



SEX

ALS MOTOR

SEX ALS MOTOR

WARUM ES ZWEI GESCHLECHTER GIBT

MICHAEL WINK

Die einfachste Art sich zu vermehren, ist die Zweiteilung. So machen es einzellige Lebewesen, beispielsweise die Bakterien. Geschmälert wird ihr Fortpflanzungserfolg dadurch nicht. Mehrzellige Organismen bevorzugen es, sich auf sexuellem Wege fortzupflanzen. Das bedeutet einen erheblichen Mehraufwand – nicht allein, was die Suche nach einem geeigneten Partner angeht. Was also ist der Vorteil von zwei Geschlechtern? Geht es nicht auch ohne Sex?

B

Betrachtet man die vielzelligen Lebewesen unseres Planeten aus einer globalen Perspektive, ist zu erkennen, dass Pilze, Pflanzen und Tiere, einschließlich der Menschen, einige auffällige Gemeinsamkeiten haben: Alle verwenden viel Zeit und Energie darauf, zu essen, zu wachsen und sich fortzupflanzen. Letzteres ist besonders wichtig, weil es den Fortbestand der Art sichert. Da es bei fast allen mehrzelligen Organismen zwei Geschlechter gibt, müssen sie sich zum sexuellen Akt zusammenfinden, damit es zum Austausch von Geschlechtszellen und zur Fortpflanzung kommen kann. Nach der erfolgreichen Befruchtung entwickelt sich ein Embryo. Der Geburt folgt die Entwicklung bis hin zur Geschlechtsreife. Dann wiederholt sich der Fortpflanzungszyklus. Und so geht es – mindestens seit der Epoche des Kambriums vor über 500 Millionen Jahren.

Evolutionär viel älter als mehrzellige Organismen sind Bakterien und viele Einzeller. Auch diese Lebewesen haben bis heute erfolgreich überlebt, was ihnen offenbar auch ganz ohne Sex gelingt. Es geht also auch einfacher. Vor diesem Hintergrund stellen sich zwei provokante Fragen: Wozu braucht es zwei Geschlechter? Und wozu braucht es Sex? Ein kurzer Ausflug in die Evolutionsforschung und in die Zell- und Molekularbiologie ist notwendig, um eine Antwort auf diese Fragen zu finden.

Die Evolutionstheorie wurde von Charles Darwin im Jahr 1859 postuliert. Sie besagt, dass Arten und ihre Merkmale durch natürliche Auslese (Selektion) entstehen. Damit eine Selektion stattfinden kann, muss es innerhalb einer Gruppe von Organismen Unterschiede (Variabilitäten) geben: Wären alle gleich, gäbe es nichts zu selektieren. Die Selektion ist die Voraussetzung für die Evolution. Doch wie entstehen die Unterschiede zwischen den Individuen einer Gruppe oder einer Entwicklungslinie?

Die Zellbiologie weiß seit dem 19. Jahrhundert, dass alle lebenden Organismen aus Zellen, den Grundeinheiten des Lebens, bestehen und dass Zellen immer durch Teilung aus einer Vorläuferzelle hervorgehen: „Omnis cellula e cellula“ – jede Zelle entsteht aus einer Zelle – erklärte der deutsche Pathologe Rudolf Virchow im Jahr 1858.

Letztlich lässt sich alles Leben auf unserem Planeten auf eine Ausgangszelle zurückführen, die vermutlich vor 3,5 Milliarden Jahren existierte.

Bevor sich eine Zelle teilt, muss sie die in ihr enthaltene Erbinformation verdoppeln. Betrachtet man eine sich teilende Zelle unter dem Mikroskop, ist zu sehen, dass aus jedem Erbträger (Chromosom) zwei identische Chromatiden entstehen, die vom sogenannten Spindelapparat der Zelle auseinandergezogen und als identische Tochterchromosomen auf die Tochterzellen verteilt werden. Mit dem Lichtmikroskop nicht zu erkennen ist die Verdopplung des Erbmoleküls, der Desoxyribonukleinsäure (DNA), im komplexen Prozess der „DNA-Replikation“. Auch hier wird der DNA-Doppelstrang zunächst in seine Einzelstränge getrennt, wobei jeder Einzelstrang als Blaupause für die exakte Synthese des jeweils komplementären neuen Stranges dient.

