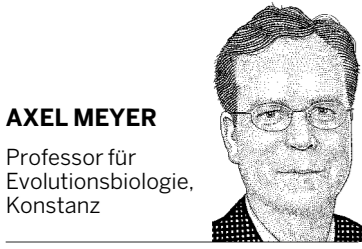


QUANTENSPRUNG

Klimawandel und Ockhams Skalpell

Wie funktioniert Wissenschaft? Einige der Prinzipien werden oft verwechselt oder veressen. Der Unterschied zwischen Korrelation und Kausalität etwa. Eine Korrelation ist nicht mehr und nicht weniger als eine Beziehung zwischen Variablen – sie zeigt nicht notwendigerweise eine Ursache-Wirkung-Beziehung. Beispiel: Es gibt weniger Störche als früher, und es werden immer weniger Babys geboren. Aber niemand würde hinter dieser Korrelation eine Kausalität vermuten. In der Wissenschaft gilt außerdem das Prinzip der sparsamsten Erklärung. Es wird Ockhams Skalpell (auch Ockhams Rasiermesser, Parsimonie-Prinzip oder Lex Parsimoniae) genannt, nach dem Mönch Wilhelm von Ockham (1285-1349). Danach wird stets die einfachste von mehreren möglichen Erklärungen für ein Phänomen angenommen. Alle anderen Theorien werden „wegrasiert“. Dies brachte Ockham 1323 eine Anlage wegen Ketzerei ein und später die Exkommunikation durch Papst Johannes XXII. Ein göttliches Eingreifen ist eine komplizier-



AXEL MEYER

Professor für Evolutionsbiologie, Konstanz

tere Erklärung, wenn wissenschaftliche Gesetze die Natur einfacher erklären. Trotzdem hatte er natürlich Recht, und sein Prinzip wird bis heute in der Wissenschaft angewandt. Das sollte es auch beim Thema Klimawandel.

Der drastische Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre korreliert nicht nur mit dem Temperaturanstieg, sondern ist auch eine sehr plausible Ursache dafür und im Prinzip testbar. Aber wenn nun behauptet wird, dass warme Perioden der jüngeren Geschichte auch politisch ruhigere waren und in kälteren Perioden Katastrophen die Regel waren – dann bin ich erst einmal skeptisch. Wenn jemand weiterhin behauptete, dass die Brutalität alter Kindermärchen, die während der „kleinen Eiszeit“ (Anfang des 15. bis ins 19. Jahrhundert) in Europa erzählt wurden, durch niedrige Temperaturen und daraus irgendwie resultierende menschliche Verrohung zu erklären sei, dann würde ich diese These zunächst einmal für sehr fragwürdig halten. Und ich würde mir auch nicht wegen dieser entfernten Möglichkeit ein wärmeres Klima wünschen und daraus irgendwie resultierende harmonischere Umgangsformen erhoffen. Auch wenn postuliert wird, dass die Pest nicht zufälligerweise in Zeiten eines klimatisch geschwächten Mitteleuropas wütete, dann würde ich dies erst einmal für Humbug halten und für nichts anderes als eine irrelevante zeitliche Korrelation.

Mit ernster Wissenschaft haben diese jüngst in seriösen Medien verbreiteten Märchen nur sehr entfernt zu tun. Die globale Erwärmung ist übrigens auch sicher nicht die einfachste, einzige oder plausibelste Erklärung für die zunehmende Gewalt im Fernsehen. wissenschaft@handelsblatt.com

Große Maschine sucht kleine Teilchen

Der Large Hadron Collider soll Physikern einen Blick auf den Anfang der Zeit ermöglichen

BERND MÜLLER | DÜSSELDORF

„Eine unermessliche Industrieanlage, kilometerweit, scheint es, Gebäude an Gebäude. ... Wir fahren in einem Auto herum, die Anlage zu besichtigen, zu Fuß wäre es nicht zu schaffen, ein Tagesmarsch.“ So beschrieb der Schweizer Schriftsteller Friedrich Dürrenmatt 1976 seinen Besuch des europäischen Kernforschungszentrums CERN. Würde der Autor des Dramas „Die Physiker“ noch leben, fände selbst er wohl kaum Worte für das, was derzeit rund 150 Meter tief unter der sanft gewellten Landschaft nahe des Genfer Sees entsteht. Der Large Hadron Collider, kurz LHC, ist die größte Maschine, die je von Menschen gebaut wurde – das moderne Pendant zu den Pyramiden.

