieren'', also wissenschaftliche Inhalte vorstellen und (zielgruppengerecht) verständlich aufbereiten, so ist es geboten, ihre Tätigkeit von jener zu unterscheiden, die wissenschaftlichen Einrichtungen zugeordnete Personen als ,,Wissenschaftskommunikation'' betreiben (hier folge ich Löwisch 2020 und Schwägerl 2020; Könneker 2020 hingegen fasst den Begriff sehr weit auf und möchte alle einbeziehen, die sich öffentlich zu Wissenschaftsthemen äußern).

- *Wissenschaftskommunikation und Wissenschaftsjournalismus*

Die Abgrenzung ist sicher nicht scharf, zumal eine Person freiberuflich, als *freelancer*, wissenschaftsjournalistisch arbeiten und daneben im Bereich der Wissen-

schaftskommunikation tätig sein kann (schließlich geht es auch um die Existenzsicherung).

Die Unterscheidung ist jedoch prinzipiell wichtig, sie liegt in der Aufgabenstellung und im Selbstverständnis. *Kommunikatoren der Wissenschaft* vertreten ihre Position bzw. die „ihres Hauses" unter strikter Einhaltung der guten wissenschaftlichen Praxis. Sie stellen die Sachverhalte dar, ordnen ein, adressieren dabei Themen von gesellschaftlicher Bedeutung, wie Corona-Pandemie, Klimawandel oder Demenzforschung, und zeigen auf, in welcher Weise die eigenen Arbeiten, bzw. die Arbeiten einer Institution, relevant und wichtig sind. Sie bedienen sich dabei zunehmend journalistischer Praktiken, wie Storytelling, Personalisieren, die Kunst der Dramaturgie mit Inszenierung in Bild und Text. Ja, diese Mittel werden strategisch eingesetzt, um die gewünschte Aufmerksamkeit zu erregen, was legitim ist. Im Prinzip kann man von einer Wissenschafts-PR sprechen.

Wissenschaftsjournalisten sehen wie alle Journalisten ihre Aufgabe darin, über das aktuelle Geschehen zu informieren, es zu bewerten, in einen Zusammenhang zu stellen und als hellwache Zeitbegleiter auch an der Meinungsbildung mitzuwirken. Sie sind es, die Themen in die Schlagzeilen bringen (Stichworte Waldsterben, Ozonloch, Klimawandel, Mikroplastik) und damit öffentliche Debatten anstoßen („Agenda Setting").

Den Wissenschaftlern vergleichbar leisten Wissenschaftsjournalisten Recherchearbeit, gehen in die Tiefe, haken nach, wo sie Ungeklärtes wittern, weisen auf Widersprüche und Zusammenhänge hin und decken – wenn nötig durch investigatives Vorgehen – Missstände auf und machen sie bekannt (z.B. interessengeleitete Einflussnahme auf die Berufungspraxis an Universitäten, vgl. Eimer 2021a). Hiermit erfüllen sie eine wichtige Wächterfunktion – für die Öffentlichkeit wie für die Wissenschaft. Wissenschaftsjournalisten agieren natürlich auch in „ruhigeren Gewässern". Sie greifen auch Meldungen auf, die genauso gut Kollegen eines anderen Ressorts publikumsgerecht aufbereiten könnten. Und natürlich haben sie einen Blick für alles, was einen Neuigkeits- und Unterhaltungswert hat und die Zielgruppe erfreuen, interessieren und emotional ansprechen könnte. Stärker als in der Wissenschaftskommunikation spielt beim Wissenschaftsjournalismus die Resonanz in der Öffentlichkeit (Quote) eine Rolle, so dass die Medientauglichkeit bei der Themenauswahl wichtig ist, was leicht dazu verleitet, bei der Suche nach einer Schlagzeile eine Meldung überzubewerten oder ein Thema aufzubauschen.

Insgesamt aber ist der kritische Ansatz, mit dem Forschung und Gesellschaft und damit auch das „Unternehmen Wissenschaft" mitsamt seinen Institutionen in den Blick genommen wird, das Kennzeichen des Wissenschaftsjournalismus und grenzt ihn von der Wissenschaftskommunikation ab. Sie stehen beide in einem kritisch-konstruktiven Wechselverhältnis: Pressestellen von Instituten laden Journalisten ein und vermitteln den Kontakt zu Spezialisten, umgekehrt werden herausragende Forschungsleistungen an Universitäten in der Presse vorgestellt.

Nun sind, wie eingangs angedeutet, die Motive, über Wissenschaften zu be-

richten, sehr unterschiedlich. Wer zum Beispiel bestimmte Sachverhalte aus Erkenntnisinteresse und dann für ein fachlich vorgebildetes Publikum „lediglich" zusammenfasst und eine bewertende Übersicht gibt, wird sich wohl nicht unbedingt einer der beiden Gruppen zugehörig fühlen, sondern sich schlicht als *Wissenschaftsautor* bezeichnen. Dies dürfte auch für viele aktive Wissenschaftler gelten, die allgemeinverständliche Artikel und Bücher schreiben oder sich aus freien Stücken zu „ihren" Themen in den sozialen Medien äußern. Sie wegen ihrer institutionellen Anbindung als „Wissenschaftskommunikatoren" zu bezeichnen, mag befremden, da dieser Begriff doch einen unpersönlichen, funktionalen Charakter hat. Das soll keine Spitzfindigkeit sein, sondern nur die Besonderheit des Wissenschaftsjournalismus und der Wissenschaftskommunikation betonen. Letztlich ist es eine Frage des Anspruchs und des Selbstverständnisses, wo man sich verorten möchte.

Aufgaben und Herausforderungen des Wissenschaftsjournalismus

Der Philosoph und diplomierte Chemiker Joachim Schummer hat vorgeschlagen, Wissenschaft als „*einen großen wechselseitigen Bildungsprozess*" aufzufassen, „*an dem jeder aktiv oder passiv teilnehmen kann, da Publikationen prinzipiell allgemein zugänglich sind*" (Schummer 2014). Damit gibt er im Grunde genommen auch eine treffende Aufgabenbeschreibung des Wissenschaftsjournalismus und kennzeichnet dessen wichtige gesellschaftliche Funktion: Denn die Publikationen sind ja nur im Prinzip zugänglich und müssen erst erschlossen werden, damit der Bildungsprozess auch die gesamte Gesellschaft erfassen kann. In diesen großen Rahmen der „Bildungsarbeit" möchte ich meine folgenden Ausführungen stellen. Ich greife die mir wichtig erscheinenden Aufgaben heraus, kommentiere, wo ich die besonderen Herausforderungen sehe und gebe Hinweise, wie sie angegangen werden können.

1. Berichten aus der Welt der Wissenschaft

Neugier ist eine mächtige Triebfeder und macht uns alle auch für Neuigkeiten auf dem Gebiet der Wissenschaften empfänglich, insbesondere wenn sie Bezug zum eigenen Leben haben oder uns ungewohnte Blicke auf die Vielfalt dieser Welt gewähren („Staunwissenschaft", Eimer und Stollorz 2021). Da die Hervorbringungen von Wissenschaft und Technik immer neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen, ist es zudem wichtig zu wissen, was sich auf dem Gebiet der Wissenschaften tut. Von besonderem Interesse ist auch der Blick auf Forschungen im eigenen Land, denn wer im Bilde ist, wofür die vielen Gelder, die vom Staat zur Verfügung gestellt werden, aufgewendet werden, ist auch bereit, die Forschung wertzuschätzen.

Herausforderung

Wenn nicht gerade Themen von Relevanz und öffentlichem Interesse ein Informationsbedürfnis wecken (Corona-Pandemie, Nobelpreisvergabe u.ä.), steht man vor der Aufgabe, aus der Vielzahl von Wissensmeldungen die wichtigsten zu finden. Angesichts von mehr als zwei Millionen Fachartikeln, die jedes Jahr er-

scheinen (Beck und Wandt 2020), ist das nicht möglich, doch auch die gängigen Journale bieten eine überreiche Auswahl. Zusätzlich erschwert wird die Arbeit u.a. durch unseriöse Veröffentlichungen in sogenannten Predatory Journals, die nach rein kommerziellen Gesichtspunkten betrieben werden und sich z.B. durch fingierte Editorial Boards den Anschein der Seriosität geben.

Wege

Wissenschaft beruht auf Vertrauen, und so wird man auch den Akteuren der Wissenschaft Vertrauen entgegenbringen, wenn sie ihr Arbeiten in renommierten Zeitschriften publizieren. In der Praxis orientiert man sich daher an den führenden Wissenschaftsjournalen wie *Nature* und *Science*, die über die gesamten Naturwissenschaften berichten und einen journalistischen Magazinteil zu wissenschaftspolitischen Themen enthalten sowie Kommentare zu Fachartikeln (z.B. *News & Views* in *Nature*). Von großem Nutzen sind ferner die Pressetexte, die vonseiten der Forschungsinstitute und Universitäten kommen. Sie sind auf jeden Fall vertrauenswürdig, auch wenn die Bedeutung der Arbeiten darin tendenziell überbewertet wird. Entscheidend für eine „runde Berichterstattung" ist aber die Zusammenarbeit mit Redakteuren bzw. „festen freien" Mitarbeitern mit Expertise auf bestimmten Themengebieten.

Mittlerweile nehmen einige Redaktionen bei brisanten Themen auch die noch nicht vollständig begutachteten Preprints in den Blick, um bei Erscheinen sofort darüber berichten zu können. Mit dem nach englischem Vorbild gegründeten *Science Media Center Germany* (SMC) gibt es seit 2015 einen Dienst, der mit IT-Einsatz und in Kooperation mit Wissenschaftlern Publikationen und Preprints sichtet, um einen Überblick über die Forschungsaktivitäten zu gewinnen und kommende Fragestellungen von hoher Relevanz (*Public Issues*) aufzuspüren. Das Team des SMC liefert selbst keine Berichte, sondern verschafft Zugänge zu Themen und Experten (Stollorz 2020, Eimer 2021b). Im Fall der Corona-Krise konnten Wissenschaftsredaktionen auf diese Weise schnell beliefert werden.

2. Vermitteln von Sachwissen

Die Stärke der Naturwissenschaften liegt darin, dass sie belastbares, solides Wissen hervorbringt. Die verständliche Vermittlung solchen Sachwissens ist eine Kernaufgabe des Wissenschaftsjournalismus. Hierzu gehört die Aufklärung über Strukturen, Mechanismen und Prinzipien, also über alles, was zu einem grundlegenden Verständnis beiträgt, Erklärungen liefert und hilft, Sachverhalte zu verstehen und einzuordnen.

Herausforderungen

Mit Blick auf die Zielgruppe und die Vorkenntnisse gilt es, die Komplexität herunter zu brechen, so dass die elementaren Prinzipien verstanden werden können. Dabei ist auch eine Sprache zu finden, die alltagstauglich ist und befähigt, sich über Wissenschaftsthemen zu unterhalten.

Wege

Um ihrer Aufgabe gewachsen zu sein, müssen sich Journalisten ständig auf dem

Laufenden halten (Kongressbesuche, Kurse, die speziell für sie in Instituten angeboten werden u.ä.). Bei der didaktischen Umsetzung bedient man sich klassischerweise einer Kombination von Bild und erklärendem Text oder lagert Details in Textkästen und Glossare aus, um den Lesefluss nicht zu stören. Bei elektronischen Publikationen kann man Versionen für Einsteiger und Fortgeschrittene anbieten (vgl. zweigleisige Pressemitteilungen der Nobelstiftung) oder Erläuterungen im Lauftext unterlegen, die bei Bedarf aufgerufen werden können. Eine interessante Entwicklung sind Infografiken, die selbst in Wissenschaftsjournalen als Kurzfassung dienen. Als sehr geeignet für die Wissensvermittlung erweisen sich die Neuen Medien, die es ermöglichen, sich auf die Bedürfnisse der Teilnehmer einzustellen.

3. Relevanz und Perspektiven zeigen

Wissenschaftsjournalisten können, da sie das gesellschaftliche Umfeld im Blick haben, darüber berichten, welchen Stellenwert die Wissenschaften im Alltag der Menschen haben und welche Möglichkeiten sie für die Zukunft bieten könnten.

Herausforderungen

Moderne Gesellschaften sind dynamische Gesellschaften, in denen die Glaubensgewissheiten geschwunden sind, der Bedarf nach einer umfassenden Orientierung aber um so größer geworden ist.

Wege

Wissenschaftsjournalisten können zu einer „*wissenschaftlichen Weltorientierung*" (Schummer 2014) beitragen, indem sie ihre Themen, wo immer sie eine echte Ergänzung darstellen, mit anderen Themen der Zeit in Verbindung bringen und z.B. im Feuilleton oder im Wirtschaftsteil einer Zeitung präsentieren. Eine Einordnung wissenschaftlicher Entwicklungen ermöglicht auch die Einbeziehung der Technik-, Wissenschafts- und Sozialgeschichte.

4. Kritische Begleiter von Wissenschaft und Gesellschaft

Wissenschaftsjournalisten verfolgen nicht nur den Gang der Wissenschaften, sie werfen auch einen kritischen Blick auf die wissenschaftlichen Praktiken der Institutionen und wissenschaftsrelevante Entwicklungen in der Gesellschaft.

Herausforderungen

Eine aktuelle Herausforderung sind die in den Neuen Medien verbreiteten Falschmeldungen (Fake News) und Verschwörungsmythen, die Zweifel an der „etablierten Wissenschaft" wecken sollen. Sie sind geradezu ein Angriff auf die Wissenschaft und den Journalismus, denn diese sind die „zwei *wahrheitsuchende*[n] *Institutionen*" der modernen Demokratie, die den „*menschlichen Makeln entgegenwirken sollen*" (so Volker Stollorz 2020).

Eine ganz andere Herausforderung stellen die Arbeitsbedingungen dar: Wegen des drastischen Rückgangs der Auflagen von Tageszeitungen und Zeitschriften (infolge der Konkurrenz im Internet und dem Einbruch der Abonnentenzahlen und Anzeigenerlöse) wurden viele Redakteurstellen gestrichen, so dass die Zeit für gründliche Recherchen begrenzt ist. In gewissem Sinne wird die Lücke, die durch Stellenstreichungen ent-

steht, durch zunehmend journalistischere Angebote der Wissenschaftskommunikation gefüllt (Beck und Wandt 2020, Sonnenberg und Yogeshwar 2021), was allerdings wegen der institutionellen Anbindung problematisch ist.

Wege

Durch Teilnahme an öffentlichen Veranstaltungen und Übernahme einer Mediatorfunktion können Wissenschaftsjournalisten dazu beitragen, Diskussionen zu versachlichen und der Wissenschaft Gehör zu verschaffen. Speziell gegen Fake News sind Rechercheteams unterwegs (z.B. www.correctiv.org). Derartige Teams gehen eigene Wege der Finanzierung (Crowdfunding, Sponsorengelder, Kooperation mit Stiftungen), was eine unabhängige Recherchearbeit ermöglicht (vgl. Riffprojekt, Schwägerl 2020; Eimer 2021a.). Nicht zuletzt muss sich die Gesellschaft fragen, was ihr ein fundierter Wissenschaftsjournalismus wert ist (Abonnementverhalten, Bibliotheken, Zusatzqualifikation im Studium; Politik: vgl. Koalitionsvertrag 2021-2025, in der eine Stiftungslösung angestrebt wird).

Unterhalten und Erzählen

Wissenschaft wird von Menschen gemacht, und so gibt es ein großes Interesse, auch etwas über die Akteure der Wissenschaft und ihr Leben zu erfahren. Nicht immer bietet sich ein Anlass, und nicht alle Darstellungsformate sind geeignet, biographische Fäden aufzugreifen, doch wo es möglich ist, soll man es tun. Denn es ist die Verwobenheit von Biographie und Zeithistorie mit ihren vielfältigen kulturellen Stimmungen und Strömungen, die Interesse weckt und eine Vorstellung davon vermitteln kann, wie wissenschaftliche Entdeckungen gemacht werden (vgl. Fischer 2001). Dies alles mit analytischer Schärfe zu vermitteln und zugleich atmosphärisch einzufangen, bedeutet Herausforderung für Autoren und bringt Lesern doppelten Gewinn.

Schlussbetrachtung

Die obigen Ausführungen kann man schlicht unter einen einzigen Leitsatz stellen: Dem Wissenschaftsjournalismus geht es darum, durch eine sachorientierte Auseinandersetzung mit der Welt des Wissens und der Wissenschaften Grundlagen für eine Teilhabe an einem *gesamtgesellschaftlichen Bildungsprozess* zu schaffen.

Dies geschieht durch *Vermittlung von Fachwissen* (um Grundlagen für ein Verständnis zu haben), durch Verwendung einer geeigneten Sprache und Terminologie (um sich darüber austauschen zu können), durch sachorientierte, den bewährten *Prinzipien der Wissenschaft* verpflichtete Argumentation (um die Urteilskraft zu stärken), durch *Offenheit gegenüber den humanen Dimensionen*, die sich dem naturwissenschaftlichen Zugriff entziehen (um die Position und Besonderheit der Wissenschaften innerhalb unserer Kultur zu erkennen) und nicht zuletzt durch Einbeziehung der *Menschheits- und speziell der Wissenschaftsgeschichte* (um sich selbst als Teil eines Prozesses begreifen zu können).

Das mag etwas abgehoben klingen, scheint mir aber ein brauchbarer Rahmen zu sein, der sich konkret ausgestalten lässt und natürlich nicht immer gefüllt werden kann.

Auf welchen Pfaden der beschriebene Bildungsprozess beschritten wird, ist eigentlich sekundär. Die Digitalisierung mit seinem wirkungsmächtigen Kind Internet bietet nun völlig neue Wege, nicht nur etwas mitzuteilen, sondern zu interagieren, was den Wissenschaftsjournalismus und generell die ganze Gesellschaft tiefgreifend verändert und damit auch den „Dialog", den sich die Vermittler der Wissenschaft auf die Fahnen geschrieben haben. Es wird eine stete Herausforderung sein, diesen Dialog offen, aber in geregelten Bahnen zu führen, so dass er sich nicht in einem Wildwuchs verliert und zu Parallelwelten und einer Fragmentierung der Öffentlichkeit führt. Denn mit dem Internet wurde ein Tor aufgestoßen, durch das nun viele schreiten: Wissenschaftsjournalisten wie Wissenschaftler, Kommunikatoren aus den Forschungsinstituten genau so gut wie Verschwörungstheoretiker, Verächter der Wissenschaft und Esoteriker.

Bei einer solchen Vielfalt des Möglichen und Unmöglichen mag man bezweifeln, ob sich im Internet überhaupt ein seriöser Wissenschaftsjournalismus behaupten kann. Meines Erachtens geht dies nur mit Beharrlichkeit: Kurs halten, mit den Stärken der Sachorientierung und dem nötigen Tiefgang. (Dasselbe gilt auch für Zeitschriften, die mit sinkenden Abonnentenzahlen kämpfen.) Die unendliche Rede und Gegenrede überlasse man den anderen. Nur durch Qualität kann man gewinnen, denn die Zeit der Nutzer ist zu kostbar (und auch der Strom), als dass sie diese sinnlos vergeuden möchten.

Zu ähnlichen Schussfolgerungen gelangt die Chemikerin und Wissenschaftsjournalistin Mai Thi Nguyen-Kim. Die begeisterte YouTuberin legte bei ihren Videos von Anfang an bewusst den Schwerpunkt auf Inhalte und ging dann – bestärkt durch viele positive Rückmeldungen – dazu über, noch mehr ins Detail zu gehen. Der Erfolg, den sie mit ihrem YouTube-Kanal *maiLab* hat, zeigt, dass die Neuen Medien keineswegs zur Oberflächlichkeit führen müssen, sondern im Gegenteil das Bedürfnis nach vertiefender Information wecken (Nguyen-Kim 2020). Es liegt allerdings in der Natur jeder personenzentrierten Darbietung, dass die „Performance" leicht die Oberhand gewinnt, was auf den ersten Blick über schwierige Klippen hinweghilft, aber zulasten der inhaltlichen Tiefe geht. Auch hier gilt: Es ist eine stete Herausforderung.

Wir dürfen sicherlich mit weiteren technischen Entwicklungen rechnen, die auch die Möglichkeiten der Wissenschaftsvermittlung und des Austauschs über die Wissenschaften erweitern werden. Angesichts dieser Lage stellt sich die Frage nach der Zukunft von *Printmedien*, insbesondere Zeitungen und Zeitschriften. Ich möchte bezweifeln, dass sie vollkommen verdrängt werden. Denn Druckerzeugnisse haben den großen Vorteil, dass sie stets zur Hand sind und eine überschaubare Struktur vorgeben, die man sich aktiv erschließen muss. Vor allem besitzen selbst Erzeugnisse, die für den Tag geschrieben sind, eine nicht zu unterschätzende Qualität: Der gedruckte Text steht bis heute für Verbindlichkeit – und diese hat auch in der Wissenschaft einen hohen Stellenwert. Druckwerke enthalten auch die Irrtümer ihrer Zeit, die

nicht mit einem raschen *update* getilgt werden können. (Natürlich landet das meiste im Altpapier, doch Bücher und Zeitschriften werden in den Staatsbibliotheken gehortet und später wohl wie Urmeter gehütet.) Und so lehrreich Videoclips, Vortragsmitschnitte oder virtuelle Rundgänge auch sein mögen, es sind erst die Texte, die alles in verdichteter Form auf den Punkt bringen. Womit wir beim Schreiben sind, das mehr ist als ein Handwerk jedes Journalisten, denn „*Schreiben ist Denkarbeit*" (Sonnenberg und Yogeshwar 2019, Yogeshwar 2022) oder – womit die Neue Zürcher Zeitung wirbt –: „*Die Arbeit an der Sprache ist Arbeit am Gedanken*". Das Schreiben zwingt dazu, die Gedanken auch sprachlich in eine angemessene, gültige Form zu bringen. Ob das gelungen ist, zeigt sich, wenn die geneigte Leserin, der geneigte Leser, in der Lage ist, die Kernaussagen eines Textes in eigenen Worten zusammenzufassen und womöglich die Gedanken fortzuspinnen. Dann darf man – ob Journalist, Autor oder Wissenschaftskommunikator – befriedigt sein und sagen: Geschafft!

Literatur

Beck C., Wandt 2020. Zwischen Theorie und Praxis. In: Schnurr, Mäder 2020

Bodmer W. F. (Chairman) 1985. The Public Understanding of Science. Report of a Royal Society ad hoc Group endorsed by the Council of the Royal Society.

Böhning-Gaese, K. 2022. Gemeinsam Forschen bei Senckenberg. Die Idee von Citizen Science ist nicht neu, aber sie erlebt gerade eine Renaissance. Senckenberg – Natur – Forschung –Museum 152, 4-6.

Daum, A. W. 1998. Wissenschaftspopularisierung im 19. Jahrhundert. Bürgerliche Kultur, naturwissenschaftliche Bildung und die deutsche Öffentlichkeit 1848-1914. Oldenburg. München. Zitat: S. 378.

Daum, A. W. 2019. Alexander von Humboldt. C.H. Beck Wissen. München.

Eimer, A., 2021a. Viel Erklärung, wenig Kritik. DUZ 77 (3), 23.

Eimer, A, 2021b. Rohstoff für Redaktionen. DUZ 77 (3), 32.

Eimer, A., Stollorz, V. 2021. Interview mit Volker Stollorz. DUZ 77 (3), 35.

Fischer, E. P. 2001. Die andere Bildung. Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte. Ullstein. München.

Fischer, E. P. 2008. Warum Wissenschaft nicht populär sein kann. Anmerkungen zu den Bemühungen um die Vermittlung von Wissenschaft. Gegenworte 19, 61.

Kockerbeck, C. 2009. Ein Denker zwischen Darwin und Haeckel. Dem Publizisten, Redakteur, Romancier und Naturphilosophen Wilhelm Bölsche zum 70. Todestag. Naturw. Rdsch. 62, 459.

Könneker, C. 2020. Wissenschaftskommunikation und Social Media: Neue Akteure, Polarisierung und Vertrauen. In: Schnurr, Mäder 2020.

Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP): Wissenschaftskommunikation und Partizipation.

Kreuzer, H. (Hrsg.). 1987. Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C.P. Snows These in der Diskussion. dtv/Klett-Cotta. München.

Löwisch, H. 2020. Allianz gegen „Fake News". In: Schnurr, Mäder 2020.

Nguyen-Kim M. T. 2020. Rein in die Zwiebel. Warum die Neuen Medien mehr Tiefe verlangen. In: Schnurr, Mäder 2020.

Mast, C. (Hrsg.) 2018. ABC des Journalismus. Ein Handbuch. Herbert von Halem Verlag. Köln.

