

Biotechnologie heute – Bisherige Anwendung, Anwendungsmöglichkeiten und Ziele

Biotechnologie – ein Schlagwort, ein Begriff oder die Lehre einer Technik?

Was ist das eigentlich, die Biotechnologie?

Wörtlich übersetzt ist es die Technik des Lebendigen. Sie ist damit ein sehr weiter Begriff. Eben deshalb, weil er so selten genauer definiert wird, ist dieser Begriff in der letzten Zeit in die Schlagzeilen geraten. In der grünen, gelben und sonstigen Medienwelt wird über Biotechnologie gesprochen, diskutiert, Filme gedreht und Meinungen ausgetauscht.

In so einer Situation muß man aber auch davon ausgehen, daß es sich um ein Thema allgemeinen Interesses handelt. Denn nur dann beschäftigt sich die Gesellschaft längerfristig mit einer Sache.

In Deutschland befaßt man sich weniger aus Freude und Begeisterung an dem Neuen mit dieser Technologie, sondern vielmehr aus der Angst heraus, daß hier etwas Unheimliches entsteht. Kerntechnik, Computertechnik, Biotechnik sind Begriffe, die auf der einen Seite faszinieren, auf der anderen Seite aber Unruhe, ja Angst hervorrufen.

Ist das eigentlich nur so, weil das breite Publikum nicht versteht, was wirklich hinter diesen Begriffen steht; denn Angst oder Sorge ruft doch nur das hervor, was nicht richtig verstanden wird.

Oder sollten wir bei der Diskussion aber auch nicht vergessen, daß der Mensch mit all diesen Techniken Machtinstrumente in der Hand hat, die so groß und umgreifend sind, wie das bisher in der Vergangenheit nie der Fall gewesen ist.

Es besteht also wohl nicht nur Angst und Sorge vor dem Unbekannten, sondern auch vor den Möglichkeiten, die dem Menschen zugewachsen sind. Denn diese sind wirklich so groß, daß sie für die Menschheit insgesamt und vor allem für die nächste Generation schädlich sein könnten.

Um aber wirklich ein sinnvolles Gespräch dieser Dimension führen zu können, ist es, so glaube ich, notwendig zu untersuchen, worum es bei der Biotechnologie eigentlich geht.

Ich möchte mein Referat in vier Teile gliedern:

1. Fermentation oder die Wissenschaft der Gärung
2. Enzymologie oder die Wissenschaft der biologischen Katalysatoren
3. Gentechnik oder die Wissenschaft der Erbinformation
4. Biotechnik im oder am Menschen

1. Die Fermentationstechnologie

Diese Technik ist viele 1000 Jahre alt. Als die Menschen zum ersten Mal erkannten, daß aus zuckerhaltigen Früchten nach entsprechender Behandlung Alkohol entsteht, war der erste Fermentationsvorgang entdeckt. Als die Menschen zum ersten mal Brot backten, d. h. die Inhaltsstoffe des Mehles veränderten, wurde ein Fermentationsprozeß angewandt.

Man kann die Fermentation definieren als den Vorgang, der abläuft, wenn ein niedriges Lebewesen, also eine Bakterie oder eine Hefezelle, einen Stoff in einen anderen umwandelt. Es ist also im Grunde nichts anderes als eine chemische Umwandlung von einem Stoff in einen anderen, die durch ein Lebewesen verursacht wird.

Auch heute noch wird die Fermentation am häufigsten angewandt bei der Herstellung von Alkohol. Zucker wird durch Mikroorganismen in Alkohol umgewandelt. Die Herstellung von Bier und Wein beruht auf Fermentationsvorgängen. Neben der Herstellung von alkoholischen Getränken gewinnt die Alkoholfermentation zunehmende Bedeutung auch bei der Herstellung von Alkohol für industrielle Verwertung. In Brasilien z. B. sind riesige Fermentationsanlagen aufgebaut worden, um Zucker aus Zuckerrohr in Alkohol umzuwandeln und diesen als Benzinersatz im Automobil zu verbrennen.

In der Herstellung von Nahrungsmitteln spielt die Fermentation neben der Produktion von Alkohol eine sehr große Rolle: die Herstellung von Käse und von Brot beruht auf fermentativen Prozessen.

In den letzten Jahrzehnten hat man erkannt, daß Mikroorganismen nicht nur Alkohol, sondern auch andere Stoffe, die für den Menschen von Interesse sind, produzieren können. So werden z. B. viele Antibiotika, also Medikamente, die gegen Infektionen eingesetzt werden, auf fermentativem Wege hergestellt. Der Mikroorganismus produziert im Verlauf seiner Stoffwechselfvorgänge chemische Individuen, die für die Therapie am Menschen eingesetzt werden können. Sie sind in den meisten Fällen hochkomplizierte Chemikalien, die anderweitig nicht produziert werden könnten. Solche Antibiotika werden heute auf der ganzen Welt industriell mit Fermentationsprozessen hergestellt. In großen Rührgefäßen, die bis zu mehreren 100 cbm Inhalt haben, produzieren viele Milliarden kleinster Lebewesen diese Stoffe. Es ist dann die Kunst und die Findigkeit des Menschen, aus dem außerordentlichen Gemisch die Stoffe in hoher Reinheit zu isolieren, die dann als Medikament angewandt werden können.

Die Suche nach solchen Mikroorganismen, die in der Natur gefunden werden, stellt heute eine hohe Kunst dar. In den meisten Fällen produziert ein in der Natur gefundener Mikroorganismus einen ganz geringen Anteil des gesuchten Stoffes. Erst durch mühevollen und jahrelangen Selektion gelingt es dann, sogenannte Hochleistungsstämme zu erhalten, die in der Lage sind, Antibiotika wirtschaftlich zu produzieren. Der Selektionsvorgang ist nichts anderes wie die Suche und Isolierung von Mikroorganismen, die genetisch so verändert sind, daß sie höhere Mengen des gesuchten Stoffes produzieren.

Der Rohstoff für fast alle diese Fermentationsanlagen ist Zucker in Form von reinem Zucker und von Stärke und in seltenen Fällen auch von Zellulose. Die Fermentationsindustrie benutzt also als Rohstoffe, sogenannte nachwachsende Rohstoffe. Das sind Stoffe, die im Gegensatz zum Erdöl oder zur Kohle jährlich mit Hilfe der Sonnenenergie neu entstehen und damit eigentlich in unbegrenztem Umfang verfügbar sind.

