

**Begleittext zum Foliensatz**  
**Reproduktives Klonen und relevante Techniken**

### **Folie 1 – Was ist Klonen?**

Unter **Klonen** versteht man die Herstellung von genetisch identischen Kopien (so genannten „Klonen“) eines Lebewesens ohne geschlechtliche Fortpflanzung. Der Begriff kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Sprössling“ oder „Zweig“.

Werden hingegen ausgewählte Stücke des Erbguts (DNA) im Reagenzglas vermehrt, sodass viele Kopien davon entstehen, spricht man von „**Klonieren**“, einem Begriff aus der Gen- und Biotechnologie.

Möchte man ein bestimmtes Gen (= eine definierte DNA-Sequenz) klonieren, so wird das Gen in so genannte Vektor-DNA (z.B. Plasmide oder Viren, sie dienen als Transportvehikel) mithilfe von Enzymen eingebaut. Diese Vektoren werden in einem nächsten Schritt in lebende Zellen (z.B. Bakterien, Hefe) eingeführt. Teilen sich die Zellen, so wird die eingeführte Fremd-DNA wie zelleigene DNA vervielfältigt. Aus den vermehrten Zellen kann in einem letzten Schritt die Vektor-DNA (mit dem gewünschten Gen) gewonnen werden. Eine alternative Möglichkeit zur Vermehrung von DNA-Sequenzen stellt die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) dar.

Das englische Wort „**to clone**“ bezeichnet sowohl das „Klonieren“ von DNA-Stücken als auch das „Klonen“ von Lebewesen.

### **Folie 2 – Klonen - ein natürlicher Prozess?**

Klone werden nicht nur im Labor erzeugt, es gibt sie auch in der Natur. Bei Säugetieren entstehen Klone eher zufällig und daher selten. Eineiige Zwillinge oder Mehrlinge treten beim Menschen etwa bei jeder 500. Geburt auf. Häufige natürliche Klone sind beispielsweise Ableger von Pflanzen (z.B. Kartoffeln, Erdbeeren) oder Bakterien, die sich durch Teilung vermehren und somit genetisch identisch sind. Auch manche Schnecken und Garnelen vermehren sich durch ungeschlechtliche Fortpflanzung (Teilung) und sind somit Klone.

### **Folie 3 – Zielsetzungen des Klonens**

Beim Klonen müssen grundsätzlich zwei verschiedene Arten unterschieden werden, die sich durch ihre Zielsetzungen, jedoch nicht durch die zugrunde liegenden Technologien, unterscheiden: das reproduktive Klonen und das therapeutische Klonen.

„Reproduktives Klonen“ hat zum Ziel, genetisch identische Lebewesen zu erzeugen. Mittels Klonen sollen gezielt Nutz- und Labortiere mit bestimmten (besonderen) Eigenschaften vermehrt, sowie gefährdete Tierarten vom Aussterben gerettet werden. Tierklone sind bereits nicht mehr wegzudenken aus der Grundlagenforschung und finden in der angewandten Tierzucht und in der Biotechnologie Verwendung.

Ziel des „Therapeutischen Klonens“ ist es, im Labor einen Embryo herzustellen, der genetisch identisch mit dem Patienten/der Patientin ist, um daraus pluripotente embryonale Stammzellen für Therapiezwecke zu gewinnen. Dabei wird der Embryo zerstört, es entwickelt sich kein lebensfähiger Organismus. Diese Technologie ist ethisch sehr umstritten, siehe Foliensatz Stammzellen.

## **Folie 4 – Techniken des Reproduktiven Klonens**

Um genetisch identische Lebewesen herzustellen, kommen zwei Techniken zum Einsatz: die Embryoteilung und der Kerntransfer. Beide Techniken unterscheiden sich grundlegend voneinander. Der Vorteil des Embryosplittings ist, dass die entstehenden Klone zu 100% genetisch identisch sind. Vorteil des Kerntransfers ist, dass so genannte transgene Lebewesen erzeugt werden können, die artfremdes genetisches Material besitzen.

