



TA 44A/2003

## **Zellen, die die Politik bewegen**

Embryonale und adulte Stammzellen: Chancen und Hürden bei der Entwicklung neuer Therapien

**Kurzfassung der TA-SWISS Studie «Menschliche Stammzellen»**

## **Des cellules qui remuent la politique**

Élaboration de nouvelles thérapies à base de cellules souches embryonnaires ou adultes: Perspectives – Obstacles

**Résumé de l'étude TA-SWISS «Cellules souches humaines»**

## **Cells that are causing a political stir**

Embryonic and adult stem cells: opportunities and hurdles, surrounding the development of new treatments

**Summary of the TA-SWISS study «Human Stem Cells»**

## Herausgeber – Editeur – Editor

TA-SWISS  
Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung  
Centre d'évaluation des choix technologiques  
Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche  
Centre for Technology Assessment  
Bern, 2003

## Redaktion Kurzfassung – Rédaction du résumé – Résumé written by:

Dr. Adrian Rüeegsegger, Bern, Dr. Bärbel Hüsing, Karlsruhe

Diese Kurzfassung beruht auf der TA-Studie «Menschliche Stammzellen» (TA 44/2003)  
Le résumé se base sur l'étude TA «Menschliche Stammzellen» (TA 44/2003)  
The résumé is based on the TA study entitled «Menschliche Stammzellen» (TA 44/2003)

Die Studie wurde von folgenden **Autorinnen und Autoren** verfasst:

**Auteurs** de l'étude:

**Authors** of the TA study:

**Dr. Bärbel Hüsing** (Projektleitung), **Dipl. Sozialwissenschaftler Rainer Frietsch**  
**Dr. Sibylle Gaisser, Dr. Klaus Menrad, Dr. René Zimmer**  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)  
Breslauer Strasse 48, 76139 Karlsruhe, Deutschland, e-mail: baerbel.huesing@isi.fhg.de

**Prof. Dr. Eve-Marie Engels, Dipl.-Biol. Lilian Schubert**  
Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften, Eberhard-Karls-Universität Tübingen  
Sigwartstrasse 20, 72076 Tübingen, Deutschland  
e-mail: eve-marie.engels@uni-tuebingen.de

**Dr. Beatrix Rubin**  
Institut für Angewandte Ethik und Medizintechnik, Medizinische Fakultät, Universität  
Basel, Missionsstrasse 21, 4055 Basel, Schweiz, e-mail: Beatrix.Rubin@unibas.ch

**Prof. Dr. Rainer Schweizer**  
Forschungsgemeinschaft für Rechtswissenschaft, Universität St. Gallen,  
Tigerbergstrasse 21, 9000 St. Gallen, Schweiz, e-mail: rainer.schweizer@unisg.ch

## Betreuung der TA-SWISS Studie – Responsable de l'étude – Supervisor of the TA-SWISS study

Dr. Adrian Rüeegsegger, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, Bern

Diese Publikation kann kostenlos bezogen werden bei:  
Cet publication peut être obtenue gratuitement à l'adresse suivante:  
Questa pubblicazione può essere richiesto gratuitamente a:  
This publication can be obtained free of charge:



Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung  
Birkenweg 61, CH-3003 Bern  
Tel. (+41) 031 322 99 63, Fax (+41) 031 323 36 59  
E-Mail ta@swtr.admin.ch  
Internet www.ta-swiss.ch – www.publiforum.ch

## TA-SWISS Das Zentrum für Technologiefolgen- Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidene Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung untersucht die **Chancen und Risiken** neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Mobile Gesellschaft». Seine **Studien** richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch **Mitwirkungsverfahren** (zum Beispiel PubliForen und publifocus).

Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung ist dem Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat angegliedert. Der SWTR berät den Bundesrat in wissenschafts- und technologiepolitischen Belangen.

## TA-SWISS Le Centre d'évaluation des choix technologiques

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques latents qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques s'intéresse **aux avantages et aux inconvénients** potentiels de celles qui surgissent et se développent dans le domaine des sciences du vivant et santé, de la société de l'information et de la mobilité. Ses **études** s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. Il s'attache, en outre, à favoriser par des **méthodes dites participatives**, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'information et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population. Le Centre d'évaluation des choix technologiques est rattaché au Conseil suisse de la science et de la technologie, qui a pour mission de faire des recommandations au Conseil fédéral en matière de politique scientifique et technologique.

## TA-SWISS The Centre for Technology Assessment

New technology often leads to decisive improvements in the quality of our lives. At the same time, however, it involves new types of risks whose consequences are not always predictable. The Centre for Technology Assessment examines the potential **advantages and risks** of new technological developments in the fields of life sciences and health, information society, and mobility. The **studies** carried out by the Centre are aimed at the decision-making bodies in politics and the economy, as well as at the general public. In addition, TA-SWISS promotes the exchange of information and opinions between specialists in science, economics and politics and the public at large through **participatory processes**, e.g. PubliForums and publifocus.

The Centre for Technology Assessment is attached to the Swiss Science and Technology Council, which advises the Federal Council on scientific and technological issues.

Die Studien des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten **Begleitgruppen** eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS se doit, dans toutes ses études sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied **un groupe d'accompagnement** composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

Studies carried out by the Centre for Technology Assessment TA-SWISS are aimed at providing information concerning the advantages and risks of new types of technology which is as factual, independent and broad as possible. For this reason they are conducted in collaboration with groups of experts in the corresponding field(s). Thanks to the expertise of their members, these so-called **supervisory groups** cover a broad range of aspects of the issue in question.

Folgende Personen wirkten bei der TA-SWISS Studie «Menschliche Stammzellen» in der **Begleitgruppe** mit:  
**Le groupe d'accompagnement** de l'étude «Cellules souches humaines» se composait des personnes suivantes:  
The following people were members of the **supervisory group** for the «Human Stem Cell» study:

Sibylle Ackermann	Institut d'Ethique et des droits de l'homme, Université Fribourg, Fribourg
Prof. Kurt Bürki	Institut für Laborkunde, Universität Zürich, Zürich
Dr. Reto Guetg	Konkordat der Schweizerischen Krankenversicherer, Solothurn
Dr. Uwe Junker	Novartis Pharma AG, Basel
Dr. Margrit Leuthold	Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften, Basel
Prof. Alex Mauron	Bioéthique/CMU, Université de Genève, Genève
Prof. Catherine Nissen-Druey	Departement Forschung, Kantonsspital Basel, Basel
Prof. Hans-Peter Schreiber	Ethik-Stelle, ETH Zentrum, Zürich
Dr. Verena Schwander	Bundesamt für Gesundheit, Bern
Verena Soldati	Basler Appell gegen Gentechnologie, Basel

# Zellen, die die Politik bewegen

## Embryonale und adulte Stammzellen: Chancen und Hürden bei der Entwicklung neuer Therapien

### Kurzfassung der TA-SWISS Studie «Menschliche Stammzellen»

#### Inhalt:

<b>Debatte auf höchster Ebene</b>	1
<b>Zellen, die Hoffnung auf Heilung wecken</b>	3
Vier neuartige Therapiekonzepte	
In der Praxis bereits erprobt: Adulte Stammzellen	
Die heiss begehrten Hoffnungsträger: Embryonale Stammzellen	
Verfahren zur Gewinnung embryonaler Stammzellen	
Wissenschaftlich-technische Hürden auf dem Weg zur Therapie	
<b>Vom Umgang mit Embryonen: Brennende ethische Fragen</b>	8
Überzählige Embryonen	
«Therapeutisches Klonen»: Kein unproblematischer Ausweg	
Eine Vielfalt von Positionen, keine Patentrezepte	
<b>Das Recht setzt der Forschung Grenzen</b>	10
Liberale britische Regelung	
Strenge Vorschriften in Deutschland	
Mittelweg in der Schweiz?	
<b>Schlussfolgerungen der Studie</b>	13

#### Debatte auf höchster Ebene

**Noch kaum je hat eine Entwicklung in der Biomedizin innert weniger Jahre in mehreren Ländern so heftige Debatten ausgelöst wie die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen. Während Forschende neuartige Therapien für bisher unheilbare Krankheiten in Aussicht stellen, betonen kritische Stimmen die Schutzwürdigkeit des menschlichen Embryos, aus dem diese Zellen gewonnen werden. Die Politik ist gefordert, einen rechtlichen Rahmen zu setzen, der sowohl den Bedürfnissen kranker Menschen und der Forschungsfreiheit als auch dem ethisch vertretbaren Umgang mit ungeborenem Leben Rechnung trägt.**

Am 22. April 2001 traf im Weissen Haus ein Schreiben ein, unterzeichnet von 80 Nobelpreisträgern. Die Koryphäen der Wissenschaft gelangten mit dem Anliegen an Präsident George W. Bush, er möge dafür sorgen, dass auch staatliche Mittel für die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen zur Verfügung gestellt würden. Der Präsident hatte es bisher abgelehnt, diesen Forschungszweig mit öffentlichen Geldern zu unterstützen, denn

die Gewinnung solcher Zellen aus wenigen Tage alten Embryonen wirft ethische Fragen auf. Die in den USA aktiven «pro life»- bzw. Anti-Abtreibungsgruppierungen protestierten denn auch bereits gegen das Anliegen, entsprechende Forschungsarbeiten durch Steuer-gelder zu fördern.

Seit rund zwanzig Jahren wird an embryonalen Stammzellen von Mäusen geforscht. Doch erst 1998 ist es einem amerikanischen Forschungsteam gelungen, die entsprechenden Zellen des Menschen im Labor zu vermehren. Dadurch wurden grosse Erwartungen für neue Therapien bisher unheilbarer Krankheiten geweckt, denn embryonale Stammzellen haben das Potenzial, sich zu allen Zell- und Gewebetypen des Körpers zu entwickeln. Forschungsteams rund um die Welt möchten nun die Möglichkeiten dieser Zellen ausloten und im Idealfall in praktische Anwendungen umsetzen. Nicht zuletzt stehen auch grosse wirtschaftliche Interessen hinter der Stammzellenforschung. Es erstaunt deshalb nicht, dass die eingangs erwähnte Kampagne von zwei Forschenden der Firma Advanced Cell Technology organisiert wurde, einem Unternehmen, welches an Stammzellen und Verfahren des Klonens forscht.

