

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

**Herausgeber:** Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

**Band:** 75 (1986)

**Heft:** 1-2

**Artikel:** Gentechnologie für die Produktion von Nutzpflanzen

**Autor:** Knopf, U.C.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308651>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gentechnologie für die Produktion von Nutzpflanzen

von U.C. KNOPF,

Agrogen-Stiftung, 1701 Freiburg, und Instituts de Biologie végétale,  
Universités de 1701 Fribourg et 1204 Genève

## 1. Einführung

Schlagwörter wie «Genmanipulation» und «klonen» sind in den letzten Jahren nicht nur in Fachzeitschriften, sondern vermehrt auch in der Tagespresse aufgetaucht. Sie hinterließen zum mindesten beim breiten Publikum oft den falschen Eindruck, es handle sich hier um ein gänzlich neues Gebiet mit einer bisweilen sogar dubiosen Zielsetzung. Dem ist jedoch nicht so, zumindest nicht, wenn wir, wie es in diesem Zusammenhang geschehen soll, die Tatsachen und Arbeiten im Pflanzenreich betrachten: hier wie anderswo hat die Natur zuerst während Jahrtausenden – und erst in den letzten zehntausend Jahren vermehrt auch unter dem Einfluß des Menschen – «Genmanipulation» betrieben und «geklont», also lange bevor die Zell- und Molekularbiologen diese Schlagwörter mehr oder weniger für sich in Anspruch nahmen. Das wird demjenigen ganz besonders deutlich, der die Evolution unserer Kulturpflanzen, zum Beispiel des Weizens (Fig. 1) und der Kartoffel (Fig. 2), studiert. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, daß das allgemeine genetische Ablaufschema der Evolution (als Resultat der «Genmanipulation», wenn sie durch die Natur betrieben wird) und die Neuzüchtung (als Resultat der «Genmanipulation», wenn sie durch den Menschen beeinflußt wird) praktisch dasselbe ist. Es besteht darin,

- a) *genetische Variation zu schaffen,*
- b) den gewünschten Genotyp zu *selektionieren* und schließlich
- c) diesen Genotyp zu *erhalten* und zu *vermehren*.

Gleichzeitig kann man erkennen, daß sich die Zielsetzung der «Genmanipulation» über die Jahre kaum verändert hat, nämlich eine in irgendeiner Weise lebensfähigeren oder verbesserten Pflanze hervorzubringen.

Wenn aber in der modernen Agrargenetik weder das allgemeine Ablaufschema noch die Zielsetzung neu sind, was ist es dann, was in den letzten Jahren all die Hoffnungen und Spekulationen über eine neue, bevorstehende grüne Revolution aufkommen ließ?

Es gibt dafür verschiedene Gründe, insbesondere spielt dabei aber die Tatsache eine Rolle, daß es uns Menschen in den letzten Jahrzehnten – dank den Fortschritten in der Zell- und Molekularbiologie – gelungen ist, auf verschiedenen Ebenen in die genetische Konstellation einzudringen. Während der Mensch früher nur auf der Ebene der ganzen Pflanze eingegriffen hat, arbeitet man heute auch mit einzelnen Zellen und isolierten Molekülen (insbesondere den Nucleinsäuren [DNS und RNS] = chemische Bezeichnung bzw. Abkürzungen für das Erbmaterial bzw. Gene). Im folgenden sollen nun vor allem die neuen Methoden und einige Beispiele der damit erzielten Fortschritte dargestellt werden.

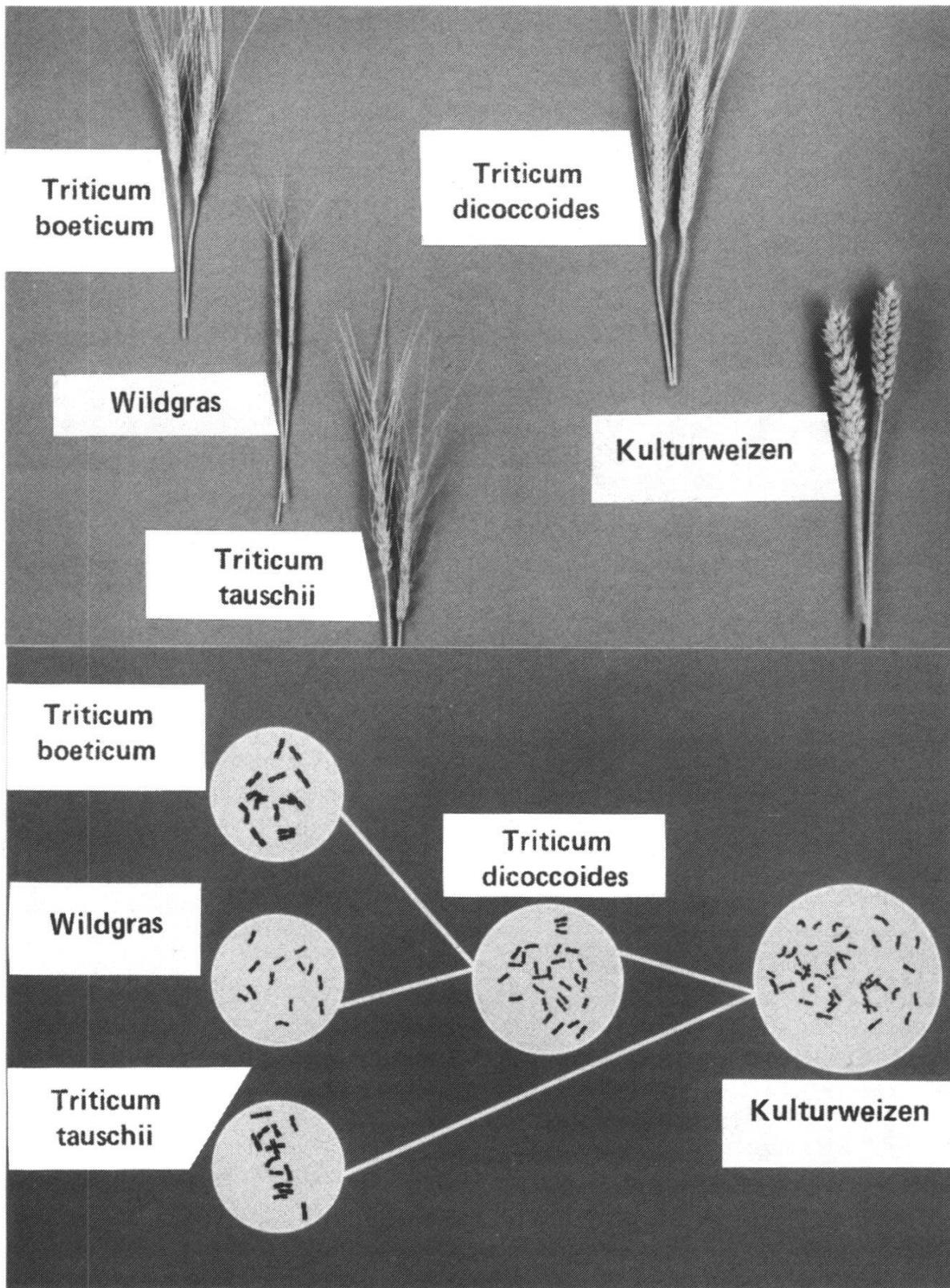


Fig. 1: Evolution des Weizens als Beispiel natürlicher «Genmanipulation».

