

Umweltgiften auf der Spur

Henner Hollert erforscht toxische Einflüsse auf Mensch, Umwelt und Biodiversität.

Die chemische Belastung der Umwelt ist neben Erdwärmung und Verlust der Artenvielfalt eine weitere große Herausforderung für das zukünftige Leben auf der Erde. Gesetzlich vorgeschriebene toxikologische Prüfungen helfen zwar, potenzielle Gefahren für den Menschen und die Umwelt zu erkennen und vermeiden. Doch die Anhäufung von Chemikalien in der Umwelt und ihr Einfluss auf komplexe Ökosysteme sind bisher nur ansatzweise erforscht.

Prof. Henner Hollert, seit 2019 Professor für Evolutionsökologie und Umwelttoxikologie an der Goethe-Universität, gehört zu der Gruppe Forscher, die die Environmental Pollution, also die Kombination aus der besorgniserregenden chemischen Verschmutzung und auch Krankheitserregern in ihren Auswirkungen untersuchen. In Frankfurt forschen dazu auch seine Kollegen Prof. Jörg Oehlmann (Aquatische Ökotoxikologie), Prof. Sven Klimpel (Integrative Parasitologie und Tierphysiologie) und Prof. Alexander Vogel (Institut für Atmosphäre und Umwelt) sowie die Kolleg:innen am Institut für Sozialökologische Forschung (ISOE). Des Weiteren bestehen enge Kooperationen mit Prof. Werner Brack vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig und zu Prof. Miklós Bálint und Prof. Markus Pfenniger von Senckenberg SBIKF und LOEWE TBG.

Wie robust ist die Natur?

An der Goethe-Universität beschäftigt sich die von Prof. Henner Hollert und Prof. Ernst Stelzer koordinierte Exzellenzcluster-Initiative RobustNature (Robustheit und Resilienz von Natur-Gesellschaftssystemen im sich entwickelnden Anthropozän) mit über 40 Wissenschaftler:innen aus verschiedenen Fachbereichen der Universität und aus zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit diesen Themen. In einem interdisziplinären Ansatz werden in den Forschungsfeldern Wasser, Interaktionen von Organismen und Systemische Risiken untersucht, welche Folgen Umweltverschmutzung, Biodiversitätsrückgang und Klimawandel auf das System Mensch-Umwelt haben.

Wie komplex diese drei großen Themen miteinander verweben sind, zeigen verschiedene Fallbeispiele: So wird z.B. unter Leitung des Nachwuchswissenschaftlers Dr. Jonas Jourdan in RobustNature in einer Kooperation der Abteilungen Oehlmann, Brack, Klimpel, Hollert untersucht, wie die multiplen Stressoren chemische Belastung, Klimawandel und Parasitierung das Verhalten von Bachflohkreben beeinflussen. Die Gruppe von Hollert untersucht mit Kolleg:innen

von UFZ und Partnern in Kenia den Einfluss von Pflanzenschutzmitteln auf die Verbreitung der Bilharziose – nach Malaria eine der häufigsten parasitären Infektionskrankheiten. Sie wird von einem Egel verursacht, der eine bestimmte Art von Süßwasserschnecke als Zwischenwirt nutzt und dann den Menschen befällt, was zu schwerwiegenden Symptomen führt. Pestizide begünstigen die Ausbreitung der Bilharziose, weil diese nicht nur Schädlinge bekämpfen, sondern auch die Fressfeinde des Zwischenwirts. So sind mehr Süßwasserschnecken als Reservoir für die Bilharziose-Erreger verfügbar. „Das ist ein relativ komplexer Zusammenhang, an den man zuerst nicht denkt“, erläutert Hollert. „Aber hier zeigt sich, wie die chemische Belastung auf aquatische Ökosysteme und auch die Gesundheit des Menschen wirken kann.“

