© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mitteilungen.

7. Kurt Stern: Über polare elektronastische Erscheinungen.

(Aus dem Institut für animalische Physiologie [THEODOR-STERN-Haus] Frankfurt a. M.)

(Mit 2 Abbildungen im Text.)

(3. Mitteilung.)

(Eingegangen am 26. Oktober 1921. Vorgetragen in der Dezembersitzung 1921.)

In zwei früheren Mitteilungen habe ich[1]) Versuche über polare elektronastische Erscheinungen beschrieben. Wenn auch bereits Ergebnisse gewonnen wurden, aus denen im wesentlichen eine Bestätigung früherer Angaben von RITTER und BOSE zu entnehmen war, so waren doch die mir damals zur Verfügung stehenden Hilfsmittel so unvollkommen, daß die Untersuchung sehr lückenhaft bleiben mußte. Diese Lücken einigermaßen auszufüllen, war die Aufgabe weiterer Versuche mit ausreichenden technischen Hilfsmitteln. Über die Ergebnisse an *Berberis*staubfäden habe ich an anderer Stelle berichtet[2]). Hier beschränke ich mich auf die Wiedergabe der Resultate an Mimosen. Die Fragestellung lautete: Wie verhalten sich die polaren Reaktionen der Mimosengelenke bei verschieden starker Reizintensität a) von Gleichstrom, b) von Kondensatorentladung, c) von Induktionsschlägen?

Bevor ich auf die Versuche im einzelnen eingehe, müssen drei wichtige Fehlerquellen erörtert werden, die mit der Wirkung verschiedener Stromdichte, mit der Bildung von Stromverzweigungen und mit Reizleitungsvorgängen zusammenhängen.

a) Wirkung der Stromdichte.

Man findet vielfach in der elektrophysiologischen Literatur, in der botanischen, z. B. bei BOSE[3]) und mir[1]), als angenähertes Maß für eine elektrische Reizung die angelegte Spannung in Volt angegeben. Nun wirkt aber nicht die angelegte Spannung als solche reizend; wenn man z. B. eine auf einer Paraffinplatte stehende Mimose mit einem auf 240 V. gegen die Erde geladenen

1) STERN, Ber. d. D. B. G., 39, p. 3, 1921.
2) STERN, Z. f. Bot. XIV. 1922.
3) BOSE, Plant response, London 1906.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Pol einer elektrischen Leitung in Berührung bringt, so erfolgt keinerlei sichtliche Reaktion, obwohl die Pflanze auf die hohe Spannung von 240 V. aufgeladen wird. Ob nicht doch eine nur mit feineren Methoden nachweisbare Reaktion stattfindet, sei dahin-

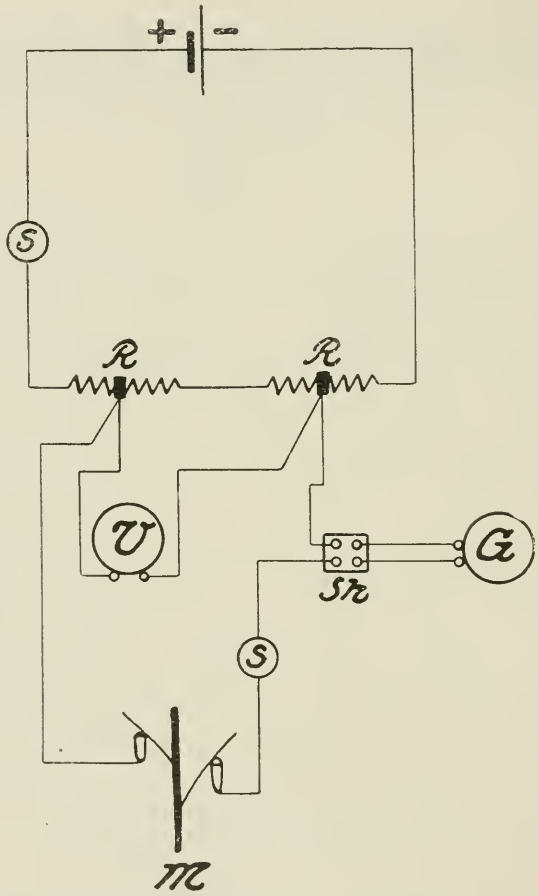

Abb. 1. S = Schlüssel, V = Voltmeter, R = Widerstand, Sh = Shunt, G = Galvanometer, M = Mimose.

