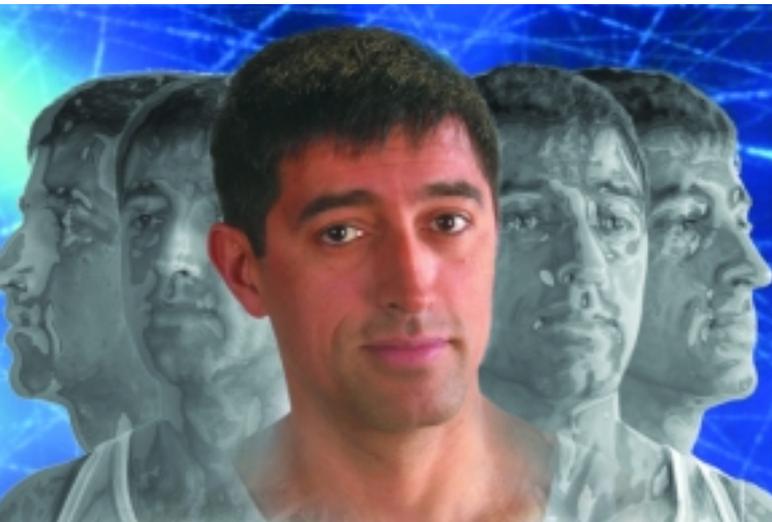


SCRIPT ZUR WDR-SENDEREIHE „QUARKS & CO“

Quarks & Co



**DER KOPIERTE
MENSCH**



Der kodierte Mensch

Inhalt

Kleines Klon-Lexikon	4
Klonen in Korea	9
Embryonale Stammzellen – Ersatzteillager für den Menschen?	11
„Was ist Leben?“	14
Die Entwicklung eines Embryos	16
Reproduktives Klonen – Theoretisch ganz einfach	18
Chronik des Klonens	20
Die Grenzen der Schöpfung – warum das Klonen oft nicht klappt	22
Lesetipps	24
Linktipps	25

Impressum

Text:

Katrin Buchwalsky,
Ilka aus der Mark,
Corinna Sachs,
Michael Tekath

Redaktion und Koordination: Claudia Heiss

Copyright: WDR Juli 2004

Weitere Informationen erhalten sie unter: www.quarks.de

Gestaltung: Designbureau Kremer & Mahler, Köln

Diese Broschüre wurde auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Bildnachweise:

Alle Abbildungen wdr

KLONEN

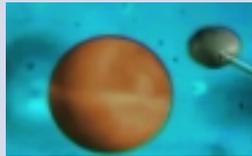
Klon

Als Klon bezeichnet man eine genetisch identische Kopie einer Zelle oder eines gesamten Organismus. Das heißt: Der Nachkomme besitzt haargenau die gleichen Gene wie das Lebewesen aus dem er gezeugt wurde.

Bei Bakterien und Pflanzen kommen Klone auf natürliche Weise vor, zum Beispiel, wenn sich Organismen ungeschlechtlich fortpflanzen oder Ableger bilden wie etwa Kartoffeln. Auch eineiige Zwillinge, die durch eine frühe Teilung eines Embryos entstehen, sind streng genommen natürliche Klone.

Kerntransfer

Der Kerntransfer ist die eigentliche Technik des Klonens. Dazu wird einer Eizelle der Zellkern mit den genetischen Informationen entfernt. In diese entkernte Eizelle wird nun der Zellkern einer anderen Zelle gegeben (zum Beispiel der Kern einer Hautzelle). Nach der so genannten „Reprogrammierung“ beginnt sich die Zelle zu teilen.



Reprogrammierung

Um nach einem Kerntransfer ein neues Lebewesen zu erzeugen, muss der Zellkern „reprogrammiert“ werden. Das heißt, das „erwachsene“ genetische Programm des neu eingesetzten Erbguts soll gelöscht und das „embryonale“ aktiviert werden. Erst dann kann die normale Zellreifung starten. Bei der normalen Befruchtung wird diese Zellteilung durch das Spermium ausgelöst. Bei einer geklonten Zelle werden sowohl die Reprogrammierung als auch die Reifung durch künstliche chemikalische oder physikalische Reize ausgelöst.

Epigenetik

Die Genetik befasst sich mit der Erbsubstanz, der DNA und wie die Abfolge der Gene auf der DNA abgelesen wird.

Die Epigenetik hingegen untersucht wie, wann und warum die Gene ein- oder ausgeschaltet werden. Also Prozesse, die über die Abfolge der Genbuchstaben hinaus, in das Ablesen der Gene eingreifen. Epi bedeutet im Griechischen über. Eine „Über-Genetik“ also.

Epigenetische Prozesse sind zum Beispiel dafür verantwortlich, warum eineiige Zwillinge trotz identischen Erbguts nicht identisch aussehen. Epigenetische Veränderungen werden durch verschiedene Schaltermoleküle, Eiweiße und andere Signalstoffe der Zelle eingeleitet. Sie sind unter anderem beteiligt an der Krebsentstehung und bestimmen, welche Eigenschaften vom Vater und welche von der Mutter vererbt werden. Diese „Über-Genetik“ wird in Teilen auch für die Probleme bei der Stammzelltherapie und beim Klonen verantwortlich gemacht.

Reproduktives Klonen

Das reproduktive Klonen hat das Ziel, identische Lebewesen hervorzubringen. Das erste geklonte Säugetier war das Schaf Dolly, das 1996 geboren wurde. In der Landwirtschaft ist reproduktives Klonen heute bereits Routine: etwa um eine besonders effiziente Milchkuh zu kopieren.

Therapeutisches Klonen

Beim therapeutischen Klonen werden Lebewesen geklont, um daraus bestimmte Zellen zu entnehmen: embryonale Zellen. Diese Stammzellen sollen in Zukunft einmal für die Therapie verschiedener Erkrankungen genutzt werden. Beim therapeutischen Klonen handelt es sich also um einen Forschungsansatz. Eindeutiger wäre es, vom „Forschungsklonen“ zu sprechen.

STAMMZELLEN

Stammzellen

Stammzellen sind Zellen, die noch nicht voll ausgereift sind und daher noch die Fähigkeit haben, sich in verschiedene Gewebearten zu entwickeln. Man unterscheidet zwischen embryonalen, fetalen und adulten Stammzellen.

