

Die Zukunft hat bereits begonnen.

Auch wenn im Moment der Eindruck besteht, dass die Menschheit sich zurück in Richtung Mittelalter bewegt, könnte es sein, dass sie in Wirklichkeit vor dem Aufbruch in eine neue Ära ist. Das Zeitalter des Homo Sapiens könnte zu Ende gehen.

Robotik, Nanotechnik, Biotechnologie und Gentechnik stellen die Mittel bereit, aus dem relativ schwachen und störanfälligen Menschen unserer Zeit einen verbesserten, verstärkten Menschen zu machen.

Die Cyborgs¹ sind längst unter uns

Thomas Leblanc, dem Leiter der Phantastischen Bibliothek in Wetzlar, verdanke ich den Hinweis, dass Cyborgs längst unter uns sind, und N.Katherine Hayles schreibt in ihrem „Cyborg handbook“, dass ungefähr 10 Prozent der derzeitigen Einwohner der USA im technisch strengen Sinne „Cyborgs“ sind.

In-Ohr-Hörgeräte und künstliche Linsen in unseren Augen sind längst alltäglich. Auch der Einsatz von Herzschrittmachern wird niemandem mehr futuristisch erscheinen, so wenig wie künstliche Hüft- und Kniegelenke, Brustimplantate oder Herzklappen.

Myoelektrische Prothesen vereinen ein hohes Maß an Funktionalität mit kosmetischen Ansprüchen. Die Steuerung erfolgt über die Muskeln des nach der Amputation verbliebenen Stumpfes, der in Silikon eingebettet wird. "Über Elektroden, die eine Muskelaktivität im Stumpf erfassen, werden elektrische Motoren angesteuert, die Greif- und Umwendebewegungen der Hand und Funktionen des Ellenbogens steuern können", berichten Forscher des Universitätsklinikums Heidelberg. Die Firma Otto Bock – führender Prothesenhersteller in Deutschland - vermeldet: „Das Axon-Bus Prothesensystem mit der Michelangelo Hand gibt Ihnen mit ihren verschiedenen Möglichkeiten zu greifen, zahlreiche Funktionen der natürlichen Hand zurück und ermöglicht es Ihnen, handwerkliche oder alltägliche Aufgaben zu bewältigen, bei denen Präzision und Kraft gefragt sind. Dank ihres besonders natürlichen Designs integriert sie sich harmonisch in das natürliche Körperbild.“

Zwar werden Prothesen-Träger immer noch als Menschen mit Behinderung angesehen, das könnte sich aber bald ins Gegenteil wenden. So sieht man Trägern moderner Beinprothesen das Handicap gar nicht mehr an und sie können ohne Probleme Fahrrad oder gar Inlineskates fahren. Spezialanfertigungen für Sportler haben deren Leistungen nicht nur an die Leistungen „normaler“ Spitzensportler herangebracht, sondern diese sogar übertroffen. So verliert ein trainierter Sprinter bei jedem Schritt 40 Prozent der aufgebrauchten Energie, aber ein Sprinter mit beidseitigen Prothesen wie Oscar Pistorius nur 8 Prozent. Da das für die Prothesen verwendete Karbon steifer und widerstandsfähiger ist als ein menschliches Sprunggelenk, hat der Prothesen-Sprinter einen großen mechanischen Vorteil und muss weniger Aufwand treiben, um eine hohe Geschwindigkeit zu halten. „Seine Prothese ermüdet nicht wie die Muskeln der Anderen.“ sagt der Biomechaniker Gert-Peter Brüggemann. Der beinamputierte Weitspringer Markus Rehmann gewann am 26.7.2014 mit einer Weite von 8,24

¹Der Begriff Cyborg bezeichnet ein Mischwesen aus lebendigem Organismus und Maschine

Metern die deutsche Meisterschaft im Weitsprung der – nichtbehinderten! – Männer. Der Deutsche Leichtathletik-Verband liess ihn aber nicht an den Europameisterschaften teilnehmen, da er „deutliche Zweifel (hatte), dass Sprünge mit Beinprothese und mit einem natürlichen Sprunggelenk vergleichbar sind.“ Rehm muss demnach also wohl als „verbesserter Mensch“ gelten – nicht als Mensch mit Behinderung.

Mittlerweile setzen Ärzte PatientInnen immer häufiger Teile ein, die aus dem 3D-Drucker stammen, die Kombination von biokompatiblen Gerüsten und lebenden Zellen revolutioniert dabei die regenerative Medizin. Es ist möglich, Hüftgelenke, Stents oder Gewebeersatz ohne schleifen, bohren oder langwierige Zellkultur für den einzelnen Patienten so maßzuschneidern, dass diese sofort passen. Eine andere Anwendung solcher 3D-Matrices veröffentlichten Forscher von der Ann Arbor University in Michigan, die zeigten, dass der Druck von Implantaten auch Kindern helfen kann, bei denen das Hilfsmittel mitwachsen muss. Bei der behandelten Erkrankung ist das Bindegewebe der großen Atemwege so schwach, dass es beim Atmen immer wieder kollabiert. Bisher war ein Luftröhrenschnitt mit kontinuierlicher mechanischer Beatmung die Methode der Wahl für diese Kinder. Jetzt kann ein Stützgerüst, das außen die Hauptbronchien umhüllt und an ihnen festgenäht wird, helfen. Dank seiner offenen zylindrischen Form wächst es mit der Vergrößerung der Atemwege mit. Der 3D-Drucker passt dabei die Atemwegsstützen entsprechend der Daten von vorangegangenen CT-Aufnahmen exakt an. Drucker können mittlerweile problemlos auch mehrlagige komplexe Strukturen wie Knorpelgewebe aufbauen. Bisher war es aber schwierig, Gewebe von Organen zu drucken, die ein Ver- und Entsorgungskanalssystem brauchen. Wissenschaftlern aus Harvard, Stanford und Sydney ist es gelungen, ein funktionierendes Kapillarnetzwerk in das gedruckte Gewebe zu integrieren. Damit ist der Weg geebnet, letztlich auch Muskeln und innere Organe herzustellen und passgenau in den Patientenkörper einzusetzen.

Zunächst müssen Studien und Langzeitbeobachtungen an einer größeren Anzahl von Patienten klären, ob die Materialien und Verfahren auch langfristig sicher und funktionsfähig sind. Aber es ist absehbar, dass Gewebedrucker bald Einzug in Kliniken und Arztpraxen finden werden, um kranke oder zerstörte Gewebe und Körperteile, ja sogar innere Organe zu ersetzen.

Seit langem träumen Menschen davon, dass bei Erkrankungen kein Chirurg mehr zum Messer greifen muss. Bald könnten mikroskopisch kleine Roboter Eingriffe durchführen, Gerinnsel beseitigen oder spezifische Medikamente bis an die problematischen Zellen heranführen. Forscher des MIT (Massachusetts Institute of Technology) und der Max-Planck-Gesellschaft haben Mikroroboter entwickelt, die sich mithilfe jeweils unterschiedlicher Antriebsmöglichkeiten in Blutgefäßen fortbewegen und wie Mini-Drohnen Wirkstoffe transportieren können. Im Laborversuch führen Miniaturgreifer bereits Biopsien durch und kleine „Gripper“ buddeln sich durch Gefäßverschlüsse. Es ist vorstellbar, dass in weiterer Zukunft diese kleinen Maschinen im Körper verbleiben und wie eine Feuerwehr oder ein Technisches Hilfswerk ständig Reparaturen und schnelle Hilfe im Zellbereich leisten.

Wir erleben dramatische Schritte, mechanische, akustische und optische Systeme mit dem Nervensystem des Menschen zu verbinden.

Mit Cochlea-Implantaten können Taube wieder hören, mit Silizium-Chips, die Reize über den Sehnerv ins Gehirn schicken, können Blinde sich wieder räumlich orientieren. Thomas Stieglitz von der Universität Freiburg gelang es, Amputierten über eine Prothese sensorische Impulse an das Gehirn zurückzuschicken und ermöglichte so Patienten mit einem künstlichen Glied etwas zu "fühlen". Überall in der Welt arbeiten WissenschaftlerInnen an Roboterarmen und -beinen mit Gedankensteuerung.

Ein 29-jähriger Querschnittsgelähmter steuerte ein Exo-Skelett zum Anstoss bei der Fussballweltmeisterschaft 2014 nur mit seinen Gedanken. Das dort präsentierte Exoskelett, das in der Kooperation von 200 WissenschaftlerInnen in aller Welt (u.a. der Technischen Universität München) entstanden ist, gibt Hoffnung für Tausende von Querschnittsgelähmten. Max Ortiz Catalan, Forscher an der Chalmers University of Technology in Göteborg sagte, "Wir haben wirklich die Mittel für eine dauerhafte Verbindung zu neuromuskulären Interfaces", als er den Prototyp einer robotischen Armprothese vorstellte, die – direkt am Skelett verankert – eine natürliche Gedankensteuerung ermöglicht. Mit Hilfe von Exo-Skeletten werden die Kräfte und Schnelligkeit von Soldaten vervielfacht, mit haftfähigen Stoffen können sie zumindest in Versuchen bereits klettern wie Spiderman.

Bereits heute fliegen Forscher mit ihren Gedanken Flugzeuge im Simulator, Gelähmte senden über Gehirn-Computer-Schnittstellen E-Mails. Mit sensorischen Hauben ausgestattet, konnten Gehirne so miteinander verbunden werden, dass sich ihre Besitzer über große Distanz einfache Signale zusenden konnten. Die US-Armee forscht an einem Implantat, über das sich das Gehirn eines Menschen direkt mit einem Computer verbinden kann, und zwar sehr viel umfassender als mit der derzeit verfügbaren Technologie, die nur mit bis zu 100 Kanälen ausgestattet ist, über die sie Befehle von Neuronen des Nutzers aufnehmen kann. Dadurch ist die Verarbeitung der Daten ungenau und langsam. Nun sollen die Informationen direkt aus einzelnen Neuronen ausgelesen werden. Dadurch würde es möglich, dass Ärzte chirurgische Roboter mit hoher Präzision mit der Kraft ihrer Gedanken steuern könnten. Die Defense Advanced Research Agency (DARPA) der USA will damit aber eine neue Phase in der Steuerung von Drohnen und Kampfrobotern einläuten.

