



Teil und Ganzes

Brigitte Burgmer, 2015
Fayencerelief mit Bildtafel
45,7 x 18,2 x 6,8 cm

Teil und Ganzes

Aus dem Schrecken und Staunen über die wuchernden „Super-Unkräuter“ in Monokulturen entstand diese Fayence über gentechnisch manipulierte Pflanzen in ihrem Lebensraum. Die Protagonisten des Bildprogramms sind nach ästhetischen und biologischen Gesichtspunkten ausgewählt und gleichberechtigt groß dargestellt. Um ihre Bedeutung zu verstehen, enthalten die Geschichten zu den Pflanzen, Tieren und Menschen genetische, gentechnische, toxikologische, agrarische, bodenbiologische und wirtschaftspolitische Aspekte.

Denn ein erklärtes Ziel führender Weltkonzerne der Agrarindustrie ist eine noch effizientere, virtuell gesteuerte „Präzisions-Landwirtschaft“ auf riesigen Monokulturen mit noch größeren Erträgen zur Gewinnmaximierung. Zum Einsatz kommen Hochgeschwindigkeits-Sequenzierer für die markergestützte Selektion beim Smart Breeding, Gentechnik in Hightech-Laboren und -Treibhäusern, GPS-gesteuerte Maschinenungeheuer für das Ausbringen von Saat, Dünger und Pestiziden und sensorgesteuerte Mähdeschautomaten.

Die wichtigsten Genpflanzen wurden zur Marktzulassung in der EU angemeldet, durch das transatlantische Freihandelsabkommen TTIP sollen sie auf dem europäischen Markt etabliert werden, trotz der nachgewiesenen Schäden.

Der technologische Umgang mit Natur ist – in Anlehnung an den Philosophen Wolfgang Welsch – ein „riesiges Ermächtigungsunternehmen“, doch Normierung, Rationalisierung, Patentierung und Monopolisierung vertragen sich nicht mit dem Naturgenzen.

I. ANGRIFF, INVASION UND VERTEIDIGUNG

Ausgehend vom Phänomen der „Super-Unkräuter“ in Monokulturen geht es um Herstellung und Gebrauch gentechnisch manipulierter Giftpflanzen und Pestizide im Dienste der Agrarindustrie. Durch diese Eingriffe in die Natur sind gewollt-ungewollt Schäden an Pflanzen und Tieren entstanden wie Biodiversitätsverlust und Bodenverarmung in Ökosystemen oder irreversibler Genfluss. Die Klärung der Frage, wodurch resistente Beikräuter so erfolgreich sind, führte in konformer Steigerungslogik bisher zur weiteren „Optimierung“ der Genpflanzen und Gifte.

II. HELFER, ERFINDER UND VERWERTER

Gefäßpflanzen haben vor Millionen Jahren in Kommunikation und Zusammenarbeit mit Bakterien oder Pilzen Abwehrstrategien gegen Schädiger entwickelt; darüber hinaus erfanden sie gemeinsam Symbioseformen, um für ihren Stoffwechsel Stoffe zu wechseln, vor allem Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff und Mikronährstoffe. Erfindungsreiche Kleintiere halten den „Stoffwechsel“ des fruchtbaren Bodens im Lot, indem sie alles Verwertbare zersetzen, fressen und für andere Verwertbares ausscheiden; durch Humifizierung und Lebendverbauung schaffen und erhalten sie ein lebendiges Bodenleben, das vom Botaniker Raoul H. Francé beschriebene Edaphon.

I. ANGRIFF, INVASION UND VERTEIDIGUNG

Pestmanagement

2013 wurden laut statistischem Jahrbuch der Welternährungsorganisation FAO in 27 Ländern auf geschätzten 150 Millionen ha Land gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angebaut, etwa 90% der 18 Millionen Landwirte leben in den Entwicklungsländern. Monsanto machte 1996 als Erstes Soja resistent gegen „Roundup“, dadurch konnten die Farmer bei RR-Soja („Roundup-Ready“-Soja) das Unkraut-Gift ungehemmt spritzen. Dementsprechend führte der Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVO) in den USA 1996-2011 zu einem Mehraufwand von insgesamt 239 Millionen Kilogramm Herbiziden.¹ (S. 14)

Doch 2012 berichtete U.S. News im Internet, dass Farmer zunehmend von herbizidresistenten „Super-Unkräutern“ geplagt würden, was ein Foto demonstrierte. Die obere Hälfte dieses Fotos ist in Fayence auf das plastische Männergesicht gemalt.

Der Kommentar erläuterte, dass Kurt J. Hembree über die Folgen des herbizidresistenten Kanadischen Berufskrauts vor ihm spreche und dass Wissenschaftler nach Auswegen für die Farmer suchten.²



Hembree stellt sich im Internet als Unkraut-Manager vor, der Farmer berät und merkt an, dass er 2005 an der Entdeckung des Glyphosat-resistenten *conyza canadensis* beteiligt war; es wurde von Florida bis Iowa in Plantagen von Alfalfa, Mais, Baumwolle, Soja, Reis und Weizen gefunden. Ein Sechstel des Ackerlandes ist betroffen, das sind 28 Millionen ha Land.

„Was passiert, wenn Unkraut-Killer nicht mehr killen?“

fragte im September 2013 der Autor R. F. Service in seinem Artikel in „Science“ über die dramatischen Folgen.³ Mitte 2014 registrierte die Datenbank www.weedscience.org in 65 Ländern 432 Resistenztypen bei 235 Unkräutern auf Feldern mit 82 verschiedenen Nutzpflanzen. In den USA gibt es 145 Typen von Herbizid-Resistenz bei Unkräutern, in Deutschland 32 incl. Klatschmohn und Kamille.¹ (S. 7 + 25) Inzwischen sind alle wichtigen Nutzpflanzen gentechnisch gegen verschiedene Pestizide gewappnet, damit nur die „wirtschaftlich bedrohlichen“ Zielorganismen ausgerottet werden. Aber durch Mehrfachresistenzen der Unkräuter startete schon vor Jahren ein Rüstungswettlauf zwischen Natur und „Grüner Gentechnik“. Die Farmer spritzten mehr, griffen zu aggressiveren Herbiziden wie Dicamba mit dem Bestandteil 2,4 D – ähnliche Stoffe entlaubten ganze Waldgebiete im Vietnamkrieg – und sie hoffen auf Wundermittel: „But there isn't.“³ Oder sie geben die Plantagen auf. Neben Berater Hembree steht ein einsamer **Baumwollzweig** mit weißen Samenbalen.

Life Sciences – lethal

Mehr als 700.000 Tonnen Pestizide produzieren vor allem Monsanto, Syngenta und Bayer Crop Science pro Jahr. Das am häufigsten verwendete Unkrautvernichtungsmittel Roundup wird über die Blattoberflächen aufgenommen und verteilt sich systemisch in den Unkrautpflanzen; es soll in den Chloroplasten das EPSPS-Enzym hemmen, was zum Abbruch der lebenswichtigen Proteinsynthese führt; darüber hinaus blockiert es über den Shikimat-Stoffwechselweg auch die Bildung von Vitaminen, sekundären Inhaltsstoffen, zellwandstützendem Lignin und Phytoalexinen gegen Pilze. Letztlich sollen die Unkräuter verhungern, welken und absterben.

