

Fremde Geschlechtshormone im Uterus

In welchem Grade ein Säugetier männlich oder weiblich wird, hängt nicht nur von seiner eigenen Ausstattung ab. Schon vor der Geburt können vielerlei hormonartige Einflüsse von außen daran mitwirken.

Von John G. Vandenberg

Aus einem Embryo mit zwei X-Chromosomen wird ein Mädchen, besitzt der Keim jedoch ein X- und ein Y-Chromosom, kommt ein Junge zur Welt! Diese simple Regel lernen wir in der Schule. An sich sind die Verhältnisse aber beim Menschen wie auch bei anderen Säugetieren viel komplizierter.

Zwar stellen die Geschlechtschromosomen in der Regel die Basis für die Geschlechtlichkeit dar. Doch wie diese Entwicklung letztlich verläuft, hängt noch von sehr vielem anderen ab. Sogar äußere Faktoren können sich auf die späteren körperlichen und Verhaltenseigenschaften auswirken. Auch bei der Ausbildung von Geschlechtseigenschaften greifen Gene und Umwelt eng ineinander.

Genau genommen gibt es keine klare Grenze zwischen weiblich und männlich. Vielmehr scheinen bei den meisten Merkmalen Zwischenformen fast jeden Grades möglich. Besonders frühe Einflüsse im Uterus bestimmen teilweise lebenslang, ob das Individuum später ty-

pisch männlich – beziehungsweise weiblich – aussehen und sich verhalten wird oder nicht. Genauer haben meine Mitarbeiter und ich solche Zusammenhänge an Nagetieren erforscht, die im Uterus hormonellen Faktoren aus der Umgebung ausgesetzt waren. Der Befund, dass ein Fetus durch fremde Sexualhormone nachhaltig in seiner Geschlechtsentwicklung manipuliert werden kann, lehnt sich unmittelbar an die neueren Erkenntnisse über Gefahren durch Umweltschadstoffe mit hormonähnlichen – oder auch Hormone störenden – Wirkungen an.

Wer schon einmal einen jungen Hund aufgezogen hat, weiß, wie stark die Fortpflanzungsreife – also die Aktivität der Keimdrüsen – dessen Verhalten verändert. Plötzlich verliert das Tier die Lust, Schuhe zu zerfetzen, und gewinnt besonderes Interesse am anderen Geschlecht. In der Pubertät schießen die Sexualhormone über. Das geschieht bei beiden Geschlechtern: Die Hoden schütten hauptsächlich Testosteron aus, die Eierstöcke Östrogen und Progesteron. Diese Hormone verändern nicht nur das

Verhalten, sondern auch physiologische Vorgänge und den Körperbau.

Im weiblichen Geschlecht ist dies der erste Hormonschub der Keimdrüsen, im männlichen bereits der zweite. Schon beim Fetus bilden die Hoden vorübergehend größere Mengen von Testosteron. Bei Labormäusen beispielsweise setzt diese Phase in der Mitte der Trächtigkeit ein und flaut vier bis fünf Tage nach der Geburt ab. Beim Menschen, der weiter entwickelt zur Welt kommt, liegt sie entsprechend früher. Unterbindet man bei den Nagern die Produktion oder Wirkung dieser Hormone, entwickelt sich das genetisch männliche Tier zu einem Weibchen. Es bildet Eierstöcke aus und benimmt sich später dazu passend.

»Männliche« Rattenweibchen

Aber auch bei genetischen Weibchen beeinflusst ein Kontakt mit Testosteron im Uterus, je nach dessen Menge, den Grad der Geschlechtsausprägung. Das entdeckten Biologen in den frühen 1970er Jahren an Ratten. Bei frisch geborenen Nagetieren lässt sich das Geschlecht recht einfach am Abstand der Genitalien



Mäusefeten liegen aufgereiht in den Hörnern der Gebärmutter. Weibliche Feten, die zwischen zwei männlichen liegen, nehmen Testosteron auf und entwickeln sich etwas mehr in männliche Richtung.

SASAKI / PHOTO RESEARCHERS INC.

zum After bestimmen: Die Distanz ist bei den männlichen Jungtieren stets etwas größer (siehe Bild auf S. 41 oben). Linda Coniglio, damals Doktorandin bei Lynwood Clemens an der Michigan State University in East Lansing, beobachtete, dass dieser Anogenitalabstand bei manchen weiblichen Jungtieren weiter ist als bei anderen, wenn auch nie so groß wie bei männlichen.