### **Folie 4 – Technik Embryoteilung (Embryosplitting)**

Bei der Embryoteilung, („Embryosplitting“) wird ein mehrzelliger Embryo kurz nach der Befruchtung mit einer feinen Glasnadel in einzelne totipotente Zellen geteilt. Diese werden als Blastomere bezeichnet. Eine totipotente Zelle hat die Fähigkeit, sich in alle Zelltypen (ca. 200 beim Menschen) und somit in einen vollständigen Organismus zu entwickeln. Die Potenz einer Zelle verringert sich im Laufe der Entwicklung schrittweise, bei Mäusen die Totipotenz ist bereits im 6-8 Zellstadium vorbei. Werden die Blastomere in scheinchwangere Empfängertiere, also hormonell auf das Austragen eines Lebewesens vorbereitet, übertragen, durchlaufen diese eine normale Schwangerschaft und genetisch identische Geschwister (Klone) werden geboren.

### **Folie 5 – Embryoteilung in der Zucht von Nutztieren**

Bei der Vermehrung von Nutztieren mithilfe der Embryoteilung bleiben die gewünschten Eigenschaften (z.B. hohe Milchleistung oder besondere Fleischqualität bei Kühen) erhalten, da die sexuelle Fortpflanzung und die damit einhergehende zufällige Aufteilung der mütterlichen und väterlichen Chromosomen umgangen wird. So genannte „Klongruppen“ (genetisch identische Tiere) eignen sich beispielsweise dazu, Effekte verschiedener Umweltbedingungen (z.B. Fütterung) auf verschiedene Eigenschaften zu beforschen.

Das Verfahren hat jedoch derzeit kaum Bedeutung für die alltägliche landwirtschaftliche Praxis. Angewendet wird das Verfahren z.B. bei Kühen (besondere Fleischqualität, Milchleistung) bzw. Pferden (Turnierpferde).

### **Folie 6 – Definition Kerntransfer**

Mithilfe der Technik des Kerntransfers wird eine Kopie eines Lebewesens hergestellt, indem der Zellkern einer Spenderzelle (z.B. ein diploider Zellkern aus einer Körperzelle) in das Zytoplasma einer Empfängerzelle (z.B. entkernte Eizelle) überführt wird.

Die Technik des Kerntransfers hat historisch gesehen bereits ihren Ursprung in den Versuchen und Ideen des deutschen Entwicklungsbiologen Hans Spemann, der das Verfahren bereits in den 1930er Jahren einsetzen wollte, um das Entwicklungspotential von Zellkernen zu untersuchen. Er stellte sich die Frage, inwieweit sich aus einem Zellkern ein vollständiger Organismus entwickeln kann, nachdem er in das Zellplasma einer totipotenten Zelle transplantiert wurde. Praktisch umgesetzt wurden diese Ideen in den 1950er Jahren bei Amphibien (Krallenfrosch, *Xenopus laevis*).

Bei Säugetieren wurden Kerntransferexperimente erstmals bei Mäusen in den 1980er Jahren erfolgreich durchgeführt. Zu Beginn wurden embryonale Zellkerne transplantiert, der erfolgreiche Transfer eines Zellkerns aus einer ausdifferenzierten Körperzelle ist erstmals mit dem Schaf Dolly 1997 gelungen.

Jede eukaryotische Zelle durchläuft eine zyklische Abfolge von Ereignissen (Interphase und Mitose), von einer Zellteilung zur nächsten. Wichtig für einen erfolgreichen Kerntransfer ist, dass sich Spender- und Empfängerzelle im gleichen Stadium des Zellzyklus befinden. Nach dem Kerntransfer muss im Spenderzellkern ein bereits begonnenes, zelltypspezifisches Genexpressionsprogramm so weit zurückgestellt werden, dass die Entwicklung von Beginn an rekapituliert werden kann. Gene, die während der Embryonalentwicklung eine Rolle spielen, müssen wieder korrekt aktiviert werden, damit sich ein gesundes, lebensfähiges Individuum entwickeln kann. Dieser Prozess wird als „Reprogrammierung“ bezeichnet. Eine Reihe von Studien weist darauf hin, dass für diese Prozesse die Struktur des Chromatins (Komplex aus DNA und Proteinen) im Spenderzellkern eine wichtige Rolle spielt.