Embryonale Stammzellen

Embryonale Stammzellen findet man beim Menschen etwa vom 4. bis zum 7. Tag nach der Befruchtung. Embryonale Stammzellen sind pluripotent, das heißt aus ihnen kann jede Zellart des menschlichen Körpers entstehen. Ein eigenständiger Organismus jedoch kann sich aus den Zellen nicht mehr entwickeln. Embryonale Stammzellen können sich also nahezu in alle Zelltypen spezialisieren. Nur die Fähigkeit, den kindlichen Anteil des Mutterkuchens zu bilden, haben sie verloren.

Fetale Stammzellen

Fetale Stammzellen sind noch nicht ausgereifte, ursprüngliche Zellen des Fötus. Normalerweise bilden oder erneuern sie Zellen der verschiedenen Organe des Fötus während seiner Entwicklung. Fetale Stammzellen sind multipotent.

Adulte Stammzellen

Adulte Stammzellen sind undifferenzierte, das heißt noch nicht ganz ausgereifte Zellen. Sie erneuern sich im Körper ein Leben lang. Adulte Stammzellen sind eine Art Ersatzzellen und dienen normalerweise der Reparatur von Organen oder dem Ersatz verbrauchter Zellen (wie etwa Blutzellen). Man hat adulte Stammzellen in vielen

KLEINES KLON-LEXIKON

Organen entdeckt, unter anderem in Knochenmark, Gehirn, Darm, Leber, Haut, Bauchspeicheldrüse und Skelettmuskeln. Adulte Stammzellen sind multipotent.

Nabelschnurstammzellen

Nabelschnurstammzellen sind Stammzellen, die direkt nach der Geburt aus dem Blut der Nabelschnur entnommen werden. Sie zählen zu den adulten Stammzellen und sind multipotent. Ihr Vorteil gegenüber anderen adulten Stammzellen: Die Stammzellen der Nabelschnur sind weitgehend unbelastet durch Umwelteinflüsse.

POTENZEN

Zell-Potenzen

Mit Potenz bezeichnet man die Fähigkeit einer Zelle, sich zu differenzieren, das heißt in bestimmte Gewebeformen zu spezialisieren. Je weiter eine Zelle differenziert ist, desto eingeschränkter ist ihre Entwicklungsmöglichkeit. Während sich totipotente Zellen zu sämtlichen Zelltypen differenzieren können, nimmt die Fähigkeit zur Differenzierung in folgender Reihenfolge ab: pluripotent, multipotent, oligopotent und unipotent, wobei die Übergänge fließend sind und stark von äußeren Einflüssen abhängen.

Totipotenz

Fähigkeit einer Zelle, sich in alle erdenklichen Gewebearten zu spezialisieren und somit einen kompletten lebensfähigen Organismus aufzubauen. Beispiel: die befruchtete Eizelle.

Pluripotenz

Fähigkeit einer Zelle, sich in nahezu alle Gewebearten eines Organismus zu entwickeln, wobei einige Zellarten nicht mehr gebildet werden können. Beispiel: embryonale Stammzellen.

Multipotenz

Fähigkeit einer Zelle, sich in eine Vielzahl von Abkömmlingen zu differenzieren. Beispiel: adulte Stammzellen.

Oligopotenz

Fähigkeit einer Zelle, sich in wenige Zellarten zu differenzieren. Meist sind die Zellarten, die durch oligopotenten Zellen gebildet werden können, miteinander verwandt. Beispiel: Vorläuferzellen der weißen Blutkörperchen.

Unipotenz

Fähigkeit einer Zelle, nur Zellen desselben Typs zu bilden. Beispiel: Hautzelle.

EMBRYONAL-ENTWICKLUNG

Befruchtung

Die Befruchtung ist der Moment, in dem das Spermium in die Eizelle eindringt. Die Befruchtung ist mit der ersten Teilung der befruchteten Eizelle abgeschlossen.



Vorkernstadium

Nach Eindringen des Spermiums hat die befruchtete Eizelle zunächst zwei Vorkerne, einen mit der Erbinformation der Eizelle, den anderen mit der Erbinformation des Spermiums. Diese Vorkerne verschmelzen und bilden den eigentlichen Zellkern der befruchteten Eizelle. Beide Vorkerne tragen nur den halben Chromosomensatz.



Kernverschmelzung

Die Kernverschmelzung ist die Verbindung von Vorkern des Spermiums und Vorkern der Eizelle. Hierdurch entsteht der eigentliche Zellkern der befruchteten Eizelle und die Zellteilung kann beginnen. Der Zellkern hat jetzt den doppelten Chromosomensatz.



Morula

Als Morula (Maulbeere) bezeichnet man die befruchtete Eizelle, die nach einigen Tagen durch Zellteilung (16-Zellstadium) ein beerenartiges Aussehen hat.



KLEINES KLON-LEXIKON

Blastula/Blastozyste

Die Blastula geht aus der Morula durch weitere Zellteilung hervor. Inzwischen hat sich im Inneren der Zellmasse ein flüssigkeitsgefüllter Hohlraum gebildet, der nur noch von einer Zellschicht umschlossen wird. In diesem Stadium (zwischen dem 5. und 7. Tag) nistet sich der Embryo in die Gebärmutter ein.



Gastrula

Die Gastrula (Becherkeim) entsteht aus der flüssigkeitsgefüllten Blastula durch becherförmige Einstülpung der Blastulawand. So liegen zwei Zellschichten aufeinander. Ab hier beginnt die Aufteilung der Zellen in eine innere Schicht (Endoderm) und eine äußere Schicht (Ektoderm), die so genannten Keimblätter.

Keimblätter

Die Keimblätter entstehen durch Einstülpung der Blastula-Wand bei der Bildung des Becherkeims (Gastrula). Durch die Einstülpung bilden sich eine innere Zellschicht (Endoderm) und eine äußere Zellschicht (Ektoderm), die auch inneres und äußeres Keimblatt genannt werden. Zwischen diesen beiden Keimblättern entsteht noch ein mittleres, das so genannte Mesoderm.

Die drei Keimblätter sind Grundlage für unterschiedliches Gewebe. Aus dem Endoderm entwickeln sich das Verdauungssystem und die Innenwände der Atemwege. Aus dem Ektoderm werden Haut, Schleimhäute von Mund und After, Zähne und Nervengewebe. Blut und Blutgefäße, Bindegewebe und Muskeln, Harntrakt und Hoden bzw. Eierstöcke bilden sich aus dem Mesoderm.

