https://www.gen-ethisches-netzwerk.de/node/370

Gen-ethischer Informationsdienst

Die Erinnerung der Pflanzen

AutorIn
Florianne Koechlin

Es gibt Menschen, die mit ihren Pflanzen reden und an die positive Wirkung solcher Gespräche glauben. Viele Leute mit einem "grünen Daumen" sind davon überzeugt, dass Pflanzen sensibel sind. Neuere Befunde aus der molekularbiologischen Forschung scheinen ihnen zumindest teilweise recht zu geben.

Wenn eine Tomate von einer Raupe angegriffen und verletzt wird, dann beginnt sie sich zu wehren und bildet zum Beispiel Toxine gegen die Raupe. Die verletzte Tomatenpflanze tut aber noch mehr: Sie sendet einen SOS-Duftstoff aus und warnt damit andere Tomatenpflanzen in der Umgebung, damit diese auch Abwehrstoffe zu bilden beginnen. ForscherInnen kennen dieses SOS-Signal inzwischen: es sind Methyljasmonate, die zum Beispiel auch in Parfums verwendet werden. Bei Experimenten an der Washington State University musste Forschungsleiter Bud Ryan seinen Forscherinnen vorschreiben, im Gewächshaus kein Parfum zu gebrauchen - das hätte die Tomaten verwirrt. Das Kommunizieren mit Duftstoffen kann noch komplexer sein. Im Sommer 2004 habe ich Ted Turlings von der Universität Neuchâtel (französische Schweiz) interviewt, der ein kompliziertes Dreiecksverhältnis zwischen einer Maispflanze, einer Raupe und einer kleinen Schlupfwespe untersucht: Wenn die Raupe (Spodoptera exigua Hübner) eine Maispflanze befällt und an einem Blatt zu fressen beginnt, dann kommt bald ein natürlicher Feind dieser Raupe angeflogen: Eine Schlupfwespe der Gattung Cotesia marginiventris. Sie legt ihre Eier in die Raupe, die den Schlupfwespenlarven dann als Nahrungsquelle dient. Doch woher weiss die Schlupfwespe kurze Zeit nach Angriff der Raupe, wo sie gute Beute findet? Daran hat Ted Turling und seine Gruppe die letzten 15 Jahre geforscht. Denn die Raupe ist recht unscheinbar und auch geruchlos - sie selber zieht die Wespe kaum an.

Kompliziertes Dreiecksverhältnis

Turlings Gruppe fand heraus, dass es die Maispflanze ist, die mit einem speziellen Duftstoff die Wespen anzieht. Chemische Analysen ergaben, dass dieser Duftstoff aus einem Gemisch von Indol und Terpenoiden besteht. Turlings sagt, man könne das sehr gut riechen, wenn ein Blatt von einer Raupe angegriffen worden sei. Wie aber "weiß" die Maispflanze, dass sie von dieser Raupe angegriffen wird? Mit dem Messer verletzte Maisblätter senden keinen Duftstoff aus. Turlings erzählt: "Wir strichen den Kot von Raupen auf ein verletztes Maisblatt. Keine Reaktion. Wir schmierten den Speichel von Raupen auf das verletzte Maisblatt – die Pflanze begann sofort mit der Produktion der Duftstoffe. Also müssen die Pflanzen die Raupen an ihrem Speichel erkennen, sobald sie von ihnen angefressen werden. Was danach begann, war eine vier Jahre dauernde, sehr aufwändige Suche nach dem Signalstoff im Raupenspeichel. Wir haben Raupen aufgezogen, gefüttert, sie zum Erbrechen gebracht und ihren Speichel mit moderner Analysemethodik untersucht. So

