Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrucken 1973.

ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEITSMESSUNGEN ZUR KENNZEICHNUNG VON SCHADGASEINWIRKUNGEN BEI PFLANZEN

O. GRÖZINGER

Abstract

Electrical conductivity measurements are used for the investigation of damages caused by noxious gases on *Marchantia polymorpha*. With nonionizing gases, there is a direct relation between changes in conductivity and plant damage. Changes in the plasma, e.g. caused by coagulation, lead to a decrease in conductivity; disturbances in the tonoplast barrier, however, lead to an increase in conductivity. The relationship between changes in the conductivity and plant damage are more difficult to interpret when ionizing gases, such as SO_2 are used. Explanations for this behavior are given. In this case the extent of cell damage can only be determined by means of parallel-performed capacity measurements.

Einleitung

Schon seit längerem werden Leitfähigkeitsmessungen zur langfristigen Registrierung des Wasserzustandes bei Pflanzen im Rhamen von Bewässerungsproblemen eingesetzt (BOX & LEMON 1958). GLERUM (1962) und KREEB (1966) haben über Zusammenhänge von Temperaturschäden und elektrischen Leitfähigkeitsänderungen bei Pflanzen berichtet.

Elektrische Leitfähigkeitsmessungen nach der Leitpastenmethode von KREEB (Silberpulver wird mit Dispersionskleb gemischt und diese gut haftende Leitpaste wird auf die Pflanzen aufgetragen) bieten die Möglichkeit, ohne direkte Eingriffe oder Störungen der Pflanze Aufschlüsse über Eigenschaften der zwischen den Kontakten liegenden Zellen zu bekommen.

Insbesondere die bei den Temperaturschäden gewonnenen Ergebnisse veranlassten uns zu fragen, ob nicht auch Zusammenhänge zwischen Schadgasschäden und elektrischer Leitfähigkeit bestehen.

Material und Methode

Sämtliche Messungen wurden an *Marchantia polymorpha* durchgeführt. Diese Pflanzen besitzen grosse Thalli. Ihr Aufbau ist ähnlich dem des Laubblattes der Kormophyten, ohne dass sie jedoch Leitbündel oder hochentwickelte Regelmechanismen besitzen.

Für die Leitfähigkeitsmessungen wurden Ringelektroden oder kleine Rechteckelektroden mit Elektrodenabständen von 1 – 2 mm auf die Pflanze aufgetragen. Vorzugsrichtungen der Leitfähigkeit wurden nicht festgestellt.

An Schadgasen wurden bislang untersucht: Formaldehyd, SO_2 und aus der Reihe der Kohlenwasserstoffe: Propan. Gleichzeitig gemessen wurden elektrische Leitfähigkeit, Assimilation und Atmung.

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau der Apparatur. Die elektrische Leitfähig-

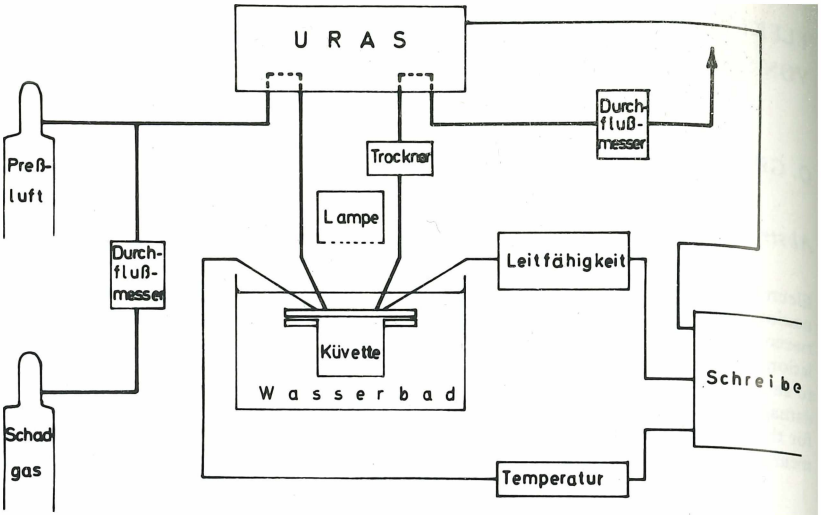

Abb. 1: Schematischer Aufbau der Apparatur.