gestellt. Sowie man aber den Topf erdet, erfolgt starke Reaktion, da jetzt nicht mehr bloße Aufladung der Pflanze erfolgt, sondern durch die Pflanze ein Strom vom 240-V.-Pol zur Erde fließt. Dieser Strom wirkt also reizend und seine Stärke, nicht die angelegte Spannung, wird ceteris paribus die Reizwirkung bestimmen.

Nach dem OHMschen Gesetz ist die Stromstärke $I = \frac{V\,(\text{Spannung})}{W\,(\text{Widerstand})}$, also ist bei gleichem Widerstand die Stromstärke der angelegten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Spannung proportional. Darauf beruht die Berechtigung, bei gleicher Versuchsanordnung die Spannung als angenähertes Maß der Reizintensität zu verwenden, da bei dieser der Widerstand wenigstens als einigermaßen gleich angenommen werden kann. Man kann sich sehr leicht überzeugen, daß bei Einschalten eines größeren Gewebewiderstandes bei gleicher Spannung die Stromintensität und Reizwirkung sinkt; doch ist das OHMsche Gesetz auf Gewebe nicht ohne weiteres und streng anzuwenden, da diese keine reinen OHMschen Widerstände sind. Es sollen einige Versuche angeführt werden, die die obwaltenden Verhältnisse zahlenmäßig zum Ausdruck bringen. Es wurden bei 10 V. Spannung die Elektroden in 3 Versuchsreihen an 2 Blattstiele angelegt, die a durch ein kleines,

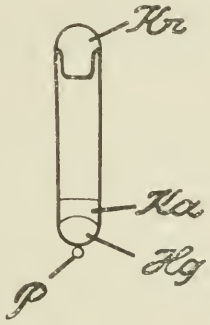

Abb. 2. P = Platinöse, Hg = Quecksilber, Ka = Kalomel, Kn = Knopsche Lösung.

b durch ein mittleres, c durch ein größeres Sproßachsenstück voneinander getrennt waren. Bei jeder Reihe wurde 10mal in Zwischenräumen von 2 Minuten der Strom auf 10 sec geschlossen und die Stromstärke, die ein eingeschaltetes Galvanometer anzeigte, abgelesen. Der Galvanometerausschlag erreicht ein Maximum, auf dem er ziemlich konstant bleibt, um allmählich abzunehmen.

Die Versuchsanordnung geht aus Abb. 1 hervor. Die 120 V. Gleichstromleitung war an die Enden zweier hintereinander geschalteter Regulierwiderstände von 1150 und 900 Ω angelegt. Von der Klemme des einen Regulierschiebers führte ein Draht zu der einen Elektrode durch die Pflanze zur anderen, von dieser zu einem Vorschaltwiderstand für das Galvanometer (shunt) durchs Galvanometer zur Klemme des anderen Regulierschiebers zurück. Der Schieber war so eingestellt, daß 10 V. abgezweigt wurden wie an einem Voltmeter abgelesen werden konnte, das parallel zu dem die Pflanze enthaltenden Stromzweig geschaltet war. Die Elektroden (Abb. 2) sind etwa 5 cm lange Glasröhrchen von 5 mm lichter

