

Können wir **AUSGE**

Eine Handvoll Genetiker versucht, ausgestorbene Arten wieder zum Leben zu erwecken. »Rückausrottung« heißt ihre ehrgeizige Forschungsdisziplin. Was machen sie da? Und was geschieht, wenn sie Erfolg haben?

VON KATHARINA JAKOB

Von fern zog etwas Dunkles auf, zunehmend verfinsterte sich der Himmel. Ein Brummen erklang, das sich zu einer Art Donnerrollen steigerte. Die Leute rannten aus ihren Häusern, starrten nach oben. Und dann waren sie da: Wandertauben. Stunde um Stunde zogen blau schimmernde Vögel über die Dächer, in unfassbarer Zahl. So geschehen im Jahr 1855 in Columbus, Ohio.

Rund eine Milliarde Vögel konnten die Schwärme der Wandertauben (*Ectopistes migratorius*) umfassen – und ungeheure Schäden anrichten. Bäume brachen unter ihrer Last, wenn sie in die Laubwälder einfielen. Böden lagen zentimeterhoch unter Exkrementen. Zogen sie weiter, hinterließen sie manchmal »Tausende Hektar Wald, wie von einer Axt gefällt«. So beschreibt es der Biologe Lothar Frenz, ein Experte für ausgestorbene Arten. Dieses massenhafte Tier schien unausrottbar zu sein.

DAS ENDE DES »GEFLÜGELTEN STURMS«

Und doch starb 1914 die letzte Wandertaube der Welt in einer Voliere. Menschliche Jagdlust hatte die Spezies ausgelöscht, innerhalb eines Jahrhunderts. Man hatte sie noch zu züchten versucht. Aber in Gefangenschaft verkümmerten die Tiere. Trotz ihrer langen Lebenszeit von 29 Jahren legte die letzte Taube namens Martha niemals ein Ei, aus dem ein Jungtier geschlüpft wäre. Der »geflügelte Sturm«, wie man die Vögel einst nannte, war Geschichte.

Für immer? Nein, behaupten nun die Genforscher von Revive & Restore, einer Organisation aus Sausalito, Kalifornien. Sie betreiben ein Projekt, das die Ausrottung der Art rückgängig machen will. Spätestens 2022, vielleicht sogar schon früher, plant man dort im Labor den Durchbruch: Dann soll die erste wiedererschaffene Wandertaube aus dem Ei schlüpfen. Wie ist das möglich? Und was wären die Folgen, falls es klappt? Aber vor allem: Warum will man ausgerechnet dieses Tier zurückholen? Statt andere zu retten, die noch am Leben sind?

Mit solchen Fragen muss sich das noch junge Forschungsfeld namens De-Extinction – Rückausrottung – auseinandersetzen. Die Idee selbst kommt einem bekannt



FOTO: SCIENCE PHOTO LIBRARY

STORBENE TIERE

wieder zurückholen?

Wollhaarmammuts bevölkerten
einst arktische Gebiete



vor: Im Jahr 1993 ließ der Film »Jurassic Park« Saurier wieder auferstehen. Zündfunke der Geschichte war damals der vermeintliche Fund von Saurier-Erbgut in Bernstein. Seit circa 65 Millionen Jahren sind die Riesenechsen vom Erdball verschwunden, und noch immer ist nicht eindeutig geklärt, warum. Doch den Fund gab es in Wirklichkeit nicht, die Wissenschaftler hatten sich geirrt. Intakte Dinosaurier-DNA ist bislang in keinem einzigen Fossil aufgespürt worden, sie hat sich längst zersetzt oder ist von fremder DNA durchdrungen, von Moosen, Pilzen, Bakterien. Ein möglichst komplettes Genom ist jedoch die Voraussetzung dafür, eine Art wieder zurück auf die Erde zu holen. Britt Wray, Autorin des Buches »Das Mammut aus der Tiefkühltruhe«, nennt als bislang ältesten Fund die DNA aus einem 700 000 Jahre alten Pferdekadaver. Weit, weit jünger als jeder Dinosaurier, der auf der Erde gelebt hat. Und so sorgen wiedererwachte Riesenechsen zwar in den Kinos für Furore, aber ernsthaft hat nicht mal der kühnste Forscher vor, sie aus dem Reich der Toten zurückzuholen.