Die Lotterie des Lebens

Bakterien und primitive Eukaryoten – hierzu zählen die Biologen alle Lebewesen, deren Zellen einen Kern besitzen – haben einen einfachen, einen „haploiden“ Chromosomensatz. Die meisten höheren Eukaryoten verfügen in ihren Körperzellen über einen doppelten, einen „diploiden“ Chromosomensatz; haploid sind bei ihnen nur die Keimzellen, also die weiblichen Eizellen und die männlichen Spermien. Im diploiden Chromosomensatz der Körperzellen sind von jedem Chromosom zwei Exemplare vorhanden. Diejenigen Chromosomen, die einander in Länge und äußerer Struktur entsprechen, werden „homologe“ Chromosomen genannt. Jeweils ein Chromosom der homologen Chromosomen lässt sich auf das väterliche, das andere auf das mütterliche Erbgut zurückführen. Denn bei der Befruchtung vereinigen sich die jeweils einfachen Chromosomensätze der männlichen und weiblichen Keimzelle zur sogenannten Zygote. Die Zygote mit ihrem nun wieder doppelten Satz an Chromosomen teilt sich und bildet den gemischten diploiden Chromosomensatz aller Körperzellen aus.

Die beiden ursprünglich von der Mutter und ursprünglich vom Vater stammenden Chromosomen sind zwar homolog – aber nicht zu 100 Prozent identisch: Sie unterscheiden sich durch mehrere Millionen genetische Variationen (Mutationen), die sich in den jeweiligen Entwicklungslinien angesammelt haben. Darüber hinaus ist neben der genetischen Information im Zellkern auch in den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zelle, genetisches Material zu finden. Die mitochondriale DNA wird über die Eizellen vererbt – also nur über die Mutter. Solche genetischen Unterschiede benutzen wir in unserer Forschung, um die Stammesgeschichte (Phylogenie) von Pflanzen und Tieren in Raum und Zeit zu rekonstruieren.

In den Körperzellen des Menschen finden sich 46 Chromosomen, wobei man die paarweise auftretenden „Auto-



PROF. DR. MICHAEL WINK leitet seit dem Jahr 1999 die Abteilung Biologie am Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Biologie und Chemie an der Universität Bonn forschte er in Braunschweig, Köln, München und Mainz. Seine Arbeitsgebiete reichen von der Phytochemie, über Arznei- und Giftpflanzen bis hin zur Systematik, Phylogenie und Evolutionsforschung. Seine Forschungsarbeiten wurden mehrfach mit Preisen ausgezeichnet.

Kontakt: wink@uni-heidelberg.de

somen“ von den Geschlechtschromosomen unterscheidet. Unser Geschlecht wird vorwiegend von den Geschlechtschromosomen XX (Frauen) und XY (Männer) bestimmt. Das Y-Geschlechtschromosom des Mannes ist deutlich kleiner als das X-Geschlechtschromosom der Frau. So weist das Y nur 60 Millionen Basenpaare auf, das X besitzt 155 Millionen Basenpaare. Auf dem Y-Chromosom finden sich 72 bis 78 Gene, das X-Chromosom verfügt über 1.700 Gene. Zum Vergleich: Unser Genom weist nur kaum mehr als 20.000 Gene auf. Der zeitgenössische deutsche Evolutionsbiologe Axel Meyer kommentierte diesen auffälligen Unterschied einmal so: „Es gibt kein einziges Gen auf dem Y-Chromosom, das lebensnotwendig ist, denn 50 Prozent der Spezies Homo sapiens besitzt kein Y-Chromosom und erfreut sich bester Gesundheit. Man nennt diese Lebewesen Frauen.“