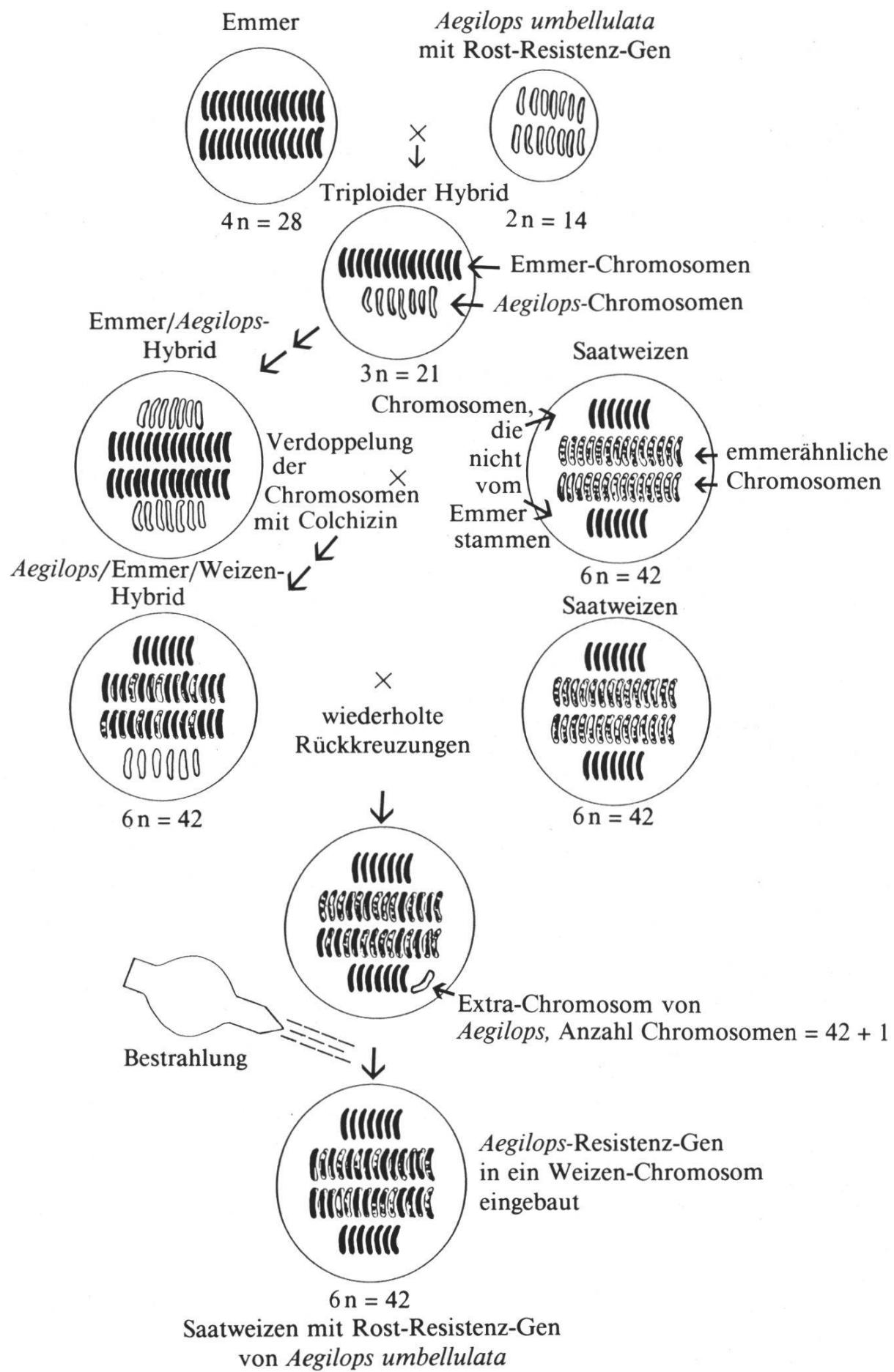
Man hat von der Entstehung des Kulturweizens (Saatweizens) folgende Vorstellung entwickelt: der Kulturweizen hat 3 verschiedene Chromosomensätze (A, B, D) mit je 7 Chromosomen. Die Genome A vom wilden Einkornweizen (*Triticum monococcum* var. *boeticum*) und B von einem mediterranen Steppengras (*Aegilops speltoides*) wurden zuerst zusammengefügt und ergaben den tetraploiden Emmerweizen. Durch weitere Kreuzungen (wie oben ohne Eingriff des Menschen) zwischen dem tetraploiden Emmer und einem diploiden Gras (*Aegilops squarrosa* = *Triticum tauschii*) wurde das dritte Genom D eingeführt.

Die Evolution ging also von ährenbrüchigen Weizengräsern aus und erreichte über bespelzte Primitivformen die Kulturform des Weizens (*T. aestivum*), die dann schließlich durch Menschenhand zu verschiedenen Hochertragssorten weitergezüchtet wurde.



Fig. 2: Klonen von Kulturpflanzen, Beispiel: die Kartoffel.  
Die Kartoffel stammt wahrscheinlich aus Süd- und Mittelamerika. Einer der ersten Schritte des Menschen muß die Suche nach nicht bitter schmeckenden (und damit alkaloid-freien) Kartoffeln gewesen sein, die dann geklont und über Jahrhunderte vegetativ weitervermehrt wurden.

►  
Fig. 3: Übertragung eines Rostresistenz-Gens von einem Gras (*Aegilops umbellulata*) auf den Kulturweizen durch Kreuzungen und Mutagenese auf der Ebene der ganzen Pflanze.  
Infolge zu großer genetischer Unterschiede war die Kreuzung *Aegilops umbellulata* (14 Chromosomen) × Kulturweizen (42 Chromosomen) nicht möglich. Deshalb wurde *A. umbellulata* (das Rostresistenz-Gen enthaltend) zuerst mit dem tetraploiden Emmer (28 Chromosomen) gekreuzt: man erhielt eine triploide Hybrid-Pflanze (mit 21 Chromosomen), die unfruchtbar war; aber durch Verdoppelung der Chromosomen mit Colchizin erhielt man eine fruchtbare Emmer-*Aegilops*-Hybrid-Pflanze. Diese konnte mit dem Kulturweizen gekreuzt werden. Bereits nach der 2. Rückkreuzung erhielt man eine Pflanze, die dem Kulturweizen ähnlich und zudem rostresistent war. Die Analyse zeigte, daß diese Pflanze 43 Chromosomen aufwies. Durch Bestrahlung dieser Pflanze vor der Vermehrung erreichte man schließlich den Einbau des Rostresistenz-Gens in ein Weizen-Chromosom und damit eine stabile Chromosomenzahl von 42 (SEARS, 1956).



## 2. Ebenen der Genmanipulation, Methoden, Beispiele

### 2.1. Die Ebene des ganzen Organismus

Die ganze Pflanze ist die Ebene, auf der die Pflanzengenetiker nicht nur am längsten, sondern auch mit dem größten wirtschaftlichen Erfolg arbeiten.

*Genetische Variation* kann auf dieser Ebene entweder durch Mutagenese oder durch Kreuzung erzeugt werden. Mutationen kann man in ganzen Pflanzen oder deren Samen durch ionisierende Strahlen oder Chemikalien erzeugen. Durch Mutagenese konnten zum Beispiel bei der Gerste Ertragssteigerungen und erhöhte Halmfestigkeit induziert werden.

Die Kreuzung, die häufigste Methode, um auf dieser Ebene genetische Variationen zu erzeugen, erfolgt durch Übertragung der Pollenkörner auf die Narbe. Nach der Bestäubung kann der Mensch die Reorganisation des genetischen Materials beim Vorgang, den man als Befruchtung bezeichnet, nicht mehr direkt beeinflussen.

Die Tatsache, daß auf dieser Ebene Mutationen und Kreuzungen vom Menschen relativ einfach durchgeführt werden können, darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß mit diesen Methoden vor Jahren bereits spektakuläre und wegweisende Genmanipulationen durchgeführt wurden. Zum Beispiel wurde vor mehr als 25 Jahren mit einem geschickten Kreuzungs-Mutations-Experiment das Gen für Blattrost-Resistenz (*Puccinia triticana* ERIKS.) von einem Wüstengras in eine Saatweizensorte eingebaut (Fig. 3).

Abgesehen davon, daß es sich hier um ein sehr gut durchdachtes Experiment handelt, wird damit sicherlich deutlich, welche Art von Zielen die Genmanipulation bei Nutzpflanzen anstrebt. Zudem sehen wir, daß hier die «Arten-Grenze» bereits vor Jahren mit einem positiven Ergebnis überschritten wurde.

Die *Selektion* auf der Ebene der ganzen Pflanze (zum Beispiel bei unseren Getreidearten) erfolgt meistens auf dem Felde bei mehr oder weniger lokalen Umweltbedingungen und gemäß einem mehr oder weniger komplexen Selektionsschema. Der Mensch nimmt so – wenn auch nur indirekt – wieder auf die Reorganisation des genetischen Materials nach der Befruchtung Einfluss.