Im August 2001 erhielt die Stammzellenforschung dann tatsächlich präsidiale Aufmerksamkeit: In einer ausführlichen Erklärung erörterte Präsident Bush seine Entscheidung, staatliche Fördermittel nur für die Forschung an jenen rund 60 Typen von Zellkulturen (so genannten Zell-Linien) bereitzustellen, die private Unternehmen schon vor dem 9. August 2001 aus Embryonen gewonnen hatten. «Die Entscheidung über Leben und Tod» sei bei diesen Embryonen bereits vollzogen, so Bush, und es werde keine fundamentale moralische Grenze überschritten, «wie wir es täten, wenn wir mit dem Geld des Steuerzahlers die Vernichtung menschlicher Embryonen förderten».

Auch in Deutschland reichte die Debatte um die Stammzellenforschung bis in höchste politische Sphären. Hintergrund dazu war ein Forschungsgesuch, das bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) seit längerer Zeit hängig war. Die Gesuchssteller aus Bonn ersuchten darin um Unterstützung eines Projekts, in welchem sie abklären möchten, ob sich aus menschlichen embryonalen Stammzellen Nervenzellen züchten lassen, die möglicherweise dereinst für die Therapie von Nervenleiden verwendet werden könnten. Das deutsche Embryonenforschungsgesetz verbietet jedoch die Forschung an Embryonen, wenn diese dabei zerstört werden. Und zwar auch dann, wenn sie nur wenige Tage alt sind, wie das bei der Gewinnung der Stammzellen der Fall ist. In Deutschland entbrannte deshalb die Auseinandersetzung darüber, ob die begehrten Zellen aus dem Ausland bezogen werden dürfen und ob die Forschung an importierten Zellen zulässig wäre. Die DFG befürwortete im Mai 2001 in einer Stellungnahme diese im Gesetz nicht geregelten Optionen, worauf eine

intensive Debatte einsetzte. Prominente Persönlichkeiten aus den Bereichen Medizin, Ethik und Recht überboten sich mit tiefeschürfenden Analysen, Bundeskanzler Schröder setzte einen Nationalen Ethikrat ein, und Politiker und Politikerinnen bezogen ihre Positionen im Hinblick auf die Erörterung der Thematik im Parlament. Im Januar 2002 beschloss der Deutsche Bundestag zwar, den Import menschlicher embryonaler Stammzellen zu verbieten, gab dabei aber gleichzeitig die Ausarbeitung eines Gesetzes in Auftrag, in welchem Ausnahmeregelungen festzulegen seien. Dieses «Stammzellgesetz» wurde im Eiltempo erarbeitet; es ist seit dem 1. Juli 2002 in Kraft.

In der Schweiz war es ebenfalls die Forschung, die den Takt angab. Im September 2001 bewilligte der Schweizerische Nationalfonds (SNF) die Finanzierung eines Projekts einer Genfer Forschungsgruppe, welche beabsichtigt, aus importierten menschlichen embryonalen Stammzellen Herzmuskel-Zellen zu züchten. Diese könnten möglicherweise in Zukunft bei der Therapie von Herzkrankheiten eine Rolle spielen. Sensibilisiert durch die Entwicklung im Ausland und durch Vorstösse einzelner Parlamentsmitglieder beschloss auch in der Schweiz die Regierung, die offenen Fragen umgehend zu regeln, damit entsprechende Forschungsprojekte nicht in einer «rechtlichen Grauzone» statt finden müssen. Der Bundesrat beauftragte das Bundesamt für Gesundheit (BAG), einen separaten Gesetzesentwurf zur Embryonenforschung auszuarbeiten und nicht den Abschluss der umfassenden Gesetzgebung im Bereich «Forschung am Menschen» abzuwarten. Der erste Entwurf zum neuen «Embryonenforschungsgesetz» ging im Mai 2002 zur Konsultation an betrof-

### Öffentliche Debatte in der Schweiz

Im Unterschied zu Deutschland und den USA verläuft in der Schweiz die öffentliche Debatte zur Forschung an Stammzellen eher ruhig. Trotz umfangreicher Aktivitäten der Stiftung «Science et Cité» und anderer Akteure auf nationaler und lokaler Ebene zu diesem Thema bleibt die Diskussion vor allem auf Fachkreise beschränkt. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass die Schweizer Bevölkerung pragmatisch an die entsprechenden Fragen herangeht. Diesen Schluss legen zumindest die Ergebnisse von sechs publifocus-Veranstaltungen nahe, bei denen das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS in Diskussionsrunden die Meinung von Bürgerinnen und Bürgern in Erfahrung brachte.

fene und interessierte Kreise. Im November 2002 hat der Bundesrat den überarbeiteten Gesetzesentwurf zu Händen des Parlaments verabschiedet. Die Stiftung «Science et Cité» hat im Auftrag des Bundesrates während des Jahres 2002 die öffentliche Debatte zur Forschung an Stammzellen durch zahlreiche Veranstaltungen angeregt (s. Kasten «Öffentliche Debatte»).

Embryo im 16-Zellstadium (Ausschnitt) (p0)



## Zellen, die Hoffnung auf Heilung wecken

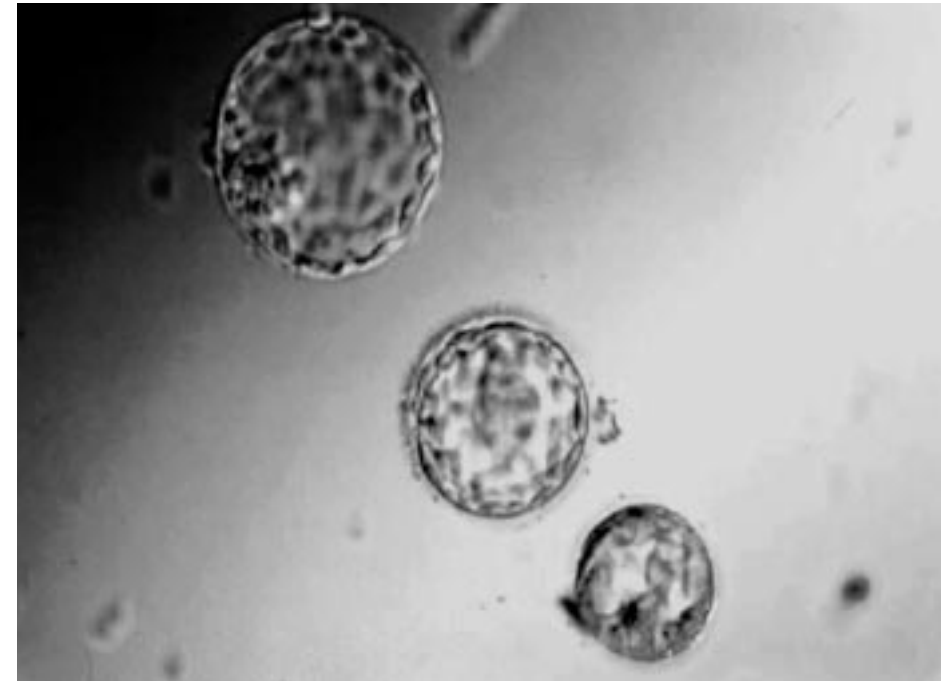
**Die Faszination, die von den Stammzellen ausgeht und die Erwartungen für künftige Therapien liegen darin begründet, dass diese Zellen sämtliche rund zweihundert verschiedenen Zelltypen hervorbringen, die im Körper des Menschen vorkommen. Von den «gewöhnlichen», auf jeweils ganz bestimmte Aufgaben spezialisierten Zellen unterscheiden sich Stammzellen durch zwei wichtige Eigenschaften: Embryonale und adulte Stammzellen können sich über lange Zeit durch mehrmalige Zellteilung vermehren, und sie behalten dabei die Fähigkeit, sich zu einem oder mehreren Zelltypen zu entwickeln.**

Embryonale Stammzellen sorgen dafür, dass im Verlaufe der Embryonalentwicklung die verschiedenen Zell- und Gewebetypen überhaupt erst entstehen. So genannte adulte oder gewebespezifische Stammzellen, die auch im erwachsenen Körper vorkommen, sind für die Regeneration von Geweben und Organen zuständig. Dabei werden beschädigte oder abgestorbene Zellen ersetzt, so dass unsere Organe über Jahrzehnte hinweg ihre Aufgabe erfüllen können. Diese besonderen Eigenschaften machen die Stammzellen für medizinisch-technische Anwendungen hoch interessant. Dank ihrer Fähigkeit, sich fortlaufend selbst zu erneuern, lassen sich diese Zellen im Labor unter geeigneten Bedingungen längere Zeit in Zellkulturen halten und auch vermehren, so dass sie nicht ständig neu gewonnen werden müssen.

Sobald mehr über die Faktoren bekannt ist, welche für die «Differenzierung», d.h. die Spezialisierung der Zellen für bestimmte Aufgaben verantwortlich sind, möchte man Stammzellen gezielt dazu bringen, sich beispielsweise zu Herz-, Nerven-, Haut- oder Muskelzellen zu entwickeln.

