Hans-Georg Kraft

Gentechnologie in der Humanmedizin

Bevor die Anwendungsmöglichkeiten und Perspektiven der Gentechnologie in der Humanmedizin besprochen werden, möchte ich kurz einige wesentliche Grundlagen, die für das weitere Verständnis wichtig sind, vorstellen.

Jedes Lebewesen, vom einfachen Bakterium bis zum Menschen, hat die Information für seine Erbanlagen in Form von Riesenmolekülen, der Desoyribonukleinsäure (DNA), gespeichert. Bei den höheren Lebewesen ist die DNA im Zellkern geschützt, bei den Bakterien liegt sie frei im Cytoplasma vor. Sie ist ein doppelsträngiges Makromolekül, das aus vielen Bausteinen, den Nukleotiden, zusammengebaut wird. Ein Nukleotid besteht aus einer stickstoffhaltigen Base (Adenin, Thymin, Guanin, Cytosin; abgekürzt: A, T, G, C), einem Zucker (Desoxyribose) und Phosphorsäure (P). Das Rückgrat eines DNA Stranges besteht aus einer Folge von Zucker – P – Zucker – P – . . . usw., die über Esterbindungen miteinander verknüpft sind. An den Zuckermolekeln hängen die stickstoffhaltigen Basen. Die beiden Stränge der DNA sind über Wasserstoffbrückenbindungen, die jeweils zwischen den Basen G und C bzw. A und T ausgebildet werden, miteinander verknüpft. Diese Komplementarität der Basen (es sind immer G – C und A – T miteinander gekoppelt) ist von fundamentaler Bedeutung für die Verdoppelung der DNA (Replikation) sowie auch für die Übersetzung der Information in die Boten RNA (Transkription).

Die Gene, die Einheiten der genetischen Information (sie enthalten die Information für einen Eiweißkörper), sind auf der DNA linear hintereinander angeordnet. Zwischen den einzelnen Genen liegen große Abschnitte, die nicht für Proteine kodieren, und deren Funktion noch nicht genau bekannt ist. Die Informationsübertragung von der DNA zum Protein erfolgt in der Weise, daß jeweils drei Nukleotide (3 Basen; wird auch ein Codon genannt) für eine Aminosäure kodieren. Die Gentechnologie beschäftigt sich damit, einzelne solche Gene, d.h. also DNA Abschnitte, zu isolieren, die Basensequenz zu entschlüsseln (= Sequenzieren) und eventuell in andere Organismen zu übertragen.

Von überragender Bedeutung für die rasche Entwicklung der Gentechnologie in den letzten 20 Jahren war die Entdeckung der Restriktionsendonukleasen. Das sind bakterielle Enzyme, die bestimmte Abschnitte auf der DNA (mei-

stens 4–8 Basen lang) erkennen und dann diese DNA schneiden. Die natürliche Aufgabe dieser Enzyme ist der Schutz des Bakteriums gegen fremde DNA z.B. virale DNA. Diese fremde DNA wird von diesen Enzymen als fremd erkannt und zerstört, eigene DNA bleibt intakt. Für die Gentechnologie haben diese Enzyme als Werkzeuge eine enorme Bedeutung gewonnen, weil man mit ihnen definierte Abschnitte aus der DNA (z.B. Gene) „herausschneiden" kann. Hunderte solcher Enzyme sind inzwischen aus verschiedenen Bakterien isoliert worden und werden kommerziell angeboten.

Gentechnologische Methoden werden in der Humanmedizin heute vielfältig eingesetzt. Hier sollen davon drei Bereiche kurz besprochen werden: 1. Diagnostik mittels gentechnologischer Methoden; 2. Gentherapie; 3. Medikamente hergestellt mittels gentechnologischer Methoden.