Rehfeld, K. 2009. Wissenschaft kann nicht populär sein. Max Plancks These auf dem Prüfstand. In: Nüsslein-Volhard, C. et al. (Hrsg.). Wachstum – Eskalation, Steuerung und Grenzen. 125. Versammlung Tübingen 2008. Thieme. Stuttgart.

Schäfer, W. 1972. Lerne im Museum. Waldemar Kramer. Frankfurt a.M.
Schnurr, J., Mäder, A. (Hrsg.) 2020. Wissenschaft und Gesellschaft. Ein vertrauensvoller Dialog. Positionen und Perspektiven der Wissenschaftskommunikation heute. Springer. Heidelberg.
Schummer, J. 2014. Wozu Wissenschaft? Neun Antworten auf eine alte Frage. Kulturverlag Kadmos. Berlin. Zitate S. 154, 161.
Schwägerl, C. 2020. Gründergeist für einen Journalismus, der Wissenschaft und Gesellschaft verbindet. In: Schnurr, Mäder 2020.
Sonnenberg, G., Yogeshwar 2021. Interview mit Ranga Yogeshwar. DUZ 77 (3), 28.
Stifterverband 1999. [https://www.stifterverband.org/ueber-uns/geschichte-des-stifterverbandes/push-memorandum]
Stollorz, V. 2020. Wir lieben Aufklärung. Wie das Media Center Germany Journalisten wissenschaftliche Expertise für öffentliche Debatten bereitstellt. In: Schnurr, Mäder 2020.
Wulf, A. 2016. Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur. Bertelsmann. München.
Yogeshwar R. 2022. Medium Magazin 36, Nr. 2, 18.

Dr. Klaus Rehfeld
Darmstädter Straße 70
70376 Stuttgart
kl-rehfeld@t-online.de

Die deutschen Wurzeln der russischen Zoologie III. Georg Wilhelm Steller[1]

Alexey V. Smirnov

„Steller ist eine der edelsten Persönlichkeiten, die das deutsche Land dem aufkommenden russischen Nationalbewusstsein geschenkt hat.“ (Wernadski, 1988, p. 188)

Georg Wilhelm Steller (eigentlich Stöller) (1709-1746) gehört zu jenen Menschen, die uns noch Jahrhunderte nach ihrem Tod faszinieren. Nicht nur, dass sein Name untrennbar mit der ausgerotteten Steller'schen Seekuh verbunden ist und er der einzige Wissenschaftler war, der sie beschrieben und untersucht hat, und auch nicht die Tatsache, dass er der erste Wissenschaftler war, der den Nordwesten Amerikas und die Aleuten für die russische und europäische Welt entdeckte, ihre Natur und das Leben der dortigen Bevölkerung beschrieb und auch als erster eine ganze Reihe noch heute gültiger Thesen in Biologie und Ethnographie aufstellte - der Charme seiner Persönlichkeit ist einfach so groß, dass man auch nach fast drei Jahrhunderten versucht, sein Porträt zu rekonstruieren. Gestützt auf seine Tagebücher, Briefe und Zeugnisse von Zeitgenossen werden Porträts gezeichnet und sogar Skulpturen aufgestellt (Abb. 1), obwohl sich keine Spuren erhalten haben, anhand derer solche Porträts zuverlässig erstellt werden könnten.

Abb. 1. Steller's Denkmal auf der Beringsinsel. Bildhauer Ilya Pavlovich Vyuev.

Bevor ich zu einer kurzen Biographie von Steller und einer Bewertung seines Beitrags zur Zoologie übergehe, seien einige Worte zur Vorgeschichte gesagt. Am 22. Januar 1724 (alle Daten nach dem julianischen Kalender) diskutierte der Regierende Senat auf Weisung Peters I. die Frage einer Akademie der Wissenschaften und bereits am 28. Januar wurde die Gründung

[1] Gekürzte Fassung: Dies ist der letzte Teil der Serie; Teil 1 - Daniel Gottlieb Messerschmidt - erschien in ZOOLOGIE 2018, Teil II - Peter Simon Pallas - in ZOOLOGIE 2019. Aus dem Russischen übertragen von R. Alexander Steinbrecht

der Akademie der Wissenschaften und Künste in St. Petersburg beschlossen. Die feierliche Eröffnung der Akademie fand aber erst nach Peters Tod unter Zarin Katharina I. am 27. Dezember 1725 statt. Peter I. war sich der dringenden Notwendigkeit einer umfassenden Erforschung Russlands bewusst, und in der zweiten Hälfte seiner Regierungszeit wurden auf seine Anweisung hin eine Reihe von Expeditionen in wenig erforschte Teile des Russischen Reiches organisiert, darunter die Expedition nach Sibirien von Daniel Gottlieb Messerschmidt (Smirnov und Ostrovsky, 2018). Um die Frage nach der Existenz einer Meerestraße zwischen Asien und Amerika endgültig zu lösen und die fernöstlichen Außenbezirke des Russischen Reiches sowie die daran angrenzenden Gewässer und Gebiete zu erkunden, beschloss Peter, eine besondere Expedition zu organisieren. Das Dekret zur I. Kamtschatka-Expedition wurde am 23. Dezember 1724 erlassen, und am 6. Januar 1725, drei Wochen vor seinem Tod, schrieb Peter selbst Anweisungen für diese Expedition. Zum Leiter der Expedition ernannte das Admiralitätskolleg den Jütländer Kapitän Vitus Bering (1681-1741), der seit 1704 in russischen Diensten stand. Bald machte sich die Expedition auf den Weg, aber erst im Frühjahr 1728 kam die Expedition in Nischnekamtschatsk an, wo das Schiff *St. Gabriel* ausgerüstet wurde. Mitte August passierte die *St. Gabriel* die Meerenge zwischen Asien und Amerika, aber im Nebel war die amerikanische Küste nicht zu sehen. Auf dem Rückweg entdeckte die Expedition die Diomedes-Inseln in der Beringstraße und lief am 2. September wieder in den Hafen von Nischnekamtschatsk ein. Am 1. März 1730 kehrte Vitus Bering mit seinen Adjutanten, den Leutnants Alexey Tschirikow (1703-1748) und Martin Spangberg (1696-1761) nach St. Petersburg zurück.

Unmittelbar nach seiner Rückkehr von dieser Expedition reichte Bering ein Projekt für eine neue Expedition zur Erkundung der Küste Amerikas ein. Auch dies wurde von der Admiralität geprüft und es wurde beschlossen, den nördlichen Seeweg zu erkunden, die Existenz einer Meeresstraße zwischen Asien und Amerika endgültig zu beweisen, Amerika zu erreichen und seine Küsten zu erkunden und auch Japan zu erreichen. Der Erlaß zur Organisation der II. Kamtschatka-Expedition (in der historischen Literatur auch als Große Nordexpedition bezeichnet) erfolgte am 17. April 1732. Die Akademie der Wissenschaften beteiligte sich aktiv an der Vorbereitung der Expedition, welche aus 8 Abteilungen bestand. 5 Abteilungen waren mit der Untersuchung und Beschreibung der Küste des nördlichen Seewegs beschäftigt, die Abteilung von Bering und seinem Assistenten Tschirikow sollte die amerikanische Küste und die Abteilung von Spangberg Japan erkunden. Insgesamt umfasste das Personal der Expedition 977 Mann. Für die naturwissenschaftliche und historisch-ethnographische Erforschung Sibiriens und Kamtschatkas wurde eine besondere akademische Abteilung geschaffen, zu deren Aufgabe umfassende astronomische, geographische, geologische, biologische, ethnographische und linguistische Studien sowie Geschichts- und Archivforschung gemäß den von der Akademie der Wissenschaften vorgegebenen Programmen gehörten. Die Ergebnisse der Expedition waren großartig. Unter schwierigsten Bedingungen wurde erst-

mals eine Bestandsaufnahme bedeutender Küstenabschnitte des Arktischen Ozeans durchgeführt, die Nordwestküste Nordamerikas, die Aleuten- und Kommandeurinseln wurden entdeckt, die Südkurilen kartiert, die Abwesenheit einer Landverbindung zwischen Kamtschatka und Nordamerika nachgewiesen und einzelne Küstenabschnitte Japans untersucht.

Der akademischen Expeditionsabteilung gehörten drei Professoren der Akademie der Wissenschaften an. Professor für Geschichte Gerhard Friedrich Müller (1705-1783) studierte die sibirischen Archive, kopierte historische Dokumente und befaßte sich mit Geschichte und Ethnographie der indigenen Völker Sibiriens. Er ist Autor der ersten Geschichte Sibiriens und zahlreicher Veröffentlichungen zu Geschichte und Ethnographie, auch solcher über russische Reisen auf dem Arktischen und Pazifischen Ozean.

Professor für Chemie und Naturgeschichte Johann Georg Gmelin (1709-1755) beschäftigte sich mit Geographie und Naturgeschichte, war aber hauptsächlich Botaniker. Berühmt wurde er durch seine "Flora Sibiriens" in 4 Bänden und die "Aufzeichnungen einer Reise durch Sibirien von 1733 bis 1743" (Gmelin, 1751-1752). Auch in der Zoologie hinterließ er Spuren. Er sezierte Säuger, Vögel, Fische, präparierte Bälge, beschrieb Lebensweise und Lebensräume von Tieren; für die Kunstkammer in St. Petersburg sammelte er in großem Stil.

Die kartografische und astronomische Forschung wurde von dem außerordentlichen Professor für Astronomie, Louis De l'Isle de la Croyère (1690-1741), Bruder des berühmten Astronomen Joseph-Nicolas Delisle (1688-1768), geleitet. Er nahm auch an der Reise zu den Küsten Amerikas auf der *St. Paul* unter dem Kommando von Kapitän Tschirikow teil. An dem Tag, an dem das Schiff zur Avacha Bucht zurückkehrte, starb er an Skorbut.

Zur akademischen Abteilung gehörten ferner die Künstler Johann-Christian Berkhan (1709-1751) und Johann Wilhelm Lürsenius (1704-1771). 1735 bewilligte die Akademie die Entsendung von zwei weiteren Wissenschaftlern nach Sibirien und im Dezember 1737 machten sich der naturwissenschaftliche Adjunkt Georg Wilhelm Steller und der Künstler Johann Cornelius Decker auf die Reise dorthin.

Die Arbeit des wissenschaftlichen Teams fand unter relativ günstigen Bedingungen statt. Durch Erlass des Senats waren die örtlichen Behörden verpflichtet, den Professoren auf Anfrage Informationen und Archive zur Verfügung zu stellen, Übersetzer, Vertreter der lokalen Bevölkerung und sachkundige Personen zu stellen, für Quartier zu sorgen, Flussboote bereitzuhalten, ihnen die benötigten Handwerker und Arbeiter für unbegrenzte Zeit zu überlassen und Geleit durch eine Eskorte von bis zu 12 Personen unter Führung eines Korporals zu geben. Jeder Professor sollte 10 Fahrzeuge bekommen. Auch eine große Bibliothek wurde aus St. Petersburg mitgenommen.

Das eigentliche Ziel der Arbeit der akademischen Abteilung war die Erforschung von Kamtschatka, aber es gab keine Möglichkeit, 1737 auf die Halbinsel zu gelangen, da es in Ochotsk weder ein Schiff noch Vorräte gab, um Professoren nach Kamtschatka zu bringen. Infolgedessen wurde der Student Stepan Krascheninnikow (1711-1755) mit detaillierten Anweisungen nach Kamtschatka geschickt. 1740

übernahm der aus St. Petersburg angekommene Georg Wilhelm Steller das Studium der Halbinsel. Die Professoren kehrten Anfang 1743 nach St. Petersburg zurück.

Georg Wilhelm Steller wurde am 10. März 1709 als Sohn von Johann Jakob Stöhler (nach 1715 Stöller) (1664-1743), Kantor und Organist an der Kirche St. Kilian mit Lateinschule, und Loysa Susanna, geb. Baumann, in der freien Reichsstadt Windsheim (Unterfranken) geboren. Er war das vierte Kind in der Familie, im ganzen waren es zehn Kinder. Ab dem fünften Lebensjahr besuchte er die Schule, in der sein Vater lehrte, und soll stets einer der besten Schüler gewesen sein. Nach dem Abitur 1729 schrieb er sich an der Universität Wittenberg ein, wo er Theologie, Politik, Jura und Fremdsprachen studierte. Aber bald war Steller nicht mehr mit dem Studium an der Wittenberger Universität zufrieden und nach Besuch der Universitäten Leipzig und Jena fiel seine Wahl auf die Universität Halle, wo vorher sein älterer Bruder studiert hatte. Im April 1731 wurde er dort immatrikuliert und unterrichtete gegen Bezahlung Deutsch an der von August Hermann Francke (1663-1727) gegründeten Waisenhausschule und später auch an der Lateinschule. In Halle begeistert sich Steller für Naturgeschichte, damals der medizinischen Fakultät zugeordnet. Er hörte Vorlesungen in Anatomie und Zoologie bei dem bekannten Anatomen Johann Friedrich Cassebohm (1698-1743) und unter seiner Anleitung erlernte er die Praxis der Anatomie. Bei dem in ganz Europa bekannten Mediziner Friedrich Hoffmann (1660-1742) hörte er Vorlesungen in Botanik, damals ebenfalls als Teil der Pharmakologie in der medizinischen Fakultät angesiedelt. In der Umgebung von Halle studierte Steller die heimische Flora und unternahm botanische Exkursionen in das Gebiet von Stolberg und zum Harz. Da die Studenten der Universität Halle Privatunterricht erteilen durften, eröffnete Steller im Mai 1732 eine eigene botanische Klasse. Drei Jahre blieb Steller an der Universität Halle. Auf Anraten Friedrich Hoffmanns reiste er im August 1734 nach Berlin, um am Obercollegium medicum die Prüfung abzulegen, die ihn nach Hoffmanns Meinung für eine Professur an der botanischen Abteilung in Halle qualifizieren würde. Steller bestand die Eignungsprüfung erfolgreich und legte auch ein Privatexamen bei dem berühmten Botaniker Michael Matthias Ludolff (1696-1756) ab. Aus Gründen, die er nicht zu vertreten hatte, bekam er jedoch keine Professur.

Viele deutsche Gelehrte folgten nach der Gründung der Akademie der Wissenschaften und Künste in St. Petersburg dem Ruf, in Russland zu arbeiten. Auch Steller wollte sein Glück in Russland suchen und dort Arbeit für sich finden. Es heißt, daß Steller kein Geld für die Reise hatte und sich deshalb nach Danzig zur russischen Armee begab, wo er seine Dienste als Chirurg anbot. Im November 1734 kam Steller als Begleiter verwundeter Soldaten in Kronstadt an. Nach seiner Landung in St. Petersburg stellte er sich bei dem Erzbischof Theophan Prokopowitsch (1681-1736) vor, einem Historiker und Dichter und Mitstreiter bei den Reformen Peters des Großen. Möglicherweise aufgrund eines Empfehlungsschreibens des Leiters der Hallenser Waisenhausschule, Gotthilf A. Francke, wurde Steller Theophan Prokopowitschs Arzt und erhielt von ihm ein Jahresgehalt für seine ärztlichen Dienste. In dieser Zeit unternahm Steller die Erfor-

schung der Pflanzen in der Umgebung St. Petersburgs und war viel unterwegs. In einem lateinischen Scherzgedicht spielt Theophan Prokopowitsch darauf an: Steller sei noch immer auf der Suche nach Heilkräutern für den Kranken gewesen, während dieser schon längst an seinen Beschwerden gestorben und beerdigt war.

Prokopowitsch war sehr aktiv in der Akademie der Wissenschaften und so erstaunt es nicht, daß Steller bald dort bekannt wurde. Als die Akademie den Beschluß gefaßt hatte, noch zwei weitere Gelehrte nach Sibirien zu entsenden, war Steller einer davon. Die Berufung Stellers in die Akademie erfolgte im September 1736 und am 7. Februar 1737 wurde er als Adjunkt für Naturgeschichte in den Dienst der Kamtschatka-Expedition gestellt. Im April 1737 bestand Steller ein weiteres Examen in Botanik, diesmal unter dem Professor der Botanik und Naturgeschichte Johann Amman (1707-1741). Danach durfte er sich mit den Materialien vertraut machen, die die Professoren der Kamtschatka-Expedition aus Sibirien geschickt hatten. Bis zu seiner Abreise beteiligte sich Steller an der Redaktion und Drucklegung des Katalogs "Musei Imperialis Petropolitani" (Amman et al., 1742; 1745), der einzigen Publikation zu seinen Lebzeiten (Pekarsky, 1870; Stejneger, 1936; Andrejew, 1965; Stanyukovich, 1995; Kolchinsky, 2009).

Vor seiner Abreise nach Sibirien heiratete Steller die Witwe des Sibirienentdeckers Daniel Gottlieb Messerschmidt (1685-1735), Brigitte-Helene (geborene Böchler) (1714/1715-1761). Anfangs wollte diese Steller auf seiner Reise begleiten, aber in Moskau besann sie sich eines anderen und blieb daselbst.

Hier seien einige Worte zu Stellers Charakter eingefügt. Aus der Erinnerung von Zeitgenossen und auch aus Stellers eigenen Aufzeichnungen folgt, daß er ein außerordentlich begabter, talentierter, gebildeter und fleißiger Mensch war, mutig und standhaft auch in Widrigkeiten, dabei seinen Wert wohl wissend, unabhängig im Urteil, das er vor jedem vertrat ohne Ansehen der Person. Steller besaß ein ausgeprägtes Selbstbewußtsein, war aber gleichzeitig stolz und aufbrausend. Diese Eigenschaften trugen öfters zu Konflikten mit Kollegen, mit den Gefährten auf der Seereise und auch mit örtlichen Beamten bei. Steller war „...ein geborener Forscher, ausgestattet mit Kenntnissen und aufrichtigem Eifer, er schonte weder Kräfte noch Gesundheit, wenn es um seine Arbeit ging, forderte aber Achtung und Rücksicht für seine Unternehmungen" (Grekow, 1960, S. 111). Gmelin, der in mancher Hinsicht das direkte Gegenteil von Steller war, hinterließ uns in seinen Notizen zu seiner Reise nach Sibirien ein kurzes „Porträt" von ihm, das Stellers Charakter und Lebensweise erahnen lässt:

„…Er war mit keinen Kleidern beschweret, weil man die Haushaltung durch Sibirien mit sich führen muss, so hatte er sie so klein, als immer möglich, eingerichtet. Sein Trinkgefäss zum Bier war eins mit dem Trinkgefäss zum Meth und Brandwein. Wein verlangte er gar nicht. Er hatte nur eine Schüssel, daraus er speisete, und in welcher er alle seine Speisen anrichtete. Zu diesem gebrauchte er keinen Koch. Er kochte alles selber, und dieses auch wieder mit so wenigen Umständen, dass Suppe, Gemüse und Fleisch in einem Topf gleichzeitig angesetzt und gekocht wurden. Er konnte den Qualm davon in der Stube,

da er gearbeitet, gar leicht ertragen. Er brauchte keine Perücke und keinen Puder: ein jeder Schuh und ein jeder Stiefel war ihm gerecht; er hatte bei allem diesem keinen Verdruss über die alte Lebensart; er war immer gutes Muth und je unordentlicher alles bei ihm zugieng desto frölicher war er. ...Dabei merkten wir, dass ohngeachtet aller der Unordnung, die er in seiner Lebensart von sich blicken liess, er doch in Anstellung seiner Wahrnehmungen überaus pünktlich, und in allen seinen Unternehmungen unermüdet war". (Gmelin, 1752, zit. n. Wernadski, 1988, S. 188-189)

Ein Gespräch mit dem Kosaken Thomas Lepechin, das gleich nach der Strandung auf der Bering-Insel stattfand und das Steller in seinem Tagebuch notiert hatte, gibt Aufschluß über die menschlichen Qualitäten Stellers. Lepechin war ein Mitglied von Stellers Kamtschatka-Abteilung und von ihm überredet worden, mit ihm auf die Seereise zu gehen:

„Sei guten Mutes", sagte ich, „Gott wird helfen; wenn dies auch nicht unser Land ist, so haben wir doch noch Hoffnung, dorthin zu kommen; du wirst nicht verhungern, und kannst du nicht arbeiten und mir aufwarten, so will ich dies in aller Kameradschaft für dich tun; ich kenne dein redliches Gemüt und deine Dienste gegen mich, daher werde ich, bis Gott hilft, alles, was ich habe, mit dir teilen." Er sagte: „Ihren Majestäten will ich gern dienen. Aber du hast mich in dieses Elend gebracht; wer hat dich gezwungen, mit diesen Leuten zu

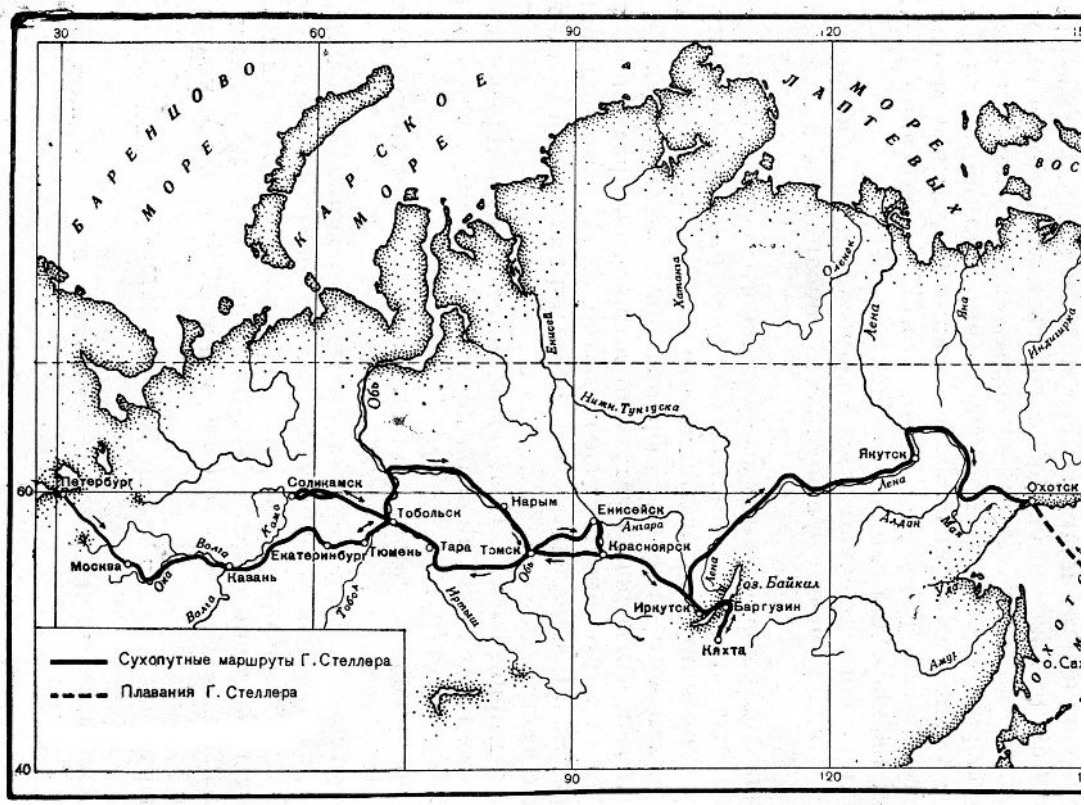


Abb. 2a. Stellers Weg durch Sibirien 1738-1746 (ausgezogene Linien)(aus Grekow, 1960)

gehen? Hättest du nicht die guten Tage zu Hause genießen können?" - ,,Gottlob, wir leben alle beide; habe ich dich in das Elend mitgeschleppt, so wirst du auch einen beständigen Freund und Wohltäter an mir haben; meine Meinung war gut, Thomas, so lass auch deine gut sein; du weißt ja nicht, was dir zu Hause hätte zustoßen können.'' (Steller, 2013)

Besonders hervorzuheben ist Stellers Rücksicht auf die örtliche Bevölkerung. Am 17. April 1741 schickt Steller dem Senat einen ausführlichen Bericht (,,ergebenste Meldung''), an welchem er lange gearbeitet hatte und in welchem er Maßnahmen zur Verbesserung der Verwaltung darlegte, unter deren Gesetzlosigkeit und Gewalt die indigene Bevölkerung Kamtschatkas durchwegs litt. Er schickte auch Vorschläge an den Heiligen Synod zur Bekehrung der Kamtschadalen zum Christentum und über die Einrichtung von Schulen auf Kamtschatka. In Bolscherezki Ostrog eröffnete und unterhielt Steller eine Schule auf eigene Kosten. In seinem Buch ''Beschreibung von dem Land Kamtschatka'' beschreibt Steller einfühlsam die einheimische Bevölkerung der Halbinsel. So ist nicht erstaunlich, daß er 1743 auf eigene Faust 17 Kamtschadalen, die seiner Meinung nach widerrechtlich des Aufruhrs angeklagt waren, befreite. Dies sollte verhängnisvolle Folgen in seinem späteren Schicksal haben.