fanden wir den chemischen Stoff, an dem die Maispflanze die Raupe erkennt, und nannten ihn Volicitin". Die Pflanze "schmeckt" also die Präsenz der Raupe an ihrem Speichel, genauer am Volicitin im Speichel, und beginnt dann sofort, ihre Duftstoffe herzustellen, um Schlupfwespen anzuziehen. Ein hoch differenziertes und flexibles Dreieck. Inzwischen haben ForscherInnen herausgefunden, dass Bäume mit Bäumen schwatzen - eine regelrechte Inter-Baum-Kommunikation! Ahorn schwatzt mit Ahorn, und auch Weiden, Pappeln und Birken wurden bei der Konversation erwischt. Meistens geht es darum, dass eine geschädigte Pflanze SOS-Signale aussendet, damit ihre Nachbarinnen mit der Abwehr beginnen oder Nützlinge mit Duftstoffen angelockt werden. Neuere Studien von Thomas Boller an der Universität Basel zeigen, dass Pflanzen auch unter der Erdoberfläche mit Hilfe der Wurzeln miteinander kommunizieren. Ein Forscher drückte das so aus: Es ist ein ununterbrochenes Gemurmel in der Luft. Immer, überall. Ein Gemurmel mit Duftstoffen.

Pflanzen sind "sensibel"

Heute wissen wir, dass Pflanzen mindestens 17 verschiedene Umweltvariablen wahrnehmen, also "erspüren" können. Sie können chemische Duftstoffe "riechen" und Licht differenziert wahrnehmen. Pflanzen enthalten in vielen Pflanzenorganen photosensitive Komponenten. Sie können nicht nur feststellen, ob Licht vorhanden ist; sie können auch Richtung, Intensität und Qualität – also die Spektralfarben – messen. Sie können Tages- und Jahreszeiten wahrnehmen. Pflanzen bemerken auch die Präsenz von schädlichem UV- Licht; sie stellen in der Folge Pigmente her, die diese herausfiltern – eine Art Sonnencreme also. Pflanzen können "tasten" – sie registrieren Berührungen und Vibrationen. Wir alle kennen die Mimose, die ihre Blätter bei geringster Berührung nach unten biegt. Weltweit gibt es Tausende von Ranken-, Winden- oder Kletterpflanzen, die auf Kontaktreize reagieren. Die Ranken von solchen Kletterspezialisten sind weitaus berührungsempfindlicher als die menschliche Haut. Die Ranke von Bryonia dioica reagiert noch auf "Streicheln" mit einem nur 0,00025 Milligramm schweren Faden. Das löst auf der menschlichen Haut längst keine Reaktion mehr aus. Pflanzen nehmen Duftstoffe, Licht, Töne, Chemikalien, Vibrationen, Schwerkraft oder Temperatur wahr. Sie nehmen diese Informationen auf und reagieren darauf, indem sie zum Beispiel das Wachstum ändern, oder die Anzahl Blätter oder die Dicke des Stängels. Pflanzen sind also fähig, Umweltsignale zu registrieren, intern weiterzuleiten und zu verrechnen. Sie sind fähig, ihr Verhalten in Reaktion darauf zu verändern.

Pflanzen lernen und erinnern sich

Einige WissenschaftlerInnen gehen noch einen Schritt weiter und postulieren: Pflanzen können auch lernen, sich erinnern und sie können vorausplanen. Dazu drei Beispiele:

