

Das Zustandekommen der Schlafbewegungen der Pflanzen

Von

R. STOPPEL & H. G. MÖLLER

Eingelangt am 28. Juli 1958

Die Tagesrhythmik bei Pflanzen hat mich (R. STOPPEL) fast 40 Jahre hindurch wissenschaftlich beschäftigt. Meine ersten Beobachtungen gehen auf meine Studienzeit zurück; gelegentlich einer nächtlichen Wanderung von Freiburg auf den Feldberg fand ich, daß an dem tagesperiodischen Öffnen und Schließen von Blüten wenigstens ein noch unbekannter Faktor mitwirken müsse. Daher erbat ich mir von Herrn Professor OLTMANN'S dieses Thema als Doktorarbeit.

Die Untersuchungen wurden in erster Linie mit *Calendula arvensis* ausgeführt und später unter Mitarbeit von KNIEP fortgesetzt. Sie ergaben, daß die tagesrhythmischen Bewegungen der Blüten bei völliger Dunkelheit im gleichen Rhythmus wie zu Beginn abliefen und nur von kleineren Bewegungen überlagert wurden. Ein bestimmter Einfluß des Lichtes ging aber daraus hervor, daß die Blüten in dauernder Dunkelheit zum ersten Mal sich zu der Tageszeit öffneten, wenn die Pflanzen mit Knospen in den Dunkelraum gekommen waren. Diese Stunde wurde dann auch bei den späteren Bewegungen beibehalten, sodaß gleichzeitig die Blüten einer Pflanze sich öffneten, während die einer anderen sich schlossen. Licht beziehungsweise Dunkelheit haben also eine „öffnende Kraft“ für die Blüten, aber ein übergeordneter Einfluß bewirkt auch in dauernder Dunkelheit die tagesrhythmischen Bewegungen.

Hierauf wurden die Bewegungen der Laubblätter von *Phaseolus multiflorus* untersucht, da diese Pflanze im Samen reichlich Nährstoffe enthält und in Nährlösungen wochenlang gut gedeiht; auch konnten die Bewegungen mechanisch registriert werden. Versuche in Straßburg, Basel, Hamburg, auf Island und noch an einigen Orten Deutschlands mit Saatgut aus Deutschland, Amerika und Java zeigten keine Unterschiede in der Zeitlage der Bewegungen. Daher konnte ich dem Einwand, es könne sich um eine endonome Erscheinung handeln, keinen Glauben schenken. Um mich auf einen anderen Längengrad zu befinden als in Hamburg, wählte ich Island als Versuchsort. Dort hielten sich die Bewegungen der Bohnenblätter in völliger Dunkelheit bei nur wenig schwankender Temperatur ungeachtet der Herkunft des Samens genau an die Ortszeit; der Gipfel der Bewegungskurven lag durchschnittlich immer um zwei Stunden später als in Hamburg, also in der gleichen Ortszeit. Daraus schloß ich, diese

Tagesrhythmik könnte durch einen elektrischen Faktor wenigstens beeinflusst, vielleicht sogar ausgelöst werden. Luftelektrische Beobachtungen vor allem über die Leitfähigkeit der Atmosphäre ergaben eine auffallende Übereinstimmung der Leitfähigkeits- mit den Bewegungskurven. Damit war das Rätsel aber noch nicht gelöst. Denn in Nächten mit starkem Nordlicht gab es keine Kurvengipfel der Leitfähigkeit, während die Bohnenblätter ungestört „schliefen“. Die tagesperiodischen Blattbewegungen konnten also nicht mit der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre allein zusammenhängen, aber beiden Erscheinungen könnte ein übergeordnetes Etwas zu Grunde liegen.