### Vier neuartige Therapiekonzepte

Durch neuartige Konzepte könnten mit menschlichen Stammzellen möglicherweise erstmalige oder verbesserte Therapien von schwerwiegenden Leiden wie z.B. der Parkinson'schen Krankheit realisiert werden, die heutzutage nicht oder nur unzureichend behandelt werden können. Das erste Konzept beruht darauf, menschliche Stammzellen im Labor zu vermehren und gezielt zu geeigneten Zelltransplantaten weiter zu entwickeln, welche in den Körper der erkrankten Person übertragen werden und dort die Funktion ausgefallener Zell- und Gewebsaktivitäten übernehmen sollen. Im zweiten Ansatz würden die menschlichen Stammzellen in den Patienten bzw. die Patientin transplantiert. Die Differenzierung zu den benötigten Zellen erfolgt erst im Körper der behandelten Person, gesteuert durch Signale aus dem Gewebe, in das die Zellen übertragen wurden. Gemäss dem dritten Konzept sollen die Stammzellen für die Züchtung von Geweben, die anschliessend transplantiert werden können, eingesetzt werden («Tissue Engineering»). Der vierte Ansatz sieht neuartige Medikamente aus Erkenntnissen der Vermehrung und Differenzierung von Stammzellen vor. Diese Arzneien sollen auf die patienteneigenen, gewebespezifischen Stammzellen derart einwirken, dass beeinträchtigte Funktionen von Zellen und Gewebe



Embryo (Blastozyste) am 5. und 6. Tag nach der Befruchtung (Alan Trounson, Clayton Victoria, Australia)

im Körper der Kranken regeneriert werden. Die drei erstgenannten Therapiekonzepte erscheinen grundsätzlich sowohl auf embryonale als auch auf adulte Stammzellen anwendbar; das vierte Konzept macht sich ausschliesslich adulte Stammzellen zunutze.

Sollten sich diese Konzepte dereinst verwirklichen lassen, so besteht ein riesiges Potenzial für Therapien, die auf Stammzellen beruhen. Bei der Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus) zum Beispiel können die erkrankten Personen dank einer sorgfältig kontrollierten, regelmässigen Verabreichung von Insulin zwar über längere Zeit ein nahezu beschwerdefreies Leben führen. Dennoch vermag man Spätschäden wie Durchblutungsstörungen der Gliedmassen,

Nierenversagen oder gar Erblindung oft nicht zu verhindern. Zellersatztherapien könnten dazu beitragen, solche Spätschäden zu verringern, da man hofft, dass transplantierte, Insulin produzierende Zellen die Blutzuckerkonzentration auf eine für den Körper langfristig verträglichere Art regeln, als dies mit den täglichen Insulinspritzen möglich ist. Mehrere neuro-degenerative Leiden wie die Parkinson'sche Krankheit, die Huntington'sche Krankheit oder Multiple Sklerose werden dadurch verursacht, dass bestimmte Zelltypen des Nervensystems ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen. Könnten aus Stammzellen diejenigen Zellen gezüchtet werden, die bei den genannten Erkrankungen degeneriert sind, liessen sich womöglich neue Therapien entwickeln. Ein

weiteres Anwendungsgebiet könnten Herz-erkrankungen sein. Wohl ist bei geringfügigen Schädigungen des Herzmuskels infolge eines Herzinfarktes eine Rehabilitation der Betroffenen in gewissen Grenzen möglich. Doch stärker geschädigte Bereiche des Herzmuskels lassen sich nicht wieder herstellen, und eine Transplantation eines gesunden Spenderherzens ist eine schwierige und belastende Operation – sofern sie beim Mangel an Spendeorganen überhaupt ins Auge gefasst werden kann. Deshalb wären Therapien wünschenswert, bei denen der Herzmuskel regeneriert werden kann, z.B. dadurch, dass man aus Stammzellen Herzmuskelzellen gewinnt und diese durch Injektion in die geschwächte Zone des Muskels überträgt.

#### **In der Praxis bereits erprobt: Adulte Stammzellen**

Bislang gibt es nur in wenigen Bereichen – wie z.B. bei Blutkrebs oder Hautverbrennungen – etablierte Zelltherapien, und diese nutzen adulte Stammzellen. Die am besten bekannten adulten Stammzellen sind jene des Blut bildenden Systems, die so genannten hämatopoietischen Stammzellen. Sie sind auch diejenigen Stammzellen, die am häufigsten für Therapien verwendet werden. Seit Ende der 1960er Jahre werden sie zur Heilung schwerer Blutkrankheiten oder bei der Regeneration des Immunsystems eingesetzt, das bei Krebstherapien oft durch Bestrahlung oder Chemikalien geschädigt wird. Adulte Stammzellen sind nur in sehr geringer Anzahl im Blut oder in verschiedenen Geweben (z.B. in der Leber, im Gehirn, in der Haut) vorhanden, so dass sie für Therapie-zwecke zuerst angereichert werden müssen. Am besten etabliert sind hierbei Verfahren zur

Gewinnung hämatopoietischer Stammzellen aus Blut oder aus Knochenmark. Eine weitere Quelle für solche Stammzellen ist Blut aus der Nabelschnur Neugeborener. Wegen des kleinen Blutvolumens in der Nabelschnur kann allerdings jeweils nur eine geringe Menge dieser neonatalen Stammzellen gewonnen werden. Damit lassen sich bisher nur Kinder behandeln, die nicht schwerer als 40 Kilogramm sind. Nabelschnurblut wird, sofern die Eltern des Neugeborenen zustimmen, in öffentlichen oder auch kommerziell betriebenen Blutbanken gelagert. Erkrankt das Kind an einem schweren Leiden, das mit Hilfe dieser neonatalen Stammzellen behandelt werden könnte, kann auf die in den Blutbanken eingelagerten Stammzellen aus dem Nabelschnurblut zurückgegriffen werden.

Adulte Stammzellen bieten den Vorteil, dass sie in vielen Fällen derselben Person entnommen werden können, zu deren Therapie sie eingesetzt werden. Damit umgeht man deren Abstossung durch das Immunsystem, die sonst bei der Transplantation von Zellen, Geweben und Organen das grösste Problem darstellt. Allerdings hat man noch nicht in allen Geweben adulte Stammzellen gefunden. Und weil sich ihre Funktion jeweils auf wenige Aufgaben beschränkt, geht man davon aus, dass sie nicht die gleichen Entwicklungsmöglichkeiten bergen wie embryonale Stammzellen. Neue Forschungsergebnisse lassen aber vermuten, dass adulte Stammzellen wandlungsfähiger sind als bis vor kurzem angenommen. Sollte sich bestätigen, dass sie auch Eigenschaften erlangen können, die sich nicht auf ihre gewebespezifische Funktion beschränken, liesse sich ihr Anwendungsbereich künftig beträchtlich erweitern.

#### **Die heiss begehrten Hoffnungsträger: Embryonale Stammzellen**

Im Zentrum der öffentlichen Diskussion um die Embryonenforschung stehen die embryonalen Stammzellen. Erst 1998 zeigte ein amerikanisches Forschungsteam, dass diese auch beim Menschen «im Reagenzglas» kultiviert werden können. Damit gelang der biomedizinischen Forschung ein lange erwarteter Durchbruch. Denn aus der natürlichen Entwicklung des Embryos wusste man schon lange um das enorme Potential dieser Zellen Bescheid. Nutzen lässt es sich allerdings erst, wenn man sie in Zellkulturen züchten kann.

In den meisten Fällen werden menschliche embryonale Stammzellen aus wenige Tage alten Embryonen gewonnen, die zum Zweck der In-vitro-Fertilisation (s. Kasten «Befruchtung im Reagenzglas») entstanden sind, für dieses Vorhaben jedoch endgültig nicht mehr verwendet werden. Solche Embryonen werden als «überzählige» oder «verwaiste» Embryonen bezeichnet. Weltweit lagern Tausende davon in den Kühltruhen von Kliniken, in der Regel werden sie nach einer Aufbewahrungszeit von einigen Jahren vernichtet.

#### **Verfahren zur Gewinnung embryonaler Stammzellen**

Fünf bis sechs Tage nach der Befruchtung ist der Embryo eine hohlkugelförmige Struktur von ca. einem fünftel Millimeter Durchmesser, die so genannte Blastocyste. Aus ihrer inneren Zellschicht lassen sich die begehrten Zellen gewinnen. Sie können sich zu allen Geweben des menschlichen Körpers entwickeln und werden daher als pluripotent bezeichnet (s. Kasten

«Was die Zellen können»). Im Unterschied zur befruchteten Eizelle und zu jenen Zellen, die bei den ersten drei Zellteilungen entstehen, sind sie nicht mehr totipotent, d.h. aus ihnen kann kein ganzer Organismus mehr heranwachsen.

Bei der Gewinnung der Stammzellen wird der Embryo zerstört, was denn auch Anlass zu ethischen Bedenken gibt. An Stelle von überzähligen Embryonen könnte man zur Gewinnung von Stammzellen auch eigens durch künstliche Befruchtung zu Forschungszwecken erzeugte Embryonen verwenden. Indes wird die «Herstellung» von Embryonen für die Forschung aus ethischen Gründen weitgehend abgelehnt und ist deshalb in vielen Ländern, auch in der Schweiz, verboten.

**«Im Kern zwingt uns dieses Problem, uns mit grundlegenden Fragen nach dem Beginn des Lebens und den Zielen der Wissenschaft auseinander zu setzen.»**

**George W. Bush**

### Toti-, Pluri- und Multipotenz: Was die Zellen können

Die befruchtete Eizelle und einzelne Zellen des frühen Embryos bis zum Achtzellstadium sind bei Säugetieren befähigt, sich zu einem vollständigen, lebensfähigen Individuum zu entwickeln. Man bezeichnet solche Zellen als totipotent, d.h. «alles könnend». Aus Zellen in einer späteren Entwicklungsphase des Embryos können noch sämtliche Zell- und Gewebetypen des Organismus entstehen, aber kein vollständiges Individuum mehr. Solche Zellen sind nur noch pluripotent, d.h. «viele könnend». Diese Befunde aus Tierversuchen dürften sehr wahrscheinlich auch auf den Menschen zutreffen, aus ethischen Überlegungen wurden entsprechende Experimente beim Menschen nicht durchgeführt. Die Unterscheidung von Totipotenz und Pluripotenz ist wichtig, denn in ethischer und rechtlicher Hinsicht spielt es eine Rolle, ob eine Zelle einen ganzen Organismus hervorbringen kann oder nicht. Totipotente Zellen unterstehen in einigen Ländern den selben strengen Schutzbestimmungen wie Embryonen, d.h. sie sind nicht oder nur in bestimmten Ausnahmefällen der Forschung zugänglich. Die Forschung an embryonalen Stammzellen kommt allerdings ohne die Totipotenz aus, da ja einzig Zellmaterial und kein ganzes Lebewesen erzeugt werden soll. Im Mittelpunkt des Interesses stehen deshalb die pluripotenten embryonalen Stammzellen. In den allermeisten Fällen ist von diesem Zelltyp die Rede, wenn ohne weitere Präzisierung von embryonalen Stammzellen gesprochen wird. Sie können aus fünf bis sechs Tage alten menschlichen Embryonen gewonnen werden. Im Verlauf der natürlichen Embryonalentwicklung spezialisieren sich die Zellen zunehmend auf die Aufgaben, die ihnen bei der Bildung von Organen oder Geweben zukommt: Sie können dann noch eine begrenzte Anzahl von Zelltypen (Multipotenz) oder nur noch einen bestimmten Zelltyp (Unipotenz) hervorbringen. Diejenigen Stammzellen, die im Körper des Menschen nach der Geburt noch vorhanden sind, die so genannten adulten oder gewebespezifischen Stammzellen, sind uni- oder multipotent, was die Breite von Anwendungen für künftige Therapien einschränkt. Doch neuere Forschungsergebnisse lassen vermuten, dass bestimmte Typen von adulten Stammzellen möglicherweise sogar – wie embryonale Stammzellen – pluripotent sein könnten und somit über ein grösseres Entwicklungspotenzial verfügen würden als bisher angenommen.