Das *Klonen* wird auf der Ebene der ganzen Pflanze seit vielen Jahren durch vegetative Fortpflanzung betrieben. Beispiel: die Kartoffel (Fig. 2). Es stellt die einfachste Art dar, einen gewünschten Genotyp rein zu erhalten und relativ schnell zu vermehren.

### 2.2. Die zelluläre Ebene

Seit einigen Jahren wurde es möglich, einzelne Pflanzenzellen und -zellverbände in/auf künstlichen Nährösungen (-böden) zu kultivieren (Fig. 4); und nicht nur das, sondern bei entsprechender Zusammensetzung der Nährösungen wurde es möglich, aus solchen Zellen bzw. Zellverbänden ganze Pflanzen zu regenerieren. In diesem Punkt unterscheidet sich der Stand der modernen Nutzpflanzengenetik heute noch wesentlich von demjenigen der modernen Nutztiergenetik, und zwar dadurch, daß im ersten Gebiet sowohl aus Geschlechtszellen (zum Beispiel Pollenkörnern) als auch aus somatischen Zellen (zum Beispiel Wurzel-, Stengel- oder Blattzellen) ganze Pflanzen

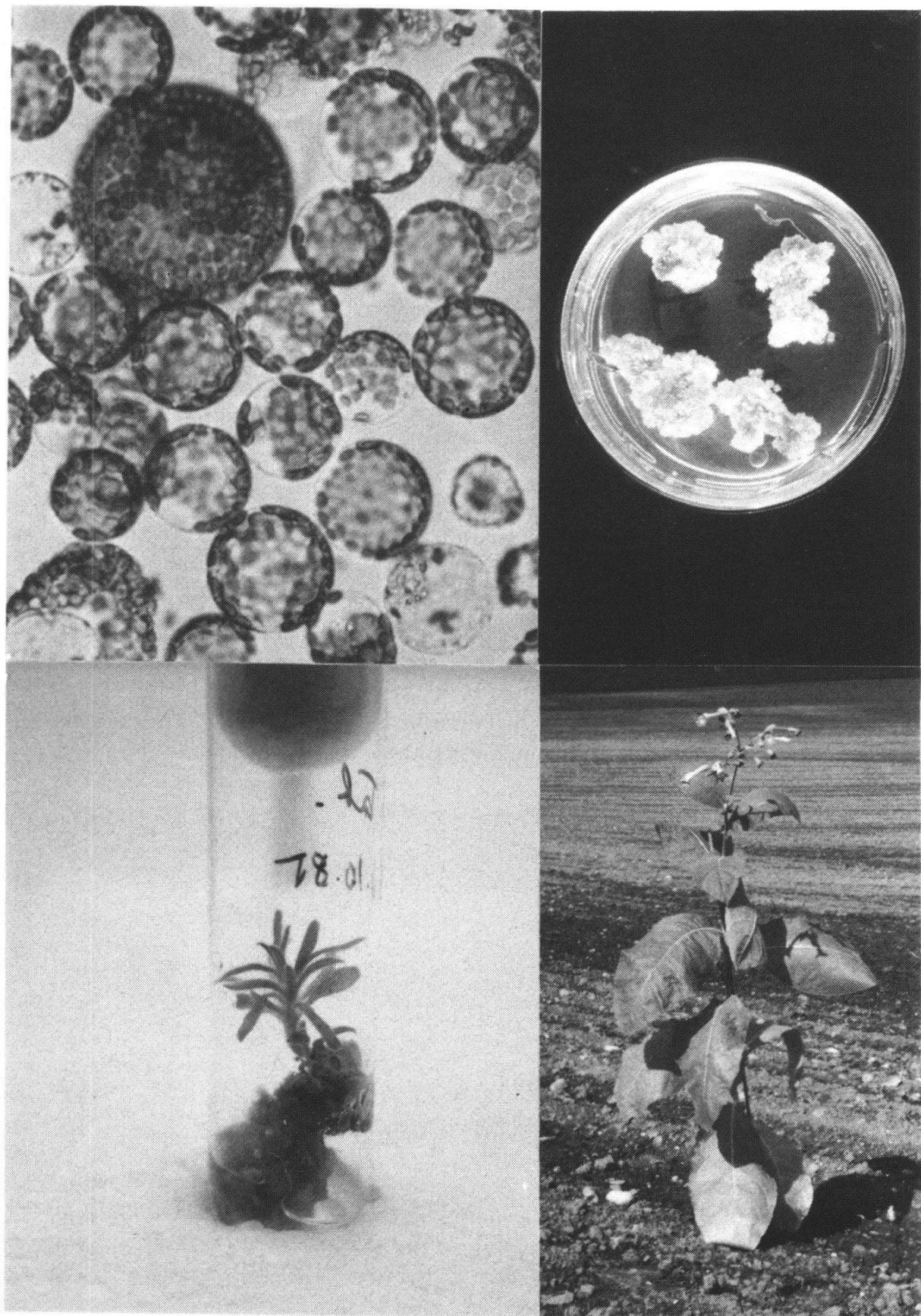


Fig. 4: In-vitro-Kultur von Pflanzenzellen und Regeneration von ganzen Pflanzen.  
Oben links: Protoplasten (Zellen) von Tabakblättern, die mit Hilfe von Enzymen hergestellt wurden.  
Oben rechts: die Protoplasten haben sich vermehrt und bilden Zellklumppen (Kalli).  
Unten links: Regeneration eines Tabakpflänzchens (noch ohne Wurzeln) aus in vitro kultivierten Zellen.  
Unten rechts: aus Blattzellen regenerierte Tabakpflanze. Die Pflanze blüht und bildet Samen.  
(KNOPF und BROMOVA, in Vorbereitung).

(Organismen) regeneriert werden können (Fig. 4). Diese Tatsache ist von fundamentaler Bedeutung: Zum mindesten bei einem Teil der Nutzpflanzen ist in vielen somatischen Zellen (vielleicht in allen) – auch nach der Differenzierung – das ganze genetische Programm vorhanden, das notwendig ist, um die zahlreichen, komplexen biochemischen Vorgänge beim Aufbau eines ganzen Organismus zu steuern.

Eine direkte Konsequenz dieser Errungenschaft auf dem Gebiete der Pflanzenzucht ist, daß damit die Möglichkeit gegeben ist, durch Pollen- oder Antherenkultur haploide Pflanzen in größerer Menge zu produzieren. Da es zudem durch Verdoppelung der Chromosomensätze relativ leicht ist, den di- oder polyploiden Status wiederherzustellen, hat man hier eine neue Methode, um relativ rasch homozygote Linien (auch bei Fremdbefruchttern) zu erzielen. In einigen Ländern, zum Beispiel in der Volksrepublik China, hat man mit dieser Methode bereits verbesserte Sorten von Reis, Weizen und Mais produziert.

Aber auch auf zellulärer Ebene kann *genetische Variation*, hier durch Mutagenese und Zellfusion, erzeugt werden. Mutationen können bei Zellen vor allem mit Chemikalien erzielt werden. Bei vielen Zellkulturen ist dies aber gar nicht notwendig, da die spontane Mutationsrate (somaklonale Variation) bei der In-vitro-Kultur hoch genug ist. So konnten in den letzten Jahren eine Reihe von Varianten- und Mutanten-Zelllinien geschaffen werden. Im Vordergrund standen dabei Resistenz-Mutanten: gegen Krankheitserreger und ihre Toxine; gegen Chemikalien, insbesondere auch Herbizide; gegen besondere Umwelteinflüsse, insbesondere Trockenheit, Hitze und Kälte. Die Frage stellt sich natürlich, ob Pflanzen, die aus solchen Zelllinien regeneriert wurden, die durch Mutation erzeugten Eigenschaften nach wie vor aufweisen würden.