Nachforschungen ergaben schließlich, dass die Lage der Rattenfeten im Uterus darauf Einfluss hat. Als die Forscher per Kaiserschnitt ermittelten, ne-

ben welchen Geschwistern die weiblichen Tiere herangewachsen waren, ergab sich ein deutliches Muster: Der Anogenitalabstand war größer, wenn die Weibchen nahen Kontakt zu männlichen Feten gehabt hatten. Waren es mehrere gewesen, zeigte sich der Effekt umso deutlicher. Testosteron ist ein Steroidhormon, das Zellmembranen leicht passiert. Offensichtlich nehmen die weiblichen Feten das Hormon auf, wenn sich neben ihnen Männchen befinden.

Das gleiche Phänomen tritt auch bei anderen Nagern auf, zum Beispiel bei

Haus- und bei Rennmäusen. Frederick vom Saal von der Universität von Missouri in Columbia und seine Mitarbeiter untersuchten es genauer an Labormäusen. Wegen ihrer oft großen Würfe eignen sie sich für solche Studien besonders gut. Die Feten liegen in den beiden Uterushörnern aufgereiht hintereinander. Man kann also recht einfach erfassen, ob ein junges Weibchen zwischen zwei Männchen heranwuchs oder ob es nur einen männlichen Nachbarn hatte oder gar keinen. Dieser Befund lässt sich dann mit dem Anogenitalabstand abgleichen. Auf die Männchen, zumindest bei der Labormaus, scheint es umgekehrt keinen so deutlichen Effekt zu haben, wenn sie in der Gebärmutter neben Weibchen liegen.

Den Arbeiten der Gruppe um vom Saal ist zu verdanken, dass normalerweise kein Kaiserschnitt mehr notwendig ist, um bei Mäusen und anderen Nagern das Ausmaß der pränatalen Testosteronexposition eines weiblichen Jungtiers recht zuverlässig zu bestimmen. Es genügt, den Abstand zwischen After und Genitale zu messen und mit dem Kör-

IN KÜRZE

► Aus Tierstudien ist schon länger bekannt, dass auf den Fetus bereits vor der Geburt **Geschlechtshormone von Wurfgeschwistern** oder etwa bei Stress mehr männliche Hormone der Mutter einwirken. Solche Hormone können beeinflussen, in welchem Grad sich männliche oder weibliche Merkmale ausbilden. Sie verschieben nicht nur anatomische und physiologische Eigenschaften, sondern auch die weitere Entwicklung und das spätere Verhalten.

► Sorgen bereitet Epidemiologen neuerdings, dass viele **Stoffe aus der Umwelt** bei Tier und Mensch ähnliche Effekte zu haben scheinen. Ein Großteil dieser sogenannten **endocrine disruptors** wird künstlich produziert. Manche davon agieren im Organismus selbst wie Geschlechtshormone, andere stören deren Funktion.