1. Diagnostik mittels gentechnologischer Methoden

Die gentechnologischen Methoden eignen sich von ihrer Natur her einmal zur Diagnostik genetischer Erkrankungen und weiters auch zur Diagnostik von Infektionskrankheiten, wobei im letzteren Fall das infektiöse Agens (Bakterien oder Viren) mittels dieser Methoden identifiziert werden kann. Unter den genetischen Erkrankungen können besonders gut monogene Erbkrankheiten, das sind Krankheiten, die auf dem Defekt eines einzelnen Gens beruhen, diagnostiziert werden. Cirka 4000 monogene Erbkrankheiten sind heute bekannt. Für die Diagnostik dieser Erkrankungen muß man zwei Situationen prinzipiell unterscheiden: Gen und Gendefekt sind bekannt; in diesem Fall kann man direkte Genotypdiagnostik durchführen bzw. Gen und Gendefekt sind unbekannt, man kennt aber DNA Marker, die mit der Krankheit gekoppelt sind; das ist das Einsatzgebiet der indirekten Genotypdiagnostik.

1.1 Direkte Genotypdiagnostik

Als Beispiele für den Einsatz der direkten Genotypdiagnostik sollen 2 genetische Erkrankungen besprochen werden und dabei Vor- und Nachteile skizziert werden. Die erste Erkrankung, die besprochen wird, ist die Cystische Fibrose (CF) oder Mukoviszidose. CF ist die in der weißen Bevölkerung häufigste autosomal rezessive Erkrankung. Autosomal rezessiv bedeutet, daß zur Ausprägung der Erkrankung beide Kopien des betreffenden Gens (CFTR-Gen = Cystic Fibrosis Transmembrane Regulator – Gen) defekt sein

müssen. Cirka jeder zwanzigste in der mitteleuropäischen Bevölkerung ist Träger eines defekten CFTR Gens, und die Erkrankung tritt in einer Häufigkeit von 1:2500 in dieser Population auf. Patienten mit CF haben einen zähen Schleim (daher der Name Mukoviszidose), der in Folge zu schweren Lungeninfektionen und Gedeihstörungen führt. Während früher diese Krankheit schon im Kindesalter zum Tode geführt hat, werden heute CF Patienten auf Grund verbesserter antibiotischer Behandlung 30–40 Jahre alt. Für eine erfolgreiche Therapie ist eine möglichst frühe genaue Diagnose essentiell. Die beste Diagnose kann in diesem Fall durch direkte Genotypdiagnostik gestellt werden, weil das CFTR Gen bekannt ist. Bezüglich des Gendefektes gibt es aber eine Schwierigkeit. Nicht alle CF Patienten haben denselben Gendefekt sondern es gibt eine große Zahl (> 500) verschiedener Mutationen im CF Gen. Etwa 80% der Mutationen sind häufige Mutationen, die mit einer einfachen Methode nachgewiesen werden können, der Rest muß durch Sequenzieren identifiziert werden.

Die einfache Methode, die hier angewandt wird, soll wegen ihrer überragenden Bedeutung in der Gentechnologie, die auch zum Verleih des Nobelpreises geführt hat, kurz beschrieben werden. Es handelt sich um die Polymerase Ketten Reaktion (PCR) (9). Mithilfe dieser Technik ist es möglich, eine bestimmte DNA Sequenz, von der nur flankierende Sequenzen bekannt sein müssen, exponentiell zu vermehren (Abb. 1). Das Ausgangsmaterial ist

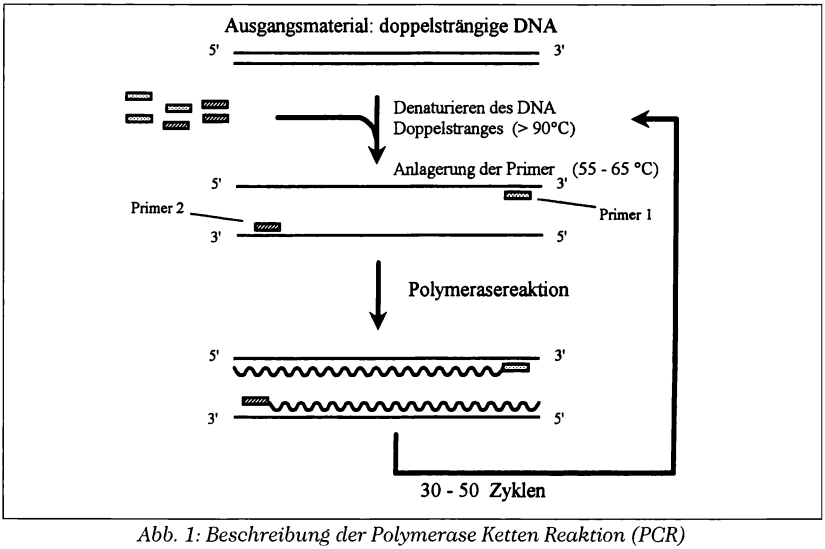

Abb. 1: Beschreibung der Polymerase Ketten Reaktion (PCR)