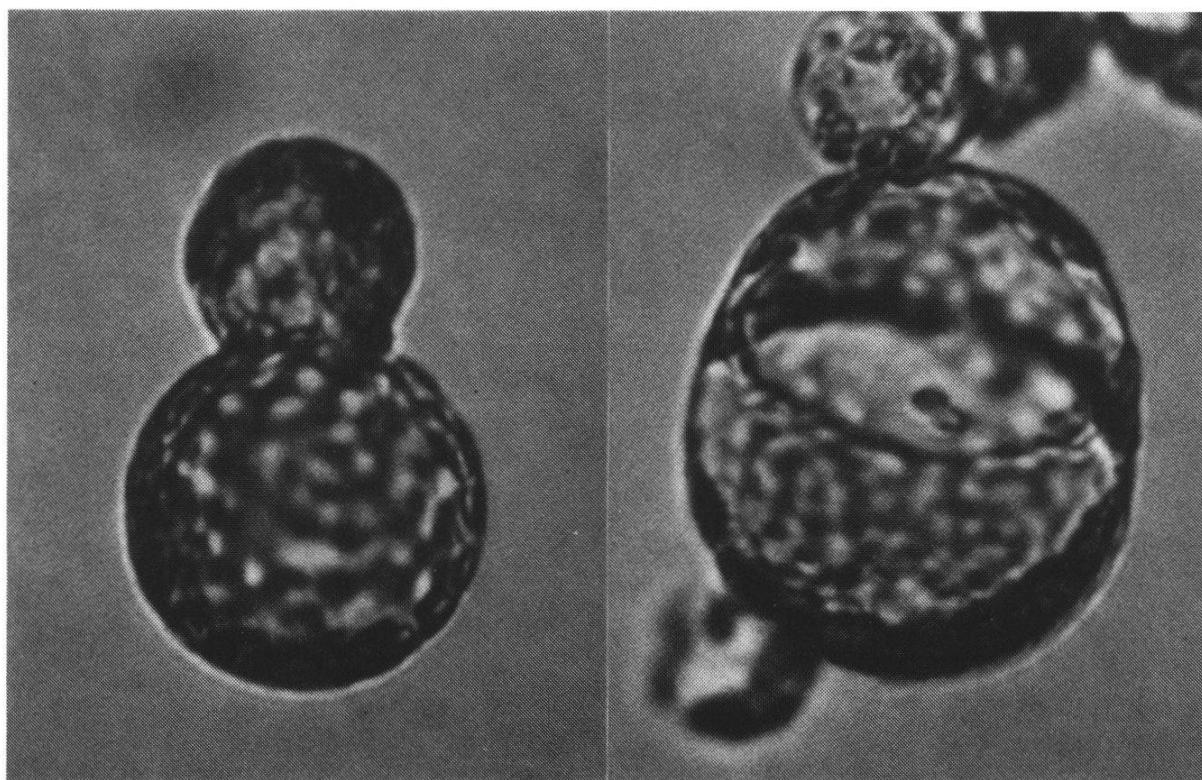


Fig. 5: Fusion von Tabakprotoplasten mit Hilfe von Chemikalien (BROMOVA und KNOPF, in Vorbereitung).

Die Frage kann, zum mindesten prinzipiell und für einen Teil der bis heute mutierten Zelllinien, bejaht werden.

Die Kreuzung bzw. somatische Hybridisierung geschieht auf dieser Ebene durch Zellfusion. Die Zellfusion wurde möglich, nachdem es gelungen ist, Protoplasten (das sind Pflanzenzellen ohne Zellwand) auf enzymatischem Wege in großer Zahl zu produzieren. Die Fusion von Protoplasten ist möglich unter Verwendung von Chemikalien (am gebräuchlichsten Polyäthylenglykol) oder in einem elektrischen Feld (Fig. 5). Diese Methoden erlauben es, Zellen beliebiger Pflanzen miteinander zu fusionieren. In einigen Fällen ist es gelungen, die Fusionsprodukte zur Zellteilung und sogar zur Morphogenese anzuregen. Eines der spektakulärsten Beispiele ist dabei die Regeneration von zwei somatischen Hybridpflanzen «*Arabidobrassica*» aus den Fusionsprodukten von Rübsen (*Brassica campestris*) x Schotenkresse (*Arabidopsis thaliana*) (Fig. 6).

Was die *Selektion* auf dieser Ebene betrifft, hat die Methodologie den Vorteil (die oben genannten Beispiele verdeutlichen dies), daß eine große Anzahl Zellen, und wenn totipotent, auch Pflanzen, auf kleinem Raum und unter beliebigen Umweltbedingungen einem Selektionsdruck ausgesetzt werden können. Dies vergrößert die Chance wesentlich, eine bestimmte Zelllinie bzw. Pflanze auch bei extremen Bedingungen überhaupt zu finden bzw. selektionieren zu können.

Schließlich ist es mit dieser Technologie nun auch möglich, Pflanzen zu *klonen* (vegetativ zu vermehren), bei denen dies vorher nicht möglich war. Die Arbeiten und

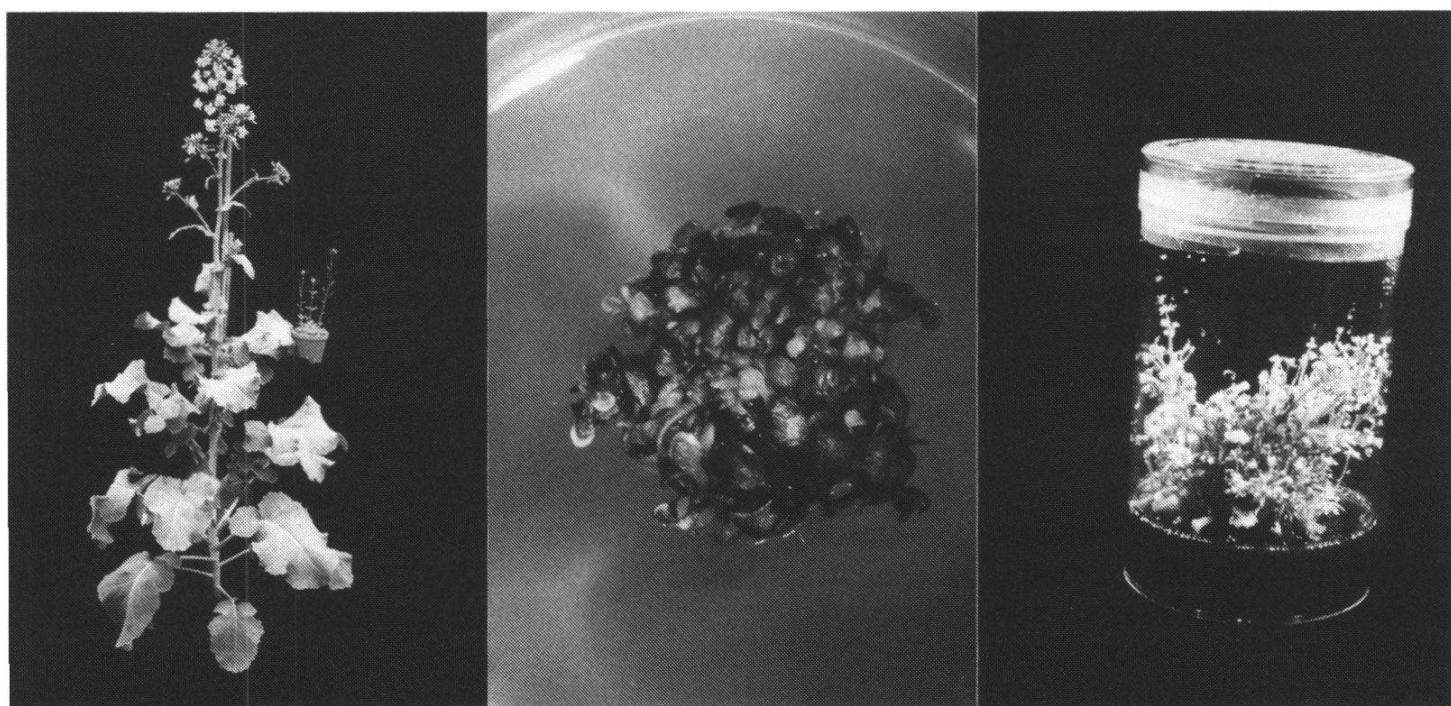


Fig. 6: Chemische Fusion von Zellen des Rübsens (*Brassica campestris*) (links vorne) und der Schotenkresse (*Arabidopsis thaliana*) (links hinten) machte die Regeneration von 2 verschiedenen somatischen Hybridpflanzen «*Arabidobrassica*» möglich (Mitte und rechts).