Es wird bereits hier deutlich, dass die Möglichkeiten des Menschen der Zukunft deutlich über seine heutigen Fähigkeiten hinaus gehen werden. Bis dahin muss aber unsere Gesellschaft noch erhebliche Anstrengungen unternehmen, um die hieraus entstehenden ethischen und politischen Fragen zu lösen. In der dargestellten Entwicklung liegt eine große Chance zum Fortschritt der Menschheit, aber nur wenn wir sie klug nutzen.

(Wir haben uns hier zunächst nur auf die technischen Entwicklungen zur Transhumanität beschränkt, über die biologischen und gentechnologischen Trends werden wir in der nächsten Ausgabe reflektieren.)

In seinem Buch *Are You Transhuman?* von 1989 schreibt der transhumanistische Philosoph [FM-2030](#):

„Transhumane sind die erste Manifestation einer neuen Art von evolutionären Wesen. Sie ähneln darin den ersten Hominiden, die vor vielen Millionen Jahren die Bäume verließen und begannen sich umzuschauen.

Transhumane haben nicht notwendigerweise das Ziel, die Evolution höherer Lebensformen zu beschleunigen. Viele von ihnen sind sich ihrer Rolle als Übergangsform der Evolution gar nicht bewusst.“

Eine moderne Definition des Transhumanismus geht auf Max More zurück^[6]:

„Transhumanismus ist eine Kategorie von Anschauungen, die uns in Richtung eines posthumanen Zustands führen. Transhumanismus teilt viele Aspekte mit dem [Humanismus](#), einschließlich eines Respekts vor [Vernunft](#) und [Wissenschaft](#), einer Verpflichtung zum [Fortschritt](#) und der Anerkennung des Wertes des menschlichen (oder transhumanen) Bestehens in diesem Leben. [...] Transhumanismus unterscheidet sich vom [Humanismus](#) im Erkennen und Antizipieren der radikalen Änderungen in Natur und Möglichkeiten unseres Lebens durch verschiedenste wissenschaftliche und technologische Disziplinen [...].“

It has been an important few weeks for genetic and reproductive medicine, with outcomes from two

major meetings that could be profound for society.

First, the International Summit on Human Gene Editing in Washington, DC, USA, concluded that clinical research into gene editing of somatic cells should continue, but that at present it would be irresponsible to proceed with any clinical use of germline editing without a better understanding of the risks and benefits, and without broad societal consensus.

On the other hand, at a [meeting](#) in London organised by the UK's Progress Educational Trust, and involving many of the same researchers who were at the [Washington Summit](#), a more positive theme emerged. The UK is well positioned to lead research into somatic and germline editing, having both the scientific expertise and the societal, parliamentary, and regulatory frameworks within which to debate, consult, legislate, and monitor use of new techniques.

Earlier this year, the UK became the first country in the world to legislate in favour of [mitochondrial donation](#), after years of debate about its safety, efficacy, and ethics. Leading the discussion and advocating for change were families affected by severe mitochondrial diseases, whose suffering persuaded many sceptics or objectors.

Science is moving fast with gene editing tools such as [CRISPR/Cas9](#) revolutionising the possibilities, and key regulators of primordial germ cells such as SOX17—BLIMP1 better understood. Now that somatic cells can be reprogrammed to become germ cells, with viable gametes and even live young generated from mouse induced pluripotent stem cells, the boundary between somatic and germline editing has become blurred.

Patients are often the most effective advocates for novel treatments and have different perceptions of risk. A future in which prevention of some diseases caused by single-gene mutations is likely; even disorders caused by multiple genes might be preventable. The UK is well placed to lead the debate on the future of genome and embryo engineering. Managing, rather than avoiding, risk for the

benefit of patients and society is the key.

Gene editing allows us to eliminate any misspellings, introduce beneficial natural variants, or perhaps cut out or insert new genes (credit: Libertas Academica/Flickr, CC BY-SA)

By Merlin Crossley Dean of Science and Professor of Molecular Biology, UNSW Australia

A summit of experts from around the world is meeting in Washington to consider the scientific, ethical and governance issues linked to research into gene editing. Convened in response to recent advances in the field, the summit includes experts from the U.S. National Academy of Science, the UK's Royal Society and the Chinese Academy of Science.

Gene editing is a new technique that allows one to change chosen genes at will. It has been applied to many organisms but a recent open-access report from China showing the modification of human embryos using a technology known as CRISPR/Cas9 mediated editing set alarm bells ringing.

Here's the main fear: if you modify an embryo (and therefore also its germline), you change not only the person that embryo will become but also its future sons, daughters, grandsons and granddaughters.

Since we don't know much about this technology, it's right to stop and think about it. But personally I'm not overly concerned: we've been here — or somewhere quite like it — before.

Gene editing is so precise that one doesn't just lob in a new gene and hope it works; what one does is edit the existing gene to eliminate any misspellings, introduce beneficial natural variants, or perhaps cut out or insert new genes into chosen locations.

Our anti-viral software may not even detect what's happened. And provided there aren't any "off-target" effects, where we hit the wrong gene, there may be no or minimal side effects.

Now that's it's so easy to meddle in human genes, why shouldn't we worry?

The new technology is a game-changer — but it's not a runaway phenomenon, like releasing cane toads, blackberries or rabbits into Australia. After 40 years, there have been few, if any problems, with genetically modified organisms. And the experiments — though much easier now — are still so elaborate

and expensive that the technology will spread slowly.

We'll likely remain cautious about modifying human embryos and about any modification that may be passed on to the next generation. To date, consent is required for all treatments. And while patients may opt for experimental cancer therapy or surgery, we always try to think carefully when others, who cannot consent, will be affected.

Some people will even ask why it's wrong to correct a defect that could haunt future generations. Or, if we could introduce a gene variant that protects people from cancer — such as creating a duplication of the tumour suppressor gene p53 — why wouldn't we want that for our children?

Genetics is a branch of science that's ripe for discussions, and conversations on recombinant DNA, gene therapy, cloning and stem cells have all gone well. Guidelines have been sensible and researchers have largely complied with them.

Als erstes Land erlaubt Großbritannien Reproduktionskliniken ab Oktober die IVF mit drei Spendern. Ein Segen für Frauen mit mitochondrialen Krankheiten und Kinderwunsch. Kritiker fürchten, die Entscheidung könne den Weg zum Designer-Baby ebnen.

„Dieses Abstimmungsergebnis wird das Leben vieler Frauen verändern, die mit einer mitochondrialen Erkrankung leben, indem es ihnen die wertvolle Chance gibt, gesunde Kinder zur Welt zu bringen, die Erkrankung aus dem Familienstammbaum zu tilgen und die Zahl derer zu reduzieren, die mit den verheerenden Folgen der Erkrankung konfrontiert sind“, erklärt Robert Meadowcroft, Geschäftsführer von Muscular Dystrophy UK, einer britischen Wohltätigkeitsorganisation.

Im Vorfeld der Abstimmung hatten Kritiker davor gewarnt, dass die Technik eine Form der Eugenik darstelle und unkontrollierbare Konsequenzen haben könnte. Das Schreckenswort „Designer-Baby“ machte unweigerlich die Runde.

„Wir öffnen eine Büchse der Pandora“, **warnt** auch Fiona Bruce, konservative Abgeordnete des Unterhauses und Vorsitzende der parlamentarischen „Pro-Life“ Gruppe. Dr. Robert Winston, Fertilitätsexperte der Labour-Partei und Mitglied des Oberhauses, **äußerte sich** dagegen folgendermaßen zu der Anschuldigung, Ärzte würden sich in die Natur einmischen: „Wir werden manchmal beschuldigt, Gott zu spielen [...] Wir versuchen nicht, Gott zu ersetzen, sondern wir versuchen, sein Werk zu verbessern.“

Die DNA der Mitochondrien kodiert nur **37 Gene** — die chromosomale DNA dagegen etwa 25.000. Zudem ist die mtDNA völlig anders organisiert – laut Endosymbiontentheorie eine direkte Folge ihres bakteriellen Ursprungs. Alle 13 proteinkodierenden Gene sind dafür zuständig, Elemente der mitochondrialen **Atmungskette** herzustellen. Obwohl die Gene der mtDNA nur einen Bruchteil (0,2 %) aller Gene ausmachen, gibt es zahlreiche Erkrankungen, die auf Defekte in mitochondrialen Genen zurückzuführen sind. Schätzungen zufolge treten bei **einem von 200 Neugeborenen** pathogene Mutationen in der mtDNA auf, aufgrund epidemiologischer Studien wird die Prävalenz von mtDNA-bedingten **Mitochondriopathien** dagegen „nur“ mit **1:5.000-1:10.000** beziffert.

Endlich ein eigenes Kind – trotz Gen-Defekt

Mitochondriale DNA (mtDNA) wird nur **über die Mutter weitervererbt** — die wenigen Mitochondrien, die im Spermium vorhanden sind, werden dagegen nach der Befruchtung **abgebaut**. Bisher standen betroffenen Eltern nur wenige Möglichkeiten offen, um zu verhindern, dass ihr Kind mit einer Mutation in der mtDNA geboren wird:

Adoption IVF mit Spender-Eizellen

IVF mit eigenen Eizellen und anschließender **Präimplantationsdiagnostik** (nur sinnvoll bei **Heteroplasmie**, d.h. wenn nur ein Teil der Mitochondrien mutierte DNA trägt)

Chorionzottenbiopsie bzw. **Amniozentese** mit anschließendem Abort bei positivem Befund (es gelten dieselben Einschränkungen wie für die Präimplantationsdiagnostik)

A research team in China has created genetically modified human embryos using the gene-editing technique CRISPR/Cas9, according to a report in the online journal *Protein & Cell*.

