

Bestimmung der Intensität des Gaswechsels mit ^{85}Kr

MICHAEL VOGL und SIEGFRIED BÖRTITZ

Institut für Forstpflanzenzüchtung Graupa — Abteilung für Forstliche
Pflanzenphysiologie — der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
zu Berlin, Deutsche Demokratische Republik

Eingegangen am 3. November, 1964

Abstract. Während Assimilations- und Transpirationsmessungen die Durchlüftung den Pflanzenteile und die Reaktion der lebenden Zellen mit der sie umgebenden Luft nur gemeinsam widerspiegeln, lässt sich mit dem radioaktiven Edelgas ^{85}Kr der Gaswechsel zwischen Aussenluft und Interzellularluft unabhängig vom Stoffwechsel und ohne künstliche Druckdifferenzen erfassen. Der Gasaustausch zwischen der Interzellularluft und der Aussenluft wird dabei durch die Austrittsgeschwindigkeit des vorher kurzfristig durch Diffusion oder Unterdruck eingeführten ^{85}Kr aus dem Pflanzenteil charakterisiert.

Orientierende Versuche unter Freilandbedingungen an den benadelten Zweigen einiger Koniferen sowie Zweigstücken mit und ohne Rinde erbrachten Unterschiede in der Geschwindigkeit des Gaswechsels sowohl zwischen verschiedenen Pflanzen unter gleichen Bedingungen als auch bei der gleichen Pflanze unter verschiedenen Bedingungen.

Transpirations- und Photosynthesemessungen geben zwar in gewissem Umfang Einblick in den Gasstoffwechsel zwischen der Interzellularluft der Assimilationsorgane und der umgebenden Aussenluft. Hierbei wird aber nur die stoffwechselbedingte Veränderung der Luftzusammensetzung erfasst und nicht die Intensität des Gasaustausches selbst.

Zur Ermittlung der Intensität des Gasaustausches ohne künstliche Druckdifferenzen eignet sich nur eine Gaskomponente wie Stickstoff oder Edelgas, die selbst nicht am Stoffwechsel beteiligt ist. Für kontinuierliche Messungen, die auch an kleinen Pflanzenteilen ohne Verletzungen möglich sein müssen, ist ein radioaktives Edelgas messtechnisch besonders vorteilhaft. Wegen seiner grossen Halbwertszeit von 10.6 Jahren, seinem geringen Preis und seiner Betastrahlung von 0.672 MeV empfiehlt sich vor allem ^{85}Kr .

Material und Methode

Die Untersuchungen erfolgten bisher ausschliesslich an Koniferen. Als Material dienten sowohl vierjährige Topfpflanzen als auch Zweige der Nordseite von zwei elfjährigen Freilandfichten.

Das Glasrohr der Zerschlagampulle wurde vor Versuchsbeginn mit einer evakuierten Vorratsflasche von 1 Liter Volumen verbunden, die Kapillare zertrümmert und der Ampulleninhalt mit Hilfe eines Dreiweghahnes nach und nach in die Vorratsflasche gespült. Flasche und Applikationsgefäß bilden danach einen geschlossenen Kreislauf mit einer Aktivität von 3 mc ^{85}Kr pro Liter Luft. Die Luftzirkulation erfolgte unter Anwendung eines Gummi-Druckballes.

Zur Applikation des ^{85}Kr wurden die an der Pflanze belassenen Organe (benadelte Zweigstücke) in ein Glasgefäß gebracht, dessen Volumen nicht wesentlich grösser sein soll als zur Aufnahme des Versuchsobjektes nötig ist, und das durch einen gekerbten Gummistopfen verschlossen wird, der an der Durchtrittsstelle des intakten Zweiges mit Plastilin abgedichtet wird. Dieses Applikationsgefäß wurde für 6 Minuten in den geschlossenen ^{85}Kr -Kreislauf einbezogen. Da nicht die Menge des eingewanderten Isotops, sondern die Geschwindigkeit der Abnahme des eingedrungenen ^{85}Kr gemessen werden sollte, genügte in allen Fällen 6 Minuten zur Erreichung eines günstigen Ausgangswertes für die Aktivitätsmessung. Eine längere Applikationszeit hielten wir jedoch auf Grund analoger Erfahrungen nicht für ratsam wegen der Veränderung des Küvettenklimas und des CO_2 -Gehaltes.