(Mit freundlicher Genehmigung von F. HOFFMANN, Max-Planck-Institut für Zellbiologie, Ladenburg/BRD, und den Herausgebern der Naturwissenschaften.)

Resultate mit der Ölpalme (*Elaeis guineensis*) – als Beispiel – zeigen das in eindrücklicher Weise. Nachdem die Ölpalmen bis anhin nach einer Kreuzung über Samen vermehrt wurden, was Ertragsunterschiede bis zu 30% zwischen den einzelnen Palmen zur Folge hatte, ist es heute möglich aus Gewebekulturen Ölpalmen zu regenerieren, die ausgeglichene Erträge liefern. Nebst Ertragssteigerungen von 20–30% kann man auf diesem Wege bedeutend schneller gewisse Zuchtziele wie zum Beispiel Stammverkürzungen (zwecks Ernteerleichterung) und die gewünschte Ölzusammensetzung (für die Margarineherstellung) erreichen.

Das Tiefgefrieren (Cryopräparation) erlaubt prinzipiell, Zellen über längere Zeit zu erhalten und genetisch zu stabilisieren. Dies ist gerade bei in vitro kultivierten Pflanzenzellen von Bedeutung, weil man hier mindestens bei gewissen Zelllinien und bei längerer In-vitro-Kultur eine relativ hohe Variationsrate beobachtet hat. Die Cryopräparation ist heute bei bestimmten pflanzlichen Zellen möglich. Die Technologie besteht darin, die Pflanzenzellen zuerst während einer gewissen Zeit in einer Nährlösung, unter Zugabe von Sorbit, Mannit, Amino-Säuren oder Saccharose, zu kultivieren und dann die Temperatur in Gegenwart eines Gefrierschutzmittels (Glyzerin, Saccharose, Dimethylsulfonamid, Polyäthylenglykol) abzusenken, bevor die Zellen unter sterilen Bedingungen in flüssigen Stickstoff eingetaucht werden, in dem sie beliebig lange aufbewahrt werden können.

### 2.3. Die molekulare Ebene

Seit mehreren Jahrzehnten ist bekannt, daß das Erbmaterial bzw. die Gene von allen Lebewesen aus Desoxyribonucleinsäure (abgekürzt DNS) besteht. DNS ist ein Makromolekül, das aus Zucker (Desoxyribose), Phosphat und Basen (gewöhnlich Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin) zusammengesetzt ist und aus fast allen Zellen isoliert werden kann (Fig. 7). *Genetische Variation* kann auf dieser Ebene durch gezielte Mutagenese und Rekombination von DNS geschaffen werden. Gezielte Mutationen können durch das Hinzufügen oder Abspalten von einer oder mehreren Basen in der DNS induziert werden. Durch sog. Restriktionsenzyme kann man auch ganz bestimmte Stücke aus der DNS herausschneiden und sie mit anderen Enzymen (sog. Ligasen) wieder zusammenschweißen. Diese Technologie erlaubt uns, DNS-Stücke beliebigen Ursprungs gezielt zu rekombinieren. Gleichzeitig stehen uns eine Anzahl von Techniken zur Verfügung, um DNS-Stücke bzw. Gene zu identifizieren und zu selektionieren. Schließlich ist es mit Hilfe von Plasmiden, Viren und Bakterien möglich, Pflanzengene zu klonen und beliebig zu vermehren. Diese Methoden erlauben uns auf einmalige Weise, die Gene von Nutzpflanzen zu analysieren, zu identifizieren und schließlich auch Genbanken anzulegen. Auf diese Weise wurden in letzter Zeit zum Beispiel verschiedene Gene von Chloroplasten isoliert, identifiziert und geklont (Fig. 7). Noch geht es bei diesen Arbeiten vor allem um die Erforschung und Erarbeitung der genetischen Grundlagen von bedeutsamen Prozessen wie zum Beispiel der Photosynthese, der Krankheitsresistenz usw., doch sind diese Resultate größtenteils eine Voraussetzung für weitreichende agronomische und wirtschaftlich bedeutsame Anwendungen.

Nachdem wir heute in der Lage sind, auf molekularer Ebene Pflanzengene zu identifizieren, isolieren, rekombinieren und in Bakterien zu transplantieren, stellt sich

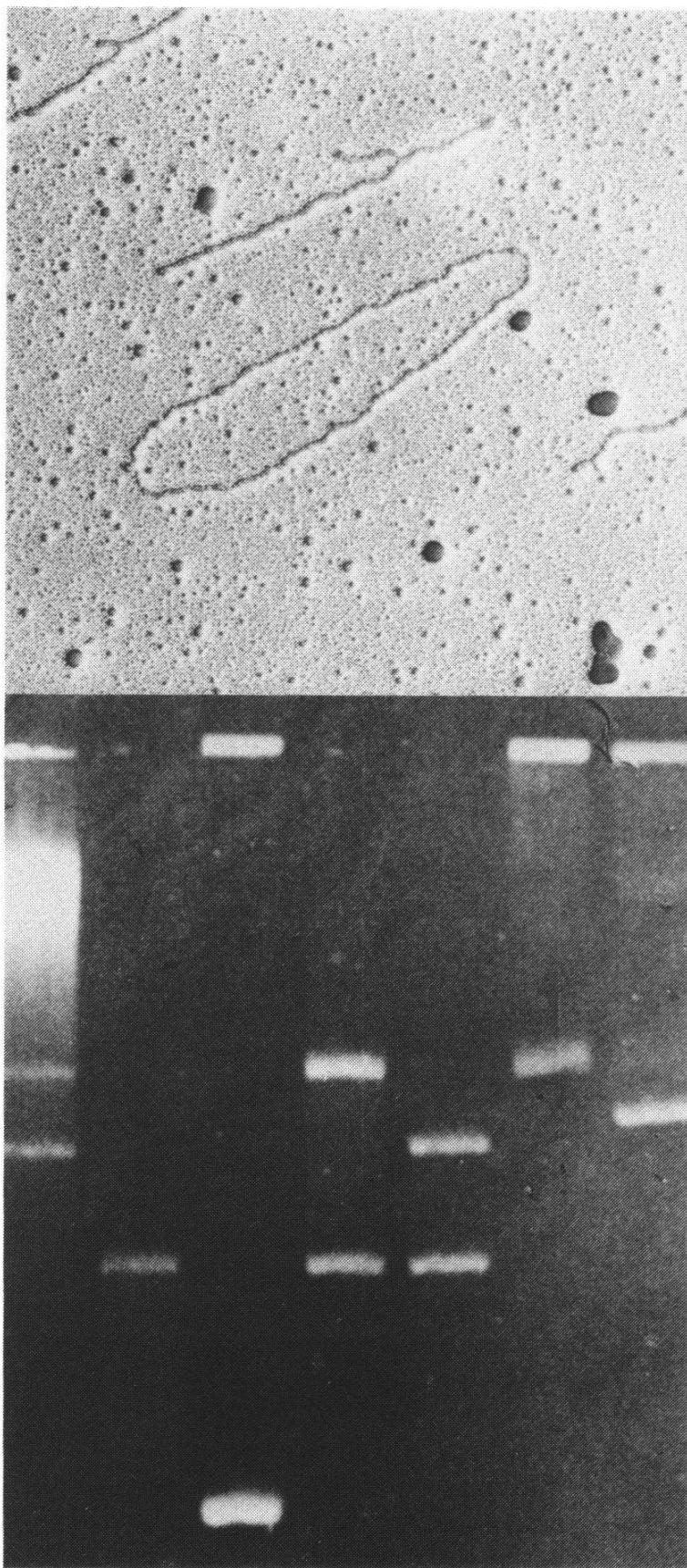


Fig. 7: Mit dem Elektronenmikroskop kann DNS bei großer Vergrößerung sichtbar gemacht werden und erscheint in Form eines mehr oder weniger langen Fadens. Das Bild oben zeigt ein aus Chloroplasten-DNS und Bakterien-Plasmid-DNS (ein Plasmid ist ein sich unabhängig vom Hauptchromosom vermehrendes DNS-Molekül) rekombiniertes, ringförmiges DNS-Molekül. Das Bild unten zeigt verschiedene, durch Restriktionsenzyme zerschnittene DNS-Moleküle, nachdem die daraus entstehenden DNS-Stücke durch Gel-Elektrophorese getrennt wurden (KNOPF und STUTZ, 1978).