The experiments were conducted by a research team led by Junjiu Huang of Sun Yat-sen University in Guangzhou, China.

Human germline modification is widely considered unethical for both safety and social reasons. Using germline modification techniques to create a human being is prohibited by more than 40 countries and several international human rights treaties.

Responding to the research report, The Center for Genetics and Society (CGS) is calling for a halt to experiments aimed at the creation of genetically modified human beings.

“No researcher has the moral warrant to flout the globally widespread policy agreement against altering the human germline,” commented Marcy

Darnovsky, PhD, CGS Executive Director.

“The medical risks and social dangers of human germline modification cannot be overstated. Creating genetically modified human beings could easily lead to new forms of inequality, discrimination, and societal conflict.”

Genome editing tools such as the clustered regularly interspaced short palindromic repeat (CRISPR)- associated system (Cas) have been widely used to modify genes in model systems including animal zygotes and human cells, and hold tremendous promise for both basic research and clinical applications. To date, a serious knowledge gap remains in our understanding of DNA repair mechanisms in human early embryos, and in the efficiency and potential off-target effects of using technologies such as CRISPR/Cas9 in human pre-implantation embryos. In this report, we used tripronuclear (3PN) zygotes to further investigate CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human cells. We found that CRISPR/Cas9 could effectively cleave the endogenous β -globin gene (HBB). However, the efficiency of homologous recombination directed repair (HDR) of HBB was low and the edited embryos were mosaic. Off-target cleavage was also apparent in these 3PN zygotes as revealed by the T7E1 assay and whole-exome sequencing. Furthermore, the endogenous delta-globin

gene (HBD), which is homologous to HBB, competed with exogenous donor oligos to act as the repair template, leading to untoward mutations.

Menschen nach Maß

Medizin Eine neue Gentech-Methode versetzt Bioforscher in einen Schaffensrausch. Erbkrankheiten könnten damit geheilt werden – aber auch das Designerbaby rückt in den Bereich des Machbaren. Wie weit darf das Leben umgestaltet werden?

Den Rohstoff fürs Menschendesign zu beschaffen ist nicht schwierig. Ein Klick im Katalog von Addgene genügt. So heißt ein Versandhandel in Cambridge bei Boston, der Labors weltweit mit Genen jedweder Art versorgt.

Es kostet auch nicht viel Platz, Gene aufzubewahren. Als Warenlager reichen Addgene vier Kühltruhen aus. Tiefgefroren bei minus 80 Grad Celsius, schlummern darin in strohhalmdünnen Röhrchen knapp 50 000 Bakterienstämme. Jeder von ihnen trägt, eingebaut in sogenannte Plasmide, ein spezifisches Gen in sich.

Das Labor von Addgene ist im fünften Stock eines Bürogebäudes nahe des Massachusetts Institute of Technology (MIT) gelegen. Geschäftig greifen die Laboranten die vereisten Röhrchenpaletten aus dem Gefrierfach. Rasch gleichen sie den Barcode auf den Röhrchen mit der Bestellung ab; dann impfen sie ein Nährmedium mit den Bakterien und stellen dieses in den Inkubator. Am folgenden Morgen wird die bakterielle Fracht dann auf den Weg zum Kunden gebracht.

Egal ob Genabschnitte von Fruchtfliege, Zebrafisch oder Fadenwurm, bei Addgene sind sie zu haben. Auch menschliche Hirn-, Leber- und Muskelgene sind im Angebot – zum Fixpreis von 65 Dollar pro Stück.

Addgene wurde vor elf Jahren als gemeinnützige Organisation gegründet. Erklärtes Ziel war es, Labors überall auf der Welt genetisches Rohmaterial möglichst unkompliziert zugänglich zu machen. Das Interesse war rege, das Geschäft lief ordentlich – bis es vor drei Jahren geradezu explodierte.

Zwei Wissenschaftlerinnen – die eine im kalifornischen Berkeley, die andere im schwedischen Umeå – hatten ein neues Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe die Genmanipulation zum Kinderspiel wird. Als „bahnbrechend“, „umwälzend“ und

„revolutionär“ wurde die Methode mit dem sperrigen Namen „Crispr-Cas9“ gepriesen. Mühselige, tüftelige Gentech-Experimente, die einst teuer und zeitaufwendig gewesen waren, kann jetzt ein Doktorand im Handumdrehen durchführen – schnell, verlässlich und genau.

Prompt schlug sich das in den Bestellungen bei Addgene nieder. Dutzende, Hunderte, schließlich Tausende Labors wollten das Crispr-Verfahren ausprobieren. Mehr als 50 000 Anfragen kamen inzwischen von 2200 Universitäten nicht nur aus den USA, sondern auch aus Taiwan, Litauen, Argentinien, Südafrika.

Und das ist erst der Anfang. Jetzt geht es darum, das Sortiment der Gene zu vergrößern. „Noch haben wir mit unserem Archiv bei Weitem nicht das ganze Erbgut des Menschen abgedeckt“, sagt Andy Baltus vom Addgene-Management. Doch das könnte sich ändern. Die Organisation bereitet sich derzeit darauf vor, das Angebot um eine Bibliothek von noch einmal 60 000 Sequenzen zu erweitern. Mit ihnen soll es dann möglich sein, jedes beliebige Gen im Erbgut des Menschen anzusteuern.

Die neue Crispr-Methode hat die Genforscher weltweit in einen Schaffens-

„Wenn wir diese Schwelle überschreiten, ist es schwer vorstellbar, wie wir zurückkommen.“

rausch versetzt. Nun steht das Handwerkszeug bereit, um Leben schnell und zielgerichtet auf ganz neue Weise umzugestalten. Statt von der „Manipulation“ ist vom „Editieren“ des Erbguts die Rede – die Forscher fühlen sich als Redakteure, die den genetischen Text nach Bedarf umschreiben und verbessern können. So überschwänglich ist die Stimmung in den Labors, dass das US-Magazin „Wired“ schon „das Ende des Lebens, wie wir es kennen“, ausrief.

Da ist es nicht verwunderlich, dass einige der Forscher nun fürchten, mit dem Crispr-Verfahren eine Büchse der Pandora geöffnet zu haben. Eine Technik, die sich zur Umgestaltung von Hefezellen, Mäusen oder Affen eignet, taugt auch dazu, Menschen nach Maß zu schaffen. Schon vor Jahrzehnten warnten Auguren vor einer heraufdämmernden Ära der Menschenzüchtung. Dank Crispr rückt das Designerbaby nun in den Bereich des technisch Möglichen. Der Eingriff in die Keimbahn ist machbar geworden.

Im vergangenen Januar trafen sich Experten im kalifornischen Napa Valley, um im kleinen Kreis über das weitere Vorgehen zu beraten: Sollten die Forscher jede

Veränderung der menschlichen Keimbahn ächten? Sollten sie Bedingungen formulieren, unter denen solche Eingriffe akzeptabel sein könnten? Oder gar gezielte Forschung anregen?

Um diese weitreichenden Fragen wird es auch gehen, wenn sich die Crispr-Gemeinde in der nächsten Woche erneut versammelt. Diesmal, in Washington, D. C., laden Wissenschaftsakademien der USA, Chinas und Großbritanniens gemeinsam ein, das Treffen soll internationales Gewicht haben.

Ethiker und Juristen werden das Wort ergreifen, und natürlich die Koryphäen der Crispr-Zunft: Jennifer Doudna, die Entdeckerin der Methode, und ihre Mitstreiterin Emmanuelle Charpentier, die gerade ans Berliner Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie gewechselt ist; Feng Zhang, der Tausendsassa vom Broad Institute, der fast im Wochenrhythmus mit neuen Überraschungen von der Crispr-Front aufwartet; und der Visionär George Church, der selbst die biotechnische Wiederauferstehung von Mammuts für denkbar hält, indem man in das Erbgut von Elefanten Mammuteigenschaften einbaut. Auch Ernst-Ludwig Winnacker, der Senior der deutschen Gentech-Szene, saß mit im Planungskomitee.

Sie alle werden in Washington darüber diskutieren, ob es in der Macht von Wissenschaftlern steht, über die Nutzung ihrer Entdeckungen selbst zu entscheiden. Und falls ja: in welchem Sinne sie diese Macht ausüben sollten. Zumindest in einem scheitern sich die Teilnehmer der Konferenz einig: Die Geburt des ersten Crispr-Babys wird ein einschneidender Wendepunkt sein. „Wenn wir diese Schwelle überschreiten, ist es schwer vorstellbar, wie wir wieder zurückkommen sollen“, erklärt Broad-Chef Eric Lander.

Der Virologe David Baltimore, Nobelpreisträger und Chef des Planungskomitees für die Konferenz in Washington, fühlt sich an die Zeit vor 40 Jahren erinnert, als er und seine Forscherkollegen an einem ähnlichen Wendepunkt standen. Damals hatten sie entdeckt, dass Bakterien zur Abwehr von Viren deren Erbgut mit molekularen Scheren, sogenannten Restriktionsenzymen, zerstückeln. Erstmals hatten Wissenschaftler damit ein Werkzeug gefunden, mit dem sich das Erbgut von

Wissenschaft

DER SPIEGEL 49/2015 125

Bakterienproben bei Addgene: Die Forscher fühlen sich als Redakteure, die den genetischen Text umschreiben und verbessern. Lebewesen manipulieren lässt. Es war die Geburtsstunde der Gentechnik.

