

Nur die Hellsten überleben

Survival of the Brightest

TEXT
Tina Schäfer

PHOTOS
Heinz Köhler

Die Klimaerwärmung verändert die Tierwelt. Biologe Heinz Köhler untersucht an der Schnecke *Theba pisana*, wie sich Arten an steigende Temperaturen anpassen. Im Fokus stehen dabei Schneckenschalen und ihre Farbvarianten.

// Climate change also affects wildlife. Biologist Heinz Köhler is examining how the *Theba pisana* snail adapts to rising temperatures. His research is focused on shells and their different color variations.

> deutsch

//_____ Ein kleiner Raum im Untergeschoss eines Instituts an der Universität Tübingen. Auf Regalen stehen akkurat beschriftete Schraubgefäße: von „Lanzarote“ über „Toscana/Fosso Chiarone“ bis „Belgien/De Haan“. Ihr Inhalt: Tausende Schnecken in Alkohol. Diese Tiere, Landlungenschnecken der Art *Theba pisana*, sind die Forschungsobjekte von Heinz Köhler, Professor für Physiologische Ökologie der Tiere. Hauptaspekt seiner Arbeit ist die Ökotoxikologie. Er erforscht die Auswirkungen von Umweltbelastungen wie Chemikalien oder Mikroplastik auf Organismen, von biochemischen Änderungen bis zur ganzen Population. Am Beispiel von *Theba pisana* aber nimmt er die globale Erwärmung in den Blick. Steigende Temperaturen sind auch für die Fauna ein Problem. Wie genau Tiere mit Hitze umgehen, untersucht Köhler mit seinem Team im „Hot Snail Project“ bis ins kleinste Detail.

Theba pisana ist vor allem im Mittelmeerraum verbreitet und kommt in milden Küstenklimata vor, von der schottisch-englischen Grenze im Norden bis zu den Kanaren und Israel im Süden. Dabei neigen die Tiere mit Schalendurchmesser von bis zu 2,5 Zentimetern zu Massenvorkommen. Abertausende leben auf einem Hektar Land. Interessant für Köhlers Gruppe ist besonders die Pigmentierung der Schalen. „Es gibt ganz unterschiedliche Färbungen“, erklärt der Biologe, „helle und dunkle Individuen und viele Variationen dazwischen.“ →



”
Die Schnecken sterben nicht aus, aber sie werden künftig in weniger Variationen auftreten.

The snails will not become extinct, but there will be fewer variations in the future.

“

Zur Abkühlung
 auf den Grashalm

Schon seit über 15 Jahren befasst sich der Biologe mit der Hitzetoleranz von Schnecken. Dass sie in Bezug auf den Klimawandel aufschlussreich sein könnten, hat er selbst an ihrem Verhalten beobachtet. Nachts, wenn es kühl ist, hält sich *Theba pisana* am Boden auf. Mit zunehmender Erwärmung klettert die Schnecke auf Gräsern oder Ästen nach oben, wo es kühler ist und womöglich ein Lufthauch weht. Köhler hat zusammen mit Professor Ulrich Gärtner von der Hochschule Esslingen die thermodynamischen Vorgänge in der Schneckenschale bei Erwärmung exakt vermessen; er weiß, wie die Schnecke darauf physiologisch reagiert und welche biochemischen Prozesse angestoßen werden.

Auch die unterschiedliche Farbgebung der Tiere hat sich sein Team genauer angesehen. Dazu nutzte es einen Datensatz aus Wales, in dem die Färbung dortiger Schnecken über Jahrzehnte erfasst wurde, und korrelierte diesen mit Klimadaten aus der Region. So konnten die Biologen zeigen, dass die Variation in der Färbung immer dann größer wurde, wenn die Temperaturen eines Jahres höher waren. „Es war aber nicht so, dass eine Gruppe – hell oder dunkel – spezifisch gefördert wurde“, betont Köhler. „Diese Farbvariation ist im Rahmen der phänotypischen Plastizität gut möglich und lässt sich auch auf molekularer Ebene erklären.“

Bei den Folgen des Klimawandels geht es aber nicht um eine Variation im Rahmen des möglichen Farbspektrums, sondern um einen veränderten Selektionsdruck bei steigenden Temperaturen. Hier wollen die Forscher wissen: Ist die Schnecke physiologisch überhaupt in der Lage, auf die Erderwärmung zu reagieren? „Wenn nicht, muss sie entweder wandern, sich evolutiv verändern oder aussterben“, so Köhler. Und was heißt das für die verschiedenen Farbvarianten?