Am 24. Dezember 1737 machte Steller sich auf den Weg und erreichte Moskau in den letzten Dezembertagen. Von dort

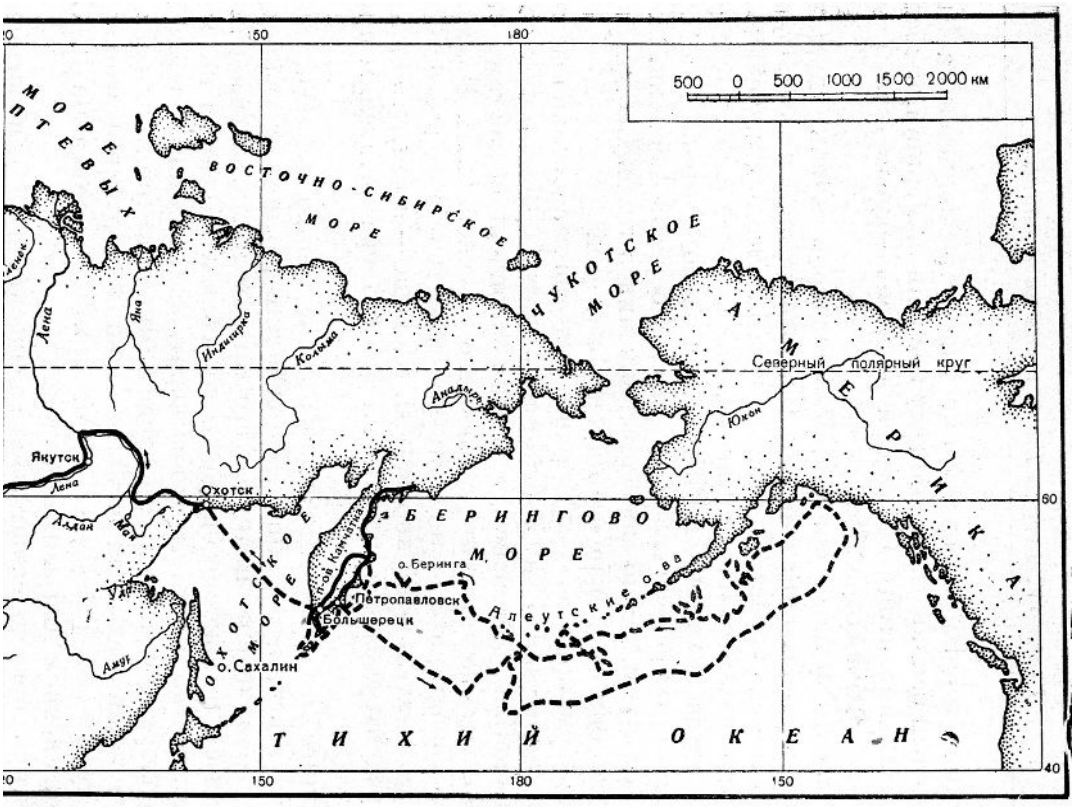


Abb.2b. Stellers Reise mit Bering und Waxell nach Alaska 1741-1743 (gestrichelt)

brach er am 13. März 1738 nach Tobolsk auf, wo er am 17. Juni ankam und das er am 21. Juni wieder verließ. In Erwartung von Expeditionsfracht hielt Steller sich fast drei Monate im botanischen Garten von Grigori Akinfijewitsch Demidov (1715-1761) zu Solikamsk auf. Er brachte dessen Garten und Herbarien in Ordnung, studierte die örtliche Flora und knüpfte Kontakte zu Linné. Auf dem weiteren Weg von Tobolsk folgte Steller Routen, die vorher von Expeditionsteilnehmern nicht beschritten worden waren (Abb. 2a). Er folgte flußabwärts dem Irtysch bis zum Ob und dann flußaufwärts dem Ob folgend erreichte er am 23. September Tomsk. Hier erhielt er von Müller und Gmelin einen Brief, in dem sie ihn nach Jenisseisk einluden, doch Fieber und die Unpassierbarkeit der Straßen hielten ihn in Tomsk fest. Auf dem Weg führte Steller nicht nur ein „Hodegeticum", in dem er protokollierte, was er auf dem Weg gesehen hatte und welchen Völkern er begegnet war, sondern stellte auch einen Katalog von am Weg angetroffenen Pflanzen, Lebewesen und sibirischen Volksheilmitteln zusammen. Leider ist aus dieser Periode kein Werk Stellers erhalten.

Die Verhandlungen mit den Professoren erbrachten, daß Steller an der Spitze einer kleinen Abteilung nach Kamtschatka fahren sollte, zusammen mit dem Maler Johann-Christian Berkhan (1709-1751), dem Studenten Alexei Petrovich Gorlanow und einem jakutischen Dolmetscher. Sie sollten helfen bei hauptsächlich geographischen und ethnographischen Beobachtungen, bei der Korrespondenz und als Schützen zur Erbeutung von Tieren und Vögeln. Die Professoren gaben Steller eine von Müller und Gmelin verfasste und unterschriebene Zusammenstellung, in der die ihm übertragenen Aufgaben beschrieben waren. Er erhielt auch eine Kopie der ausführlichen Unterweisung, die sie dem Studenten Krascheninnikow gegeben hatten. Nach der Ankunft in Kamtschatka sollte Steller Krascheninnikov in seine Abteilung aufnehmen und die Ergebnisse von dessen Forschung kritisch überprüfen. Auf der Grundlage des gesamten gesammelten Materials sollte Steller eine Beschreibung von Kamtschatka verfassen.

Von Jenisseisk reiste Steller nach Irkutsk, wo er am 23. März 1739 eintraf. Interessant ist die Reaktion des Irkutsker Vizegouverneurs Alexei Yuryevich Bibikow: „Ankunft Stellers in Irkutsk mit kleinem Gefolge" (verglichen mit dem großen und zahlreichen Gefolge der Herren Professoren - das örtliche Kommando erwartete anscheinend wiederholte Besuche der Professoren und atmete jetzt mit Erleichterung auf). Bibikow kam gerne allen Vorschlägen Stellers entgegen und leistete nicht nur persönliche Hilfe, sondern forderte auch alle Mitbürger zur Mithilfe auf. Laut Steller „dienten alle gerne mit mir" (Andrejew, 1965, S. 236).

Weil im Sommer 1739 keine Transportmittel zur Verfügung standen und Steller keine Möglichkeit sah, seinen Weg fortzusetzen, erforschte Steller auf eigene Verantwortung Bargusin Ostrog und begab sich Anfang 1740 nach Selenginsk und Kjachta. Der Rapport mit der Beschreibung der Forschung, die Steller in der Umgebung von Irkutsk, am Baikalsee und im Bargusin Ostrog durchgeführt hat, und in dem ca. 1100 dort wachsende Pflanzen und ca. 60 Arten von Vögeln beschrieben sind, wurde von Steller direkt nach St. Petersburg geschickt samt dem gesammelten Material. Als diese Fracht in Krasnojarsk ankam, be-

trachtete dies Gmelin, der sich dort befand, als Verletzung seiner Rechte, indem er darauf bestand, daß Steller sein Untergebener sei und jeglicher Verkehr mit der Akademie der Wissenschaften über ihn zu erfolgen hatte. Stellers Vorgehen rief einen gereizten Briefwechsel zwischen Steller und Gmelin hervor, eine Beschwerde über Steller bei der Akademie und Stellers Gegenerklärungen. Gmelin beschuldigte Steller, modern ausgedrückt, beruflicher Unfähigkeit und der Nichtbefolgung seiner Anordnungen (Steller, 2000, Dok. 25). Steller schrieb in seiner Entgegnung, daß er einen Vertrag mit der Akademie abgeschlossen hatte über selbständige Forschung auf Kamtschatka, in welchem nirgendwo stünde, daß er sich nach den Forderungen der Professoren richten müßte. Infolge dieses Konfliktes schickte Steller seine Berichte nun direkt an den Senat und diese wurden von dort an die Akademie weitergeleitet; auf diese Weise gelang es Steller sich dem offiziellen Verkehr mit den Professoren zu entziehen.

Anfang März 1740 brach Steller wieder auf und erreichte Ende Mai Jakutsk und Ende August Ochotsk. In der Erwartung des Auslaufens der *Ochotsk* nach Kamtschatka beschäftigte Steller sich an der Küste mit dem Sammeln und der Beschreibung von Kräutern, Muscheln, Mollusken und anderer Lebewesen. Einige dieser Zeichnungen wurden durch den Künstler Berkhan ausgeführt. Am 20. September kam Steller an der Mündung des Flusses Bolschaja auf Kamtschatka an und fuhr flußaufwärts zum Verwaltungszentrum von Kamtschatka, dem Bolscherezk Ostrog, wo er am 25. eintraf. Im Oktober übernahm er den Studenten Kraschininnikow in seine Arbeitsgruppe und begann mit der Erforschung der Halbinsel.

Im Februar 1741 erhielt Steller einen Brief von Vitus Bering, der sich anschickte, zur amerikanischen Küste zu segeln und einen Gelehrten benötigte, der sich mit Metallen und Mineralien auskannte. Natürlich war Steller, begierig nach der Erforschung unentdeckter Länder, einverstanden und teilte Bering in seinem Antwortschreiben mit, daß er, abgesehen von der Suche nach Metallen und Mineralien, bereit sei, zur Beobachtung der Naturgeschichte und dem Studium der Völker, die dieses Land bewohnten. Im Begriff, sich auf diese Expedition zu begeben, gab Steller all seinen Mitarbeitern eingehende Instruktionen, was sie während seiner Abwesenheit zu tun hätten.

Die Reise zu der amerikanischen Küste erfolgte auf zwei Schiffen, der *Heiliger Apostel Petrus (St. Peter)* unter Kapitän-Kommandeur Vitus Bering und der *Heiliger Apostel Paulus (St. Paul)* unter der Leitung von Alexey Iljitsch Tschirikow (1703- 1748). Über diese Expedition Berings gibt es umfangreiche Literatur. Als wichtigste Werke sind zu erwähnen: die Erinnerungen der Teilnehmer, von Steller selbst (Steller, 1793; 2013) und von Leutnant Sven Larsson Waxell (1701-1762), der nach Berings Tod das Kommando über *St. Peter* übernahm (Waxell, 1968); die Monographie von Golder, die in englischer Sprache die Logbücher der Expedition, die Expeditionsberichte von Waxell und Tschirikow, die Bruchstücke des Stellerschen Tagebuchs der Seereise und dessen Beschreibung der Bering-Insel veröffentlichte (Golder, 1922-1925); Bergs Monographie "Erkundung der Kamtschatka und Berings Expedition" (Berg, 1946), das Kapitel "Segeln zu den Küsten Nordwestamerikas" in Grekows Buch (Grekow, 1960), Frosts Buch "Bering"

(Frost, 2003) und der entsprechende Abschnitt in Stejnegers Monographie (Stejneger, 1936).

Zusammen mit Steller machte sich der Topograph und Artillerist Friedrich Christian Plenisner (1711-1779), der unter der Schirmherrschaft Berings als Korporal im Hafen von Ochotsk diente, zur Seereise auf. Mit Plenisner war Steller schon während der Fahrt und vor allem im Winter auf der Beringinsel befreundet. Höchstwahrscheinlich waren Plenisners Skizzen von Stellers Seekuh die Grundlage für Zeichnungen, die auf Tafeln in Sven Waxels Bericht gefunden wurden (s. Titelbild) und für die Abbildung, mit der Peter Simon Pallas (1741-1811) die Stellersche Seekuh in der Zoographia Rosso-Asiatica beschreibt. (Pallas, 1834?-1842; Stejneger, 1936, pl.21)

Am 4. Juni 1741 stachen die Schiffe in See. Leider mußte sich die Expedition auf die ungenaue Karte von Delisle beziehen und obwohl alle Teilnehmer der Expedition überzeugt waren, daß das neue Land im Osten der Kamtschatka zu suchen sei, war der Anfangskurs der Expedition Südost (Abb. 2b). Nach acht Tagen Seefahrt wurde kein Land gesichtet und die Expedition nahm Kurs Nordost. Am 20. Juni verloren die Schiffe sich aus den Augen und verfolgten des Weiteren eigene Wege. Bering fuhr zunächst nach Ost und später nach Ostnordost. Die *St. Peter* segelte in geringem Abstand von den Aleuten-Inseln, die im Nebel aber nicht zu sehen waren. Auf dem Weg nach Amerika entlang der Inselkette der Aleuten wies Steller auf Anzeichen hin, die seiner Ansicht nach auf die Nähe von Land hinwiesen, wie aus dem Norden angetriebene Meeresalgen, die in geringer Tiefe vorkommen.

„Ein anderer Grund, aus dem unfehlbar zu schließen war, dass wir unter dem Land waren, ergab sich aus dem häufigen Auftreten von Seetieren, die in freier See nicht gewöhnlich sind. Da wir viele Seehunde sahen, hätte man leicht erraten können, dass Land in der Nähe sein müsste. Einen noch stärkeren Beweisgrund gab uns die ständige Erscheinung des kamtschatkischen Seebibers oder Seeotters, weil dieses Tier sich ausschließlich von Seekrebsen und Schalentieren ernährt... Ferner sahen wir zu verschiedenen Zeiten Schwärme von Möwen auf der See sitzen, die sich doch besonders im Juni nahe den Küsten zu halten, wo die Fische aus dem offenen Meer gegen das Land und die Flüsse aufsteigen und ihnen die reichlichste Nahrung geben (Steller, 2013).“

Steller riet, sich gegen Norden zu wenden, aber leider hörte man nicht auf ihn. Das Verhalten der Offiziere gegenüber Steller war arrogant, er war ja bloß Adjunkt und nicht Professor. Besonders mit Leutnant Sven Waxell und Master Sofron Fjodorowitsch Khitrovo (um 1700-1756) stand Steller auf feindseligem Fuß und äußerte sich über sie recht unfreundlich in Berichten, Briefen und Tagebüchern. Es sei aber darauf hingewiesen, daß die Anschuldigungen, die Steller gegen Leutnant Waxell und Master Khitrovo erhebt, oft nicht objektiv und manchmal sogar völlig haltlos waren.

Am 15. Juni 1741 sichtete Steller Land, aber man glaubte ihm nicht, hielt es für seine Laune, aber am Folgetag war der Berg Mount St. Elias, einer der höchsten Gipfel Nordamerikas, klar sichtbar. Am 20. Juni warf die *St. Peter* Anker am südwestlichen Zipfel der Insel Kayak. Allein durch Beharrlichkeit und Hartnäckigkeit konnte Steller die Erlaubnis an Land zu gehen er-

halten, um zusammen mit dem Kosaken Thomas Lepechin Untersuchungen anzustellen. Während eines mehrstündigen Aufenthalts auf der Insel entdeckte Steller Lebensspuren der örtlichen Einwohner, der Chugach Eskimos, und aufgrund der Ähnlichkeit mit den Kulturen der Kamtschadalen stellte er erstmals die Vermutung der asiatischen Herkunft der Eskimos auf. Er stellte eine Pflanzenliste mit 160 Arten zusammen. Von den Meerestieren erwähnt Steller Robben, Wale, Seeotter und von den Landtieren rote und schwarze Füchse, von den Vögeln notiert Steller außer Rabe und Elster ein Dutzend Vogelarten, die ihm unbekannt waren und die durch markante Färbung sich von europäischen und sibirischen Arten unterschieden. Dem Kosaken gelang es, einen Vogel zu schießen. Als Steller diesen betrachtete, erinnerte er sich sofort, daß er dessen Bild in der Beschreibung von Pflanzen und Vögeln von Carolina gesehen hatte, erschienen in den dreißiger Jahren,- ,,Dieser Vogel überzeugte mich, dass wir wirklich in Amerika waren" (Steller, 2013). In der Tat ist in Mark Catesby's Buch (1731) eine Abbildung des Blauhähers, *Cyanocitta cristata* (Linnaeus, 1758) zu finden und Steller hatte eine nahverwandte Art angetroffen, die später nach ihm benannt wurde: *C. stelleri* (Gmelin, J.F., 1788).

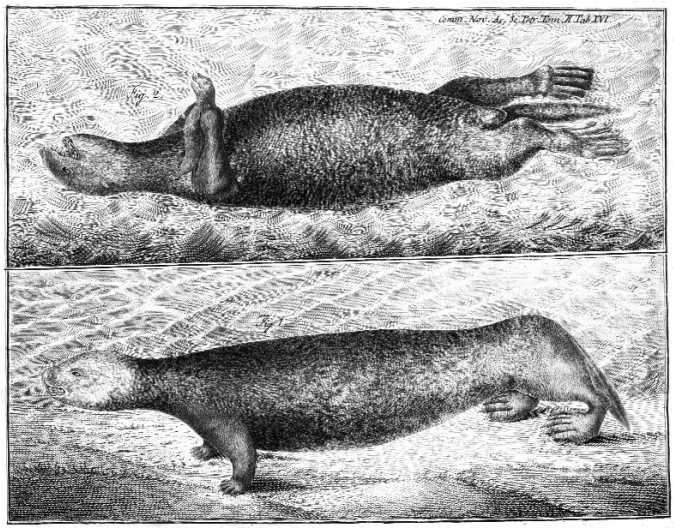


Abb. 3. Seeotter, auch Kalan, *Enhydra lutris* aus Steller (1751), Tafel 16

Am 21. Juni befahl Bering Anker zu lichten, obwohl noch nicht alle Wasserfässer gefüllt waren, und *St. Peter* segelte nach Südwesten. Am 2. August traf das Schiff auf eine Insel, die von Bering Nebelinsel genannt wurde (die heutige Tschirikow-Insel). Steller bestand darauf, daß ihm die Erlaubnis erteilt würde, mit ein paar Mann für einige Stunden an Land zu gehen, um die Insel zu erforschen, aber das wurde ihm verweigert.

,,Ich ersuchte den Herrn Kapitän-Kommandeur, mich bei dem günstigen Wetter mit dem kleinen Boot einige Stunden nach dem Land zu lassen, aber vergebens. Als wir darüber in einen Wortwechsel gerieten, wurde schließlich eine Beratung abgehalten, in der alle gelobten, mich künftig nicht mehr an der Erfüllung meiner Pflicht und Schuldigkeit zu hindern (Steller, 2013)''.

Am 30. August stoppte das Schiff bei den Shumagin Inseln um Wasser zu bunkern. ,,Kaum am Land angelangt, bemühte ich mich sogleich um gutes Wasser und fand auch mehrere gesunde Quellen. Indessen hatten die Seeleute bereits aus der erstbesten Pfütze Wasser geschöpft. Obwohl ich nun darauf hinwies, dass der Gebrauch dieses Wassers den Skorbut be-

günstigen und der hohe Kalkgehalt die Leute austrocknen und von Kräften bringen würde, schenkte man mir, der ich als Arzt diesen Vorschlag zur Erhaltung meiner Mitmenschen und meines eigenen Lebens redlich getan hatte, keinerlei Gehör. Selbst dann noch, als ich außer den von mir empfohlenen Quellen einen noch weit näher gelegenen Wasserplatz als die so beliebte salzige Pfütze gefunden hatte, wollte man nicht auf mich hören. (Steller, 2013)".

Die Besatzung begann bereits unter Skorbut zu leiden und die Shumagin-Inseln erhielten von Bering diesen Namen in Erinnerung an den Seemann Nikita Shumagin, dem ersten Skorbutopfer der Expedition.

„Den größten Nutzen aus dem Pflanzenreich boten uns neben den zahlreichen roten Heidelbeeren und schwarzen Moosbeeren die herrlichen antiskorbutischen, kresseartigen Kräuter, die ich nur für mich und den Herrn Kapitän-Kommandeur sammelte. Denn obwohl ich anmerkte, dass der Arzneikasten von Anfang an elend beschaffen sei, da er fast nur lauter Pflaster und Salben für Verwundete aus Landschlachten enthielt, jedoch gar keine Arzneien gegen den auf Seereisen auftretenden Skorbut, und obwohl ich mir einige Leute ausbat, um antiskorbutische Kräuter für alle zu sammeln, wurde dieser für alle heilsame Vorschlag, für den ich eigentlich Dank verdient hätte, mit Verachtung zurückgewiesen (Steller, 2013)."

Steller wäre jedoch nicht Steller gewesen, hätte er nicht alle Tiere, Vögel und Fische, denen er begegnete, notiert und eine Liste der von ihm entdeckten Pflanzen oder kurze Bemerkungen über die geologische Struktur der Insel angefertigt. Im Bereich der Shumagin-Inseln fand das erste Treffen der Expedition mit den noch heute auf ihnen lebenden Aleuten statt. Eine Gruppe bestehend aus Steller, Waxell, einem Korjaken als Dolmetscher und neun Seeleuten und Soldaten versuchte an Land zu gehen, um etwas über die Aleuten herauszufinden. Diese Episode hat Steller in seinem Tagebuch ausführlich geschildert. Er machte auch die erste Beschreibung des Aussehens, der Kleidung, des Schmucks, des Calumet-Stabs der Aleuten, ihrer Boote, und stellte die Vermutung auf, dass die Aleuten aus Asien stammten. Darauf deutete laut Steller die Ähnlichkeit ihrer Hüte aus Baumrinde mit den Hüten der Kamtschadalen und Korjaken hin. Die Reisenden bemerkten auch, dass die Aleuten dem Korjaken-Dolmetscher sehr ähnlich waren und sie ihn nicht gehen lassen wollten. Am nächsten Tag gab es ein zweites Treffen mit den Aleuten, die in Booten zum Schiff fuhren.

Insgesamt war Steller nur zweimal für jeweils wenige Stunden an Land, aber in dieser Zeit führte er nicht nur Forschungen über Pflanzen, Tiere und die Geologie dieser Orte durch, sondern begann auch mit einer vergleichenden Analyse der Landschaften der erforschten Inseln mit der Küste von Kamtschatka und später mit der Beringinsel und versuchte auch eine wissenschaftliche Erklärung für das Fehlen von Gehölzen auf den Inseln zu geben. Außerdem machte er ethnographische Beobachtungen über die lokale Bevölkerung – die Chugach Eskimos und die Aleuten – und gab Hinweise auf ihre asiatische Herkunft. Die Gleichgültigkeit von Bering und den Expeditionsoffizieren gegenüber der Erforschung der von der Expedition entdeckten Orte ist schwer zu erklären und Stellers emotionale Äußerungen dazu sind nachvollziehbar:

„Einig war man sich nur darin, dass frisches Wasser eingenommen werden sollte. Daher konnte ich mich nicht der Bemerkung enthalten, wir wären nur gekommen, um amerikanisches Wasser nach Asien zu bringen" und „Die Zeit, welche hier zu Untersuchungen verwandt wurde, stand zu den Vorbereitungen im umgekehrten Verhältnis: Zehn Jahre währte die Vorbereitung, und zehn Stunden wurden der Sache selbst gewidmet (Steller, 2013)."

Berings Krankheit verschlimmerte sich und machte ihn bald bettlägerig, sodaß die Schiffsführung durch die Offiziere erfolgte, die ihre Entscheidungen mal mit Bering mal untereinander absprachen. Daher änderte sich der Kurs des Schiffes immer wieder. Im Allgemeinen verlief er entlang der damals völlig unbekannten Inselreihe der Aleuten. Den „Küsten Amerikas" zu folgen wurde durch ständige Nebel und starke Herbststürme gefährlich. Nachdem *St. Peter* am 9. September von den Shumagin-Inseln zunächst mit Südkurs gestartet war, später gegen Westen fuhr, wurde sie am 25. September von einem Sturm erfasst.

„Noch schlimmer wurde es am 30., obwohl wir dies vorher für unmöglich gehalten hätten. Wir erwarteten jeden Augenblick, dass das Schiff scheitern würde. Man konnte weder liegen, sitzen noch stehen. Keiner vermochte sich auf seinem Posten zu halten. Wir trieben unter Gottes Gewalt, wohin der erzürnte Himmel mit uns wollte. Die Hälfte unserer Leute lag krank und schwach danieder; die Übrigen waren zwar aus Not gesund, aber infolge der entsetzlichen Bewegung von See und Fahrzeug ganz verrückt und von Sinnen. Es wurde zwar viel gebetet; allein die binnen zehn Jahren in Sibirien aufgesammelten Flüche wollten keine Erhörung zulassen (Steller, 2013)."