Der Large Hadron Collider ist der stärkste Beschleuniger für Elementarteilchen aller Zeiten. Seine Kraft schöpft er aus meterdicken Magneten, die wie blaue Metallwürste in einem 27 Kilometer langen Ringtunnel hintereinander gereiht sind und die auf minus 271 Grad Celsius gekühlt werden. Sie zwingen Elementarteilchen in zwei gegenläufigen, armdicken Röhren in ihrem Inneren auf eine Umlaufbahn und damit auf Kollisionskurs, der für viele der Geschosse in einem der vier riesigen Detektoren endet. Jeder von ihnen würde locker den Kölner Dom ausfüllen und spuckt jährlich so viele Messdaten aus, wie auf einen 25 Kilometer hohen Turm aus aufeinander gestapelten DVDs passen.

Dass die Mammutmaschine auch die bislang teuerste Teilchenschleuder ist, versteht sich von selbst. Rund 2,2 Milliarden Euro kostet der nackte Beschleuniger, noch mal 800 Millionen die Detektoren. Rechnet man den Aufwand der rund 100 angeschlossenen Forschungsinstitute in aller Welt dazu, kommt locker das Dreifache zusammen. „Unser heimliches Kapital ist aber die Kreativität der 2500 CERN-Angestellten und der vielen weiteren Gastwissenschaftler aus aller Welt“, verrät Rüdiger Schmidt, der am CERN für die Sicherheit des Beschleunigers zuständig ist und jetzt aktiv an der Inbetriebnahme arbeitet.

Ein krasser Gegensatz zu den gigantischen Ausmaßen der Maschine ist ihre Aufgabe: Wie ein Mikroskop



In dem 27 Kilometer langen Röhrenring werden Elementarteilchen in gegenläufiger Richtung nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Der Large Hadron Collider liegt 50 bis 175 Meter tief unter der Erde in der Nähe von Genf.

so ins Innere der Atomkerne blicken und dort Elementarteilchen finden, aus denen alle Materie aufgebaut ist. Schon im Kern von „normalen“ Atomen gibt es einen wahren Zoo von Bausteinen. So sind die Protonen und Neutronen, die den Atomkern bilden, aus weiteren Partikeln aufgebaut, den so genannten Quarks, die von Klebteilchen, den so genannten Gluonen, zusammengehalten werden. Doch die sind für die Physiker längst kalter Kaffee. Sie suchen nach noch exotischeren Teilchen, dem bislang noch hypothetischen

Higgs-Boson zum Beispiel. Um es zu erzeugen, braucht man nach Albert Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ gewaltige Energien (E), damit aus dem Quasi-Nichts genügend Masse (m) entstehen kann. Solche Bedingungen mit unvorstellbaren Temperaturen von einer Billion Grad Celsius herrschen etwa eine Zehnmilliardstelsekunde nach dem Urknall. Der Blick mit dem LHC in die Atomkerne ist also gleichzeitig auch eine Reise zurück an den Anfang der Zeit und des Universums.

Um den Urknall milliardenfach im Labor herzustellen, schießen die Physiker am CERN Protonen aufeinander – später sollen

sogar schwere Bleikerne als Projektile dienen. Die Protonen werden mit starken Elektromagneten auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und kreisen dann in dem riesigen Doppelpiring in 2800 Paketen à 100 Milliarden Stück – eine Runde auf der Rennstrecke dauert 90 millionstel Sekunden. In Ruhe wiegen alle Protonen zusammen weniger als ein milliardstel Gramm, bei Lichtgeschwindigkeit gewinnen sie jedoch so viel Masse – und damit Energie – wie eine Kanonenkugel. Diese enorme Energie wird blitzartig frei, wenn Protonen im Zentrum der Detektoren kollidieren – „so als würde man mit einem Maschinengewehr auf einen

Sack Steine schießen“, erklärt CERN-Physiker Rolf Landua. Etwa eine Milliarde solcher Energieblitze erzeugt LHC jede Sekunde, und aus jedem sprüht ein Schauer exotischer Teilchen, die durch unzählige Kammern des Detektors fliegen, bevor sie absorbiert werden. Die Krümmung der Flugbahn jedes Partikels ist für die Physiker wie ein Fingerabdruck, sie können daraus auf seine Masse und seine Ladung schließen und es in ihr Standard-Teilchenmodell einsortieren. Atlas und CMS, die größten der vier Teilchenfänger, wiegen jeder so viel wie der Eiffelturm. Dennoch haben diese Riesen echtes Feingefühl: Sie erkennen Bahnabweichungen der Bruchstücke von 40 Mikrometern, der halben Dicke eines menschlichen Haares.