Wider die weltweite chemische Verschmutzung

Aus diesem Grund engagiert sich Henner Hollert auch im neu gegründeten Welt-Chemikalienrat (International Panel on Chemical Pollution IPCP). Nach dem Vorbild des Weltklimarats und des Weltbiodiversitätsrats soll dieses Gremium die Folgen der weltweiten Verschmutzung durch Chemikalien und Abfälle bewerten und als Schnittstelle zwischen Forschung und Politik dienen. Bei der fünften UN-Umweltversammlung in Nairobi wurde Anfang März 2022 eine Re-

kalien zu berücksichtigen. Das heißt: Nicht nur die neuen Produkte sollten weniger umweltschädlich sein, sondern auch ihre Herstellung. Und es sollte dabei weniger Abfall entstehen. So arbeitet seine Gruppe am Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse – FuelScienceCenter“ der RWTH Aachen daran mit, neue maßgeschneiderte biobasierte Kraftstoffe zu entwickeln und auf eine möglichst geringe toxische Wirkung gegenüber Menschen und Umwelt zu optimieren.

Erfolgsgeschichte Wasserqualität

Die Fortschritte der Umwelttoxikologie im Bereich der Wasserqualität illustriert Hollert am Beispiel der Flussverschmutzung. In den 1970er-Jahren war an schmutzig gelben Schaumkronen auf dem Wasser auch für das bloße Auge sichtbar, wo Abwasser ungeklärt in die Flüsse geleitet wurde. Das massenhafte Fischsterben führte schließlich 1978 zur Verabschiedung des Abwasserabgabengesetzes. Für die ökotoxikologische Untersuchung von Abwasser aus Kläranlagen war der Fischtest mit der Golddorfe der Standard. Man setzte die Fische in große Bechergläser mit Abwasserproben, die zunehmend verdünnt wurden. Das Wasser galt als ungefährlich, wenn die Fische darin 48 Stunden überlebten. Durch die Abwasserverordnung, die Gebühren nach dem Verursacherprinzip erhebt, hat sich die Gewässerqualität in Deutschland in den letzten Jahr-



Verschiedene Zellkulturkomponenten: Dr. Andreas Schiwy mit dem modernen chemisch-definierten Medium (l.) und mit gefrorenem Kälberserum (r.). Fotos: Dettmar

solution verabschiedet, mit der der „Welt-Chemikalienrat“ auf den Weg gebracht wurde.

In seinem Arbeitskreis untersucht Hollert schon seit 30 Jahren Umweltchemikalien und natürliche Stressoren vom Molekül bis zum Ökosystem. Seine Schwerpunkte sind die Ökotoxikologie des Wassers, die „grüne Toxikologie“ und Alternativen zum Tierversuch für toxikologische Prüfungen. Bei der grünen Toxikologie geht es darum, toxikologische Aspekte schon bei der Entwicklung und Produktion neuer Materialien und Chemi-

zехnten enorm verbessert. „Allerdings mussten dafür mehrere Hunderttausend Fische pro Jahr sterben“, bedauert Hollert.

Tierschutz in der Toxikologie

Deswegen suchten Toxikologen schon früh nach Alternativen zu Tierversuchen. Ein erster Ansatz mit Zelllinien erwies sich als zu unempfindlich. In einem zweiten Schritt waren sie mit den Eiern des Zebrafährblings (*Danio rerio*) erfolgreich. Die Eier des bis zu fünf Zentimeter langen, gestreiften Fisches reagieren genauso empfindlich auf



Verschiedene Aufnahmen von Zebrafährblingslarven: Prof. Dr. Henner Hollert forscht über die ökotoxikologischen Effekte von Chemikalien und Umweltproben.

Umweltgifte wie der ausgewachsene Fisch. Prüfungen an den Eiern gelten bis zu 120 Stunden nach dem Laichen in der EU nicht als Tierversuche und sind daher auch nicht genehmigungspflichtig. Dieser 2004 gesetzlich festgeschriebene Ersatz für den Fischtest mit der Golddorfe ist ein großer Fortschritt nicht nur für den Umwelt-, sondern auch im Tierschutz.