Aber auch die RoundupReady-Pflanzen werden durch Roundup geschädigt, denn Zusatzstoffe wie POE-Tallowamine sind sehr giftig. Der Hauptwirkstoff Glyphosat und sein Abbauprodukt AMPA beeinträchtigen den Shikimatstoffwechselweg, sie reduzieren die Photosynthese, den Gehalt an Mikronährstoffen und die Biomasse, weil ein Großteil des Giftes in Wurzeln, Blüten und Samen der GVO gelangt.⁴ (S. 4/5)

Glyphosat kann auch die Pollen schädigen, etwa ihre Lebensdauer verkürzen. Die **Baumwollpollen** rechts und links neben der Sojabohne zeigen Deformationen durch die Anreicherung von Glyphosat in den Reproduktions-Organen; die reduzierte Fruchtbarkeit erklärt möglicherweise auch den vermehrten Abwurf der Samenkapseln von Baumwolle, von dem berichtet wird.⁵

Grenzwertige Biotechnologie

In den Ecken der Bildtafel sind nach einer Raster-Elektronenaufnahme **Fungizid-Kristalle** von Blättern dicker Bohnen dargestellt, ein Gift gegen Pilzkrankungen. Wer gar keine Pestizide verwendet, muss trotzdem haften: Rätselhaft waren die Spuren von Pendimethalin- und Prosulfocarb im Fenchel von einem Biohof mitten im Brandenburger Unesco-Biosphärenreservat, wo generell nicht gespritzt wird. Erst offizielle Analysen zeigten, dass die Wirkstoffe – durch hohen Dampfdruck mit der Luft vermischt – kilometerweit abgedriftet waren; deshalb war Stefan Palmes Biofenchel unverkäuflich. Mit dieser Haftungsregelung wird das Verursacherprinzip auf den Kopf gestellt.⁶

Obwohl sie umstritten sind, sollen die Grenzwerte von Fungiziden, Herbiziden und Insektiziden in der EU lediglich gesenkt werden. Glyphosat wird 2015 in Deutschland für weitere 10 Jahre neu bewertet, und obwohl die versprühten Mengen laut Bundesinstitut für Risikobewertung ein Problem sind, plädiert das Amt trotz geltendem Vorsorgeprinzip für eine Erhöhung der Grenzwerte. Möglicherweise sind aber gerade die niedrigsten Dosen, die jetzt erst gemessen werden können, und die allmähliche Anreicherung von Gift im Körper besonders wirksam. Bei 182 Probestests bei Stadtbewohnern aus 18 Ländern durch den BUND waren in Deutschland bei 70 % Glyphosat-Rückstände im Urin.⁷ Man fand es auch im Blut schwangerer Frauen und in der Muttermilch.

Studien haben gezeigt, dass Herbizide als endokrine Disruptoren den Hormonstoffwechsel bei Amphibien und Menschen stören, dass sie möglicherweise Schäden an Erbgut, Leber, Nervensystem oder Krebs verursachen, jedoch können Industrie-Studien nicht überprüft werden, denn sie bleiben unter Verschluss. Kritische Forschung wird unterdrückt oder diffamiert wie die alarmierenden Ergebnisse des französischen Toxikologen Gilles-Éric Séralini, der als einziger jahrelang den Giftcocktail „Roundup“ erforscht hat und nicht, wie üblich, den Bestandteil Glyphosat. Eine Krebsstudie der IARC, einer Vereinigung unter dem Dach der Weltgesundheitsorganisation, bezeichnete der oberste Techniker von Monsanto Robb Fraley als „junk science“.⁸

Warum geht es dem Amaranth so gut?

Das war mein erster Gedanke bei einem TV-Bericht über die Superunkräuter Fuchsschwanz und Berufskraut, die amerikanische Monokulturen überwuchern; weltweit wird seit Jahren nach den Ursachen geforscht. Wissenschaftler wie Xia Ge und Robert Douglas Sammons von Monsanto fanden heraus, wie das verbreitete Unkraut *Coryza canadensis* Glyphosat überlebt: Im **Kanadischen Berufskraut** kommt das Gift durch einen Tonoplast-Transporter in Zell-Vakuolen, denn diese „Isolierhaft“ schützt das *EPSPS*-Enzym in den Chloroplasten vor dem Gift. Das Herbizid verbleibt in den Vakuolen als „Endlager“ oder wird aus dem Langzeitdepot langsam in verträglichen Dosen entlassen. Die Forscher vermuten, dass dieser Gift-Transporter genetisch stärker exprimiert bzw. hochreguliert wird.⁹ Wie die von Monsanto unterstützten Forschungen von Todd A. Gaines an dem bis zu zweieinhalb Meter hoch schießenden *Amaranthus palmeri* zeigten, enthalten resistente Pflanzen 5-160 fache Kopien des *EPSPS*-Gens in jedem Chromosom; damit ist auch bei dem **Fuchsschwanzgewächs** der lebensnotwendige Shikimat-Stoffwechsel gesichert, die *EPSPS*-Genvermehrung wird sogar vererbt. Möglicherweise wird die große Vermehrung herbeigeführt durch mobile genetische Elemente, durch einen Transposon- oder RNA-vermittelten Mechanismus.¹⁰ Mit den mobilen Elementen aktiviert der Amaranth gegen das Gift wohl ein altes epigenetisches Werkzeug.

Pollen und Samen im freien Fall

Auf der Stirn des plastischen Kopfes sind die Hälften einer Sojaschote gemalt: 2001 stammten in Amerika nur noch 10% des Soja-Saatgutes aus eigener Ernte, denn die US-Konzerne Monsanto und Dupont sowie Syngenta in der Schweiz haben bei konventionellem und gentechnisch verändertem Saatgut weltweit einen Marktanteil von 53%; Monsanto besitzt durch eigene Hochgeschwindigkeits-Sequenzierung und aufgekaufte Züchterfirmen eine der größten Saat-Genbanken der Welt.¹¹



Neben der Sojaschote sind die **Pollen** der häufigsten GVOs Mais, Reis, Raps sowie Pollen von Pappeln und Amaranth gemalt, auf der Bildtafel sieht man Raps- und Amaranth-Samen – ein einziger Amaranth hat 600.000 Samen – und im kleinen Bild sinken **Samen** vom Kanadischen Berufskraut an Fallschirmen zu Boden.