Wissbegierig machten sich die Forscher ans Werk, um die Möglichkeiten der neuen Technik zu erkunden. Einige aber hielten inne. Es schauderte ihnen bei der Vorstellung, ihre Experimente könnten versehentlich Monstrositäten hervorbringen. Könnte es möglich sein, dass sich Mikroben durch den gentechnischen Eingriff in aggressive Killer verwandeln? Könnten im Genlabor womöglich krebserzeugende Viren entstehen? Um solche Fragen zu erörtern, trafen sich im Jahr 1975 insgesamt 140 Forscher, Juristen, Journalisten und Politiker im kalifornischen Asilomar-Konferenzzentrum. Am Ende der Debatte sahen sie keinen Grund, die neue Methode zu ächten. Doch formulierten sie Vorsichtsmaßnahmen, die zum Teil bis heute beherzigt werden. Die Asilomar-Beschlüsse gelten seither als Musterbeispiel einer gelungenen Selbstkontrolle der Wissenschaft.

Nun sollen sie als Vorbild für das Treffen in Washington dienen. Und in der Tat ist die Ähnlichkeit der Vorgänge frappierend. Wie damals, so haben die Forscher auch diesmal eine molekulare Waffe entdeckt, mit der sich Bakterien ihrer Feinde erwehren – nur dass das Crispr-System ungleich präziser wirkt als die vergleichsweise grobschlächtigen Restriktionsenzyme.

Begonnen hatte die Crispr-Revolution mit Experimenten der Joghurtindustrie. Forscher in den Labors der Firma Danisco hatten festgestellt, dass die Crispr-Sequenz Joghurtkulturen vor bestimmten Viren-

126 DER SPIEGEL 49 / 2015

fektionen schützt. Offenbar versetzt sie die Bakterien in die Lage, die Viren ganz gezielt auszuschalten.

Jennifer Doudna wollte zunächst nur herausfinden, wie diese hoch spezifische Immunabwehr der Bakterien funktioniert. Erst nach jahrelanger Forschung begriff sie, dass sich das Crispr-System als universelles molekulares Werkzeug eignet. „Ich weiß noch genau, wie uns plötzlich klar

Die besten Erbanlagen werden sich in einer Genokratie nur die Reichen leisten können.

wurde: „Wow, wir können ein Protein darauf programmieren, jedes beliebige Stück DNA zu zerschneiden“, sagt sie. Die Idee einer lenkbaren Genschere war geboren.

Fasziniert verfolgt die Forscherin nun, mit welcher Geschwindigkeit ihre Idee die Welt erobert. „Es ist überwältigend zu sehen, was die Leute damit anstellen“, sagt sie. Schon haben Forscher menschliche Zellen von Erbkrankheiten kuriert, Krebszellen an der Vermehrung gehindert, Weizen vor Pilzinfektionen geschützt und Hefezellen beigebracht, Biokraftstoff zu produzieren. „Es klappt“, sagt Doudna.

Doch auch sie sieht Gefahren. Vor allem möglicher Missbrauch macht ihr Sorgen. Dem Magazin „New Yorker“ erzählte sie von einem Traum, der sie immer wieder peinige. Sie werde darin gebeten, einer

hochgestellten Persönlichkeit ihre neue Methode zu erklären. Zunächst könne sie den Mann nur von hinten sehen. In dem Moment, in dem sie ihn dann erkenne, erwache sie schweißgebadet: Es war Adolf Hitler, der sie hatte rufen lassen.

Ethisch heikel, sagt Doudna, seien zweifellos die nunmehr möglichen Veränderungen in der menschlichen Keimbahn.

Denn von solchen Eingriffen wären nicht nur der noch ungeborene Mensch, sondern auch sämtliche seiner Nachfahren betroffen. Doch anders als viele ihrer Kollegen glaubt sie nicht daran, dass sich diese Entwicklung aufhalten lassen. „Früher oder später wird es gemacht“, sagt sie. Gerade deshalb sei eine Konferenz wie die in Washington so wichtig.

Doch was werden die Teilnehmer dort wirklich beschließen können? Die wissenschaftliche Landschaft ist nicht mehr dieselbe wie vor 40 Jahren. Seinerzeit war die Gemeinde der Gentechniker überschaubar. Die Pioniere der neuen Technik kannten sich untereinander. Sie konnten es sich leisten, sich auf eine Experimentierpause zu einigen, ohne fürchten zu müssen, in der Zwischenzeit ins Hintertreffen zu geraten. Inzwischen jedoch ist das Geschäft mit den Genen global geworden, nicht nur in den USA und Europa, sondern auch in Singapur, Südkorea und vor allem in China wird gentechnische Spitzenforschung betrieben. Dank des Internets haben selbst Hobbyforscher Zugang zu den jüngsten Labordaten.

Obendrein geht es, anders als in den Anfangsjahren der Gentechnik, um viel Geld.

JASON GROW / DER SPIEGEL

Binnen weniger Monate haben die frisch gegründeten Crispr-Start-ups mehr als 200 Millionen Dollar an Kapital eingesammelt, auch Google und der Milliardär Bill Gates zählen zu den Investoren. Unterdessen sind zwei amerikanische Spitzeneinrichtungen, die kalifornische University of California in Berkeley und das Broad Institute bei Boston, in einen erbitterten Patentstreit um die Eigentumsrechte an der Crispr-Technik verwickelt. Beide wissen: Es geht um Lizenzinnahmen für einen künftigen Milliardenmarkt.

Vor allem aber hat sich die Entwicklung enorm beschleunigt. „Die Crispr-Technik ist für die Genomtechnik, was Fords Fließbandwagen Modell T für die Automobiltechnik war“, sagt der Jurist und Biotechnikexperte Hank Greely von der Stanford University. Mit ihr habe gleichsam die industrielle Fertigung maßgeschneiderter Genome begonnen. In der Tat liest sich die Chronik der Neuigkeiten, die in den vergangenen Monaten auf dem Feld des Genomeditierens verkündet wurden, imposant:

§ Molekularbiologe George Church von der Harvard University schaltete im Erbgut von Schweinezellen insgesamt 62 Virengene aus; das Verfahren soll die Transplantation von Schweineorganen in Menschen möglich machen, ohne dass es dabei zu Infektionen des Empfängers kommt.

§ Chinesische Forscher stellten der Öffentlichkeit Ziegen vor, deren Körperhaare sie genetisch verlängert und deren Muskelmasse sie vermehrt hatten; auch ungewöhnlich muskelbepackte Beagles wurden in China inzwischen geboren.

§ Ebenfalls aus China kam die Meldung, das renommierte Genominstitut BGI biete Minischweine zum Stückpreis von umgerechnet 1500 Euro feil; die niedlichen Kreaturen, die ausgewachsen nicht mehr als 15 Kilogramm wiegen, waren als eine Art Begleitprodukt der Genomforschung entstanden.

§ Genforscher der University of California wollen mithilfe von Crispr die Richtung der Evolution umlenken; sie haben Anophelesmücken eine Resistenz gegen den Malariaerreger ins Erbgut gebaut, eine Anlage, die sich in der freien Wildbahn verbreiten könnte.

§ Broad-Chemiker Zhang hat eine neue Runde im Wettlauf um die beste Form der Genomeditierung eröffnet; er hat in Bakterien ein neues Crispr-System entdeckt, das noch einfacher und präziser als das bisher verbreitete Crispr-Cas9-System funktioniert.

Kein Experiment aber erhielt mehr Aufmerksamkeit als dasjenige von Huang Jun-jiu an der Sun-Yat-sen-Universität in Guangzhou. Er und sein Team veränderten in menschlichen Embryonen ein Gen, das bei der Blutkrankheit Beta-Thalassämie eine

entscheidende Rolle spielt. Zwar verwendeten Huang bewusst Embryonen, die ohnehin nicht lebensfähig waren – einen öffentlichen Aufschrei löste er trotzdem aus. Denn die Chinesen hatten die magische Grenze überschritten: Sie hatten die Keimbahn angetastet.

Weit verbreitet ist der Eindruck, dass die Wissenschaft damit das Terrain der Science-Fiction betritt. Schon Aldous Huxley hatte in seinem visionären Roman „Schöne neue Welt“ die Fabriken mit Armeen genetisch genormter Arbeiter bevölkert. Nun geht die Angst um, dass eine Technik, die das Maßschneiden von Embryonen erlaubt, in eine solche Richtung weisen könnte.

Am Horizont zeichnet sich damit eine Zukunft ab, in der Menschen zum konfektionierten Industrieprodukt werden. Werbekampagnen könnten Gene anpreisen, die Ausdauer, Durchsetzungskraft oder Intelligenz verheißen. Die besten Erbanlagen aber werden sich in einer solchen Genokratie nur die Reichen leisten können. Krankheiten dagegen gelten als vermeidbarer Makel.

Doch bedeutet die Crispr-Technologie wirklich einen Schritt in eine solche Zukunft? Die Forscher, die dieses Manipulationsverfahren vorantreiben, widersprechen. Zwar schrecken auch sie vor Keimbahneingriffen zurück. Doch nicht die genetische Manipulation selbst bereitet ihnen Sorgen, sondern vielmehr die praktischen Risiken, die mit ihr verbunden wären.

Für Empörung, die jeden Eingriff in die Keimbahn einfach deshalb verdammt, weil damit angetastet werde, was angeblich unantastbar ist, haben viele Forscher wenig Verständnis. Wenn Keimbahnmanipulationen tatsächlich zukünftigen Generationen Krankheit und Leid ersparen könnten, ohne dabei Schaden anzurichten, warum sollte man sie dann verbieten?

Eine erste, sehr spezielle Form des Keimbahneingriffs ist sogar schon genehmigt worden, wenngleich nur im Hinblick auf die vergleichsweise liberalen Großbritanniern. Jahrelang prüften Ethiker, Juristen und Mediziner dort das Verfahren, dann erklärten sie den sogenannten Mitochondrien austausch für zulässig. Es geht dabei um Erbkrankheiten, die verhindert

werden können, indem man die Kraftwerke in der mütterlichen Eizelle („Mitochondrien“) durch diejenigen einer anderen, nicht erb-kranken Frau ersetzt. Was, so urteilte das britische Parlament, spricht gegen die Methode, wenn sie doch Leid verhüten hilft?