keit kann sowohl fortlaufend mit einem registrierenden Messgerät als auch punktweise durch Handabgleich mit einer LC Messbrücke bestimmt werden. Assimilation und Atmung werden mit einem URAS mit strömendem Vergleichsgas gemessen. Beleuchtet wird mit 20 000 lux mittels einer Metalldampflampe HQIL 400 W-70. Diese Lampe hat ein kontinuierliches, dem normalen Sonnenlicht sehr nahe kommendes Spektrum.

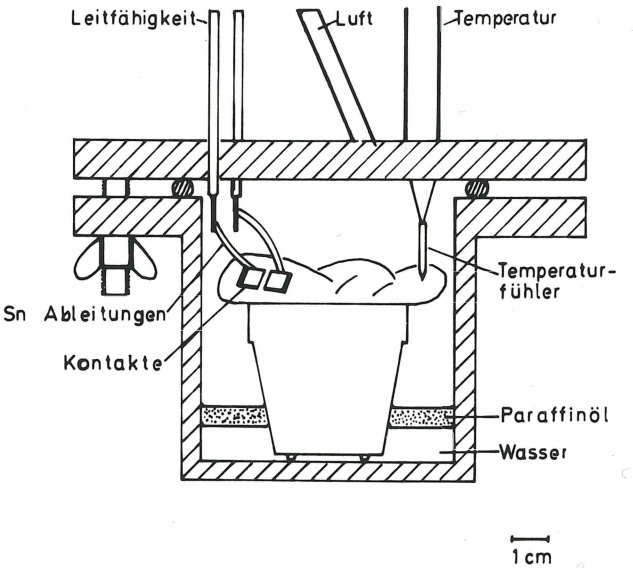

Abb. 2: Schnitt durch die Küvette mit schematischer Darstellung der Pflanzen.

Abb. 2 zeigt die Anordnung der Pflanzen in der Küvette. Die Pflanzen sollen unter möglichst günstigen Lebensbedingungen untersucht werden. Sie werden deshalb auf Anzuchterde vom Botanischen Garten in kleinen Kunststofftöpfen kultiviert und gemessen. Die Atmungswerte des Bodens liegen unter 0,06 mg/h CO_2. Zur Zeit sind Versuche im Gang, die Pflanzen auf Quarzsand mit Nährlösungen zu ziehen um auch die geringe Fehlerquelle der Bodenatmung auszuschalten. Um die Pflanzen stets im gleichen Hydraturzustand zu halten, wird der Küvettenboden ca 1 cm mit Wasser gefüllt. Kleine Löcher im Boden der Kunststofftöpfe sorgen dann für stetigen Wassernachschub. Das Vorratswasser wird mit Paraffinöl überschichtet. Damit lassen sich Verunreinigungen durch Schadgase verhindern, und das Beschlagen der Küvettenwände wird unterdrückt. Die ganze Küvette befindet sich in einem auf 15° C thermostatisierten Wasserbad. Zur Abschirmung der Wärmestrahlung ist der Küvettendeckel immer mit wenigstens 3 cm Wasser überdeckt. Mit dieser Methode erreicht man, dass die Blattemperatur im Inneren der Küvette zwischen Dunkelheit und Beleuchtung mit 20 000 lux nur um ca 1° C variiert. Es treten also keine ernstzunehmenden Küvettenübertemperaturen auf (Vgl. hierzu TRANQUILLINI 1954 und BOSIAN 1959).