- Pflanzen können sich aus der Qualität des Lichtes über die Stellung ihrer Nachbarn informieren, bevor sie von diesen effektiv beschattet werden. Das von der Nachbarpflanze reflektierte Licht gibt ihnen diese Information. So können sie sich bereits frühzeitig auf die Anwesenheit der Nachbarpflanzen einstellen. Sie reagieren also nicht erst dann, wenn sie bereits beschattet sind; sie können Informationen verarbeiten, die die zukünftige Verfügbarkeit von Licht betreffen, quasi vorausplanend also.
- Wenn die Wurzeln einer jungen, wachsenden Pflanze einer niedrigen Salzkonzentration ausgesetzt werden, dann kann die Pflanze später in Salzkonzentrationen überleben, die normalerweise tödlich für sie wären. Die Erfahrung der Wurzel wird auf die ganze Pflanze übertragen: Die junge Pflanze lernt, sich an eine Salzlösung anzupassen. Die Pflanze erinnert sich Monate oder Jahre später an diese Erfahrung und kann darum in hohen Salzkonzentrationen überleben.
- Ein Beispiel von vorausplanendem Verhalten von Pflanzen nennt Anthony Trewavas von der Universität Edinburgh: Die auch in Europa vorkommende Quendelseide Cuscuta ist eine Schlingpflanze, die von andern Pflanzen schmarotzt. Sie geht dabei sehr wählerisch und berechnend vor. Wenn sie eine potentielle Wirtspflanze mit ihren Saugnäpfchen das erste Mal berührt, tut sie es nur, um zu erkunden, wie ergiebig die Wirtspflanze ist. Verläuft die Erkundung negativ, sucht die Quendelseide weiter. Ist das Resultat positiv, windet sie sich um die Wirtspflanze, bildet Sprosse, dringt mit diesen in die Pflanze ein und schmarotzt von ihren Nährstoffen und vom Wasser.

Dabei kann die Quendelseide die zu erwartende Ausbeute offensichtlich genau abschätzen. Von der Prognose hängt ab, wie viele Windungen die Quendelseide um den Wirt legt, denn je mehr Windungen desto mehr Sprosse, um an die Nährstoffe herankommen. Ist die Wirtspflanze aber schwach, dann bedeuten zu viele Sprosse einen Energieverlust. Die Quendelseide wägt Aufwand und Ausbeute – und dies ist das erstaunlichste – etwa vier Tage im Voraus ab, denn solange braucht sie, um nach dem ersten Kontakt zur Nährstoffquelle zu gelangen. Trewavas schreibt, dass eine solche vorausschauende Planung ein flexibles Verhalten verlange. Das setzt Lernfähigkeit und Erinnerungsvermögen voraus. Und, so fügt er an, es erfordert Intelligenz. Intelligenz? Eine gewagte Hypothese. Eine Hypothese, die sowohl Ted Turlings wie auch alle anderen von mir befragten Experten eher ablehnen. Intelligenz sei etwas für Menschen, nicht für Pflanzen. Man solle den Pflanzen nicht menschliche Eigenschaften überstülpen, meinten sie.

Sind Pflanzen intelligent?

Was heisst überhaupt Intelligenz? Intelligenz ist ein schillernder Begriff, für den es bis heute keine allgemeingültige Definition gibt. Das Wort stammt aus dem lateinischen "inter-legere", also "wählen zwischen". Es bezeichnet die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Optionen auswählen zu können. Trewavas seinerseits bezieht sich bei seinen Ausführungen ausdrücklich auf den Intelligenzbegriff des neuseeländischen Psychologen und Philosophen David Stenhouse. Intelligentes Verhalten ist nach Stenhouse «adaptives und variables Verhalten während der Lebenszeit eines Individuums». Genau dies lässt sich bei Pflanzen beobachten, meint Trewavas: Pflanzen sind adaptiv, sie können sich also anpassen und ihr Verhalten ändern. Sie versuchen, ihre Fitness in einer in stetem Wandel befindlichen Umgebung ständig zu maximieren. Ob die Tomatenpflanze nun wirklich "kommuniziert" oder ob die Quendelseide nun wirklich "intelligent" ist, da sind sich, wie erwähnt, die Experten nicht einig. Weitgehend einig sind sie sich aber darin, dass zwischen Zellen eine Kommunikation stattfindet und es zwischen Pflanzen und Tieren eine grosse Übereinstimmung auf der Zellebene gibt. Pflanzenzellen kommunizieren sehr ähnlich wie Tierzellen.

