



■ Schädel eines weiblichen Leichnams, entdeckt bei Gartenarbeiten auf dem Hofareal einer ehemaligen Metzgerei. Handelt es sich um die französische Gastarbeiterin, die vor nahezu 60 Jahren auf mysteriöse Weise verschwand? Ist es ein Fall für die Rechtsmedizin oder eher für die Archäologie? In diesem Fall bleiben Identität und Todesursache unbekannt.

Interessante Parameter, die den zeitlichen Ablauf der Verwesung beeinflussen, sind vor allem die Todesursache, das Habitat oder die Zugänglichkeit für Insekten. Untersucht werden unter anderem die Einflüsse von Trockenheit, Temperatur, Insektenbefall sowie Fraß durch Raub-, Nage- und andere Wirbeltiere. In den letzten Jahren geraten auch Mikroorganismen und die Chemie des als Untergrund dienenden Bodens in den Fokus des Interesses. War die bodenkundliche Untersuchung bislang vor allem von Bedeutung, wenn es um eine Verknüpfung von Tatort und Täter ging (beispielsweise durch den Vergleich der Erde im Schuhprofil des Verdächtigen mit dem Erdreich des Tatortes), analysieren Rechtsmediziner nun zunehmend die im Boden lebenden Organismen. So lassen sich Liegezeiten von Leichen, die an der Oberfläche oder im Erdreich liegen, eingrenzen.

#### Verwesung verändert das Mikroklima des Bodens

Mit der Verwesung eines Leichnams sind mikroklimatische Effekte verbunden, die einen enormen Einfluss auf das Ökosystem Boden haben – nicht zuletzt aufgrund des damit verbundenen Nährstoffeintrags. Der aufliegende Körper und die austretenden Kadaverflüssigkeiten sind verantwortlich für das Entstehen einer sogenannten »Verwesungsinsel« (Cadaver Decomposition Island). Auf und innerhalb dieser Insel verändern sich die Lebensbedingungen von Bodenorganismen grundlegend. Sie reagieren auf die natürliche Störung und bewirken damit zwangsläufig Veränderungen in der biologischen und funktionellen Vielfalt des Ökosystems Boden, die messbar und überprüfbar sind. Mit fortschreitender Verwesung und zunehmender Skelettierung nimmt der Eintrag ab, und es ist eine graduelle Rückkehr zu »normalen« Bedingungen zu erwarten. Dies bedeutet letztlich, dass die Analyse der Verwesung eines Kadavers und der sich im Folgenden abspielenden Veränderungen im Erdreich Möglichkeiten zur Eingrenzung von Leichenliegezeiten bieten. Überraschenderweise liegen bislang nur wenige Daten zum Einfluss eines Leichnams auf die sich unter ihm befindliche Flora und Fauna vor. Erst seit wenigen Jahren werden exemplarisch Bakterien und Pilze und deren Artenvielfalt im Erdreich mit molekularbiologischen Methoden analysiert. Ziel ist es, für den jeweiligen Fundort ein einzigartiges Bodenprofil zu erstellen.

#### Die Schalenamöbe als Indikator

In einem für den deutschsprachigen Raum einmaligen Kooperations-Projekt versuchen Frankfurter und Schweizer Wissenschaftler erstmals forensisches und bodenbiologisches Know-how zusammenzuführen, um der Frage nach länger zurückliegenden Todeszeiten nachzugehen. Dabei steht eine Organismengruppe im Mittelpunkt, deren Existenz sicher vielen unbekannt ist: die Schalenamöben. Diese Einzeller haben auf den ersten Blick nur noch wenig mit der klassischen amöboiden Form gemein, die sich laufend verändert. Wie der Name schon verrät, besitzen Schalenamöben eine

