



57

**Unterdrückte Triebe**  
Warum wir selten tun, was wir eigentlich möchten. Seite 61

**Sichere Therapie**  
Insulin erhöht das Krebsrisiko bei Diabetes nicht. Seite 63

**Kaffee ohne Koffein**  
Neue Züchtungen sollen koffeinfreie Bohnen liefern. Seite 59

# Ein Kind zu dritt

Britische Forscher haben Embryos hergestellt, die DNA von drei Personen enthalten. Damit sollen schwere Erbkrankheiten verhindert werden. Eine unabhängige Ethikkommission hat dem Verfahren nun grünes Licht erteilt. Von *Theres Lüthi*



Künstliche Befruchtung: Ein Spermium wird in eine Eizelle injiziert.

Grossbritannien gilt im Bereich der Fortpflanzungsmedizin schon lange als fortschrittlich. Nun macht die Nation diesem Ruf erneut alle Ehre. Die unabhängige Ethikkommission «Nuffield Council on Bioethics» ist vergangene Woche nach mehrmonatiger Beratung zum Schluss gekommen, dass eine neuartige Fortpflanzungsmethode, mit der man eine Gruppe von Erbkrankheiten verhindern will, ethisch vertretbar sei und – vorausgesetzt, die Sicherheitsstudien verlaufen erfolgreich – bewilligt werden sollte. Grossbritannien könnte damit das erste Land weltweit sein, in dem die Methode zur Anwendung kommt.

Das Verfahren ist in der Presse auch schon als «3-Eltern-Embryos» bezeichnet

«Soweit wir wissen, haben die 37 Gene der Mitochondrien keinerlei Auswirkungen auf die Individualität.»

net worden, denn die geschaffenen Embryos enthalten das genetische Material von drei erwachsenen Personen. Es zielt darauf ab, Familien mit sogenannten mitochondrialen Krankheiten zu einem gesunden Kind zu verhelfen.

### «Verwässerte Elternschaft»

Mitochondrien sind kleine Organellen, die zu Hunderten oder Tausenden im Zellplasma vorliegen. Sie sind die Kraftwerke der Zelle und liefern dem Körper die nötige Energie. Sie enthalten ihre eigene DNA – genau genommen sind es 37 eigene Gene. Im Vergleich zu den rund 25 000 Genen des Zellkerns ist das zwar sehr wenig. Weist aber eines dieser 37 Gene einen Fehler auf, kann dies schwere Folgen haben – insbesondere für jene Organe, die auf eine reichliche Energiezufuhr angewiesen sind. Zu den Leiden, die auf Fehler in den mitochondrialen

Genen zurückzuführen sind, zählen schwere und mitunter tödliche Krankheiten wie Muskeldystrophie, Epilepsie und Herzversagen.

Etwa eine von 250 Personen ist Trägerin einer mitochondrialen Mutation. In den allermeisten Fällen lösen diese jedoch keine oder nur leichte gesundheitliche Beschwerden aus. Schätzungsweise eine von 6500 Personen ist von einer schweren mitochondrialen Krankheit betroffen.

Mitochondrien werden nur von der Mutter an die Nachkommen weitergegeben. Ob und wie viele der defekten Organellen weitervererbt werden, lässt sich allerdings nicht vorhersagen. Oft merken die Frauen erst nach der Geburt eines betroffenen Kindes, dass sie Trägerinnen einer Mutation sind.

Für mitochondriale Krankheiten gibt es derzeit keine Behandlungsmöglichkeiten. Nun sollen die Trägerinnen dieser Gene die Möglichkeit erhalten, gesunde Kinder auf die Welt zu bringen, indem eine Weitergabe ihrer defekten Mitochondrien verhindert wird. Dazu entfernt man nach der Befruchtung den Zellkern aus der mütterlichen Eizelle und pflanzt ihn in die Eizelle einer Spenderin mit gesunden Mitochondrien ein (siehe Grafik).

Das Individuum, das aus diesem Eingriff hervorgeht, trägt demnach genetisches Material von drei erwachsenen Personen: Die Kern-DNA seiner Eltern sowie die mitochondriale DNA einer Spenderin. Das Verfahren ist deshalb ethisch umstritten. Das National Catholic Bioethics Center in den USA etwa spricht von einem «Riss zwischen Vater und Mutter» und von einer «verwässerten Elternschaft».