Das so genannte «therapeutische Klonen» ist eine andere Möglichkeit, mit der man der- einst auch beim Menschen embryonale Stammzellen gewinnen möchte. Bei diesem Verfahren wird der Zellkern einer Körperzelle in eine Eizelle übertragen, deren Zellkern zuvor entfernt wurde. Man nennt diese Technik deshalb auch Zellkern-Transfer. Im Unterschied zur natürlichen Befruchtung, bei welcher die mütterlichen Chromosomen der Eizelle mit dem väterlichen Erbgut aus der Samenzelle vereinigt werden, erhält die Eizelle hier nur das Erbgut des Spenders oder der Spenderin des Zellkerns «implantiert». Dies hätte den Vorteil, dass die daraus gezüchteten Stammzellen genetisch identisch wären mit den Zellen der Person, von welcher der Zellkern stammt. Falls sie zur Therapie dieser Person eingesetzt werden könnten, würden sie von ihr nicht abgestossen.

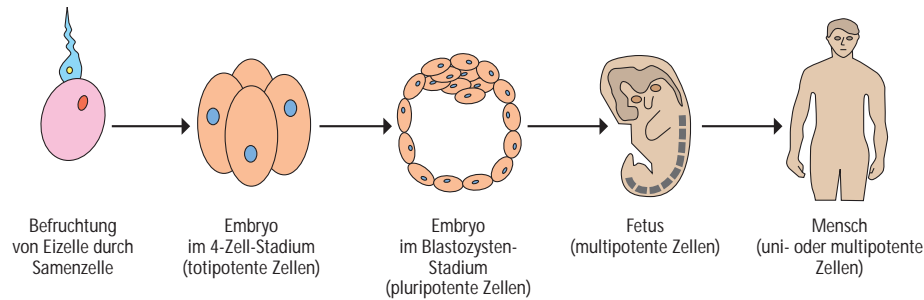
Die Methode des Klonens ist bei mehreren Tierarten erprobt. Mit dem oben geschilderten Verfahren gelang es bereits, Embryonen zu entwickeln, und in einigen seltenen Fällen kam es sogar zur Geburt von lebensfähigen Tieren, nachdem die Klon-Embryonen in die Gebärmutter eines Muttertieres übertragen worden waren. Das berühmteste Beispiel dafür ist das Schaf Dolly, welches 1997 für Schlagzeilen sorgte. Beim therapeutischen Klonen geht es allerdings gerade nicht um geklonten Nachwuchs. Vielmehr würde man den Embryo – genau so wie bei den «überzähligen» Embryonen aus der In-vitro-Fertilisation – im Stadium der Blastocyste zur Gewinnung von Stammzellen verwenden. Die ganze Prozedur würde also im Reagenzglas statt finden. Mit menschlichen Zellen ist dieses Vorhaben bis anhin nicht gelungen; im einzigen bisher bekannten Experi-

ment entwickelte sich der Embryo nicht bis zur Blastocyste. Aus Tierversuchen weiss man allerdings, dass die Erfolgsrate des Klonens sehr gering ist: Zum einen benötigt man eine grosse Anzahl von Eizellen, um auch nur wenige Klon-Embryonen zu erhalten. Zum anderen sind die meisten durch diese Technik «erzeugten» Embryonen schwer geschädigt. Dies wird darauf zurückgeführt, dass bei der «Rückprogrammierung» des übertragenen Zellkerns ein fehlerhaftes Aktivierungsmuster (so genanntes Imprinting) der Gene ausgelöst wird. Es ist ungewiss, ob solche Zellen überhaupt für Therapiezwecke verwendet werden können. Zudem ist die Klon-Technik auch aus ethischer Sicht umstritten. In der Schweiz darf das Verfahren bei menschlichen Zellen nicht angewendet werden.

Damit sind die Möglichkeiten, wie man embryonale Stammzellen erhalten kann bzw. erhalten möchte, noch nicht ausgeschöpft. Ein weiteres Verfahren verwendet so genannten primordiale Keimzellen als «Quelle». Solche Zellen findet man im fünf bis zehn Wochen alten menschlichen Embryo oder Fetus. Sie werden oft etwas unpräzise auch als embryonale Keimzellen (engl. embryonic germ cells, EG cells) oder Urkeimzellen bezeichnet, denn aus ihnen entwickeln sich beim heranwachsenden Individuum später die Samen- bzw. Eizellen. Ausgangsmaterial für die Gewinnung dieser Zellen sind abgetriebene Embryonen oder Feten oder frühe Fehlgeburten. Auch dieser Weg der Gewinnung embryonaler Stammzellen gelang beim Menschen erst 1998. Die entsprechenden Stammzellen werden, gemäss ihrer Herkunft, auch als EG-Zellen bezeichnet. Damit lassen sie sich begrifflich klar von den aus Blastozysten gewonnenen Stammzellen ab-



## Von der befruchteten Eizelle zum Menschen



grenzen, von denen üblicherweise die Rede ist und die ihrerseits unter dem Kürzel ES-Zellen bekannt sind. Gemäss heutigem Kenntnisstand sind die EG-Zellen weniger Erfolg versprechend als die ES-Zellen. Denn sie sind in der Zellkultur weniger lange teilungsfähig und konnten bisher nicht in Abwesenheit von anderen Zellen gezüchtet werden. Aus Tierversuchen gibt es zudem Hinweise darauf, dass die EG-Zellen nicht dieselben vielfältigen Möglichkeiten haben, verschiedene Zelltypen hervorzubringen wie die ES-Zellen. Schwerer wiegt jedoch die Beobachtung, dass diese Zellen ein fehlerhaftes Imprinting aufweisen, was sie möglicherweise für therapeutische Anwendungen unbrauchbar machen könnte.

EG-Zellen böten allerdings den Vorteil, dass man zu ihrer Gewinnung nicht potenziell lebensfähige Embryonen zerstören müsste. Doch auch bei der Verwendung embryonaler oder fetaler Gewebe aus Schwangerschaftsabbrüchen gibt es aus ethischer Sicht Einwände. Deshalb wird nach weiteren Möglichkeiten gesucht, embryonale Stammzellen zu erhalten. Einer dieser Forschungsansätze möchte das Prinzip der Parthenogenese (Jungfernzeugung) nutzen. Dabei entwickeln sich unbefruchtete

Eizellen zu vollständigen Individuen, wie dies beispielsweise bei Honigbienen und Ameisen der Fall ist. Bei diesen Insektenarten entstehen aus den unbefruchteten Eizellen die männlichen Tiere. Auch bei Säugetieren kann Parthenogenese auftreten, indem sich der Chromosomensatz der Eizelle verdoppelt, ohne dass eine Befruchtung stattgefunden hat. Doch sterben auf diese Weise entstandene «Embryonen» bereits in einer sehr frühen Phase ab. Für die Gewinnung von Stammzellen würde jedoch bereits die Entwicklung bis zur Blastocyste ausreichen. Im Experiment wurde nun auch schon demonstriert, dass dies bei Mäusen und Affen möglich ist. Entsprechende Versuche mit menschlichen Eizellen scheiterten allerdings daran, dass die Entwicklung der sich teilenden Eizelle nicht bis zur Blastocyste erfolgte.