Embryo

Der Embryo ist der Keim bis zur Herausbildung der Organanlagen. Beim Menschen dauert das Embryonal-Stadium bis etwa zum Ende des dritten Schwangerschaftsmonats, das heißt bis etwa zum 84. Tag nach der Befruchtung.

Fötus

Der Fötus ist der Keim nach Abschluss des Embryonal-Stadiums (beim Menschen ab dem 85. Tag) bis zur Geburt. Sämtliche Organe sind zu diesem Zeitpunkt angelegt und die Körperform ist fertig entwickelt.

Klonen in Korea

Eine wissenschaftliche Sensation

Die beiden koreanischen Forscher Woo Suk Hwang und Shin Yong Moon haben einen menschlichen Embryo bis zum 200-Zell-Stadium geklont! Das haben sie Anfang 2004 in der Fachzeitschrift „Nature“ veröffentlicht. Nie zuvor war das Klonen menschlicher Zellen über das Achtzell-Stadium hinaus dokumentiert worden. Das Ziel der Koreaner: aus dem geklonten menschlichen Embryo eine so genannte Stammzelllinie zu entwickeln: Die Stammzellen sollen damit immer wieder verfügbar sein, ein unerschöpfliches Lager also. Hwang und Moon betonen, dass sie nicht reproduktiv klonen, die Embryos also nicht in die Gebärmutter einer Frau einsetzen. Vielmehr ist es ihr Ziel, aus geklonten Embryos menschliches Gewebe zu züchten, um damit in der Zukunft einmal Krankheiten heilen zu können, das so genannte therapeutische Klonen. Aus den Zellen des Embryos konnten sie bereits Vorstufen von menschlichem Nerven-, Muskel- und Knorpelgewebe züchten.



Koreanische Forscher haben weltweit zum ersten Mal einen menschlichen Embryo geklont

Das Know How

Die Technik des Klonens erproben die koreanischen Forscher bereits seit Jahren an Tieren. Der Veterinärmediziner Woo Suk Hwang hat seit 2001 mehr als 50 Kühe und Schweine geklont. Ein Ziel seiner Forschungen ist die so genannte Xenotransplantation: Zellen aus geklonten Embryos oder sogar ganze Organe des Schweins sollen in den menschlichen Körper transplantiert werden. Bei diesen Experimenten hatten die koreanischen Wissenschaftler ihre Erfahrungen gesammelt. Und so wagten sie sich auch an das Klonen von menschlichen Embryos. Die Forscher wenden dabei dieselben Techniken an, die sich beim Klonen von Tieren bereits bewährt haben: Sie verbesserten dabei die Methoden systematisch: Beim Entkernen der Eizelle saugen die Forscher den Zellkern nicht wie üblich heraus, sondern drücken ihn durch ein Loch in der Außenhülle – für die empfindliche Eizelle soll das Verfahren schonender sein. Außerdem lassen die Koreaner die Eizellen nach der Übertragung des Zellkerns über zwei Stunden in der Nährlösung ruhen – das ist länger als allgemein üblich.



Die koreanischen Forscher haben bereits mehr als 50 Schweine und Kühe geklont



In Korea ist die Forschung mit menschlichen Stammzellen zur Zeit noch erlaubt

Gesetzeslücken in Korea

Dass ausgerechnet in Korea ein menschlicher Embryo geklont wurde, ist kein Zufall. Im Gegensatz zu Deutschland ist der Umgang mit menschlichen Eizellen und Stammzellen in Korea bis heute nicht gesetzlich geregelt. Nur reproduktives Klonen und die Erzeugung von Mischwesen sind definitiv verboten. Erst ab 2005 soll der Umgang mit Stammzellen neu und wahrscheinlich auch strenger geregelt werden. Neben industriellen Geldgebern hat die koreanische Regierung im vergangenen Jahr fast 500.000 Dollar in die Klonforschung investiert. Die Ausrüstungen der Labore sind auf dem neuesten Stand. Korea ist, wie viele andere asiatische Staaten auch, sehr ehrgeizig in Sachen Biotechnologie und setzt alles daran, die Forschungen voranzutreiben. Vielleicht ist das der Grund dafür, warum ethischen Fragen bei dem Klon-Experiment fast vollständig in den Hintergrund traten. Von jener Ethikkommission, die das Klon-Experiment von Hwang und Moon billigte, existieren weder Protokolle noch eine offizielle Mitgliederliste. Zwar gibt es auch in Korea Kritiker und Gegner der Klonforschung, aber sie konnten das Experiment letzten Endes nicht verhindern.

Die Eizellspende – eine Frage der Kultur?

Für das koreanische Experiment gab es eine wichtige Voraussetzung: Den Forschern standen 242 menschliche Eizellen zur Verfügung, also viel „biologisches Material“. 16 junge Koreanerinnen spendeten die Eizellen – nach Angaben der Forscher freiwillig und ohne Bezahlung. Das ist erstaunlich, zumal die Frauen eine monatelange Hormonbehandlung und einen schmerzhaften Eingriff über sich ergehen lassen mussten. Betreut wurden die Frauen vom Gynäkologen Professor Shin Yong Moon. Nach dem Erfolg, so Moon, hätte er neue Spenderangebote von vielen Koreanerinnen bekommen. Dieses Verhalten der Frauen führt zu Gerüchten – auch in Korea selbst. Vermutungen, die Spenderinnen stammten aus dem Laborteam von Hwang und Moon, weisen die Forscher strikt zurück.

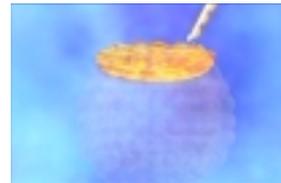
Der Originalartikel ist in der Wissenschafts-Zeitschrift Science erschienen: Science Vol. 303 v. 12.03.04 S. 1669

Embryonale Stammzellen – Ersatzteillager für den Menschen?

Noch vor einigen Jahren war der Begriff Stammzellen in der Öffentlichkeit nahezu unbekannt. Inzwischen gelten Stammzellen als eine Art „Zaubermittel“, das in Zukunft all unsere medizinischen Probleme lösen soll. Denn Stammzellen besitzen die Fähigkeit, sich in nahezu alle Zelltypen eines Organismus zu entwickeln. Mit ihrer Hilfe könnte sich so die Hoffnung verletztes oder abgestorbenes Gewebe ersetzen und damit eine Vielzahl von Krankheiten heilen lassen.