Erstaunliche Übereinstimmungen

Viele chemische Signalmoleküle zur Zellkommunikation sind bei Pflanzen die gleichen wie bei Tieren. Zu diesen Signalstoffen gehören Peptide, Aminosäuren, Ionen oder Stickstoffoxid. Die internen Signal- und Kommunikationswege sind bei Pflanzen und bei Tieren ebenfalls ähnlich oder gleich. Von Menschen und Tieren kennen wir, dass zum Beispiel eine Schmerzbotschaft via elektrisches Signal von einem Ort zum andern gemeldet wird. Das gibt es bei Pflanzen auch. Bei Mimosen, die sehr empfindlich auf Berührung reagieren, führen elektrische Signalleitungen zur schnellen Reaktion, durchaus vergleichbar den Signalen in Nervenfasern von Tieren. Die Aktionspotentiale erreichen eine Geschwindigkeit von bis zu 20cm pro Sekunde, vergleichbar mit Geschwindigkeiten in Nervenfasern niederer Tiere; jedoch um Grössenordnungen langsamer als bei Säugetieren. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die molekularen Grundlagen des Lernens, so wie wir dies bei Tieren kennen, bei Pflanzen eine Entsprechung finden. Eine Pflanze lernt durch Versuch und Irrtum, wann genug Veränderung stattgefunden hat, um Stress und Verletzung zu minimieren. Auch bei der Abwehr von Pathogenen zeigen sich erstaunliche Übereinstimmungen: Bei höheren Tieren besteht das Immunsystem aus zwei Komplexen, dem "aquired immune system" (aquired: erworben) und dem "innate immune system" (innate: angeboren, eigen). Pflanzen, so ergaben neuere Studien von Thomas Boller in Basel, haben ein "innate immune system". Boller sagt: "Wir sehen nun plötzlich die Parallelität bei Pflanzen und Tieren; man kann also vom Immunsystem der Pflanzen reden und langsam die Anführungszeichen verschwinden lassen." Auf der Ebene des Genoms bestehen ebenfalls große Übereinstimmungen; der Molekularbiologe Fred Meins vom FMI in Basel sagt: "Auf der genetischen Ebene gibt es Unterschiede, aber die sind gradueller Natur, nicht prinzipieller." Pflanzen sind sensibel, und sie reagieren flexibel und adaptiv auf eine sich ständig ändernde Umwelt. Sie tun dies, um ihre Überlebenschancen jederzeit maximieren zu können. Sie sind also keineswegs passive Automaten, die auf eine Veränderung der Umwelt nur mit vorprogrammierten Reaktionen antworten. So bringt gerade die moderne Biologie bisherige mechanistische Konzepte zum Wesen der Pflanze zum Einstürzen. Descartes

Erbe sollte endgültig begraben werden. Was aber unterscheidet Pflanzen von Tieren?

Wie unterscheiden sich Pflanzen von Tieren?