Genpflanzen befruchten natürlicherweise auch Kultur- oder Wildpflanzen, bei Einkreuzung in andere Genpflanzen addieren sich die Genkonstrukte – mit unkalkulierbaren Effekten. Der Ökologie-Genetiker Norm Ellstrand von der University of California sah voraus, wie James Kling im Oktober 1996 in „Science“ berichtete, dass Auskreuzungen von transgenen Pflanzen in Wildpopulationen neue Unkräuter erzeugen werden. Er prognostizierte eine ökologische Katastrophe in 10 Jahren, während die Vertreter der Agrikultur zwar *Genfluss* für möglich, aber Superunkräuter für hypothetisch hielten. Autor Kling verwies auf Freiland-Experimente, die Gentransfer bewiesen: die gentechnisch erzeugte Herbizid-Resistenz von Raps etablierte sich in seinen wilden Verwandten *Brassica campestris*, denn Rapspollen fliegen weiter als 20 km, und dieser Ackersenf hatte sehr fruchtbare Pollen. James Kling umriss vor 19 Jahren die ganze Problematik von Biodiversitätsverlust, Regulierungsbedarf sowie Verantwortung der Hersteller und fragte: „Could Transgenic Supercrops One Day Breed Superweeds?“. Ein Foto zum Artikel zeigt die transgene Kürbissorte namens „Freedom2“.¹²

Freiheit 2.0: Experimente ohne Auftrag und Erlaubnis

Samen gehen mit Wind und Wasser auf Reisen, sie werden von Tier und Mensch verschleppt oder gehen beim Ernten, Verarbeiten und Verkaufen vor Ort und auf internationalen Handelswegen verloren; die einen Samen sind schnell unfruchtbar, andere sind besonders langlebig, sollten sie in den Schlafmodus überwechseln.

Transgene Samen sind für biologischen Landbau schädlicher als gewöhnliche Beikräuter. So verklagte der Biobauer Stephen Marsh im Dorf Kojonup in Western Australia, wo seit 2010 transgener Raps erlaubt ist, seinen Nachbarn Michael Baxter, der zu Genraps übergegangen war. „Noch nie hat ein Biobauer gegen einen Genbauern geklagt“, schreibt Der Spiegel 2015 in seinem Bericht. Marsh verklagte seinen ehemals besten Freund, weil 70% seines Betriebes das Biosiegel verloren, seit seine Felder durch dessen Saatgut kontaminiert sind. Seine Klage wurde 2014 zurück gewiesen, außerdem sollte er 600.000 Euro Prozesskosten zahlen, aber Marsh erwirkte die Offenlegung von Baxters finanzieller Unterstützung durch Monsanto und legte Berufung ein. Der Oberste Gerichtshof wird diesen Präzedenzfall entscheiden.¹³

Dagegen verklagte Monsanto bis 2005 mehr als 100 Landwirte wegen Patentrechts-Verletzungen, weil Firmen-Detektive Genpflanzen entdeckten, die Farmer nicht gesät hatten. In Amerika müssen die Beklagten den Gegenbeweis antreten.⁷ (S. 28)

Lokal denken – global handeln

Ein Gärtner wusste früher, dass Teile seiner Ernte verloren gehen durch Unbill des Wetters und Schädlinge. So sind die Wurzeln der Maispflanze das Futter der Larve des **Maiswurzelbohrers** *Diabrotica virgifera*, die auf der Bildtafel im Erdreich gemalt ist; sie wird bei der großen Pflanze ein regelrechtes Röhrensystem in das Wurzelwerk fressen. Die verringerte Wasser- und Nahrungsaufnahme verzögert das Wachstum, verhindert die Samenbildung oder lässt die Maispflanze ganz verkümmern. Nach der Verpuppung der Larven im Boden schlüpfen die Käfer im nächsten Sommer aus und paaren sich. Im Bild sieht man ein Weibchen links neben der Maispflanze bei der Ablage der Eier im Boden, wo sie überwintern. Etwa 500 Eier legt ein Weibchen in 60 Tagen.

In den USA und Kanada ist der Käfer seit den 1950-er Jahren verbreitet. Der Schädling wurde wohl mit Hilfsgütern in einem US-Kampffjet nach Ex-Jugoslawien geflogen, denn 1992 entdeckte man ihn nahe dem Belgrader Flughafen, 10 Jahre später beim Pariser und Amsterdamer Flughafen und 2010 landete er in Köln-Wahn. Dort wurde sofort reagiert mit Chemikalien, mit temporärem Verbot von Mais-Anbau und Sicherheitszonen. Das Braunschweiger Julius-Kühn-Institut befürchtete im Falle seiner Ausbreitung auf den 1,8 Millionen ha Maisfeldern in Deutschland bis zu 25 Millionen Euro Schaden.¹⁴



Die Amerikaner nennen den Schädling „Eine-Milliarde-Dollar-Käfer“. In Europa, Nord-Afrika, Amerika, Kanada, Westasien und Zentralasien ist der **Maiszünsler** *Ostrinia nubilalis* verbreitet, dessen Raupen Mais, Hirse und Hanf schädigen. Mehrere Hundert Eier legt das Weibchen dieses Nachtfalters auf die Blattunterseite oder in Blattachseln, die jungen Raupen fressen sich dann durch die Stängel, bis die geschwächten Pflanzen abknicken. Eine Raupe knabbert auf der Bildtafel am Stängel der jungen Maispflanze.

Vom Krebs zur Genfährde

Als Fortschritt im Kampf gegen Insektenplagen auf Monokulturen galt 1996 das Konzept, Nutzpflanzen ein Insektizid selbst produzieren zu lassen, – Vorbild waren Stämme von *Agrobacterium tumefaciens*, die mit einzigartigen Plasmiden Tumoren für ihre Ernährung hervorrufen.

Plasmide sind in Bakterien und Archäen doppelsträngige, meist ringförmige DNA-Moleküle außerhalb der Chromosomen-DNA, die ihr eigenes Erbgut selbstständig vermehren können. Werden verwundete Pflanzenwurzeln von den Tumor-induzierenden Ti-Plasmiden des Agrobakteriums infiziert, bilden sich krebsartige Wucherungen. Zwei Wurzeln mit derartigen **Wurzelhalsgallen** sind unter den Fungizid-Kristallen dargestellt. *A. tumefaciens* schleust virulente Teile aus seinem Ti-Plasmid, die T-DNA, in eine Pflanzenzelle ein, dieses DNA-Fragment wird zum Zellkern transportiert, dort irgendwo eingebaut, vermehrt und vererbt sich dann. Hier kommt es zur Rekombination zwischen einer Bakterien-DNA und der DNA einer höheren Pflanzenzelle (Eukaryonten), wobei die Bakteriengene überraschenderweise eine typisch eukaryontische Struktur haben. Die transformierten Pflanzenzellen versorgen fortan das Bakterium mit Stoffwechsel-Produkten wie Hormonen und außergewöhnlichen, stickstoffreichen Opinen, die weder für den Wirt noch kaum jemand sonst verdaulich sind.¹⁵ Dieses raffinierte pathologische Tumor-Gen haben Gentechniker zur Genfährde umfunktioniert.

Eingeschleustes Gift

Werden diese Tumor-erzeugenden Gene deaktiviert, durch erwünschte Gene ersetzt und diese in Pflanzen transferiert, entstehen neue Eigenschaften wie die Produktion eines Toxins. Das passende Gift fand man im *Bacillus thuringiensis*; es ist auf der Bildtafel unter den Maiswurzeln in S/W dargestellt. Natürlicherweise schützt das **Bodenbakterium** die Wurzeln einkeimblättriger Pflanzen wie Mais, Soja oder Kartoffeln mit einer der 200 möglichen Giftvarianten vor Insekten. Bei ungünstigen Bedingungen bildet *B. thuringiensis* Sporen und synthetisiert große Mengen des giftigen Bt-Proteins, entweder unregelmäßig geformt oder in rautenförmigen Kristallen wie die gemalten.