Neben den Antibiotika werden heute Vitamine, Aminosäuren und andere Großchemikalien fermentativ hergestellt. Dabei handelte es sich also um eine Hochleistungstechnologie, die seit Jahrzehnten bekannt ist und die ganz allgemein als positiv für die Gesellschaft angesehen wird.

In den letzten Jahren ist ein Fermentationsvorgang entwickelt worden, der auf Alkoholbasis Eiweiß produziert. Man hat insbesondere spezielle Hefearten gefunden, die in der Lage sind, auf bestimmten Erdöl-Fractionen oder auch auf Methanol zu wachsen. Man isoliert die dabei entstehende sogenannte Biomasse, d. h. also die entstandenen Mikroorganismen, und benutzt das entstandene Eiweiß als Energieträger für die Tierernährung. Es ist auch möglich, dieses Eiweiß speziell zu reinigen und dann für die menschliche Ernährung zu benutzen. Solche Fermentationsanlagen sind in der entwickelten Welt, wo wir heute ja mit einem Eiweiß-Überschuß rechnen, nicht wirtschaftlich. Sind sie jedoch für Gebiete, in denen insbesondere aus klimatischen Gründen ein Anbau von eiweißproduzierenden Pflanzen nicht durchgeführt werden kann, durchaus interessant, um den dort herrschenden Eiweißmangel zu decken. Solche Anlagen sind in China und in Indien entstanden und tragen beachtlich zur Verminderung des Eiweißdefizits bei.

Die Technik der Fermentation ist also eine alte und wohletablierte Technologie. Sie hat durch die Gentechnologie, auf die wir im dritten Abschnitt zu sprechen kommen, einen außerordentlichen Innovationsschub erhalten. Aus diesem Grunde wird sie in den nächsten Jahrzehnten sicher eine zunehmende Rolle spielen.

2. Die Enzymologie

Die Umwandlung von Stoffen in einer Zelle, sei sie Teil eines niedrig- oder hochentwickelten Organismus, wird durch Enzyme, die man auch als Biokatalysatoren bezeichnen kann, bewirkt. Katalysatoren sind der Definition nach Stoffe, die eine chemische Umwandlung bewirken, ohne dabei selbst verändert zu werden. Dabei ist es durchaus möglich, daß ein solcher Katalysator oder ein solches Enzym im Verlauf der Redaktion in den Ausgangszustand zurückverwandelt wird.

Enzymatische Vorgänge geschehen überall, wo chemische Veränderungen im Lebendigen vor sich gehen. Also auch ein fermentativer Vorgang, wie wir ihn vorhin geschildert haben, basiert letztlich auf enzymatischen Vorgängen.

Als man das erkannt hatte, lag die Idee nahe, diese Enzyme, die in der Zelle einen gewissen Vorgang katalysieren, zu isolieren und zu untersuchen, ob solche Vorgänge auch außerhalb der Zelle ablaufen würden. Aus dieser Grundüberlegung entstand die

Enzymologie. Sie ist also nichts anderes als die Kenntnis von Reaktionsvorgängen, die in der Biologie katalysiert werden und die Kenntnis dieser Katalysatoren selbst.

Die praktische Anwendung der Enzymologie geschieht heute insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie. Die Aufarbeitung von Milch, die Herstellung von Käse, die Herstellung von vielen Nahrungsmitteln beruht auf enzymatischen Vorgängen.

Man hat auch sehr bald erkannt, daß mit enzymatischen Vorgängen analytische Methoden aufzubauen sind. Man gibt einem bestimmten Enzym die chemische Substanz, ein sogenanntes Substrat zur Umwandlung und beobachtet die Menge des entstehenden Folgeproduktes. Wenn man ein solches Folgeprodukt in irgendeiner Form messen kann, kann man mit diesem Vorgang auf die Menge der vorgegebenen Stoffe rückschließen.

Damit war die Basis gelegt für fast alle in der Klinik angewandten Diagnosemethoden. Das ist der Grund, weshalb Enzyme heute großindustriell hergestellt werden und in vielfacher Form dem Analytiker und dem Arzt zur Verfügung stehen.

Auch die Enzymologie hat durch die Gentechnologie einen besonderen Innovations-schub erhalten. Mit Hilfe dieser Technik kann man heute auf molekularer Basis Enzyme verändern, um sie so zurechtzuschneiden, wie es für die gewünschte Reaktion notwendig ist.

Ich bin überzeugt, daß dieses sogenannte „enzyme engineering“ in den nächsten Jahren über die bisher geschilderte Anwendung hinaus auch andere Einsatzmöglichkeiten im großindustriellen Raum haben wird. Z. B. gibt es in der chemischen Industrie viele Reaktionen, die bei hohen Drücken und hohen Temperaturen ablaufen. Man ist heute dabei, Enzyme zu suchen, die die gleichen Reaktionen bei niedriger Temperatur und normalen Drücken ablaufen lassen. Eine solche enzymatische Umwandlung wird mit großer Wahrscheinlichkeit sehr viel ökonomischer durchgeführt werden können, als das bisher der Fall gewesen ist. Es ist durchaus denkbar, daß auf diese Weise chemische Reaktionen umweltfreundlicher ablaufen können, weil enzymatische Reaktionen mit sehr viel höheren Ausbeuten arbeiten, als das der Mensch im Reagenzglas bewirken kann.

Um Enzyme in der Großtechnik einsetzen zu können, isoliert man sie aus dem Zellmaterial und benutzt sie entweder direkt, oder nachdem man sie an Feststoffen (insbesondere Polymeren) chemisch oder anders fixiert hat. Auf diese Weise ist man in der Lage, große Gefäße mit solchen fixierten Enzymen zu füllen. Die chemisch zu verändernde Substanz, das Substrat, wird dann auf eine solche Säule gegeben. Am Ausgang der Säule wird das Reaktionsprodukt auftreten und kann dann chemisch oder biochemisch isoliert werden. Ein solcher Vorgang wird auf diese Weise sehr viel wirtschaftlicher ablaufen, als er das auf klassischem Wege tut.

Die Enzymologie oder die Technik der biokatalytischen Reaktionen ist also ebenfalls eine etablierte Technologie, die seit vielen Jahren angewandt wird. Neben den geschilderten Anwendungsmöglichkeiten, d. h. der Herstellung von Nahrungsmitteln, oder in diagnostischen Methoden wird ihr Einsatzgebiet in großtechnischen Verfahren, insbesondere in der chemischen Industrie, liegen.