Ergebnisse und Diskussion

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse eines einwöchigen Dauerversuchs ohne Schadgaseinwirkung. Die Pflanzen überstehen die Messung ohne Beeinträchtigung. Assimilation und Atmung bleiben über die gesamte Zeit konstant. Beleuchtet wird mit 20 000 lux. Bei dieser Beleuchtungsstärke assimiliert die Pflanze zwar schon sehr kräftig. Sie befindet sich jedoch nicht im Optimalbereich. Um Assimilation und Atmung möglichst unmittelbar nebeneinander auch unter kurzfristiger Schadgaseinwirkung verfolgen zu

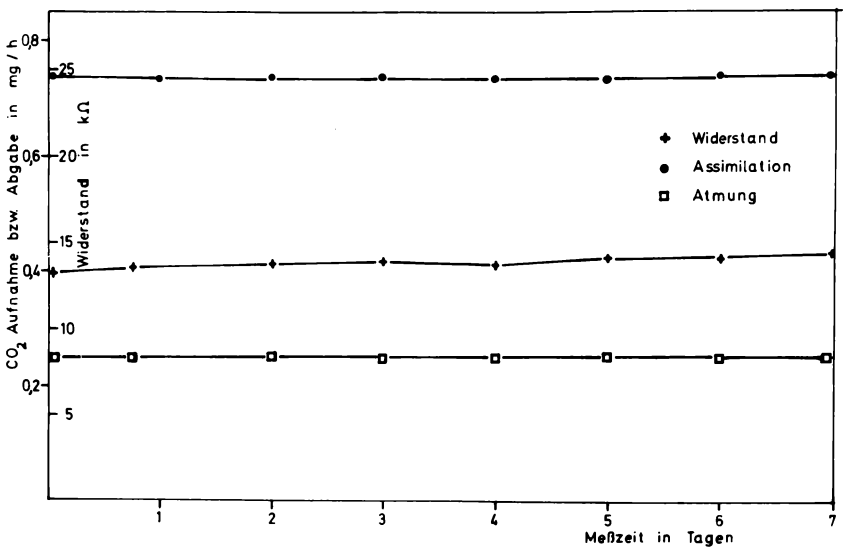

Abb. 3: *Marchantia polymorpha,* Dauerversuch ohne Schadgaseinwirkung.

können, arbeiten wir mit einer Beleuchtungsabfolge von 45 Minuten hell und 30 Minuten dunkel. Die Hellzeit ist länger, da die Lampe erst nach ca 5–10 Minuten ihre volle Leuchtkraft erreicht. Die Zeiten sind so bemessen, dass sich der Assimilations- und Atmungsendwert am URAS voll einstellt.

Im Verlauf des einwöchigen Versuches nimmt die Leitfähigkeit etwas ab. In Abb. 3 ist ihr reziproker Wert, der Widerstand aufgetragen. Er nimmt im Verlauf von 7 Tagen ziemlich stetig um insgesamt 5% zu. Dieser Sachverhalt, den auch schon KREEB an Eukalyptusblättern beobachtet hat, ist auf die fortschreitende Alterung des untersuchten Pflanzengewebes zurückzuführen. Die Trockensubstanz nimmt zu. Dies äussert sich daran, dass die Pflanzen dunkler grün werden. Unterschiede im Ausgangswert der Leitfähigkeit an verschiedenen Pflanzen sind hauptsächlich auf 3 Grössen zurückzuführen.

1) Verschiedenes Alter der Thalli.
2) Unterschiedliche Thallusdicke, da auch die unterhalb der oberen abschliessenden Zellschicht liegenden Zellen einen gewissen Beitrag zur Leitfähigkeit leisten.
3) Auch bei Verwendung von Masken sind die Elektrodenabstände nicht volkommen reproduzierbar.

Aus diesen Gründen sind Absolutangaben der Leitfähigkeit von ungeordneter Bedeutung. Die ausschlaggebende Grösse ist die sich während des Versuchs ergebende Leitfähigkeitsänderung. Nur sie weist auf Veränderungen in den Zellen hin. Dabei ist von besonderem Vorteil, dass fortlaufend und langfristig gemessen werden kann, ohne dass die Zellen durch die Messung in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

