



DAS OBSKURE GEHIRN DER PFLANZEN

Menschen und Tiere nutzen Strom, um Signale weiterzuleiten. Pflanzen tun so etwas nicht, dachten Biologen lange Zeit. Doch jetzt entdecken sie in Pflanzen immer mehr verblüffende elektrische Signalsysteme.

Von Bernhard Epping

KOMPAKT

- Pflanzen können Aktionspotenziale aussenden – ähnlich wie Nerven.
- Nach neuesten Erkenntnissen sind die Potenziale sogar dosiert.
- Bei Maispflanzen wurde in den Wurzeln eine Zone entdeckt, in der manche Forscher so etwas wie ein „Gehirn“ vermuten.

FORSCHER DER UNIVERSITÄT Gießen und des Max-Planck-Instituts für Chemische Ökologie in Jena stießen Anfang des Jahres auf ein bis dato unbekanntes elektrisches Signal – in Pflanzen. Wenn sie Tabak, Gerste oder Ackerbohne in ein Blatt schnitten und noch eine Prise Kalium, Natrium oder Kalzium in die Wunde streuten, lief Sekunden später in einem weit entfernten, unverletzten Blatt ein Ministrom an der Mess-

elektrode vorbei: ein sogenanntes Aktionspotenzial. Das war nicht weiter überraschend. Denn dass Pflanzen nach dem ersten Biss eines Schädlings mit einem Stromstoß die Produktion von Abwehrstoffen ankurbeln, ist längst belegt. Aktionspotenziale, einmal ausgelöst, entwickeln immer die gleiche Stärke, laufen konstant durch Blatt und Spross zur Wurzel und zu anderen Blättern. Die Neuentdeckung kam erst



Spektakulär: In der Hibiskusblüte (links) hilft ein elektrisches Signal, die Befruchtung vorzubereiten. Auch bei der Schirmalge *Acetabularia* (Mitte) wurden spontane elektrische Aktivitäten festgestellt: Sie helfen wahrscheinlich, den Salzgehalt zu regulieren. Ganz raffiniert reagiert die Venusfliegenfalle (rechts) auf die Ankunft von Beute: Nur ein Doppelsignal löst den Schnappmechanismus aus.

später, zockelte erst nach zehn Minuten an der Elektrode vorbei. Die Entdecker taufte sie „Systemisches Potenzial“. Das Besondere daran: Das Systemische Potenzial ist dosiert – je nach Art der Verletzung kommt es stärker oder schwächer daher. „Es könnte“, spekuliert Axel Mithöfer vom Max-Planck-Institut in Jena, „Informationen über den Schweregrad einer Verletzung verbreiten.“ Also eine Meldung darüber, wie viele Fresser sich gütlich tun, um die chemische Abwehr fein zu tunen? „Das wissen wir noch nicht“, bedauert Mithöfer, Versuche dazu laufen.

FLEISCHFRESSENDE PFLANZE UNTER STROM

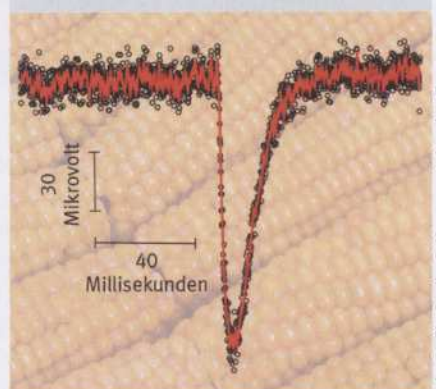
Pflanzen setzen wie Pilze, Tiere und Menschen auf Strom. Und dennoch fristet das Thema in der Botanik bis heute ein Schattendasein. Das Grünzeug, so die Annahme, braucht keine schnelle elektrische Signalleitung, um sich davonzumachen, weil es ja immer an der gleichen Stelle steht. Es war folglich ein tierisches Organ, das Riesenaxon des Tintenfischs, an dem Alan Lloyd Hodgkin und Andrew Fielding Hux-

ley 1952 die Mechanismen des Aktionspotenzials beschrieben. Mit bis zu 120 Metern pro Sekunde jagt es durch die Faser. Auch beim Menschen „feuern“ manche Neuronen derartig schnell. Und doch war das Aktionspotenzial bei Pflanzen lange vorher bekannt. Sir John Scott Burdon-Sanderson hatte im Jahr 1873 Elektroden in die Fangblätter von Venusfliegenfallen (*Dionaea muscipula*) gepickt – und Aktionspotenziale gefunden. Die fleischfressende Pflanze klappt ihre Blattfalle zu, sobald dort feine Härchen Bewegungen registrieren und ein Aktionspotenzial mit immerhin zehn Zentimetern pro Sekunde zur Blattmittellippe schicken, wo der Klappmotor sitzt. Es ist nicht der einzige Mini-Strom im Pflanzenreich. So senden Maiswurzeln Signale den Spross hinauf, wenn sie nach einer Dürre wieder Wasser bekommen.