Ein Rundgang durch das Labor – im Kittel, da es sich um Sicherheitsstufe 1 handelt – zeigt, wie die etwa Stechnadelkopf großen, durchsichtigen Eier in Lösungen mit Chemikalien untersucht werden. Dazu werden sie in durchsichtige Platten mit vielen Vertiefungen gegeben und unter dem Mikroskop untersucht. Neben der Toxizität gegenüber den Fischeiern, können auch viele andere Aspekte mit frühen Lebensstadien der Zebrafische untersucht werden. Ein Schwerpunkt in der Abteilung von Prof. Hollert sind auch Untersuchungen zur Neurotoxizität. In dem großen Verbundprojekt Neurobox mit Förderung des BMBF wurde zum Beispiel gemeinsam mit dem Umweltbundesamt, dem UFZ und vielen anderen Partnern überprüft, welche Chemikalien im Grund- und Trinkwasser neurotoxisch wirken können und wie ein entsprechendes Bewertungskonzept erarbeitet werden kann. Dazu werden Verhaltensänderungen der frühen Lebensstadien der Zebrafische untersucht. Diese weisen oft auf neurotoxische Wirkungen hin. Die zugrunde liegenden molekularen Prozesse kann man dann mit modernen Methoden wie Transcriptomics, Lipidomics und Metabolomics weiter untersuchen.

Weg vom Tierversuch

Alternativen zum Tierversuch fordert auch die 2006 von der Europäischen Kommission verabschiedete Chemikalienverordnung (REACH). Hierbei unterstützt die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) die die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) bei der Entwicklung und Förderung von alternativen Methoden, die als internationale Standards

für toxikologische Prüfungen festgelegt werden. Ein wichtiger Forschungsschwerpunkt ist hier die Weiterentwicklung von *In-vitro*-Methoden auf Basis von Zellkulturen. Im vergangenen Jahr hat das Team von Hollert die erste sechsmonatige Phase des „CRACK IT“-Innovationswettbewerb des britischen nationalen Zentrums für die Ersetzung, Verbesserung und Verringerung von Tieren in der Forschung (NC3Rs) gewonnen. In der ersten Phase des Wettbewerbs mit dem Titel „Animal-free *In-vitro*-Methoden“ wurden drei internationale Teams von AstraZeneca und Unilever gesponsert. „Wir sind die Gruppe, die sich in Phase eins am meisten vorgenommen hatte“, erklärt Dr. Andreas Schiwy, Projektleiter von NC3R an der Goethe-Universität. Sein Team und seine Projektpartner beschäftigten sich mit allen Fragestellungen des Wettbewerbs.

Andreas Schiwy holt eine Kunststoff-Flasche mit einer fleischfarbenen, gefrorenen Flüssigkeit aus dem Tiefkühlschrank. Das ist das Kälberserum. Es ist eine Komponente tierischen Ursprungs, die dem Zellkulturmedium für das Wachstum der Zellen zugesetzt wird. Es wird aus dem Blutserum ungeborener Kälber (FKS) gewonnen. Diese fallen als trauriges „Abfallprodukt“ bei der Schlachtung freilaufender Rinderherden ab.

Der chemisch definierte Ersatz basiert auf einer Lösung aus Salzen, Aminosäuren und Zucker, der man Wachstumsfaktoren, Bindungsfaktoren, Insulin und andere Bestandteile hinzugibt, so dass die Zellenkulturen wachsen können. Alle sind in ausreichender Menge im natürlichen Serum enthalten, allerdings in stark variierender Menge. Im chemisch-definierten Ersatz werden sie hingegen maßgeschneidert für die jeweiligen Zellkulturen zugesetzt. Schiwy zeigt eine goldene und eine rote Flüssigkeit, die er von verschiedenen Herstellern für seine Tests bezogen hat. Diese chemisch definierten Nähr-

Fortsetzung auf Seite 10

»Das gute Gefühl wird mir oft genommen«

Die DITIB Jugendstudie der Goethe-Universität hat junge Muslim:innen zu Heimat, Religion, Familie und weiteren Themen befragt.