3. Die Gentechnologie

Die Gentechnologie ist eine neue Wissenschaft. Sie datiert etwa 30 Jahre zurück, als *Watson* und *Crick* erkannt haben, daß die Erbinformation in Form einer Doppelhelix in all unseren Zellen vorhanden ist.

Die Erbinformation ist die Voraussetzung dafür, daß wir alle etwa gleich aussehen: 2 Arme, 2 Beine, einen Kopf haben und damit eindeutig zu einer bestimmten Spezies, nämlich der des *homo sapiens*, gehören.

Sie ist die Basis dafür, daß Nachkommen von Eltern diesen ähnlich oder gar identisch sind. Das gilt sowohl für den kleinsten Einzeller-Organismus, also z. B. das *Coli*-Bakterium, wie auch für die Maus oder den Affen oder den Menschen.

Man hat dann erkannt, daß die Erbinformation nichts anderes ist als die Aneinanderreihung von bestimmten chemischen Strukturen, sogenannten Nukleotiden. Bestimmte Kombinationen von je 3 Nukleotiden codieren jeweils bestimmte Aminosäuren. *Watson* und *Crick* erkannten, daß die langen Fäden, die aus den Nukleotiden zusammengesetzt sind, in Form einer Doppelhelix in unseren Zellen existieren. Eine Doppelhelix ist etwa zu vergleichen mit zwei ineinanderverdrehten Wendeltreppen. Die eine Wendeltreppe dreht sich genau umgekehrt zur anderen Wendeltreppe. Man hat sehr bald erkannt, daß dieses Prinzip der gegenläufigen Wendeltreppen nichts anderes ist als ein Kontrollmechanismus der Natur. Die Stufen der einen Wendeltreppe haben genau korrespondierende Stufen an der anderen Wendeltreppe. Wenn eine Stufe der einen Wendeltreppe in der anderen Wendeltreppe nicht die korrespondierende Stufe findet, dann handelt es sich um eine Fehlinformation.

Wenn nun diese Wendeltreppen oder Nukleotidstränge die Erbinformation tragen, dann muß es in der Zelle Mechanismen geben, die diese Erbinformation ablesen können, um an Hand der gespeicherten Signale einmal die Stoffe zu produzieren, für die das Signal gilt, aber auch um die vorhandene Information identisch abzulesen.

Denn es muß bei einer Zellteilung die Erbinformation identisch an die Tochterzelle weitergegeben werden. Es muß also ein Vorgang existieren, der aus einem Elternstrang einen oder mehrere Tochterstränge macht. Dieser Vorgang geschieht mit bestimmten Enzymen, sogenannten Polymerasen.

Ein solcher Nukleotidstrang muß also ähnlich wirken wie ein besprochenes Tonband, auf dem der Ablesekopf das gesprochene Wort wiedererkennt und akustisch weitergibt. Nun passieren auch bei uns im täglichen Leben Fehler. Die Sekretärin versteht ein Wort auf dem Tonband falsch oder anders. Damit entsteht eine neue Information. Der gleiche Vorgang geschieht in der Zelle. Die Konsequenz daraus ist ein, wenn auch nur geringfügig, aber doch verändertes Stück neue Information und damit neue Eigenschaften. Auf diesem Grundsatz basiert die gesamte Evolution. Geringe Veränderungen ergeben Lebewesen, die kaum anders sind. Überleben werden solche, deren neue Eigenschaften sich besser an die Umwelt anpassen. Im Englischen spricht man von „*survival of the fittest*“, vom Überleben des am meisten Angepaßten.

Im Grunde genommen möchte die Zelle aber eigentlich die Information genau so weitergeben, wie sie einmal in ihr ist. Sie hat aus diesem Grunde Mechanismen, Enzyme, die in der Lage sind, eine Fehlinformation zu erkennen, den Fehler aus dem Informationsstück herauszuschneiden und durch eine neue richtige zu ersetzen. Man nannte diese Enzyme Restriktionsenzyme. Sie müssen folgende Eigenschaften haben: An der richtigen Stelle des Nukleotidstranges den Fehler erkennen, ihn herausschneiden und durch eine richtiges Informationsstück ersetzen. Sie müssen also den Strang aufschneiden, und sie müssen ihn wieder zusammenfügen können.

Als man das erkannte und die entsprechenden Enzyme isoliert hatte, war klar, daß man nun zwei wichtige Instrumente für die Veränderung des Genoms in der Hand hatte. Man hatte die Schere, um den Nukleotidstrang auseinanderzutrennen, und man hatte den Klebstoff, um ihn wieder zusammenzufügen.

So entstand sehr schnell der Wunsch, in eine solche geschnittene Nukleotidsequenz eine andere, neue vom Menschen gewollte Sequenz einzusetzen. Das gelang sehr bald.

Man hat in der Zwischenzeit auch gelernt, wie man einen solchen Nukleotidstrang analysieren kann und hatte damit die Möglichkeit zu kontrollieren, ob und welches neue Informationsteil eingesetzt worden ist.

Der Vorgang ist relativ einfach: Man isolierte aus irgendeinem Organismus die Erbinformation, zerschnitt sie an bestimmten definierten Stellen und setzte in die aufgeschnittene Sequenz eine neue andere Sequenz ein.

Zum gleichen Zeitpunkt hatte man gelernt, solche Nukleotidsequenzen auch chemisch im Reagensglas herzustellen. Man synthetisierte die Erbinformation genau nach einem vom Menschen entworfenen Plan. Damit war man in der Lage, eine neue synthetische Erbinformation in ein Genomstück einzusetzen.

Nun war es nur noch notwendig, ein solch verändertes Genom in eine Zelle einzubringen, ohne diese Zelle zu zerstören.

Die Hilfe kam durch ein Phänomen, das man häufig in Kliniken entdeckt. Innerhalb weniger Tage können ganze Krankenstationen gegen bestimmte Antibiotika resistent werden. Es mußte also einen Stoff geben, der sich sehr schnell verbreitet, der in die Zelle eindringt und diese fähig macht, ein Antibiotikum abzubauen und damit in seiner Wirkung unschädlich zu machen. Man erkannte, daß dafür kleine ringförmige Genomstücke, sogenannte Plasmide, verantwortlich sind. Solche Plasmide existieren neben der eigentlichen Erbinformation als separate Genomstücke. Sie tragen die Information für bestimmte Enzyme, die Antibiotika unschädlich machen. Man isolierte diese Plasmide und konnte an ihnen experimentieren. Mit Hilfe der oben genannten Enzymscheren schnitt man sie auf, setzte ein neues Stück Information ein und fügte sie mit den Klebstoffenzymen wiederum zusammen. Tatsächlich drangen diese veränderten Plasmide in Zellen ein, ohne diese zu zerstören. Die Zelle erkannte diese neue Information an, las sie ab und produzierte die entsprechenden Stoffe.

