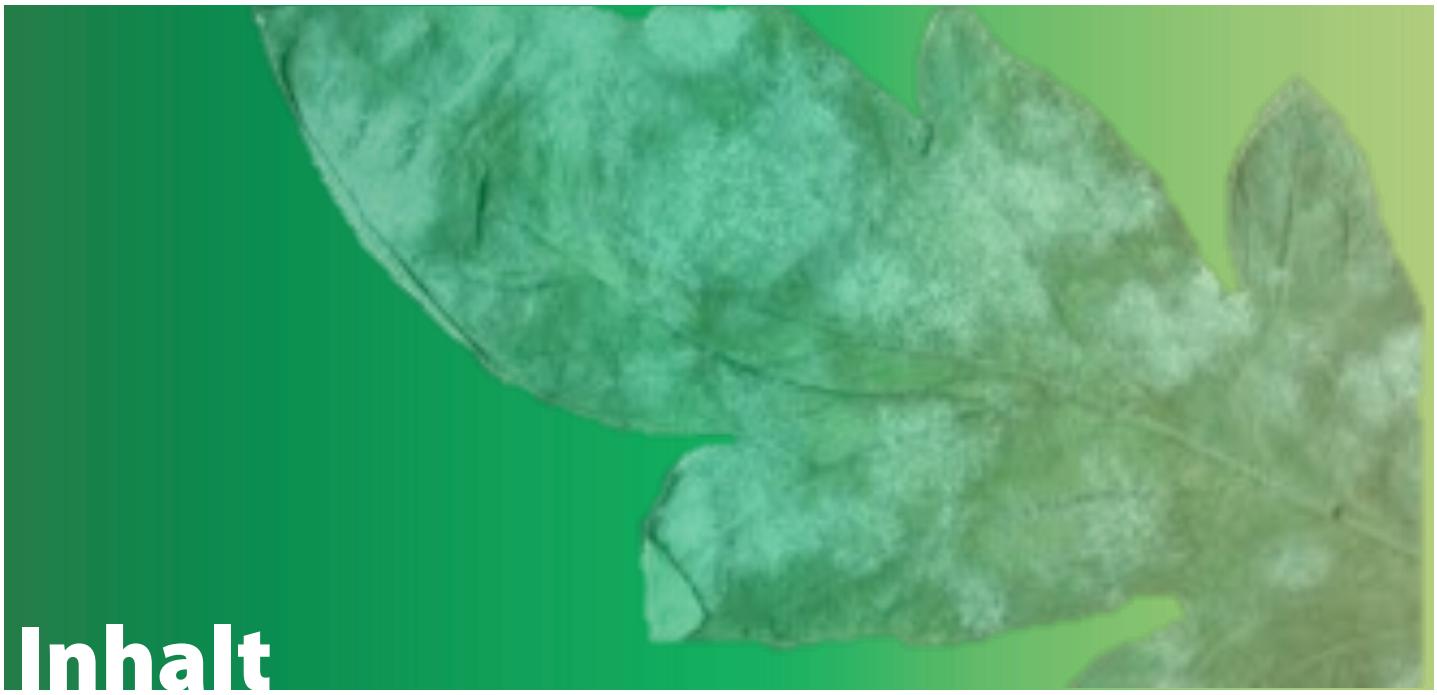
EINE PUBLIKATIONSREIHE DER WISSENSCHAFTSSCHEUNE (WiS) ::: HEFT 7, JULI 2013

WiS Begierig

Vom Schutz und Trutz in der Pflanzenwelt



Inhalt

1 Der Schutzgedanke Seite 3

Budo, dein Erzähler, lädt dich zu einer Traumreise ein

2 Waffen einer Wildpflanze Seite 4

Phyikalische Barrieren

Chemische Waffen

Genetische Abwehr

3 Einige Feinde kurz vorgestellt Seite 9

Viren
Bakterien
Pilze
Würmer
Insekten
höhere Tiere

Neoprotektionismus Seite 15

4 Chemischer Pflanzenschutz

Genetischer Pflanzenschutz

5 Budo´s Zusammenfassung Seite 21

1

Der Schutzgedanke

Budo, dein Erzähler, lädt dich zu einer Traumreise ein

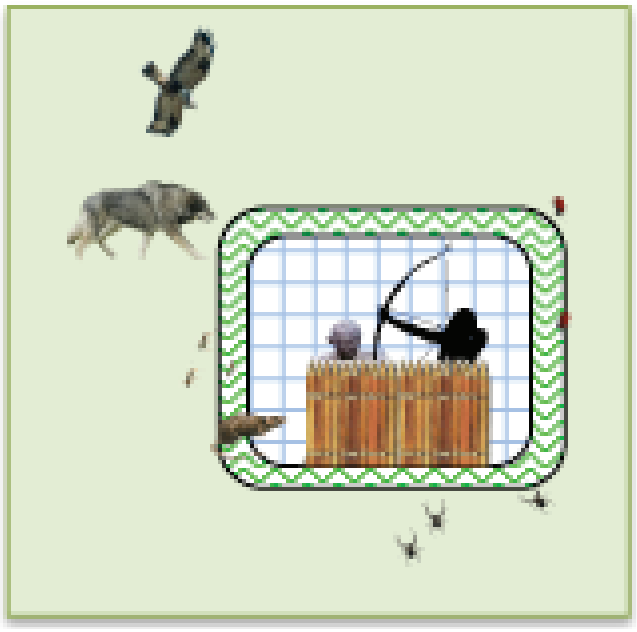
Wir reisen in eine Terra incognita, ein unbekanntes Terrain, ein Flusstal mit reichlichem Bewuchs.

Tagsüber sind wir beweglich und können „Angriffen“ ausweichen, aber was ist nachts, wenn wir schlafen wollen?

Es wird dämmerig. Wir suchen einen Schlafplatz, d.h. wir werden standorttreu.
Wir müssen uns mit neuen Problemen auseinandersetzen, etwa nächtlichem „Besuch“. Unterschiedlichste Krabbeltiere wie Ameisen, Spinnen oder Käfer könnten uns den Schlaf rauben. Ein kleiner Graben rund um unsere Schlafstelle, in den wir etwas Wasser aus dem nahen Bach einleiten, könnte hilfreich sein.

Durch den Wassergraben „geschützt“ verbringen wir die erste Nacht. Dennoch hatten wir „Besuch“ in dieser Nacht von einer Ratte. Du weißt, die Tierchen die auch krank machen können.

Um weitere ungebetene „Gäste“ fern zu halten, errichten wir an der Innenseite des Wassergrabens einen Palisadenzaun. Nun geht es besser.
Allerdings kommen jetzt größere Tiere, die uns belästigten, vor allem aus der Luft.
Wir spannen ein Netz über unsere Anlage und zur Fern-Abwehr basteln wir Pfeil und Bogen (1).



(1) Vom Schutz und Trutz

Wir hatten eine gute Nacht. Am Morgen danach habe ich mein erstes Aha-Erlebnis:

Eine vielschichtige Abwehr könnte für standorttreue Lebewesen überlebenswichtig sein.

Sofort drängt sich die Frage nach den Abwehrstrategien der standorttreuen Pflanzen auf.

Du ahnst ja sicherlich wie es weitergeht.
Ja richtig, auf in die Universitätsbibliothek oder auch ins Internet.

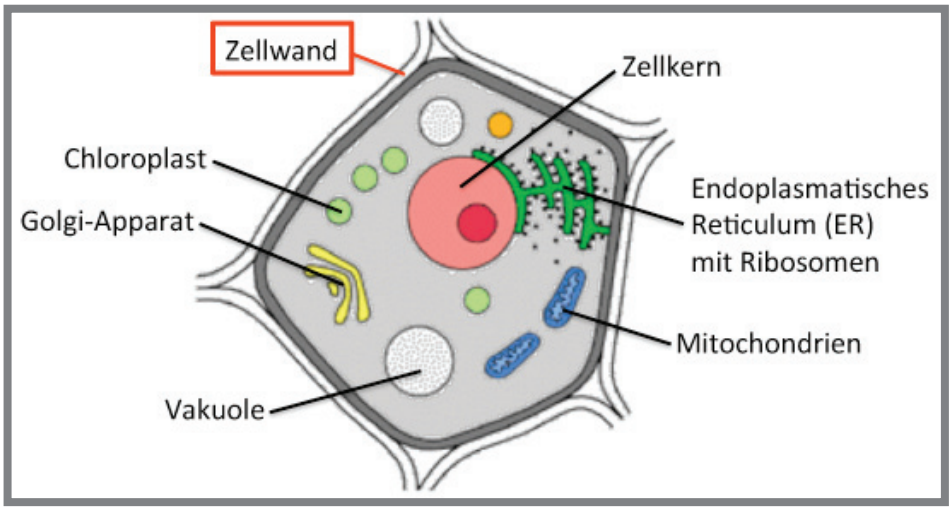
Infos über den Aufbau einer Pflanzenzelle sind wichtig. Also versuchen wir die Dinge etwas zu ordnen.

Waffen einer Wildpflanze

2

Physikalische Barrieren

Im Gegensatz zu tierischen Zellen enthalten Pflanzenzellen neben den Mitochondrien in aller Regel zusätzlich noch grüne Chloroplasten, in denen die Photosynthese abläuft. Ebenso charakteristisch für Pflanzenzellen ist die Festlegung ihrer Form durch ihre Zellwand, die auch als physikalischer Schutz der Zelle dient. In einem Organ, wie z.B. dem Blatt, sind epidermale Zellen mit einer Cuticula, bestehend aus Cutin, Pektin, Zellulose und Wachsen, an ihrer Oberfläche ausgestattet.



(2) Die Zellwand und ihre Bestandteile

Die Wachse wirken nicht nur einer Austrocknung der Zelle entgegen, sie erschweren auch ein mögliches Eindringen von Schädlingen in die Zelle.