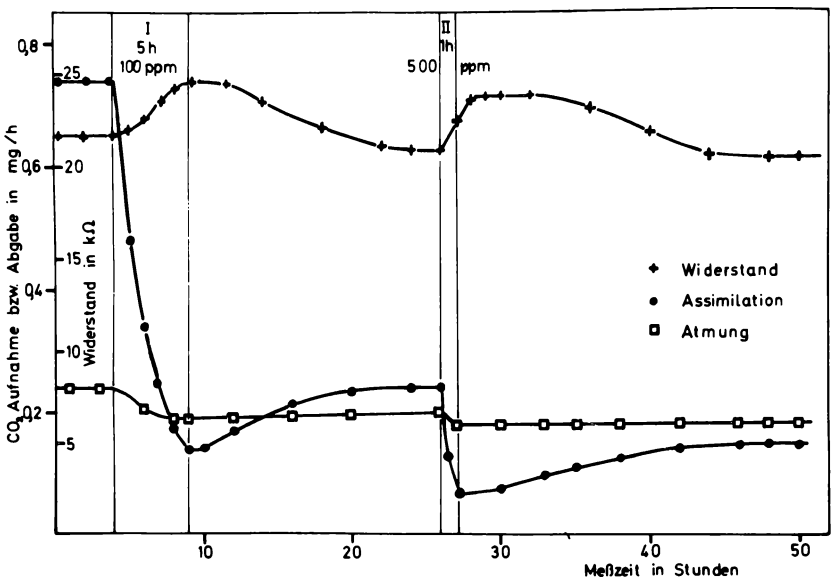

Abb. 4: *Marchantia polymorpha,* bei zweimaliger Begasung mit Formaldehyd.

Abb. 4 zeigt die Leitfähigkeitsänderung bei Begasung mit Formaldehyd. Formaldehyd ist ein starkes Protoplasmagift. Diese Eigenschaft beruht auf seiner hohen Reaktionsfähigkeit mit den funktionellen Gruppen der Proteine, die zur Denaturierung und Koagulation führt. Formaldehyd besitzt jedoch nur geringes Eindringungs- bzw. Diffusionsvermögen (WALLHÄUSSER, SCHMIDT 1967).

Im ersten Begasungszeitraum werden 5 Stunden lang ca 20% der Küvettenluft durch eine Waschflasche mit 35%iger Formaldehydlösung geleitet. Die Waschflasche wird in einem Eisbad auf 0° C gekühlt. Der Formaldehydgehalt in der Küvettenluft beträgt unter diesen Bedingungen ca 100 ppm.

Sind hauptsächlich die Zellwände an der Stromleitung beteiligt, d.h. erfolgt der Stromtransport bevorzugt über die in den gequollenen Zellwänden befindlichen Ionen, so dürfen sich keine nennenswerten Änderungen bei einer Koagulation des Plasmas infolge Formaldehydeinwirkung ergeben. Ist das Plasma dagegen stärker an der Stromleitung beteiligt, müssen sich Leitfähigkeitsänderungen ergeben. Wird nur das Cytoplasma geschädigt, muss eine Widerstandserhöhung erwartet werden. Wird dagegen die Tonoplastenbarriere geschädigt, kommt es zu einer Aufhebung der Semipermeabilität. D.h. die im Zellsaft gelösten Ionen können sich in der Zelle ausbreiten und der Widerstand verkleinert sich.

Die obere Kurve in Abb. 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Widerstandes. Während der Begasung zeigt sich ein deutlicher Widerstandsanstieg. Das heisst, das Cytoplasma ist stark an der Stromleitung beteiligt. Man kann aus dem Kurvenverlauf insbesondere auch bei Betrachtung des zweiten Begasungszyklus folgendes feststellen: Formaldehyd diffundiert langsam in die Zelle. Zuerst werden die Aussenbezirke des Plasmas geschädigt. Das Plasma koaguliert und es kommt zu einem Widerstandsan-