Auf Island war der Keller eines nur etwa 2 m vom Fjord entfernten Hauses der einzige der zahlreichen Versuchsplätze, wo die Bohnen überhaupt keine Schlafbewegungen ausführten. Die Blätter blieben fast unbeweglich. Aber diese Ruhe wurde jedesmal gestört, wenn ich — nicht täglich — den Keller für wenige Minuten betrat, um mich mit einer Taschenlampe von der Ordnung der Versuche zu überzeugen. Diese Besuche waren so kurz, daß der Thermograph keinen Ausschlag zeigte. Dennoch machten die Blätter dann immer eine einmalige Tagesbewegung, die umso stärker war, je mehr meine Kleider vorher draußen durchsonnt worden waren. Den gleichen Erfolg erzielte ich auch, wenn ich selbst den Keller kaum betrat, sondern nur ein durchsonntes Wolltuch rasch in eine Ecke legte. Die besonnten Kleider müssen also irgend etwas „Elektrisches“ in den Keller gebracht haben, das die Bewegungen auslöst.

Was ich bisher vermutet hatte, ließ sich nicht bestätigen. Daher dachte ich an die örtlichen Schwankungen der elektrischen Ladung der Erde. Professor LIESKE, dem ich dies mitteilte, glaubte zwar nicht an diese Möglichkeit, wies mich aber an Professor SANFORD (Kalifornien), der mit einem kurzgeschlossenen und geerdeten Quadrantelektrometer (mit 2 Quadranten) lokale Schwankungen der Erdladung ermittelt hätte. Die Kurven zeigten tagesrhythmische Schwankungen. Ich besuchte den damals schon mehr als 70-jährigen SANFORD und setzte seine Forschungen später in Hamburg gemeinsam mit Professor G. MÖLLER fort, wobei auf das Ausschalten störender Einflüsse sorgfältig geachtet wurde. Die Ergebnisse SANFORDS wurden völlig bestätigt. Zweifel ergaben sich aber aus Versuchen mit einem Quadrantelektrometer, das unter eine Glasglocke gestellt wurde, die bei den einzelnen Versuchen mit verschiedenen Gasen bis zum Luftdruck gefüllt war. Dabei zeigten sich in Wasserstoff nur minimale tagesrhythmische Ausschläge, in Sauerstoff und Stickstoff dagegen in den frühen Morgenstunden sehr erhebliche Ausschläge, die in beiden Fällen sehr ähnlich, aber je nach der Sonnenstrahlung verschieden waren. Bei einer Füllung der Glocke mit Kohlensäure entstand eine ganz andere Kurve; sie war zwar auch eine zeitlich entsprechende rhythmische Kurve, aber die Senkbewegung während der Nachtstunden (scheinbar eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung, nur bedingt durch eine Verlegung der beiden

Quadranten in entgegengesetzter Richtung) verlief nicht so ruhig wie bei O_2 und N_2 , sondern war durch zahlreiche auf- und niedergehende Schwankungen unterbrochen. Am Tage war der Anstieg nicht sehr hoch, aber ruhig. Es war also nicht die Elektrizität allein für die tagesrhythmischen Erscheinungen verantwortlich zu machen, sondern auch die Elemente der Erdatmosphäre. Außerdem waren die Ausschläge umso größer, je größer das Atomgewicht der einzelnen Gase war. Ferner war die große Unruhe der Nadel während der Nachtstunden nur bei Gasen bemerkbar, bei denen verschiedenartige Ionen vorhanden waren (CO und O).

Professor BENNDORF (Graz) vermutete, daß Luftströmungen die Nadel bewegt hätten. Von außen eindringende oder durch verschiedene Erwärmung hervorgerufene Luftströmungen waren aber durch die oben beschriebene Versuchsanordnung ausgeschlossen.

Um nun zu einer Erklärungsmöglichkeit zu kommen, überlegten wir zunächst: Welche Wirkungen können in unserer Glasglocke in einem gleichmäßig temperierten Kellerraum überhaupt hereingelangen? Es kommen wohl nur radioaktive Teilchen oder harte Strahlungen in Frage.

