

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 100 (1982)
Heft: 39

Artikel: Natürliche Gen-Manipulation durch Agrobakterien: Schmarotzer als künftige Werkzeuge der Pflanzenzüchtung
Autor: Frese, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74866>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

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

Natürliche Gen-Manipulation durch Agrobakterien

Schmarotzer als künftige Werkzeuge der Pflanzenzüchtung

(mpg). Ein Bakterium könnte künftig helfen, Pflanzen ganz nach Wunsch zu züchten: *Agrobacterium tumefaciens*, so der Name des Organismus, beherrscht von Natur aus die Technik der genetischen Manipulation, das heisst der *gezielten Übertragung von Erbgut*, und lebt auf dieser Grundlage als Schmarotzer an Pflanzen. Am *Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln* sucht man nach Wegen, sich dieses «Naturtalent» dienstbar zu machen: Neben der genetischen Information, die das Bakterium in seinem Interesse in Pflanzenzellen einschleust, soll es auch andere, «nützbringende» Gene übertragen, die auf dem herkömmlichen Weg der sexuellen Kreuzung nicht in die Pflanze einzubringen sind. Man hofft so, über die bisher verbindlichen Grenzen der Artverwandtschaft hinweg zu neuen oder verbesserten Nutzpflanzen mit vormals «unvereinbaren» Eigenschaften zu gelangen.

Wird eine Pflanze *dicht am Boden verletzt*, können sich an der Wundstelle innerhalb weniger Wochen ausgedehnte, *knollige Wucherungen* bilden. Man bezeichnet diese *Pflanzentumoren* nach ihrem Sitz am Übergang zwischen Wurzel und Spross als *Wurzelhalsgallen*. Sie werden, wie man schon seit Jahrzehnten weiss, durch sogenannte *Agrobakterien* ausgelöst, die zwar gewöhnlich unabhängig von Pflanzen im Erdreich siedeln, aber bei Gelegenheit – eben über eine Verletzung – in Pflanzen eindringen. Damit wandeln sich die vordem selbstgenügsamen Bodenbakterien zu höchst raffinierten Schmarotzern. Denn sie leben nun nicht einfach als «Mit-Esser» vom naturgegebenen Angebot ihres Wirtes, sondern zwingen den infizierten Pflanzenzellen neue Gene auf,

neue Erbinformationen: Dadurch wird zum einen die ungehemmte Vermehrung der betroffenen Zellen ausgelöst, zum andern deren Stoffwechsel auf die Produktion bakterien-spezifischer Nährstoffe umgestellt.

Einzigartig in der Natur

«Diese Strategie der Agrobakterien», erklärt *Joachim Schröder* vom Kölner Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, «wurde erst in jüngster Zeit aufgedeckt. Sie stellt, als sogenannte *genetische Kolonisation*, nicht nur eine ganz neue Form von Parasitismus dar, sondern zugleich das erste und bislang einzigartige Beispiel einer *natürlichen genetischen Manipulation*, der gezielten Übertragung von Erbgut zwischen einander völlig artfremden Lebewesen.»

Nicht erst die Gen-Technik, sondern die Evolution selbst hat es also fertiggebracht, jene strengen Barrieren zu umgehen, die normalerweise einen Gen-Austausch zwischen nicht näher verwandten, nicht kreuzungsfähigen Organismen verhindern. Angesichts einer solchen «Naturbegabung» taucht zwangsläufig die Frage auf, ob Agrobakterien nicht auch andere, vom Menschen erwünschte Gene in Pflanzen einschleusen könnten – um so, ungehindert durch zwischenartliche Schranken, Nutzpflanzen gezielt mit bestimmten «artfremden», doch vorteilhaften Eigenschaften auszustatten. Damit sind bereits Gegenstand und Ziel der Forschungen umrissen, denen sich Schröder und andere Wissenschaftler an der von Prof. *Jozef St. Schell* geleiteten Abteilung des

Max-Planck-Instituts für Züchtungsforschung widmen. Es geht dabei um zwei Problemkreise: einerseits darum, das gentechnische Rüstzeug und «Know-how» der Agrobakterien im Detail aufzuklären, andererseits den dazu korrespondierenden genetischen Apparat der Pflanzen näher kennenzulernen.