Bei Hibiskuspflanzen, so fand eine Gruppe um Jörg Fromm von der Universität Hamburg, sorgen Aktionspotenziale sogar dafür, dass sich die Eizellen im Inneren einer Blüte auf die Befruchtung vorbereiten,

wenn oben an der Narbe des Griffels Pollen eintrifft. 15 Aktionspotenziale laufen unten im sogenannten Ovar ein, wo die Eizellen sitzen. Dort steigen Stoffwechselaktivität

SIGNAL VON DER WURZELSPITZE



Dieses Aktionspotenzial, das dem einer Nervenzelle ähnelt, hat der italienische Wissenschaftler Stefano Mancuso gemessen – an der Wurzelspitze einer Maispflanze. Womöglich steuert die Pflanze damit ihr Wurzelwachstum.

bdw-Grafik; Quelle: S. Mancuso, Universität Florenz

Geniale Gerste: Ebenso wie Tabak oder Ackerbohne ist sie zu dosierten Signalen fähig. Das fanden Forscher aus Gießen und Jena heraus. Bisher dachte man, dass Pflanzen immer gleich stark funken.

! GUT ZU WISSEN: DAS AKTIONSPOTENZIAL

Alle Zellen haben eine Membran, mit der sie innen von außen abgrenzen. Als fettige Lipid-Doppelschicht lässt sie elektrisch geladene Teilchen (Ionen) kaum passieren. Vielmehr regulieren spezielle Membranproteine den Durchlass – und das für jedes Ion anders. Dadurch entsteht eine elektrische Spannung an der Membran. Bei Nervenzellen beträgt sie etwa minus 70 Millivolt, bei pflanzlichen Zellen sind es etwa minus 200 Millivolt. Das Minuszeichen signalisiert, dass das Innere der Zelle negativ, das Äußere positiv geladen ist.

Ankommende mechanische, elektrische oder chemische Signale können dieses Membranpotenzial kurzfristig in die positive Richtung verschieben.

Übersteigt es einen kritischen Wert, der etwa minus 50 Millivolt beträgt, löst dies in manchen Zellen ein Aktionspotenzial aus. Für einen Augenblick verschiebt sich die Membranspannung bis zu einem Maximalpunkt, um danach zum Ruhezustand zurückzukehren. Aktionspotenziale breiten sich bei Tieren mit großer Geschwindigkeit entlang der Zellmembran aus: Die Zelle „feuert“.

In tierischen Nerven und Muskeln sind Aktionspotenziale eine Grundlage für die Informationsleitung. Bei Pflanzen gilt ein Geflecht sogenannter Siebröhren, das Phloem, als Hauptleiter für ihre – wesentlich langsameren – Aktionspotenziale.



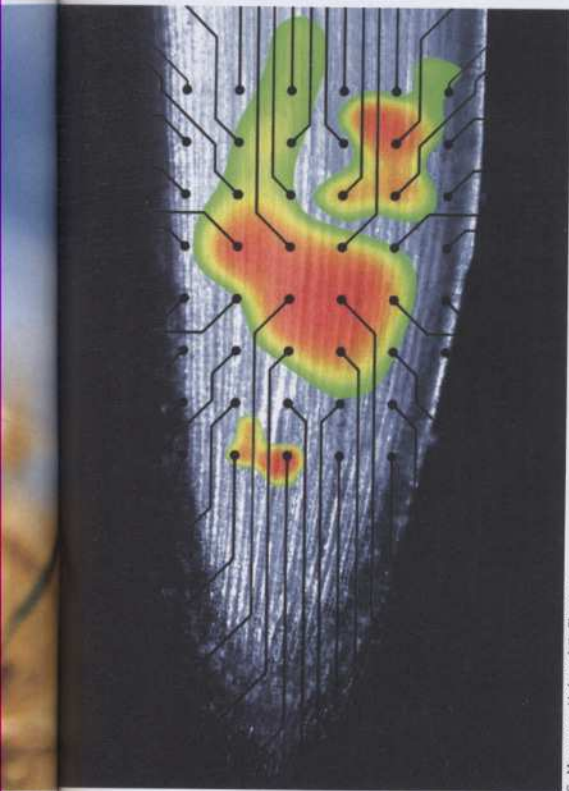
und Atmung gleich erwartungsvoll an, auch wenn der männliche Zellkern noch durch den neu wachsenden Pollenschlauch hinunter muss. Doch spezialisierte Leitungsstrukturen für elektrische Signale haben Pflanzen nicht – anders als Tier und Mensch mit ihren Nerven. Oft erfassen die Signale gleich die ganze Pflanze. Die flächige Erregung, meint der US-Forscher Eric Davies, diene vor allem bei Attacken von Fressfeinden dazu, wie mit einem Megafon den ganzen Körper zu informieren.