1. Schutzmaßnahme: Die Zellwand

Die Zellwand (2) enthält manchmal auch Silikateinlagerungen, was den Verzehr durch Tiere nicht gerade fördert.

unreife Spindel

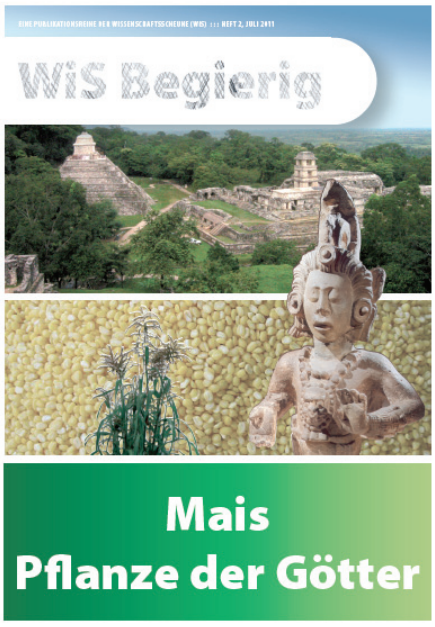
reife Körner

(3) Samen von Teosinte (*Zea mays ssp. parviglumis*)

Die Cuticula epidermaler Zellen mit ihrer Wachsschicht dient auch als Barriere gegen Mikroben, es sei denn sie benutzen offene „Türen“ wie Stomata und/oder Plasmodesmata.
Vögel fressen Samen gern. Die Schutzfunktion der Zellwand wird besonders eindrücklich durch die Samenschalen von Teosinte demonstriert (3).

Das große Korn ist für Vögel äußerst attraktiv. Sie fressen die reifen verstreuten Samen, können sie aber nicht verdauen, da die Samenschale verholzt und mit SiO_2 (Quarz) verstärkt ist. Das Gefressenwerden ist in diesem Fall besonders wichtig für die Pflanze, denn hierdurch ist nach dem Ausscheiden die Keimung und die Verbreitung von Teosinte garantiert.

Mehr über Mais und Teosinte findest du in WiS Begierig Heft 2: Mais - Pflanze der Götter

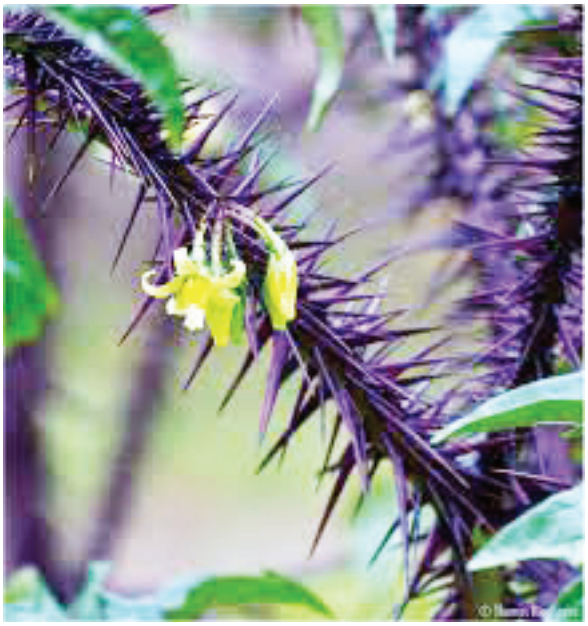


2. Schutzmaßnahme: Dornen und Stacheln

Tiere, insbesondere größere, stehen oft noch vor ganz anderen Problemen, wenn sie Pflanzen fressen wollen. Sie müssen sich mit Dornen oder Stacheln auseinander setzen. Du erinnerst dich: Stacheln sind epidermale Auswüchse und brechen leicht.

Dornen sind umgewandelte Organe, jedenfalls sind sie tiefer im Gewebe verankert. Von daher ist unser Dornröschen eigentlich ein Stachelröschen.

Im Garten der WiS kannst du bei den Nachtschattengewächsen eine Reihe von Beispielen finden. Hier seien 2 Arten erwähnt:



(4) *Solanum atropurpureum*

Bei *Solanum atropurpureum (4)* sind Blätter und Stiele mit Dornen versehen.

Das zweite Beispiel ist *Solanum sisymbriifolium* (5), die eine kleine essbare Frucht mit roter Schale und gelbem Fruchtfleisch bildet.

(5) dornenbewehrte Kelchblätter von *Solanum sisymbriifolium*

Die Frucht wird zunächst von einem Kelch, der mit Dornen bewehrt ist, umschlossen. Bei der Reifung bricht diese Laterne auf, ähnlich wie bei *Physalis philadelphica* (WiS Begierig Heft 3).
Die Frucht von *S. sisymbriifolium* schmeckt wie saure Kirschen und ein wenig nach Tomaten.

Aufgrund ihrer Dornen kann die Pflanze auch als lebender Gartenzaun verwendet werden.

Nachdem wir nun die physikalischen Schilde der Pflanze kurz gestreift haben, wollen wir uns den chemischen Waffen der Pflanzen widmen.

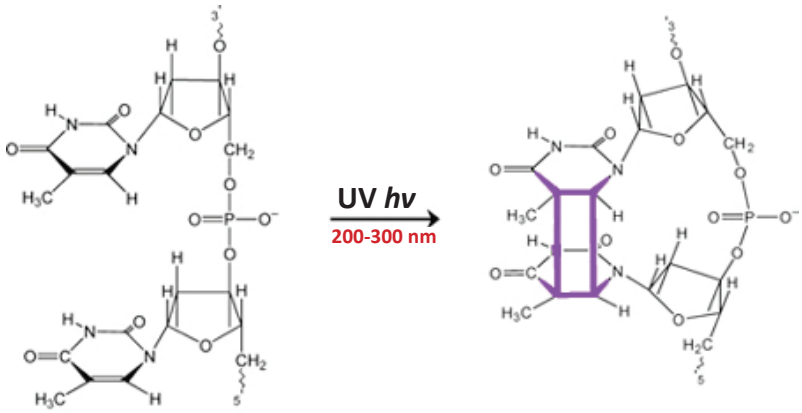
3. Schutzmaßnahme: Pigmente

Die meisten Pflanzen bilden wasserlösliche Anthocyane vorwiegend in der Epidermis. Diese Pigmente haben eine duale Funktion: Lock- und Abwehrstoff zugleich.
Einmal verleihen sie den Blüten oder auch anderen Pflanzenteilen ihre charakteristische Farbe. Die Blütenfarbe spielt eine ganz entscheidende Rolle in der Fortpflanzungsbiologie der Pflanze, denn sie wirkt als Lockstoff für die bestäubenden Insekten und dient somit der Vermehrung der Pflanze.
Da nicht farbige Anthocyan-Vorstufen oft auch UV-Licht absorbieren, erkennen Insekten, die UV-Licht wahrnehmen können, artspezifische Verteilungsmuster (6).

(6) *Melampyrum sylvaticum* (Wachtelweizen)

Eine andere wichtige Aufgabe der Anthocyane und vor allem ihrer Vorstufen, ist der Strahlenschutz des genetischen Materials, der DNA.

Zur Erinnerung: UV-B (280-315 nm) Strahlung verursacht u.a. die Ausbildung von Thymin-Dimeren in der DNA, was die Replikation stört oder zu Mutationen führen kann (7).



(7) Thymin-Dimerbildung, (lila ist der Cyclobutanring)

Zurück zu unserer Traumreise, in der wir nach „Befestigung“ unseres Schlafplatzes die erste Nacht gut überlebt haben. Hungrig erwachen wir und machen uns auf zum Sammeln von Essbarem. Schon bald müssen wir durch eine Dornenhecke steigen.

Wie unangenehm das ist, kennst du sicherlich von deiner Brombeerhecke, obwohl die ja nur Stacheln hat. Leider sind es keine Brombeeren, sonst hätten wir sie gefuttert. Hinter der Hecke gibt es andere Beeren, doch wir kennen sie auch nicht.

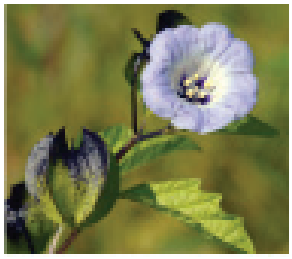
Inzwischen ist der Hunger so groß, dass wir fast verzweifelt sind. Sollten wir das Risiko eingehen und eventuell etwas Giftiges essen?

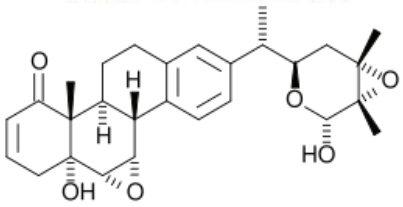
Die Frage beschäftigt uns: Warum sollten Pflanzen giftig sein?

4. Schutzmaßnahme: Gifte

Viele Pflanzen enthalten Gifte als eine weitere Abwehrschicht gegen Fraßfeinde und/oder mikrobielle Krankheitserreger: Gifte, oft Alkaloide, sind Produkte des Sekundärstoffwechsels. Dir sicherlich bekannte Beispiele sind Mutterkorn-Alkaloid, Solanin, Strychnin und/oder Nikotin, um nur wenige zu nennen.
Die Giftwirkung des Nikotins ist auf jeder Zigarettenpackung vermerkt.

Die Giftbeere, *Nicandra physaloides* (8) z. B. enthält Nicandrenon-1 mit insektizider Wirkung, sie wurde ebenso wie die Giftwirkungen anderer Solanaceae bereits in „WiS Begierig“ Heft 5 „Schatzsuche in der Kartoffelverwandtschaft“ beschrieben.
Schon die physikalischen Barrieren sowie die chemischen Waffen der Wildpflanzen halten einen Großteil der Feinde ab. Die so bereits abgeschwächte Armada der mikrobiellen Schädlinge wird durch genetische Systeme weiter in Schach gehalten.