Diese Strahlungen haben nach Mitteilung von Professor BAGGE einen, wenn auch kleinen Tagesrhythmus (0,2% der Gesamtstrahlung) mit einem Maximum um die Mittagszeit und einem Minimum nachts.

In welcher Weise können nun diese Strahlungen eine elektrische oder eine Wirkung durch hervorgerufene Gasströmungen auslösen? Dies soll hier kurz besprochen werden (H. G. MÖLLER; vgl. die im Schrifttum genannten Arbeiten über Oberflächenzustände aus dem Institut für angewandte Physik der Universität Hamburg).

1: Die vermutete Ultrakurzstrahlung löst aus dem Metall des Elektrometers Elektronen durch Photoeffekt aus. Die Elektronen setzen sich auf der Glaswand des Rezipienten nieder. Die auf diese Weise negativ geladene Glaswand zieht die positiv geladene Nadel, die durch den Photoeffekt Elektronen abgestoßen hat, heraus. Hört die Ultrastrahlung auf, gleichen sich die Ladungen wieder aus und die Nadel kehrt in ihre Ruhelage zurück.

2: Es erfolgt durch die Strahlung eine Ionisation des Gases. Das $h\nu$ (Energiequant) der Strahlung ist höher als die Ionisierungsenergie, sodaß die Elektronen noch eine kinetische Energie erhalten. Sie fliegen also auf die Metallteile des Elektrometers, besonders auf die Nadel. Die trägen positiven Ionen bleiben als Raumladung zurück. Eine positive Raumladung zieht nun die negativ geladene Nadel heraus. Natürlich werden auch die gebildeten Ionen von den Elektronen auf der Nadel angezogen und wandern nach der Nadel hin, sodaß die Raumladung sehr bald verschwindet, wenn die Ionisation aufhört.

3: Es ist aus Versuchen mit Kontakten bekannt, daß sich Metallflächen, auch wenn sie ganz blank erscheinen, mit dünnen, nicht sichtbaren Oxyd- und Gasschichten beladen, die gegen kleine Spannungen noch isolieren. Wenn wir eine solche Isolationsschicht annehmen, so ist es nicht

ausgeschlossen, daß durch Aufladung dieser Isolationsschicht mit Ionen, die irgendwie durch Ultrastrahlung entstanden sind, ein Laden der Nadel und ein Hereinziehen dieser geladenen Nadel in die Quadrantenkapseln zustande kommt. Diese dritte Erklärungsmöglichkeit ist wohl nicht besonders einleuchtend, da die Gasschichten nur gegen sehr kleine Spannungen isolieren, die wohl noch keine merkliche Drehung der Nadel verursachen können.

4: Wenn wir annehmen, daß sich die Elektronen zunächst infolge der kinetischen Energie, die sie bei der Ionisation noch mitbekommen, von den Ionen trennen und dann durch elektrostatische Anziehung diese nachziehen, kann auch eine Bewegung der Ionen und der Gasmoleküle entstehen, die sich möglicherweise zu einer Strömung ordnen könnte; so ließe sich die von BENNDORF vermutete Strömung noch erklären, so wenig wahrscheinlich mir dies scheint.

Die Tatsache, daß diese noch zu prüfenden Erklärungen überhaupt theoretisch möglich sind, läßt hoffen, daß diese merkwürdigen Elektrometerversuche, durch die Einwirkung radioaktiver oder Ultrastrahlung veranlaßt, doch noch manche biologischen und auch technischen Fragen lösen. Damit wäre ein wertvoller Hinweis für die Erklärung der Tagesrhythmik durch Ultrastrahlungen bzw. Radioaktivität gewonnen. Sind die Gasionen als die Ursache der Elektrometerbewegungen anzunehmen, so müßte dies von der Gasart abhängig sein, was ja durch Versuche bewiesen ist.