Risiken und Nutzen des Genomeditrens gegeneinander abzuwägen, ist schwieriger. Denn noch fehlt jede Erfahrung. Insbesondere wissen die Biotechnologen nicht, wie oft ihre molekularen Scheren unerwünschte Schnitte im Erbgut ausführen. „Off target“ („Fernab des Ziels“) werden solche Nebenwirkungen im Laborjargon genannt. Besonders deutlich zeigten sich diese bei den Keimbahnexperimenten des Chinesen Huang: Bei den Embryonen, die er manipulierte, traten außerplanmäßige Mutationen auf.

Deshalb vermeiden die Forscher vorerst die Keimbahn und konzentrieren sich zunächst darauf, Körperzellen von Kranken zu therapieren. Für die ersten Experimente ist dabei das Blut das am leichtesten zu behandelnde Organ. Denn es lässt sich aus den Adern des Patienten abzapfen, im Labor gentechnisch manipulieren und anschließend wieder infundieren.

Die kalifornische Firma Sangamo hat bereits mit klinischen Versuchen begonnen. Sie will in den Blutstammzellen von HIV-Infizierten das Gen für einen Rezeptor namens CCR5 ausschalten. Denn dieses Molekül dient den HI-Viren als Eintrittspforte, um in die Zelle zu gelangen. Die Sangamo-Forscher glauben, dass durch eine solche Immunisierung des Blutes eine Heilung von Aids möglich ist.

Und auch Londoner Ärzte haben genteilsch veränderte Blutzellen verwendet, in diesem Fall mit dem Ziel, das Leben eines leukämiekranken Babys zu retten. Alle vorherigen Therapieversuche waren bei dem elf Monate alten Mädchen gescheitert. Die Ärzte hatten das Kind bereits aufgegeben, als sie sich an die Zellexperimente einer Biotechfirma in Frankreich erinnerten.

Die französischen Forscher hatten Blutzellen eines gesunden US-Amerikaners

Wissenschaft

Heilen

Somatische Therapie

1. 1 Mithilfe der Crispr-Cas9-Technik können defekte Gene im Gewebe von Erbkranken **repariert** werden.
2. 2 Bei einer genetischen Muskel-erkrankung zum Beispiel wird das Crispr-System dazu **ins Muskel-gewebe** injiziert. Das defekte Gen wird in den Muskelzellen korrigiert.

DER SPIEGEL 49/2015 127

Wissenschaft

gleich in mehrerlei Hinsicht genetisch verändert, um sie fit zu machen für den Einsatz im Kampf gegen die Leukämie. Es war äußerst riskant, doch gemeinsam mit den Eltern entschieden sich die Mediziner, den Versuch zu wagen. Sie spülten die Zellen in die Adern des Mädchens, und wenige Wochen später war es kräftig genug für eine Knochenmarktransplantation.

Noch sei es zu früh, von Heilung zu sprechen, sagen die Ärzte. Doch das Kind lebt, und Krebszellen lassen sich in seinem Blut nicht mehr nachweisen.

Dieser Erfolg wurde noch mit einem Vorgänger des Crispr-Verfahrens erzielt. Die neue Wundertechnik selbst ist zu jung, um bereits Eingang in klinische Versuche gefunden zu haben. Doch schon bald wird es Schlag auf Schlag gehen: Sichelzellenanämie, Muskeldystrophie, Mukoviszidose – bei all den vielen durch einen Gendefekt verursachten Erbkranken werden sich die Forscher an genetischen Korrekturen versuchen. Die abenteuerliche Geschwindigkeit der Entwicklung lässt sich an der Ankündigung der Firma Editas Medicine ablesen.

Das von Jennifer Doudna, Feng Zhang und George Church gemeinsam gegründete Unternehmen hat sich vorgenommen, LCA10 zu heilen, eine angeborene Form der Sehbehinderung. Die Forscher wollen dazu eine molekulare Schere in die Zellen der Netzhaut schleusen, wo sie das fehlerhafte Gen in den Fotorezeptoren reparieren soll. Bereits für das Jahr 2017 ist der Beginn klinischer Versuche angesetzt – gerade einmal vier Jahre nach Gründung der Firma. Das ist ein Tempo, das in der Welt der Pharmahersteller fast ohne Beispiel ist.

Je erfolgreicher aber die Forscher die Gentherapie kranker Körperzellen betreiben, desto lauter wird der Ruf danach werden, auch in die Keimbahn einzugreifen. Denn wozu sich damit begnügen, die Körperzellen der Kranken zu reparieren, wenn es doch möglich ist, die Krankheit auszulöschen, bevor sie ausbrechen kann?

Crispr-Forscherin Doudna sucht derzeit nach einem Weg, die Nervenzellen von Patienten zu kurieren, die an Chorea Huntington leiden, einer schweren degenerativen Hirnerkrankung. Die genetische Korrektur selbst, sagt sie, sei dank Crispr-Cas9 nicht schwierig. Das größte Problem bestehe vielmehr darin, die molekulare Schere an ihren Einsatzort zu dirigieren. Um wirken zu können, muss sie zunächst ins Gehirn und dann auch noch ins Innere der richtigen Hirnzellen

befördert werden.

Wie viel einfacher wäre es da, bei den Embryonenzellen anzusetzen. Vor der Ein- pflanzung in die Gebärmutter sind sie im Labor gut zugänglich. Und auch das müh- selige Ansteuern spezieller Zelltypen er- übrigte sich. Es würde reichen, einige we- nige Zellen zu manipulieren – und das sich

128 DER SPIEGEL 49 / 2015

entwickelnde Baby wäre von dem geneti- schen Makel befreit.

Allerdings ist fraglich, ob dies zur Recht- fertigung einer Keimbahntherapie reicht. „Ich weiß nicht, warum man sie zur Be- handlung von Erbkrankheiten überhaupt in Betracht ziehen sollte“, sagt der Stamm- zellforscher Rudolf Jaenisch vom MIT. Eine bewährte Methode, mit der sich die Geburt erkrankter Babys verhindern lasse, existiere doch längst. Bei der sogenannten Präimplantationsdiagnostik (PID) wird

Crispr-Entdeckerin Doudna

„Es ist überwältigend“

schon im Embryo nach dem genetischen Defekt gefahndet. Nur wenn er die krank- machende Anlage der Eltern nicht geerbt hat, wird er der Mutter implantiert. Mit der PID wird so das Ziel der Keimbahn- therapie erreicht – ohne deren Risiken in Kauf nehmen zu müssen.

Aber es sind ja nicht die möglichen Kor- rekturen einiger seltener Erbkrankheiten, welche die Keimbahntherapie zu einem so umstrittenen Thema machen. Die Gemüter erregt vielmehr der nächste Schritt: Was, wenn es mithilfe der Crispr- Technik mög- lich sein sollte, den Menschen nicht nur zu heilen, sondern sogar zu verbessern? Was, wenn den Genlabors irgendwann eine Rasse der Supermenschen entspringt?

Kein Zweifel: Bis dorthin ist es noch ein weiter Weg. Die Wissenschaft hat gerade erst begonnen, das komplexe Netzwerk der Gene zu entwirren. „Nicht die techni- schen Möglichkeiten setzen uns Grenzen, sondern unser beschränktes genetisches Wissen“, sagt Doudna. Eine Botschaft zu- mindest zeichnet sich schon jetzt deutlich ab: Es gibt nicht das eine Gen für die ma- thematische Intelligenz, ein anderes für die Kreativität und ein drittes für das Selbstbewusstsein. Jede menschliche Ei- genschaft entsteht vielmehr im Wechsel- spiel vieler Hundert Gene, und jedes die- ser Gene wiederum wirkt auf viele Merk- male ein. Fraglich ist, ob es jemals möglich sein wird, dieses Geflecht von Wechselwir- kungen gut genug zu durchdringen, um es gezielt dirigieren zu können.

Und dennoch ist die Vorstellung einer Verbesserung des Menschen nicht ganz so abwegig, wie sie vielleicht erscheinen mag. Denn es gibt Menschen mit Sonderbega- bungen, und in einigen Fällen ist die gene- tische Ursache dafür bekannt. Der Finne Eero Mäntyranta etwa war ein außerge- wöhnlich konditionsstarker Skilangläufer. Bei drei Olympischen Winterspielen heims- te er insgesamt sieben Medaillen ein.

Inzwischen haben die Forscher heraus- gefunden, was ihm seine Ausnahmekräfte verlieh: In Mäntyrantas Familie ist eine Mutation verbreitet, welche die Bildung von roten Blutkörperchen ankurbelt. Ent- sprechend konnte sein Blut mehr Sauer- stoff aufnehmen als das seiner Konkurren- ten, daher seine erstaunliche Kondition. Falls irgendjemand eine Schar Superathle- ten heranzüchten wollte, er sollte ihnen diese Genvariante einpflanzen.

Und was ist mit dem Jungen, der in der Presse unter dem Namen „Superboy“ für Furore sorgte? Im Jahr 2004 wurde im

„New England Journal of Medicine“ ein Junge in Berlin beschrieben, der doppelt so viel Muskelmasse, dafür aber deutlich weniger Fettgewebe als seine Altersgenos- sen hatte. Mühelos könne der Fünfjährige Drei-Kilo-Hanteln am ausgestreckten Arm halten, berichteten die Berliner Ärzte. Die

Vermeiden

Keimbahntherapie

1 Die Crispr-Cas9-Technik kann die **Weitergabe** von Erbkrankheiten verhindern.

2 Die Korrektur des defekten Muskel- gens wird dazu schon **im Embryo** vorgenommen. Der Defekt ist dann in allen Zellen getilgt. Das

gilt auch für künftige Generationen.

ELIZABETH D. HERMAN / NYT / REDUX / LAIF

Wissenschaft

Erklärung für das Phänomen: Im Erbgut des Jungen fand sich ein Defekt des Myo- statin-Gens, welches normalerweise das Muskelwachstum hemmt – dasselbe Gen übrigens, das die chinesischen Wissenschaftler manipuliert hatten, um ihre Super-Beagles zu erschaffen.