Seit 1938 werden gelöste Bt-Toxine in der Forstwirtschaft und im ökologischen Landbau gespritzt, aber mit der Gen-Fährde *A. tumefaciens* wurde die Giftproduktion der Maispflanze einverleibt: In seinem Plasmid werden die Tumorgene der T-DNA deaktiviert und an seine Stelle die Bt-Gene von *B. thuringiensis* eingebaut; danach wird das rekombinierte Helfer-Plasmid incl. der Virulenzgene zurück in *A. tumefaciens* transferiert. Sind die Maiszellen infiziert, integriert sich die T-DNA mit dem Bt-Gen in das Pflanzengenom und wird sogar vererbt – der Mais produziert nun sein eigenes Insektengift.¹⁶ Wenn eine Maiszünsler-Larve dann an der Maispflanze frisst, heften sich die Bt-Proteine an seine Darmwand und zerstören die Darmzellen; das Gift tötet die Schmetterlingslarve und Tiere, welche die vergifteten Larven fressen.

Zehn verschiedene Bt-Toxine sind in der EU bei Genpflanzen zugelassen. Dank Gentransfer ist der „Smartstax“-Mais tolerant gegen vier Herbizide und produziert sechs verschiedene Insektizide. Christoph Then verweist in seinem Report „Vorsicht „Giftmischer““ auf die synergetischen Effekte: „In Kombination ist die Giftigkeit der Toxine höher als ihre additive Wirkung. Die Wirkung der kombinierten Toxine lässt sich also nicht aus der Giftwirkung der einzelnen Proteine abzuleiten.“ Berücksichtige man die Wechselwirkungen mit anderen GVO und der Umwelt, könne es zu „kumulativen langfristigen Auswirkungen“ kommen, die gemäß einem Grundsatz der EU analysiert werden müssten.¹⁷

Kanone und Schießpulver, Nadel und Schere

Für zweikeimblättrige Pflanzen erfanden Wissenschaftler andere Gentransfermethoden. John C. Sanford von der Cornell University erfand 1987 eine Genkanone, um DNA-Fragmente mit Schießpulver und Wolframpartikeln mit mehr als 1.300 m/sec in Zellen zu schießen. Diese kriegerische Technik führte zu Kollateralschäden oder schwer vorhersehbaren Resultaten. Alternativ wurde die Zellwand zum Einbringen der DNA perforiert oder die gewünschte DNA mit der Mikropipette direkt in die Zelle injiziert.

Um die „Dinosaurier-Methode Monsanto“ obsolet zu machen, werden bei der *Cisgenetik* nur Gene von kreuzbaren Pflanzen eingeschleust, allerdings sind durch den Gentransfer mit T-DNA noch *Border-Sequenzen* von *A. tumefaciens* vorhanden.

Beim *Genome-Engineering* auf molekularer Ebene kommen für Reparatur oder Austausch einzelner Genom-Abschnitte die Scheren *Crispr/Cas9* oder TALENs zum Einsatz: Gene werden stumm geschaltet oder artgleiche Gene nach dem Baukastenprinzip eingebaut und ausgetauscht. Bei dieser „risikolosen“ Präzisionstechnik fände man selbst molekulargenetisch später keine Unterschiede zu natürlichen Kulturpflanzen, heißt es. Ob es sich hier um GVO-Pflanzen handelt, wird kontrovers in der EU debattiert.¹⁸

Aber es fehlen langfristige Erkenntnisse, ob diese Pflanzen mit *epigenetischen* Überraschungen wie die Superunkräuter aufwarten, denn das uralte genetische Gedächtnis ist hoch komplex, das Einschleusen einzelner Fremdgene hingegen ein partikulares Konzept, das auf der Annahme beruht, es gäbe Punkte im Erbgut wie in der Mathematik. „Punktmutationen“ sind in ihren Auswirkungen auf den Organismus nicht begrenzt.

Little is known

„Der Mechanismus der Resistenzbildung ist wissenschaftlich noch **unzureichend geklärt.**“ (Wikipedia, Grüne Gentechnik) – „The occurrence of the *EPSPS* gene amplification in *A. palmeri* **raises many questions ...**“ (Todd Gaines et. al., PNAS, 19.1.2010) – „It is **not yet known** whether increased *EPSPS* gene copy number is stably transmitted to the next generation of plants.“ (Reiofeli A. Salas, Wiley Online Library 19.7.2012) – „Therefore, **further studies** of AMPA effects on plant physiology **are clearly needed**“ (Marcelo P. Gomes et al., Journal of Experimental Botany, 19.7.2014) – „Some dsRNA molecules can be transmitted through food or other means to other organisms and can have effects on these organisms that are **not yet understood.**“ (Jack A. Heinemann, Biosafety Briefing, TWN, 10-2013) – „Although *Bt* corn is one of the most commonly grown GM crops in the United States, **little is known** about its effects on the long-term health of soils.“ (Richard Hund, EurekAlert! 17.4.2012) – „Es bleibt aber noch **eine ganze Menge Forschungsbedarf**, um die Vorgänge an der Wurzel vollständig zu verstehen ...“ (bofru, Mykorrhiza – faszinierende Lebensgemeinschaft im Boden) – Und was folgt daraus, **wenn man nicht weiß**, dass man nicht weiß?

Das Experiment läuft – weltweit

Aus den *Bt*-Kristallen vom *Bacillus thuringiensis* ist auf dem schwarzen Boden um die Maispflanze ein Rauten-Ornament geworden, so monoton wie **Monokulturen**. Auf eine halbe Million Tonnen schätzte die Welternährungsorganisation FAO 2003 den weltweiten Bestand an Altpestiziden. Noch nie wurden auf Millionen ha Land Pflanzen mit Giftstoffen angebaut, die in der Nahrungskette von Tier und Mensch nicht vorkommen, noch nie wurden über Jahrzehnte so viel Pestizide versprüht.

Nachdem die Hersteller in der Vergangenheit durch Exporte von Pestiziden Milliarden verdient haben, verdienen sie nun an deren Beseitigung. 2005 wurde von der Welternährungsorganisation FAO mit internationalen Organisationen das „Africa Stockpiles Programme“ (ASP) ins Leben gerufen, weil in Afrika über 50.000 Tonnen Altpestizide vor sich hin roten. Das Projekt mit geschätzten 250 Millionen US\$ wurde auf 12–15 Jahre angelegt zur Hilfe in Äthiopien, Mali, Marokko, Nigeria, Südafrika, Tansania, Tunesien, Eritrea und Mosambique. Mangels fachlicher Ausbildung waren die Altpestizide unsachgemäß gebraucht und gelagert worden, inzwischen sind sie unbrauchbar oder verboten, ihre Behälter teilweise leck. Damit sie nicht weiter Böden, Wasser, Luft und Nahrungsquellen kontaminieren, sollen sie aufgelistet und fachgerecht entsorgt werden. Nicht nur Fauna und Flora sind betroffen, die Gesundheit der Bevölkerung ist längst geschädigt – in Tunesien musste in einem Hospital DDT sichergestellt werden.¹⁹

II. HELFER, ERFINDER UND VERWERTER

Willkommene Invasoren

Unter dem *Bacillus thuringiensis* sieht man acht blau leuchtende **Insektenlarven**. Das Leuchten zeigt ihren Tod an, doch die Pflanze und die Nematoden samt Darmbakterien leben weiter. Wird Mais von Insektenlarven attackiert, sendet er die chemische Botschaft (*E-β-carotyphyllene*) an Fadenwürmer wie *Heterorhabditis bacteriophora*; ein



grüner **Fadenwurm** schlängelt sich auf der Bildtafel unter den blauen Larven. Die winzigen Nematoden leben in dünnen Wasserfilmen oder in wassergefüllten Poren in fast allen Böden. Die bisher bekannten 1.500 Arten können schädigen oder nützen, denn die einen Nematoden fressen Bakterien, Pilze oder Pflanzen, die anderen sind Allesfresser oder Räuber und die verzehren Insektenlarven wie *H. bacteriophora*.