Was passiert stattdessen? Derzeit arbeitet eine Handvoll Wissenschaftler rund um den Globus an der Wiedererschaffung einiger ausgewählter erloschener Arten, darunter sind kleinere Säugetiere und Amphibien, aber auch Vögel – und Mammuts. Die Zielsetzungen der Forscher sind dabei ganz unterschiedlich. Mal erhoffen sie sich die Erhaltung eines besonderen Ökosystems. Mal wollen sie ein Tier retten, das noch nicht lange verschwunden ist. Oder die Grenzen des Machbaren erweitern – mithilfe der Rückausrottung.

Auf dem Weg zum Ziel gibt es verschiedene Methoden: Dazu gehören die Rückzüchtung, das Klonen und die Veränderung des Erbguts, zum Beispiel mit einer Genschere. Die Rückzüchtung ist dabei das einfachste Verfahren, weil es nicht direkt ins Genom eingreift, sondern sich mit der Selektion



Martha, die letzte Wandertaube (oben), trifft eine Schuppenhalstaube

von Zuchttieren begnügt. Heute noch lebende Arten sollen durch gezielte Verpaarung in ein ursprünglicheres Tier zurückverwandelt werden. In der Hoffnung, dass am Ende ein Geschöpf entsteht, das seinem ausgestorbenen Vorfahren so weit wie möglich gleicht – ohne seine genetische Kopie zu sein. Es wäre noch immer ein modernes Tier mit modernen Genen. Aber es hätte große Ähnlichkeit mit seinem Ahnen aus alten Zeiten. Bestes Beispiel ist der Auerochse. An seiner Wiedererschaffung arbeiten inzwischen zahlreiche Projekte. Alle heutigen Rinder stammen von diesem Urrind ab, dessen letztes Exemplar 1627 in Polen starb. Noch immer trägt jede ostfriesische Milchkuh und jedes asiatische Zebu die Gene des Vorfahren in sich. Auch wenn sie ihm kaum noch ähnlich sehen.

KANN MAN AUCH DIE WILDNIS ZURÜCKHOLEN?

Auerochsen waren gewaltige Tiere. Mit ihrer Schulterhöhe von bis zu 180 Zentimetern hätten sie die meisten heutigen Pferde überragt. Ihre Hörner waren ausladend und bogen sich nach vorn. In großen Herden zogen sie übers Land und waren so wehrhaft, dass ihre Domestizierung ein hartes Stück Arbeit gewesen sein muss. Und ein solches Tier wollen nun mehrere Initiativen zurückholen, darunter das niederländische »Uruz«-Projekt. Es kreuzt heutige Rinderrassen miteinander, die ursprünglicher geblieben sind als andere – zum Beispiel das Maremmaner Rind –, mit solchen, die typische Merkmale von Auerochsen mitbringen. So hat etwa das afrikanische Watussirind geradezu gigantische Hörner.

Eines Tages sollen die neuen Tiere nicht nur aussehen wie Auerochsen, sondern sich auch so verhalten. Sie sollen wieder unabhängig von Menschen leben, in den Weiten eines dünn besiedelten Landes. Denn das ist das eigentliche Ziel des »Uruz«-Projekts: Nicht nur das Urrind soll wiederkehren, sondern auch die Wildnis, in der es einst lebte. Eine Art Rückaus-



Magenbrüterfrösche gehören zu den ausgestorbenen Amphibien

rottung der Natur – mithilfe eines Tieres, das ein Double seines Ahnen ist. Andere De-Extinction-Forscher wiederum haben nicht die Absicht, nur Lookalikes zu erzeugen. Sie wollen das Urtier selbst. Etwa den Pyrenäensteinbock, der im Jahr 2000 ausstarb. Dafür nutzen sie die Technik des Klonens, die mittlerweile einige Jahrzehnte alt ist und 1997 berühmt wurde durch das Klonschaf Dolly, seither haben vor allem asiatische Forscher zahlreiche Tiere geklont.

IST KLONEN DER RICHTIGE WEG?

Das Klonen erzeugt genetische Kopien eines Lebewesens. Dazu entnimmt man dem Tier eine Körperzelle und isoliert den darin befindlichen Zellkern. Der enthält die komplette Erbinformation. Dieser Zellkern wird nun in eine unbefruchtete Eizelle eingesetzt, die von einem anderen Tier stammt und zuvor ebenfalls entkernt worden ist. Die Eizelle ist also wie ein leeres Gefäß, das die DNA eines fremden Geschöpfs aufnimmt. Durch Zellteilung entsteht im Reagenzglas ein Embryo, der später von einem Leihmuttertier ausgetragen wird.