## **Folie 7 – Technik Kerntransfer**

Der erste Schritt beim Kerntransfer ist das Vorbereiten der Empfängerzelle. Dafür wird das genetische Material (Zellkern) aus der Empfängerzelle mithilfe einer dünnen hohlen Glasnadel abgesaugt, sie wird „entkernt“. Als Empfängerzellen werden meist unbefruchtete Eizellen verwendet, die einen haploiden (einfachen) Chromosomensatz besitzen. Danach wird ein diploider Zellkern (zweifacher Chromosomensatz) aus einer Körperzelle des zu klonenden Organismus isoliert und in die entkernte Eizelle eingebracht. Die Eizelhülle und der Zellkern verschmelzen durch einen Stromstoß, der künstlich geschaffene Embryo wächst einige Tage im Kulturmedium (Zellkultur). Der künstlich geschaffene Embryo wird auch als „rekonstituierter Embryo“ bezeichnet. Als für geeignet befundene Embryonen werden dann in Leihmutter-Tiere eingesetzt, die den sich entwickelnden Fötus bis zur Geburt austragen.

Der Transfer des Zellkerns kann auch durch eine Elektrofusion erfolgen, wobei die sich berührenden Zellmembranen von Eizelle und Kernspender-Zelle kurzzeitig durchlässig werden. Somit werden ein Zusammenfließen der beiden Zytoplasmaanteile und die Übertragung des Zellkerns möglich.

## **Folie 8 – Klonschaf Dolly**

Das geklonte Schaf Dolly war das erste Säugetier, das aus einer differenzierten Körperzelle eines erwachsenen Tieres – einer Euterzelle – 1997 geklont wurde.

Die Technik des Kerntransfers wurde im Schaf bereits 1986 etabliert, wobei Kerne aus Embryonen im 16-Kernstadium verwendet wurden. Diese Zellkerne mussten nur in geringem Ausmaß „reprogrammiert“ werden, da sie ja noch embryonal waren. Zehn Jahre später wurde im Roslin-Institut in Schottland gezeigt, dass auch in Zellkultur kultivierte Zellen aus embryonalen, fötalen oder adulten (wie z.B. Euterzelle) Geweben erfolgreich verwendet werden können.

Das Besondere an Dolly war, dass der für ihre Herstellung verwendete Zellkern aus einem erwachsenen Tier stammte und bereits ausdifferenziert, d.h. ein Euterzell-spezifisches Genexpressionsprogramm aktiviert, war. Klonschaf Dolly starb vorzeitig im Alter von 6 ½ Jahren an einer bei Schafen natürlicherweise vorkommenden Virusinfektion, die normale Lebenserwartung liegt bei 10-12 Jahren. Dolly zeigte auch bereits vorzeitig Alterserscheinungen wie etwa Arthritis. Ob es sich dabei um eine Folge des Klonens handelt, wird diskutiert, denn die für den Kerntransfer verwendeten Zellkerne stammten aus einem erwachsenen Tier, bei dem der molekulare Zellalterungsprozess bereits in Gange war.

## **Folie 9 – Klonen von Schaf Dolly**

Beim Klonen von Dolly waren mehrere Schafe involviert:

- eine „genetische Mutter“, aus deren Euterzellen Zellkerne gewonnen wurden, die für den Kerntransfer verwendet wurden. Dolly ist daher ein Klon der „genetischen Mutter“.
- Schafe, die als Eizellen-Spenderinnen fungierten.
- „Leihmutter-Tiere“, die ein Klonschaf austragen und gebären sollten. Dazu wurden die im Reagenzglas hergestellten Embryonen in die Gebärmutter eingesetzt (wie bei einer künstlichen Befruchtung). Die Tiere mussten hierfür hormonell vorbehandelt werden.

Die schematische Darstellung rekapituliert noch einmal die prinzipiellen Schritte beim Klonen:

1. Gewinnung von Zellkernen aus Euterzellen der „genetischen Mutter“
2. Gewinnung von Eizellen, deren genetisches Material entfernt wurde
3. Verschmelzung der Eizelle mit dem Zellkern (enthält DNA) aus der Euterzelle
4. Wachsen lassen des „rekonstituierten“ Embryos in Zellkultur
5. Einsetzen des Embryos in die Leihmutter
6. Geburt des Klonschafs

## **Folie 10 – Geringe Effizienz des Kerntransfers am Beispiel „Dolly“**

Die Entwicklung von gesunden Nachkommen ist der beste Beweis für eine erfolgreiche Reprogrammierung der Zellkerne, somit eines gelungenen Kerntransfers. Wie komplex die Technik ist, zeigt die geringe Effizienz des Kerntransfers (Anzahl der entwickelten Lebewesen im Vergleich zu Zellzahl, die dem Kerntransfer unterzogen wurde). Sie beträgt meist weniger als 1%.