Sexualhormone in der frühen Geschlechtsausprägung

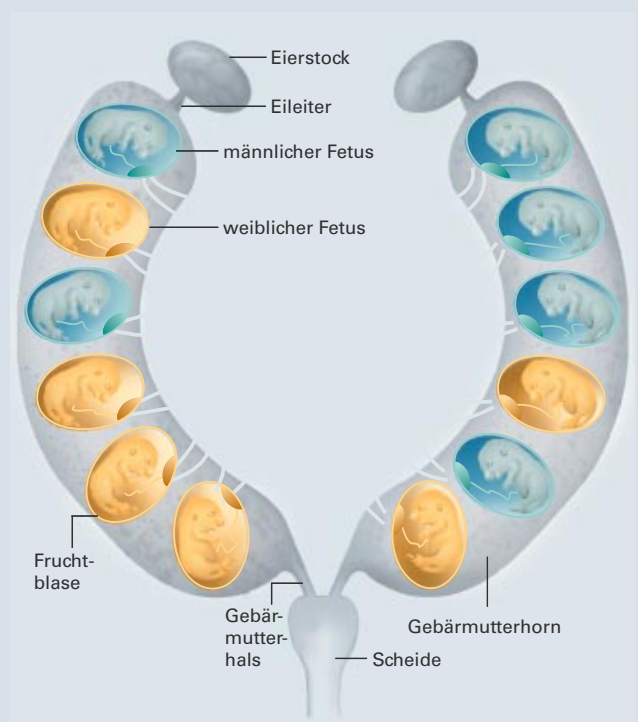
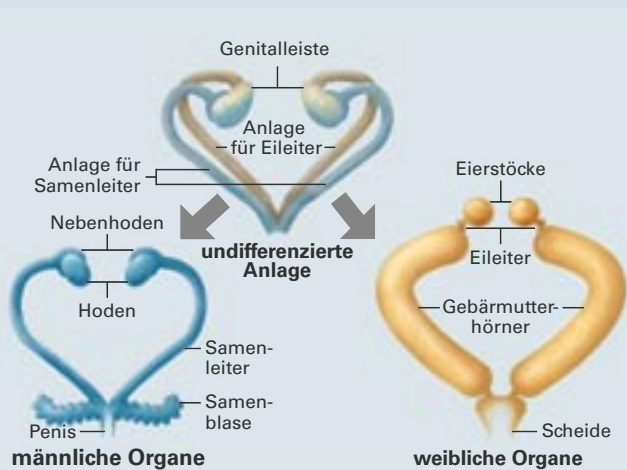
Studien an Nagetieren

Die inneren Geschlechtsorgane einer Maus entwickeln sich etwa ab dem zehnten oder elften Tag nach der Befruchtung (linkes Bild). Zunächst erscheinen die Anlagen für beide Geschlechter. Um den zwölften Tag entstehen bei den Männchen Hoden. Sie produzieren männliches Hormon. Dadurch bilden sich die Anlagen für Eileiter zurück, und Samenleiter und Sa-

menblasen differenzieren sich aus. Eierstöcke entstehen etwas später als Hoden. Wenn das männliche Hormon fehlt, bilden sich Eileiter und Uterus aus.

Bei Kleinsäugetern mit großen Würfen bestimmt die Position im Uterus, wie viel Testosteron die einzelnen weiblichen Feten ausgesetzt sind (rechtes Bild). Liegt ein Weibchen zwischen zwei Brüdern, entwickelt es sich etwas männlicher – ein Effekt mit lebenslangen Folgen für Physiologie und Verhalten.

In der Embryonalentwicklung entstehen zunächst undifferenzierte Anlagen sowohl für die männlichen wie die weiblichen inneren Geschlechtsorgane. Normalerweise werden die Genitalleisten genetisch männlicher Tiere zu Hoden, die genetisch weiblicher zu Eierstöcken. Hodenhormone veranlassen die weitere Entwicklung der männlichen Organe. Wenn sie fehlen, formen sich die weiblichen Strukturen aus.



Grafiken: EMMA SKURNICK

▷ pergewicht zu verrechnen, um den Grad der vorgeburtlichen »Maskulinisierung« zu kennen.

Bald suchten Forscher bei den betreffenden Nagerweibchen nach weiteren Anzeichen einer leichten Vermännlichung. So wiesen Kenneth Faber und Claude Hughes von der Duke University in Durham (North Carolina) in den frühen 1990er Jahren nach, dass bei diesen Rattenweibchen Gehirngebiete im Hypothalamus etwas größer ausgebildet sind als bei anderen Weibchen. Diese Regionen sehen bei männlichen Ratten stets pränanter aus als bei weiblichen. Sie sind offensichtlich für das Paarungsverhalten bedeutsam.

Bei Nagern zeigten sich auch je nach Uterusposition Unterschiede in den eigenen Hormonwerten im späteren Leben. Lag ein Weibchen zwischen zwei männlichen Feten, weist es im Erwach-

senalter etwas höhere Testosteronwerte auf als weibliche Tiere mit nur weiblichen Geschwistern neben sich. Generell sind Männchen für Testosteron empfänglicher als Weibchen: Ihre Zellen und Gehirnzentren sprechen auf das Hormon stärker an. Das gilt – in geringerem Maße – ebenfalls für Weibchen, die männliche Gebärmuttergeschwister neben sich hatten. Wegen des frühen Hormoneinflusses lassen sich ihr Verhalten und einige physiologische Abläufe im Erwachsenenalter deutlicher als bei anderen Weibchen durch künstliche Testosterongaben beeinflussen.