Am 2. Oktober begann der Sturm nachzulassen. Das Schiff segelte hart am Wind weiter nach Westen, aufgrund von Orientierungsfehlern lief *St. Peter* jedoch nicht in die Awatscha-Bucht ein, sondern strandete an den Kommandeurinseln, die zunächst mit der Küste Kamtschatkas verwechselt worden waren. Waxell (1968) schreibt, dass zu dem Zeitpunkt der Strandung alle Wanten brachen und jegliche Segelmanöver unmöglich wurden. Von der Besatzung waren 12 Menschen gestorben, 34 an Skorbut erkrankt und nur 10 Personen konnten Schiffsarbeiten verrichten. Die Proviantvorräte und Wasser gingen zur Neige. Bei der Besprechung, an der alle Besatzungsmitglieder teilnahmen, wurde beschlossen an Land zu gehen.

Am 6. November landeten Steller, Plenisner und einige Kranke mit dem einzigen noch brauchbaren Boot am Ufer. Plenisner schoss ein paar Tundra-Schneehühner und brachte sie aufs Schiff für den Kapitän-Kommandeur. Am nächsten Tag sah Steller erstmals unbekannte Tiere – „Manati", die später von ihm beschrieben wurden und heute Stellers Seekuh genannt werden. Am 8. November wurden Kranke an Land gebracht, darunter Bering. Während des Ausbootens und unmittelbar danach starben weitere neun Seeleute. Steller wählte zusammen mit Plenisner bald einen Ort zum Überwintern auf der Insel, wo sie einen Unterstand gruben. Allmählich entstand ein Unterstandlager, in dem die Reisenden den Winter verbringen konnten. Bering wurde in einen der Unterstände gebracht. Nachdem Bering an Land gebracht war, fragte er Steller, was er von ihrem Überwinterungsplatz halte. Steller antwortete, dass dieser Ort vermutlich nicht auf Kamtschatka liege, da es viele Tiere gäbe und diese

keine Angst vor Menschen hätten, also leicht zu jagen wären, und weiter, dass ein unbekanntes Tier in der Nähe der Küste lebe, das in Kamtschatka nicht zu finden sei. Aber auch wenn dies kein unbekannter Ort auf Kamtschatka wäre, läge er nicht weit davon entfernt, da die Pflanzen denen auf Kamtschatka ähnlich seien und er keine den amerikanischen ähnliche Pflanzen getroffen habe.

Zwei Stunden vor Tagesanbruch am 8. Dezember starb Kapitän-Kommandeur Bering und wurde „nach protestantischen Kirchengebräuchen nahe bei unserer Wohnung [begraben. Wir] … setzten bei unserer Abreise auf sein Grab ein hölzernes Kreuz, das zugleich als Zeichen für die Besitznahme des Landes gelten konnte (Steller, 2013)".

Nach Berings Tod übernahm Leutnant Waxell das Kommando als ranghöchster Offizier. Allmählich wurde das Lager eingerichtet und ausgerüstet, indem die Vorräte vom Schiff übergesetzt wurden. Bereits am 28. November war *St. Peter* auf eine Sandbank geworfen worden. Die schwierigen Überwinterungsbedingungen bewirkten eine Veränderung im gegenseitigen Verhältnis der Besatzung. Alle Entscheidungen wurden auf "Generalversammlungen" getroffen. Wer Essen bekommen konnte, teilte es mit den Bettlägrigen. Da am Ufer viel Treibholz war, gab es genug Brennstoff. Auch an frischer Tiernahrung mangelte es nicht. Unmittelbar nach der Strandung begannen Plenisner und Steller mit der Jagd auf Tundra-Schneehühner und Polarfüchse. Die allgegenwärtigen Polarfüchse ärgerten die Leute sehr, weil sie alles mögliche wegschleppten und fraßen - Kleider, Vorräte, getötete Schneehühner - sogar die Leichen der Toten wurden angefressen. Auch das Fell der Polarfüchse fand Verwendung. Bald erbeuteten Steller und Plenisner die ersten Seeotter; auch andere Meerestiere wurden als Nahrung genutzt: Am 20. April wurde ein riesiger Blauwal an Land geworfen. Ende Juni 1742 organisierte Waxell den Fang von Riesenseekühen (Stellers Seekuh), deren Fleisch im Gegensatz zu dem des Seeotters jedermanns Geschmack war. Auch das Fleisch von Vögeln wurde gegessen, darunter der wehrlose Brillen- oder Stellers Kormoran, der bis 1852 von den Aleuten vollständig ausgerottet wurde (Abb. 4). Sauberes Wasser gab es im Bach in der Nähe und unter dem winterlichen Schnee grub man Preiselbeeren aus, deren Blättern für Tee benutzt wurden.

Waxell (1968) schreibt:„ Sobald der Schnee schmolz und grüne Pflanzen aus dem Boden auftauchten, begannen wir, verschiedene Kräuter zu sammeln und daraus Tee zu brauen. Einen großen Dienst leistete uns Adjunct Steller, ein ausgezeichneter Botaniker, der verschiedene Pflanzen sammelte und uns auf verschiedene Kräuter hinwies; aus ihnen bereiteten wir Tee zu, einige Kräuter wurden gegessen, was für unsere Gesundheit von spürbarem Nutzen war. Ich kann mit absoluter Überzeugung bestätigen, dass keiner von uns sich gesund fühlte und bei voller Kraft war, bis er anfing frisches Grünzeug, Kräuter und Wurzeln zu essen".

Einzelheiten zum Aufenthalt der Expedition auf der Beringinsel sind am besten aus den Tagebüchern von Steller (2013) und Waxell (1968) zu ersehen. Der erste Geschichtsschreiber der russischen Seefahrten, Gerhard Friedrich Müller, schreibt „Sie konnten nicht verzagen; denn sie hatten Steller bei sich. Steller war ein Arzt,

Abb. 4. Brillenkormoran, auch Stellers Kormoran, *Urile perspicilatus* (aus Eliot, 1869)

der zugleich der Seele diente, der jedermann durch seinen muntern und angenehmen Umgang belebte (Müller, 1758, S. 236)". Gleichzeitig hörte Steller nicht auf mit seinen naturwissenschaftlichen Studien. Sorgfältig erforschte er das Land, auf dem sie sich befanden. Ohne Hilfsmittel, unter außergewöhnlichen Lebens- und Arbeitsbedingungen verfasste Steller die "Topographische und physikalische Beschreibung der Beringinsel" und begann den Artikel zu schreiben, der ihn berühmt machte "De bestiis marinis" (Beschreibung von sonderbaren Meerthieren). Unter schwierigsten Bedingungen beschrieb Steller aufs gründlichste die Anatomie von Meerestieren, darunter auch die der Seekuh (Stellers Seekuh oder Riesenseekuh, s. Titelbild) und fertigte Bälge und Skelette von Tieren an.

Am 22. März wurde Bootsmann A. Ivanov zur Erforschung des Landes ausgesandt. Als er am 7. April zurückkehrte, stellte sich endlich heraus, dass die Reisenden sich auf einer Insel befanden. Auf einer Versammlung wurde am 9. April 1742 beschlossen, das Wrack zu demontieren und daraus ein neues Schiff zu bauen. Glücklicherweise hatte der Seemann Savva Starodubtsew etwas Erfahrung vom Schiffbau in Ochotsk und übernahm diese Aufgabe. Das neue Schiff war kleiner als das alte, weshalb Steller nicht alle ausgestopften Tiere und Skelette mitnehmen konnte. Stapellauf war am 10. August und das neue Schiff erhielt wieder den Namen *St. Peter*. Aufbruch nach Kamtschatka war am 13. August und am 27. August gingen sie im Hafen von Petropawlowsk vor Anker. Ein von Waxell verfasster Bericht wurde am 15. November 1742 nach St. Petersburg gesandt. Er ging am 4. September 1743 beim Admiralitätskolleg ein. In Ochotsk kam *St. Peter* am 27. Juni 1743 an. Von dem Kommando, das aus 75 Mann bestand, die 1741 den Hafen von Petropawlowsk verließen, überlebten 46.

St. Paul segelte, nachdem sich die Schiffe getrennt hatten, direkt nach Osten und erreichte am 15. Juni 1741 die Küste von Amerika. Zwei zur Aufklärung ausgeschickte Boote kehrten nicht zurück, und da es dann nicht möglich war, an Land zu gehen und Wasser zu fassen, wurde beschlossen, nach Kamtschatka zurückzukehren, wo *St. Paul* am 8. Oktober eintraf. Von den 68 Mann beim Auslaufen kehrten nur 49 zurück.Um Berings Schiff zu finden, verließ Tschirikow mit reduzierter Mannschaft am 25. Mai 1742 erneut Petropawlowsk in Richtung Alaska. Widrige Winde erlaubten jedoch nur, die Insel Attu zu erreichen; da-

nach kehrte *St. Paul* um, segelte nach Kamtschatka zurück und weiter nach Ochotsk.

Am 5. September 1742 kehrte Steller nach Bolscherezk zurück. Hier vollendete er schließlich seine Beschreibung von Meerestieren, Vögeln und Fischen, die von ihm auf der Beringinsel begonnen worden war und schickte sie am 12. Juli 1743 zusammen mit den Zeichnungen und einem Rapport an den Senat. Ende Juli 1743 kam Steller zum Oberen und Unteren Kamtschatka Ostrog, wo er bis Juni 1744 blieb. Während der Zeit seines Aufenthalts in Kamtschatka 1743-1744 leitete Steller die dortige Forschungsgruppe und vergab die Aufträge zur Erforschung der verschiedenen Regionen der Halbinsel. In dieser Zeit kämpfte er oft gegen die häßliche und gewalttätige Behandlung der Kamtschadalen durch örtliche Dienststellen, wie aus Stellers Korrespondenz mit örtlichen Ämtern hervorgeht. Er half weiterhin der Schule der Korjakenkinder in Bolscheretsk. In den letzten Tagen seines Aufenthalts in Kamtschatka hatte sich Steller mit Unterleutnant Chmetewski gestritten, der nach Waxells Abreise für die See-Etappe der Expedition verantwortlich war und die Erforschung von Kamtschatka behinderte.

Am 3. August brach Steller zur Rückkehr nach St. Petersburg auf. Mit sich führte er 16 Kisten mit verschiedenen „Natur-Sachen" gesammelt auf Kamtschatka. Von Ochotsk über Jakutsk erreichte er Ende September Irkutsk. Hier erwartete Steller eine Verhaftung in dem auf Anzeige des Unterleutnants Chmetewski gegen ihn eingeleiteten Verfahren wegen der Freilassung verhafteter Kamtschadalen. Stellers Erklärungen stellten das örtliche Amt zufrieden und am 24. Dezember 1745 durfte er seinen Weg fortsetzen, worüber am 30. Januar 1746 ein Bericht an den Senat geschickt wurde. Er verließ Mitte Januar Irkutsk und erreichte Tobolsk am 4. März 1746. Anfang April 1746 kam Steller nach Solikamsk, wo er sich schon auf dem Weg nach Kamtschatka aufgehalten hatte, und wurde von Demidov wieder herzlich empfangen. Hier verweilte Steller, um Sträucher und andere Pflanzen zu retten, die er in Sibirien gesammelt hatte, und pflanzte sie in Demidovs Garten. Er widmete diese Zeit dem Studium der Natur der Region Perm.

Am 17. Juli 1746 befahl der Senat, der die Mitteilung über die Niederschlagung der Anklage gegen Steller noch nicht aus Sibirien erhalten hatte, daß Steller zur Verhandlung nach Irkutsk zurückzubringen sei in Begleitung eines Senatskuriers. Steller hinterließ seine Habseligkeiten und Sammlungen bei Demidov und machte sich selbst wieder auf nach Irkutsk. Inzwischen hatte aber der Senat endlich die Nachricht über Stellers Unschuld vom Irkutsker Provinzbüro erhalten und erließ dann am 20. August 1746 ein Dekret, in dem Steller erlaubt wurde nach St. Petersburg zurückzukehren. Der Kurier des Senats traf Steller in Tara und der beschloss sofort, umzukehren und auf dem Weg wieder bei Demidov vorbeizukommen. Steller erreichte jedoch nur Tjumen, wo er an Fieber erkrankte. Zu dieser Zeit befanden sich zwei Ärzte in Tjumen, Johann Theodor Lau und Heinrich Schäfer. In der Wohnung von Dr. Lau starb Steller am 12. (grg. 23.) November 1746. Laut Dr. Joachim Ruf (persönliche Mitteilung) starb Steller an Malaria, die 1746 in Tobolsk und Tjumen verbreitet war. Steller wurde am Ufer des Flusses Tura begraben. Sein Grab verschwand während einer der Überschwem-

mungen. Stellers Sammlungen und seine Manuskripte, die sich in Solikamsk befanden, schickte Demidov an die Akademie der Wissenschaften und Duplikate des von ihm gesammelten Herbariums an Carl von Linné.

Stellers einziges zu Lebzeiten gedrucktes Werk war, wie oben erwähnt, der Katalog "Musei Imperialis Petropolitani", in dem die zoologischen Sammlungen der Kunstkammer beschrieben sind (Amman et al., 1742, 1745). Von Oktober 1746 bis Juni 1747 wurden Stellers Dissertationen "Allgemeine Beobachtungen zur Naturgeschichte der Fische", "Naturgeschichte der Meerestiere" und "Die Naturgeschichte der in Sibirien gefundenen Knochen" auf den Sitzungen der Akademie der Wissenschaften verlesen. Leider wurde die dritte Dissertation nie veröffentlicht, während die ersten beiden in Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae erschienen (Steller, 1751, 1753a). In derselben Ausgabe wurde ein weiteres Werk von Steller veröffentlicht: ‘‘Einige Beobachtungen über die Nester und Eier von Vögeln‘‘ (Steller, 1758). Der Aufsatz ‘‘De bestiis marinis‘‘ wurde bald ins Deutsche übersetzt (Steller, 1753b). Die englische Ausgabe des Artikels erschien 1899.

In Stellers Buch ‘‘Beschreibung von dem Land Kamtschatka‘‘ (Steller, 1774) sind 9 Kapitel der Tierbeschreibung gewidmet, Meeres- und Landsäugetiere sowie Vögel, Fische und sogar ‘‘Meeresinsekten, die als Nahrung verwendet werden‘‘. Dieses Buch wurde erstmals 1774 veröffentlicht und enthielt zahlreiche Fehler und Verzerrungen durch den Verlag. Eine neue deutsche Ausgabe ist erst vor kurzem erschienen (Steller, 1996). Steller liefert darin Informationen zu mehr als 80 Arten von Wirbeltieren und etwa einem Dutzend wirbellosen Tieren. Die zweite Hälfte von Stellers Werk "Topographische und physikalische Beschreibung der Beringinsel ..." (Steller, 1781), veröffentlicht durch Pallas, widmet sich der Beschreibung von Tieren und Pflanzen und vor allem Meeressäugern der Beringinsel. Notizen zu Tieren sind in Stellers Tagebuch über die Seereise mit Bering zur Küste Amerikas und das Überwintern auf der Bering Insel verstreut; dieses Tagebuch wurde ebenfalls zuerst von Pallas veröffentlicht (Steller, 1793a, b, 2013). Hier nennt Steller über 50 Wirbeltierarten. Dieses Buch enthält auch Informationen über Stellers Seekuh und über von Steller während der Überwinterung auf der Beringinsel beschriebene Meerestiere.

Der größte Teil von Stellers zoologischem Erbe wurde nie veröffentlicht und einige der Manuskripte und die meisten Zeichnungen gingen verloren. In der Liste der erhaltenen Manuskripte Stellers, die in der St. Petersburger Filiale des Archivs der Akademie der Wissenschaften aufbewahrt werden (Gnucheva, 1940), sind mindestens 16 ganz oder zum größten Teil der Zoologie gewidmet (Novikow, 1948).

Ungeachtet der Bekanntheit Stellers als Zoologe, der als einziger die vom Menschen ausgerottete Riesenseekuh (Stellers Seekuh) beschrieb, gibt es nur sehr wenige Werke, die Steller als Zoologen würdigen. Bemerkenswert ist Stejnegers Aufsatz "Steller als Ichthyologe" - Anhang B zu Stejnegers Steller gewidmeter Monographie (Stejneger, 1936). Der wissenschaftlichen Arbeit von Steller auf dem Gebiet der Zoologie ist ganz der Artikel von Novikow (1948) gewidmet. Eine Bewertung von Stellers theriologischem Werk und eine Übersetzung von Fragmenten seiner Tierbe-

schreibungen ins Russische findet sich im Kapitel über Steller in dem Buch von Sokolow und Parnes (1993). Einige Informationen zu Stellers Untersuchung der Vögel Kamtschatkas finden sich in Lobkow (2008). Interessante Kommentare, einschließlich Stellers zoologischer Notizen, die er während der Reise gemacht hat, sind in dem Buch von Berg (1946) enthalten. Ein Artikel von Mattioli (2019) widmet sich den von Steller im Vorwort zu "De bestiis marinis" angeführten ökologischen und biogeografischen Gesetzmäßigkeiten.

Bekannt ist Steller vor allem durch seine anatomischen Arbeiten – Beschreibung des Baus von Meerestieren – Stellers Seekuh, Stellers Seelöwe, Nördlicher Seebär (alle auf dem Titelbild) und Seeotter (Abb. 3). Diese Beschreibungen bestechen durch ihre Detailtreue und Gründlichkeit. Sie werden von Messungen einzelner Körperteile begleitet. Gleichzeitig vergleicht Steller den Aufbau der beschriebenen Organe oft mit dem Aufbau dieser Organe bei anderen Tieren. Stellers anatomische Studien waren nicht auf erwachsene Tiere beschränkt. Er untersuchte auch die Struktur einiger Organe in einem Seeotterbaby. Stellers Arbeitsfähigkeit und Hingabe an die Wissenschaft sind bewundernswert, da er seine Studien an Meerestieren ohne geeignete Instrumente unter freiem Himmel auf dem Boden sitzend durchführte, wo er oft von "Schnee und Tieren" gestört wurde.

Daß einige der Informationen aus Stellers Manuskripten bekannt wurden, verdanken wir den nachfolgenden Generationen von Zoologen. Der große Pallas schätzte die ichthyologischen und ornithologischen Arbeiten von Steller sehr. So wählte Pallas bei der Beschreibung des japanischen Drachenwilderers *Percis japonica* (Pallas, 1769) Stellers Diagnose und benutzte ein trockenes Exemplar dieses Fisches, das Steller im Juni 1743 in der Nähe der nördlichen Kurilen gefangen hatte. Von den 241 von Pallas in Zoographia Rosso-Asiatica beschriebenen Fischarten waren 25 von Steller erstmals beschrieben worden (Pallas, 1811-1814; 1834-1842). Zu den von Steller neu beschriebenen Vogelarten gehören der Stellersche Riesenseeadler, *Haliaeetus pelagicus* (Pallas, 1811) (s. Abb. 7 in Smirnov, 2019), der Stellersche Blauhäher, *Cyanocitta stelleri* (Gmelin J.F., 1788), die Sibirische oder Stellersche Eiderente *Polysticta stelleri* (Pallas, 1769) (Abb. 5). Steller entdeckte und beschrieb den flugunfähigen großen Brillenkormoran *Urile perspicilatus* (Pallas, 1811) (Abb. 4), der auf der Beringinsel endemisch war und das Schicksal der Stellerschen Seekuh erlitt. Von den 245 Vogelarten, die Pallas für die Fauna Russlands identifiziert hat, bezieht er sich bei der Beschreibung von 80 Arten bei verschiedenen Gelegenheiten und Beobachtungen auf Stellers Daten. Schließlich bezieht sich Pallas bei der Beschreibung von 12 der 149 Säugetierarten, die in Zoographia aufgeführt sind, auf Steller. So gelangte immerhin ein Teil der von Steller erhaltenen zoologischen Daten über Pallas in den wissenschaftlichen Umlauf (Novikow, 1948).

Wilhelm Gottlieb Tilesius von Tilenau (1769-1857) hat in seine Werke über die Fische von Kamtschatka die Beschreibung und die Maße aus Stellers Manuskript über Kamtschatka-Fische aufgenommen. Darunter ist Stellers Beschreibung des gefleckten Grünlings, *Hexagrammos stelleri* (Tilesius, 1810), der Sternflunder, *Platichthys stellatus* (Pallas, 1787) und der Grundel, *Hemilepidotus hemilepidotus* (in Stellers Manuskript

Myoxocephalus cornutus) (Tilesius, 1811).

Steller besaß einen glänzenden analytischen Geist und machte daher auf der Grundlage seiner anatomischen und morphologischen Studien interessante allgemeine biologische Betrachtungen, die über die Grenzen morphoanatomischer und systematischer Studien hinausgingen (Novikow, 1948; Kolchinsky, 2004, 2009; Mattioli, 2019). Steller war einer der ersten, der auf die adaptive Bedeutung von Merkmalen und Verhalten hinwies. So stellt er in seiner Arbeit über Fische (Steller, 1753a) fest, dass Wale und lebendig gebärende Knorpelfische äußere Fortpflanzungsorgane haben, während eierlegende Knorpel- und Knochenfische mit Eierstöcken und Samenbläschen keine äußeren Geschlechtsorgane besitzen. In seiner Arbeit über Meerestiere (Steller, 1751) stellt er fest, dass Tiere, die mit Borsten oder kurzen dicken Haaren oder dicker Haut bedeckt sind, direkt unter der Haut eine dicke Fettschicht haben, bei Tieren mit dickem und langem Haar liegt dagegen direkt unter der Haut die Muskulatur und die Fetthülle ist dünn (Novikow, 1948). In der Einleitung zum Artikel über Meerestiere weist Steller auf die Möglichkeit des Einflusses abiotischer Faktoren auf die innerartliche Variabilität von Tieren hin. Er nahm an, dass das Klima einen starken Einfluss auf die Merkmale von Tieren hat, die sich so stark verändern können, dass sie mit neuen Arten verwechselt werden können. Steller findet einen kausalen Zusammenhang zwischen den Nahrungsvorlieben von Meerestieren und ihrer geografischen Verbreitung. So sind Robben, die ein breites Nahrungsspektrum haben, viel weiter verbreitet als Seekühe oder Seeotter, die Nahrungsspezialisten sind. Steller weist darauf hin, dass einige Arten besondere ökologische Ansprüche haben. Der Stellersche Seelöwe und der Nördliche Seebär brauchen einsame Orte, an denen sie große Kolonien bilden, sich paaren und gebären können. Zugvögel wie Enten und Schwäne suchen versteckte Buchten und Inseln auf, um dort zu brüten. Der Belugawal *Delphinapterus leucas* jagt Fische in engen Buchten und bevorzugt daher enge Passagen gegenüber weiten, offenen Flächen, wo er nicht jagen kann. Wie Mattioli (2019, S. 67) zu Recht feststellt: „Mit diesen kurzen Notizen hat Steller wichtige Konzepte der Ökologie vorweggenommen". Steller war der erste, der darauf hinwies, dass die Sumpfgebiete, die Kamtschatka vom kontinentalen Festland trennen, als Barriere wirken, die die Ausbreitung von Tieren verhindert (Lobkow, 2008). Es sei auch darauf hingewiesen,

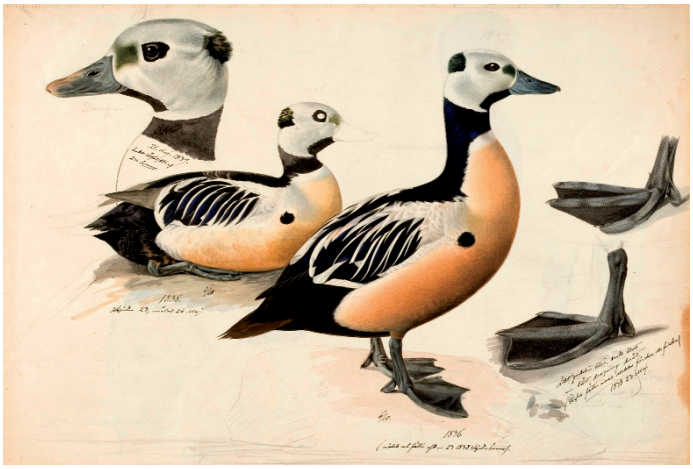


Abb. 5. Stellers Eiderente, *Polysticta stelleri* Zeichnung von Magnus von Wright (1805–1868). Finnische Nationalgalerie, Helsinki.

dass Steller der wirtschaftlichen Bedeutung von Tieren im Leben der Menschen große Aufmerksamkeit schenkte.