Wie die Natur würfelt

Der menschliche Körper mit seinen vielen Billionen Zellen geht hervor aus den Teilungen einer einzigen Zelle, der befruchteten Eizelle. Dabei erhalten die Tochterzellen das identische Erbgut (Genom) der Mutterzelle. Diese Art der Zellteilung nennt sich „Mitose“: Sie gewährleistet, dass jede neue Körperzelle wieder über den kompletten doppelten Chromosomensatz verfügt. Im Unterschied zu den diploiden menschlichen Körperzellen (46 Chromosomen) haben die Keimzellen einen einfachen Chromosomensatz (23 Chromosomen). Der Prozess, der den diploiden zum haploiden Chromosomensatz reduziert, wird Reduktionsteilung oder „Meiose“ genannt. Die Meiose führt den doppelten zum einfachen Chromosomensatz zurück – und schafft die Voraussetzung für die geschlechtliche Fortpflanzung. Angesichts der damit einhergehenden Komplexität stellt sich erneut die Ausgangsfrage: Worin liegt der Vorteil von zwei Geschlechtern und von Sex?

Eine Antwort darauf ist: Die geschlechtliche Fortpflanzung erhöht die genetische Variabilität des Individuums. Schauen wir uns die Meiose noch einmal genauer an: Das Ergebnis der Meiose sind Keimzellen, die eine unterschiedliche Mischung ursprünglich mütterlicher und väterlicher Chromosomen enthalten. Beim Menschen mit seinen 23 Chromosomen in den Keimzellen sind 2²³ Kombinationen möglich, was theoretisch bedeutet, dass jeder Mensch mehr als acht Millionen genetisch unterschiedlich kombinierter Keimzellen bilden kann. Bei der Meiose kommt es außerdem zu einem Vorgang, der sich „Crossover“ nennt. Dabei legen sich die jeweils homologen Chromosomen von Vater und Mutter kreuzweise übereinander und tauschen kleinere oder größere Abschnitte untereinander aus: Gene aus der mütterlichen und väterlichen Entwicklungslinie werden neu kombiniert und nach dem Zufallsprinzip auf die Chromosomen der Keimzellen verteilt. Auf diese Weise

„Sex ist eine Voraussetzung für genetische Vielfalt.“

lässt die sexuelle Fortpflanzung immer wieder neue „Genotypen“ entstehen – Individuen, die sich in ihrer Genausstattung unterscheiden.

Mit der sexuellen Fortpflanzung geht also eine starke Vermischung der elterlichen Gene einher. Mit anderen Worten: Sex ist eine Voraussetzung für genetische Variabilität – und an der daraus entstandenen genetischen Variabilität kann die natürliche Selektion ansetzen. „Die Lotterie des Lebens ist Konsequenz von Sex und gleichzeitig Voraussetzung für die Beibehaltung von Geschlechtern und Sex“, heißt es bei Axel Meyer. Und weiter: „Durch sexuelle Fortpflanzung erzeugte genetische Variation hilft Organismen, unsichere Umweltbedingungen zu überstehen.“ Demnach war die Entwicklung der sexuellen Fortpflanzung ein extrem wichtiger Schritt in der Evolution, ohne den die Weiter- und Höherentwicklung der Organismen nicht hätte stattfinden können.

Einzeller, beispielsweise Bakterien, haben noch kein Geschlecht. Sie vermehren sich ungeschlechtlich, indem sie sich zweiteilen. Nichtsdestotrotz zeigen einige Bakterien schon erste Vorformen von Sexualität: Sie lagern sich aneinander und tauschen dabei genetisches Material aus. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung hat durchaus Vorteile: Sie spart Energie, und ihr Ergebnis sind identische Nachkommen, die an die aktuell vorherrschenden Umweltbedingungen gleich gut angepasst sind. Wenn sich die Umwelt aber verändert, können Organismen, die sich ungeschlechtlich fortpflanzen und demzufolge nur eine geringe genetische Variabilität aufweisen, ins Hintertreffen geraten. Aufgrund ihrer größeren genetischen Variabilität sind Organismen mit zwei Geschlechtern und sexueller Fortpflanzung dann im Vorteil: Ändert sich die Umwelt, werden sich in einer Population mit variablen

Genotypen eher Individuen finden, die mit den neuen Bedingungen zurechtkommen, als in genetisch identischen Populationen.