Bisher gibt es nicht mehr als eine Hand- voll Mutationen, von denen bekannt ist, dass sie physische Kraft und Ausdauer des Menschen steigern. Entsprechende Mutationen für geistige Fähigkeiten dürften noch schwieriger aufzuspüren sein, weil die Ausbildung der neuronalen Vernet- zung ungleich komplexer ist als das Wachs- tum von Muskelgewebe.

Dennoch ist es denkbar, dass sich auch im Erbgut von Mathe- oder Schachgenies irgendwann genetische Schalter finden, die verantwortlich für ihr Ausnahmetalent sind. Nach Auffälligkeiten im Genom von Hundertjährigen, die das Geheimnis ihres hohen Alters erklären könnten, wird be- reits intensiv gesucht.

Das größte Interesse aber dürfte sich auf solche Erbanlagen richten, die gesundheit- liche Vorteile versprechen. Und Gene die- ser Art sind längst bekannt.

Mit einem von ihnen beschäftigt sich Ki- ran Musunuru von der Harvard University. Es trägt den Namen PCSK9 und scheint eine wichtige Rolle bei der Arteriosklerose zu spielen. PCSK9 mindert die Fähigkeit der Leber, Cholesterin aufzunehmen. Men- schen, bei denen dieses Gen defekt ist, ha- ben deshalb einen ungewöhnlich niedrigen Cholesterinspiegel; ihr Infarktrisiko ver- ringert sich um bis zu 90 Prozent.

Warum die Evolution das Gen PCSK9 überhaupt hervorgebracht hat, ist noch rät- selhaft. Wieso sollte ein Gen entstehen, das dem Herzen schadet, das aber keinen Nut- zen zu haben scheint? Musunuru vermutet, dass es sich um ein Relikt aus einer evolu- tionären Vergangenheit handelt, in der Cho- lesterin in der Nahrung so spärlich vorkam, dass der Körper damit haushalten musste.

„In der Wohlstandsgesellschaft dagegen kriegen wir Cholesterin im Überfluss, und PCSK9 ist nur noch ein Ballast“, sagt er.

Am besten, meint Musunuru, wäre es, sich dieses Ballasts zu entledigen. In Mäu- sen hat er das bereits geschafft: Mithilfe der Crispr-Technik amputierte er das PCSK9-Gen im Erbgut ihrer Leberzellen, und prompt sank der Cholesterinspiegel im Blut drastisch ab. Derzeit wiederholt Musunuru nun dieselbe Prozedur mit menschlichen Lebern – wenngleich nach wie vor in der Maus.

Ein bizarrer Biotrick macht dies möglich: Die Forscher vergiften dazu die Leberzel- len der Nager, während sie das Organ gleichzeitig mit menschlichen Zellen beimpfen. Diese nehmen den Platz der absterbenden Mäusezellen ein, bis am Ende eine Maus mit Menschenleber ent-

130 DER SPIEGEL 49 / 2015

Crispr-Entdeckerin Charpentier

Büchse der Pandora geöffnet?

steht – ein Tier wie geschaffen für Musun- urus Experimente.

Versuche am Menschen sind einstweilen nicht geplant, und selbst wenn sie in An- griff genommen würden, dann zunächst nur, um Menschen mit hyperaktivem PCSK9-Gen zu kurieren. Falls jedoch je der Plan gefasst werden sollte, den Men- schen als solchen zu verbessern, dann wäre das Gen PCSK9 gewiss ein Kandidat dafür. Der Eingriff in die Keimbahn würde den Menschen mit einem eingebauten Schutz

vor Herzinfarkten ausstatten. Musunuru kann keinen Grund erkennen, warum dies nicht möglich sein sollte. „Der Geist ist aus der Flasche“, sagt er. „Ob es uns gefällt oder nicht: Die Crispr-Technik hat uns dem Designerbaby einen wesentlichen Schritt nähergebracht.“

Noch allerdings sei es dafür zu früh und das Crispr-Verfahren auch zu fehleranfällig. Zudem wird es schwierig sein, Schädigun- gen durch einen solchen Eingriff auszu- schließen. Dass Nachteile eines PCSK9- Defekts bisher nicht nachgewiesen wurden, bedeutet ja nicht, dass es diese nicht gibt.

Anlass zu Vorsicht geben andere Gene, die ebenfalls für das Menschen-Tuning in- frage kommen. So ist zum Beispiel be- kannt, dass die Deaktivierung des CCR5- Rezeptors Menschen immun gegen Aids macht. Gleichzeitig jedoch erhöht sich da- durch das Risiko, sich mit dem West-Nil- Virus zu infizieren. So stellt sich die Frage: Ist es sinnvoll und ethisch vertretbar, den Schutz vor einer Krankheit durch die An- fälligkeit für eine andere zu erkaufen?

Ein anderes Beispiel kommt aus der Tumorbekämpfung. Um Mäuse mit einem verstärkten Krebschutz auszustatten, schleusten Zellbiologen in Texas ihnen eine Mutation ins Erbgut, die ein Tumorer- drückungsgen aktiviert. Erst nachträglich stellten sie überrascht fest, dass sie sich eine Begleiterscheinung eingehandelt hatten: Die genmanipulierten Tiere alterten vorzeitig.

Solche unerwarteten Effekte stellen das vielleicht triftigste Argument dar, das dem Menschendesign entgegensteht. Die rund 20 000 menschlichen Gene sind zu einem unermesslich komplexen Netzwerk von wechselseitigen Einflüssen verwoben. Je- der Eingriff wird Folgen haben, und längst nicht alle sind vorhersehbar. Auf der Kon- ferenz in Washington werden Biotechniker und Ethiker gemeinsam darüber zu beraten haben, ob es Umstände geben kann, unter denen es vertretbar ist,

solche Folgen für künftige Generationen in Kauf zu nehmen.

„Bei der Vorstellung, die Keimbahn des Menschen zu verändern, schreke ich zu- rück“, sagt Harvard-Forscher Musunuru.

„Aber vielleicht liegt es nur daran, dass ich in dem Wertesystem des frühen 21. Jahrhunderts gefangen bin.“ Immer wie- der habe die Geschichte gezeigt, wie schnell Werte sich ändern können.

Als Robert Edwards und Patrick Steptoe im Jahr 1978 der Welt das erste Retorten- baby vorstellten, war die Empörung groß darüber, dass sich die Medizintechnik des Zeugungsakts bemächtigte. Heute, 37 Jah- re später, bevölkern mehr als fünf Millio- nen im Labor gezeugte Menschen die Erde.

Fast jeder kennt ein Paar, das auf diese Technik zurückgegriffen hat, um seinen Kinderwunsch zu erfüllen. Eine Katastro- phe ist ausgeblieben. Johann Grolle

Mail: johann.grolle@spiegel.de

Ein britisches Forscherteam darf künftig gezielt die Gene menschlicher Embryonen verändern. Die Wissenschaftler wollen mehr herausfinden über Unfruchtbarkeit und Frühgeburten. Was sie nicht dürfen: die veränderten Zellen einer Frau einpflanzen.

Großbritannien hat die Genmanipulation menschlicher Embryos im Rahmen eines Forschungsprogramms zu Frühgeburten erlaubt. Der entsprechende Antrag von "Dr. Kathy Niakan vom Francis Crick Institute" auf eine Ausweitung der Forschungslizenz sei genehmigt worden, teilte die zuständige Behörde am Montag mit. Die Entscheidung dürfte die ethische Debatte über Genmanipulationen am Menschen wieder entfachen.

Das Francis Crick Institute hatte bereits im September mitgeteilt, dass es um die Frage geht, welche Gene die erfolgreiche Entwicklung von Embryonen steuern. Das sei wichtig, weil Fehlgeburten und Unfruchtbarkeit sehr häufig seien, aber die Ursachen noch nicht gut verstanden würden, sagte Niakan der britischen "BBC" .

Die Forschung werde sich auf die ersten sieben Tage nach der Befruchtung konzentrieren, also der Entwicklung von einer einzelnen Zelle hin zu einem Gebilde von rund 250 Zellen, teilt das Francis Crick Institute mit. Das Institut hofft, dass die gewonnenen Erkenntnisse helfen, die künstliche Befruchtung weiter zu verbessern und unfruchtbaren Menschen gezieltere Therapien anbieten zu können.

Die Forscher wollen unter anderem die relativ neue Methode Crispr

nutzen, um das Erbgut der Embryonen gezielt zu verändern. Die derart veränderten Embryonen dürfen keiner Frau eingepflanzt werden. Die Embryonen werden von Paaren gespendet, die sich einer künstlichen Befruchtung unterziehen.

Noch steht die Genehmigung der Versuche durch eine Ethikkommission aus, der Antrag dort wurde bereits gestellt.

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

Wissen

31. März 2015, 10:57 Hirndoping und künstliche Gliedmaßen

Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft

Bringt uns der technische Fortschritt Super-Soldaten und Elite-Denker mit Chip im Gehirn? Einiges weist in diese Richtung. Zugleich besteht die Gefahr, dass sich die Ungleichheit in der Gesellschaft vertieft.

Von Markus C. Schulte von Drach

Es ist das Jahr 2027. Demonstranten ziehen vor den Sitz der Firma Sarif Industries in Detroit. Die Konfrontation zwischen den Protestierenden und Sicherheitskräften eskaliert, die Unruhen werden gewaltsam beendet. Ziel der Proteste sind Unternehmen und Wissenschaftler, die "Gott spielen", indem sie die Menschen mit künstlichen Körperteilen (Augmentierungen) versehen: Synthetische Gliedmaßen und Sinnesorgane, die mehr leisten als die natürliche Form (*Fiktives Werbe-Video oben*).

In einem (*ebenfalls fiktiven*) Video schneidet eine Aktivistengruppe Werbebilder der Augmentierungs-Industrie mit Aufnahmen gegen, die die negativen Folgen der Technologie zeigen: Wer sich die Verbesserungen nicht leisten kann, ist im Nachteil. Und die teuren Medikamente, die sie verträglich machen, machen abhängig. Wer sie sich nicht mehr leisten kann, dessen Leib stößt sie ab. Eine neue Generation verstümmelter Obdachloser entsteht. Und über die Hirnchips können Menschen manipuliert werden.