Damit war das gentechnologische Instrumentarium vollständig. Plasmide, also ringförmige Nukleotidstränge, konnte man an bestimmten Stellen schneiden, neue Informationen einsetzen, den Strang wiederum zusammenfügen und ihn dann in eine Zelle einbringen.

Damit war Außerordentliches geschehen:

Der Mensch war in der Lage, Erbinformation nach seinem Willen zu verändern. Er konnte damit in lebendigen Organismen Veränderungen durchführen, die die Organismen an ihre Nachkommen weitergeben würden.

Was konnte man mit einer solchen Technik machen?

a) Gentechnologie in Mikroorganismen

Seit Jahrzehnten hatte man erkannt, daß ein Zuckerkranker, ein Diabetiker, durch eine Therapie mit Insulin, also dem Hormon der Bauchspeicheldrüse, das für die Regulierung des Blutzucker-Niveaus verantwortlich ist, wieder ein normales Leben führen kann. Der Nachteil war, daß Insulin nicht synthetisch hergestellt werden konnte, sondern aus tierischen Bauchspeicheldrüsen isoliert werden mußte. Es war also notwendig, Bauchspeicheldrüsen von Schweinen und Rindern in den Schlachthäusern zu sammeln, diese aufzuarbeiten, das daraus gewonnene Insulin zu reinigen, um es dann als Therapeutikum einsetzen zu können.

Man weiß seit etwa 15 oder 20 Jahren, daß sich das menschliche Insulin, wenn auch nur geringfügig vom tierischen, also sowohl vom Rinder- wie vom Schweine-Insulin, chemisch unterscheidet. Damit war und ist die Therapie mit tierischem Insulin nicht optimal, weil der menschliche Körper das tierische Eiweiß als fremd erkennt und über kurz oder lang dagegen bestimmte Immunreaktionen ablaufen läßt. Das führt dann zu der Tatsache, daß im Laufe eines Lebens die Dosen an Insulin, die gegeben werden müssen, jeweils größer werden und es in wenigen Fällen zu einer Insulin-Resistenz kommen kann.

Es war deshalb immer der Wunsch, menschliches Insulin für die Therapie einsetzen zu können. Es gelang vor etwa 6 oder 7 Jahren, Humaninsulin synthetisch herzustellen; der Preis dieses synthetischen Insulins überstieg aber bei weitem das, was für ein solches Insulin bezahlt werden kann.

Die Gentechnologie brachte die Lösung: Da Insulin als Eiweißstoff in der Erbinformation enthalten sein muß, war es nur notwendig, dieses Stück Erbinformation zu isolieren oder auch synthetisch herzustellen, in ein Plasmid einzufügen, dieses veränderte Plasmid in ein z. B. Colibakterium einzubringen und dann das im Coli hergestellte Insulin zu isolieren.

Diese Manipulation gelang. Das veränderte Colibakterium akzeptierte die Fremdinformation, d. h. produzierte den Stoff Insulin. Das Bakterium produzierte also einen Stoff, den es bisher nie natürlicherweise hergestellt hätte. Es war dann nur noch die Aufgabe, das Insulin in reiner Form zu isolieren, um es als Therapeutikum anwenden zu können.

Diese Manipulation gehört heute zum Stand der Technik. Wir in Hoechst bauen zur Zeit die Produktionsanlage für Insulin auf. Dazu bedarf es Fermentationsgefäße mit einer Kapazität von etwa 60–70 cbm Inhalt, in denen solche Insulin produzierenden Colibakterien gezüchtet werden. Nach der Aberntung des Fermenters wird die gesamte sogenannte Biomasse aufgearbeitet und das Insulin isoliert.

Durch die Gentechnik war damit die Möglichkeit entstanden, Stoffe herzustellen, die bisher nicht oder nur sehr schwierig auf anderem Wege vom Menschen produziert werden konnten.

Neben dem Insulin werden heute chemisch ähnlich gebaute Stoffe wie das Interferon, die Interleukine, das Wachstumshormon und andere produziert. Es handelt sich also immer um hochmolekulare Eiweißstoffe, die als Medikamente interessant sind.

Die zur Zeit bei uns in Hoechst und auch anderswo laufenden Arbeiten betreffen hochmolekulare Stoffe, die man bisher nur aus dem menschlichen Blut gewinnen konnte. Das sind die sogenannten Blut-Gerinnungs-Faktoren. Diese Stoffe sind dafür verantwortlich, daß dann, wenn man sich verletzt, eine Blutgerinnung stattfindet, und damit die Blutung zum Stillstand kommt. Diese Stoffe sind in den allermeisten Fällen lebensrettende und lebenserhaltende Stoffe, die anders als aus dem menschlichen Blut nicht gewonnen werden können.

Man wird diese Faktoren gentechnologisch entweder aus Bakterien oder Hefen oder auch aus tierischen oder menschlichen Zellkulturen gewinnen können. Es ist heute nicht nur die Frage, ob man diese Stoffe gentechnologisch gewinnen kann, sondern es ist nur noch die Frage, auf welche Weise und in welchen Zellen, unter welchen Bedingungen diese Stoffe produziert und dann isoliert werden können. Es ist somit vorauszu- sehen, daß in einem Zeitraum von 10–20 Jahren die Sammlung von menschlichem Blut für die Herstellung solcher Stoffe nicht mehr nötig sein wird.

Die Gentechnik als Teil der Biotechnik hat uns die Möglichkeit gegeben, Stoffe zu produzieren, die für die menschliche Therapie essentiell sein werden und die auf anderem Wege nicht oder nur sehr teuer herzustellen sind.