Stammzellen – die Alleskönner

Die Entwicklung des Menschen beginnt mit einer einzigen Zelle. Eine Zelle, die jedes Gewebe des menschlichen Körpers bilden kann. Erst nach dem so genannten Blastozystenstadium beginnt die Spezifizierung der Zellen. In diesem Stadium besteht der Embryo aus etwa 100 Zellen. Und aus jeder einzelnen kann noch eine der mehr als 200 Zellarten werden, aus denen ein ausgewachsener menschlicher Organismus besteht. In diesem Stadium werden die so genannten embryonalen Stammzellen entnommen.



Im Blastozystenstadium werden die embryonalen Stammzellen gewonnen

Forschung mit embryonalen Stammzellen – eine Herausforderung

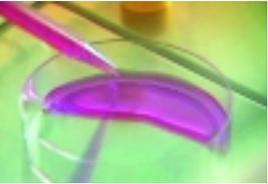
Vor mehr als 20 Jahren wurden embryonale Stammzellen aus Mäusen isoliert. In Tierversuchen haben Wissenschaftler mit diesen Zellen vielversprechende Erfolge erzielt. Als 1998 erstmals auch menschliche embryonale Stammzellen isoliert wurden, entflammte die Hoffnung neu, mit Stammzellen Erkrankungen wie Parkinson, Diabetes oder Herzschwäche zu heilen. Dennoch müssen die Forscher inzwischen einsehen, dass die Erkenntnisse aus den Tierversuchen auf den Menschen nicht bedingungslos übertragbar sind. Denn nach wie vor stehen die Wissenschaftler, die an embryonalen Stammzellen forschen, immer noch vor vier wesentlichen Problemen.



Mit Hochdruck wird daran geforscht, Stammzellen therapeutisch einzusetzen

1.) Zellen vermehren

Zunächst wollen die Forscher die Stammzellen vermehren. Um eine Erkrankung heilen zu können, braucht man wesentlich mehr Zellen, als man gewinnen kann. Um etwa einem



Stammzellen brauchen Nährflüssigkeiten und Feeder-Zellen zum Wachsen

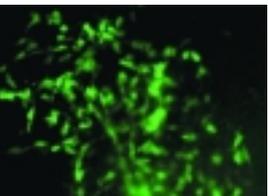
Menschen mit Herzschwäche helfen zu können, bräuchte man rund 10^9 Zellen, das sind 10 Milliarden Zellen. So viele Stammzellen kann man aus Embryonen nicht isolieren. Daher werden die Stammzellen auf so genannten Feeder-Zellen angezüchtet, die zum Beispiel aus der Vorhaut des Mannes stammen (Dieses „delikate Nährmedium“ hat eine praktischen Hintergrund: in Israel, wo mit mehreren Stammzell-Linien geforscht wird, stehen durch die Beschneidung Vorhäute ausreichend zur Verfügung). Zusammen mit bestimmten Nährflüssigkeiten werden die Stammzellen auf eine Schicht dieser Feeder-Zellen aufgebracht. Die Vermehrung von embryonalen Stammzellen ist nicht unproblematisch. Denn die für unbegrenzt vermehrungsfähig gehaltenen Stammzellen sind nicht so stabil, wie die Forscher dachten. Je häufiger Stammzellen vermehrt werden, desto öfter treten Fehler in ihrem Erbgut auf. Plötzlich haben einige der Zellen ein Chromosom zu viel: eine so genannte Trisomie bei Chromosom 17. Verhindern können das die Forscher bisher nicht.

2.) Die Reifung steuern

Sobald die Stammzellen von den Feeder-Zellen abgelöst werden, beginnen sie damit, sich in verschiedene Gewebe zu spezifizieren. Die Reize, die die Ausreifung der Stammzellen in spezielle Gewebe steuern, sind noch nicht ausreichend bekannt. Nicht aus jeder Stammzelle wird genau die Zelle, die die Forscher gerne haben möchten. Es konnten zwar schon Vorläuferzellen bestimmter Gewebearten wie etwa Herz- oder Nervengewebe aus menschlichen embryonalen Stammzellen erzeugt werden. Es ist Wissenschaftlern aber noch nicht gelungen, funktionsfähige Insulin bildende Zellen zur Heilung des Diabetes gezielt zu gewinnen. Daneben sind in der Petrischale immer wieder Zellen aufgetaucht, die mit dem erwünschten Gewebe nichts zu tun hatten oder noch nicht ausgereift waren. Im Tierversuch entstanden aus diesen unerwünschten Zellen sogar Tumore.

3.) Unerwünschte Zellen aussortieren

Das Problem wollen die Forscher nun lösen, indem sie die gewünschten Zellen markieren. Sie schleusen den Zellen zum Beispiel ein Fluoreszenz-Gen ein, das nur in den gewünschten Zellen aktiviert wird. Bei der Forschung an



Durch ein Fluoreszenz-Gen werden die erwünschten Zellen zum Leuchten gebracht

Herzzellen hat die Methode schon funktioniert. Das Fluoreszenzgen lässt die gewünschten Zellen unter Blaulicht leuchten und die unerwünschten Zellen können aussortiert werden. Bisher ist das aber nur im Tierversuch gelungen.

4.) Zellen in das Organ einbringen

Selbst wenn die Forscher eines Tages die Reifung der Stammzellen zielgerichtet steuern können, bleibt ein weiteres Problem: Wie sollen die neugewonnenen Zellen in das Organ eingebracht werden, das sie heilen sollen? Damit die Zellen mit dem Körper kommunizieren können, müssen sie mit dem bereits vorhandenen Gewebe „verschaltet“ werden. Gerade die Bekämpfung von Herz- und Hirnerkrankungen stellt eine der größten Herausforderungen im Einsatz von Stammzellen dar.