von Ildikò  
Szelec und  
Jens Amendt

Den Todeszeitpunkt einer Leiche zu ermitteln, die über Tage und Wochen im Wald gelegen hat, ist nicht so einfach, wie der sonntägliche Tatort im Fernsehen es suggeriert. Bereits nach 24 bis 48 Stunden sind die klassischen Methoden wie die Beurteilung von Leichenstarre und Totenflecken oder das Messen der Körpertemperatur ohne Aussagekraft. Längere Zeiträume können wissenschaftlich fundiert nur dann eingegrenzt werden, wenn sich Aas fressende (nekrophage) Insekten auf dem Körper befinden. Bestimmt man ihr Alter, kann man die minimale Leichenliegezeit im optimalen Fall noch vier bis sechs Wochen nach Todeseintritt auf den Tag genau eingrenzen. Schwierig wird es, wenn bis zur Entdeckung eines Leichnams viele Wochen oder Monate vergehen. Hier stößt die Insektenkunde an ihre Grenzen, und die Ermittler sind auf andere Möglichkeiten zur genauen Eingrenzung der Liegezeit angewiesen. Sie erhoffen sich von einer Wissenschaft Hilfe, die vor allem in der Archäologie Verwendung findet: der Taphonomie. Ihr Gegenstand sind die Verwesungs- und Fossilisierungsprozesse eines Organismus.

nicht verformbare organische Schale (Theca), die mit einer Öffnung versehen ist, durch die die Scheinfüßchen (Pseudopodien) herausgestreckt werden können. Auf diese Weise bewegt sich die Amöbe fort oder nimmt Nahrung auf. Die Schalen sind sehr unterschiedlich in ihrer Morphologie und Größe (zwischen 10 und 500 Mikrometern), so dass eine Identifizierung einzelner Arten möglich ist. 2000 Arten sind bisher beschrieben, und normalerweise können in einer Bodenprobe 10 bis 30 verschiedene Arten identifiziert werden. Die Häufigkeit variiert je nach Habitat und Lebensbedingungen. In einem Gramm Torftrockenmasse befinden sich zum Beispiel bis zu 10 000 Individuen.

Ihre weltweite Verbreitung in den unterschiedlichsten Lebensräumen und ihre kurze Generationszeit hat die Schalenamöbe in der Ökologie zu einer beliebten Indikatorgruppe werden lassen. Sie erlaubt beispielsweise Aussagen zur Bodenqualität. Verschlechtern sich ihre Lebensbedingungen – etwa durch eine Änderung des Nahrungsangebots, Sauerstoffmangel, pH-Änderung oder Austrocknung des Lebensraumes – wenden Schalenamöben eine geschickte Lebensstrategie an. Sie entwässern das Cytoplasma und bilden eine Ruhezyste. In diesem Stadium können sie monatelang überdauern. Verschlechtern sich die Lebensbedingungen jedoch noch stärker, sterben die Amöben ab. Ein großer Vorteil gegenüber anderen Bodenorganismen ist dabei der Fortbestand der Schale nach dem Tod der Amöbe. Das erlaubt, über einen längeren Zeitraum Aussagen über das Verhältnis von toten und lebenden Schalenamöben zu machen.

Im Deutsch-Schweizer Kooperationsexperiment wird die Wirkung verwesender Schweinekadaver auf die Gemeinschaft der Schalenamöben untersucht. Die Verwesung eines solchen toten Körpers kann in verschiedene Stadien eingeteilt werden, die je nach Bedingungen in ihrer Zeitdauer variieren **■**: frisch (bis zum Beginn des Aufblähens), gebläht (der Körper wird durch sich entwickelnde Gase aufgebläht), aktive Fäulnis (die Fliegenmaden dringen durch die Haut ein), fortgeschrittene Fäulnis (es ist kaum noch Fleisch vorhanden) und trockenes Stadium (nur noch ausgetrocknete Haut und Knochen sind übrig). Andere Autoren konnten unter einem verwesenden Kadaver einen Anstieg der mikrobiellen Biomasse und der mikrobiellen Aktivität nachgewiesen. Darüber hinaus nimmt die Konzentration an Ammonium, Phosphor, Kalzium, Kalium, Sulfat, Magnesium, Chlorid, Natrium, Schwefel und Mangan zu.