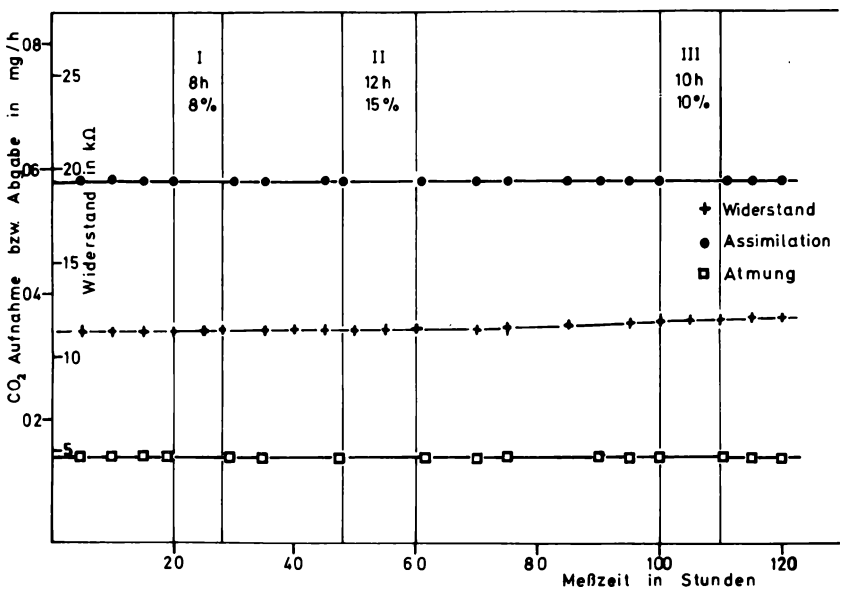

Abb. 5: *Marchantia polymorpha,* bei Begasung mit hohen Propankonzentrationen.

stieg. Der Formaldehyd diffundiert langsam weiter und erreicht die Tonoplastenbarriere. Sie wird gestört. Bei einigen Zellen kommt es zur Aufhebung der Semipermeabilität und damit insgesamt wieder zu einer Widerstandsabsenkung.

Je nach dem Beobachtungszeitpunkt während oder nach der Begasung ist nur der äussere Bereich des Plasmas, das gesamte Plasma oder bereits die Tonoplastenbarriere geschädigt.

Abb. 5 zeigt ein Begasungsexperiment mit dem kurzkettigen Kohlenwasserstoff Propan. Begast wurde in 3 Zyklen von 8, 10 und 12 Stunden mit Konzentrationen von 8–15%, das sind 80 000–150 000 ppm Propan in der Küvettenluft. Weder Assimilation und Atmung noch die Leitfähigkeit zeigen irgendwelche signifikanten Änderungen. D.h., selbst durch höchste Konzentrationen werden die Pflanzen nicht geschädigt.

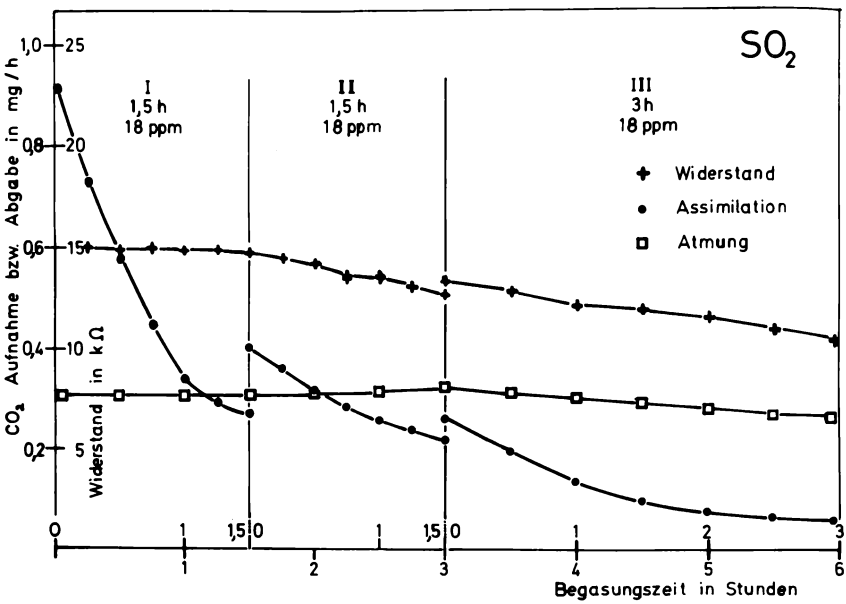

Abb. 6: *Marchantia polymorpha,* in Abständen von ca 10 Stunden wird dreimal mit SO_2 begast.