### Wissenschaftlich-technische Hürden auf dem Weg zur Therapie

Vom Konzept her besteht die Idee, menschliche Zellen zur Behandlung von Krankheiten einzusetzen. Was liegt näher, als funktionsuntüchtige Zellen durch solche zu ersetzen, die ihre Aufgabe im Körper erfüllen können? Die

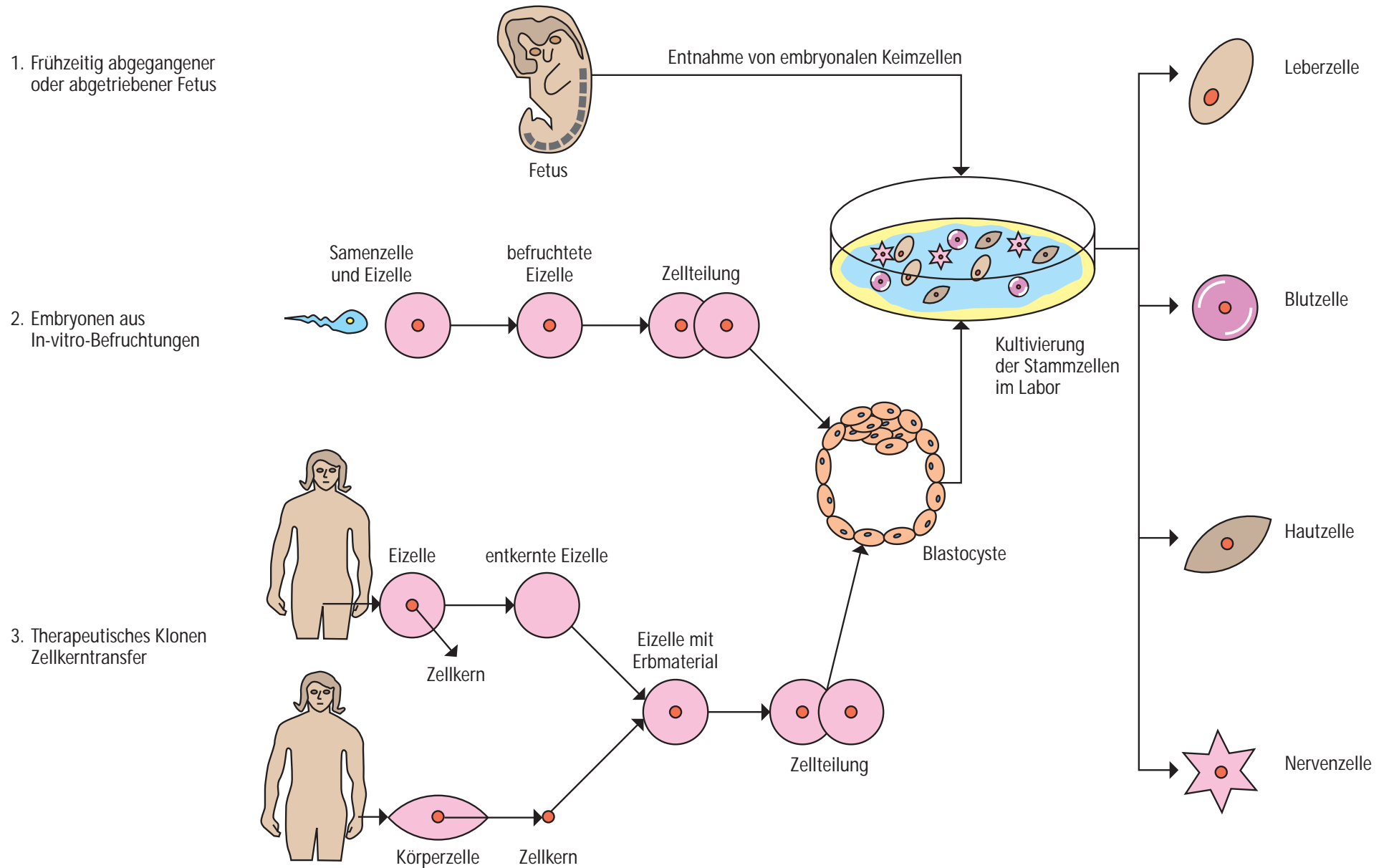
schon bestehenden Anwendungen von adulten Stammzellen haben gezeigt, dass dieses Vorhaben im Prinzip funktioniert. Ob die therapeutischen Möglichkeiten ausgeweitet werden können, hängt bei den adulten Stammzellen vor allem davon ab, inwiefern es gelingt, effizientere Methoden zu entwickeln, um diese Zellen anzureichern und ihre Vermehrungsfähigkeit in Zellkulturen zu steigern. Nur dann kann nämlich genügend Zellmaterial für Therapien bereit gestellt werden. Ferner bleibt abzuklären, ob adulte Stammzellen möglicherweise sogar pluripotent sein könnten. Falls diese Eigenschaft vorhanden wäre oder gezielt herbeigeführt werden könnte, wären diese adulten Stammzellen den embryonalen Stammzellen in Bezug auf ihr Entwicklungspotenzial möglicherweise gleichwertig. Darüber hinaus wiesen sie den zusätzlichen Vorteil auf, dass ihre Gewinnung ethisch und rechtlich weit weniger problematisch ist als die Gewinnung embryonaler Stammzellen.

Bis auch embryonale Stammzellen einen Nutzen für kranke Menschen bringen, sind noch manche Probleme zu lösen. Denn weder aus embryonalen Stammzellen des Menschen noch aus solchen der Maus – die man schon seit 20 Jahren kultivieren kann – lassen sich heute therapeutisch nutzbare Zellpräparate gewinnen und die gewünschten Zelltypen in reiner Form züchten. Dies ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung, damit solche Zellen zu Therapie Zwecken genutzt werden können. Im weiteren ist derzeit nicht auszuschliessen, dass embryonale Stammzellen oder daraus gewonnene Transplantate nach ihrer Übertragung im behandelten Menschen ausser Kontrolle geraten. Sie könnten dann Tumore bilden oder sich am falschen Ort zu den falschen

Zelltypen entwickeln. Entsprechende Befunde kennt man aus Tierversuchen. Ferner sind Infektionsrisiken zu vermeiden, denn bis anhin wurden embryonale Stammzellen üblicherweise in Nährmedien kultiviert, welche Tierzellen (so genannte «feeder layers») enthalten. Erst vor kurzem ist es gelungen, menschliche embryonale Stammzellen ohne Beigabe von Tierzellen zu züchten. Dies bedeutet, dass alle vorher aufgebauten Zellkulturen noch mit Krankheitserregern aus Tierzellen «verunreinigt» sein könnten und daher kaum für Therapien in Frage kommen. Weitere ungelöste Aspekte bei künftigen Zelltherapien sind die technische Durchführung, die Wahl der geeigneten Stelle im Körper, wohin das Zelltransplantat versetzt werden soll, sowie das Ausmass der Spezialisierung und die Zahl der transplantierten Zellen. Nicht zuletzt muss auch das Problem der Abstoßung der «fremden» Zellen durch das Immunsystem gelöst werden. Denn im Unterschied zu adulten Stammzellen eröffnen die embryonalen Stammzellen derzeit nur die Möglichkeit der so genannten allogenen Zelltransplantation, d.h. die Zellen sind genetisch nicht identisch mit der erkrankten Person. Behandelte Personen müssten deshalb – wie dies beispielsweise bei der Organtransplantation der Fall ist – Medikamente einnehmen, damit ihr Körper die Zellen nicht abstößt. Nur wenn sich das Konzept des so genannten therapeutischen Klonens beim Menschen verwirklichen liesse, könnten auch «patientenkompatible» Präparate aus embryonalen Stammzellen erzeugt werden.

Wieviel Zeit es braucht, um aus menschlichen embryonalen Stammzellen Therapien zu entwickeln, ist in Anbetracht der noch offenen

### Drei Gewinnungsarten von embryonalen Stammzellen



Fragen sehr schwierig einzuschätzen. Optimistische Prognosen rechnen mit ersten Anwendungen bereits in fünf Jahren. Pessimistische Stimmen zweifeln daran, dass sich überhaupt jemals Therapien verwirklichen lassen, die auf embryonalen Stammzellen beruhen. Eine von Fachpersonen häufig genannte Einschätzung stellt praxistaugliche Verfahren innerhalb der nächsten zehn bis zwanzig Jahre in Aussicht. Leider gilt auch bei den oft als Musterbeispiele für Zelltherapien genannten Leiden wie Diabetes und der Parkinson'schen Krankheit, dass die therapeutische Anwendung von embryonalen Stammzellen derzeit noch hypothetisch ist.

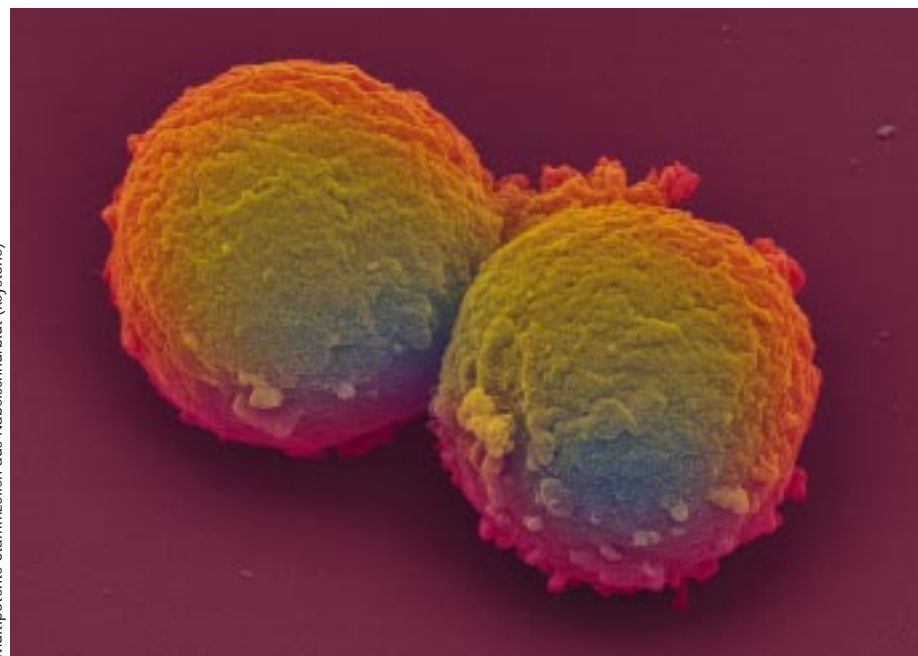
**«Der Staat ist die einzige Instanz, die entscheiden kann, was mit diesen Embryonen geschehen soll oder darf.»**  
Ruth Dreifuss

## Vom Umgang mit Embryonen: Brennende ethische Fragen

**Das Ziel der Stammzellenforschung, durch neue Zelltherapien zu helfen und zu heilen, ist aus ethischer Sicht nicht nur vertretbar, sondern auch wünschenswert. Doch selbst angesichts dieser hochrangigen Zielsetzungen steht mit dem Embryo ein sehr hohes Schutzgut auf dem Spiel. Es geht dabei um mehr als um eine möglicherweise Nutzen bringende «Verwertung» ohnehin todgeweihten menschlichen Lebens in seinen frühesten Entwicklungsstadien.**

Die Frage, ob Embryonen zu Forschungs- und Therapiezwecken «verbraucht» werden dürfen, stellt sich erst, seit die Fortpflanzungsmedizin Eizellen ausserhalb des menschlichen Körpers befruchtet (s. Kasten «Befruchtung im Reagenzglas»). Denn Embryonen, die sich in der natürlichen Umgebung des Mutterleibs entwickeln, kommen selbstverständlich für die Forschung nicht in Betracht. Im Folgenden ist deshalb nur von so genannten «extrakorporalen» Embryonen die Rede, also solchen, die durch In-vitro-Fertilisation oder in Zukunft möglicherweise auch durch Zellkern-Transfer entstehen. Solche Embryonen haben keine Möglichkeit, sich zu einem Kind zu entwickeln, solange sie nicht in die Gebärmutter einer Frau eingepflanzt werden. Doch auch bei diesen Embryonen stellt sich die Frage, ob sie überhaupt für die Forschung verwendet werden dürfen, und wenn ja, unter welchen Bedingungen.