Die Gefahr, die man bei dieser Technik anfänglich gesehen hat, bestand in der Frage, ob solche veränderten Mikroorganismen in die Umwelt austreten und damit Schaden anrichten können. Diese Frage wurde natürlich sehr sorgfältig untersucht. Die Mikroorganismen, mit denen man heute arbeitet, sind erheblich veränderte Lebewesen. Sie wachsen zwar im künstlichen Medium eines Fermenters; sie sind aber nicht in der Lage, auch nur Minuten zu überleben, wenn sie in eine unkontrollierte Umgebung austreten. Sie sind genau auf die Umgebung eingestellt, die ihnen künstlich zur Verfügung gestellt wird. Es ist etwa so, als würde man einen Menschen in eine Atmosphäre bringen, die sich in ihrer Sauerstoff-Stickstoff-Zusammensetzung nur geringfügig von der auf der Erde unterscheidet. In einer solchen anderen Atmosphäre wäre der Mensch nicht in der Lage zu überleben.

Es ist aus diesem Grunde heute allgemein akzeptiert, daß man diese Techniken ohne Risiko durchführen kann. Man wird bei der industriellen Anwendung zwar entsprechende Sicherheitsmaßnahmen anwenden, ist sich aber darüber im Klaren, daß es sich hierbei nicht um ein spezielles Risiko handelt.

b) Gentechnologie in Pflanzen

Die Frage, die sehr schnell auftauchte, hieß: Können die Techniken, die man bei Mikroorganismen anwendet, möglicherweise auch bei höheren Organismen, also z. B.

bei Pflanzen, angewandt werden; dazu war Verschiedenes notwendig. Da eine veränderte Erbinformation immer nur in eine Zelle eingebracht werden kann, war es erforderlich, aus einer Einzelzelle einen Gesamtorganismus, also eine Gesamtpflanze, wieder wachsen zu lassen. Diese Techniken kannten die Pflanzenzüchter bei bestimmten zweikeimblättrigen Pflanzen schon länger. Es war bekannt, daß man aus einer Tomaten- oder Petunienzelle, die man entweder aus dem Blatt, der Wurzel oder dem Stamm isoliert, durch Zusatz gewisser pflanzlicher Hormone eine Gesamtpflanze wieder wachsen lassen kann. Es handelt sich hierbei nicht um den normalen Vorgang der Bestäubung, wo Samenzellen in Form der Pollen die pflanzliche Eizelle befruchten und damit zu einer Verschmelzung aus väterlicher und mütterlicher Zelle führen; sondern es war die Isolierung einer einzelnen Zelle und daraus die Entstehung einer Gesamtpflanze.

Diese Techniken sind heute bei fast allen zweikeimblättrigen Pflanzen möglich. Die ersten Ansätze sind in der Zwischenzeit bekannt, diese Technik auch bei einkeimblättrigen Pflanzen, zu denen ja alle großen Getreidearten gehören, anzuwenden. Es war ferner notwendig, pflanzliche Plasmide zu finden. Das sind die vorhin erwähnten ringförmigen Informationsstücke, mit denen man ohne Zerstörung in die pflanzliche Zelle eindringen kann. Man fand dies in Form des sogenannten Bakterium tumefaciens. Dieses Bakterium dringt in pflanzliche Zellen ein, ebenso wie die vorhin erwähnten Plasmide. Es hat nur einen Nachteil. In dem Moment, wo es in die Pflanze eingedrungen ist, entsteht an der Infektionsstelle eine Art pflanzlichen Tumors. Man erkannte sehr bald, welches Stück der Information auf dem Bakterium für die Krebsentstehung verantwortlich ist. Man entfernte dieses Stück gentechnologisch und ersetzte es durch eine neue Fremdinformation. Es stellte sich heraus, daß ebenso wie im Bakterium und in der Hefe auch die Pflanze diese neue Information akzeptiert, sie abliest und damit eine veränderte Erbinformation weitergibt.

Damit war es also möglich, eine veränderte Erbinformation auch in Pflanzen einzubringen.

Was ist mit dieser Technik möglich?

Das Aufbringen von Pflanzenschutzmitteln schädigt in den allermeisten Fällen auch die Kulturpflanze. Diese Schädigung ist unterschiedlich stark, aber es gibt fast kein Pflanzenschutzmittel, das eine so hohe Spezifität hat, daß die Kulturpflanze völlig unbeschädigt bleibt. Es war also als erstes der Wunsch, Kulturpflanzen herzustellen, die gegen bestimmte Pflanzenschutzmittel resistent sind. Man kann heute bei einigen Pflanzen Resistenzgene isolieren, die diese Pflanze gegen bestimmte Pflanzenschutzmittel resistent gemacht haben. Es war nun interessant herauszufinden, wie die Übertragung einer solchen Resistenz gelingt. Das ist möglich!

Es wird also wahrscheinlich in den nächsten Jahren gelingen, Pflanzen zu züchten, die gegen die Aufbringung von Pflanzenschutzmitteln resistent sind, d. h. die keine Schädigung erfahren. Es wird deshalb auch möglich sein, Pflanzen herzustellen, die auf Böden wachsen, die bisher nicht kultivierbar gewesen sind, z. B. weil sie übersalzen sind oder weil sie zu trocken sind.

Man wird wahrscheinlich auch Pflanzen züchten können, deren Stärkegehalt höher

ist als der der klassischen Pflanzen, und es wird wahrscheinlich auch gelingen, Pflanzen zu züchten, die gegen bestimmte Krankheiten resistent sind. Erste Ansatzpunkte hierfür sind vorhanden. Wenn dies gelingt, könnte die Aufbringung von Pflanzenschutzmitteln minimiert werden. Das wäre natürlich ein erheblicher Beitrag zur Verminderung der Belastung unserer Kulturböden mit Chemikalien.

Auch an diesen Arbeiten gibt es Kritik; sie heißt: Verminderung der Artenvielfalt und Eingriff in das Biotop überhaupt.

Diese Kritik ist in mancher Hinsicht berechtigt. Aber wir sollten nicht vergessen, daß wir dies seit langem auch ohne Gentechnologie tun. Unsere Pflanzenzüchtungen, die wir seit vielen Jahrzehnten betreiben, sind nichts anderes wie eine genetische Selektion. Sie wurde nur in einem viel längeren Zeitraum gemacht, als das heute möglich ist. Auch der Mensch an sich greift, solange er auf der Erde lebt, allein durch seine Existenz, in das Biotop ein. Es sollte unser aller Wunsch sein, den Eingriff zu minimieren, aber ohne Eingriff in unsere Umgebung können 6 Milliarden Menschen auf dieser Welt nicht leben.

c) Gentechnologie im Tier

Mit der Tatsache, daß Mikroorganismen und auch Pflanzen verändert werden können, lag die Frage sehr nahe, ob gentechnische Veränderungen auch am Tier möglich sind.