doppelsträngige DNA. Diese wird durch Erhitzen auf über 90°C denaturiert, das heißt die beiden komplementären Stränge werden voneinander getrennt. Als nächstes folgt das Anlagern der Primer (Oligonukleotide meist zwischen 15 und 30 Nukleotide lang), welches bei einer ganz spezifischen Temperatur, die von der Länge und der Basensequenz der Primer abhängt, erfolgt. Der dritte Schritt ist die Polymerasereaktion, in der der zweite DNA Strang wieder dazusynthetisiert wird. Für diese Reaktion ist die Anwesenheit des entsprechenden Enzyms (DNA-Polymerase) und der Bausteine (Nukleotidtriphosphate) erforderlich. Auch diese Reaktion läuft bei einer bestimmten Temperatur ab (72°C). Der Zyklus wird dadurch geschlossen, daß als nächstes wieder die DNA denaturiert wird und so weiter. Insgesamt werden 30–50 derartige Zyklen durchgeführt. In einem Zyklus wird die DNA verdoppelt. Nach 30 Zyklen wird das durch die Primer eingeschlossene Stück theoretisch 2^{30} mal (ca. 10^9fach) amplifiziert. Praktisch ereicht man eine 10^5- bis 10^6fache Amplifikation. Bekannt war diese Reaktion schon lange. Ihren Durchbruch erlebte sie erst mit der genialen Einführung einer besonderen Polymerase. Jede normale DNA Polymerase wird durch das Denaturieren bei 92°C inaktiviert und müßte daher in jedem Zyklus eigens dazugegeben werden. Die besondere Polymerase stammt aus Organismen (Bakterien Thermus aquaticus), die in einer derart heißen Umgebung leben und deren Polymerase daher das vielmalige Denaturieren ohne Inaktivierung übersteht.

Um das obige Beispiel der direkten Genotypdiagnostik für CF weiterzuführen, kann man mit der PCR den DNA Abschnitt, in dem sich die häufigste Mutation für CF befindet, amplifizieren. Der anschließende Nachweis, ob sich in dem PCR Produkt die Mutation befindet oder nicht, ist dann einfach und schnell durchzuführen.

Die PCR hat außer für die Analyse genetischer Erkrankungen auch eine überragende Bedeutung für die Diagnose von Infektionskrankheiten bekommen. Es gelingt damit der Nachweis von Bakterien oder von Viren selbst dann, wenn diese in menschlichen Zellen maskiert vorliegen. Letzteres hat eine große Bedeutung bei der Überprüfung von Blut auf die Anwesenheit von HIV (Human Immundeficiency Virus) dem Erreger von AIDS. Mit der PCR kann eine Diagnose schon lange vor dem Auftreten erster Antikörper im Plasma gestellt werden.

Das zweite Beispiel für direkte Genotypdiagnostik betrifft jene für Huntington'sche Chorea (erblicher Veitstanz). Diese Erkrankung wird autosomal dominant vererbt, das heißt, daß die Anwesenheit eines einzigen kranken

Alleles zur Ausprägung der Krankheit führt. Sie gehört weiters zu einer neuartigen Klasse von Erkrankungen, den sogenannten Trinukleotiderkrankungen. Bei dieser Klasse von genetischen Erkrankungen wird ein Abschnitt im Gen, bestehend aus 3 Nukleotiden amplifiziert. Bei Gesunden kommen z.B. 20–30 Kopien dieser Trinukleotide vor, bei den Kranken hingegen meist über 100. Die Expansion geschieht bei der Huntington'schen Chorea beim Durchgang durch die männliche Keimbahn. Durch die Aufklärung dieses Mechanismus konnten zwei bislang ungeklärte Phänomene verstanden werden: einmal die Antizipation, welche das immer frühere Auftreten einer Erkrankung von Generation zu Generation beschreibt (jetzt erklärbar durch die immer ausgeprägtere Expansion der Trinukleotide) und zweitens, daß Kinder, die die Erkrankung von ihrem Vater geerbt hatten, immer schwerer betroffen waren.