Der Aufbau des riesigen Beschleuniger-rings wird im Laufe dieses Jahres abgeschlossen. Ende April wurde der letzte von 1700 zweipoligen Elektromagneten installiert, die wichtigsten Bestandteile der Anlage. Bis der Teilchenstrahl auf seine endgültige Intensität hochgefahren wird, kann es aber einige Jahre dauern. Dass bei so einem Mammutprojekt nicht immer alles nach Plan läuft, findet Rüdiger Schmidt normal. „Immer wieder gibt es Schwierigkeiten, mit denen wir zurecht kommen müssen.“ LHC sei eben keine Anlage, die man mal kurz aufzeichnen und dann von einer Firma bauen lassen könne. „Wir sind hier an der Grenze des Machbaren, viele Technologien müssen wir selbst entwickeln, weil es sie noch gar nicht gibt“, so Schmidt.

Das ist für den 54-Jährigen auch ein wichtiger Grund, warum man so viele Milliarden Euro ausgeben sollte, um physikalische Gesetze zu ergründen, die ohnehin nur wenige Menschen verstehen. Der technologische Fortschritt für die 20 Mitgliedstaaten – Deutschland als größter trägt ein Fünftel zum Budget bei – sei nicht in Geld zu beziffern. Und nach den Diplomanden, Doktoranden und Postdoktoranden, die am CERN in verschiedenen Forschungsgruppen aus Dutzenden Nationalitäten arbeiten, leckt sich jeder Arbeitgeber die Finger.

Noch bevor der LHC die Arbeit aufgenommen hat, liegen bereits die Pläne für einen Nachfolger in der Schublade. Wann und wo der 31 Kilometer lange International Linear Collider gebaut wird, ist völlig offen. Mit geschätzten sieben bis elf Milliarden Euro Baukosten wird er dem LHC den Titel als teuerster Beschleuniger der Welt abjagen.

Text weiterleiten: Mail an forward@handelsblatt.com Betreff: LHC (Leerzeichen) 13 (Leerzeichen) Mailadresse des Empfängers

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE

DI ESSAY

MI GEISTESWISSENSCHAFTEN

DO NATURWISSENSCHAFTEN

FR LITERATUR

Fische hatten Anlagen zu vier Gliedmaßen

DÜSSELDORF. Die Extremitäten vierfüßiger Lebewesen (Tetrapode) galten bislang als einzigartige evolutionäre Erfindungen der auf dem Land lebenden Wirbeltiere. Biologen haben, wie sie in der Zeitschrift „Nature“ schreiben, nun Spuren von Extremitäten auch bei primitiven Fisch-Arten gefunden.

Die Annahme der Einzigartigkeit der Vierfüßer war vermutlich eine Folge der häufigen Vergleiche mit relativ hoch entwickelten Fischen, vor allem mit dem oft als Versuchstier für Embryo-Studien benutzten Zebrafährling (Danio rerio). Dieser ist allerdings ein vergleichsweise hoch entwickelter Fisch, dessen Vorfahren die Reste der Gliedmaßen vermutlich im Laufe der Evolution verloren haben. Nach einer Gen-Untersuchung über die Entwicklung der Flossen des Löffelstör (Polyodon spatula), eines „lebenden Fossils“, hält Neil Shubin von der Universität Chicago dies für sehr wahrscheinlich.

Dieser Fisch ist einer der letzten Vertreter eines Typs von Knochenfischen, die vor rund 250 Millionen Jahren in den Weltmeeren verbreitet waren. Die Untersuchung von dessen Hox-Genen, also großen DNA-Abschnitten, die mehrere andere, funktionell zusammenhängende Gene im Verlauf der individuellen Entwicklung (Morphogenese) steuern, zeigte Muster, die sonst für Kennzeichen der Entwicklung von Gliedmaßen bei Vierfüßern gehalten werden.