Beim Klonen von Dolly wurden 277 mal der Transfer eines Zellkerns in eine Eizelle erfolgreich durchgeführt, daraus entwickelten sich 247 rekonstituierte Embryonen, sie überlebten die ersten Tage in der Kulturschale. Aus diesen 247 Embryonen entwickelten sich jedoch nur 29 geeignete Blastozysten (frühes Embryonalstadium, wenige Tage nach der Befruchtung), die in 13 scheinchwangere (hormonell vorbehandelte) Leihmutter-Schafe eingesetzt wurden. Es kam nur zu einer einzigen Lebendgeburt und das war Dolly.

Bei den bis jetzt durchgeführten Kerntransferen wurde ein breites Spektrum von Problemen sichtbar, wie z.B. Störungen der Plazenta, Hydroallantois (flüssigkeitsgefüllte „embryonale Harnblase“), erhöhte Abort- sowie Missbildungsrate sowie das „Large Offspring Syndrome“. Dabei handelt es sich um die Tatsache, dass geklonte Kälber und Schafe bei der Geburt oft außerordentlich groß sind, was Probleme für die Mutter bringen kann und oft einen Kaiserschnitt erforderlich macht. Zudem können sich Organe falsch entwickeln, beispielsweise können Herz oder Leber schneller wachsen als der übrige Fötus. Das Syndrom tritt insbesondere dann auf, wenn ein Embryo mehrere Tage in einem Kulturmedium gehalten wird, so dass möglicherweise bestimmte Substanzen im Kulturmedium dafür verantwortlich sind.

Am relevantesten für die Störungen während der Embryogenese und Fetalzeit ist sicherlich die Reprogrammierung der Spenderzellkerne, d.h. das Zurückversetzen des Genexpressionsprogramms einer spezialisierten Körperzelle in jenes eines Embryos. Spezialisierte Zelltypen (auch als „differenzierte“ Zellen bezeichnet) unterscheiden sich in ihrer Morphologie (= Gestalt und Aussehen), ihrer entwicklungsbiologischen Herkunft (Ento-, Ekto-, Mesoderm) und in ihrer Funktion, die durch unterschiedliche Genexpressionsprogramme bedingt ist. Beispiele für differenzierte Zellen sind Nervenzellen, Muskelzellen, Blutzellen oder Leberzellen.

Viele Studien weisen darauf hin, dass für eine erfolgreiche Reprogrammierung die Struktur des Chromatins (Material, aus dem die Chromosomen bestehen; Komplex aus DNA und Proteinen) im Spenderzellkern eine wesentliche Rolle spielt.

## Folie 11 – Sind Klone wirklich identisch?

Bei durch Kerntransfer hergestellten Lebewesen handelt es sich streng genommen nicht um Klone, denn sie sind genetisch nicht völlig identisch wie beispielsweise natürliche Klone (eineiige Zwillinge oder Mehrlinge). Der Grund dafür liegt an den in den entkernten Eizellen enthaltenen Mitochondrien (Zellorganellen, die für die Zellatmung zuständig sind), die eine eigene DNA (mitochondriale DNA) enthalten.

Im Gegensatz dazu entstehen durch die Technik der Embryoteilung natürliche Klone. Sie enthalten identische Informationen sowohl im Zellkern als auch in den Mitochondrien. Die mitochondriale DNA liegt in Form eines zirkulären, doppelsträngigen Moleküls vor, das z.B. beim Menschen rund 16.000 Basenpaare enthält. Bis jetzt wurden darauf 37 Gene sowie die Erbinformation für kurze RNA-Moleküle (wichtig für die Proteinsynthese) gefunden. Mitochondrien werden üblicherweise über die Mutter vererbt, sie befinden sich daher in der Eizelle, die für den Kerntransfer verwendet wird.

Daher hat jeder durch Kerntransfer erzeugte Klon zwei „genetische Mütter“: Jenes Lebewesen, aus welchem die Spenderzelle für den Zellkern stammt, und die Eizellspenderin, deren Mitochondrien in der Eizelle vorhanden sind.