### Tote Schweine im Buchenwald

Bei diesem Experiment konnte auf verschiedene ökologische Untersuchungen zurückgegriffen werden, die sich mit den Auswirkungen von biotischen und abiotischen Faktoren auf die Population der Schalenamöben beschäftigen. So zeigte eine Untersuchung in Alaska, dass sich die Amöbendichte in Sphagnumproben (Torfmoos) durch den hohen Gehalt an Stickstoff und Phosphor um 77 Prozent reduziert [siehe »Schalenamöben als Indikator-Organismen«]. Es war somit zu erwarten, dass auch der mit der Verwesung einhergehende Nährstoffeintrag sich auf die Amöbenpopulation unter dem Kadaver auswirkt. In einer Pilot-Studie wurden ab August 2009 in einem Buchenwald in Neuchâtel (Schweiz) in verschiedenen Zeitabstän-

## Schalenamöben als Indikator-Organismen

### Arcella

*Arcella*-Arten sind sehr häufig in aquatischen Habitaten zu finden. Es kommen allerdings auch Arten in trockenen Moosen und im Laub vor, wie die hier abgebildete Art *Arcella arenaria*. Sie gehören zur Gruppe der Schalenamöben mit lobosen (fingerförmigen) Pseudopodien. Ihre komplett organische und radiärsymmetrische Schale besitzt eine in der Mitte liegende Mundöffnung, die von regelmäßig aufeinanderfolgenden Poren umringt ist. Das Cytoplasma füllt die Schale nicht komplett aus, sondern ist mit Epipodien an die innere Schalenwand geheftet. Junge Schalen sind farblos und werden mit zunehmendem Alter aufgrund von Eisen- und Manganeinlagerungen braun. Der Durchmesser der Schale liegt bei 70 bis 95 Mikrometern.



### Euglypha

*Euglypha*-Arten besitzen eher gewölbte Schalen, die zum Beispiel ei- oder birnenförmig sein können, und gehören zur Gruppe der Schalenamöben mit fadenförmigen (fadenartigen) Pseudopodien. Ihre Schalen sind durchsichtig und mit kleinen sich überlappenden kieselhaltigen Plättchen bedeckt, die in Reihen angeordnet sind. Hier ist die Mundöffnung terminal und von gezähnelten Mundplättchen umringt, die ein wichtiges Merkmal bei der Bestimmung der Art darstellen. Einige Arten besitzen auch Stacheln. Im Boden sind sowohl kleine *Euglypha*-Arten wie *Euglypha rotunda* mit einer Länge von 25 bis 50 Mikrometern als auch größere Arten wie *Euglypha compressa* mit einer Länge von 70 bis 130 Mikrometern zu finden.



den Laubproben von drei circa 50 Meter auseinander liegenden Flächen entnommen. An jeder dieser drei Probenflächen befanden sich eine Kontrollstelle (nur Laub), eine Fläche mit einem mit Erde gefüllten Sack (sogenanntes »falsches Schwein«) und eine Fläche mit einem unmittelbar aufliegenden Schweinekadaver. Die Boden- und Laubproben wurden entsprechend präpariert, die lebenden Zellen angefärbt und die Schalenamöben morphologisch unter dem Mikroskop identifiziert und ausgezählt.

### Unter dem Kadaver sterben Schalenamöben

Wie wirken sich diese mit den Verwesungsstadien einhergehenden Prozesse auf die Zusammensetzung der Schalenamöbengemeinschaft aus? Die Messung des pH-Wertes ergab nach acht Tagen einen Anstieg von pH 7 bis 8 unter dem Schweinekadaver im Vergleich zu pH 5 bis 6 bei der Kontrolle und dem »falschen Schwein«. Die Lebensbedingungen für die Schalenamöben hatten sich so verschlechtert, dass nicht einmal ein Überdauerungsstadium mehr möglich war: Die Auszählung der Amöben ergab, dass unter dem verwesenden Schweinekadaver bereits nach 22 Tagen, im Stadium der fortgeschrittenen Fäulnis, alle Schalenamöben tot waren. **■** Von den insgesamt 15 identifizierten Arten dominierten drei Taxa [siehe »Schalenamöben als Indikator-Organismen«] die Gemeinschaft der Schalenamöben mit über 70 Prozent, dies sowohl bei der Kontrolle, dem »falschen