01 Die Schnecke *Theba pisana* klettert an warmen Tagen auf Gräsern nach oben. // The snail *Theba pisana* climbs up blades of grass on warm days.
 02 Im Feldexperiment wurde das Verhalten von insgesamt 11.000 Schnecken beobachtet. // In the field experiment, the behavior of 11,000 snails was observed.
 Photos: Heinz Köhler
 03 Professor Heinz Köhler
 Photo: Friedhelm Albrecht

Der Einfluss der Schalenfarbe auf die Körpertemperatur war bisher umstritten. Zwar ist bekannt, dass Dunkles mehr Strahlung absorbiert, pigmentierte Schnecken stärker belastet werden. Maßgeblich ist jedoch der Emissionskoeffizient eines Objekts. Er gibt an, wie stark sich ein Material – bei der Schneckenschale vor allem Kalziumkarbonat – bei elektromagnetischer Einstrahlung erwärmt. Unklar war bislang, ob die Farbunterschiede biologisch relevant sind oder ob sie die Körpertemperatur der Tiere nur gering beeinflussen und deshalb für das Überleben der Schnecke keine Rolle spielen.

Freilandexperiment
 in Südfrankreich

Um das herauszufinden, führte Köhler zusammen mit der Tübinger Professorin Rita Triebkorn und Partnern am französischen Forschungsinstitut INRA und der Universität Avignon, Dr. Yvan Capowiez und Dr. Christophe Mazzia, ein Freiluftexperiment in Südfrankreich durch. Über fünfzig Open Top Chambers wurden aufgestellt, schuhkartongroße, oben offene Boxen aus Plexiglas, die wie kleine Treibhäuser wirken und das Innere um drei bis vier Grad erwärmen. Dort lebende Schnecken wurden gesammelt und in den Kisten verteilt. Bei einigen färbten die Forscher die Schalen ganz oder teilweise dunkel, um den Einfluss der Farbe zu untersuchen.

„Wir haben etwa 11.000 Tiere über vier Wochen beobachtet“, berichtet Köhler, „ein Fünftel in Kisten, vier Fünftel im Feld.“ Regelmäßig wurde kontrolliert: Wie viele Schnecken sind geklettert? Wie viele haben nicht überlebt? Hinzu kamen wöchentliche Messungen bei mehreren hundert Tieren, teils mit einem Nadelthermometer, teils mit einer hochauflösenden Wärmebildkamera, mit der sich die

Temperaturverteilung und -entwicklung in der Schnecke genau nachvollziehen lässt. Zudem wurden Tiere in Tübinger Labors mit biochemischen Methoden auf Protein- oder Membranschäden in ihren Zellen untersucht.

So ließ sich zeigen, dass die Färbung einen entscheidenden Unterschied ausmacht. Schwarz gefärbte Individuen in den Kisten überlebten schlechter, manche konnten nach einigen Tagen nicht einmal mehr dem heißen Boden entkommen. Auch im Freiland war die Mortalitätsrate bei gestreiften und damit dunkleren Tieren höher. In kühler Laborumgebung gediehen die Schnecken hingegen gut.

19.000 Schneckenschalen
 aus ganz Europa

Starke Pigmentierung ist auch deshalb ein Selektionsnachteil, weil *Theba pisana* sich erst am Lebensende fortpflanzt. „Wenn die pigmentierten Tiere zu einem höheren Anteil sterben, bevor sie sich reproduzieren können, müsste die Frequenz der dunkleren Tiere bei fortschreitender Klimaerwärmung über die Jahre abnehmen“, so Köhlers Annahme. Mit einer umfassenden Erhebung überprüfte der Biologe, ob dies in Regionen eingetreten ist, die heute so heiß sind wie es Klimamodelle für den Untersuchungsort bei Avignon vorhersagen.