Diese Erkenntnisse zeigen, so Shubin, dass einige Aspekte der Entwicklung von Gliedmaßen evolutionär primitiv und allen Knochenfischen gemeinsam sind. Allerdings gingen sie bei höheren Fischarten verloren. *fk*

Auf der Suche nach dem Higgs-Teilchen

Peter Higgs' Theorie
Das Higgs-Boson, wichtiges Elementarteilchen im Standardmodell der Teilchenphysik, ist bisher nicht experimentell nachgewiesen. Es ist vermutlich 190-mal schwerer als ein Proton. Die Energien früherer Beschleuniger reichten nicht aus, um es zu materialisieren. Es könnte erklären, warum Elementarteilchen eine Masse haben. Peter Higgs postulierte ein das ganze Universum ausfüllendes Feld. Jedes Teilchen saugt gleichsam Masse aus ihm. Und weil es in der Quantenphysik kein Feld ohne korrespondierendes Teilchen gibt, wäre die Higgs-Theorie bestätigt, wenn

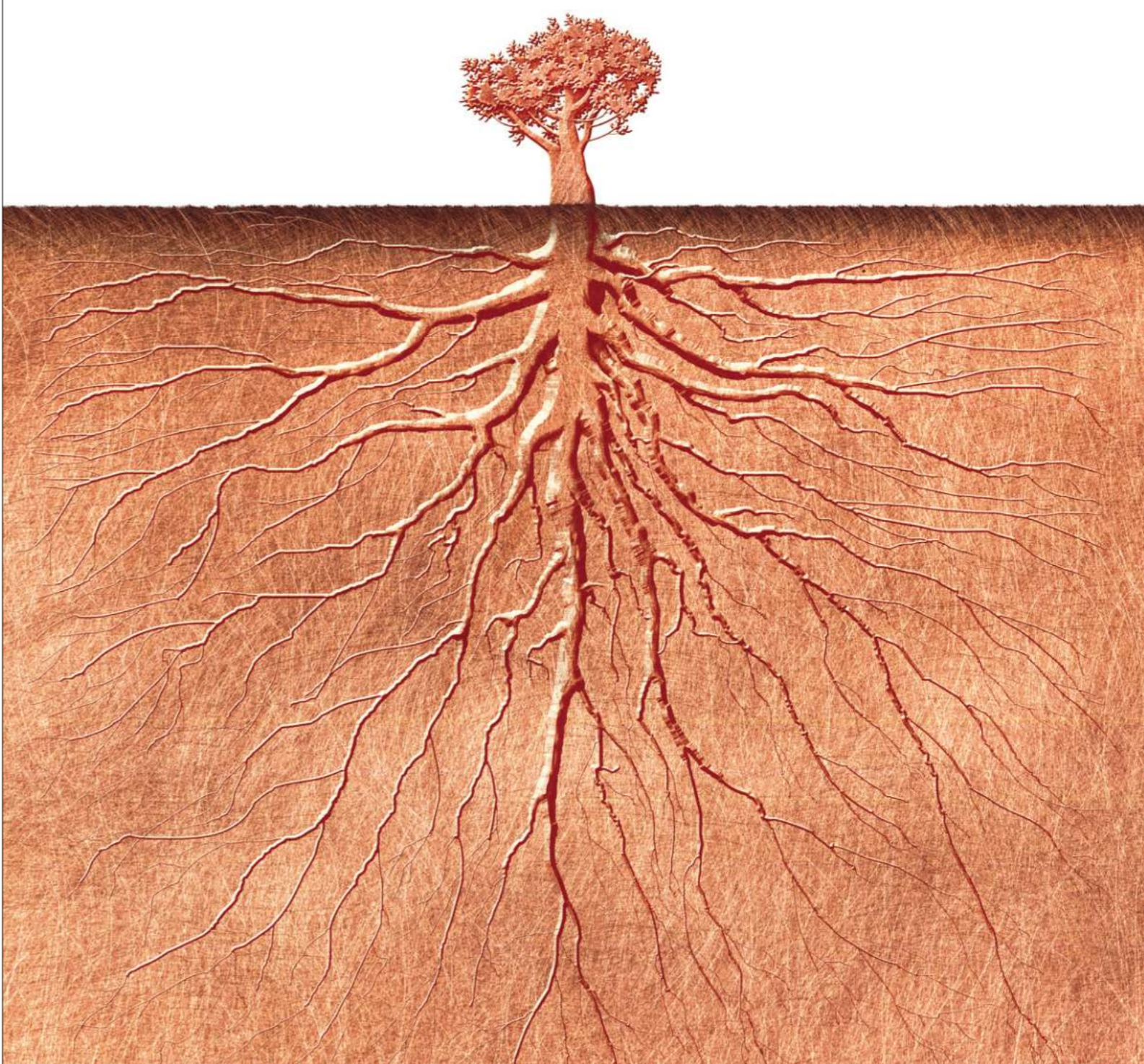
die LHC-Detektoren es einfangen könnten. **Existiert es?** Nicht alle Forscher sind überzeugt, das Higgs-Teilchen zu finden. Vielleicht ist es selbst für LHC zu schwer. Oder es existiert gar nicht. Das würde die Physik in den Grundfesten erschüttern, von Plancks Quantenmechanik bis zu Einsteins spezieller Relativitätstheorie – der Gedanke lässt Physiker erschauern. Doch was ist, wenn LHC das „Gott-Teilchen“ findet – aber sonst nichts? Ein wasserichtiges Modell könnte die Physik in eine Sinnkrise stürzen. „Dann wüssten wir nicht, was wir als Nächstes tun sollten“, sagt