(8) Die Giftbeere enthält Nicandrenon-1

Genetische Abwehr

5. Schutzmaßnahme: Resistenz- und Toleranzgene

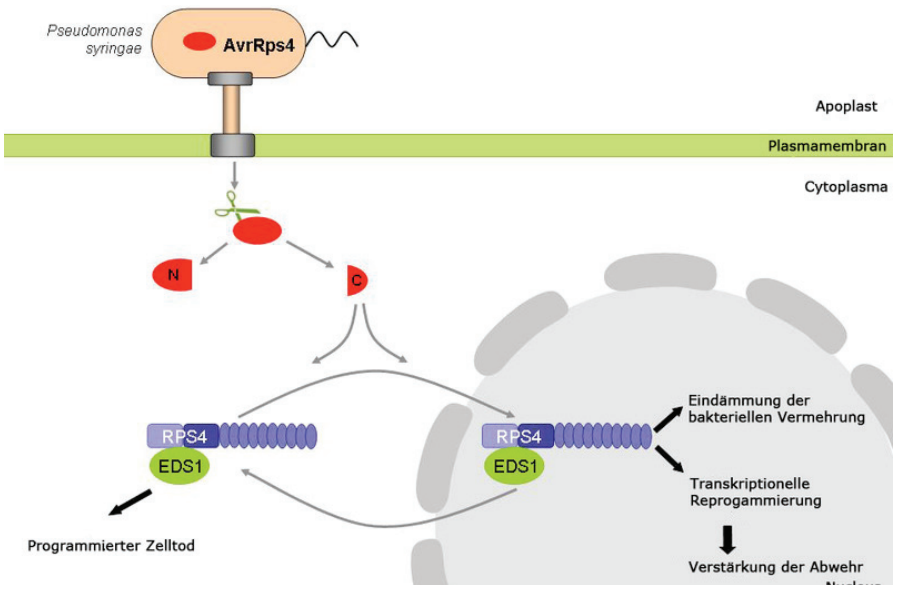
Die vielleicht wirksamsten Schutzmechanismen sind genetischer Natur. Sie bilden ganze Netzwerke und können sehr spezifisch gegen Viren, Bakterien oder Pilze gerichtet sein.
Auf meinem Streifzug durch das MPIPZ und durch die WiS fand ich folgende beispielhafte Pressemitteilung aus dem MPIPZ (2011):

Pflanzen wehren sich mit mobilen Proteinen gegen Bakterien

Resistente Pflanzen treten ihren Feinden nicht unvorbereitet gegenüber. Ihre Zellen verfügen über Rezeptoren, mit denen sie die Gefahr erkennen. Außerdem besitzen sie einen mobilen Krisenmanager, den sie mit der Abwicklung der Immunabwehr beauftragen. Solange die Pflanze unbehelligt bleibt, liegen die Rezeptoren und der Krisenmanager im Zytoplasma und im Zellkern auf der Lauer und halten Ausschau nach möglichen Eindringlingen. Auch die Bakterien kommen nicht unvorbereitet. Sie bringen ein molekulares Gerät mit, das ihnen helfen soll, das pflanzliche Immunsystem außer Kraft zu setzen. Dieses Handwerkszeug wird als Effektor bezeichnet. Es gelangt über eine molekulare Nadel in die Zellen. Wie die Auseinandersetzung zwischen der resistenten Pflanze und ihren Widersachern beginnt, ist noch nicht genau geklärt.
Vermutlich vergreift sich der bakterielle Effektor an dem Krisenmanager.

Die Pflanze könnte diesen Angriff bemerken, weil ihre Rezeptoren das Protein bewachen. Was nach dem Absetzen eines Alarms passiert und wie der Krisenmanager vom möglichen Sensor zum Instrukteur für die weitere Immunantwort wird, haben Katharina Heidrich und Jane Parker sowie weitere Kollegen jetzt herausgefunden (9). Entscheidend ist offensichtlich, wie sich der pflanzliche Rezeptor, der bakterielle Effektor und der Krisenmanager EDS1 nach dem Absetzen des Notrufs in der Zelle verteilen und welche Absprachen sie dabei treffen. Damit die Vermehrung der Bakterien unterdrückt wird, muss der bakterielle Effektor vom Zytoplasma in den Zellkern gelangen, wo er auf den Rezeptor und den Krisenmanager trifft. Im Zytoplasma wird er für diese Form der Immunantwort dann nicht mehr gebraucht. Um die infizierten Zellen in den Selbstmord zu treiben oder in der ganzen Pflanze Alarm zu schlagen, müssen die drei Proteine im Zellkern und im Zytoplasma aktiv werden.

Dabei gibt es offensichtlich enge Absprachen zwischen den beiden Kompartimenten.
Bisher wussten die Forscher nur sehr wenig darüber, wie es nach der Erkennung des Eindringlings weitergeht.
„Die Pflanze muss sorgfältig zwischen den verschiedenen Optionen unterscheiden. Jede Immunreaktion kostet Kraft und geht zu Lasten des Wachstums. Die Pflanze kann es sich nicht leisten, auf einen Bagatellangriff mit der vollen Wucht ihres Immunsystems zu reagieren.
Sie darf den Angriff allerdings auch nicht fälschlicherweise verharmlosen, weil sie sonst Gefahr läuft unterzugehen“, erklärt Jane Parker. Die intrazelluläre Mobilität von Rezeptor, Effektor und Krisenmanager lenkt die Immunabwehr in verschiedene Richtungen.
EDS1 spielt dabei vermutlich eine doppelte Rolle. Es könnte das Protein sein, an dem sich der bakterielle Effektor vergreift. Es vermittelt bei der weiteren Immunantwort, weil es nach dem Absetzen des Notrufs sowohl im Zellkern als auch im Zytoplasma präsent sein muss.



(9) Abwehr von Bakterien: AvrRPS4 ist ein Avirulenzgen aus *Ps. syringae*. RPS4 ist ein Krankheitsfaktor und EDS1 ein „Enhanced Disease Susceptibility 1“ Protein aus *Arabidopsis.*

Einige Feinde kurz vorgestellt

Viren

3

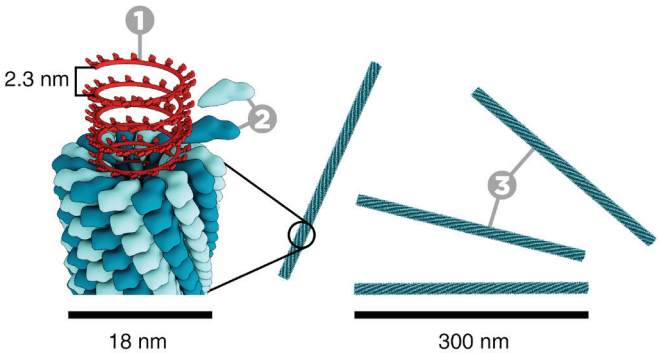
Ein Besuch bei „de.wikipedia.org/wiki/Pflanzenvirus“ lohnt sich.
Hier finde ich den Satz: „Als 1551 die ersten Tulpen aus Konstantinopel in die Niederlande eingeführt wurden, erregten die wechselnden Farbmuster der Blüten (10), die sogenannte Panaschierung, hohes Aufsehen.“
Obwohl dies, wie wir heute wissen eine Virusbedingte Krankheit ist, war sie Ausgangspunkt der schwunghaften Entwicklung und des gewinnbringenden Verkaufs in der Tulpenindustrie.
Leider sind nicht alle viralen Erkrankungen von Pflanzen so schön und so nützlich.

(10) Anton Claesz, Aquarell um 1630 und eine moderne Sorte

Am Tabakmosaikvirus (TMV), der global keine große Bedrohung darstellt, wurden viele wesentliche Erkenntnisse über Viren gewonnen (11).

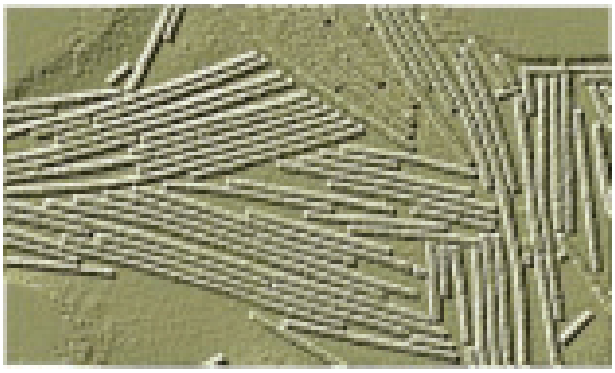
(11) TMV - infizierter Tabak

Die infektiöse Ursache des Phänomens wurde 1886 von Adolf Mayer erkannt. Dass es sich um eine virusbedingte Erkrankung handelte, konnte Iwanowski 1892 nachweisen. Dies war der Beginn der Virologie. Molekular konnte die Struktur des Tabakmosaikvirus (TMV) von Aaron Klug und Mitarbeitern aufgeklärt werden (12).
Die elektronenmikroskopische Darstellung der Viren wurde 1982 mit dem Nobelpreis gewürdigt.

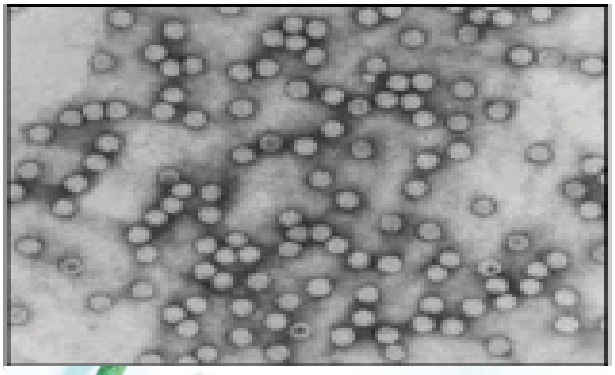


(12) Komponenten der Struktur von TMV
1. RNA, 2. Hüllprotomer, 3. Capsid (Virus)

Die genetische Information der Viren ist entweder in einsträngiger RNA (bei den meisten Pflanzenviren), in doppelsträngiger RNA (Wundtumorvirus), einsträngiger DNA (Gemini-Viren) oder doppelsträngiger DNA (Cauliflower-Mosaik-Virus: CaMV) enthalten. Aufgrund der Form der Viruspartikel unterscheidet man zwischen den stäbchenförmigen (13) und den icosaedrischen Viren (14), deren Capsid nahezu kugelig (sphärisch) erscheint.



(13) Tabakmosaikvirus



(14) Tomato Bushy Stunt Virus und die Folgen einer Infektion der Aubergine

Die ungeheure Vielfalt pflanzlicher Viren wird, und das ist nicht überraschend, auch von einer großen Vielfalt von Organismen übertragen: Bakterien, Pilze, Würmer, Insekten, ja selbst Pflanzen sind daran beteiligt.