Als die Natur den Sex erfand

Schon bei Einzellern – etwa bei Eukaryoten, die vor vermutlich 1,5 Milliarden Jahren entstanden – lassen sich zwei Typen von Zellen unterscheiden, die sich zu einer Zygote vereinen. Die größeren dieser Zellen werden traditionell als weibliche, die kleineren als männliche Geschlechtszellen bezeichnet. Bei Einzellern und Hefen kommt es zudem vor, dass sich eine Generation geschlechtlich und die nächste ungeschlechtlich fortpflanzt. Einen deutlichen äußeren Unterschied der Geschlechter sieht man erstmals bei mehrzelligen Organismen. Betrachten wir zunächst die Pflanzen: Hier verfügen nur wenige Arten über getrenntlebende Geschlechter; das Fortpflanzungsverhalten ist sehr vielfältig. Blüten etwa sind oftmals zwittrig, das heißt, in einer Blüte kommen zusammen sowohl männliche wie weibliche Geschlechtsorgane vor. Einige Pflanzen können sich selbst befruchten, wieder andere haben Methoden entwickelt, die eine Fremdbestäubung favorisieren. Darüber hinaus können sich Pflanzen auch vegetativ, also ohne sexuelle Fortpflanzung, vermehren.

Im Reich der Tiere gibt es getrenntlebende Geschlechter bei den meisten Wirbellosen – mit Ausnahme einiger zwittriger Arten – und bei nahezu allen Wirbeltieren. Die Weibchen und Männchen unterscheiden sich dann häufig sowohl in ihren Körpermerkmalen als auch in ihrem Verhalten („Sexualdimorphismus“). Wir Menschen teilen die Existenz von Frau und Mann also mit vielen anderen Wirbellosen und Wirbeltieren, mit denen wir aufgrund gemeinsamer Vorfahren und einer gemeinsa-

„In den Tierstämmen,
in denen die
sexuelle Fortpflanzung
während der
Evolution entstanden
ist, wurde sie nie
wieder aufgegeben.“

men Stammesgeschichte verbunden sind. Fest steht: In denjenigen Tierstämmen, in denen die sexuelle Fortpflanzung während der Evolution entstanden ist, wurde sie nicht wieder aufgegeben.

Der Partnerfindung kommt im Hinblick auf die Fitness des Partners eine große Bedeutung zu, da nur fünfzig Prozent der eigenen Gene vererbt werden. Evolutionsbiologen haben zwischenzeitlich herausgefunden, dass zwar viele Weibchen in einer Population zur Fortpflanzung kommen – längst nicht aber alle Männchen: Weibchen, denen in der Regel die Hauptarbeit bei der Aufzucht der Jungtiere zufällt, tragen ein höheres Risiko und investieren deshalb mehr Energie in die Fortpflanzung als Männchen. Doch wie findet das Weibchen den richtigen Partner? Schon Charles Darwin hat erkannt, dass die Männchen vieler Arten aufwändige körperliche Strukturen wie Geweihe oder Federn und besondere Verhaltensmerkmale wie Balz oder Schaukämpfe aufweisen. Für die Fitness kann sich das eher nachteilig auswirken; man spricht deshalb vom „Handicap-Prinzip“. Hier kommt die „female choice“, die Damenwahl, ins Spiel: Solcherart Aufwand können sich nur fitte Männchen leisten. Die besonderen Luxus-Merkmale der Männchen erleichtert es den Weibchen, diejenigen Männchen zu erkennen und auszuwählen („sexuelle Selektion“), welche die besten Gene für die Nachkommen liefern und die sich zudem um die Ernährung des Weibchens und der Brut besonders gut kümmern werden. Um zu verstehen, warum sich Weibchen und Männchen in ihrem Äußeren, in ihren Körperfunktionen und in ihrem Verhalten unterscheiden, wie die Geschlechterverhältnisse zustande kommen und wie das Verhalten innerhalb von Populationen erklärt werden kann, ist der evolutionäre Gedanke der sexuellen Selektion sehr wichtig.

Nature versus Nurture

Das Geschlecht ist der grundlegende genetisch bedingte Unterschied zwischen uns Menschen. Außerdem unterscheiden wir uns von Geburt an in den Anlagen für Krankheiten, in vielen Körpermerkmalen und kognitiven Charakteristika. Allein über die Gene lassen sich Menschen jedoch nicht definieren. Jeder Mensch unterliegt auch individuellen Umwelteinflüssen und Lernprozessen. Diese Dualität wird unter der Überschrift „Nature versus Nurture“ von verschiedenen Zweigen der Wissenschaft thematisiert: Welche Eigenschaften einer Person sind biologisch vorgegeben – was wird von Umwelteinflüssen bestimmt?