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Weite, in deren unteren Teil ein Platindraht eingeschmolzen ist, der außen in eine Öse umgebogen ist, die den Zuleitungsdraht aufnimmt, innen mit 5 mm Hg überschüttet ist. Darüber befindet sich eine Schicht von 5 mm mit KNOPscher Lösung gut durchgeschüttelten Kalomels, darüber KNOPsche Lösung. Die Elektroden werden so an die Blattstiele angelegt, daß die Blattstiele auf der Flüssigkeitskuppe der vollgefüllten Elektroden schwimmen. Bei den Versuchen wurde, um den Einfluß eines eventuellen Ablösens und Neuanlegens der Elektroden zu untersuchen, teils absichtlich, teils unabsichtlich durch Turgeszenzbewegungen des Blattstieles der Kontakt einer oder beider Elektroden nach einem Versuch unterbrochen und der Neuversuch nach Wiederanlegen der Elektroden ausgeführt. In der folgenden Tabelle sind die Zahlen der Skalenausschläge bei den Versuchen fett gedruckt, nach denen eine Kontaktveränderung stattgefunden hat.

Tabelle I.

Versuchs-nummer	Skalenausschläge		
	bei 10 cm	bei 20 cm	bei 30 cm
	Entfernung zwischen den Elektroden		
1	**14**	10	6
2	**15**	10,5	6
3	**15**	10,5	**6,5**
4	16	11	6,8
5	15,5	11	**6,8**
6	16	11	7
7	**15,5**	11	**7**
8	16	11	7
9	16	11	7
10	16,5	11	7

Man ersieht aus diesen Versuchen zunächst, daß bei gleicher angelegter Spannung — alle Versuche wurden ja bei 10 V. ausgeführt — die Stromstärke abnimmt mit der Länge des eingeschalteten Gewebestückes, also der Größe des Widerstandes. Diese Widerstandszunahme ist aber keineswegs proportional der Längenzunahme des Gewebestückes. Das ist ja auch gar nicht zu erwarten. Ganz abgesehen davon, daß der Skalenausschlag überhaupt nicht den reinen OHMschen Widerstand, sondern einen durch Polarisa-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

tion etc. veränderten OHMschen, also einen scheinbaren Widerstand mißt, ist diese anscheinende Unstimmigkeit mit dem OHMschen Gesetz auch ohne weiteres daraus verständlich, daß der Widerstand verschiedener Gewebestrecken nach ihrem Querschnitt und Leitvermögen differiert und keineswegs einfach der Länge proportional ist. So ist z. B. natürlich der Widerstand der dicken, mit weiten gut leitenden Wasserbahnen versehenen Sproßachse pro cm bedeutend kleiner als der der dünnen, mit englumigen Wasserbahnen versehenen Blattstiele. So gab z. B. bei 10 V. ein 16 cm langes Gewebestück von dem 15 cm Sproßachse und nur 1 cm Blattstiel waren, da beide Elektroden am Blattstiel nur ½ cm vom Ansatzpunkte des Blattes an der Achse anlagen, 18 Skt. ein ebenso langes Gewebestück, von dem 11 cm Blattstiel und 5 cm Sproßachse waren, da hier die Elektroden am Blattstiel in der Nähe des Ansatzpunktes der sekundären Blattstiele anlagen, gab nur 6,5 Skt. Im allgemeinen ist aber bei Verwenden von dem Augenmaß nach entsprechenden Sproßstücken bei gleicher Spannung auch die Stromstärke nur mäßigen Schwankungen unterworfen. So wurden, ohne daß auf äußere Gleichheit der verwendeten Gewebestrecken besonderes Augenmerk gerichtet wurde, an verschiedenen Mimosen die Elektroden an die Blattstiele zweier an der Sproßachse aufeinander folgender Blätter angelegt, und zwar an die Ansatzpunkte der sekundären Blattstiele. Das Ergebnis von 6 Versuchen zeigt folgende Skalenausschläge: 6,5; 7,5; 7; 6; 5,5; 7.

Wie man sieht, betragen in dieser Versuchsreihe die Schwankungen nicht über 20 pCt. Abweichung vom Mittelwert. Größere Abweichungen ergaben 6 entsprechende Versuche, bei denen die Elektroden an die Spitzen zweier benachbarter Blattfiedern angelegt wurden, und zwar zuerst an die 1. und 2. Fieder (a), dann an die 3. und 4. Fieder eines Blattes (b).