Sogar die Geschlechtsreife, die bei männlichen Säugern allgemein später beginnt als bei weiblichen, setzt bei diesen Weibchen etwas verzögert ein. Zudem verlaufen die Zyklen der Eireifung etwas unregelmäßiger. Trotz alledem sind diese Tiere aber eindeutig Weibchen mit

funktionsfähigen Geschlechtsorganen. Sie lassen sich begatten und werden trächtig, und die Würfe enthalten die normale Jungenzahl.

Allerdings begatten Mäusemännchen, wenn sie die Auswahl haben, die maskulineren Weibchen weniger gern. Sie kommen bei ihnen nicht ganz so gut zum Zuge, weil diese leicht vermännlichten Weibchen dabei eine etwas ungeschickte Haltung einnehmen. Insgesamt geben sich solche Weibchen öfter aggressiv und sind überdies neugieriger als weniger maskuline Tiere. Man kann auch beobachten, dass sie Geschlechtsgehosinnen mehr besteigen als jene das tun.

Populationsbiologen fragen sich, ob solche Geschlechtsvarianten auch bei Wildmäusen und anderen Wildnagern eine Bedeutung haben. Unter natürlichen Verhältnissen sollte stets ein Teil der Weibchen im Uterus Testosteron

von männlichen Feten ausgesetzt gewesen sein. Die daraus resultierenden physiologischen und Verhaltensunterschiede könnten sich zum Beispiel in natürlichen Populationen auf die Fortpflanzungschancen auswirken.

Um das zu prüfen, haben mein damaliger Mitarbeiter William Zielinski, vom Saal und ich in einer mittlerweile klassischen Studie je vierzig männliche und weibliche Hausmäuse auf einer Grünfläche ausgesetzt, die mitten in einem großen Autobahnkreuz lag. Sie maß etwa ein Hektar und bildete quasi ein natürliches Gehege, denn sie war rings von mehrspurigen Straßen umschlossen. Die bisherigen Bewohner hatten wir zuvor eingefangen und woanders freigelassen. Die gewählte Populationsdichte – achtzig erwachsene Mäuse auf einem Hektar – bedeutete leicht gedrängte Verhältnisse. Sie lag im oberen Bereich der Dichte, die auch sonst auf solchen Verkehrsinseln auftritt.

Fallenstellen an der Autobahn

Alle Versuchstiere hatten wir per Kaiserschnitt zur Welt geholt. Wir verwendeten nur Männchen, die neben einem Weibchen und vielleicht einem Männchen herangewachsen waren. Von den Weibchen hatte die Hälfte gar kein männliches Uterusgeschwister gehabt, die andere Hälfte zwei. Alle Mäuse waren individuell markiert. Auf der Autobahninsel hatten wir Fallen gleichmäßig verteilt, die wir jeden Abend öffneten und mit Leckerbissen bestückten.

In der Frühe ließen wir alle gefangenen Mäuse wieder frei. Dabei kontrollierten wir, wer in welche Falle gegangen war. Da wir viele Tiere öfter erwischten, konnten wir individuelle Streifgebiete ermitteln. Wir erfassten auch den Gesundheitszustand jeder Maus und von den Weibchen, ob sie gerade trächtig waren oder Junge säugten. Diesen Versuch führten wir einmal im Herbst und einmal im Frühjahr durch.

Im Großen und Ganzen entsprachen die Ergebnisse unserer Erwartung. Die Streifgebiete von Weibchen mit zwei männlichen Uterusgeschwistern waren um 40 Prozent größer. Im Frühjahr nutzten sie genauso viel Fläche wie in dieser Jahreszeit die Männchen. Das verhalf ihnen allerdings nicht, wie wir postuliert hatten, zu mehr Jungtieren. Eher waren die anderen Weibchen hierin ins-

gesamt etwas erfolgreicher. Vorstellbar wäre, dass aggressivere Weibchen sich in unbekanntem Gelände oder unter sehr kargen Verhältnissen besser durchsetzen, andere Weibchen dagegen bei reichem Nahrungsangebot, also unter relativ günstigen Lebensbedingungen. Unsere Vermutung, die leicht maskulinisierten Weibchen würden bei relativ großer Populationsdichte besser überleben können, fanden wir ebenfalls nicht bestätigt.