Dem widerspricht nun der Nuffield Council on Bioethics, in dem Forscher, Ethiker, Ärzte und Juristen vertreten sind. In dem 100-seitigen Bericht, den

sie vergangene Woche vorgelegt haben, weisen sie darauf hin, dass die Bezeichnung «3-Eltern-Embryonen» inkorrekt sei. 99,9 Prozent des genetischen Materials des Embryos stammen nämlich von den biologischen Eltern und nur 0,1 Prozent von den gespendeten Mitochondrien. «Die Spende von Mitochondrien impliziert in keiner Art und Weise, dass das Kind eine drittes Elternteil oder eine zweite Mutter haben wird», sagt Geoff Watts, Leiter des Ethikrats. «Soweit wir wissen, regulieren die 37 Gene der Mitochondrien nur die Energieproduktion und haben keinerlei Auswirkungen auf die Individualität einer Person.» Den Beitrag der Spenderin mit dem der biologischen Eltern gleichzusetzen, sei deshalb völlig unverhältnismässig.

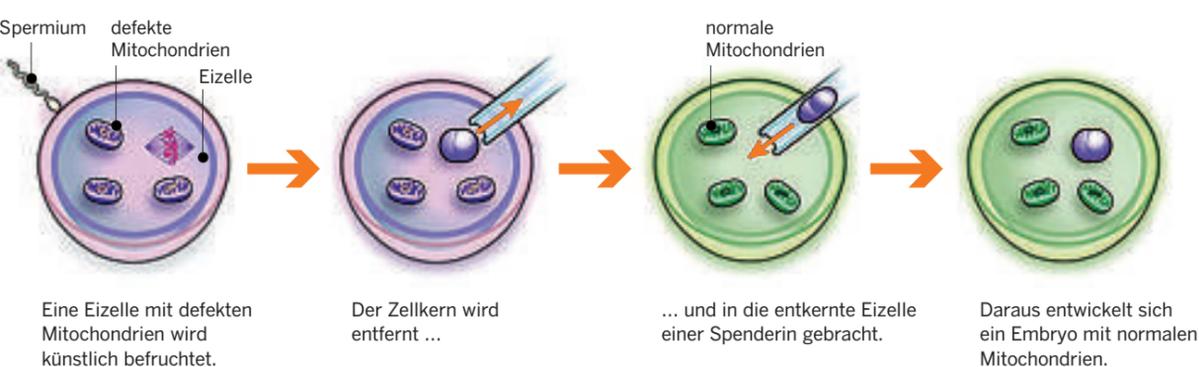
### Eingriff in die Keimbahn

«Ich finde es sehr enttäuschend, dass immer auf diesem Aspekt herumgeritten wird», sagt Watts, «denn es lenkt von einem meiner Meinung nach weit wichtigeren Thema ab.» Sollte das Verfahren dereinst bewilligt werden, wäre es das erste Mal, dass ein medizinisches Verfahren nicht nur das behandelte Individuum betrifft, sondern auch alle seine Nachkommen.

Tatsächlich handelt es sich bei diesem Verfahren um eine Art Keimbahntherapie. Anders als bei allen medizinischen Therapien, inklusive der bisher durchgeführten Genterapien, bei denen fremdes genetisches Material in kranke Körperzellen eingeschleust wird, werden hier die Keimzellen selber therapiert. Damit wird nicht nur das daraus entstehende Individuum mit gesunden Mitochondrien ausgestattet sein, sondern auch seine gesamte potenzielle Nachkommenschaft.

## Der Weg zu einem gesunden Kind

Kranke Mitochondrien werden durch gesunde ersetzt



► Fortsetzung Seite 58



FOTOS: MOMENT, CULTURE IMAGES



Der Maya-Kodex im Dresdner Buchmuseum (links). Eine Seite aus der 3,56 Meter langen Handschrift aus dem 13. Jahrhundert (oben).