Aldo Deandrea von der Universität Lyon. **Susy gesucht** Auch nach der mysteriösen dunklen Materie suchen die Physiker. Ohne sie müssten Galaxien viel schneller auseinander driften. Sie werden aber von Gravitationskräften zusammengehalten, ohne sichtbare Ursache. Des Rätsels Lösung könnten supersymmetrische Teilchen sein. Nach der Su(per)sy(metrie)-Theorie gibt es zu jedem Teilchen im Standardmodell einen schwereren symmetrischen Partner. Frühere Experimente lieferten deutliche Hinweise, und LHC wird die vermisste Susy vermutlich finden.

Ab heute läuft Kupfer in Europa unter einer Marke: KME. Sie vereint die Unternehmen des weltweit größten Herstellers von Halbfabrikaten aus Kupfer und Kupferlegierungen. Ein Netz aus Firmen mit Produktionsstätten und Betrieben in ganz Europa und weltweit. KME-Kupfer steckt in jedem modernen Industriezweig Europas. Ein Konzern mit großer Vergangenheit, hervorgegangen aus jahrhundertelanger Erfahrung, der in eine ebenso vielversprechende Zukunft schaut: mit den Perspektiven eines Metalls, das hinsichtlich der Entwicklung neuer Technologien zu den wichtigsten gehört.



KME. DIE GROßE FAMILIE DES EUROPÄISCHEN KUPFERS.



Großbritannien erlaubt hybride Stammzellen von Mensch und Tier

Forscher haben sich mit öffentlichem Druck gegen Skeptiker durchgesetzt

MATTHIAS THIBAUT | LONDON

Die britische Regierung wird die Forschung mit so genannten Chimären oder Hybrid-Stammzellen im Rahmen eines neuen Embryonengesetzes erlauben. 45 führende Wissenschaftler hatten in einem Brief in der „Times“ gewarnt, ein Verbot würde Großbritannien die Führungsrolle in der „ethisch verantwortlichen Stammzellforschung“ gefährden.

Entsprechend positiv ist die Reaktion aus der Forschung auf die Revision des Gesetzes, die im Herbst vom Parlament mit Sicherheit angenommen wird. „Der gesunde Menschenverstand hat sich durchgesetzt. Wir reden hier von Zellen, die in der Petrischale wie Stärkemehl aussehen.

Und es ist auf jeden Fall illegal, aus diesen Zellen lebende Wesen zu machen“, sagt Humangenetiker Joseph Burn von der Universität Newcastle. „Diese Forschung ist wichtig, weil sie uns Einblick in das geben kann, was bei katastrophalen neurologischen Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson schief geht“, sagt Stephen Stinger vom King's College. Der Vorteil der Chimären: Die Stammzellen werden aus Rinder-Eizellen gewonnen und sind, anders als „menschliche“, leicht erhältlich. Stinger und Burn wollen tierische Eizellen entkernen, also die tierischen Erbinformationen entfernen, und durch menschliche ersetzen, z.B. aus der Hautzelle eines Parkinsonkranken. In der Petrischale kann man die Ent-

wicklung solcher Zellen und damit vielleicht die Ursachen genetischer Defekte studieren. Außerdem sollen Hybridembryos neue Erkenntnisse über Steuerungsmechanismen bei der Zellteilung bringen. Die Verschmelzung von „unentkernten“ tierischen und menschlichen Zellen ist nach dem Gesetzentwurf ausdrücklich verboten, und wie bei allen therapeutisch geklonten Stammzellen darf nur bis zum Blastozyststadium (zwei Wochen nach Befruchtung) geforscht werden. Gegner sehen dennoch eine unakzeptable Verwischung der Grenzen zwischen Mensch und Tier. „Ganz Europa wird mit Schrecken reagieren“, prophezeit eine Kampagne für Ethik in der Reproduktion.