Stammzellforschung – zur Zeit noch Grundlagenforschung

Noch ist die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen nicht sehr weit vorangeschritten. Die Forscher stehen immer wieder vor Problemen, die sie im Tierversuch zwar bereits gelöst haben, deren Ergebnisse aber auf den Menschen nicht übertragbar sind. Erst wenn sie herausgefunden haben, wie sich Stammzellen in verschiedene Zelltypen entwickeln, können sie dies gezielt steuern und über mögliche Therapien nachdenken. Bis erste Versuche am Menschen beginnen können, wird es nach Ansicht der Forscher bis etwa 2015-2020 dauern.

Daher wird auch mit Hochdruck an den so genannten adulten Stammzellen geforscht. Adulte Stammzellen sind undifferenzierte, das heißt noch nicht ganz ausgereifte Zellen, die sich ein Leben lang erneuern. Normalerweise dienen sie der Reparatur von Organen oder dem Ersatz kurzlebiger Zellen wie etwa Blutzellen. Adulte Stammzellen kommen in vielen Organen vor, unter anderem in Knochenmark, Gehirn, Darm, Leber, Haut, Bauchspeicheldrüse und Skelettmuskeln. Adulte Stammzellen aus dem Knochenmark werden bereits seit Jahren eingesetzt, um Erkrankungen des blutbildenden Systems (wie etwa Leukämien) zu heilen. Ob adulte Stammzellen auch Menschen mit Parkinson, Diabetes oder Herzinfarkten helfen können, ist noch nicht abschließend geklärt.

„Was ist Leben?“ – Was ist erlaubt?

RECHTLICHE HINTERGRÜNDE ZUR STAMMZELLFORSCHUNG UND DEM THERAPEUTISCHEN KLONEN

Ist ein zweizelliger Embryo nur einfaches Gewebe oder bereits ein menschliches Wesen? Ist er nur eine Ansammlung von Zellen oder eine zukünftige Person? Vor derartigen Fragen stehen Regierungen, wenn sie einem Embryo einen gesetzlichen Status zusprechen sollen. Da Politiker und Wissenschaftler dieses Problem von Land zu Land unterschiedlich bewerten, fallen auch die Gesetze unterschiedlich aus. Deutschland und Frankreich haben strenge Gesetze zum Schutz des werdenden Lebens erlassen. England und Israel sind liberaler und in den USA ist unter bestimmten Voraussetzungen fast alles erlaubt. Die folgende Übersicht gibt einen kurzen Einblick in die Gesetzgebung einiger Länder.

Deutschland

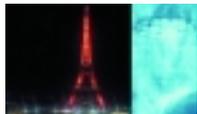


Stichtag: 1. Tag:
Kernverschmelzung

In Deutschland schützt das Embryonenschutzgesetz den Embryo ab der Verschmelzung der Kerne von Eizelle und Spermium. Jede Art von Forschung am Embryo, die „nicht seiner Erhaltung dient“, ist damit verboten. Genauso wie die Gewinnung von menschlichen embryonalen Stammzellen aus Embryonen und jede Art von Klonen.

Nicht verboten dagegen ist die Einfuhr von embryonalen Stammzellen und die Forschung damit. Das gilt aber nur unter bestimmten Voraussetzungen: Gemäß Stammzellgesetz müssen diese Zellen „in Übereinstimmung mit der Rechtslage im Herkunftsland vor dem 1. Januar 2002“ gewonnen worden sein. Die Forschung mit diesen Zellen ist beantragungspflichtig und muss genehmigt werden.

Frankreich



Stichtag: 7. Tag:
Blastozystenstadium

Die derzeitige Gesetzesgebung in Frankreich ist vergleichbar mit der deutschen: Auch dort ist der Embryo von der Verschmelzung der Keimzellkerne an streng geschützt. Das könnte sich jedoch schon bald ändern. Eine Neufassung der geltenden Bioethikgesetze wurde im Dezember 2003 von der französischen Nationalversammlung angenommen und liegt zur Zeit noch dem Senat vor. Sollte das Gesetz in Kraft treten, wird es in Frankreich erlaubt sein, an überzähligen Embryonen aus künstlichen Befruchtungen bis zum siebten Tag zu forschen und Stammzellen aus ihnen zu gewinnen. Das therapeutische Klonen, also die Erzeugung von Embryonen zu Forschungszwecken, ist allerdings nicht erlaubt. Das Gesetz soll zunächst für fünf Jahre gelten und dann erneut geprüft und gegebenenfalls dem Stand der Entwicklung angepasst werden.

England

England ist eines der liberalsten Länder in Europa. Nach dem so genannten „Fertilisation and Embryology Act“ von 1990 dürfen in England Embryonen unter bestimmten Voraussetzungen zu Forschungszwecken verwendet werden. Sie dürfen zum so genannten therapeutischen Klonen, erzeugt werden, um aus ihnen Stammzellen zu gewinnen. Zu den Voraussetzungen gehört, dass die genetischen Eltern zustimmen und der für die Forschung verwendete Embryo noch keinen Primitivstreifen aufweist, also nicht älter als 14 Tage ist. Zudem muss eine Lizenz der zuständigen Kontrollbehörde, der „Human Fertilisation and Embryology Authority“ (HFEA), vorliegen. Diese Lizenzen werden nur nach eingehender, strenger Prüfung durch die englischen Behörden vergeben.



Stichtag: 14. Tag:
Primitivstreifen

Israel

In Israel ist seit 1999 das reproduktive Klonen per Gesetz verboten. Im März 2004 wurde ein zweites, etwas strengeres Gesetz verabschiedet. Seine Geltungsdauer beträgt zunächst fünf Jahre, danach steht eine erneute Prüfung an. Die Gewinnung von Stammzellen aus menschlichen Embryos wird in Israel grundsätzlich geduldet. Auch die Forschung an Embryonen bis zum 14. Tag nach der Verschmelzung der Keimzellkerne ist erlaubt. In Israel existiert also kein Gesetz, das den Embryo direkt schützt. Interessant ist, dass der Talmud, eine der heiligen Schriften des Judentums, den Embryo bis zum 40. Tag nur als eine Art Wasser ansieht. Erst mit dem 41. Tag erfolgt seine „Beseelung“.