Werfen wir noch einen Blick auf die Erscheinungen im Reich der Lebewesen, die durch die dargelegten Möglichkeiten der Ionenbewegung betroffen sind. Es sind hier viele physiologische Tatsachen in der Pflanzenwelt zu nennen, wengleich auch manche rhythmischen physiologischen Vorgänge im Tier- bzw. Menschenkörper in Betracht gezogen werden können. Das unter einer Glasglocke stehende Elektrometer befindet sich unter den gleichen Bedingungen wie die Zellen im Innern eines Pflanzenkörpers, den die Kutikula als Isolator nach außen abschließt. Gehen durchdringende Strahlen durch diese Außenschicht hindurch, so tritt im Inneren der Zellen eine Verschiebung der Ionen beziehungsweise der Elektronen ebenso wie unter der Glasglocke auf. Die dadurch bedingten Veränderungen im Stoffwechsel der einzelnen Zellen führen z. B. bei den Bohnenblättern zu Hebungs- und Senkungsbewegungen, bei den Blüten zum Öffnen und Schließen infolge Turgorveränderungen. — Aber nicht nur die Schlafbewegungen, auch geotropische und phototropische Reaktionen sowie Schwankungen im Längenwachstum könnten in gleicher oder ähnlicher Art durch Ionenverschiebungen im Inneren des Pflanzenkörpers bewirkt werden. Da die Erde eine Minus-Ladung, die Atmosphäre eine Plus-Ladung hat, muß diese unterschiedliche Ladung der Umgebung auch die Wanderungsrichtung der Ionen im Inneren des Pflanzenkörpers beeinflussen, wobei natürlich die chemische Struktur der Zellen von Sproß und Wurzel nicht übersehen werden darf. Weil ein entscheidender Einfluß

der Elektrizität auf das Wachstum der Pflanzen und ihre tropistischen Reaktionen vermutet wurde, hat man schon oft Untersuchungen eingeleitet, meist aber nur das Verhalten der Pflanzen im elektrischen Feld beobachtet. In der eingehenden und kritischen Zusammenfassung von HARTMANN 1932 wird gezeigt, wie verschieden die beobachteten Ergebnisse und Reaktionen waren. Da aber bei den damaligen Untersuchungen die sehr stark schwankende durchdringende Strahlung nicht in den Kreis der Beobachtungen einbezogen wurde, ist dies durchaus begreiflich. Die Ergebnisse neuer Arbeiten entziehen sich leider unserer Kenntnis. Übrigens wurde schon mehrfach beobachtet, daß die Pflanzen auf einseitige radioaktive Bestrahlung mit einer tropistischen Krümmung antworten. Daß eine wesentliche Steigerung der radioaktiven Strahlen in der Atmosphäre für Menschen, Tiere und Pflanzen sehr gefährlich sein und zu Krankheiten führen kann, wurde ja schon oft festgestellt. Wenn hierbei auch keine tropistischen Reaktionen zu beobachten sind, so wird doch das Gleichgewicht der Zellen im ganzen Organismus so stark durch die Strahlen gestört, daß Krankheiten auftreten können.

Der parallele Kurvenverlauf der tagesrhythmischen Bewegungen der Bohnenblätter und der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre entfällt in Nächten starken Nordlichts; dann bleibt der nächtliche Anstieg der Leitfähigkeit aus, die Bohnen schlafen aber ungestört weiter. In dem nur wenige Meter vom Fjord entfernten Keller waren die Bohnen fast bewegungslos. Diese Befunde sind wissenschaftlich noch nicht gedeutet.