Angelockt durch das Mais-Pheromon dringen die Nematoden im Larvenstadium durch Mund und After in die Insektenlarven ein, wo sie ihre symbiotischen **Darmbakterien** *Photorhabdus luminescens* „herauswürgen“. Diese verwandeln sich sofort in pathogene Bakterien, ihre Zahl wächst in 48 Stunden exponentiell auf 10^9 an, während sie Gifte, Enzyme und Antibiotika produzieren. Sie zersetzen damit das ganze Innere der Insektenlarven zu nährlicher Biomasse. Das ist ihre Nahrung und die der juvenilen Nematoden, die sich zu adulten Hermaphroditen entwickeln und mehrere Generationen hervorbringen. Inzwischen hat ein genetischer Schalter durch eine Promoter-Inversion die Bakterien zum Schutz des Partners vom aggressiv-pathogenen zum symbiotischen Modus rückgewandelt. Die schließlich ausbrechende Generation Fadenwürmer mit Eiern im Bauch und Bakterien im Darm beginnen einen neuen Zyklus, zurück bleiben leuchtende Kadaver, denn *P. luminescens* ist das einzige leuchtende Bodenbakterium.²⁰

Medizin gegen Nahrung

Die kleine **Ackerschmalwand** *Arabidopsis* kontert einen Angriff von *Pseudomonas*-Bakterien auf ihre Blätter mit Verteidigern im Boden, sonst würde sie durch Weichfäule geschädigt. Sie schießt Botenstoffe in ihre Wurzeln, die daraufhin Äpfelsäure herstellen als Lockmittel für *Bacillus subtilis*. Die **Heubakterien** schwimmen mit ihren Geißeln zu der nahrhaften Äpfelsäure und legen sich als dünner Film um die Pflanzenwurzeln; von dort dringen sie bis in die Blätter vor und stoppen die Weichfäule mit ihren Antibiotika, sie produzieren auch wachstumsfördernde Phytohormone und stärkende Substanzen; im ökologischen Landbau werden sie schon lange eingesetzt. Am Rand der Tafel unten ist ein Ausschnitt der *Arabidopsis*-Wurzel gemalt und darüber Wolken von roten Pünktchen, die *B. subtilis* darstellen. Normalerweise sind die Bakterien nicht zu sehen, aber Harsh Bais von der Universität von Delaware hat sie für das Nachweisfoto gentechnisch zum Leuchten gebracht.²¹

Vom Parasit zum Partner

Mehr als 80 % der Landpflanzen in allen Habitaten, ob Acker oder Wüste, Steppe oder Tropenwald pflegen seit mindestens 460 Millionen Jahren eine obligate Wurzel-Pilz-Symbiose, – Amaranth verschafft sich Phosphor ohne *Arbuskuläre Mykorrhiza* (AM). Bisher wurden etwa 230 AM-Pilzarten von Spezialisten an den Sporen erkannt, mittels DNA-Barcode werden die Pilzassoziationen in Boden und Wurzeln nun durchforstet und in Datenbanken erfasst. Möglicherweise war der Landgang der Pflanzen erst durch *Arbuskuläre Mykorrhiza* möglich.



Ein **Wurzel-Pilz** wie *Glomus mosseae* widersetzt sich dem Laborexperiment und den Werkzeugen der Gentechnik, er ist nur mit seiner Symbiose-Pflanze zu kultivieren.

Eine Pflanze lockt durch Signale Pilze an und baut „Tunnel“ durch ihre Zellen, um die Pilze in die Wurzelrinde zu leiten. Auf der Fayence scheint *G. Mosseae* als kleiner Baum aus der Wurzel heraus zu wachsen, aber der Pilz bildet ein Netzwerk von baumartigen Hyphen innerhalb der Wurzelzellen als Fortsetzung seines Pilzgeflechts im Boden, zu dem mehrere Pflanzen gehören können. Durch die fein verzweigten Pilzhyphen vergrößert sich die Nährstoff- und Wasseraufnahme: Mehr als 80% des Pflanzen-Phosphors stammen vom AM-Pilz, als Gegenleistung gehen 20% des photosynthetisch fixierten CO₂ an den Pilz. Die Symbiose erhöht die Resistenz der Pflanze, etwa gegen pathogene Nematoden oder Trocken- und Salzstress, sie verschafft der Pflanze Spurenelemente, vermindert die Anreicherung von Schwermetallen, erschließt ihr Wasser aus feinsten Poren und verbessert durch ihr Glomalin die Bodenstruktur.²² Samen werden vor der Aussaat standardmäßig mit AM-Pilzen geimpft, weil Landwirte dann weniger Mineraldünger und Pestizide brauchen.

Mykorrhiza-Pilze können sich jedoch vom Partner zum Parasiten wandeln, wenn das mutualistische Gleichgewicht gestört

ist. Dem entspricht eine evolutionäre Theorie, dass die AM-Symbiose ursprünglich aus dem Pilz-Parasitismus hervorgegangen sei.

Alchimistische Knöllchen

Böden verlieren ständig Stickstoff durch Auswaschung, Erosion und Ernten, vor allem auf Monokulturen; Pflanzen können den elementaren Stickstoff allerdings nicht aus der Luft verstoffwechseln, sie brauchen seine Wandlung zu Nitrat oder Ammonium durch Bodenbakterien. Links neben den Regenwürmern ist das Bakterium *Rhizobium trifolii* gemalt, das Klee mit Stickstoff versorgt; wird der Klee untergepflügt, bekommt der Acker Stickstoff zurück. Als Stellvertreter für alle Arten wurde *Rhizobium* zur „Mikrobe des Jahres 2015“ gekürt. Rechts neben den Erdwürmern sieht man eine rote Hälfte vom **Wurzelknöllchen** *Bradyrhizobium japonicum*, das mit mehr als 112 Gemüsesorten eine Symbiose eingehen kann.

Der Mutualismus der Partner zeigt sich in allen Wechselwirkungen: Die Rhizobia werden durch Wurzel-Flavonoide chemisch angelockt, was sie zur Absonderung von Nod-Faktoren für die Nodulation (Knöllchenbildung) veranlasst. Beim Andocken sind spezifische Lectine der Wurzeloberfläche und Adhäsionsproteine der Bakterien beteiligt. Sobald die Pflanze die Zellwände der Wurzelspitze auflöst, können die Bakterien eindringen und einen Infektionsschlauch bilden, umhüllt von eigenem Schleim und abgegrenzt durch Ausscheidungen der Zellwände. Die sich vergrößern den Bakterien teilen sich und durchwachsen die Wurzel-Zellwände, durch bakterielle Wachstoffs-

teilen sich auch die Rindenzellen der Wurzelhaare und vergrößern ihre Zellkerne. Sobald sie an der Spitze des Infektionsschlauchs freigesetzt werden, wandeln sich die stäbchenförmigen Bakterien in unregelmäßig geformte, teilungsunfähige Bakterioide. Damit endet die parasitische Phase der Infektion und Invasion und der mutualistische Tausch beginnt: Stickstoff vom Bakterium gegen Assimilationsprodukte der Pflanze, immerhin 22% der Photosynthese.