Auf eine besondere Problematik bei der Huntington'schen Chorea sei noch hingewiesen. Diese Erkrankung tritt im Mittel erst im 4. Lebensjahrzehnt auf. Die Genträger leben also im Durchschnitt 40 Jahre lang im Ungewissen, ob sie erkranken werden oder nicht. Mittels gentechnologischer Methoden ist jetzt eine eindeutige Diagnostik schon lange vor Ausbruch der Erkrankung, die heute noch immer unheilbar ist und rasch zum Tode führt, möglich. Ob eine solche Analyse aber durchgeführt werden soll oder nicht, ist keine einfach zu beantwortende Frage. Wenn man Kinder von Betroffenen untersucht, wird man der Hälfte die erlösende Mitteilung machen können, daß sie nicht Genträger sind und daher nicht erkranken werden und daß damit auch ihre Kinder kein Risiko besitzen. Der anderen Hälfte hingegen muß man die fatale Auskunft geben, daß sie wie ihre Eltern an dieser furchtbaren Erkrankung zugrunde gehen werden. Das hierbei auftretende Dilemma hat bei den Humangenetikern zum Begriff des „Rechtes auf Nichtwissen" geführt. Man muß die zu untersuchende Person vor der Genanalyse genau über alle Möglichkeiten und Konsequenzen aufklären und dann muß diese Person jederzeit die Möglichkeit haben zu entscheiden, ob sie über ihr Risiko aufgeklärt werden will oder nicht. Aber auch bei Einhaltung dieses Rechtes können Schwierigkeiten entstehen, und zwar dann, wenn z.B. die Tochter eines Mannes, der sein Risiko nicht wissen will, eine Aussage über ihr Risiko bekommen möchte, weil sie heiraten will und Kinder möchte. Wenn bei ihr eine positive Diagnose gestellt wird, so gilt diese dann auch für ihren Vater, der aber sein Risiko gar nicht wissen will.

Die gentechnologischen Möglichkeiten haben in diesem Fall nicht nur Probleme gelöst, sondern offensichtlich auch neue geschaffen.

1.2 Indirekte Genotypdiagnostik

Dieser Weg muß eingeschlagen werden, wenn das Gen und der verantwortliche Gendefekt nicht bekannt sind. Die Zahl der bekannten Gene und Gendefekte vergrößert sich fast „stündlich", weil im Rahmen des „Human Genome Projektes" (5) weltweit Anstrengungen unternommen werden, das gesamte menschliche Genom zu sequenzieren. Das haploide menschliche Genom besteht aus 3 x 10^9 Basenpaaren, wovon allerdings nur ca. 1–3 % für Proteine kodieren. Man schätzt daher, daß es ca. 100 000 Gene im menschlichen Genom gibt. Zur Zeit sind etwa 83 x 10^6 Basenpaare cDNA in Genbanken kloniert, diese enthalten ca. 88 000 unterschiedliche Sequenzen, wovon 10 000 bekannten Genen entsprechen. Die Entschlüsselung des menschlichen Genoms hat sich in den letzten Jahren so beschleunigt, daß man heute rechnet, bis zum Jahr 2000 diese Arbeit vollendet zu haben. Das Genom einiger Organismen sowie einige menschliche Chromosomen sind schon zur Gänze sequenziert.