Auf diese Weise versuchten spanische Forscher, den Pyrenäensteinbock »wiederzubeleben«. Im Jahr 2003 schienen sie fast am Ziel zu sein. Per Kaiserschnitt kam ein Kitz zur Welt, das der ausgerotteten Art entstammte und von einer verwandten Spezies ausgetragen worden war. Doch das geklonte Jungtier mit dem Erbgut des letzten Pyrenäensteinbock-Weibchens auf dieser Erde war nicht lebensfähig. Nach wenigen Minuten starb es, und die Spezies war erneut verloren. Danach ging dem ehrgeizigen Projekt die Finanzierung aus.

Einen Rückschlag hat auch das australische »Lazarus«-Projekt hinnehmen müssen, das den Magenbrüterfrosch zurückholen will. Die Amphibienart wurde in den 80er-Jahren vermutlich durch eine Pilzinfektion ausgerottet. Ihren Namen verdankt sie einer ungewöhnlichen Art der Fortpflanzung, die mit ihr ausstarb: Die Weibchen schluckten den Laich, der sich im Magen zu winzigen Fröschen entwickelte. Waren die Jungen ausgewachsen, schlüpfen sie aus dem mütterlichen Maul. Doch bislang sieht es nicht so aus, als könnte die Art von den Toten auferstehen. 2013 entwickelten sich zwar geklonte Embryonen in einem sehr frühen Stadium, aber dann wuchsen sie nicht weiter und starben ab.

So richtig Fahrt aufnehmen können die »Rückausrotter« aber, seitdem es die Genschere CRISPR/Cas9, kurz CRISPR, gibt. Sie hat seit ihrer Entschlüsselung im Jahr 2012 ein regelrechtes Universum der Erbgutmanipulation eröffnet. Sie kann DNA-Stränge, die man nicht haben will, herauschneiden und durch andere Erbinformationen ersetzen. Die Fellfarbe Braun kann man in Schwarz verwandeln. Oder blaue Augen in grüne. Rein theoretisch könnte man mit CRISPR ein Wesen nach Wunsch formen (siehe Kasten rechts).

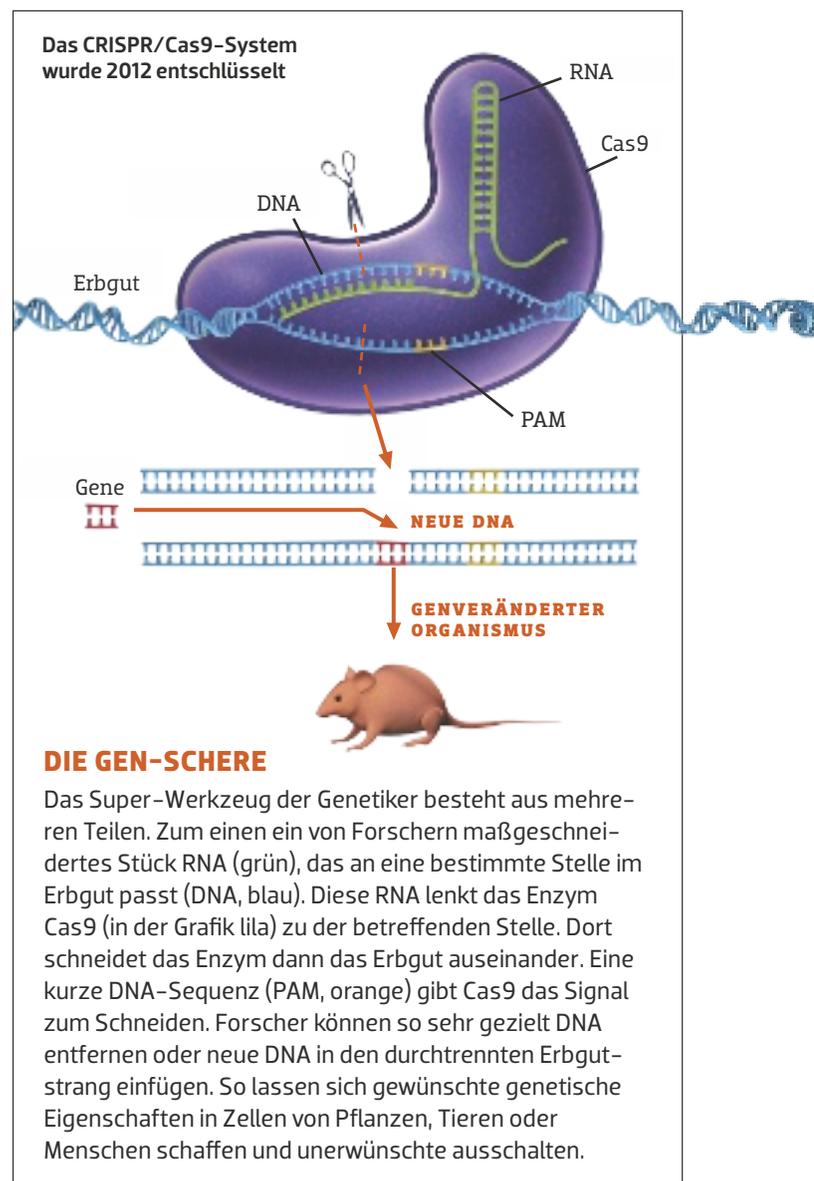
KANN EINE GENSCHERE HELFEN?