Es ist ein Science-Fiction-Szenario - der Hintergrund des Videospiels "Deus Ex: Human Revolution". Doch auch wenn die Problematik vermutlich stark übertrieben dargestellt wird - zu gesellschaftlichen Konflikten über den Einsatz solcher Technologien könnte es in Zukunft tatsächlich kommen. Denn synthetische Mittel, die die Lernfähigkeit, das Gedächtnis, Wachheit oder Aufmerksamkeit erhöhen, sind bereits im Einsatz. Und auch künstliche Gliedmaßen sowie Computerchips fürs Hirn existieren bereits.

Schon lange diskutieren Wissenschaftler und Philosophen über ethische und gesellschaftliche Aspekte des sogenannten Neuro-Enhancements (Hirn-Dopings) sowie Augmentierungen, die Leistungen erlauben, die über das "normale" Maß

hinaus gehen. Seit es Kriege gibt, experimentieren Armeen mit Drogen, um ihre

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 1 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

Soldaten effizienter zu machen.

Hirndoping findet schon statt - ein wenig

Spätestens seit 2005 ist die Diskussion um "Smart Pills" in der breiten Öffentlichkeit angekommen. Damals berichteten Wissenschaftler um Sean Esteban McCabe von der University of Michigan in Ann Arbor, dass fast sieben Prozent der Studierenden an US-Universitäten bereits verschreibungspflichtige Medikamente missbraucht hatten, um intensiver lernen zu können, in Prüfungen besser abzuschneiden oder ihre Aufmerksamkeit zu erhöhen. In späteren Studien kamen US-Forscher auf einen Anteil von bis zu 25 Prozent. Und auch Professoren gaben den Konsum solcher Mittel zu.

Der Unterschied zwischen solchen Medikamenten und illegalen Drogen, die ebenfalls aufputschen können: Arzneien können vom Arzt verschrieben werden und haben keinen so negativen Ruf. Schließlich wird zum Beispiel Ritalin auch aufmerksamkeitsgestörten Kindern verabreicht. Andere verwendete Mittel sind etwa Modafinil (Provigil) für Narkoleptiker, Antidepressiva oder das Alzheimermedikament Donepezil.

Der Einsatz von Neuro-Enhancern - "Verstärker" oder "Verbesserer" kognitiver Leistungen - stellt die Menschen vor eine ganze Reihe von Fragen: Einerseits sollte der Einzelne für sich entscheiden dürfen, sich auch mit neuen Hilfsmitteln zu "optimieren". Auf der anderen Seite befürchten Kritiker, dass "Smart Pills" und andere Technologien zur "Verbesserung" des Menschen sich negativ auf die Chancengleichheit und die Verteilungsgerechtigkeit auswirken werden.

Aber ist das nicht völlig übertrieben? Der Anteil der Menschen, die bislang schon einmal Hirndoping betrieben haben, ist noch immer klein. In Deutschland etwa deuten entsprechende Studien darauf hin, dass bis zu fünf Prozent der Studierenden und auch einige ihrer Professoren gelegentlich auf verschreibungspflichtige Mittel zurückgreifen. Eine Studie des Robert-Koch-Instituts ergab 2011, dass 1,5 Prozent der Bevölkerung schon verschreibungspflichtige Mittel als Neuro-Enhancer zweckentfremdet hat - vor allem Erwerbstätige mit einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von mehr als 40 Stunden.

Bei Arbeitnehmern und Managern ist der Anteil der DAK zufolge von 4,7 Prozent im Jahr 2008 auf 6,7 Prozent (2014) gestiegen. Die Dunkelziffer könnte bei bis zu zwölf Prozent liegen. Das sind keine dramatischen Zahlen, aber immerhin: Knapp drei Millionen Deutsche haben demnach schon einmal ihr Gehirn gedopt. Etwa 1,9 Prozent der Berufstätigen, also rund eine Million, greifen sogar regelmäßig zu Medikamenten. Sie haben Angst vor Prüfungen, Präsentationen oder wichtigen Gesprächen, die Sorge, nicht die erwarteten Leistungen zu erbringen oder hoffen,

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 2 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

die Mittel würden das Lernen erleichtern.

Ist ihr Verhalten verwerflich oder fragwürdig? 2008 forderte eine Gruppe von sieben

US-Wissenschaftlern um den Juristen Henry Greely von der Stanford University im Magazin *Nature*, dass es Erwachsenen möglich sein sollte, Neuro-Enhancer "verantwortungsvoll" einzusetzen.

Ein Jahr später behaupteten sieben deutsche Experten um Thorsten Galert vom Bonner Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften in einem Memorandum, es gebe keine überzeugenden grundsätzlichen Einwände gegen eine pharmazeutische Verbesserung des Gehirns oder der Psyche. Vielmehr sei hier die Fortsetzung eines zum Menschen gehörenden geistigen Optimierungsstrebens mit neuen Mitteln zu sehen. Dazu verwenden Menschen schließlich schon lange eine Reihe von Drogen oder Nahrungsmitteln - von Coca-Blättern, Betel oder Khat bis hin zu Kaffee, Schokolade oder Ginkgo-Präparaten.

Und was spricht gegen Augmentierungen wie flinkere Finger, kräftigere Beine, schärfere Augen oder andere "Verbesserungen" über das normale menschliche Maß hinaus, wie sie sich Transhumanisten wie der schwedische Philosoph Nick Bostrom von der Oxford University vorstellen?

Privilegierte wieder im Vorteil

Etlichen Fachleuten bereitet dieser Gedanke Sorgen. Was ist, wenn sich vor allem die bereits Privilegierten solche Mittel leisten können, fragt etwa der Philosoph Thomas Metzinger von der Universität Mainz. Der Philosoph Nicholas Agar von der Victoria University of Wellington in Neuseeland befürchtet sogar, dass einzelne zwar davon profitieren könnten, die Menschheit insgesamt jedoch einen hohen Preis bezahlen wird. In seinem Buch "Humanity's End" warnt er davor, dass sich zwei Klassen entwickeln werden: Jene, die bereit sind oder sich gedrängt fühlen, Enhancer zu nutzen und jene, die sich weigern - und so zur Unterklasse werden.

Selbst Wissenschaftler, die die Selbstoptimierung für eine Chance halten, warnen. So sagte etwa Christian Elger von der Universität Bonn zu *Bild der Wissenschaft*: "Die größte Gefahr ist, dass wir in Wissende und Unwissende unterteilt werden - also in Menschen, die diese Systeme nutzen, und in andere, die das nicht können oder wollen. Das könnte die Gesellschaft spalten."

Steigender Leistungsdruck

Auch der zunehmende Leistungsdruck ist ein Problem. Die Anforderungen an alle - angefangen von der Grundschule bis zu Akademikern und Handwerkern - seien in den vergangenen 20 bis 30 Jahren "sehr sehr deutlich gestiegen", stellt etwa Raphael Gaßmann von der Deutschen Hauptstelle für Suchtfragen im DAK-Report

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 3 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

2015 fest. Und "je höher die Anforderungen sind, desto größer ist die Versuchung, dem zu entsprechen, in dem man eine Pille schluckt". Dazu kommt die Konkurrenz mit anderen. Sobald sich die Hilfsmittel ausbreiten, wird sich Druck aufbauen.

"Was ist, wenn der Verbleib im Job oder in der Schule davon abhängt, ob jemand neurokognitive Verstärkungen anwendet?", fragten Wissenschaftler um die Bioethikerin Martha Farah von der University of Pennsylvania und den Hirnforscher Eric Kandel von der Columbia University im Jahre 2004. Unter solchen Bedingungen droht die Gefahr eines "Wettrüstens".

Auch Stephan Schleim von der Universität im niederländischen Groningen sieht in diesem "Wettrüsten" das größte Problem des Neuro-Enhancements: "Wenn 'dopen' normal wird, ist 'nicht-dopen' keine Wahl mehr. Für die Gesellschaft wäre das eine Katastrophe", sagte Schleim SZ.de.

Probleme für Chirurgen, Piloten und Soldaten

Auf ein weiteres Problem haben unlängst Wissenschaftler um Filippo Santoni de Sio von der niederländischen Delft University of Technology hingewiesen: Manche Menschen, von deren Arbeit die Gesundheit oder das Leben anderer abhängt, werden vor der Frage stehen, ob sie nicht verpflichtet sind, sich auch mit Pillen fit zu machen. Zu solchen Berufsgruppen gehören etwa Chirurgen oder Piloten. Unweigerlich denkt man hier auch an die Katastrophe des Germanwings-

Fluges 4U9525.

Ein besonderer Fall ist der Einsatz beim Militär. Bereits 2006 warnte der US-Philosoph und Historiker Jonathan Moreno von der University of Pennsylvania, dass Soldaten normalerweise nicht um ihre Einwilligung gebeten werden, wenn ihre Kommandeure entscheiden, was die beste Vorbereitung auf ein Gefecht ist. Moralisch gesehen sei es schwer zu erkennen, wieso eine Verpflichtung zu Neuro-Enhancements anders betrachtet werden sollte als andere Befehle.

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 4 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

F16-Jets der U.S. Air Force. Können Kampfpiloten sich gegen den Einsatz von Pillen oder anderen Hilfsmitteln entscheiden, wenn Vorgesetzte es fordern? (Foto: dpa)

Nun haben auch die Wissenschaftler um Henry Greely 2008 und um Thorsten Galert 2009 bedenkliche Aspekte wie Verteilungsgerechtigkeit und Leistungsdruck bedacht - und Neuro-Enhancer als Chance für die Benachteiligten betrachtet. Die Politik müsste eben für einen fairen und sozioökonomisch verträglichen Einsatz der Mittel sorgen. Außerdem weisen die Befürworter eines liberalen Umgangs mit den Mitteln darauf hin, dass schon jetzt eine große Ungleichheit existiert. So hat der Nachwuchs von wohlhabenden Eltern bekanntlich bessere Chancen auf eine gute Bildung und Ausbildung. Es müssten eben alle Zugang zum Hirndoping haben.