Dazu schrieb er Universitäten und Forschungseinrichtungen im Verbreitungsgebiet von *Theba pisana* an und bat um „Schneckenpost“. Mit Erfolg: Rund 19.000 Tiere aus ganz Europa wurden nach Tübingen geschickt – sie sind es, die im Instituts Keller konserviert werden. Zuvor wurden die Schalen vermessen und der Grad ihrer Färbung erfasst.

Die Daten übergab Köhler seinem Kollegen Dr. Henri Thomassen. Der Zoologe erstellt räumliche Modelle auf Basis von Umweltdaten wie Temperatur, Niederschlag und Vegetation, in diesem Fall von den Herkunftsorten der Schnecken. Ziel war es, Zusammenhänge zwischen den Umweltbedingungen und der Pigmentierung der Schalen zu finden. Mit Einbezug der Vegetationsdichte sollte eine weitere umstrittene Frage geklärt werden: Ist die Färbung der Schnecken bedeutsam, weil sie mit den Temperaturen zusammenhängt oder weil sie der Tarnung vor Räubern dient?

Helle Schneckenschale
 als Überlebensvorteil

Schon vor Ende der Auswertung steht fest: „Die Klimaparameter sind auf kontinentaler Ebene ungleich bedeutsamer als die Pflanzendeckung“, sagt Köhler. In sehr heißen Gebieten kommen helle Tiere häufiger vor, in kühleren Gegenden gestreifte. Und diese Tendenz hört nicht auf: „Man könnte annehmen, dass es in kühleren Regionen an der Nordsee irgendwann egal ist, ob es etwas wärmer ist. Aber auch dort reagieren die Populationen auf sehr leichte Temperaturerhöhungen und werden im Durchschnitt heller.“

Für die zukünftige Verbreitung heißt das: „*Theba pisana* wird sehr wahrscheinlich nicht aussterben, auch nicht in heißen Regionen, doch ihre Variation wird abnehmen, dunkle Individuen werden teils verschwinden.“ Auch wenn die Art weiterbesteht, beklagt der Biologe die abnehmende Biodiversität. „Variation ist evolutiv bedeutsam. Sie ist die Basis für selektive Anpassung. Das ist durchaus ein Verlust.“

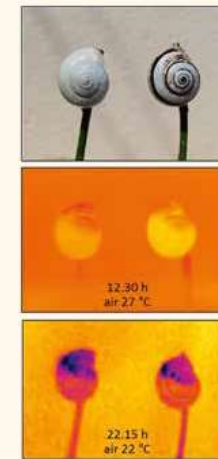
Was diese Erkenntnisse für heimische Arten bedeuten, will sein Team in einem nächsten Projekt herausfinden. Unter anderem wollen die Forscher untersuchen, wie Städte als lokale Wärmeinseln auf hiesige Schnirkelschnecken wirken. Ob sich Tübinger Stadtpopulationen in ähnlicher Weise anpassen wie die Mittelmeerschnecken, wird sich im weiteren Verlauf dieser Forschungsarbeiten zeigen. _____//



04



05



04 Rund 19.000 Exemplare aus ganz Europa wurden im Institut untersucht und konserviert. // Around 19,000 specimens from all over Europe were examined and preserved at the Institute.

Photo: Friedhelm Albrecht

05 Mit einer Wärmebildkamera wurde die Temperaturverteilung in den Schnecken erfasst und dokumentiert. // The temperature distribution in the snails was recorded and documented with a thermal imaging camera.

Photo: Heinz Köhler

> english

// ____ An important part of Köhler's work is ecotoxicology and ecophysiology in a changing world, and his work on the snail, *Theba pisana*, focuses on analyzing the effects of global warming. As rising temperatures are also a problem for wildlife, his team is investigating exactly how snails cope with heat in the "Hot Snail" project.

Theba pisana is mainly found in the Mediterranean and in mild coastal climates, from the border of England and Scotland in the north to the Canary Islands and Israel in the south. The snails have shell diameters of up to 2.5 centimeters and are commonly found in mass populations; many thousands can typically inhabit a hectare of land. "This snail has different colorations which we are particularly interested in with bright and dark specimens and many variations in between", explains Köhler.