Zu Ehren Stellers sind die folgenden Tiere nach ihm benannt. Säugetiere: Die Stellersche Seekuh, *Hydrodamalis gigas* (Zimmermann, 1780) (syn. *Hydrodamalis stelleri* Retzius, 1794). Vögel: Stellers Eiderente, *Polysticta stelleri* (Pallas, 1769); Stellers Blauhäher (Diademhäher) *Cyanocitta stelleri* (Gmelin J.F., 1788). Fische: Stellers Grünling, *Hexagrammos stelleri* Tilesius, 1810; Stellers Groppe, *Myoxocephalus stelleri* Tilesius, 1811; dickhäutiger Anglerfisch, *Aptocyclus ventricosus* (Pallas, 1769) (syn. *Cyclopterus stelleri* Pallas, 1814); Stellers Schwarzflunder, *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt, 1904). Mollusca, Polyplacophora: *Cryptochiton stelleri* (Middendorff, 1847). Mollusca, Gastropoda: *Turbonilla stelleri* Bartsch, 1927. Crustacea, Amphipoda: *Parametopella stelleri* Gurjanova, 1948; außerdem die Trivialnamen Stellers Seelöwe, *Eumetopias jubatus* (Schreber, 1776), Stellers Kormoran (Brillenkormoran), *Urile perspicillatus* (Pallas, 1811) und Stellers Riesenseeadler, *Haliaeetus pelagicus* (Pallas, 1811).

Abschließen möchte ich mit Stellers Worten aus seiner Einführung zu "De bestiis marinis" über seinen unstillbaren Wunsch, das Unbekannte zu erforschen:

„Nec magis in votis habeo, quam quod perlustrata Sibiria, desertorum lustrationem, si nemo hanc in se suscipit spartam, mihi commendare, meque si mea conamina placent, eo muneris ergo in exilium ad aliquot annos mittere dignentur, quo aevum ibi longum trahere possim, quod nimis breve futurum hariolor." [2]

Literaturverzeichnis

Amman I., Gmelin I., Du Vernoi J.C., Steller G.W., Wilde J.Ch., 1742. Musei Imperialis Petropolitani. Vol. 1. Pars prima. Qua continentur res Naturales ex regno animali. Petropoli: Typis Academiae Scientiarum, 755 p.

Amman I., Gmelin I., Steller G.W., 1745. Musei Imperialis Petropolitani. Vol. 1. Pars secunda. Qua continentur res Naturales ex regno vegetabili. Petropoli: Typis Academiae Scientiarum, 636 + 16 p.

Andrejew, A.I., 1965. Essays über die Quellen Sibiriens. Ausgabe zwei. 18. Jahrhundert (erste Hälfte). Moskau, Leningrad: Verlag «Nauka», 364 S. (in russ. Sprache).

Berg, L.S., 1946. Die Entdeckung von Kamtschatka und die Bering-Expedition. Moskau, Leningrad: Isdatel'stwo Akademii Nauk SSSR, 380 S. (in russ. Sprache).

Büchner E. 1891. Die Abbildungen der nordischen Seekuh [*Rhytina gigas* Zimm.]. Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg, VIIe série, t. 38, No 7, 24 S., Tafl.

Catesby M. 1731. The natural history of Carolina, Florida and the Bahama Islands…, vol. 1, London, printed at the expence of the author, 100 p, 100 pls.

Elliot D.G. 1869. The new and heretofore unfigured species of the birds of North America, vol. 2, Published by the author, New York, pls 30-72.

Frost O. 2003. Bering. The Russian Discovery of America. Yale University Press, New Haven & London, 330 p.

Gmelin, J.G., 1751-1752. Reise durch Sibirien von dem Jahre 1733 bis 1743. Göttingen: Verlag Abram Bandenhoecks filii, Wittwe. (Th. 1, 1751, [24] + 468 S.; Th. 2, 1752, [32] + 652 S.; Th. 3, 1752, [20] + 584 S.; Th. 4, 1752, [8] + 692 S.).

[2] Ich wünsche nichts höher, als das, wenn ich durch Siberien gereist bin, mir auch aufgetragen werde möge, die Wüsteneyen durchzusuchen, wofern sich sonst niemand dazu angiebt; und wenn dieses Erbieten angenommen wird, daß ich auf etliche Jahr dahin verbannet werde, und daraus eine Bedienung vor mich machen. Ich würde alda alt genug werden, an statt ich mir sonst ein nur allzu kurtzes Leben propheceye (Steller, 1753b).

Gnucheva, V.F., 1940. Materialien zur Geschichte der Expeditionen der Akademie der Wissenschaften im 18. und 19. Jahrhundert. Chronologische Übersichten und Beschreibung von Archivalien. Archiv Proceedings. Heft 4. Moskau, Leningrad: Isdatel'stwo Akademii Nauk SSSR, 312 S. (in russ. Sprache)

Golder, F.A. 1922-1925. Bering's voyages. An account of the efforts of the Russians to determine the relation of Asia and America. In two volumes. New York: American Geographical Society. (Vol. 1, 1922, x + 371 p; Vol. 2, xi =291 p.).

Grekow, V.I., 1960. Essays aus der Geschichte der russischen geographischen Forschung 1725-1765. Moskau: Isdatel'stwo Akademii Nauk SSSR, 426 S. (in russ. Sprache)

Kolchinsky, E., 2004. The role of eighteenth-century Russian expeditions in the development of natural history. Proceedings of the California Academy of Sciences, 55 (suppl. 2), 106-116.

Kolchinsky, E.I., 2009. G. V. Steller und die russische Steleriana. In: Stellerian in Russland. Herausgeber E. I. Kolchinsky. St. Petersburg: "Nestor-Istoria", 6-35. (in russ. Sprache)

Lobkow, E.G., 2008. Frühgeschichte des Studiums der Vögel von Kamtschatka. Kamtschatka: Ereignisse, Personen: Materialien der XXV. Krasheninnikov-Lesungen. Wissenschaftliche Hrsg. I. V. Viter. Wissenschaftliche Regionalbibliothek Kamtschatka. S. P. Krasheninnikova, 137-154. (in russ. Sprache)

Mattioli, S., 2019. Ecology and biogeography in the introduction to "De bestiis marinis" by Georg Wilhelm Steller. Archives of Natural History, 46.1, 63-74. DOI: 10.3366/anh.2019.054 NOTE: This paper is supplemented by a file presenting the critical edition of the original Latin text of the introduction to "De bestiis marinis" (see https://www.euppublishing.com/doi/suppl/10.3366/anh.2019.0554).

Müller, G.F., 1758. Nachrichten von Seereisen, und zur See gemachten Entdeckungen, die von Rußland aus längst den Küsten des Eißmeeres und auf dem Ostlichen Weltmeere gegen Japon und Amerika gesche-
hen sind. Sammlung Rußischer Geschichte, Petersburg: Bey der Kayserl. Academie der Wissenschaften, 3 (1-3), 304 S.

Novikow, P.A., 1948. G. W. Steller als Zoologe. Tagungsband zur Geschichte der Naturwissenschaften. 24.-26. Dezember 1946. Herausgegeben von Kh. S. Koshtoyants. Moskau, Leningrad: Isdatel'stwo Akademii Nauk SSSR, 265-285. (in russ. Sprache)

Pallas, P.S., 1769. *Cottus iaponicus.* Spicilegia zoologica, quibus novae imprimis et obscur Berolini: prostant apud Gottl. August. Lange, 7, 30-34, tab. 5.

Pallas, P.S., 1811-1814 [1831]. Zoographia Rosso-Asiatica, sistens omnium animalium in extensio imperio Rossico et adjacentibus maribus observatorum recensionem, domicilia, mores et descriptiones, anatomen atque icones plurimorum, 3 Volumena, Petropoli: Officina caes. Academiae Scient. Petropoli impressum. (Vol. 1, 1811 [1831], XXII + 568 p.; Vol. 2, 1811 [1831], VII + 374 p.; Vol. 3 1814 [1831] VII + 428 p.).

Pallas, P.S., [1834(?)-1842]. Icones ad Zoographiam Rosso-Asiaticam, s.l. [Petropoli]: s.a., Fasc. 1-6, S. 1, 2a, [48] kolor. Taf.

Pekarsky, P., 1870. Geschichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg. St. Petersburg. Ausgabe der Abteilung für Russische Sprache und Literatur der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Bd. 1, 774 S. (in russ. Sprache)

Smirnov, A.V., 2019. Die deutschen Wurzeln der russischen Zoologie. II. Peter Simon Pallas. Zoologie 2019. Mitteilungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, 45-62.

Smirnov, A.V. und Ostrovsky, A.N., 2018. Die deutschen Wurzeln der russischen Zoologie. I. Daniel Gottlieb Messerschmidt. Zoologie 2018. Mitteilungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, 29–42.

Sokolow, V.E. und Parnes, Ja.A. 1993. Der Anfang der russischen Theriologie. Moskau: Verlag "Nauka", 412 p. (in russ. Sprache).

Stanyukovich, A.K. 1995. Georg Wilhelm Steller und sein Tagebuch. In: Steller, G.V. Tagebuch des Segelns mit Bering an die Küsten Amerikas 1741-1742. Moskau: IIAN Verlag, 5-14. (in russ. Sprache)

Stejneger L. 1936. Georg Wilhelm Steller. The pioneer of Alaskan Natural History. Cambridge Massachusetts, Harward University Press, 623 p.

Steller, G.W., 1751. De bestiis marinis. Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 2, 289-398.

Steller, W.G., 1753a. Observationes generales universam historiam piscium concernentes (De generatione Piscium). Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 3, 405-420.

Steller, W.G. 1753b. Beschreibung von sonderbaren Meerthieren, mit Erläuterungen und nöthigen Kupfern versehen. Halle: im Verlag Carl Christian Kümmel, 218 S.,+ [18] Tafl.

Steller, G.W., 1758. Observationes quaedam nidos et ova avium concernentes. Cum 4 tabulis aere incisis. Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 4, 411-428.

Steller, G.W., 1774. Beschreibung von dem Land Kamtschatka, dessen Einbewohnern, deren Sitten, Nahmen, Lebensart und verschiedenen Gewohnheiten. Frankfurt; Leipzig: Johann Georg Fleischer, 384 S.

Steller, G.W. 1781 Topographische und physikalische Beschreibung der Beringinsel, welche in östlichem Weltmeer an der Küste von Kamtschatka liegt. Neue nordische Beiträge zur physikalischen und geographischen Erd- und Völkerbeschreibung, Naturgeschichte und Oekonomie, St. Petersburg; Leipzig: bei Johann Zaharias Logan, 2, 255-307 (Vorerinnerung d. Herausgebers P.S. Pallas, S. 255-257).

Steller, G.W., 1793. Reise von Kamtschatka nach Amerika mit Commandeur-Capitän Bering. St. Petersburg: bey Johann Zaharius Lagan, 133 S. Auch: Steller, G.W., Tagebuch seiner Seereise aus dem Petripauls-Hafen in Kamtschatka bis an die westlichen Küssten von Amerika und seiner Begebenheiten auf der Rückreise. Neue nordische Beiträge zur physikalischen und geographischen Erd- und Völkerbeschreibung, Naturgeschichte und Oekonomie, St. Petersburg; Leipzig: bei Johann Zaharias Logan, 5, 129-236, (mit Vorwort des Herausgebers P.S. Pallas, S. 131-132), 6, 1-26.

Steller, G.W., 1996. Beschreibung vom Land Kamtschatka, hrsg. von E. Kasten und M. Dürr. Bonn: Holos, 296 S.

Steller, G.W. 2000. Briefe und Dokumente 1740. / Hrsg. W. Hintzsche, Th. Nickol, O.V. Novochatko. Halle: Franckesche Stiftungen zu Halle, XXXVI + 387 S. (Quellen zur Geschichte Sibiriens und Alaskas aus russischen Archiven; Bd. 1).

Steller, G., 2013. Die Entdeckung Alaskas mit Kapitan Bering: von Sibirien nach Amerika: 1741-1742 / hrsg. von Volker Matthies. Wiesbaden: Erdmann, 271 S.

Tilesius, 1810. Piscium camtschaticorum descriptiones et icones. Mémoires de l'Académie impériale des sciences de St. Petersbourg. 5e sér., 2, 335-375, tab. 15-18.

Tilesius, 1811. Piscium camtschaticorum descriptiones et icones. Mémoires de l'Académie impériale des sciences de St. Petersbourg. 5e sér., 3, 225-285, tab. 8-13.

Waxell, S. 1940. Vitus Berings zweite Kamtschatka-Expedition. Leningrad und Moskau: Verlag Glavsevmorputi, 176 S. (in russ. Sprache).

Waxell, S., 1968. Die Brücke nach Amerika. Abenteuerliche Entdeckungsfahrt des Vitus Bering 1733 - 1743. Reisebericht seines Ersten Offiziers und Stellvertreters Sven Waxell. Ergänzt durch Beschreibungen des mitreisenden Naturforschers G.W. Steller. Olten und Freiburg: Walter-Verlag. 203 S.

Wernadski, W.I., 1988. Studien zur Geschichte der Wissenschaft in Russland. Moskau Verlag «Nauka», 468 p. (in russ. Sprache)

Dr. Alexey V. Smirnov
Zoologisches Institut der Russ. Akademie d. Wissenschaften
St. Petersburg
sav_11@inbox.ru

Nachruf auf Wilhelm Foissner[1]

18. August 1948 – 20. März 2020

Helmut Berger

Am 20. März 2020 ist Prof. Dr. Wilhelm Foissner im Alter von nur 71 Jahren verstorben. Dies ist nicht nur ein großer Verlust für seine Frau, Angehörigen, Freunde und Kollegen, sondern auch für die wissenschaftliche Gemeinde, da er sich mit einer fast unvorstellbaren Hingabe der Taxonomie der Ziliaten (Protista) gewidmet hat.

Wilhelm („Willi") Foissner wurde am 18. August 1948 in Wartberg ob der Aist, einem kleinen Ort in Oberösterreich, geboren. Nach der Schule machte Willi eine Tischlerlehre. 1973 holte er die Matura nach und studierte bis 1979 Zoologie und Botanik an der Universität Salzburg. Seine 585 Seiten starke Dissertation hatte natürlich seine Lieblingsgruppe zum Thema, die Ziliaten der Kleingewässer der Hohen Tauern. Die wissenschaftliche Karriere begann aber schon viel früher, nämlich 1967 mit einem Artikel über die Verbesserung der „trockenen Silbermethode", einem Färbeverfahren, das von Bruno M. Klein (1891–1968) zur Darstellung des Silberliniensystems entwickelt wurde (Foissner 1967). Zu dieser Zeit (1966–1974) arbeitete er ehrenamtlich in einem naturhistorischen Museum, war Assistent in einem medizinischen Labor und Lehrer an einer medizinischen Schule im Krankenhaus der Stadt Linz. Das Silberliniensystem, eine auffallende Struktur im Cortex der Ziliaten dessen genaue Funktion bisher nicht geklärt ist, war das Lieblingsthema seines frühen „Ziliatenlebens". 1982 wurde Willi Dozent und fünf Jahre später Professor für Zoologie. Viele Details zu seinem ereignisreichen Berufsleben, zum Beispiel seine Mentoren, Preise und Ehrungen (z. B. Christian-Doppler-Preis,

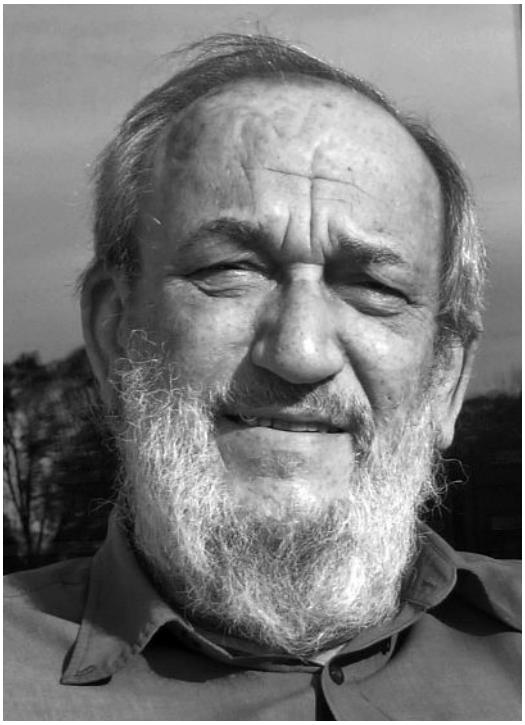


Foto privates Bildarchiv (Ilse Foissner)

1 Veränderte und etwas verkürzte Fassung eines Nachrufes von H. Berger für das European Journal of Protistology, Elsevier (Berger 2021).

Sandoz-Preis für Biologie), seine wissenschaftlichen Reisen (z. B. Namibia, Australien, Südamerika), seine Mitgliedschaften in Gesellschaften und seine Tätigkeiten in der Lehre, als Reviewer und als Herausgeber finden sich in der „Wilhelm Foissner Festschrift", die zu seinem 60. Geburtstag erschienen ist (Aescht und Berger 2008). 2016 erhielt Foissner bei der 35. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Protozoologie die Eduard-Reichenow-Medaille für seine herausragenden Beiträge auf dem Gebiet der Protistenkunde.

Wilhelm Foissner an seinem Arbeitsplatz in der Universität Salzburg, Juni 2007 (Foto L. Caputo)

Willi verbrachte den größten Teil seines wissenschaftlichen Lebens mit der Beschreibung von neuen und der Wiederbeschreibung von bekannten Ziliatenarten. Seine Begeisterung für diese kleinen Organismen resultierte in einer sehr, sehr langen Publikationsliste. Insgesamt publizierte er allein und mit zahlreichen in- und ausländischen KollegInnen etwa 770 Arbeiten, einschließlich 15 Monografien (Aescht 2018). Obwohl er ein Verfechter von gedruckten Werken war, erkannte er zuletzt, dass die meisten Wissenschaftler seit einiger Zeit elektronische Versionen bevorzugen. Daher haben wir all seine Arbeiten (in Summe etwa 17.000 gedruckte Seiten) auf der Website www.wfoissner.at verfügbar gemacht.

Die erste neue Art, die Foissner beschrieb, war *Colpidium kleini* (benannt nach B. M. Klein), ein Bewohner polysaprober Gewässer (Foissner 1969). Die letzten Taxa, denen er sich widmete, waren *Holophrya* und *Pycnothrix monocystoides* (Foissner 2021, Foissner et al. 2020). *Pycnothrix* ist ein ungewöhnliches, bis 5 mm langes Wimpertier, das im Verdauungstrakt des Klippschliefers (*Procavia capensis*) lebt, etwa 2 Millionen Wimpern trägt und mehrere Münder hat. Seine letzte Monographie behandelt die Ziliaten von Australien und einiger anderer Teile der Welt (Foissner und Berger 2021). Eine taxonomische Zusammenfassung für seine Festschrift ergab, dass Foissner bis 2008 Autor von 819 neuen Taxa war: 2 Varianten, 30 Unterarten, 553 Arten, 7 Untergattungen, 174 Gattungen, 1 Unterfamilie, 33 Familien, 9 Unterordnungen, 7 Ordnungen, 3 Unterklassen, 1 Klasse, und 1 Phylum (Berger und Al-Rasheid 2008). Außerdem hat er bis dahin 1965 Wiederbeschreibungen bzw. Reviews von 1361 Taxa publiziert. Bis 2020 haben sich diese Zahlen noch deutlich erhöht (Aescht 2018, Foissner und Berger 2021).

Obwohl Willis Publikationsliste bereits außergewöhnlich umfangreich ist, hat er der wissenschaftlichen Gemeinschaft eine fast unvorstellbare Menge unveröffentlichter Beobachtungen hinterlassen, die in Hunderten von Ringordnern, Tausenden

von Dauerpräparaten und einer unbekannten (aber riesigen) Anzahl von Mikroaufnahmen verteilt sind. Bis in die Nacht vor seinem Tod saß er hinter dem Mikroskop, um seine Ziliaten zu studieren. Ich bin mir sicher, dass es mehrere Jahrzehnte dauern wird, bis dieses Material aufgearbeitet ist. Willis wissenschaftlicher Nachlass (Dias, Notizen, Mikroaufnahmen, Literatur) wird im Oberösterreichischen Museum in Linz deponiert.

Im Jahr 1987 haben Willi und seine Frau die ,,Wilhelm und Ilse Foissner Stiftung'' ins Leben gerufen, um Protozoologen außerhalb des akademischen Umfeldes zu fördern und die klassische Alphataxonomie anzukurbeln. Willi unterrichtete zahlreiche Studierende aus der ganzen Welt. Mit seinem privaten Vermögen unterstützte er viele Kolleginnen und Kollegen, die ihm halfen, die für seine Publikationen so charakteristischen, faszinierenden Abbildungstafeln zu produzieren.

Willi litt viele Jahre an Aneurysmen. Er musste sich mehreren schwierigen Operationen unterziehen, die über lange Zeit starke Schmerzen verursachten. Wegen dieser gesundheitlichen Probleme konnte er seine wissenschaftliche Arbeit nicht mehr so konsequent fortsetzen wie in seinen frühen Jahren, als er fast Tag und Nacht arbeitete. Im März 2020 platzte ein Hauptgefäß und verursachte seinen plötzlichen Tod. Aufgrund der Covid-19-Krise musste die Beerdigung in sehr kleinem Rahmen stattfinden. Die Trauerfeier fand am 18. Juni statt. Hubert von Goisern (alias Hubert Achleitner), ein österreichischer Musiker und Willis Schwager, komponierte den sogenannten ,,Jodler für Willi'' (Albumtitel: Zeiten & Zeichen), um

Die Gedenktafel im Sebastiansfriedhof in Salzburg (Foto H. Berger)

Willi zu würdigen, unter anderem, weil er einen speziellen Ziliaten, *Rigidothrix goiseri*, nach ihm benannt hat; Hubert Achleitner hatte die Bodenprobe während einer Tournee in der Republik Mali gesammelt (Foissner und Stoeck 2006). Bei der Trauerfeier wurde der Jodler zur Uraufführung gebracht. Die Urne wurde auf dem Sebastiansfriedhof in der Stadt Salzburg beigesetzt, wo einige namhafte Persönlichkeiten ihre letzte Ruhestätte gefunden haben, unter anderem Paracelsus (Theophrastus Bombast von Hohenheim; 1493–1541) und die Eltern von Wolfgang Amadeus Mozart.

Wilhelm Foissner wird allen, die ihn persönlich kannten, in Erinnerung bleiben, nicht zuletzt wegen seiner direkten

Natur und seines ungebrochenen Arbeitswillens bis zur letzten Stunde. Ich bin mir sicher, dass Willi einen ähnlichen Status bekommen wird wie andere herausragende Protistologen, zum Beispiel Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876) oder Alfred Kahl (1877–1946).

Literatur

Aescht, E. 2018. The "Microcosm Archive" at the Upper Austrian Museum in Linz (Austria): microscopic specimens, protist library, profiles of main contributors and educational activities concerning unicellulars. Denisia 41, 295–482.

Aescht, E. & Berger, H. (Eds.) 2008. The Wilhelm Foissner Festschrift. A tribute to an outstanding protistologist on the occasion of his 60th birthday. Denisia 23, 1–462.

Berger, H. 2021. Obituary Wilhelm Foissner (1948–2020). European Journal of Protistology 78, 125740.

Berger, H. & Al-Rasheid, K.A.S. 2008. Wilhelm Foissner: nomenclatural and taxonomic summary 1967–2008. Denisia 23, 65–124.

Foissner, W. 1967. Wimpertiere im Silberpräparat. Ein „trockenes" Verfahren zur Darstellung des Silberliniensystems. Mikrokosmos 56, 122–126.

Foissner, W. 1969. Eine neue Art aus der Gattung *Colpidium* (Stein, 1860): *Colpidium kleini* sp. n. (Hymenostomatida, Tetrahymenidae). Acta Protozoologica 7, 17–23.

Foissner, W. 2021. A detailed description of a Brazilian *Holophrya teres* (Ehrenberg, 1834) and nomenclatural revision of the genus *Holophrya* (Ciliophora, Prostomatida). European Journal of Protistology 80, 125662.

Foissner W. & Berger H. (Eds.) (2021): Terrestrial ciliates (Protista, Ciliophora) from Australia and some other parts of the world. Series Monographiae Ciliophorae 5, i–xii, 1–380.

Foissner, W. & Stoeck, T. 2006. *Rigidothrix goiseri* nov. gen., nov. spec. (Rigidotrichidae nov. fam.), a new "flagship" ciliate from the Niger floodplain breaks the flexibility-dogma in the classification of stichotrichine spirotrichs (Ciliophora, Spirotrichea). European Journal of Protistology 42, 249–267.

Foissner, W., Al-Rasheid, K.A.S., Strüder-Kypke, M. & Lynn, D.H. 2020. Morphological and molecular phylogeny of the polycytopharyngeal ciliate *Pycnothrix monocystoides* Schubotz, 1908. Aquatic Ecosystem, Health & Management 23, 79–92.