Der zweite, «pflanzliche» Aspekt ist ebenso wichtig wie der erste, bemerkt Schröder: «So genau man inzwischen die Struktur und Funktion von Genen bei Bakterien kennt, so wenig weiss man darüber noch bei den höher organisierten Zellen von Tieren und Pflanzen, da deren Gene sich nur sehr schwer isolieren und in ihrer Funktion und Regulation untersuchen lassen. Und ob schon die Erbinformationen sämtlicher Lebewesen auf ein und demselben molekularen «Vokabular» des genetischen Codes aufbauen, werden sie doch bei Pflanzen und Tieren nach anderen Regeln, sozusagen nach einer anderen «Grammatik», verarbeitet als bei Bakterien.»

Erst Lesbarkeit bringt Sinn

Es genügt somit nicht, den Agrobakterien nur einfach ein Wunsch-Gen aufzupacken und mitzugeben: Die eingeschleuste Information muss dann auch von der Pflanze umgesetzt werden können – was aber voraussetzt, dass die Botschaft «lesbar», das heisst den «pflanzen-grammatikalischen» Regeln entsprechend, in das Erbgut der Zellen eingegliedert wird.

Gerade Agrobakterien bieten dafür auch ein beispielhaftes Lehrmodell. Denn die Gene, die sie den Pflanzenzellen unterschieben, sind nicht nur perfekt auf die Mechanismen der pflanzlichen Gen-Regulation abgestimmt, sondern lassen sich zudem *leicht isolieren*. Sie liegen auf sogenannten *Plasmiden*,

Zwei *Kalanchoen* mit Tumoren an Blättern und Stängeln. *Kalanchoen* werden als Versuchspflanzen verwendet, da sie über Brutknospen – an der Unterseite sichtbar – leicht zu vermehren sind



Über eine Stichwunde wird eine *Kalanchoe* mit Agrobakterien infiziert. Aus praktischen Gründen wird die Wunde am Stamm oder auch an den Blättern gesetzt, da hier die Tumore besser sichtbar und zugänglich sind. In der Natur finden sich die Wucherungen meist am Übergang von Spross und Wurzel, da die Agrobakterien im Boden siedeln



wie man sie häufig in Bakterien findet: Das sind *ringförmig geschlossene Stränge von Deoxyribonukleinsäure (DNS)*, jener universellen Trägersubstanz für genetische Informationen, gebildet aus kettenförmig aneinandergereihten molekularen «Buchstaben». Da diese Plasmide getrennt und unabhängig vom persönlichen, ebenfalls aus DNS bestehenden Erbgut – dem «Chromosom» – der Bakterien vorliegen, spricht man auch von *extrachromosomaler DNS*.

Erste Hinweise auf die besondere Funktion dieser Plasmide bei den Agrobakterien ergaben sich im Jahre 1974. Man fand damals, dass *tumorauslösende Agrobakterien* ausnahmslos ein *auffällig grosses Plasmid* besitzen, dass Agrobakterien ohne dieses Plasmid dagegen nicht-krankmachend sind, also keine Tumoren erzeugen. Ausserdem liess sich mit dem Plasmid die Fähigkeit, Tumorstoff auszulösen, von einem pathogenen auf ein nicht-pathogenes Agrobakterium übertragen.

Man kam so zum Begriff «*tumor-induzierendes Plasmid*», kurz *Ti-Plasmid*. *Struktur und Funktion dieser extrachromosomalen Informationspakete wurden seither vor allem an Agrobacterium tumefaciens* studiert, das als mittlerweile bestbekannter Vertreter der Agrobakterien auch das «Haustier» der Pflanzen genetiker am Kölner Max-Planck-Institut ist. «Wie man heute weiss», schildert Schröder, «wird ein Teil des Ti-Plasmids im Zug der Infektion in den Kern der Pflanzenzellen eingeschleust und in das dort verwahrte Erbgut der Zelle, in die Zell-DNS, eingebaut. Dadurch wird die Pflanzenzelle transformiert, das heisst in eine Tumorzelle umgewandelt, die sich fortan unheimlich teilt und vermehrt. Diese Transformation ist bereits wenige Tage nach der Infektion dauerhaft im Genom der Zelle verankert: Man kann die Agrobakterien dann abtöten, ohne dass dadurch die Tumorbildung unterbunden würde.»

