

4 2 1

Julius-Kühn-Archiv

Jens Jacob

Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft -
Grundlagen und Anwendung

Zur Verabschiedung von Dr. Hans-Joachim Pelz
in den Ruhestand



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut. Es umfasst 15 Institute zuzüglich gemeinschaftlicher Einrichtungen an zukünftig sechs Standorten (Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Dossenheim, Siebeldingen, Dresden-Pillnitz) und eine Versuchsstation zur Kartoffelforschung in Groß Lüsewitz. Quedlinburg ist der Hauptsitz des Bundesforschungsinstituts.

Hauptaufgabe des JKI ist die Beratung der Bundesregierung bzw. des BMELV in allen Fragen mit Bezug zur Kulturpflanze. Die vielfältigen Aufgaben sind in wichtigen rechtlichen Regelwerken, wie dem Pflanzenschutzgesetz, dem Gentechnikgesetz, dem Chemikaliengesetz und hierzu erlassenen Rechtsverordnungen, niedergelegt und leiten sich im Übrigen aus dem Forschungsplan des BMELV ab. Die Zuständigkeit umfasst behördliche Aufgaben und die Forschung in den Bereichen Pflanzengenetik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit. Damit vernetzt das JKI alle wichtigen Ressortthemen um die Kulturpflanze – ob auf dem Feld, im Gewächshaus oder im urbanen Bereich – und entwickelt ganzheitliche Konzepte für den gesamten Pflanzenbau, für die Pflanzenproduktion bis hin zur Pflanzenpflege und -verwendung. Forschung und hoheitliche Aufgaben sind dabei eng miteinander verbunden. Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de>. Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for cultivated plants (JKI)

The Julius Kühn-Institute is both a research institution and a higher federal authority. It is structured into 15 institutes and several research service units on the sites of Quedlinburg, Braunschweig, Kleinmachnow, Siebeldingen, Dossenheim und Dresden-Pillnitz, complemented by an experimental station for potato research at Groß Lüsewitz. The head quarters are located in Quedlinburg.

The Institute's core activity is to advise the federal government and the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection in particular on all issues relating to cultivated plants. Its diverse tasks in this field are stipulated in important legal acts such as the Plant Protection Act, the Genetic Engineering Act and the Chemicals Act and in corresponding legal regulations, furthermore they arise from the new BMELV research plan.

The Institute's competence comprises both the functions of a federal authority and the research in the fields of plant genetics, agronomy, plant nutrition and soil science as well as plant protection and plant health. On this basis, the JKI networks all important departmental tasks relating to cultivated plants – whether grown in fields and forests, in the glasshouse or in an urban environment – and develops integrated concepts for plant cultivation as a whole, ranging from plant production to plant care and plant usage. Research and sovereign functions are closely intertwined.

More information is available on the website of the Julius Kühn-Institut under

<http://www.jki.bund.de>. For more specific enquiries, please contact our public relations office (pressestelle@jki.bund.de).

Finanziert mit freundlicher Unterstützung der
**Gemeinschaft der Förderer und Freunde
des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen e.V. (GFF)**

Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg,

Tel.: 03946 47-200, E-Mail: GFF@jki.bund.de

Internet: <http://www.jki.bund.de/> Bereich "Über uns"

4 2 1

Julius-Kühn-Archiv

Jens Jacob

Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft -
Grundlagen und Anwendung

Zur Verabschiedung von Dr. Hans-Joachim Pelz
in den Ruhestand



Jens Jacob
Julius Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst
- Wirbeltierforschung -
Toppheideweg 88
48161 Münster
Deutschland

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

ISSN 1867-1268
ISBN 978-3-930037-58-2

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, 2009. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben bei auch nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, Berlin.

Inhalt

Begrüßung zum Symposium „Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft - Grundlagen und Anwendung“	4
Backhaus, G.F.	
Analyse des raum-zeitlichen Zusammentreffens von Amphibien und Landbewirtschaftung als Grundlage für die Ableitung von Strategien zum Amphibienschutz in kleingewässerreichen Ackerbaugebieten	7
Berger, G.; Pfeffer, H.; Schobert, H.	
Biodiversität im Kulturland – vom Nebenprodukt zum Marktvorteil	21
Birrer, S. ¹ ; Balmer, O. ² ; Graf, R. ¹ ; Jenny, M. ¹	
Landschaftsmosaik und Risikouniformität – Auswirkungen zwischenartlicher Interaktionen auf Verhalten und Lebensgeschichte von Kleinsäugetern in der Kulturlandschaft	30
Eccard, J.	
Nagetier-übertragene Zoonosen: Beispiele aus Untersuchungen in Süd- und Westdeutschland	37
Essbauer, S.S. ¹ ; Schex, S. ¹ ; Spletstoesser, W. ¹ ; Pfeffer, M. ⁴ ; Ulrich, R.G. ² ; Seibold, E. ¹ ; Dobler, G. ¹ ; Wölfel, R. ¹ ; Bäumlner, W. ³	
Andere Länder – andere Sitten? Feldnagermanagement in tropischen Entwicklungsländern	49
Jacob, J.	
Genetik der Antikoagulantien-Resistenz bei Menschen und Nagetieren	62
Müller, C.R.	
Antikoagulantien-Resistenz bei kommensalen Nagern	68
Pelz, H.-J. ¹ ; Freise, J. ²	
Hantaviren und Nagetiere in Deutschland: Das Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“	76
Ulrich, R.G. ¹⁹ ; Schlegel, M. ¹ ; Schmidt-Chanasit, J. ² ; Jacob, J. ³ ; Freise, J. ⁴ ; Pelz, H.-J. ³ ; Mertens, M. ¹ ; Wenk, M. ⁵ ; Büchner, T. ¹ ; Masur, D. ¹ ; Sevke, K. ¹ ; Meier, M. ⁶ ; Thiel, J. ⁷ ; Triebenbacher, C. ⁸ ; Buschmann, A. ¹ ; Lang, J. ⁹ ; Löhr, P.W. ¹⁰ ; Allgöwer, R. ¹¹ ; Borkenhagen, P. ¹² ; Schröder, T. ¹³ ; Endepols, S. ¹⁴ ; Heidecke, T. ¹⁵ ; Stodian, I. ¹⁶ ; Hüppop, O. ¹⁷ ; Hornung, M. ¹⁸ ; Fiedler, W. ¹⁹ ; Krüger, F. ²⁰ ; Rühle, F. ²¹ ; Gerstengarbe, F.-W. ²² ; Pfeffer, M. ²³ ; Wegener, W. ²⁴ ; Bemmman, M. ²⁵ ; Ohlmeyer, L. ²⁶ ; Wolf, R. ²⁷ ; Gehrke, A. ²⁸ ; Heidecke, D. ²⁹ ; Stubbe, M. ²⁹ ; Zoller, H. ³⁰ ; Koch, J. ³¹ ; Brockmann, S.O. ³² ; Heckel, G. ³³ ; Essbauer, S.S. ²³	
Mode of action and toxicology of plant toxins and poisonous plants	93
Wink, M.	

Begrüßung zum Symposium „Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft - Grundlagen und Anwendung“

Backhaus, G.F.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Bauer-Str. 27, 06484 Quedlinburg,
E-Mail: georg.backhaus@jki.bund.de

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich darf Sie heute sehr herzlich zu unserem Symposium „*Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft – Grundlagen und Anwendung*“ begrüßen. Ich danke der Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung hier am Standort Münster, die seit Anfang des Jahres zum Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst des Julius Kühn-Instituts gehört, sehr herzlich für die Organisation dieser Tagung. Herzlicher Dank aber auch an die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen dafür, dass wir die Räume hier nutzen dürfen. Dies ist immer wieder auch ein Zeichen für die gute Zusammenarbeit zwischen den beiden Organisationen und ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ich freue mich sehr, dass Frau Dr. Ruland uns hier so freundlich und offen begrüßt hat.

Das Symposium hat zum Ziel, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den verschiedenen Bereichen der Wirbeltierforschung zusammenzubringen, die Zusammenarbeit zu intensivieren und damit die Verbindung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu stärken. Wenn ich hier so in die Runde schaue, habe ich keine Sorge, dass dieses Ziel erreicht werden kann.

Dieses Symposium dient aber auch dazu, mit Herrn Dr. Pelz einen sehr verdienten und namhaften Wissenschaftler zu ehren und in den Ruhestand zu begleiten – um den Begriff des Verabschiedens nicht verwenden zu müssen – der mit all seinem Fachwissen und seinem wissenschaftlichen Leben genau dieses Motto repräsentiert, nämlich: Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft – Grundlagen und Anwendung. Ich finde den Titel dieses Symposium deshalb im doppelten Sinne gut getroffen, einmal mit Blick auf die Aktivitäten von Dr. Pelz, andererseits auch fachlich-inhaltlich. Ich freue mich deshalb sehr, dass hier so viele namhafte Kolleginnen und Kollegen aus den Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, aus den Ministerien und Pflanzenschutzdiensten der Länder sowie Behörden, z. B. aus dem Bundesamt für Naturschutz erschienen sind, um sich zwei halbe Tage lang dem Thema der Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft – Grundlagen und Anwendung zu widmen und damit auch Ihre Arbeiten, sehr geehrter Herr Dr. Pelz, in die ihnen gebührenden Zusammenhänge zu bringen.

Meine Damen und Herren, bevor Sie in die spezifischen Themen einsteigen, gestatten Sie mir noch ein paar grundsätzliche Überlegungen eines Nicht-Fachmannes auf dem Gebiet der Wirbeltierkunde zum Symposium „Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft“. Ich habe mich beim Lesen des Titels, der unsereinem – der aus dem Pflanzenschutz kommt – so klar gefasst vorkommt, einmal in eine andere Rolle versetzt und mich gefragt: Was würden sich Menschen, die nicht zu den Fachleuten auf diesem Gebiet zählen, unter diesem Symposiumstitel vorstellen? Was würden Journalisten glauben, was hier beraten würde? Vielleicht das Zuwandern von Wölfen und Bären in unsere Gegenden und die Art und Weise, wie man mit solchen Tieren umgeht? Vielleicht die Verhaltensforschung bei Elchen oder Wild in Tiergärten und Gehegen? Vielleicht die Fragen der Belästigungen der Mitmenschen durch Marder, die die Kühlschlauhe durchbeißen und Waschbären, die Kirschbäume plündern? Oder verwilderte Katzen - oder gar die unglaubliche Zunahme der Zahl der Hunde in Städten und Stadtrandsiedlungen mit ihren ökonomischen und sozialen Auswirkungen? Meine Damen und Herren, ich habe erst letzte Woche im Rahmen einer Pressekonferenz wieder lernen dürfen, wie weit sich das Verständnis der Menschen den von uns vertretenen Forschungsinhalten gegenüber abgeschwächt hat, wie wenig den Menschen, besonders der urbanen Räume, wirklich bewusst ist, was uns beispielsweise über die Wirbeltiere forschen und heute beraten lässt. Wie wenig doch viele Menschen über die Forschungsinhalte, die wir hier für bedeutend halten, wissen, obwohl doch ihre Lebensqualität auch davon abhängt. Ich habe das Gefühl, dass insbesondere die landwirtschaftlich geprägte Kulturlandschaft und die ländlichen Räume mit all ihrer grundlegenden Bedeutung für unsere Zivilisation häufig gar nicht hinreichend als Kulturlandschaft wahrgenommen werden. Die Verwechslungen zwischen den Begriffen Kulturlandschaft und Naturlandschaft scheinen mir in starkem Maße vorhanden zu sein, obwohl wir publizieren und obwohl die Unterschiede ja schon in alten Lehrbüchern präsent sind. Manchmal glaube ich, wir müssen mit unseren Erläuterungen ganz vorn beginnen und unsere für uns so gut definierten Begriffe auch nach

außen wieder eindeutig klarstellen. Deshalb denke ich, dass wissenschaftliche Symposien sehr wichtig sind für die wissenschaftliche Diskussion. Wir müssen aber aus diesen Symposien heraus mehr denn je auch versuchen, die Öffentlichkeit wieder aufzuklären, auch über Forschung mit Mäusen und Ratten und Bisam, auch über die Bedeutung von Nagetieren für die Nahrungsmittelproduktion und -qualität und die Hygienebedingungen. Selbstverständlich auch über die Bedeutung und Biologie der Fledermäuse, der Vögel und deren Gefährdung durch die Maßnahmen, die Menschen in der Kulturlandschaft ergreifen. Zu dem, was wir aber zuerst wieder verdeutlichen müssen, zählt auch der Begriff der Kulturlandschaft, deshalb begrüße ich den Titel dieser Veranstaltung so sehr.

Kulturlandschaft – der Teil der Landschaft, der kulturell durch das Wirken des Menschen geprägt ist – das ist heute der allergrößte Teil unserer Landschaften in Mitteleuropa und besonders in Deutschland. Auch unsere Wälder sind ja davon nicht ausgenommen. Und auch die viel besungene Heidelandschaft, die in Wirklichkeit eine der am stärksten ausgeprägten kulturbedingten Landschaften ist, die man kennt, wie auch der Nationalrat on Global Change letzgens wieder festgestellt hat, wird in der Öffentlichkeit häufig als Naturlandschaft wahrgenommen und sogar als solche beworben. Unter Kulturlandschaft verstehen viele Menschen hingegen eher die urban geprägten Gebiete mit Industrie- und Gewerbeanteilen, mit engem Miteinander der Menschen, mit all dem, was Menschen an Kunst, Musik, Baukunst etc. hervorgebracht haben. Kulturlandschaft ist aber viel viel mehr. Die Menschen haben ja schon seit Jahrtausenden die Landschaften genutzt. Spätestens, seit sie aber begonnen haben, Pflanzen nicht mehr zu sammeln, sondern sie zu selektieren, später gezielt auf bestimmte Eigenschaften hin zu züchten, sie anzubauen und sie auch vor denjenigen zu schützen, die in Konkurrenz zum Menschen auch von diesen Pflanzen leben, haben die Menschen die Naturlandschaft verändert zu einer Kulturlandschaft. Fast alles, was uns hier in Mitteleuropa umgibt, ist Kulturlandschaft, und was sie dazu gemacht hat, ist in vielen Teilen die Agrikultur bzw. die Hortikultur des Menschen. Man kann sicherlich sagen: die ältesten und vielleicht auch vornehmsten Formen der Kultur, die das Leben der Menschen begleitet und vielfach überhaupt ermöglicht hat, sind die Agrikultur und Hortikultur. Das gerät heute leider allzu sehr in Vergessenheit. Die älteste der Kulturen, nämlich der flächeneffiziente und gezielte Anbau von Kulturpflanzen auf hohem züchterischen und anbautechnischen Niveau erfährt nicht immer die Wertschätzung, die sie als eigentliche Lebensgrundlage des Menschen (für Energie, Nahrungsmittel, Rohstoffe) an sich verdient. Hochkulturen, so behaupten Historiker, konnten grundsätzlich nur da entstehen und sich erfolgreich halten, wo die Menschen ihr Nahrungsproblem durch intensive und erfolgreiche Agrikultur im Griff hatten, ja, wo sie darüber hinaus in der Lage waren, landwirtschaftliche und gärtnerische Produkte für schlechte Zeiten zu lagern und damit auch Handel zu betreiben, also kulturell wichtige Waren gegen diese hochwertigen Produkte einzutauschen. Die sichere Ernährung, die Agrikultur, ist eine Grundlage für Kultur insgesamt.

Die Kulturlandschaft ist auch heute unsere Lebensgrundlage. Sie kann ihre vielfältigen Funktionen, die ja weit über die reine agrarische Nutzung hinausgehen und bis in die urbanen Räume hineinreichen, nur dann erfüllen, wenn es uns gemeinsam gelingt, ihren vielfältigen Charakter zu erhalten oder wieder neu einzurichten. Es ist an uns, die Vielfältigkeit zu erhalten und wieder zu verbessern. Zu dieser Landschaft gehören, das wissen Sie besser als ich, nicht nur Kulturpflanzen und Menschen. Sie ist nach wie vor Heimat vieler Tierarten, gerade auch der Wirbeltiere. Über deren Wirkungen und Funktionen wird ja heute und morgen auch diskutiert werden. Einige Tierarten zeigen eine intensive Interaktion mit der Agrikultur, der Landwirtschaft, indem sie bei sehr gehäuftem Auftreten, bei hoher Populationsdichte auch erhebliche Verluste verursachen können, aktuell Feldmäuse, aber auch Wühlmäuse oder Ratten oder bestimmte Vogelarten, manchmal – wie im Weinbau oder auf Kartoffelfeldern – auch die Wildschweine. Das gilt für die Kulturpflanzen im Anbau, das gilt aber auch für die Lagerhaltung der Pflanzenerzeugnisse. Andere Wirbeltiere gilt es zu davor schützen, dass die Anbauverfahren oder die Pflanzenschutzverfahren, die wir verwenden, sie im Bestand gefährden, beispielsweise bestimmte Vogelarten, Igel und andere.

Dieses alles einvernehmlich wissenschaftlich zu bearbeiten, neutral die Sachverhalte zu analysieren, ohne Weltanschauung eine rein wissenschaftliche Position zu vertreten, das ist eine Kunst, die angesichts der heutigen Polarisierungen, angesichts der Emotionalisierung der Diskussionen bei gleichzeitig geringem Fachwissen in breiten Bereichen unserer Gesellschaft, ein hohes Maß an Kritiktoleranz aber auch Standfestigkeit erfordert. Das ist aber eine der wichtigen Aufgaben der Wissenschaft, die Politik, die Gesellschaft auf Basis wissenschaftlicher Daten neutral zu beraten. Das ist speziell eine wichtige

Aufgabe der Ressortforschung. Und hier haben wir viele Fragen zu klären. Natürlich machen wir uns Sorgen um die Rattenbekämpfung in der Landwirtschaft, im Forst, in Vorratslagern. Natürlich arbeiten wir an Fragen der Wühlmausbekämpfung, besonders im Ökolandbau, wo dies aufgrund mangelnder Verwendbarkeit bestimmter Mittel ein Kardinalproblem sein kann. Natürlich forschen wir daran, wie sich Vogelpopulationen entwickeln unter dem Einfluss von Anbau- und besonders Pflanzenschutzverfahren. Natürlich arbeiten wir am Problem der Feldmausgradationen. Letztens gab es gar eine Anfrage aus dem politischen Raum, ob man nicht die eingeschleppte spanische Wegschnecke durch künstliche Ansiedlung des spanischen Kleinhirgels bekämpfen sollte.

An dieser kleinen Auswahl an Themen kann man erkennen, wie weit gespannt dieses Fachgebiet ist. Deshalb bin ich sehr froh, dass es trotz aller Einsparungen gelungen ist, auch im neuen Julius Kühn-Institut zwei Wissenschaftlerpositionen für die Wirbeltierkunde weiterhin dauerhaft verfügbar zu haben. Diese Wissenschaftler werden unseren Nukleus bilden. Natürlich können so kleine Teams nicht alle Fragen auf einmal bearbeiten. Deshalb sind wir auch in Zukunft sehr auf eine enge und gute Kooperation mit anderen Fachkollegen angewiesen. Wir nehmen den Begriff des *networking* und der Clusterbildung ernst durch Zusammenarbeit mit Hochschulen im In- und Ausland, mit Ressortforschungseinrichtungen des Bundes, wie besonders auch mit Pflanzenschutzdiensten und Ressorteinrichtungen der Bundesländer. Um diese Zusammenarbeit zu stärken und noch weiter zu verbessern, Erfahrungen auszutauschen, dazu ist ein solches Symposium ein gutes Instrument. Ich möchte Ihnen heute signalisieren, wir werden – wenn auch zukünftig am Standort Braunschweig – weiterhin als Kooperationspartner zur Verfügung stehen, um gemeinsam die wichtigen Fragen anzugehen. Und damit kann ich unserem Dr. Pelz wenigstens eine seiner Sorgen nehmen, nämlich die, das Fachgebiet würde aufgegeben.

Damit, meine Damen und Herren, möchte ich meine kleine Betrachtung beenden, es ist höchste Zeit, meinen Nachrednern das Feld zu überlassen. Ich wünsche Ihnen und uns ein interessantes Symposium, danke Ihnen herzlich dafür, dass Sie gekommen sind und freue mich mit Ihnen auf eine interessante und lebhaftere Veranstaltung.

Analyse des raum-zeitlichen Zusammentreffens von Amphibien und Landbewirtschaftung als Grundlage für die Ableitung von Strategien zum Amphibienschutz in kleingewässerreichen Ackerbaugebieten

Berger, G.; Pfeffer, H.; Schobert, H.

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg

Zusammenfassung

Ein großer Teil der Schutzgebiete für gefährdete Amphibienarten (z.B. Kammolch, Rotbauchunke) befindet sich innerhalb intensiv genutzter Ackerbaugebiete. Das bedeutet, dass die Amphibien auch Ackerflächen für ihre Wanderungen im Frühjahr zu den Laichgewässern und im Spätsommer/Herbst zu den Winterquartieren sowie zwischenzeitlich bei Landaufenthalten nutzen und somit Gefahr laufen, durch landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmaßnahmen geschädigt zu werden.

In einem am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung durchgeführten Forschungsprojekt (2006-2008) wurden in einem ca. 1.300 ha großen Untersuchungsgebiet mit Hilfe von umfangreichen Amphibienfangeinrichtungen auf Ackerflächen das Raum-Zeit-Verhalten von Amphibienpopulationen, sowie die Bewirtschaftung der betreffenden Ackerflächen erforscht.

Anhand der täglich ermittelten Individuen pro Fanggefäß konnten Rückschlüsse auf die Aktivitätsphasen von Amphibien auf Ackerflächen gezogen werden, welche die Grundlage für die Untersuchung der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Amphibien mit landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen bildeten. Es wurde festgestellt, dass Maßnahmen der Bodenbearbeitung die höchste zeitliche Übereinstimmung mit der Aktivität juveniler Tiere haben, die Aktivität adulter Tiere fiel hingegen zeitlich oft mit Maßnahmen des Pflanzenschutzes zusammen.

Anhand der Ergebnisse lassen sich Strategien für die Integration des Amphibienschutzes in die ackerbauliche Nutzung ableiten, welche die kurzfristige Unterlassung bestimmter Bewirtschaftungsmaßnahmen in Problemarealen beinhalten, ohne dabei das Betriebsergebnis zu beeinträchtigen. Die dargestellten Untersuchungen bilden die Grundlage für witterungsbasierte Prognosemodelle über das temporäre Auftreten von Amphibienarten auf Ackerflächen.

1. Problemstellung

Kleingewässerreiche Ackerbaugebiete sind oft Lebensraum für mehrere europaweit gefährdete Amphibienarten. Solche Arten wie Kammolch (*Triturus cristatus*) und Rotbauchunke (*Bombina bombina*) werden im Anhang II der FFH-Richtlinie geführt (Tab.3). Ihr Vorkommen führte in Deutschland wie in ganz Europa zur Ausweisung von Natura2000-Schutzgebieten (Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992). Viele der nationalen Schutzgebiete für diese prioritären Arten liegen unmittelbar in den intensiv genutzten, kleingewässerreichen Ackerbaugebieten, meist des norddeutschen Tieflandes.

Amphibien sind in der Regel auf das Vorhandensein von geeigneten aquatischen und terrestrischen Lebensräumen angewiesen. Diese sehr unterschiedlichen Habitatbestandteile treten meist räumlich getrennt voneinander auf. Zwischen den einzelnen Teillebensräumen müssen Amphibien deshalb oft größere Wanderungen unternehmen. Unter den Bedingungen intensiv ackerbaulich genutzter Agrarräume bedeutet das, dass sie bei ihren Wanderungen und zum Teil auch bei ihren Landaufenthalten Ackerflächen passieren und dabei unmittelbar mit Maßnahmen der Landbewirtschaftung zusammentreffen können. Schädigungen der Amphibien sind dabei unvermeidbar. Als besonders kritisch wird die Anwendung von Mineraldüngern auf Ackerflächen angesehen aber auch Maßnahmen der Bodenbearbeitung sowie der Applikation von Pflanzenschutzmitteln können sich negativ auf Amphibien auswirken (Schneeweiss & Schneeweiss 1997, Schneeweiss & Schneeweiss 1999, Oldham & Latham 1997, Dürr & Berger 1999, Greulich 2004).

Im Mittelpunkt eines am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung in den Jahren 2006 bis 2008 durchgeführten Forschungsvorhabens standen die Untersuchung des räumlichen und zeitlichen Zusammentreffens von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Amphibien, die möglichen Konsequenzen dieses Zusammentreffens für die Amphibienpopulationen sowie die Ableitung von Regeln der Entscheidungsunterstützung, um Konflikte zwischen Amphibienschutz und Landbewirtschaftung minimieren zu können. In diesem Artikel wird die Analyse des räumlichen und zeitlichen Zusammentreffens von Amphibien mit Landbewirtschaftungsmaßnahmen als Grundlage für die Ableitung von Vermeidungsstrategien dargestellt.

2. Untersuchungsgebiet und wissenschaftliche Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet Eggersdorf

In einem etwa 1.300 ha großen Untersuchungsgebiet („UG Eggersdorf“) werden zu den Themenbereichen Raum-Zeit-Verhalten von Amphibienpopulationen und Bewirtschaftung von Ackerflächen umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Ostbrandenburg und wird nach der Landschaftsgliederung Brandenburgs der Zone des Jungmoränengebietes, speziell der Lebuser Platte, zugeordnet. Die dominierenden Eiszeitformationen sind flachwellige Grundmoränen sowie vereinzelt Sanderbildungen. Als charakteristisches Merkmal der Jungmoränenlandschaft treten mit unregelmäßiger Verbreitung wasser- oder auch moorgefüllte Hohlformen, so genannte Sölle, auf, deren Entstehung zum Teil mit dem Abschmelzen von Toteisresten in Zusammenhang gebracht wird (Franz et al. 1970, Klafs & Jeschke 1973). Die Böden der Untersuchungsregion Lebuser Platte werden durch kalkreiche Geschiebemergeldecken geprägt, die häufig eine gestörte Lagerung aufweisen und in der Regel stark übersandet sind. Entsprechend sind sandige, sickerwasserbestimmte Substratstypen mit Tieflehm fast überall vorherrschend. Es handelt sich dabei überwiegend um schwach bis mäßig gebleichte Podsole, zum Teil auch um mäßig gebleichte Braunerden. Typisch ist eine kleinräumig sehr heterogene Verteilung einzelner Bodenformen mit der Hauptbodenart „lehmiger Sand“. Standorte mittlerer und geringerer Bodengüte treten etwa gleich verteilt auf. Die Bodenwertzahlen schwanken hauptsächlich zwischen 20 und 40.

Das Gebiet wird dominierend ackerbaulich genutzt. Der Anteil Ackerfläche ist größer als 90%, der Flächenanteil an Strukturelementen weist nur etwa 5% auf. Hauptsächlich werden anspruchslosere Wintergetreidearten und Winterraps, zunehmend aber auch Silomais angebaut.

Klimatisch gehört das Untersuchungsgebiet zum Übergangsbereich zwischen dem ozeanisch geprägten Klima Nord- beziehungsweise Nordwestdeutschlands und dem kontinental geprägten Binnenlandklima östlich der Oder. Die mittleren Jahresniederschläge betragen lediglich etwa 540 mm pro Jahr. Der Untersuchungsraum wird deshalb auch als charakteristisches Trockengebiet angesprochen (Schmidt et al. 1999).

2.2 Individuenerfassung an Fangzäunen

In einem Teil des Untersuchungsgebietes wurde das Zusammentreffen von Amphibien und Landbewirtschaftung analysiert. Zu diesem Zweck wurden in etwa 600 ha dieses Agrarraumes fast 4000 m Amphibienfangeinrichtungen (Fangzäune mit doppeltem Übersteigenschutz und beidseitig eingesetzten Fanggefäßen) installiert und über 772 Tage betrieben (Tab. 1). Ein Teil der Fangzäune wurde in Form eines systematischen Netzes mit 400 m Maschenweite im Gebiet verteilt. Biotope, die eine besondere Funktion als Landlebensraum haben können, wurden zusätzlich mit so genannten Enclosures (geschlossenen Fangeinrichtungen) umzäunt (Abb. 1). Alle Fangzäune befanden sich unmittelbar auf Ackerflächen oder hatten direkten Kontakt zu ihnen. Die Fangzäune wurden täglich in den Morgenstunden begangen. Die in den Fanggefäßen vorgefundenen Amphibien wurden bis zur Art bestimmt und entsprechend ihrer Altersstufe anzahlmäßig registriert. Nach der Erfassung wurden die Tiere auf der gegenüberliegenden Seite des Zaunes in etwa 10 m Entfernung wieder ausgesetzt.

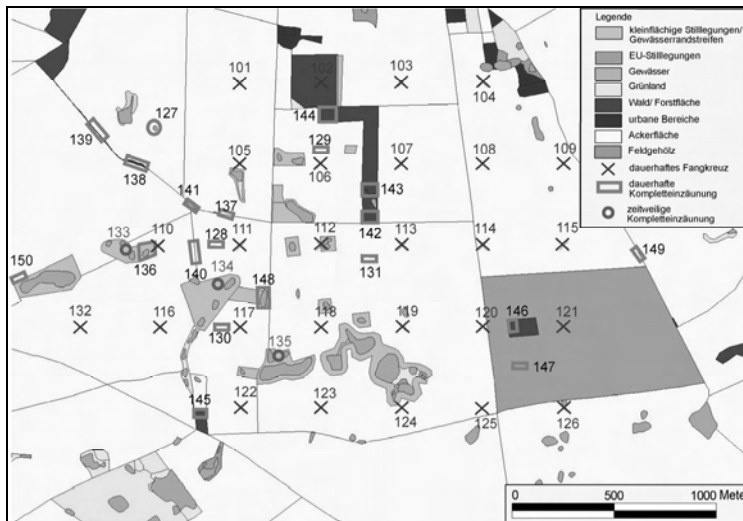


Abb. 1 Lage und räumliche Verteilung von Fangzauneinrichtungen im Untersuchungsgebiet Eggersdorf, Kreuze kennzeichnen die in einem systematischen Gitternetz verteilten Fangeinrichtungen, Rechtecke kennzeichnen Enclosures, die meist an besonderen Biotopen betrieben wurden, Kreise kennzeichnen eine zeitweilige Komplettzäunung.

Tab. 1 Jährliche Fangzeiträume und Anzahl der Fangtage

Jahr	Startdatum	Enddatum	Anzahl Fangtage
2006	04.04.2006	19.12.2006	260
2007	09.01.2007	21.12.2007	339
2008	08.01.2008	30.06.2008	173
		gesamt	772

2.3 Analysemethoden

Für die Analyse des räumlichen und zeitlichen Zusammentreffens von Amphibien mit Landwirtschaft wurden ausschließlich Daten an Fangzäunen ausgewertet, die mindestens 30 m vom Gewässer entfernt aufgestellt waren. Diese Einschränkung wurde notwendig, um das spezifische Verhalten von Amphibien, oft nur im näheren Umfeld der Gewässer aktiv zu sein, nicht verfälschend in die Auswertung einzubeziehen. Die gewonnenen Daten ermöglichen es somit, die tatsächliche Landaktivität der Amphibien abzubilden. Da im Jahresverlauf einzelne Zäune vom Acker entfernt werden mussten, wurde die Anzahl der täglich ermittelten Individuen durch die Summe aller Fanggefäße dividiert und tagesbezogen als mittlere Anzahl Individuen pro Gefäß ausgegeben. Dieser Parameter diente nachfolgend dazu, Phasen höherer Tieraktivität auf Ackerflächen abbilden zu können. Zum Zweck einer besseren Anschaulichkeit wurden die täglichen Aktivitätswerte klassifiziert. Es wurde dabei so vorgegangen, dass zuerst die Differenz der in den einzelnen Untersuchungs Jahren vorgefundenen Minimal- und Maximalwerte der Tieraktivität durch drei dividiert wurde. Diese Dritteldifferenz wurde anschließend zum Minimalwert aufsummiert und vom Maximalwert abgezogen, so dass drei Klassen (geringe, mittlere und hohe Aktivität) gebildet werden konnten. Dieses jahresbezogene Vorgehen war notwendig, da die Anzahl der in den einzelnen Jahren vorgefundenen Individuen stark unterschiedlich war, und eine pauschale Festlegung dieser drei Aktivitätsklassen über den gesamten Zeitraum die tatsächlichen Verhältnisse nur bedingt widerspiegelt hätte.

2.4 Datensammlung Landbewirtschaftung

Für den gesamten Untersuchungszeitraum wurden die Bewirtschaftungsdaten aller Ackerschläge der zumindest zum Teil im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe erhoben. Auf insgesamt 1088 ha Ackerfläche wurden die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen taggenau und schlagbezogen hinsichtlich Art und Umfang erfasst. Auf dieser Grundlage war es nachfolgend möglich, für einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen eine gebietsspezifische Schlagkraft der Technik zu errechnen und relevante Termine der Bewirtschaftung abzuleiten. Von besonderem Interesse war dabei, ob es eine zeitliche Übereinstimmung der Landbewirtschaftung mit der Aktivität von Amphibien auf Ackerflächen gab und welche Maßnahmen mit Phasen höherer Aktivität der Amphibien zusammenfallen. Da unterstellt werden kann, dass die an einem Morgen innerhalb von Ackerflächen gefangenen Tiere bereits am Tag zuvor unterwegs waren und sich vermutlich auch am folgenden Tag dort befunden haben, wurden je Aktivitätstag der Amphibien drei Bewirtschaftungstage ausgewertet. Der an diesen Tagen auftretende maximale Flächenanteil einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen wurde nachfolgend dem Aktivitätstag zugeordnet. Es wurde auch die Wahrscheinlichkeit untersucht, mit der Aktivitätsspitzen der einzelnen Amphibienarten mit Bewirtschaftungsmaßnahmen mit hoher Flächenleistung zusammenzutreffen. Zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge wurde eine sechsstufige Skala entwickelt, die sowohl die tägliche Tieraktivität als auch die Flächenleistung zeitnah durchgeführter Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Ackerflächen berücksichtigt (Tab. 2). Bei dieser Art der Betrachtung war es unerheblich, ob Tieraktivität und Bewirtschaftung tatsächlich räumlich zusammenfallen bzw. ein unmittelbarer Kontakt zu verzeichnen war.

Tab. 2 Tägliche Tieraktivität, Anteil der täglich bewirtschafteten Fläche an der gesamten Ackerfläche und die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens vieler Tiere mit großflächiger Bewirtschaftung

Tägliche Tieraktivität	Anteil der täglich bewirtschafteten Fläche an der gesamten Ackerfläche (%)	Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens vieler Tiere mit großflächiger Bewirtschaftung
Ohne	0	ohne
Ohne	>0-5	ohne
Ohne	>5-10	ohne
Ohne	>10-20	ohne
Ohne	>20-30	ohne
Ohne	>30-40	ohne
Ohne	>40-50	ohne
Gering	0	ohne
Gering	>0-5	Sehr gering
Gering	>5-10	Sehr gering
Gering	>10-20	gering
Gering	>20-30	gering
Gering	>30-40	gering
Gering	>40-50	gering
Mittel	0	ohne
Mittel	>0-5	gering
Mittel	>5-10	gering
Mittel	>10-20	gering-mittel
Mittel	>20-30	gering-mittel
Mittel	>30-40	mittel
Mittel	>40-50	mittel

Tägliche Tieraktivität	Anteil der täglich bewirtschafteten Fläche an der gesamten Ackerfläche (%)	Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens vieler Tiere mit großflächiger Bewirtschaftung
Hoch	0	ohne
Hoch	>0-5	gering-mittel
Hoch	>5-10	mittel
Hoch	>10-20	mittel-hoch
Hoch	>20-30	mittel-hoch
Hoch	>30-40	hoch
Hoch	>40-50	hoch

3. Ergebnisse

3.1 Artenbezogene Nutzung von gewässerfernen Lebensräumen

An den mindestens 30 m vom Gewässer entfernten Fangzäunen war es möglich, neun Amphibienarten nachzuweisen (Tab. 3). Damit ist sicher, dass sich das komplette Artenspektrum dieses Gebietes zumindest zeitweise auch auf Ackerflächen aufhält. Die beiden Arten Knoblauchkröte und Moorfrosch sind mit hohen Individuenzahlen (eudominant) vertreten. Die Arten Erdkröte sowie Teich- und Kammolch treten mit mittlerer Aktivitätsdichte in den Landlebensräumen auf. Neben diesen fünf Hauptarten werden Rotbauchunke, Wechselkröte, Teichfrosch und Laubfrosch als Begleitarten geführt. Mit Ausnahme der Rotbauchunke sind diese Arten durch extrem geringe Häufigkeit charakterisiert.

Tab. 3 Liste der im Untersuchungsgebiet Eggersdorf vorkommenden Amphibienarten, ihr Rote-Liste-Status in Deutschland (Beutler et al. 1998), in Berlin (Kühnel et al. 2004) und in Brandenburg (Schneeweiß & Krone 2004) und deren Nennung im Anhang II bzw. IV der Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Richtlinie (Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992) sowie die Dominanz ihres Auftretens auf Basis der Fänge von 12.850 adulten und subadulten Individuen an Landzäunen vom 04.04.2006-30.06.2008

Art		Gefährdung nach Rote Listen			FFH-Status	Nachweis auf Ackerflächen	Dominanz des Vorkommens nach Engelman (1978)	Artenzuordnung
		BRD	B	BB				
<i>Bombina bombina</i>	Rotbauchunke	1	1	2	II IV	Ja	Rezedent	Begleitart
<i>Bufo bufo</i>	Erdkröte	n	3	*		Ja	Subdominant	Hauptart
<i>Bufo viridis</i>	Wechselkröte	2	2	3	IV	Ja	Sporadisch	Begleitart
<i>Hyla arborea</i>	Laubfrosch	2	0	2	IV	Ja	Sporadisch	Begleitart
<i>Pelobates fuscus</i>	Knoblauchkröte	2	2	*	IV	Ja	Eudominant	Hauptart
<i>Rana arvalis</i>	Moorfrosch	2	3	*	IV	Ja	Eudominant	Hauptart
<i>Rana kl. esculenta</i>	Teichfrosch	n	N	**		Ja	Sporadisch	Begleitart
<i>Triturus c. cristatus</i>	Kammolch	3	3	3	II IV	Ja	Subdominant	Hauptart
<i>Triturus vulgaris</i>	Teichmolch	n	N	**		Ja	Subdominant	Hauptart
Anzahl Arten				4	2	6	9	

Gefährdungskategorien: 0 ausgestorben; 1 vom Aussterben bedroht; 2 stark gefährdet; 3 gefährdet; P potenziell gefährdet; V Art der Vorwarnliste; R Art mit geografischer Restriktion; G Gefährdung anzunehmen, aber Status unbekannt; D Daten defizitär; * derzeit nicht als gefährdet anzusehen; ** ungefährdet; n nicht in der Roten Liste geführt; - kein Vorkommen; N dank Naturschutzmaßnahmen gleich oder geringer gefährdet (Zusatzkriterium NRW)

Kategorien FFH-Richtlinie: II = Amphibien- und Reptilienarten von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen; IV = Streng zu schützende Amphibien- und Reptilienarten von gemeinschaftlichem Interesse

Rote Listen: BRD = Deutschland; BB = Brandenburg; B = Berlin

3.2 Amphibienaktivität an Landzäunen

In den einzelnen Untersuchungsjahren wurden an den gewässerfernen Fangzäunen sehr unterschiedliche Fangzahlen der einzelnen Tierarten und ihrer Altersstufen registriert.

Die Anzahl erwachsener Tiere schwankte zwischen den Arten enorm (Anzahl Rotbauchunken: 30, Anzahl Knoblauchkröten: 2011). Bei den subadulten Individuen wurden maximal 2.718 Knoblauchkröten im Jahr 2006 nachgewiesen. Der Höchstwert an jungen Tieren lag bei 17.376 Knoblauchkröten. Aufgrund der Beendigung der Zaunfänge am 30.06.2008 konnten in diesem Jahr mit Ausnahme einiger Knoblauchkröten, Moorfrösche und Teichmolche keine weiteren Jungtiere erfasst werden (Tab. 4).

Tab. 4 Anzahl von Tagen mit oder ohne Tieraktivität auf Landflächen sowie im jeweiligen Jahr insgesamt dort nachgewiesene Individuen einzelner Amphibienarten..

Amphibienart	Altersstufe	Jahr	Anzahl		Tieraktivität auf Landflächen		
			Individuen	Ohne	gering	mittel	Hoch
<i>Bombina bombina</i>	adult	2006	30	238	16	5	1
		2007	80	299	36	3	1
		2008	34	153	11	5	4
	subadult	2006	84	222	32	4	2
		2007	63	312	26	0	1
		2008	3	170	1	0	2
	juvenil	2006	231	198	54	6	2
		2007	11	330	7	0	2
	<i>Bufo bufo</i>	adult	2006	191	172	87	0
2007			229	239	92	5	3
2008			179	123	44	2	4
subadult		2006	149	198	58	3	1
		2007	241	240	89	6	4
		2008	7	166	5	0	2
juvenil		2006	1.991	143	104	9	4
		2007	27	320	12	5	2
<i>Pelobates fuscus</i>		adult	2006	2.011	104	151	4
	2007		879	201	128	8	2
	2008		1.892	61	105	4	3
	subadult	2006	195	182	63	10	5
		2007	2.718	185	151	2	1
		2008	391	96	74	2	1
	juvenil	2006	17.376	112	144	3	1
		2007	98	302	30	4	3
		2008	118	167	3	1	2
<i>Rana arvalis</i>	adult	2006	70	215	42	2	1
		2007	239	255	82	1	1
		2008	238	135	34	2	2
	subadult	2006	529	131	126	2	1
		2007	1.059	213	122	3	1
		2008	77	136	36	0	1
	juvenil	2006	4.901	114	131	12	3
		2007	209	264	67	6	2
		2008	9	167	4	1	1
<i>Triturus cristatus</i>	adult	2006	36	232	27	0	1
		2007	118	269	56	13	1
		2008	119	128	36	6	3
	subadult	2006	61	225	30	2	3
		2007	203	269	61	8	1
		2008	124	139	29	4	1
	juvenil	2006	140	208	37	12	3
		2007	89	302	33	2	2

Amphibienart	Altersstufe	Jahr	Anzahl		Tieraktivität auf Landflächen		
			Individuen	Ohne	gering	mittel	Hoch
<i>Triturus vulgaris</i>	adult	2006	160	174	78	7	1
		2007	145	261	65	10	3
		2008	91	132	37	3	1
	subadult	2006	30	232	21	0	7
		2007	70	293	34	10	2
		2008	56	142	25	4	2
	juvenil	2006	166	200	47	9	4
		2007	306	259	64	14	2
		2008	1	170	1	1	1

Die Ergebnisse in Tabelle 4 machen deutlich, dass es innerhalb eines Jahres sehr viele Tage gibt, an denen keine Tieraktivität auf Landflächen zu verzeichnen ist. Es zeigt sich aber auch, dass es einzelne Tage gibt, an denen die Aktivität der Amphibien besonders hoch ist. Pro Jahr sind etwa zwei bis vier Tage mit ausgesprochenen Aktivitätsspitzen der einzelnen Arten und Altersstufen zu erkennen. In der Mehrzahl der durch Tieraktivität gekennzeichneten Tage handelt es sich jedoch einheitlich bei allen Arten um eine eher geringe Aktivität. Auffällig ist jedoch, dass die Anzahl dieser Tage mit geringer Aktivität zwischen den Arten und den Altersstufen ganz erheblich schwankt. Vor allem Knoblauchkröten aber auch Moorfrösche und zum Teil Erdkröten wiesen eine deutlich höhere Anzahl von Aktivitätstagen auf als die anderen Amphibienarten. Tage mit mittlerer Aktivität wurden meist zwischen 4 und 10 Tagen pro Jahr registriert.

3.3 Landbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet Eggersdorf

Die Auswertung der Bewirtschaftungsdaten der Ackerflächen zeigt, dass die einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen erwartungsgemäß eine sehr unterschiedliche tägliche Flächenleistung aufweisen. Im Mittel werden von den analysierten 1.088 ha Ackerfläche täglich etwa 26,7 ha gepflügt, Mineraldünger wird demgegenüber im Mittel auf etwa 90 ha Fläche je Tag appliziert (Tab. 5). Weit wichtiger als die mittlere Flächenleistung ist aus Sicht des Zusammentreffens von Amphibien mit Landbewirtschaftung die in diesem Gebiet maximal zu verzeichnende Flächenleistung einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen. Innerhalb eines Tages können Mineraldünger sowie Pflanzenschutzmittel auf bis zu 250 beziehungsweise 230 ha ausgebracht werden. Damit ist es zumindest theoretisch möglich, innerhalb eines Zeitraumes von etwas mehr als vier Tagen den gesamten Untersuchungsraum flächendeckend zu bewirtschaften. Maßnahmen der Bodenbearbeitung sind innerhalb eines Tages auf maximal 140 ha möglich. Das bedeutet, dass etwa 8 bis 9 Tage notwendig wären, um den Untersuchungsraum flächendeckend zu pflügen oder zu grubbern, was jedoch auf Grund der Fruchtfolgegestaltung natürlich in der Praxis unmöglich ist.

Tab. 5 Flächenleistung ausgewählter Bewirtschaftungsmaßnahmen

Bewirtschaftungsmaßnahme	Flächenleistung je Tag (ha)	
	Mittelwert	Maximalwert
Pflug	26,7	120,2
Grubber	33,7	141,8
Mineraldüngung	87,7	249,9
Bestellung	34,9	137,4
Pflanzenschutzmittel	77,3	228,2
Ernte	56,5	113,5

Neben der mittleren sowie der maximalen Flächenleistung war es notwendig, das tatsächliche Geschehen auf den Ackerflächen im Untersuchungszeitraum abzubilden. Zu diesem Zweck wurde die tägliche Flächenleistung der Bewirtschaftung in das prozentuale Verhältnis zur gesamten Ackerfläche des Untersuchungsraumes (1.088 ha) gesetzt. Diese Flächenanteile wurden entsprechend ihrer Häufigkeit einzelnen Klassen zugeordnet. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, zeigte sich, dass die Tagesleistung der Bodenbearbeitung (Pflug oder Grubber) sowie der Bestellung meist auf unter 3% bzw. auf 3-6 % der Ackerfläche durchgeführt wurden. Die Applikation von Pflanzenschutzmitteln erfolgte in der Mehrzahl der Fälle mit einer Tagesleistung von 6-10% der Ackerfläche des Untersuchungsraumes. Lediglich die Ausbringung von Mineraldüngern wies ein differenziertes Bild hinsichtlich der täglichen Flächenleistung auf. Mit etwa gleicher Häufigkeit wurden täglich zwischen 0 und 3, 3 und 6, 6 und 10 sowie 10 und 15% der Ackerfläche appliziert. An etwa 15 Tagen wurde auf mehr als 15% bzw. mehr als 20% der Ackerfläche Mineraldünger ausgebracht.

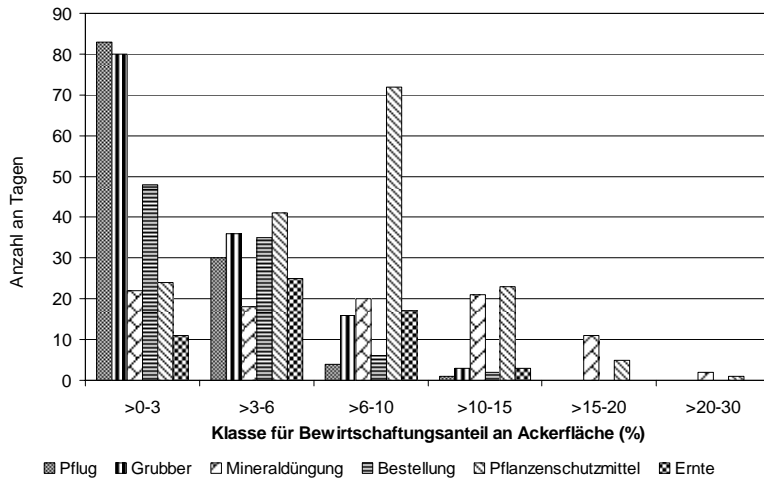


Abb. 2 Verteilung Flächenleistung von Bewirtschaftungsmaßnahmen im Zeitraum 04.04. 2006 – 30.06.2008

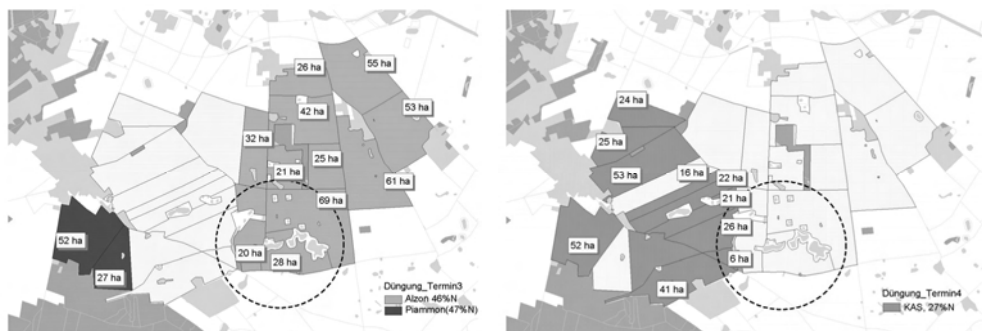


Abb. 3 Bewirtschaftungsblöcke bei der Ausbringung von Stickstoffdünger und Zeiträume der Applikation (links: Alzon, 03.04.-11.04.2007; rechts Kalkammonsalpeter, 18.04.-25.04.2007)

Auch aus Abbildung 3 wird deutlich, dass innerhalb weniger Tage ein Großteil der Ackerfläche des Untersuchungsraumes mit Mineraldüngern versorgt wird. Alzon, ein stabilisierter Stickstoffdünger, wurde im Jahr 2007 innerhalb von 9 Tagen appliziert, Kalkammonsalpeter, wie Alzon ebenfalls oberflächlich ausgestreut, wurde in einem Zeitraum von 8 Tagen ausgebracht.

3.4 Zeitliche Übereinstimmung von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Amphibienaktivität

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes vom 04.04.2006 bis zum 30.06.2008 ist das Vorkommen von Amphibien auf Ackerflächen des Öfteren mit Maßnahmen der Landbewirtschaftung zeitlich zusammengefallen (Tab. 6). Von den insgesamt 772 Fangtagen an Zäunen konnten bis zu 188 Aktivitätstage mit zeitlicher Übereinstimmung zur Landbewirtschaftung identifiziert werden. Die hohe Aktivität adulter Knoblauchkröten auf Ackerflächen sowie Ackerrandflächen fiel zeitnah oft mit Maßnahmen des Pflanzenschutzes zusammen. Auch für die adulten sowie die subadulten Tiere der anderen Amphibienarten wurden die meisten zeitlichen Übereinstimmungen mit der Bewirtschaftungsmaßnahme Applikation von Pflanzenschutzmitteln erzielt. Die höchste zeitliche Übereinstimmung der Aktivität von juvenilen Tieren wurde mit Maßnahmen der Bodenbearbeitung (Grubber und Pflug) verzeichnet. Aufgrund der in der Regel geringeren Tieraktivität und ihres zeitlichen Zusammentreffens mit Bewirtschaftungsmaßnahmen geringeren bis mittleren Flächenumfanges wurde in der Mehrzahl der Fälle eine sehr geringe bis geringe Wahrscheinlichkeit des raum-zeitlichen Zusammentreffens von Amphibien mit Ackerbewirtschaftungsmaßnahmen abgeleitet. Vereinzelt wurde aber auch eine mittlere bis hohe Wahrscheinlichkeit ermittelt.

Tab. 6 Zeitliche Koinzidenz von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Tieraktivität auf Landflächen und Wahrscheinlichkeit ihres Zusammentreffens bedingt durch Flächenleistung der Bewirtschaftung und Höhe der Tieraktivität (wenig Tiere, kaum Flächenleistung dann wenig kritisch, entspricht Stufe „sehr geringe“ oder „geringe Wahrscheinlichkeit“)

Amphibienart	Altersstufe	Anzahl Tage mit Tieraktivität	Bewirtschaftungsmaßnahme	Anzahl potenzieller Konflikttage	davon mit Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens					
					sehr gering	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
<i>Bombina bombina</i>	adult (144)	82	Pflug	16	11	4	0	1	0	0
			Grubber	10	7	3	0	0	0	0
			Mineraldüngung	21	9	9	2	1	0	0
			Bestellung	20	12	5	2	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	44	24	9	5	2	4	0
			Ernte	1	1	0	0	0	0	0
	subadult (150)	68	Pflug	23	19	3	0	0	1	0
			Grubber	17	12	4	1	0	0	0
			Mineraldüngung	12	8	2	2	0	0	0
			Bestellung	18	13	3	1	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	39	22	11	0	2	3	1
			Ernte	0	0	0	0	0	0	0
	juvenil (242)	71	Pflug	43	33	2	5	3	0	0
			Grubber	36	31	4	1	0	0	0
			Mineraldüngung	9	4	4	0	0	1	0
			Bestellung	29	23	5	1	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	26	16	4	5	0	1	0
			Ernte	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bufo bufo</i>	adult (599)	238	Pflug	46	39	4	2	1	0	0
			Grubber	51	46	5	0	0	0	0
			Mineraldüngung	57	24	26	2	2	1	2
			Bestellung	43	38	0	2	3	0	0
			Pflanzenschutzmittel	84	54	29	1	0	0	0
			Ernte	23	22	0	1	0	0	0
	subadult (397)	168	Pflug	24	22	1	0	1	0	0
			Grubber	28	23	4	1	0	0	0
			Mineraldüngung	31	14	13	3	1	0	0
			Bestellung	21	19	2	0	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	69	50	15	2	1	1	0
			Ernte	7	6	0	1	0	0	0
	juvenil (2.018)	136	Pflug	55	40	9	3	2	1	0
			Grubber	65	50	10	3	1	1	0
			Mineraldüngung	16	7	7	2	0	0	0
			Bestellung	31	24	7	0	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	31	24	3	2	0	2	0
			Ernte	19	15	2	0	1	1	0

Amphibienart	Altersstufe	Anzahl Tage mit Tieraktivität	Bewirtschaftungsmaßnahme	Anzahl potenzieller Konflikttage	davon mit Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens					
					sehr gering	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
<i>Pelobates fuscus</i>	adult (4.782)	406	Pflug	67	59	7	0	1	0	0
			Grubber	72	69	3	0	0	0	0
			Mineraldüngung	73	37	34	2	0	0	0
			Bestellung	57	50	3	4	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	188	120	54	9	1	4	0
			Ernte	30	28	2	0	0	0	0
	subadult (3.304)	309	Pflug	52	43	4	1	4	0	0
			Grubber	64	53	5	6	0	0	0
			Mineraldüngung	53	33	19	0	0	1	0
			Bestellung	37	30	3	3	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	130	78	44	5	1	1	1
			Ernte	26	25	1	0	0	0	0
	juvenil (17.592)	191	Pflug	64	59	4	0	1	0	0
			Grubber	96	85	7	0	3	1	0
			Mineraldüngung	18	10	7	1	0	0	0
			Bestellung	43	39	3	1	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	45	38	5	2	0	0	0
			Ernte	41	31	5	1	2	2	0
<i>Rana arvalis</i>	adult (547)	167	Pflug	23	21	2	0	0	0	0
			Grubber	23	23	0	0	0	0	0
			Mineraldüngung	55	22	27	0	3	3	0
			Bestellung	22	20	1	1	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	46	37	9	0	0	0	0
			Ernte	10	9	1	0	0	0	0
	subadult (1.665)	292	Pflug	62	59	3	0	0	0	0
			Grubber	70	67	3	0	0	0	0
			Mineraldüngung	72	32	37	1	0	1	1
			Bestellung	50	44	6	0	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	131	85	44	1	1	0	0
			Ernte	14	13	1	0	0	0	0
	juvenil (5.119)	227	Pflug	77	60	13	1	1	2	0
			Grubber	105	86	13	4	1	1	0
			Mineraldüngung	26	17	7	2	0	0	0
			Bestellung	56	45	10	1	0	0	0
			Pflanzenschutzmittel	57	43	8	4	0	2	0
			Ernte	49	39	4	3	2	1	0
<i>Triturus cristatus</i>	adult (273)	143	Pflug	30	22	7	1	0	0	0
			Grubber	12	11	0	1	0	0	0
			Mineraldüngung	37	11	21	1	3	1	0
			Bestellung	29	19	5	4	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	64	36	22	4	0	2	0
			Ernte	0	0	0	0	0	0	0
	subadult (388)	139	Pflug	39	29	8	1	1	0	0
			Grubber	19	18	0	1	0	0	0
			Mineraldüngung	37	15	17	1	1	2	1
			Bestellung	42	33	6	2	0	1	0
			Pflanzenschutzmittel	69	41	25	3	0	0	0
			Ernte	1	1	0	0	0	0	0
	juvenil (229)	89	Pflug	46	36	5	2	3	0	0
			Grubber	27	21	4	2	0	0	0
			Mineraldüngung	6	4	0	2	0	0	0
			Bestellung	40	28	7	1	3	1	0
			Pflanzenschutzmittel	41	26	7	5	1	0	2
			Ernte	0	0	0	0	0	0	0
<i>Triturus vulgaris</i>	adult (396)	205	Pflug	50	41	8	0	1	0	0
			Grubber	40	36	3	1	0	0	0
			Mineraldüngung	54	23	27	2	1	1	0

Amphibienart	Altersstufe	Anzahl Tage mit Tieraktivität	Bewirtschaftungsmaßnahme	Anzahl potenzieller Konflikttage	davon mit Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens					
					sehr gering	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
			Bestellung	40	32	4	3	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	77	45	28	3	1	0	0
	subadult (156)	105	Ernte	9	8	1	0	0	0	0
			Pflug	21	14	2	2	3	0	0
			Grubber	19	13	1	4	0	1	0
			Mineraldüngung	19	8	8	0	1	2	0
			Bestellung	27	16	7	2	1	1	0
			Pflanzenschutzmittel	51	24	18	5	1	3	0
			Ernte	1	1	0	0	0	0	0
	juvenil (473)	143	Pflug	75	51	15	4	3	2	0
			Grubber	49	39	6	3	0	1	0
			Mineraldüngung	18	9	6	2	0	1	0
			Bestellung	60	39	13	7	1	0	0
			Pflanzenschutzmittel	60	34	12	11	0	3	0
			Ernte	6	6	0	0	0	0	0

4. Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse basieren auf Untersuchungen innerhalb eines Agrarraumes in Deutschland. In diesem Gebiet sind die in Landlebensräumen ermittelten Fangzahlen der einzelnen Amphibienarten zum Teil erheblich (Knoblauchkröte, Erdkröte und Moorfrosch), zum Teil aber auch vergleichsweise gering (Rotbauchunke und Kammmolch). Es ergibt sich somit eine eingeschränkte Repräsentativität der Untersuchungen. Dennoch ist auf Grundlage der hier vorgestellten Arbeiten ein grundsätzliches Bild über das räumliche und zeitliche Zusammentreffen von Amphibien mit Landwirtschaft zu vermitteln.