Der Botaniker Jürg Stöcklin von der Basler Universität betont: Viel wichtiger als der Unterschied zwischen Pflanzen und Tieren sei derjenige zwischen Prokaryoten und Eukaryoten. Er schreibt: "Prokaryoten sind Einzeller, die noch keinen echten Zellkern besitzen. Sie leben seit dreieinhalb Milliarden Jahren auf der Erde. Im Verlauf der Evolution der Prokaryoten entstanden alle grundlegenden Ernährungsformen und Stoffwechselwege, die auch bei Eukaryoten vorkommen. (...) Erdgeschichtlich betrachtet sind Pflanzen und Tiere junge Organismen, die vor dem Hintergrund einer fast drei Milliarden Jahre dauernden Evolution prokaryotischer und einzelliger eukaryotischer Lebensformen entstanden sind. Die höheren Pflanzen entstanden vor rund 400 Millionen Jahren, die heute existierenden Tierstämme vor 500 Millionen Jahren. Die Kontinuität des Lebens äussert sich im universellen Charakter des genetischen Codes, der für alle Organismen identisch ist." Da sei es kaum verwunderlich, so Stöcklin, dass sich auf der Ebene der Zelle die meisten Strukturen, Prozesse und die Komplexität pflanzlicher und tierischer Zellen kaum unterscheiden. Auf den nächst höhreren Ebenen aber, also auf der Ebene von Organen oder ganzen Organismen, gibt es fundamentale Unterschiede, die durch die unterschiedlichen Ernährungsweisen bedingt sind. Eine Pflanze stellt Kohlenhydrate selber her; die von ihr benötigten Ressourcen (CO_2, Licht, Mineralien aus dem Boden) sind meist diffus und großflächig verteilt. Ein Tier benötigt Nahrung in kompakter Form. Ein zentraler Unterschied besteht darin, dass Pflanzen kein Nervensystem und kein Gehirn haben. Das brauchen sie auch nicht, denn sie sind «modulär» aufgebaut. Ihr Wachstum ist gekennzeichnet durch die Wiederholung immer gleicher oder ähnlicher Teile, Blätter zum Beispiel, oder Sprossen. Und jedes Blatt sucht individuell nach möglichst viel Licht in einer Umgebung, die in stetem Wandel ist. Pflanzen sind "demokratisch" organisiert; die Entscheidungen geschehen eher auf Blattebene oder in der Wurzel als bei der gesamten Pflanze. Individualität ist also eher auf der Ebene des Blattes angesiedelt als bei der gesamten Pflanze. Pflanzen sind also quasi demokratische Konglomerate oder Meta-Populationen. Und trotzdem muss es eine Gesamtkoordination geben, wo Signale verarbeitet und Erinnerungen gespeichert werden. Wahrscheinlich spielen da die Zellmembranen – die Hüllen um die Zellen – eine zentrale Rolle. Dort drängen sich hunderte von Signalmolekülen dicht aneinander, dort werden Informationen weitergeleitet, verrechnet und koordiniert. Könnte es also sein, dass die Pflanze als Ganzes das Gehirn ist? Der zweite Unterschied ist die Geschwindigkeit: Tiere müssen fliehen, rennen; sie sind auf schnelle Reaktionen angewiesen. Pflanzen hingegen sind sesshaft. Es kann Tage, auch Wochen dauern, bis sich bei ihnen flexibles Verhalten manifestiert. Diese Langsamkeit, schreibt Trewavas, erschwert es uns, bei Pflanzen von Intelligenz zu reden, da wir gewohnt sind, Intelligenz mit Schnelligkeit in Verbindung zu bringen. Dafür gebe es keinen Grund, meint er, eine Quendelseide brauche zwar vier Tage vom ersten Kontakt mit der Wirtspflanze bis zur Ausbeute, deswegen fehle es ihr aber noch lange nicht an Intelligenz. Pflanzen und Tiere zeigen aber, und das ist der springende Punkt, flexibles und adaptives Verhalten, um ihre Fitness in einer sich ständig ändernden Umwelt zu maximieren. Tiere sind flexibel durch ihr Verhalten, sie rennen davon, greifen an, beißen... Pflanzen sind flexibel durch ihre Entwicklung und ihr Wachstum. Ihre diffus verteilten Ressourcen können sie sich durch flexibles Wachstum aneignen. Sie können auf Umweltreize mit Veränderungen ihres Phänotyps reagieren; ihre "phänotypische Plastizität" ist enorm.

Schlussfolgerungen

Was bedeutet dies nun für für unsere Beziehung zum Lebewesen Pflanze? Mir fiel bei den Interviews auf, wie schwer es für die ExpertInnen ist, die neu entdeckte Pflanzenkomplexität zu beschreiben. Uns fehlt dazu die Sprache. Kann man bei Pflanzen von "Lernen", "Erinnern" oder gar von "Intelligenz" reden? Thomas Boller von der Universität Basel sagte, Vorausplanen oder Intelligenz setze Bewusstsein voraus. Und: "Dass es das bei Pflanzen auch gibt, kann man nicht ausschließen, aber wir haben keinen Zugang dazu, darum ist es nutzlos, darüber zu spekulieren." Mir scheint aber, dass es doch Sinn macht: Pflanzen Intelligenz zuzuschreiben ist zumindest eine Metapher, eine äusserst produktive Metapher, die neue Perspektiven eröffnet auf einem Gebiet, wo noch kein klares Verstehen existiert. Für mich persönlich ergeben sich vier