Durch **epigenetische Phänomene** können Klone unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, obwohl sie genetisch identisch sind. Das bekannteste Beispiel für epigenetische Phänomene ist die so genannte **DNA-Methylierung**. Dabei wird eine der vier Basen der DNA, Cytosin, mit einer Methylgruppe ausgestattet. DNA-Methylierung ist meist mit der Stilllegung von Genen assoziiert, während aktive Gene meist unmethyliert sind. Ein weiterer wichtiger epigenetischer Effekt betrifft die Veränderung des Chromatins, dem Material, aus dem die Chromosomen bestehen (Komplex aus DNA-Doppelstrang und Histon-Proteine). Auch hier kann das Anfügen von chemischen Gruppen an die Histon-Proteine zu einer Veränderung der Genaktivität, d.h. zu einer veränderten RNA- und Proteinbiosynthese, führen.

Ist die DNA von Klonen z.B. unterschiedlich methyliert, wird die genetische Information unterschiedlich in Proteine übersetzt – somit werden die Klone verschiedene Eigenschaften aufweisen.

## **Folie 12 – Klonen von Haustieren mittels Kerntransfer**

Der Kerntransfer ist bereits bei vielen Säugetieren gelungen: Labor-Maus, Ratte, Hausrind, Ziege, Schwein, Kaninchen, Katze, Hund, afrikanische Wildkatze, Sunda-Ochse und Gaur (stark gefährdete asiatische Rinderarten) Weißwedelhirsch, europäisches Mufflon.

Es liegt daher nahe, dass es kommerzielle Anwendungen für zahlungskräftige Privatkunden gibt. Das Klonen von verstorbenen Haustieren aus Zellproben eines Tieres ist in den USA bereits machbar, es gibt auch einen Markt dafür. Einige wenige Hunde und Katzen wurden bereits in Auftragsarbeit geklont, die Kosten für eine Katze betragen rund 50.000 €. Geklonte Haustiere sind zwar erbgleich, aufgrund von epigenetischen Phänomenen jedoch nicht identisch (Charakter!).

Gegen eine Gebühr ist es in den USA auch möglich, Zellproben von Haustieren in einer so genannten „Genbank“ aufbewahren zu lassen, um sie z.B. nach Ableben für das Klonen mittels Kerntransfer zu verwenden. In einer **Genbank** werden Genomsequenzen von Lebewesen in Träger-Organismen (meist Bakterien) tiefgefroren aufbewahrt.

Klonen mittels Kerntransfer wird bereits erfolgreich bei prämierten Rennpferden (häufig kastriert, daher zeugungsunfähig) durchgeführt.

Regelmäßig wird auch über Pläne berichtet, bedrohte oder ausgestorbene Tierarten durch Klonen zu vermehren. In China gab es ein Programm zum Klonen von Pandabären, das jedoch wieder eingestellt wurde. Bereits ausgestorbene Arten zu klonen wäre besonders kompliziert, da einzelne DNA-Reste, wie sie aus eingefrorenen Mammuts isoliert wurden, nicht ausreichen, sondern ein vollständiges Erbgut nötig ist.

## **Folie 13 – Transgene Tiere in der Biotechnologie**

Unter einem transgenen Lebewesen versteht man einen Organismus, der artfremdes Erbgut in sich trägt. Transgene Tiere können mit verschiedenen Methoden erzeugt werden, ihre Herstellung ist jedoch ein aufwändiger Prozess. Eine Strategie zur Erzeugung ist die Mikroinjektion, bei der die einzubringende Fremd-DNA mit einer feinen Nadel in einen Vorkern einer befruchteten Eizelle injiziert wird. Die transformierten befruchteten Eizellen entwickeln sich in einer Zellkultur weiter und werden als Embryonen den Leihmuttertieren eingepflanzt. Nachteil: der Einbau der Fremd-DNA erfolgt zufällig, nur wenige Tiere tragen das gewünschte Merkmal, die Erfolgsrate ist gering.

Ein zielgerichteterer Ansatz bietet die Technik des Kerntransfers. Dafür wird zunächst das neue Gen in jene Körperzellen eingeführt, die als Spenderzellen für die Kerne dienen. Jene Zellen, in denen das artfremde Gen richtig in ihre DNA eingebaut wurde, werden bestimmt und für den Kerntransfer verwendet.