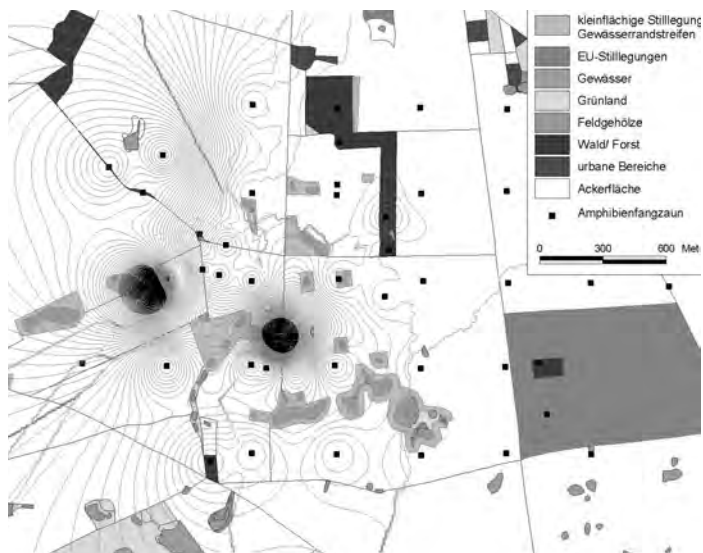


Abb. 4 Räumliche Verteilung adulter und subadulter Rotbauchunken (Datenbasis: Tiere/Fanggefäß/Tag; Periode 01.01. bis 31.05.2006; Iso-Linien = Gradienten der Fangzahlen zwischen den Fangpunkten)

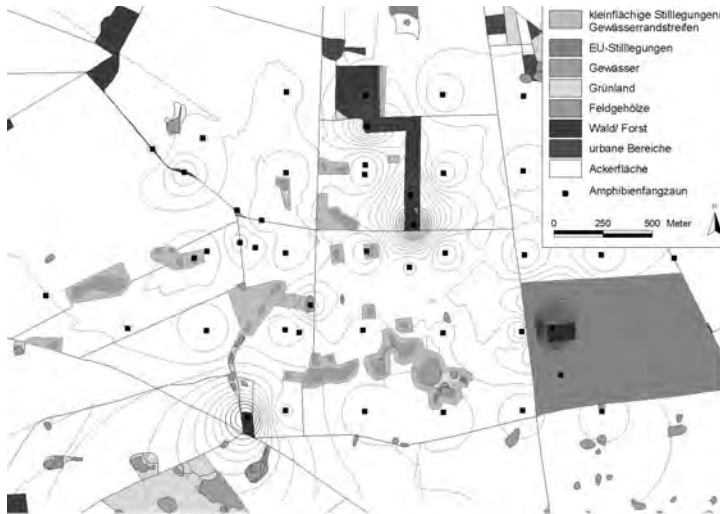


Abb. 5 Räumliche Verteilung adulter und subadulter Erdkröten (Datenbasis: Tiere/Fanggefäß/Tag; Periode 01.01. bis 31.05.2006; Iso-Linien = Gradienten der Fangzahlen zwischen den Fangpunkten)

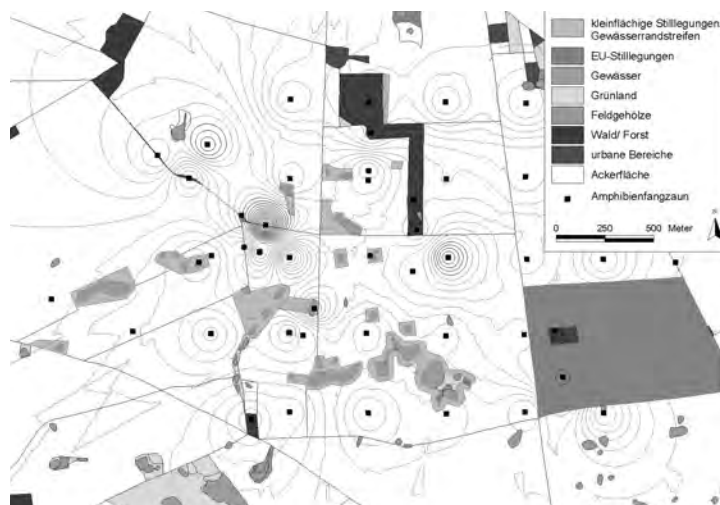


Abb. 6 Räumliche Verteilung adulter und subadulter Knoblauchkröten (Datenbasis: Tiere/Fanggefäß/Tag; Periode 01.06. bis 31.07.2006; Iso-Linien = Gradienten der Fangzahlen zwischen den Fangpunkten)

Wie das Beispiel der Rotbauchunken für das Jahr 2006 zeigt (Abb. 4), ist das Umfeld der Vermehrungsgewässer durch eine in der Frühjahrsperiode höhere Aktivität gekennzeichnet als die gewässerfernen Bereiche des Gebietes. Besonders bei erwachsenen Rotbauchunken ist dieses stark ausgeprägt, da sie in der Vegetationszeit regelmäßig zwischen den Vermehrungsgewässern wandern und demzufolge öfter im Gewässerumfeld anzutreffen sind (Müller 1995). Gewässerfernere Bereiche, die eine höhere Dichte von Amphibien aufweisen, sind meist durch die Nähe zu spezifischen Landhabitaten geprägt. Derartige Konzentrationen sind jedoch nur dann zu beobachten, wenn Amphibien besondere Landphasen, wie z.B. die Wanderung in das Winterquartier oder aus dem Winterquartier heraus durchlaufen (Abb. 5). Abweichend dazu ist aus Abbildung 6 zu entnehmen, dass Knoblauchkröten während der Sommermonate neben Landhabitaten wie Säumen und Stilllegungsflächen vor allem auch Ackerflächen als Lebensraum nutzen.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass in einer intensiv genutzten, kleingewässerreichen Agrarlandschaft Amphibien und Landbewirtschaftung innerhalb eines Jahres mehrfach zusammentreffen. Es wurde dabei deutlich, dass dieses Zusammentreffen meist wenige Tiere betrifft. Die Ergebnisse belegen aber auch, dass es einzelne Phasen der Landbewirtschaftung gibt, die durch eine hohe Tieraktivität gekennzeichnet sind. In diesen Phasen werden zum Teil Bewirtschaftungsmaßnahmen mit hoher Flächenleistung, wie z.B. die Ausbringung von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln, durchgeführt. Auf Basis der gesamten Betriebsfläche ergibt sich insbesondere dann eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen von Bewirtschaftungsmaßnahmen mit entsprechend hohen Anteilen der Amphibienpopulationen. Unterstellt man eine entsprechende Schadwirkung einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen, dann ist genau dieses Zusammentreffen (viele Tiere, großflächige Bewirtschaftung) der entscheidende Faktor für mögliche relevante Schädigungen. Auf dieser Grundlage wird deutlich, welche Maßnahmen der Konfliktminimierung möglich und erforderlich sind. Da die Tage mit höherer Tieraktivität (populationsrelevanter Anteil) nur sehr selten auftreten, sind aus Sicht der Vermeidung von direkten Tierschädigungen auch selten Anforderungen an die Veränderung der Bewirtschaftung zu stellen. Somit lassen sich zwei grundsätzlich mögliche Vermeidungsstrategien zur Integration des Amphibienschutzes in die ackerbauliche Nutzung ableiten:

- a) Kurzfristige Unterlassung potenziell schädlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen in Bereichen, die eine höhere Tierkonzentration aufweisen
- b) Durchführung von potenziell schädigenden Bewirtschaftungsmaßnahmen in Phasen erhöhter Tieraktivität in Arealen des Betriebes, die nachweislich eine geringere Tierkonzentration aufweisen

Vermeidungsstrategie a) ist dann zu bevorzugen, wenn es sich um kleinere Betriebe handelt, die ausschließlich stärker durch Amphibien besiedelte Räume bewirtschaften, d.h. die mehr oder weniger vollständig in kleingewässerreichen Ackerbaugebieten tätig sind. Diese Strategie ist auch dann interessant, wenn es in größeren Betrieben keine Möglichkeit zum Ausweichen auf alternative Flächen oder Termine gibt, weil beispielsweise alle sonstigen Flächen bereits bewirtschaftet wurden oder zum aktuellen Zeitpunkt kein weiterer Bewirtschaftungsbedarf existiert.

Vermeidungsstrategie b) ist meist in größeren Betrieben problemlos anzuwenden, in denen es neben kleingewässerreichen Räumen auch Gebiete gibt, in denen kaum Kleingewässer und demzufolge auch kaum Amphibien zu verzeichnen sind und in denen Fruchtarten mit ähnlichen Bewirtschaftungsansprüchen, wie zum Beispiel Wintergetreide und Winterraps, angebaut werden. Vor allem die Mineraldüngung und zum Teil auch die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln wird bei diesen Fruchtarten zeitnah und meist gemeinsam durchgeführt.

5. Ausblick

Maßnahmen des Amphibienschutzes lassen sich sehr wirksam in den konventionellen Ackerbau integrieren. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass es umfangreiches Wissen zur raum-zeitlichen Nutzung der jeweiligen Agrarräume durch Amphibien gibt und dass es möglich ist, Wanderungsbewegungen auf Populationsebene vorauszusagen. Kurzzeitig einzelne Bewirtschaftungsmaßnahmen auszusetzen, ohne dabei das Betriebsergebnis negativ zu beeinflussen, erscheint möglich. Ein Beispiel dafür ist u. a. ein drei Tage andauernder Verzicht zur Applikation von potenziell schädlichen Mineraldüngern auf Ackerflächen. Für die dargestellten Strategien bedeutet das, dass Vorhersagen über die tägliche Tieraktivität in Landlebensräumen und auf Ackerflächen erforderlich sind. Witterungsbasierte Prognosemodelle, die für die Schaderregerüberwachung im Pflanzenschutz seit langem bekannt sind, sollten für die Vorhersagen über das temporäre Auftreten für Zielarten des Naturschutzes genutzt werden. Damit formulieren sich neue Anforderungen sowohl an die Grundlagen- wie auch an die auf Anwendung ausgerichtete Forschung zur Integration von Maßnahmen des Naturschutzes in die Landnutzung. Für die praktische Anwendung ist es dabei dringend erforderlich, dass es Beratungsinstrumente gibt, die für den Landnutzer schnell erreichbar, kostenlos, einfach verständlich und aussagefähig sind.

Ein weiterer Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten muss die Ermittlung von Schädigungsraten einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Amphibien sein. Wenngleich es eine Reihe von Hinweisen ihrer Schädigung auf Amphibien gibt, fehlen größtenteils valide und reproduzierbare Befunde. Diese sind eine wesentliche Voraussetzung für die Ableitung zielführender Schutzkonzepte. Auch diesbezüglich sind entsprechende Forschungsarbeiten perspektivisch notwendig.

Literatur

- Beutler, A., Geiger, A., Kornacker, P., Kühnel, K.D., Laufer, H., Podloucky, R., Boye, P., Dietrich, E. (1998): Rote Liste der Kriechtiere (Reptilia) und Rote Liste der Lurche (Amphibia). - In: Bundesamt Für Naturschutz [Hrsg.] (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands Bonn-Bad Godesberg: S. 48-52.
- Dürr, S., Berger, G. (1999): Effekte acker- und pflanzenbaulicher Bewirtschaftung auf Amphibien und Empfehlungen für die Bewirtschaftung in Amphibien-Reproduktionszentren. - Rana (Sonderheft 3): S. 101-117.
- Engelmann, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia 18: S. 378-380.
- Franz, H.-J., Schneider, R., Scholz, E. (1970): Geomorphologische Übersichtskarte 1 : 200000, Erläuterungen für die Kartenblätter Berlin-Potsdam und Frankfurt-Eberswalde.- Gotha/Leipzig (VEB Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt): 46 S.
- Greulich, K. (2004): Einfluss von Pestiziden auf Laich und Larven von Amphibien. - Studien Tagungsber. Landesumweltamt Brandenburg: 103 S.
- Klafs, G., Jeschke, L. (1973): Genese und Systematik wasserführender Hohlformen in den Nordbezirken der DDR.- Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 13 (4): S. 287-302.
- Kühnel, K.D., Krone, A., Biehler, A. (2004): Rote Liste und Gesamtartenliste Amphibien und Reptilien von Berlin. - Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Müller, S. (1995): Ökologische Untersuchungen an den Amphibien im Naturpark Brandenburgische Elbtalau, unter besonderer Berücksichtigung der Rotbauchunke (*Bombina orientalis* L.). Chr.-Albrechts-Universität, Diplomarbeit: 94 S.
- Oldham, R.S., Latham, D.M. (1997): The effect of ammonium nitrate fertiliser on frog (*Rana temporaria*) survival. - Agriculture, Ecosystems and Environment 61: S. 69-74.
- Rat der Europäischen Gemeinschaften (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (L206): S. 1-13.
- Schmidt, R., Bork, H.-R., Fischer-Zujkow, U. (1999): Exkursionsführer zur 18. Sitzung des Arbeitskreises Paläopedologie der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft: Paläoböden und Kolluvien auf glazialen Sedimenten Nordostdeutschlands. Eberswalde, 13.-15. Mai 1999.- Müncheberg (Selbstverlag des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung ZALF e. V.) ZALF- Berichte 37: 131 S.
- Schneeweiss, N., Schneeweiss, U. (1997): Amphibienverluste infolge mineralischer Düngung auf Agrarflächen. – Salamandra: 33 (1): S. 1-8.
- Schneeweiss, U., Schneeweiss, N. (1999): Gefährdung von Amphibien durch mineralische Düngung. - Rana (3): S. 59-66.
- Schneeweiss, N., Krone, A. (2004): Rote Listen und Artenlisten der Lurche (Amphibia) und Kriechtiere (Reptilia) des Landes Brandenburg. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 13 (Beilage zu Heft 4): S. 1-35.

Biodiversität im Kulturland – vom Nebenprodukt zum Marktvorteil

Birrer, S.¹; Balmer, O.²; Graf, R.¹; Jenny, M.¹

¹ Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach, simon.birrer@vogelwarte.ch

² Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL, Ackerstrasse, 5070 Frick, Schweiz

Zusammenfassung

Die in der Schweiz getroffenen Maßnahmen gegen den Rückgang der Biodiversität im Kulturland zeigen wenig Erfolg. Die Gründe dürften einerseits in der gängigen Subventionspolitik, andererseits beim ökologischen Wissen der Landwirte liegen. Das 2008 gestartete Projekt „Mit Vielfalt punkten – Bauern beleben die Natur“ will an diesen beiden Punkten ansetzen. Vorerst wurde ein Punktesystem entwickelt, mit dem die Leistungen der Betriebe für die Biodiversität ermittelt werden können. Der Zusammenhang Punkte – Biodiversität wird geprüft. In Zukunft werden 30 Betriebe intensiv mit dem Ziel beraten, dass mehr Maßnahmen zu Gunsten der Biodiversität umgesetzt werden. Für die Beratung werden Leitartenkarten entwickelt, denn es hat sich gezeigt, dass Landwirte besser auf konkrete Arten ansprechen als auf theoretische Konzepte. Die Auswirkungen der Beratung werden geprüft, sowohl auf der Ebene Biodiversität als auch auf der sozio-ökonomischen Ebene.

Bereits zu Beginn des Projektes hat die IP-SUISSE (Verein der integriert produzierenden Landwirte) das Punktesystem in ihre Richtlinien aufgenommen und mit einer Mindestpunktezahl versehen. Die Migros (Vermarkter) übernimmt einen großen Teil dieser Produkte und zahlt den Landwirten einen Bonus aus. Sie gibt die Produkte unter dem Label TerraSuisse den Konsumierenden weiter. So wird die Biodiversität zu einem Marktfaktor.

1. Einleitung

Kulturlandschaften in Mitteleuropa können eine sehr hohe Biodiversität aufweisen. Ein großer Teil der dort vorkommenden Arten gilt heute jedoch als gefährdet. Der Grund liegt in der Intensivierung der Landwirtschaft, wohl dem wichtigsten Grund für den Rückgang der Biodiversität in Mitteleuropa überhaupt (Newton 2004, Burfield & von Bommel 2004, Hole et al. 2005). Als Gegenmaßnahme haben Behörden und Organisationen bereits seit Längerem Maßnahmen zum Schutz und zur Förderung der Biodiversität im Kulturland eingeleitet. Nur wenige dieser Projekte und Programme konnten aber wesentliche Erfolge erzielen, so dass der Biodiversitätsverlust im Kulturland andauert.

In dieser Publikation wollen wir die aktuellen Erfahrungen zu diesem Thema aus der Schweiz zusammenfassen. Ferner stellen wir das Projekt „Mit Vielfalt punkten – Bauern beleben die Natur“ vor, das die Leistungen der Landwirtschaft für die Biodiversität mit einem einfachen Punktesystem messen und diese Leistungen mit einer verstärkten Beratung fördern will. Die IP-SUISSE hat dieses Punktesystem bereits in ihre Richtlinien übernommen und setzt ihre Produkte am Markt zu einem höheren Preis ab. Die Auswirkung dieses Vorgehens auf die Biodiversität wird in einem zweiten Projekt untersucht.

2. Rückgang der Biodiversität

In der Folge der Jahrtausende dauernden Tätigkeit der Landwirte entstanden im ehemaligen Waldgebiet Mitteleuropas vielfältige Kulturlandschaften, welche auf kleinem Raum eine große Artenvielfalt enthielten. Wegen der Intensivierung der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten nahm die Biodiversität in diesen Kulturlandschaften stark ab (Baur et al. 2004). Heute ist auch in der Schweiz ein großer Teil der auf das Landwirtschaftsgebiet angewiesenen Arten gefährdet, so gelten 50 % der 42 hauptsächlich im Kulturland brütenden Vogelarten der Schweiz als bedroht (Kohli & Birrer 2003). Ursache dieser Gefährdung ist die zunehmende Intensivierung, wobei diese vielerlei Aspekte aufweist: Meliorationen und Güterzusammenlegungen, Spezialisierung der Landwirtschaftsbetriebe auf einen oder wenige Betriebszweige, Einsatz von Hilfsstoffen wie Pestiziden und Kunstdüngern, neue Pflanzen- und Tierrassen aber auch Einsatz von Fremdenergie in Form von leistungsfähigen Maschinen.

Das ursprüngliche Ziel dieser von den Staaten geförderten Intensivierung war die Ertragssteigerung, damit die zunehmende Bevölkerung ernährt werden konnte. Dieses Ziel wurde bald erreicht und weit übertroffen. Ende des 20. Jahrhunderts gab es in Mitteleuropa keine Mangelernährung mehr, dafür Ertragsüberschüsse in der Landwirtschaft. Ein Beispiel für die Ertragssteigerung ist der Winterweizen. Der Weizenertrag lag in der Schweiz den 1990er Jahren etwa drei Mal so hoch wie in den 1910er Jahren (Schmid et al. 1998). Die durchschnittliche Milchleistung einer Kuh stieg im gleichen Zeitraum von knapp 3000 kg/Jahr auf über 5000 kg/Jahr (Schweizerisches Bauernsekretariat).

3. Reaktion der Schweizerischen Agrarpolitik

1986 wurde eine wesentliche Änderung in der Schweizer Agrarpolitik eingeleitet, als das Schweizer Stimmvolk eine Vorlage zur weiteren Subventionierung der einheimischen Zuckerproduktion an der Urne ablehnte. Mit dem 7. Landwirtschaftsbericht von 1992 wurde die Politik der „Versorgungssicherheit“ aufgegeben und stattdessen eine marktorientierte, multifunktionale und nachhaltig produzierende Landwirtschaft angestrebt (Schweizerischer Bundesrat 1992). Die Trennung von Preis- und Einkommenspolitik, die Lockerung staatlicher Markteingriffe und die Förderung ökologischer Leistungen mit Direktzahlungen waren Bausteine der neuen Agrarpolitik. Seit 1993 werden ökologische Leistungen der Landwirte mit Direktzahlungen abgegolten (Harder 1998). Darunter fallen auch Zahlungen für ökologische Ausgleichsflächen, welche von den Landwirten als Lebensraum für Tiere und Pflanzen angelegt werden. 1996 hießen 78 % der Stimmberechtigten einen Verfassungsartikel über die Landwirtschaft gut. Darin wurden drei gleichwertige Ziele festgelegt: (a) Sichere Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln, (b) Erhalten der natürlichen Lebensgrundlagen und Pflege der Kulturlandschaft, (c) Aufrechterhalten der dezentralen Besiedlung des Landes.

Mit der 1998 erfolgten Revision des Bundesgesetzes über die Landwirtschaft wurde der so genannte ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) Bedingung für den Bezug von Direktzahlungen. Im Rahmen des ÖLN müssen die Landwirte unter anderem nachweisen, dass sie 7 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als ökologische Ausgleichsflächen (Ökoflächen) bewirtschaften (Widmer 1998).

Die Auswirkungen der Ökoflächen auf die Biodiversität war Gegenstand von intensiven Untersuchungen um die Jahrhundertwende (Herzog et al. 2005, Flury 2005). Es zeigte sich, dass im Vergleich zu benachbarten Kulturlandflächen auf Ökoflächen zwar mehr Pflanzen und Wirbellose vorkamen, doch blieb der Effekt deutlich unter den Erwartungen. Auf die Kulturlandvögel hatten die Ökoflächen nur einen geringen Einfluss und es war insbesondere kein positiver Bestandstrend bei gefährdeten Arten zu verzeichnen (Birrer et al. 2007a, Birrer et al. 2007b). Der Grund für das eher ernüchternde Ergebnis der ökologischen Ausgleichsflächen war in der mangelnden Qualität der Flächen zu suchen. So erreichen nur gerade 20 % der als Ökoflächen angemeldeten Wiesen die minimalen Qualitätskriterien der Öko-Qualitätsverordnung, ÖQV (Dreier & Hofer 2005). Das System der Ökoflächen wäre also Erfolg versprechend, seine Anwendung und Umsetzung ist jedoch verbesserungsbedürftig.

Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) hat die Defizite bei Qualität und Quantität der ökologischen Ausgleichsflächen erkannt und 2001 die Öko-Qualitätsverordnung (ÖQV) erarbeitet. Seither profitieren Landwirte, deren Ökoflächen eine hohe ökologische Qualität aufweisen oder gemäß einem Vernetzungsprojekt anlegt sind, von zusätzlichen Entschädigungen (Jenny et al. 2002). Inzwischen zeigte es sich jedoch, dass es auch unter dem Titel „ÖQV“ Projekte gibt, bei denen die positive Wirkung wegen schlechter Planung oder mangelndem Umsetzungswillen ausbleibt.

4. Regionalprojekte der Schweizerischen Vogelwarte

Dass der regionale Ansatz zu einer bedeutenden Erhöhung der Biodiversität führen kann, zeigten verschiedene Projekte der Schweizerischen Vogelwarte Sempach, jeweils in Kooperationen mit den lokalen Landwirten und regional bis national tätigen Organisationen und Behörden. Bei Laconnex in der Champagne genevoise (Südwestschweiz, Kanton Genf) wurde Anfangs der 1990er Jahre ein Projekt mit dem Ziel gestartet, Ackerbaugebiete mit spontan begrünten Buntbrachen aufzuwerten (Lugrin & Regamey 2001). Bis 2005 konnte der Anteil von Brachen an Landwirtschaftsfläche stetig gesteigert werden und erreichte 3,3 %, Niederhecken machten weitere 1,8 % aus (Abb. 1). Viele zum Teil bedrohte Arten profitierten von den Aufwertungen. Die Revierdichte der Dorngrasmücke beispielsweise hat sich innerhalb von zwölf Jahren mehr als verzehnfacht und liegt heute bei 12 Revieren/km² (Abb. 1).

Die Revierzentren von Grauammern und Schwarzkehlchen sowie, weniger ausgeprägt, diejenigen der Dorngrasmücke lagen vorwiegend in Buntbrachen (Josephy 2000, Jenny et al. 2003). Dass die Bestandszunahme tatsächlich auf die Habitatsaufwertung zurückzuführen ist zeigt auch die Tatsache, dass im Umland die Bestände der Arten auf tiefem Niveau stagnierten (Lugrin 1999). Auch der Feldhase *Lepus europaeus* reagierte sowohl in der Champagne geneovise als auch im Klettgau und im St. Galler Rheintal mit Bestandszunahmen auf Lebensraumaufwertungen (Holzgang et al. 2005). Weitere Beispiele (Graf 1999, Schlegel & Weber 2002, Jenny et al. 2005) belegen, dass Ökoflächen mit guter Qualität durchaus zu einer Erhöhung der Artenvielfalt in einer Region beitragen können. Unsere Erfahrungen zeigen aber auch, dass die Lebensraumaufwertung in Ackerlandgebieten mehr Erfolg hat, als in Grünlandgebieten (Birrer et al. 2005).

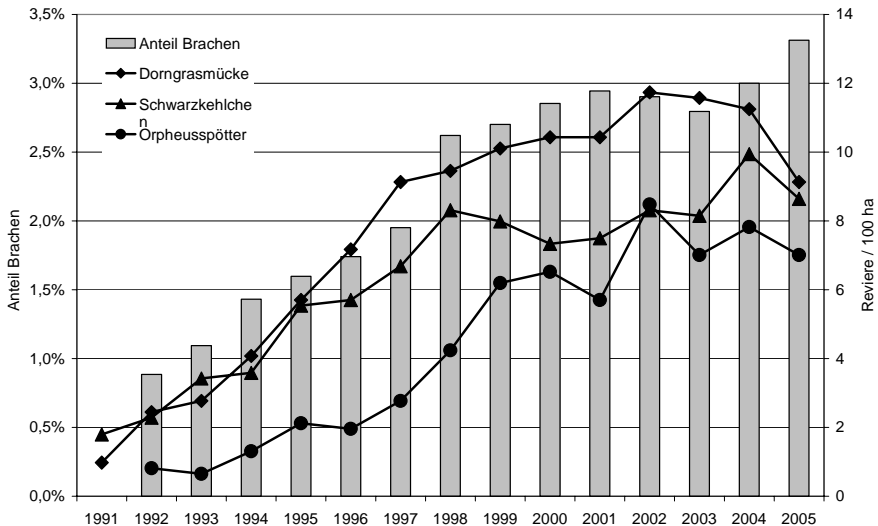


Abb. 1 Entwicklung der Brachflächen und der drei Brutvogelarten Dorngrasmücke *Sylvia communis*, Schwarzkehlchen *Saxicola torquata* und Orpheusspötter *Hippolais polyglotta* in der Champagne geneovise (aus Birrer et al. 2007b).

5. Lehren für die Zukunft

Die Beispiele der Vogelwarte weisen nach, dass die Biodiversität selbst in intensiv genutzten Kulturlandschaften erfolgreich gefördert werden kann. Wesentliche Mittel dazu stünden mit den Direktzahlungen für ökologische Ausgleichsflächen sowie deren Qualität und Vernetzung zur Verfügung. Es stellt sich somit die Frage, wieso nur geringe Fortschritte bei der Förderung der Biodiversität im Kulturland zu verzeichnen sind. Wir sehen dafür folgende Gründe:

(a) Heute machen die allgemeinen Direktzahlungen des Bundes 2 Mia. Franken aus, während für die Ökoflächen bloß 126 Mio. und für die Qualität und Vernetzung der Ökoflächen 28 Mio. eingesetzt werden (BLW 2006). Es erstaunt deshalb nicht, dass die Landwirte in erster Linie versuchen, möglichst stark vom großen Teil der Direktzahlungen zu profitieren, der eine intensive Landwirtschaft fördert oder ohne Zusatzleistungen ausbezahlt wird. Zudem führen auch diverse andere Geldquellen des Bundes indirekt zu einer Intensivierung der Landnutzung. Dazu gehören etwa die Erschließung von Berggebieten mit Straßen aus touristischen oder forstwirtschaftlichen Gründen, Investitionshilfen für Berggebiete usw. (Luder 1993, Rodewald & Neff 2001). Die Beiträge für die Landwirtschaft werden mit der Begründung ausbezahlt, dass damit Leistungen für die Allgemeinheit abgegolten würden. Tatsächlich wird aber nicht überprüft, wie groß die Leistungen der einzelnen Landwirtschaftsbetriebe sind. Eine derartige Überprüfung wäre allerdings zurzeit auch nicht möglich, weil es unterlassen wurde, ein entsprechendes Messsystem auszuarbeiten.

(b) Das Wissen der Landwirte über ökologische Zusammenhänge ist gering. Die Ökologie spielt bei der Ausbildung der Landwirte nach wie vor eine nebensächliche Rolle. Es zeigt sich immer wieder, dass die Landwirte nicht realisieren, dass sie dank den ökologischen Direktzahlungen mit einer extensiveren Landwirtschaft ein geringeres Arbeitsaufkommen hätten und trotzdem ökonomisch profitieren würden (Pfiffner et al. 2007).

6. Projekt „Mit Vielfalt punkten“

Hier setzt das Projekt „Mit Vielfalt punkten – Bauern beleben die Natur“ an, das im Jahr 2007 gestartet wurde. Beteiligt sind neben dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL und der Schweizerischen Vogelwarte Sempach auch die beiden Landwirtschaftsorganisationen IP-SUISSE und BIO SUISSE. Ziel des Projektes ist es, neue Instrumente zu entwickeln und deren Wirkung auf die Biodiversität zu überprüfen. Gleichzeitig sollen mit Hilfe dieser Instrumente Landwirtschaftsbetriebe aufgewertet werden (Fallbeispiele) und die Idee einer „naturfreundlichen Produktion“ bei Landwirten, Bevölkerung und Entscheidungsträgern bekannt gemacht werden. Im Projekt werden zwei zentrale Fragen behandelt: (a) kann die Leistung der Landwirte zu Gunsten der Biodiversität auf einfache Art gemessen werden? (b) Trägt eine verbesserte Beratung dazu bei, die Landwirte zu motivieren und mehr Leistung für die Biodiversität zu erbringen? Als erstes wurde ein Punktesystem entwickelt, welches die Leistungen der Landwirte zur Förderung der Biodiversität bewertet. Ein Leitartensystem soll zudem den Landwirten ermöglichen, ihre Leistungen gezielt auf das vorhandene naturräumliche Potenzial der Artenvielfalt auszurichten. Mittels einer sozioökonomischen Studie wird schließlich untersucht, wie sich die von den Landwirten umgesetzten Maßnahmen auf das bäuerliche Einkommen auswirken.

6.1 Punktesystem

Wir gehen davon aus, dass die Leistung der Landwirtschaft für die Biodiversität mit einem Punktesystem erfasst werden kann. Aufgrund der vorhandenen Literatur und Erfahrungen haben wir Vorversionen zu einem solchen Punktesystem erstellt. Diese wurden nach intensiven Diskussionen und Tests zur Praxistauglichkeit mit Biologen und Landwirten mehrfach optimiert und im Frühjahr 2008 veröffentlicht (Jenny et al. 2008). Da die Biodiversität auf einem Betrieb nicht direkt messbar ist, orientiert sich das System am Vorhandensein und der Pflege verschiedener Lebensräume für Tiere und Pflanzen sowie an deren Qualität und Lage. Die Punktezahl wird vom Betriebsleiter selbst erhoben und erlaubt damit eine Selbstevaluation des Betriebes aus ökologischer Sicht. Gleichzeitig zeigt das Punktesystem dem Betriebsleiter mögliche Handlungsfelder für die Optimierung des Betriebes aus Sicht der Biodiversität auf.

Bewertet werden im Punktesystem die Größe, Qualität und Lage der ökologischen Ausgleichsflächen, aber auch Maßnahmen auf der Produktionsfläche wie das Anlegen von Felderchen-Fenstern (Jenny 2004, Fischer et al. im Druck), der Verzicht auf Herbizide im Ackerbau oder der Einsatz von Balkenstatt Kreiselmähern (Tab.1); vollständige Version auf www.vogelwarte.ch Rubrik Schutz/Forschung, Lebensräume). Die Kriterien beziehen sich jeweils auf Flächenanteile, so dass die Punkte unabhängig von der Betriebsgröße vergeben werden. Da mit dem System möglichst verschiedenartige Betriebe beurteilt werden sollen, also reine Ackerbaubetriebe, solche mit Spezialkulturen und reine Grünlandbetriebe, wurde eine relativ breite Palette verschiedener Kriterien berücksichtigt. Da die ökologischen Potentiale und die Produktionspotentiale von Tal- und Bergbetrieben sehr unterschiedlich sind, wurden eine Variante für das Talgebiet und eine für das Berggebiet entwickelt.

Tab. 1 Vereinfachter Kriterienkatalog zum Punktesystem. % LN = Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Betriebs.; % off. Acker = Anteil an der offenen Ackerfläche, % GL = Anteil am Grünland

Kriterien	Max. Punktezahl
Betrieb allgemein	
durchschnittliche Schlaggröße (ha)	3
Anzahl Nutzungstypen	3
ökologische Ausgleichsflächen	
ökologische Ausgleichsflächen (% LN)	6
ökologische Ausgleichsflächen mit Qualität (% LN)	6
große (>20 a) ökologische Ausgleichsflächen mit Qualität (% LN)	6
ökologische Ausgleichsflächen mit Strukturvielfalt (% LN)	4
Anteil Schläge mit ökologischen Ausgleichsflächen (%)	4
Maßnahmen auf den Produktionsflächen - Ackerflächen	
Kleinflächen auf Getreide, Raps, Sonnenblumen oder Mais (% off. Acker)	2
weite Reihen im Getreide (% off. Acker)	2
Anbau Sommergetreide (% off. Acker)	2
überwinternde Zwischenfruchtflächen bis 14. Februar (% off. Acker)	2
Mais mit Klee/Gras-Untersaat oder Maiswiese (% off. Acker)	2
Klee/Gras-Untersaat im Getreide (% off. Acker)	2
Brachenmanagement: jeweils 1/4 pro Jahr umbrechen (% off. Acker)	2
Verzicht auf Halmverkürzer, Insektizide, Fungizide im Ackerbau (% off. Acker)	2
Verzicht auf Herbizide im Ackerbau (% off. Acker)	2
Maßnahmen auf den Produktionsflächen – Grünland als ökologische Ausgleichsfläche	
Einsatz Balkenmäher (% GL)	2
Verzicht auf Mähauflbereiter (% GL)	2
gestaffelte Wiesennutzung (% GL)	2
Doppelzäune mit Abstand 2 m in extensiv genutzten Weiden (% GL)	2
extensive Unternutzung in Hochstammobstgärten (% GL)	2
Maßnahmen auf den Produktionsflächen – intensiv genutztes Grünland	
Verzicht auf Silage (% GL)	2
Einsatz Balkenmäher (% GL)	2
Doppelzäune mit Abstand 2 m in Intensivweiden (m/ha Intensivweide)	2
spezielle Maßnahmen	
Waldrandaufwertungen (m)	2
Haltung gefährdeter Tierrassen (% des Viehbestandes)	2
Anbau alter, regionaltypischer, gefährdeter und/oder resistenter Obst-, Gemüse- oder Getreidesorten	2
spezielle Maßnahmen zugunsten von Zielarten	3

In einem nächsten Schritt soll auf gut 100 Betrieben geprüft werden, wie gut das Punktesystem die Vielfalt repräsentativer Organismengruppen (Vögel, Tagfalter, Heuschrecken, Gefäßpflanzen) auf Betriebsebene widerspiegelt. Diese Gruppen stehen stellvertretend für die gesamte Artenvielfalt. Ausgewählt wurden diese Indikatoren, weil sie relativ einfach erfassbar sind, und weil ihre Eignung als Indikatoren für die Biodiversität bereits vielfach nachgewiesen wurde.

Die Brutvögel werden auf der gesamten Betriebsfläche mit einer Flächenkartierung erhoben, die übrigen Artengruppen auf jeweils 2,5 km langen Transekten, die durch alle vorhandenen Kulturen und ökologischen Ausgleichsflächen gelegt werden. Tagfalter und Heuschrecken werden dabei quantitativ erhoben, bei den Gefäßpflanzen werden die Arten erfasst.

Mittelfristig könnte ein solches Punktesystem auch eingesetzt werden, um die Direktzahlungen des Bundes gezielter jenen Landwirten zu Gute kommen zu lassen, die eine höhere Leistung für die Biodiversität und Pflege der Landschaft erbringen. Es wäre auch denkbar, noch andere Aspekte wie den Ressourcenschutz einzubeziehen.

6.2 Beratung

Bei der zweiten zentralen Frage im Projekt steht die Beratung im Zentrum. Wir gehen von der Hypothese aus, dass sich viele Landwirte zu wenig bewusst sind, wie sie die Biodiversität auf ihrem Betrieb fördern können und dass sie damit auch einen finanziellen Gewinn erzielen könnten. Wir schließen daraus, dass eine verstärkte Beratung in diesem Sinne sich positiv auf die Biodiversität auswirken würde.

Unsere Erfahrung zeigt, dass viele Landwirte wenig auf allgemeine Überlegungen, wie sie in einem Punktesystem zu Grunde liegen, reagieren. Hingegen sprechen sie sehr positiv auf konkrete Maßnahmen zu Gunsten einer attraktiven (Tier-)Art an. Ein eindrückliches Beispiel dafür ist das Feldlerchenprojekt der IP-SUISSE und der Schweizerischen Vogelwarte: Rund ein Viertel aller IP-SUISSE Getreidebauern legen freiwillig und ohne Entschädigung so genannte Feldlerchenfenster an (Abb. 2) oder praktizieren Weitsaat, bei der auf 5 % des Getreidefeldes jeweils zwei von fünf Saatscharen geschlossen bleiben (Jenny 2004).



Abb. 2 Ein sogenanntes Feldlerchenfenster im Winterweizen: Kleinflächen von 3 m x 6 m, die statt mit Weizen mit einer Wildblumenmischung angesät wurden. (Foto M. Jenny)

Wir haben 75 Leitarten ausgewählt, die auf Maßnahmen zugunsten der Biodiversität bekanntermaßen reagieren. Alle Maßnahmen kann der Landwirt im Rahmen einer ortsüblichen Bewirtschaftung durchführen. Die Leitarten kommen in großen Teilen der Schweiz vor und decken in ihrer Gesamtheit die aus Sicht des Naturschutzes wichtigen Lebensräume und Lebensraumelemente (z.B. Totholz in Hecken) des Kulturlandes ab. Die Leitarten verteilen sich auf 26 Tagfalter-, 18 Vogel-, 12 Heuschrecken- und 19 Arten anderer Gruppen. Auf einem Hof kommen potenziell 10 bis 20 dieser Arten vor. Für jede Art liegt eine Artenkarte vor (Abb. 3). Auf der Vorderseite wird die Art in einem Bild vorgestellt und ihre Lebensraumsprüche beschrieben. Zudem werden die für sie förderlichen Maßnahmen aufgelistet.

Auf der Rückseite werden vertiefte Informationen zu Kennzeichen und Verhalten der Art und zum räumlichen und zeitlichen Auftreten gegeben. Das Leitartensystem wird auch bei der Beratung und bei der Ausbildung der Landwirte eingesetzt.

Schachbrettfalter

Melanargia galathea



Massnahmen:

- Säume anlegen, erhalten und abschnittsweise durch Rotationsmäh pflegen (v. a. an trockenen Standorten in Wiesen-Randzonen, an Waldrändern, an Böschungen usw.)
- In Halbtrockenrasen: Gestaffelte Mähverfahren anwenden; erste Teilflächen ab Juli, mind. 10% erst im Herbst mähen
- In Weiden: Extensiv beweiden; Bereiche mit den Raupenfutterpflanzen (Pfeifengras, aufrechte Trespe) z. T. erst ab Mitte Juli
- Besiedelte Standorte miteinander vernetzen, z. B. durch Säume
- Schonendes Mähverfahren (Balkenmäher) anwenden

Leitart für:

Halboffene und offene Kulturlandschaft; öAF-Typen: Extensiv genutzte Wiesen und Weiden, Wytweiden/Waldweiden, wenig intensiv genutzte Wiesen

Lebensraum:

Spät gemähte, bzw. extensiv genutzte Wiesen, Weiden, Waldweiden sowie Streuflächen mit reichem Angebot an violett-roten Blüten



Schachbrettfalter

Melanargia galathea

Merkmale: Vorderflügelänge um 2,8 cm; unverkennbar schachbrettartig schwarz und weiss gemustert

Ähnliche Arten: Keine

Verhalten: Eine Generation; Eiablage in unbeschatteten, ungemähten Bereichen auf den Boden; nach dem Schlupf frisst die Raupe nur noch wenige Tage und versteckt sich dann zwischen Pflanzen- und Blattresten; nach der Überwinterung fressen die Raupen wieder bis Juni; Verpuppung am Fuss ihrer Futterpflanze; M fliegen (im Gegensatz zu vielen anderen Wiesenschmetterlingen) auch bei bedecktem Himmel, auf der Suche nach frisch geschlüpften W, langsam über ungemähte Wiesen

Nahrung: Raupen: Gräser, v. a. an Aufrechter Trespe, Pfeifengras, Schwingel-Arten usw.; Falter: Gebunden an violette Blüten, v. a. Flockenblumen, Witwenblumen, Disteln

Raumverhalten: Standorttreu, entlang geeigneter Strukturen können Distanzen bis 2 km überwunden werden; Art mit geringen Flächenansprüchen (1–5 ha)

Rote Liste: Nicht gefährdet



Eine der beliebtesten Raupenfutterpflanzen ist die Aufrechte Trespe.

Fotoautoren Artikel: Markus Jenny, Fehrbörsdorf, Lebensraumbild: Roman Graf, Luzern, Zusatzbild: A.E. Laferrière, Gabeln (A)



Präsenz Falter

Präsenz Raupe (oben)

Präsenz Puppe (unten)

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Ökt.	Nov.	Dez.
Präsenz Falter												
Präsenz Raupe (oben)												
Präsenz Puppe (unten)												

Abb. 3 Beispiel einer Leitartenkarte (Graustufenversion der Vorder- und Rückseite; Original farbig)

Für 2009 ist geplant, die Bewirtschafter von 30 Landwirtschaftsbetrieben mit Hilfe dieser Leitartenkarten zu beraten. Dabei werden pro Betrieb etwa ein halbes Duzend Leitarten eingesetzt. Bei dieser Beratung geht es um den gesamten Betrieb, nicht nur um einzelne ökologische Ausgleichsflächen. Gleichzeitig wird auch eine betriebswirtschaftliche Analyse mit Hilfe des Programms BETVOR durchgeführt. Ziel ist, dass jeder Betrieb eine merklich erhöhte Punktezahl erreicht.

Um die Wirkung der Beratung auf die Biodiversität zu beurteilen, wird die Biodiversität vor der Beratung und nach drei und sechs Jahren auf den 30 Betrieben erfasst. Zum Vergleich werden 30 nicht beratene Betriebe durch das Punktesystem bewertet. Dabei kommt dieselbe Methodik zum Einsatz, die bereits beim Punktesystem beschrieben wurde.

6.3 IP-SUISSE und TerraSuisse

Konsumentinnen und Konsumenten sind bereit, für Lebensmittel mit einem Mehrwert höhere Preise zu bezahlen. Die Biodiversität im Anbaubereich kann ein derartiger Mehrwert sein, vor allem wenn das Anbaubereich in der Nähe des Aufenthaltsortes der Konsumierenden liegt (Seidl et al. 2003). Tatsächlich findet man heute in den Lebensmittelläden neben Billiglinien auch zunehmend teurere Produktlinien, die den Konsumierenden einen Mehrwert bieten und einen guten Absatz finden.

Die IP-SUISSE ist der Verein der integriert produzierenden Landwirte. Sie verkauft seit knapp 20 Jahren nachhaltig produzierte Produkte zu einem höheren Preis. In der Tierhaltung bedeutet dies regelmäßigen Auslauf und tierfreundliche Ställe, im Pflanzenbau extensive Produktion. Die IP-SUISSE hat entschieden, dass sie im Bereich Förderung der Biodiversität eine Führungsrolle übernehmen will und hat deshalb das oben beschriebene Punktesystem in ihre Richtlinien übernommen und mit einer Mindestpunktzahl ergänzt, die bis 2013 erreicht werden muss. Schon im Jahre 2011 muss ein Zwischenwert erreicht werden. Falls die Betriebe die geforderten Punktzahlen nicht erreichen, werden sie von der Labelproduktion ausgeschlossen. Erste Schätzungen zeigen, dass ein Drittel der Landwirte bereits jetzt im Bereich dieser Mindestpunktzahl liegt und ein weiteres Drittel mit verkraftbaren Anstrengungen die erforderliche Punktzahl erreichen wird. Beim letzten Drittel der Landwirte bedarf es aber größerer Anstrengungen, um die Mindestpunktzahl zu erreichen.

Ein großer Teil der IP-SUISSE-Produkte wird von der MIGROS, einem der beiden Großverteiler der Schweiz, übernommen. Die MIGROS setzt die Produkte unter dem Label „TerraSuisse“ ab. Auf Grund der höheren Leistungen in den Bereichen Tierhaltung, Pflanzenbau und neuerdings auch Biodiversitätsförderung, welche an die Richtlinien der IP-SUISSE gebunden sind, erhalten die Landwirte für ihre Produkte höhere Prämien. Damit ist das Ziel erreicht, dass Landwirte mit einer überdurchschnittlichen Leistung zu Gunsten der Biodiversität finanziell profitieren können. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass dieses System Landwirte zu mehr Einsatz zu Gunsten der Biodiversität animiert und damit zu einer höheren Biodiversität führen wird (Jenny 2004).

Danksagung

Wir danken der IP-SUISSE und der BIO SUISSE für die gute Partnerschaft. Die AVINA STIFTUNG, die Sophie und Karl Binding Stiftung, die Vontobel-Stiftung, die Stiftung Dreiklang sowie das Bundesamt für Landwirtschaft unterstützen das Vielfaltprojekt finanziell. Die Migros und die IP-SUISSE ermöglichen mit dem TerraSuisse-Label die Umsetzung. Judith Fischer und Lukas Jenni gaben uns wertvolle Tipps zur Verbesserung des Manuskripts. Ihnen, aber auch allen übrigen MitarbeiterInnen in den beiden Projekten danken wir herzlichst.

Literatur

- Baur, B., Duelli, P., Edwards, P.J., Jenny, M., Klaus, G., Künzle, I., Martínez, S., Pauli, D., Peter, K., Schmid, B., Seidl, I., Suter, W. (2004): Biodiversität in der Schweiz: Zustand, Erhaltung, Perspektiven: Wissenschaftliche Grundlagen für eine nationale Strategie. Haupt, Bern.
- Birrer, S., Kohli, L., Spiess, M., Herzog, F. (2005): Evaluation der Wirksamkeit ökologischer Ausgleichsflächen anhand der Brutvögel. Schriftenr. FAL 56: 139–148.
- Birrer, S., Kohli, L., Spiess, M., (2007a): Haben ökologische Ausgleichsflächen einen Einfluss auf die Bestandentwicklung von Kulturland-Vogelarten im Mittelland? Ornithol. Beob. 104: 189–208.
- Birrer, S., Spiess, M., Herzog, F., Kohli, L., Lugin, B. (2007b): Swiss agri-environment scheme promotes farmland birds – but only moderately. J. Ornithol. 148. Suppl. 2: S295–S303.
- BLW (2006): Agrarbericht 2006 des Bundesamtes für Landwirtschaft. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- Burfield, I., Bommel, F. von (2004): Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. BirdLife conservation series 12. BirdLife International, Cambridge.
- Dreier, S., Hofer, G. (2005): Wiesen im ökologischen Ausgleich. Schriftenr. FAL 56: 57–66.
- Fischer, J., Jenny, M., Jenni, L. (im Druck): The suitability of patches and in-field strips for skylarks (*Alauda arvensis*) in a small-parcelled mixed farming area. Bird Study.
- Flury, C. (2005): Bericht Agrarökologie und Tierwohl 1994–2005. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- Graf, R. (1999): Vom Reservat in die Fläche – Ein Revitalisierungs- und Informationsprojekt für die Wauwiler Ebene. Mitt. Nat. forsch. Ges. Luzern 36: 347–358.
- Harder, W. (1998): Parlament verabschiedet "Agrarpolitik 2002". Agrarforschung 5: 229–232.

- Herzog, F., Walter, T., Aviron, S., Birrer, S., Buholzer, S., Derron, J., Dreier, S., Duelli, P., Eggenschwiler, L., Hoehstetter, S., Holzgang, O., Jeanneret, P., Kampmann, D., Knopp, E., Kohli, L., Luka, H., Pearson, S., Pfiffner, L., Pozzi, S., Roux, O., Schüppbach, B., Spiess, M. (2005): Wirkung der ökologischen Ausgleichsflächen auf Biodiversität und Landschaft. Schriftenr. FAL 56: 185–201.
- Hole, D. G., A. J. Perkins, J. D. Wilson, I. H. Alexander, P. V. Grice & A. D. Evans (2005): Does organic farming benefit biodiversity? *Biol. Conserv.* 122: 113–130.
- Holzgang, O., Heynen, D., Kéry, M. (2005): Rückkehr des Feldhasen dank ökologischem Ausgleich? Schriftenr. FAL 56: 150–160.
- Jenny, M. (2004): Wildtierfreundlicher Getreidebau – Die IP-SUISSE fördert die Feldlerche. IP-SUISSE, Zollikofen, und Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Jenny, M., Fischer, J., Birrer, S. (2008): Leitfaden für die Anwendung des Punktesystems Biodiversität IP-SUISSE. IP-SUISSE, Zollikofen und Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Jenny, M., Graf, R., Kohli, L., Weibel, U. (2002): Vernetzungsprojekte – leicht gemacht. Schweizerische Vogelwarte Sempach, Schweizer Vogelschutz SVS – BirdLife Schweiz, Landwirtschaftliche Beratungsstelle Lindau, Service romand de vulgarisation agricole Lausanne, Sempach, Zürich, Lindau und Lausanne.
- Jenny, M., Holzgang, O., Zbinden, N. (2005): Das Rebhuhn – Symbol für eine artenreiche Kulturlandschaft. Avifauna Report Sempach 4. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Jenny, M., Josephy, B., Lugin, B. (2003): Ökologische Aufwertungsmassnahmen in Ackerbaugebieten und ihre Auswirkungen auf ausgewählte Brutvogelarten. S. 151–155 In: R. Oppermann & H. U. Gujer: Artenreiches Grünland, bewerten und fördern – MEKA und ÖQV in der Praxis. Ulmer, Stuttgart.
- Josephy, B. (2000): GIS-gestützte Analyse zum Ansiedlungsverhalten ausgewählter Brutvogelarten bei Revitalisierungsmassnahmen in der Champagne genevoise (GE) von 1992 bis 1996. Diplomarbeit, Universität Zürich.
- Kohli, L., Birrer, S. (2003): Verflogene Vielfalt im Kulturland – Zustand der Lebensräume unserer Vögel. Avifauna Report Sempach 2. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Luder, R. (1993): Vogelbestände und -lebensräume in der Gemeinde Lenk (Berner Oberland): Veränderungen in Laufe von 12 Jahren. *Ornithol. Beob.* 90: 1–34.
- Lugin, B. (1999): Habitat, densité et évolution de la population de Tarier pâre *Saxicola torquata* du canton de Genève. *Nos Oiseaux* 46: 219–228.
- Lugin, B., Regamey, J.-L. (2001): Revitalisation d'un milieu cultivé: effet sur l'avifaune. L'exemple de la Champagne genevoise. *Nos Oiseaux suppl.* 5: 111–118.
- Newton, I. (2004): The recent declines of farmland bird populations in Britain: an appraisal of causal factors and conservation actions. *Ibis* 146: 579–600.
- Pfiffner, L., Schader, Ch., Graf, R., Horch, P. (2007): Wildtiergerechte Landnutzung im Berggebiet – Förderung der Artenvielfalt und Braunkehlchen auf Unterengadiner Bio-Modellbetrieben. Zwischenbericht 2007. FiBL Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick und Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Rodewald, R., Neff, C. (2001): Bundessubventionen – landschaftszerstörend oder landschaftserhaltend? Praxisanalyse und Handlungsprogramm. Fonds Landschaft Schweiz, Bern.
- Schlegel, J., Weber, U. (2002): Erfolgskontrolle in ökologisch aufgewerteten, bisher intensiv genutzten Kulturlandflächen (Gemeinden Altstätten und Oberriet SG). Zwischenbericht Periode 1999–2001. Verein Pro Riet Rheintal, Altstätten.
- Schmid, H., Luder, R., Naef-Daenzer, B., Graf, R., Zbinden, N. (1998): Schweizer Brutvogelatlas. Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein 1993–1996. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Schweizerischer Bundesrat (1992): Siebter Landwirtschaftsbericht. Schweizerischer Bundesrat, Bern.
- Seidl, I., Schelske, O., Joshi, J., Jenny, M. (2003): Entrepreneurship in biodiversity conservation and regional development. *Entrepreneurship and Regional Development* 15: 333–350.
- Widmer, C. (1998): Möglichkeiten für eine naturnahe Landwirtschaft aufgrund des neuen Landwirtschaftsgesetzes. *Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern* 55: 199–206.

Landschaftsmosaik und Risikouniformität – Auswirkungen zwischenartlicher Interaktionen auf Verhalten und Lebensgeschichte von Kleinsäugetern in der Kulturlandschaft

Eccard, J.

Lehrstuhl für Tierökologie, Universität Potsdam, Institut für Biologie und Biochemie, Maulbeerallee 1, 14469 Potsdam, eccard@uni-potsdam.de

Zusammenfassung:

Zwischenartliche Interaktionen wie Konkurrenz, Interferenz und Prädation beeinflussen das Verhalten und die Lebensgeschichte von Tieren. In Kulturlandschaften können sich Frequenz und die Auswirkungen solcher Interaktionen im Vergleich zu Naturlandschaften verändern. In diesem Beitrag möchte ich eigene Arbeiten zur Auswirkung von Interaktionen auf Verhalten und Lebensgeschichte von Kleinsäugetern vorstellen, und mögliche Zusammenhänge dieser Auswirkungen mit den Eigenschaften der Kulturlandschaft besprechen.

Durch kleinräumige Kahlschläge in bewirtschafteten Wäldern stoßen Lebensräume in verschiedenen Sukzessionsstufen räumlich häufiger aneinander als in unberührten Wäldern. Dadurch entstehen vielfältige neue und wiederkehrende Konkurrenzsituationen der Arten der verschiedenen Sukzessionsstufen. In diesem Beitrag möchte ich die Konkurrenz zwischen Rötelmäusen, einer Waldwühlmausart (*Myodes glareolus*) und Erdmäusen (*Microtus agrestis*), Bewohner offener Grasflächen, im bewirtschafteten borealen Nadelwald beleuchten. Auswirkungen der konkurrenzstarken Erdmaus auf verschiedenen funktionelle Kategorien der Waldwühlmaus wurden in Großgehege-experimenten untersucht.