Wandel im Hormonhaushalt

Für die Tumorzellen ist kennzeichnend, dass sie sich *ausserhalb der Pflanze auf künstlichen Nährmedien* auch ohne die Pflanzenhormone *Auxin* und *Kinetin* kultivieren lassen. Im Gegensatz zu normalen Pflanzenzellen, die in Kulturen ohne solches «Hormonfutter» nicht gedeihen, bilden die transformierten Zellen diese wachstumsfördernden Substanzen selbst. Das bedeutet, dass mit dem Wegfall der Wachstumsbremse auch ein einschneidender Wandel im Hormonhaushalt der Zellen einhergeht. Ausserdem aber bringt die Plasmid-DNS die Pflanzenzellen auch dazu, ihren Stoffwechsel auf die Produktion bestimmter Substanzen umzustellen, die den Agrobakterien als Nahrung dienen. Es handelt sich dabei um sogenannte *Opine*, chemisch Abkömmlinge von Aminosäuren: Weder die Pflanzenzellen selbst noch etwaige andere Bakterien, sondern allein die Agrobakterien sind imstande, diese Stoffe zu verwerten und daraus ihren gesamten Lebensunterhalt zu bestreiten.

Durch die Anregung der *Opinsynthese*, praktisch eine Art «Zwangsrekrutierung» auf ge-

netischer Ebene, verschaffen sich die Agrobakterien einen exklusiven Zugang zu den Photosynthese-Leistungen der Pflanze. «Lediglich untereinander», merkt Schröder an, «stehen sie dabei in gewisser Weise in Konkurrenz. Denn es gibt mehrere Sorten von Opinen, zum Beispiel die Octopin- und die Nopal-Familie. Und entsprechend gibt es auch zwei Gruppen von Agrobakterien, die sich gegenseitig ausschliessen: Die eine regt nur Octopin-, nicht aber Nopal-Synthese an und kann auch nur Octopin verwerten, und für die andere gilt umgekehrt das gleiche».

Die Gene, die für das Tumorstoffwachstum und die Opin-Synthese in den Pflanzenzellen verantwortlich zeichnen, machen nur einen Teil der gesamten Information aus, die auf dem Ti-Plasmid niedergelegt ist. Denn daneben finden sich noch Gene, die im Bedarfsfall in den Agrobakterien selbst aktiv werden und beispielsweise deren Stoffwechsel – der ja zunächst auf das Leben im Erdboden abgestellt ist – auf die Verwertung von Opin-Nahrung umschalten.

Gene voneinander unabhängig

Wichtiger, jedenfalls mit Blick auf die mögliche Nutzung der Ti-Plasmide als Vehikel für Wunsch-Gene, ist die weitere Tatsache, dass die Gene für Tumorstoffwachstum und Opin-Synthese unabhängig voneinander in der Pflanze aktiv werden. Das ist deshalb bedeutsam, weil aus einer pflanzlichen Tumorzelle immer nur ein unorganisierter Zellhaufen hervorst wächst, aus dem sich nach bisherigen Erfahrungen keine normale, fortpflanzungsfähige Pflanze regenerieren lässt – im Unterschied zu normalen Zellen, die man durch eine ausgeklügelte «Diät» von Pflanzenhormonen dazu bringen kann, Wurzeln und Sprosse zu bilden.