Sie kennen wahrscheinlich die Schlagzeilen, die die sogenannten Riesenmäuse, die aus amerikanischen Laboratorien kamen, vor etwa 2 Jahren hervorbrachten.

Was wurde dabei getan?

Da es bisher nicht gelungen ist und wahrscheinlich auch nie möglich sein wird, aus einer differenzierten tierischen Zelle, also z. B. aus einer Haut- oder Knochenzelle, einen Gesamtorganismus wieder wachsen zu lassen, muß man beim Tier in die Ei- oder Samenzelle gehen, wenn man eine Information in einen Gesamtorganismus einbringen will.

Das hat man bei diesen Mäusen getan; man isolierte aus einem weiblichen Tier reife Eizellen, injizierte in diese Zellen menschliches Wachstumshormon, befruchtete die Zellen in vitro und implantierte die Zellen in das mütterliche Tier zurück. Wenn die Embryonen ausgetragen werden, ist in einer gewissen Zahl der Tiere das Wachstumshormon in höherer Konzentration vorhanden als in anderen. Diese Tiere haben Riesenzucht und werden etwa 2mal so groß wie ihre Geschwister. Die eingepflanzte Erbinformation läßt sich über mehrere Generationen hinweg verfolgen.

Dieses Experiment beweist, daß gentechnologische Veränderungen in der tierischen Keimbahn möglich sind. Die hier erwähnten Experimente beinhalten jedoch die Einführung der neuen Erbinformation an völlig ungezielter Stelle, da der Experimentator nicht weiß, an welcher Stelle des langen tierischen Genomstücks die neue Information eingefügt worden ist. Sie sitzt völlig ungezielt an irgendeiner Stelle des Genoms und ist damit für eine gezielte Informationsveränderung ungeeignet.

Die transgenen Tiere, wie man solche genetisch veränderten Laboratoriumstiere nennt, sind aber heute für Forschungsarbeiten von besonderer Bedeutung. An ihnen kann das Wechselspiel von Hormonen untersucht werden. Aber auch zur Aufklärung der Entstehung von Krebserkrankungen gewinnen sie zunehmendes Interesse.

Man könnte natürlich daran denken, ein Wachstums-Hormon-Gen in Nutztiere einzupflanzen, also z. B. in Rinder oder in Schweine. Es ist bisher nicht klar, ob solche Tiere dann tatsächlich schneller ihr Schlachtgewicht erreichen. Es ist auch nicht klar, ob das Knochengerüst ein solches schnelles Wachstum überhaupt aushält. Lassen Sie uns aber bitte auch hier feststellen, daß der Vorgang letztlich kein anderer ist wie der, den unsere Tierzüchter seit hunderten von Jahren bereits tun. Sie selektionieren und kreuzen jeweils die Eigenschaften, die ihnen am brauchbarsten erscheinen.

Das heutige Nutzschnwein, dessen Fleisch wir in vielen unserer Mahlzeiten verzehren, ist genetisch völlig verändert von dem ursprünglichen Wildschwein. Es ist nicht durch eine im Reagenzglas durchgeführte gentechnologische Veränderung erfolgt, sondern durch eine gentechnologische Veränderung, die die Tierzüchter im Verlauf von Generationen vorgenommen haben.

Zusammenfassend kann man sagen: die Gentechnik als Teil der übergreifenden Wissenschaft Biotechnik hat der Biotechnik insgesamt einen außerordentlichen Innovationsschutz gegeben. Von dem erreichten Niveau sind sicherlich Schritte in die Zukunft möglich, die bisher undenkbar gewesen sind. Das reicht von der Herstellung von Stoffen, die bisher nicht produzierbar waren, bis hin zu Pflanzen, die auf Böden wachsen, die bisher nicht kultiviert werden konnten. Sie ist aber auch eine Technik, die für die Wissenschaft von bisher noch nicht absehbarer Bedeutung ist.

Ich glaube aber, daß sie eine Wissenschaft ist, bei der die Schritte, die man tut, besser überlegt werden müssen, als das in der Vergangenheit der Fall gewesen ist. Die Macht des Menschen, die Erbinformation dauerhaft zu verändern, hat Konsequenzen, die bedacht werden müssen. Ich meine, daß die Verantwortung des einzelnen Wissenschaftlers nicht nur vor der wissenschaftlichen community, sondern auch vor der Gesellschaft als ganzes gewachsen ist.

Ich meine, daß der Konflikt, den diese Verantwortung mit sich bringt, nur im Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft gelöst werden kann. Weder der eine noch der andere kann sich zurückziehen und nur für sich selbst sein. Eine solche Wissenschaft bedarf des consensus omnium.

4. Biotechnik im oder am Menschen

Wir haben bis jetzt bei unseren Überlegungen die Anwendung der Gentechnik und damit der Biotechnik am Menschen ausgenommen. Es liegt jedoch nach dem bisher Gesagten nahe, daß dies auch möglich sein wird. Ich möchte das Folgende in zwei Abschnitte unterteilen:

a) in Techniken, die für die Industrie, insbesondere die pharmazeutische Industrie, relevant sind und

b) in Techniken, die für die Industrie nicht relevant sind.

Diese Unterteilung ist natürlich eine persönlich von mir postulierte, aber doch wohl weitgehend akzeptierte.

a) Für die Industrie relevante Techniken

Wie schon erwähnt, werden Medikamente, die gentechnisch und damit biotechnisch hergestellt werden können, für die Industrie und die Medizin von außerordentlicher Bedeutung sein. Das Beispiel Insulin und ähnliche Stoffe wurden erwähnt.

α) Medikamente

Mit Hilfe der Gentechnik wird es aber auch möglich sein, z. B. Impfstoffe herzustellen. Unsere heutigen Impfstoffe sind zwar spezifisch, aber dennoch nicht so spezifisch, wie es wünschenswert wäre. Sie immunisieren also nicht nur gegen einen speziellen Krankheitserreger, sondern immunisieren auch gegen verwandte Stoffe. Damit sind notwendige Nebenwirkungen eingeschlossen, die wünschenswert sind.