Multipotente Stammzellen aus Nabelschnurblut (Keystone)



## Überzählige Embryonen

Auch wenige Tage alte Embryonen sind potenzielle Lebewesen, selbst wenn sie in den Tiefkühlfächern fortpflanzungsmedizinischer Kliniken lagern. Sie sind nämlich mit der Absicht entstanden, den Kinderwunsch von Paaren zu erfüllen, die auf natürlichem Weg keinen Nachwuchs bekommen. Gelegentlich werden solche Embryonen «überzählig». Ist es aus ethischer Sicht vertretbar, diese Embryonen – entgegen ihrer ursprünglichen Bestimmung – zur Gewinnung von Stammzellen zu verwenden, auch wenn sie dabei «verbraucht» werden?

Aus der kaum mehr überschaubaren Flut von Publikationen lassen sich sehr unter-

schiedliche Positionen zum moralischen Status solcher Embryonen herauskristallisieren.

- Diejenige Position, welche dem Embryo am wenigsten Schutz gewährt, geht davon aus, dass er nichts als ein Zellhaufen ist. Zwischen dem Embryo und irgend welchen Zellen von Organen und Geweben besteht kein moralischer Unterschied. Denn schon äusserlich ist der frühe Embryo eine Anhäufung von Zellen oder ein kugelförmiges Gebilde (im Stadium der Blastocyste) und hat keinerlei Ähnlichkeit mit einer menschlichen Gestalt. Diese Position wird auch als Reduktionismus bezeichnet. Sie widerspricht der gefühlsmässigen Beurteilung und den ethischen Prinzipien der meisten Personen.

- Einen höheren moralischen Status hat der Embryo, wenn man davon ausgeht, dass seine Schutzwürdigkeit und sein Lebensrecht graduell wachsen. Aus dieser Sicht schulden wir bereits dem frühen Embryo zumindest eine Art Respekt. Die befruchtete Eizelle hat nur ein geringes Lebensrecht, doch die Schutzwürdigkeit nimmt im Verlauf der Entwicklung und im Falle einer Schwangerschaft bis zur Geburt zu; der Säugling verfügt über das volle Lebensrecht. Diese Position des abgestuften Lebensschutzes stösst bei Personen, die einen weiter gehenden Schutz befürworten, vor allem deshalb auf Kritik, weil es ihrer Ansicht nach willkürlich ist, die Schutzwürdigkeit bestimmten Entwicklungsstufen zuzuordnen.
- Die strengsten Implikationen für den Umgang mit Embryonen folgen aus der Haltung, wonach der Embryo von Beginn seiner Entwicklung an über den vollen Schutz der Menschenwürde und damit über den uneingeschränkten Lebensschutz wie der geborene Mensch verfügt. Diese Position lässt sich weiter unterteilen in Abhängigkeit davon, welche Ausnahmesituationen man zulässt, um – beispielsweise beim Schwangerschaftsabbruch – vom uneingeschränkten Lebensschutz abzuweichen. Bei der restriktivsten Auslegung sind gar keine Ausnahmen zulässig. Weniger strenge Varianten dieser Position lassen Abtreibungen unter mehr oder weniger einschränkenden Bedingungen zu.

Vertreter des Reduktionismus dürften aus ethischer Sicht nichts dagegen haben, wenn überzähligen Embryonen zur Gewinnung von Stammzellen verwendet werden. Befürworterinnen des abgestuften Lebensschutzes tolerie-

ren zwar keinen beliebigen Umgang mit dem frühen Embryo, doch ist mit dieser Position die Gewinnung von Stammzellen vereinbar, wenn gewisse Bedingungen erfüllt werden. Eine Auswahl von möglichen Kriterien: Die Forschung an diesen Zellen müsste einen realistischen Bezug zu künftigen Therapien haben; es gibt keinen Weg, entsprechende Untersuchungen mit anderen Zelltypen durchzuführen; und die vorgesehenen Experimente müssten einer strengen biomedizinischen und ethischen Begutachtung standhalten. Für Personen, die dem Embryo den vollen Schutz der Menschenwürde zugestehen, dürfte – je nach Strenge ihrer Position – die verbrauchende Embryonenforschung nicht oder nur in äusserst seltenen Ausnahmefällen in Frage kommen.

#### «Therapeutisches Klonen»: Kein unproblematischer Ausweg

Beim so genannten therapeutischen Klonen würde durch die bereits beschriebene Methode des Zellkern-Transfers ein Embryo gezielt zur Gewinnung von Stammzellen geschaffen. Befürworter dieses Verfahrens betonen, dass damit kein werdendes Leben missbraucht werde, weil in diesem Kontext ohnehin nicht beabsichtigt sei, eine Schwangerschaft herbeizuführen – dies im Unterschied zu den überzähligen Embryonen aus der In-vitro-Befruchtung. Wenn sich ein geklonter Embryo allerdings bis zur Blastocyste entwickeln kann, was zur Gewinnung von Stammzellen erforderlich ist, ist nicht auszuschliessen, dass er zu einem Kind heranwachsen würde, falls man ihn in die Gebärmutter einer Frau übertragen würde. Diese Art des Klonens zur Fortpflanzung, auch als «reproduktives Klonen» bezeichnet, funktioniert bei Säugetieren, wie man bei Dolly gese-

hen hat. Ernst zu nehmende Forscherinnen und Forscher lehnen das reproduktive Klonen von Menschen grundsätzlich ab, allerdings gibt es einzelne Hazardeure, die dieses Vorhaben in die Tat umsetzen wollen. Ethische Fragen drängen sich in diesem Zusammenhang auf: Wenn ein geklonter Embryo sich im Prinzip zu einem Menschen entwickeln kann, ist er dann weniger schutzbedürftig als einer, der durch die Befruchtung einer Eizelle mit einer Samenzelle entstanden ist? Ist es zulässig, die Technik des therapeutischen Klonens voranzutreiben, wenn sie auf der gleichen Grundlage beruht wie das verpönte reproduktive Klonen? Der hohe Bedarf an menschlichen Eizellen spricht ebenfalls gegen das therapeutische Klonen. Denn das an und für sich schon uneffiziente Verfahren müsste – wollte man patientenspezifische Stammzellen erzeugen – sehr oft durchgeführt werden, um eine genügende Vielfalt von Zellen zu erhalten, damit für alle Kranke immunverträgliche Zellen vorhanden wären. Und Eizellen in grösserer Anzahl könnten nur von Frauen gespendet werden, die sich einer Hormonbehandlung unterziehen: Ein Vorgehen, das nicht zuletzt wegen der gesundheitlichen Risiken höchst fragwürdig ist.

#### Eine Vielfalt von Positionen, keine Patentrezepte

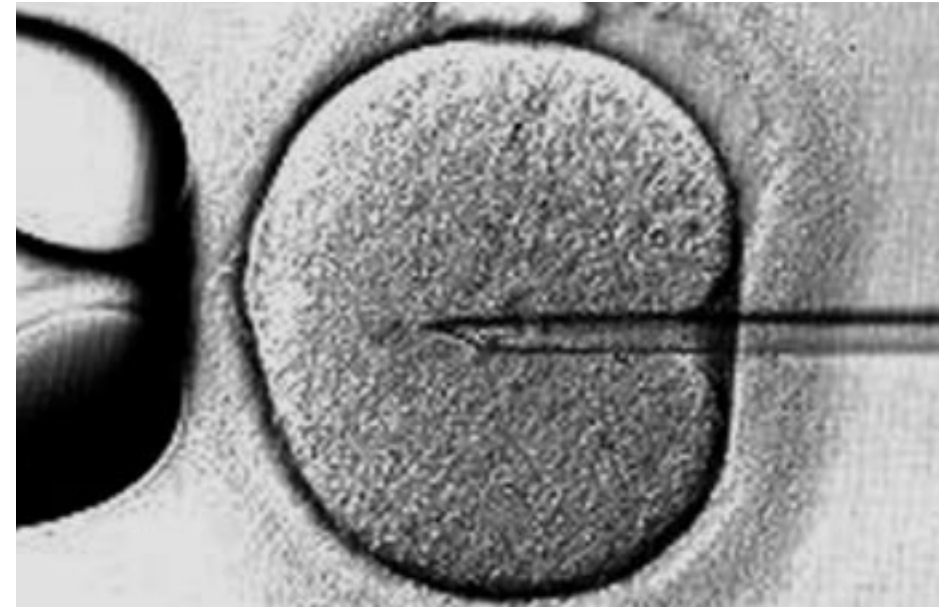
Trotz der breiten Vielfalt von Meinungen herrscht zumindest in zwei Punkten grundsätzlich Einigkeit. Erstens besteht Konsens darüber, dass die Würde des Menschen unantastbar ist und dass die Achtung dieser Würde Richtschnur unseres Handelns sein soll. Zweitens wird übereinstimmend davon ausgegangen, dass der Embryo einen Wert und eine Schutzwürdigkeit hat. Über die Höhe dieses Wertes

und den Grad der Schutzwürdigkeit sind die Meinungen allerdings geteilt. Aus den verschiedenen Sichtweisen kann, auch bei noch so tief greifender Analyse der jeweiligen Argumente, keine «richtige» Position hergeleitet werden. Denn je nach den philosophischen und religiösen Grundhaltungen der Argumentierenden können auch einander widersprechende Positionen jeweils schlüssig begründet werden. Es ist Aufgabe der Ethik, die verschiedenen Positionen und deren Hintergründe sichtbar zu machen. Doch die Gesellschaft ist gefordert, wenn es darum geht, unter Berücksichtigung des heutigen Kenntnisstandes und unter Anwendung allgemein akzeptierter Wertmassstäbe einen verbindlichen Rahmen für die Stammzellenforschung zu setzen.