# Das Rätsel der Maya

Esoteriker erkennen in der Handschrift den Weltuntergang am 21. 12. 2012. Doch was der Dresdner Maya-Kodex wirklich bedeutet, verstehen Archäologen noch immer nicht. *Von Geneviève Lüscher*

Die schwere Metalltür lässt sich kaum aufziehen, dahinter nur kühle Dunkelheit und das leise Rauschen einer Klimaanlage. Langsam gewöhnen sich die Augen daran und erkennen beleuchtete Vitrinen an der Wand, in der Raummitteln steht ein länglicher Schaukasten. Wir befinden uns – ganz allein in der kleinen Schatzkammer des Buchmuseums in Dresden, wo sich der berühmte Maya-Kodex befindet – eine Handschrift, in der Esoteriker die Vorhersage eines Weltuntergangs am 21. 12. 2012 erkennen wollen.

Der Maya-Kodex aus dem 13. Jahrhundert ist einer von dreien, die noch existieren. Die beiden anderen – in Madrid und Paris – werden nicht öffentlich gezeigt, sie sind schlechter erhalten als das Dresdner Stück. Der Dresdner Kodex besteht aus einem 20 Zentimeter hohen, einst zu einem Leporello gefalteten Papierstreifen aus 39 beidseitig beschrifteten Blättern. Ein Blatt ist nur 10 Zentimeter breit. Der Kodex hat eine Gesamtlänge von 3,56 Metern. Der Madrider Kodex ist mit 6,82 Metern doppelt so lang, das Pariser Manuskript mit nur 1,45 Metern viel kürzer.

Der Papierstreifen aus Bastfasern des Feigenbaums ist mit Kreide weisslich grundiert. Darauf sind mit feinem Strich und sehr detailliert kleine Figu-

ren gezeichnet, dazwischen reihen sich endlos Zeichen aneinander: Punkte, Striche und merkwürdige, kreisförmige Blasen. Schwarz und Rot dominieren, Blau ist seltener. Durch die in kräftigen Farben gemalte Szene sticht die letzte Seite 74 hervor; sie zeigt auf rotem Grund das wasserspeiende Himmelskrokodil über der Wassergöttin und dem Gott der Unterwelt.

Die heutige Reihenfolge der Blätter sei allerdings nicht die richtige, schreibt Nikolai Grube, Altamerikanist an der Universität Bonn in seinem neuen Buch («Der Dresdner Maya-Kalender»). Der im Zweiten Weltkrieg beschädigte Kodex wurde bei seiner Restaurierung falsch zusammengesetzt. Für die Interpretation der heute letzten Seite mit der grossen Flut, dem angeblichen Weltende, ist diese Erkenntnis entscheidend: Diese Seite bildet nicht den Abschluss von allem. Sie gehört tatsächlich in das zweite Drittel des Buches, ans Ende eines Kapitels über die Regenzeiten. Grube schreibt dazu, dass die Maya etwa alle fünf Jahre mit einer grossen Flut rechneten, nämlich dann, wenn ein bestimmter Tag ihres Ritualkalenders mit dem Beginn der Regenzeit zusammenfiel.

Die Ästhetik der regelmässig gesetzten Zeichen verblüfft, die bizarren,

zum Teil furchterregenden Figuren – Menschen, Tiere, Chimären – faszinieren. Gerne wüsste man, was genau hinter diesen Aufzeichnungen steckt. Es scheint gesichert, dass sich der Dresdner Maya-Kodex mit religiös-kulturellen Aspekten befasst, weshalb Grube annimmt, dass er im Besitz eines Priesters oder Tempels war.

Auf welchen Wegen gelangte die Dresdner Handschrift nach Europa? Wie bei den beiden anderen Schriften ist das nicht geklärt. Der Bischof von Yucatan, Diego de Landa (1524–1579), war Inquisitor in Mittelamerika, wo er die Christianisierung der Indios vorantrieb. Er beschreibt in seinen Aufzeichnungen eine Bücherverbrennung: «Wir fanden bei ihnen eine grosse Zahl von Büchern ... und weil sie nichts enthielten, was von Aberglauben und den Täuschungen des Teufels frei wäre, verbrannten wir sie alle.» Nur drei Bücher haben diese Katastrophe offenbar überlebt. Im Jahre 1739 erwarb dann ein Bibliothekar in Wien für die kurfürstliche Bibliothek in Dresden ein «mexikanisches Buch mit hieroglyphischen Figuren».