Climbing blades of grass to cool off

At night, when it's cold, *Theba pisana* stays on the ground. As temperature increases, the snail climbs up blades of grass or twigs, where it is cooler and it may be able to catch a breeze. After observing this behavior, Köhler worked with Professor Ulrich Gärtner from Esslingen University of Applied Sciences to accurately measure the thermodynamic processes in the shell when heated; he now knows how the snail reacts physiologically to the heat and which biochemical processes are initiated.

His team has also taken a close look at the different colors of the snail shells by correlating data from Wales, in which the coloration of snails had been recorded over decades, with climate data from the same region. They were able to show that the color variation was greater whenever the temperatures were higher in a specific year. "However, we did not find any evidence that a specific coloration was promoted by selection", emphasizes Köhler. "This color variation can be explained within the context of phenotypic plasticity at the molecular level."

However, the consequences of climate change are not a question of variation within a color spectrum, but of a changed selection drive at rising temperatures. The researchers want to find out whether the snails are capable of responding to global warming and what impact global warming will have on the species' color variations.

The influence of the shell coloration on body temperature has been controversial so far. Although it is known that darkness absorbs more radiation and pigmented snails are subjected to greater stress, the decisive factor is the emission coefficient. It indicates the extent to which a material – calcium carbonate in the case of the snail – heats up under electromagnetic irradiation. At this point, scientists did not know whether color differences are biologically relevant or whether they affect the body temperature of the animals only slightly and consequently have no role in survival.

Outdoor experiment in southern France

To find out, Köhler conducted an outdoor experiment in southern France with his colleague Professor Rita Triebskorn from Tübingen and Dr. Yvan Capowiez and Dr. Christophe Mazzia from the INRA research institute and the University of Avignon. Over fifty open top chambers were constructed from plexiglass. They look like small greenhouses and the material heats the interior by three to four degrees. Snails from the region were distributed into the boxes. In some boxes, the researchers applied a black dye to the snails' shells.

"We observed about 11,000 snails over four weeks", reports Köhler, "one fifth in boxes, four fifths in the field." Regular inspections determined how many snails had climbed from the ground and how many had died. Weekly measurements were taken for several hundred snails, partly with a probe thermometer, partly with a high-resolution thermal imaging camera, to monitor the temperature distribution and development in the snail accurately. In addition, the snails were examined at the laboratory for protein or membrane damage in their cells using biochemical methods.

Dyeing the shell makes a decisive difference: Specimens that had been dyed black in the boxes had a lower survival rate and some could not even escape the hot ground after a few days. Also in the open air, the mortality rate was higher in striped and thus darker specimens. The other snails thrived in a cool laboratory environment.

19,000 snail shells from all over Europe

Strong pigmentation is also a selection disadvantage as *Theba pisana* only reproduces at the end of its life. "If the darker snails are more likely to die before they can reproduce, we can expect that the number of darker snails will decrease over the years as global warming progresses."

Köhler aimed to test this with a representative survey and wrote to institutes in regions inhabited by *Theba pisana* asking for "snail mail". Around 19,000 specimens from all over Europe were sent to Tübingen which are now under preservation in the institute's basement. Köhler passed on the data he collected to his colleague Dr. Henri Thomassen. The zoologist creates spatial models based on environmental data such as temperature, precipitation and vegetation, in this case collected from the snails' region of origin. The aim was to find connections between environmental conditions and the pigmentation of the shells.

The brightest are more likely to survive

The scientists also set out to clarify another controversial issue related to vegetation density: Is the shell pigmentation significant because it is connected to the temperature or because it serves to camouflage the snails? Evidence shows: "Climate parameters at the continental level are far more important than vegetation density." In very hot areas bright animals are more common, striped shells are more common in cool regions. "*Theba pisana* is unlikely to die out, but its variation will decrease, dark specimens will partially disappear."

Even if the species persists, Köhler deplors the declining biodiversity. "Variation is the basis for selective adaptation. This is a significant loss." His team now intends to investigate the implication of these findings for native species of local snails to find out whether urban snail populations in southern Germany are adapting in a similar way to the Mediterranean snails. ____ //