Agrarlandschaften sind oft strukturärmer als Naturlandschaften und bieten Beutearten somit wenige Möglichkeiten, sich an sicheren Orten vor ihren Raubfeinden zu verbergen. Das Raubfeindrisiko ist somit uniform über die Landschaft verteilt. Die Nahrungssuche von Kleinsäugetern als Beutearart wurde in experimentellen Landschaften untersucht und es konnte gezeigt werden, dass bei Risikouniformität und hohem Raubfeindrisiko die Effizienz der Tiere bei der Nahrungssuche beeinträchtigt wurde.

1. Einführung

In ökologischen Lebensgemeinschaften können Tierarten miteinander durch Konkurrenz, Interferenz oder Prädation interagieren. Die interspezifischen Interaktionen formen Abundanzmuster von Populationen und beeinflussen die Habitatnutzung einer Art. Im evolutionsbiologischen Zeitmaßstab können diese Interaktionsprozesse mit der belebten Umwelt zur Artbildung und Einnischung von Arten beitragen. Das Studium der Interaktionen zwischen Arten ist ein wichtiges ökologisches Thema, wobei in der Vergangenheit hauptsächlich zeitlich dynamische Abundanzmuster zur Identifizierung von Interaktionstypen in Tiergemeinschaften herangezogen wurden. Mechanismen auf der Individualebene können zusätzlich genutzt werden, um den Interaktionstyp genauer zu beschreiben. Abhängig von der An- oder Abwesenheit anderer Arten verändern Individuen die räumliche und zeitliche Nutzung ihres Lebensraumes, können zeitliche Abläufe in ihrem Lebenszyklus ändern oder die Nutzung von Nahrungsquellen verlagern, um nachteilige Interaktionen zu minimieren. Auf der mechanistischen Ebene lässt sich aber auch erkennen, dass sich Interaktionstypen wie Konkurrenz und Interferenz oder wie Interferenz und Prädation oftmals nicht sauber gegeneinander abgrenzen lassen oder mit der Jahreszeit oder den funktionellen Kategorien innerhalb der betrachteten Populationen wechseln können.

In Abhängigkeit vom Landschaftstyp, von seiner Uniformität oder Heterogenität können sich Interaktionen zwischen Tierarten, Abundanzen einzelner Arten oder die Frequenz von Interaktionen zwischen Arten an Habitatübergängen verändern. Aber auch die Raten von Aussterben und Wiederbesiedlung verändern sich mit dem Grad der Landschaftsfragmentierung, und damit die Interaktionen ihrer Bewohner. Im Folgenden möchte ich mögliche Auswirkungen der Bewirtschaftung in zwei Landschaften, dem borealen Nadelwald und mitteleuropäischem Ackerland auf die Wirbeltiere der Kulturlandschaft beleuchten.

Nachfolgend werden Studien vorgestellt, welche die Effekte von Artinteraktionen auf das Verhalten oder die Lebensgeschichte von Individuen einer Art untersuchen. Diese Ergebnisse werden im Kontext sich verändernder Kulturlandschaften besprochen.

2. Konkurrenz

2.1 Borealer Nadelwald und das Studiensystem Waldwühlmaus - Erdmaus

Der boreale Nadelwald bedeckt auf der Nordhalbkugel die kalt-gemäßigte Klimazone. Er zeichnet sich durch eine relative Artenarmut an Pflanzenarten und eine kurze Vegetationsperiode aus. Der boreale Nadelwald ist mit etwa 1,4 Milliarden Hektar der größte zusammenhängende Waldkomplex der Erde und die wirtschaftlich wichtigste Waldregion. Von dieser Fläche sind jedoch etwa 150 Millionen ha temporär nicht bestockt, bedingt durch Feuer, Sturm, großflächigen Insektenfraß oder menschliche Aktivitäten (Fischer 1995). In einem naturbelassenen, borealen Nadelwald wirken die benannten Agenten der Erneuerung derart großflächig, dass Sukzessionsstufen selten direkt aufeinander treffen. Finnland (*Suomi*) als Fokusland der Studien war ursprünglich sumpfig (finnisch: *suo* = Sumpf), bevor es in den letzten 100 Jahren stark entwässert wurde. Ein Drittel der Landesfläche besteht aus torfigen Böden.

Die typische Kleinsäugerart des borealen Nadelwaldes ist die Waldwühlmaus oder Rötelmaus (*Myodes* (Ex:*Clethrionomys*) *glareolus*), welche sehr hohe Dichten erreichen kann. Die Art ist omnivor und sehr anpassungsfähig. In gestörten Wäldern bevorzugt die Rötelmaus die gestörten Flächen gegenüber dem maturen Fichtenwald (Hansson 1983). Rötelmäuse sind durch ein Sozialsystem gekennzeichnet, in dem die Weibchen exklusive Territorien besetzen.

Die Erdmaus (*Microtus agrestis*) lebt im borealen Nadelwald in feuchten, grasigen Habitaten. Die Art ist grannivor und baut ihre Gänge und Nester in der überirdischen Moderschicht aus Gräsern. Grashabitate sind im naturbelassenen borealen Nadelwald eher ephemere Natur, umschlossen von einem „Waldmeer (sea of forest)“. Es ist also von Nöten, dass die Erdmaus in diesen Habitaten konkurrenzstärker als die Rötelmaus ist, welche von allen Seiten einzuwandern versucht (Hansson 1983). Erdmäuse leben in Verwandtschaftsgruppen (sog. Kin-cluster, Pusenius et al. 1997) in denen lokal sehr hohe Dichten erreicht werden können. Diese Cluster machen die Erdmaus aber auch anfällig für Prädation und oft werden ganze Kolonien durch den Besuch eines einzelnen Mauswiesels (*Mustela nivalis nivalis*) vollständig ausgelöscht (Sundell et al. 2003). Daher ist weiter zu vermuten, dass die Erdmaus in der Lage sein muss, sich über große Strecken durch Nadelwald hindurch zu bewegen, um die Besiedlung und Wiederbesiedlung der ephemeren Habitate sicherzustellen.

2.2 Auswirkungen von Interferenz und Konkurrenz durch Erdmäuse im Experiment

Die Auswirkungen von Erdmäusen auf Lebenslauf und Verhalten der in der Konkurrenz unterlegenen Rötelmaus wurden in Großgehegeversuchen in Mittelfinnland untersucht. In kontrollierten Experimenten wurden experimentelle Rötelmauspopulationen nach Alter und Parität zusammengestellt, um mit oder ohne eine Erdmauspopulation in die Gehege eingesetzt zu werden. Individuelle Fitnessparameter und Verhalten wurden mit Hilfe von Lebendfang oder Radiotelemetrie beobachtet.

Die konkurrenzschwächeren unter den reproduzierenden Weibchen der unterlegenen Art waren in Anwesenheit der dominanten Art von stärkerer Mortalität betroffen als in Abwesenheit (Eccard & Ylönen 2003, 2007). Subadulte Weibchen (Eccard et al. 2002) und die konkurrenzstärkeren unter den reproduzierenden Weibchen waren generell weniger stark von der zwischenartlichen Konkurrenz betroffen. Somit konnte ein Selektionsdruck durch zwischenartliche Konkurrenz belegt werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die intraspezifische und die interspezifische Konkurrenz interagieren und die Auswirkungen der Konkurrenz stark vom Sozialsystem der betroffenen Arten abhängen (Eccard & Ylönen 2007, Abb. 1), sowie der funktionellen Gruppe des betroffenen Individuums innerhalb einer Population.

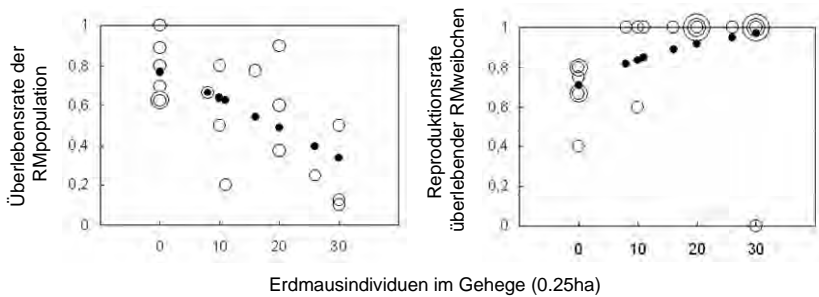


Abb. 1 links: Überlebensrate der Rötelmaus (RM) sinkt mit zunehmendem Konkurrenzdruck durch Erdmäuse im Gehege, während die Reproduktionsrate der verbliebenen Tiere (rechts) steigt. Hier agieren interspezifische Effekte (Mortalität durch Erdmäuse) zusammen mit intraspezifischen Prozessen (Territorialität der Rötelmaus). Offene Kreise: Messdaten, Punkte: *Probit*-Regression. Für Details von Experiment und Ergebnissen: siehe Originalartikel. (nach Eccard & Ylönen 2007)

In dem im Gehegen untersuchten Modellsystem zweier konkurrierender Arten stirbt die unterlegene Art während der Reproduktionsperiode oftmals nach nur wenigen Wochen aus, während die Arten im Freiland koexistieren. Koexistenz konkurrierender Arten kann durch Migration und Habitatheterogenität ermöglicht werden, indem unterlegene Arten in suboptimale Habitate abwandern und optimale Habitate erst wieder in Abwesenheit der dominanten Art besiedeln. Dieser Mechanismus ist aber in Gehegestudien aufgrund der räumlichen Begrenzungen unmöglich zu untersuchen. Ein weiterer Mechanismus wäre der einer abgeschwächten Konkurrenzstärke im Winter. Dieser Mechanismus konnte bei den untersuchten Arten bestätigt werden (Eccard & Ylönen, unpubliziert). Während des 8 Monate langen Winters konnten die Arten koexistieren, während im Sommer die unterlegene Rötelmaus nach wenigen Wochen von der Erdmaus auskonkurriert wird. Erst mit dem Beginn der Reproduktion und einsetzender Territorialität erhöhte sich das Aggressionsniveau zwischen den Arten (Eccard, Fey & Ylönen, unpubliziert).

2.3 Konkurrenz und Koexistenz von Wühlmäusen in der Kulturlandschaft

Im anzunehmenden Urzustand war Finnland von borealen Nadelwäldern und Mooren bedeckt, die großflächig und stabil waren. Nach Angaben des auswärtigen Amtes (virtual.finland.fi) ist die Hälfte der Moore heute entwässert und der Waldwirtschaft zugeführt. Bei der Bewirtschaftung des Waldes werden kleinflächig Kahlschläge des muren Nadelwaldes vorgenommen (5-20 ha), um die Fichtenstämme zu ernten. Auf diese Weise kommt es zu einer unmittelbaren Nachbarschaft von Kahlschlägen und Aufwuchsflächen unterschiedlicher Sukzessionsstufen (Abb. 2, rechts), die es im unbewirtschafteten Zustand nicht gäbe (Abb. 2, links).

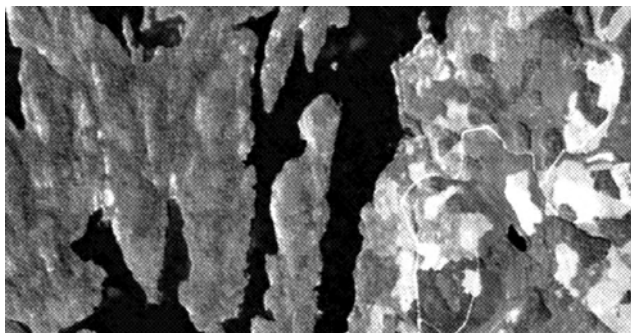


Abb. 2 Borealer Nadelwald unbewirtschaftet (Teil des Nationalparks Kolovesi, Ostfinnland, links im Bild) und bewirtschaftet (rechts). Schwarz: Wasserflächen, weiß: Kahlschläge und Straßen, Sukzessionsstufen in verschiedenen Grautönen. Ausschnitt etwa 10 km², Quelle GoogleEarth 2008

Es ist anzunehmen, dass durch die Kleinflächigkeit der Nutzung viele Übergangshabitate und ein Nebeneinander von Gras- und Waldhabitaten entstehen. Etablierte Erdmauskolonien in Grasflächen werden regelmäßig lokal durch Wieselprädation ausgelöscht. Da die Rötelmaus Grashabitate bevorzugt, wird diese Art immer wieder in die Kahlschläge einwandern. Etablierte Erdmauskolonien können Rötelmäuse durch aggressive Interaktionen an der Einwanderung hindern, oder durch das Wachstum der Kolonien die Rötelmaus allmählich verdrängen. Durch die Auslöschung und Wiederbesiedlung ist die Frequenz der Interaktion der untersuchten Arten in bewirtschafteten Wäldern im Vergleich zu naturbelassenen Wäldern vermutlich höher.

3. Prädation

3.1 Antiprädatorisches Verhalten

Beutetiere haben sich zusammen mit ihren Raubfeinden (Prädatoren) in einem ko-evolutionären Wettrüsten entwickelt. Antiprädatorische Anpassungen können morphologischer Art sein, wie z.B. die Entwicklung einer harten Schale um einen weichen Kern, oder die Entwicklung sperriger Stacheln in bestimmten Lebensabschnitten. Diese Anpassungen erschweren Handhabung, Töten und Konsumierung der Beute durch den Prädatoren. Aber auch Verhaltensanpassungen der Beutetiere, wie Flucht, Erstarrung oder eine versteckte Lebensweise sind in der Koevolution von Räuber und Beute entstanden.

Tiere müssen Energie aufnehmen, kommunizieren und sich reproduzieren, daher müssen sie Kompromisse zwischen der Minimierung des Prädationsrisikos einerseits und der Optimierung anderer Lebensfunktionen andererseits machen. Das Fouragierverhalten, also das Verhalten eines Beutetieres auf Nahrungssuche, ist ein experimentelles Paradigma für das Studium solcher Kompromisse. Hierbei suchen die Tiere auf der einen Seite die Energiebilanz zu maximieren und auf der anderen Seite das Prädationsrisiko zu minimieren. Im Folgenden möchte ich Betrachtungen zur Nahrungssuche unter Prädationsrisiko mit den besonderen Risiken für Beutetiere in der Kulturlandschaft verknüpfen.

3.2 Risikouniformität

In der Vergangenheit wurde das Nahrungssuchverhalten hauptsächlich zwischen Orten mit mehr oder weniger hohem Prädationsrisiko verglichen, der sogenannten Risikoheterogenität. Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeiten ist die Bevorzugung relativ raubfeindsicherer Habitate durch die Beutetiere (Brown 1988, Jacob & Brown 2000) gegenüber unsichereren Habitaten.

Wahrscheinlich aber sind risikouniforme Habitate gar nicht so selten in Natur- und Kulturlandschaften (Eccard & Liesenjohann 2008). Zur Risikouniformität können folgende Parameter beitragen:

1. uniforme Habitatstrukturen wie sie in landwirtschaftlichen Monokulturen oder temperaten Grashabitaten häufig sind
2. uniforme Körpergröße oder Beweglichkeit von Beute und Räuber so dass die Beute sich nicht verstecken kann, wie beispielsweise bei Nagern und Wiesel, oder Nagern und Schlangen
3. ideal-freie Verteilung (Fretwell und Lucas 1969) der Räuber: Räuber gehen dahin wo die Beute ist, damit steigt die Räuberabundanz proportional zur Beuteabundanz. Das Pro-Kopf Prädationsrisiko gleicht sich zwischen dünn und dicht besiedelten Flächen an.
4. Zwischen-Gilden-Effekte der Prädatoren: Manche Prädatoren wie z.B. Mauswiesel müssen Greifvögel und Eulen fürchten und flüchten sich in die gleichen, luftprädationssicheren Habitate wie ihre Beutetiere (Nagetiere). Die Gebiete weisen also ein höheres terrestrisches Prädationsrisiko auf als die luftprädationsunsicheren Habitate und die mittlere Risikoverteilung zwischen beiden Habitaten gleicht sich an.

Risikouniformität hat bisher keine Aufmerksamkeit in der theoretischen und experimentellen Untersuchung des antiprädatorischen Verhaltens gefunden. Daher wurden Voraussagen zum Verhalten unter Risikouniformität getroffen, Experimente durchgeführt (Eccard & Liesenjohann 2008 und unpubliziert) und unterstützende Ergebnisse in Felduntersuchungen gewonnen (Eccard et al. 2008).

3.3 Risikouniformität im Experiment

Unsere Voraussagen innerhalb der bestehenden ökonomischen Modelle (Charnov 1976, Brown 1988) stützen sich auf die Opportunitätskosten oder Verzichtskosten (VK), ein ökonomischen Konzept zur Quantifizierung entgangener Alternativen, die dem Beutetier durch das Ausbeuten einer bestimmten Ressource entstehen. Man kann davon ausgehen, dass unter einem hohen Prädationsrisiko in einer risikouniformen Landschaft wenig VK entstehen, weil die Tiere keine sozialen, reproduktiven oder territorialen Interaktionen mit Artgenossen verpassen. Da das Wechseln zwischen Ressourcen mit Risiken verbunden ist, wäre der zu erwartende Gewinn an anderen Orten niedrig (bzw. mit dem Risiko gefressen zu werden verbunden). Außerdem können Beutetiere unter hohem Raubfeinddruck nicht explorieren, können also die VK schlecht einschätzen. Da VK eine subjektive Bewertung darstellen, können diese aufgrund mangelnder Informationen als niedrig eingeschätzt werden. Diese Begründung führt zu der Vorhersage, dass Beutetiere in einer Landschaft mit geklumpt verteilten und ausbeutbaren Ressourcen einzelne Ressourcen stark nutzen und andere ignorieren, während sie in einer Landschaft mit niedrigem Raubfeinddruck alle Ressourcen erkennen und diese gleichmäßig ausbeuten können.

Wir haben Ausbeutungsmuster experimentell in künstlichen Futterlandschaften mit Rötelmäusen als experimentellen Nahrungssuchern untersucht (Abb. 3). Die gefundenen Muster bestätigen unsere Annahmen. Dadurch, dass die Futterquellen sich nicht erneuern und bei längerer Ausbeutung zu abnehmendem Ertrag führen, nehmen die Tiere unter hohem Raubfeindrisiko allerdings signifikant niedrigere Effizienzen (Futtermenge pro investierter Zeiteinheit) in Kauf als unter niedrigem Raubfeindrisiko.

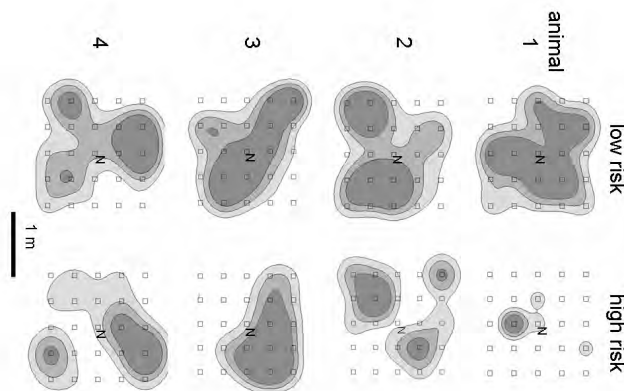


Abb 3 Zeitinvestitionsmuster in einer künstlichen Futterlandschaft von 4 ausgewählten Tieren. Obere Reihe: niedriges uniformes Risiko simuliert durch Bodenabdeckung, untere Reihe: hohes uniformes Risiko simuliert durch eine deckungslose Anordnung. Die kleinen Quadrate repräsentieren Nahrungsquellen, die Konturlinien die Zeit, die eine Tier innerhalb einer Linie auf Nahrungssuche verbracht hat: Dunkelste Kontur: 50%, mittlere: 75%, hellste: 95% der Zeit auf Nahrungssuche (aus Eccard & Liesenjohann 2008, PlosONE).

Auch in Untersuchungen zum Prädationsrisiko durch Wiesel unter semi-natürlichen Bedingungen in großen Außengehegen (0.25ha) konnte belegt werden, dass Wühlmäuse sich unter Raubfeinddruck auf die angebotenen Ressourcen spezialisieren (Eccard et al. 2008). Diese wurden daher wesentlich stärker ausgebeutet als in Kontrollgehegen ohne Raubfeinddruck. Durch das uniforme Wieselprädationsrisiko war es für die Wühlmäuse günstiger, sich auf die vorhersagbaren Futterplätze zu spezialisieren und Bewegungen in der Matrix zu vermeiden, während Wühlmäuse in Abwesenheit eines Wiesels durch Exploration und Interaktion auch natürliche Nahrungsressourcen erschließen konnten.

3.4 Risikouniformität in der Kulturlandschaft

In der landwirtschaftlichen Kulturlandschaft liegt strukturelle Uniformität im Auge des Betrachters, bzw. im Maßstab des die Landschaft nutzenden Beutetieres. So ist auf Abb. 4 eine euhemerobe Kulturlandschaft nahe der Elbe zu sehen, bei der sich die Größe der Schläge beiderseits des Flusses durch historische Ereignisse in West- und Ostdeutschland unterscheidet. Die Schlaggrößen könnten beispielsweise von einem weiblichen Feldhasen mit einem Streifgebiet von 10-50 ha auf westdeutscher Seite als risikoheterogen und auf ostdeutscher Seite als risikouniform wahrgenommen werden. Angenommen, die Konsequenzen der Risikoheterogenität erstrecken sich auch auf Feldhasen, so ist vorstellbar, dass deren Nahrungssucheffizienz in den großen Schlägen geringer ist. Für Kleinsäuger wären beide Seiten risikouniform weil ihre Streifgebiete innerhalb auch der kleinen Felder liegen, während für Rotwild mit quadratkilometergroßen Streifgebieten beide Seiten risikoheterogen wären.



Abb 4 Strukturierung der Kulturlandschaft durch verschiedene Feldflurgrößen in West- (links) und Ostdeutschland (rechts) der Elbe (mittig) bei Dömitz. Ausschnitt ca 40qkm, Quelle: GoogleEarth 2008

4. Schlussfolgerungen

Zwischenartliche Interaktionen wie Konkurrenz, Interferenz und Prädation beeinflussen das Verhalten und die Lebensgeschichte von Wirbeltieren. In diesem Beitrag habe ich eigene Arbeiten zur Auswirkung von Interaktionen auf Verhalten und Lebensgeschichte von Kleinsäugetern zusammengetragen und Überlegungen dazu angestellt, wie sich diese Auswirkungen von Interaktionen in Kulturlandschaften im Vergleich zu Naturlandschaften verändern können.

Danksagung

Ich möchte Jo Pelz und Jens Jacob herzlich für die Gelegenheit danken, am spannenden Symposium „Wirbeltiere in der Kulturlandschaft“ teilnehmen zu können. Weiterhin möchte ich Hannu Ylönen und meinen Studenten und Kollegen in Finnland, sowie meinen Forschungsstudenten Monique Ellmer und Thilo Liesenjohann in Bielefeld/Potsdam für Zusammenarbeit und Diskussionen danken.

Literatur

- Brown, J. (1988) Patch use as an indicator of habitat preference, predation risk, and competition. *Behav Ecol Sociobiol* 22: 37-47.
- Charnov, E.L. (1976) Optimal foraging: the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology* 9: 129-136.
- Eccard, J.A., Pusenius, J., Sundell, J., Halle, S., Ylönen, H. (2008) Foraging patterns of voles under heterogeneous avian and uniform mammalian predation risk – predator interaction and predator facilitation? *Oecologia* 157: 725–734. DOI: 10.1007/s00442-008-1100-4.
- Eccard, J.A., Liesenjohann, T. (2008) Foraging decisions in risk-uniform landscapes. *PlosONE*. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0003438>

- Eccard, J.A., Klemme, I., Horne, T., Ylönen, H. (2002) Effects of competition and season on survival and maturation of young bank vole females. *Evolutionary Ecology* 16: 85-99.
- Eccard, J.A., Ylönen, H. (2002) Direct interference or indirect exploitation? An experimental study of fitness costs of interspecific competition in voles. *Oikos* 99: 580-590.
- Eccard, J.A., Ylönen, H. (2003) Who bears the costs of interspecific competition in an age structured population? *Ecology* 84: 3284-3293.
- Eccard, J.A., Ylönen, H. (2007) Costs of coexistence along a gradient of competitor densities: an experiment with arvicoline rodents. *Journal of Animal Ecology* 76: 65-71.
- Fischer, A. (1995) *Forstliche Vegetationskunde*. Blackwell, Berlin, Wien.
- Fretwell, S.D., Lucas, H.L. (1969) On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. 1. Theoretical development. *Acta Biotheoret.* 19: 16-36
- Hansson, L. (1983) Competition between rodents in successional stages of taiga forests: *Microtus agrestis* vs *Clethrionomys glareolus*. *Oikos* 40: 258-266.
- Jacob, J., Brown, J. (2000) Microhabitat use, giving-up densities and temporal activity as short- and long-term anti-predator behaviors in common voles. *Oikos* 91: 131-138.
- Pusenius, J., Viitala, J., Marianberg, T., Ritvanen, S. (1997) Matrilineal kin clusters and their effect on reproductive success in the field vole. *Behavioural Ecology* 9, 85-92.
- Sundell, J., Eccard, J.A., Tiilikainen, R., Ylönen, H. (2003) Predation rate, prey preference and predator switching: experiments on voles and weasels. *Oikos* 101: 615-623.

Nagetier-übertragene Zoonosen: Beispiele aus Untersuchungen in Süd- und Westdeutschland

Essbauer, S.S.;¹ Schex, S.¹; Spletstoesser, W.¹; Pfeffer, M.⁴; Ulrich, R.G.²; Seibold, E.¹; Dobler, G.¹; Wölfel, R.¹; Bäumler, W.³

¹ Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München

² Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger, Greifswald - Insel Riems

³ em. Studienfakultät für Forstwissenschaft & Ressourcenmanagement, Freising

⁴ Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen, Leipzig

Zusammenfassung

Nagetiere und andere Kleinsäuger können eine Vielzahl von Krankheitserregern, RNA- und DNA-Viren, Bakterien und Parasiten, auf den Menschen übertragen, die teilweise lebensbedrohliche Erkrankungen hervorrufen. In der folgenden Übersicht soll erstmals ein Überblick über Ergebnisse aus drei Untersuchungen in Deutschland gegeben werden: eine Studie in drei Landkreisen Bayerns von 2001-2004, Untersuchungen in einem Freilandgehege im Rahmen eines Tularämieausbruchs in Niedersachsen im Jahr 2005, und schließlich im Jahr 2007 eine Untersuchung an einem Truppenübungsplatz in Baden-Württemberg. Es wurde dabei exemplarisch die Verbreitung von Zoonoseerregern in Nagetieren und anderen Kleinsäufern näher untersucht, von drei Viren (Hantaviren, Kuhpockenvirus, Frühsommer-Meningo-Enzephalitis-Virus) und vier Bakterien (Leptospiren, Francisellen, Borrelien und Rickettsien). Die hier zusammengefassten Erkenntnisse sind ein erster wichtiger Schritt auf dem Weg zur Erstellung von Verbreitungskarten für die genannten humanpathogenen Zoonoseerreger in ihren Reservoirwirten und der Definition von entsprechenden Risikogebieten. Diese Arbeit soll zudem einen Beitrag leisten, einen Anstoß zu verstärkter Zusammenarbeit von Zoologen, Ökologen, Virologen, Human- und Veterinärmedizinern, Mikrobiologen, Parasitologen, Genetikern, Epidemiologen, Forstwissenschaftlern und Klimaforschern zu geben.

1. Nagetier-übertragene Krankheitserreger: eine Einleitung

Zoonosen sind Infektionskrankheiten, bei denen der Erreger vom oftmals nicht erkrankten Tierreservoirwirt auf den Menschen übertragen wird. Bei den mit Nagetieren und anderen Kleinsäufern assoziierten Zoonoseerregern handelt es sich um verschiedene RNA- und DNA-Viren, Bakterien und Parasiten. Sie unterscheiden sich nicht nur in ihrer genetischen Organisation, sondern vor allem in ihrer Assoziation mit spezifischen Reservoirwirten, ihrer geografischen Verbreitung und ihren Übertragungswegen. Diese Krankheitserreger können beim Menschen verschiedene, zum Teil lebensbedrohliche Erkrankungen hervorrufen.

Am Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB) werden in Kooperation mit anderen Institutionen seit dem Jahr 2004 Untersuchungen zu Nagetier- und Kleinsäuger-übertragenen Krankheitserregern durchgeführt. Diese Studien sind sowohl in Bundeswehr-internem Interesse, z.B. auf Anfragen von Kommandohygienikern, als auch im Rahmen einer zivil-militärischen Zusammenarbeit von großer Wichtigkeit für öffentliche Gesundheitsbehörden. Die bisherigen Felduntersuchungen wurden entweder aufgrund von Ausbruchsgeschehen (Hantaviren, Tularämie) initiiert oder dienten der Surveillance, um z.B. für Truppenübungsplätze eine Risikoabschätzung durchführen zu können.

1.1 Übertragungswege der Erreger

Der Mensch kann sich sowohl auf direktem als auch auf indirektem Wege mit Zoonoseerregern infizieren. Epidemiologisch gesehen stellt der Mensch meist einen Fehlwirt dar, d.h. die Infektion wird von ihm nicht auf weitere Personen übertragen. Bei den hier betrachteten Erregern sind Nagetiere (oder andere Kleinsäuger, wie Spitzmäuse oder Hasen) Reservoirwirt und Vektor.

Eine direkte Infektion kann über Urin, Speichel und Kot von Tieren erfolgen, wie es z.B. bei Infektionen mit Hantaviren, den Erregern der Tularämie (*Francisella tularensis*) und Leptospirose, Q-Fieber, und Arenavirus-Infektion bekannt ist. Eine Infektion über das Fell von toten oder lebenden Tieren kann bei Tularämie, bei der Lymphozytären Choriomeningitis (LCM) oder in manchen Fällen bei der Pest stattfinden. Durch Bisse werden Rattenbisskrankheit (*Spirillum minus*, *Streptobacillus moniliformis*),

Leptospiren und Kuhpockenviren übertragen. Über die Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel, vor allem dem sogenannten „bush meat“, können, vornehmlich in Afrika, auch Menschen z.B. mit den Erregern der Affenpocken infiziert werden oder an Pest oder Lassa erkranken.

Eine indirekte Infektion kann über verschiedene blutsaugende Vektoren erfolgen. Einen wichtigen Vektor stellen Arthropoden dar, die durch Stiche oder Bisse beispielsweise Anaplasmen, Arenaviren, Alphaviren, Bunyaviren, Flaviviren wie das Frühsommer-Meningo-Enzephalitis-Virus (FSMEV), Borrelien und Francisellen vom Nagetier auf den Menschen übertragen können. Ein weiterer Infektionsweg ist das Einatmen von kontaminierten Stäuben, wodurch beim Menschen Infektionen mit Hantaviren, Tularämieerregern, Leptospiren oder Arenaviren entstehen können.

1.2 Kurzcharakteristik der untersuchten Erreger

Zu den am IMB und in Projekten am Institut für Medizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität untersuchten Nagetier- und Kleinsäuger-übertragenen Erregern Hantaviren, Kuhpockenviren, FSMEV, Leptospiren, Francisellen, Borrelien, sowie Rickettsien.

1.2.1 Hantaviren

Hantaviren, Familie *Bunyaviridae*, sind behüllte Viren mit einem segmentierten RNA-Genom negativer Polarität. Die Infektion des Menschen erfolgt vornehmlich über mit Faeces, Urin und Speichel von infizierten Nagern kontaminierten Staub, oder auch über direkten Kontakt mit den Nagetieren. Die Wildnager sind persistent mit den Erregern infiziert, zeigen jedoch keine auffälligen Krankheitssymptome. Jede einzelne Hantavirus-Art ist in der Regel mit einer bestimmten Nagetierart oder nahe verwandten Arten assoziiert: die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) überträgt ausschließlich das Puumalavirus, die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) eine genetische Linie des Dobrava-Belgrad-Virus (DOBV-Af), die Brandmaus (*Apodemus agrarius*) eine zweite genetische Linie des Dobrava-Belgrad-Virus (DOBV-Aa), die Feldmaus (*Microtus arvalis*) das Tulavirus und die Wanderratte (*Rattus norvegicus*) das Seoulvirus (Übersicht in Schönrich et al., 2008).

In Abhängigkeit von der Hantavirus-Art können beim Menschen grippeähnliche Erkrankungen bis hin zu Nephropathien (*Nephropathia endemica*) und hämorrhagischen Fiebern auftreten. Von den in Europa vorkommenden Hantaviren besitzt das DOBV-Af die höchste, das Tulavirus vermutlich die niedrigste Virulenz. In Deutschland sind bisher vor allem Fälle von Puumalavirus-Infektionen (Süd- und Südwestdeutschland) und einige Fälle von DOBV-Aa-Infektionen (Nordostdeutschland) berichtet worden. Im Gegensatz dazu verursachen bestimmte nur in Amerika vorkommende Hantaviren, wie Sin Nombre-Virus und Andesvirus, weitaus schwerere Erkrankungen mit Lungenmanifestation, sogenanntes Hantavirales kardiopulmonales Syndrom, mit einer Letalität von bis zu 40% (Übersicht in Krüger et al., 2001).

Klinisch apparente Hantavirus-Infektionen sind in Deutschland meldepflichtig (Tabellen 1 und 2). Im Jahre 2007 kam es zu einem sehr starken Anstieg der Zahl der gemeldeten Fälle in Baden-Württemberg und Bayern was auch aus anderen Regionen Europas berichtet wurde (Ulrich et al., 2008a).

1.2.2 Kuhpockenviren

Kuhpockenviren, Gattung *Orthopoxvirus*, Familie *Poxviridae*, sind behüllte, komplex aufgebaute Viren. Sie besitzen ein Genom aus doppelsträngiger, linearer DNA von etwa 220-230 kbp Größe, das für etwa 200 Proteine kodiert. Kuhpockenviren werden zumeist durch freilaufende Katzen (Mäusefänger, „Schmusetiere“), manchmal auch durch erkrankte Elefanten oder Ratten auf den Menschen übertragen (Essbauer et al., 2006a). Die erhöhte Jagdaktivität der Katzen in den Sommermonaten führt zu einer saisonalen Verteilung der Erkrankungen mit Spitzen in den Monaten Juli bis Oktober. Während infizierte Nagetiere in der Regel symptomlos bleiben, entwickeln Katzen umschriebene, aber auch großflächige Wunden, über die Virus ausgeschieden wird. Viele Katzen verenden. Beim Menschen verursacht eine Infektion Pocken-ähnliche Hautausschläge (Exantheme) oft an Händen und Unterarmen, die bei falscher Behandlung auch wochenlang anhalten können und unter Umständen mit Narbenbildung verheilen. In Deutschland gab es bis zu der hier vorliegenden Studie keine Daten über Infektionen bei wildlebenden Reservoirtieren (Essbauer et al., 2004, 2006a).

Kuhpockenvirus-Infektionen sind in Deutschland bislang nicht meldepflichtig.

1.2.3 Frühsommer-Meningo-Enzephalitis-Virus

Das FSMEV ist ein behülltes, 40-50 nm großes RNA-Virus aus der Familie *Flaviviridae*. Dieses Arbovirus wird durch Zecken der Gattung *Ixodes* (vor allem *Ixodes ricinus*, *Ixodes persulcatus*) übertragen. Infektionen des Menschen können aber auch über orale Aufnahme von Rohmilchprodukten erfolgen. Infektionen mit dem europäischen Virustyp verlaufen in der Regel milder, während die mit den sibirischen und fernöstlichen Virustypen mit schweren Erkrankungen und hoher Letalität einhergehen können. In Westeuropa beträgt die Letalität 0,5-2%. Die Erkrankung verläuft meist biphasisch, mit unspezifischen Symptomen (Fieber, Myalgie, Kopfschmerz) in der ersten Phase, einem beschwerdefreien Intervall von etwa einer Woche und einer zweiten Fieberphase, wobei es zur Ausbildung einer aseptischen Meningitis, Meningo-Enzephalitis und im schlimmsten Fall zur Meningo-Enzephalomyelitis kommen kann. Das FSMEV ist der einzige Nagetier-assoziierte Erreger in Deutschland, gegen den ein zugelassener Impfstoff zur Anwendung beim Menschen verfügbar ist (Übersichten in Suess et al., 2004; Dobler et al., 2005)

Die Frühsommer-Meningo-Enzephalitis ist in Deutschland meldepflichtig, wobei die meisten Fälle in Süddeutschland in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg registriert werden. (Tabellen 1 und 2).

Tab. 1 Auftreten von gemeldeten Erkrankungsfällen durch die in dieser Arbeit untersuchten Nagetier-übertragenen Erreger in Deutschland im Zeitraum von 2004 bis 2008 (Robert Koch-Institut: SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand: 01.04.09)

Erkrankung	Erreger	Anzahl gemeldeter Fälle (Inzidenz/100.000)				
		2004	2005	2006	2007	2008
Vektor-vermittelte Übertragung (Nagetiere oder andere Kleinsäuger als Reservoir)						
<i>Viren</i>						
Frühsommer-Meningo-Enzephalitis (FSME)	FSME-Virus	274 (0,3)	432 (0,5)	541 (0,7)	238 (0,29)	288
<i>Bakterien</i>						
Hasenpest (Tularämie)	<i>Francisella tularensis</i>	3 (<0,1)	15 (<0,1)	1 (<0,1)	20 (<0,1)	15
Lyme Borreliose [§]	<i>Borrelia</i> sp.	4.479	5.461	6.248	5.916	5717
Epidemisches Fleckfieber	<i>Rickettsia prowazekii</i>	0	0	0	0	0
B – Nagetiere als Reservoir oder Überträger						
<i>Viren</i>						
Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom/ Nephropathia epidemica	Hantaviren	242 (0,3)	448 (0,5)	73 (0,1)	1.687 (2,05)	243
<i>Bakterien</i>						
Leptospirose	<i>Leptospira interrogans</i>	58 (<0,1)	58 (<0,1)	45 (<0,1)	165 (0,2)	37

[§] nur in einigen Bundesländern meldepflichtig

Tab. 2 Auftreten der meldepflichtigen Erkrankungen in den Bundesländern, in denen Untersuchungen zu den Erregern in Nagetieren durchgeführt wurden, im Zeitraum von 2004 bis 2008 (Quelle: RKI, Survstat Datenstand: 01.04.09)

Jahr	Bundesland	Zahl der gemeldeten Erkrankungen in den Jahren 2004-2008					
		Regierungsbezirk/ Landkreis	FSME (FSME-Virus)	Tularämie (<i>Francisella</i> <i>tularensis</i>)	Fleckfieber (<i>Rickettsia</i> spp.)	HFRS/NE (Hantaviren)	Leptospirose (<i>Leptospira</i> spp)
2004/5/ 6/7/8	Bayern		130/165/281/96/ 128	2/1/0/3/0	0/0/0/0/0	120/110/22/ 296/41	11/12/9/26/20
	Fürstenfeldbruck		0/2/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	1/0/0/1/1	0/0/1/1/0
	Erlangen		2/0/0/1/3	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/0/0/1	0/0/0/1/0
	Traunstein		5/8/4/4/4	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/0/1/1
	Baden- Württemberg		102/211/168/ 109/130	0/0/1/11/2	0/0/0/0/0	61/41/12/1089/ 74	7/10/8/35/13
	Sigmaringen		1/2/3/0/1	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/1/49/1	0/0/0/1/1
	Niedersachsen		1/2/0/2/4	0/1/0/1/2	0/0/0/0/0	11/75/6/93/18	10/6/6/15/7
	Göttingen		0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/0/0/0/0	0/11/0/1/0	0/0/0/0/0

HFRS, Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom; NE, Nephropathia epidemica

1.2.4 Leptospiren

Die Leptospirose wird durch eine Infektion mit Gram-negativen Bakterien der Gattung *Leptospira* aus der Familie der Spirochäten verursacht. Leptospiren kommen weltweit vor und werden gemäß der aktuellen Klassifizierung in 16 Arten unterteilt, wovon sieben Arten humanpathogen sind. Gegenwärtig findet sich allerdings häufig immer noch die frühere Einteilung in über 240 Serogruppen. Die Verbreitung des Erregers erfolgt über den Urin persistenter infizierter Nager. Dabei kann der Erreger über mit Nagerurin verschmutztes Wasser in kleinste (Schleim-)Hautverletzungen des Menschen eindringen. Auch ein direkter Kontakt zu Nagetieren spielt bei der Übertragung der Leptospiren eine Rolle. Außer dem Menschen erkranken auch Pferde, Hunde und Schweine an Leptospirose. Leptospiren sind bewegliche Bakterien, die aktiv in Organe invadieren können. Sie sind außerordentlich stabil und können im Wasser über drei Monate infektiös bleiben.

Leptospiren verursachen beim Menschen verschiedene Krankheitsbilder, wie z.B. die Weil-Krankheit, das sogenannte Feldfieber, die Schweinehüterkrankheit und das Batavia-Fieber. Die Symptome reichen von milden und unspezifischen, grippeähnlichen Symptomen mit Myalgien und Konjunktivitis, über ikterische Verläufe mit Fieber und Übelkeit, Meningitis bis zu Nieren- bzw. tödlichem Multiorganversagen (Palaniappan et al., 2007). Die Letalität schwankt unbehandelt zwischen 5 und 40% (eine Übersicht zu Erkrankungen in Deutschland in Jansen et al., 2005).

Die Leptospirose ist in Deutschland meldepflichtig (Tabellen 1 und 2). Hier kam es im Jahr 2007 – vergleichbar mit dem Auftreten von Hantavirus-Infektionen – zu einem Anstieg der Erkrankungen in Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen, durch in den Studien untersuchten Regionen.

1.2.5 Francisellen

Auch die Tularämie (syn. Hasenpest) wird von einem bakteriellen Erreger, *Francisella tularensis*, verursacht. Francisellen sind kleine, Gram-negative, pleomorphe, unbewegliche Bakterien, die eine Kapsel bilden können und ein spezifisches Lipopolysaccharid (LPS) aufweisen. Francisellen werden heute in die Gruppe der γ -Proteobakterien eingeordnet und sind damit verwandt mit Legionellen und Coxiellen. Zwei Unterarten, *Francisella tularensis* ssp. *tularensis* (Nordamerika) und ssp. *holarctica* (Europa und Asien) spielen eine Rolle als humanpathogene Erreger. Sowohl zahlreiche Säugetierspezies (>150) als auch Menschen erkranken. Zecken, Stechmücken und Bremsen fungieren dabei als Vektoren. Francisellen bleiben sehr lange infektiös, im Wasser und Boden über Monate hinweg, in gefrorenen Tierkörpern sogar bis zu 3 Jahre lang.

Drei bis zehn Bakterien über ein Aerosol aufgenommen, reichen bereits für eine Infektion des Menschen aus. Die Letalität beträgt abhängig von der Unterart 5-10% (Sjöstedt, 2007).

Beim Menschen unterscheidet man äußere lokalisierte (ulcero-glanduläre) Formen, die mit Geschwüren, Lymphadenitis und Konjunktivitis einhergehen, und innere (invasive) Formen, die sich meist in Pneumonien, aber auch in Abszessen und Magen-Darm-Symptomatik äußern. Betroffene Tiere sterben meist innerhalb von vier bis sechzehn Tagen, in protrahiert verlaufenden Fällen überleben sie bis zu 60 Tage. Krankheitszeichen sind äußerlich nicht immer erkennbar, was das Risiko gerade für Jäger noch erhöht.

Die Tularämie ist in Deutschland meldepflichtig (Tabellen 1 und 2). In den Jahren 2005 und 2007 trat die Erkrankung erstmals seit über 40 Jahren wieder gehäuft auf.

1.2.6 Borrelien

Borrelien gehören wie die Leptospiren zur Familie der Spirochäten. Die in Europa wichtigsten humanpathogenen Borrelien-Arten zählen zum *B. burgdorferi sensu lato*-Komplex. Sie werden durch Zecken der Gattung *Ixodes ricinus* übertragen, wobei Nagetiere und andere Kleinsäuger als Reservoir dienen. Eine Infektion beim Menschen kann zur Ausbildung der sogenannten Lyme-Borreliose führen. Bei dieser Erkrankung unterscheidet man drei Phasen: eine Frühmanifestation meist an der Haut (bei ca. 50% der Fälle Hautrötung rund um die Stichstelle, *Erythema migrans*), eine frühe Allgemeinmanifestation vor allem an inneren Organen (z.B. als Neuroborreliose, Polyradikuloneuritis, Arthritis, Karditis, bei Kindern auch als lymphozytäre Meningitis), und eine späte Allgemeinmanifestation (chronische Arthritis, *Acrodermatitis chronica atrophicans*, chronische Enzephalomyelitis, chronische Polyradikulopathie). Erkrankungen sind auch bei Hund, Katze, Pferd und Rind nachgewiesen und äußern sich außer durch unspezifische Allgemeinsymptome auch durch Arthritiden (Fingerle & Wilske, 2006; Wilske et al., 2007).

In einigen Bundesländern Deutschlands (Berlin und die neuen Bundesländer) ist die Borreliose seit 2002 meldepflichtig (Tabelle 1).

1.12.7 Rickettsien

Rickettsien sind obligat intrazelluläre, Gram-negative Bakterien, deren Größe mit $0,3 \times 0,7 \mu\text{m}$ im Bereich zwischen den kleinsten Bakterien und den größten Viren liegt. Man unterscheidet zwei Gruppen: die Zeckenbissfieber-Rickettsien (*Rickettsia conori*, *R. helvetica*, *R. felis*), die durch verschiedene Zecken und eine Milbenart übertragen werden, und die Fleckfieber-Rickettsien (*R. prowazekii* und *R. typhi*), die durch Flöhe und Läuse übertragen werden. Als Reservoir dienen je nach Rickettsien-Spezies verschiedene Vögel, Reptilien und Säugetiere, und hier vor allem Nagetiere. Rickettsien befallen die Endothelzellen der kleinen Blutgefäße und verursachen eine Vaskulitis. Typischerweise äußern sich die Rickettsiosen durch Fieber, Kopfschmerzen und ein als „Eschar“ bezeichnetes Ulkus an der Einstichstelle des übertragenden Ektoparasiten sowie ein generalisiertes Exanthem. Die Letalität schwankt je nach verursachender Rickettsien-Art, kann jedoch für das Epidemische Fleckfieber (*R. prowazekii*) oder das Rocky Mountain-Fleckfieber (*R. rickettsii*) unbehandelt bis zu 30% betragen (Parola et al., 2005; Wölfel et al., 2006).

Das Fleckfieber ist in Deutschland meldepflichtig (Tabellen 1 und 2). Seit 2003 wurden keine Fälle gemeldet.

1.3 Aktueller Wissensstand über die Verbreitung der hier vorgestellten Nagetier-assoziierten Erreger in Deutschland

Seit Inkrafttreten des Infektionsschutzgesetzes am 1. Januar 2001, in dem unter anderem auch die Meldepflicht für humane Infektionen durch bestimmte Zoonoseerreger geregelt ist, hat sich die Datenlage zur geographischen Verbreitung und Häufigkeit von durch diese Zoonoseerreger verursachten Krankheiten wesentlich verbessert. Vermutlich ist jedoch die Dunkelziffer für diese Infektionen immer noch sehr hoch, da viele der hier genannten Infektionen oft nur milde Verläufe und unspezifische Symptome verursachen und somit wahrscheinlich oft gar nicht oder nicht richtig diagnostiziert werden.

Die gemäß IfSG gemeldeten Daten (Tabellen 1 und 2) erlauben nur einen indirekten Einblick in die geographische Verbreitung der Erreger in Deutschland. Diesbezüglich aussagefähiger sind Untersuchungen in den Nagetier- und Kleinsäugerreservoirs.

Aus diesem Grunde wurden in den Jahren 2001-2004 in drei Landkreisen Bayerns, im Jahr 2005 in einem Landkreis in Niedersachsen und im Jahr 2007 in einem Landkreis in Baden-Württemberg Untersuchungen zum Vorkommen der oben beschriebenen Zoonoseerreger in den potentiellen Nagetierreservoirs durchgeführt, die hier vorgestellt werden sollen.

2. Material & Methoden

2.1. Untersuchungsgebiete

2.1.1 Longitudinalstudie in drei Landkreisen Bayerns während der Jahre 2001-2004

Von September 2001 bis März 2004 wurden in Grafrath bei München, Landkreis (LK) Fürstentfeldbruck, auf einem im Wald gelegenen Gartengrundstück Mäuse gefangen (Abb. 1). Im LK Erlangen wurden die Gebiete Frauenaarach (Mischwald), Klosterholz (Wasserschutzgebiet) und Diethofen (Hügelwald) von März bis September 2003 beprobt (Abb. 1). Im LK Traunstein wurden an den Orten Bürgerwald, Geißing, Burkhartsöd (Moorgebiet) und auf einer Wiese am Stadtrand im gleichen Zeitraum Mäuse gefangen (Abb. 1A, B). Alle Probeflächen befanden sich in der Nähe von Naherholungsgebieten mit Trimm-Dich-Pfaden und beliebten Spazierwegen. Bei den Probepunkten handelte es sich meist um Orte, die aufgrund ihrer Vegetation und Beschaffenheit ideale Lebensbedingungen für Mäuse bieten, z.B. Laubwälder mit dichtem Unterholz, Brombeer-/Himbeerbewuchs und dicht wachsendem Springkraut (*Impatiens glandulifera*). Hier fanden mittels PCR Untersuchungen auf Borrelien und Leptospiren statt. Antikörper gegen Kuh(Ortho-)pockenviren wurden serologisch nachgewiesen mit einem Plaquereduktionsneutralisationstest, Antikörper gegen FSMEV mittels einer *in house*-Immunfluoreszenz.

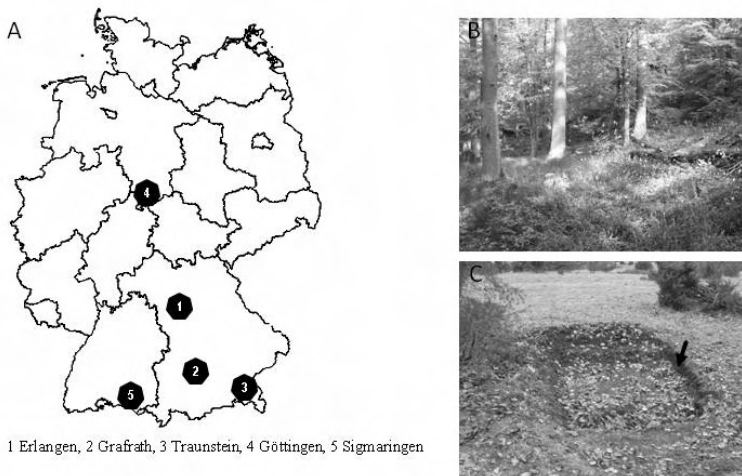


Abb.1 A Geographische Lage der untersuchten Regionen in Deutschland (1 Erlangen, 2 Grafrath, 3 Traunstein, 4 Göttingen, 5 Sigmaringen), B Hügel-Buchenwald mit krautigem Unterbewuchs als typisches Habitat für Rötelmäuse im Landkreis Erlangen, C Mäusegänge an Zeltgräben (Biwak) am Truppenübungsplatz Heuberg, Landkreis Sigmaringen.

2.1.2 Untersuchungen in Sennickerode, Landkreis Göttingen, Niedersachsen, 2005

Im Rahmen eines Tularämieausbruches wurden in einem Freilandgehege von Krallenäffchen (*Callithrix jacchus*) in Sennickerode Mäuse gefangen (Spletstoesser et al., 2007). Während der Fangaktion schien die Dichte der Nagerpopulation in diesem Freilandgehege sehr hoch zu sein, möglicherweise wegen des dichten Bewuchses mit hohem Gras und der Nutzung des für die Affen bestimmten Futters und Stroh.

Außerdem wurde in den Gehegen keine Schädnerbekämpfung durchgeführt, um eine indirekte Vergiftung der Affen durch Fangen und Fressen von kontaminierten Nagetieren zu vermeiden.

Fünf der verstorbenen Krallenäffchen wurden mithilfe eines Antigen-ELISA und einer Francisellen-spezifischen PCR positiv auf *Francisella tularensis holarctica* getestet, auch die Anzucht des Erregers war möglich.

2.1.3 Untersuchungen am Truppenübungsplatz Heuberg, Landkreis Sigmaringen, Baden-Württemberg 2007

Nach Auftreten von Hantavirus-Erkrankungsfällen wurden auf dem Truppenübungsplatz Heuberg, Landkreis Sigmaringen, Mäuse gefangen (Abb. 1A, C). Ziel dieser Untersuchungen war es, eine Risikoabschätzung für diesen Truppenübungsplatz leisten zu können.

Die Tiere wurden anschließend serologisch und mittels RT-PCR auf Hantaviren und Rickettsien (Serologie anti-*R. conorii* und anti-*R. helvetica*) untersucht. Zur Untersuchung auf Kuhpocken wurden PCR und Anzucht verwendet.

2.2 Mäusefang

Beprobungsorte wurden zunächst „vorgeködert“, d.h. es wurden ausgewaschene 500 ml fassende große Joghurtbecher mit Apfelködern der Sorte Golden Delicious bestückt und in 10 m Abständen in parallel verlaufenden Reihen ausgebracht. Nach 24 Stunden wurden die Köderbecher auf Urin- und Kots Spuren überprüft. Derart markierte Becher wurden durch sogenannte Sherman-Lebendfallen mit dem gleichen Köder ersetzt, welche zweimal täglich kontrolliert wurden. Die gefangenen Mäuse wurden tierschutzgerecht getötet, vermessen, gewogen und Blut und die benötigten Organe (Lunge, Niere, Leber, Milz, Gehirn, Ohren u.a.) unter aseptischen Bedingungen entnommen. Die Artbestimmung erfolgte bei allen Untersuchungen primär morphologisch, teilweise wurde die Artbestimmung zusätzlich durch Amplifikation des mitochondrialen Cytochrom b- Gens mit anschließender Sequenzierung der PCR-Produkte verifiziert.

2.3 Untersuchung auf die Erreger

2.3.1 Direkter Erregernachweis

Kleine Organteile wurden mittels Schrotkugeln in der Mixermill (Studie von 2001-2004 in Bayern) oder mittels Fastprep-Gerät (alle anderen Studien) homogenisiert und Nukleinsäuren unter Verwendung von kommerziellen Kits manuell oder automatisiert isoliert. Für die Untersuchungen wurden konventionelle PCRs bzw. RT-PCRs von Nukleinsäurepräparationen aus Ohr, Lunge, Milz und Gehirn zum Nachweis von Borrelien (Kiefling, 2005), Hantaviren (Essbauer et al., 2006b) bzw. FSMEV (Kiefling, 2005) verwendet.

Zur Untersuchung auf Leptospiren (Smythe et al., 2002), Rickettsien (Wölfel et al., 2008) und Francisellen (Spletstoesser et al., 2007) wurden jeweils Echtzeit-PCR-Verfahren mit extrahierter Nukleinsäure aus Niere, Ohren, Gehirn und Leber durchgeführt.

2.3.2 Indirekter Erregernachweis durch serologische Untersuchungen

Für den indirekten Nachweis von anti-FSMEV- und anti-Rickettsien-Antikörpern in Nagerseren wurden *in house*-Immunfluoreszenztests unter Verwendung infizierter Verozellen verwendet (Wölfel et al., 2006; Dobler unpubliziert). Orthopockenvirus-reaktive Antikörper wurden mittels eines Plaquereduktionsneutralisationstests bestimmt (Essbauer et al., 2004).

3. Ergebnisse

3.1 Nachweis von Infektionen mit Borrelien, Leptospiren, Kuhpockenviren und FSMEV in Nagern aus drei Landkreisen Bayerns während der Jahre 2001-2004

In den bayerischen Gebieten (siehe Abb. 1) wurden in dem angegebenen Zeitraum insgesamt 836 Mäuse und Kleinsäuger gefangen, wovon die meisten Tiere (606) auf das Gebiet Grafrath entfielen (Tab. 3).

Antikörper gegen Orthopockenviren wurden in insgesamt 39 Tieren (5,6%) nachgewiesen, wobei hier die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) mit 18,8% im Gebiet Grafrath am stärksten betroffen war (Tab. 3).

In Traunstein wurden bei der Untersuchung von 67 Tieren keine Orthopockenviren-reaktiven Antikörper nachgewiesen.

FSMEV-reaktive Antikörper wurden in insgesamt 67 von 633 untersuchten Tieren (10,6%) gefunden (Tab. 3). Auch hier war die Prävalenz im Gebiet Grafrath jedoch bei der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) am höchsten (14,8%).