Schlussfolgerungen:

- Ich meine nun sicher nicht, dass wir keinen Salat mehr essen dürfen oder keine Bäume fällen - das ist die falsche Diskussion. Thomas Boller meinte zu mir: "Alle Tiere fressen Pflanzen, direkt oder indirekt. Ohne Pflanzen gäbe es weder Tiere noch Menschen. Es könnte die ethische Aufgabe der Pflanze sein, gefressen zu werden."
- Doch Pflanzen, das zeigt die moderne Biologie, sind sensible Lebewesen. Sie sind nicht bloß Sachen. Sie sind keine molekularen Maschinen, die patentiert werden können wie irgendeine Chemikalie. Also keine Patente auf Pflanzen.
- Ich hege große Skepsis gegenüber der massenhaften gentechnischen Veränderung von Pflanzen. Das sind immer noch krude Eingriffe, bei denen weder der Ort noch die Anzahl der eingebrachten Fremdgene kontrolliert werden können. Cesare Gessler vom Institut für Pflanzenpathologie an der ETH Zürich, nennt die Gentechnik, die heute bei Pflanzen üblich ist, eine Dinosauriertechnik, wo wir nicht wissen, in welche komplexen Zusammenhänge wir eingreifen, welche epigenetischen Netzwerke gestört werden. Und gerade solche ersten Einblicke in die immense Komplexität dynamischer Netzwerke, die es Zellen, Organen und Lebewesen ermöglichen, flexibel auf Umweltänderungen zu reagieren, legen nahe, dass es eine andere Herangehensweise braucht. Der lineare und mechanistische Ansatz der Gentechnik, geeignet allenfalls für molekulare Maschinen, greift zu kurz.
- Die neuen Erkenntnisse eröffnen hingegen ein faszinierendes neues Feld für die Forschung und die Anwendung in der Landwirtschaft: Pflanzen warnen sich mit Duftstoffen vor Frassfeinden. Das könnte auch für neue Strategien der Schädlingsbekämpfung genutzt werden: Duftstoffe statt Agrochemie oder statt Gentechnik. Pflanzen haben ein Immunsystem. Dieses Immunsystem kann mit bestimmten Signalmolekülen angeregt werden, Salicylsäure (bekannt als Wirkstoff von Aspirin) ist zum Beispiel ein solches Signalmolekül, das Immunreaktionen auslösen kann. Forschung an dieser induzierten Resistenz ist viel versprechend. Und so weiter.

Integrierte Forschung, on-farm-research, Ausnützen der Biodiversität, eine Forschung, die zum Ziel hat, "die-Natur-selber–den-Job-machen-zu-lassen": Das sind einige Stichworte für diese andere Forschungsagenda.

Fußnoten

Literatur:

- Jürg Stöcklin, Moderne Konzepte in der Biologie zum Wesen von Pflanzen und ihrer Unterscheidung von Tieren (Modern Concepts in Biology Regarding the Essence of Plants), 2004, siehe www.blauen-institut.ch
- Florianne Koechlin, Vier Interviews zu: Moderne Konzepte in der Biologie zum Wesen der Pflanze’, 2004, siehe www.blauen-institut.ch
- Anthony Trewavas, 2004, Annals of Botany 93, 353
- Artikel zu "Faszination Bioforschung" und "Afrikanische Erfolgsgeschichten: Zum ICIPE in Kenia" siehe www.blauen-institut-ch

Informationen zur Veröffentlichung

Erschienen in:
GID Ausgabe 169 vom April 2005
Seite 4 - 7