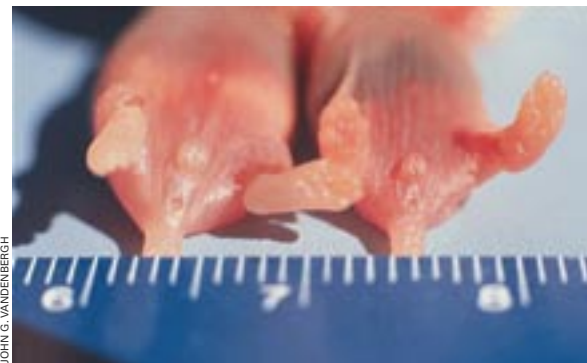
Forscher wissen heute, dass weibliche Embryonen kleiner Säugetiere nicht nur wegen männlicher Uterusgeschwister maskuliner werden. Auch die Mutter selbst produziert manchmal mehr Testosteron, zum Beispiel bei hoher Populationsdichte oder wenn sie aus anderen Gründen unter Stress steht. Dann sind sämtliche Weibchen im Wurf ähnlich vermännlicht wie sonst Weibchen mit zwei männlichen Uterusgeschwistern. Es könnte sich dabei um einen natürlichen Mechanismus handeln, der ermöglicht, dass diese Tiere bei Übervölkerung leichter abwandern.

Erstaunlicherweise verschiebt sich in den Würfen maskulinisierter Weibchen auch das Geschlechterverhältnis. Sie gebären fast 60 Prozent Männchen. Umgekehrt bringen Weibchen, die neben sich nur weibliche Uterusgeschwister hatten, zu fast 60 Prozent Weibchen zur Welt. Wie es dazu kommt, kann die Wissenschaft bisher nicht erklären. Es könnte aber sein, dass solche Effekte bei den extremen Populationsschwankungen mitwirken, wie sie zum Beispiel für Lemmings bekannt sind (siehe Kasten S. 43).

▼ Typischerweise spielen junge Rattenmännchen lebhafter und ruppiger als Weibchen. Waren sie als Fetus dem Pilzmittel Vinclozolin ausgesetzt, nimmt der Unterschied ab.



OKAPIA



JOHN G. VANDENBERGH

▲ Bei neugeborenen Mäusen ist der Abstand zwischen After und Genitalöffnung bei den Männchen (links im Foto) größer als bei den Weibchen (rechts im Foto). Unter Testosteroneinfluss im Uterus erscheint die Distanz bei den Weibchen aber etwas weiter als bei weiblichen Wurfgeschwistern, die der Hormonwirkung nicht ausgesetzt waren.

Dass ähnliche Hormoneinwirkungen im Uterus auch bei größeren Säugetieren auftreten können, lassen etwa Beobachtungen an Schafen annehmen. Beim Menschen erwies eine britische Studie an Zwillingspaaren, dass Mädchen mit einem Zwillingbruder unternehmungslustiger und waghalsiger sind als der Durchschnitt. Inwieweit das auf das Zusammensein mit einem männlichen Spielgefährten zurückgeht, ist allerdings nicht geklärt. Für einen starken vorgeburtlichen Hormoneffekt sprechen wiederum einige anatomische Merkmale an Gebiss und Ohren dieser Mädchen.

Nachgewiesen sind zumindest Testosteroneinflüsse auf das ungeborene Kind, wenn die Mutter Stress erlebt. Gleiches gilt für Mangelernährung. Offenbar sind Menschen, denen dergleichen im Mutterleib widerfuhr, später für viele der kreislauf- und stoffwechselbedingten Zivilisationskrankheiten besonders anfällig. ▷

▷ Ein drastisches Beispiel für die lebenslangen Folgen eines frühen Testosteroneinflusses liefert eine Langzeitstudie der amerikanischen Psychologin Sheri Berenbaum von der Pennsylvania State University in University Park zum so genannten adrenogenitalen Syndrom. Bei dieser Erkrankung hat ein angeborener Enzymdefekt zur Folge, dass sich die Nebennieren ungewöhnlich vergrößern. Im Normalfall produzieren sie in beiden Geschlechtern geringe Mengen von Testosteron. Nun aber überschütten sie den Körper damit, auch schon vor der Geburt.