In insgesamt 17 von 266 getesteten Tieren (6,4%) wurde mittels PCR Leptospiren-spezifische DNA gefunden, wobei die Tiere aus Traunstein und Erlangen mit Ausnahme einer Gelbhalsmaus nicht auf Leptospiren getestet wurden. Auch hier waren Gelbhalsmäuse (*Apodemus flavicollis*; 11,3% in Grafrath, 25% an anderen Orten) die häufigsten Träger von Leptospiren.

Bei den PCR-Untersuchungen wurde bei insgesamt 91 Tieren (10,8%) aus vier verschiedenen Arten Borrelien-DNA nachgewiesen (Tab. 3). Insgesamt wurden Borrelien-Infektionen am häufigsten bei der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*), Rötelmaus (*Myodes glareolus*) und Feldmaus (*Microtus arvalis*) gefunden, wobei sich die Häufigkeit der Borrelien-Infektionen in den einzelnen Nagetier-Arten von Fangort zu Fangort unterschied. Die höchste durchschnittliche Borrelien-Durchseuchung wurde mit 34,3% in Traunstein gefunden. Auch die Durchseuchung bei Rötelmäusen war in Traunstein am höchsten (44,1%).

Tab. 3 Nachweis von Infektionen mit Borrelien, Leptospiren, Kuhpockenviren und FSMEV in Wildmäusen von verschiedenen Beprobungspunkten in Bayern

Fangort	Untersuchte Tiere		Direkter oder indirekter Erregernachweis							
	Familie*	Spezies	Borrelien nPCR		Kuhpocken NT>1:24		FSMEV IFAT	Leptospiren PCR		
			pos/ges	(%)	pos/ges	(%)	pos/ges (%)	pos/ges	(%)	
Erlangen	Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	18/57	31,6	0/51	0	4/40	10,0	0/1	0
	Cricetidae	<i>Myodes glareolus</i>	11/56	19,6	1/47	2,1	3/45	6,6	0	0
	Cricetidae	Andere Arten ¹	0/9	0	1/1	k.A.	1/1	k.A.	0	0
		Gesamt	29/122	23,7	2/112	1,8	8/86	9,3	0/1	0
Grafrath	Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	17/267	6,4	0/229	0	31/210	14,8	8/71	11,3
		<i>Apodemus sylvaticus</i>	2/43	4,7	1/33	2,9	1/35	2,9	1/12	8,3
	Cricetidae	<i>Myodes glareolus</i>	11/233	4,7	36/156	18,8	21/173	12,1	1/117	0,9
		<i>Microtus arvalis</i>	4/59	6,8	0/51	0	0/32	0	4/48	8,3
	Cricetidae	Andere Arten ²	0/4	0	n.d.	k.A.	0/2	0	0/1	0
		Gesamt	34/606	5,6	37/469	7,3	53/452	11,7	14/249	5,6
Traunstein	Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	2/8	25,0	0/5	0	0/6	0	0	-
	Cricetidae	<i>Myodes glareolus</i>	19/43	44,1	0/34	0	4/33	12,1	0	-
		<i>Microtus arvalis</i>	2/15	13,3	0/14	0	1/14	7,1	0	-
		<i>Microtus agrestis</i>	0/1	0	0/1	0	n.d.	k.A.	0	-
		Gesamt	23/67	34,3	0/67	0	5/53	9,4	0	-
Andere**	Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	2/16	12,5	n.d.	k.A.	1/9	11,0	1/4	25,0
		<i>Apodemus sylvaticus</i>	0/11	0	0	0	0/10	0	0/1	-
	Cricetidae	<i>Myodes glareolus</i>	3/12	25,0	0	0	0/9	0	1/9	11,0
		<i>Microtus sp</i>	0/2	0	0	0	0/14	0	1/1	kA
		Gesamt	5/41	12,1	0	0	1/42	2,4	3/16	18,5
Gesamt			91/836	10,8	39/699	5,6	67/633	10,6	17/266	6,4

* die Taxonomie folgt der von Wilson und Reeder (2005): 1 *Microtus agrestis*, *Microtus arvalis*, *Arvicola amphibius*; 2 *Microtus agrestis*, *Arvicola amphibius*; ** Freising, Raitenhaslach, Stadtbereich München, Ulm, Breitach, Ramersdorf, Oberschleißheim, Pommersfelden, Mehring, Singen; n.d., nicht durchgeführt; k.A., keine Angaben; nPCR, nested PCR

3.2 Nachweis von Infektionen mit Francisellen und Hantaviren in Nagetieren aus Sennickerode, Niedersachsen, 2005

In Sennickerode (Abb 1.) wurden insgesamt 144 Tiere gefangen, davon 28 Gelbhalsmäuse (*Apodemus flavicollis*), 62 Rötelmäuse (*Myodes glareolus*), 12 Feldmäuse (*Microtus arvalis*) und 37 Schermäuse (*Arvicola amphibius*, vormalig *A. terrestris*).

Mittels PCR-Untersuchung aller Tiere wurde bei 10 Tieren (6,9%) *Francisella tularensis*-spezifische DNA nachgewiesen (Tab. 4). Der höchste Anteil entfiel dabei auf die Schermaus (*Arvicola amphibius*) mit 6 positiven Tieren (16,2%).

Tab. 4 Nachweis von Infektionen mit *Francisella tularensis* und Hantaviren in Wildnagern aus Sennickerode, Niedersachsen, 2005

Familie	Untersuchte Tiere Spezies	Erregernachweis			
		Tularämie - PCR		Hantavirus - RT-PCR	
		pos/ges	%	pos/ges	%
Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	1/28	3,6	0/27	0
Cricetidae	<i>Myodes glareolus</i>	2/62	3,23	6/60	10,0
	<i>Microtus arvalis</i>	1/12	8,3	7/17	41,0
	<i>Arvicola amphibius</i>	6/37	16,2	n.d.	k.A.
k.A.	Andere*	0/5	0	0/30	0
Gesamt		10/144	6,9	13/134	9,7

n.d., nicht durchgeführt; k.A., keine Angaben; * *Sorex araneus*, *Apodemus agrarius*

Insgesamt 134 der 144 gefangenen Tiere wurden mittels Hantavirus-S-Segment-spezifischer RT-PCR untersucht (Essbauer et al., unveröffentlichte Daten). Dabei zeigten 13 Tiere (9,7%) ein Amplifikat der erwarteten Größe (Tab. 4), wobei der höchste Prozentsatz (41%, 7 von 17 Tieren) auf die Feldmaus (*Microtus arvalis*) entfiel.

3.3 Nachweis von Infektionen mit Hantaviren, Kuhpockenviren, Endoparasiten und Rickettsien bei Wildnagern vom Truppenübungsplatz Heuberg, Baden-Württemberg, 2007

Auf dem Truppenübungsplatz Heuberg wurden insgesamt 221 Tiere gefangen, darunter 98 Mäuse der Gattung *Apodemus*, 110 Rötelmäuse (*Myodes glareolus*), 10 Feldmäuse (*Microtus arvalis*) und drei Spitzmäuse.

Hantavirus-spezifische Nukleinsäure wurde mittels S-Segment-spezifischer RT-PCR bei 24 Tieren (10,9%) nachgewiesen (Tab. 5), am häufigsten bei der Feldmaus (*Microtus arvalis*) mit 50% (5 von 10 Tieren positiv), gefolgt von der Rötelmaus (*Myodes glareolus*) mit 19 von 110 Tieren (16%). Bei der Gelbhalsmaus wurden keine Hinweise auf Hantavirus-Infektionen gefunden (Essbauer et al., unveröffentlichte Daten).

Tab. 5 Nachweis von Infektionen mit Hantaviren, Kuhpockenviren, Endoparasiten und Rickettsien in Wildnagern vom Truppenübungsplatz Heuberg, 2007.

Untersuchte Spezies	Hantavirus		Endoparasiten		Rickettsien					
	RT-PCR		makroskopisch		PCR		Serologie			
	pos/ges	%	pos/ges	%	pos/ges	%	anti- <i>R. conorii</i>		anti- <i>R. helvetica</i>	
	pos/ges	%	pos/ges	%	pos/ges	%	pos/ges	%	pos/ges	%
<i>Apodemus</i> sp ¹ .	0/98	0	1/98	1,0	1/98	1,0	11/98	11,2	0/98	0
<i>Myodes glareolus</i>	19/110	16,0	21/110	19,0	2/110	1,8	14/110	12,7	1/110	0,9
<i>Microtus arvalis</i>	5/10	50,0	1/10	10,0	0/10	0	0/10	0	0/10	0
Spitzmäuse ²	0/3	0	0/3	0	0/3	0	0/3	0	0/3	0
total	24/221	10,9	23/221	10,4	3/221	1,3	25/221	11,3	1/221	0,4

¹ *Apodemus flavicollis*, *Apodemus sylvaticus*; ² *Sorex araneus*, *Sorex gemellus*

Bei einer Feldmaus konnte erfolgreich ein Orthopockenvirus angezüchtet werden, das gegenwärtig genauer charakterisiert wird (Meyer et al., unveröffentlichte Daten).

Endoparasiten wurden bei 23 von 221 Tieren (10,4%) angetroffen (Tab. 5), am stärksten war die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) mit 19% (21 von 110 Tieren) betroffen (Essbauer et al., unveröffentlichte Daten).

Bei drei von 221 Tieren (1,3%) ließen sich Rickettsien mittels PCR nachweisen (Tab. 5), während 25 von 221 Tieren (11,3%) Antikörper gegen *R. conorii* und ein Tier (0,4%) Antikörper gegen *R. helvetica* gebildet hatten (Dobler et al., unveröffentlichte Daten). Dabei entfiel wiederum der größte Anteil positiver Tiere auf die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) (14 von 110 Tieren, 12,7%), dicht gefolgt von *Apodemus sp.* (11 von 98 Tieren, 11,2%).

4. Diskussion und Ausblick

Erkrankungen des Menschen durch zoonotische Krankheitserreger haben in letzter Zeit in Deutschland erhöhte Aufmerksamkeit erlangt. Die Erfassung von humanen Infektionskrankheiten hat sich seit Einführung des Infektionsschutzgesetzes zwar insgesamt verbessert, aber gerade bei seltenen Zoonosen besteht ein erhebliches Informationsdefizit. Als sehr hilfreich erweist sich hier insbesondere die öffentlich zugängliche Plattform „SurvStat“ des Robert-Koch-Institutes, die eine aktuelle Übersicht über die geographische Verbreitung und Häufigkeit meldepflichtiger Erkrankungen in Deutschland ermöglicht. Dennoch ist die Dunkelziffer der oft mit unspezifischen fieberhaften Symptomen einhergehenden Erkrankungen weiterhin als hoch einzuschätzen. Dies liegt zum einen an dem glücklicherweise vergleichsweise seltenen Auftreten dieser Erkrankungen und der damit verbundenen fehlenden Kenntnis über diese Erkrankungen innerhalb der Ärzteschaft. Desweiteren führt sicher auch die oft unspezifische und milde Symptomatik zu Fehldiagnosen und somit zu einem „underreporting“. Insgesamt gibt es jedoch auch noch wesentlich zu wenige Untersuchungen zum Vorkommen seltener Zoonoseerreger beim Menschen und in den entsprechenden Wildnagerreservoirs.

Erste deutschlandweite Untersuchungen – wie die hier vorgestellten Untersuchungen - zeigen, dass Nagetiere in Deutschland in nicht unerheblichem Maße mit verschiedenen Krankheitserregern durchseucht sind (Ulrich et al., 2008a; hier vorgestellte Untersuchungen). So konnte beispielsweise eine breite geographische Verbreitung und ein stabiles Vorkommen des Puumalavirus in Populationen der Rötelmaus (*Myodes glareolus*) und des Tulavirus in *Microtus*-Populationen gezeigt werden (Ulrich et al., 2008a). Die hier beschriebenen Untersuchungen belegen diesen Befund für Gebiete in Niedersachsen und Baden-Württemberg. Diese Studien zeigen eine scheinbare Wirtspräferenz einzelner Zoonoseerreger für bestimmte Nagetier-Arten, die in weiterführenden Arbeiten zu prüfen wäre. So wurden Leptospiren, Borrelien und FSMEV besonders in der Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*), Francisellen vor allem in der Schermaus und Kuhpockenviren insbesondere in der Rötelmaus (*Myodes glareolus*) gefunden. Interessanterweise war die Rötelmaus auch in starkem Maße von Endoparasiten befallen, was möglicherweise auch die Durchseuchung mit anderen Erregern beeinflusst. Die hier zusammengefassten Erkenntnisse sind ein erster wichtiger Schritt auf dem Weg zur Erstellung von Verbreitungskarten für die genannten humanpathogenen Zoonoseerreger in ihren Reservoirwirten und der Definition von entsprechenden Risikogebieten.

Neben den genannten Forschungsaktivitäten muss die Öffentlichkeit auch für die Problematik der Nagetier- und anderen Vektor-übertragenen Zoonosen weiter sensibilisiert werden. In diesem Sinne sind einerseits die Gesamtbevölkerung, andererseits auch beruflich exponierte Risikogruppen, wie Forstarbeiter, Jäger, Beschäftigte in der Landwirtschaft und Soldaten auf die Gefährdungen hinzuweisen (Ulrich et al., 2007). Darüber hinaus müssen diese Personengruppen auch stärker mit den gegebenenfalls erforderlichen Vorsichts- und Hygienemaßnahmen vertraut gemacht werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass unsere Kenntnis von den Naturherden, den beteiligten Reservoirwirten und den entsprechenden Infektketten noch äußerst lückenhaft ist. Insbesondere zu den Ursachen für ein saisonal oder jährlich gehäuftes Auftreten bestimmter Humaninfektionen bestehen bestenfalls Arbeitshypothesen. Da an der Lösung dieser Probleme zwangsläufig Bereiche beteiligt sind, die weit über die Mikrobiologie hinausgehen, ist deren Bearbeitung nur in entsprechenden Netzwerken und Arbeitsgemeinschaften über Institutsgrenzen hinweg zielführend.

Nur in einer synergistischen Zusammenarbeit von Zoologen, Ökologen, Virologen, Mikrobiologen, Parasitologen, Genetikern, Epidemiologen, Forstwissenschaftlern und Klimaforschern mit Klinikern der Human- und Veterinärmedizin können die komplexen Interaktionen zwischen Pathogenen, Reservoirenwirten, Vektoren und Prädatoren im Zusammenhang mit dem Auftreten von Infektionen beim Menschen verstanden werden (Ulrich et al., 2008b).

Danksagung

Wir danken Frau Dr. Judith Kießling, Krystian Mistzela, Dr. Sonja Hartnack und den beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Mikrobiologie der Bundeswehr für die tatkräftige Unterstützung bei der Beprobung der verschiedenen Punkte in Bayern, Sennickerode und dem Truppenübungsplatz Heuberg. Herrn Prof. Hermann Meyer danken wir für die Übermittlung unpublizierter Ergebnisse und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- Dobler, G., Essbauer, S.S., Wölfel, R., Pfeffer, M. (2005): Interaktionen von Ökologie und Epidemiologie am Beispiel der Frühsommer-Meningoenzephalitis. Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 29, „Zur Ökologie von Infektionskrankheiten“, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 43-52.
- Essbauer, S.S., Friedewald, S., Hassler, D., Meyer, H., Pfeffer, M. (2006a): Von Ratten und Katzen auf den Menschen: Kuhpockenviren in Europa. *DMW* 131 (46), 2381-2382
- Essbauer, S.S., Pfeffer, M., Wilhelm, S., Meyer, H. (2004): Zoonotische Pockenviren. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 47, 671-679
- Essbauer, S.S., Schmidt, J., Conraths, F.J., Friedrich, R., Koch, J., Hautmann, W., Pfeffer, M., Wölfel, R., Finke, E. J., Dobler, G., Ulrich, R.G. (2006b): A new *Puumala hantavirus* subtype in rodents associated with an outbreak of severe *Nephropathia epidemica* in South-East Germany in 2004. *Epidem. Infection* 134, 1333-1344
- Fingerle, V., Wilske, B. (2006): Ticks, tick bites and how best to remove the tick. *MMW Fortschr Med.* 148(25), 30-2.
- Jansen, A., Schöneberg, I., Frank, C., Alpers, K., Schneider, T., Stark, K. (2005): *Leptospirosis* in Germany, 1962-2003. *Emerg Infect Dis.* 11(7), 1048-54.
- Kießling, J. (2005): Untersuchung zum Vorkommen des Frühsommer-Meningo-Enzephalitis-Virus und *Borrelia burgdorferi* in ausgewählten Wildmaus- und Zeckenpopulationen Bayerns. Veterinärmedizinische Fakultät der LMU München, Dissertation
- Krüger, D.H., Ulrich, R.G., Lundkvist, Å. (2001): Hantavirus infections and their prevention. *Microbes Infect* 3, 1129-1144
- Palaniappan, R.U., Ramanujam, S., Chang, Y.F. (2007): *Leptospirosis: pathogenesis, immunity, and diagnosis.* *Current Opinion in Infectious Diseases* 20, 284-292.
- Parola, P., Paddock, C. D., Raoult, D., 2005: Tick-borne rickettsioses around the world: emerging diseases challenging old concepts. *Clin Microbiol Rev* 18, 719-756.
- Schönrich, G., Rang, A., Lütke, N., Raftery, M.J., Charbonnel, N., Ulrich, R.G. (2008): Hantavirus-induced immunity in rodent reservoirs and humans. *Immunol. Reviews* (im Druck)
- Sjöstedt, A. (2007): Tularemia: History, epidemiology, pathogen physiology, and clinical manifestations. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1105, 1-29
- Smythe, L.D., Smith, I.L., Smith, G.A., Dohnt, M.F., Symonds, M.L., Barnett, L.J., McKay, D.B. (2002): A quantitative PCR (TaqMan) assay for pathogenic *Leptospira* spp. *BMC Infect Dis.* 2, 13.
- Spletstoeser, W.D., Mätz-Rensing, K., Seibold, E., Tomaso, H., Al Dahouk, S., Grunow, R., Essbauer, S.S., Buckendahl, A., Finke, E. J., Neubauer H. (2007): Re-emergence of *Francisella tularensis* in Germany: fatal tularemia in a colony of semi-free living marmosets (*Callithrix jacchus*). *Epidemiol. Infect.* 135(8), 1256-1265
- Süss, J., Scradler, C., Falk, U., Wohanka, N. (2004): Tick-borne encephalitis (TBE) in Germany –epidemiological data, development of risk areas and virus prevalence in field-collected ticks and ticks removed from humans. *Int J Med Microbiol* 293 (Suppl 37), 69-79.

- Ulrich, R.G., Heckel, G., Pelz, H.J., Wieler, L.H., Dobler, G., Freise, J., Matuschka, F. R., Jacob, J., Schmidt-Chanasit, J., Gerstengarbe, F.W., Jäkel, T., Süß, J., Ehlers, B., Nitsche, A., Kallies, R., Johne, R., Günther, S., Henning, K., Grunow, R., Wenk, M., Maul, L., Hunfeld, K.P., Wölfel, R., Schares, G., Scholz, H.C., Brockmann, S., Pfeffer, M., Essbauer, S.S. (2008b): Nagetiere und Nagetier-assoziierte Krankheitserreger – das Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“ stellt sich vor. Bundesgesundheitsblatt 225,163-89.
- Ulrich, R.G., Koch, J., Schmidt-Chanasit, J., Mertens, M., Pelz, H.J., Jacob, J., Madeja, E.L., Quast, H., Freise, J., Groschup, M.H., Conraths, F.J., Dobler, G., Bradt, K., Wegener, W., Essbauer, S.S. (2007): 2005, ein Jahr der Hantaviren - Quo vadis? Der Hygieneinspektor 9(1), 61-68.
- Ulrich, R.G., Schlegel, M., Jacob, J., Pelz, H.J., Mertens, M., Schmidt-Chanasit, J., Wenk, M., Büchner, T., Masur, D., Sevke, K., Groschup, M.H., Gerstengarbe, F.W., Pfeffer, M., Oehme, R., Wegener, W., Bemann, M., Ohlmeyer, L., Wolf, R., Zoller, H., Koch, J., Brockmann, S., Heckel, G., Essbauer, S.S. (2008a): Network „Rodent-borne pathogens“ in Germany: Longitudinal studies on the geographical distribution and prevalence of hantavirus infections. Parasitology Res. (im Druck)
- Wilske, B., Fingerle, V., Schulte-Spechtel, U. (2007): Microbiological and serological diagnosis of Lyme borreliosis. FEMS Immunol Med Microbiol. 49(1), 13-21.
- Wilson, D.E., Reeder, D.M. (2005): Mammal Species of the World. Johns Hopkins University Press.
- Wölfel, R., Essbauer, S.S., Dobler, G. (2008): Diagnostics of tick-borne rickettsioses in Germany: A modern concept for a neglected disease. J Med Microbiol 298 (Suppl. 1), 368-374
- Wölfel, R., Pfeffer, M., Essbauer, S.S., Dobler, G. (2006): Rickettsiosen in Einsatzgebieten der Bundeswehr – Aspekte zur Epidemiologie, Diagnostik und Therapie. Wehrmed. Mschr. 50(7), 185-189.

Andere Länder – andere Sitten? Feldnagermanagement in tropischen Entwicklungsländern

Jacob, J.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Wirbeltierforschung, Topphedeweg 88, 48161 Münster, E-Mail: jens.jacob@jki.bund.de

Zusammenfassung

Feldnager können bei hoher Populationsdichte erhebliche Schäden an Kulturpflanzen verursachen, Infrastruktur schädigen und Krankheitserreger auf den Menschen übertragen. In vielen tropischen Entwicklungsländern sind die Auswirkungen von Schadnagern dramatisch. Vorernte- und Vorratsschäden durch Schadnager wirken sich direkt auf die Versorgung mit Nahrungsmitteln aus und Ernteverluste durch Nager können den Übergang von der Selbstversorgung zur Vermarktung der Überschussproduktion behindern. Durch Nagetier-übertragene Krankheiten, die in Industriestaaten schnell erkannt und erfolgreich behandelt werden, können in Entwicklungsländern dramatische Auswirkungen haben.

Die ökologische Situation in tropischen Agro-Ökosystemen ist komplex und die Anbauverfahren reichen von ausgedehnten Monokulturen (Reis) bis zu kleinräumigen Mischkulturen. In vielen Fällen ist über die Dynamik der Kleinnagerzönose wenig bekannt. Die traditionellen Managementstrategien sind zum Teil von Mythen geprägt und wenig effektiv.

In den letzten 10 Jahren wurde Dank umfangreicher Untersuchungen in Nassreiskulturen Südostasiens ein Managementsystem entwickelt, das ökologischen und ökonomischen Kriterien gerecht wird. Damit können die Probleme durch Feldnager im Vergleich mit dem traditionellen Herangehen in vielen Teilen Südostasiens sowohl umweltfreundlicher als auch kostengünstiger verringert werden.

In anderen tropischen Regionen wie z.B. im Südpazifik ist vergleichsweise wenig über den ökologischen Hintergrund von Problemen mit Schadnagern bekannt und es existieren fast keine Kenntnisse darüber, mit welchen Methoden sich Probleme mit Schadnagern nachhaltig effektiv minimieren lassen. Außerdem erschwert die schlecht entwickelte Infrastruktur isolierter pazifischer Inselgruppen den Zugang für Landwirte und Fachleute aus dem Bereich Pflanzenschutz zu Informationen und Ausrüstung für das Schadnagermanagement. Deshalb sind Schulungen im Bereich Schadnagerökologie und -management wichtig und Managementverfahren müssen sich im Wesentlichen auf Methoden stützen, für die einheimische Materialien zur Verfügung stehen.

An Beispielen aus den Regionen Südostasien und Südpazifik wird in diesem Beitrag dargelegt, welche Feldnager vorkommen und Schäden verursachen. Es wird gezeigt, wie der derzeitige Stand bei der Entwicklung nachhaltiger Nagermanagement-Konzepte unter Einbeziehung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Bedingungen ist. Soweit verfügbar, wird auf die Ergebnisse von Managementexperimenten eingegangen und dargestellt, wie Nagetierschäden in tropischen Entwicklungsländern vermindert und das Ökosystem entlastet werden können.

Stichwörter: Agro-Ökosystem, Pflanzenschutz, Population, Nager-Management, Regulierung, Rodentizid

1. Einleitung

Etwa 42% aller Säugetierarten gehören zu den Nagetieren. Sie sind die individuen- und biomassereichste Gruppe der Säugetiere, morphologisch und ökologisch hochdivers und sie besiedeln nahezu alle Lebensräume. Nagetiere kommen weltweit auch in Agro-Ökosystemen vor und können bei hohen Populationsdichten erhebliche Schäden hervorrufen. Dazu gehören neben z.T. dramatischen Ernteaussfällen (Caughley and Croft 1994; Mwanjabe et al. 2002; Myllymäki 1977; Singleton 2003) auch Infrastrukturschäden durch die Nage- und Grabaktivitäten der Nagetiere, die zu Schäden an Gebäuden, elektrischen Anlagen sowie Dämmen und Deichen führen können. Zusätzlich bergen viele Nagetierarten Gesundheitsrisiken für den Menschen und seine Haus- und Nutztiere, weil sie Krankheiten wie z.B. Pest, Leptosirose, Hantavirusinfektionen und Tularämie übertragen können (Gratz 1994). Die ökonomischen Auswirkungen Nagetier-übertragener Zoonosen sind nicht bekannt, haben jedoch klare negative Effekte

auf die ökonomischen Verhältnisse von der betroffenen Einzelperson bis hin zur nationalen Ebene (Bonney et al. 2008). Invasive Nagetierarten können im Naturschutz Probleme bereiten, wenn sie einheimische Pflanzen und Tiere verdrängen (Buckle and Fenn 1992).

In Entwicklungsländern besitzen die negativen Auswirkungen von Schadnagern im Pflanzen-, Natur- und Gesundheitsschutz besondere Bedeutung. Dort sind die Nager direkte Nahrungskonkurrenten des Menschen und können zu beträchtlichen Einschränkungen in der Versorgung mit Nahrungsmitteln führen. Auch das Problem der Übertragung von Krankheiten von Nagern auf den Menschen macht sich in Entwicklungsländern wegen unzureichender medizinischer Versorgung besonders bemerkbar. Weitere Folgen starker Nageschäden sind die Erweiterung der Anbaufläche – oft durch die Umwandlung einheimischer Vegetation in Kulturland – und die Schwierigkeiten beim Übergang von der Selbstversorgerwirtschaft zum kommerziellen Anbau von Kulturpflanzen.

Wenn Schäden durch Nager auftreten oder zu befürchten sind, werden die Nagetiere meist mit Rodentiziden oder Fallen bekämpft (Singleton et al. 2007). Beide Methoden sind unspezifisch und nicht-Zielarten können zu Schaden kommen. Mangelnde Spezifität von Management-Techniken ist auch problematisch, weil nicht alle Nager Schädlinge und manche Nagetierarten selten und gefährdet sind. Bis auf wenige Ausnahmen sind in Landwirtschaftsgebieten weltweit nur etwa 5-10% der vorkommenden Nagetierarten für erhebliche Ernteschäden verantwortlich (Singleton et al. 2007).

Selbst Schadarten haben wichtige Funktionen im Agro-Ökosystem. Sie sind die Hauptnahrung für viele Prädatoren wie z.B. die Schleiereule *Tyto alba* und tragen zur Bodenbelüftung, -düngung und Samenverbreitung bei (Boye 1996; Dickman 1999). Die verlassenen Baue der Nagetiere werden von anderen Tieren als Unterschlupf genutzt (Boye 1996).

Viele Faktoren spielen bei der Populationsentwicklung von Nagetieren, ihrem Effekt auf Kulturpflanzen und bei der Auswahl von Managementansätzen eine Rolle. Zu diesen Faktoren gehört die Klimazone, weil wichtige Rahmenbedingungen für das Ökosystem durch die klimatischen Bedingungen bestimmt werden. So ist das Angebot an Nahrung und Futter für Nagetiere von der Entwicklung der Vegetation abhängig und das Nahrungsangebot wiederum hat starken Einfluss auf die Reproduktion und damit auf die Populationsdynamik. Daneben wirken sich agronomische, sozio-kulturelle und politische Aspekte auf den Managementansatz aus. Für die Entwicklung, Testung und Etablierung eines optimalen Nagermanagements im Sinne des nachhaltigen Schadnagermanagements müssen diese Umstände beachtet und zusätzlich zu den Kenntnissen über die Biologie und Ökologie von Ziel- und potenziell betroffenen nicht-Zielarten berücksichtigt werden.

In tropischen Regionen sind Probleme mit Schadnagern permanent hoch. Im Gegensatz zu den gemäßigten Klimazonen kommt es nicht zu Schwankungen in Populationsdichten mit temporären Massenvermehrungen. Einzige Ausnahme sind die Massenvermehrungen bestimmter Bambusrattenarten während der Bambusblüte (Douangboupha and Aplin 2003; Nag 1999). Je nach Bambusart können zwischen diesen Ereignissen viele Jahrzehnte liegen.

Im Folgenden werden Probleme und Lösungsansätze beim Schadnagermanagement in den Tropen dargestellt. An Beispielen aus Südostasien und dem Pazifik wird gezeigt, wie nachhaltiges Nagermanagement in verschiedenen Landwirtschaftssystemen Schäden vermindern und zu Vorteilen für die Ökosystemgesundheit führen kann. Die Betrachtung dieser Beispiele bietet die Möglichkeit, die Suche nach verbesserten Methoden zur Regulation von Nagetierpopulationen voranzutreiben und Forschungsprioritäten zu identifizieren.

2. Feldnagermanagement in Südostasien

Reis ist die wichtigste Kulturpflanze in Asien, weil die asiatische Bevölkerung einen Großteil ihres Energiebedarfs durch Reis deckt. Deshalb wird auf andere Kulturen, wie z.B. Ölpalmen und Kokosnüsse, die ebenfalls von Nagetieren in Südostasien geschädigt werden, nicht eingegangen.

Die wichtigsten Feldnagerarten in Südostasien sind Vertreter der Gattung *Rattus* wie z.B. die Reisfeldratte (*R. argentiventer*) sowie der Gattung *Bandicota* einschließlich *Bandicota indica*. In Indonesien dominiert die Reisfeldratte die Kleinsäugerzönose in Reisfeld-Monokulturen (Jacob et al. 2003a) während sich in gemischten Anbausystemen auch andere Arten, wie *R. losea* finden (Brown and Tuan 2005).

In komplexeren Agro-Ökosystemen, z.B. im Hochland von Laos und in Myanmar, finden sich weitere Arten, die große Probleme im Pflanzenschutz verursachen (Singleton et al. 2007).

2.1 Nagerschäden in Südostasien

Ernteschäden an Nassreis (bewässerte Reiskulturen) Asiens betragen 30-60 Millionen t im Jahr (Singleton 2003). Dies entspricht einem monetären Verlust von 18-36 Milliarden US\$. Die Schäden sind meist chronisch, und können lokal katastrophal sein, so dass sie unter Umständen zum finanziellen Ruin der betroffenen Landwirte führen. Über die Höhe der Vorratsschäden durch Schadnager in Asien ist fast nichts bekannt, es wird aber davon ausgegangen, dass diese Schäden ähnlich hoch wie die Ernteschäden sind. Ein Indiz dafür bietet Mustaq-Ul-Hassan (1992), nach dessen Angaben jährlich 330 Millionen Tonnen Reis, Mais und Weizen in Pakistan durch Hausratten (*Rattus rattus*) gefressen bzw. verunreinigt werden.

Vorernteverluste durch Reisfeldratten betragen im indonesischen Reisanbau 17% (Geddes 1992). Nur wenig darunter liegen die Werte für China, Laos, die Philippinen und Vietnam (Singleton 2003). Für die meisten Länder Südostasiens liegen zwar keine genauen Schadensschätzungen auf nationaler Ebene vor, jedoch wird von Landwirten und staatlichen Stellen immer wieder betont, dass Nager einer der wichtigsten Landwirtschaftsschädlinge sind. Außerdem gehen die Landwirte davon aus, dass Schadnager die Schädlinge sind, über die sie am wenigsten Kontrolle haben (z.B. Schiller et al. 1999).

Neben den eigentlichen Ernteverlusten und den Vorratsschäden ist ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen. Wenn die Anzahl der Pflanzperioden von 2 auf 3 ausgeweitet wird, steigen die Nagerschäden stark an, weil die Brachezeit zwischen den Pflanzperioden zu kurz wird, um den Schadnagerbefall durch Nahrungsentzug/Räuberdruck spürbar absinken zu lassen. Deshalb wird von den Landwirten häufig auf die dritte – technisch mögliche Pflanzperiode – verzichtet. Dieser Verlust wird in der Regel bei Schadensschätzungen nicht berücksichtigt.

2.2 Nagermanagement in Südostasien

Die Überhandnahme von Nagetierpopulationen wird in Südostasien in der Regel mit Rodentiziden und Fallenfang reguliert. Die größere Schadnagerarten werden bejagt und die Baue geflutet oder mit Schwefeldämpfen begast (Abbildung 1a). Kommen Rodentizide zur Anwendung, werden sowohl von den Regulierungsbehörden anerkannte Mittel als auch illegale Wirkstoffe und selbst produzierte Köder benutzt. Die Landwirte sind über die fachgerechte Auswahl und Anwendung von Rodentiziden meist nicht informiert, weshalb die Rodentizide erhebliche Risiken für nicht-Zielarten, die Umwelt und den Menschen darstellen können.

Die Nutzung natürlicher Feinde für die Schadnagerbekämpfung ist problematisch, weil die Vielfalt und Populationsdichte der in Frage kommenden Prädatoren in Landwirtschaftsgebieten gering ist und größere Arten in der Regel intensiv bejagt werden. Im Fall der Bekämpfung schädlicher *Rattus* und *Bandicota* Arten in Thailand ist der Einsatz des Parasiten *Sarcocystis singaporensis* ähnlich effektiv wie konventionelles Management, aber mit einem besseren Kosten-Nutzen Verhältnis verbunden (Jäkel et al. 2006). Der Parasit kann gezüchtet und in Ködern ausgebracht werden und führt bei den Nagern zum Tod. Durch das Anbringen von Nistboxen kann die Schleiereulenpopulation in Reisanbaugebieten unterstützt werden, was möglicherweise positive Auswirkungen auf den Befall mit Schadnagern hat. Dieser potenzielle Effekt wurde jedoch bisher nicht schlüssig nachgewiesen. Es ist unbekannt, ob es tatsächlich zu einer Schadensvermeidung und Ertragsverbesserung kommt, wenn Schleiereulen oder andere Prädatoren gefördert werden (Wood and Chung 2003).

In Indonesien und den Philippinen spannen manche Landwirte stromführende Drähte in Reisplantagen knapp über der Wasseroberfläche. Schwimmen Ratten durch das Reisfeld, erleiden sie einen Stromschlag. Gelegentlich werden Breitbandpestizide mit Altöl vermischt in die Felder gegeben (Abbildung 1b). Wenn sich Schadnager das Fell mit dieser Mischung kontaminieren und anschließend putzen, nehmen sie das Gift auf und verenden. Diese verzweifelten Versuche das Schadnagerproblem in den Griff zu bekommen, zeigen, wie prekär die Situation für Landwirte sein kann und dürften erhebliche Risiken für nicht-Zielarten darstellen.



Abb. 1 Bekämpfung von Schadnagern im Reisanbau. (a) Begasen von Bauen mit Schwefeldämpfen und (b) Spuren der Anwendung von Pestizid-Altölgemischen zur Bekämpfung von Schadnagern an Reispflanzen.

Im Mekong Delta Südvietnams werden jährlich ca. 3.500 t Ratten durch professionelle Rattenjäger gefangen. Die Verarbeitung der Kadaver und die Vermarktung für den menschlichen Verzehr erfolgt durch Familienbetriebe (Khiem et al. 2003) Auch in Laos und anderen Ländern Südostasiens werden Nager für den menschlichen Verzehr verkauft (Abbildung 2). In Gebieten, in denen Nager für die menschliche Ernährung Verwendung finden, ist besonders darauf zu achten, dass die Tiere nur dort gefangen werden, wo keine Anwendung von Rodentiziden erfolgt.



Abb. 2 Verkauf von lebenden Nagern der Gattung *Rhizomys* für den menschlichen Verzehr auf einem Markt in Laos.

2.3 Nachhaltiges Nagermanagement in Südost-Asien

Nachhaltiges Nagermanagement stützt sich auf fundierte Kenntnisse biologisch-ökologischer und agronomischer Zusammenhänge, auf Umweltbewusstsein und auf soziokulturelle Aspekte, die die Auswahl und Kombination von Managementtechniken maßgeblich beeinflussen. Diese Techniken beinhalten zum Beispiel die Minimierung von Nahrung und Refugien, Fallen- und Barriersysteme, biologische Schädlingsregulation, Repellentien und die fachgerechte Anwendung von Rodentiziden zu bestimmten Zeiten in Schlüsselhabitaten (Jacob et al. 2003b).

Habitatmanagement wird von Landwirten in Südostasien besonders in Refugialhabitaten wie z.B. Feldrändern, den Ufern von Bewässerungskanälen und Wegböschungen genutzt, um Schädnerprobleme zu verringern. Die Anwendung erfolgt im Verbund mit anderen Maßnahmen u.a. der Begasung von Rattenbauen. Eine wichtige Methode im Reisanbau ist die strikte Größenbegrenzung der Erdwälle, die als Abgrenzung zwischen den Reisfeldern konstruiert werden. Bei einer Breite der Wälle von weniger als 30 cm können die Ratten keine Baue anlegen und werden dadurch an der Besiedlung weiter Teile der Anbaufläche gehindert (Singleton et al. 2001).

Das Entwickeln und Erproben optimaler Management-Techniken für die Regulierung von Nagerpopulationen erfordert einen hohen Forschungsaufwand. Dieser Aufwand wurde v.a. in den Reisanbaugebieten Indonesiens, Vietnams und in Laos aber auch in anderen Ländern betrieben (Singleton et al. 1999, Singleton et al. 2003). In Indonesien und in Vietnam kam ein Fangzaun zum Einsatz, der innerhalb der Anbaufläche eine Köderreisepflanzung von etwa 400 m² umschließt, die ca. zwei Wochen vor der eigentlichen Anbaukultur gepflanzt wurde (Lam 1988) (Abbildung 3). Der Köderreis ist dadurch weiterentwickelt und für die Ratten attraktiver als die Anbaukultur in der Umgebung. Am Zaun werden die Ratten mit mehrfachfängigen Lebendfallen gefangen. Dadurch können nicht-Zielarten entnommen und freigelassen werden. Die Fangzäune schützen die Reiskultur für die gesamte Vegetationsperiode. Nach der Ernte können die Landwirte die Bestandteile des Zaunsystems rückstandsfrei entfernen und in der folgenden Pflanzzeit wieder verwenden.



Abb. 3 Barriersystem aus Kunststoffolie zum Fang von Reisfeldratten in Nassreis. Innerhalb der umzäunten Fläche ist eine Köderreisepflanzung angebaut, die zeitig ausreift (gelbe Pflanzen links unten) und Ratten aus der eigentlichen Anbaufläche anzieht. Am Zaunboden sind Löcher, die zu Lebendfallen an der Innenseite des Barriersystems führen, in denen die Ratten gefangen werden (rechts).

Die Anwendung des Fangzauns in Kombination mit anderen Methoden wie Feldhygiene und dem Management von Refugialhabitaten führte in Indonesien zu einem reduzierten Befall von Reisfeldern mit Reisfeldratten. In einer mehrjährigen Untersuchung nahm der Schaden am Reis um 50% ab und die Ernte konnte um 380 kg/ha pro Anbauperiode gesteigert werden (Singleton et al. 2005). Außerdem bewirkten die nachhaltigen Maßnahmen eine deutliche Verringerung der Anwendung von Giften zur Schädnerbekämpfung (Jacob et al. 2005). Das Kosten-Nutzen Verhältnis war im Durchschnitt 1:25 (Streuung von 1 bis 2 - 63) (Singleton et al. 2005).

In einer Parallelstudie in Vietnam konnten die Auswirkungen dieses nachhaltigen Nagermanagements bezüglich der Schäden am Reis und beim Reisertrag nicht reproduziert werden. Es zeigte sich jedoch, dass nachhaltiges Nagermanagement nicht aufwändiger als konventionelles Management ist und sich durch diese Methode die Anwendung von Rodentiziden um ca. 50% vermindern lässt (Brown et al. 2006). Allerdings ist nicht klar, welche Einzelmaßnahmen besonders gut wirken. Deshalb ist es möglich, dass bestimmte Einzelmaßnahmen durchgeführt werden, aber keinen Beitrag am Bekämpfungserfolg haben.

Die Entnahme von Ratten mit den Zaunsystemen ist zumindest bei niedriger Populationsdichte selektiv. In Indonesien wurden vor allem bei geringer Populationsgröße meist junge dispergierende Individuen gefangen, die weniger reproduktive Aktivität als die residenten Tiere in der Umgebung der Fangzäune zeigten (Jacob and Wegner 2005). Dies könnte die weite Schwankung in der Effektivität mit Kosten-Nutzen Verhältnissen von 1:-2 bis 63 erklären. In Vietnam (Brown and Tuan 2005) schien es bei der gleichen Methode jedoch keine Selektivität zu geben. In jedem Fall waren klare Auswirkungen der Anwendung der Zaunsysteme auf die Qualität der Ratten in der Umgebung (Körpergewicht, Reproduktionsaktivität) zu verzeichnen (Brown et al. 2006; Brown and Tuan 2005; Jacob unveröffentlicht), was für einen deutlichen Effekt auf die residente Population spricht.

Damit steht den Landwirten für den Schutz von Nassreis vor Nagerschäden eine simple und umweltfreundliche Technik zur Verfügung. Die Anwendung nachhaltigen Nagermanagements hat in den letzten Jahren in südostasiatischen Ländern wie Myanmar, Indonesien, Vietnam und Laos Eingang in die staatlichen Richtlinien zum Nagermanagement gefunden. Kenntnisse über die wichtigsten Aspekte der o.g. Methoden wurden und werden in Schulungen und durch Broschüren in den jeweiligen Landessprachen sowohl Mitarbeitern der Pflanzenschutzdienste als auch direkt den Landwirten zugänglich gemacht. In Zukunft wird angestrebt, ähnliche Systeme für andere Anbausysteme wie Reisanbau im Streusaatverfahren und Gemüseulturen zu entwickeln.

Unabhängig von der Methode, die zum Nagermanagement angewendet wird, können Vorhersagemodelle wertvolle Hinweise über die räumliche und zeitliche Notwendigkeit von Gegenmaßnahmen geben. Solche Modelle zielen zum einen auf die Populationsentwicklung der betreffenden Nagerart ab, um beispielsweise die Überschreitung von Schadschwellen vorherzusagen. Zum anderen können auch ökonomische Parameter zur Wirtschaftlichkeit eingehen und die Kosten und Nutzen von Gegenmaßnahmen berücksichtigen. Im Idealfall würden sich Gegenmaßnahmen dann räumlich, zeitlich und wirtschaftlich auf das notwendige Maß beschränken lassen.

3. Feldnagermanagement im tropischen Pazifik – am Beispiel des Königreich Tonga

Wie auf den meisten bewohnten südpazifischen Inseln ist die Landwirtschaft auch in Tonga eine der wichtigsten Einkommensquellen (Tabelle 1). Dabei kommt kommerzieller Landwirtschaft gegenüber der Selbstversorgerwirtschaft zunehmend mehr Bedeutung zu. Die wichtigsten Anbaukulturen für die Selbstversorgerwirtschaft sind Obst und Gemüse, im besonderen Knollengemüse (Yams, Manjok, Taro, Süßkartoffeln) und Kokospalmen. Im kommerziellen Anbau werden außerdem z.B. Melonen, Ananas und Squash kultiviert.

Tab. 1 Übersicht über die Inselgruppen Tongas (MAF Tonga 2002)

Inselgruppe	Fläche (km ²)	Einwohnerzahl	Haushalte mit Landwirtschaft (%)
Tongatapu	260	66.000	54
Ha'apai	110	8.150	83
'Eua	87	5.000	90
Vava'u	160	16.000	83
Niuas	70	2.500	90

Als Schadnager ist die Polynesische Ratte (*R. exulans*) weit verbreitet. Die Wanderratte (*R. norvegicus*) und die Hausratte (*R. rattus*) kommen ebenfalls auf fast allen Inselgruppen vor (Tabelle 2). Möglicherweise existieren Vorkommen der Hausmaus (*Mus domesticus*) auf einigen Inseln (Gill 1990). Alle auf Tonga vorkommenden Nagetierarten sind als gebietsfremd einzustufen. Alle Arten wurden vom Menschen nach Tonga eingeschleppt. Die Polynesische Ratte gelangte mit der Besiedlung der isolierten pazifischen Inselgruppen durch den Menschen nach Tonga und auf alle anderen Inselgruppen Ozeaniens (Roberts 1991). Dies geschah im Fall von Tonga vermutlich vor etwa 3.000 Jahren (Roberts 1991) während die Besiedlung Neuseelands durch die Polynesische Ratte vor ca. 1.000 Jahren stattfand (Wilmhurst et al. 2008). Die anderen Nagerarten gelangten erst mit der Entdeckung der südpazifischen Inseln durch die Europäer nach Tonga.

Tab. 2 Vorkommen von Nagetierarten in Tonga

	<i>R. exulans</i>	<i>R. norvegicus</i>	<i>R. rattus</i>	<i>M. musculus</i>
Tongatapu	1	1	1	2
'Eue'iki	3			
'Eua	2	1	1	
Ha'apai	4	4	4	
Vava'u	1	1	1	
Mananita	1			
Taula	1			
Lualoli				
Hunga	1	1	1	
Niuatoputapu		1		

1 – (Twibell 1973); 2 – (Gill 1990); 3 – (Rinke et al. 1992); 4 – (Jacob 2008)

Sowohl die Polynesische Ratte (Tabelle 3), als auch *R. rattus* und *R. norvegicus* können die Kleinsäugerzönose dominieren (Twibell 1973). Die drei Arten haben unterschiedliche Habitatansprüche und Konkurrenzstärke (Harper et al. 2005; Yom-Tov et al. 1999), weshalb Anbautyp und Landschaftsfragmentierung die Dominanzverhältnisse dynamisch gestalten.

Tab. 3 Vorkommen von Schadnagerarten bei Schlagfallenfängen auf 3 tonganischen Inseln im April 2008
*Sichtbeobachtung

	<i>R. exulans</i>	<i>R. rattus</i>	<i>R. norvegicus</i>
Tongatapu	78 (94%)	1 (1%)	4 (5%)
Hunga	32 (84%)	4 (11%)	2 (5%)*
Lifuka	34 (77%)	10 (23%)	0

3.1 Nagerschäden in Tonga

Auf allen Inselgruppen verursachen Nager erhebliche Schäden in der Landwirtschaft (Pierce 1971; Whelan and Whelan 1971). Landwirte sehen Schadnager als die problematischste Schädlingsgruppe an, weil sie keine wirksamen Bekämpfungsmöglichkeiten zur Verfügung haben (Áli and Kaituú 2008; Jacob 2002). Besonders große chronische Schäden treten auf kleineren Inseln wie Hunga (Vava'u Gruppe) auf. Alle *Rattus* Arten sind auch wichtige Vorratsschädlinge in Tonga. Es gibt Angriffe von Ratten auf Haushühner und zahlreiche Berichte, dass Ratten Kleinkinder in der Nacht beißen. Eine systematische monetäre Quantifizierung von Schäden wurde bisher nicht durchgeführt.

Bisher existieren keine Informationen über die Prävalenz Nagetier-übertragener Krankheiten in Tonga. Gelegentlich treten Fälle von Leptospirose und Angiostrongylose auf ('Akau'ola 2000), was darauf hindeutet, dass Nager in Tonga Krankheiten auf Menschen und Nutztiere übertragen.

Schadnager in Tonga gefährden die Existenz einheimischer Pflanzen- (Fall et al. 2007; McConkey et al. 2004; Meehan et al. 2005; Wisner et al. 2002) und Tierarten (Houston 2002; Rinke et al. 1992).

Weil die Koprproduktion in der Vergangenheit eine wichtige Einnahmequelle war, beschäftigten sich umfangreiche Erhebungen mit dem Effekt von Schadnagern auf Kokospalmen. Besonders die Polynesische Ratte und die Hausratte schädigen die Kokosnüsse, sobald die Nüsse an den Palmen reif werden (Abbildung 4).



Abb. 4 Nageschäden an Kokosnüssen.

Schadenserhebungen in diesen Projekten kamen zu dem Schluss, dass Rattenschäden an Kokosnüssen zu bis 80% Verlust führen können (Canter-Visscher 1957; Halafihi 1985). Schäden an Süßkartoffel, Mais und Wassermelone betragen etwa 30% (Twibell 1969). Von ähnlichen Schadenswerten wird auch heute berichtet, wobei die größten Schäden an Kokosnüssen, gefolgt von Wurzelgemüsen und Fruchtbäumen auftreten (Jacob 2008) (Tabelle 4).

Tab. 4 Ergebnisse einer Umfrage bei Landwirten, Pflanzenschutzberatern und Dorfältesten zu Art und Umfang von Problemen durch Schadnager nach Jacob (2008)

Insel (-gruppe)	Ernteschaden	Vorratsschaden	sonstige Schäden	Management	Wichtigste Schäden
Ha'apai	Kokosnuss	Yams	Verkaufsläden	Schlagfallen (Stadt)	Pflanzenkrankheiten
	Süßkartoffel, Maniok, Erdnuss, Banane, Wassermelone	Ananas, Wassermelone	Handarbeit, Kinder werden gebissen	Rodentizid, Abbrennen von Unkraut	Nager problematisch
Niuatoputapu	Kokosnuss, Ananas, Süßkartoffel, Süße Yams	Süße Yams	Handarbeit, Kinder werden gebissen	Katzen, gelegentlich Fallen	Nager
Niuafu'ou	Kopra, Obst, Taro/giant Taro		Malau (<i>Megapodius pritchardii</i>) Küken, Eier, Haushühner, Nahrungsmittel	Fallen, gelegentlich Rodentizide	Nager
Vava'u	Kokosnuss, Süßkartoffel, Maniok, Erdnuss, Ananas	Süßkartoffel, Yams, Wassermelone, Ananas	Feuer in Gebäuden durch Kabelschäden	Rodentizide, Fallen, Giftköder (Fischgift)	
	Hunga	Kokosnuss, Süßkartoffel, Maniok, Paw Paw, Mango	Handarbeit, Kinder werden gebissen, Handarbeit, Infrastrukturschäden an Wohngebäuden	gelegentlich Fallen selten, Rodentizide, Katzen	Nager
'Eua	Kokosnuss, Süßkartoffel, Maniok, Erdnuss, Ananas, Taro	Squash	Handarbeit, Feuer in Gebäuden durch Kabelschäden	Rodentizide, Katzen	Nager problematisch
Tongatapu Central	Kokosnuss, Süßkartoffel, Maniok, Ananas, Kürbis, Mais, Squash		Kinder werden gebissen, Handarbeit, Feuer in Gebäuden durch Kabelschäden	Rodentizide, Fallen, Katzen	Pflanzenkrankheiten
	Tongatapu West	Kokosnuss, Süßkartoffel, Maniok, Ananas, Banane, Squash, Kürbis	Kinder werden gebissen, Handarbeit	Rodentizide, Fallen, Katzen	Pflanzenkrankheiten

3.2 Nagermanagement in Tonga

Seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden in Tonga etwa alle 10 Jahre von der Regierung Programme durchgeführt, die aus Mitteln der Entwicklungshilfe finanziert wurden (Canter-Visscher 1957; Halafihi 1985; Keyserlingk et al. 1983; Smythe and Bianchi 1966; Twibell 1969; Yamada 1973). In diesen Studien wurden meist Rodentizide angewendet, um Nagerschäden zu minimieren.

Da es in Tonga keine einheimischen terrestrischen Säuger gibt, sind potenzielle Gefahren für nicht-Zielarten nicht so ausgeprägt wie in Südostasien. Das ist auch der Grund, warum die koordinierte Anwendung von Rodentiziden bei einem Programm zur Ausrottung von Ratten auf Maninita Island mit 0,002% Brodifacoum Ködern (Houston 2002) angemessen war. Ziel der Kampagne auf Maninita Island war der Schutz der Brutvogelgelege vor Prädation durch die Pazifische Ratte. Dort, wie auch auf vielen anderen pazifischen Inseln, wurden die eingeschleppten invasiven Nager wegen ihrer negativen Auswirkungen auf endemische Tier- und Pflanzenarten mit Rodentiziden erfolgreich ausgerottet (Howald et al. 2007; Veitch and Clout 2002).

Die GTZ etablierte in den 1980er Jahren ein Projekt, in dem Coumatetralyl (0,0375%) Wachsblockköder weitgehend aus heimischen Rohstoffen durch das Landwirtschaftsministerium Tongas hergestellt wurden. Die Abgabe an Landwirte erfolgte zum Selbstkostenpreis, da importierte Präparate für fast alle Landwirte unerschwinglich sind. Nach Projektende wurde die Produktion jedoch eingestellt.

Neben der Anwendung von Rodentiziden wird versucht, in Kokosnussplantagen durch die Beweidung des Unterwuchses Refugien für Ratten zu beseitigen. So wurde schon von Pierce (1971) darauf hingewiesen, dass Nagerschäden bei beweideten Pflanzungen kleiner als bei nicht beweideten Pflanzungen sind. Durch die Umstellung von reinen Kokosnussplantagen auf ein System mit gleichzeitigem Anbau von Kokosnusspalmen und einer zweiten Kultur (Süßkartoffel, Taro) ist dieses Vorgehen jedoch oft nicht mehr möglich.

Speziell zum Schutz von Kokospalmen vor Nagerschäden eignen sich Metallmanschetten, die an den Stämmen angebracht werden und den Ratten den Zugang zu den Kokosnüssen unmöglich machen (Abbildung 5). Diese Manschetten halten mehrere Jahrzehnte und verhindern nachhaltig Nageschäden (Pierce 1971).



Abb. 5 Manschetten aus Aluminiumblech an Kokospalmen zur Abwehr von Schadnagern auf dem Gelände der königlichen Residenz Tau'akipulu auf Lifuka, Tonga.

Gelegentlich wenden Landwirte Fallen an oder setzen auf die biologische Bekämpfung mit Hauskatzen (s.a. Tabelle 4). Für beide Methoden ist unbekannt, ob sich Populationseffekte und Auswirkungen auf die Schadensvermeidung ergeben.

3.3 Nachhaltiges Nagermanagement in Tonga

In Tonga, wie in den meisten südpazifischen Inselnationen, ist nur wenig über die Biologie und Ökologie der dort vorkommenden Nagetiere bekannt. Die Wissensbasis muss gestärkt werden, um die richtigen Entscheidungen bei der Entwicklung eines nachhaltigen Managementkonzeptes zu treffen.

Die Bewirtschaftung für die Selbstversorgung erfolgt kleinräumig und die Kulturflächen liegen häufig in einer Matrix aus dichtem Wald, der den *Rattus*-Arten als Refugium dient. Wohl deshalb treten *Rattus*-Arten gleichermaßen in Brachen und anderen bodendeckenden Kulturen wie Süßkartoffeln auf, während in Maniok-Pflanzungen mit geringem Unterwuchs weit weniger Ratten vorkommen (Abbildung 6). Rattenschäden sind oft auf wenige Palmen konzentriert, die am Rande der Pflanzungen oder in der Nähe von Obstbäumen wachsen. Diese Umstände sprechen für verbesserte Bedingungen für die Ratten bei hoher Vegetation. Eine Regulierung der Vegetationshöhe ist aber wegen des Anbausystems (gleichzeitiger Anbau von Kokosnusspalmen und Zweitkultur) und der erwähnten Kleinräumigkeit kaum möglich. Deshalb muss auf diesen wichtigen Baustein des nachhaltigen Managements, wie er in Südostasien angewendet wird, in Tonga verzichtet werden.

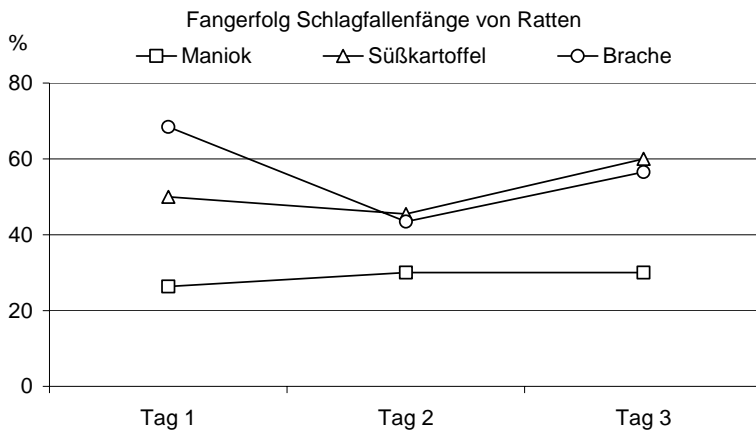


Abb. 6 Fangerfolg (% belegte Schlagfallen) für Fänge von *Rattus*-Arten auf Landwirtschaftsflächen Tongatapu (nach Jacob 2008).