Nach der Applikation wurde der jeweilige Trieb dem Gefäß entnommen und in genügendem Abstand von dem Vorratsgefäß an das Schutzgitter der Stirnwand einer Zählrohrsonde angedrückt. Die Spannung des dabei leicht gebogenen Zweiges verhinderte dessen Verschiebung während der Messung durch Wind. Die Nullwertmessung erfolgte jeweils vor dem Anlegen des radioaktiven Zweiges. Nach einer Überprüfung intakter Zweige konnte eine fall-out-Aktivität vernachlässigt werden. Entnahme des Triebes, Transport zum Zählrohr und Montage dauerten nicht mehr als 10 bis 20 Sekunden. Alle Versuche erfolgten — schon aus Gründen des Strahlenschutzes — bei mässigem Wind, der das äusserlich anhaftende und das abdiffundierende Gas abspülte.

Die Messanordnung bestand aus Geräten des VEB Vakutronik, Dresden, DDR, und zwar aus den Geiger-Müller-Glocken-Zählrohren VAZ 320 in der Sonde VAH 251, die über die Kabelanpassungsstufe VAB 09 und ein Kabel von 50 m Länge an das Messgerät VAG 21 angeschlossen waren. Die Zählrohre haben eine Fensterstärke von 3—4 mg/cm². Gemessen wurde der Verlauf der Radioaktivitätsabnahme, d. h. des Austrittes von ^{85}Kr als Mass des Gasaustausches zwischen Interzellular- und Aussenluft. Die Ablesungen erfolgten alle 20 bis 30 Sekunden, bis die Aktivität 200 Impulse/Minute (im Juli 64) bzw. 600 Impulse/Minute (Oktober 64) unterschritt. Im weiteren Messverlauf betrug die Dauer einer Einzelmessung mindestens eine Minute.

Ergebnisse und Diskussion

Abb. 1 zeigt den Gasaustausch verschiedener Koniferenarten am 29. Juli 1964, einem leicht wolkenbedeckten Sommertag mit Temperaturen zwischen 20 °C und 25,5 °C und 40—60 % relativer Luftfeuchtigkeit, also bei optimalen Bedingungen für die meisten Baumarten. Die Messung des Gasaustausches

der Assimilationsorgane erfolgte an intakten Zweigen; das Zählrohr wurde an den diesjährigen Zuwachs angelegt.

In den ersten beiden Minuten verhielten sich — abgesehen von kleineren Streuungen — alle untersuchten Pflanzen ähnlich, erst danach setzte eine

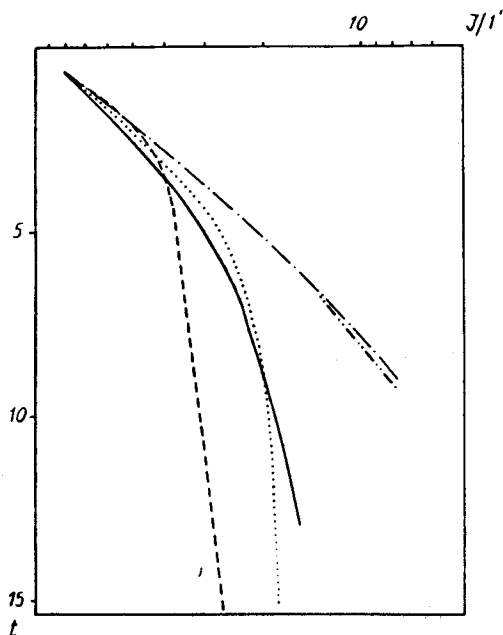


Abbildung 1

Verlauf der Radioaktivitätsabnahme bei verschiedenen Koniferenarten in halblogarithmischer Darstellung

t Zeit in min

I/1' Impulse/min, abzüglich Nullwert, umgezeichnet auf gleiche Anfangsaktivität

Signatur	Objekt	I/1' nach der ersten Messminute
—————	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	300
—————	<i>Picea pungens</i>	480
.....	<i>Picea abies</i>	610
—————	<i>Pinus silvestris</i> und <i>P. nigra</i>	860 bzw. 320
- -	<i>Larix leptolepis</i>	330

deutliche Differenzierung ein. Die gemessenen Impulse für die erste Minute nach Entnahme der Zweige aus dem Applikationsgefäß zeigten mitunter Streuungen im Sinne zu hoher Werte. Dieser Effekt trat besonders bei *Larix* auf, bei der aus messtechnischen Gründen 2 gebündelte Langtriebe untersucht werden mussten, und ist offensichtlich auf verzögertes Abspülen des ^{85}Kr zurückzuführen. In den Kurvendarstellungen wurden deshalb die ersten Werte nicht eingetragen.