Die parasitäre *Cuscuta ssp.*, auch Seide genannt, kann dabei ein Virus auf ihre Wirtspflanze z.B. Paprika übertragen (15).
Mit zu den übelsten Überträgern gehören jedoch die Blattläuse (16), die, wie du sicher weißt, vom Pflanzensaft leben und somit zu den Schädlingen zählen. Allerdings verursachen sie den größten Schaden durch Übertragung von Viren.

Das Barley yellow dwarf virus =BaYDV verursacht Verzwergung der Pflanzen und eine intensive Gelbfärbung der Blätter (17).

Der volle Umfang des Befalls wird im nachfolgenden Frühjahr sichtbar. Stark befallene Pflanzen im Zentrum von Befallsnestern sind dann nach Frost u.U. bereits abgestorben.
Von den vielen Bakterienarten, die unsere Erde besiedeln, sind Vertreter nur weniger Familien für Pflanzenkrankheiten verantwortlich.

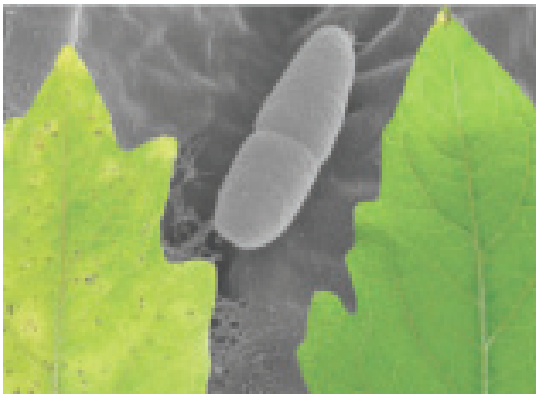
Im Folgenden werde ich nur zwei Vertreter vorstellen, da sie Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Technologien waren, gemeint sind: *Agrobacterium tumefaciens* und *Xanthomonas campestris*.

(15) *Cuscuta ssp.*

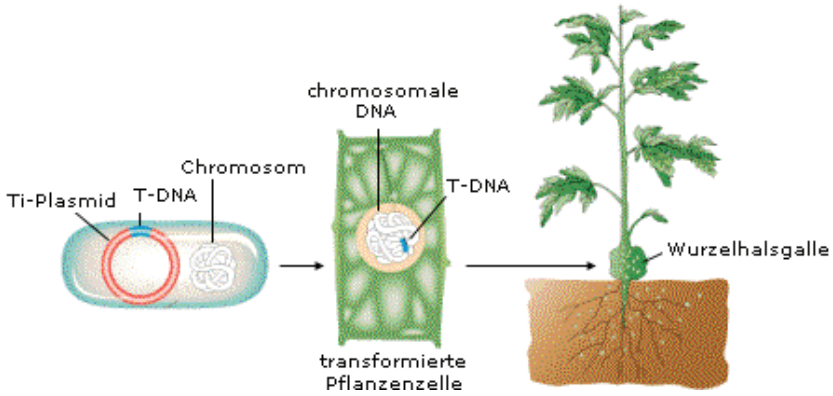
(16) Blattlaus

(17) Befallene Gerste

Das Bodenbakterium, *Agrobacterium tumefaciens* , kann Pflanzen im Wurzelhalsbereich infizieren. Dabei wird ein Teil der bakteriellen genetischen Information mittels des Ti-Plasmids in das Genom der Pflanze übertragen. Die betroffenen Zellen werden umprogrammiert und wachsen unkontrolliert weiter, so dass ein Tumor gebildet wird (18).
Basierend auf diesen Beobachtungen entwickelten Schell



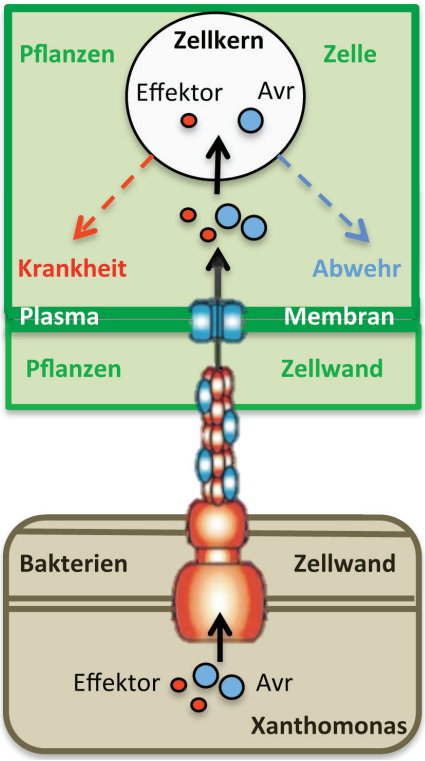
(19) Mit Xanthomonas infiziertes Tomatenblatt (links) und ein gesundes Tomatenblatt (rechts). Rasterelektronenmikroskopisches Bild im Hintergrund.



(18) Prozess der Auslösung von Wurzelhalsgallen durch *A. tumefaciens*

und Mitarbeiter die Methode der gentechnischen Übertragung von Erbinformation, gemeinhin Gentechnik genannt. Xanthomonaden sind für Menschen ungefährliche gramnegative, stäbchenförmige Bakterien, die aber Pflanzenkrankheiten auslösen und erhebliche Schäden verursachen können. Es existieren viele Pathovare dieser Bakterienart, die auf einzelne Pflanzenarten spezialisiert sind.

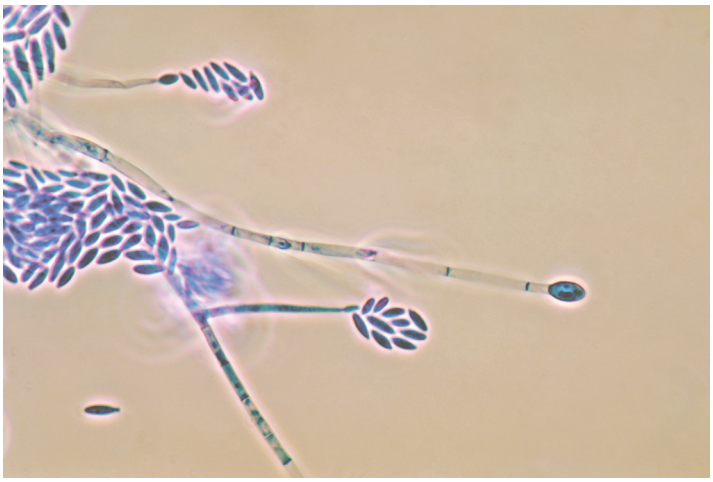
So bevorzugt *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria* z.B. Paprika (19) und Tomate. Anders als bei *Agrobacterium tumefaciens*, das ein kleines-Segment seiner genetischer Information, die T-DNA, in die Pflanzenzelle überträgt, findet bei *Xanthomonas campestris* ein Transfer von Proteinen statt (20). Angeregt durch Umweltsignale und den Kontakt mit der Pflanze produziert das Bakterium eine Reihe von Hrp-Proteine, die einen Übertragungsapparat bilden, durch den dann Effektor-Proteine übertragen werden. In anfälligen Pflanzen werden so Krankheitssymptome ausgelöst, in resistenten Pflanzen hingegen lösen Avr-Proteine Abwehrreaktionen aus. Wie die durch Xanthomonas ausgelösten Krankheitssymptome zu einer neuen Technologie TALEN geführt haben und was man damit biotechnologisch bewirken kann, ist nicht Gegenstand meiner heutigen Geschichte, wird aber in WiS Begierig Heft 9 dargelegt.



(20) Injektion der Effektor Proteine von Xanthomonas in die Pflanzenzelle

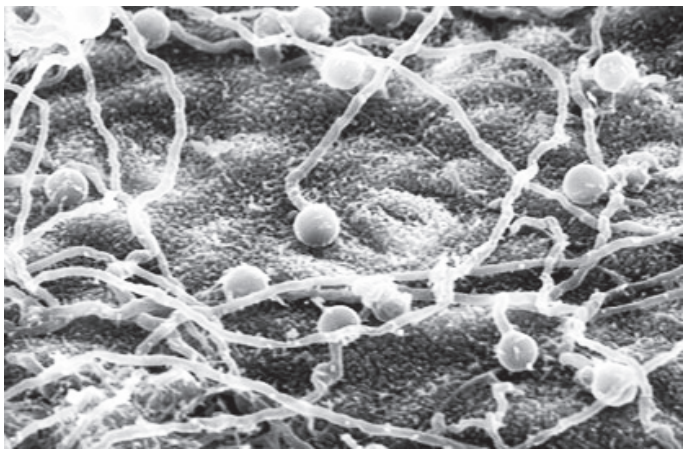
Die Rolle von Pilzen als Krankheitserreger bei Pflanzen ist der ökonomisch bedeutsamste und forschungsintensivste Zweig der Mykologie. Durch die lange Co-Evolution von Pilzen und Pflanzen haben sich sehr viele gefährliche Pilzkrankheiten entwickelt, die imstande sind, Monokulturen von Kulturpflanzen völlig zu vernichten; Dir bekannt sind wahrscheinlich Brand- und Rostpilze.

Heute will ich von den vielen Pilzarten, die unsere Erde besiedeln und von denen viele für Pflanzenkrankheiten verantwortlich sind, nur zwei Stellvertreter vorstellen. Gemeint sind: *Fusarium verticilliodes* (21) und *Phytophthora infestans* (22). Fusarien sind eines der großen ungelösten Probleme der Landwirtschaft, sie gehören weltweit zu den wichtigsten Schadpilzen in Getreide und Mais.



(21) *Fusarium verticillioides* mit Nebenfruchtform

Dabei setzen sie Gifte frei, die ganze Ernten verderben können, außerdem führen diese zu Ertragseinbußen, Qualitätsverlusten und vermindern die Keimfähigkeit des Saatgutes. Zusätzlich bilden die Pilze giftige Stoffwechselprodukte (Mykotoxine), die das Erntegut belasten und somit die Gesundheit von Tier und Mensch gefährden können.