Sie fühlen sich in Deutschland zu Hause, empfinden aber zugleich eine gewisse Unentschlossenheit gegenüber dem Land, in dem sie leben. Sie planen ihre Zukunft in Deutschland und engagieren sich etwa in der Flüchtlingshilfe, in der Politik und in der Feuerwehr, können sich aber nicht vorstellen, in Deutschland beerdigt zu sein. Sie finden im DITIB-Moscheeverband mit seinem außerschulischen Bildungsangebot einen Ersatz für die türkische Heimat ihrer Eltern und Familien, fordern aber mehr deutschsprachige Imame in ihrer Gemeinde und ein stärkeres Zugehen des Verbands auf nicht-muslimische Bürger. Sie wünschen sich einen selbstbewussteren Umgang mit dem eigenen Glauben, sind der Meinung, die islamische Religion sei nur für Muslim:innen offen, lehnen aber religiöse Übertreibungen wie Kopftuchzwang und Zwangsehen ab. Sie betonen biologische und Rollen-Unterschiede zwischen Mann und Frau, gehen aber selbstverständlich von deren Gleichberechtigung aus.

Dies sind Ergebnisse der soeben erschienenen DITIB-Studie 2021, die von Harry Harun Behr, Professor für Erziehungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Islam, und der wissenschaftlichen Projektleiterin Meltem Kulaçatan am Fachbereich Erziehungswissenschaften, beide Goethe-Universität, durchgeführt wurde. Befragt wurden junge Menschen zwischen 14 und 27 Jahren, die sich selbst als muslimisch bezeichnen, sich ehrenamtlich im Jugendverband des DITIB-Moscheeverbands engagieren und in Deutschland beheimatet sind. Ihre Ankünfte weisen die Befragten als überdurchschnittlich gut ausgebildet aus und als Angehörige einer bürgerlich orientierten Mittelschicht; sie sind an Normalität interessiert, möchten nicht als migrantisch und muslimisch definiert werden und sind positiv gegenüber staatlichen Regelsystemen eingestellt. Gleichwohl geben die jungen Menschen an, prägende Diskriminierungserfahrungen, etwa in der Schule, gemacht zu haben.

Postmigrantisches Selbstverständnis

Initiiert wurde die Studie vom Jugendverband des DITIB-Moscheeverbands (BDMJ), verbunden mit dem Wunsch, seine Angebote besser an die Bedürfnisse der jugendlichen Zielgruppen anpassen zu können. Da auch das postmigrantische Selbstverständnis junger Menschen, also auch das Generationenverhältnis, in der Studie erfragt werden sollte, äußerte auch der von den Jugendlichen als „Erwachsenenverband“ bezeichnete Bundesverband DITIB Interesse an den Ergebnissen. Die Studie wurde schließlich vom Bundesverband in Auftrag gegeben. Die Wissenschaftler der Studie weisen darauf hin, dass eine Einflussnahme des Auftraggebers auf Ergebnisse vorab ausgeschlossen wurde. Die Studie verbindet quantitative Ergebnisse mit qualitativen Aussagen, in denen die Befragten anonym zu Themen Stellung nehmen konnten. „Ich möchte mich hier wohl fühlen“, lautet etwa ein

Kommentar. „Ich bin hier geboren und aufgewachsen, kenne mich mit der deutschen Kultur aus und beherrsche die Sprache sehr gut. Aufgrund meiner Religion und meiner Herkunft werde ich in vielen Bereichen des Lebens ausgegrenzt, und das finde ich sehr schade, denn ich sehe Deutschland auch als Heimat an. Genauso wie die Türkei. Dieses gute Gefühl wird mir leider oftmals genommen.“ In Bezug auf die Jugendarbeit des DITIB enthält die Studie Äußerungen wie „mehr nicht-muslimische Referenten einladen, Kooperation mit anderen religiösen Vereinen (auch nicht-muslimische),



Harry Harun Behr,
Meltem Kulaçatan
DITIB Jugendstudie 2021.
Lebensweltliche Einstellungen
junger Muslim:innen in Deutschland
Weinheim und Basel, 2022

bessere Zusammenarbeit mit Bürgermeistern“. Einen hohen quantitativen Zustimmungswert erreicht die Aussage: „Ich würde nur eine Muslimin oder einen Muslim heiraten.“