Das innere Rot der Knöllchen entsteht durch *Leghämoglobin*, wobei das Protein *Globin* von der Pflanze stammt und das Pigment *Protohäm* vom Bakterium. Leghämoglobin dient dem Sauerstofftransport und hält zugleich den O₂-Gehalt so niedrig, dass das Stickstoff-fixierende Enzym nicht oxidiert.²³

Bakterien sind keine trivialen Maschinen

Die bis zu 4µm großen **Bodenbakterien** *Azotobacter* leben frei in Wurzelnähe und sind auch auf Blättern zu finden. Die Stickstoff-Fixierer stimulieren das Pflanzenwachstum, fördern die Mineralisation und dienen deshalb zum Impfen von Ackerböden. Am linken Bildrand sind zwei stäbchenförmige Bakterien nach einer Rasterelektronenaufnahme in S/W gemalt.

Bei der Genomanalyse der Art *Azotobacter chroococcum* NCIMB 8003 fand man beim sog. Kern-Genom die erwarteten Gene für das – bei der Nitrogenase notwendige – Molybdän oder ersatzweise Vanadium. Bei der Gruppe der nicht existenziellen Gene gibt es eine spezielle Untergruppe für „Selbstschutz und Verteidigung“, darunter solche zur Phagenabwehr und jene genetische „Schere“ CAS/CSE/CRISPR, die vom „Genom-Engineering“ in Dienst genommen wurde. Daneben gibt es Gene für „Erwerb und Bewahrung“ von wichtigen Elementen und Substraten. Die Gene für „Güter & Service“ in den Plasmiden nannten die Forscher „Sozial-Gene“, so produziert *A. chroococcum* das Vitamin B12 im Überfluss – ein Reservoir für die Bodengesellschaft.

Viele Gene wurden durch horizontalen Gentransfer erworben, auch die außergewöhnlich vielen Insertions-Sequenzen und Transposons zum Umsortieren, Löschen und Verdoppeln von Genen, was die große Veränderbarkeit der Bakterien erklärt. Die Autoren schlussfolgern aus der hohen Zahl der mobilen Elemente und den immerhin 6 Plasmiden, dass *Azotobacter chroococcum* in der Vergangenheit viele „Bakterien-Nahkämpfe“ ausgestanden hat.

Die Bandbreite der Kontaktformen reicht von Altruismus oder Mutualismus über Egoismus bis zum Schädigungsverhalten, denn Ausscheidungs-Produkte können im Bodenleben für die einen gut und für die anderen schlecht sein.²⁴

Uralte Erfindungen

Die beiden rotvioioletten Einzeller auf der linken Seite unterhalb der Wurzel mit Gallen sind Amöben, die in den wassergefüllten Poren der Erde leben. *Amoeba proteus* ist 300–600µm klein und nie von derselben Gestalt, im Bild scheint sie zu fliegen, aber sie schiebt ihre Scheinfüßchen, die Lobopodien, wie ein ausfransender Meeressaum vor sich her. Ihre Phytochrome lassen sie gelb, grün oder purpur wie hier aussehen. In ihrer Nahrungs-Vakuole verdaut die **Nacktamöbe** durch Enzyme Bakterien, Algen und Pilzhyphen seit mehr als 220 Millionen Jahren – so alt ist die Erfindung der Vakuolen, in die das Kanadische Berufskraut das Glyphosat entsorgt ...

Amoeba terricola ist ebenfalls ein Wassertier im Boden; dieser Einzeller bevorzugt Protozoen, Algen, Rädertierchen und kleinere Amöben. J. von Uexküll vergleicht in seinem Buch „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ (S.27) ihr Fortkommen mit der „Spannerbewegung“ von Raupen: Die **Erdamöbe** heftet das Hinterende an den Boden, schiebt das Vorderende nach vorne, fasst Fuß und mittels Kontraktion des Körpers holt sie das hintere Ende heran, dann löst sie das vordere Ende, usw. Man kann hier dem evolutionären Fortschreiten von der Amöbe zur Raupe sozusagen zusehen ...

Die Nacktamöbe kann 8–10 Tage in Wasser überleben, aber bei Bedarf fällt sie durch Einschrumpfen in „Trockenstarre“; beschaltete Amöben wie die blaue, ovale **Schalenamöbe** rechts oben bilden bei ungünstigen Bedingungen unter Wasserabgabe und Einkugelung eine mehrschichtige Zyste aus verfestigtem Plasma, die sie bei Feuchtigkeitszunahme in Minutenschnelle rückgängig machen können.

Stoffkreisläufe

Die weiße, schmale *Hantzschia amphoxys* links unter den Azotobacter-Bakterien ist nach Francé die „Leitform“ der **Kieselalgen**; sie ist überall in winzigen Spalten und Gängen der Erde unterwegs, während die ovale Kieselalge *Navicula mutica* rechts unterhalb der blauen Zyste in Äckern und Wiesen lebt. Die Erdkieselalgen sind an der Stickstoffumsetzung beteiligt und große Baumeister.

Francé würdigt ihre außerordentliche Leistung, die geologische Dimensionen hat: „Die ‚Erfindung‘ der Kieselalgen heißt: Wie baut man sich ein absolut stabiles Haus. Da war es schon zunächst der Begriff des ‚Hauses‘ überhaupt, der eine Erfindung darstellt. Die Tatsache, daß sich eine auf Feuchtigkeit angewiesene Pflanze in ein verschlossenes Gehäuse einschließt, um vor dem Vertrocknen gesichert zu sein, muß uns mit Bewunderung erfüllen. Der zweite ist der Baustoff des Gehäuses. Er ist kristalline Kieselsäure (daher der Name Kieselalgen), also Kristallglas, einer der härtesten Baustoffe. Die Alge scheidet zunächst aus ihrem Körper eine feine Hülle von der endgültigen Form aus und lagert nun aus der Bodenlösung, die ja reich an gelöster Kieselsäure ist, in kristallinischer Form das Silizium ab, sie ‚versteinert‘ also sozusagen ihre Hülle. Kristallglas ist nicht nur kaum zerbrechlich, sondern auch völlig unverweslich. Eine einmal gebildete Kieselalgenschale bleibt bestehen bis ans Ende der Erde... Das Wunderbarste aber ist die Art dieser Glasbauten. Sie müssen von größter Stabilität sein und dennoch leicht, denn sonst könnte die Kleinpflanze nicht mitsamt dem Haus umherkriechen.“²⁵

Das abgeflachte Haus der **Schnecke** unten links schwankt zwar beim Kriechen bedenklich, aber es ist fest verwachsen; Schnecken bringen ein winziges Haus aus dem Ei auf die Welt. In der Spiralform des Gehäuses zeigt sich die Lösung der Frage, „Wie vergrößere ich mein Haus, ohne auszuziehen?“ Sie sondern das durch die Nahrung aufgenommene Kalziumkarbonat aus ihrem Mantel ab und lagern die mineralisierte Bausubstanz am äußeren Gehäuserand an.