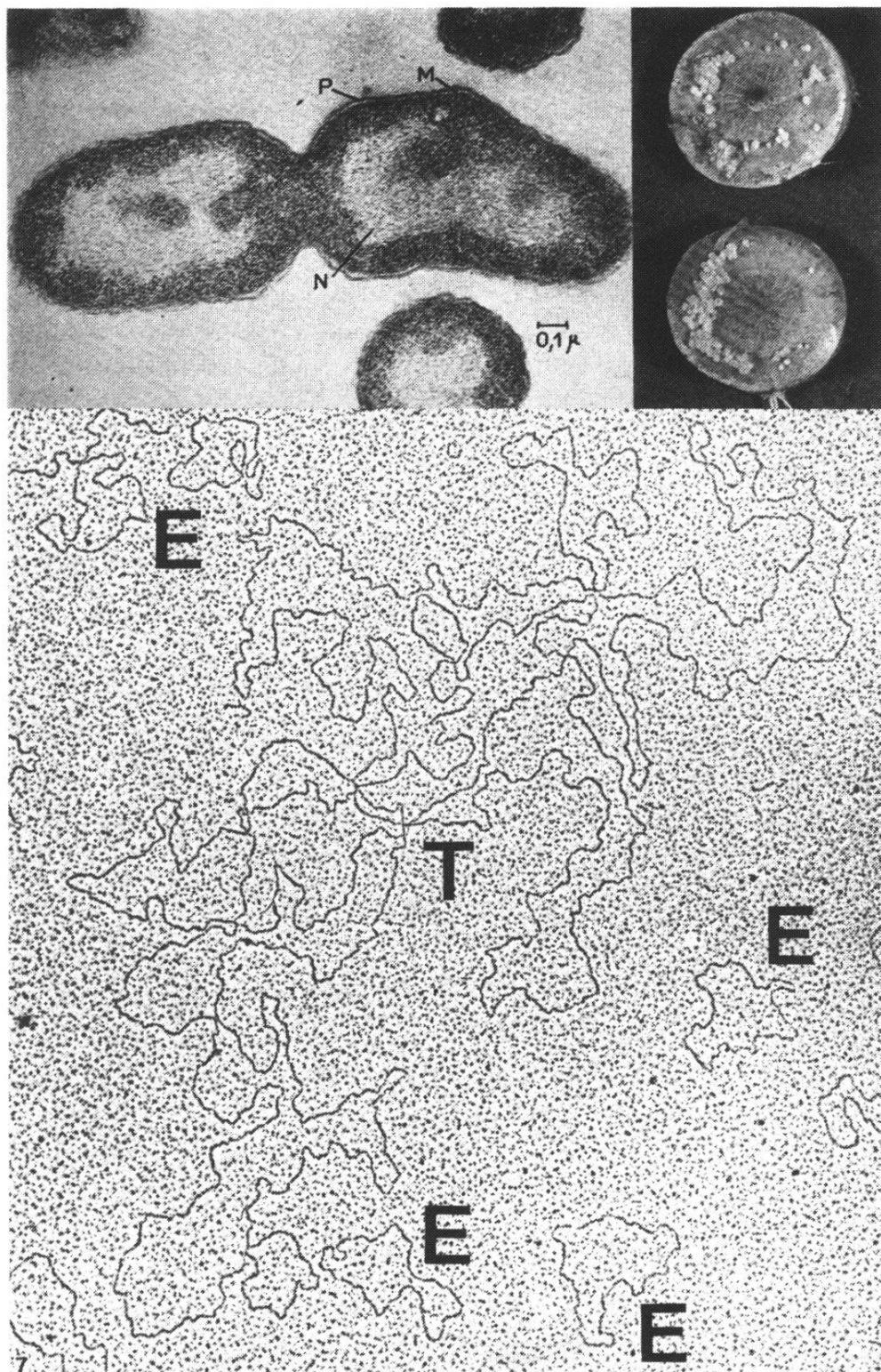


Fig. 8: Elektronenmikroskopische Aufnahme von *Agrobacterium tumefaciens* (oben links, P = Zellwand, M = Zellmembran, N = Kernmaterial) und Aufnahmen der durch dieses Bakterium produzierten Tumoren auf Karottenscheiben (oben rechts).

Kleine Plasmide von *Escherichia coli* (unten E) dienen dazu, Pflanzengene in Bakterien zu klonen. Zusammen mit dem großen Ti-Plasmid (unten T) von *A. tumefaciens* ist es möglich, die Pflanzengene von den Bakterien wieder zurück in die Pflanzenzellen zu bringen (KNOPF, 1978).

noch die Frage, ob wir Gene und Genkomplexe auch wieder in Pflanzenzellen zurück- und dort zum Funktionieren bringen können. Um isolierte Gene in Pflanzenzellen zurückzubringen, stehen uns heute verschiedene Methoden zur Verfügung. Jede hat ihre Vor- und Nachteile. Die am längsten bearbeitete ist diejenige, die sich gewisser Bodenbakterien (Agrobakterien) bzw. deren Plasmide bedient, um Gene in Pflanzenzellen einzuschleusen. Agrobakterien (*Agrobacterium tumefaciens* und *A. rhizogenes*) produzieren Tumore auf zweikeimblättrigen Pflanzen (Fig. 8). Seit einiger Zeit ist ein Teil der molekularen Grundlagen dieser Tumorgenese bekannt: die Agrobakterien besitzen Plasmid-DNS (sog. Ti- und Ri-Plasmide), von der durch die Bakterien zum mindesten ein Teil (die sog. T-DNS) in die Pflanzenzellen eingeschleust und dort in den Zellkern eingebaut werden kann. In der Natur führt der damit verbundene Einbau von Oncogenen zur unkontrollierten Zellteilung und damit zur Entstehung eines Tumors. Seit einiger Zeit ist es durch Techniken – wie sie oben erwähnt wurden – gelungen, einerseits die Oncogene aus den Ti-Plasmiden zu entfernen, ohne daß der übrige DNS-Teil dabei die Fähigkeit zum Einbau in das Pflanzengenom verliert; andererseits war es mit Hilfe dieser Bakterien und ihrer Plasmide möglich, neurekombinierte Gene in Pflanzenzellen einzuschleusen.