Publikationsliste von Wilhelm Foissner:
https://www.wfoissner.at/publications.htm

Dr. Helmut Berger
Technisches Büro für Ökologie
Radetzkystrasse 10, 5020 Salzburg
berger.helmut@protozoology.com

Nachruf auf Matthias Schaefer

23. April 1942 - 28. September 2021

Stefan Scheu

Matthias Schaefer ist am 28. September 2021 nach schwerer Krankheit in Göttingen gestorben. Von 1977 bis zu seiner Pensionierung 2007 hat er als Ökologe und Biodiversitätsforscher im Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie der Georg-August-Universität Göttingen gewirkt.

Matthias Schaefer wurde am 23. April 1942 in Berlin geboren. Die Turbulenzen des Krieges veranlassten die Familie Schaefer (Vater Erich, Mutter Waltraut, geb. Kroll, und der zwei Jahre jüngere Bruder Axel) jedoch 1944 Berlin zu verlassen und auf das Gut Kampf bei Magdeburg zu ziehen, das von seinem Großvater bewirtschaftet wurde. Nachdem der Hof des Großvaters jedoch nach dem Krieg enteignet wurde, musste die Familie erneut weiterziehen und versammelte sich 1945 auf dem Gut Marienstein bei Göttingen. Hier verbrachte Matthias Schaefer seine ersten Kindheitsjahre in ländlicher und einfacher Umgebung. Nach drei Jahren zog die Familie in eine größere eigene Wohnung in Rodetal (heute Reyershausen) nahe dem Gut Marienstein, wo Matthias Schaefer eingeschult wurde und bis zur vierten Klasse in die Schule ging. Im Jahr 1951, nachdem sein Vater als Regierungsbeamter rehabilitiert worden war und eine Stelle im Wirtschaftsministerium in Bonn angetreten hatte, zog die Familie nach Bonn. Dort besucht Matthias Schaefer von 1952 bis 1961 das Nicolaus-Cusanus-Gymnasium. In dieser Zeit entwickelt er erste engere Beziehungen zur Biologie, er tümpelt und mikroskopiert gerne. Nach dem Abitur schreibt er sich jedoch zuerst für das Lehramtsstudium mit den Fächern Mathematik und Physik ein. Er wechselt jedoch schon im zweiten Semester auf Biologie und Chemie und folgt damit seinen jugendlichen Vorlieben.

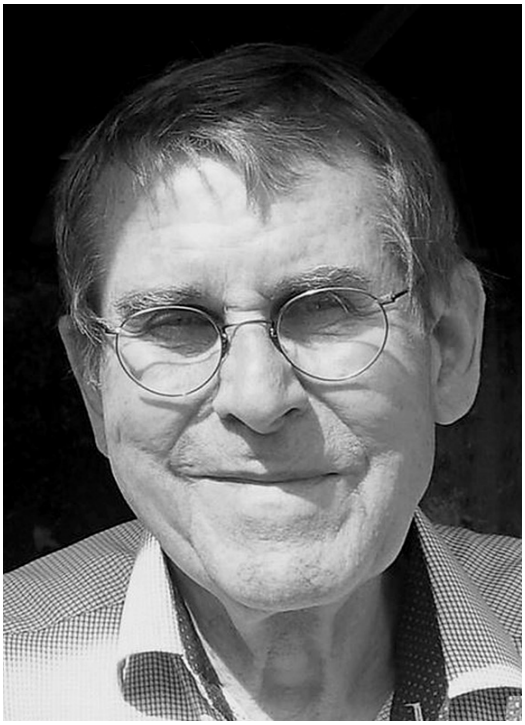


Foto privates Bildarchiv

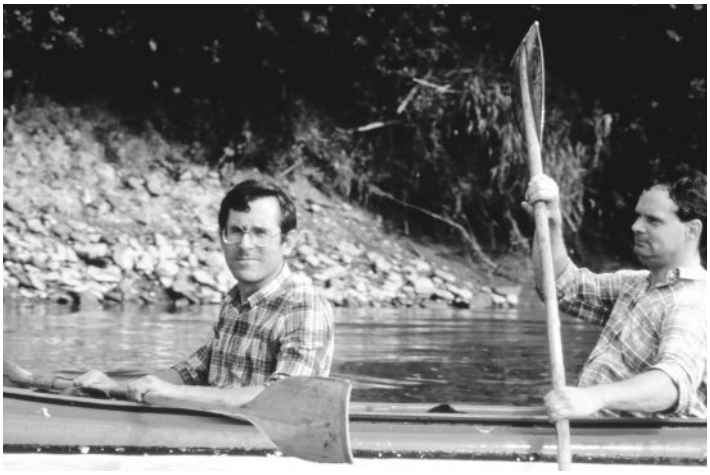
Die Biologie und insbesondere die Zoologie zieht ihn schnell besonders an

und so entscheidet er sich nach dem dritten Semester in Bonn sein Studium in Kiel fortzusetzen, einem Mekka der Zoologie und Ökologie in Deutschland. In Kiel trifft er seine prägenden Lehrer, in der Zoologie Adolf Remane und in der Ökologie Wolfgang Tischler, der den ersten Lehrstuhl für Ökologie in Deutschland besetzt. Wolfgang Tischler wird dann auch sein wissenschaftlicher Ziehvater. Die Ökologie in Deutschland war damals noch wenig international geprägt und weitgehend deskriptiv orientiert, es wird im Wesentlichen in Deutsch publiziert, Internationalität spielt noch eine untergeordnete Rolle. Matthias Schaefer interessiert sich für Spinnen der Salzwiesen, für deren Überwinterungsstrategien und Interaktionen. Er schlägt jetzt eine wissenschaftliche Karriere ein und promoviert und habilitiert in Kiel bei Wolfgang Tischler. Trotz des damals noch sehr deutsch geprägten wissenschaftlichen Umfelds realisiert er früh, dass sich die Ökologie in Deutschland international aufstellen und Anschluss an die schon damals stark experimentell orientierte Ökologie in angelsächsischen Ländern finden muss. Schon in seiner Zeit in Kiel führt Matthias Schaefer erste Experimente in Salzwiesen zur Untersuchung von Konkurrenz bei Spinnen durch.

Kurz nach seiner Habilitation 1977 in Kiel erhält Matthias Schaefer einen Ruf auf eine Professur für Zoologie und später Ökologie in Göttingen. Tatsächlich hatte sich in Göttingen bereits damals ein Zentrum ökologischer Forschung in Deutschland gebildet, geprägt vor allem durch den botanischen Ökologen Heinz Ellenberg. Der Forschungsschwerpunkt hier sind Wälder. Im Rahmen von Großforschungsprojekten werden diese integrativ aus einer ökosystemaren Perspektive untersucht. Matthias Schaefer trifft hier auf Ökologen, die an generellen Fragen der Struktur von Ökosystemen interessiert sind. Schnell war klar, dass dem Boden und dem unterirdischen Nahrungsnetz eine Schlüsselfunktion zukommt. Erste Arbeiten hierzu wurden bereits von seinem Vorgänger, Werner Funke, der 1975 an die Universität Ulm gewechselt war, und dessen Mitarbeitern, von denen Jürgen Schauermann in Göttingen geblieben ist und in die Arbeitsgruppe von Matthias Schaefer übernommen wurde, durchgeführt. So vertieft sich Matthias Schaefer in die Bodenökologie, bleibt jedoch ein sehr breit interessierter und angelsächsisch orientierter Ökologe. Er fungiert für mehr als 10 Jahre als Editor-in-Chief von *Oecologia* und gibt über lange Jahre als Editor-in-Chief eine der führenden bodenbiologischen Zeitschriften, *Pedobiologia*, heraus. Seine Arbeitsgruppe wird nach seiner Ankunft in Göttingen schnell größer und durch Bleibeverhandlungen nach Rufen an die Universitäten Bayreuth (1984) und Tübingen (1985) auch besser ausgestattet.

Tiergemeinschaften im Boden gehören zu den komplexesten Systemen auf unserem Planeten. Auf kleinstem Raum lebt eine Vielzahl unterschiedlicher Tiergruppen (und natürlich Mikroorganismen) und diese tragen zu wesentlichen Funktionen des Ökosystems bei, in erster Linie der Zersetzung von Streumaterialien und der Rückführung von Nährstoffen. Matthias Schaefer beginnt diese Tiergemeinschaften umfassend und im Detail zu untersuchen. Die ersten Doktorarbeiten sind

noch stark deskriptiv orientiert, was auch der Tatsache geschuldet ist, dass zu damaliger Zeit über die Struktur von Zersetzergemeinschaften im Boden wenig bekannt ist. Mit Fokus auf Buchenwälder, vor allem dem Göttinger Wald und dem Solling, werden Tiergemeinschaften im Boden in bisher nie dagewesenem Detail erkundet. Auf der Basis der detaillierten deskriptiven Untersuchungen folgen später experimentell analytische Untersuchungen. Jetzt wird konsequent in Englisch publiziert und seine Doktorand:innen und Post-Doktorand:innen nehmen an internationalen Konferenzen teil. Er selbst bleibt aber auch weiter den Spinnen treu und auf einer arachnologischen Tagung in Panama trifft er einen gleichgesinnten amerikanischen Arachnologen und Ökologen, David Wise, der fest in der angelsächsischen Tradition eines experimentellen Ökologen steht. Der Austausch ist fruchtbar und führt dazu, dass David Wise für ein Sabbatical nach Göttingen kommt. Beide bleiben sich zeitlebens eng verbunden. Der Austausch führt auch dazu, dass die experimentelle Ausrichtung und die Integration der Ökologie in Deutschland in die internationale, stark angelsächsisch geprägte Ökologie schneller Fortschritte macht. Matthias Schaefer fungiert so immer stärker als Wegbereiter der modernen Ökologie in Deutschland. Hierzu trägt auch sein Wörterbuch der Ökologie bei, in dem er umfassend und prägnant in das wissenschaftliche Gebäude der Ökologie einführt, und zu allen deutschen Termini auch das entsprechende englische Pendant angibt. Insgesamt hat Matthias Schaefer 36 Doktorarbeiten und vier Habilitationen betreut. Er hat dabei seinen Doktoranden und Assistenten sehr große Freiheit gelassen und sie nach bestem Wissen und Gewissen gefördert. Die Betreuung war geprägt von Achtung vor seinen Schülern, Besonnenheit und Zurückhaltung, er hat aber auch immer mit kritischem Blick Leitlinien gegeben. Als ich selbst 1981 von der Universität Tübingen nach Göttingen gewechselt bin, war ich früh von der freundlichen und offenen Art des Umgangs mit Studierenden durch Matthias Schaefer angetan. Schnell hat mich dann auch die vitale und angenehme Atmosphäre der Arbeitsgruppe angezogen, in die ich dann bald als Mitglied aufgenommen wurde.

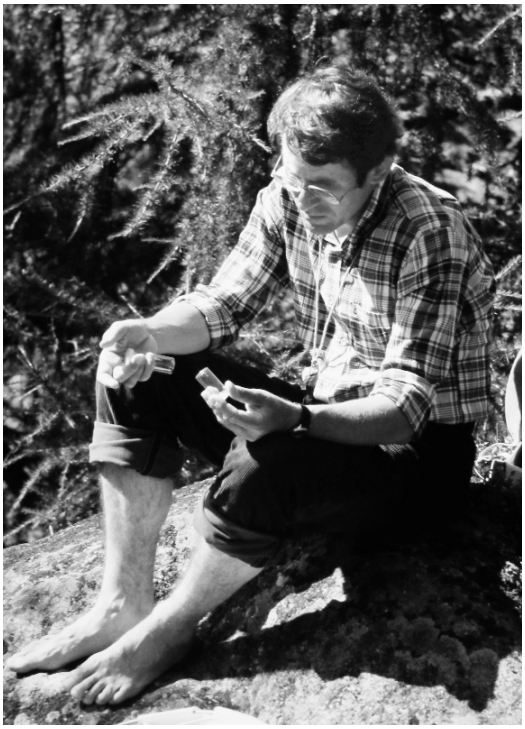


Abteilungsausflug, Paddeln auf der Werra, mit seinem langen Weggefährten Jürgen Schauermann Bild Stefan Scheu

Die von ihm in den 1990er Jahren erstellten Synthesearbeiten, die auf den vielen Doktorarbeiten seiner Arbeitsgruppe

aufbauen, geben erstmals umfassenden Einblick in die Struktur von Tiergemeinschaften im Boden und deren Funktionen. Einem breiten Kreis hat er die Ergebnisse in einer Trilogie von Kapiteln in dem von Ernst Röhrig und Bernhard Ulrich 1991 herausgegebenen Werk „Temperate Deciduous Forests" in der Reihe „Ecosystems of the World" zugänglich gemacht. Sein 1990 in *Oecologia* verfasster Artikel „The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget" bildet noch heute die Basis für Untersuchungen von Nahrungsnetzen und Ökosystemfunktionen von Bodentiergemeinschaften, die wir jetzt mit verfeinerten Methoden wie der Analyse der natürlichen Variation von stabilen Isotopen, Fettsäure- und Aminosäuremustern sowie molekularer Darminhaltsanalyse untersuchen. Seine Arbeiten waren für diese heute mehr im Zentrum ökologischer Forschung stehenden Arbeiten wegweisend.

Bodenökologie hat lange Zeit ein relativ isoliertes Dasein abseits der allgemeinen Ökologie geführt. Dies zeigt sich auch heute noch in unterschiedlichen Publikationsorganen beider Richtungen. Diese Trennung zu überwinden und bodenökologische Forschung in allgemein ökologische Forschung zu integrieren war ein wichtiges Anliegen von Matthias Schaefer und dieses Anliegen hat auch mich selbst stark geprägt. Er selbst hat sich nie als Bodenökologe, sondern als Ökologe verstanden, der sich für allgemeine Prinzipien der Organisation von Lebensgemeinschaften interessiert. Zur stärkeren Integration bodenökologischer und vor allem bodenzoologischer Forschung haben seine frühen Arbeiten im Rahmen des DFG Sonderforschungsbereichs 135 „Ökosysteme auf Kalkgestein" und daran anschließenden Folgeprojekte im Rahmen der Waldschadensforschung, die vom BMBF finanziert wurden, wesentlich beigetragen. In diesen Arbeiten wurde deutlich, wie wichtig Bodentiere für Stoffumsatzprozesse in Wäldern sind und dass die Struktur von Bodentiergemeinschaften ähnlichen Steuerungsprozessen unterliegt wie oberirdische Gemeinschaften. Später hat Matthias Schaefer in verschiedenen anderen Verbundvorhaben diese Themen und die Integration bodenökologischer Forschung in Ökosystemforschung und „Community ecology" weiter vorangetrieben. Hier sind z.B. die



Exkursion in die Steiermark 1984 – Besonnene Bestimmung der gesammelten Tiere
Bild Stefan Scheu

DFG Graduiertenkollegs „Landwirtschaft und Umwelt", „Wertschätzung und Erhalt der Biodiversität" und „Bedeutung der Biodiversität für Stoffkreisläufe und biotische Interaktionen in temperaten Laubwäldern" sowie das „Functional biodiversity research centre" der Universität Göttingen zu nennen. Aktiv beteiligt hat er sich aber auch an dem DFG Sonderforschungsbereich „Stability of rainforest margins in Indonesia". Wichtige Kooperationspartner und Freunde waren hier Christoph Leuschner und Teja Tscharntke. Geprägt waren diese Zusammenarbeiten von der integrativen und verbindlichen Art von Matthias Schaefer und dies hat zu der Tradition von integrierten Verbundvorhaben im Bereich der Biodiversitätsforschung an der Universität Göttingen wesentlich beigetragen, die bis heute erfolgreich weitergeführt wird.

Der Weg der Ökologie in Deutschland, den Matthias Schaefer von den 1970er bis in die 2020er Jahren begleitet hat, war weit, facettenreich und erfolgreich. Tatsächlich gehört Deutschland heute zu den weltweit führenden Nationen auf dem Gebiet der Ökologie. Dass dies so gekommen ist, verdanken wir auch Matthias Schaefer. Hierzu haben nicht nur seine Schüler, wie z.B. Volkmar Wolters, Michael Bonkowski und Werner Ulrich, sondern in der Zwischenzeit auch wesentlich seine sozusagen wissenschaftlichen Enkel beigetragen. Zu nennen sind hier z.B. Klaus Birkhofer, Nico Eisenhauer, Stefan Geisen, Mark Maraun, Marko Rohlfs und Liliane Ruess. Der Kreis ist also geschlossen und seine Vision einer Integration der deutschen Ökologie in das internationale Feld ist nicht nur Realität geworden, mit Zentren der Ökologie wie dem iDiv in Leipzig hat sich die Ökologie in Deutschland zu einem internationalen Magneten entwickelt, wobei Göttingern weiterhin eine der führenden Universitäten ist, was wesentlich auch ein Verdienst von Matthias Schaefer ist. An der Entwicklung des Bachelor-Studiengangs „Biologische Diversität und Ökologie", dem Master-Studiengang „Biodiversität, Ökologie und Evolution" wie auch dem Promotionsprogramm „Biologische Diversität und Ökologie" war er maßgeblich beteiligt. Für mich war es eine besonders glückliche Fügung, dass ich nach meiner Habilitation unter seiner Leitung und 11 Jahren als Professor für Zoologie und Ökologie an der Technischen Universität Darmstadt 2008 seine Nachfolge an der Georg-August-Universität Göttingen antreten durfte. Auch nach seiner Pensionierung blieb Matthias Schaefer der ökologischen und bodenökologischen Forschung eng verbunden und hat sich noch bis kurz vor seinem Tod aktiv an den Seminaren meiner Arbeitsgruppe beteiligt.

Neben seinen wissenschaftlichen Arbeiten und der Lehre war auch die wissenschaftliche Selbstverwaltung und Mitarbeit in wissenschaftlichen Gremien für Matthias Schaefer ein wichtiges Anliegen. So war er mehrfach Direktor des Johann-Friedrich-Blumenbach-Instituts für Zoologie und Anthropologie (damals II. Zoologisches Institut) und Dekan der Fakultät für Biologie und Psychologie. Auch hat er mehrere Jahre in der Senatskommission der DFG „Stoffe und Ressourcen in der Landwirtschaft" mitgewirkt. Zudem war er Mitglied der Mainzer Akademie der Wissenschaften.

Eine wichtige Komponente des wissenschaftlichen Wirkens von Matthias Schaefer war seine Passion Wissen zu kondensieren und zu vermitteln. Dies betrifft nicht nur die Ökologie, wie in seinem Wörterbuch eindrücklich dokumentiert, sondern auch die Ausbildung im Bereich der Diversität der Tiere und das heißt natürlich der Diversität der Welt der Wirbellosen. Er hat die Vielfalt von Organismen in der Lehre sehr hoch gehalten, in Kursen, Vorlesungen und Exkursionen. Vor allem die zweiwöchigen großen Exkursionen sind unvergessen für mich und alle anderen, die dabei waren. Er hat sich ebenso mit unglaublicher Hingabe und Beharrlichkeit einem Werk gewidmet, das die Fauna ganz Deutschlands abdeckt, dem Brohmer. Schon bei Tischler hatte er begonnen an diesem Werk mitzuarbeiten. Er hat es dann später als Herausgeber und federführender Autor grundlegend neugestaltet und erweitert, sodass es heute im Grunde sein Werk ist (und nicht mehr das von Paul Brohmer, wie der Name suggeriert). Noch bis kurz vor seinem Tod hat er an der 26. Auflage gearbeitet; diese Arbeiten haben ihm Kraft und Zuversicht gegeben. Das Buch ist eine beeindruckende Hinterlassenschaft, es sucht international seinesgleichen. Neben seinen Büchern umfasst die Publikationsliste von Herrn Schaefer über 170 wissenschaftliche Artikel.

Ökologen und Biodiversitätsforscher in Deutschland und darüber hinaus werden Matthias Schaefer vermissen. Er nimmt einen wichtigen Platz in der Geschichte der Ökologie in Deutschland ein, er wird nicht vergessen werden. Wir werden ihn als Lehrer und Wegbereiter der Ökologie und Biodiversität, vor allem aber auch als Mensch mit einem großen Herzen in Erinnerung behalten. Matthias Schaefer hinterlässt seine Frau Michaela Schaefer und drei Kinder, Nikola Scott, Stephan Schaefer und Christoph Schaefer.

Prof. Dr. Stefan Scheu
J.F. Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie
Georg August Universität Göttingen
Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen
sscheu@gwdg.de

Nachruf auf Peter Weygoldt

24. April 1933 – 23. Oktober 2021

Gabriele Uhl

Peter Johann Hennig Weygoldt wurde als Sohn von Hanna Weygoldt, geborene Wienholz, und Walter Weygoldt in Wilhelmshaven geboren. Er wurde in den ersten Lebensjahren viel umgezogen - von Bremen, nach Berlin, Brandenburg, Kolberg und zurück nach Bremen. Er besuchte Volkschulen in Kiel und Berlin, und von 1943-1945 besuchte er mehrere Oberschulen in Neubrandenburg und auch in Kolberg (heute Polen), wo er mit Mutter und Schwester bei Verwandten auf einem Hof wohnte. Er hat über zehn Mal die Schule gewechselt, was damit zu tun hatte, dass der Vater eine Laufbahn im Militär einschlug. Dieser war bei der Luftwaffe Major des Generalstabs, wurde 1939 zum Oberstleutnant ernannt und fiel während des Zweiten Weltkrieges im September 1943 in Riga. Aus Kolberg floh die Mutter mit Peter und seiner drei Jahre jüngeren Schwester nach Bremen-St. Magnus. In Bremen-Vegesack hat Peter am Gerhard-Rohlfs-Gymnasium am 9. Februar 1952 das Abitur mit der Note sehr gut in Biologie abgelegt.

Peter interessierte sich schon als Kind sehr für Tiere. Er fing Maulwurfsgrillen, Gelbrandkäfer, Molche und Kreuzottern, hielt sie in Terrarien und Aquarien, um sie zu beobachten, und ließ sie später wieder frei. Noch aus seiner Gymnasialzeit stammt seine erste Veröffentlichung über Haltung und Zucht von Süßwassergarnelen im Aquarium. Peter war viel mit dem Fahrrad

Foto: Sylvia Weygoldt

unterwegs, suchte Straßengräben und Teichufer ab und drehte Steine und Baumstämme um. Er war ein junger Waldläufer und plante zunächst Förster zu werden. Davon wurde ihm abgeraten, da das Geld für ein Mofa fehlte, welches man für die Ausbildung gebraucht hätte. Seine Mutter arbeitete als Krankengymnastin in Bremen und die finanziellen Mittel waren beschränkt. Dennoch ermöglichte sie den Kindern eine gute Ausbildung. Peter begann 1952 das Studium der Biologie an der Christian-Albrechts-Universität Kiel, auch weil er dort bei seiner Tante wohnen konnte. In Ermangelung des Fahrgelds fuhr Peter mit dem Fahrrad bis nach Bremen um Mutter und Schwester zu besuchen.

Im Laufe seines 6-jährigen Studiums verbrachte Peter auch ein Jahr an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, wo er von dem Verhaltensforscher und Begründer der Zeitschrift *Ethology*, Otto Köhler, inspiriert wurde und auch mit dem Limnologen Dr. Hans-Joachim Elster in Kontakt kam. Elster leitete seit 1948 die zunächst private hydrobiologische Station in Falkau im Schwarzwald. Er bot für die Universität Freiburg limnologische Kurse an, sowie Exkursionen zu verschiedenen Schwarzwaldseen, an denen Peter mit Freude teilnahm. Er hat bei dieser Gelegenheit mit Peter Götz, später Professor in Berlin, den Windgefällweiher und den Schluchsee vom Boot aus mit Taucherbrille erforscht. Zurück in Kiel arbeitete er an entwicklungsbiologischen Vorgängen bei Crustaceen unter August Remane und Rolf Siewing. Die Dissertation fertigte er zum Thema "Die Embryonalentwicklung des Amphipoden *Gammarus pulex pulex* (L)" an. Am 19.02.1958 bestand er die mündliche Promotionsprüfung und bekam für die Dissertation ein sehr gut (Opus valde laudabilis). Seine Erfahrungen in der Aufzucht von Tieren in Terrarien und Aquarien und seine geduldige Beobachtungsgabe waren sicher von Vorteil und prägten auch sein Interesse an der Entwicklungsbiologie, Reproduktionsbiologie und der Verhaltensforschung.