β) Monoklonale Antikörper

Ein weiteres und vielleicht noch größeres Kapitel ist die sogenannte Technik zur Herstellung monoklonaler Antikörper. Antikörper sind Stoffe, die der Körper produziert, um eingedrungene Fremdstoffe zu finden und zu eliminieren. Sie sind die Basis des Immun-Systems, also des Systems, das man auch als die Polizei des Organismus bezeichnen kann. Der gesunde Körper ist in der Lage, die meisten der eingedrungenen Fremdstoffe, auch der Fremdstoffe, die durch Fehlablesung der genetischen Informationen entstehen können, abzustößen.

Die Technik der Herstellung von monoklonalen Antikörpern kann einzelne Zellen, die ganz spezifische Antikörper produzieren, isolieren, mit krebsähnlichen Zellen fusionieren und diese sogenannten Hybridzellen in großer Menge wachsen lassen. Eine solche Zellkultur, auch monoklonale Kultur, weil sie nur aus einer einzelnen Zelle entstanden ist, produziert jeweils nur einen spezifischen Antikörper.

Die monoklonalen Antikörper haben eine große Spezifität und sind daher in der Lage, sehr genau und quantitativ spezifische Krankheitserreger zu finden und damit zu diagnostizieren. Man ist heute davon überzeugt, daß mit den monoklonalen Antikörpern eine völlig neue Generation von Diagnostika entstanden ist und entstehen wird. Man ist z. B. davon überzeugt, daß die Diagnose von Krebs durch diese Technik sehr bald auf ein ganz anderes Niveau gestellt wird, als das heute möglich ist.

Es wird aber vermutlich auch gelingen, mit Hilfe von monoklonalen Antikörpern Therapeutika zu entwickeln. Da ein solcher Antikörper jeweils eine spezifische Zelle und nur diese Zelle als Krebs-Zelle erkennt, kann es möglich sein, daß man auf diese

Weise Krebs-Zellen tötende Stoffe an die Krebszelle direkt heranführen kann. Das könnte sich bei der Krebstherapie als ein unschätzbar wertvolles Mittel erweisen.

γ) Genom-Analyse

In den letzten Jahren ist unsere Kenntnis über das menschliche Genom als solches außerordentlich gewachsen. Wir wissen heute zumindest über einige wenige Krankheiten, wo diese auf dem Genom lokalisiert sind. Wir können also ein Genom danach absuchen, ob das Zeichen für diese oder jene Krankheit vorhanden ist oder nicht. Vermutlich wachsen in den kommenden Jahren die Möglichkeiten hierfür noch einmal beträchtlich. Damit ist die Wahrscheinlichkeit der sogenannten Genom-Analyse gegeben. Man wäre also in der Lage, durch Entnahme eines Blutropfens und die Isolierung des Genoms dieses auf seine eventuellen Krankheitssymptome zu untersuchen. Mit dieser Genomanalyse könnte man Erbeigenschaften eines Menschen sowohl vor der Geburt als auch nach der Geburt erkennen.

Dadurch ist ein gewisser Eingriff in die menschliche Persönlichkeit gegeben. Aus einer solchen Analyse können natürlich auch andere als nur therapeutische Konsequenzen gefolgert werden. Diese Möglichkeit und diese Methode sind in ihrer rechtlichen und ethischen Relevanz zu diskutieren. Mit dem ausdrücklichen Einverständnis des Menschen oder bei der vorgeburtlichen Diagnose der Eltern wird man solche Analysen aber durchführen können, wenn sie therapeutische oder andere wichtige Folgerungen ergeben.

b) Arbeiten, die für die Industrie nicht relevant sind, aber aus allgemein ethischen Gesichtspunkten interessieren

α) Therapie mit gentechnischen Möglichkeiten außerhalb der Keimbahn

Man kennt bestimmte Krankheiten, die auf genetischen Defekten beruhen, sogenannte Erbkrankheiten. In vielen Fällen kann ein Organismus einen Stoff, der für ein gesundes Leben notwendig ist, nicht produzieren, weil die Information auf seinem Genom nicht vorhanden ist.

Man könnte sich nun vorstellen, daß man Zellen dieses Patienten entnimmt, in das Genom die fehlende Information einbaut, diese Zellen in den Patienten zurückimplantiert und ihm auf diese Weise die Möglichkeit gibt, den fehlenden Stoff selbst zu produzieren. Hierbei handelt es sich um eine Maßnahme, die einer Organtransplantation sehr ähnlich ist. Ein Stoff, der dem Patienten fehlt, wird ihm durch Umbau eines gewissen Teils seiner Zellen zugänglich gemacht.

Falls es sich dabei um eine Erbkrankheit handelt, wird der Patient zwar selbst vielleicht geheilt sein, aber Kinder zeugen, die die gleiche Krankheitsanlage, wie er sie selbst hatte, haben. Es ist also nicht in die Erb-Information, die an die Nachkommenschaft übertragen wird, eingegriffen worden, sondern man hat einen Patienten therapiert, ebenso, wie man einen Zuckerkranken mit Insulin behandelt.

β) Eingriff in die Keimbahn

Total anders sind die Überlegungen, wenn man in die Eizelle oder die Samenzelle eingreifen würde. Da wir die diagnostischen Möglichkeiten hierzu haben werden, wäre es denkbar, den Vater oder die Mutter auf Erbkrankheiten zu untersuchen und dann in der Ei- oder Samenzelle die entsprechende Korrektur vorzunehmen.

Diese Methode ist mit außerordentlichen ethischen und moralischen Problemen belastet. Da wir nicht im entferntesten davon Kenntnis haben, wie sich eine solche künstlich veränderte Erbinformation bei einem heranwachsenden Leben verhält oder gar, wie es an die folgenden Generationen weitergegeben wird, ist hierzu nach meiner Ansicht ein absolutes Haltesignal aufzurichten. Dies geht über das hinaus, was der Mensch darf. Wir können keine genetischen Versuche am Menschen machen.

γ) *In vitro*-Fertilisation

Das sicher sehr viel breitere Thema ist alles, was mit der sogenannten *in vitro*-Fertilisation zusammenhängt.

Man kann heute ohne großes Risiko für den Patienten Eizellen der Mutter A entnehmen, diese mit dem Samen des Vaters B (der mit A verheiratet ist) im Reagenzglas befruchten und die so befruchteten Eizellen in den mütterlichen Organismus zurückimplantieren. Daraus entwickelt sich mit verhältnismäßig großer Sicherheit ein ganz normales Embryo, und die Mutter bringt nach 9 Monaten auf ganz natürliche Weise ein Kind zur Welt.