Ein wichtiges, weil umweltfreundliches und effektives Element, ist der Schutz von Kokosnusspalmen durch Manschetten um die Palmenstämme. Hier ist staatliches Engagement gefragt, um die Landwirte bei der Anfangsinvestition für Metall und Nägel zu unterstützen oder Möglichkeiten zu finden, die Manschetten aus leicht verfügbaren Materialien (leere Getränkedosen) herzustellen. Das gleiche gilt für die koordinierte Anwendung von geeigneten Rodentizidködern in Köderboxen, die nicht-Zielarten weitgehend ausschließen müssen. Sowohl Rodentizidköder als auch Köderboxen sollten so weit möglich aus preiswerten Komponenten bestehen, die im Land verfügbar sind. Dazu gehören z.B. Maismehl und getrocknete Kokosnuss als Köderbasis und Kokosnüsse sowie die Blattbasen der Palmwedel als Köderboxen. Abgesehen davon, dass diese Bestandteile nicht importiert werden müssen, sind die Ratten mit solchen Materialien vertraut und die Gefahr der Köderscheu gering.

Momentan werden in Tonga mit Unterstützung der FAO sowohl Pflanzenschutzexperten als auch Landwirte geschult und Freilandversuche zur Erprobung der o.g. Managementoptionen durchgeführt. Ähnliche Bestrebungen gibt es in weiteren Inselnationen der Region (Kiribati, Tokelau). Die Ergebnisse dieser Studien werden eine wichtige Grundlage zur Entwicklung nationaler Management-Strategien bei der Eindämmung von Schädnerproblemen in der Landwirtschaft südpazifischer Inseln sein.

4. Fazit

In den letzten Jahren sind beim nachhaltigen Management von Schadnagern in Entwicklungsländern Südostasiens enorme Fortschritte erzielt worden. Dank intensiver Forschungsarbeit und großzügiger Finanzierung v.a. durch Einrichtungen der Entwicklungshilfe konnte ein wirksames Management System für Schadnager in Nassreis entwickelt und getestet werden. Die positiven Auswirkungen dieses Systems (Barriersysteme, Habitatmanagement, gezielte Rodentizidanwendung) auf die Reisproduktion und die Umwelt führten dazu, dass die Verfahren in Ländern wie Indonesien, Vietnam und Laos breite Verwendung finden. In Zukunft sollte der Managementansatz für weitere Kulturen und Anbausysteme angepasst und die Anwendung der Methoden durch frühzeitige Prognosen des Managementbedarfs räumlich-zeitlich optimiert werden.

Bei der Entwicklung nachhaltiger Managementverfahren für Schadnager im Südpazifik besteht in vielen Inselgruppen Forschungsbedarf, um die lokalspezifische Befallsdynamik verschiedener Nagetierarten in unterschiedlichen Kulturen und die daraus resultierenden Schadbilder besser zu verstehen. Die erheblichen Vorernteschäden sowie die Schäden in Lagern und an der Infrastruktur rechtfertigen auf vielen südpazifischen Inseln Engagement beim Schadnagermanagement. Neben dem o.g. Forschungsbedarf ist es notwendig, simple Verfahren zu entwickeln, die mit vor Ort verfügbaren Materialien umzusetzen sind. Dabei müssen Wege gefunden werden, lokale Interessensgruppen und Vertreter der Pflanzenschutzdienste zu schulen und zu motivieren, auch nach der externen Förderung von Maßnahmen Programme zum Nagermanagement selbständig weiterzuführen. Grundlage dafür kann beispielsweise die Fertigung von Schlagfallen, Blechmanschetten und Köderboxen durch lokale Kleinbetriebe sein.

Unregulierte Feldnagerpopulationen wirken nachteilig auf die Ernährungssituation und auf die Human- und Tiergesundheit in Entwicklungsländern. Außerdem können umweltschädliche Bekämpfungsmethoden unerwünschte Umweltwirkung entfalten. Der steigende Bedarf an Biomasse für die Produktion von Nahrungsmitteln und Biokraftstoffen führte in letzter Zeit zu enormen Preissteigerungen von landwirtschaftlichen Produkten. Deshalb wird auch in Entwicklungsländern dem Schutz von Kulturpflanzen vor Schäden durch Nagetiere in Zukunft erhöhte Bedeutung zukommen.

Danksagung

Ich danke den vielen Kollegen und Helfern in Indonesien und im Königreich Tonga, die sich an den Freilandarbeiten beteiligten. Die Studien in Indonesien wurden vom Australian Centre for International Agricultural Research und die Erhebungen im Königreich Tonga von der Food and Agricultural Organisation der UNO finanziert. Mein besonderer Dank gilt dem Landwirtschaftsministerium des Königreichs Tonga, das mir die Veröffentlichung der Daten aus den Erhebungen im Jahr 2008 gestattete. A. Esther und S. Walde gaben wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskripts.

Literatur

- 'Akau'ola, S. (2000). Human leptospirosis in Tonga - case reports. unpublished report.
- Áli, K., Kaituú, S. (2008). Results of the participatory rural appraisal workshops in the islands of Nuapapu and Hunga, Vavaú. SPC/DSAP report, MAFFF, Tonga.
- Bonnefoy, X., Kampen, H., Sweeney, K. (2008). Public health significance of urban pests. WHO, Copenhagen 1-569.
- Boye, P. (1996). Die Rolle von Säugetieren in mitteleuropäischen Ökosystemen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 46, 11-18.
- Brown, P.R., Nguyen, P.T., Singleton, G.R., Phi Thi, T.H., Phung, T.H., Dao, T.H., Tran, Q.T., Nguyen, V.T., Jacob, J., Muller, W.J. (2006). Ecologically based rodent management in the real world: applied to a mixed agroecosystem in Vietnam. *Ecological Applications* 16, 2000-2010.
- Brown, P.R., Tuan, N.P. (2005). Compensation of rodent pests after removal: control of two rat species in an irrigated farming system in the Red River Delta, Vietnam. *Acta Oecologica* 28, 267-279.
- Buckle, A.P., Fenn, M.G.P. (1992). Rodent control in the conservation of endangered species. In: Borrecco, J. E., Marsh, R. E., 15. Davis, California, University of California.
- Canter-Visscher, T.W. (1957). A survey on rat damage to coconuts and its effect on yields. Report, Department of Agriculture Tonga.
- Caughley, J., Croft, J.D. (1994). A survey of the MIA mouse plague. *IREC Farmers Newsletter* 144, 28-33.

- Dickman, C.R. (1999). Rodent-ecosystem relationships: a review. In: Singleton, G. R., Hinds, L. A., Leirs, H., Zhang, Z.: Ecologically-based Rodent Management. 113-133.
- Douangboupha, B., Aplin, K. (2003). Rodent outbreaks in the uplands of Laos: analysis of historical patterns and the identity of nuu khii. In: Singleton, L. A. H., Hinds, L. A., Krebs, C. J., Spratt, D. M.: Rats, mice and people rodent biology and management. 103-111.
- Fall, P.L., Drezner, T.D., Franklin, J. (2007). Dispersal ecology of the lowland rain forest in the Vava'u island group, Kingdom of Tonga. *New Zealand Journal of Botany* 45, 393-417.
- Geddes, A.M.W. (1992). The relative importance of pre-harvest crop pests in Indonesia. *Natural Resources Institute Bulletin* 47, 1-70.
- Gill, B. J. (1990). Records of wildlife from Tonga, especially Vava'u. *Records of the Auckland Institute and Museum* 27, 165-173.
- Gratz, N.G. (1994). Rodents as carriers of disease. In *Rodent pests and their control*. A. P. Buckle and R. H. Smith (Eds.), 85-108.
- Halafihi, M. (1985). Report on rat damage survey at the Vava'u group. report, Tongan Department of Agriculture 1-12.
- Harper, G.A., Dickinson, K.J.M., Seddon, P.J. (2005). Habitat use by three rat species (*Rattus* spp.) on Stewart Island/Rakiura, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 29, 251-260.
- Houston, D.M. (2002). Eradicating rats from Maninita Island, Vava'u, Kingdom of Tonga. Report to New Zealand Agency for International Development, Tonga Visitors Bureau, Ministry of Land, Survey and Natural Resources, Department of Environment, Kingdom of Tonga, 1-13.
- Howald, G., Donlan, C.J., Galvan, J.P., Russell, J.C., Parkes, J., Samaniego, A., Wang, Y.W., Veitch, D., Genovesi, P., Pascal, M., Saunders, A., Tershy, B. (2007). Invasive rodent eradication on islands. *Conservation Biology* 21, 1258-1268.
- Jacob, J. (2002). Assessment of rodent damage to food crops in the Kingdom of Tonga. Technical report to FAO, 1-22.
- Jacob, J. (2008). Consultancy report - Ecologically-based management of rodents in agro-ecosystems. Report to the Kingdom of Tonga, 1-40.
- Jacob, J., Brown, P.R., Singleton, G.R. (2005). Effectiveness of ecologically based rodent management in southeast Asian rice fields. *Proceedings of the 5th European Vertebrate Pest Management Conference*, 5.-8. September 2005, Budapest, 68.
- Jacob, J., Nolte, D., Hartono, R., Subagja, J., Sudarmaji (2003a). Pre- and post-harvest movements of female ricefield rats in West Javanese ricefields. In: Singleton, L. A. H., Hinds, L. A., Krebs, C. J., Spratt, D. M.: Rats, mice and people rodent biology and management. *ACIAR Monograph Number 96*. 277-280.
- Jacob, J., Sudarmaji, Singleton, G.R. (2003b). Ecologically-based management of ricefield rats on a village scale in West Java experimental approach and assessment of habitat use. In: Singleton, L. A. H., Hinds, L. A., Krebs, C. J., Spratt, D. M.: Rats, mice and people rodent biology and management. *ACIAR Monograph Number 96*. 191-196.
- Jacob, J., Wegner, R. (2005). Does continuous removal of individuals separate high and low quality ricefield rats? *Journal of Wildlife Management* 69, 821-826.
- Jäkel, T., Khoprasert, Y., Promkerd, P., Hongnark, S. (2006). An experimental field study to assess the effectiveness of bait containing the parasitic protozoan *Sarcocystis singaporensis* for protecting rice crops against rodent damage. *Crop Protection* 25, 773-780.
- Keyserlingk, N., Hildebrandt, A. von, Scholz, E. (1983). Assessment of rat damage to coconuts in Tonga and the viability of control. *Pacific Science Congress Proceedings* 15, 246-247.
- Khiem, N.T., Le Q.C., Ho, V.C. (2003). Market study of meat from field rats in the Mekong Delta. In: Singleton, L.A.H., Hinds, L.A., Krebs, C.J., Spratt, D. M.: Rats, mice and people rodent biology and management. *ACIAR Monograph Number 96*, 543-547.
- Lam, Y. M. (1988). Rice as a trap crop for the rice field rat in Malaysia. In: Crabb, A.C., Marsh, R.E.: *Proceedings of the 13th Vertebrate Pest Management Conference*. 123-128.
- McConkey, K.R., Drake, D.R., Franklin, J., Tonga, F. (2004). Effects of Cyclone Waka on flying foxes (*Pteropus tonganus*) in the Vava'u Islands of Tonga. *Journal of Tropical Ecology* 20, 555-561.
- Meehan, H.J., McConkey, K.R., Drake, D.R. (2005). Early fate of *Myristica hypargyrea* seeds dispersed by *Ducula pacifica* in Tonga, Western Polynesia. *Austral Ecology* 30, 374-382.

- Mustaq-Ul-Hassan, M. (1992). Population dynamics, food habits, and economic importance of house rat (*Rattus rattus*) in villages and farm houses of central Punjab (Pakistan). Thesis, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. 1-174.
- Mwanjabe, P.S., Sirima, F.B., Lusingu, J. (2002). Crop losses due to outbreaks of *Mastomys natalensis* (Smith, 1834) Muridae, Rodentia, in the Lindi Region of Tanzania. *International Biodeterioration and Biodegradation* 49, 133-137.
- Myllymäki, A. (1977). Outbreaks and damage by the field vole, *Microtus agrestis* (L.), since the World War II in Europe. *EPPO Bulletin* 7, 177-207.
- Nag, S. (1999). Bamboo, rats and famines: famine relief and perceptions of British paternalism in the Mizo hills (India). *Environment and History* 5, 245-252.
- Pierce, H. (1971). A preliminary report on rat damage to coconuts on Tongatapu. report, MAFF Tonga, 1-33.
- Rinke, D.R., Onnebrink, H., Curio, E. (1992). Miscellaneous bird notes from the Kingdom of Tonga. *Notornis* 39, 201-315.
- Roberts, M. (1991). Origin, dispersal routes, and geographic distribution of *Rattus exulans*, with special reference to New Zealand. *Pacific Science* 45, 123-130.
- Schiller, J.M., Boupha, B.D., Bounnaphol, O. (1999). Rodents in Agriculture in the Lao PDR - a Problem with an Unknown Future. In: Singleton, G.R., Hinds, L.A., Leirs, H., Zhang, Z.: *Ecologically-based Rodent Management*. 372-387.
- Singleton, G., Hinds, L., Leirs, H., Zhang, Z. (1999). *Ecologically-based Rodent Management*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Singleton, G.R. (2003). Impacts of rodents in rice production in Asia. *IRRI Discussion Paper Series* 45, 1-30.
- Singleton, G.R., Brown, P.R., Jacob, J., Aplin, K., Sudarmaji (2007). Unwanted and unintended effects of culling – a case for ecologically-based rodent management. *Integrative Zoology* 2, 247-259.
- Singleton, G.R., Hinds, L.A., Krebs, C.J., Spratt, D.M. (2003). *Rats, mice and people: rodent biology and management*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Singleton, G.R., Sudarmaji, Jacob, J., Krebs, C.J. (2005). An analysis of the effectiveness of integrated management of rodents in reducing damage to lowland rice crops in Indonesia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 107, 75-82.
- Singleton, G.R., Sudarmaji, Nguyen, V.T., Boupha, B.D. (2001). Non-chemical control of rodents in lowland irrigated rice crops. *ACIAR Research Notes* 26 9/01, 1-8.
- Smythe, F.A., Bianchi, W.R. (1966). Report on crop damage on Tongatapu. Institute for Technical Interchange.
- Twibell, J. (1969). Rat damage reports at various locations. Report, Tonga Department of Agriculture.
- Twibell, J. (1973). The ecology of rodents in the Tonga Islands. *Pacific Science* 27, 92-98.
- Veitch, C.R., Clout, M.N. (2002). Turning the tide: the eradication of invasive species. In: Proceedings of the international conference on eradication of island invasives. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No.27.
- Whelan, P., Whelan, C. (1971). Rodent control research, Vava'u. report, Tongan Department of Agriculture 1-164.
- Wilmhurst, J.M., Anderson, A.J., Higham, T.F.G., Worthy, T.H. (2008). Dating the late prehistoric dispersal of Polynesians to New Zealand using the commensal Pacific rat. *PNAS* 105, 7676-7680.
- Wiser, S.K., Drake, D.R., Burrows, L.E., Sykes, W.R. (2002). The potential for long-term persistence of forest fragments on Tongatapu, a large island in western Polynesia. *Journal of Biogeography* 29, 767-787.
- Wood, B.J., Chung, G.F. (2003). A critical review of the development of rat control in Malaysian agriculture since 1960s. *Crop Protection* 22, 445-461.
- Yamada, R. (1973). Rodent control final report 1972-1973. report, Tongan Department of Agriculture 1-42.
- Yom-Tov, Y., Yom-Tov, S., Moller, H. (1999). Competition, coexistence, and adaptation amongst rodent invaders to Pacific and New Zealand islands. *Journal of Biogeography* 26, 947-958.

Genetik der Antikoagulantien-Resistenz bei Menschen und Nagetieren

Müller, C.R.

Institut für Humangenetik der Universität Würzburg, Biozentrum, Am Hubland, 97074 Würzburg

Zusammenfassung

Mit der Klonierung des VKORC1-Gens konnte die lange gesuchte Vitamin K-Epoxid-Reduktase identifiziert werden. Dieses Schlüsselenzym des Vitamin K-Zyklus sorgt für die Rückgewinnung von reduziertem Vitamin K, das für die γ -Carboxylierung der Gerinnungsfaktoren II, VII, IX und X (und einiger anderer Proteine) benötigt wird. Damit konnte auch das Zielprotein der Substanzgruppe der Cumarine charakterisiert werden, die als Antikoagulantien zur Behandlung und Vorbeugung von Thrombosen weltweit seit Jahrzehnten im Einsatz sind. Dieselbe Substanzklasse wird auch zur Kontrolle von kommensalen Nagetierpopulationen verwendet.

Mutationen in VKORC1 führen beim Menschen entweder zu einer Blutungsneigung als Folge einer mangelhaften Carboxylierung der Vitamin K-abhängigen Faktoren (VKCFD2) oder zur Resistenz gegenüber Cumarinen (Warfarin-Resistenz). Beide Erkrankungen sind jedoch ausgesprochen selten. Bei Warfarin-resistenten Ratten und Mäusen hingegen konnte in zahlreichen Regionen weltweit ein breites Spektrum von VKORC1-Mutationen beobachtet werden.

Rekombinant exprimiertes VKORC1 kann Vitamin K-Epoxid reduzieren und ist sensitiv gegenüber Warfarin. Die funktionelle Analyse der beobachteten Mutationen ist aber dadurch erschwert, dass die VKOR-Enzymreaktion in einem lipophilen Milieu abläuft und deshalb *in vitro* nur eingeschränkt untersucht werden kann. Der Mechanismus der Warfarin-Resistenz ist daher noch nicht vollständig verstanden.

1. Der Vitamin K-Zyklus

In den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts untersuchte der dänische Biochemiker Hendrik Dam im Rahmen seiner Arbeiten über den Stoffwechsel des Cholesterins an Hühnern die Wirkung von fettfreiem Futter. Als Folge dieser Mangelernährung beobachtete er bei den Tieren starke subcutane und innere Blutungen und Knochendeformationen. Er schloss daraus, dass es einen fettlöslichen „anti-hämorrhagischen Faktor“ geben müsse, den er schließlich isolieren konnte und Vitamin K nannte (K für Koagulation). Vitamin K ist ein Derivat des 2-Methyl-1,4-Naphtochinons (Menadion). Natürliche und synthetische Vitamin K-Derivate unterscheiden sich in ihren lipophilen Seitenketten. Im Jahre 1943 erhielt Dam zusammen mit Edward A. Doisy, der die Struktur des Moleküls aufgeklärt und durch Synthese bestätigt hatte, für diese Entdeckung den Nobelpreis für Medizin und Physiologie.

Der Tagesbedarf an Vitamin K liegt für Erwachsene bei 60-80 μg und wird bei einer üblichen Mischkost gedeckt, v.a. durch grünes Gemüse. Auch Darmbakterien können Vitamin K synthetisieren.

Die einzige bekannte Stoffwechselfunktion, an der Vitamin K beteiligt ist, ist die γ -Carboxylierung von Proteinen. Bei dieser post-translationalen Modifikation werden interne Glutamat-Seitenketten zu Carboxy-Glutamaten (abgekürzt Gla) oxidiert. Reduziertes Vitamin K (VKH_2) liefert dazu als Kofaktor die benötigten Reduktionsäquivalente. VKH_2 wird dabei zum 2,3-Epoxid (VKO) oxidiert. Wegen der geringen Bioverfügbarkeit des VKH_2 wird das Epoxid in einer unmittelbar anschließenden Reaktion reduziert und so VKH_2 wieder zurück gewonnen. Diesen Kreislauf nennt man den Vitamin K-Zyklus (Abb. 1). Die Reaktionen laufen an der Membran des Endoplasmatischen Retikulums ab. Bereits 1991 konnte das Gen für die γ -Glutamyl-Carboxylase (GGCX; OMIM *137167) kloniert werden (Wu et al. 1991). Andere Komponenten des Zyklus konnten jedoch weder biochemisch noch molekular-genetisch charakterisiert werden.

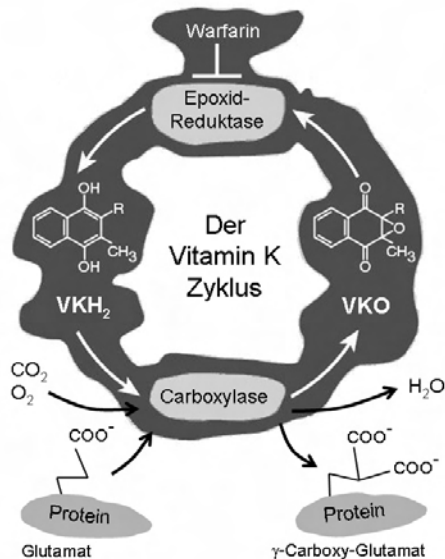


Abb. 1 Der Vitamin K-Zyklus: Die post-translationale γ -Carboxylierung von internen Glutamaten in Vitamin K-abhängigen Proteinen geht einher mit dem stöchiometrischen Verbrauch von Vitamin K-Hydrochinon (VKH₂), das dabei zu Vitamin K-2,3-Epoxid (VKO) oxidiert wird. Wegen der geringen chemischen Stabilität und Bioverfügbarkeit des Hydrochinons wird das Epoxid in zwei Reduktionsschritten zum Hydrochinon reduziert. Das ausführende Enzym wurde Vitamin K-Epoxid-Reduktase genannt und ist identisch mit VKORC1. Dieses Protein wird durch Warfarin und seine Derivate gehemmt. (Abbildung verändert nach Sadler, 2004 Nature 427: 493-4.)

2. Vitamin K-abhängige Proteine

Beim Menschen und anderen Säugetieren sind ein knappes Dutzend Proteine bekannt, die post-translationally carboxyliert werden müssen. Am besten untersucht sind die Gerinnungsfaktoren II, VII, IX und X sowie die antikoagulatorischen Proteine C, S und Z. Weitere Mitglieder sind die Regulatoren des Knochenstoffwechsels Osteocalcin und Matrix-Gla-Protein. Alle Vitamin K-abhängigen Proteine sind charakterisiert durch eine sog. Gla-Domäne, d.i. eine Gruppe von 6-12 benachbarten Glutamat-Resten, die sequentiell carboxyliert werden können. Ferner besitzen sie eine Propeptid-Bindungsdomäne, an die die Carboxylase andockt.

Die Gerinnungsfaktoren entfalten ihre volle Aktivität erst nach Bindung an Phospholipidmembranen, die durch Ca^{2+} vermittelt wird. Die Carboxy-Glutamate wirken dabei als starke Ca^{2+} -Chelatoren und verstärken die Bindung, so dass die Aktivität um mehrere Zehnerpotenzen gesteigert werden kann. Unvollständige Carboxylierung, z.B. durch Vitamin K-Mangel, führt zu einer verzögerten Blutgerinnung oder gar zu spontanen Blutungsereignissen.

3. Vitamin K-Antagonisten und Antikoagulation

Ebenfalls seit den 1930iger Jahren ist bekannt, dass Derivate des sekundären Pflanzeninhaltsstoffs Cumarin, dem u.a. frisches Heu und Waldmeister ihren Duft verdanken, die Blutgerinnung hemmen können. Entdeckt wurde dies durch spontane Blutungen bei Weiderindern, die verschimmelten Klee gefressen hatten. Die systematische Analyse des Phänomens führte zu der Erkenntnis, dass Bis-Hydroxy-Cumarine und andere Derivate potente Antagonisten des Vitamins K sind. Ihr physiologischer Angriffspunkt ist die Reduktion des VKO im Vitamin K-Zyklus (Abb. 1). Seit den fünfziger Jahren macht man sich in der Humanmedizin die Hemmung des Vitamin K-Zyklus therapeutisch zu Nutzen: Cumarin-Derivate (z.B. WarfarinTM oder Marcumar®) werden weltweit zur Behandlung und Prophylaxe von thrombo-embolischen Ereignissen eingesetzt.

Diese „Blutverflüssiger“ sollen unzeitige Gerinnsel auflösen bzw. verhindern, die in großen Gefäßen zu Schlaganfällen oder Herzinfarkt führen können, und damit zu den führenden Todesursachen in westlichen Zivilisationen zählen. Derzeit sind Cumarin-Derivate die einzigen Antikoagulantien, die oral und langfristig verabreicht werden können. Ihre Dosierung ist v.a. in der Anfangsphase schwierig, weil die natürliche Versorgung mit Vitamin K erheblich schwanken kann und außerdem genetische Faktoren die Effizienz der Antikoagulation steuern (s.u.). So kommt es trotz der im Allgemeinen guten Wirkung auch immer wieder zu schweren Komplikationen und Todesfällen durch spontane Blutungen.

In den 1950iger Jahren hat man begonnen, Cumarine auch als Rodentizide einzusetzen. Bei phobischen Spezies wie Ratten und Mäusen wirken Akutgifte i.A. nur sehr kurzfristig, weil die Köder nicht mehr angenommen werden, sobald die ersten Tiere am Köderplatz verendet sind. Da die Wirkung der Cumarine aber erst mit tagelanger Verzögerung eintritt, können die Tiere den Zusammenhang mit dem Köder nicht herstellen. In entsprechend hoher Dosierung waren Curmarine (z.B. Warfarin) sehr effizient zur Kontrolle von Ratten- oder Mäuseplagen. Schon Ende der fünfziger Jahre wurde aber von resistenten Rattenpopulationen in England berichtet. Nachfolgend traten resistente Nager-Populationen weltweit auch in vielen anderen Ländern auf. Die Entwicklung potenterer Cumarin-Derivate der zweiten Generation (z.B. Bromadiolon, Coumatetralyl, Difenacoum) brachte kurzzeitige Entlastung, jedoch entwickelte sich auch gegen diese Wirkstoffe sehr bald Resistenz.

4. Erbliche Störungen des Vitamin K-Zyklus

Beim Menschen sind drei genetische Störungen des Vitamin K-Zyklus bekannt. Der kombinierte Mangel aller Vitamin K-abhängigen Gerinnungsfaktoren führt zu spontanen Blutungen, die sehr schwerwiegend sein können, wenn sie intracranial und/oder *in utero* auftreten. Daneben können Defekte des Knorpelwachstums bzw. der Ossifizierung des Knorpels auftreten. Die Mehrzahl der Patienten ist durch regelmäßige Gabe von Vitamin K effektiv therapierbar. Es handelt sich um eine autosomal-rezessive Erkrankung. Ein Teil der Fälle hat seine genetische Ursache in Mutationen der γ -Glutamyl-Carboxylase (VKCFD1, OMIM #277450). In anderen Familien konnte jedoch die GGX als genetische Ursache ausgeschlossen werden, so dass der Defekt in der Epoxid-Reduktase vermutet wurde (VKCFD2, OMIM #607473). Beide Formen sind extrem selten.

Ebenfalls selten sind Fälle von genetisch bedingter kompletter Warfarin-Resistenz beim Menschen (OMIM #122700). Die wenigen publizierten Familien legen einen autosomal-dominanten Erbgang nahe. (Deutlich häufiger ist eine Überempfindlichkeit gegenüber Warfarin, die in allelischen Varianten des CYP2C9-Gens (OMIM *601130) begründet ist. Das P450-Enzym CYP2C9 katalysiert die ersten Schritte beim Abbau von Warfarin. Die Allele CYP2C9*2 (p.Arg144Cys) und *3 (p.Ile359Leu) besitzen nur 12 bzw. 5 % der Wildtyp-Aktivität. Dem entsprechend ist die biologische Halbwertszeit von Warfarin in Trägern dieser Allele länger als bei Personen mit dem Wildtyp-Allel CYP2C9*1 und eine effektive Antikoagulation kann mit einer geringeren Dosis erzielt werden.)

Auch die Warfarin-Resistenz bei Mäusen und Ratten ist genetisch bedingt. Greaves und Ayres (1967, 1969) konnten zunächst durch Kreuzungsexperimente einen monogenen, dominanten Erbgang bei *R. norvegicus* belegen. Kohn und Pelz (1999) kartierten dann das Resistenz-Gen *Rw* auf Chromosom 1 der Ratte in einer Koppelungsgruppe, die ortholog zu einem Abschnitt auf Chromosom 7 der Maus ist, der den korrespondierenden *War*-Locus enthält (Wallace and MacSwiney, 1976).

5. Identifizierung der Vitamin K-Epoxid-Reduktase (VKORC1)

Ausgangspunkt für die Identifizierung der VKOR war eine konsanguine Familie libanesischer Herkunft, bei der 5 der 8 Kinder an einem angeborenen Mangel aller Vitamin K-abhängigen Gerinnungsfaktoren litten. Mutationen im GGX-Gen konnten ausgeschlossen werden, so dass diese Familie die Möglichkeit bot, den Genort für die zweite Form des kombinierten Gerinnungsfaktor-Mangels (VKCFD2) zu kartieren. Durch eine genom-weite Koppelungsanalyse konnte ein perizentrisches Intervall auf Chromosom 16 identifiziert werden, welches das verantwortliche Gen enthalten musste (Fregin et al. 2002). Bei der Identifizierung des gesuchten Gens half folgende Überlegung: sowohl VKCFD2 als auch Warfarin-Resistenz haben ihre Ursache in einer Störung des Vitamin K-Zyklus. Es wäre also denkbar, dass beide Phänotypen auf Mutationen ein und desselben Gens zurück zu führen sind. Unter dieser Hypothese konnte die Information aus der Kartierung der Resistenz-Gene bei den Nagetieren zur Eingrenzung des Kandidatenintervalls verwendet werden:

Die *Rw/War*-Koppelungsgruppe befindet sich im menschlichen Genom auf dem kurzen Arm des Chromosoms 16, alle Gene des langen Arms von 16 konnten daher außer Betracht bleiben. Unter den 129 Genen des fraglichen Abschnitts auf Chromosom 16p konnte schließlich ein Gen – zunächst unbekannter Funktion – gefunden werden, das Mutationen sowohl bei den VKCFD2-Patienten als auch bei Patienten mit Warfarin-Resistenz aufwies. Dieses Gen wurde *VKORC1* genannt für Vitamin K-Oxido-Reduktase component 1 (Rost et al. 2004; Li et al. 2004).

6. Mutationen des *VKORC1*-Gens.

Das *VKORC1*-Gen umfasst 5,1 kb mit drei codierenden Exons. Bei der Sequenzierung von Patienten mit VKCFD2 konnte bisher erst eine einzige homozygote Mutation (p.Arg98Trp) in drei unabhängigen Familien identifiziert werden (Rost et al. 2004, Marchetti et al. 2008). Das bestätigt den rezessiven Erbgang der VKCFD2.

Hingegen konnten in Warfarin-resistenten Patienten und Nagetieren zahlreiche verschiedene Mutationen entdeckt werden, die unterschiedliche Aminosäuren des Proteins betreffen (Abb. 2, Pelz et al. 2005). Offenbar vermittelt schon eine heterozygote Mutation die Resistenz, jedoch kommen in resistenten Populationen auch häufig homozygote Tiere vor.

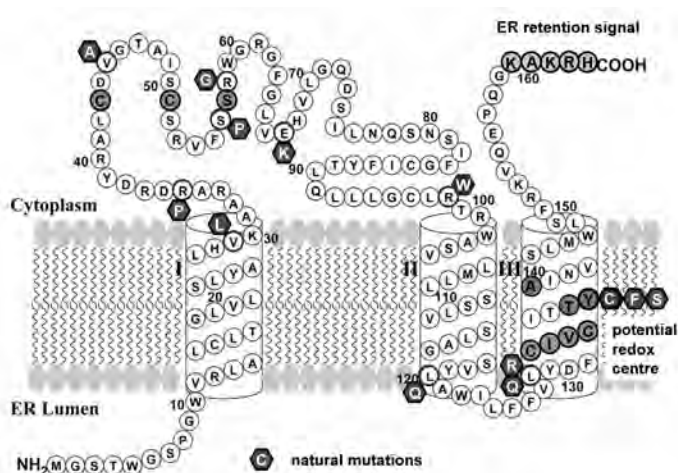


Abb. 2 Topologie-Modell des *VKORC1*-Proteins: Aufgrund der Aminosäuresequenz können drei Transmembrandomänen (I, II und III) vorhergesagt werden. Eingezeichnet sind die beiden bekannten funktionellen Motive für das ER-Retentionssignal (die letzten 5 Aminosäuren: KAKRH) und das Redoxmotiv (CIVC). Die bisher beobachteten Mutationen sind in Sechsecken neben die Position der regulären Aminosäure gezeichnet.

7. Charakterisierung des *VKORC1*-Proteins.

Das kleine *VKORC1*-Protein mit nur 163 Aminosäuren ist extrem hydrophob mit einer vorhergesagten Topologie von 3 (oder 4) Transmembrandomänen (Abb. 2). Am C-Terminus konnte ein Lokalisierungssignal für das Endoplasmatische Retikulum (ER) identifiziert werden. Das ER ist das Zellkompartiment, in dem biochemisch die *VKOR*-Aktivität lokalisiert worden ist. Daneben weist das Protein ein kurzes CXXC-Motiv auf, das aus anderen Oxido-Reduktasen bekannt ist. Darüber hinaus lassen sich keine Homologien zu anderen bekannten Proteinen erkennen. Es handelt sich also offenbar um ein neuartiges Protein. Im Vergleich mit den Genomsequenzen anderer Tier- und Pflanzenarten sowie Eu- und Archaeobakterien zeigte sich, dass nahezu alle untersuchten Spezies ein homologes Gen aufweisen (Goodstadt and Ponting 2004). Es handelt sich bei *VKORC1* also offenbar um ein evolutionär sehr altes Gen/Protein. Die weite Verbreitung macht es sehr unwahrscheinlich, dass die γ -Carboxylierung der einzige Stoffwechselschritt ist, an dem *VKORC1*-ähnliche Proteine beteiligt sind. Vermutlich ist die ursprüngliche Funktion eine andere, grundlegende Redoxreaktion.

8. Rekombinante Expression des VKORC1-Proteins

VKORC1-cDNA-Konstrukte lassen sich in verschiedenen eukaryotischen Zelltypen, die nur geringe endogene Aktivität besitzen, erfolgreich exprimieren. Das rekombinante Protein ist alleine in der Lage, Vitamin K-Epoxid (VKO) zu reduzieren (Rost et al. 2004, Li et al. 2004) und kann beide Reduktionsschritte ausführen, die notwendig sind, um VKO zu VKH₂ zu reduzieren (Chu et al. 2006). Da der natürliche Elektronendonator noch nicht bekannt ist, müssen dazu chemische Reduktionsmittel wie DTT verwendet werden. Die Reaktion ist auch *in vitro* sensitiv gegenüber Warfarin, demnach muss VKORC1 das Zielprotein der Coumarin-Antikoagulantien sein. Allerdings sind die zur Hemmung des rekombinanten Proteins erforderlichen Warfarinkonzentrationen weitaus höher als diejenigen, die an isolierten Leber-Mikrosomen von Ratten gemessen wurden (Lasseur et al. 2007).

Führt man durch gezielte Mutagenese in das cDNA-Konstrukt die Mutationen ein, die bei resistenten Patienten oder Tieren beobachtet worden sind, so zeigt sich bei der Expression meist eine reduzierte Enzymaktivität (Abb. 3). Volle Aktivität und Resistenz gegenüber Warfarin zeigen in diesem Testsystem nur die Mutationen an der Position Tyr139, die vermutlich direkt an der Bindung von Warfarin beteiligt ist (vgl. Y139F in Abb. 3). Bei den meisten anderen Mutationen ist die Aktivität so niedrig, dass sie bei höheren Warfarin-Konzentrationen nicht mehr gemessen werden kann (vgl. R58G und L128R in Abb. 3). Dies, zusammen mit den „unphysiologisch“ hohen Warfarinkonzentrationen, lässt den Schluss zu, dass dieser Enzymtest mit ungereinigtem Protein die Situation im lebenden Tier nicht richtig widerspiegelt. Die VKOR-Reaktion läuft *in vivo* in der Membran des ER ab, da alle beteiligten Komponenten (VKORC1, Vitamin K, Warfarin) stark lipophil sind. Es erfordert den Einsatz von Detergentien, um im wässrigen Milieu arbeiten zu können. Es ist gut vorstellbar, dass dadurch die Konfiguration und/oder die Zugänglichkeit der einzelnen Reaktionspartner beeinträchtigt werden. Biologisch wäre es nämlich schwer verständlich, wie Ratten, die homozygot für eine dieser Mutationen sind, mit einer so geringen VKORC1-Aktivität eine effektive Gerinnung bewerkstelligen könnten. Spontane Blutungen müssten die Folge sein und es ist nicht erkennbar, wie das einen Selektionsvorteil bei Exposition gegenüber Warfarin bringen sollte.

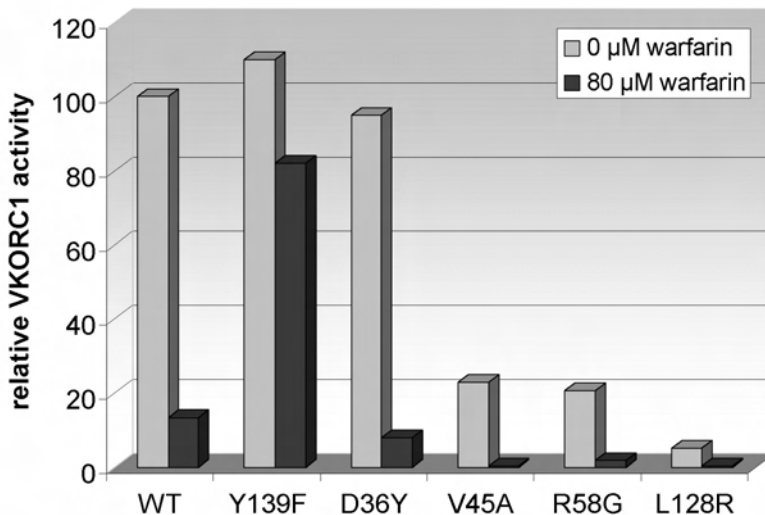


Abb. 3 Enzymatische Aktivität einiger VKORC1-Mutationen und ihre Resistenz gegenüber Warfarin: Mutante cDNA des VKORC1-Gens wurde in HEK293-Zellen rekombinant exprimiert und die Reduktion des Vitamin K-Epoxids zum Vitamin K-Chinon gemessen. Die grauen Balken geben die Aktivität ohne Warfarin wieder, die schwarzen Balken die Restaktivität in Gegenwart von 80 µM Warfarin (vgl. Pelz et al. 2005).

Literatur

- Chu, P.H., Huang, T.Y., Williams, J., Stafford, D.W. (2006): Purified vitamin K epoxide reductase alone is sufficient for conversion of vitamin K epoxide to vitamin K and vitamin K to vitamin KH₂. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 103: 19308-13.
- Fregin, A., Rost, S., Wolz, W., Krebsova, A., Müller, C.R., Oldenburg, J. (2002): Homozygosity mapping of a second gene locus for hereditary combined deficiency of vitamin K-dependent clotting factors to the centromeric region of chromosome 16. *Blood*. 100: 3229-3232.
- Goodstadt, L., Ponting, C.P. (2004): Vitamin K epoxide reductase: homology, active site and catalytic mechanism. *Trends Biochem Sci*. 29: 289-92.
- Greaves, J.H., Ayres, P. (1967): Heritable resistance to warfarin in rats. *Nature* 215: 877-878.
- Greaves, J.H., Ayres, P. (1969): Linkages between genes for coat colour and resistance to warfarin in *Rattus norvegicus*. *Nature* 224: 284-285.
- Kohn, M.H., Pelz, H.J. (1999): Genomic assignment of the warfarin resistance locus, *Rw*, in the rat. *Mamm. Genome* 10: 696-698.
- Lasseur, R., Grandemange, A., Longin-Sauvageon, C., Berny, P., Benoit, E. (2007): Comparison of the inhibition effect of different anticoagulants on vitamin K epoxide reductase activity from warfarin-susceptible and resistant rat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 88: 203-208
- Li, T., Chang, C.Y., Jin, D.Y., Lin, P.J., Khvorova, A., Stafford, D.W. (2004): Identification of the gene for vitamin K epoxide reductase. *Nature* 427: 541-4.
- Marchetti, G., Caruso, P., Lunghi, B., Pinotti, M., Lapecorella, M., Napolitano, M., Canella, A., Mariani, G., Bernardi, F. (2008): Vitamin K-induced modification of coagulation phenotype in *VKORC1* homozygous deficiency. *J Thromb Haemost* 6: 797-803.
- Pelz, H.J., Rost, S., Hünerberg, M., Fregin, A., Heiberg, A.C., Baert, K., MacNicol, A.D., Prescott, C.V., Walker, A.S., Oldenburg, J., Müller, C.R. (2005): The genetic basis of resistance to anticoagulants in rodents. *Genetics*. 170: 1839-47.
- Rost, S., Fregin, A., Ivaskевичius, V., Conzelmann, E., Hörtnagel, K., Pelz, H.J., Lappégard, K., Seifried, E., Scharrer, I., Tuddenham, E.G., Müller, C.R., Strom, T.M., Oldenburg, J. (2004): Mutations in *VKORC1* cause warfarin resistance and multiple coagulation factor deficiency type 2. *Nature* 427: 537-41.
- Wallace, M.E., MacSwiney, F.J. (1976): A major gene control ling warfarin-resistance in the house mouse. *J. Hyg.* 76: 173-181.
- Wu, S.-M., Cheung, W.-F., Frazier, D., Stafford, D.W. (1991): Cloning and expression of the cDNA for human gamma-glutamyl carboxylase. *Science* 254: 1634-1636.

Antikoagulantien-Resistenz bei kommensalen Nagern

Pelz, H.-J.¹; Freise, J.²

¹Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung, Toppheideweg 88, 48161 Münster

²Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Fachbereich Schädlingsbekämpfung, Task-Force Veterinärwesen, Dezernat 32, Postfach 3949, 26029 Oldenburg

Zusammenfassung

Punktmutationen im Gen VKORC1 vermitteln Resistenz gegenüber Antikoagulantien und bilden damit die Voraussetzung für die Entwicklung rodentizidresistenter Wanderratten- und Hausmauspulationen. In verschiedenen geographischen Regionen sind an unterschiedlichen Positionen des Gens jeweils gebietsspezifische Mutationen mehrfach unabhängig entstanden. Während Hausmäuse auch mit Akutgift (Zinkphosphid) oder bei kleineren Vorkommen mit Fallen bekämpft werden können, sind Antikoagulantien derzeit die einzigen verfügbaren Mittel zur wirksamen Bekämpfung von Wanderratten. Die Mutation vermittelt Resistenz gegenüber Warfarin, wobei die Erfahrung zeigt, dass bei anhaltendem Selektionsdruck innerhalb kurzer Zeit nach dem ersten Auftreten von Warfarin-Resistenz auch Resistenzprobleme gegenüber anderen Wirkstoffen (Chlorphacinon, Coumatetralyl, Bromadiolon und teilweise Difenacoum) auftreten. Somit sind fünf der acht in Deutschland zugelassenen Wirkstoffe der Antikoagulantien betroffen. Neu entwickelte molekulargenetische Resistenztests können nicht nur mit Gewebe, sondern auch mit Kotproben der Nager durchgeführt werden und erlauben eine vollständig nicht-invasive Probenahme. Sie bieten eine relativ einfache und zeitsparende Methodik für das Resistenzmonitoring bei Wanderratten und Hausmäusen. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen und Privatpersonen wurde unter Anwendung dieser Methodik in den Jahren 2005 bis 2008 ein Wanderratten-Resistenzmonitoring mit Schwerpunkt Nordwestdeutschland durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das nordwestdeutsche Resistenzgebiet mittlerweile auf rund 25.000 km² ausgedehnt hat und damit etwa 7 % der Fläche Deutschlands einnimmt. Sobald sich die Resistenzmutation etabliert hat, lassen sich Wanderrattenpopulationen mit den betroffenen Wirkstoffen nicht mehr in der gewohnt effizienten Weise bekämpfen. Es muss dann auf die hochpotenten Wirkstoffe Brodifacoum, Flocoumafen und Difethialon zurückgegriffen werden, bei deren Anwendung, gute Köderannahme vorausgesetzt, keine Bekämpfungsprobleme zu erwarten sind. Besonders in den Randbereichen des Resistenzgebietes müssen die betroffenen Anwender rechtzeitig informiert werden, um eine erfolgreiche Schädnerbekämpfung zu gewährleisten und die Ausbringung unwirksamer Rodentizide zu vermeiden. Außerhalb des Resistenzgebietes sollten die geringer toxischen und weniger persistenten Wirkstoffe der Antikoagulantien bevorzugt zur Anwendung kommen.

1. Einleitung

Die Bekämpfung kommensaler Nager wie Ratten (*Rattus spec.*) und Hausmäuse (*Mus musculus*) basiert derzeit fast ausschließlich auf der Anwendung nur einer Wirkstoffgruppe, der Blutgerinnungshemmer oder Antikoagulantien. Dies gilt sowohl für den Bereich des Vorratsschutzes im Pflanzenschutz als auch für den Biozidbereich. Während sich Hausmäuse auch mit Akutgiften bekämpfen lassen, erfordert die erfolgreiche Bekämpfung von Wanderrattenpopulationen (*Rattus norvegicus*) Wirkstoffe, die keine Köderscheu erzeugen. Antikoagulantien wirken mit einer Verzögerung von mehreren Tagen, manche Wirkstoffe müssen auch mehrfach aufgenommen werden, bevor sie wirksam werden. Dadurch sind sie zur Bekämpfung von Wanderratten besonders geeignet. Zudem sind Wanderratten gegenüber Antikoagulantien besonders empfindlich. Ein weiterer Vorteil dieser Wirkstoffgruppe ist die Verfügbarkeit eines Antidots (Vitamin K) zur Therapie von Vergiftungsfällen. Unter Tierschutzgesichtspunkten muss die relativ lange Zeitspanne bis zum Eintritt des Todes bei den Zieltieren allerdings negativ bewertet werden. Diese Einschätzung würde aber erst dann für die Zulassungspraxis bedeutsam, wenn Alternativen verfügbar wären. Da kommensale Nager nicht nur durch Fraß an Vorräten und Materialien, sondern auch durch die Übertragung von Krankheitserregern auf den Menschen sowie auf Haus- und Nutztiere schädlich werden (Meerburg et al. 2004), sind Antikoagulantien als Wirkstoffe in Bekämpfungsmitteln zurzeit unverzichtbar.

Bei den Wirkstoffen der Antikoagulantien unterscheidet man zwischen einer „ersten Generation“ von älteren, bereits in den 1950er Jahren eingeführten Wirkstoffen (Warfarin, Chlorphacinon, Coumatetralyl) und den aufgrund zunehmenden Resistenzauftritts entwickelten Wirkstoffen der „zweiten Generation“ (Tab. 1). Die beiden in den 1970er Jahren entwickelten Wirkstoffe Bromadiolon und Difenacoum waren bereits nach relativ kurzer Zeit ebenfalls von Resistenz betroffen, so dass in den 1980er und frühen 1990er Jahren drei weitere Wirkstoffe (Brodifacoum, Flocoumafen, Difethialon) entwickelt und in die Bekämpfungspraxis eingeführt wurden (Pelz 1990, Greaves 1994). Die bessere Wirksamkeit geht allerdings mit einer deutlich erhöhten Warmblütertoxizität (Tab. 1) und Bioakkumulation in der Nahrungskette einher, was dazu führt, dass die drei letztgenannten höchstpotenten Wirkstoffe heute als für die Umwelt besonders gefährliche Chemikalien (PBT=persistent, bioakkumulierend, toxisch) eingestuft werden.

Tab. 1 Übersicht über Wirkstoffe der Antikoagulantien und ihre Toxizität für Wanderratten (verschiedene Quellen, siehe Pelz 1990)

Wirkstoff	LD ₅₀ mg/kg akut oral	LD ₅₀ mg/kg x Tage (mehrfach akut oral)
<u>1. Generation</u>		
Warfarin	10-20	1,00-2,00 x 4-5
Chlorphacinon	20,5	
Coumatetralyl	15-30	0,30 x 5
<u>2. Generation</u>		
Bromadiolon	1,3	0,06-0,14 x 5
Difenacoum	1,8-3,5	0,16 x 5
Brodifacoum	0,2-0,37	0,04-0,14 x 5
Flocoumafen	0,2-0,56	
Difethialon	0,4-0,62	

2. Resistenzsituation bei Wanderratten

2.1 Resistenzsituation in Europa und weltweit

Antikoagulantien sind Vitamin K-Antagonisten. Mit der Identifikation des für das Enzym Vitamin K-Epoxid-Reduktase (VKOR) kodierenden Gens VKORC1 (Rost et al. 2004) wurde auch das Basisgen der Antikoagulantienresistenz gefunden. Sie wird durch Punktmutationen vermittelt, die an unterschiedlichen Positionen in diesem Gen auftreten können. Damit wurde es möglich, resistente Individuen durch Sequenzierung des Gens VKORC1 aus Gewebeproben zu identifizieren. Da mit dem Kot von Ratten und Mäusen meist auch einige Darmzellen abgegeben werden, können auch Kotproben für die Analyse auf VKORC1-Mutationen verwendet werden. Dadurch wurde die Resistenzbestimmung, die bis dahin die Untersuchung an lebenden Tieren mit Hilfe von Fütterungs- oder Blutgerinnungstests erforderte, wesentlich vereinfacht.

Untersuchungen an Gewebeproben von Zuchtstämmen und Wildfängen aus den verschiedenen bekannten Resistenzgebieten in Europa und den USA zeigten, dass jeweils spezifische Punktmutationen charakteristisch für die einzelnen Resistenzgebiete sind (Tab. 2). Die Mutationen müssen demnach mehrfach unabhängig voneinander entstanden sein. In bestimmten Gebieten von Dänemark, Deutschland, den Niederlanden und in Ungarn ist dies eine Mutation die zur Substitution von Tyrosin durch Cystein an Position 139 des Zielproteins führt (Tyr139Cys), während in weiten Teilen Belgiens und Frankreichs Resistenz bei Wanderratten durch die Mutation Tyr139Phe vermittelt wird. Diese Mutation wurde auch in Proben aus Korea gefunden. Das Resistenzaufreten in Schottland, das 1958 als erstes Resistenzaufreten gegenüber Antikoagulantien bei Wirbeltieren festgestellt wurde, wird durch die Mutation Leu128Gln vermittelt. Im Resistenzgebiet von Wales („Welsh-type resistance“) ist es die Mutation Tyr139Ser, in Berkshire und Hampshire die Mutation Leu120Gln.

In dem seinerzeit in den USA festgestellten Resistenzgebiet um Chicago wird die Resistenz durch die Mutation Arg35Pro vermittelt. Bei genaueren landesweiten Untersuchungen ist absehbar, dass die Entdeckung weiterer Mutationen ein differenzierteres Bild ergeben wird. So haben neuere Analysen ergeben, dass die Mutation Tyr139Cys auch in verschiedenen Teilen Englands (in Yorkshire, Lincolnshire, Norfolk und Gloucestershire) verbreitet ist. Vereinzelt wurde in Belgien und Frankreich auch die Mutation Leu120Gln gefunden sowie in Frankreich Leu128Gln und Arg35Pro. In Proben aus der englischen Grafschaft Nottinghamshire wurde Arg33Pro als resistenzvermittelnde Mutation festgestellt. Neben den genannten Mutationen, deren resistenzvermittelnde Auswirkungen aus Labor- und zum Teil Feldversuchen bekannt sind, ist eine Reihe weiterer Mutationen in VKORC1 gefunden worden, die in ihren Auswirkungen bisher unbekannt sind (Rost et al. 2009). Nicht untersucht ist bisher auch, wie sich unterschiedliche resistenzvermittelnde Mutationen auswirken, wenn sie in einem Individuum nebeneinander auftreten. In England wurde bereits eine Wanderratte gefunden, die zwei Mutationen, Tyr139Cys und Leu128Gln in VKORC1 aufwies.

Tab. 2 Übersicht über das Auftreten der im Gen VKORC1 gefundenen nachweislich resistenzvermittelnden Mutationen bei Wanderratten (nach Pelz et al. 2005, Lasseur and Pelz 2006, Baert et al. 2007, Rost et al. 2009)

Geografische Gebiete	Codon-Position	Wildtyp	Mutante
Nottinghamshire (UK)	33	Arginin	Prolin
Eure-et-Loire (Frankreich), Illinois (USA)	35	Arginin	Prolin
Berkshire / Hampshire (UK), Deux-Sèvres (Frankreich), Flandern (Belgien)	120	Leucin	Glutamin
Schottland / Lancashire / Yorkshire (UK), Haute Vienne / Rhône (Frankreich)	128	Leucin	Glutamin
Dänemark, Nordwestdeutschland, Niederlande, Maglód / Békés (Ungarn), Gloucestershire / Lincolnshire / Norfolk / Yorkshire (UK)	139	Tyrosin	Cystein
Frankreich, Flandern (Belgien), Korea	139	Tyrosin	Phenylalanin
Shropshire (UK, „Welsh type“)	139	Tyrosin	Serin

2.2 Resistenzsituation in Deutschland

Im Nordwesten Deutschlands ist in den 1990er Jahren ein Resistenzgebiet bekannt geworden, das damals auf ca. 8000 km² geschätzt wurde (Pelz et al. 1995a), dessen Ausdehnung nach Osten aber zunächst nicht ausreichend abgesichert werden konnte (Pelz 2001). Wegen des großen Untersuchungsaufwandes (Lebendfang und Laboruntersuchung der Ratten) war der Radius der Probenahme auf ca. 60 km um den Institutsstandort (Münster/Westfalen) beschränkt. In Kooperation mit Partnerinstitutionen waren nur in Einzelfällen Untersuchungen von Ratten aus weiterer Entfernung möglich. Mit der Entdeckung des Basisgens der Resistenz und den damit verbundenen neuen Analysemöglichkeiten konnte die Probenahme erheblich ausgeweitet werden. In Kooperation mit dem Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES), dem Deutschen Schädlingsbekämpferverband (DSV) sowie mit Unterstützung einzelner Schädlingsbekämpfer und Privatpersonen wurden in den Jahren 2005 bis 2008 Gewebe- und Kotproben aus ganz Deutschland auf die resistenzvermittelnde Mutation Y139C untersucht. Die Proben stammten aus 80 Kommunen (Niedersachsen: 40, Nordrhein-Westfalen: 27, andere Bundesländern: 10). Insgesamt wurden rund 500 Kotbällchen und 38 Gewebeproben untersucht. 64 % der Kotproben und 95 % der Gewebeproben waren auswertbar. Als besonders effizient erwiesen sich zusätzliche eigene Probenahmen bei denen jeweils an einem Tag bis zu sechs landwirtschaftliche Betriebe aufgesucht wurden, die auf einem Transekt im Abstand von 10 bis 20 km zueinander lagen. Geeignete landwirtschaftliche Betriebe mit Rattenbefall konnten bereits im Vorfeld durch Unterstützung der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen bzw. Niedersachsen ausfindig gemacht werden. Auf diese Weise wurde die resistenzvermittelnde Mutation im Jahre 2006 auf einer Strecke von 70 km zwischen dem Kreis Warendorf und der niedersächsischen Landesgrenze nachgewiesen. Die Probenahme auf einer Strecke von 100 km südlich der Stadt Hamburg bis 40 km

nördlich von Peine im Jahre 2008 erbrachte dagegen keinen Resistenznachweis. Insgesamt lassen die Ergebnisse (Abb. 1) darauf schließen, dass Resistenz bei Wanderratten in einem zusammenhängenden Verbreitungsgebiet in Nordwestdeutschland auftritt, das im Westen bis in die Niederlande hinein reicht. Im Osten markieren Nachweise in Hannover (52° 22' N, 9° 44' O) und Peine (52° 19' N, 10° 14' O) den Randbereich des Resistenzgebietes, im Norden Molbergen (52° 52' N, 7° 56' O) und Schweringen (52° 44' N, 9° 11' O) und im Süden Herne (51° 33' N, 7° 13' O) und Einbeck (51° 49' N, 9° 52' O). Proben aus Dortmund, Gelsenkirchen, Bochum, Essen und Gladbeck waren bisher negativ. Auch alle anderen (insgesamt 38) Proben von Orten außerhalb des beschriebenen Gebietes waren negativ, mit Ausnahme zweier Proben aus Wesseling, südlich von Köln. Dabei scheint es sich um ein isoliertes Resistenzvorkommen zu handeln, das noch weiterer Untersuchung bedarf. Dass das Resistenzgebiet in den Niederlanden seine Fortsetzung findet, konnte schon bisher aus den Untersuchungsbefunden im Grenzgebiet auf deutscher Seite geschlossen werden. Im September 2008 gelang es uns erstmals, Gewebeprobe von Wanderratten aus den Niederlanden zu erhalten. Dabei wurde die Mutation Tyr139Cys erwartungsgemäß im grenznahen Gebiet auf niederländischer Seite in Proben aus den Orten Deurningen, Oldenzaal und Losser nachgewiesen und auch in einer von zwei Proben von einer Mülldeponie in Amersfoort. Der schnelle Resistenznachweis in wenigen untersuchten Proben lässt darauf schließen, dass die Resistenz in den Niederlanden bereits weit verbreitet ist. Im Süden der Niederlande muss zudem mit dem Auftreten der Mutation Tyr139Phe gerechnet werden, die in Belgien verbreitet ist. Mit besonderer Aufmerksamkeit sollte beobachtet werden, wie sich gegebenenfalls das Zusammentreffen der beiden Mutationen Tyr139Phe und Tyr139Cys in der Bekämpfungspraxis auswirkt. Da die Mutation Tyr139Phe in Frankreich auch im Raum Straßburg gefunden wurde, muss auch auf deutschem Gebiet in Baden-Württemberg mit dem Auftreten dieser resistenzvermittelnden Mutation gerechnet werden. Unsere Stichproben aus der Umgebung der Orte Kehl und Rheinau wiesen jedoch keine Mutationen an Position 139 auf.