Nun lässt sich ein gezielter Gen-Transfer mit Hilfe des Ti-Plasmids am besten an Einzelzellen durchführen. Und man muss also, wenn das Ganze wirklich praktischen Nutzen bringen soll, diese manipulierten Zellen hinterher wieder zu voll funktionsfähigen Pflanzen regenerieren – was jedoch nur dann möglich ist, wenn mit der Einschleusung des gewünschten Gens nicht notwendig auch die Auslösung des Tumorstoffwachstums in Kauf genommen werden muss. Dass das eine tatsächlich ohne das andere geht, dafür existiert am Kölner Institut der lebende Beweis in Gestalt einer sogenannten «*Octopin-Pflanze*». Genau gesagt, handelt es sich dabei um eine *octopin-produzierende Tabakpflanze*. Man kam dazu durch den Einbau eines zusätzlichen, grösseren DNS-Abschnitts – und zwar eines sogenannten *Transposons* – in ein Ti-Plasmid, das dann wieder einem Bakterium einverleibt und zur Transformation einer Tabakpflanze herangezogen wurde. Unter den zahlreichen unorganisierten wuchernden Nachkommen dieser Tumorzelle fand man einige wenige, die Wurzeln bildeten und sich zu vollständigen Pflanzen regenerieren liessen – zu Tabakpflanzen, die einerseits ganz normal fruchtbar waren, die andererseits aber in jeder ihrer Zellen nachweislich Octopin bildeten und diese Fähigkeit an ihre Nachkommen weitervererbten:

Derzeit wächst bereits die vierte Generation dieser nach wie vor Octopin synthetisierenden Tabakstauden heran.

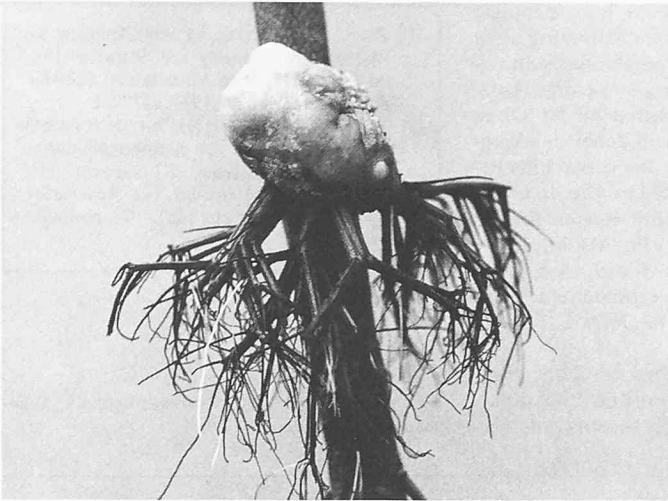
Tumor-Gene verdrängt

Nun kann ein Transposon im Zug der *Gen-Verdoppelung*, wie sie mit jeder Zellteilung einhergeht, an immer anderen Orten im Genom – das heisst hier in der Plasmid-DNS – der Tochterzellen zu sitzen kommen; man spricht daher auch von «*springenden Genen*». Es erscheint denkbar, ist jedoch noch keineswegs sicher, dass es durch einen solchen versuchten Ortswechsel den «Rauschmiss» der Tumor-Gene herbeigeführt hat und dabei selbst verloren ging. «Wir kennen die genaue Ursache noch nicht», meint Schröder, «es steht bislang lediglich fest, dass eine Pflanzenzelle die tumorauslösende DNS des Ti-Plasmids auf irgendeine Weise loswerden kann, während gleichzeitig das andere, octopin-induzierende Gen erhalten und aktiv bleibt.»

Grundsätzlich, das zeigt dieses Schlüsselexperiment, ist es also möglich, ein funktionierendes Gen via Ti-Plasmid in eine Pflanzenzelle zu tragen, ohne dass unvermeidlich auch Tumorstoffwachstum entsteht. Die weitere wesentliche Frage, ob sich dasselbe mit einem anderen als dem Octopin-Gen bewerkstelligen lässt, darf ebenfalls als beantwortet gelten: Es ist in verschiedenen Labors bereits gelungen, etwa die Gene für *Hämoglobin* (roten Blutfarbstoff) oder *Interferon* auf Ti-Plasmide zu laden und über Agrobakterien stabil in die DNS von Pflanzen zu integrieren. Man habe sich, wie Schröder betont, davon keineswegs «Monster-Pflanzen» versprochen, die Hämoglobin oder Interferon produzieren. «Es ging vielmehr um den Nachweis, dass sich im Prinzip jedes beliebige Gen mittels Agrobakterien in Pflanzenzellen einschleusen lässt. Dafür boten sich die wenigen bisher isolierten Gene aus Säugerzellen an, da deren DNS-Ketten bekannt sind und sich deshalb in der Pflanzen-DNS nachweisen lassen.»