SYNCHRON AKTIV

Heftiger Streit tobt derzeit in der Biologenszene darüber, welchen „intellektuellen“ Status man Pflanzen denn nun zugestehen kann. Forscher um František Baluška und Stefano Mancuso von den Universitäten Bonn und Florenz reklamieren seit Kurzem gar den Begriff Neurobiologie für die Botanik. „Pflanzen“, erklärt Baluška, „registrieren Umweltreize, verarbeiten sie und reagieren mit einer gezielten Antwort – so wie es Nervensysteme können.“ Manche Leistungen sind in der Tat verblüffend. Bei der Venusfliegenfalle etwa müssen die Sinneshärchen zweimal binnen 40 Sekunden ein Signal an den Motor unten im Blatt schi-

cken – nur dann springt der Klappmechanismus an. Die Pflanze erhöht so ihre Chancen, nur dann zu schließen, wenn wirklich etwas in der Falle zappelt.

„Pflanzen haben eine erstaunlich komplexe Informationsverarbeitung“, kommentiert Jörg Fromm. Doch den Begriff Neurobiologie für Pflanzen weist er zurück, wie es auch eine Phalanx aus 36 Forschergrößen in einem Fachartikel von 2007 getan hat. Es gebe keine Nerven oder Synapsen in Pflanzen – „Neuro“ durchgefallen. Anfang 2009 legten die Neurobiologen jedoch nach, präsentierten Daten aus Maispflanzen, nach denen Zellen in einer „Übergangszone“ unterhalb der Wurzelspitze nicht nur permanent elektrische Signale abgeben, sondern ihre Aktivität ab und an sogar synchronisieren. Ein Hinweis auf ein zentrales Integrationszentrum, meint Baluška. Im übertragenen Sinne ein „Gehirn“, das Wurzelwachstum und -bewegungen steuere. „Natürlich haben Pflanzen weder Gehirn noch Nerven“, stellt Stefano Mancuso klar. Man nutze die Begriffe als Metapher. „Dann können wir ja gleich eine metaphorische Pflanzenforschung betreiben“, spottet der Elektrophysiologe Dietrich Gradmann und betont:



S. Mancuso, Universität Florenz

„Gehirn“ in der Wurzelspitze: Mit einem sogenannten Multielektroden-Array (MEA, schwarze Linien) fanden Biologen bei Mais eine koordiniert elektrisch aktive Zone.

„Tier und Pflanze haben völlig unterschiedliche Systeme. Das der Pflanzen ist viel älter und hatte ursprünglich auch einen ganz anderen Zweck.“ Darauf deutet die Chemie der Erregung: In Nervenzellen sind bei einem Aktionspotenzial nur positiv geladene Ionen zugange. In wenigen Tausendstel Sekunden strömt eine große Menge Natrium in die Zelle, die anschließend zum Ladungsausgleich das ebenfalls positive Kalium hinauswirft. Später wird alles wieder auf den Grundzustand zurückgeregelt. Am Salzgehalt ändert sich unterm Strich nichts. Ganz anders bei Pflanzen: Sie schleusen beim Aktionspotenzial negative Chlorid-Ionen hinaus und schicken zum Ladungsausgleich in großem Stil positives Kalium hinterher. Dadurch erleiden sie einen Salzverlust.

WARUM MACHT DIE ALGE DAS?

Gradmann, der Mitte der 1960er-Jahre im Keller des Botanischen Instituts der Universität Tübingen spontan auftretende Aktionspotenziale an der Schirmalge *Acetabularia* maß – „ganz gemächliche Signale, je-

weils etwa eine Minute lang“ –, wunderte sich, wozu die wenige Zentimeter langen einzelligen Meeresbewohner so etwas haben. Auf die Spur führten Berechnungen der Ionenströme: „Der Salzhaushalt entpuppte sich als dynamisch.“ In solch eine Alge strömen ständig etwas Kalium und Chlorid ein. Mit anderen Worten: Sie reichert Salz an.