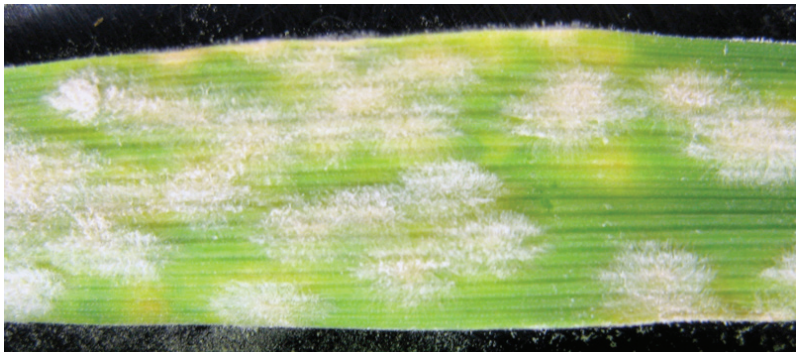


(22) Die runden Zysten haben auf einer Blattoberfläche gekeimt.

In Nordamerika betrug Ende der 1990er Jahre der durch sie verursachte jährliche Verlust bei Weizen und Gerste rund eine Milliarde US Dollar.

Für Europa gibt es bislang keine Angaben darüber, weil entsprechende Untersuchungen fehlen. Erstaunlich ist die große Vielfalt der Fusarien. Allein auf Mais sind bis heute 16 verschiedene Arten bekannt. Das erschwert ihre Bekämpfung enorm.

Der Pilz *Phytophthora infestans* (22) ist bezüglich seiner Wirte hoch spezialisiert. Er befällt eine Reihe von Nachtschattengewächsen (Solanaceae). Wirtschaftlich bedeutende Wirtsarten sind Kartoffeln, Tomaten und Petunien, aber auch Getreide (23)



(23) Mit Mehltau befallene Gerste

Würmer

Pflanzengallen werden häufig auch von Tieren induziert, primitive Formen sind z.B. Einzeller und Rädertierchen. Auch Fadenwürmer (Nematoda) sind dazu in der Lage. Etwa 45 verschiedene Arten sind in der Lage Gallen zu bilden, in aller Regel im Wurzelbereich. Im Gegensatz zu Bakteriengallen sind die Gallen der Nematoden im Wurzelbereich schädlich.

(24) *Meloidogyne hapla*

Ein in Mitteleuropa häufig vorkommender Fadenwurm ist *Meloidogyne hapla* (24). Über 550 verschiedene Wirtspflanzen sind bekannt, darunter sehr viele Nutzpflanzen: Gemüsepflanzen wie Möhren, Tomaten, Kartoffeln, Salat, Kohl, Porree, Zwiebeln, zudem Obst wie Erdbeeren und auch viele Zier-, Arznei- und Gewürzpflanzen.

(25) Durch Globodera verursachte Schäden

Heteroderen (25) sind obligate Parasiten, die ebenfalls zu den Nematoden gehören, wobei unterschiedliche Arten unterschiedliche Nutzpflanzen schädigen. Die Gattung ist einzigartig unter den Nematoden, weil die Weibchen sich in eine harte Zyste verwandeln können und so die Eier in ihrem Körper schützen.
Der Name Heterodera bezieht sich auf die unterschiedliche „Haut“ des Weibchens und der Zyste.
Das Kartoffelälchen *Globodera rostochiensis* (*Heterodera rostochiensis*) bevorzugt Kartoffeln als Wirt. Es verursacht große Schäden, wie du in den hiesigen Feldern vielleicht bereits bemerkt hast (25).

Insekten

Heuschreckenplagen sind dir sicherlich nicht nur aus dem alten Ägypten (26) und der Bibel bekannt, sondern du erinnerst dich vielleicht auch noch an die Zeitungsmeldungen 1988 über große Ernteverluste in Afrika auf Grund dieser Fraßinsekten. Vertrauter sind wir jedoch mit anderen Insektenschädlingen, z. B. mit dem Kartoffelkäfer oder dem Kohlweißling. *Leptinotarsa decemlineata*, der „Zehnstreifen-Leichtfuß“, besser bekannt als Kartoffelkäfer, ist heute weltweit verbreitet.

(26) Malerei in der Grabkammer des Horemhab (Ägypten 15. Jh.v.Chr.)

Er stammt ursprünglich aus der Neuen Welt, genauer Nordamerika. Dort hat er auf *Solanum rostratum* gelebt, bevor weiße Siedler ihn mit der nah verwandten Kartoffel in Kontakt brachten. Damit war seine weltweite Verbreitung gesichert (27). Kartoffelkäfer können innerhalb kurzer Zeit ganze Felder kahl fressen. Es werden aber auch andere Nachtschattengewächse, insbesondere auch weitere Nutzpflanzen wie Auberginen, Paprika, Tabak und Tomaten befallen.

(27) Gefräßig sind insbesondere die Larven des Kartoffelkäfers

Der Kleine Kohlweißling (*Pieris rapae*) ist ein Schmetterling (Tagfalter) aus der Familie der Weißlinge und gehört zu den am häufigsten in Mitteleuropa vorkommenden Tagfaltern (28).

Er tritt inzwischen nahezu weltweit auf, weil die Insekten zusammen mit dem Gemüse verschleppt wurden. Die Raupen sind ein bedeutender Schädling in der Landwirtschaft und im Gemüseanbau.

(28) *Pieris rapae* rechts und seine Raupe links

Der Hauptschaden im Kohlanbau durch den Fraß der Raupen tritt meist ab dem Monat Juni auf. Da sich die Larven im weiteren Verlauf auch in die Köpfe der Kohlpflanzen einfressen, kann der Schaden sehr hoch sein.

Inzwischen sind wir bei den höheren Tieren angelangt und wählen aus ihrer Vielfalt 3 Vertreter aus:
die Wühlmäuse,
die Rinder und
die Menschen.

Höhere Tiere

Die Wühlmäuse (Arvicolinae) stellen eine Unterfamilie der Wühler (Cricetidae) mit über 150 Arten dar. Zu den bekanntesten Arten gehören die Feldmaus, die Rötelmaus, die Bisamratte, die Schermaus und der Lemming. Wühlmäuse können schwere Schäden an Wurzelgemüsen, Stauden, Kartoffeln, Obstbäumen und anderen Nutzpflanzen verursachen (29).

(29) Wühlmaus

(30) Kuh mit Gras

Das Hausrind (*Bos primigenius taurus*) ist die domestizierte Form des eurasischen Auerochsen. Es wurde zunächst wegen seines Fleisches, später auch wegen seiner Milch und Leistung als Zugtier domestiziert. Unsere Kühe fressen auch nicht alles. Viele Wildpflanzen, entweder zu stachelig oder zu „giftig“ werden verschmäht. Sie lieben insbesondere saftige Gräser (30), aber auch Pflanzen, die auch für uns von „Wert“ sind, z. B. Soja und Mais.

Homo sapiens, das sind wir, der Mensch. Ob wir weise sind, bleibt dabei vorerst einmal dahingestellt. *Homo sapiens* musste sehr, sehr viel lernen bevor er die belebte Welt dominieren konnte. Zum Beispiel mussten Nahrungsquellen erschlossen werden, um ein Populationswachstum seiner Spezies zu ermöglichen.
Bis hierher haben wir gelernt, dass Wildpflanzen ein vielschichtiges Bollwerk aufgebaut haben, das sie vor übermäßigen Attacken durch andere Lebewesen schützt. Werden diese Schutzschichten eliminiert, dann werden diese Pflanzen für uns und viele Tiere erst genießbar, sie verlieren jedoch jegliche Wettbewerbsfähigkeit. Damit noch etwas von den domestizierten Pflanzen für uns übrig bleibt, bauen wir neue Schutzwälle auf, die unsere Mitbewerber auf dem Markt, wie z.B. die Mikroorganismen, aber auch die anderen Lebewesen, nicht so schnell überwinden können.

Wie ist das möglich?

4 „Neo-Protektionismus“

Chemischer Pflanzenschutz

In den vergangenen ca. 10 Jahren ging pro Jahr etwa 40% der Welternte durch Insektenfraß, Krankheiten und Unkräuter verloren (31), trotz des Einsatzes von Pflanzenschutzmittel. Allerdings sei hier angemerkt, dass viele der ärmeren Länder sich die teuren Chemikalien erst gar nicht leisten konnten.
Dennoch, wo wären wir ohne die chemischen Hilfen? Bliebe noch irgendetwas Essbares für uns übrig?

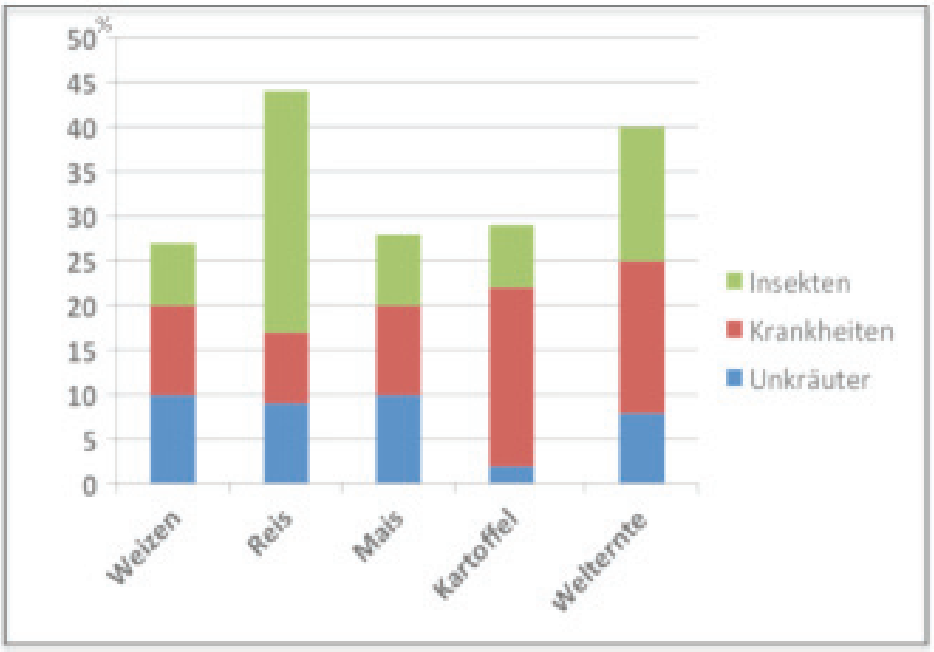
Das wollen wir lieber nicht ausprobieren.