Das Entziffern der Maya-Schrift liess aber auf sich warten, und es ist bis heute nicht abgeschlossen. Voraussetzung war kurioserweise die Entziffe-

## Der Kodex enthält Berechnungen von Himmelskonstellationen sowie Voraussagen von Sonnenfinsternissen.

Der ägyptischen Hieroglyphen, in denen man nicht Bilder, sondern Laute erkannte. So ist es nicht verwunderlich, dass ein Ägyptologe Mitte des 20. Jahrhunderts hinter das System der Maya-Schrift kam. Er stellte fest, dass es sich um eine logosyllabische Schrift handelte, eine Mischung aus Wort- und Silbenzeichen. Heute sind etwa 700 Zeichen entziffert, was rund 70 Prozent der bekannten Zeichen ausmacht. Das heisst aber nicht, dass genauso viele Texte verständlich wären. Auch der Dresdner Kodex sei ungemein schwierig zu verstehen, weil es sich um eine kultische Elitesprache handle, sagt Grube. Aufgrund der beigestellten Figuren, wohl Gottheiten, wird vermutet, dass sich die Texte mit diesen Göttern befassen.

Neben den Texten erscheinen auch umfangreiche kalendarische Berechnungen, die auf den drei Zahlen 1, 5 und

0 sowie auf einem 260-tägigen Ritualkalender basieren. Der Kodex enthält Berechnungen ungünstiger Himmelskonstellationen sowie Voraussagen der Mond- und Sonnenfinsternisse. Neben dem 260-Tage-Kalender benutzten die Maya auch andere astronomische Zyklen, die es ihnen erlaubten, weit in Vergangenheit und Zukunft zu blicken. Einer dieser Zyklen endet tatsächlich am 21. 12. 2012, um dann aber wieder von vorne zu beginnen. Es findet also kein Weltuntergang statt, sondern der Anfang einer neuen Periode.

Ein Neufund in Guatemala bestätigt diesen Sachverhalt. Im Regenwald von Xultun fanden Archäologen eine eingestürzte Kammer mit Wandmalereien und kalendarischen Berechnungen ähnlich denjenigen im Dresdner Kodex. Der Entdecker William Saturno schreibt, dass die Maya sich nicht wie wir einen Weltuntergang vorstellen, sondern in immerwährenden Zyklen dachten, die ihnen garantierten, dass alles stets weiterging. Er datiert die Kammer ins 9. Jahrhundert, womit sie zur ältesten Maya-Inschrift avanciert. Vielleicht verhilft diese Neuentdeckung der Entzifferung der Maya-Schrift zu einem neuen Schub, so dass auch der Inhalt des Dresdner Kodex verständlicher wird.

## Ein Kind ...

◀ Fortsetzung von Seite 57

Douglass Turnbull von der Newcastle University in Grossbritannien testet das Verfahren seit einigen Jahren an defekten Eizellen, die von IVF-Kliniken aussortiert wurden. Er vergleicht den Austausch der defekten Mitochondrien mit dem Austausch eines defekten Akkus bei einem Notebook. «Die Energieversorgung der Zellen wird damit wieder gewährleistet», sagt er. An der Festplatte oder der DNA des Zellkerns werde hingegen gar nichts verändert.

In einem nächsten Schritt soll nun die Sicherheit und Effizienz der Methode näher untersucht werden. Dies könnte noch weitere zwei Jahre in Anspruch nehmen. «Selbst wenn die Studien erfolgreich verlaufen und die Embryonen sich normal entwickeln, dürften wir sie aber nicht in eine Frau implantieren», sagt Turnbull. Dafür bedürfte es einer Gesetzesänderung.

Im September startet die Gesundheitsbehörde eine öffentliche Anhörung, bei der verschiedene Segmente der britischen Öffentlichkeit zum Verfahren befragt werden sollen. Sie wird bis März nächsten Jahres dauern. Zusätzlich sollen unabhängige Forscher das Verfahren beurteilen. «Läuft alles

nach Plan und ist auch die britische Öffentlichkeit vom Nutzen des Verfahrens überzeugt, könnten die ersten klinischen Studien in zwei oder drei Jahren beginnen», sagt Watts.

Der Ethikrat vertritt die Meinung, dass sich alle Teilnehmer der klinischen Studien zu langfristigen Nachkontrollen verpflichten sollten. Dies sei wichtig, um die Sicherheit der Methode besser bewerten zu können. «Idealerweise sollten diese Nachkontrollen über mehrere Generationen hinweg erfolgen», sagt Watts.