Erfolgen keine Gegenmaßnahmen, leiden die Betroffenen lebenslang an den Auswirkungen viel zu hoher Testosteronspiegel. Bei den Mädchen ist das Verhalten in jeder Hinsicht jungenhaft. Das ändert sich nicht, nachdem die männlichen Hormone wegen einer Behandlung nicht mehr wirken können. Sheri Berenbaum wies nach, dass diese Festlegung tatsächlich schon beim Fetus erfolgte und nicht erst auf Hormone zurückgeht, die später auftraten.

Hormonelle Störkomponenten aus der Umwelt

Dass gezielt verabreichte Medikamente mit Hormoneigenschaften das ungeborene Kind beeinträchtigen können, verwundert beim heutigen Kenntnisstand nicht mehr. In den 1950er und 1960er Jahren erhielten Schwangere bei drohender Fehlgeburt das künstliche Östrogen Diethylstilbestrol. Häufig traten danach Fehlbildungen der Geschlechtsorgane auf. Die Töchter litten öfter als normal an einem seltenen Scheidenkrebs.

Doch auch die Umgebung der Mutter liefert eine Vielzahl von Substanzen, die entweder Hormoneigenschaften haben oder mit körpereigenen Hormonen oder deren Rezeptoren wechselwirken. Schwangere sind ihnen fortwährend ausgesetzt. Wissenschaftler bezeichnen diese Stoffe in ihrer Gesamtheit mit dem englischen Ausdruck »endocrine disruptors«, was man mit »hormonelle Störenfriede« übersetzen könnte. Manche Ökologen und Epidemiologen sprechen auch von Umwelt- oder Exohormonen.

Nicht alle, aber doch sehr viele dieser Verbindungen sind Menschenwerk, und viele davon sind neueren Ursprungs. Der Verdacht, dass solche Stoffe ungeborenes Leben beeinträchtigen können, trat erstmals in den 1950er und 1960er Jahren auf. Wie sich zeigte, reichert sich das un-

ter anderem für die Malariabekämpfung segensreiche Insektizid DDT in den Nahrungsketten an und schädigt dann deren Endglieder, also zum Beispiel Vögel oder den Menschen. DDT ist fettlöslich und wird im Fettgewebe gespeichert. Von dort geht es in die Muttermilch über. Ornithologen beobachteten damals, dass insbesondere Raubvögel Eier mit viel zu dünnen Schalen legten, und dass die Vogelungen auch unabhängig von der Qualität der Eischale Entwicklungsdefekte aufwiesen.

In Deutschland ist DDT seit über dreißig Jahren verboten. Doch in letzter Zeit vermuten Wissenschaftler zunehmend Hormoneffekte etlicher anderer in der Umwelt vorhandener Fremdstoffe bei Mensch und Tier, die ebenfalls Besorgnis erregen. Oft sehen diese Verbindungen in ihrer chemischen Struktur gar nicht wie Hormone aus. Sie sind in vielen Kunststoffen, in Industriechemikalien oder auch in Pestiziden enthalten. In der Natur scheinen diese Substanzen ungewöhnliche Phänomene zu verursachen, die seit einigen Jahren auftreten. So berichten Forscher von auffälligen Fortpflanzungseinbußen bis hin zu Geschlechtsveränderungen bei ganz verschiedenen Tieren, von Schnecken über Alligatoren bis zu Säugern – der Mensch nicht ausgenommen.

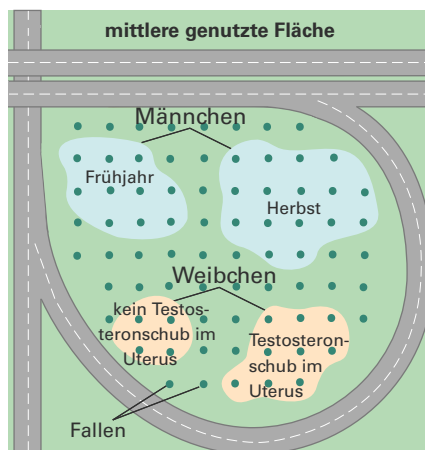
Mediziner haben solche Stoffe im Verdacht, für die beobachteten steigen-