Moscheeverband bietet »religiöse Matrix«

Die gesellschaftliche Funktion des DITIB bewerten die Wissenschaftler insgesamt positiv. Sie sprechen dem Moscheeverband die Fähigkeit zu, über eine religiöse Grundbildung zur Stabilisierung der Persönlichkeit beizutragen und somit über intellektuell und spirituell gebildete und interessierte junge Menschen Integration zu gestalten. „Es ist genau diese religiöse Matrix für lebensweltliche Orientierung, die radikalen Muslimen oft fehlt“, sagt Harry Harun Behr. Allerdings ermuntern die Erziehungswissenschaftler den Moscheeverband auch, „kritische Reflexion als Chance für bewussteren Religion zu begreifen und nicht als Angriff auf den Glauben“. Die große Herausforderung bestehe darin, die veränderte, eher „säkulare Spiritualität“ der jungen Generation aufzugreifen und einen religionsgemeinschaftlichen Raum auch für diejenigen zu gestalten, die bislang als „abweichend“ markiert werden.

Pia Barth

Ein vertiefendes **Audio-Interview** mit Prof. Harry Harun Behr zur DITIB Studie und zum Sammelband **Moschee 2.0** hat Dirk Frank geführt, es steht bereit unter <https://tinygu.de/uM3ms>

Die komplette Taunusflora in einem Buch

Aufklärung über eine floristisch bislang »unterbelichtete« Region: Ein Projekt der Citizen Science

1997 kamen einige Botaniker zusammen, um gemeinsam ein gewaltiges Projekt zu starten: Es ging darum, den 2700 Quadratkilometer großen Taunus floristisch zeugen Bidlern zu kartieren. Die Arbeitsgemeinschaft wollte ehrenamtlich und ohne Vergütung endlich erfassen, was Experten schon lange als Manko ansahen: dass der Taunus, abgesehen von einigen Teilgebieten, bislang zumindest floristisch als „unterbelichtet“ galt. Dr. Wolfgang Ehmke, einer der Gründer der AG, erinnerte sich bei der Buchvorstellung im Palmengarten: „Es sollte die Grundlage für eine verbesserte Landschaftsplanung und Naturschutzarbeit geschaffen werden. Wir wollten eigentlich in fünf Jahren fertig sein, aber das war nicht zu schaf-

fen. Es zeigte sich, dass es einer hauptamtlichen Projektleitung bedurfte, allein schon wegen der enormen Datenmenge.“ Prof. Dr. Rüdiger Wittig, damals Professor für Ökologie und Geobotanik an der Goethe-Universität, stieß etwas später zum Projekt dazu. Er erklärte sich ab 2000 dazu bereit, das Management des Projekts zu übernehmen, die EDV-Struktur auszubauen und Studierende am Projekt zu beteiligen. Ferner konnte eine halbe Mitarbeiterstelle eingerichtet werden.

Auf insgesamt 4168 Begehungen kommen die Herausgeber des beeindruckenden Bandes. Zwischen 2005 und 2014 wurden die meisten Daten erhoben. Damit die floristische Kartierung als wissenschaftlich gelten kann, wurden die Vorkommen kritischer Arten nachprüfbar dokumentiert: Über 10 000 Belege wurden für das Herbarium gesammelt. Zahlreiche Bürger-



Taunusflora. Ergebnisse einer Kartierung im Vortaunus, Hohen Taunus und kammnahen Hintertaunus
Hg. v. Rüdiger Wittig, Wolfgang Ehmke, Andreas König und Michael Uebeler.
Frankfurt am Main: Botanische Vereinigung für Naturschutz in Hessen e. V., 2022

Fortsetzung von Seite 6

medien haben den Vorteil, dass sie die Ergebnisse toxikologischer Tests reproduzierbar machen. In der ersten Phase des Projekts gelang es, eine chemisch definierte Nährlösung als Ersatz für das Kälberserum für einen bestimmten toxikologischen Test zu finden.

Das Projekt geht nun in die zweite dreijährige Phase, in der die Frankfurter Toxikologen unter der Führung ihres ehemaligen Wettbewerbers, der britischen Firma ImmuOne, ihre Kompetenzen bündeln, um die tierkomponentenfreie Zellkultur für oben genannten OECD-Richtlinien zu etablieren.