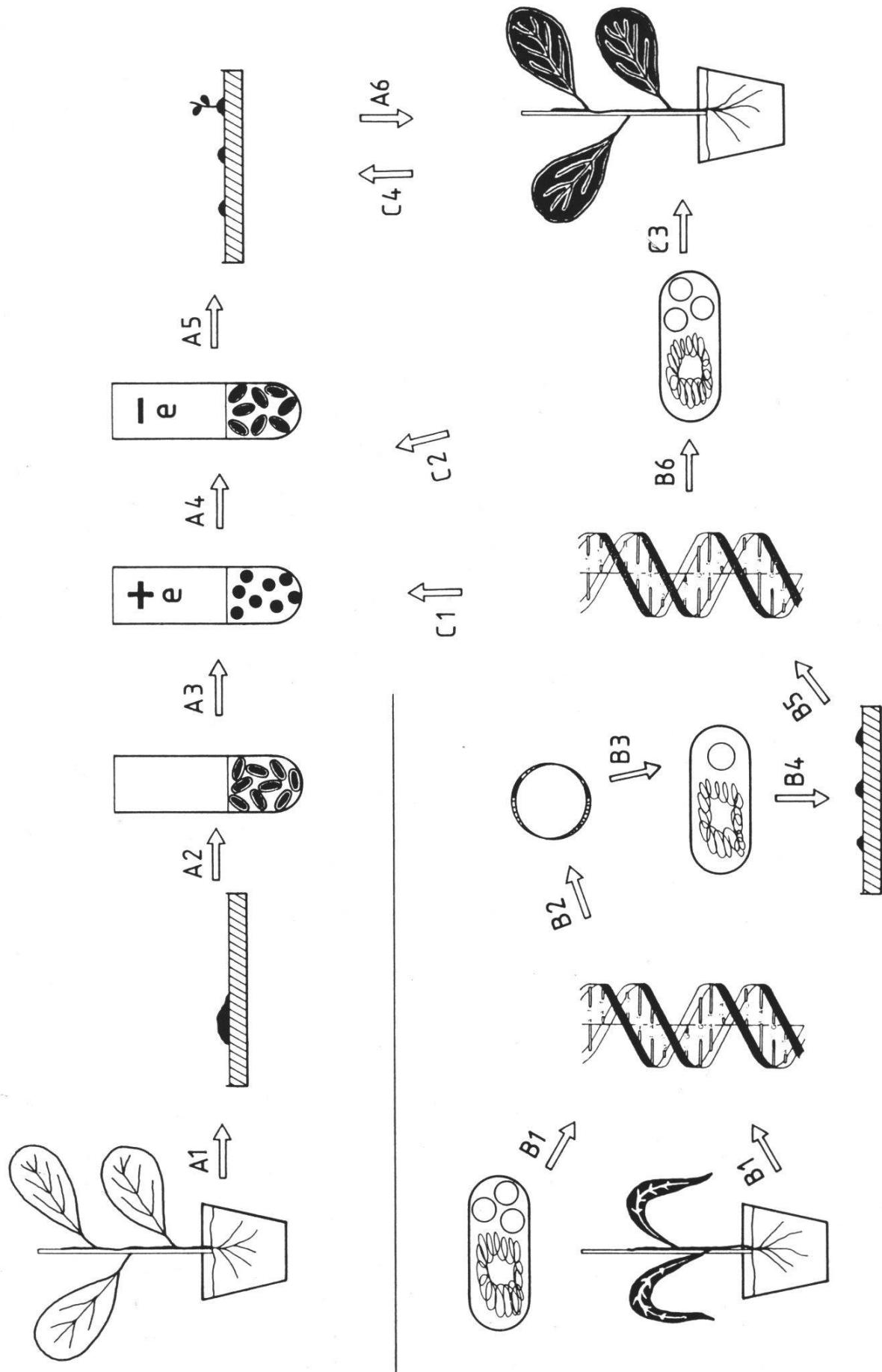
Seit einiger Zeit ist es zudem auch möglich, pflanzliche Protoplasten mit rekombinierter DNS direkt (ohne besondere Vektoren) zu transformieren. Mit Elektroporation (Injektion von DNS mit Hilfe von elektrischen Impulsen) hat man letzthin die Transformationsrate wesentlich erhöhen können. Diese Methode ist zur Zeit überall dort anwendbar, wo anschließend die Zellwände der Protoplasten und, wenn nötig, aus diesen wieder ganze Pflanzen regeneriert werden können (Fig. 9).

Schließlich kann DNS auch mit Hilfe einer Mikrokapillare oder eines Virus (Cauliflower mosaic virus) in Pflanzenzellen eingeschleust werden. Im letzteren Falle wird aber das genetische Material nicht in das Pflanzengenom eingebaut, so daß dieses System vorläufig vor allem für die Grundlagenforschung von Bedeutung ist.

Diese Gentransfer-Methoden ermöglichen es einerseits, verschiedene Gene von Bakterien in Genome von Pflanzen einzuschleusen, so zum Beispiel die Gene von *Bacillus thuringiensis*, die die Produktion eines für gewisse Insekten tödlichen Proteins bewirken. Erste Versuche zeigten, daß Pflanzen, die mit diesen Genen transformiert wurden, eine gewisse Insektizidwirkung zeigten. Andererseits erlauben diese Methoden, Gene von einer Pflanzenart auf eine sexuell inkompatible andere Pflanzenart zu übertragen.

### **3. Moderne Agrargenetik: eine Herausforderung und Chance**

Obschon das enorme Potential und die Grundtendenzen der modernen Agrargenetik seit einigen Jahren deutlich erkennbar sind und die ersten Erfolge – schneller als erwartet – bereits erzielt werden konnten, ist noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig, um die noch bestehenden Lücken zu füllen und die zahlreichen Probleme zu lösen. In diesem Sinne stellt die moderne Agrargenetik sowohl eine Herausforderung als auch eine Chance dar. Ob und inwieweit insbesondere auch wir wenigen Schweizer Genetiker diese Entwicklung vorantreiben können, hängt aber davon ab, inwieweit es auch uns gelingen wird, die Mittel – insbesondere die Finanzen –



für diese Arbeit zu finden. Dabei sollte man folgendes bedenken: Die Möglichkeiten und Ergebnisse der modernen Pflanzengenetik waren und sind nicht nur eine Angelegenheit einiger Wissenschaftler. Die Pflanzengenetik und diejenigen, die diese Wissenschaft entwickelt und gefördert haben, haben seit vielen Jahren grundlegend zur wirtschaftlichen Entwicklung der heutigen Industriestaaten und zum Kampf gegen Hunger und Armut in der Dritten Welt beigetragen. Die Entdeckung des Heterosiseffekts beim Mais – zum Beispiel – ist ein Resultat genetischer Grundlagenforschung, das bereits in der ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts publiziert wurde. Mit einer gewissen Verspätung führten diese Ergebnisse zur Entwicklung der Hybridmais-Züchtungsmethode, die zuerst in den Vereinigten Staaten von Amerika, später auch in andern Ländern gewaltige Ertragssteigerungen und entsprechende wirtschaftliche Konsequenzen zur Folge hatten. Gleichermassen haben zum Beispiel neue Weizen- und Reissorten in gewissen Dritt Weltländern zu dem geführt, was oft als die grüne Revolution bezeichnet wurde. Sicherlich ist es schwierig, die wirtschaftlichen Konsequenzen der Agrarstrategie der sechziger Jahre in Ländern der Dritten Welt umfassend zu erfassen, aber in einigen Fällen zeigt eine Kosten-Nutzen-Analyse zum mindesten, welche wirtschaftlichen Konsequenzen die Pflanzengenetik in diesen Ländern hatte und auch noch heute hat (Fig. 10).

Obschon das Potential der modernen genetischen Technologie im Pflanzensektor seit Jahren offensichtlich ist, kämpfen wir hier aber besonders hart mit finanziellen Schwierigkeiten, nicht zuletzt weil es hier meistens um langfristige Projekte geht: Heute bereits dauert die Entwicklung einer neuen Weizensorte auf konventionellem Wege zwischen zehn und zwanzig Jahren. Bei unseren Waldbäumen – die wir vermehrt in unsere genetischen Verbesserungspläne einbeziehen sollten – kann diese Zeitspanne noch wesentlich erhöht werden. Die modernen genetischen Methoden können sicherlich in einigen Fällen die Entwicklungsperioden verkürzen, in anderen



Fig. 9: Schematische Darstellung der Isolation, Manipulation und Transplantation pflanzlicher Gene auf molekularer Ebene.

Herstellung einer In-vitro-Kultur von pflanzlichen Zellen auf einem festen Nährboden (A1); Herstellung einer Suspensions-Kultur (A2); Herstellung von Protoplasten mit Hilfe von Enzymen (A3); Regeneration der Zellwände nach Entfernung der Enzyme (A4); Bildung eines Kallus auf festem Nährboden (A5); Regeneration einer Pflanze (A6); Isolation der Gene (DNS) von Mikroorganismen oder Pflanzen (B1); Integration der isolierten Gene in ein Plasmid und Bildung von Hybrid-Plasmiden (B2); Inkorporation (Transformation) der Hybrid-Plasmide in eine Bakterienzelle (B3); Vermehrung der Hybrid-Plasmide durch Vermehrung der Bakterienzellen (B4); Isolation der vermehrten Gene (DNS) (B5); Inkorporation der isolierten Gene (DNS) in *Agrobacterium* (B6); direkte Transformation von Protoplasten mit isolierten Genen (DNS) (C1); Transformation der Pflanzenzellen durch Kokultivation mit *Agrobacterium* (C2); Transformation von Pflanzenzellen durch *Agrobacterium in vivo* (C3); Herstellung einer In-vitro-Kultur pflanzlicher Zellen transformiert durch *Agrobacterium* (C4).