Worin besteht die chemische Assistenz?
Knöpfen wir uns die drei wichtigsten Bereiche einmal vor.

1. Insektizide

Da unsere Nutzpflanzen ihre chemischen Abwehrwaffen durch Domestikation und Züchtung verloren haben, müssen entsprechende Substanzen von außen zugegeben werden. Die chemische Industrie hat dankenswerterweise geeignete Stoffe entwickelt, die als Insektizide wirken.

Wichtig war dabei, dass diese Stoffe nicht generell alle Insekten töten, denn, wie du weißt, werden Insekten auch für die Befruchtung vieler Pflanzen benötigt.



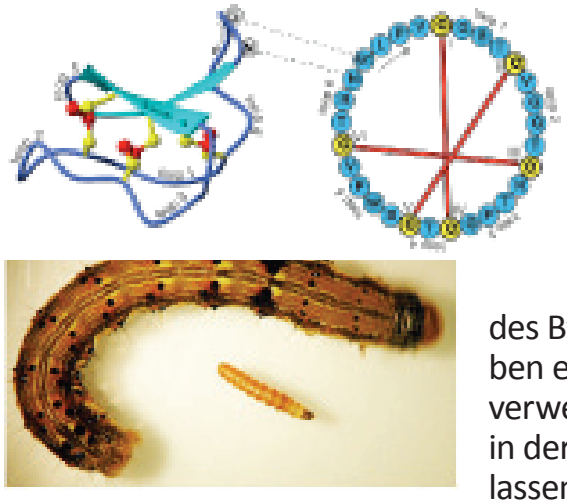
(31) Globale Ernteverluste

Es galt also, maßgeschneiderte Wirkstoffe für ganz bestimmte Fraßinsekten zu entwickeln, die die Nutzinsekten nicht beeinträchtigen. Heute verfügen wir über eine große Palette derart spezifischer Substanzen. Allerdings haben viele dieser Chemikalien auch schädigende Wirkung für uns Menschen.

Daher sind die Warnhinweise für ihre Anwendung auf der Packung unbedingt zu beachten.
In Zukunft könnten pflanzliche Insektizide, die nicht für den Menschen schädlich sind, die Landwirtschaft ein wenig sicherer machen.

Oldenlandia affinis, eine afrikanische Pflanze zur Familie der Rubiaceae gehörend, produziert ein Polypeptid (Cyclotid), das nur für Insekten schädlich ist.

Die Baumwollkapselraupe *Helicoverpa punctigera* z.B. greift breitblättrige Pflanzenarten an, wie z.B. Baumwolle, Kichererbsen, Raps, Sonnenblumen, Sojabohne, und viele andere Bohnen, aber keine Gräser. Das Cyclotid Kalata B1 hemmt die Entwicklung der Raupe (32).

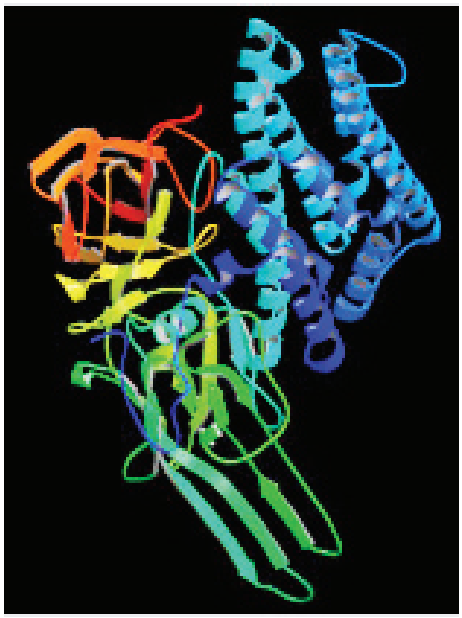


(32) Struktur und Sequenz des Cyclotids Kalata B1 verzögert die Entwicklung von *Helicoverpa punctigera*

Kalata B1 könnte möglicherweise die sich entwickelnde Palette biologischer Insektizide erweitern.

Ein dir ja sicherlich bestens bekanntes Beispiel ist das Toxin (Giftstoff) von *Bacillus thuringiensis*, kurz Bt genannt. Lesen wir was Wikipedia dazu sagt: Bt-Toxine werden in Abhängigkeit von ihrem Wirkmechanismus in die zwei Gruppen der Cry-Toxine (crystal toxins, (33) und der Cyt-Toxine (cytolytic toxins) eingeteilt .

Viele *Bacillus thuringiensis*-Stämme produzieren (Prä-)Proteine, die sich in kristallinen Einschlüssen während der Sporulation anlagern. Im Darm des Zielorganismus werden diese Kristalle aufgelöst und die Präproteine geschnitten. Dabei entstehen funktionsfähige Proteine, die nur in den Stoffwechsel des Zielorganismus eingreifen und somit als Insektizid wirken. Die Wirksamkeit und Spezifität des Bt-Cry-Toxins haben es zu einem weit verwendeten Mittel in der Landwirtschaft werden lassen. Es gilt - mit Ausnahme seiner Antagonisten (z. B. des Maiszünsler) - für andere Organismen, wie den Menschen, als ungiftig und ist daher z.B. auch im ökologischen Landbau ein zertifiziertes Mittel.



(33) Bändermodell des Bt Toxin Cry2A

Mithilfe der Gentechnik (siehe Kapitel 3, Bakterien) wurden sogenannte Bt-Pflanzen hergestellt, die nunmehr Bt-Toxine synthetisieren. So kann sich die Pflanze jetzt selbst mit Hilfe des bakteriellen Proteins vor dem Schädling schützen.

(34) Westlicher Maiswurzelbohrer

In der Vergangenheit wurden allerdings bereits verschiedene Schadinsekten gefunden, die gegenüber einzelnen Bt-Toxinen resistent sind. Zuletzt wurde im Sommer 2009 in Iowa (USA) die Resistenz des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera*) (34) gegen Cry3Bb1 entdeckt. Der wahrscheinliche Grund ist dabei meist eine nicht-rezessive Vererbung sowie eine unzureichende Einhaltung von Refugienflächen. Um möglichen Resistenzbildungen bei Zielinsekten entgegenzuwirken, wurden 2007 an der Universität von Mexiko (UNAM) erstmals ein Gen und das dadurch erzeugte Bt-Toxin so verändert, dass es wieder wirksam wurde. Auf diesen Forschungen aufbauend und mit Hilfe von Erkenntnissen zum

Mechanismus von Resistenzbildung bei Fraßschädlingen präsentierte 2011 eine internationale Forschergruppe die modifizierten Proteine Cry1AbMod und Cry1AcMod. Die neuen Toxine erwiesen sich als sehr effizient gegen Schädlinge, die ihre Resistenz auf Grund verschiedener Mutationen erlangt hatten. Weitere Forschungen haben die Eignung für die Landwirtschaft zum Ziel, um eine sichere Wirkung gegen Fraßschädlinge zu garantieren.

(35) Vom Zünsler befallene Maispflanze und Kolben

Als wichtigstes Beispiel sei der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) erwähnt. Er ist ein (Klein-) Schmetterling aus der Familie der Crambidae. **Der ursprünglich aus Europa stammende Maiszünsler ist inzwischen kosmopolitisch und gehört zu den wirtschaftlich bedeutendsten Schädlingen an Mais (35).** Nach Schätzungen der FAO werden von den Raupen des Maiszünslers weltweit etwa 4 Prozent der jährlichen Maisernte vernichtet.
Mir drängen sich natürlich sofort die Fragen auf :
Wie sieht es beim Maiszünsler mit der Entwicklung von Bt-resistenten Zünslern aus und wie kann die Resistenz verhindert werden?
Resistenzen entwickeln sich immer dann, wenn die Selektion zu scharf ist.

Es sollten also Refugien für den Zünsler angebaut werden, also Areale von normalem Mais, der kein Bt-Gen enthält, auf dem sich der Zünsler also vermehren kann. Bei guter Planung des Bt-Maisanbaus und der selektionsfreien Zonen kann die rasche Entwicklung von Bt-resistenten Zünslern vermieden werden. Ein völlig anderer Schritt ist das „stacking“ von mehreren unabhängig voneinander wirkenden Bt-Proteinen in der transgenen Pflanze. Hier entspräche das Auftreten von vielfach resistenten Zünslermutanten dem Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten, es wäre also sehr, sehr selten. In den USA und einigen anderen Ländern sind solche Pflanzen auf dem Markt.

Neben dem internen Schutz der Pflanzen vor spezifischen Schädlingen haben Studien in mehreren Ländern ergeben, dass der Bt-Mais weit weniger mit Schimmelpilzen und den zugehörigen, meist krebserregenden Giften der Pilze belastet ist. Dies liegt an der verringerten Fraßschädigung, die zugleich ein Ansammeln von Wasser in den Fraßgängen und damit ein Wachstum der Pilze verhindert.

Bei der biologischen Schädlingsbekämpfung werden Nützlinge, vor allem Fressfeinde oder Parasiten, gezielt gegen Schadorganismen eingesetzt. Dir bestens bekannte Beispiele sind Vögel und Marienkäfer (36).

(36) Marienkäfer beim Blattlausmahl

Allerdings dürfte der Schutz eines riesigen Maisfeldes durch Nützlinge schwer werden. Dennoch entwickelt sich das Feld der biologischen Schädlingsbekämpfung ständig weiter.

Heterorhabditis bacteriophora ist ein nützlicher Fadenwurm, der Ameisen, Fliegen, Motten, Flöhen aber auch Käfern einen Strich durch die Rechnung machen kann. Die Nematoden vermehren sich in ihrem Wirt und entlassen aus ihrem Verdauungsapparat Xenorhabdus Bakterien, die ihrerseits den Käfer töten, eine komplexe biologische Kriegsführung.
Der Maiswurzelbohrer gehört zu den Wirten von Heterorhabditis, von daher wäre eine biologische Bekämpfung dieses Käfers durchaus möglich.