Tiere, die Milch geben, sind ein interessantes biologisches System, um bestimmte Arzneimittel zu produzieren („Molecular Pharming“). Das erste transgene, mittels Kerntransfer hergestellte Schaf war Polly (1997), sie produzierte den menschlichen Blutgerinnungsfaktor IX in ihrer Milch. Die Zellkerne stammten aus Bindegewebezellen, in welche das menschliche Gen für den Blutfaktor eingebaut wurde.

Die Herstellung von transgenen Hühnern ist 2007 im Forschungsbetrieb bereits gelungen. Auch sie sollen der biotechnologischen Gewinnung von Arzneimitteln dienen. Hierfür wurde ein Fremd-Gen, das für den gewünschten Wirkstoff kodiert in das Ovalbumin-Gen

eingebraucht. Der größte Teil der Eiweißfraktion besteht aus dem Protein Ovalbumin. Das biotechnologisch erzeugte Protein kann aus dem Hühnereiweiß aufgereinigt werden. Der große Vorteil von Hühnern als Bioreaktoren wäre der kurze Lebenszyklus (ihre Generationszeit beträgt nur 6 Monate, sie legen bis zu 220 Eier pro Jahr) und die somit schnelle und günstige Arzneimittelproduktion.

## **Folie 14 – Transgene Tiere in der Biotechnologie**

Der Bedarf an Spenderorganen ist sehr hoch und kann durch menschliche SpenderInnen nicht ausreichend abgedeckt werden. Eine Lösung dafür wäre die Xenotransplantation, d.h. die Übertragung von tierischen Zellen, Geweben und Organen auf den Menschen, wodurch die Wartezeiten auf menschliche Spenderorgane überbrückt werden könnten.

Das Hausschwein ist hierfür besonders gut geeignet, weil die Organe etwa gleich groß wie beim Menschen sind und vergleichbare anatomische und physiologische Merkmale haben. Sie würden in großer Anzahl zur Verfügung stehen und könnten gentechnisch verändert werden, um die immunologische Abwehrreaktion des menschlichen Körpers auf das fremde Gewebe zu vermeiden. Bei dieser Abstoßungsreaktion reagieren die menschlichen Antikörper auf die Antigene an der Oberfläche des Fremdkörpers, was zur Zerstörung des Fremdgewebes bis hin zum allergischen Schock und dem Tod des/der Patienten/in führen kann.

Mittels Gentechnik versucht man nun einerseits die antigene Oberflächenstruktur des Fremdgewebes auszuschalten und andererseits transgene Schweine zu züchten, die bestimmte menschliche Proteine bilden und so eine Abstoßungsreaktion hemmen.

Abgesehen von den Problemen der Abstoßung ergeben sich auch ethische Fragen: Dürfen Tiere als Organfabriken für den Menschen verwendet werden? Welchen Stellenwert haben Tiere in der Gesellschaft? Wird die Würde des Tieres verletzt?

Auch stellt sich die Frage nach den psychischen Konsequenzen für einen Menschen, der beispielsweise ein Schweineherz in sich trägt.

Xenotransplantation befindet sich im Forschungsstadium und wird derzeit noch nicht angewendet!

## **Folie 15 – Reproduktives Klonen von Menschen?**

Das reproduktive Klonen von Menschen ist aus ethischen Gründen (Missachtung der Menschenwürde, Missbrauchsmöglichkeiten, psychosoziale Folgen für ein Klonkind und dessen Familie, etc.) weltweit geächtet und gesetzlich verboten. Die medizinischen und biologischen Versuche zur Herstellung eines Menschenklons (niedrige Erfolgsrate!!) stehen mit der Medizin- und Forschungsethik in Widerspruch. Als grundlegende Werte, die im Gesundheitswesen verwirklicht werden sollen, gelten das Wohlergehen des Menschen, das Verbot zu schaden und das Recht auf Selbstbestimmung.

Auch aus biologischen Gründen ist das Klonen von Menschen keine Alternative zur sexuellen Fortpflanzung. Wie die Klonversuche bei Tieren bereits gezeigt haben, weisen geklonte Lebewesen eine hohe Missbildungsrate auf, viele geklonte Tiere erkrankten bzw. altern vorzeitig. Durch Klonen würde die genetische Vielfalt sinken, dies könnte einen Rückschritt in der Evolution darstellen.

Die psychosozialen Folgen eines Klonkinds sind nicht abzuschätzen.