Zuweilen ziehen fremde Nachmieter in leere Häuser ein: das Gehäuse von der Larve einer Köcherfliege, das sie wohl aus Steinchen zusammengefügt hatte, wird von der schutzbedürftigen **Schmetterlings-Larve** rechts neben der Assel bewohnt.

Irgendwann werden die chemischen Stoffe all dieser Gehäuse wieder Bodensubstrat für neues Leben und Bauen.

Tierische Speisekarten

Es gibt fast nichts, was nicht von irgendeiner Schneckenart gefressen wird: Algen, Flechten, Pilze, grüne oder verrottende Pflanzen, Holz, Kot und andere Schnecken.

Rotifer macroceros liebt Fauliges. Das **Rädertier** lebt im Wasser und in feuchten Erdspalten, hier hat sie sich mit dem Fuß an den rechten Rand des kleinen Bildes geheftet. Francé beschrieb zwei von ihm gezeichnete Rädertierchen so: „Beide Tiere wirbeln mit ihrem Räderorgan auf das Lebhafteste. In ihrem Inneren sieht man (von oben nach unten) das Gehirn mit den Augen, den Kaumagen mit den Zähnen, den langen, fetterfüllten Darm, den Eierstock, den Enddarm. Die Rädertiere sind große Räuber in ihrem Reich, zersetzen aber auch viel faulende Stoffe.“²⁶

Man bekommt eine Ahnung von den geschäftigen Springschwänzen, Asseln, Tausendfüßern und Milben im Boden, wenn man sie in Gerhard Laukötters Film „Boden will leben“ kreuz und quer über das Bodensubstrat flitzen sieht.

Collembolen aus tieferen Erdschichten haben kaum oder gar keine Farbe und Sehkraft, desgleichen ist die Sprunggabel zurückgebildet und die Beine und Fühler sind kürzer, wie bei dem sechsbeinigen **Springschwanz** am linken Bildrand. Sensibler ist bei dieser „Tiefenform“ das Feuchtigkeits-Organ am Kopf zwischen je 8 Einzelaugen und den 2 Antennen, die mit chemischen Sensoren ausgestattet sind. Die meisten *Collembolen* ernähren sich in der Humus- und Vermoderungsschicht, in Monokulturen fressen sie aus Mangel an Detritus auch feine Wurzeln; einige Arten des „Urinsekts“ können sogar Schwermetalle aufnehmen und immobilisieren.

Ein großer Abfallverwerter ist auch die weiße, augenlose **Assel** *Platyarthus hoffmannseggii* rechts, denn sie frisst neben verrottenden Pflanzen den Kot von Ameisen, mit denen sie meist vergesellschaft-

tet ist, besonders in Kalkgebieten.

Unterhalb der Assel liegt elegant gebogen ein violettschwarzer **Schnurfüßer** mit seinen vermutlich 30 Beinen. Er lebt an mäßig feuchten Orten wie Wegrändern, in Steinbrüchen, auf Friedhöfen, unter Rinde oder im Falllaub und verzehrt verrottende Reste von toten Pflanzen und Tieren.

An ähnlichen Plätzen wie der Schnurfüßer ist der unter ihm gemalte rosa-weiße **Pinselfüßer** *Polyxenus lagurus*; bei einer Größe von 2–4 mm und 13 Beinpaaren zählt er zu den Tausendfüßern. Auf seiner Speisekarte stehen Algen, die er mit seinen Mandibeln abschabt.

Die beiden Milben sind wegen ihres sehr bizarren Körpers ins Bild gesetzt worden. Die eigentümlich geformte, grünliche **Milbe** *Aceria anthocoptes* links daneben hat sich in 21 Ländern exklusiv auf die kanadische Distel spezialisiert, sie saugt ihre Blattzellen aus, wodurch die Blätter welken. Die fast unsichtbaren Milben begrenzen die Ausbreitung dieser Invasoren, in der Sprache des Wikipedia-Autors sind sie „potential biological pest control agents“. Die urtümlich wirkende **Milbe** *Palaeosomatides* mit den langen Spinnenbeinen links außen zählt zu den primitiven Formen der Hornmilben. Sie soll in vielen Böden zuhause sein, vorzugsweise in trockenen.

Über ihr ist die gelbliche **Haarmückenlarve** *Bibionidae* dargestellt. Sie ist von bodenbiologischer Bedeutung durch Umsetzung von Streu, aber in der Landwirtschaft kann sie bei Übervermehrung durch Wurzelfraß Schäden anrichten, wenn verrottendes Pflanzenmaterial fehlt.

Darwins Laudatio

Zwei **Regenwürmer** sind hier bei der Paarung gemalt, ansonsten durchmischen, lockern und belüften sie beim Graben den Boden; beim Fressen und Verdauen von Erde und organischem Material bilden sie stabile Ton-Humus-Komplexe und wirken so an der „Lebendverbauung“ im Edaphon mit. Wolfram Dunger hat ihre Ausscheidungen in seinem Buch „Tiere im Boden“ wissenschaftlich genauer erklärt: „Chemisch gesehen unterscheiden sich die Regenwurmexkremente – verglichen mit dem umgebenden Boden – durch höhere Kationen-Umtauschkapazität, größere Mengen an Austausch-Kalk, Austausch-Kali und -Mangan, pflanzenverfügbarem Phosphor, Gesamt-Austausch-Basen, Kolloidstoffen und an organischer Substanz... Bereits Charles Darwin machte darauf aufmerksam, daß die Regenwürmer nach seinen Berechnungen jährlich 17,5–45 t Kotkrümel pro Hektar auf der Erdoberfläche absetzen. Die modernen Nachforschungen bestätigen diese Zahlen im wesentlichen.“²⁷

In seinem Studierzimmer versuchte Darwin durch Experimente mit Regenwürmern in Blumentöpfen auch, ihre instinktgeleiteten Aktio-



nen von zufälligen und intelligenten abzugrenzen. Das Resümee seiner Regenwurm-Studien von 1837:

„Es ist wohl wunderbar, wenn wir uns überlegen, dass die ganze Masse des oberflächlichen Humus durch die Körper der Regenwürmer hindurchgegangen ist und alle paar Jahre wiederum durch sie hindurchgehen wird. Der Pflug ist einer der allerältesten und werthvollsten Erfindungen des Menschen; aber schon lange, ehe er existierte, wurde das Land durch Regenwürmer regelmäßig gepflügt und wird fortdauernd noch immer gepflügt.“²⁸

Geldwerte Dienstleistungen der Natur

Die wissenschaftlich fundierten und poetischen Darstellungen des Bodenlebens von Darwin und Francé zeigen ihren Respekt vor der Natur, – die heutigen Labore sind eine abstrakte Gegenwelt zum lebendigen Boden. Dort entwickeln die einen Spezialisten am Computer neuartige Pflanzen, Tiere oder Wirkstoffe und die anderen erforschen mit aufwändiger Technik und elaborierter Software in langen Testreihen Umfang und Gründe der Schäden. Die Reparatur der Natur ist ein profitables Forschungsunterfangen geworden: Von Natur aus nützliche Organismen werden genetisch analysiert, optimiert und als „nachhaltig“ vermarktet – das neue „Arkadien“. Die US-Firma Arcadia testete in China Stickstoff-fixierenden Gen-

reis, der Agrarbetrieben Vorteile verschaffen soll mit CDM-Zertifikaten für Emissions-Einsparungen durch die Reduzierung von Dünger – wie beim umstrittenen CO₂-Emissionshandel.²⁹

Monsanto entwickelt nach Übernahme der Mikroben-Sammlung von Agradis neuerdings „Agricultural Biologicals“. Dabei wird etwa aus *Azotobacter*, dem Stickstoff-fixierenden Bakterium mit „Sozial-Genen“, ein Biopestizid-Produkt.