Stichtag: 14. Tag nach der
Kernverschmelzung

Vereinigte Staaten von Amerika

Grundsätzlich gilt: Weder die Forschung mit menschlichen embryonalen Stammzellen noch ihre Gewinnung sind durch Bundesrecht verboten. Außerdem gibt es kein bundesrechtliches Verbot des therapeutischen Klonens. Aber: Forschung, die einem Embryo schadet, wird nicht mit Bundesmitteln gefördert. Die Bedingungen zur Förderungswürdigkeit hat Präsident George W. Bush am 9. August 2001 festgelegt. Demnach ist nur die Forschung mit Stammzelllinien förderungsfähig, die vor dem 9. August 2001 (so genannte Stichtagregelung, wie oben beschrieben in Deutschland) hergestellt worden sind. Der US-Kongress arbeitet derzeit ein Bundesgesetz aus, das sich auf die Forschung mit humanen embryonalen Stammzellen bezieht. Tritt das neue Gesetz in Kraft, wird sowohl das therapeutische als auch das reproduktive Klonen in den USA verboten sein.



Therapeutisches Klonen:
weder Verbot noch
Förderung

Die Entwicklung eines Embryos:

Die Entwicklung des Menschen von der Keimzelle bis zum voll ausgebildeten Lebewesen ist eines der größten Wunder des Lebens. Neun Monate dauert der Prozess von der Befruchtung bis zur Geburt.

DIE WICHTIGSTEN STATIONEN:

Kernverschmelzung

Nach der Befruchtung verschmelzen die beiden Kerne von Eizelle und Spermazelle miteinander: der Embryo entsteht. Die Zelle hat jetzt den doppelten Chromosomensatz: Das ist der Auftakt für neues Leben.



(Beim **Klonen** wird der Kern einer nicht befruchteten Eizelle entfernt und ein Kern aus einer anderen Eizelle eingeführt. Somit hat auch die geklonte Zelle den doppelten Chromosomensatz. Ab hier entsprechen sich die verschiedenen Stadien bei Klonen und der natürlichen Embryonalentwicklung.)

Zweizellstadium

nach 30 Stunden

Die neu entstandene Zelle teilt sich zum ersten Mal – das Zweizellstadium.



Vierzellstadium

nach 40 Stunden

Das Vierzellstadium: Von nun an teilen sich die Zellen ungefähr alle 12-15 Stunden.



16-Zellstadium (Morula-Stadium)

nach 3 Tagen

Das 16-Zellstadium: Der Keimling sieht jetzt aus wie eine Maulbeere. Nach dem lateinischen Wort für Maulbeere, Morula, bezeichnen Fachleute dieses Zellstadium als Morulastadium.



Blastozyste

nach 4-5 Tagen

Der innere Zellverband löst sich auf und ein flüssigkeitsgefülltes Bläschen bildet sich. Diese so genannte Blastozyste wandert während ihrer Entwicklung durch den Eileiter in Richtung Uterus. (Beim **Klonen**: Etwa in diesem Stadium haben die koreanischen Forscher dem Embryo Stammzellen entnommen.)



Implantation

nach 6-7 Tagen

Schließlich schlüpft die Blastozyste aus ihrer schützenden Hülle, der so genannten Zona pellucida und nistet sich in die Uterusschleimhaut ein. Dieser Vorgang heißt Implantation.



nach 14 Tagen

Der Embryo besteht mittlerweile aus einigen Tausend Zellen. Der so genannte Primitivstreifen bildet sich und legt die Achse des Embryos fest.



nach ca. 28 Tagen

Der Embryo hat eine Länge von sechs Millimetern; Gehirn und Rückgrat deuten sich an – das kleine Herz pumpt schon Blut zur Leber und durch die Hauptschlagader.



nach ca. 40 Tagen

Gesicht und Hände bilden sich. Der Embryo ist jetzt etwa einen Zentimeter lang.



nach ca. 90 Tagen

Bei dem jetzt acht bis neun Zentimeter langen Embryo sind alle Organe angelegt. Bis zu seiner Geburt im neunten Monat wird der Embryo noch kräftig wachsen – bis zu einer Größe von etwa 50 Zentimeter.



Reproduktives Klonen – theoretisch ganz einfach

Das Schaf Dolly war das erste Säugetier, das reproduktiv geklont wurde. Es kam am 5. Juli 1996 in Schottland im Roslin-Institute zur Welt. Dolly war die perfekte Kopie ihrer „Mutter“ – eines sechs Jahre alten Schafes.



Dolly war eine Sensation!

Der Geburt von Dolly war eine aufwändige Prozedur vorangegangen. Die Forscher entnahmen einem Schaf eine Eizelle und entfernten deren Zellkern mit der gesamten Erbinformation. Dollys „Mutter“ wurde eine Euterzelle entnommen und deren Zellkern in die leere Hülle der entkernten Einzelle eingesetzt. Hier sollte sich der fremde Kern wieder zurückentwickeln: Vom Kern einer ausdifferenzierten, „erwachsenen“ Euterzelle zu einem embryonalen Kern. Um das zu erreichen, wenden die Forscher verschiedene Tricks an: Mit Hilfe von elektrischen Impulsen sollen Zellkern und -hülle miteinander verschmelzen. Wenn das funktioniert, beginnt sich die Eizelle zu teilen und es entwickelt sich ein Klon-Embryo. Bei Dolly hat das geklappt: Der Embryo wurde einem Leihmuttereschaf eingepflanzt, das ein paar Monate später ein gesundes Lamm zur Welt brachte: Dolly – eine genetisch exakte Kopie eines erwachsenen Schafes.

Klonen – in der Praxis schwierig

Bis Dolly das Licht der Welt erblickte, wurde diese Prozedur 277 Mal durchgeführt: 277 Zellkerne wurden in 277 Spender-Eizellen eingesetzt und über zehn Jahre lang in insgesamt 13 Leihmütter eingepflanzt. Nur eine dieser Schwangerschaften verlief erfolgreich.



Dolly musste eingeschlafert werden

Die Kopie ist nie so gut wie das Original

Dolly hatte Übergewicht und musste Diät halten. Sie bekam mit fünfenehalb Jahren entzündliches Rheuma, also Arthritis und sie alterte viel zu schnell. Im Februar 2003 musste sie wegen einer Lungenentzündung eingeschläfert werden. Sie wurde nur 6 Jahre alt, obwohl Schafe normalerweise mehr als doppelt so alt werden.