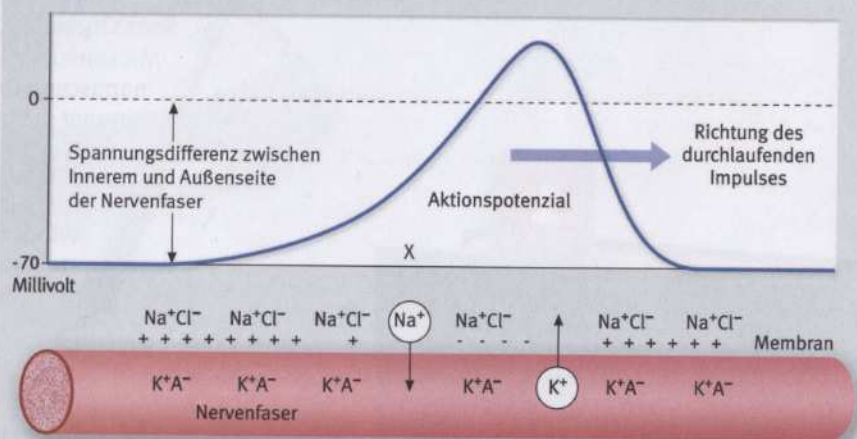
Schlecht für sie – der osmotische Druck steigt und steigt. Gradmann und sein Mitarbeiter Holger Mummert kamen Mitte der 1970er Jahre zu dem Schluss: *Acetabularia* nutzt das Aktionspotenzial – im Durchschnitt alle 20 Minuten eines – schlicht zu dem Zweck, das überschüssige Salz wieder loszuwerden. Andernfalls würde sie platzen – durch zu hohen osmotischen Wasserdruck, oder durch Kristalle von ausfallendem Salz. Nicht nur Algen machen das so: Gradmann vermutet, dass der Ursprung

von Aktionspotenzialen bei den gemeinsamen einzelligen Vorfahren von Pflanze und Tier zu suchen ist. Ursprünglich wurden die Aktionspotenziale wohl zur Regulation osmotischer Probleme entwickelt. Gradmann: „Dass höhere Pflanzen elektrische Signale obendrein noch für manche Informationsleitung nutzen, war eine spätere Entwicklung.“ Tiere legten sich gänzlich unabhängig davon ein „Nervenkostüm“ zu. Stehen elektrische Signale in Pflanzen also der Kardiologie näher als der Neurobiologie, da sie doch ursprünglich einer Art Blutdrucksenkung dienen? Dietrich Gradmann mag solche Vergleiche prinzipiell nicht: „Immer diese Vermenschlichungen!“



BERNHARD EPPING, promovierter Biologe und Wissenschaftsjournalist aus Tübingen, findet, dass man Pflanzen oft unterschätzt.

WIE DIE NERVENZELLE FEUERT



Mensch und Tier haben Nerven – im Gegensatz zu Pflanzen. Die Zeichnung verdeutlicht, wie ein Signal in einer solchen Nervenzelle als Welle von links nach rechts läuft: An ruhigen Stellen liegt die Spannungsdifferenz zwischen Innerem und Äußerem der Zelle bei minus 70 Millivolt (Ruhepotenzial). An der mit X gekennzeichneten Stelle ist die Spannungsdifferenz durch den ankommenden Impuls bereits ein wenig schwächer geworden (Depolarisation). Dadurch werden in der Membran die Schleusen für den Einstrom positiver Natrium-Ionen (Na^+) geöffnet – die Spannungsdifferenz sinkt nun rasch auf Null und schlägt sogar ins Positive um. Diese Ladungsumkehr kann man mit Elektroden messen – als „Aktionspotenzial“. Bereits in der Anstiegsphase des Aktionspotenzials schließen sich die Natrium-Kanäle wieder. Stattdessen werden Kanäle für das ebenfalls positive Kalium (K^+) geöffnet. Dieses strömt nun aus der Zelle heraus und bewirkt, dass die Ladung wieder ausgeglichen und das Ruhepotenzial erreicht wird. Die Bezeichnung Cl^- steht für negative Chlorid-Ionen, A^- für weitere, ebenfalls negative Ladungsträger (organische Anionen). An ihrer Verteilung ändert sich während des Aktionspotenzials nichts. Die Aktionspotenziale von Pflanzen sind langsamer, und es sind andere Ionen beteiligt.

bdw-Grafik; Quelle: Lexikon der Neurowissenschaft, Spektrum Verlag