Tabelle II.

Versuchs-nummer	a	b
1	14	13,5
2	10	10
3	7	7
4	10	12
5	9	12
6	11	12

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es betragen also erstens hier die Abweichungen bei verschiedenen Blättern bis 50 pCt. vom Mittelwert. Zweitens sind auch die Widerstände der zwei Fiederpaare eines Blattes bisweilen recht verschieden. Im übrigen sollen diese Versuche natürlich nur einen ganz ungefähren Anhaltspunkt geben, mit was für Schwankungen der Stromstärke man bei derartigen Versuchen zu rechnen hat, wenn man auf die Gleichheit der Versuchsobjekte nicht besonders achtet. Selbstverständlich kann man durch zweckentsprechende Auswahl diese Schwankungen sowohl sehr einschränken wie sehr vergrößern. Es sei noch bemerkt, daß besonders bei älteren Blättern (z. B. Versuch 3) der Widerstand besonders hoch ist, offenbar infolge des hohen Luftgehaltes der Leitbahnen. Ferner sei hervorgehoben, daß aus Tabelle I ersichtlich ist, wie wiederholtes Durchsenden eines Stromes den scheinbaren Widerstand verringert, also die Stromstärke erhöht, und daß die Schwankungen infolge von Neuanlegen der Elektroden nur einige Prozente betragen.

Man hat also durch Angabe der Stromstärke anstatt der Spannung den Vorteil, etwaige Verschiedenheiten des Widerstandes in den betreffenden Versuchen berücksichtigt zu haben. Aber dennoch ist auch die Angabe der Stromstärke noch völlig unzulänglich. Vielmehr müßten alle Angaben in bezug auf die Stromdichte verglichen werden, d. i. die Stromstärke pro Querschnittseinheit des zu prüfenden Gewebes. Die Stromstärke ist ja im ganzen Kreise konstant, die Stromdichte dagegen wächst umgekehrt proportional dem Querschnitt. Denke ich mir also zwei reizbare Organe, deren Querschnitte sich wie 1 : 2 verhalten, hintereinander in einem Versuche oder nacheinander in zwei Versuchen im Stromkreise, so wird bei gleicher Stromstärke die Stromdichte im kleineren reizbaren Organ, d. h. die in der Zeiteinheit durch dessen Querschnitt hindurchgehende Elektrizitätsmenge, doppelt so groß sein, und dementsprechend wird auch die Reizwirkung größer sein als bei dem Organ mit größerem Querschnitt. Dies ist ein Punkt, den z. B. BOSE[1]) durchaus übersehen hat, als er vergleichende Untersuchungen über die Reizempfindlichkeit tierischer und pflanzlicher Objekte anstellte. So gibt er z. B. an, daß die menschliche Zunge den Reiz von $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ Amp. noch wahrnehmen kann, *Biophytum* aber von $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ Amp., und schließt daraus ohne weiteres auf die größere Empfindlichkeit des pflanzlichen Gewebes. Da aber keinerlei Angaben über die spezielle Versuchs-

1) BOSE, Researches, p. 250, London 1912.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

anordnung vorliegen, aus denen man auch nur einen Annäherungswert für die Stromdichte in beiden Versuchen ableiten könnte, so kommt diesen Zahlen keinerlei Wert zur Beurteilung der Frage nach dem verschiedenen Grade der Schwellenempfindlichkeit tierischer und pflanzlicher Gewebe zu.