Die Schäden bei Klontieren sind ganz unterschiedlich: Dieses Kalb stirbt an Anämie

Krank durch Klonen

Hinter jedem Klontier, das auf die Welt kommt, verbergen sich im Durchschnitt 100 Embryonen, die es nicht geschafft haben. Die Hälfte stirbt noch kurz vor oder nach der Geburt. Die Schäden sind vielfältig: Oft sind die Organe nicht funktionsfähig oder die Tiere leiden an Immundefekten oder Blutarmut. Besonders häufig kommen die Tiere übergroß zur Welt – die Forscher nennen das das „Large Offspring Syndrome“ LOS. Diese Ent-

wicklungsstörung entsteht durch eine gestörte Regulation der Zellen, dadurch wird der Körper zu groß und die Gliedmassen verkümmern. Doch selbst wenn ein Tier die ersten Lebensmonate übersteht, hat es keine Aussicht auf ein langes gesundes Leben: Klontiere sterben früher als ihre natürlich gezeugten Artgenossen, leiden häufiger an Leberschäden oder Krebs.

Klonen ohne Grenze

Inzwischen existiert ein ganzer Zoo von geklonten Tieren: Schafe, Mäuse, Kühe, Schweine, Ziegen, Kaninchen; sogar Katze, Reh, Ratte, Pferd und Muli wurden schon geklont. Alle Klonversuche an Hunden und Affen sind bisher gescheitert. Trotzdem behaupten einige, zumeist zweifelhafte Forscher seit Jahren, sie wollten den Menschen klonen.

Zweifelhafte Kloner

Im Dezember 2002 soll mit „Eve“ der angeblich erste geklonte Mensch geboren worden sein. Das behauptet zumindest die Sektenbischöfin und Biochemikerin Brigitte Boisselier, Angehörige der so genannten Raelianer Sekte. Ernst zu nehmende Wissenschaftler sind allerdings davon überzeugt, dass es sich bei dieser Meldung lediglich um eine PR-Aktion der sekteneigenen Firma „Clonaid“ handelt. Das sieht der ehemalige Schlagersänger und Rennfahrer Claude Vorilhon, alias „Rael“, natürlich vollkommen anders: Er und seine Raelianer sollen nämlich im Rahmen eines großartigen Klonexperiments von Außerirdischen erschaffen worden sein. Und Klonen sei letztlich auch der Auftrag, den sie von ihrem Schöpfer erhalten haben. So wollen sie inzwischen dreizehn geklonte Babys zur Welt gebracht haben. 30 weitere seien unterwegs. Doch die Raelianer wollen bald noch ein weiteres Highlight moderner Wissenschaft setzen: Es sollen Seelen transferiert, Gedächtnisse übertragen und ein waschechtes Mammut geklont werden.



Rael – die Menschheit als großes Klonexperiment

Ein Wissenschaftler, den man ernster nehmen muss als die Raelianer, ist der italienische Skandal-Gynäkologe Severino Antinori. Er ist bekannt dafür, Frauen über 60 Jahren zur Schwangerschaft zu verhelfen und erklärt seit mehr als 10 Jahren auf seinen Pressekonferenzen, dass er Menschen klonen wolle. Am 5. Mai 2004 gibt er bekannt, dass drei Frauen unter seiner Obhut je ein geklontes Baby zur Welt gebracht hätten – genauere Daten, Beweise und selbst Fotos der Babys liefert er freilich nicht.



Severino Antinori will Menschen klonen

Chronik des Klonens



1996

Dolly wird in Schottland geboren

Eizellverbrauch: 277
Leihmütter: 13



2001

„CC“ Carbon Copy, die erste geklonte Katze, kommt in Texas zu Welt

Eizellverbrauch: 275
Leihmütter: 8



1997

Die ersten Mäuse werden in Hawaii von Ryuzu Yanagimachi geklont

Eizellverbrauch: 800
Leihmütter: 54



2002

Die Biochemikerin und Sektenbischöfin Brigitte Boisselier und die Firma „Clonaid“ geben die Geburt von „Eve“, des angeblich ersten geklonten Menschen bekannt, liefern aber keine Beweise. Über Eizell-Verbrauch und Anzahl der Leihmütter geben sie nichts bekannt. Sie merken jedoch an, dass es mehrere Fehlgeburten gegeben habe. In der Fachwelt wird die Sekte der Raelianer nicht ernst genommen.



1998

Charlie und George, die ersten geklonten Rinder, werden in Amerika geboren

Eizellverbrauch: 248
Leihmütter: 5



2003

Dolly stirbt. Im Alter von sechs Jahren muss sie eingeschläfert werden. An verschiedensten Forschungseinrichtungen der Welt wird weiter geklont. Zum ersten Mal werden Reh, Ratte, Pferd und Muli geklont.



2000

In Schottland werden die ersten geklonten Ferkel geboren

Eizellverbrauch: 586
Leihmütter: 10

Einem Muttertier pflanzt man sogar knapp 100 Embryonen auf einmal ein.



2004

Am 5. Mai 2004 gibt der italienische Skandal-Gynäkologe Antinori bekannt, er habe drei Menschen geklont. Auch hier fehlen Daten und jede Art von Beweisen. Brigitte Boisselier behauptet, inzwischen seien 13 menschliche Klone geboren worden und 30 weitere Klon-Babys wären unterwegs. Beweise bleibt sie schuldig.

Die Grenzen der Schöpfung – warum das Klonen oft nicht klappt



Die Histone verpacken das große DNA-Molekül im Zellkern

In der Theorie ist Klonen denkbar einfach: Man entnehme einer Körperzelle den Kern und setze ihn in eine entkernte Eizelle. Der Kern enthält die Erbsubstanz in Form der DNA-Doppelhelix. Alle genetischen Informationen eines Lebewesens sind auf der DNA gespeichert. Sie müssen nur richtig abgelesen werden. Wissenschaftler haben bisher drei Mechanismen entdeckt, die die Informationen des Erbguts verändern können. Auch beim Klonen scheinen diese Mechanismen Ursache für die verschiedenen Fehlschläge zu sein.

Blockierte Eiweiße

Im Zellkern liegt die DNA nicht als nackter Doppelhelix-Faden. Eiweiße binden sich an das Molekül. Sie verpacken und organisieren die DNA im Zellkern. Um eine Art dieser Eiweiße – die so genannten Histone – wickelt sich die DNA wie um einen Lockenwickler. Dadurch wird das Molekül des Lebens geordnet im Zellkern untergebracht. Wenn nun die Information der DNA abgelesen werden soll, muss sich der Erbgutfaden zunächst von den Histonen abwickeln. Doch es gibt einen Mechanismus, der das Ablesen unterbinden kann. Das Histon, das die DNA trägt, ist dann chemisch blockiert und damit das Abwickeln des Erbgutfadens verhindert. Die Gene, die auf diesem Stück des Erbguts sitzen, können dann nicht abgelesen werden. Sie sind blockiert.