### Literatur

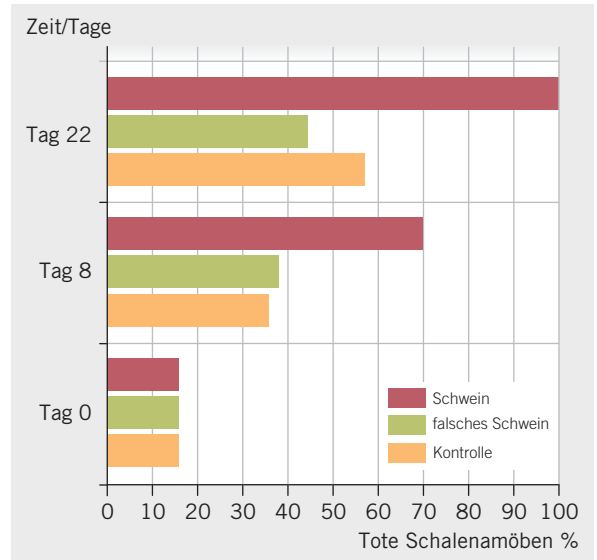
Mitchell EAD, Charman DJ, Warner BG (2008) *Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future* Biodiversity and Conservation 17: 2115–2137.

Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M (2007) *Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems* Naturwissenschaften 94: 12–24.





Verwesungsstadien bei Schweinekadavern.



Mit zunehmender Verwesungszeit nimmt auch die Zahl der Schalenamöben unter einem Kadaver ab. Das Verhältnis zwischen toten und lebendigen Schalenamöben könnte deshalb ein guter Anhaltspunkt für die Ermittlung von Leichenliegezeiten sein.

Schwein« und unter dem Kadaver. Dass auch bei der Kontrollgruppe die Sterblichkeitsrate anstieg, kann mit der Austrocknung des Bodens und des Laubs während des Sommers erklärt werden. Schalenamöben reagieren auf die jahreszeitlich bedingte Abnahme der Bodenfeuchtigkeit durch Verschiebungen in Häufigkeit und Artenvielfalt. Weitere Probenentnahmen und Analysen werden zeigen, ob und wann sich die Gemeinschaft der Schalenamöben wieder erholt und welche Zeiträume dafür benötigt werden. Eine entsprechende Charakterisierung dieses zeitlichen Verlaufs über mindestens ein Jahr soll dann dabei helfen, mit entsprechenden Referenzwerten zur Artenzusammensetzung und -häufigkeit eine Aussage zur Leichenliegezeit zu machen.

Andere Studien weisen darauf hin, dass Veränderungen der Lebensbedingungen einen Einfluss auf Schalenmorphologie und Größe der Schalenamöben haben können. Um diese Ergebnisse jedoch aussagekräftig darstellen zu können, müssen diese Parameter ebenfalls über einen längeren Zeitraum untersucht und dokumentiert und andere Einflussfaktoren mit in Betracht gezogen werden, wie zum Beispiel Bodenfeuchtigkeit und Bodendichte. ♦

#### Die Autoren

**Ildikó Szelec** studierte Biologie (Diplom) an der Universität Frankfurt. Zurzeit schreibt sie ihre Diplomarbeit am Institut für Rechtsmedizin der Goethe-Universität. In Kooperation mit der Universität Neuchâtel, Schweiz, untersucht sie Bodenorganismen, mit deren Hilfe sich Leichenliegezeiten auch noch nach längeren Zeiträumen zuverlässig ermitteln lassen.

**Dr. Jens Amendt**, 44, studierte Biologie an der Universität Frankfurt und promovierte am Forschungsinstitut Senckenberg. Seit neun Jahren arbeitet er in der Frankfurter Rechtsmedizin und erforscht dort die Biologie und Ökologie von Leicheninsekten.

szelec@web.de  
amendt@em.uni-frankfurt.de  
www.rmif.de/index.php?page=672