Auch die Forscher von Revive & Restore, die an der Wiederschaffung der Wandertaube arbeiten, verwenden die Genschere. Allerdings erst seit Kurzem. Denn als sie ihr Vorhaben 2012 begannen, fehlte ihnen die Grundlage aller Versuche: das vollständige Genom des Vogels. Ohne dessen Erbgut war an eine Rückholung überhaupt nicht zu denken. Es musste zuerst ein-

mal rekonstruiert werden. Doch wie macht man das, wenn kein lebendes Tier mehr auf der Welt ist? Ben Novak ist der Leiter des Forschungsprogramms. Der junge Genforscher ist erst 32 Jahre alt und arbeitet noch an seinem Dokortitel. Bis zu seinem Einstieg bei Revive & Restore tummelte er sich in diversen Instituten der Genforschung, etwa im Paläogenomik-Labor der Universität von Kalifornien in Santa Cruz. Seit seiner Jugend träumt er von der Wiederkehr der Wandertaube. Von dem Augenblick an, als er von ihren gigantischen Schwärmen las, faszinierten ihn die Tiere.

Um nun das Erbgut der Wandertaube zu rekonstruieren, zog Novak von Museum zu Museum und entnahm ausgestopften Exemplaren Gewebeprobe. Dabei hatte er reichlich Auswahl: Kein anderer Vogel wurde je so häufig konserviert. Es scheint, als gehörten Marthas Artgenossen auch im Tod zu einer verschwenderisch zahlreichen Art.

Die Rekonstruktion selbst gestaltete sich überaus schwierig. Längst hatte sich das Genom der präparierten, mit



Chemikalien behandelten Tiere verflüchtigt, DNA-Stränge kamen nur noch bruchstückhaft vor – ganz wie bei einem gigantischen Puzzle, dessen Teile zerknickt, verschmutzt oder unauffindbar sind. Um voranzukommen, brauchte der Forscher ein Muster zum Vergleich, einen nahezu identischen genetischen Bauplan. Novak fand ihn in der Schuppenhalstaube. Diese Art kommt im Westen der Vereinigten Staaten vor und ist die nächste noch lebende Wandertauben-Verwandte. Die DNA beider Arten deckt sich zu etwa 97 Prozent. Indem Novak die Gene der Vögel miteinander abglich, spürte er Zug um Zug das alte Erbgut wieder auf.

Der erste Streich schien also geglückt. Alle weiteren, die nun folgen, sind noch um einiges komplizierter. Derzeit versuchen die Genforscher herauszufinden, was die Vögel voneinander unterscheidet. Was formt den einen zur Schuppenhalstaube und den anderen zur Wandertaube? Trotz des so ähnlichen Erbguts gibt es ja immer noch zahlreiche genetische Differenzen. Doch welche davon sind entscheidend?

Welche Erbinformationen führen zum Beispiel dazu, dass bei der lebenden Art beide Geschlechter gleich aussehen, bei der ausgestorbenen aber verschieden sind? Noch kniffliger wird es, will man den Bauplan für Verhalten entschlüsseln. Da steht die Forschung noch ganz am Anfang. Das Tier, das Novak und seine Kollegen mit der Genschere erschaffen wollen, müsste zum Beispiel riesige Schwärme bilden, um auch als Wandertaube durchzugehen. Das heißt: Die Forscher müssen die dafür verantwortlichen Gene entdecken. »Wenn wir es nicht schaffen, dass die Tiere Schwärme bilden, sind wir gescheitert«, räumte Ben Novak denn auch in einem Gespräch mit der Schwedin Torill Kornfeldt ein. Die Wissenschaftsautorin hat 2016 ein ganz ähnliches Buch veröffentlicht wie Britt Wray, allerdings mit einem Jahr Vorsprung (»Wie klonen wir ein Mammut?«).