Markierungen im Text

Die Sequenz der DNA ist aus nur vier Genbuchstaben aufgebaut – chemisch handelt es sich hierbei um Basen: Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T). Allerdings kann das Cytosin, auch chemisch markiert werden. Methylierung nennen das die Forscher. Etwa fünf Prozent der Base Cytosin sind im Erbgut so markiert. Die Folge: Das Ablese-Enzym, die Polymerase, kann nicht mehr an die DNA andocken und das Gen ablesen. Durch die Markierung wird das gesamte Gen, das mehrere solcher gekennzeichneten Cytosin-Moleküle enthält, stillgelegt.



Die markierten Genbuchstaben blockieren die Information der Gene

Abfangjäger in der Zelle

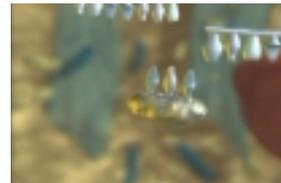
Der Bauplan eines Gens kann aber auch an anderer Stelle, außerhalb des Zellkerns, abgefangen werden. Erst vor kurzem haben die Forscher diese Möglichkeit entdeckt. Dabei wird die DNA zunächst ganz normal von der Polymerase abgelesen. Das Ablese-Enzym produziert dabei eine Genkopie, die aus dem Zellkern wandert. Und hier im Zellinneren können Abfangjäger die Genkopie zerstören. Sie tragen kurze Stücke der Ribonucleinsäure (RNA), die zur Genkopie aus dem Zellkern passen. Ausgestattet mit diesem Steckbrief können die Abfangjäger die gesuchte Genkopie gezielt aufstöbern. Anschließend zerlegen sie die Kopie. Auf diese Weise kann die Information des Gens nicht weitergeleitet werden. Das zugehörige Eiweiß wird nicht hergestellt.



Die Abfangjäger erkennen die Genkopie mit ihren angehängten Genbuchstaben ...

Eine Zelle wird erwachsen

Diese Eingriffe in das Ablesen der Gene nennen die Wissenschaftler Epigenetik. Epi bedeutet im Griechischen über. Eine Über-Genetik also. Dabei wird die Sequenz der verschiedenen Basen, also der 4 Buchstaben nicht verändert; sie bleibt gleich. Vergleicht man den genetischen Code des Lebens mit einem geschriebenen Text, so bestimmen epigenetische Prozesse, wie und wann dieser Text gelesen wird: Die Epigenetik ist sozusagen die Formatierung des Buch des Lebens. Es werden dabei nur einige Anmerkungen an den Text geschrieben. Die Epigenetik markiert Teile des Textes oder streicht einige Passagen.



... und zerlegen sie

Besonders wichtig ist das bei der Entwicklung der Zellen eines Embryos. Da gibt es viele zelluläre Veränderungen. Wenn aus einer Embryozelle eine Hautzelle wird, müssen im Erbgut der Zelle immer wieder Gene an- und abgeschaltet werden. Das ist die Aufgabe der Epigenetik. Denn Gene, die wichtig für die Zelle im Embryostadium waren, werden später nicht mehr benötigt. Solche Abschnitte der Erbsubstanz können dann so lange stillgelegt werden, bis sie wieder gebraucht und aktiviert werden müssen.

Linktipps

Embryonale Stammzellen: Geht es vielleicht auch ohne?
<http://www.quarks.de/gentherapie/o6o2.htm>

Wissenswertes zum Thema Stammzellen finden Sie im Stammzellen-Dossier
von wdr.de - die Themen:

Hintergrund
Was sind Stammzellen?
Auf dem zweiten Bildungsweg
Stammzellforschung weltweit
Stammzellen à la Dolly
Nabelschnurblut: wertvoller Biomüll
Stammzellen im Fruchtwasser
Wundermittel der Zukunft?
Die Chronik
Was ist die PID?
Hoffnung PID
Das Glossar

www.wdr.de/online/Stammzellen

Quarks & Co Scripte

In der Reihe QuarksScript sind folgenden Themen als Broschüren erhältlich:

Lebenskünstler Baum
Die fantastische Welt des Unsichtbaren
Leben ohne Schmerz?
Lebensquell Wasser
Das Geheimnis der Neandertaler
Volksdroge Alkohol
Der Kampf gegen die Kilos
Abenteuer Fliegen
Spurensuche auf dem Mars
Das ABC der Vitamine
Gute Hexen - böse Hexen
Das geheime Leben der Frösche
Lernen mit Köpfchen
Wunder Ei
Wunderdroge Tee
Was Knochen erzählen
Blut - Der ganz besondere Saft
Milch unter der Lupe
Die Welt der Düfte
Risiko Elektrosmog?
Diagnose „zuckerkrank“
Wie wir lernen
Diäten unter der Lupe
Energie der Zukunft
Die Börse - einfach erklärt
(2. überarbeitete Auflage)
Die Biochemie der Liebe
Die Kunst des Klebens
Der Traum vom langen Leben
Mindestens haltbar bis ...
Kampf dem Schmutz
Schokolade - die süße Last
Abenteuer Fahrrad
Unser Schweiß
Unsere Haut

(Diese und weitere Themen können Sie es online unter www.quarks.de als PDF beziehen)

So bestellen Sie ein QuarksScript:

Beschriften Sie einen C5-Umschlag mit Ihrer Adresse und mit dem Vermerk „Der kopierte Mensch“.
Frankieren Sie ihn mit 0,77 € und schicken Sie ihn in einem normalen Briefkuvert an:

WDR Fernsehen

Quarks & Co

Stichwort: Titel der Sendung, z. B. „Der kopierte Mensch“

50612 Köln

Wenn Sie mehrere Scripts gleichzeitig bestellen wollen, geben Sie als Stichwort „Sammelbestellung“ an und legen einen Zettel bei, der die gewünschten Hefte auflistet. Je C5-Umschlag und 0,77 € Porto können bis zu 10 Scripts verschickt werden.