«Nützliche Gene» gesucht

Gerade darin, dass man noch keine pflanzlichen Gene an der Hand hat, die man sinnvoll in Pflanzen einbauen könnte, liegt eines der Hauptprobleme, das die Kölner Pflanzen genetiker verfolgen. Man denkt dabei vor allem an zwei *Nutzanwendungen*: erstens an die *Übertragung von Resistenzeigenschaften* – also der Fähigkeit, Krankheitserregern zu widerstehen – und zweitens darin, die *Nahrungsproteine von Kulturpflanzen besser an den menschlichen Bedarf anzupassen*. Der Sinn der ersten Massnahme liegt auf der Hand, da zwischen fünf und fünfzehn Prozent des Weltertrags an Nutzpflanzen durch *Pilze und andere Krankheitserreger* verlorengehen. Gelänge es, Resistenz-Gene von einer Pflanzenart gezielt auf eine andere zu übertragen, würde das nicht nur den Ertrag steigern, sondern zudem den Einsatz von Giften reduzieren helfen.



Ein durch Agrobakterien ausgelöster Tumor am Stamm einer Kalanchoe, der bevorzugten Experimentierpflanze der Wissenschaftler am Kölner Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung. Die natürliche Neigung der Pflanze, auch am Stamm Wurzeln zu bilden, wurde durch das Tumorstadium offenbar stark gefördert



In einer «Impfkammer» werden kleine Pflanzen oder Sprosssteile, die in Gläsern auf Nährmedien gezüchtet werden, mit Agrobakterien infiziert. Anders als im Gewächshaus wird hier unter sterilen, kontrollierten Bedingungen gearbeitet und ein Befall der Versuchspflanzen durch andere Mikroorganismen verhindert

Das zweite Ziel ergibt sich aus der Tatsache, dass Pflanzen ihre *Speicherproteine* zunächst für ihren eigenen Gebrauch bilden, und das deshalb die *Zusammensetzung dieser Proteine nicht immer ideal für die menschliche Ernährung* ist. So enthalten beispielsweise Mais-Proteine zu wenig Lysin und Methionin, beides sogenannte essentielle Aminosäuren, die der Mensch nicht selbst synthetisieren kann und deshalb mit der Nahrung aufnehmen muss: Ist er, wie etwa in südamerikanischen Ländern, auf Mais als Hauptnahrungsmittel angewiesen, dann drohen ihm *Mangelkrankheiten*.

Die Identifizierung und Isolierung der entsprechenden Gene ist allerdings nur ein Problem auf dem Weg zu resistenten oder er-

nährungsphysiologisch wertvolleren Nutzpflanzen. Es kommt dann immer noch darauf an, dass durch den gezielten Transfer solcher Gene nicht das natürliche physiologische Gleichgewicht der Empfängerpflanze gestört wird. So bringt es nichts, wenn eine manipulierte Pflanze nun im menschlichen Sinne besonders hochwertige Proteine bildet, selbst aber mit diesen Proteinen nichts mehr anfangen kann und ihrerseits «verhungert».