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine große Zahl spezifischer Marker entlang aller menschlichen Chromosomen etabliert. Diese Marker sind kurze Sequenzen welche mittels Kopplungsanalysen mit Krankheiten in Verbindung gebracht werden können. Wenn der Marker polymorph ist, das heißt, daß er in verschiedenen Zustandsformen in der Population auftritt, dann kann man eine indirekte Genotypdiagnostik durchführen. Weitere Voraussetzung ist, daß man eine Familienuntersuchung unter Einschluß eines Erkrankten durchführen kann. Durch diese Familienuntersuchung wird festgelegt, mit welcher Form des Markers die Krankheit in dieser Familie gekoppelt ist. Ist eine solche Aussage möglich, kann man auch Risikovorhersagen für nicht betroffene Familienmitglieder berechnen, ob sie Genträger sind und damit ein Risiko tragen, die Krankheit an ihre Kinder zu vererben. Eine andere Einsatzmöglichkeit ist die Pränataldiagnostik. Hier kann durch diese Analyse eine Aussage getroffen werden, ob das Kind erkranken wird oder nicht.

Im Unterschied zur direkten Genotypdiagnostik, wo Aussagen mit praktisch 100%iger Sicherheit getroffen werden können, ist das bei der indirekten Genotypdiagnostik nicht möglich. Bei der letzteren besteht immer eine gewisse (auch berechenbare) Wahrscheinlichkeit, daß der Marker durch ein Rekombinationsereignis vom krankheitsmachenden Gen getrennt worden ist und damit die Aussage falsch wird.
Nachdem aber in naher Zukunft das gesamte menschliche Genom sequenziert sein wird und dann auch bald alle Gene bekannt sein werden, wird dieses Problem der Vergangenheit angehören.

2. Gentherapie

Bei vielen genetischen Erkrankungen (z.B. CF, Chorea) ist keine ursächliche Heilung möglich. Im Fall von CF ist eine Linderung der Symptome möglich, im Falle der Chorea gar nichts! Es drängt sich daher die Idee auf, die Krankheit, welche durch ein defektes Gen ausgelöst wird, durch Einpflanzen eines intakten Genes zu heilen. Seit den bahnbrechenden Arbeiten von Avery und McLeod im Jahre 1944, denen die Transformation von Bakterien mittels DNA gelang, d.h. sie konnten fremde DNA in Bakterien bringen und diese nutzten sie als genetische Information, hat sich die rekombinante DNA Technologie besonders in den letzten 20 Jahren explosiv entwickelt. Es wurde dabei eine große Anzahl von sogenannten Vektoren entwickelt, das sind Vehikel mittels derer man DNA in eine Zielzelle bringen kann.
Zwei Arten von Gentherapie müssen grundsätzlich unterschieden werden: Die Somatische Gentherapie richtet sich ausschließlich auf Körperzellen und nicht auf Keimzellen. Das bedeutet, daß die genetische Veränderung, die im Organismus vorgenommen wird, nicht auf die Nachkommenschaft vererbt werden kann. Auf Grund ethischer Überlegungen ist das auch die einzig akzeptierte Form der Gentherapie.

Die zweite Form wäre die Keimbahntherapie. Dabei würden die Keimzellen in ihrer genetischen Konstitution geändert und damit künftige Generationen beeinflußt, welche auf diese Entscheidung keinen Einfluß haben konnten.

Im Idealfall sollte die Gentherapie ähnlich einer Organtransplantation ablaufen: ein krankes Gen wird durch ein gesundes Gen ersetzt (4) genauso wie z.B. eine kranke Niere durch eine gesunde ersetzt wird. Die Organtransplantation stellt natürlich auch im weitesten Sinn eine Gentherapie dar. Auch hier werden durch die Übertragung eines Organs die Gene dieses Individuums mit in den Organempfänger übertragen. Das oben skizzierte Ideal ist im Fall der Gentherapie noch bei weitem nicht erreicht. Man kann heute noch nicht Gene gerichtet in das Genom einpflanzen, d.h. genau an dieselbe Stelle im Genom bringen. Zur Zeit begnügt man sich damit, gesunde Gene in die Zellen hineinzubringen in der Hoffnung, daß genügend vom intakten Genprodukt produziert wird, um die Krankheit zu heilen.