2. Fungizide

Fungizide sind chemische oder biologische Wirkstoffe, die Pilze oder ihre Sporen abtöten oder ihr Wachstum hemmen. Sie werden u.a. in der Landwirtschaft als Pflanzenschutzmittel angewendet. Als ein Beispiel sei das Fungizid Infinito aufgeführt: Infinito ist ein Fungizid mit translaminaren und systemischen Eigenschaften zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) an Kartoffeln (37).

Fluopicolide ist ein neu entwickelter Wirkstoff, der über einen völlig neuen Wirkungsmechanismus verfügt. Propamocarbhydrochlorid greift über eine Störung der Fettsäuresynthese an verschiedenen Stellen in den Entwicklungszyklus von *Phytophthora infestans* ein.

(38) Insektizid

Infinito (38) schützt gleichzeitig Blätter, Stängel und den Neuzuwachs vor Infektionen, somit ist ein frühzeitiger Knollenschutz gewährleistet. Beide Stoffe wirken protektiv und in begrenztem Maße auch kurativ (gelber Kasten).

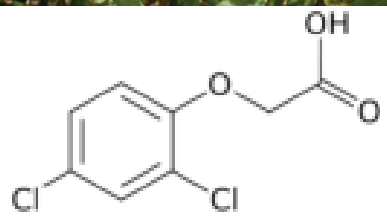
(37) Befallenes Kartoffelfeld und Knolle

3. Herbizide

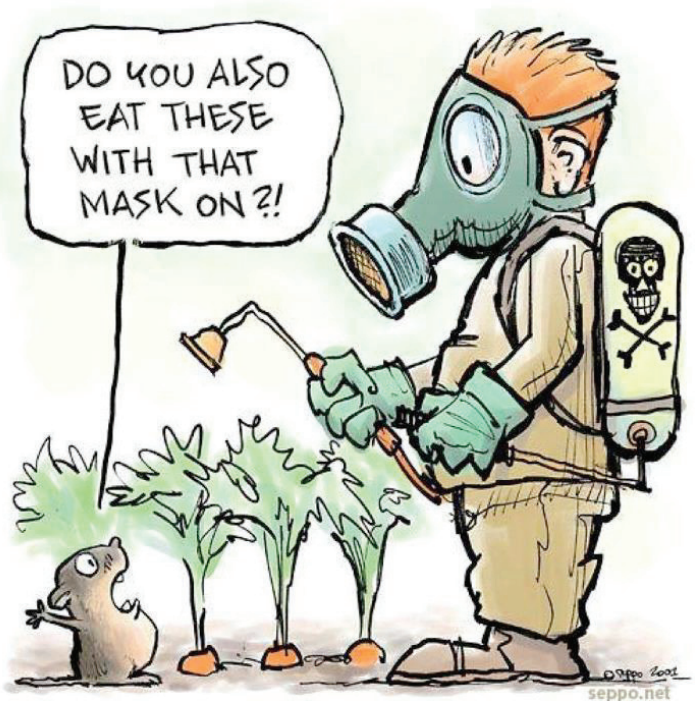
Herbizide sind Unkrautbekämpfungsmittel, also Substanzen, die störende Pflanzen abtöten sollen. Kulturpflanzen stehen im Wettbewerb mit Unkräutern um Wasser, Nährstoffe und Licht. Dichter Unkrautbewuchs kann die Ernte sehr erschweren und deutlich vermindern. Unkräuter können manuell, mit Maschinen oder mit Herbiziden dezimiert werden.

Man unterscheidet dabei zwischen selektiven Herbiziden, die gegen bestimmte Pflanzen wirken und Breitbandherbiziden (Beispiele sind Glyphosat und Glufosinat), die gegen sehr viele Pflanzen wirken.
Eines der bekanntesten Pflanzenschutzmittel ist die 2,4-Dichlorphenoxyessig-säure (39), kurz 2,4-D genannt, die als Herbizid gegen zweikeimblättrige Pflanzen im Getreide, in Obstplantagen, auf Grünland und Rasen eingesetzt wird. Sie wirkt insbesondere gegen Knöterichgewächse und Disteln.
Während des Vietnamkrieges wurden Herbizide (insb. Agent Orange, das mit 2,4-D verwandt ist) auch zu militärischen Zwecken als Entlaubungsmittel verwendet .
Weiteres Wissenswerte findest du auf http://de.wikipedia.org/wiki/Herbizid

Wie bei allen Pflanzenschutmittel sind die Hinweise auf den Packungen genau zu beachten.



(39) Wirkung von 2,4-D und seine Struktur



Die Breitbandherbizide Glyphosat (Roundup) und Glufosinat (BASTA) werden über die Blätter aufgenommen. Viele Unkräuter sind jedoch bereits vor der Ausbringung der eigentlichen Saat aufgelaufen und können daher mit diesen Herbiziden bekämpft werden. Erst eine gentechnische Veränderung der zu schützenden Pflanzen hat eine spezifische Anwendung der Breitspektrum-Herbizide ermöglicht. Nehmen wir als Beispiel Glyphosat-resistente Soja.
Roundup hemmt die pflanzliche EPSP-Synthase und somit die Synthese aromatischer Aminosäuren. Die Resistenz gegen das Breitbandherbizid in Soja wurde durch den Transfer des bakteriellen EPSP-Synthase-Gens vermittelt (40), das zur Bildung eines gegen Glyphosat unempfindlichen Enzyms führt. Derart Herbizid-resistente Sojasorten werden zu über 90% in den USA angebaut. Obwohl bei uns der Anbau nicht genehmigt ist, betrifft uns in Europa die transgene Soja sehr, denn mehr als 2/3 des Proteins muss nach Europa importiert werden (siehe WiS Begierig Heft 6).

Dennoch frag ich mich :
Was habe ich bis hierher gelernt?
Zuerst bemühen wir uns, alle Schutzschichten der Pflanze niederzureißen, damit die Pflanzen für uns genießbar werden und dann bauen wir mittels chemischer Substanzen wieder neue Schutzzonen auf, damit wir überhaupt etwas Essbares ernten können.

(40) Roundup-resistente Soja, ohne Unkräuter dazwischen

Gibt es andere Möglichkeiten?

Zur Erinnerung:
Im Verlauf der Domestikation gingen viele Allele aus deren Genpool verloren (42) so dass unsere Nutzpflanzen z. B. immer krankheitsanfälliger wurden.

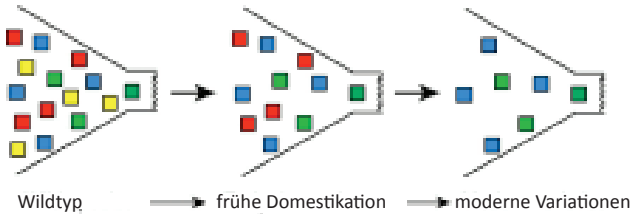
Kann das wieder rückgängig gemacht werden?

Am Tag der offenen Tür 2012 des MPIPZ sieht Budo ein Poster einer Wissenschaftlerin des Instituts, das einen Lösungsweg aufzeigt.

Anmerkung der Redaktion:
Alle Agrochemikalien sind in langjährigen komplexen Verfahren auf ihre Toxizität und auf ihre Umweltverträglichkeit getestet. Erst wenn ihre Unbedenklichkeit in beiden Punkten geklärt ist, wird die Substanz von den staatlichen Behörden für eine Anwendung zugelassen.

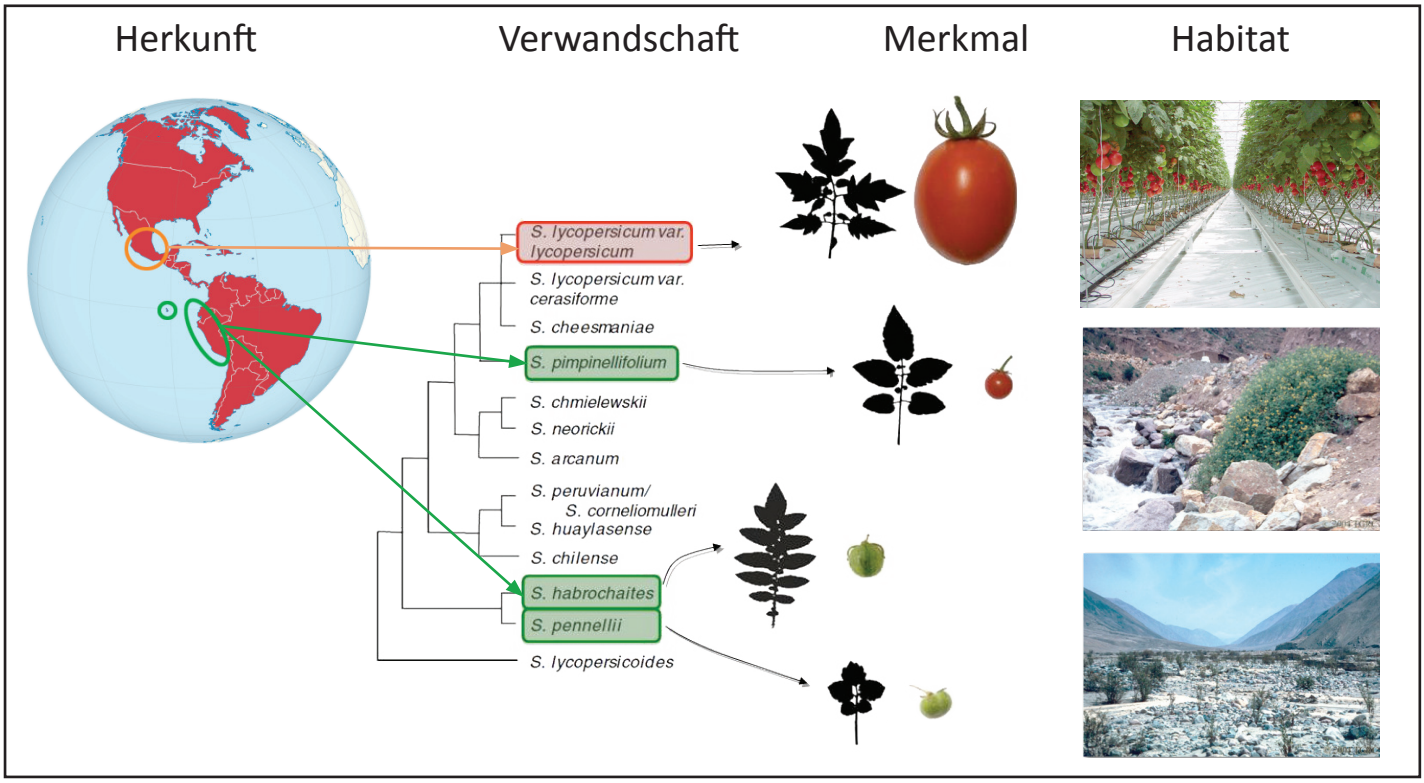
Genetischer Pflanzenschutz

Wie unschwer zu erkennen ist, handelt es sich in Bild 41 um Tomaten. Die Wildarten (grün) stammen aus Südamerika und die domestizierten (rot) Arten aus Mittelamerika. Der auf molekularbiologischen Methoden basierende Stammbaum weist den Verwandtschaftsgrad aus.