Keine Gefahr von «Monstern»

Insofern gelten Bedenken, die sich aus der künftigen Anwendung von Agrobakterien

zur genetischen Manipulation von Pflanzen ergeben, nicht der Schaffung von Monster-Pflanzen, sondern vielmehr der Frage, ob dabei überhaupt eine *lebens- und konkurrenzfähige Pflanze* herauskommt. Und was die Natürlichkeit der Methode angeht, meint Schröder: «Seit der Mensch Ackerbau und Viehzucht betreibt, betreibt er auch indirekt Gen-Manipulation, und weder Kulturpflanzen noch Haustier sind natürlich im echten Sinn. Der direkte Weg der Gen-Manipulation mit Hilfe des natürlichen Werkzeugs der Agrobakterien ist an sich nichts anderes als die Fortsetzung einer jahrtausendealten Tätigkeit des Menschen mit einem neuen, wirksameren Mittel.»

Walter Frese München

Energienachrichten

Aktive Nutzung der Sonnenenergie in Burgdorf

Ergebnisse einer Studie für Wärmegrossverbraucher

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der *Abteilung Maschinentechnik der Ingenieurschule Burgdorf* wurden durch eine *Umfrage bei den Wärmegrossverbrauchern der Stadt Burgdorf* der Warmwasserbedarf für sanitäre, gewerbliche und industrielle Zwecke, einige Daten zur Raumheizung sowie die Lage (Neigungswinkel, Orientierung) und die Grösse zur Anbringung von Flachkollektoren geeigneter Gebäudeoberflächen erfasst. Die Umfrage wurde von 75% der Befragten beantwortet. Die Möglichkeiten einer aktiven Nutzung der Sonnenenergie konnten aufgrund der Umfrageergebnisse für 56 Gebäude untersucht werden.

Die Auswertung der Umfrageergebnisse erfolgte mit einem auf den Grundlagen von [1] und [2] aufgebauten Computerprogramm für einfache Solaranlagen mit ein- oder zweifach verglasten Flachkollektoren. Neben dem möglichen Beitrag der Sonnenenergie

an die Energieversorgung der Wärmegrossverbraucher Burgdorfs wurden die Fragen nach den dafür zu erwartenden Investitionskosten und der sich daraus unter Einbezug der Betriebs- und Unterhaltskosten ergebenden Preise der Sonnenenergie für jedes befragte Objekt geklärt. Den Teilnehmern der Umfrage wurden die Ergebnisse für ihre Gebäude einzeln bekanntgegeben.

Durch einfache Solaranlagen mit angemessenen Absorberflächen ein- oder zweifach verglaster Flachkollektoren könnten 52,1% (oder 4 380 000 MJ/a) des gesamten Jahresenergiebedarfs zur *Warmwasserbereitung für sanitäre Zwecke* von 8 410 000 MJ/a gedeckt werden. Zur Beurteilung dieses Ergebnisses im Rahmen der Gesamtenergieversorgung ist allerdings zu berücksichtigen, dass die solare Nutzwärme von 4 380 000 MJ/a zu rund 70% im Sommerhalbjahr anfallen würde. Infolge der aus Kostengründen knappen

Bemessung der Absorberflächen und den im allgemeinen hohen Temperaturniveaus der vorhandenen Heizungen vermöchte die solare Überschusswärme nur noch einen sehr geringen Beitrag zur Raumheizung zu erbringen: Mit total 259 000 MJ/a könnten lediglich 0,15% des Gesamtheizenergiebedarfs von 175 000 000 MJ/a gedeckt werden. Mit preislich vertretbaren Lösungen liesse sich dieser Anteil kaum wesentlich erhöhen.

Die gesamte solare Jahresnutzwärme zur *Warmwasserbereitung für gewerbliche und industrielle Zwecke* und zur Bereitstellung von *Prozesswärme bis 100 °C* könnte mit 3 230 000 MJ/a 32,8% des gesamten Jahreswärmebedarfs von 9 840 000 MJ/a erreichen.

Die erwähnten Anteile der Sonnenenergie liessen sich durch eine Vergrösserung der Absorberflächen und der Speichervolumina zwar noch erhöhen. Dies wäre aber mit einer erheblichen Verteuerung der Sonnenenergie verbunden. Die Prozesswärmebedürfnisse bei Temperaturen über 100 °C sind mit den der Studie zugrunde gelegten gewöhnlichen Flachkollektoren nicht zu decken.