**«Wenn wir begründete Zweifel haben, ob wir etwas technisch Mögliches tun dürfen oder nicht, dann muss es so lange verboten sein, bis alle begründeten Zweifel ausgeräumt sind.»**  
Johannes Rau

### Es begann mit der Befruchtung im Reagenzglas

Mehr als 20 Jahre ist es her, als das erste «Retortenbaby» für Schlagzeilen sorgte. Das Ereignis wurde 1978, als Louise Brown zur Welt kam, bisweilen als Folge einer unzulässigen Grenzüberschreitung, als Zeichen für den Machbarkeitswahn der Wissenschaftler bezeichnet. Heute ist das Verfahren der In-vitro-Fertilisation (IVF) medizinische Routine und – vor allem in den USA – ein grosses Geschäft. Seit 1978 ging weltweit bei rund einer Million Paaren der Kinderwunsch in Erfüllung, nachdem sie die ärztliche Hilfe in Anspruch genommen hatten. Dies ändert allerdings nichts an der Tatsache, dass die Erfolgsquote der Befruchtung im Reagenzglas recht bescheiden ist. Nur einer von vier bis fünf behandelten Frauen verhilft diese Technik bereits nach einem Behandlungszyklus zu einem Kind. Um die Erfolgsquote zu erhöhen, werden pro Behandlung in der Regel mehrere im Reagenzglas befruchtete Eizellen in die Gebärmutter der Frau übertragen. Zudem werden häufig mehrere Behandlungszyklen durchgeführt. Weil eine grössere Anzahl Eizellen nur durch eine belastende Hormonbehandlung der Frau erhalten werden könne, ist es in vielen Ländern üblich, möglichst viele Eizellen zu befruchten und diejenigen befruchteten Eizellen, die nicht für den ersten Behandlungszyklus verwendet werden, für allfällige weitere Zyklen tiefgekühlt aufzubewahren. Dies ist eine mögliche Quelle für «überzählige» Embryonen, welche in diesem Stadium erst wenige Tage alt sind. Denn falls die Frau bereits im ersten Behandlungszyklus schwanger wird und später keine weiteren Kinder mehr wünscht, oder wenn sie die Behandlung aus anderen Gründen abbricht, so werden die tiefgekühlten Embryonen überzählig. Zehntausende davon gibt es weltweit. In der Schweiz ist es seit Anfang 2001 verboten, befruchtete Eizellen «auf Vorrat» einzufrieren. Das Fortpflanzungsmedizinengesetz lässt es nur noch zu, so viele Eizellen zu befruchten, wie der Frau in einem Behandlungszyklus eingepflanzt werden dürfen (maximal drei). Nur noch so genannte «imprägnierte Eizellen» dürfen tiefgekühlt gelagert werden: Bei diesen Zellen hat der Vorgang der Befruchtung zwar begonnen, die Kernverschmelzung hat allerdings noch nicht stattgefunden. Solche Zellen gelten daher nicht als Embryonen. Doch auch diese im weltweiten Vergleich sehr strenge Regelung schliesst nicht aus, dass es in der Schweiz auch in Zukunft überzählige Embryonen geben wird. Denn in seltenen Fällen kann es vorkommen, dass sich eine Frau kurzfristig von der Behandlung zurückzieht, auch wenn die befruchteten Eizellen schon zur Übertragung bereit sind, oder dass sie schwer erkrankt oder gar stirbt.



Befruchtung im Reagenzglas: Spermium wird direkt in Eizelle injiziert. (SINTEF Unimed)

### Das Recht setzt der Forschung Grenzen

**Der Umgang einer Gesellschaft mit neuen Technologien ist geprägt von kulturellen, historischen und religiösen Einflüssen. In Europa verläuft die Debatte zur Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen in teils sehr unterschiedlichen Bahnen. Dies wirkt sich nicht zuletzt auch darauf aus, welche Leitplanken der Gesetzgeber in verschiedenen Ländern für diese Forschung setzt.**

Die Regelungen, die in verschiedenen Ländern Europas für die Forschung an embryonalen Stammzellen gelten, decken eine erhebli-

che Bandbreite ab. Sie reichen von sehr liberal bis äusserst restriktiv.

#### Liberaler britische Regelung

Die britische Moralauffassung wird stark vom Utilitarismus geprägt, einer Position, die sich bei der Beurteilung von Handlungen am grösstmöglichen Nutzen für die Allgemeinheit orientiert. Die Embryoforschung ist in Grossbritannien seit 1990 im «Human Fertilisation and Embryology Act» (HFE Act) geregelt. Gemäss dem HFE Act kann die Forschung an menschlichen Embryonen bis zum 14. Tag ihrer Entwicklung von der zuständigen Behörde genehmigt werden, wenn folgende Forschungsziele verfolgt werden:

- Fortschritte in der Behandlung von Unfruchtbarkeit
- Wissenserweiterung über die Gründe von Erbkrankheiten
- Wissenserweiterung über die Gründe von Fehlgeburten
- Entwicklung effizienterer Methoden der Empfängnisverhütung
- Entwicklung von Methoden zur Identifizierung von Gen- oder Chromosomenabnormalitäten bei Embryonen vor der Implantation.

Nachdem im Jahre 1998 die bereits erwähnten Durchbrüche in der Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen vermeldet wurden, genehmigte das britische Unterhaus Ende 2000 und das Oberhaus Anfang 2001 einen Antrag der Regierung, den oben genannten Anforderungskatalog zu erweitern. Seither gelten, begründet durch das therapeutische Potenzial der Stammzellentechnologie, auch folgende Punkte als Gründe für die Genehmigung von Forschungsvorhaben an Embryonen:

- Besseres Verständnis der Embryonalentwicklung
- Besseres Verständnis der Ursachen schwerer Krankheiten
- Entwicklung von Behandlungsmöglichkeiten für schwere Krankheiten.

Der HFE Act gestattet – unter Auflagen – sowohl die Forschung an überzähligen Embryonen aus der In-vitro-Fertilisation als auch die gezielte Herstellung von Embryonen im Reagenzglas für Forschungszwecke. Die Rechtslage in Grossbritannien erlaubt es zudem, die Option des therapeutischen Klonens

### Geltende rechtliche Regelungen der Stammzellforschung in ausgewählten Ländern

	Reproduktives Klonen	Therapeutisches Klonen	Gewinnung von Stammzellen aus überzähligen Embryonen
Deutschland	verboten	verboten	grundsätzlich verboten*)
Grossbritannien	verboten	erlaubt	erlaubt
Schweiz	verboten	verboten	implizit verboten*)
USA private Forschung	In den meisten Bundesstaaten nicht geregelt.	In den meisten Bundesstaaten nicht geregelt.	erlaubt
USA öffentliche Forschung	verboten	verboten	verboten*)

\*) Präzisierungen siehe Lauftext

Quelle: Botschaft EFG 20.11.2002

für die Gewinnung von menschlichen embryonalen Stammzellen zu nutzen. Damit ist die britische Regelung eine der liberalsten weltweit.

### Strenge Vorschriften in Deutschland

Deutschland zählt zu den Ländern, in denen die Debatte zur Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen sehr intensiv geführt wird. Im Mittelpunkt steht die Diskussion um den moralischen Status und die Schutzwürdigkeit des Embryos. In Deutschland sind Stimmen, die einen maximalen Schutz des Embryos in vitro fordern, breit vertreten. Sie fanden auch in der politischen Auseinandersetzung Gehör, was dazu führte, dass der Bundestag nach zweimaliger intensiver Erörterung des Themas im April 2002 ein Gesetz verabschiedete, welches die Gewinnung mensch-

licher embryonaler Stammzellen grundsätzlich verbietet. Nur unter sehr strengen Auflagen lässt es Ausnahmen für die Einfuhr und die Verwendung dieser Zellen zu.

Im Folgenden sind eine Auswahl dieser Auflagen aus dem im Juli 2002 in Kraft getretenen deutschen Stammzellgesetz genannt:

- Die Stammzellen müssen vor dem 1. Januar 2002 gewonnen worden sein und die Zellkulturen müssen in Übereinstimmung mit der Rechtslage im Herkunftsland hergestellt worden sein.
- Die Stammzellen müssen aus so genannten überzähligen Embryonen gewonnen worden sein.
- Das Paar, von dem der Embryo stammt, muss seine freie und aufgeklärte Zustimmung

zur Verwendung des Embryos in der Forschung gegeben haben und darf dafür keine Vorteile erhalten.

- Forschungsprojekte an embryonalen Stammzellen dürfen nur durchgeführt werden, wenn sie hochrangigen Forschungszielen dienen und sich keine Alternative bietet, den angestrebten Erkenntnisgewinn zu erreichen.
- Forschungsprojekte an embryonalen Stammzellen müssen einer interdisziplinär zusammengesetzten Ethikkommission zur Begutachtung vorgelegt werden.

Die Deutsche Regelung gilt als eine der strengsten weltweit. Bisweilen wird sie kritisiert mit der Begründung, dass es einer Doppelmoral gleichkomme, die Gewinnung von embryonalen Stammzellen im eigenen Land zu verbieten, den Import solcher Zellen – wenn auch unter strengen Auflagen – aber zuzulassen. Dem wird entgegengesetzt, dass mit dem Stichtag-Kriterium (s. oben) nur bereits bestehende Zellkulturen genutzt würden, also keine weiteren Embryonen verbraucht würden.