Nach seiner Promotion wurde ihm eine Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Rahmen eines DFG Projekts von Rolf Siewing angeboten. Diese Stelle trat Peter Weygoldt am 01.06.1957 für ein Jahr an. Damals bekam man übrigens für eine Mitarbeiterstelle 500 DM Gehalt. Schon im April 1960 zog er wieder in den Süden Deutschlands, wo er bei der Anstalt für Bodenseeforschung arbeitete, wohl vermittelt durch oder auch betreut von Prof. Elster. Seine Aufgabe war reine Literaturarbeit, was ihm nicht gut gefallen hat. Inzwischen war Prof. Werner Ulrich von der Freien Universität Berlin auf Weygoldt aufmerksam geworden und bot ihm eine Assistentenstelle an. Der wechselte freudig und forschte und lehrte vom 1. November 1960 bis Oktober 1965 als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl von Prof. W. Ulrich, dem Begründer der Archicoelomata-Theorie. Peter habilitierte sich am 14.02.1964 über „Vergleichend-embryologische Untersuchungen an Pseudoskorpionen (Chelonethi)". Die Pseudoskorpione sammelte er unter anderem auf den Dünen der Nordsee, auf Ostseeinseln und vor Ort im Bienenhaus der FU Berlin. Publikationen aus der Zeit in Berlin zeigen die Vielfalt der Themen, an denen Peter arbeitete: Entwicklungsbiologie und Neurobiologie von Muschelkrebsen, Asseln und „höheren" Krebsen sowie vergleichende Untersuchungen entwicklungsbiologischer Vorgänge bei Arthropoden. Letztere stellte er in einen stammesgeschichtlichen Kontext. Diese Vielfalt und auch das Interesse an stammesgeschichtlicher Betrachtung zieht sich durch Peter Weygoldts Werk.

Peter suchte nach einer Möglichkeit ins Ausland zu gehen und wurde ans Duke University Marine Laboratory in Beaufort in North Carolina eingeladen. Peter hatte aber inzwischen Bernhard Hassenstein kennengelernt, der 1960 als Nachfolger von Otto Köhler an die Universität Freiburg berufen wurde. Hassenstein hat sich für Peter eingesetzt, und so wurde ihm eine Stelle in Freiburg angeboten. Nun war Peter in einem Dilemma der besonderen Art. Es schien als müsse er sich zwischen einer festen Stelle in Freiburg und einem längeren Forschungs-

aufenthalt am Duke Marine Laboratory entscheiden. Die Lösung war ungewöhnlich. Er ging nach Beaufort und in Freiburg hielt man ihm die Stelle für zwei Jahre frei.

Peter forschte in Beaufort von Oktober 1965 bis April 1967 als research associate bei John DeForest Costlow zur Entwicklung von Crustaceen. Costlow war besonders interessiert an entwicklungsbiologischen und ökotoxikologischen Themen, die er vor allem an Crustacea (Garnelen, Schwimmkrabben, Rankenfüßer) und Moostierchen untersuchte. Peter sollte dort die histologische Untersuchung der Entwicklung und Metamorphose von Krabbenlarven voranbringen und sich vor allem mit der Neurosekretion beschäftigen. Letzteres scheint, wie er in einem Brief schrieb, nicht gut geklappt zu haben, so dass er sich mit einer Hautdrüse, dem Y-Organ, und anderen Organsystemen von Krebstieren beschäftigte und weiterhin an Pseudoskorpionen forschte. Für die Suche nach Pseudoskorpionen nutze der die Mittagspausen und hat an freien Tagen Pseudoskorpione auf den kleinen Inseln vor der Küste North Carolinas, in den Dünen und unter Rinde in den Pinienwäldern gefangen. Auf der Suche nach Pseudoskorpionen bei einer Sammelreise nach Florida stieß er dann auf die ersten Geißelspinnen und sammelte mehrere Exemplare, um das Paarungsverhalten und die Entwicklung zu beobachten. Über Taxonomie, Systematik und Verhalten der Amblypygen war damals nur sehr wenig bekannt, und es reizte ihn, mehr über diese seltsamen Tiere zu erfahren und einen Vergleich mit den Pseudoskorpionen anzustellen. Der Ausflug zu den Geißelspinnen sollte eigentlich nur ein Nebenprojekt sein, wurde aber in den folgenden Jahren zunehmend zu einem zentralen Thema seiner Forschung. Neben seiner Arbeit an Crustaceen, Pseudoskorpionen und Amblypygen hat er in Beaufort auch Anolis, Strumpfbandnattern und Rote Königsnattern gefangen und beobachtet - typisch für sein großes Interesse an der Vielfalt der Lebensformen. Später erzählte er immer wieder gerne, wie man Königsnattern von den fast gleich gefärbten giftigen Korallenottern unterscheiden kann: an der Farbfolge und nicht erst durch den Biss.

Beaufort war auch privat ein entscheidender Ort für Peter Weygoldt. Er war in dem kleinen Küstenort bekannt, nicht nur weil er aus Deutschland kam, sondern auch weil man ihn an allen möglichen und unmöglichen Plätzen beobachten konnte, wie er zum Beispiel kauernd im Straßengraben nach etwas suchte, dessen Bedeutung man sich nicht vorstellen konnte. 1966 war Sylvia Möhring zu Gast bei ihren Eltern in Beaufort und die beiden kamen in Kontakt. Schon zwei Monate später heirateten sie. Das Interesse Sylvias an der Tierwelt war ein wichtiges verbindendes Element für die beiden während ihrer 55jährigen Ehe. Sylvia teilte seine Begeisterung und war bei vielen Sammelreisen dabei. Auf ihrer ersten gemeinsamen Reise, der Hochzeitsreise, fuhren sie mit einem Auto nach Florida und dann über die Westküste nach Washington State. Schon in Florida wurde selbstverständlich auch gesammelt, diesmal Geißelspinnen. Die kostbaren Tiere wurden im Hotelzimmer versorgt, verstarben aber leider in einer sehr kalten Nacht am Grand Canyon.

Vor den Umzug nach Freiburg wurde noch ein Forschungsaufenthalt von Mai bis September 1967 an den Friday Harbour La-

bortories der University of Washington in Seattle eingeschoben. Dort forschte Peter an der Entwicklung von Crustaceen und der Biologie von Pseudoskorpionen weiter und lehrte zur Embryologie von Invertebraten. Ab September 1967 wechselte er auf die für ihn freigehaltene Oberassistentenstelle am Biologischen Institut I (Zoologie) der Universität Freiburg. Am 21.12.1978 erfolgte die Ernennung zum Außerplanmäßigen Professor.

In seiner Zeit in Freiburg widmete er sich intensiv den Amblypygen. Durch den Umstand, dass die Eltern seiner Frau in Brasilien Land besaßen, konnte er seine Forschung an dieser Tiergruppe nach Südamerika ausdehnen. Gleich auf der ersten Reise fand er Tiere zweier unbeschriebener Arten. Bei seinen Artbeschreibungen beschränkte er sich nicht auf morphologische Beschreibungen an fixiertem Material, er versuchte Tiere lebend nach Hause zu bringen und ihr Fortpflanzungsverhalten in liebevoll ausgestatteten Terrarien zu beobachten und zu beschreiben. Er hatte ein ungewöhnlich gutes Händchen für die Bedürfnisse der Tiere und diese vermehrten sich gut. So konnte er Merkmale entdecken, die bis dato unbekannt waren, zum Beispiel die komplexen und artspezifischen Merkmale der am Boden abgesetzten Spermatophoren. Später schrieb er einen Übersichtsartikel über Spermienübertragung bei Spinnentieren, auch heute noch eine wichtige Referenz.

Ebenfalls in Brasilien kam Peter in Kontakt mit der Vielfalt neotropischer Froscharten. Er hat viele Nächte lang deren Rufe aufgenommen und Tiere gefangen, die er mit nach Freiburg brachte. Dort hat er dann die Terrarien der Amblypygen in tropisch anmutende Terrarien für Dendrobaten, Phylomedusen und Pipa-Arten umgestaltet und sich vor allem in den 80er und frühen 90er Jahren fast ausschließlich mit der Fortpflanzungsbiologie von Fröschen beschäftigt. Besucher, die seine Vorliebe nicht kannten, fragten, ob es im Haus Singvögel gäbe, denn die Rufe der tropischen Frösche schallten aus dem unteren Stockwerk herauf ins Wohnzimmer wie zartes Vogelgezwitscher. Die Arbeiten über tropische Frösche sind sehr schöne Arbeiten zur Verhaltensökologie dieser interessanten Tiere. Auch Umweltschutz und Umweltveränderung hat er thematisiert, u.a. mit seinem Artikel über Frösche als Indikatoren für Umweltzerstörung in Brasilien.

In der Freiburger Zeit veröffentlichte Peter neben den spezielleren Arbeiten zu Geißelspinnen, Geißelskorpionen (Uropygen) und tropischen Fröschen einige Arbeiten, die weltweite Beachtung fanden und heute noch viel zitiert werden. Es sind vor allem die Arbeiten über „Morphologie, Taxonomie und Phylogenie der Chelicerata“ (in Koauthorenschaft mit Hannes Paulus) und über die „Embryologie und Phylogenie der Arthropoden“. Diese Arbeiten werden gerade heute wieder verstärkt im Rahmen der Diskussion zu den Verwandtschaftsverhältnissen der Cheliceratengruppen untereinander zitiert.

Nach seiner Pensionierung im September 1995 wendete sich Peter wieder den Amblypygen zu, um noch einige offene Fragen zu klären, die sich auf die Taxonomie und Systematik der Tiere bezogen. Seine letzte Arbeit erschien 2013 - jedoch nicht zu Amblypygen, sondern zu Spermientransfer und mütterlicher Brutpflege bei Geißelskorpionen - in Koautorenschaft mit Siegfried Huber.

Seine Forschungsreisen, die er hauptsächlich im Rahmen seiner Amblypygenforschung unternahm, brachten ihn nicht nur nach Brasilien, sondern auch nach Panama und Costa Rica, nach Kenya, Namibia, Südafrika und São Tomé, Seychellen, Neukaledonien, Oman und Saudi-Arabien. Er hat seine Reisen akribisch vorbereitet und begann oft schon mehr als ein Jahr vor der Reise mit der Planung und Kontaktaufnahme mit Zoologen vor Ort. Seine Frau Sylvia hat ihn auf fast allen Reisen begleitet und beim Sammeln unterstützt, vor allem als die vier Kinder etwas größer waren. Manchmal war auch eines ihrer Kinder dabei und half mit. Die Geißelspinnen wurden nachts im Schein der Taschenlampe aufgespürt - in hohlen Bäumen, in engen Höhlen, und auf Rhodos sogar in den städtischen Katakomben. Peter benutze zum Fang nur seine Hand und ein Stofftaschentuch. Die Fangmethode mit der Hand war effizient, da man so auch in Ritzen kam, die man mit einem Fanggefäß nicht so einfach erreicht hätte. Auch minimierte der Fang mit der Hand eine Verletzungsgefahr der Tiere, denn die ersten Beinpaare der Geißelspinnen sind sehr lang. Er meinte noch zur Verwendung des Taschentuchs im Vergleich zur bloßen Hand, dass mit dem Taschentuch die Pedipalpendornen der Tiere nicht ganz so weh taten. Seine Frau Sylvia, die auch bei der Reise in den Oman dabei war, als Peters Mobilität schon eingeschränkt war, ist angeseilt in die engsten Fledermaushöhlen gekrochen um die schnellen Tiere mit bloßer Hand zu fangen.

Peter Weygoldt war ein bescheidener Mensch, der sich bei wissenschaftlichen Diskussionen im Institut in größeren Runden meist zurückgehalten hat. Auch Vorträge in großer Runde hat er gerne vermieden. Im Gespräch in kleineren Gruppen jedoch zeigte er sein gut fundiertes Wissen und sein lebhaftes Interesse an ganz verschiedenen biologischen Phänomenen. Auf Grund seiner Zurückhaltung wirkt er neben den Ordinarien Osche, Hassenstein und Sander etwas blass. Die internationale Reputation seiner gründlichen Arbeiten ist jedoch groß und seine Arbeiten sind wegweisend. Vieles, was Peter erforscht hat, ist heute noch „state of the art". Wenn sich zum Beispiel jemand für Pseudoskorpione oder Amblypygen interessiert, empfiehlt es sich dringend, das jeweilige Buch zur Biologie der Tiergruppe von Weygoldt zu lesen (Biology of Pseudoscorpions, Harvard University Press 1969; Whip Spiders: Apollo Books 2000). Er hat schon ab 1966 auf Englisch publiziert. Das war damals überhaupt nicht selbstverständlich. Durch seine Publikationen zur Fortpflanzungsbiologie der verschiedenen Tiergruppen hat Peter viele junge ForscherInnen weltweit inspiriert, sei es im Bereich Taxonomie, Systematik, Verhaltensbiologie oder Phylogenetik. Für sein Lebenswerk hat Peter 2013 den Simon Award der International Society of Arachnology (ISA) bekommen und wurde schon 2004 im Rahmen der ISA Tagung in Gent als Ehrenmitglied in die ISA aufgenommen.

Peter pflegte einen klar geregelten Arbeitstag. Morgens war er früh in seinem Büro im Institut, versorgte diejenigen Amblypygen, die in einem Kämmerchen direkt neben seinem Büro gehalten wurden, hielt Vorlesungen zur Morphologie und Evolution von Invertebraten, erledigte Organisatorisches und fuhr um ca 11:30 wieder nach Hause, wo nach dem Mittagessen und einem Schläfchen die Forschungsarbeit be-

gann. Kurz nach Antritt der Stelle in Freiburg hatte die Familie ein Haus im wunderschönen Münstertal bei Staufen gekauft und gleich noch ein daran grenzendes Feld dazu. Mit viel Liebe legten Peter und Sylvia den großen Garten an, mit einem Waldbereich und mehreren Teichen. Sein großes Arbeitszimmer im unteren Geschoss führte über eine Glastür direkt in den Garten. In diesem Zimmer waren sein Schreibtisch und die vielen wunderbar eingerichteten Terrarien, in denen er die erstaunlichsten Beobachtungen machte. Es war eine Forscher- und Denkerstube wie man sie sich nur wünschen kann.

In den letzten Jahren konnte er sich wegen einer schleichenden Neuropathie nicht mehr mit den Tieren beschäftigen und ungefähr im Jahr 2013 gab er die Forschung auf. Zunächst konnte er sich noch um den Garten kümmern, was jedoch immer weniger möglich war. Er hatte aber immer Freude daran, bei schönem Wetter mit seiner Frau Sylvia auf den Garten zu blikken, Tiere zu beobachten und von den vielen Veränderungen des Gartens im Laufe der Jahre zu erzählen.

Peter starb mit 88 Jahren friedlich in seinem Haus im Beisein seiner Frau Sylvia. Er hinterlässt zwei Töchter und zwei Söhne und elf EnkelInnen, von denen einige in der Nähe wohnen und bei den Großeltern ein und aus gingen. Den Kindern und Enkeln hat er seine Waldläuferkenntnisse vermittelt, zum Beispiel wie Ameisenstaaten aufgebaut sind, wie man Feldgrillen mit Grashalmen aus den Bauten holt oder wie man am pazifischen Strand Sandkrabben findet. Seine Begeisterung für die Tierwelt lebt in seinen Kindern und Enkeln und in vielen WissenschaftlerInnen weiter.

Ich selbst habe Peter – damals für mich natürlich noch Prof. Weygoldt – als Dozent im Großpraktikum Zoologie in Freiburg kennengelernt. Ich habe mich in meiner Diplomarbeit und später auch Doktorarbeit mit Paarungsstrategien und Sexueller Selektion beschäftigt. Die Eigenständigkeit, die in seiner Gruppe möglich war, habe ich sehr genossen. Falls Fragen aufkamen war er da und hat sich Gedanken gemacht – er hat aber nie zu irgendetwas gedrängt. Als es ans Verfassen der ersten Manuskripte ging, hat er meine Texte gegengelesen und hilfreich kommentiert und mich in die ungeschriebenen Gesetze des Publizierens eingeführt. Er hat immer Anteil genommen – an meiner Postdoc-Zeit mit den vielen Ortswechseln, der unsicheren Perspektive bis zur festen Professur in Greifswald – und an meiner Familie. Seine stille Unterstützung aus der Ferne, hat mir gutgetan und mich auf meinem Weg bestärkt. Dafür bin ich sehr dankbar.

Eine Würdigung des Werks von Peter Weygoldt mit einem Schriftenverzeichnis findet sich im Sonderband des Zoologischen Anzeigers 273. Dort sind neben einem Editorial 22 Orginalarbeiten zu finden, die sich auf das Werk von Peter Weygoldt beziehen oder von diesem inspiriert wurden. (https://www.sciencedirect.com/journal/zoologischer-anzeiger/vol/273/suppl/C)

Prof. Dr. Gabriele Uhl
Zoologisches Institut und Museum
der Universität Greifswald
Loitzer Str. 26, 17489 Greifswald
gabriele.uhl@uni-greifswald.de

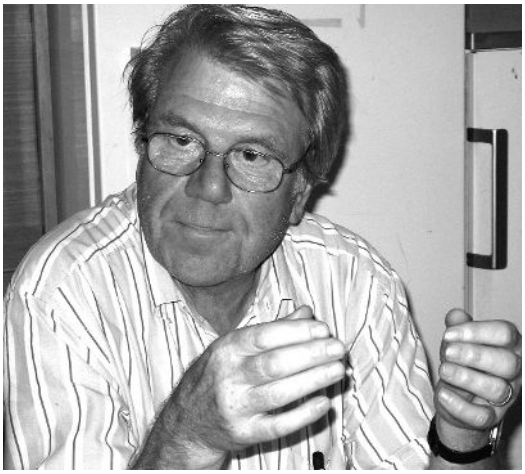
Nachruf auf Klaus-Günter Collatz

25. April 1942 – 6. November 2021

Michael Schmitt

Die Nachricht, dass Klaus Collatz gestorben war, konnte nicht unbedingt überraschend sein, denn er war schon über Monate ernstlich krank und sein Gesundheitszustand hatte sich in der letzten Zeit vor seinem Tod zunehmend verschlechtert. Trotzdem war es tieftraurig zu erfahren, dass er nie wieder mit gütigem Humor und enormem Wissen über Wissenschaft, Geschichte, Brauchtum oder Weltgeschehen sprechen wird.

Klaus-Günter Collatz kam in Berlin-Zehlendorf zur Welt, seine Eltern waren der an der Universität Greifswald promovierte Chemiker Herbert Collatz und seine Frau, die Kinderkrankenschwester Elfriede, geborene Wulff. Er wuchs in Berlin auf (mit kriegsbedingter Unterbrechung in der Nähe von Cottbus und in der fränkischen Schweiz von August 1943 bis Juli 1947), ging dort zur Schule, und legte am Arndt-Gymnasium Dahlem im März 1961 das humanistische Abitur ab. Ab Sommersemester 1961 studierte er Biologie an der Freien Universität Berlin, hörte dort Zoologie, unter anderen bei Klaus Günther, Konrad Herter, Georg Kümmel, Werner Ulrich und Klaus Urich, Genetik bei Herbert Lüers, Botanik bei Theo Eckhardt, Jakob Reinert und Charlotte Thielke. Unter der Betreuung durch Klaus Urich fertigte er von 1965 bis 1968 seine Doktorarbeit an über „Das Lipidspektrum des Flußkrebses *Orconectes limosus*



Klaus Collatz während einer Exkursion in Illmitz (Österreich) 2007
Foto: Archiv Claudia Gack.

und seine jahreszeitlichen Veränderungen“, mit der er zum Dr.rer.nat. promoviert wurde. Noch im selben Jahr – schon vor dem Rigorosum am 4. Dezember – wurden ihm zwei Assistentenstellen angeboten, die eine bei Dietrich Neumann in Köln, die andere bei Bernhard Hassenstein in Freiburg im Breisgau. Er entschied sich für letztere und trat die Stelle im Januar 1969 an. Am 17. September 1975 habilitierte er sich in Freiburg für das Fach Zoologie. Seine Antrittsvorlesung am 28. November trug den Titel „Die Harnstoffbiosynthese; ihre Entdekkungsgeschichte und physiologische Bedeutung“.

Im März 1977 wurde Klaus Collatz zum Universitätsdozenten ernannt, im Fe-

bruar 1980 zum außerplanmäßigen Professor und im Mai 1980 zum C2-Professor. Bis zu seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst im September 2007 leitete er am Lehrstuhl Tierphysiologie/Verhaltensphysiologie (Professor Hassenstein) seine Arbeitsgruppe „Physiologie des Alterns". In der Lehre war er an zahlreichen allgemein physiologischen Vorlesungen, Kursen und Seminaren beteiligt. Für den Studiengang „Molekulare Medizin" konzipierte er einen völlig neuen Kurs „Vegetative Physiologie", der 2007 als bester Kurs im Studiengang von den Studierenden mit einem Preis ausgezeichnet wurde. Er betreute mehrere Doktorarbeiten sowie zahlreiche Diplom- und Staatsexamensarbeiten. Zu den von ihm betreuten Kandidat*innen pflegte er ein ausnehmend warmherziges persönliches Verhältnis. Viele von ihnen blieben mit ihm noch lange nach den Prüfungen in Verbindung, einige bis zu seinem Tod.

Bis zur Habilitation konzentrierte Klaus Collatz seine Forschung auf den Stoffwechsel von Spinnentieren und Krebsen im Zusammenhang mit ökologischen Anpassungen. So widmete er beispielsweise mehrere Untersuchungen den Stoffwechselvorgängen der Großen Winkelspinne, *Tegenaria atrica.* Nach 1975 galt sein Forschungsinteresse den Alternsvorgängen von Insekten, die er vornehmlich an der Schmeißfliege *Phormia terraenovae* studierte. Diese Fliegen waren zwar die Versuchstiere im Labor, aber Klaus Collatz war bald ein gefragter Fachmann für Alternsforschung allgemein, wovon ein noch heute lesenswerter Beitrag über „Altern" im Band 10 des Herder-Lexikons der Biologie (Biologie im Überblick) zeugt, erschienen 1992. Alternsvorgänge haben ihn nicht nur aus naturwissenschaftlicher Sicht beschäftigt. Er forschte auch über die Ikonographie dieses Themenbereichs und wurde zu einem Kenner auch auf diesem Gebiet. Besonders hat ihn die künstlerische Darstellung der äußeren Anzeichen menschlichen Alterns fasziniert. Häufig wurde er zu Vorträgen über das Thema „Altern" eingeladen, beispielsweise 1998 zur Leopoldina, und war bis 2011 Vizepräsident der Deutschen Gesellschaft für Alternsforschung. Auch war er mit Leidenschaft akademischer Lehrer. Seine Vorlesungen, Praktika und Seminare erhielten regelmäßig Bestnoten von den Studierenden und wurden mehrmals mit Preisen ausgezeichnet. Viele Jahre war er Gutachter für *Jugend forscht.*

Alle, die mit Klaus Collatz zu tun hatten, haben ihn als ungemein freundlich und hilfsbereit erlebt. Dabei war er in Gesellschaft extrem zurückhaltend, fast scheu. Doch in kleinerem Rahmen hat er bereitwillig an seinem reichen Wissen teilhaben lassen. Und er wusste unglaublich viel, kannte sich in völlig verschiedenen Gebieten umfassend aus, nicht nur in biologischen Bereichen. Ein Schwerpunkt seiner außerbiologischen Interessen war das Brauchtum im Südwesten des deutschen Sprachraums, besonders die schwäbisch-alemannische Fastnacht. Er war nicht nur ein Experte in der Historie dieser Volksbräuche, er hat begeistert über Jahre die verschiedenen Abläufe und Erscheinungsformen beobachtet und fotografiert. Auch trug er im Lauf der Jahre eine beträchtliche Sammlung von Fastnachtsmasken zusammen, und zu jeder

einzelnen gab es eine Geschichte: Wie Klaus sie erworben hat, welche Symbolik in ihr steckt, in welchen speziellen Fastnachtsbrauch sie eingebunden ist.

Eine Seite von Klaus Collatz, die nur wenige kannten, war sein pianistisches Können. Über 40 Jahre hat er zusammen mit seinem Kollegen und Freund Arno Bogenrieder, Professor für Pflanzenökologie, vierhändig Klavier gespielt. Das Repertoire reichte von Bach und Schubert über Schumann zu Dvořak. Obwohl alle, die das Privileg genossen haben, die beiden spielen zu hören, begeistert beteuerten, dieses Spiel erreiche professionelles Niveau, hat Klaus sich konsequent geweigert öffentlich zu spielen, nicht einmal im Rahmen eines Institutsfests.

Klaus Collatz war als Jugendlicher schon ein eifriger Vogelbeobachter. In Berlin waren die Rieselfelder sein Exkursionsziel. Von Freiburg aus hat er sich auf dem nahen Kaiserstuhl, in der Oberrheinebene und im Schwarzwald an der Vogelwelt erfreut, und natürlich auch an Insekten und Spinnen, aber auch an Orchideen und anderen bemerkenswerten Pflanzen.