Die Natur der Versuche über polare Erscheinungen an Gelenken bringt es mit sich, daß in der Regel mindestens 2 Gelenke im Stromkreise vorhanden sind. Angenommen bei einer bestimmten Versuchsanordnung wäre die Reizwirkung auf der Kathodenseite größer als auf der Anodenseite, gleiche Stromdichten vorausgesetzt. Ist aber im Experiment diese Voraussetzung nicht erfüllt, sondern die Stromdichte an der Anodenseite erheblich höher als an der Kathodenseite, sei es infolge geringeren Gelenkquerschnittes an der Anodenseite, sei es infolge unsymmetrischer Stromzuführung, so kann unter Umständen bereits an der Anodenseite Reizung auftreten, während sie an der Kathodenseite noch nicht auftritt, weil dann trotz der größeren Reizempfindlichkeit des Kathodengelenkes dort infolge der geringen Stromdichte die Reizschwelle noch nicht erreicht ist, während sie an der weniger empfindlichen Anodenseite bereits überschritten ist. Hier liegt also eine Fehlerquelle vor, die Ergebnisse vortäuschen kann, die den wirklichen Verhältnissen geradezu entgegengesetzt sind. Völlig ausschalten läßt sich diese Fehlerquelle nicht, denn weder ist es möglich, zu einem Versuche Gelenke von genau gleichem Querschnitt auszuwählen, noch die Elektroden so anzulegen, daß man sicher ist, daß der Stromverlauf genau symmetrisch ist. Wohl aber kann man bis zu einem gewissen Grade sich darüber klar werden, wie weit bei einem ausgeführten Versuche diese Fehlerquelle mitgespielt hat oder nicht; man nimmt eine Wippe in den Kreis auf und schickt bei völlig unveränderter Versuchsanordnung den Strom einmal in der einen, dann in der entgegengesetzten Richtung hindurch. Liegt echte polare Wirkung vor, so wird man die Reizung auch jetzt wieder an demselben Pol, also z. B. wieder an der Kathode erhalten. Lag durch Stromdichteverschiedenheit bedingte falsche Polarität vor, so wird jetzt dasselbe Gelenk, das also diesmal am anderen Pol liegt, wieder reagieren. Derartige Versuche sind dann als Versuche von ungenügender Wertigkeit auszuscheiden. Allerdings muß in Betracht gezogen werden, daß durch die vorangegangene Reizung die Stimmung der Gelenke verändert werden kann, eine Fehlerquelle, die man durch Verlängerung der Pause zwischen zwei Reizungen zwar beliebig vermindern kann, wofür man aber von neuem die Fehlerquelle einer Veränderung der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Stimmung durch Änderung äußerer oder innerer Faktoren eintauscht, die natürlich um so größer wird, je länger die Zeit ist, die zwischen zwei Versuchen vergeht.

b) Einfluß der Reizleitung und Reaktionszeit.

Liegen die Elektroden an den Stielen zweier Mimosenblätter, so beobachtet man beim Schließen des Reizstromes häufig nicht nur ein Knicken von Gelenken, sondern beobachtet, wie der ganze Sproß eine plötzliche Ruckbewegung ausführt. Es ist dies eine Erscheinung, die zweifellos auf irgendwelchen Veränderungen der Gewebespannung beruht, sei es, daß diese durch Ausstoßen von Zellsaft aus den lebenden Geweben der Sproßachse hervorgerufen wird, sei es, daß wir es mit einer Aufhebung bestehender Kohäsionsspannungen und deren Folgen zu tun haben. Diese Erscheinung, die einer näheren Untersuchung wohl wert wäre, interessiert hier nur deshalb, weil durch einen derartigen Ruck unter Umständen der Kontakt an einer Elektrode gelöst und damit der Strom unterbrochen wird, bevor eine Reaktion an diesem Pol eintritt. Nach Lösen des Kontaktes beobachtet man aber an dem abgelösten Blatte oft noch Reaktion. Dies kann auf verschiedenen Ursachen beruhen: Es kann eine gewöhnliche Schließungszuckung sein, in deren Latenzzeit die Ruckbewegung der Sproßachse fällt, die aber sonst mit dem Vorgang weiter nichts zu tun hat. Es kann eine durch die beim Ruck erfolgte Erschütterung hervorgerufene mechanische Reizung sein. Es kann auf Reizleitung vom anderen Pol beruhen, sei es Leitung des elektrischen Reizes, sei es Leitung der durch die Reaktion des anderen Gelenkes bedingten Reizes. Alle diese Möglichkeiten sind natürlich im Prinzip auch gegeben, wenn der Kontakt erhalten bleibt. Allerdings wird man im allgemeinen die mechanische Reizung in allen den Fällen, in denen ein sichtbarer Ruck nicht stattfindet, als unwahrscheinlich ausschalten. Dagegen ist die Entscheidung darüber, ob wir die Reaktion eines Poles als direkte oder durch Reizleitung bedingte anzusehen haben, bei dieser Anordnung nicht in allen Fällen möglich. Auszuschalten ist Reizleitung, wenn die Reaktion an beiden Polen nahezu so gleichzeitig erfolgt, daß die Reizleitungsgeschwindigkeit bis 10 cm pro sec zu klein ist[1]), um in dem kurzen Intervall den Reiz geleitet zu haben, und Reizleitung ist auszuschalten, wenn die Differenz der Reaktions-