Dazu kommen Beobachtungen im Winter 1925/26 (R. STOPPEL). In Akureyri, einem am Eyjafjord gelegenen Städtchen Nordislands, erschien das Nordlicht zunächst am Osthimmel, später in der Nacht im Westen, im Zenit nur ausnahmsweise und zwar nur in den Luftschichten über dem Fjord und nur dann, wenn zahlreiche Schlittschuhläufer den Fjord bevölkerten. Die horizontalen Ionosphärenschichten sind bekanntlich bei Nordlicht wellenförmig gebogen, sodaß Flächen gleicher Konzentration nicht gleich hoch liegen. Dies wurde bis zu einer Entfernung von etwa 80 km vom Erdboden festgestellt. Über dem mit Eis bedeckten Fjord könnte es sich jedoch anders verhalten. Man könnte vielleicht vermuten, daß mit den Nordlichterscheinungen elektrische Ladungen der Eisfläche des Fjords in Zusammenhang stehen und diese den Faktor ausschalten, der die rhythmischen Blattbewegungen verursacht, sodaß die Bohnen in dem nahe dem Fjord gelegenen Keller ihre tagesrhythmischen Bewegungen einstellen. Ein besonntes Wolltuch räumt dieses Hindernis allerdings nur sehr vorübergehend weg.

Es ist uns nicht bekannt, ob die lufterlektrischen Erscheinungen über strömendem Wasser untersucht sind. Daß über einem Fluß andere elektrische Bedingungen vorliegen als über der festen Erdkruste, ergibt sich schon daraus, daß Gewitter solch eine strömende Wasserschicht meist nicht überqueren. Es sind aber noch andere Ursachen für die nur an diesem Ort

beobachtete Starre der Bohnenblätter denkbar. Der Keller lag etwa bis zur Hälfte seiner Höhe unterhalb des Wasserspiegels. Es könnte sich hier doch noch ein Einfluß der veränderten elektrischen Ladung des so nahe gelegenen Fjords bemerkbar machen. Vielleicht wird auch die durchdringende Strahlung durch die veränderten elektrischen Bedingungen in der Nähe des Fjords abgelenkt und gelangt daher nicht in den Keller. Vorübergehend bewegen sich ja die Bohnenblätter auch in diesem Keller, wenn ein besonntes Tuch in den Keller gelegt wird. In anderen Räumen, auch in einem vom Fjord entfernter gelegenen Keller, schlofen die Bohnen auch in den Nordlichtnächten ungestört; dies könnte damit zusammenhängen, daß hier auch in den Nordlichtnächten die durchdringenden Strahlen eindringen, während die gegensätzlich wirkenden Nordlichtstrahlen durch das Mauerwerk abgebremst werden. — Schließlich könnte es sich in diesem Keller wie erwiesenermaßen in Erdhöhlen um eine sehr hohe Ionisation der Luft handeln.

Leider sind die elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre in ihrem Ablauf noch längst nicht völlig erkannt, uns persönlich noch ganz besonders fremd. Ich habe aber trotzdem auf meine (R. STOPPEL) Beobachtungen und auch die mir zunächst liegenden Deutungen hingewiesen — nicht um eine Theorie aufzustellen, sondern weil ich hoffe, daß sie von anderer Seite nachgeprüft und ergänzt werden. Es würde damit nicht nur die Ursache vieler rhythmischer Vorgänge, sondern auch zahlreicher anderer physiologischer Vorgänge erkannt werden. Auf die Arbeit von PICCARDI 1956 sei noch besonders hingewiesen.

Zusammenfassung

Beobachtungen an einem mit nur zwei Quadranten versehenen Quadrantelektrometer, das kurz geschlossen und geerdet bei konstanter Temperatur in dauernder Dunkelheit tagesrhythmische Ausschläge zeigte, ließen vermuten, es könne die gleiche, die Nadelbewegung des Elektrometers veranlassende Ursache auch die tagesrhythmischen Erscheinungen bei Pflanzen und Tieren bewirken. Dafür käme nur die durchdringende Strahlung in Frage.

Das Problem der tagesrhythmischen Bewegungen von Pflanzen wird an Hand von Versuchen mit *Calendula arvensis* und namentlich *Phaseolus multiflorus* näher behandelt. Es werden mehrere Erklärungsmöglichkeiten besprochen, auch Ultrastrahlungen und Radioaktivität berücksichtigt.