Warum versuchen Novak und seine Mitarbeiter nicht, die Wandertaube zu klonen? Weil diese Methode bei Vögeln so gut wie unmöglich ist. Sie haben keine Gebärmutter, in der ein Ei heranreifen würde, sondern einen Legedarm, der die Eier durch ihren Körper transportiert, bis die Zeit zum Legen gekommen ist. Man kann ihnen also keinen Embryo einsetzen. Und wenn das Ei erst im Nest liegt, ist der Embryo für eine umfassende Genmanipulation bereits zu weit fortgeschritten. Nicht aber seine Urkeimzellen.

Und das ist das, was Ben Novak nun durchführt, am bereits gelegten Ei: Durch die Schale hindurch entnimmt er dem Embryo Urkeimzellen, aus denen sich später Eizellen und Spermien entwickeln. Diese Zellen lassen sich innerhalb einer gewissen Zeitspanne gut erreichen. Eine Weile lang befinden sie sich an der Außenfläche des Embryos, bevor sie ins Körperinnere wandern. Der winzige Spender stirbt jedoch bei dieser Prozedur. Dann beginnt der nächste Schritt: der allmähliche Umbau einer Schuppenhalstaube in eine Wandertaube mithilfe der Genschere. Mit CRISPR sollen die Erbinformationen, die



Dieses Rind ist ein Verwandter des Auerochsen, der zurückgezüchtet werden soll. Links: Sudan, der letzte Nashorn-Bulle seiner Art, starb 2018



man als typisch für die tote Art identifiziert hat, in das Genom der lebenden Cousine geschleust werden. Dafür entnehmen die Genetiker einem Schuppenhalstauben-Embryo besagte Keimzellen – den richtigen Zeitpunkt dafür zu erwischen ist allerdings eine Kunst

für sich – und bauen Wandertauben-Gene ein. Die so manipulierten Zellen setzen sie einem neuen Embryo der lebenden Verwandten ein, der sich gleichfalls schon in einem gelegten Ei befindet. Und dann warten sie ab, was sich da entwickelt.

Zuerst entstehen Mischwespen, sogenannte Chimären. Sie sehen noch aus wie Schuppenhalstauben, tragen aber schon in ihren Eiern oder in ihren Spermien das Erbgut der erloschenen Art mit sich, bereit zur Weitergabe an ihre Nachkommen. Verpaart man im nächsten Schritt die Chimären miteinander, sollen eines Tages Tiere entstehen, die wie Wandertauben aussehen und sich wie Wandertauben verhalten. Eine identische Reproduktion werden auch sie nicht sein, das gelingt selbst der Genschere nicht. Denn noch sind zu viele Unwägbarkeiten im Spiel. So kann CRISPR zum Beispiel sein Ziel verfehlen und andere DNA-Stränge ausschneiden als geplant. Welche Folgen das wiederum nach sich zieht, weiß kein Mensch.

Dennoch hoffen Ben Novak und seine Kollegen schon im Jahr 2022 auf die ersten Generationen genetisch ausgereifter Wandertauben. Oder auch früher. Die ersten Chimären mit veränderten Keimbahnen sind offenbar bereits geschlüpft und sollen nun ihrerseits Nachwuchs zeugen, wie die Forscher jüngst verkündeten.

ABER WOZU SOLL DAS GUT SEIN?

Bleibt die Frage: wozu das alles? Warum wollen Wissenschaftler Tiere ins Leben zurückholen, die der Mensch von der Erde gefegt hat? Nur weil sie es könnten, theoretisch, irgendwann?

Von der Wandertaube weiß man, dass sie ihre riesigen Schwärme brauchte, um in Balzstimmung zu kommen, was den Misserfolg der züchterischen Anstrengungen erklärt. Will das Projekt nun Tiere erschaffen, die in Kleingruppen vor sich hin kümmern? Im Gegenteil, so die Forscher von Revive & Restore. Sie hoffen eines fernen Tages tatsächlich auf den gigantischen Schwarm. Denn der habe einst gewirkt wie andernorts die Waldbrände: als kurzfristig zerstörerisches, langfristig aber wichtiges Element der Regenerationskraft eines Waldes.