Jörg Degenhardt von der Universität Halle und Kollegen transferierten ein Gen für (*E*)- β -caryophyllene vom Oregano auf Mais, weil die meisten nordamerikanischen Maissorten es verloren haben, so dass sie den Fadenwurm *Heterorhabditis bacteriophora* mit seinen hilfreichen Darmbakterien gegen die Larven nicht mehr anlocken können. In der PNAS-Publikation vom 11.8.2009 plädierte Degenhardt für eine Kombination dieser „natürlichen“ genetischen Reparatur mit der gentechnisch erzeugten Giftproduktion durch Pflanzen.

Mit Hilfe von Drohnen will Bayer Crop Science die Ausbreitung von pathogenen Fadenwürmern wie *Pratylenchus brachyurus* in Brasilien kontrollieren, dafür werden Proben von befallenen Böden mit Luftbilddaten von Drohnen abgeglichen. Die Drohne „Drone CropStar“ wurde auf dem 32. Kongress für Nematologie vorgestellt.

High-Tech-Drohnen gegen mikroskopisch kleine Nematoden ... Was würde Darwin heute zur Entwicklung der Menschenspezies sagen?

QUELLEN

- 01 Christoph Then, Runa Boeddinghaus, „Das Prinzip industrielle Landwirtschaft in der Sackgasse“, Studie im Auftrag der Grünen/Europäische Freie Allianz und Martin Häusling, MEP/Europabüro Hessen, Wiesbaden, 1913
- 02 Jason Koebler, „Herbicide-Resistant ‘Superweeds’ Increasingly Plaguening Farmers“, U.S.News, 19.10.2012, <http://www.usnews.com/news/articles/2012/10/19/herbicide-resistant>
- 03 Robert F. Service, „What Happens When Weed Killers Stop Killing?“, Science, Vol. 341, 20.9.2013, www.sciencemag.org
- 04 Martha Mertens, „Glyphosat & Agrotechnik“, NABU-Bundesverband, Berlin, 2011
- 05 Wendy A. Pline et al., „Reproductive abnormalities in glyphosate-resistant cotton caused by lower CP4-EPSPS levels in the male reproductive tissue“, Weed Science, Nr. 50, 2002, S.438-447
- 06 Michaela Schießl, „Unsichtbarer Feind“, Der Spiegel, Nr. 22, 2015, S. 71
- 07 Jasmin Krsteski, „Gift vom Acker“, Kölner Stadt-Anzeiger Magazin, 29.6.2015, S. 6–7
- 08 Philip Bethge, „Totgespritzt“, Der Spiegel, Nr. 24, 2015, S. 118-122
- 09 Xia Ge, D. André d’Avignon, Joseph JH Ackerman, R. Douglas Sammons, „Rapid vacuolar sequestration: the horseweed glyphosate resistance mechanism“, Pest Manag Sci, Nr. 66 (4), 2010, S. 345-348, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3080097/>
- 10 Todd A. Gaines, „Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*“, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 107 no. 3, 2009, <http://www.pnas.org/content/107/3/1029>
- 11 Christiane Grefe, „Soll man ihm glauben?“, Die Zeit, Nr. 12, 19.3.2015, S. 35
- 12 James Kling, „Could Transgenic Supercrops One Day Breed Superweeds?“, Science, Vol. 274, 11.10.1996, S. 180/181
- 13 Anne Backhaus, „Früchte des Zorns“, Der Spiegel, Nr. 21, 2015, S. 47
- 14 Norbert Kurth, „Käfer gefährdet den Maisanbau“, Kölner Stadt-Anzeiger, 18. 8. 2010, S. 28
- 15 Peter H. Raven, Ray F. Evert, Helena Curtis, „Biologie der Pflanzen“, Walter de Gruyter, Berlin/New York, 1988, S. 210–212
- 16 „1.6 Gentechnologie II, Gentechnik bei Pflanzen, Transgene Organismen, Probleme Gentechnik bei Pflanzen“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/13/bs13-11.htm>
- 17 Christoph Then, „Vorsicht „Giftmischer“: Gentechnisch veränderte Pflanzen in Futter- und Lebensmitteln“, Report im Auftrag von Ulrike Höfken, MdB, Testbiotech e.V., München, 2011, S. 40
- 18 „Grüne Gentechnik“, Wikipedia, http://de.wikipedia.org/wiki/Grüne_Gentechnik
- 19 „The African Stockpiles Programme“, Projects Documents, file:///C:/Users/Fotobox/Downloads/The African Stockpile Programme-Global Environment Facil...
- 20 Merry Youle, „The two faces of Photorhabdus“, Small Things Considered, <http://schaechter.asmblog.org/schaechter/2009/03/the-two-faces-of>
- 21 Volker Arzt, „Kluge Pflanzen – Wie sie locken und lügen, sich warnen und wehren und Hilfe holen“, C. Bertelsmann Verlag, München, 2009, S. 173–175
- 22 Arthur Schübler, „Mykorrhiza-Pilze, DNA-Barcoding und nachhaltige Landwirtschaft“, labor&more, 3.11.2014 <http://www.laborundmore.de/research/7666,668486/Dr.-Arthur-Sch>
- 23 G. S., Lexikon der Biologie, Knöllchenbakterien, <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/knoellchenbakterien/36459>
- 24 Robert L. Robson et al., „Azotobacter Genomes: The Genome of *Azotobacter chroococcum* NCIMB 8003 (ATCC 4412)“, Plos one, 10.6.2015, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0127997>
- 25 Raoul H. Francé, „So musst du leben, Eine Anleitung zum richtigen Leben“, Carl Reissner-Verlag, Dresden, 1930, S. 21–22
- 26 Raoul Francé, „Das Leben im Boden – Das Edaphon“, Edition Siebeneicher Deukalion, Uwe Hils Verlag, Holm, 1922, S. 24
- 27 Wolfram Dunger, „Tiere im Boden“, Die neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 1964/Franck’sche Verlagshandlung Stuttgart, Kosmos Verlag, S. 79–81
- 28 Charles Darwin, „Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Würmer mit Beobachtung über deren Lebensweise“, Nachdruck der 1. Auflage, März Verlag GmbH, Berlin und Schlechtenweg, 1983, S. 177–178
- 29 Tobias Schumann, „Gentechnik als Klimaretter?“, GeN, <http://www.gen-ethisches-netzwerk.de/gid/216/schumann/gen-technik>