Das 1. Experiment dieser Art wurde 1990 bei einem Enzymdefekt (ADA-Defeizienz) der zu einer schweren Immundefizienz führt durchgeführt (3). Außer bei genetischen Erkrankungen erhofft man sich bei der Behandlung von Krebs (2) große Erfolge durch die Gentherapie, besonders in jenen Fällen,

in denen es keine Alternativbehandlung gibt. Ein großes noch ungelöstes Problem dabei ist, daß man mittels der Gentherapie alle Krebszellen erfassen muß, um erfolgreich zu sein. Mögliche Strategien , die dabei diskutiert werden, sind eine genetische Veränderung der Tumorzellen, sodaß sie vom Immunsystem als fremd erkannt und bekämpft werden oder der Einbau sogenannter Suizidgene, die direkt zum Absterben dieser Zellen führen.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Gentherapie sind Infektionskrankheiten, z.B. AIDS (8). Diese Krankheit wird durch das HIV (Human Immundeficiency Virus) hervorgerufen. Diese Erkrankung kann als genetische Erkrankung im weitesten Sinne aufgefaßt werden, weil das Virus sein Genom ins Genom des Wirtes integriert und durch diesen auch vermehrt und vererbt wird. Gentherapeutische Ansätze werden wahrscheinlich auch für diese Art von Erkrankungen als Einzige erfolgreich sein.

Über 100 derartige Gentherapie Versuche sind bis jetzt gemacht worden oder laufen zum Teil noch heute. Das wissenschaftliche Interesse ist enorm, das bezeugen 700 Publikationen zu diesem Thema im Jahr 1994. Die ursprüngliche Euphorie ist inzwischen aber verflogen, weil man erkennen mußte, daß noch in keinem einzigen Fall ein positiver Effekt durch die Gentherapie erzielt werden konnte. In einem Moratorium (6) wurde daher kürzlich aufgerufen, die Gentherapieversuche beim Menschen einstweilen einzustellen und zu Tiermodellen zurückzukehren und in diesen die geeigneten Vektoren zu entwickeln, mit denen dann erfolgreich Gentherapie durchgeführt werden kann. Als ein neuartiger Vektor wurde in letzter Zeit HIV diskutiert (7). Mit Hilfe genetisch veränderter Retroviren sollte es möglich sein, Gene in gewünschte Zielzellen zu bringen und dort auch gezielt ins Genom zu integrieren.

Wenn man sich den technologischen Fortschritt der letzten 20 Jahre vor Augen hält, kann man erwarten, daß diese Probleme in kurzer Zeit gelöst sein werden. Die eigentlichen Probleme werden auf dem ökonomischen, ethischen und politischen Gebiet liegen. Bis jetzt wird Gentherapie, welche extrem kostenintensiv ist, nur im Forschungsmaßstab an Universitätskliniken durchgeführt. Es wird daher sicher ein Finanzierungsproblem auftreten, weil das Haupteinsatzgebiet, die genetischen Erkrankungen, sehr selten sind und daher für die pharmazeutische Industrie kein „Geschäft" erwarten lassen. Erst wenn häufige Erkrankungen durch Gentherapie behandelbar werden, wird der „Markt" der Gentherapie für die Pharmakonzerne interessant, welche als einzige das Know-how und die Ressourcen für eine weite Anwendung haben.

3. Gentechnologische Herstellung von Medikamenten

Im Gegensatz zur Gentherapie ist dieser Zweig nicht mehr im Experimentalstatus sondern bereits ein wichtiger Wirtschaftszweig. 1994 wurden allein in Deutschland gentechnologisch erzeugte Medikamente im Wert von 2 Milliarden DM verkauft. Weiters sind 3 der 10 „blockbuster" der pharmazeutischen Industrie Produkte, die gentechnologisch hergestellt werden. Das Prinzip gentechnologisch hergestellter Medikamente beruht auf der Einklonierung des betreffenden Gens in einen speziellen Vektor, mit dem anschließend Bakterien transfiziert werden. Diese genetisch veränderten Bakterien stellen dann das Genprodukt in großer Menge her. Die Alternative zu dieser Art der Herstellung war bisher die Gewinnung der Genprodukte (Enzyme, Hormone) aus menschlichem oder tierischem Material. Für diese Art der Gewinnung brauchte man Unmengen an menschlichem Ausgangsmaterial (z.B. für die Gewinnung von 1g Interferon braucht man 2 Mio. l. Blut oder für die Gewinnung von 400 mg Wachstumshormon werden 100 000 menschliche Hypophysen benötigt).