Klaus Collatz hatte nie das Bedürfnis Freiburg beruflich zu verlassen, er hat sich in Südbaden wohl gefühlt. Das enorme Wissen, das er sich über die regionale Geschichte, die Architektur und das Brauchtum erworben hatte, belegt dies eindeutig. Auch war er ein Kenner der südbadischen Weine und der badischen Cuisine. Trotzdem waren seine Berliner Wurzeln stets zu spüren (und zu hören). Von seinen akademischen Lehrern, besonders Klaus Günther, Konrad Herter

Klaus Collatz und Claudia Gack bei einer Exkursion auf dem Badberg im Kaiserstuhl 2017. Foto: M. Schmitt

und Klaus Urich, hat er gern und tiefgängig berichtet. Doch am deutlichsten trat seine Herkunft zutage, wenn er mit Augenzwinkern und feinem Wortwitz Zeitgeschehen, Institutsgeschichte oder Wissenschaftsbetrieb kommentierte.

Klaus Collatz war in erster Ehe seit 1967 verheiratet mit Sabine, geb. Pawlowsky, die 1997 auf einer Bergtour in Südamerika ums Leben kam. Aus dieser Ehe stammen zwei Kinder, Bodo und Jana Collatz. Im April 2002 heirateten Klaus Collatz und die Zoologin Claudia Gack, die sich schon lange vorher kannten. Dia-Abende und gemeinsame Festessen im

Hause Collatz & Gack sind im Freundeskreis legendär geworden. Die frohe Erinnerung daran wird den Schmerz über Klaus Collatz' Tod überdauern.

Danksagung.

Claudia Gack, Freiburg im Breisgau, hat mir Fotos, Unterlagen und persönliche Aufzeichnungen zur Verfügung gestellt, und sie hat das Manuskript zu diesem Nachruf gegengelesen. Gabriele Uhl, Greifswald, hat den Text kritisch durchgesehen und verbessert. Ihnen danke ich herzlich für ihre Hilfe.

Prof. Dr. Michael Schmitt,
Universität Greifswald, Allgemeine & Systematische Zoologie,
michael.schmitt@uni-greifswald.de

Nachruf auf Hans-Joachim Pflüger

7. März 1949 - 25. Januar 2022

Randolf Menzel

Völlig unerwartet und viel zu früh wurde unser Freund und Kollege Hans-Joachim Pflüger am 25.1.2022 aus einem aktiven Leben gerissen. Mit Trauer erfüllt uns der Verlust eines nahen und verehrten Freundes. Wir müssen uns nun an Jochen Pflüger in der Vergangenheitsform erinnern, eine schmerzliche Erfahrung, leben wir doch im Jetzt und ganz in der Zukunft.

Nach der Gymnasialzeit in Ulm ging Jochen Pflüger als Student für Chemie und Biologie erst an die Universität nach Stuttgart und dann an die neu gegründete Universität in Kaiserslautern. Sein Ziel war das Staatsexamen, das er 1973 und 1974 mit zwei Prüfungen ablegte und dann auch an einem Gymnasium stundenweise unterrichtete. In dieser Zeit legte er seinen Schwerpunkt auf die Biologie und da auf die Neurobiologie, wohl angeregt durch einen Wissenschaftler, Prof. U. Bässler, bei dem er dann eine Doktorarbeit über die neuronale Steuerung verschiedener Körperbewegungen der Stabheuschrecke begann. In dieser Zeit gab es unter den Insekten-Neurobiologen eine spannende Diskussion über die Frage, ob rhythmische Bewegungen wie Laufen, Fliegen und Schwimmen allein im zentralen Nervensystem über Rhythmusgeneratoren (sog. CPG, central rhythm generators) gesteuert werden oder auch über Rückmeldungen von Sensoren in den Gelenken der bewegten Körperteile und der Körperoberfläche. In seiner Dissertation zeigte Jochen Pflüger, dass die Schaukel- und Laufbewegungen der Stabheuschrecke zwar von einem CPG angetrieben werden, aber durch Rückmeldungen aus der Peripherie ausgelöst und verändert werden[1]. Für diesen Nachweis waren sehr delikate Eingriffe an den Beingelenken notwendig, verbunden mit gleichzeitiger elektrophysiologischer Registrierung der Muskelaktivität. Es zeigte sich, dass er diese Schwierigkeiten bravourös bewältigte. Nun hatte ihn die Insekten-Neurobiologie vereinnahmt. In sei-

Foto B. Kolodziej-Pflüger

ner ersten Postdoktoranden-Periode arbeitete er zuerst mit einem der bekanntesten Neurobiologen auf diesem Gebiet, Dr. Malcolm Burrows an der Universität Cambridge (UK), zusammen und dann mit Dr. H. Cruse im Institut von Prof. P. Görner an der Universität in Bielefeld. Die Neurobiologie der Invertebraten begann damals ihren Höhenflug dank der neuen Methoden (intrazelluläre Registrierungen und Fluoreszenzmarkierungen), die besonders erfolgreich an Insekten und Mollusken durchgeführt werden konnten. Sein Ziel war es die Verbindungen der peripheren Sensoren mit den zentralnervösen Schaltkreisen der Bewegungen sowohl anatomisch wie funktional aufzuklären[2, 3, 4]. 1985 habilitierte Jochen Pflüger sich an der Universität Konstanz in der Arbeitsgruppe von Prof. W. Rathmayer mit dem Thema: „Sensomotorische Interaktionen bei der Wanderheuschrecke: Die Aufklärung eines mechanorezeptiven Informationsweges". Die Arbeitsgruppe von Prof. Rathmayer war sehr lebendig und nahm eine wichtige Stellung in der deutschen Invertebraten-Neurobiologie ein. Wir trafen uns jährlich mit dieser und anderen Gruppen zu den „Kleinsthirn-Konferenzen", die Prof. F. Huber regelmäßig in Seewiesen veranstaltete. Hier traf ich Jochen Pflüger zum ersten Mal. Die Aufklärung von zentralen Schaltkreisen war auch mein Anliegen, wenn auch von der sensorischen Seite aus, und ich war beeindruckt von den raffinierten Methoden und den eindeutigen Ergebnissen. Neuroanatomie ist nicht ein biologisches Fach wie alle anderen. Die Schönheit der Neuronen, wie sie sich uns besonders in dieser Zeit auftat, spricht im hohen Maße unser ästhetisches Empfinden an und kann zu Begeisterungsstürmen führen. Ich erinnere mich an einen Moment, als alle Teilnehmer auf einer solchen Kleisthirn Konferenz spontan aufstanden und applaudierten, als die ersten Fluoreszenzaufnahmen von einzelnen zentralen Neuronen im Fliegenhirn gezeigt wurden. Jochen Pflüger hat sich diese Begeisterung und den ästhetischen Zugang für sein ganzes Leben erhalten.

Im April 1987 trat Jochen Pflüger seine Professur an der Freien Universität an. Er hatte seine Forschungen bereits in Konstanz um eine Thematik erweitert, die besonders gut in die Fragestellungen unseres Instituts für Neurobiologie passte, nämlich die Veränderung der zentralen Schaltkreise durch Neuromodulatoren. Er fand heraus, dass die zentralen und peripheren Schaltkreise, die das Laufen und Fliegen der Heuschrecke steuern, von unpaaren Neuronen versorgt werden, die beim Start, dem Andauern und dem Beenden der Bewegungen eine steuernde Rolle übernehmen (dorsal unpaired meadian neurons, DUM Neurone[5,6]). Wir gründeten eine von der DFG geförderte Forschergruppe, in der die verschiedenen Ebenen der Plastizität im Nervensystem von Insekten studiert wurden (Learning, Memory and Neuromodulation in Arthropods, 1989 – 1995). Seine Expertise in neuroanatomischen Methoden und intrazellulären Färbungen war eine riesige Hilfe für das ganze Institut, insbesondere auch deshalb, weil wir uns damals eines der ersten konfokalen Mikroskope anschafften. Er identifizierte mit immunocytologischen Methoden die Transmitter der DUM Neurone[7,8], erkannte die steuernde Rolle der DUM

Neurone beim Übergang von Bewegungsrhythmen, entdeckte, dass Tyramin neben Octopamin ein eigenständiger Modulator mit spezifischer Funktion ist[9], und beschrieb die aktivitätsabhängige strukturelle und funktionelle Dynamik der DUM Neurone [10,11,12,13]. In einer klassischen Publikation diskutierte Jochen Pflüger das Konzept der Neuromodulation und die Eigenschaften neuromodulatorischer Neurone als Implementierung einer eigenständigen und spezifischen zentralen Funktion der Anpassung und langzeitigen Steuerung im Nervensystem[14]. Die Stärke seines Forschungsansatzes bestand darin, dass er die verschiedenen Bewegungsformen gleichzeitig mit den Registrierungen von identifizierten Neuronen des modulatorischen Netzwerkes studieren konnte und so nachwies, dass den verschiedenen DUM Neuronen unterschiedliche Aufgaben zukommen, sie also nicht einfach als An- und Aufreger-Neurone („arousal neurons") agieren. So konnte er auch zeigen, dass eine Subpopulation von DUM Neuronen den Übergang von der durch Glykolyse betriebenen kurzen Flugphasen zu den durch Lipid-Stoffwechsel betriebenen Langstrecken-Flügen steuern[15]. Diese Forschungen wurden durch entwicklungsphysiologische Studien erweitert, in denen die anatomische Plastizität von identifizierten einzelnen Neuronen herausgearbeitet wurde[16, 17]. In unserem Sonderforschungsbereich (SFB 515 „Entwicklungs- und erfahrungsabhängige Plastizität des Nervensystems" 1996 - 2005) waren alle diese Studien tragende Projekte.

In den letzten Jahren hat er seine Forschungen auf die DUM Neurone bei der Fruchtfliege *Drosophila* im Rahmen einer von ihm geleiteten Forschergruppe („Biogene Amine in Insekten") erweitert und vertieft.

Jochen Pflüger war ein großartiger Kommunikator. Seine Freunde, Kollegen und Studenten haben viel durch den Kontakt mit ihm gewonnen. Nur selten gab es Gespräche, in denen er uns mit seinem fröhlichen Lachen nicht angesteckt hat. (Vielleicht ist dies sogar die lebendigste Erinnerung an ihn, er war ein munterer und fröhlicher Mensch mit Lust am Schalk). Vielleicht war seine frühe Erfahrung als Gymnasiallehrer prägend, denn er wusste, wie er Studenten und Mitarbeiter motivieren konnte. In die Lehre war er auf allen Ebenen intensiv eingebunden und hat sie gerne übernommen. Gemeinsam haben wir immer wieder um den Erhalt der Praktika geworben. Für die Tutoren der Praktika war er ein Vorbild, weil ihm das Experimentieren und der direkte Kontakt mit den Mitarbeitern so viel Freude bereitete. Die Vorlesungen und Seminare hat er inhaltlich anspruchsvoll gestaltet und didaktisch geschickt durchgeführt. Manchmal verriet er mir, welche aufmunternden oder lustigen Anmerkungen er so alle 15 – 20 Minuten einstreut. Wenn ich in seine power points hineinschaue, die ich noch immer in meinem Archiv hege, dann beeindrucken mich der ästhetische Aufbau und Auswahl der Bilder. Es war ihm ein Anliegen, die Schönheit biologischer Objekte, mögen es Neuronen, Gewebestrukturen, Vögel oder Pflanzen sein, als einen Grund für seine Begeisterung für die lebende Welt erkennbar zu machen. Aus vielen Gesprächen weiß ich, dass ihn durchaus selbstkritische Fragen umtrieben: Warum

lehren wir alle diese Details, und sollen die Studenten das wirklich alles wissen? Was von dem, was uns zurzeit so wichtig erscheint, wird Bestand haben? Was könnte ich weglassen, um Platz zu machen für neue Entdeckungen? Wer ihn als Prüfer hatte, konnte von Glück reden, denn er war geduldig, fair und mild. Auch nach seiner Pensionierung hat er aktiv an der Lehre der Neurobiologie teilgenommen, wofür wir Neurobiologen an der FU ihm sehr dankbar sind.

Seine große Begeisterung waren die Exkursionen – er war eben ein Biologe mit zwei Standbeinen, einem im Labor und einem in der Natur. Über dreieinhalb Jahrzehnte waren seine Vogel-Exkursionen in die Umgebung und auf die Nordseeinseln bei den Studenten sehr beliebt. Er war fest davon überzeugt, dass sich die wirklich wichtigen Fragen der Biologie, auch der Neurobiologie, nur im Verhalten der Tiere unter natürlichen oder naturnahen Bedingungen finden lassen. Daher war es für ihn selbstverständlich, sich als Neuroethologe zu verstehen, als jemand, der die neuronalen Grundlagen des Verhaltens der Tiere als Mechanismen der Anpassungen an die natürlichen Selektionsfaktoren versteht[18].

Ein guter Kommunikator kann sich den zahlreichen Rufen aus der akademischen Gemeinschaft schwerlich entziehen. Ihn erreichten viele solcher Rufe, aus unserer Universität, aus nationalen und internationalen Gesellschaften und von zahlreichen Kollegen, wenn es um die Beurteilung von Manuskripten und Wissenschaftlern ging. Unserer Universität hat er seine kompetente und vermittelnde Mitarbeit vielfältig zur Verfügung gestellt. Zwei Mal war er Dekan (1993-1995, 2013-2015), zwei Mal Prodekan (1991-1993, 1999-2003), darüber hinaus Direktor des Instituts für Biologie (2013-2015), Mitglied im Senat der FU (2000-2004) und Mitglied in der zentralen Entwicklungs- und Planungskommission der FU (2012-2014). Dabei hat er die Schrumpfung und Neuausrichtung der Freien Universität in der Nachwendezeit mit hoher Verantwortung unterstützt, eine fordernde und schwierige Aufgabe. Für die Neurowissenschaften in Deutschland hat er sich vielfältig und engagiert eingesetzt, auch als Präsident der Deutschen Neurowissenschaftlichen Gesellschaft (2015-2017). Auf der internationalen Ebene war er Präsident der International Society of Invertebrate Neurobiology (1999-2003), war member of council der IBRO (WERC, der International Brain Research Organisation, West-European Research Council), und dessen chair person von 2015 bis 2017.

Jochen Pflüger hat mir einmal verraten, warum ihm der Ruf an die FU so besonders gelegen kam. Das war nicht unbedingt der immer noch recht chaotische Zustand am FB Biologie Ende der achtziger Jahre, sondern Berlin als Kulturstadt. Es wird nicht viele in Berlin geben, die so intensiv am Kulturleben unserer Stadt teilgenommen haben. Gemeinsam mit Bärbel, seiner Frau, war er in den Konzert- und Theatersälen und als Dauergast der Philharmoniker in Berlin unterwegs. Über Jahre waren für mich besonders die Montagvormittage ein Genuss, wenn er von seinen Erlebnissen in Konzerten, Opern und Schauspielen berichtete, immer hervorragend informiert, zwar auch kritisch aber vor allem genießend.

Unser Institutsleben ist im menschlichen und wissenschaftlichen Sinn ärmer geworden. Jochen Pflüger wird uns fehlen.

Zitierte Literatur

1 Pflüger, H.-J. The control of the rocking movements of the phasmid *Carausius morosus* Br. *Journal of comparative physiology* **120,** 181-202 (1977).

2 Pflüger, H., Bräunig, P. & Hustert, R. Distribution and specific central projections of mechanoreceptors in the thorax and proximal leg joints of locusts. *Cell and tissue research* **216**, 79-96 (1981).

3 Pflüger, H.-J. The large fourth abdominal intersegmental interneuron: a new type of wind-sensitive ventral cord interneuron in locusts. *Journal of Comparative Neurology* **222**, 343-357 (1984).

4 Pflüger, H.-J., Elson, R., Binkle, U. & Schneider, H. The central nervous organization of the motor neurones to a steering muscle in locusts. *Journal of Experimental Biology* **120**, 403-420 (1986).

5 Ferber, M. & Pflüger, H.-J. Bilaterally projecting neurones in pregenital abdominal ganglia of the locust: Anatomy and peripheral targets. *Journal of Comparative Neurology* **302**, 447-460 (1990).

6 Ferber, M. & Pflüger, H.-J. An identified dorsal unpaired median neurone and bilaterally projecting neurones exhibiting bovine pancreatic polypeptide-like/FMRFamide-like immunoreactivity in abdominal ganglia of the migratory locust. *Cell Tissue Res* **267**, 85-98 (1992).

7 Pflüger, H.-J. & Watson, A. H. D. GABA and glutamate-like immunoreactivity at synapses received by dorsal unpaired median neurones in the abdominal nerve cord of the locust. *Cell Tissue Res* **280**, 325-333 (1995).

8 Stevenson, P. A., Pflüger, H.-J., Eckert, M. & Rapus, J. Octopamine immunoreactive cell populations in the locust thoracic-abdominal nervous system. *Journal of Comparative Neurology* **315**, 382-397 (1992).

9 Kononenko, N. L. et al. A population of descending tyraminergic/octopaminergic projection neurons of the insect deutocerebrum. *Journal of Comparative Neurology* **527**, 1027-1038 (2019).

10 Pflüger, H.-J., Hurdelbrink, S., Czjzek, A. & Burrows, M. Activity-dependent structural dynamics of insect sensory fibers. *J. Neurosci* **14**, 6946-6955 (1994).

11 Duch, C., Mentel, T. & Pflüger, H.-J. Distribution and activation of different types of octopaminergic DUM neurons in the locust. *The Journal of Comparative Neurology* **403**, 119-134 (1999).

12 Bräunig, P. & Pflüger, H.-J. The unpaired median neurons of Insects. *Advances in Insect Physiology* **28**, 186-266 (2001).

13 Burrows, M. & Pflüger, H.-J. in *Learning and memory. Proceedings of the 23rd Göttingen Neurobiology Conference 1995.* (ed N. Elsner) 209 (G. Thieme Verlag, 1995).

14 Pflüger, H.-J. Neuromodulation during motor development and behavior. *Current Opinion in Neurobiology* **9**, 638-689 (1999).

15 Mentel, T. et al. Central modulatory neurons control fuel selection in flight muscle of migratory locust. *J Neurosci* **23**, 1109-1113 (2003).

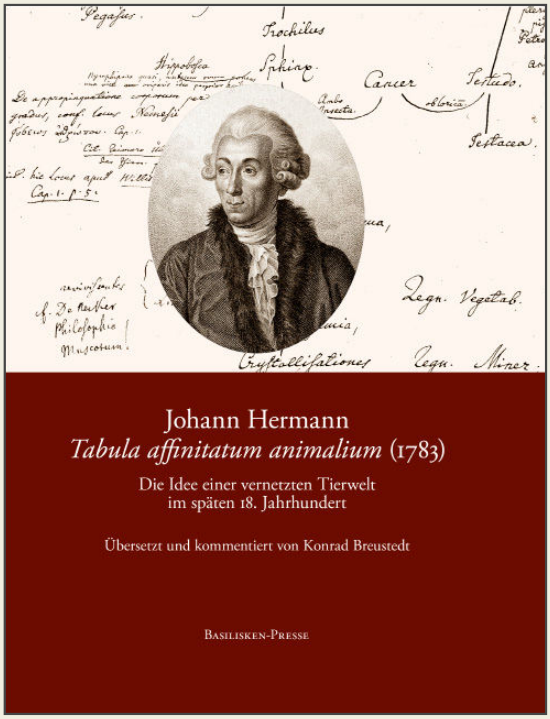
16 Pflüger, H., Witten, J. & Levine, R. B. Fate of abdominal ventral unpaired median cells during metamorphosis of the hawkmoth, *Manduca sexta*. *Journal of Comparative Neurology* **335**, 508-522 (1993).

17 Pflüger, H.-J. & Meuser, S. Developmemt of a mechanosensory pathway in locusts. *Soc. Neurosci* **21**, 1276 (1995).

18 Pflüger, H.-J. & Menzel, R. Neuroethology, its roots and future. *Journal of Comparative Physiology A* **185**, 389-392 (1999).

Prof. Dr. Randolf Menzel
Institut für Biologie. Freie Universität Berlin
Königin-Luise-Str. 28/30, 14195 Berlin-Dahlem
menzel@neurobiologie.fu-berlin.de

Neuerscheinung



Basilisken-Presse
Natur+Text GmbH
Friedensallee 21
D - 15834 Rangsdorf
Tel. 033 708 / 20 431
Fax - / 20 433
www.basilisken-presse.de
shop@naturundtext.de

Acta Biohistorica 19
Basilisken-Presse 2021
408 Seiten, 21 × 27 cm
17 Abb. + Beilage (40 × 90 cm)
ISBN 978-3-941365-78-0
Preis: 78 €

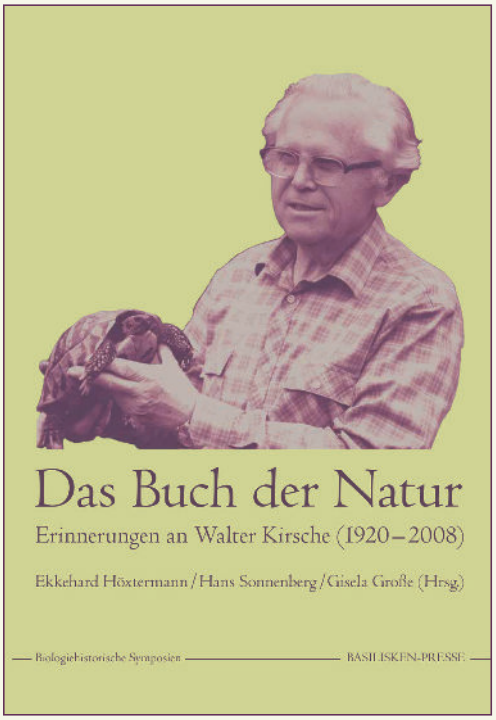
Der Straßburger Mediziner und Naturhistoriker Johann Hermann (1738–1800) veröffentlichte 1783 ein neuartiges Ordnungssystem der Tiere, das die Fülle der damals bekannten Arten und Gruppen in einer „Tabula affinitatum animalium“, einer Karte abgestufter Ähnlichkeiten, neu gliederte und netzförmig anordnete. Er brach dabei – in Anlehnung an die ersten Ideen einer vernetzten Tierwelt von Vitaliano Donati (1750) – konsequent mit der üblichen Anordnung aller Naturerscheinungen auf einer linearen Stufenleiter und antizipierte damit das von Georges Cuvier (1802) entdeckte Korrelationsgesetz der Vergleichenden Anatomie.

Der Herausgeber des vorliegenden Buches hat es sich zur Aufgabe gemacht, die singuläre Primärquelle erstmals aus dem Lateinischen zu übersetzen und ausführlich zu kommentieren. Die rd. 2.000 von Hermann berücksichtigten Taxa wurden in einem umfangreichen Anhang gemäß der heutigen Nomenklatur aufgelistet. Dem Band wurde zudem ein eindrucksvoller Reprint der „Tabula“ im Originalformat beigelegt. Durch zahlreiche Annotationen und Literaturhinweise gibt Konrad Breustedt eine gute Übersicht zur Affinitas-Problematik, speziell der Wirbeltiere im 18. Jahrhundert.

Mit der Übersetzung wird schließlich ein Naturforscher aus dem Elsass gewürdigt, der mit seinen Forschungen und seiner Korrespondenz wie kaum ein anderer ein Brückenbildner im französisch-deutschen Kulturraum war.

Neuerscheinung

„Mein schönstes Buch: Kein Buch hat mich je so tief beeindruckt, wie das Buch, das die Natur uns schrieb. Glücklich sind die Menschen, die es zu lesen verstehen.“ (W. Kirsche 1974)



Basilisken-Presse
Natur+Text GmbH
Friedensallee 21
D - 15834 Rangsdorf
Tel. 033 708 / 20 431
Fax ~ / 20 433
www.basilisken-presse.de
shop@naturundtext.de

368 S., 147 Abb., 17 × 24 cm
ISBN 978-3-941365-69-8
Preis: 39 €

Walter Kirsche (1920 – 2008) war ein vielseitig interessierter und engagierter Mediziner, der in einem umfassenden, klassischen Sinne den Menschen als Teil des Naturganzen begriff und seine Forschungen am Anatomischen Institut der Charité in einen untrennbaren Zusammenhang mit naturhistorischen und ethischen Betrachtungen stellte. Als Hochschullehrer (seit 1950) und Institutsdirektor (1966 – 1980) der Humboldt-Universität zu Berlin, Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1969) und der Leopoldina (1970), aber auch als Naturschutzbeauftragter in Pätz (Dahmeland) und Experte für die Haltung Europäischer Landschildkröten war er in vielen Bereichen tätig und setzte vielfältige Akzente. Ein besonderes Anliegen waren ihm die Erforschung und der Schutz der heimischen Lebensvielfalt, wie sie 1998 zum Programm des Naturparks Dahme-Heideseen erhoben wurden.
Der vorliegende Band führt verschiedene Seiten seines Wirkens zusammen, um den herausragenden Lebensforscher und redlichen Mitmenschen Walter Kirsche zu seinem 100. Geburtstag gebührend zu würdigen.