Beobachtungen in Nordlichtnächten in Island sind noch wissenschaftlich zu klären.

Schrifttum

Arbeiten über Oberflächenzustände aus dem Institut für angewandte Physik der Universität Hamburg.

HAASE O. 1956. Zur Struktur dünner Oxydschichten auf einkristallinen Eisen-schichten. *Naturforschung* 11a: 46.

- LOHFF J. 1956a. Zur Elektronenemission beim Schmelzen und Krystallisieren von Metall. Zf. Metallkunde 47: 644.
- 1956b. Die Elektronenemission bei der plastischen Verformung von Zinkkrystallen. Z. Physik 145: 504.
- 1956c. Die Elektronenemission bei der Oxydation mechanisch bearbeiteter Metalloberflächen. Z. Physik 146: 436.
- 1957a. Die Energieverteilung bei der Elektronenemission mechanisch bearbeiteter Metalloberflächen. Z. Naturf. 12a: 267.
- 1957b. Die Elektronenemission mechanisch bearbeiteter Metalloberflächen bei zeitlich veränderlichen Sauerstoffdrücken. Naturwissenschaften 44: 228.
- & RÄTHER H. 1955. Zur Elektronenemission von Metalloberflächen nach mechanischer Bearbeitung. Naturwissenschaften 42: 66.
- & — 1956. Die Elektronenemission von Metallflächen nach mechanischer Bearbeitung. Z. Physik 142: 310.
- WÜSTENHAGEN J. 1957. Zur Elektronenemission aufgedampfter Metallschichten. Naturwissenschaften 44: 228.
- EUGSTER J. & HESS V. F. 1940. Die Weltraumstrahlung (Kosmische Strahlung) und ihre biologische Wirkung. Zürich.
- FEHSE F. 1927. Einige Beiträge zur Kenntnis der Nyktinastie und Elektrostastie der Pflanzen. Planta 5: 292.
- HARTMANN H. 1932. Reaktionen von Koleoptilen und Wurzeln im elektrischen Feld. Beitr. Biol. Pflanzen. 19: 287.
- KILIAN V. 1934. Radiotropismus bei Pflanzen, festgestellt an Keimlingen von *Pharbitis hispida*. Planta 22: 462.
- MÖLLER H. G. & STOPPEL R. 1932. Ausschläge elektrischer Natur bei kurzgeschlossenen Elektrometern. Z. Physik 67: 246.
- PICCARDI G. 1956. Physikalische, chemische und biologische Effekte als Ausdruck von Weltraumeinflüssen. Wiener mediz. Wschr. 106: 975.
- STOPPEL R. 1910. Untersuchungen über das Öffnen und Schließen einiger Blüten. Z. Bot. 2: 369.
- 1920. Die Pflanze in ihrer Beziehung zur atmosphärischen Elektrizität. Z. Bot. 12: 529.
- 1926. Die Beziehungen tagesperiodischer Erscheinungen beim Tier und bei der Pflanze zu den tagesperiodischen Intensitätsschwankungen der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre. Planta 2: 356.
- 1925. Tagesperiodische Erscheinungen bei Pflanzen. Handb. normal. und patholog. Physiologie. 17: 659, 18: 448.
- 1932. Die Raumladung in ihrer Beziehung zu den chemischen Komponenten der Atmosphäre. Z. Physik 77: 246.
- 1938. Die Schlafbewegungen etiolierter Blätter von *Phaseolus multiflorus* sind tageszeitlich von der Wirkung eines unbekanntem Faktors abhängig. Ber. dtsch. bot. Ges. 56: 177.
- 1940. Einfluß des Chlorophylls auf die Schlafbewegungen der Bohnenblätter und eine Analyse der Bewegungen. Planta 30: 695.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1959

Band/Volume: [8_1_2](#)

Autor(en)/Author(s): Stoppel Rose, Möller H. G.

Artikel/Article: [Das Zustandekommen der Schlafbewegungen der Pflanzen. 62-68](#)