Abb. 6 zeigt ein Begasungsexperiment mit SO_2. Begast wurde mit der relativ hohen Konzentration von 18 ppm.

Auffällig ist das rasche Zusammenbrechen der Assimilation. Nach RAO & LE BLANC (1966) und COKER (1967) ist dieser Effekt auf die durch SO_2 hervorgerufene Aufspaltung des Chlorophylls in Phaeophytin und Magnesium zurückzuführen. Betrachtet man gleichzeitig Leitfähigkeit und Atmung, so zeigt sich, dass die Chlorophyllzerstörung sehr viel rascher vor sich geht als andere Störungen im Plasma. Erst allmählich kommt es zu einer stärkeren Widerstandsabsenkung.

Eine Interpretation ist z.Zt. nur mit Vorbehalten möglich. SO_2 reagiert mit Wasser zu H^+ und HSO_3^-. Die Widerstandsabsenkung kann sowohl von aus SO_2 gebildeten

Ionen in den Zellwänden herrühren, als auch durch Störung der Tonoplastenbarriere hervorgerufen worden sein.

Um diese Fragen zu klären, führen wir z.Zt. genaue Messungen der Kapazitätsänderung bei Schadgaseinwirkung durch. Da der Tonoplast im vitalen Zustand ein schlechter Leiter ist im Vergleich zu den ihn umgebenden Bereichen Plasma und Zellsaft, zeigt dieses System kapazitives Verhalten. Eine Aufhebung der Semipermeabilität des Tonoplasten entspricht in gewisser Weise einem elektrischen Kurzschluss in diesem Bereich der Zelle, was nach dem oben gesagten zu einer Kapazitätsänderung führen muss. Diese kann im Aussenkreis mit einer LC Mess-Brücke ermittelt werden.

Durch die Auswertung dieser Messungen hoffen wir, den Ablauf stärkerer Schädigungen etwas erklären zu können. Insbesondere im Hinblick auf die Frage, ob und wann die Semipermeabilität der Tonoplasten teilweise aufgehoben wird.

LITERATUR

BOSIAN, G. (1959): Zum Problem des Küvettenklimas: Temperatur und Feuchteregulierung. *Ber.Dtsch.Bot.Ges.* 72: 391–397.

BOX, J.E. & E.R. LEMON (1958): Preliminary field investigations of electrical resistance-moisture stress relation in cotton and grain sorghum plants. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 22: 193–196.

COKER, P.D. (1967): *Trans.Br.bryol.Soc.* 5: 341–7.

GLERUM, C. (1962): Temperature injury to conifers measured by electrical resistance. *Forest Sci.* 8: 303–308.

KREEB, K. (1966): Die Registrierung des Wasserzustandes über die elektrische Leitfähigkeit der Blätter. *Ber.Dtsch.Bot.Ges.* 79: 150–162.

RAO, D.N. & F. LE BLANC (1966): Effects of Sulfur Dioxide on the Lichen Alga, With Special Reference to Chlorophyll. *Bryologist* 69: 69–75.

TRANQUILLINI, W. (1954): Über den Einfluss von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluss in Küvetten auf die ökologische CO_2 Assimilationsmessung. *Ber.Dtsch.Bot.Ges.* 67: 191–204.

WALLHÄUSSER, SCHMIDT (1967): Sterilisation, Desinfektion, Konservierung, Chemotherapie. Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

Dr. OSKAR GRÖZINGER, 74 Tübingen, Institut für Biologie, Lehrbereich spez. Botanik, Auf der Morgenstelle, 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: 3_1974

Autor(en)/Author(s): Grözinger Oskar

Artikel/Article: Elektrische Leitfähigkeitsmessungen zur Kennzeichnung von Schadgaseinwirkungen bei Pflanzen 283-289