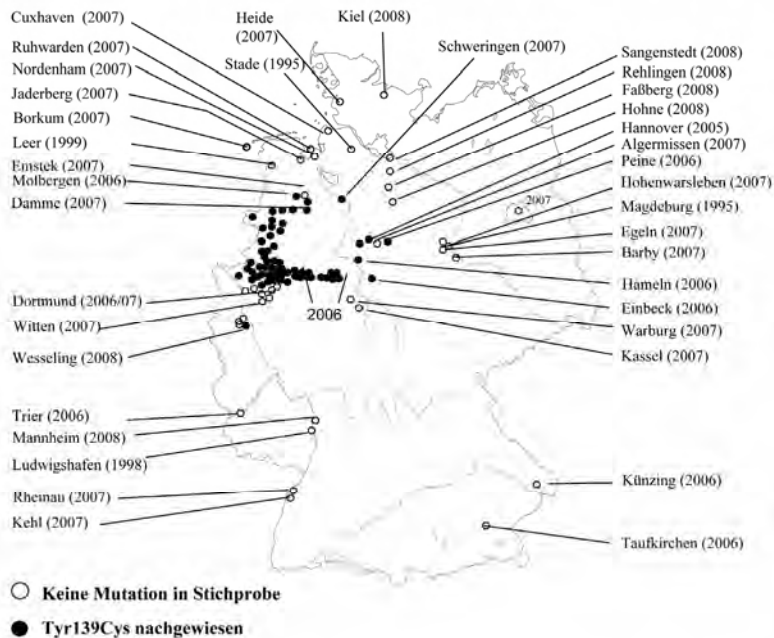


Abb. 1 Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen in Deutschland 2005 bis 2008

3. Resistenz bei Hausmäusen

Auch bei Hausmäusen wird Antikoagulantienresistenz durch eine Punktmutation im Gen VKORC1 vermittelt (Rost et al. 2004). Die Verbreitung der Resistenz und ihre Auswirkungen auf die Bekämpfungspraxis sind jedoch noch kaum untersucht. Bekannt hinsichtlich ihrer resistenzvermittelnden Auswirkungen sind die Mutationen Tyr139Cys und Leu128Ser, von denen resistente Zuchtstämme in Großbritannien an der Universität Reading bzw. am Central Science Laboratory in York gehalten werden bzw. wurden. Diese beiden Mutationen fanden sich 2007/2008 ebenfalls in Gewebeproben von Hausmäusen aus dem Raum Köln/Bonn und aus dem Kreis Kleve. In einer Gewebeprobe von den Azoren wurde die Mutation Tyr139Cys ebenfalls nachgewiesen. In Proben aus Berlin sowie aus den Kreisen Verden, Warendorf, Kleve und Dortmund fanden sich insgesamt 8 andere, bisher nicht näher untersuchte Mutationen im Gen VKORC1 (Rost et al. 2008). Aus dem Verlauf der Bekämpfung einer Dortmunder Hausmauspopulation mit Bromadiolon ergaben sich Anhaltspunkte für das Vorliegen von Resistenz gegenüber diesem Wirkstoff (Kruczewski 2007). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die untersuchten Populationen im Kreis Warendorf und 60 km entfernt in Dortmund vier identische Mutationen in VKORC1 aufwiesen. Aus der Literatur ist bekannt, dass Hausmäuse, die generell weniger empfindlich gegenüber Antikoagulantien sind als Wanderratten, auch Resistenz gegen den hochpotenten Wirkstoff Brodifacoum entwickeln können (Myllymäki 1995). Eine genauere Untersuchung der Resistenzsituation bei Hausmäusen in Deutschland erscheint daher dringend geboten.

4. Praktische Auswirkungen der Antikoagulantienresistenz

Nach Greaves (1994) ist Rodentizidresistenz eine dominante Erbeigenschaft, die Nager dazu befähigt, die Aufnahme einer Dosis eines Rodentizids zu überleben, die für normal-empfindliche Artgenossen letal ist, wodurch die Effizienz praxisüblicher Nagetierbekämpfungsmaßnahmen erheblich beeinträchtigt wird. Im Laborversuch können resistente Tiere ein Mehrfaches der für normal empfindliche Individuen letalen Wirkstoffmenge überleben. Bei einem Fütterungsversuch mit resistenten Wanderratten aus dem Münsterland und dem südlichen Emsland überlebten mehr als 95 % der Versuchstiere einen sechstägigen Fütterungsversuch mit einem praxisüblichen Warfarin- oder Chlorphacinonköder. Mit den Wirkstoffen Bromadiolon und Coumatetralyl betrug die Überlebensrate 60 % bzw. 49 %. Drei von 11 Wanderratten überlebten einen dreitägigen Fütterungsversuch mit Difenacoum (Tab. 3, Pelz et al. 1995b). Normal empfindliche Wanderratten nehmen dagegen innerhalb von 2 bis 4 Tagen eine tödliche Dosis auf.

Tab. 3 Fütterungsversuche (no choice) mit Antikoagulantien an resistenten Wanderratten (Mutation Tyr139Cys) aus dem Münsterland und dem südlichen Emsland (Pelz et al. 1995)

Wirkstoff (Konz.)	Versuchstiere (n)	Versuchsdauer (Tage)	Überlebensrate (%)	Mittlere aufgenommene Wirkstoffmenge (mg/kg) der überlebenden Wanderratten
Warfarin (0,0378 %)	87	6	96,6	184,6
Coumatetralyl (0,0375 %)	41	6	48,8	172,7
Chlorphacinon (0,005 %)	17	6	94,1	25,9
Bromadiolon (0,005 %)	40	6	60,0	21,7
Difenacoum (0,005 %)	11	3	27,3	7,6
Flocoumafen (0,005 %)	9	1	0	-

Im Feldversuch (Abb. 2) wird Resistenz dadurch erkennbar, dass bei guter Köderannahme der Köderverzehr im Bekämpfungsverlauf nach einigen Tagen auf einem bestimmten Niveau stagniert. Im Vergleich zwischen Vor- und Nachköderung (mit unbegifteten Haferflocken) zeigt sich dann, dass die Population zwar reduziert werden konnte, der Bekämpfungserfolg aber nicht ausreichend war (im Beispiel der Abb. 2 wurde nach dreiwöchiger Bekämpfungsphase lediglich eine Befallsreduktion um 54 % erreicht). Neben einer guten Köderannahme muss im Feldversuch sichergestellt sein, dass der beschriebene Effekt nicht durch Neuzuwanderung von außerhalb des Bekämpfungsbereiches vorgetäuscht wird.

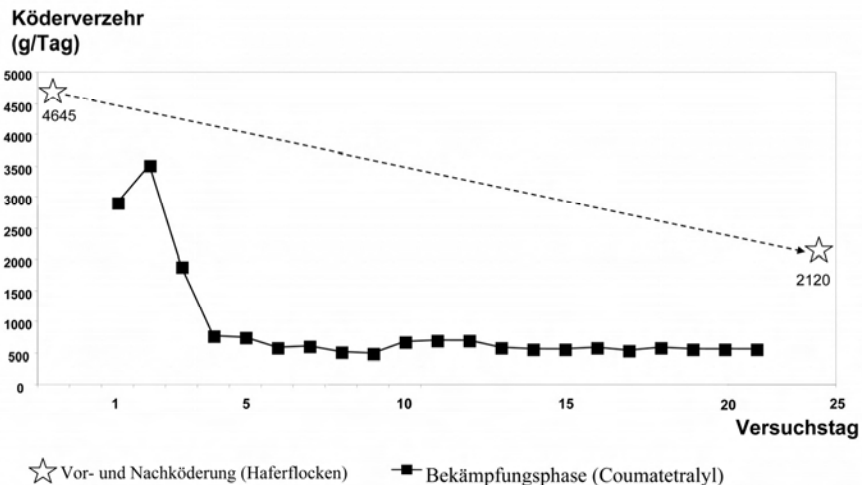


Abb. 2 Auswirkung von Resistenz auf das Ergebnis der Wanderrattenbekämpfung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. Ab dem vierten Tag stagniert der Köderverzehr bei 500 Gramm pro Nacht. 46% der Ausgangspopulation überleben die dreiwöchige Bekämpfungsphase

5. Resistenzmanagement

In Deutschland sind resistente Wanderrattenpopulationen nach derzeitiger Schätzung über ein Gebiet von rund 25.000 km² verbreitet. Dies entspricht 7 % der Fläche Deutschlands. Innerhalb dieses Gebietes ist es wichtig, dass die Anwender von Rattenbekämpfungsmitteln (professionelle Schädlingsbekämpfer, Landwirte) aber auch die Mitarbeiter der Gesundheits- und Ordnungsämter in den Kommunen, Veterinäre und Privatanwender möglichst umfassend über die Resistenzsituation informiert und bei der sachgerechten Auswahl geeigneter Wirkstoffe unterstützt werden. Da es erfahrungsgemäß vor allem an den Rändern des Bekämpfungsgebietes im Zuge der natürlichen Ausbreitung der resistenten Population zu massiven Bekämpfungsproblemen kommt, sollte die Resistenzausbreitung durch ein Resistenzmonitoring in diesen Bereichen überwacht werden, um die betroffenen Anwender rechtzeitig auf die neue Situation vorbereiten zu können. Dadurch kann der Ausbringung unwirksamer Bekämpfungsmittel vorgebeugt und die unkontrollierte Vermehrung der Nager verhindert werden.

Durch die Mutation Tyr139Cys wird zunächst Resistenz gegenüber den Wirkstoffen Warfarin und Chlorphacinon vermittelt. Die Erfahrung im nordwestdeutschen Resistenzgebiet zeigt jedoch, dass bei anhaltendem Bekämpfungsdruck innerhalb von relativ kurzer Zeit auch die Wirkstoffe Bromadiolon und Coumatetralyl sowie teilweise Difenacoum von Resistenz betroffen sein können, letzterer Wirkstoff vor allem dann, wenn die Köder gleichzeitig schlecht angenommen werden. Die Anwender im Bereich des Resistenzgebietes müssen also darauf vorbereitet sein, dass für eine wirksame Wanderrattenbekämpfung die Anwendung der hochpotenten Wirkstoffe Brodifacoum, Flocoumafen oder Difethialon notwendig sein kann.

Außerhalb des Resistenzgebietes ist es jedoch aus ökotoxikologischen Gründen wünschenswert, dass dort zur Rattenbekämpfung die weniger giftigen Wirkstoffe der Antikoagulantien bevorzugt angewendet werden. Studien in Großbritannien haben z. B. gezeigt, dass sich der Wirkstoff Brodifacoum bereits in mehr als 30 % der dort tot aufgefundenen Schleiereulen nachweisen lässt (Newton et al. 1997). Das bedeutet zwar nicht, dass die Tiere durch diesen Wirkstoff zu Tode gekommen sind, ist jedoch ein Indiz für den Grad der Umweltbelastung mit diesen persistenten Stoffen. Bei der Anwendung der weniger potenten Antikoagulantien muss zur Vorbeugung der Resistenzentstehung besonders auf sachgerechtes Vorgehen bei der Bekämpfung geachtet werden, das heißt Einrichtung einer ausreichenden Zahl von Köderstellen, Auslegen attraktiver Köder, die gut angenommen werden und Nachlegen von frischem Ködermaterial so lange, bis kein Köder mehr aufgenommen wird.

Danksagung

Zahlreiche Personen haben uns durch die Einsendung von Probenmaterial einen Überblick über das Resistenzvorkommen in Deutschland und den angrenzenden Gebieten verschafft. Stellvertretend genannt seien hier Richard Kruczewski (Fa. BioTec-Klute), Jürgen Althoff (Rentokill Initial GmbH), Sigrüd Bänsch (Bänsch Schädlingsbekämpfung GmbH), Kai Göhmann (Schädlingsbekämpfung), Dr. Michael Todt (Hentschke-Sawatzki GmbH) und Jeroen Kortschot (VARA Television NL). Die zeitsparende eigene Probenahme war nur möglich durch die freundliche Vermittlung geeigneter Betriebe durch die Mitarbeiter der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen. Bei allen Beteiligten bedanken wir uns herzlich. Besonderer Dank gilt Dagmar Funck für die Assistenz bei der Probenahme und die sorgfältige Durchführung der Laboranalysen sowie Simone Rost (Institut für Humangenetik der Universität Würzburg) für die Sequenzierung der Hausmaus-VKORC1. Dem Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und dem Deutschen Schädlingsbekämpferverband danken wir für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen.

Literatur

- Baert, K., Stuyck, J., Lens, B. (2007): Distribution of anticoagulant-resistance in brown rat (*Rattus norvegicus*) in Flanders, Belgium (2003-2006). In: Allan, J., Baker, P., Buckle, A., Feare, C., Macdonald, D., Prescott, C., Smith, R., Sotherton, N. (eds): 6th European Vertebrate Pest Management Conference, University of Reading, 11th-15th September 2007, Scientific Programme and Book of Abstracts, 23.
- Greaves, J.H. (1994). Resistance to anticoagulant rodenticides. In Rodent pests and their control (eds. Buckle, A.P. and Smith, R.H.), CAB International, Wallingford, 197-217.
- Kruczewski, R. (2007): Resistenzen gegen Antikoagulantien bei Hausmäusen und Wanderratten. Der praktische Schädlingsbekämpfer 59, 9-11.
- Lasseur, R., Pelz, H.-J. (2006): Spread of resistance to anticoagulant rodenticides in *Rattus norvegicus* in France and in Germany. In: 3rd International Conference of Biology and Management, Hanoi, Vietnam, 28th August – 1st September, 80.
- Meerburg, B.G., Bonde, M., Brom, F.W.A., Endepols, S., Jensen, A.N., Leirs, H., Lodal, J., Singleton, G.R., Pelz, H.-J., Rodenburg, T.B., Kijlstra, A. (2004): Towards sustainable management of rodents in organic animal husbandry. Netherlands Journal of Agricultural Science 52, 195-205.
- Myllymäki, A. (1995): Anticoagulant resistance in Europe: Appraisal of the data from the 1992 EPPO questionnaire. Pesticide Science 43, 69-72.
- Newton, I., Wyllie, I., Dale, L. (1997): Mortality causes in British Barn Owls (*Tyto alba*), based on 1,101 carcasses examined during 1963-1996. USDA Forest Service General Technical Report NC-190 Biology and Conservation of Owls of the Northern Hemisphere Second International Symposium February 5-9, 1997 Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Pelz, H.-J. (1990): Resistenzprobleme bei der Bekämpfung von Ratten und Hausmäusen mit Antikoagulantien. Gesunde Pflanzen 42, 435-439.
- Pelz, H.-J. (2001): Extensive distribution and high frequency of resistance to anticoagulant rodenticides in rat populations from north-western Germany. In: Pelz, H.-J., Cowan, D. P. and Feare, C. J. (eds.): Advances in Vertebrate Pest Management II. Fürth: Filander Verlag, 161-170.
- Pelz, H.-J., Hänisch, D., Lauenstein, G. (1995a): Resistance to anticoagulant rodenticides in Germany and future strategies to control *Rattus norvegicus*. Pesticide Science 43, 61-67.
- Pelz, H.-J., Hänisch, D., Lauenstein, G. (1995b): Wanderrattenresistenz in Nordwestdeutschland. Der praktische Schädlingsbekämpfer 47 19-24.

- Pelz, H.-J., Rost, S., Hünnerberg, M., Fregin, A., Heiberg, A.-C., Baert, K., MacNicoll, A. D., Prescott, C. V., Walker, A.-S., Oldenburg, J., Müller, C. R. (2005): The genetic basis of resistance to anticoagulants in rodents. *Genetics* 170, 1839–1847.
- Rost, S., Fregin, A., Ivaskevicius, V., Conzelmann, E., Hörtnagel, K., Pelz, H.-J., Lappegard, K., Selfried, E., Scharrer, I., Tuddenham, E.G.D., Müller, C.R., Strom, T.M., Oldenburg, J. (2004): Mutations in *VKORC1* cause warfarin resistance and multiple coagulation factor deficiency type 2. *Nature* 427, 537-541.
- Rost, S., Pelz, H.-J., Menzel S., MacNicoll, A.D., León, V., Song K.-J., Jäkel, T., Oldenburg, J., Müller, C.R. (2009): Novel mutations in the *VKORC1* gene of rats and mice - A response to 50 years of selection pressure? *BMC Genetics*, 10:4 (6 February 2009).

Hantaviren und Nagetiere in Deutschland: Das Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“

Ulrich, R.G.^{1*}, Schlegel, M.¹, Schmidt-Chanasit, J.², Jacob, J.³, Freise, J.⁴, Pelz, H.-J.³, Mertens, M.¹, Wenk, M.⁵, Büchner, T.¹, Masur, D.¹, Sevke, K.¹, Meier, M.⁶, Thiel, J.⁷, Triebenbacher, C.⁸, Buschmann, A.¹, Lang, J.⁹, Löhrl, P.W.¹⁰, Allgöwer, R.¹¹, Borkenhagen, P.¹², Schröder, T.¹³, Endepols, S.¹⁴, Heidecke, T.¹⁵, Stodian, I.¹⁶, Hüppop, O.¹⁷, Hornung, M.¹⁸, Fiedler, W.¹⁹, Krüger, F.²⁰, Rühle, F.²¹, Gerstengarbe, F.-W.²², Pfeffer, M.²³, Wegener, W.²⁴, Bemmman, M.²⁵, Ohlmeyer, L.²⁶, Wolf, R.²⁷, Gehrke, A.²⁸, Heidecke, D.²⁹, Stubbe, M.²⁹, Zoller, H.³⁰, Koch, J.³¹, Brockmann, S.O.³², Heckel, G.³³, Essbauer, S.S.²³

¹Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger, Greifswald - Insel Riems; ²Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin, Hamburg; ³Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Wirbeltierforschung, Münster; ⁴Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Fachbereich Schädlingsbekämpfung, Oldenburg; ⁵Landesforstanstalt Eberswalde, Eberswalde; ⁶Abteilung Innere Medizin I, Universität Lübeck, Lübeck; ⁷Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, Gotha; ⁸Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaften, Freising; ⁹Universität Kassel; ¹⁰Mücke; ¹¹Büro für Ökosystemforschung GbR, Eberdingen; ¹²Säugetierkundliche AG Schleswig-Holstein, Probsteierhagen; ¹³City-Trapper, Dresden; ¹⁴Bayer CropScience AG, Monheim; ¹⁵APC AG, Nürnberg; ¹⁶Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft, Schaprode; ¹⁷Institut für Vogelforschung, „Vogelwarte Helgoland“, Inselstation Helgoland, Helgoland; ¹⁸Landratsamt Konstanz, Radolfzell; ¹⁹Vogelwarte Radolfzell am Max-Planck-Institut für Ornithologie, Radolfzell; ²⁰Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldschutz, Göttingen; ²¹Büsgen-Institut, Fakultät für Forstwirtschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen; ²²Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam; ²³Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München; ²⁴Gesundheitsamt Köln, Köln; ²⁵Landesforstanstalt Mecklenburg-Vorpommern, Außenstelle Schwerin, Schwerin; ²⁶Amt für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten Mitte, Wanzleben; ²⁷Universität Leipzig, Institut für Biologie, Leipzig; ²⁸Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg; ²⁹Institut für Zoologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale; ³⁰Universität Rostock, Zoologisches Institut, Rostock; ³¹Robert Koch-Institut, Berlin; ³²Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart; ³³Computational and Molecular Population Genetics (CMPG), Institut für Ökologie und Evolution, Universität Bern, Bern, Schweiz.

*Korrespondierender Autor:

PD Dr. Rainer G. Ulrich, Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger, Südufer 10, D-17493 Greifswald - Insel Riems, Deutschland
Tel. 038351-7159; FAX: 038351-7192; e-mail: rainer.ulrich@fli.bund.de

Zusammenfassung

Hantavirus-Infektionen sind in Deutschland seit etwa 25 Jahren bekannt. Die durchschnittliche Antikörperprävalenz in der Bevölkerung liegt bei ca. 1 bis 2%. Nach Einführung der Meldepflicht im Jahr 2001 sind jährlich durchschnittlich etwa 70 bis 240 Fälle gemeldet worden. Im Jahr 2005 und insbesondere im Jahr 2007 ist jedoch ein deutlicher Anstieg der Zahl der gemeldeten Fälle registriert worden. Die am meisten betroffenen Regionen lagen in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen. Im Gegensatz zur gut dokumentierten Situation beim Menschen ist die Kenntnis der geografischen Verbreitung und Häufigkeit von Hantavirus-Infektionen in den Nagetier-Reservoirs und deren Schwankungen sehr begrenzt. Aus diesem Grund wurde in Deutschland das Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“ etabliert, das interdisziplinäre Untersuchungen zur Nagetier-Populationsdynamik, Prävalenz und Evolution von Hantaviren und anderen Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern und den zugrunde liegenden Mechanismen sowie deren Auswirkungen auf die Häufigkeit humaner Infektionen erlaubt. Ein Monitoring von Hantaviren in Nagetieren wurde in Endemiegebieten (Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen) und Regionen mit einer geringen Zahl humaner Fälle (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Schleswig-Holstein, Hessen, Rheinland-Pfalz) initiiert. Insgesamt wurde eine breite geographische Verbreitung des *Puumalavirus* (PUUV) in Rötelmäusen und des *Tulavirus* in *Microtus*-Mäusen dokumentiert. *Dobrava-Belgrad-Virus*-positive *Apodemus*-Mäuse wurden bisher ausschließlich in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen gefunden. In den Hantavirus-Ausbruchgebieten in Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen wurde bei Rötelmäusen eine hohe PUUV-Prävalenz beobachtet. Initiale Longitudinalstudien in Nordrhein-Westfalen (Stadt Köln), Bayern (Niederbayern) und

Niedersachsen (ländliche Region bei Osnabrück) zeigten ein stabiles Vorkommen des PUUV in den Rötelmaus-Populationen. Neben den Untersuchungen zu Hantaviren ist auch mit Studien zum Vorkommen von anderen Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern begonnen worden. Die begonnenen Longitudinalstudien werden Schlussfolgerungen zur Evolution von Hantaviren und anderen Nagetier-assoziierten Erregern und zu Veränderungen in deren Häufigkeit und Verbreitung ermöglichen. Diese Untersuchungen werden zukünftig eine verbesserte Risikoabschätzung für die Gefährdung der Bevölkerung ermöglichen, die auch die möglichen zukünftigen Klimawandel-bedingten Veränderungen in der Epidemiologie Nagetier-assoziiierter Zoonoseerreger berücksichtigt.

1. Humane Hantavirus-Infektionen in Deutschland

Humane Hantavirus-Infektionen sind in Deutschland erstmals in den 1980er Jahren berichtet worden (Antoniades et al., 1985; Zeier et al., 1986). Diese Infektionen können zu einer fiebrigen Erkrankung mit Nierenfunktionsstörungen führen, die als Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom (HFRS) bezeichnet wird. Die meisten Fälle des HFRS in Deutschland werden durch das *Puumalavirus* (PUUV) hervorgerufen. Diese Erkrankungen zeigen meist eher milde und moderate Verläufe und werden als Nephropathia epidemica bezeichnet. Häufig verlaufen die Infektionen mit einer Grippe-ähnlichen Symptomatik und werden deshalb wahrscheinlich oft nicht als Hantavirus-Infektion diagnostiziert (Ulrich et al., 2004).

Die geografische Verbreitung und Häufigkeit von humanen Hantavirus-Infektionen ist durch große seroepidemiologische Studien und die Meldung von klinischen Fällen seit Einführung des Gesetzes zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz, IfSG) im Jahr 2001 gut belegt. So wurde bei einer Studie an ca. 13.000 Seren von Bewohnern verschiedener geographischer Regionen Deutschlands eine durchschnittliche Seroprävalenz von 1,7% gefunden (Zöller et al., 1995). Endemiegebiete für Hantavirus-Infektionen sind bereits seit vielen Jahren in Baden-Württemberg (Schwäbische Alb), Bayern (Unterfranken), Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen bekannt (Pilaski et al., 1991; Zöller et al., 1995). Bei Personengruppen, die wegen ihres Berufes oder ihres Wohnortes in Endemiegebieten einer erhöhten Expositionsgefährdung ausgesetzt sind, wurden höhere Antikörperprävalenzen mit bis zu 10% gefunden (Zöller et al., 1995; Kimmig et al., 2001; Rieger et al., 2005; unsere unveröffentlichten Daten). Seit Einführung der Meldepflicht am 1. Januar 2001 wurden in Deutschland insgesamt 3.225 Fälle gemeldet, von denen 93% in Deutschland erworben worden sind (Robert Koch-Institut: SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand 19.11.2008). Während in den Jahren 2001 bis 2004 und im Jahr 2006 etwa 70-240 klinische Fälle registriert wurden, ist im Jahr 2005 und insbesondere im Jahr 2007 ein starker Anstieg der Zahl der gemeldeten Fälle auf 447 und 1.688 verzeichnet worden. Die Mehrzahl der Fälle wurde in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen erfasst (Tabelle 1). Die Mehrzahl der gemeldeten Fälle betreffen PUUV-Infektionen (2.848 von 3.225, 88,3%), während nur ein kleiner Teil auf Infektionen mit dem *Dobrava-Belgrad-Virus* (DOBV), das sehr wahrscheinlich ausschließlich in Nord- und Nordostdeutschland vorkommt, zurückgeführt wird (Tabelle 1). Serologische Untersuchungen deuteten bereits Anfang der 1990er Jahre auf das Vorkommen von humanen PUUV-Infektionen in Deutschland hin (Pilaski et al., 1991). Nachdem über viele Jahre nur eine PUUV-Sequenz aus einem Patienten aus Nordrhein-Westfalen bekannt war (Pilaski et al., 1994), wurden während des Hantavirus-Ausbruchs in Niederbayern 2004 und während des großen Hantavirus-Ausbruchs im Jahr 2007 PUUV-Sequenzen aus einer Reihe von Patienten aus dem Bayrischem Wald, der Schwäbischen Alb, dem Münsterland und dem Spessart bestimmt (Schilling et al., 2007; Hofmann et al., 2008). Nachdem auch bereits längere Zeit aus serologischen Untersuchungen das Vorkommen eines weiteren Hantavirus, das dem asiatischen *Hantaanvirus* näher verwandt ist, vermutet wurde (Zöller et al., 1995), konnte durch serologische Untersuchungen unter Verwendung des Neutralisationstests das Vorkommen von DOBV-Infektionen in Deutschland gezeigt werden (Meisel et al., 1998; Mentel et al., 1999; Sibold et al., 2001). Bisher liegt jedoch nur eine kurze DOBV-Sequenz aus einem Patienten aus Nordostdeutschland vor (Klempa et al., 2004). Zum Vorkommen von Infektionen mit einem dritten, möglicherweise nicht oder nur sehr gering humanpathogenen Hantavirus, dem *Tulavirius* (TULV), gibt es in Deutschland bisher nur sehr wenige Daten. So wurde bei einem Patienten aus Brandenburg serologisch eine TULV-Infektion nachgewiesen (Klempa et al., 2003) und bei einer Seroprävalenzstudie in Mecklenburg-Vorpommern ein TULV-reaktives Serum identifiziert (Ulrich et al., 2004).

Tab. 1 Anzahl der gemeldeten *Puumalavirus*- und *Dobrava-Belgrad-Virus*-Fälle in Deutschland in den Jahren 2001-2008 nach Bundesländern (entnommen aus: Robert Koch-Institut: SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand: 19.11.2008).

Bundesland	Zahl der gemeldeten Fälle* in den Jahren																				
	2001		2002		2003		2004			2005			2006			2007			2008		
	HV	PUUV	HV	PUUV	HV	PUUV	HV	PUUV	DOBV	HV	PUUV	DOBV	HV	PUUV	DOBV	HV	PUUV	DOBV	HV	PUUV	DOBV
Baden-Württemberg	39	37	164	140	65	55	170	109	0	110	105	0	27	17	1	1 090	1 077	0	66	61	0
Bayern	29	15	17	6	18	15	61	58	0	40	40	0	12	11	0	296	289	0	38	37	0
Berlin	0	0	1	1	0	0	1	0	0	2	2	0	1	0	0	1	1	0	2	1	1
Brandenburg	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	4	1	3	3	0	2
Bremen	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hamburg	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0
Hessen	21	10	8	4	13	11	5	5	0	34	34	0	3	2	1	27	25	0	11	9	0
Niedersachsen	1	0	8	0	4	0	4	0	3	4	0	2	1	0	0	11	1	2	11	0	6
Niedersachsen	11	6	5	3	2	11	8	0	75	80	0	6	5	0	93	85	1	17	13	2	
Nordrhein-Westfalen	51	35	19	13	30	17	29	26	1	143	120	0	18	18	0	124	124	0	56	55	0
Rheinland-Pfalz	2	2	2	0	3	2	3	3	0	10	10	0	2	0	0	11	8	0	3	3	0
Saarland	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Sachsen	0	0	1	0	0	0	2	0	1	2	0	2	1	1	0	3	3	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	1	0	1	0	3	1	2	0	2	2	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1
Schleswig-Holstein	0	0	1	0	1	0	2	1	1	7	3	1	5	2	0	10	3	0	5	0	3
Thüringen	3	2	1	1	3	3	1	0	0	14	13	1	0	0	0	8	6	0	7	6	1
Gesamt	184	108	228	168	144	106	242	212	8	447	387	7	72	56	2	1 688	1 625	7	220	186	16

HV, Hantavirus-Fälle gesamt; PUUV, *Puumalavirus*-Fälle; DOBV, *Dobrava-Belgrad-Virus*-Fälle (Eine separate Erfassung von *Dobrava-Belgrad-Virus*-Fällen erfolgt erst seit dem Jahre 2004).* die aufgeführten Zahlen beinhalten auch importierte Fälle.

2. Potentielle Reservoirwirte von Hantaviren in Deutschland

Natürliches Reservoir und Überträger von Hantaviren sind persistent infizierte Nagetiere. Obgleich die Infektion des Nagetier-Reservoirs für symptomlos gehalten worden ist, zeigen jüngste Studien Hinweise für einen negativen Einfluss der PUUV-Infektion auf die Überwinterungsrate von Rötelmäusen (Kallio et al., 2007). Die infizierten Nagetiere scheiden das Virus mit Urin, Kot und Speichel aus. Die Übertragung des Virus zwischen Nagetieren erfolgt ausschließlich horizontal und wahrscheinlich vor allem durch Biss. Es wird zudem angenommen, dass die Erreger vermehrt durch männliche Tiere übertragen werden und die Übertragung durch aggressives Sozialverhalten beeinflusst wird (Hinson et al., 2004; Easterbrook et al. 2007; Hannah et al., 2008). Der Hauptübertragungsweg auf den Menschen ist indirekt über das Einatmen von Virus-kontaminierten Aerosolen der Nagetier-Ausscheidungen. Die Annahme einer indirekten Übertragung wird durch Untersuchungen bestätigt, die eine hohe Stabilität der Viren außerhalb des Reservoirwirts gezeigt haben (Kallio et al., 2006). Nagetier-Bisse repräsentieren einen alternativen, aber seltenen Übertragungsweg des Virus auf den Menschen (Douron et al., 1984). In der Regel ist jede Hantavirus-Art mit einer Nagetier-Art oder nahe verwandten Arten einer Gattung assoziiert (Tabelle 2). Diese Assoziation wird durch eine Koevolution von Hantaviren und Nagetier-Reservoiren erklärt. Neben den Nagetier-assoziierten Hantaviren stellte das *Thottapalayamvirus* (TPMV) lange Zeit das einzige Hantavirus dar, das aus einem Nicht-Nagetier-Reservoir, nämlich der Moschusspitzmaus *Suncus murinus*, isoliert worden ist (Carey et al., 1971). In jüngster Zeit sind jedoch eine Reihe weiterer Spitzmaus-assoziiierter Hantaviren identifiziert worden, über deren potentielle Bedeutung als humane Krankheitserreger bisher nichts bekannt ist (Klempa et al. 2007; Song et al. 2007a,b ; Arai et al. 2007, 2008).

Tab. 2 Übersicht über die in Deutschland vorkommenden Hantaviren, deren Nagetier-Reservoir und Humanpathogenität.

Ordnung	Reservoirwirt*		Hantavirus-Art	Humanpathogenität	
	Familie	Unterfamilie			Art
Rodentia	Cricetidae	Arvicolinae	Rötelmaus (<i>Myodes glareolus</i>)	PUUV	HFRS/NE
			Feld- und Erdmaus (<i>Microtus arvalis</i> , <i>M. agrestis</i>)	TULV	HFRS**
	Muridae	Murinae	Brandmaus (<i>Apodemus agrarius</i>)	DOBV-Aa	HFRS
			Wanderratte (<i>Rattus norvegicus</i>)	SEOV	HFRS (?)***

HFRS, Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom; NE, Nephropathia epidemica (milde Form des HFRS, verursacht durch PUUV); PUUV, *Puumalavirus*; TULV, *Tulavirus*; DOBV, *Dobrava-Belgrad-Virus*; DOBV-Aa, *A. agrarius*-assoziiertes *Dobrava-Belgrad-Virus*; SEOV, *Seoulvirus*. *Taxonomie nach Wilson und Reeder (2005). **bisher wurde nur von einem Patienten mit TULV-Infektion berichtet. ***trotz eines Hinweises zum Vorkommen des SEOV in Wanderratten bisher kein Nachweis von humanen SEOV-Infektionen.

(Daten entnommen aus: Heiske et al., 1999; Essbauer et al., 2006, 2007a,b; Hofmann et al., 2008; Klempa et al., 2003; Meisel et al., 1998; Mentel et al., 1999; Pilaski et al., 1991, 1994; Schilling et al., 2007; Sibold et al., 2001; unsere unveröffentlichten Daten.)

Potentielle Hantavirus-Reservoirs in Deutschland sind die Rötelmaus (*Myodes glareolus*, vormals *Clethrionomys glareolus*), Feldmaus (*Microtus arvalis*) sowie Brand- und Gelbhalsmaus (*Apodemus agrarius* und *A. flavicollis*; siehe Tabelle 2). Zu Beginn unserer Untersuchungen war eine PUUV-Sequenz aus einer Rötelmaus aus Nordrhein-Westfalen und drei TULV-Sequenzen aus Feldmäusen aus Brandenburg bekannt (Heiske et al., 1999; Klempa et al., 2003). Der Reservoirwirt des DOBV in Deutschland war nicht identifiziert. Die Ähnlichkeit einer DOBV-Sequenz aus einem HFRS-Patienten aus Norddeutschland mit DOBV-Sequenzen aus Brandmäusen aus anderen Teilen Europas wies auf einen Ursprung des Virus aus der Brandmaus hin (Klempa et al., 2004). In Deutschland vorkommende kommensale Nager, wie Wanderratte (*Rattus norvegicus*) und Hausmaus (*Mus musculus*), Wildnager wie der Bisam (*Ondatra zibethicus*), aber auch Insektenfresser wie Spitzmäuse (Soricidae) könnten weitere Hantaviren beherbergen (Pilaski et al., 1991; Vahlenkamp et al., 1998; Song et al., 2007a).

3. Das Netzwerk “Nagetier-übertragene Pathogene” in Deutschland

Im Gegensatz zur gut dokumentierten Verbreitung von humanen Hantavirus-Infektionen gab es zum geografischen Vorkommen und zur Prävalenz bei Nagetier-Wirten nur wenige Untersuchungen. Darüber hinaus waren die Kenntnisse über die Schwankungen der Prävalenz und die Sequenzvariation der Hantaviren in den Nagetier-Reservoirs und die zugrundeliegenden molekularen Prozesse gering. Insbesondere der Einfluss von Dynamik, Übertragungs- und Migrationsprozessen in Nagetier-Populationen und der potentielle Einfluss von mikroklimatischen und Habitatfaktoren auf diese Prozesse waren ebenfalls nicht bekannt. Aus diesem Grund wurde das Netzwerk “Nagetier-übertragene Pathogene“ initiiert, das eine Plattform für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Arbeitsgruppen unterschiedlichster Expertise darstellt. Die beteiligten Partner beschäftigen sich mit den Nagetieren selbst, d.h. deren Ökologie, Paläozoologie, Populationsgenetik, geografischer Verbreitung, Populationsdynamik und Bekämpfung sowie assoziierten Themen wie Klimaveränderungen, oder mit Nagetier-assoziierten viralen, bakteriellen und parasitären Erregern, insbesondere Zoonoseerregern.

Während der jetzigen “deskriptiven” Phase der Arbeit des Netzwerkes bestehen die vorrangigen Ziele in

- der Beschreibung der geografischen Verbreitung von Hantaviren und anderen Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern in den Reservoirwirten,
- der Etablierung eines Monitoringprogramms für Hantaviren und andere Nagetier-assoziierte Erreger in Nagetier-Reservoirs,
- der Identifizierung und Charakterisierung von Hantaviren in Ausbruchsregionen,
- der Förderung von Studien zur Populationsdynamik von Nagern unter Einbeziehung potentieller Einflüsse klimatischer Faktoren und
- der Suche nach neuen Nagetier-Viren, die mögliche Modellviren für entsprechende humane Erreger darstellen könnten.

Die Nagetiere werden im Rahmen des Netzwerkes von unterschiedlichen Partnern gesammelt (Abb. 1). Der Aufbau eines möglichen Monitorings Nagetier-assoziiierter Erreger basiert auf regelmäßigen Monitoringfängen verschiedener forstlicher Einrichtungen, des Julius Kühn-Instituts (JKI), des Niedersächsischen Landesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) und des Büsingen-Instituts (BI) der Universität Göttingen. Für die Ausbruchsuntersuchungen werden Nagetiere vor allem durch das Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB), das JKI, das Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin (BNI) und das Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) gefangen. Die Planung der Fänge erfolgt hierbei in enger Zusammenarbeit mit niedergelassenen Ärzten, lokalen und regionalen Gesundheitsämtern und dem RKI. Daneben unterstützen eine Reihe weiterer Institutionen und Kollegen das Netzwerk durch Bereitstellung von Nagetieren, so dass bisher Proben aus 12 Bundesländern in die Untersuchungen einbezogen werden konnten (Abb. 2A). Um eine möglichst breite Untersuchung der Nagetiere auf verschiedenste Zoonoseerreger zu ermöglichen, erfolgt die Sektion zentralisiert am FLI (bzw. IMB). Dazu werden die Nagetiere nach dem Fang zunächst bei den entsprechenden Partnern eingefroren und dann zum FLI (bzw. IMB) transportiert. Die Sektion und Entnahme der Organproben erfolgt nach einem Standardprotokoll (Abb. 3).

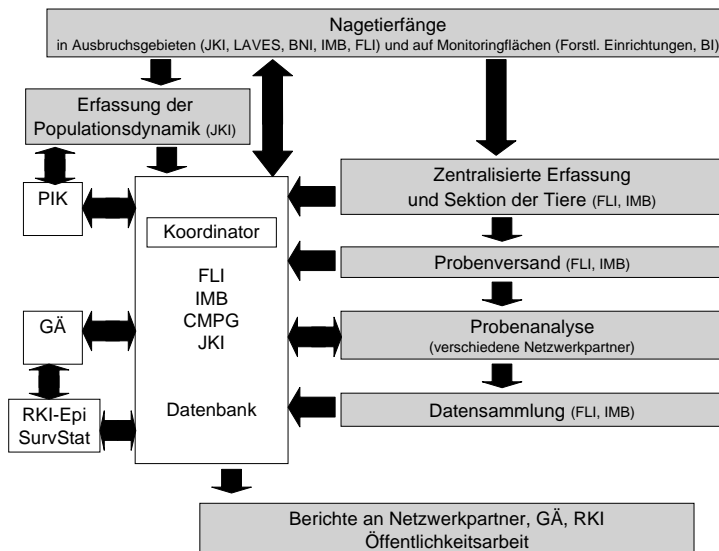


Abb. 1 Organisationsschema des Netzwerkes “Nagetier-übertragene Pathogene” in Deutschland. Abkürzungen: JKI, Julius Kühn-Institut; FLI, Friedrich-Loeffler-Institut; LAVES, Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit; IMB, Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr; RKI, Robert Koch-Institut; BNI, Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin; CMPG: Computational and Molecular Population Genetics; PIK, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung; BI, Büsingen-Institut; GÄ, Gesundheitsämter; Epi, Epidemiologie.

Für serologische Untersuchungen wird von jedem Tier aus der Brusthöhle Transudat entnommen. Organproben für RT-PCR- und PCR-Untersuchungen beinhalten Herz, Lunge, Leber, Niere, Milz, Ohren und Gehirn. Für spezielle Fragestellungen werden auch noch andere Organe entnommen, wie Darm, Lymphknoten oder Skelettmuskel. Während die Hantavirus-Untersuchungen am FLI und in Zusammenarbeit mit IMB und BNI durchgeführt werden, werden die Untersuchungen auf weitere Viren, Bakterien und Parasiten bei anderen Netzwerkpartnern durchgeführt (Abb. 1). Die zentralisierte Sektion sowie Erfassung der Tiere und der jeweiligen Untersuchungsergebnisse ermöglicht in Zukunft eine Kombination von Daten zu verschiedenen Zoonoseerregern sowie zu biologischen und populationsgenetischen Markern der Nager. Zur parallelen Validierung von serologischen und molekularbiologischen Hantavirus-Nachweismethoden erfolgte ein blinder Austausch entsprechender Probenmaterialien und ein anschließender Vergleich der Untersuchungsergebnisse (Essbauer et al., 2006).

4. Longitudinalstudien in Hantavirus-Ausbruchsregionen

Einen Schwerpunkt der Netzwerkaktivitäten bilden Untersuchungen von Nagetieren aus PUUV-Ausbruchsgebieten. Diese Studien konzentrierten sich in den vergangenen Jahren auf verschiedene Regionen in Baden-Württemberg (2007), verschiedene Teile Bayerns (Niederbayern, 2004 und 2005; Unterfranken, 2007), Nordrhein-Westfalen (Stadt Köln, 2005; ländliche Region bei Münster, 2007; Stadt Aachen, 2007) und Niedersachsen (ländliche Region bei Osnabrück, 2005; Tabelle 3, siehe Abb. 2).

Die Untersuchungen erfolgen nach einem standardisierten Protokoll. Zunächst wird ein serologisches Screening der Proben unter Verwendung eines indirekten Immunglobulin G (IgG)-ELISA auf der Basis eines rekombinanten PUUV-Nukleokapsidproteins (Essbauer et al., 2006) durchgeführt. Zur Verbesserung der diagnostischen Sensitivität wurde kürzlich zur Verwendung eines Nukleokapsidproteins eines deutschen PUUV-Stammes übergegangen (siehe Tabelle 4). Im zweiten Schritt erfolgt bei Lungenproben aller serologisch reaktiven Tiere eine PUUV-spezifische RT-PCR mit Hilfe S-Segment-spezifischer Primer (Essbauer et al., 2006; unsere unveröffentlichten Daten).

In allen genannten Ausbruchsregionen wurde bei den gefangenen Rötelmäusen serologisch und/oder molekularbiologisch eine hohe PUUV-Prävalenz beobachtet (Essbauer et al., 2006, 2007a,b; unsere unveröffentlichten Daten, Tabelle 3). So wurde bei Rötelmäusen, die während des Ausbruchs 2007 in fünf Landkreisen von Baden-Württemberg gefangen worden sind, eine Seroprävalenz von etwa 20 bis 76% beobachtet (Tabelle 3; unsere unveröffentlichten Daten). Ähnlich hohe Prävalenzen wurden während des Ausbruchs 2007 bei Nagetieren aus zwei Landkreisen Unterfrankens (Main-Spessart und Aschaffenburg) und einer ländlichen Region nahe Münster nachgewiesen (Tabelle 3; unsere unveröffentlichten Daten).

Die RT-PCR-Amplifikation und anschließende phylogenetische Analyse von partiellen S-Genom-Segment-Nukleotidsequenzen zeigte eine starke genetische Variabilität der PUUV-Stämme in Deutschland (Essbauer et al., 2006, 2007a,b; unsere unveröffentlichten Daten). So lag die Nukleotidsequenz-Divergenz zwischen Stämmen aus Niederbayern und Köln bei bis zu 16%. Dagegen zeigen PUUV-Sequenzen aus Rötelmäusen vom gleichen Fangort nur geringe Unterschiede (bis zu 3,1%; Essbauer et al., 2006, 2007a,b). Die Nukleotidsequenzdivergenz wird vor allem durch stille Nukleotid-austausche hervorgerufen, so dass die Aminosäuresequenz-Divergenz deutlich niedriger ist (Essbauer et al., 2006, 2007a,b; unsere unveröffentlichten Daten).

In ländlichen Regionen Bayerns und nahe Osnabrück sowie in der Stadt Köln sind 2004 bzw. 2005 Longitudinalstudien begonnen worden, die ein stabiles Vorkommen des PUUV in den lokalen Rötelmaus-Populationen zeigen. So wurden in Niederbayern in den Jahren 2004 und 2005 Rötelmäuse gefangen, von denen bei etwa 30% serologisch und molekularbiologisch PUUV-Infektionen nachgewiesen wurden (Essbauer et al., 2006; unsere unveröffentlichten Daten; siehe Tabelle 3). Im Kölner Stadtwald wurden bei einer ersten Untersuchung wegen des Auftretens einer Häufung humaner PUUV-Infektionen im April bis Juni 2005 Rötelmäuse gefangen, von denen mehr als 60% PUUV-positiv waren (Essbauer et al., 2007a,b). Nach einer Bekämpfung der Rötelmäuse im Juli/August 2005 (Ulrich et al., 2006) wurden im Dezember 2006/Januar 2007 und im Oktober/November 2007 erneut Rötelmäuse gefangen. Die serologische Analyse der Rötelmäuse zeigte Antikörperprävalenzen von 28,6% und 19,2% (unsere unveröffentlichten Daten). In einer ländlichen Region im Landkreis Osnabrück wurden bei 2 von 9 im Jahr 2005 gefangenen Rötelmäusen und bei 7 von 39 im Jahr 2007 gefangenen Rötelmäusen

PUUV-reaktive Antikörper nachgewiesen, während im Jahr 2006 bei keiner der 6 analysierten Rötelmäuse PUUV-reaktive Antikörper gefunden wurden (unsere unveröffentlichten Daten).

Tab. 3 Anzahl der gemeldeten *Puumalavirus*- und *Dobrava-Belgrad-Virus*-Fälle in ausgewählten Land- und Stadtkreisen der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg in den Jahren 2001-2008 und Nachweis von Infektionen in den entsprechenden Nagetierwirten.

Bundesland	Land- oder Stadtkreis (LK, SK)	Zahl der gemeldeten Fälle ^a		Nachweis von Infektionen in Nagetierwirten ^b		
		PUUV	DOBV	Fangjahr	PUUV ^c	DOBV ^d
Baden-Württemberg	LK Ravensburg	5	0	2007	11/53 (20%) ^e	n.d.
	LK Heidenheim	148	0	2007	8/19 (42%) ^e	n.d.
	LK Schwäbisch Hall	12	0	2007	5/18 (27%) ^e	n.d.
	LK Böblingen	87	0	2007	23/30 (76,6%) ^f	n.d.
	LK Ludwigsburg	23	0	2007	2/3 ^f	n.d.
Bayern	LK Freyung-Grafenau	52	0	2004	10/29 (34,5%) ^f	n.d.
	LK Regen	18	0			
	LK Aschaffenburg	36	0	2007	7/30 (23,3%) ^f	n.d.
Niedersachsen	LK Main-Spessart	92	0	2007	3/8 (37,5%) ^f	n.d.
	LK Osnabrück	92	1	2005-2007	37/98 (37,8%) ^e	n.d.
	LK Lüneburg	0	1	2008	0	8/11 (72%) ^e
Nordrhein-Westfalen	SK Köln	75	0	2005-2007	29/72 (40,3%) ^e	n.d.
Brandenburg	LK Coesfeld	34	0	2007	5/14 (35%) ^e	0
	LK Ostprignitz-Ruppin (OPR)	0	0	2002, 2004, 2005	n.d.	4/33 (12%) ^e
Mecklenburg-Vorpommern	LK Nordvorpommern	1	0	2008	n.d.	6/18 (33%) ^e
	LK Demmin	0	0	2005-2006	n.d.	4/32 (13%) ^e
	LK Güstrow	0	3	2006	n.d.	5/224 (2,2%) ^e

^a Robert Koch-Institut: SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand: 05.11.2008; die aufgeführten Zahlen beinhalten auch importierte Fälle. ^b Daten entnommen aus Essbauer et al., 2006, 2007a,b; Hofmann et al., 2008 und unsere unveröffentlichten Daten. ^c Anzahl der positiven Rötelmäuse / Anzahl der untersuchten Rötelmäuse. ^d Anzahl der positiven Brand- und Gelbhalsmäuse / Anzahl der untersuchten Gelbhals- und Brandmäuse; n.d., *Apodemus*-Mäuse gefangen, bisher nicht analysiert; 0, keine Rötelmäuse oder *Apodemus*-Mäuse gefangen. ^e serologischer Nachweis von PUUV-reaktiven Antikörpern in Rötelmäusen bzw. DOBV-reaktiven Antikörpern in Brand- und Gelbhalsmäusen. ^f RT-PCR-Nachweis von PUUV

Tab. 4 Übersicht über die für die serologischen Untersuchungen verwendeten, rekombinant hergestellten Hantavirus-Nukleokapsidproteine.

Virus-Spezies	Stamm	Nukleokapsidprotein		Referenz
		Länge (Aminosäuren)	Vorhergesagtes Molekulargewicht (kDa)	
PUUV	Vranica/Hällnäs (PUUV-Vra) ^a	433	49,5	Dargeviciute et al., 2002
	Bawa (PUUV-Bawa) ^b	433	49,5	Mertens et al., in Vorbereitung
TULV	Moravia ^c	429	48,4	Mertens et al., in Vorbereitung
DOBV	DOBV-Af-Slovenia ^d	429	48,1	Razanskiene et al., 2004

PUUV, *Puumalavirus*; TULV, *Tulavirus*; DOBV, *Dobrava-Belgrad-Virus*; DOBV-Af, *A. flavicollis-assoziertes DOBV*, ^a Reip et al., 1995; ^b Essbauer et al., 2006; ^c Plyusnin et al., 1995; ^d Avsic-Zupanc et al., 1995.

5. Geografische Verbreitung und Monitoring von Hantaviren in Reservoirwirten

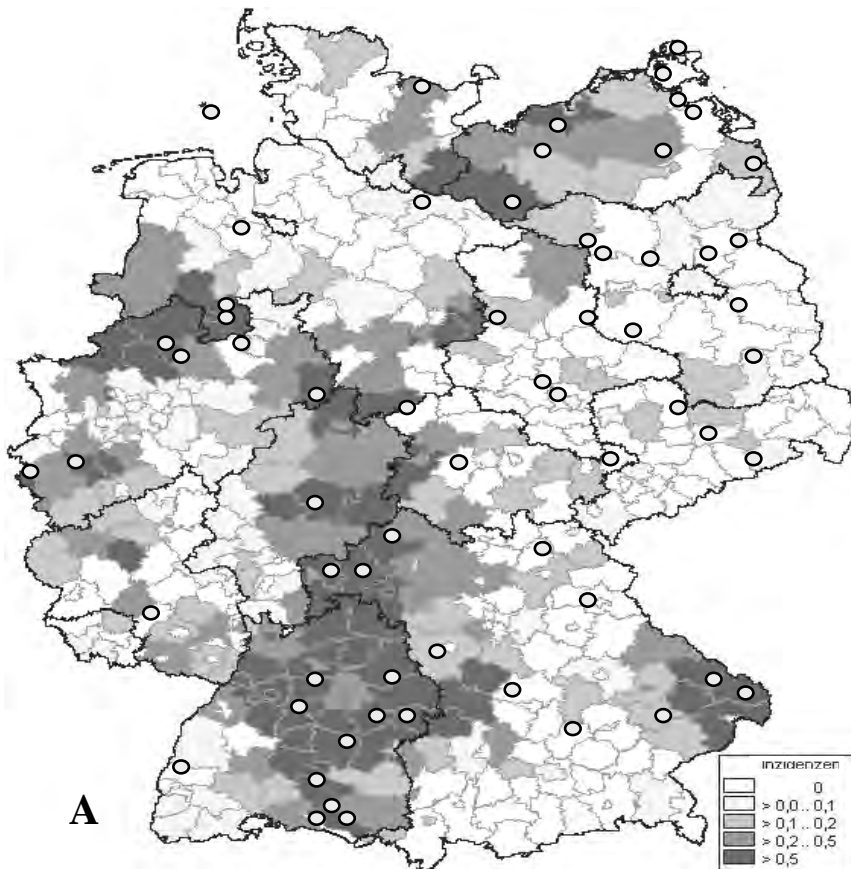
Ein zweiter Schwerpunkt der Untersuchungen zu Hantaviren besteht in der Etablierung eines Monitorings von Hantavirus-Infektionen bei Nagetieren an ausgewählten Fangorten. In einem ersten Schritt wurden jedoch zunächst Untersuchungen zur geographischen Verbreitung und Wirtsassoziation der drei in Deutschland vorkommenden Hantavirus-Arten, PUUV, TULV und DOBV, durchgeführt. Dazu wurden neben den Untersuchungen in Ausbruchs- und Endemiegebieten in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen (siehe Kapitel 4.) auch Nagetiere aus Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Hessen, Schleswig-Holstein und Rheinland-Pfalz analysiert.

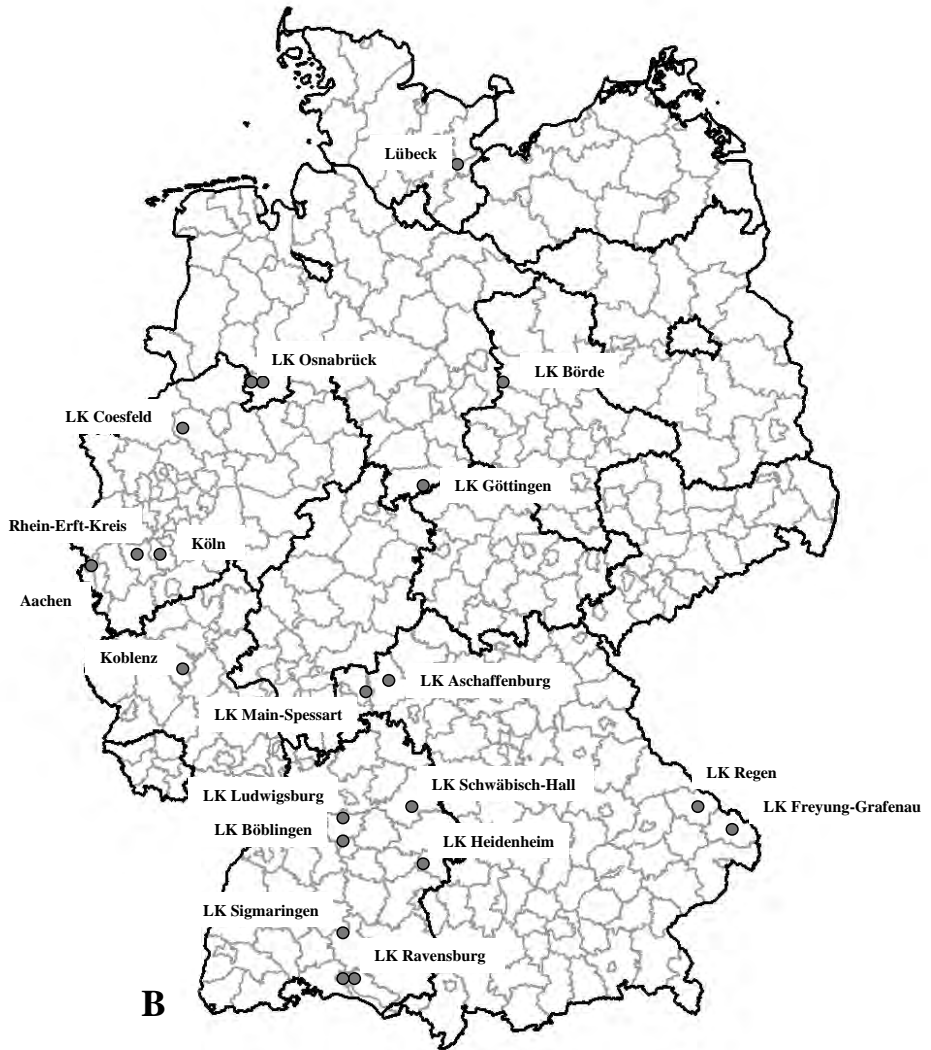
Das methodische Herangehen bei diesen Untersuchungen war ähnlich dem Vorgehen bei den Studien in den oben genannten Ausbruchsregionen. Zunächst wurde ein serologisches Screening der Nagetiere mit dem jeweiligen „homologen“ Hantavirus-Antigen durchgeführt. Somit wurden Rötelmäuse mit PUUV-Antigen, *Apodemus*-Mäuse mit DOBV-Antigen und *Microtus*-Mäuse mit TULV-Antigen (siehe Tabelle 4) untersucht. Im darauffolgenden Schritt erfolgte die Analyse von Lungenproben der Nagetiere mit einer entsprechenden S-Segment-spezifischen RT-PCR.