1) Im Durchschnitt 1—2 cm pro sec, doch kommen auch Werte bis 10 cm pro sec vor; cf. BOSE, l. c. LINSBAUER, K. WIESNERfestschrift 1908, p. 396.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zeiten an beiden Polen so groß ist, daß sie ein Vielfaches der Reizleitungsgeschwindigkeit ausmacht. Dies gilt übrigens auch nur bei normaler Latenzzeit, beim Zusammentreffen extrem hoher oder niedriger Werte der Latenzzeit bei einem Blattpaar muß man auch den Einfluß in Betracht ziehen, der eventuell durch Differenzen in der Latenzzeit hervorgerufen wird. Geht man also bei der angegebenen Anordnung — Elektroden an den Blattstielen zweier Blätter — von niederen Spannungen zu immer höheren, und erhält z. B. bei 6 V. Reaktion am — Pol, bei 40 V. Reaktion am + Pol, so wird man, wenn etwa 15 sec zwischen beiden Reaktionen verflossen sind, ohne weiteres annehmen können, daß man bei 40 V. hier die direkte polare Wirkung des Stromes an dem 2. Blattgelenk vor sich hat. Wenn aber, was ebenfalls nicht selten vorkommt, beide Pole bei derselben Spannung nun mit einem Zeitunterschied einer sec oder eines Bruchteils davon Reaktion hervorrufen, so ist hier auch die Möglichkeit der Reizleitung in Betracht zu ziehen. Ebenso kann in diesem Falle z. B. das empfindlichere Blatt, d. h. dasjenige, welches die geringere Reizschwellenmenge erfordert, später reagieren, wenn seine Latenzzeit länger ist, als die des unempfindlicheren. Während diese Fehlerquellen bei Versuchen mit Blattgelenken immerhin das typische Resultat im großen und ganzen nicht verwischen, beeinträchtigen sie die Klarheit der Versuchsergebnisse an Blättchengelenken, bei denen z. B. die Elektroden an den Spitzen zweier Nachbarfiedern anliegen, oft so, daß deutliche Gesetzmäßigkeiten überhaupt nicht mehr zutage treten. Es bestimmt dann eben, das ist besonders bei hochgradig reizbaren Exemplaren der Fall, in den verschiedenen zu vergleichenden Versuchen bald das eine, bald das andere die Reaktion verursachende Moment den Typus der Reaktion. Man muß in all diesen Fällen die Methode der monopolaren Reizung anwenden, bei der der eine zu untersuchende Pol in der Nähe des Gelenkes, der andere in größerer Entfernung an der Achse sich befindet, so daß in der Reaktion nur die Wirkung des einen Pols zum Ausdruck kommt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: 40

Autor(en)/Author(s): Stern Kurt

Artikel/Article: Über polare elektronastische Erscheinungen. 43-51