den Raten von Brust- und Hodenkrebs beim Menschen mitverantwortlich zu sein. Auch die stark zurückgegangene Spermienzahl im Ejakulat könnte damit zusammenhängen sowie die immer frühere Pubertät bei Mädchen. Tatsächlich wechselwirken viele dieser künstlichen Verbindungen mit der Produktion von körpereigenem Östrogen oder mit der Ansprechbarkeit der Körperzellen auf Östrogen. Außerdem bilden auch manche Pflanzen natürlicherweise hormonähnliche Wirkstoffe, darunter die so genannten Phytoöstrogene. In unserer Umwelt kommen noch die hormonellen Verhütungsmittel hinzu, die in großen Mengen in die Gewässer gelangen. Auf Funktion oder Bildung männlicher Hormone hat nach bisherigem Wissen nur ein kleiner Anteil der bisher bekannten dieser Stoffe Einfluss.

Solche Zusammenhänge zu beweisen, ist allerdings nicht einfach. Gemeinsam mit vom Saal haben wir bei Mäusefeten die potenzielle Wirkung einer verdächtigten Substanz – Bisphenol A – auf die Geschlechtsausbildung näher untersucht. Bisphenol A ist als Weichmacher in vielen Kunststoffen enthalten, auch in der Innenauskleidung von Konservendosen, in Kunstharzen für Zahnprothesen und in Babyfläschchen aus Plastik. Von dort geht es in die Nahrung, in den Körper und in die Umwelt über.

Unter anderem wirkt die Verbindung östrogenähnlich. Bei Männchen kann sie in höherer Konzentration die Fruchtbarkeit stören und auch eine Verweiblichung herbeiführen. Wir stellten fest, dass weibliche Jungtiere, deren Mutter Bisphenol A in der Schwangerschaft gefressen hatte, nach der Geburt schneller wuchsen und früher geschlechtsreif wurden – und zwar abhängig von der Lage im Uterus, die wir durch Kaiserschnitt ermittelt hatten: Der Effekt zeigte sich am stärksten bei Weibchen ohne männliche Uterusgeschwister neben sich und nur schwach, wenn beidseits ein männlicher Fetus gelegen hatte. Die »weiblichsten« Weibchen reagierten also besonders empfindlich.

Wenn Umwelthormone oder Hormonstörsubstanzen die körperliche Geschlechtsentwicklung beeinflussen können, sollten sie sich auch auf das geschlechtsspezifische Verhalten auswirken, zum Beispiel auf Art und Ausmaß des Spiels, was bei männlichen und weiblichen jungen Säugetieren verschieden ist. Vor der Geschlechtsreife gehört Spielen



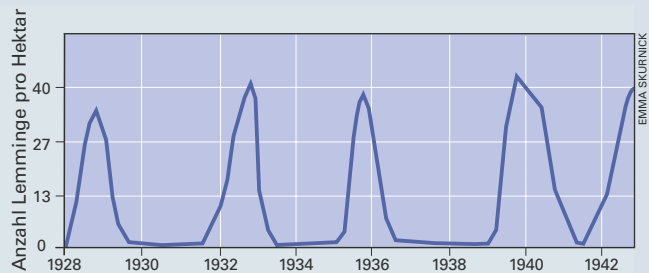
▲ Die Grünfläche eines Autobahnkreuzes diente als Versuchsgelände, um das Freilandverhalten von Mäuseweibchen zu erproben. Wer von ihnen vor der Geburt viel Testosteron ausgesetzt gewesen war, nutzte durchschnittlich eine größere Fläche – eher ähnlich den Streifengebieten von Männchen.

Der Zyklus der Lemminge

Ursachen für natürliche Populationsschwankungen

Lemminge und andere Wühlmäuse sind für ihre extremen Bestandsdichteschwankungen bekannt. Möglicherweise wirken dabei physiologische und Verhaltensunterschiede der Tiere mit, die auf vorgeburtliche Hormoneinflüsse zurückgehen. In stressarmen Zeiten, wenn den Tieren viel Platz zur Verfügung steht, würden im Verhältnis mehr weibliche Junge geboren. Unter ge-

drängten Verhältnissen kämen zum einen mehr Männchen zur Welt, zum anderen auch mehr relativ maskuline Weibchen – die ihrerseits verhältnismäßig mehr männliche Junge produzieren. So könnte die Population in ruhigen Phasen rasch anwachsen und würde, wenn das Gedränge überhand nimmt, schnell wieder schrumpfen.