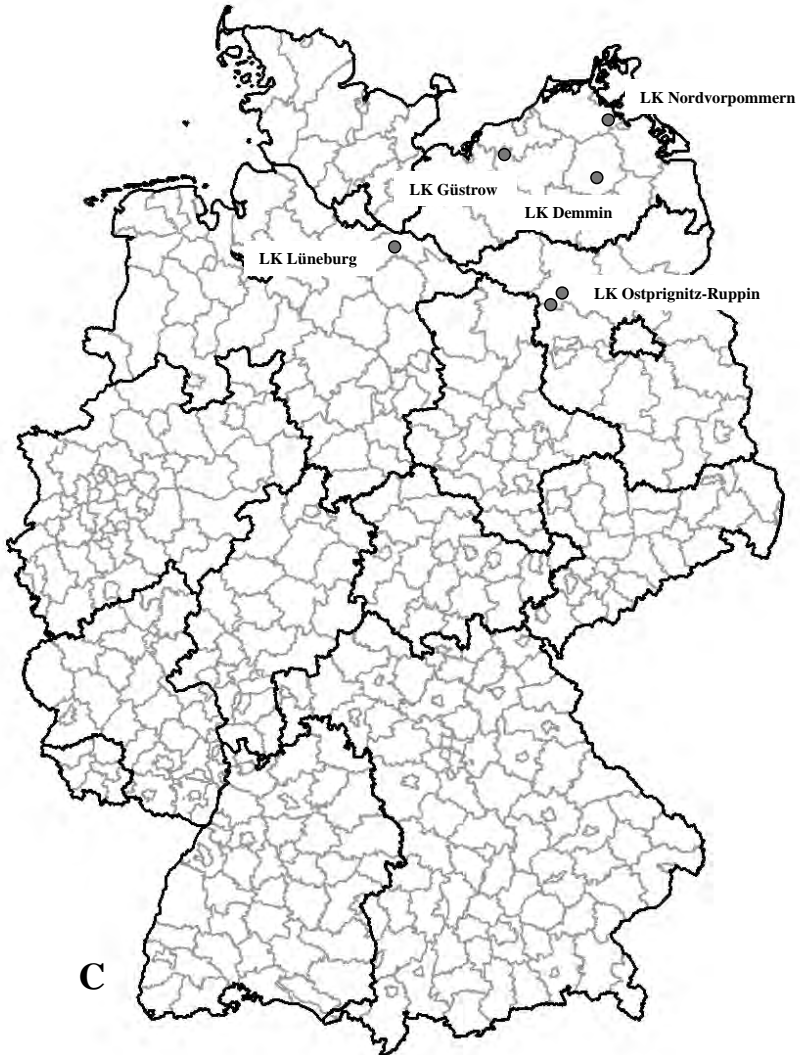
Neben den Untersuchungen in Ausbruchs- und Endemiegebieten (siehe Tabelle 3) wurden auch Rötelmäuse aus anderen Regionen auf das Vorkommen von PUUV-Infektionen untersucht. Bisher konnten PUUV-infizierte Rötelmäuse in Sachsen-Anhalt nachgewiesen werden (Abb. 2B; unsere unveröffentlichten Daten). Daneben wurden PUUV-positive Rötelmäuse in der Nähe von Lübeck und Koblenz gefunden (Schilling et al., 2007). Trotz der zum Teil geringen Prävalenz in einigen Regionen ist insgesamt von einer großen geografischen Verbreitung des PUUV in Deutschland auszugehen.

Serologische Untersuchungen zum Vorkommen von DOBV zeigten DOBV-reaktive Antikörper bei Brandmäusen im Landkreis Lüneburg und bei Brand- und Gelbhalsmäusen aus verschiedenen Landkreisen Mecklenburg-Vorpommerns und Brandenburgs (Abb. 2C; Tabelle 3). Interessanterweise wurden bei 8 von 11 (72 %) Brandmäusen, die am wahrscheinlichen Expositionsort eines HFRS-Patienten aus dem Landkreis Lüneburg gefangen wurden, serologische Hinweise auf eine DOBV-Infektion gefunden (Tabelle 3, unsere unveröffentlichten Daten). Während bisher nur in einem der vier untersuchten Landkreise Brandenburgs und Mecklenburg-Vorpommerns humane DOBV-Infektionen gemeldet wurden, sind bei Brand- und Gelbhalsmäusen aus allen vier Landkreisen DOBV-reaktive Antikörper mit einer Häufigkeit von etwa 2% bis 33% gefunden worden (unsere unveröffentlichten Daten). Insgesamt bestätigen diese Untersuchungen, dass sich die Verbreitung des DOBV wahrscheinlich auf das Verbreitungsgebiet der Brandmaus im östlichen und nordöstlichen Teil Deutschlands beschränkt.

TULV-Infektionen scheinen in *Microtus*-Mäusen in Deutschland ebenfalls weit verbreitet zu sein. So konnten TULV-Infektionen in Nagetieren aus Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Baden-Württemberg und Bayern nachgewiesen werden (Abb. 2D). Bei serologischen und RT-PCR-Untersuchungen von ca. 800 *Microtus*-Mäusen, die im Zeitraum 1994 - 2005 an mehreren Fangorten in Brandenburg und Niedersachsen gefangen worden sind, wurde erstmalig ein gleichzeitiges Vorkommen des TULV in Feldmaus (*Microtus arvalis*) und Erdmaus (*Microtus agrestis*) nachgewiesen (unsere unveröffentlichten Daten). Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit dem Nachweis von TULV-Infektionen in diesen beiden *Microtus*-Arten in Kroatien (Scharninghausen et al., 2002). Zusammen mit dem Nachweis von TULV in *M. rossiaemerdionalis* (Plyusnin et al., 1994) und *M. subterraneus* (Song et al., 2002) deuten diese Befunde auf ein möglicherweise breiteres Reservoirwirt-Spektrum dieses Hantavirus hin. Die breite geografische Verbreitung des TULV in Nagetieren könnte auch zu einer größeren Anzahl humaner Infektionen führen, die bisher, wegen des möglicherweise sehr milden und unspezifischen Verlaufes der Infektionen und der ausschließlichen Verwendung des kreuzreaktiven PUUV-Antigens in der Diagnostik, bisher nicht bemerkt wurden.







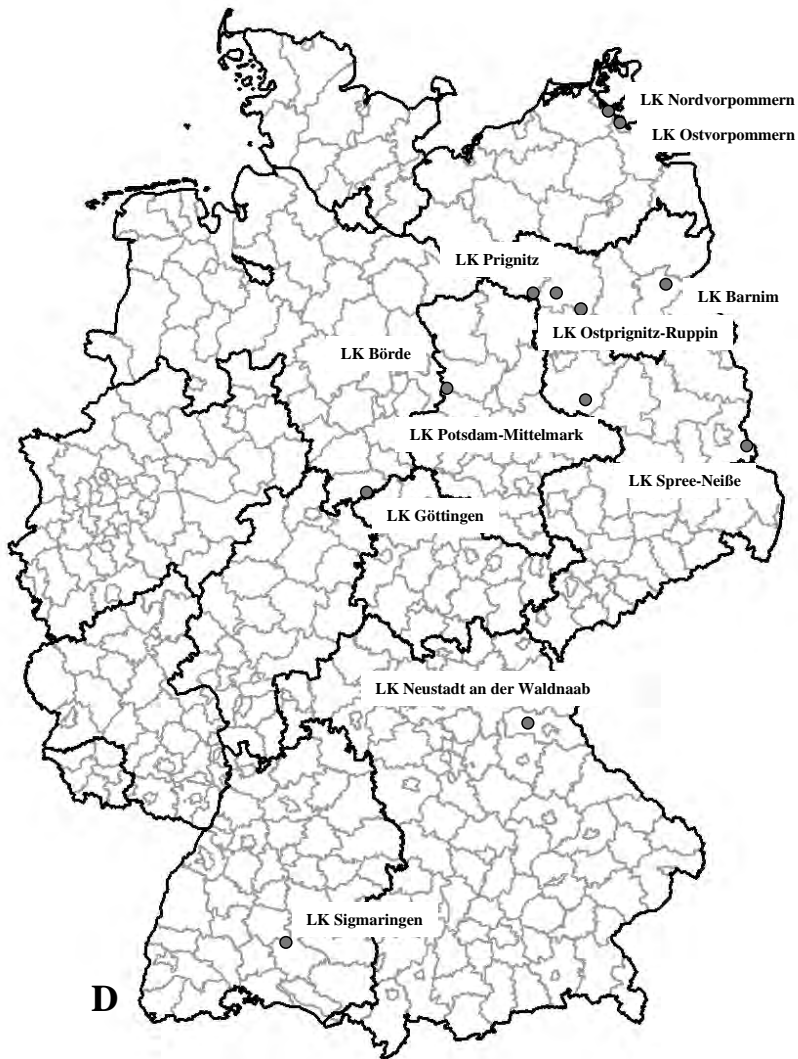


Abb. 2 Nagetier-Fangorte von Partnern des Netzwerkes (A) und geografische Verteilung von serologisch und/oder RT-PCR Hantavirus-positiven Rötelmäusen (B; Essbauer et al., 2006, 2007a,b; Heiske et al., 1999; Hofmann et al., 2008; Schilling et al., 2007 und unsere unveröffentlichten Daten), *Apodemus*-Mäusen (C; unsere unveröffentlichten Daten) und *Microtus*-Mäusen (D; Klempa et al., 2003 und unsere unveröffentlichten Daten) in Deutschland nach Landkreisen (LK). Der Hintergrund der Karte in (A) zeigt die kumulativen Inzidenzen von gemeldeten klinisch apparenten Hantavirus-Infektionen in Deutschland im Zeitraum 1. Januar 2001 – 27. Januar 2008 (Quelle: SurvStat, Robert Koch-Institut; <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand: 27.01. 2008).

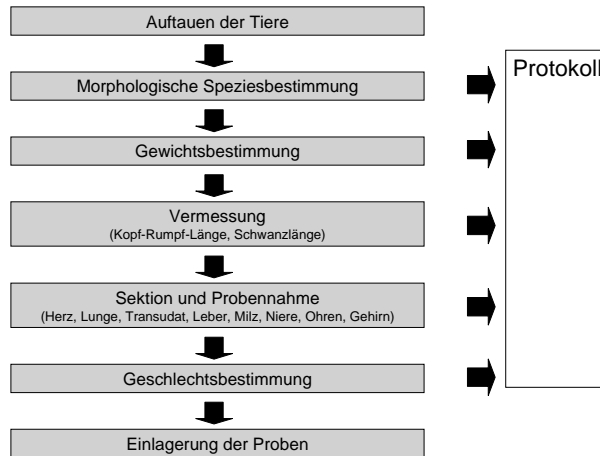


Abb. 3 Standardprotokoll für die Sektion von Nagetieren. Zusätzlich werden für spezifische Fragestellungen weitere Organe (Darm, Lymphknoten, Ganglien, Skelettmuskel) entnommen und Ektoparasiten gesammelt. Außerdem werden bei bestimmten Untersuchungen pathologische Veränderungen und Verletzungen, der auffällige Befall mit Endoparasiten und die Organgewichte dokumentiert.

6. Untersuchungen an Nagetier-Populationen in Deutschland

Die Verbreitung und Häufigkeit von Nagetier-assoziierten Erkrankungen wird, zumindest teilweise, durch Oszillationen in der demografischen Struktur und Dichte von Nagetier-Populationen und durch das Niveau der Migration zwischen Populationen bestimmt. Auch Habitateigenschaften können die Durchseuchung von Nagetier-Populationen mit Hantaviren beeinflussen (Olsson et al., 2005). Dieser Zusammenhang kann vermutlich durch die Wirkungen von Umweltfaktoren auf die Stabilität des Virus außerhalb des Reservoirwirts erklärt werden (Kallio et al., 2006). Somit hängt das Infektionsrisiko für die Bevölkerung nicht nur von der Populationsdichte des Reservoirwirts, sondern auch von den entsprechenden Habitatbedingungen, wo Hantavirus-infizierte Nagetiere leben, ab.

Die Dichte von Feldmaus-Populationen unterliegt saisonalen Fluktuationen, deren Ursachen bislang nicht geklärt sind (Tkadlec et al., 2001). Im Rahmen des Netzwerkes werden Untersuchungen zu Fluktuationen in der Populationsdichte von Feldmäusen durchgeführt, um die Populationsdynamik von Hantavirus-Reservoirwirten in Deutschland besser zu verstehen. Dazu wurden bereits Zeitreihen der Populationsabundanz von bis zu mehreren Jahrzehnten Länge für mehr als 20 Fangorte in Deutschland erfasst. Die initiale Auswertung einiger dieser Zeitreihen deutet auf eine Korrelation der Feldmaus-Dichte mit bestimmten Wetterbedingungen hin. Dabei spielen Schneefall und Sonnenscheindauer in bestimmten Monaten eine wichtige Rolle für die Populationsgröße im Herbst (unsere unveröffentlichten Daten). Der Einfluss von Wetterfaktoren auf die Populationsdynamik ist für andere eruptive Nagetier-Arten bereits belegt (Korpimäki et al., 2004).

Die Infektionsraten im Nagetier-Wirt und somit die Gefährdung der Bevölkerung hängen eng mit der Populationsdynamik von Nagetier-Populationen zusammen. Dabei können die Häufigkeit von Massenvermehrungen, deren Amplituden (maximale Populationsdichte) und die Größe von Ausbruchsregionen eine Rolle spielen. Erste Analysen von Zeitreihen-Daten weisen darauf hin, dass sich weder die Ausbruchsfrequenz noch die Amplituden in den vergangenen Jahrzehnten in ihrer räumlichen Verteilung verändert haben (unsere unveröffentlichten Daten). Im Gegensatz dazu zeigen jedoch jüngste Berichte aus Westdeutschland und Zentralspanien, dass Massenvermehrungen bei Feldmäusen in vorher wenig betroffenen Regionen auftreten.

Zeitreihen-Daten sollen insbesondere verwendet werden, um die Populationsdynamik ausgewählter Nager mit Umweltparametern zu korrelieren. Um potentielle Effekte von Klimaveränderungen auf die Populationsdynamik von Feldmäusen im regionalen Maßstab zu identifizieren, sollen zukünftig verschiedene Klimavariablen in die Betrachtungen einbezogen werden. Im Rahmen des Netzwerkes sollen diese Untersuchungen ausgeweitet werden, um Wechselwirkungen von Nager-Populations-

Dynamik, Epidemiologie und Evolution von Zoonoseerregern und dem Auftreten von Zoonosen beim Menschen zu studieren. Aus diesem Grund ist langfristig auch vorgesehen, an definierten Monitoringorten Fang-Wiederfang-Methoden einzusetzen.

Da gegenwärtig von einer Phase der globalen Erwärmung ausgegangen wird (Gerstengarbe und Werner, 2008), die sich wahrscheinlich in den folgenden Jahrzehnten fortsetzen wird (IPCC, 2007), ist die Untersuchung des Einflusses von klimatischen Bedingungen auf die Populationsentwicklung von Nagetieren von großer ökologischer und gesundheitspolitischer Relevanz. Die bisher beobachteten Klimaveränderungen sind in Mitteleuropa und somit vor allem in Deutschland besonders ausgeprägt. So haben beispielsweise die Häufigkeit, Intensität und Dauer von sogenannten westlichen Klimakreislaufmustern seit Beginn der 1970er Jahre signifikant zugenommen, was sich in wärmeren und feuchteren Wintern widerspiegelt (Werner et al., 2000). Es gibt gegenwärtig eine Reihe von regionalen Klimamodellen, die zur Entwicklung von Szenarien für Feldmaus-Populationen verwendet werden können (z.B. Orłowsky et al., 2008). Auf der Basis dieser Szenarien könnten Vorhersagemodelle für die langfristige Entwicklung der Populationsdichte von Feldmäusen (und anderen Nagetier-Arten) entwickelt werden, die im Rahmen der hier vorgestellten Longitudinalstudien geprüft werden könnten.

Im Rahmen des Netzwerkes werden auch Untersuchungen zur Migration von Individuen zwischen Nagetier-Populationen durchgeführt. Diese Migrationen sind nicht nur eine Folge der Dynamik lokaler Populationen, sondern bilden sehr wahrscheinlich auch eine Grundlage für die Verbreitung von Erregern zwischen Wirtspopulationen. Die Untersuchungen zur genetischen Struktur von Nagetier-Populationen und den Interaktionen zwischen verschiedenen benachbarten Populationen erfordern die Anwendung moderner populationsgenetischer und phylogenetischer Methoden (Excoffier und Heckel, 2006). Mit Hilfe dieser Methoden wurde eine starke Differenzierung von Feldmaus-Populationen in einem geografisch kleinen Gebiet gezeigt (Heckel et al. 2005; Schweizer et al. 2007). Diese Beobachtungen und verhaltensbiologische Untersuchungen (Jacob und Hempel, 2003) deuten darauf hin, dass die Einwanderung von Individuen fremder Populationen in etablierte Populationen selten ist und Individuen dieser Art nur geringe Entfernungen zurücklegen. Gegenwärtig ist unklar, inwieweit sich die starke genetische Differenzierung innerhalb einer Nagetier-Art (Fink et al., 2004, 2006) auch in der Divergenz der mit dieser Art assoziierten Krankheitserreger widerspiegelt. Aus diesem Grund sind vergleichende Untersuchungen im Rahmen dieses Netzwerkes besonders interessant, weil bei den oben erwähnten Longitudinalstudien verschiedene Nagetier-Reservoir und Nagetier-assoziierte Erreger von gleichen Lokalisationen simultan analysiert werden sollen.

7. Schlussfolgerungen

Das hier vorgestellte Netzwerk "Nagetier-übertragene Pathogene" stellt eine Plattform für eine synergistische Zusammenarbeit von Zoologen, Epidemiologen, Virologen, Genetikern, Mikrobiologen, Parasitologen, Evolutionsbiologen, Ökologen sowie Tierärzten und Ärzten dar. Nur durch diese umfangreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit von Arbeitsgruppen unterschiedlichster Expertise kann die Komplexität der Interaktionen von Zoonoseerregern, Reservoirwirten und dem Menschen hinreichend erforscht werden. Die Untersuchungen im Netzwerk konzentrieren sich sowohl auf die Suche nach Ursachen für Ausbrüche humaner Infektionen als auch auf den Aufbau eines Monitorings von Zoonoseerregern in Nagetier-Reservoiren.

Die Zentralisierung von Sektion, Probensammlung, Probenversand und Dokumentation ermöglicht eine koordinierte Studie zu biologischen Parametern der Nager und der Nagetier-assoziierten Krankheitserreger. Eine zukünftig zu schaffende Datenbank für die Erfassung aller verfügbaren Daten wird helfen, potentielle Interaktionen von verschiedenen Erregern zu finden und diese mit populationsgenetischen Markern der Nagetiere zu assoziieren. Die bereits begonnenen Longitudinalstudien in verschiedenen geografischen Regionen werden wichtige Erkenntnisse zu Evolutionsprozessen bei Hantaviren und anderen Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern und den zugrunde liegenden Mechanismen in Nagetier-Populationen liefern. Hinsichtlich der zu erwartenden globalen Veränderungen des Klimas sollten diese Langzeitstudien zukünftig auch Aussagen zum Einfluss klimatischer Bedingungen auf Nagetier-Populationen und den mit ihnen assoziierten Krankheitserregern ermöglichen.

Neben den hier vorgestellten Untersuchungen zu Hantaviren sind im Rahmen des Netzwerkes Studien zum Vorkommen von anderen viralen, bakteriellen und parasitären Nagetier-assoziierten Zoonose-

erregern begonnen worden. Zu den in die Untersuchungen einbezogenen Erregern zählen solche mit einem den Hantaviren ähnlichen Übertragungsweg (Arenaviren und Leptospiren), solche mit Übertragungswegen, bei denen Haus- und Nutztiere eine Rolle spielen (Kuhpockenviren) aber auch Arthropoden-übertragene Erreger (Frühsommer-Meningo-Enzephalitis-Virus, Rickettsien und Borrelien). Daneben werden Erreger betrachtet, die über Lebensmittel oder einen bisher nicht genauer bekannten Übertragungsweg, bei dem Nagetiere aber vermutlich als Reservoir dienen, verbreitet werden (Hepatitis E-Virus und verschiedene bakterielle Durchfallerreger). Neben den Untersuchungen zu bekannten Zoonoseerregern werden die Nagetier-Proben auch zur Suche nach neuen Viren verwendet, die als Modell für andere human- oder tierpathogene Erreger dienen können. So wurden beispielsweise bei der Untersuchung von Nagetieren insgesamt 17 neue β - und 21 neue γ -Herpesviren bei unterschiedlichen Nagetier-Arten gefunden (Ehlers et al., 2007).

Zur weiteren Ausgestaltung der Zusammenarbeit im Netzwerk fand im November 2008 erstmalig ein Workshop der Netzwerkpartner am FLI statt. Diese Veranstaltung soll zukünftig in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden.

Danksagung

Die Autoren möchten sich ganz herzlich bei allen weiteren Partnern des Netzwerkes "Nagetier-übertragene Pathogene", des Arbeitskreises „Mäuse im Forst“ und den anderen Kooperationspartnern bedanken. Unser Dank gilt insbesondere allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von forstlichen Einrichtungen in den verschiedenen Bundesländern, die unsere Untersuchungen durch die Bereitstellung von Nagetier-Proben unterstützen. Die Untersuchungen im Labor von R.G. Ulrich werden durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Forschungsvorhaben 07HS027, finanziell unterstützt. Jonas Schmidt-Chanasit, Mathias Schlegel, Kati Sevke, Thomas Büchner und Daniel Masur danken dem Förderverein des Friedrich-Loeffler-Instituts und der Paul und Ursula Klein-Stiftung für die Unterstützung.

Literatur

- Antoniadis, A., Pilaski, J., Klein, H., Zöller, L., Gorschewski, O. (1985) Serologic evidence for Korean Haemorrhagic Fever in Western Germany. *Zbl Bakt Hyg A* 260: 459.
- Arai, S., Song, J.W., Sumibcay, L., Bennett, S.N., Nerurkar, V.R., Parmenter, C., Cook, J.A., Yates, T.L., Yanagihara, R. (2007): Hantavirus in northern short-tailed shrew, United States. *Emerg Infect Dis* 13: 1420-1423.
- Arai, S., Bennett, S.N., Sumibcay, L., Cook, J.A., Song, J.W., Hope, A., Parmenter, C., Nerurkar, V.R., Yates, T.L., Yanagihara, R. (2008): Phylogenetically distinct hantaviruses in the masked shrew (*Sorex cinereus*) and dusky shrew (*Sorex monticolus*) in the United States. *Am J Trop Med Hyg* 78: 348-351.
- Avsic-Zupanc, T., Toney, A., Anderson, K., Chu, Y.K., Schmaljohn, C. (1995): Genetic and antigenic properties of Dobrava virus: a unique member of the *Hantavirus* genus, family *Bunyaviridae*. *J Gen Virol* 76: 2801-2808.
- Carey, D.E., Reuben, R., Panicker, K.N., Shope, R.E., Myers, R.M. (1971): Thottapalayam virus: a presumptive arbovirus isolated from a shrew in India. *Indian J Med Res* 59: 1758-1760.
- Dargeviciute, A., Brus, S.K., Sasnauskas, K., Krüger, D.H., Meisel, H., Ulrich, R., Lundkvist, Å. (2002): Yeast-expressed Puumala hantavirus nucleocapsid protein induces protection in a bank vole model. *Vaccine* 20: 3523-3531.
- Douron, E., Moriniere, B., Matheron, S., Girard, P.M., Gonzalez, J.P., Hirsch, F., McCormick, J.B. (1984): HFRS after a wild rodent bite in the Haute-Savoie and risk of exposure to Hantaan-like virus in a Paris laboratory. *Lancet* 1: 676-677.
- Easterbrook, J.D., Kaplan, J.B., Glass, G.E., Pletnikov, M.V., Klein, S.L. (2007): Elevated testosterone and reduced 5-HIAA concentrations are associated with wounding and hantavirus infection in male Norway rats. *Horm Behav* 52: 474-481.
- Ehlers, B., Kuchler, J., Yasmum, N., Dural, G., Schmidt-Chanasit, J., Jäkel, T., Matuschka, F.-R., Richter, D., Essbauer, S., Hughes, D.J., Summers, C., Bennett, M., Stewart, J.P., Ulrich, R.G. (2007): Identification of novel rodent herpesviruses, including the first gammaherpesvirus of *Mus musculus*. *J Virol* 81: 8091-8100.
- Essbauer, S.S., Schmidt, J., Conraths, F.J., Friedrich, R., Koch, J., Hautmann, W., Pfeffer, M., Wölfel, R., Finke, J., Dobler, G., Ulrich, R.G. (2006): A new Puumala hantavirus subtype in rodents associated with an outbreak of Nephropathia epidemica in South-East Germany in 2004. *Epidemiol Infect* 134: 1333-1344.

- Essbauer, S.S., Schmidt-Chanasit, J., Madeja, E.L., Wegener, W., Friedrich, R., Petraityte, R., Sasnauskas, K., Jacob, J., Koch, J., Dobler, G., Conraths, F.J., Pfeffer, M., Pitra, C., Ulrich, R.G. (2007a): Nephropathia epidemica outbreak in a metropolitan area, Germany. *Emerg Infect Dis* 13: 1271-1273.
- Essbauer, S.S., Schmidt-Chanasit, J., Madeja, E.L., Wegener, W., Friedrich, R., Koch, J., Conraths, F.J., Pfeffer, M., Ulrich, R.G., Dobler, G. (2007b): Aufklärung von ungewöhnlichen Krankheitsausbrüchen: Zum Ausbruch von Puumala Virus-bedingter Nephropathia epidemica in einer deutschen Großstadt. *Wehrmed Mschr* 51: 325-329.
- Excoffier, L., Heckel, G. (2006): Computer programs for population genetics data analysis: a survival guide. *Nature Rev Genet* 7: 745 - 758.
- Fink, S., Excoffier, L., Hecke, J.G. (2004): Mitochondrial gene diversity in the common vole *Microtus arvalis* shaped by historical divergence and local adaptations. *Mol Ecol* 13: 3501-3514.
- Fink, S., Excoffier, L., Heckel, G. (2006): Mammalian monogamy is not controlled by a single gene. *Proc Natl Acad Sci USA* 103: 10956-10960.
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (2008): Climate development in the last century – global and regional. *Int J Med Microbiol.* (in press).
- Hannah, M.F., Bajic, V.B., Klein, S.L. (2008): Sex differences in the recognition of and innate antiviral responses to Seoul virus in Norway rats. *Brain Behav Immun* 22: 503-516.
- Heckel, G., Burri, R., Fink, S., Desmet, J.-F., Excoffier, L. (2005): Genetic structure and colonization processes in European populations of the common vole *Microtus arvalis*. *Evolution* 59: 2231-2242.
- Heiske, A., Anheier, B., Pilaski, J., Volchkov, V.E., Feldmann, H. (1999): A new *Clethrionomys*-derived hantavirus from Germany: evidence for the distinct genetic sublineages of Puumala viruses in Western Europe. *Virus Res* 61: 101-112.
- Hinson E.R., Shone, S.M., Zink, M.C., Glass, G.E., Klein, S.L. (2004): Wounding: the primary mode of Seoul virus transmission among male Norway rats. *Am J Trop Med Hyg* 70: 310-317.
- Hofmann, J., Meisel, H., Klempa, B., Vesenbeckh, S.M., Beck, R., Michel, D., Schmidt-Chanasit, J., Ulrich, R.G., Grund, S., Enders, G., Krüger, D.H. (2008): Molecular epidemiology of a large hantavirus outbreak in Germany, 2007. *Emerg Infect Dis* 14: 850-852.
- IPCC (2007): IPCC 4th Assessment Report AR4, IPCC Secretariat, World Meteorological Organization, Switzerland.
- Jacob, J., Hempel, N. (2003): Effects of farming practices on spatial behaviour of common voles. *J Ethol* 21: 45-50.
- Kallio, E.R., Klingstrom, J., Gustafsson, E., Manni, T., Vaheri, A., Henttonen, H., Vapalahti, O., Lundkvist, A. (2006): Prolonged survival of Puumala hantavirus outside the host: evidence for indirect transmission via the environment. *J Gen Virol* 87: 2127-2134.
- Kallio, E.R., Voutilainen, L., Vapalahti, O., Vaheri, A., Henttonen, H., Koskela, E., Mappes, T. (2007): Endemic hantavirus infection impairs the winter survival of its rodent host. *Ecology* 88: 1911-1916.
- Kimmig, P., Silva Gonzalez, R., Backe, H., Brockmann, S., Oehme, R., Ernst, E., Mackenstedt, U. (2001): Epidemiologie von Hantaviren in Baden-Württemberg. *Gesundheitswesen* 63: 107-112.
- Klempa, B., Meisel, H., Räh, S., Bartel, J., Ulrich, R.G., Krüger, D.H. (2003): Occurrence of renal and pulmonary syndrome in a region of North-East Germany where Tula hantavirus circulates. *J Clin Microbiol* 41: 4894-4897.
- Klempa, B., Schütt, M., Auste, B., Ulrich, R.G., Meisel, H., Krüger, D.H. (2004): First molecular identification of human Dobrava virus infection in Central Europe. *J Clin Microbiol* 42: 1322-1325.
- Klempa, B., Fichet-Calvet, E., Lecompte, E., Auste, B., Aniskin, V., Meisel, H., Barriere, P., Koivogui, L., ter Meulen, J., Krüger, D.H. (2007): Novel hantavirus sequences in shrew, Guinea. *Emerg Infect Dis* 13: 520-522.
- Korpimäki, E., Brown, P.R., Jacob, J., Pech, R.P. (2004): The puzzles of population cycles and outbreaks of small mammals solved? *Bioscience* 54: 1071-1079.
- Meisel, H., Lundkvist, Å., Gantzer, K., Bär, W., Sibold, C., Krüger, D.H. (1998): First case of infection with hantavirus Dobrava in Germany. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 17: 884-885.
- Mentel, R., Bordihn, N., Wegner, U., Wendel, H., Niklasson, B. (1999): Hantavirus Dobrava infection with pulmonary manifestation. *Med Microbiol Immunol* 188: 51-53.
- Olsson, G.E., White, N., Hjäältén, J., Ahlm, C. (2005): Habitat factors associated with bank voles (*Clethrionomys glareolus*) and concomitant hantavirus in northern Sweden. *Vector-borne Zoonotic Dis* 5: 315-323.
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor Appl Climatol* (in press).

- Pilaski, J., Ellerich, C., Kreutzer, T., Benik, W., Lewandowski, B., Lang, A., Autenrieth, I.B., Vanek, E. (1991): Endemisches Vorkommen des Hämorrhagischen Fiebers mit renalem Syndrom (HFRS) in der Bundesrepublik Deutschland. *Z ärztl Fortbild (Jena)* 85: 869-874.
- Pilaski, J., Feldmann, H., Morzunov, S., Rollin, P.E., Ruo, S.L., Lauer, B., Peters, C.J., Nichol, S.T. (1994): Genetic identification of a new Puumala virus strain causing severe haemorrhagic fever with renal syndrome in Germany. *J Infect Dis* 170: 1456-1462.
- Plyusnin, A., Vapalahti, O., Lankinen, H., Lehvälaiho, H., Apekina, N., Myasnikov, Y., Kallio-Kokko, H., Henttonen, H., Lundkvist, A., Brummer-Korvenkontio, M., Gavrilovskaya, I., Vaheiri, A. (1994): Tula virus: a newly detected hantavirus carried by European common voles. *J Virol* 68: 7833-7839.
- Razanskiene, A., Schmidt, J., Geldmacher, A., Ritz, A., Niedrig, M., Lundkvist, Å., Krüger, D.H., Meisel, H., Sasnauskas, K., Ulrich, R.G. (2004): High yields of stable and highly pure nucleocapsid proteins of different hantaviruses can be generated in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *J Biotechnol* 111: 319-333.
- Reip, A., Haring, B., Sibold, C., Stohwasser, R., Bautz, E.K., Darai, G., Meisel, H., Krüger, D.H. (1995): Coding strategy of the S and M genomic segments of a hantavirus representing a new subtype of the Puumala serotype. *Arch Virol* 140: 2011-2026.
- Rieger, M.A., Nübling, M., Hofmann, F. (2005): Berufliche Gefährdung der Landwirte durch Hantaviren. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb* 1036.
- Scharninghausen, J.J., Pfeffer, M., Meyer, H., Davis, D.S., Honeycutt, R.L., Faulde, M. (2002): Genetic evidence for Tula virus in *Microtus arvalis* and *Microtus agrestis* populations in Croatia. *Vector-Borne Zoonotic Dis* 2: 19-27.
- Schilling, S., Emmerich, P., Klempa, B., Auste, B., Schnaith, E., Schmitz, H., Krüger, D.H., Günther, S., Meisel, H. (2007): Hantavirus outbreak in Germany: Limitations of routine serological diagnostics and clustering of virus sequences of human and rodent origin. *J Clin Microbiol* 45: 3008-3014.
- Schweizer, M., Excoffier, L., Heckel, G. (2007): Fine-scale genetic structure and dispersal patterns in the common vole *Microtus arvalis*. *Mol Ecol* 16: 2463-2473.
- Sibold, C., Ulrich, R.G., Labuda, M., Lundkvist, Å., Martens, H., Schütt, M., Gerke, P., Leitmeyer, K., Meisel, H., Krüger, D.H. (2001): Dobrava hantavirus causes hemorrhagic fever with renal syndrome in central Europe and is carried by two different *Apodemus* mice species. *J Med Virol* 63: 158-167.
- Song, J.W., Gligic, A., Yanagihara, R. (2002): Identification of Tula hantavirus in *Pitymys subterraneus* captured in the Cacak region of Serbia-Yugoslavia. *Int J Infect Dis* 6: 31-36.
- Song, J.W., Gu, S.H., Bennett, S.N., Arai, S., Puorger, M., Hilbe, M., Yanagihara, R. (2007a): Seewis virus, a genetically distinct hantavirus in the Eurasian common shrew (*Sorex araneus*). *Virol J* 4: 114.
- Song, J.W., Kang, H.J., Song, K.J., Truong, T.T., Bennett, S.N., Arai, S., Truong, N.U., Yanagihara, R. (2007b): Newfound hantavirus in Chinese mole shrew, Vietnam. *Emerg Infect Dis* 13: 1784-1787.
- Tkadlec, E., Stenseth, N.C. (2001): A new geographical gradient in vole population dynamics. *Proc Royal Soc London* 268: 1547-1552.
- Ulrich, R.G., Meisel, H., Schütt, M., Schmidt, J., Kunz, A., Klempa, B., Niedrig, M., Kimmig, P., Pauli, G., Krüger, D.H., Koch, J. (2004): Verbreitung von Hantavirusinfektionen in Deutschland. *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 47: 661-670.
- Ulrich, R.G., Essbauer, S.S., Wenk, M., Schmidt, J., Pelz, H.-J., Jacob, J., Wegener, W., Madeja, E.L., Bender, U., Bradt, K., Quast, H., Koch, J., Groschup, M., Conraths, F.J., Dobler, G., Mettenleiter, T.C. (2006): Zoonoseforschung: Hantaviren und Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“. *Pest Control News* 33: 6-9.
- Vahlenkamp, M., Müller, T., Tackmann, K., Löschner, U., Schmitz, H., Schreiber, M. (1998): The muskrat (*Ondatra zibethicus*) as a new reservoir for Puumala-like hantavirus strains in Europe. *Virus Res* 57: 139-150.
- Werner, P.C., Gerstengarbe, F.-W., Fraedrich, K., Oesterle, H. (2000): Recent climate change in the North Atlantic/European sector. *Intern J Climatol* 20: 463-471.
- Wilson, D.E., Reeder, D.M. (2005): *Mammal Species of the World*. Johns Hopkins University Press.
- Zeier, M., Andrassy, K., Waldherr, R., Ritz, E. (1986): Akutes Nierenversagen durch Hantavirus. Fallbeobachtung in der Bundesrepublik. *Dtsch Med Wochenschr* 111: 207-210.
- Zöller, L., Faulde, M., Meisel, H., Ruh, B., Kimmig, P., Schelling, U., Zeier, M., Kulzer, P., Becker, C., Roggendorf, M., Bautz, E.K.F., Krüger, D.H., Darai, G. (1995): Seroprevalence of hantavirus antibodies in Germany as determined by a new recombinant enzyme immunoassay. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 14: 305-313.

Mode of action and toxicology of plant toxins and poisonous plants

Wink, M.

Heidelberg University, Institute of Pharmacy and Molecular Biotechnology, INF 364, 69120 Heidelberg, Germany

Abstract

Plants have evolved the strategy to produce bioactive natural products as a means of defence against herbivores and microbes. Some plants produce toxins that can severely damage or kill a herbivore. The molecular mode of action of neurotoxins, cytotoxins, metabolic poisons, mutagens and toxins that affect skin and mucosal tissues are summarised and discussed. Important poisonous plants of Europe, their toxins and toxicology are tabulated, as this group of plants can provide lead compounds for the development of natural pesticides against insects, slugs or rodents.

1. Why do plants need toxins?

It is a trivial observation that most animals can run away when attacked by a predator. When challenged by bacteria, fungi, viruses or parasites, the immune system takes care of the problem. Some marine animals, but also most toads and frogs, are not mobile enough to escape a predator. As a common theme, sessile or slow-moving animals have evolved a battery of poisons that make them unpalatable and toxic. Chemically, the poisons are peptides but also low molecular weight compounds, such as alkaloids, terpenoids, saponins or other secondary metabolites (as these natural products are usually called) (Wink 1999a,b; Wink and van Wyk, 2008).

Considering the situation of plants, we recognise a similarity to sessile marine organisms. Plants can neither evade herbivores by flight nor do they have an immune system to fight invading microorganisms. From the early days of the evolution of land plants in the Devonian, herbivores and microbes were present and challenging plants (Wink 2003, 2008). The evolutionary solution of plants was the production of a wide variety of secondary metabolites (Fig. 1), which can interfere with the biochemistry and physiology of herbivores on one hand and some with bacteria, fungi, viruses and even competing plants on the other hand (Fig. 2) (Wink 1988, 2007b). Today, plants usually produce and accumulate not single entities but mixtures of secondary metabolites that mostly belong to several classes. For example, even plants that produce lethal alkaloids, also sequester terpenoids or polyphenols. The components in a mixture may be additive or even synergistic in their overall properties and activities (Wink 2008c).

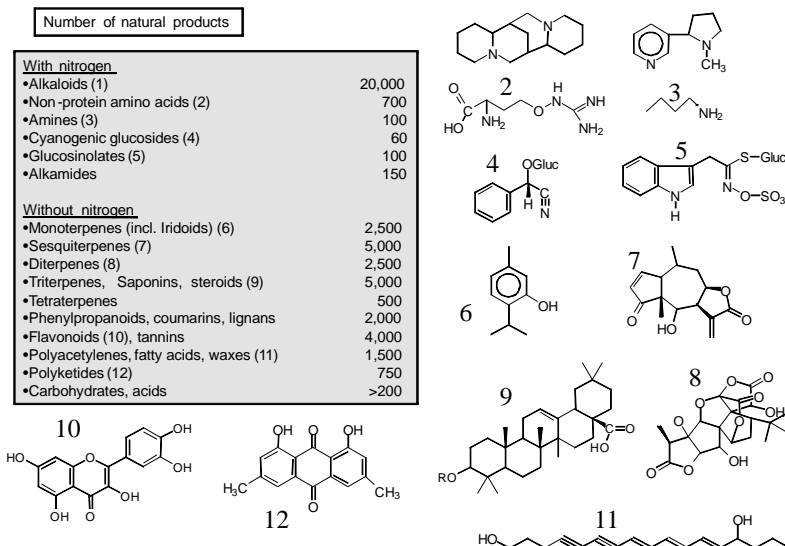


Fig. 1 Number of known secondary metabolites

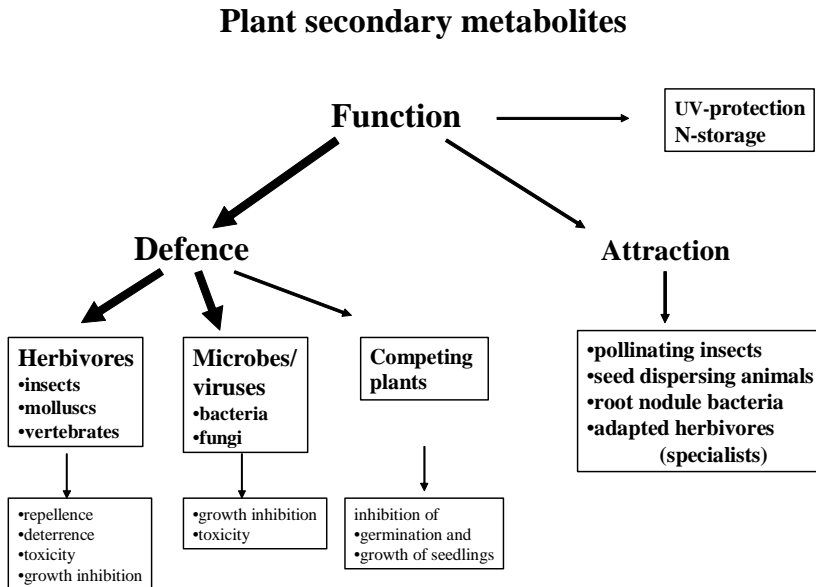


Fig. 2 Function of plant secondary metabolites

Biosynthesis, transport and storage of secondary metabolites are usually complex processes in plants, which are regulated in space and time. Some compounds, such as tropane alkaloids, which are typical for several genera of the Solanaceae (*Atropa*, *Hyoscyamus*, *Datura*, *Brugmansia*, *Duboisia*, *Mandragora*, *Scopolia* and *Schizanthus*) are produced in the roots and then translocated via the xylem to the aerial parts. In leaves, flowers and fruits the neuroactive alkaloids are stored in vacuoles. Quinolizidine alkaloids, such as lupanine or cytisine, are synthesised in chloroplasts of aerial organs, such as leaves of several legumes (especially within the genistoid legumes). These alkaloids are transported to other aerial organs (such as fruits and seeds) and roots via the phloem. These alkaloids also accumulate in vacuoles (Wink, 1997; 1999a,b).

2. What is the biochemical mode of action of poisonous secondary metabolites?

In order to be effective, the defence compounds must be able to interfere with molecular targets of cells, tissues or organs in a herbivore. For an overview over the various activities of secondary metabolites towards eukaryotic and prokaryotic cells see Wink (1993a, 2000, 2007a, 2008c). In this essay I would like to focus on plant toxins that are relevant in the context of “poisonous or hazardous plants” (Wink and van Wyk, 2008).

Toxins and poisons are classified in four categories according to their oral toxicity determined in rat experiments: class Ia: extremely hazardous (5 mg or less per kg body weight); Ib: highly hazardous (5 to 50 mg/kg body weight); class II: moderately hazardous (50 to 500 mg/kg body weight) and class III: slightly hazardous (500 mg and more per kg body weight). It is important to recall that the dose is very important; already Paracelsus (1493 – 1541) had postulated in 1537 “*sola dosis facit venenum*” (it is the dose that makes a poison) besides inherent toxic properties (Mutschler et al., 2008; Wink and van Wyk, 2008).

Toxins, which fall into the classes Ia, Ib and II interfere with central functions in an animal. The most poisonous substances are neurotoxins which affect the nervous system, followed by cytotoxins and metabolic poisons that disturb liver, heart, kidneys, respiration, muscles and reproduction.

2.1. Neurotoxins

Neurotoxins can affect important **ion channels** of neuronal cells, such as Na^+ , K^+ , and Ca^{2+} channels, either by activating or inactivating them permanently. Both actions will stop neuronal signal transduction and thus block the activity of the central nervous system (CNS) but also neuromuscular signaling (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008; Wink 2003a, 2000), which eventually leads to paralysis of both striated and smooth muscles of heart, lungs and skeleton. A special case is the Na^+ , K^+ -ATPase, which is the most important ion pump in neuronal and other cells to maintain an ion gradient important for action potentials and transport mechanisms (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). Cardiac glycosides, which occur in several plant families and even in toad skins (genus *Bufo*) are strong inhibitors of this pump. Because this pump is extremely important, cardiac glycosides are considered to be toxins of class Ia.

Neuroreceptors are another prime target for many alkaloids, which structurally resemble the endogenous neurotransmitters, such as acetylcholine, dopamine, noradrenaline, serotonin, adrenaline, GABA or glutamate (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008; Wink 1993a, 2000; Wink et al., 1998). The neuroactive alkaloids can either function as agonists, which overstimulate a neuroreceptor or as antagonists, which would block a certain neuroreceptor. Agonists and antagonists can cause excitation, hallucinations, and general CNS disturbances, which would put a herbivore into deep sleep or coma; higher doses would lead to death by either cardiac or respiratory arrest (Mutschler et al., 2008). A herbivore that is on a “trip” has no chance in the wild; it would either fall from trees or cliffs or would be an easy prey for all sorts of enemies. The production of neuroreceptor modulators is quite safe for the plant producing them, because plants do not have neuroreceptors and thus cannot poison themselves with the defence chemicals.

Some alkaloids (Wink 2003a, 2000) inhibit the enzymes that break down neurotransmitters, such as **cholinesterase (AChE)** and **monoamine oxidase (MAO)**. These toxins have similar toxic properties as secondary metabolites that are neuroreceptor agonists, since they would lead to a higher concentration of neurotransmitters in the synaptic cleft. Higher doses would lead to death by either cardiac or respiratory arrest (Mutschler et al., 2008).

2.2 Inhibitors of cellular respiration

Cellular respiration, which takes place in mitochondria and generates ATP, is another vulnerable target in animals, since ATP is essential for all cellular and organ functions. Many plants and even some arthropods can attack this target with HCN, which binds to iron ions of the terminal cytochrome oxidase in the mitochondrial respiratory chain (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). HCN does not occur in a free form, but is stored as cyanogenic glucosides in plant vacuoles. When plants are wounded, the cellular compartmentation brakes down and the content of the vacuoles gets into contact with cytosolic enzymes, such as β -glucosidase and nitrilase. These enzymes hydrolyse the cyanogenic glucosides and the extremely toxic HCN is released (Fig. 3).

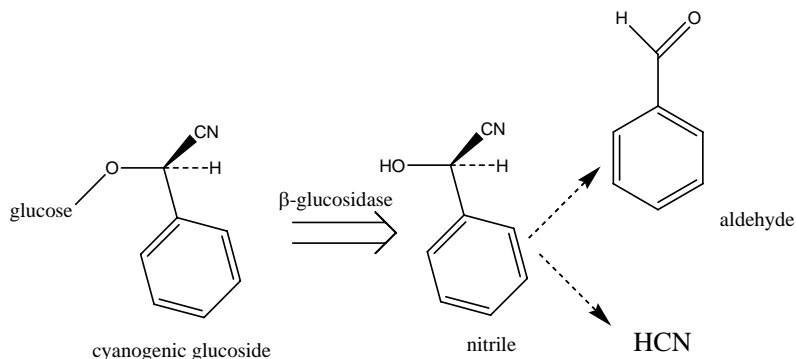


Fig. 3 Release of HCN from cyanogenic glucosides

Cyanogenic glucosides are produced by several plant families, such as Poaceae and Rosaceae, where they are stored in leaves, shoots or seeds. Also rotenoids (produced by some legumes) and some alkaloids can inhibit the mitochondrial respiratory chain. The diterpene atractyloside is a potent inhibitor of the mitochondrial ADP/ATP transporter and thus inhibits the ATP supply of a cell (Wink and van Wyk, 2008).

2.3. Cytotoxins

Several poisons can be regarded as **cytotoxins** because they interfere with important cellular functions. An important target in this context are biomembranes, which have to control the import and export of metabolites and ions in cells (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). Membrane fluidity and integrity can be severely disturbed by both steroidal and triterpenoid saponins. Saponins are usually stored as inactive bidesmosidic saponins in plant vacuoles; upon wounding and decompartmentation, they are converted into the membrane-active monodesmosidic saponins, which are amphiphilic with detergent activities (Wink and van Wyk, 2008).

Within cells, other important targets include several enzymes and proteins but also DNA/RNA and related processes.

Protein biosynthesis in ribosomes is vital for every cell and organism. A number of strong plant toxins inhibit ribosomal protein biosynthesis, such as the alkaloid emetine from *Psychotria ipecacuanha*, amanitins from *Amanita phalloides* or a class of polypeptides, the lectins. Famous are ricin from seeds of *Ricinus communis* or abrin from *Abrus precatorius*. These toxins can attach to cells by their B-chain, the haptomer, whereas the A-chain (effectomer) is taken up by endocytosis into the cytosol, where it blocks protein biosynthesis (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). These lectins are extremely poisonous and an oral dose of 1 mg/kg body weight is enough to kill a human; injected even 0.1 µg and less per kg body weight can be lethal (Wink and van Wyk, 2008).

The elements of the **cytoskeleton**, especially microtubules and actin filaments, are also vulnerable targets in animal cells. A number of plant toxins are known as microtubule poisons, such as colchicine, podophyllotoxin, vinblastine, chelidoniumine, noscapine, cucurbitacins and taxol (Wink, 2007a). These poisons will block cell division but also vesicle transport along microtubules.

Several secondary compounds can **covalently bind to proteins**, such as aldehydes, epoxides, secondary compounds with exocyclic methylene groups, with SH groups or reactive double or triple bonds (Wink, 2005, 2007b, 2008c; Wink and van Wyk, 2008). These protein modifications influence the three-dimensional structure of proteins and can inhibit their function. Therefore, many poisons with such properties have neurotoxic and cytotoxic properties or are irritants to skin and mucosal tissue.

2.4. Alkylating and intercalating DNA toxins

A number of secondary metabolites are known to attack **DNA and RNA**, by either intercalation or alkylation. Intercalating compounds, such as β-carboline alkaloids, emetine, berberine, sanguinarine, athraquinones or furanocoumarins, stabilise DNA and thus inhibit DNA replication (Schmeller et al., 1997; Wink 1993a, 2000). They can cause frameshift mutations, which drives a cell into apoptosis or which can cause malformations and even cancer. More common are alkylating compounds, which modify the DNA-bases in a covalent fashion. Known examples are pyrrolizidine alkaloids (occurring in Boraginaceae and several Asteraceae), aristolochic acids (from *Aristolochia*), ptaquiloside (from the bracken fern *Pteridium aquilinum*), cycasine (from cycads) and several furanocoumarins or secondary metabolites with epoxide or aldehyde groups (which are common in Apiaceae) (Wink and van Wyk 2008). If alkylated DNA bases are not repaired they can cause mutations and even cancer; in a pregnant herbivore they can induce abortion or malformation of the fetus.

2.5. Toxins of skin and mucosal tissues

Apart from internal organs, also the **skin and mucosal tissues** of animals can be affected by several toxins. Common members of the Euphorbiaceae and Thymelaeaceae are diterpenes, which resemble the endogenous signal compounds diacylglycerol (DAG), an activator of the key enzyme PKC (protein kinase C) (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). These diterpenes are classified as phorbol esters and they also stimulate PKC. When in contact to skin, mucosal tissues or the eye they cause severe and painful inflammation, with ulcers and blister formation.

Furanocoumarins, which are common in Apiaceae, can penetrate the skin and intercalate dermal cells. When the skin is exposed to sun light, the furanocoumarins alkylate DNA, which kills the cells and induces strong blister formation and necrosis.

Many species of the Ranunculaceae accumulate the glycoside ranunculin in the vacuole. Upon wounding, it is split into the active protoanemonin, which can alkylate proteins and DNA. It causes skin and mucosal irritation, followed by a severe inflammation. Similar activations have been reported for tuliposide A which is converted into the active tulipalin A (Wink and van Wyk, 2008).

In several members of the Araceae, another defence strategy is apparent. Plants, such as *Arum maculatum* produce Calcium-oxalate needles (so-called raphides) in their leaves and stems. When a herbivore tries to ingest these plants, the raphides penetrate skin and mucosa and pierce small holes into the cells (Wink and van Wyk, 2008). This already causes pain and inflammation. In addition, the plant contains proteases or other noxious proteins, which can now enter the cells or tissues and start their damaging activity. This mechanism resembles the strategy of snakes, who inject their protein cocktails (often proteinases, phospholipases, hyaluronidases, cholinesterase) with aid of their fangs.

3. Response of herbivores

Herbivores had to find solutions to avoid extremely toxic plants or to detoxify their poison cocktails. Experiments and observations show that most herbivores are selective and avoid plants of class Ia and Ib but also plants containing mutagens and mucosal toxins. Apparently, a cautious herbivore ingests only small amounts of unknown plants and if negative symptoms occur, will avoid it in the future. Plants which are less toxic are eaten at least by some herbivores (Wink 1988, 1992, 2007b, 2008b). It is well known from pharmacology, that the liver of animals, especially of herbivores or omnivores, has an active set of detoxification enzymes. Among them are cytochrome p450 oxidases (CYP), which can add hydroxyl groups to mostly lipophilic xenobiotics.

These hydroxylated metabolites are then conjugated with hydrophilic molecules, such as glucuronic acid, sulfate or amino acids and excreted via the kidneys and urine (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008). Another line of defence are ABC transporters (ATP Binding Cassette) (such as p-gp, MDR; multiple drug resistance proteins), which are membrane proteins that can pump lipophilic xenobiotics, that have entered intestinal cells by free diffusion, back to the gut lumen (Alberts et al., 2008; Mutschler et al., 2008; Wink 2007a).

Herbivores have microorganisms in their intestine or rumen, which can (but most cannot; Aguiar and Wink, 2005a,b) help to degrade nutritional toxins.

Some herbivores have a rapid digestion, which would decrease the rate of toxin absorption. A few toxin eaters (e.g. parrots) are known to ingest clay (so-called geophagy), which can bind most toxins, similar to charcoal (Aufreiter et al., 2001; Mahaney et al., 1999).

4. Toxic plants in Central Europe

In the preceding paragraphs the modes of action of the most important toxins have been discussed. In Table 1, poisonous plants of Europe are tabulated, with some details of their toxins and toxicology.

It is not only important to know these plants in order to avoid intoxication of children, pets or livestock, but these plants or their compounds might be used as natural pesticides against insects, slugs or rodents (Wink 1993b, 2007c).