Auch die waghalsige Idee des Harvard-Genetikers George Church – er will das Wollhaarmammut wieder zum Leben erwecken – soll einem höheren Ziel dienen: einer akut bedrohten Art neuen Lebensraum zu verschaffen. Der Bestand des Asiatischen Elefanten ist seit den 1980er-Jahren um die Hälfte zurückgegangen, nicht nur wegen der Wilderei. Sondern auch, weil er seinen Lebensraum rapide verliert. Diese Elefantenart ist eng verwandt mit dem Mammut. Sie kann nur nicht in dessen Welt leben, weil sie die Kälte nicht erträgt. Das könnte sich ändern lassen, glaubt George Church.

Auf der Suche nach den Genen, die das Mammut in seiner eisigen Umwelt bis vor etwa 3700 Jahren überleben ließen, ist er fündig geworden. Derzeit schleusen Church und sein Team

»DIE ERSTEN CHIMÄREN SIND BEREITS GESCHLÜPFT«

US-FORSCHER, REVIVE & RESTORE

Mammutgene in die DNA von Asiatischen Elefanten. Sie gehen nach demselben Prinzip vor wie die Forscher des Wandertauben-Projekts. Nur dass sie nicht Keimzellen umbauen, sondern Körperzellen, die sich in der Petrischale erst noch zu Stammzellen entwickeln müssen. Das ferne Ziel ist die Erschaffung eines Tieres, das einen neuen Lebensraum besiedeln kann: den seines ausgestorbenen Verwandten, die arktischen Regionen. Am Ende stünde also ein ganz neues, mammutartiges Geschöpf. Mit einem zotteligen Fell und ausreichend Unterhautfett, mit kleinen Ohren und vor allem mit kälteresistenten roten Blutkörperchen. Von Menschenhand erschaffen, nicht von der Evolution. Vielleicht ist das die Triebfeder hinter allem.

Denn Kritik an der De-Extinction-Forschung gibt es zuhauf. Eine Hauptsorge ist, dass der Artenschutz sein stärkstes Argument verliert – und das zugunsten einer Forschung, die womöglich gar nicht hält, was sie verspricht. Solange so viele Arten verschwinden wie derzeit, muss man alles tun, das Massenaussterben aufzuhalten. Wenn Tiere jedoch wieder aufstehen können, wird dann ihr Ableben hinnehmbar? Und investiert dann noch jemand in ihre Erhaltung?

Auch bleibt offen, welche Lebensräume zurückgeholte Arten besiedeln sollen. Schon die Rückkehr von Wolf

und Bär in ihre angestammten Gebiete stellt uns vor allergrößte Herausforderungen und führt zu Widerstand in der Bevölkerung. Und wie soll man die Produktion unzähliger Mischwesen und im Labor gezeugter Kreaturen verantworten, die nur als Wegbereiter für erwünschte Tiere erschaffen werden?

Gegen die Rückausrottung finden sich also unzählige Argumente. Aber gibt es auch welche dafür? Ein gewichtiger Fürsprecher könnte Sudan sein, der vor einem Jahr verstorben Nördliche Breitmaulnashorn-Bulle. Er war das letzte männliche Tier seiner Art. Mit Sudans Tod gelten die Dickhäuter als ausgerottet, auch wenn derzeit noch zwei Kühe am Leben sind, Sudans Tochter Najin und seine Enkelin Fatu. Beide sind aus gesundheitlichen Gründen nicht gebärfähig.

Diese Nashornart ist der Wilderei zum Opfer gefallen. Aber ihr Lebensraum ist noch da, und ihr Verschwinden reißt eine Lücke in das Ökosystem, zu dem sie gehörten. Doch vielleicht gibt es mithilfe der Rückausrottung die Möglichkeit, ihr endgültiges Erlöschen noch abzuwenden. Einige Labors haben lebende Zellen mehrerer Artgenossen eingefroren, bevor sie verstarben. Aus ihnen sollen in naher Zukunft neue Nashörner entstehen, zunächst durch künstliche Befruchtung. Aber auch Klonen wäre eine Option.

Das Berliner Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung hat im vergangenen Jahr Kühen einer eng verwandten Unterart der Nashörner Eizellen entnommen und sie mit Spermien ausgestorbener Bullen befruchtet. Auf diese Weise ist bereits ein Nashorn-Embryo entstanden. Bald sollen weitere folgen und von Leihmüttern ausgetragen werden. Und das wäre dann tatsächlich Artenschutz: wenn alle anderen Mittel versagen. –

Der Genetiker George Church will Mammuts zurückholen. Links: Haare und ein Modell eines Mammuts als Exponat