Tests für krebserregende und hormonell aktive Substanzen

Für zwei Testverfahren konnten die Frankfurter Toxikologen zeigen, dass sie zumindest prinzipiell in den chemisch definierten Nährlösungen funktionieren. Der Test OECD 487 prüft, ob eine Substanz genotoxische Schäden verursacht und damit das Potenzial hat, langfristig Krebs auszulösen. Unter dem Mikroskop sieht man, nach Färbung der Zell-DNA, entweder vom Zellkern abgespaltene Mikrokerne oder Störungen bei der Zellteilung. In Phase eins gelang es der Frankfurter Gruppe, Zelllinien aus der menschlichen Lunge in einem chemisch definierten Nährmedium wachsen zu lassen. Gute Ergebnisse lieferte der Ersatz für den OECD-455-Test, der fragt: Ist eine Substanz hormonell wirksam? Die Zelllinien wuchsen gut in der chemisch definierten Lösung, allerdings war der Test noch nicht so effizient und die Antwort der Zellen auf die Testsubstanz war schwächer. Beide OECD-Tests sollen nun in Phase zwei von den britischen Partnern mit anderen Zelllinien weiter verbessert werden.

In Phase zwei wird sich die Frankfurter Gruppe nun darauf konzentrieren, den menschlichen Leberstoffwechsel biotechnologisch nachzubilden. Aktuell werden in den beiden OECD-Testsystem in Tierversuchen gewonnene Leberhomogenate aus Rattenlebern – kurz S9 – genutzt. Es handelt sich um einen Brei aus fein zerkleinerten Leberzellen, die bei toxikologischen Tests die Funktion der Leber bei der Verstoffwechslung chemischer Substanzen imitieren. Hier haben Schiwy und sein Team schon in Phase eins ein biotechnologisches System entwickelt, das auf einer tierkomponentenfreien Rattenzelllinie basiert. Das heißt, es mussten dafür keine Laborratten sterben. „Das biotechnologische System reproduzierte die Stoffwechselprozesse fast so, wie wir sie vom Leberhomogenat kennen.“ Nun will er in Phase zwei das System mit Partnern auf dem Riedberg wie der Gruppe von Prof. Rolf Marschalek für humane Leberzelllinien weiterentwickeln.

Generell, sagt Schiwy, habe sich sein Blick für den Einsatz von Tierkomponenten in der Zellkultur durch das Projekt geschärft. Als Beispiel nennt er den Einsatz von Kälberserum für die Kultivierung von *In-vitro*-Fleisch. Dieses kann nur dann Erfolg haben, wenn auch hier keine Tierkomponenten verwendet werden. „Hier gibt es tolle Fortschritte und diese sollten auch in der toxikologischen Forschung passieren“, findet er. Anne Hardy

wissenschaftler*innen, betonten die Herausgeber, waren dabei beteiligt, machten das Projekt zu einem Aushängeschild der modernen Citizen Science. Der Botanische Garten, der bis 2012 zur Goethe-Uni gehörte und seither dem Palmengarten angegliedert ist, spielte eine wichtige Rolle bei diesem Projekt. Dort lagern die rund 10 000 Herbarbelege, die zur Nachprüfbarkeit der Forschungsergebnisse unerlässlich sind.

Auf fast 400 der insgesamt 520 Seiten des Bandes werden alle 1500 „spontan wachsend gefundenen Gattungen und Arten“ in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt: von „*Abies Pinaceae*“ (Tanne) bis „*Yucca*“ (Palmilie) reicht die Liste. Während sich die Flora des Vortaunus als sehr anthropogen, also vom Menschen beeinflusst, erwiesen habe, zeige sich der Südwesten des Taunus als sehr naturnah, wie Rüdiger Wittig betonte. Biologische Vielfalt sei nicht immer ein Qualitätsmerkmal, merkte Wittig kritisch an. Stattdessen sollte man eher von der Diversität sprechen. Hohe Artenzahlen resultierten oft aus einer Uniformierung der Flora. Bilder von prächtigen Blumenwiesen seien irreführend, da alle blühenden Exemplare Exoten oder gezüchtet seien. Naturschutzgebiete könnten zwar den Rückgang der Artenvielfalt verlangsamen, aber nicht stoppen. Sie müssten künftig noch besser geschützt werden. Wittig machte den Vorschlag, dafür Gebietsbetreuer*innen zu ernennen. df