Tab. 1 Overview over toxic European plants, their toxins and toxicology. Class I a: extremely hazardous; Ib: highly hazardous; II: moderately hazardous; III: slightly hazardous. IN=inflammatory; CT= cytotoxic; NT= neurotoxic; HP= heart poison, MA= mind altering; MP= medicinal plant; GI= disturbance of GI tract; AP= animal poison; MU= mutagenic,

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
Neurotoxins				
Ion channel modulators				
<i>Aconitum napellus</i> (monkshood), <i>A. lycoctonum</i> and related species, Ranunculaceae	all parts, especially tubers	aconitine, mesaconitine, lycoctonine and other terpene alkaloids (up to 2% in tubers)	Ia NT, MA, AP, MP	aconitine activates Na ⁺ channels and is thus a strong nerve and muscle poison, causes numbness, causes paralysis
<i>Consolida regalis</i> (larkspur), <i>C. ajacis</i> , <i>C. orientalis</i> and related species, Ranunculaceae	all parts, especially seeds	delcosine, lycoctonine and other terpene alkaloids	Ia CT, NT, MA	alkaloids affect Na ⁺ channels and neuroreceptors, with sedating and dream inducing properties, substantial ingestion causes nausea, gastroenteritis, arrhythmia, excitations, spasms, respiratory arrest
<i>Delphinium elatum</i> (larkspur), <i>D. staphisagra</i> , <i>D. ajacis</i> and related species, Ranunculaceae	all parts, especially seeds	delphinine, nudicauline, staphisine, ajacine and other terpenoids alkaloids	Ib CT, NT, GI	delphinine resembles aconitine in toxicity, inhibition of neuronal transmission (Na ⁺ channel opener), skin irritation, nausea, disturbance of GI tract and kidneys, dyspnoea, death from cardiac arrest
<i>Fritillaria imperialis</i> , <i>F. meleagris</i> and related species, Liliaceae	especially bulbs	imperialine and other steroid alkaloids, tuliposide A, tulipalin A	II, NT, GI,	similar modes of action as aconitine, symptoms include vomiting, spasms, disturbances of GI tract and kidneys, hypotension, cardiac arrest
<i>Rhododendron ponticum</i> , <i>R. ferrugineum</i> and related species, Ericaceae	all parts, nectar (honey)	rhododendrin andromedotoxin (=grayanotoxin I), triterpens, arbutin	Ib CT, NT, GI	andromedotoxins are Na ⁺ channel inhibitors, symptoms include burning in mouth, salivation, vomiting, spasms, diarrhoea, CNS effects, headache, weakness, dimness of vision, convulsions, death by respiratory arrest
<i>Veratrum album</i> (false hellebore), <i>V. viride</i> , <i>V. nigrum</i> and related species, Melanthiaceae	all parts	protoveratrine A and B, germerine, cyclopamine	Ia NT, IN, AP, MP, MA	alkaloids activate Na ⁺ -channels, cyclopamine causes malformation (cyclopien eye), hallucinogenic, heart and neurotoxin, death by respiratory and cardiac arrest, skin irritant
Na⁺,K⁺-ATPase inhibitors				
<i>Adonis vernalis</i> (pheasant's eye), <i>A. aestivalis</i> and related species, Ranunculaceae	all parts	adonitoxin and other cardiac glycosides (cardenolides)	Ib CT, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ -ATPase, symptoms of cardiac glycoside poisoning, diuresis, irritation of GI tract with strong diarrhoea, cardiac arrest
<i>Cheiranthus cheiri</i> (wallflower), Brassicaceae	all parts, especially seeds	cheirotoxin, cheirosid A and other cardenolides, glucosinolates (glucocheirolin)	II CT, GI, HP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ -ATPase, substantial ingestion cause symptoms of cardiac glycoside intoxication with pronounced GI tract disturbance

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Convallaria majalis</i> (Lily-of-the-valley), Convallariaceae/ Ruscaceae	all parts, flowers, fruits	convallatoxin and other cardenolides, saponins	Ib CT, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, cardiac glycoside intoxication, nausea, gastrointestinal disturbance, diarrhoea, dizziness, hypertension, arrhythmia, coma, cardiac arrest
<i>Coronilla varia</i> = <i>Securigera varia</i> (crown-vetch), Fabaceae	all parts, seeds	glycosides with cardiac activities (hyrcanoside, desgluco hyrcanoside), glucose esters with nitropropionic acid	Ib CT, HP, GI	glycosides appear to have similar activities as cardiac glycosides and cause similar symptoms, the nitro compounds inhibit enzymes of citric acid cycle. Substantial ingestion causes vomiting, diarrhoea and abdominal pain
<i>Digitalis purpurea</i> (Foxglove), <i>D. gr</i> <i>andiflora</i> , <i>D. lanata</i> , <i>D.</i> <i>lutea</i> and related species, Scrophulariaceae/ Plantaginaceae	all parts	several cardenolides (purpurea glycoside, lanatoside, digitoxin, digoxin)	Ia CT, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, typical cardiac glycoside intoxication, vomiting, diarrhoea, gastroenteritis, severe headache, irregular heartbeat and pulse, convulsions, CNS disturbance, cardiac arrest, sudden death
<i>Eranthis hyemalis</i> (winter aconite) and related species, Ranunculaceae	all parts, especially tubers	eranthin A, B and other cardiac glycosides of the bufadienolide type	Ib CT, HP, NT, GI,	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, substantial ingestion causes symptoms of cardiac glycoside poisoning, nausea, vomiting, diarrhoea, colics, bradycardia, disturbed vision, dyspnoea, cardiac arrest
<i>Erysimum crepidifolium</i> , <i>E. diffusum</i> , Brassicaceae	all parts, especially seeds	erysimoside, helveticoside and other cardiac glycosides (cardenolides type), up to 3.5% in seeds)	Ib CT, HP, NT, GI, AP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, substantial ingestion causes symptoms of cardiac glycoside poisoning with disturbance of GI tract and CNS, trembling, unrest, spasms, dyspnoea, cardiac arrest, animal poisoning, especially of geese
<i>Euonymus europaea</i> (spindle tree) and related species, Celastraceae	all parts, especially fruits	evobioside, evomonoside and other cardenolides, evonine and several alkaloids	Ib CT, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, irritation of GI tract, nausea, hallucinations, extensive vomiting, shock, hyperthermia, bloody diarrhoea, liver and kidney disturbance, arrhythmia, strong spasms, coma after 12 h, cardiac arrest
<i>Gratiola officinalis</i> , Plantaginaceae/ Scrophulariaceae	all parts	gratiogenin, gratioside and other tetracyclic triterpenes, cucurbitacin A	Ib GI, HP, MP	nausea, vomiting, salivation, bloody diarrhoea, nephritis, respiratory and cardiac disturbances, death from respiratory arrest, abortifacient, toxicity similar to structurally similar cardiac glycosides
<i>Helleborus viridis</i> , <i>H.</i> <i>niger</i> (hellebore), <i>H.</i> <i>foetidus</i> and related species, Ranunculaceae	aerial parts	cardiac glycosides (bufadienolides), hellebrin, steroid saponins (helleborin), ranunculoside, alkaloids (celliamine, sprintillamine)	Ia, CP, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, cardiac glycoside intoxication, vomiting, gastroenteritis with violent diarrhoea, delirium, convulsions, arrhythmia, death by respiratory arrest, alkaloids have similar properties as veratrine and aconitine

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Nerium oleander</i> (oleander), (= <i>N. indicum</i>), Apocynaceae	all parts, nectar, even honey	oleandrine and several other cardenolides	Ia CT, HP, GI, MP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, typical symptoms of cardiac glycoside poisoning, tongue and throat become numb, nausea, vomiting, bloody diarrhoea, spasms, arrhythmia, bradycardia, dilated pupils, dyspnoea, blue lips and hands, respiratory arrest, death can occur after 2-3 h
<i>Ornithogalum umbellatum</i> (star-of- bethlehem) and related species, Hyacinthaceae	all parts, bulbs, flowers	convallatoxin and other cardenolides in bulbs, prasinoside G and other steroid glycosides	Ib CT, NT, GI, HP	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, symptoms of cardiac glycoside poisoning, nausea, gastrointestinal disorders, abdominal pain and convulsions, heart failure and death, severe diarrhoea that may last up to three weeks
<i>Scilla bifolia</i> (squill), <i>S. hispanica</i> and related species, Liliaceae	all parts, especially bulbs and seeds	saponins, proscillaridin A and other bufadienolides	Ib CT, NT, HP, GI	cardiac glycosides inhibit Na ⁺ ,K ⁺ - ATPase, saponins are haemolytic and cytotoxic, substantial cardiac glycoside toxicity (if cardenolides are present), substantial GI tract disturbance
Neuroreceptor modulators				
<i>Amanita muscaria</i> (fly agaric), <i>A. pantherina</i> , <i>A. cothurnata</i> , <i>A. gemmata</i> , <i>A. smithiana</i> , <i>A. strobiliformis</i> , Amanitaceae	fruiting body	ibotenic acid, muscimol, muscarine, muscazone	Ib-II NT, MA	muscimol is a strong parasympatholytic, psychoactive and hallucinogenic agent, bradycardia, rapid breathing, inebriation, manic behaviour, delirium, deep sleep
<i>Atropa belladonna</i> (deadly night shade) and related species, Solanaceae	all parts	hyoscyamine, scopolamine and other tropane alkaloids	Ia NT, MA, MP	mAChR antagonist with parasympatholytic properties, hallucinogenic in various forms, aphrodisiac, mydriasis, hyperthermia, inhibition of salivation, death from respiratory arrest
<i>Claviceps purpurea</i> (ergot), <i>C. paspali</i> and related fungi, Clavicipetaceae	fungal fruiting bodies (sclerotia)	several ergot alkaloids, grows on several grasses	Ib NT, MA, MP	ergot alkaloid affect dopamine, noradrenaline and serotonin receptors, therefore inducing psychoactive, psychedelic and hallucinogenic effects, painful muscle contractions, epileptic convulsions, vasoconstriction can cause gangrene
<i>Conium maculatum</i> (poison hemlock), Apiaceae	all parts, seeds	coniine, conhydrine and other piperidine alkaloids	Ia NT, MP, MA	strong neurotoxin at acetylcholine receptors, causes mental confusion, burning sensation in mouth and throat, vomiting, paralysis of muscles, low temperature, loss of sensations, convulsions, death through respiratory arrest
<i>Conocybe cyanopus</i> , <i>C. kuehneriana</i> , <i>C. siligineoides</i> , <i>C. smithii</i> , Bolbitiaceae	fruiting body	psilocybin, baeocystine	II NT, MA	alkaloids are serotonin receptor agonists, therefore psychoactive, psychedelic and hallucinogenic

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Corydalis cava</i> , <i>C. aurea</i> , <i>C. caseana</i> , <i>C. flavula</i> and related species, Papaveraceae	all parts, especially tubers (6% alkaloids)	bulbocapnine and other isoquinoline, protoberberine and apomorphine alkaloids	II NT, MP, GI, AP	the alkaloids interact with several neurotransmitter receptors, inhibition of active muscle activity, hypnotic, GI tract disturbance
<i>Cytisus scoparius</i> (broom) and related species with sparteine/lupanine as main alkaloids, Fabaceae	all parts	sparteine and other quinolizidine alkaloids	II NT, GI, MP	sparteine is an agonist at mAChR and inhibits Na ⁺ channels, substantial ingestion causes diuresis, uterus contractions, vomiting, diarrhoea, abdominal pain, tachycardia, cardiac irregularity, toxicity similar to nicotine
<i>Cytisus canariensis</i> (= <i>Genista canariensis</i>) (Spanish broom) and related species with cytisine as main alkaloid, Fabaceae	aerial parts, seeds	cytisine and other quinolizidine alkaloids	Ib NT, GI, MA	cytisine is a strong nAChR agonist similar to nicotine, CNS active, psychedelic, euphoric, stimulant, higher doses are very toxic
<i>Datura stramonium</i> (thornapple), <i>D. metel</i> and related species, Solanaceae	all parts, especially seeds and roots	hyoscyamine, scopolamine, atropine	Ia NT, MA, MP	tropane alkaloids inhibit mAChR and show parasympatholytic properties causing strong hallucinations, widely used as hallucinogen and aphrodisiac
<i>Ephedra distachya</i> , <i>E. gerardiana</i> and related species, Ephedraceae	all parts	L-ephedrine, D-pseudoephedrine, L,D-norephedrine, D-nopseudoephedrine (0.5-3.3%)	II MA, MP, GI	sympathomimetic, amphetamine like activities (stimulant, euphoric), helps against fatigue and hunger, higher doses induce heavy perspiration, activate breathing and muscle activity, insomnia, mydriasis, constipation, hypertension, arrhythmia, death
<i>Galanthus nivalis</i> (snowdrop) and related species, Amaryllidaceae	mainly bulbs	galanthamine, lycrine and other alkaloids	II NT, GI, MP, AP	galanthamine inhibits acetylcholine esterase, parasympathomimetic, causes nausea, vomiting, diarrhoea, small pupils, live stock poisoning
<i>Genista tinctoria</i> , <i>G. germanica</i> and related species, Fabaceae	all parts	cytisine, anagryne and other quinolizidine alkaloids (0.3%)	Ib-II NT, GI, MA	nAChR agonist, slightly psychoactive and hallucinogenic, diuretic, uterus contracting, abdominal pain, tachycardia, cardiac irregularity, vomiting, diarrhoea, dizziness, headache, toxicity similar to nicotine
<i>Glaucium flavum</i> and related species, Papaveraceae	all parts	glaucine, magnoflorine, protopine, sanguinarine and other isoquinoline alkaloids	II MA, NT, GI	psychoactive, narcotic, spasmolytic and pain killing, similar to opium, uterus contracting
<i>Huperzia selago</i> , Lycopodiaceae	all parts	lycopodine, arifoline, pseudoselagine and other alkaloids	Ib NT, MA	active at acetylcholine receptors, vomiting, dizziness, unconsciousness, psychoactive, modulates sensations
<i>Hyoiscamus niger</i> (henbane), <i>H. muticus</i> , <i>H. albus</i> , <i>H. aurea</i> , <i>H. reticulatus</i> and related species, Solanaceae	all parts, roots, seeds	hyoscyamine, atropine, scopolamine and other tropane alkaloids	Ia NT, MA, MP	tropane alkaloids block mAChR and are parasympatholytic, strong hallucinogen and aphrodisiac, higher doses, mydriatic, cardiac stimulation, coma, death from respiratory arrest

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Laburnum anagyroides</i> (goldenchain), <i>L.</i> <i>alpinum x wateri</i> (a hybrid between former species), Fabaceae	all parts, especially seeds	cytisine and other quinolizidine alkaloids, 3.5% in seeds	Ia NT, MA, GI	nAChR agonist, slightly psychoactive and hallucinogenic, diuretic, uterus contracting, abdominal pain, tachycardia, hypotension, heart irregularity, vomiting, diarrhoea, dizziness, headache, delirium, toxicity similar to nicotine
<i>Leucojum vernum</i> , <i>L.</i> <i>aestivum</i> , Amaryllidaceae	bulbs and aerial parts	lycorine, galanthamine, tazettine and other alkaloids	II MA, NT, GI	galanthamine inhibits acetylcholine esterase, with parasympathmimetic properties, nausea, vomiting, diarrhoea, small pupils
<i>Lolium temulentum</i> , Poaceae	all parts	temuline, loline and other pyrrolizidine alkaloids (fungal products, composition depends on the infecting fungus)	Ib-II, NT, MA, AP	alkaloids are psychoactive, symptoms include, drunkenness, dizziness (name!), staggering, tremor, headache, visual distortion, sleepiness, CNS disturbance, death via respiratory arrest, poisoning better known from horses, pigs and poultry
<i>Lupinus polyphyllus</i> (lupin), <i>L. albus</i> , <i>L.</i> <i>angustifolius</i> , <i>L. luteus</i> , <i>L. hirsutus</i> and related species, Fabaceae	all parts, especially seeds	lupanine, sparteine and related quinolizidine alkaloids (QA)	Ib-II NT, MP, AP	lupanine and other QA are modulators of nAChR and mAChR and also inhibit Na ⁺ channels, salivation, vomiting, problems to swallow, hyperthermia, arrhythmia, mydriasis, excitement and delirium, paralysis, death through respiratory arrest
<i>Lycopodium clavatum</i> , <i>L. annotinum</i> and related species, Lycopodiaceae	all parts	lycopodine, clavatine and related quinolizidine alkaloids	Ib-II MA, NT, MP	neurotoxins at acetylcholine receptors, similar to Curare, symptoms include vomiting, dizziness, unconsciousness, psychoactive, modulates sensations
<i>Mandragora</i> <i>officinarum</i> , <i>M.</i> <i>autumnalis</i> and related species, Solanaceae	mainly roots	hyoscyamine, atropine, scopolamine and other tropane alkaloids	Ia NT, MA, MP	mAChR antagonist with parasympatholytic properties, psychedelic, hallucination in various forms, used as hallucinogen since antiquity, higher doses: clonic spasms, strong heart beat, tachycardia (>160 beats), mydriasis, inhibition of salivation, respiratory arrest, coma
<i>Nicotiana glauca</i> (tree tobacco), Solanaceae	all parts	anabasine, nornicotine and other piperidine alkaloids	Ib NT, MA	anabasine is an agonist at AChR, salivation, perspiration, spasms of eye lids and lips, dyspnoea, cyanosis, mydriasis, internal bleeding in most internal organs, respiratory arrest
<i>Nicotiana tabacum</i> (tobacco) and related species, Solanaceae	all parts	nicotine, nornicotine and other pyridine alkaloids, 0.04 to 4%	Ib NT, MA, MP	nicotine is an agonist at nAChR, causes psychedelic and excitation, burning in mouth and throat, nausea, vomiting, disturbance of GI tract, vasoconstriction, hypertension, mydriasis, arrhythmia, seizures, collapse, respiratory arrest
<i>Nuphar lutea</i> , Nymphaeaceae	all parts	nupharine, desoxynupharidine and other simple quinolizidine alkaloids	II NT, MA	alkaloids probably affect acetylcholine receptors, therefore psychoactive, similar to atropine and papaverine, spasmolytic, hypotensive

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Nymphaea alba</i> , Nymphaeaceae	all parts	nupharine, nymphaline, aporphine	II NT, MA	alkaloids probably affect acetylcholine receptors, therefore psychoactive, intoxicant, hallucinogenic, aphrodisiac, similar to atropine and papaverine, spasmolytic, hypotensive
<i>Papaver rhoeas</i> and other poppy species, Papaveraceae	all parts, especially latex	rhoeadine, protopin, berberine and other isoquinoline alkaloids	II CT, NT, GI, AP	alkaloids modulate neuroreceptors, vomi-ting, spasms, abdominal pain, in animals, central excitation, gastroenteritis, unrest, epileptiform spasms, unconsciousness
<i>Phalaris arundinacea</i> , <i>P.</i> aerial parts <i>aquatica</i> , <i>P. canariensis</i> , <i>P. minor</i> , <i>P. tuberosa</i> , Poaceae		<i>N,N</i> -DMT, MMT, 5- MeO-DMT, gramine	III NT, MA	tryptamine derivatives are agonists at serotonin receptors, therefore psychoactive, psychedelic, hallucinogenic
<i>Phragmites communis</i> , Poaceae	roots	<i>N,N</i> -DMT, 5-MeO- DMT, gramine	III NT, MA	tryptamine derivatives are agonists at serotonin receptors, therefore psychoactive, psychedelic, hallucinogenic
<i>Psilocybe azurescens</i> , <i>P.</i> fruiting body <i>baeocystis</i> , <i>P. bohemica</i> , <i>P. caerulescens</i> , <i>P.</i> <i>cyanescens</i> , <i>P.</i> <i>semilanceata</i> and many related species, Strophariaceae		psilocybin, psilocin, baeocystine	II NT, MA	alkaloids are serotonin receptor agonists, therefore psychoactive, psychedelic, hallucinogenic
<i>Punica granatum</i> , Punicaceae	bark	pseudopelletierine, pelletierine and other piperidine alkaloids (up to 0.7%), tannins, oxalate	II CT, NT, GI	alkaloids affect acetylcholine receptors, higher doses cause nausea, vomiting, disturbance of GI tract, inner bleeding, CNS disturbance, bradycardia, perspiration, convulsions, death by respiratory arrest
<i>Scopolia carniolica</i> and related species, Solanaceae	all parts	hyoscyamine, scopolamine and other tropane alkaloids (up to 0.8%)	Ia NT, MA, MP	mAChR antagonist, parasympatholytic properties, hallucination in various forms, clonic spasms, strong heart beat, tachycardia (>160 beats), mydriasis, inhibition of salivation, respiratory arrest, coma
<i>Sedum acre</i> , Crassulaceae	all parts	sedamine, sedamine, sedinine and other piperidine alkaloids	II CT, in, NT, GI	mAChR agonist, strong pungent taste (name!), severe irritation of mouth and throat, salivation, vomiting, intestinal spasms, narcotic, paralysis, respiratory arrest
<i>Solanum dulcamara</i> , <i>S.</i> green parts <i>tuberosum</i> (potato), <i>S.</i> (red berries are <i>lycopersicum</i> (tomato), usually not <i>S. nigrum</i> , hazardous) Solanaceae		green fruits and leaves contain steroidal glyco- alkaloids such as soladulcidine, solanine, solasodine, chaconine etc., saponins	Ib-II CT, NT, GI, AP, MP	disturbance of GI tract, vomiting, spasms, internal bleeding, salivation, trembling, restlessness, headache, delirium, fever and coma. In severe cases death may occur through respiratory arrest
<i>Spartium junceum</i> , Fabaceae	all parts, especially flowers and seeds	<i>N</i> -methylcytisine, cytisine and other quinolizidine alkaloids	Ib NT, MA, GI	alkaloids affect acetylcholine receptors (agonists), psychoactive and hallucinogenic, toxicity similar to nicotine

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
Cytotoxins				
Inhibitors of cellular respiration				
<i>Aquilegia vulgaris</i> (columbine) and other species, Ranunculaceae	all parts, seeds	cyanogenic glucoside	II CT, MP	higher doses can induce dizziness, mydriasis, unconsciousness, respiratory problems, ingestion of seeds has been fatal to children
<i>Prunus laurocerasus</i> (laurel cherry), <i>P. dulcis</i> (bitter almond), <i>P.</i> <i>armeniaca</i> , <i>P. avium</i> , <i>P.</i> <i>domestica</i> , <i>P. padus</i> , <i>P.</i> <i>persica</i> , <i>P. serotina</i> , <i>P.</i> <i>spinosa</i> , <i>P. virginiana</i> and related species, Rosaceae	all parts, especially seeds	amygdalin, prunasin (cyanogenic glucosides), especially high concentration in seeds (5-8%)	Ib-II CT, NT, GI	when seeds are crushed they release HCN which is a strong respiratory poison, higher doses with HCN poisoning symptoms, burning sensation in throat, sweating, abdominal pain, vomiting, red face, salivation, convulsions, respiratory and cardiac arrest
<i>Xanthium strumarium</i> , Asteraceae	seeds, seedlings, leaves	xanthinin, xanthine, carboxyatractylo-side (sesquiterpene lactones)	II CT, IN, AP	terpenoids inhibit ADP/ATP transporter in mitochondria, mainly animal poison (anorexy, haemorrhage, dizziness, weakness, dyspnoea, cardiac arrest), also human fatalities
Metabolic poisons				
<i>Aethusa cynapium</i> (fool's parsley), Apiaceae	all parts	polyacetylenes (aethusin, aethusanol A & B)	Ib CT, NT, GI, IN	polyenes can bind to several proteins, symptoms include burning sensation in mouth, vomiting, diarrhoea, headache, tachycardia, mydriasis, generalized seizures and convulsions, coma, respiratory arrest
<i>Astragalus molissimus</i> (locoweed), <i>A.</i> <i>didymocarpus</i> , <i>A.</i> <i>lentiginosus</i> , <i>A.</i> <i>wootonii</i> , <i>A. calycosus</i> and related species, Fabaceae	aerial parts	hydroxyalkaloids (swainsonine)	II CT, NT	the hydroxyalkaloids inhibit glucosidases and other hydrolases in lysosomes and in the Golgi apparatus, induce structural changes in nerve cells, locoism, livestock act in an irrational and aggressive manner, clumsy gait, seizures, miscoordination, death
<i>Buxus sempervirens</i> (box tree), Buxaceae	box aerial parts	buxine, cyclobuxine and several related steroidal alkaloids	Ib CT, GI, NT, AP, IN	contact dermatitis, initially exciting, later paralysing and hypotensive, nausea, vomiting, dizziness, diarrhoea, spasms, death by respiratory arrest
<i>Chrysanthemum vulgare</i> (tansy) (syn <i>Tanacetum</i> <i>vulgare</i>), Asteraceae	aerial parts, especially flowers	thujone and other monoterpenes	II CT, NT, MA, MP	thujone is neurotoxic and cytotoxic, at higher doses the essential oil causes strong spasms, vomiting, gastroenteritis, convulsions, arrhythmia, mydriasis, uterine bleeding, miscarriage (abortifacient), kidney and liver disturbance, death through cardiac and respiratory arrest

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Cicuta virosa</i> (water hemlock), <i>C. bulbifera</i> , Apiaceae	aerial parts, roots	cicutoxin, cicutol (polyacetylenes)	Ib CT, NT, GI	polyenes can bind to several proteins, symptoms include burning sensation in mouth and throat, nausea, vomiting, stomach pain, large pupils, headache, tremors, epileptiform convulsions, delirium, death by respiratory arrest
<i>Equisetum palustre</i> (marsh horsetail), <i>E. fluviatile</i> , <i>E. hyemale</i> , <i>E. ramosissimum</i> , Equisetaceae	aerial parts	palustrine, palustridine and other alkaloids (up to 0.3%), thiaminase (an enzyme), saponins	II CT, NT, GI, AP	thiaminase destroys vitamin B1, alkaloid affect cholinergic system, mainly known as animal poison for horses and cattle, animals show irritations, muscle tremor, staggering, falling down, death after complete exhaustion
<i>Juniperus sabina</i> , Cupressaceae	all parts, especially young twigs	3-5% essential oil with sabinen and sabinylacetate, thujone, monoterpenes	Ia CT, IN, NT, MA, AP	monoterpenes are cytotoxic, strong skin irritant, symptoms with nausea, excitation, arrhythmia, spasms, respiratory arrest, nephritis, bloody urine, liver intoxication, uterus contraction, central paralysis, previously used as abortifacient (10 drops of oil are lethal)
<i>Lactuca virosa</i> , Asteraceae	all parts, especially latex	lactucin, lactucopicrin (sesquiterpene lactones)	Ib CT, NT, GI, MA, MP	sesquiterpenes can bind to various proteins, skin irritation, symptoms include sedative properties (similarities with opium), strong perspiration, enhanced breathing and cardiac activity, pupil dilatation, dizziness, headache, visual distortions, sleepiness
<i>Ligustrum vulgare</i> (privet), <i>L. lucidum</i> , <i>L. japonicum</i> , Oleaceae	aerial parts, fruits	ligustrin (=syringin), oleuropein and other secoiridoid glycosides	II CT, GI	nausea, vomiting, dizziness, headache, diarrhoea, gastroenteritis, convulsions, circulatory arrest, fatal livestock poisoning (with neurotoxicity)
<i>Narcissus pseudonarcissus</i> (daffodil), <i>N. cyclamineus</i> , <i>N. jonquilla</i> , <i>N. poeticus</i> , <i>N. tazettus</i> and related species, Amaryllidaceae	all parts, especially bulbs	lycorine, haemanthamine, narciclasine, tazettine and other isoquinoline alkaloids, Ca ⁺⁺ -oxalate crystals	Ib-II CT, NT, IN, GI	Ca ⁺⁺ -oxalate and alkaloids cause skin irritation and inflammations (contact dermatitis), alkaloids, with protein biosynthesis inhibitory properties, cause nausea, vomiting, diarrhoea, abdominal spasms, heavy perspiration and death
<i>Nartheicum ossifragum</i> , Nartheceae	all parts	steroidal saponins, nartheicin (sarsasapogenin as aglycon), tannins (10%)	II CT, IN, GI	saponins with haemolytic and cytotoxic properties, hepatitis, edema, causes severe poisoning in sheep, toxin causes secondary photosensibilisation through nartheicin
<i>Oenanthe aquatica</i> (water dropwort), <i>O. crocata</i> , <i>O. sarmentosa</i> , Apiaceae	all parts	oenanthotoxin (polyacetylene), essential oils	Ib CT, NT, GI, IN	polyacetylenes bind to proteins and inhibit them, symptoms include inflammation and blister formation in mouth, inflammation of GI tract, vertigo, coma, seizures with bloody foam, mydriasis, bradycardia, loss of short-term memory, poisonous to humans, cattle, horses and pigs

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Polygonatum multiflorum</i> , <i>P. odoratum</i> , <i>P. verticillatum</i> , Liliaceae	all parts, especially fruits	acetidine 2 carboxylic acid (NPAA), steroidal saponins (diosgenin as aglycone)	II-III CT, NT, GI	NPAAs cause protein failure, only high doses toxic, nausea, vomiting, diarrhoea, cytotoxic, haemolytic, heart and CNS disturbance
<i>Rhamnus cathartica</i> (buckthorn), <i>R. frangula</i> , <i>R. purshiana</i> , Rhamnaceae	bark, berries	frangulin, barbaloin and related anthraquinones, saponins	II CT, GI, MP	powerful laxative, nausea, vomiting, bloody diarrhoea, abdominal pain, even nephritis and collapse, probably mutagenic, as anthraquinones can intercalate DNA
<i>Sambucus ebulus</i> (dwarf elder), <i>S. racemosa</i> , <i>S. australis</i> , <i>S. canadensis</i> , <i>S. pubens</i> , Adoxaceae/ Caprifoliaceae	all parts, especially fruits	ebuloside and other iridoidglycosides, lectins	III CT, GI	iridoid glucosides can bind to various proteins, symptoms include burning of throat, nausea, vomiting, bloody diarrhoea, dizziness, headache, visual problems, cardiac disturbance, death, animal poisoning have been observed
<i>Sium latifolium</i> , <i>S. suave</i> and related species, Apiaceae	all parts, fruits	essential oil (7%) in fruits with limonen, pinen, polyacetylenes	II-III CT, IN, NT, GI	polyacetylenes inhibit proteins, cause gastroenteritis, vomiting, diarrhoea, weakness, nausea, bradycardia and muscle paralysis
<i>Thuja occidentalis</i> , <i>T. orientalis</i> , Cupressaceae	all parts	essential oil with thujone	Ib CT, NT, MA, MP, AP	monoterpenes are cytotoxic, symptoms include nausea, inner bleedings, convulsions, painful diarrhoea, oedema in legs, hepatitis, nephritis, paralysis of CNS, abortifacient, lung oedema, death
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i> , Apocynaceae (Asclepiadaceae)	all parts, especially rhizome	vincetoxin (a mixture of steroid glycosides), tylophorine, amyryn	II CT, NT, GI	salivation, vomiting, diarrhoea, convulsions, respiratory arrest, paralysis of muscles
<i>Viscum album</i> (mistle toe) and related species, Santalaceae	all parts	viscotoxins, lectins, secondary metabolites depend on host plant	II CT, GI, MP	viscotoxins and lectins responsible for cytotoxic and hypotensive effects, substantial GI tract disturbance, nausea, vomiting, diarrhoea, abdominal pain, convulsions
Membrane toxins				
<i>Cyclamen persicum</i> (cyclamen), <i>C. purpurascens</i> and related species, Primulaceae	all parts, especially bulbs	cyclamin and other triterpene saponins	II T, GI	saponins disturb membrane fluidity and are cytotoxic, substantial ingestion causes GI tract disturbance with nausea, vomiting, abdominal pain and spasms, sweating, circulatory disturbance, respiratory arrest
<i>Hedera helix</i> (ivy), <i>H. canariensis</i> and related species, Araliaceae	all parts, especially leaves, fruits	alpha-hederin and other triterpene saponins, sesquiterpenes, falcarinol (a polyacetylene)	II IN, GI, MP	saponins disturb membrane fluidity and are cytotoxic, symptoms include irritation of GI tract, nausea, vomiting, palpitations, exema, dizziness, nervous depression, hypertermia, death by respiratory arrest, mydriasis, skin reactions include rashes, red, swollen skin, blisters, oedema and pain

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Ilex aquifolium</i> (holly) and related species, Aquifoliaceae	leaves and red berries	rutin, ursolic acid, amyrin, uvaol, other saponins, some theobromine	II CT, GI	saponins disturb membrane fluidity and are cytotoxic, nausea, vomiting, diarrhoea, gastroenteritis, abdominal spasms, arrhythmia, paralysis, kidney trouble, cause of allergic reactions
<i>Paris quadrifolia</i> , Trilliaceae/ Melanthiaceae	all parts, especially fruits	paridin, aristyphnin and other steroidal saponins	II-III CT, NT, GI	saponins are haemolytic and cytotoxic when absorbed, sensory irritations, nausea, small pupils, nephritis, CNS disturbance, respiratory arrest
<i>Phytolacca americana</i> (= <i>P. decandra</i>) (pokeweed), <i>P. acinosa</i> (= <i>P. esculenta</i>), <i>P. dioica</i> , <i>P. dodecandra</i> , <i>P. octandra</i> , Phytolaccaceae	roots, leaves	lectins, phytolaccatoxin (triterpene saponins)	II CT, GI	saponins disturb membrane fluidity and are cytotoxic, symptoms include vomiting, diarrhoea, stomach cramps, weakened pulse, in severe cases breathing difficulty, convulsions, death, used as molluscicide
<i>Saponaria officinalis</i> , <i>S. vaccaria</i> , Caryophyllaceae	all parts	triterpene saponins	II-III CT, NT, GI	saponins disturb membrane fluidity and are cytotoxic, higher dose cause nephritis, disturbances of GI tract, livestock poisoning
Inhibitors of protein biosynthesis				
<i>Agrostemma githago</i> (corn cockle), Caryophyllaceae	all parts, seeds	agrostin (lectin), githagin, agrostemic acid (triterpene saponins)	Ib CT, GI, IN	the lectin inhibits ribosomal protein biosynthesis, the saponins are uptake facilitators, symptoms include mucosal irritation, dizziness, vomiting, diarrhoea, respiratory distress, headache, pain in spine, tachycardia, paralysis, coma and death
<i>Amanita phalloides</i> , <i>A. verna</i> , <i>A. virosa</i> , <i>A. bisporigera</i> , <i>A. ocreata</i> , Amanitaceae	fruiting body	cyclopeptides, amatoxins, amantine, phalloidin, phallotoxins	Ia CT, NT, GI	amanitine inhibits protein biosynthesis, phalloidin binds to actin filaments, deadly poisonous, 6-24 h latent period before first symptoms occur, diarrhoea, severe abdominal cramps, nausea, vomiting, liver and kidney failure, death
<i>Ricinus communis</i> (Castor bean), Euphorbiaceae	seeds	ricin (a lectin), ricinine (pyridine alkaloid), ricinolic acid (fatty acid)	Ia CT, IN, GI, MP	oil has been used as a laxative, ricin is very toxic and inhibits protein biosynthesis, parenteral application can cause life-threatening multisystem organ failure, ingestion causes nausea, bloody vomiting, bloody diarrhoea, nephritis, liver damage, convulsions, tachycardia, circulatory arrest, also poisonous for animals (press cake)
<i>Robinia pseudoacacia</i> (black locust), Fabaceae	all parts, especially roots, bark, fruits	robin (a lectin), tannins	Ib CT, GI	the lectin has agglutinating properties and is cytotoxic, nausea, vomiting, diarrhoea, sleepiness, mydriasis, seizures, abdominal pain, parenteral application can cause life-threatening multisystem organ failure, toxic for cattle and horses

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
Microtubule modulators				
<i>Anagallis arvensis</i> (scarlet pimpernel), Primulaceae	all parts, especially roots	cucurbitacin B, arvenin I II and arvenin II (cucurbitacins), triterpene saponins, oxalates	II CT, GI, AP,	cucurbitacins bind to microtubules and are cytotoxic, diuretic, substantial ingestion causes gastrointestinal disturbance, trembling, slightly narcotic, kidney damage
<i>Bryonia dioica</i> (bryony), <i>B. alba</i> and related species, Cucurbitaceae	all parts, especially fruits (red berries), roots	bryonin, bryonidin, bryonicin and other cucurbitacins	Ib CT, IN, GI, MP	cucurbitacins bind to microtubules and are cytotoxic, skin irritant, nausea, vomiting, diarrhoea with blood, strong colic and spasms, kidney inflammation, tachycardia, respiratory arrest
<i>Chelidonium majus</i> (celandine) and related species, Papaveraceae	all parts, reddish latex	chelidonine, chelerythrine, sanguinarine, berberine and other isoquinoline alkaloids	II CT, NT, GI, MP	burning sensation in mouth and throat, nausea, vomiting, bloody diarrhoea, central sedative, spasmodic and narcotic, low pulse, hypotension, cardiac arrest, chelidonine inhibits mitosis and is therefore cytotoxic
<i>Colchicum autumnale</i> (autumn crocus), <i>C.</i> <i>speciosum</i> and related species, Liliaceae	all parts, especially seeds and bulbs	colchicine and related alkaloids	Ia CT, NT, MP, GI	colchicine is a spindle poison, symptoms include nausea, dizziness, burning of throat and stomach, purging, stomach pain, spasms, internal bleeding, strong diuresis, cardiovascular collapse, respiratory arrest
<i>Ecballium elaterium</i> (squatting cucumber), Cucurbitaceae	fruits	cucurbitacin E, I	Ib CT, IN, GI, NT	cucurbitacins bind to microtubules and are cytotoxic, strong purgative causing salivation, vomiting, inflammation of GI tract, abdominal pain, headache, tachycardia, internal bleeding, >0.6 ml juice can be lethal
<i>Taxus baccata</i> (English yew) and related species, Taxaceae	all parts (except red aril of fruits)	taxin A,B,C, taxicin I, II (<i>T. baccata</i>), taxol (<i>T.</i> <i>brevifolia</i>), cyanogenic glucosides	Ia CT, NT, MP	taxol stabilises microtubules and is used in cancer therapy, taxins inhibit K ⁺ and Ca ⁺⁺ channels, symptoms include salivation, vomiting, painful diarrhoea, disturbance of circulation and heart activity, death through respiratory and circulatory arrest
DNA, Alkylants, Intercalators				
<i>Anchusa officinalis</i> (common bugloss), <i>A.</i> <i>caerulea</i> and related species, Boraginaceae	all parts	lycopsamine and other pyrrolizidine alkaloids (PAs)	II CT, NT, MU, GI	PAs alkylate DNA, they are mutagenic and carcinogenic, neurotoxic, liver (veno-occlusive disease) and lung damage
<i>Aristolochia clematitis</i> (birthwort) and related species, Aristolochiaceae	aerial parts	aristolochic acid and related alkaloids, magnoflorine	II CT, GI, MU, MP	aristolochic acid has mutagenic and carcinogenic properties, ingestion can induce vomiting, disturbance of GI tract, tachycardia, hypotension, respiratory arrest

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Cynoglossum officinale</i> (hound's tongue) and related species, Boraginaceae	all parts, flowers	heliosupine, cynoglossine and other PAs	II CT, NT, MU, GI, AP	PAs alkylate DNA, they are hepatotoxic, mutagenic and carcinogenic, substantial ingestion inhibits neuronal activities, paralytic
<i>Dictamnus albus</i> (dittani), Rutaceae	aerial parts	dictamnine and other furoquinoline alkaloids, monoterpenes	II CT, MU, NT, IN, GI	furanocoumarins and alkaloids can inter-calate or alkylate DNA, therefore muta-genic, plant sap is a strong skin irritant, when exposed to sunlight it can cause photodermatitis and contact dermatitis
<i>Echium vulgare</i> (blue weed), <i>E. plantagineum</i> (Paterson's curse) and related species, Boraginaceae	all parts, especially flowers	heliosupine and other PAs	II CT, NT, MU, AP	PAs alkylate DNA, they are mutagenic and carcinogenic, hepatotoxic (veno-occlusive disease), intoxication of sheep has been recorded in Australia
<i>Eupatorium cannabinum</i> , <i>E. perfoliatum</i> , <i>E. rugosum</i> , Asteraceae	all parts	eupatoriopicrin, euparin, sesquiterpene lactones and several pyrrolizidine alkaloids	II CT, NT, MU, AP	PAs alkylate DNA, they have mutagenic and carcinogenic properties, they are transferred from milk to humans, tremor, delirium, death
<i>Pteridium aquilinum</i> (bracken fern), Dennstaedtiaceae	all parts, young shoots	cyanogenic glucosides, ptaquiloside (sesquiterpene), thiaminase	Ib-II CT, NT, GI, MU	ptaquiloside alkylates DNA and is a strong mutagen, it causes stomach and bladder cancer (mostly cattle, also humans), thiaminase destroys vitamin B1 leading to CNS disturbances in animals
<i>Ruta graveolens</i> and related species, Rutaceae	all parts	bergapten, psoralen (fura-nocoumarins), kokusa-genine, skimmianine, rutamine dictamine (quinoline alkaloids)	Ib-II CT, NT, GI, MU, MP	furanocoumarins and alkaloids intercalate and alkylate DNA, strong skin irritant, blister formation, itching, internally: Sali-vation, gastroenteritis, irritation of GI tract, narcotic, abortifacient, haematuria, visual distortions,
<i>Senecio jacobaea</i> (tansy ragwort), <i>S. latifolius</i> (including <i>S. sceleratus</i>), <i>S. douglasii</i> , <i>S. vulgaris</i> , <i>S. verna</i> , <i>S. retrorsus</i> , <i>S. isatideus</i> and <i>S. burchellii</i> and other ragwort species, Asteraceae	all parts, especially flowers	senecionine and other pyrrolizidine alkaloids	II CT, MU, NT, MP	PAs alkylate DNA, they are hepatotoxic (veno-occlusive disease), alkylate DNA and are therefore mutagenic and carcinogenic, inhibits peripheral nerves, important animal poison
<i>Symphytum officinale</i> , <i>S. uplandicum</i> , <i>S. tuberosum</i> , Boraginaceae	all parts, roots	symphytine, echimidine and other pyrrolizidine alkaloids, allantoin	II CT, NT, MU, AP	PAs alkylate DNA, they are hepatotoxic, mutagenic and carcinogenic, inhibits peripheral nerves, hepatotoxic, important animal poison
<u>Irritants of skin and mucosal tissues</u>				
<i>Anemone nemorosa</i> , <i>A. ranunculoides</i> , <i>A. occidentalis</i> , <i>A. patens</i> , <i>A. coronaria</i> and related species, Ranunculaceae	all parts	ranunculin is converted enzymatically to protoanemonin	II CT, NT, IN, GI AP	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms include nausea and CNS disturbance, disturbance of GI tract and kidneys, mutagenic, blistering, ulceration and inflammation of skin, livestock poisoning

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Arum maculatum</i> (cuckoopint), <i>A. italicum</i> , <i>A. palaestinum</i> and related species, Araceae	aerial parts, fruits	aroin, cyanogenic glucosides, saponins, Ca ⁺⁺ oxalate raphides	Ia CT, IN, GI	raphides penetrate mucosal cells, facilitate the entry of toxins, symptoms include skin irritant, blister formation, burning sensation in mouth and throat, cardiac arrhythmia, CNS disturbance, spasms, low body temperature, internal bleeding, disturbance of GI tract
<i>Caltha palustris</i> (marsh marigold), Ranunculaceae	all parts	ranunculin, produces protoanemonin upon hydrolysis, magnoflorine, triterpene saponins	II CT, IN, GI	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms include GI tract and kidney disturbance, mutagenic properties, strong irritant to skin and mucous membranes
<i>Clematis recta</i> , <i>C. alpina</i> , <i>C. vitalba</i> and related species, Ranunculaceae	all parts	ranunculin is converted enzymatically to protoanemonin (2% dry weight)	II CT, IN, GI, AP	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms include irritation of skin and mucous membranes with blistering and ulcerations, nausea, diarrhoea, intestinal bleeding, kidney disturbance, mutagenic
<i>Daphne mezereum</i> (mezeoreon), <i>D. cneorum</i> , <i>D. laureola</i> , <i>D. striata</i> and related species, Thymelaeaceae	all parts, especially red berries	mezerein (phorbol ester), daphnin (coumarin glycoside)	Ia CT, IN, GI	phorbol esters stimulate protein kinase C (PKC), symptoms include skin irritant, burning of throat and stomach, nausea, vomiting, gastroenteritis, internal bleeding, spasms, paralysis, kidney disturbance, bradycardia, coma, circulatory arrest
<i>Euphorbia cyparissias</i> , <i>E. myrsinitis</i> , <i>E. marginata</i> , <i>E. helioscopia</i> , <i>E. lathyris</i> , Euphorbiaceae	all parts, especially latex and seeds	phorbol esters in latex, triterpenoids, <i>E. pulcherrima</i> without phorbol esters	II CT, IN, GI	phorbol esters stimulate protein kinase C (PKC), symptoms include strong skin irritant (blister formation), burning irritation in mouth and throat, vomiting, stomach pain, purgative, bloody diarrhoea, arrhythmia, tinnitus, liver and kidney disturbances, coma, co-carcinogen
<i>Heraclium mantegazzianum</i> , <i>H. sphondylium</i> , Apiaceae	all parts	8-methoxy psoralen and other furanocoumarins	II CT, IN, MU, GI	furanocoumarins intercalate DNA and form crosslinks upon illumination with sun light, strongly cytotoxic, leads to serious blister formation of the skin, used in phytotherapy for psoriasis treatment
<i>Oxalis acetosella</i> (wood sorrel), <i>O. pes-caprae</i> , <i>O. corniculata</i> and related species, Oxalidaceae	all parts	Ca ⁺⁺ -oxalates (up to 1.3%)	II CT, IN	irritation of mucosa and GI tract, higher doses cause bradycardia, hypotension, spasms, central paralysis, circulatory arrest, death
<i>Pulsatilla pratensis</i> (pasque flower), <i>P. vulgaris</i> and related species, Ranunculaceae	all parts	ranunculin is converted enzymatically to protoanemonin, saponins	II IN, CT, AP, MP, MU	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms include GI tract and kidney disturbance, mutagenic, blistering and inflammation of skin

SCIENTIFIC NAME (COMMON NAME), FAMILY	HAZARDOUS PLANT PARTS	ACTIVE PRINCIPLE	TOXI- CITY CLASS	MODE OF ACTION, SYMPTOMS
<i>Ranunculus acris</i> (buttercup), <i>R. bulbosus</i> , <i>R. sceleratus</i> , <i>R.</i> <i>multifidus</i> and related species, Ranunculaceae	all parts	ranunculin is enzymatically converted to the active protoanemonin	Ib-II CT, IN, MU, GI	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms include severe skin and mucosal irritation with blisters and ulceration, internally, diarrhoea, abdominal pain, tinnitus, headache, dizziness, seizures, tachycardia, nephritis, death from respiratory and cardiac arrest
<i>Trollius europaeus</i> , Ranunculaceae	all parts	ranunculin is enzymatically converted to the active protoanemonin	Ib-II CT, IN, MU, GI	protoanemonin can bind to various proteins, symptoms severe skin irritation with blisters and ulceration, internally, colic, tinnitus, headache, unconsciousness, tachycardia, diarrhoea, nephritis, abdominal pain, death

References

- Aguiar, R., Wink, M. (2005a): How do slugs cope with toxic alkaloids. *Chemoecology* 15, 167-177.
- Aguiar, R., Wink, M. (2005b). Do naïve ruminants degrade alkaloids in the rumen? *J. Chemical Ecology* 31, 761-787.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. (2008): *Molecular biology of the cell*. 5th edit. Garland Science, NY.
- Aufreiter, S., Mahaney, W.C., Milner, M.W., Hancock, R.G.V., Ketch, L., Malloch, D., Huffman, M.A., Reich, M., Wink, M., Sodhi, R. (2001): Mineralogical and chemical interactions of soils eaten by chimpanzees of the Mahale Mountains and Gombe Stream National Parks, Tanzania, *J. Chemical Ecology* 27, 285-311.
- Mahaney, W.C., Zippin, J., Milner, M.W., Sanmugadas, K., Hancock, R.G.V., Aufreiter, S., Campbell, S., Huffman, M.A., Wink, M., Malloch, D. (1999): Chemistry, mineralogy and microbiology of termite mound soil eaten by the chimpanzees of the Mahale Mountains, Western Tanzania *Journal of Tropical Ecology*; 15, 565-588.
- Mutschler, E., Geisslinger, H., Kroemer, H.K., Ruth, P., Schäfer-Korting, M. (2008): *Mutschler-Arzneimittelwirkungen. Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie*. 9th edit., WVG, Stuttgart,
- Schmeller, T., Latz-Brüning, B. and Wink, M. (1997): Biochemical activities of berberine, palmatine and sanguinarine mediating chemical defence against microorganisms and herbivores. *Phytochemistry* 44, 257-266.
- Wink, M. (1988): Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical Applied Genetics* 75, 225-233.
- Wink, M. (1992): The Role of quinolizidine alkaloids in plant insect interactions. In *Insect- plant interactions* (E.A. Bernays, eds), Vol. IV, 133-169, CRC-Press, Boca Raton.
- Wink, M (1993a): Allelochemical properties and the raison d'être of alkaloids. In *The Alkaloids*, G. Cordell, (ed.), Academic press, vol. 43, 1-118.
- Wink, M. (1993b): Production and application of phytochemicals from an agricultural perspective. In *Phytochemistry and agriculture*, T.A. van Beek, H. Breteler, (eds.) *Proc. Phytochem. Soc. Europe* Vol 34, pp 171-213, Oxford University Press.
- Wink, M. (1997): Compartmentation of secondary metabolites and xenobiotics in plant vacuoles. *Adv. Bot. Res.* 25, 141-169.
- Wink, M. (1999a): *Biochemistry of plant secondary metabolism*, Sheffield Academic Press, Annual Plant Reviews Vol. 2.
- Wink, M. (1999b): *Function of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology*. Sheffield Academic Press, Annual Plant Reviews, Vol. 3.
- Wink, M. (2000): Interference of alkaloids with neuroreceptors and ion channels. *Bioactive Natural Products* 11, 3-129.

- Wink, M. (2003): Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry* 64, 3-19.
- Wink, M. (2005): Wie funktionieren Phytopharmaka? Wirkmechanismen der Vielstoffgemische. *Zeitschrift für Phytotherapie* 26, 271-274.
- Wink, M. (2007a): Molecular modes of action of cytotoxic alkaloids- From DNA intercalation, spindle poisoning, topoisomerase inhibition to apoptosis and multiple drug resistance. In *The Alkaloids*, G. Cordell, (ed.), Elsevier, Vol. 64, 1-48.
- Wink, M. (2007b): Importance of plant secondary metabolites for protection against insects and microbial infections. In *Naturally occurring bioactive compounds: A new and safe alternative for control of pests and diseases*, C. Carpinella, M. Rai (eds.) pp. 251-268.
- Wink, M. (2007c): Bioprospecting: The search for bioactive lead structures from nature. In *Medical Plant Biotechnology. From basic research to industrial applications*. O. Kayser and W. Quax (eds.), Wiley-VCH. Vol. 1, pp. 97-116.
- Wink, M. (2008a): Plant secondary metabolism: diversity, function and its evolution. *Natural Products Communications* 3, 1205-1216.
- Wink, M. (2008b): Ecological roles of alkaloids. In *Modern Alkaloids. Structure, isolation, synthesis, and biology*. E. Fattorusso, Tagliatela-Scafati (eds.) Wiley-Vch, Weinheim, pp 3-24.
- Wink, M. (2008c): Evolutionary advantage and molecular modes of action of multi-component mixtures in phytomedicine. *Current Drug Metabolism* 9,996-1009.
- Wink, M., Schmeller, T., and Latz-Brüning, B. (1998): Modes of action of allelochemical alkaloids: Interaction with neuroreceptors, DNA and other molecular targets. *J. Chemical Ecology* 24, 1881-1937.
- Wink, M. and Van Wyk, B.E. (2008): *Mind-altering and poisonous plants of the world*. BRIZA, Pretoria (SA).

Veröffentlichungen des JKI

Das **Julius-Kühn-Archiv** setzt die seit 1906 erschienenen Mitteilungshefte, eine Reihe von Monographien unterschiedlichster Themen von Forschungsarbeiten bis zu gesetzlichen Aufgaben fort. Alle bisher erschienenen Ausgaben sind OPEN ACCESS kostenfrei im Internet zu lesen.

Öffentlichkeit und Fachwelt versorgen wir zusätzlich mit verschiedenen Informationsangeboten über alle Aspekte rund um die Kulturpflanzen. Hierfür stehen verschiedene Broschüren, Faltblätter, Fachzeitschriften und Monographien aber auch verschiedene Datenbanken als Informationsressourcen zur Verfügung.

Für die Allgemeinheit sind vor allem die Faltblätter gedacht, die über Nützlinge im Garten, aber auch über spezielles wie den Asiatischen Laubholzbockkäfer informieren. Außerdem ist der regelmäßig erscheinende Jahresbericht allgemein interessant, vor allem mit den umfassenden Artikeln zu besonderen Themen, die Sie aber auch im Internet auf den thematisch dazugehörigen Seiten finden.

Seit 2009 wird vom Julius Kühn-Institut als wissenschaftliches Fachorgan das **Journal für Kulturpflanzen – Journal of Cultivated Plants** (vormals Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes) monatlich herausgegeben (<http://www.journal-kulturpflanzen.de>).

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <http://www.jki.bund.de> im Bereich Veröffentlichungen.

Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@jki.bund.de) gern beantworten.

Anschrift für **Tauschsendungen**:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plait:

Para el **canje** dirigirse por favor a:

Informationszentrum und Bibliothek
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Königin-Luise-Straße 19
D-14195 Berlin, Germany
E-Mail: ib@jki.bund.de

Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft - Grundlagen und Anwendung Zur Verabschiedung von Dr. Hans-Joachim Pelz in den Ruhestand

Am 3./4. Juni 2008 fand am Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, ein Symposium zur Wirbeltierforschung in der Kulturlandschaft statt. Das Symposium wurde von der Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung am Standort Münster organisiert und diente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus verschiedenen Bereichen des Arbeitsgebietes (Natur-, Tier-, Pflanzen-, Gesundheitsschutz, Wildtierforschung usw.) als Möglichkeit zum Ideenaustausch.

Es war Ziel des Symposiums, eine enge Verknüpfung an der Schnittstelle von Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu unterstützen. Nur durch eine breite und gut abgesicherte Wissensbasis kann das Management von Wirbeltieren in der Kulturlandschaft den Anforderungen der unterschiedlichen Bereiche wie z.B. Pflanzen- und Naturschutz gerecht werden. In diesem Band finden sich Beiträge zu Amphibien, Vögeln und Säugetieren in der Kulturlandschaft im In- und Ausland, die beispielhaft die Bedeutung und Vielfalt der Wirbeltierforschung und das Potenzial für Synergien demonstrieren.

Das Symposium war der feierlichen Verabschiedung des langjährigen Mitarbeiters Dr. Hans-Joachim Pelz in den Ruhestand gewidmet. Dr. Pelz war als Gründungsmitglied der Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung von 1979 bis 2008 am Institut tätig und hat in dieser Zeit das Fachgebiet der angewandten Wirbeltierforschung im Pflanzenschutz in Deutschland und international entscheidend geprägt. Seine wissenschaftliche Leistung ist durch eine Vielzahl von Fachpublikationen dokumentiert. Besonders die Forschung zur Rodentizidresistenz kommensaler Nager hat Herr Dr. Pelz in seiner Laufbahn vorangetrieben und die Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung in diesem Forschungsbereich international etabliert. An dieser Stelle sei ihm herzlich für seine Forschungsarbeit und den Aufbau und Pflege des Forschungsbereiches Wirbeltierforschung im Julius Kühn-Institut gedankt.

Vertebrates in man-made landscapes - basic research and application Dedicated to Dr. Hans-Joachim Pelz

The symposium on vertebrate research in man-made landscapes was conducted on 3-4 June 2007 at the Federal Research Centre for Cultivated Plants – Julius Kühn-Institute, Institute for Plant Protection in Horticulture and Forests. It was organized by the vertebrate research group in Münster. The symposium provided a platform for scientists with diverse backgrounds (e.g., conservation, plant protection, health protection, wildlife research) to exchange ideas and to establish cooperation.

The symposium aimed to foster a network at the interface of basic and applied research. Detailed knowledge of ecological issues, agronomy, environmental awareness and socio-cultural aspects is a vital prerequisite to make informed decisions in vertebrate management that meet the requirements of plant protection, conservation and other stakeholders. In the proceedings of the symposium contributions about amphibians, birds, rodents and other mammals are presented that demonstrate the diversity of vertebrate research and the potential for mutual stimulation of basic and applied vertebrate research.

The symposium was dedicated to Dr. Hans-Joachim Pelz, a colleague of many years who retired in June 2008. Dr. Pelz had worked as founding member in the vertebrate research group since 1978 and he shaped the field of applied vertebrate research in plant protection in Germany and internationally. His scientific achievements are reflected in a large number of publications. Especially his internationally outstanding studies of rodenticide resistance of commensal rodents have created a solid foundation for many years of prolific research and helped to establish the vertebrate research group in Münster as a well known centre of applied rodent research. Sincere thanks are given to him for his highly appreciated contributions to applied rodent research.