Für die Spenderinnen der Mitochondrien hingegen ist keine spezielle Regelung vorgesehen. Im Falle einer konventionellen Eispende, bei der das Kind die Hälfte des genetischen Materials der Spenderin erbt, werden die Daten heute sehr sorgfältig registriert. So wird sichergestellt, dass das Kind später einmal Kontakt zu seiner biologischen Mutter herstellen kann. «Bei dem neuen Verfahren spielt die Spenderin, wie gesagt, keine grosse Rolle», sagt Watts. Entsprechend würden auch keine Vorkehrungen getroffen, um ein Kind zwanzig Jahre später zur Spenderin seiner Mitochondrien zu führen. «Wir fänden das absurd», sagt Watts. «Das hindert natürlich niemanden daran, selber solche Vereinbarungen zu treffen. Wir sind aber der Meinung, dass dies nicht Aufgabe des Staates ist.»

## Neue Kategorie von Eingriff

«Grundsätzlich ist das Verfahren ethisch vertretbar»

**NZZ am Sonntag:** Forscher haben Embryos mit der DNA von 3 Personen geschaffen. Ist das ethisch vertretbar?

**Christoph Rehmann-Sutter:** Es ist ein interessanter Fall, denn auf den ersten Blick ist es nicht ganz einfach, das Verfahren einzuordnen.

**Die Technik ähnelt dem Klonen.**

Es gibt oberflächliche Ähnlichkeiten mit dem Klonen insofern, als ein Kerntransfer durchgeführt wird. Aber es ist sicherlich kein Klonen, da es nicht darum geht, ein bestehendes Individuum genetisch zu replizieren. Man transferiert nur den Kern von einer Zelle in eine andere.

**Eine Eispende ist es aber allemal.**

Ja, und damit wäre das Verfahren in der Schweiz auch klar untersagt. Die Eispende hat man damals aber aus anderen Gründen verboten, nicht weil man eine Therapie verhindern wollte, sondern weil man das Gefühl hatte, Samenspende und Eispende seien unterschiedlich zu werten. Falls sich das Verfahren eines Tages etablieren sollte, müsste man die Eispende in der Schweiz sicher neu diskutieren.

## Ethik-Spezialist

**Christoph Rehmann-Sutter war Präsident der Nationalen Ethikkommission. Heute lehrt er an der Universität zu Lübeck.**



**Handelt es sich beim Verfahren um eine Keimbahntherapie?**

Wenn man die Keimbahn so definiert, dass sie alle DNA umfasst, die von Generation zu Generation weitervererbt wird – also Kern-DNA und mitochondriale DNA –, dann handelt es sich um eine Keimbahntherapie. Allerdings ist kein gentechnischer Eingriff involviert. Die DNA im Kern wird nicht verändert, und auch an der mitochondrialen DNA schnipselt man nicht herum. Man entfernt die kranken Mitochondrien und mischt gesunde hinzu. Es ist eine eigene Kategorie von Eingriff, im Prinzip ist es eine Mitochondrien-Spende.

**Die Keimbahntherapie ist auch in England umstritten. Die britische Ethik-**

**kommission schlägt deshalb vor, nur männliche Embryonen zu zeugen.**

Mitochondrien werden nur über die Mutter auf die folgende Generation weitergegeben. Würden nur Knaben gezeugt, bliebe die genetische Veränderung tatsächlich auf eine Generation beschränkt. Allerdings finde ich es spitzfindig, eine Geschlechtswahl ohne medizinischen Grund vorzunehmen, nur um ein Gesetz zu umgehen. Man würde die Vererbung der Heilung unterbrechen. Weshalb? Man müsste dazu auch eine Präimplantationsdiagnostik vornehmen, die nicht frei ist von Risiken.

**Welches sind Ihre grössten Bedenken?**

Meine grössten Bedenken betreffen die Sicherheit. Da gibt es noch einige offene Fragen, etwa ob das Zusammenspiel von Mitochondrien und Kern immer funktioniert und ob man die beliebig austauschen kann. Man nimmt an, dass das geht, es ist jedoch eine Hypothese. Im Grossen und Ganzen sehe ich aber keine unüberwindlichen ethischen Probleme, grundsätzlich scheint mir das Verfahren ethisch vertretbar. *Interview: Theres Lüthi*