"Natürlich wären Neuro-Enhancer nicht die einzige Quelle von Ungleichheit", sagt Wiebke Rögener von der TU Dortmund anlässlich des Bundeskongresses Politische Bildung zu "Ungleichheiten in der Demokratie" in Duisburg. "Aber möchten wir die Ungerechtigkeit weiter vorantreiben?", fragt die Autorin des 2014 erschienenen Buches "Hyper-Hirn".

Und Leistungssteigerung sei ja nicht prinzipiell etwas Gutes, sagt Stephan Schleim. Wieso wäre sonst eine Beschränkung der Arbeitszeit eingeführt worden? Außerdem erhöhe eine Leistungssteigerung möglicherweise die eigenen Erwartungen und die der Gesellschaft - so dass die Pillen immer häufiger eingeworfen würden.

"Außerdem halte ich zum Beispiel die Vorstellung, Benachteiligte könnten entsprechende Subventionen bekommen, für eine Illusion", sagt Rögener SZ.de. "Es wird angesichts der älter werdenden Bevölkerung doch schon in Frage gestellt, wie sich das bestehende Gesundheitssystem weiter finanzieren lässt." Manche Länder

hätten außerdem schon Probleme, die Gesundheitsversorgung überhaupt aufrecht zu erhalten. Sollte Hirndoping tatsächlich einmal funktionieren, würden innerhalb der Länder die Armen und international die armen Länder von reichen Staaten abgehängt.

Doch wie weit ist die Wissenschaft überhaupt? Die Wirkung der Arzneimittel als Dopingmittel ist hoch umstritten. So hat eine kleine Studie des US-Militärs zwar gezeigt, dass Hubschrauberpiloten nach 40 Stunden ohne Schlaf durch Modafinil und Ritalin fitter und entscheidungsfähiger waren als mit einem Scheinmedikament. Die Studienlage zu diesen und anderen "Hirndoping"-Mitteln ist jedoch nicht eindeutig. Helge Torgersen vom Wiener Institut für Technikfolgenabschätzung ist deshalb jüngst zu dem Fazit gekommen: Keines der derzeit verwendeten Mittel ist ein sicherer und verlässlicher Neuro-Enhancer.

Genauso sieht es eine Reihe von Fachleuten, die die DAK für den Gesundheitsbericht 2015 befragt hat. Und auch Stephan Schleim stellt fest: "Der praktische Nutzen dieser Substanzen ist fraglich, vom subjektiven Aufputsch- und Motivationsaspekt abgesehen".

Die positive Wirkung von Arzneimitteln wie Modafinil oder Ritalin auf Gesunde ist fraglich, und es ist mit Nebenwirkungen zu rechnen (Foto: duncan p walker; iStockphoto/duncan p walker)

Dafür müssen die Konsumenten mit teils heftigen Nebenwirkungen rechnen: Schlaflosigkeit, Kopfschmerzen, Schwindelanfälle, Verdauungs- und Leberstörungen, Krampfanfälle, bei Antidepressiva wird sogar vor suizidalen Gedanken gewarnt. Zu denken gibt auch der Fall von zwei US-Piloten, die unter dem Einfluss von Amphetaminen ("Go-Pillen" mit Dexedrin gegen Müdigkeit) 2004 in

Afghanistan kanadische Soldaten bombardiert und vier von ihnen getötet haben.

Es gibt also gute Gründe, dass Psychopharmaka nur zur Behandlung bestimmter Krankheiten eingesetzt werden sollten. Und angebliche Neuro-Enhancer wie etwa Nootrobox, truBrain, Nootrobrain oder Nootroo, sogenannte Nootropika, die als "Nahrungsergänzungsmittel" angeboten werden, haben ihre Wirkung noch nicht unter Beweis gestellt.

Ein kommerzielles Interesse an "Smart Pills" ist sicher da. Selbst die EU-Kommission hält das Thema Neuro-Enhancement für so relevant, dass sie das Projekt "Neuro-Enhancement: Responsible Research and Innovation" (Nerri) finanziert. Forscher von 18 Universitäten und Institutionen aus elf Ländern beschäftigen sich in dessen Rahmen mit den Folgen und Möglichkeiten der Technologie. Die Pharmaindustrie allerdings hält sich derzeit etwas zurück mit der Forschung an neuen Mitteln, die wie Ritalin, Modafinil oder Antidepressiva auf die Hirnchemie zielen. "Große Unternehmen haben seit 2010 ihre psychopharmakologischen Labors geschlossen", sagt Stephan Schleim. "Der erwartete Nutzen ist zu gering, die Entwicklungs- und Zulassungskosten zu hoch."

Rolf Hömke vom Verband Forschender Arzneimittelhersteller (vfa) bestätigt, dass

die Zahl von Antidepressiva oder Neuroleptika in der klinischen Erprobung abgenommen hat - auch wenn immer noch geforscht werde. Viele Unternehmen setzten auf neue Wirkprinzipien oder auf die Umwidmung von Wirkstoff-Klassen. In Richtung Neuro- Enhancer geht diese Forschung aber nicht. Denn: Ein möglicher Nutzen für Gesunde, so Hömke, lasse sich nicht absehen - und würde auch nicht untersucht.

Und der Versuch, existierende, aber verschreibungspflichtige Medikamente als "off-label"-Produkte für einen Einsatz zu vermarkten, für den sie nicht zugelassen sind, kann die Unternehmen teuer zu stehen kommen. Das hatte etwa das US-Unternehmen Cephalon mit Modafinil (Provigil) getan - und musste deshalb 2008 eine Strafe von 425 Millionen Dollar zahlen.

Mittel gegen die Demenz als Gedächtnispillen?

Intensiv geforscht wird allerdings an Medikamenten, die gegen Demenzen wie Alzheimer helfen sollen. Hoffen die Unternehmen, dass wenigstens dabei Gedächtnispillen - sogenannte Memory Booster - herauskommen könnten, die sich an Gesunde verkaufen ließen? Wiebke Rögner weist darauf hin, dass es für solche Pillen "einen Riesenmarkt" gebe. Das belegt etwa das Alzheimer-Mittel Donepezil, das nur einen geringen Nutzen hat, sehr teuer ist, und trotzdem verschrieben wird. Das Medikament gehört ebenfalls zu den Neuro-Enhancern, die manche

Gesunde verwenden. Rolf Hömke hat allerdings von einer entsprechenden Hoffnung bei den

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 7 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

Pharmaunternehmen noch nichts gehört und hält es auch für unwahrscheinlich, dass sie berechtigt wäre. Denn "Alzheimermedikamente versuchen in Krankheitsprozesse einzugreifen, die im gesunden Hirn gar nicht auftreten."

Es gibt außerdem andere Möglichkeiten, das Hirn anzuregen, für die sich einige Unternehmen, vor allem aber das Militär interessieren, sagt Rögner: Methoden wie die "transkranielle Stimulation".

Dabei wirken Magnetfelder oder schwache Stromstöße mit Gleichstrom auf verschiedene Hirnregionen. Damit lässt sich offenbar Müdigkeit unterdrücken und die Aufmerksamkeit erhöhen. Forscher um Friedhelm Hummel vom Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf konnten zeigen, dass ältere Menschen unter transkranieller Gleichstromstimulation leichter Fingerübungen erlernten - junge Menschen dagegen nicht.

Das Militär prüft zum Beispiel, ob die Technologie die Wahrnehmungsfähigkeit der Soldaten unter simulierten Gefechtsbedingungen in einem virtuellen Nahost-Szenario erhöht. In Form von Headsets sind "Denkkappen", die so arbeiten, bereits auf dem Markt. Allerdings ist die Technologie umstritten. Niemand wisse, so Torgersen, wann und warum sie manchmal funktioniere.

Screenshot: Werbung für eine ThinkingCap auf der Seite des Unternehmens foc.us (Foto: foc.us)

Berhard Sehm und Patrick Ragert vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig warnen insbesondere vor dem Einsatz bei

Soldaten und Sicherheitskräften, die unter der "Stimulierung" andere Menschen gefährden könnten. Außerdem kann die Technik offenbar auch das moralische Verhalten der

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/auf-dem-weg-in-die-cyborg-aera-1.2408741> Seite 8 von 14

Hirndoping und künstliche Gliedmaßen - Auf dem Weg in die Zwei-Klassen-Gesellschaft der Zukunft - Süddeutsche.de 31.03.15 12:09

Träger beeinflussen. So hielten Versuchspersonen es eher für akzeptabel, dass Personen vor einer Gefahr nicht gewarnt werden, wenn ganz bestimmte Hirnregionen einem Magnetfeld ausgesetzt waren.

Die Probleme bei der Entwicklung der Neuro-Enhancer hängen unter anderem damit zusammen, dass sich das gesunde Gehirn in einem Teilbereich vielleicht optimieren lässt, aber andere Funktionen dadurch beeinträchtigt werden. "Das Naturprinzip der Homöostase (Gleichgewicht) lässt sicher erwarten, dass längerfristiges Neuroenhancement Gegenregulationen induziert", sagt etwa Jürgen Fritze von der Universität Frankfurt am Main im DAK Gesundheitsreport 2015. Mit anderen Worten: Das Gehirn stellt sich auf bestimmte Substanzen ein. Dann aber wird die Wirkung nachlassen und es droht eine Abhängigkeit.

Auch Leon Kass, Moralphilosoph und damals Vorsitzender des Bio-Ethikrates des US-Präsidenten, wies bereits 2004 darauf hin, "der menschliche Körper und Geist, hochkomplex und fein balanciert als Folge einer äonenlangen, graduellen und anspruchsvollen Evolution, wird durch alle schlecht überlegten Versuche der "Verbesserung" gefährdet.