Ich darf darauf hinweisen:

Dieser Vorgang hat mit Gentechnologie überhaupt nichts zu tun. Die Erbinformation wird bei dieser Art Befruchtung vom Menschen in keiner Weise verändert. Der Unterschied ist nur, daß die Befruchtung nicht auf natürliche Weise geschehen ist.

Diese sogenannte homologe *in vitro*-Fertilisation wird heute durchgeführt, um Müttern, für die eine normale Befruchtung nicht möglich ist, den Kinderwunsch zu erfüllen.

Unter der Kenntnis dieser Möglichkeit sind nun die verschiedensten Kombinationen dieser Technik denkbar und auch durchführbar:

- Die Mutter A ist mit B verheiratet, B ist aber steril. Sie läßt deswegen ihre Eizellen mit dem Samen des Spenders C befruchten. A und B bekommen ein Kind, das einen (unbekannten) Vater C hat.
- Die Mutter A ist mit B verheiratet. A ist steril. Eizellen der Mutter D werden mit dem Samen von B befruchtet und in A implantiert. Das Kind ist gezeugt von D und B.
- Das verheiratete Ehepaar A und B ist steril. Eizellen der Mutter E werden mit dem Samen von F befruchtet und in A implantiert. Das verheiratete Ehepaar A/B erhält ein Kind, das genetisch weder von A noch von B stammt.

So absurd vielleicht die eine oder andere Kombination, und wahrscheinlich habe ich nicht alle Kombinationen aufgezählt, auch klingen mag, so sollten sie jedoch bedacht

werden. Das hat unter anderem die sogenannte Benda-Kommission in den vergangenen Monaten getan und den Abschlußbericht dem Bundesforschungsminister vorgelegt.

All die erwähnten Techniken können unter dem Begriff „Biotechnik“ subsumiert werden und haben natürlich eine beachtliche moralische, ethische, juristische Konsequenz, verändern aber natürlich nicht die eigentliche Erbmasse.

Konsequenzen

Meine Damen und Herren, ich hoffe, daß ich Ihnen einigermaßen schildern konnte, welche Konsequenz und welche Möglichkeiten die Biotechnik in ihrer ganzen Breite für unsere Welt hat und haben kann.

Machen wir uns noch einmal gegenwärtig, was hier geschieht:

Der Mensch hat die Möglichkeit, in die Erbinformation gezielt und nach seinem Willen einzugreifen. Vielleicht darf man sagen, er hat sich mit diesem Schritt wirklich die Welt untertan gemacht.

Eine solche Macht muß notwendig mit einer entsprechenden Verantwortung verknüpft sein.

Und die Frage heißt natürlich: Sind wir in der Lage, diese Verantwortung zu tragen?

Kann die Alternative heißen: wir benutzen diese Techniken nicht, wir verbieten ihre Anwendung?

Auch die katholische Kirche hat einmal versucht, die Ergebnisse des Galilei vor der Öffentlichkeit geheim zu halten. Es hat nur 10 Jahre gebraucht, bis diese Ergebnisse, die auch damals das Weltbild veränderten, bekannt wurden und damit die Möglichkeit gegeben war, an ihnen weiterzuarbeiten. Das Verbot, eine einmal gemachte Erkenntnis zu benutzen, führt zu nichts, da dem Menschen das Suchen nach dem Neuen, das Denken über das Neue, das Vorwärtsgehen, immanent ist. Der Faust-Schüler sagt: „Ich weiß zwar viel, doch möchte ich alles wissen.“ Diesen Drang zu verbieten, hieße das Menschsein an sich zu verbieten.

Und auch, während wir uns hier unterhalten, und über ethische Konsequenzen nachdenken, geht die Entwicklung unaufhaltsam voran.

So wurde auf einem Kongreß „Human Genetics“ in Paris, über den der New Scientist am 10. 10. 1985 berichtet, die Forderung nach einem Genspeicher für menschliche Eingeborenen-Rassen aufgestellt. Er soll die Vielfalt menschlicher Gene sammeln und für die Nachwelt erhalten. Der geistige Vater dieser Idee *Luca Cavalli-Sforza* von der Stanford University hat gemeinsam mit Wissenschaftlern der Yale University bereits Gensammlungen von afrikanischen Pygmäen und melanesischen Völkern angelegt. Die Wissenschaftler fordern eine rasche Durchführung; denn viele Völker verlieren derzeit ihre Identität; sie vermischen sich; kein Weg führt zurück zu den Ursprüngen.

Was von vielen ethisch und moralisch abgelehnt wird, nämlich das Anlegen von menschlichen Gen-Banken, die letztlich nichts anderes bewirken sollen als den klonierten Menschen, wird hier gefordert.

Ich meine, es bleibt nichts anderes, als immer wieder darauf hinzuweisen, daß Macht zugleich Verantwortung heißt. Wir wissen wohl, daß diese Dependenz nicht immer gesehen wird, und dennoch bleibt nichts anderes, als sie immer neu zu betonen.

Das Herausstellen der Verantwortung ist natürlich nicht alles. Sie muß vielmehr gleichzeitig die Frage nach sich ziehen: Verantwortung vor wem?

Für den, der im christlichen Glauben steht, ist die Frage einfach zu beantworten. Für ihn ist die Verantwortung vor Gott zu übernehmen. Er wird ihn irgendwann nach dem fragen, was er in seinem Leben getan hat.

Schwieriger ist die Frage für den zu beantworten, der nicht im christlichen Glauben steht, die Verantwortung vor sich selbst genügt mit Sicherheit nicht. Bei dieser Machtfülle ist der einzelne Forscher nicht mehr ein einzelner, sondern steht eingebunden im Rahmen der gesamten Gesellschaft. Sie ermöglicht ihm das Forschen, sie fordert von ihm aber auch Ergebnisse, und zwar Ergebnisse, die für diese Gesellschaft von Nutzen sind.

Damit meine ich, bleibt nichts anderes, als den Dialog mit der Gesellschaft insgesamt zu suchen, um als Ergebnis einen consensus omnium zu erreichen. Wie schwierig das ist, weiß ich sehr wohl. Aber ich meine, es bleibt keine andere Lösung. Und auch wir sind heute wieder zusammen, um diesen Dialog zu führen, der letztlich dem Wissenschaftler sagen kann: dies „Ja“, aber dies „nicht“.