Die bislang referierte biologische und evolutionäre Betrachtungsweise wird vom sogenannten Gender-Mainstreaming zumeist nicht oder nur teilweise akzeptiert. Die Gender-Theorie geht zurück auf den amerikanischen Psychologen und Erziehungswissenschaftler John Money (1921–2006). Er postulierte, dass Menschen als ge-

SEX AS A DRIVING FORCE

WHY THERE ARE TWO SEXES

MICHAEL WINK

The simplest and most efficient method of reproduction is a sex-free cell division. That is what single-celled organisms such as bacteria do, and the method does not reduce their reproductive success. By contrast, multi-celled organisms prefer to reproduce sexually. This is a far more lengthy and complex process – and not just because a suitable partner must be found. So what are the benefits of having two sexes? Could we not do without sex altogether?

The answer to this question lies in Charles Darwin's theory of evolution. It states that species and their characteristics are the result of natural selection. In order for selection to take place, there must be differences (variability) within a group of organisms – if every organism were the same, there would be nothing to select. But simple sex-free cell division only produces two identical progeny. Sexual reproduction, on the other hand, increases the genetic variability of individuals, because it involves a strong exchange of parent genes. This proves to be a great advantage as soon as environmental conditions change: In a genetically heterogeneous population, there is a much better chance of finding organisms that can handle the new conditions than in genetically identical populations. This makes sex the essential driving force of evolution – without it, there would be no highly developed organisms today. ●

“Sex is the essential driving force of evolution. Without it, there would be no highly developed organisms today.”

PROF. DR MICHAEL WINK has headed the Biology Department at Heidelberg University's Institute of Pharmacy and Molecular Biotechnology since 1999. Prof. Wink studied biology and chemistry at the University of Bonn and then worked as a researcher in Braunschweig, Cologne, Munich and Mainz. His field of work ranges from phytochemistry, medicinal and toxic plants to systematics, phylogenetics and evolution. He has received several awards for his research.

Contact: wink@uni-heidelberg.de

schlechtsneutrale Unisex-Wesen geboren werden und erst später durch Erziehung zu Männern und Frauen mit den ihnen jeweils zugeschriebenen Verhaltensweisen werden. Im Gegensatz dazu wird der in diesem Beitrag beschriebene Sexualdimorphismus, der sich im Laufe der Evolution herausgebildet hat, als „Gender Biomedizin“ bezeichnet. Kritiker sprechen auch vom „Biologismus“, ein Schimpfwort, das Erkenntnisse der Biologie diskreditiert, die nicht in ein politisches oder gesellschaftliches Weltbild passen.

Wenn wir über die Natur des Menschen und über die Genderfrage diskutieren, müssen wir immer auch unser evolutionäres Erbe und die Genetik berücksichtigen. Ganz sicher aber sind wir nicht das Produkt unserer Gene allein, sondern das Ergebnis von „Nature AND Nurture“.

„Ohne die sexuelle Fortpflanzung hätte die Weiter- und Höherentwicklung der Organismen nicht stattfinden können.“

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beatrix Busse
Prof. Dr. Beate Ditzgen
Prof. Dr. Markus Hilgert
Prof. Dr. Nikolas Jaspert
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Carsten Könneker
Prof. Dr. Alexander Marx
Prof. Dr. Thomas Pfeiffer
Prof. Dr. Joachim Wambganß
Prof. Dr. Reimut Zohlnhöfer

Redaktion

Marietta Fuhrmann-Koch
(verantwortlich)
Ute von Figura (Leitung)
Claudia Eberhard-Metzger

Layout

KMS Team GmbH, München

Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

Vertrieb

Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg
Tel.: +49 6221 54-19026
rupertcarola@rektorat.uni-heidelberg.de

Das Magazin kann kostenlos unter oben genannter Adresse abonniert werden.

Im Internet ist es verfügbar unter www.uni-heidelberg.de/rupertcarola.