(42) Verlust der Allelvielfalt im Verlauf der Domestikation

Auf Grund des Verlustes vieler geeigneter Allele hätten domestizierte Tomaten keine Überlebenschance in diesen Habitaten (42). Sie fallen daher oft den Attacken von Pilzen, Nematoden, Viren oder anderen zum Opfer (43). Alles Krankheitserreger, die die Ernteerträge massiv reduzieren können und daher aufwändig behandelt werden müssen. Alternativ käme natürlich die Einkreuzung von Krankheits-Resistenz-Genen aus Wildarten in die kultivierte Sorte in Frage.

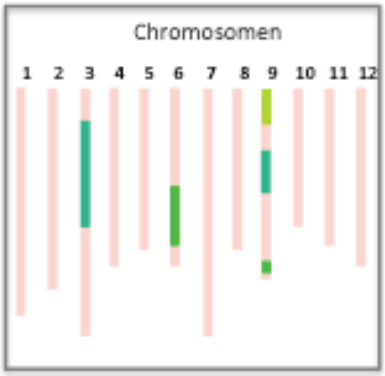


(41) Tomaten und ihre Abstammung

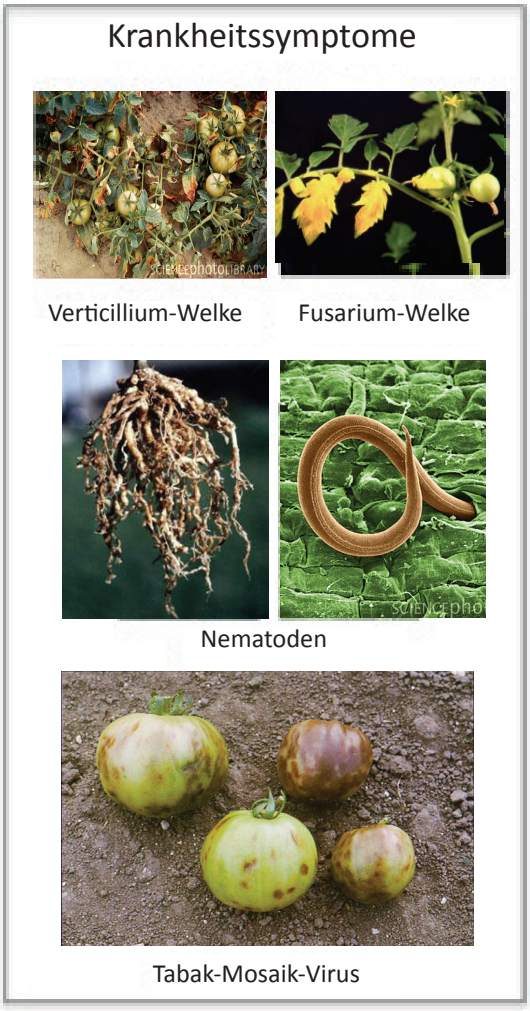
Die Merkmale der Blätter und Früchte sind ebenso charakteristisch für die einzelnen Wildarten wie ihre Habitate. Die Allelvielfalt der Wildarten ermöglichte die Anpassung an die vielen unterschiedlichen Biotope einschließlich der darin vorkommenden Krankheitserreger.

Wird eine derartige Kreuzung von z.B. *S. lycopersicum* mit *S. pimpinellifolium* vorgenommen, dann werden natürlich die ca. 25 000 Gene beider Arten gemischt und die Vorteile der kultivierten Sorte sind in den Nachkommen nur noch nach vielen Rückkreuzungen mit der kultivierten Sorte wiederherzustellen, wobei in jeder

Generation natürlich auch das Merkmal Krankheitsresistenz der Wildart wieder selektioniert werden muss.
Dieser Prozess ist mühsam und sehr, sehr zeitaufwändig und dauert oftmals viele Jahre bis Jahrzehnte.
Linien, in denen z.B. die Resistenz-Genregionen vorsortiert sind (grün in 44), erweisen sich als sehr nützlich. Werden sie in Kreuzungen eingesetzt, dann kann die Selektion mittels DNA-Analyse auch direkt auf genetischer Ebene erfolgen und somit viel Zeit einsparen.
Dieses Verfahren wird Markerunterstützte Selektion genannt, englisch MAS, und von den Firmen weltweit eingesetzt.



(44) Die 12 Chromosomen der Tomate. Rot sind die Bereiche der kultivierten und grün der Wildtomate hervorgehoben.



(43) Erreger und Phänotypen einiger Tomatenkrankheiten

Eine weitere, neue Technik hat die Landwirtschaft erreicht und revolutioniert.

Wie die so genannte

Grüne Gentechnik

funktioniert und was sie in der Landwirtschaft bewirkt, werde ich in **WiS Begierig Heft 9** berichten.

Bis bald,
Budo

5 Budo's Zusammenfassung

Wir haben erfahren, dass Nutzpflanzen im Laufe ihrer Domestikation entwaffnet werden.

Sie werden:

- enthaart
- entstachelt
- entdornt
- entholzt
- entgiftet

und anderes mehr.

Nur so sind sie für uns genießbar, aber auch für andere. Daher werden Schutzmaßnahmen für ihr Überleben notwendig.
Sie werden geschützt vor:

- Viren
- Bakterien
- Pilzen
- Unkräutern
- Würmern
- Insekten

und anderen Fraßfeinden, mittels

- Chemikalien
- Züchtung
- Einzel-Gen-Übertragung.

Nur so können WIR überleben!

Willkommen in der WIS

Ein Beispiel aus unserem vielfätigem Programm: Station 14. Pflanzen und ihre Krankheiten

Auch Pflanzen werden krank!

Vom Wohl und Wehe der Pflanzen hängt auch unser Wohlbefinden ab.

Wer sind die Erreger, wie wehren sich die Pflanzen dagegen und können wir ihnen dabei vielleicht helfen?

Medien und Aktivitäten

- Sammeln von Krankheitserreger auf dem Feld (Garten)
- Bestimmung des Erregers (durch Vergleich)
- Vergleich anfälliger und resistenter Sorten
- Sammeln von erkrankten Pflanzenorganen
- Inspektion der Materialien im Binokular und/oder Mikroskop
- Diskussion: Maßnahmen zur Verhinderung der Krankheit
- Abschätzung der potentiellen Schäden
- Selbstüberprüfung (multiple choice, Puzzle)

Ein Besuch unter **www.wissenschaftsscheune.de** lohnt sich immer!

WissenschaftsScheune

ÜBER DIE WISSENSCHAFTSSCHEUNE

Die WissenschaftsScheune (WiS) ist eine Einrichtung des Max-Planck-Instituts für Pflanzenzüchtungsforschung (MPIPZ), in der Besucher Wissenschaft hautnah erleben können.

Die Bandbreite der Forschung reicht vom DNA Molekül bis zum Anbau neuer Kultursorten. Themen der Grundlagenforschung und ihre Anwendung können Besucher in Erlebniswelten sowohl in der Scheune des Gutshofs als auch im Schaugarten spielerisch entdecken.

Weitere Details finden Sie auf unserer Homepage:

www. wissenschaftsscheune.de

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung

Der „Verein der Freunde und Förderer des Max-Planck-Instituts für Pflanzenzüchtungsforschung e.V." betreut die WiS und ist Herausgeber der Broschüre „WiS Begierig".

Alle Personen, die das Projekt WissenschaftsScheune unterstützen wollen, sind herzlich eingeladen, Mitglied im „Verein der Freunde und Förderer des MPIPZ e.V." zu werden.

Kontakt:
info@wissenschaftsscheune.de
Tel. 0221 5062-672 (Vormittag)

IMPRESSUM

Text:
Heinz Saedler

Redaktion:
Hiltrud Kupczyk

Bilder und Zeichnungen:
Heinz Saedler, Anna Johann

Layout:
Anna Johann, CGN Corporate

Referenzen

Bildnachweise

eigene Bilder:
1, 2, 3, 6, 8, 9, 18, 20, 30, 31, 41, 42, 43, 44

Wikipedia:
10, 12, 15, 16, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 33, 34, 37, 39

(4) http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/28418720
(5) http://solanaseeds.netfirms.com/exotic.html
(7) www.ernst-beck.de/skripten/13/bs13-5c.htm
(11) http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d35/35.htm
(13) www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d35/35.htm
(14) www.rothamsted.ac.uk/ppi/links/pplinks/virusems/
(17) www.dsv-saaten.de/getreide/krankheiten/gelbverzwergungs_virus.html
(19) http://pressemitteilungen.pr.uni-halle.de/index.php?modus=pmanzeige&pm_id=1011
(22) oregonstate.edu/instruct/dce/phytophthora/module1-2b.html
(27) http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/21643873
(30) http://img.mittelbayerische.de bdb/1643500/1643594/300x.jpg
(32) http://bytesizebio.net/wp-content/uploads/2009/03/cyclotide_structure.jpg und http://en.wikipedia.org/wiki/File:Helicoverpa_size.jpg
(35) http://www.transgen.de/anbau/btkonzept/226.doku.html
(36) http://www.growboxen.de/WebRoot/Store17/Shops/62701260/MediaGallery/blattlaeusemarienkaefer.jpg
(38) www.heinrichs-agrar.de/product_info.php/info/p505_15l-Bayer-Infinito.html
(40) grist.org/article/hearn1/