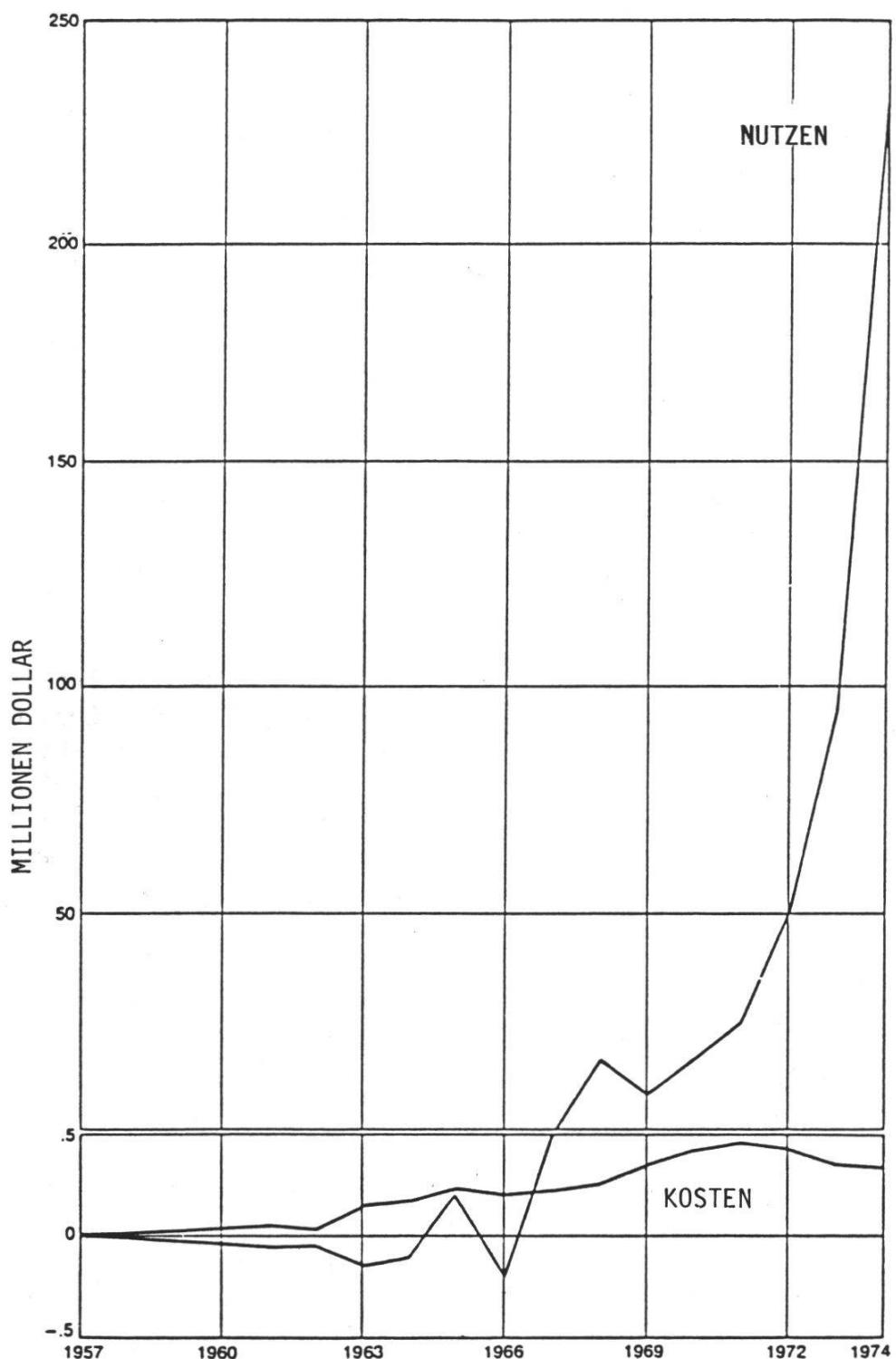


Fig. 10: Kosten-/Nutzenanalyse des Reis-Verbesserungsprogrammes in Kolumbien.

Die relativ bescheidenen Kosten des Forschungs- und Entwicklungsprogrammes führte zu einem Defizit bis ins Jahre 1967. Der Ertrag aus den daraus entstandenen neuen Hochertragssorten bezahlte die Forschungs- und Entwicklungskosten jedoch bei weitem einige Jahre nach dem Anbau auf größeren Flächen (nach JENNINGS, 1976, bzw. SCOBIE und POSADA).

aber kaum; im Gegenteil, in einigen werden sie sie sogar verlängern. So stoßen wir auch hier nicht zuletzt auf ein immer vordringlicher werdendes gesellschaftspolitisches Problem, nämlich, daß heute – zumindest in der Schweiz – ein Mangel an Institutionen besteht, die in der Lage sind, solche langfristigen Projekte im Interesse der Gesellschaft in nützlicher Frist effizient anzugehen und dafür nicht nur das wissenschaftliche «Know-how», sondern vor allem auch die finanziellen Mittel aufbringen können.

Die Entwicklung der modernen genetischen Technologie auf zellulärer Ebene kann in Industrienationen und Ländern der Dritten Welt in gleicher Weise vorangetrieben werden. Auf molekularer Ebene gilt die Herausforderung heute vor allem den finanziell gut situierten Industrienationen, weil sie auch die für die Entwicklung und Anwendung notwendige Infrastruktur und Fachkräfte besitzen. Dabei stellt diese Herausforderung für die Industrienationen nicht zuletzt auch eine Chance dar, auf diese Weise fruchtbare Saatgut für die Dritte Welt im Sinne einer «Hilfe zur Selbsthilfe» keimen zu lassen.

#### 4. Schlußbemerkung

Die moderne genetische Technologie kann heute schon, aber mehr noch in der Zukunft dazu beitragen, die Pflanzenproduktion – und damit die Ernährungsgrundlage – quantitativ und qualitativ zu verbessern. Dabei werden die modernen Methoden die konventionellen Methoden der Pflanzenzüchtung nicht ersetzen, sondern ergänzen und erweitern. Es bestehen berechtigte Hoffnungen, daß durch die neuen Methoden insbesondere auch die genetische Variation erhöht werden kann, was zum mindesten für einige unserer Nutzpflanzen heute wünschenswert ist. Dazu kann die moderne genetische Technologie auch zwei Erfordernissen einer modernen Agrarstrategie gerecht werden: nämlich nicht nur mehr und besser zu produzieren, sondern dies auch unter geringerem Einsatz von fossiler Energie einerseits und andererseits im Einklang mit der Umwelt, der Natur und den Erfordernissen einer gesunden Ernährung.

#### In den Legenden der Figuren erwähnte Literatur

- GLEBA, Y. Y., & HOFFMANN, F.: «*Arabidobrassica*»: Plant genome engineering by protoplast fusion. *Naturwissenschaften* 66, 547–554 (1979).
- JENNINGS, P. R.: The amplification of agricultural production. *Sci. American* 235, 181–194 (1976).
- KNOPF, U. C.: Crown-gall and *Agrobacterium tumefaciens*: Survey of a plant cell transformation system of interest to medicine and agriculture. *Subcellular Biochem.* 6, 143–173 (1979).
- , & STUTZ, E.: Molecular cloning of the gene region coding for chloroplast RNA of *Euglena gracilis*. *Molec. gen. Genet.* 163, 1–6 (1978).
- SEARS, E. R.: The transfer of leaf-rust resistance from *Aegilops umbellulata* to wheat. *Brookhaven Symposia in Biology* 9, 1–22 (1956).

### Für weitere Literaturangaben

- KNOPF, U. C.: Practical aspects of biogenetic engineering in crops. *Outlook on agriculture* 12, 50–56 (1983).
- : Le génie génétique au service de la production des plantes cultivées. *Rev. Suisse Agric.* 18, 26–36 (1986).
- , DAVEY, M. R., WIENAND, U., HULL, R., & SCHILPEROORT, R. : Gene transfers in higher plants. *Swiss-Biotech* 3, 27–36 (1985).