Zu diesem wirtschaftlichen Aspekt, daß die Herstellung auf diese Art natürlich auch viel billiger ist, kommt noch die Tatsache, daß diese Methode auch viel sicherer ist. Spätestens seit dem Auftreten von AIDS bei Blutern (hervorgerufen durch die Gabe von Gerinnungsfaktoren, die aus infiziertem menschlichen Blut gewonnen worden waren) ist allen klar, daß die Gewinnung von Substanzen aus menschlichem Material (z.B. Blut) eine riskante Methode ist. Man testet heute das Ausgangsmaterial auf das Vorhandensein von Viren etc. Aber man kann natürlich nur auf solche Erreger testen, die man kennt. Falls neue, heute noch unbekannte Erreger auftauchen, ist man diesen gegenüber natürlich ungeschützt. Ein dritter Vorteil der gentechnologischen Herstellung ist, daß das Produkt auch viel reiner hergestellt werden kann und daß dadurch seine Wirksamkeit häufig erhöht ist. Bei der Isolierung aus einem biologischen Material wie Blut oder ganze Organe muß der Wirkstoff aus einer großen Zahl anderer Stoffe isoliert werden. Es gibt aber kein Trennverfahren, das einen Stoff absolut rein aus einer Vielzahl anderer Stoffe herausholt. Es bleiben bei diesen Methoden immer Spuren von Verunreinigungen, die akzeptiert werden müssen.
Eine zweite Klasse von Stoffen soll noch erwähnt werden, wo die gentechnologische Herstellung gegenüber der klassischen Vorteile bietet. Das ist die Herstellung von aktiven und sicheren Impfstoffen. Mittels Gentechnologie können Antigene von Bakterien oder Viren hergestellt werden. Diese sind allein nicht infektiös, lösen aber eine Immunreaktion aus und verhelfen dadurch zu einer Immunität.

Die Gentechnologie hat in der Medizin in den beiden letzten Jahrzehnten einen ungeheuren Fortschritt erlebt und ist heute nicht mehr aus der medizinischen Wissenschaft und Praxis wegzudenken. Dieser Prozeß ist sicher noch nicht abgeschlossen und sie wird daher zu den Schlüsseltechnologien des nächsten Jahrhunderts (1) gerechnet. Die Gentechnologie ist nicht mehr und nicht weniger als eine neue Methode, mit deren Hilfe sowohl großartige Errungenschaften gewonnen werden können oder aber auch furchtbare Entwicklungen eingeleitet werden können. Es bleibt zu hoffen, daß die menschliche Entwicklung auf politischem, ethischem und kulturellem Gebiet mit dem Fortschritt der Technologie Schritt hält, und damit eine segensreiche Anwendung dieser Methode gewährleistet.

Literatur

Schlüsseltechnologien für das 21. Jahrhundert. Sonderheft Spektrum der Wissenschaft 1995.

ALTANER, C. (1995): Gene therapy for cancer (present status). Neoplasma, 42, 209–213

ANDERSON, W. F. (1990): September 14, 1990: the beginning [editorial]. Hum Gene Ther, 1, 371–372.

CAPECCHI, M. R. (1989): Altering the genome by homologous recombination. Science, 244, 1288–1292.

COLLINS, F .S. (1995): Ahead of schedule and under budget: the Genome Project passes its fifth birthday. Proc Natl Acad Sci U S A, 92, 10821–10823.

MARSHALL, E. (1995): Less hype, more biology needed for gene therapy . Science, 270, 1751.

PAROLIN, C./SODROSKI, J. (1995): A defective HIV-1 vector for gene transfer to human lymphocytes. J Mol Med, 73, 279–288.

POMERANTZ, R.J./TRONO, D. (1995): Genetic therapies for HIV infections: promise for the future. AIDS, 9, 985–993.

SAIKI, R. K./GELFAND, D. H./STOFFEL, S./SCHARF, S. J./HIGUCHI, R./ HORN, G. T./ MULLIS, K. B./ERLICH, H. A. (1988): Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. Science, 239, 487–491.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: 1996b

Autor(en)/Author(s): Kraft Hans-Georg

Artikel/Article: Gentechnologie in der Humanmedizin 128-137