▲ Diese typischen Zyklen einer Lemmingpopulation zeichnete der amerikanische Ökologe Viktor E. Shelford (1877–1968) in der kanadischen Provinz Manitoba auf. Die Populationen der kleinen Nager scheinen alle paar Jahre zu explodieren und dann plötzlich wieder zusammenzubrechen.

zu den wenigen Verhaltensweisen, in denen sich beide unterscheiden. Die jungen Männchen spielen insgesamt ruppiger, heftiger und auch mehr. Sie tollern oft herum und balgen sich gern. Offensichtlich geht dies auf den Testosteronstoß zurück, den sie vor der und um die Geburt produzieren. Unterbindet man beim Fetus das männliche Hormon durch ein Gegenmittel, spielen etwa junge Rattenmännchen wie Weibchen. Umgekehrt spielen weibliche Jungtiere auf mehr männliche Weise, wenn sie als Fetus einem Schub Testosteron ausgesetzt waren.

Verhaltenswirkung eines Spritzmittels

Zu den künstlichen Umweltchemikalien mit Hormonstörwirkung gehört das Pilzgift Vinclozolin. Es wurde seit Mitte der 1970er Jahre unter anderem im Obstbau gegen Schimmelbildung verwendet, ist in Deutschland seit 1998 aber nicht mehr zugelassen. Es blockiert die Rezeptoren für Testosteron, unterbindet also dessen Hormoneffekt.

Den Einfluss dieses Stoffs auf das Spiel von jungen Ratten untersuchte kürzlich mein Mitarbeiter Andrew Hotchkiss zusammen mit Wissenschaftlern an der US-Umweltschutzbehörde. Tatsächlich bewirkte Vinclozolin, wenn man es Muttertieren in der Schwanger-

schaft spritzte, dass die jungen Männchen wie Weibchen spielten. Normalerweise begrüßen sich junge Männchen, die einige Stunden voneinander getrennt wurden, intensiv und balgen heftig miteinander. Jetzt hielten sie sich viel mehr zurück.

Erschreckend ist, wie viele hormonwirksame Substanzen es noch geben könnte, die als solche bisher unerkannt sind. Im Jahr 1998 listete die amerikanische Umweltschutzbehörde 87 000 Verbindungen auf, die untersucht werden müssten. An der chemischen Struktur allein lässt sich ihre Wirkung oft schwer erkennen. Am besten wäre das Potential in Tests wie den hier beschriebenen Verfahren an Labortieren festzustellen. Doch solche Untersuchungen sind kosten- und zeitaufwändig.

Selbst bei Substanzen mit erwiesener Störwirkung sind genauere Analysen schwierig. Das betrifft die vorhandene Konzentration in der Umwelt wie auch die Dosis, die bei Mensch und Tier Effekte hervorbringen würde. Oft empfiehlt es sich, mittlere Mengen zu testen. Allerdings können den Wissenschaftlern dann Wirkungen bei hoher oder niedriger Dosierung entgehen. Vertrackterweise schädigen mitunter winzigste Mengen stärker als etwas höhere. Es kommt auch

vor, dass eine niedrige und eine hohe Dosis gegensätzliche Wirkungen zeitigen.

Die Tragweite – und in mancher Hinsicht vielleicht auch die natürliche Funktion – der hier berichteten Zusammenhänge muss die Forschung noch herausarbeiten. Sicher können wir sagen: Umwelteinflüsse vor der Geburt bestimmen die Geschlechtsentwicklung und die spätere Ausprägung der Geschlechtlichkeit oft mit. Wie in vielen anderen Bereichen auch verzahnt sich dabei die genetische Mitgift eng mit Faktoren von außen. ◀



John G. Vandenberg ist Professor emeritus für Zoologie an der North Carolina State University in Raleigh.

Effects of endocrine disruptors on behaviour and reproduction.

Von Paola Palanza und Frederick S. vom Saal in: Behavioural Ecotoxicology, Hrsg. von Giacomo Dell’Omo. Wiley, 2002

Intrauterine position effects. Von B. C. Ryan und J. G. Vandenberg in: Neuroscience and Biobehavioral Reviews, Bd. 26, S. 665, 2002

Endocrine disruptors. Von Manfred Metzler, Springer, 2001

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.