**«Die Wissenschaftler räumen zwar ein, dass sie keine Gewissheit besitzen, aber sie glauben, die Forschung an embryonalen Stammzellen biete einzigartige Möglichkeiten.»**

**George W. Bush**

### Mittelweg in der Schweiz?

Für die ethische und rechtliche Diskussion um den Schutz bzw. die Verfügbarkeit von Embryonen ist es von Bedeutung, welche Vorgaben die Schweizerische Bundesverfassung und das für die Schweiz massgebliche Völkerrecht machen. So fordert beispielsweise das internationale «Übereinkommen über Menschenrechte und Biomedizin» von 1997 – welches der Bundesrat den eidgenössischen Räten zur Ratifizierung empfiehlt – unverzichtbare Schranken und grundrechtliche Garantien auch im Umgang mit ungeborenem Leben. Konkretere Vorgaben sind im zweiten Absatz von Artikel 119 der Schweizerischen Bundesverfassung von 1999 festgehalten:

- Die Verfahren der medizinisch unterstützten Fortpflanzung dürfen nur angewendet werden, wenn die Unfruchtbarkeit oder die Gefahr der Übertragung einer schweren Krankheit nicht anders behoben werden kann, nicht aber, um beim Kind bestimmte Eigenschaften herbeizuführen oder um Forschung zu betreiben; die Befruchtung menschlicher Eizellen ausserhalb des Körpers der Frau ist nur unter den vom Gesetz festgelegten Bedingungen erlaubt; es dürfen nur so viele menschliche Eizellen ausserhalb des Körpers der Frau zu Embryonen entwickelt werden, als ihr sofort eingepflanzt werden können.
- Alle Arten des Klonens und Eingriffe in das Erbgut menschlicher Keimzellen und Embryonen sind unzulässig.
- Die Embryonenspende und alle Arten von Leihmutterchaft sind unzulässig.

- Mit menschlichem Keimgut und mit Erzeugnissen aus Embryonen darf kein Handel getrieben werden.

Durch das generelle Verbot des Klonens untersagt die Bundesverfassung auch das so genannte therapeutische Klonen beim Menschen. Dies bedeutet, dass der Zellkern-Transfer zur Gewinnung von embryonalen Stammzellen in der Schweiz nicht zulässig ist. In dem seit Anfang 2001 gültigen Fortpflanzungsmedizinengesetz sind die Vorgaben der Verfassung konkretisiert (s. Tabelle «Rechtslage in der Schweiz»). Es dürfen keine befruchteten Eizellen – also frühe Embryonen – sondern nur noch so genannte «imprägnierte Eizellen» tiefgekühlt aufbewahrt werden (s. Kasten «Befruchtung im Reagenzglas»). Die aus der Zeit vor 2001 noch vorhandenen, schätzungsweise 1000 tiefgekühlten Embryonen dürfen noch längstens bis Ende 2003 aufbewahrt werden. Sowohl die Bundesverfassung als auch das Fortpflanzungsmedizinengesetz lassen es offen, ob solche überzählige Embryonen für die Forschung, also zum Beispiel für die Gewinnung von embryonalen Stammzellen, verwendet werden dürfen. Zur Behebung dieser Gesetzeslücke hat der Bundesrat das Bundesamt für Gesundheit (BAG) beauftragt, ein neues Gesetz zu erarbeiten. Ein Entwurf zu diesem «Bundesgesetz über die Forschung an überzähligen Embryonen und embryonalen Stammzellen» – kurz auch als Embryonenforschungsgesetz (EFG) bezeichnet – durchlief zwischen Mai und August 2002 die Konsultation bei einem breiten Kreis von Personen und Stellen, die sich mit den entsprechenden Fragen befassen. Im November 2002 hat der Bundesrat den überarbeiteten Gesetzesentwurf zu Händen des Parlaments verabschiedet.

### Rechtslage in der Schweiz zur Gewinnung verschiedener Typen von Stammzellen

Herkunft der Stammzellen		Gewinnung gelungen?	Rechtslage in der Schweiz
embryonale Stammzellen	überzählige Embryonen aus IVF	ja	bisher: implizit verboten, nach EFG: zulässig <sup>1)</sup>
	gezielt hergestellte Embryonen aus IVF	ja	verboten
	Zellkern-Transfer («therapeutisches Klonen»)	nein	verboten
	Parthenogenese (Jungfernzeugung)	nein	implizit verboten
	abgetriebene Embryonen und Feten	ja	zulässig
adulte Stammzellen	abgetriebene Embryonen und Feten	ja	zulässig
	Nabelschnurblut	ja	zulässig
	Knochenmark	ja	zulässig

<sup>1)</sup> vorgesehene Regelung nach dem Entwurf des Embryonenforschungsgesetzes vom November 2002

Gemäss diesem Entwurf soll die Forschung an Embryonen und die Gewinnung von embryonalen Stammzellen auch in der Schweiz zulässig sein. Allerdings darf ausschliesslich an überzähligen Embryonen aus der künstlichen Befruchtung bzw. an Stammzellen aus überzähligen Embryonen geforscht werden. Dabei dürfen die Stammzellen sowohl aus dem Inland wie aus dem Ausland stammen. Die Herstellung von Embryonen allein zu Forschungszwecken soll auch in Zukunft untersagt bleiben, ebenso der Import von Embryonen und das therapeutische Klonen. Der Gesetzesentwurf legt Kriterien fest, die erfüllt sein müssen, damit ein Gesuch für die

Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen genehmigt werden kann (s. Kasten «Vorgesehene Regelung»). Sollten die vorgeschlagenen Bestimmungen noch rechtzeitig in Kraft treten, so könnten die oben erwähnten, aus der Zeit vor 2001 stammenden überzähligen Embryonen bis Ende 2004 für die Forschung verwendet werden, falls die genannten Kriterien erfüllt sind. Sonst müssen die eingefrorenen Embryonen spätestens Ende 2003 vernichtet werden. Gemäss den Vorgaben des Gesetzesentwurfs besteht später für die Forschung nur noch die Möglichkeit, die wenigen Embryonen zu nutzen, die im Rahmen laufender Behandlungszyklen der In-vitro-

Fertilisation überzählig werden. In der Schweiz dürfte es sich dabei um rund hundert Embryonen pro Jahr handeln.

**«Auch hochrangige Ziele wissenschaftlicher Forschung dürfen nicht darüber bestimmen, ab wann menschliches Leben geschützt werden soll.»**  
Johannes Rau

### Vorgesehene Regelung für die Stammzellenforschung in der Schweiz

Nachfolgend sind einige Bestimmungen aus dem Entwurf zum Embryonenforschungsgesetz vom November 2002 genannt, darunter auch die Kriterien für die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen.

- Überzählige Embryonen dürfen zu Forschungszwecken nur verwendet werden, wenn die erzeugenden Paare nach Aufklärung frei und schriftlich eingewilligt haben.
- Es ist nicht erlaubt, überzählige Embryonen sich über den 14. Tag hinaus entwickeln zu lassen.
- Überzählige Embryonen und embryonale Stammzellen dürfen nicht gegen Entgelt verkauft oder erworben werden. Sie dürfen nur für die Forschung, nicht aber für kommerzielle Zwecke verwendet werden.
- Für die Gewinnung von embryonalen Stammzellen ist eine Bewilligung des Bundesamtes für Gesundheit erforderlich. Embryonale Stammzellen dürfen nur für konkrete Forschungsprojekte gewonnen werden oder – falls im Inland dafür Bedarf besteht – für künftige Vorhaben.
- Zur Gewinnung von embryonalen Stammzellen dürfen nur so viele überzählige Embryonen verwendet werden, als für die Herstellung der Zellkulturen unbedingt erforderlich sind.
- Forschungsprojekte mit bereits gewonnenen embryonalen Stammzellen müssen vor der Durchführung dem Bundesamt für Gesundheit gemeldet werden und dürfen nur dann begonnen werden, falls die zuständige Ethikkommission ihre Zustimmung erteilt hat. Solche Forschungsprojekte dürfen nur durchgeführt werden, wenn sie wissenschaftlichen Qualitätsanforderungen genügen und gleichwertige Erkenntnisse nicht auch auf anderem Weg erlangt werden können.
- Nach Beendigung der Forschungsarbeiten bzw. nach der Gewinnung der Stammzellen sind die Embryonen sofort zu vernichten.
- Nach Abschluss oder Abbruch der Forschungsarbeiten an überzähligen Embryonen oder embryonalen Stammzellen ist eine Zusammenfassung der Forschungsergebnisse öffentlich zugänglich zu machen.
- Die Ein- oder Ausfuhr von embryonalen Stammzellen ist bewilligungspflichtig.

### Schlussfolgerungen der Studie

**Die im Gesetzesentwurf vorgeschlagene Regelung zum Umgang mit Embryonen ist pragmatisch. Sie stellt Kriterien auf für die «Verwertung» der ohnehin dem Tode geweihten überzähligen Embryonen. Allerdings wäre es sehr wünschenswert, die Diskussion auszuweiten und dabei die Forschung an allen Typen von Stammzellen sowie auch andere Optionen von Zelltherapien im Auge zu behalten.**

Die vielen Hürden, die bei der Etablierung von Zelltherapien aus menschlichen embryonalen Stammzellen noch überwunden werden müssen, lassen es nicht zwingend erscheinen, zum jetzigen Zeitpunkt die Gewinnung solcher Zellen auf breiter Front voranzutreiben. Ausserdem gilt es zu bedenken, dass die Forschung an embryonalen Stammzellen indirekt auch in anderen biomedizinischen Bereichen die Art und Weise beeinflussen könnte, wie mit menschlichen Embryonen umgegangen wird. Gemeinhin herrscht Einigkeit darüber, dass bei der Forschung an Embryonen ethisch-moralischen Erwägungen eine grössere Bedeutung zugemessen werden sollte als «blossen» wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen. Doch dazu, wie verbindliche Vorschriften zur Embryonenforschung lauten sollten, gibt es unterschiedliche Positionen, die für sich jeweils gut begründet werden können. Politik und Gesellschaft sind herausgefordert, in diesem sensiblen Bereich eine breit akzeptierte Lösung zu finden.