Die Messwerte für einunddieselbe Art sind zweifellos nicht konstant: Zu verschiedenen Zeitpunkten und unter verschiedenen Bedingungen ergeben sich bei derselben Art und der gleichen Pflanze unterschiedliche Kurvenverläufe. Als Beispiel dafür sind in Abb. 2 Messkurven von *Picea abies* dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der Aktivitätsverlauf bei gleichen Versuchsbedingungen meist gut reproduzierbar ist. Dagegen sind Unterschiede zwischen den Kurven des Sommersversuches vom 29. Juli 1964 und des Spätherbstversuches vom 20. Oktober 1964 deutlich erkennbar. Bei dem Messgang im Spätherbst (Temperaturen von 6—7 °C und relative Luftfeuchtigkeit

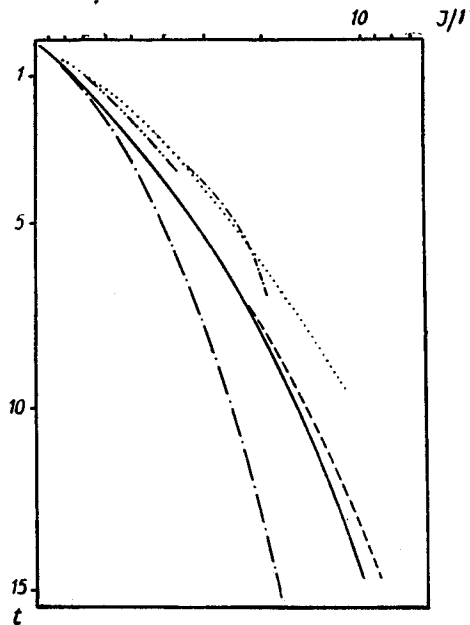


Abbildung 2

Verlauf der Radioaktivitätsabnahme bei Fichte (*Picea abies*) in halblogarithmischer Darstellung

t Zeit in min

I/I' Impulse/min, abzüglich Nullwert, umgezeichnet auf gleiche Anfangsaktivität

Signatur	Objekt	Messdatum	I/I' nach der ersten Messminute
— · — · — · — ·	Altnadeln	20. 10. 1964	890
— — — — —	Zweige mit diesjährigen Nadeln	20. 10. 1964	2300
— — — — —		20. 10. 1964	1300
— · — · — · — ·		29. 7. 1964	190
· · · · ·		29. 7. 1964	300
— · — · — · — ·	Diesj. Ndln. (Topffichte)	29. 7. 1964	610

von 82 %) zeigten auch die vorjährigen Nadeln des gleichen Baumes eine sichtbare Abweichung.

Physiologisch bedeutsam ist nicht die Gasaustauschgeschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern der Zeitraum, der zum Austausch der überwiegenden Luftmenge benötigt wird. Um diesen zu verdeutlichen, wurden aus den in Abb. 1 und 2 dargestellten Kurven die Zeiten ermittelt, nach denen 50 % bzw. 75 % des ^{85}Kr ausgetreten waren. Diese Werte charakterisieren die Geschwindigkeit des Gasaustausches. In der tabellarischen Darstellung (Tab. 1) sind die Versuchspflanzen nach steigenden Geschwindigkeiten ihres Gasaustausches geordnet.

Wie aus Tab. 1 und den Abbildungen hervorgeht, ist die Gasaustauschgeschwindigkeit in den ersten Minuten bei den untersuchten Pflanzen ohne grössere Unterschiede; sie differenziert sich erst später. Der Zeitraum des raschen Gasaustausches hält bei einigen Pflanzen, wie Kiefern und Lärche, sehr lange an, während er bei anderen, besonders bei Zypresse und auch den Altnadeln der Fichte nur von kurzer Dauer ist.

Tabelle 1

Geschwindigkeit des Gasaustausches der Versuchsobjekte (berechnet aus den Kurven von Abb. 1 und 2)

Nr.	Pflanze	Zeit in Minuten, nach der	
		50 % des ^{85}Kr ausgetreten sind	75 %
1	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	5,5	25
2	<i>Picea abies</i> , Altnadeln	3,5	10,5
3	<i>Picea pungens</i>	2,9	8,2
4	<i>Picea abies</i> , Oktober, abgeschnittener Zweig	2,8	6,6
5	<i>Picea abies</i> , Oktober, abgeschnittener Zweig	2,8	6,6
6	<i>Picea abies</i> , Juli, abgeschnittener Zweig	2,5	—
7	<i>Picea abies</i> , Juli, abgeschnittener Zweig	2,3	5,5
8	<i>Picea abies</i> , Juli, Topfpflanze	2,3	—
9	<i>Pinus silvestris</i>	2,25	4,7
10	<i>Pinus nigra</i>	2,25	4,7
11	<i>Larix leptolepis</i>	2,25	4,7

Um den Einfluss der Rinde als Gaswechselbarriere zu messen, wurden mit der Krypton-Methode nadelfreie Zweigstücke von derselben *Picea abies* untersucht, die in Tab. 1 unter Nr. 4 bis 7 angeführt ist. Die Zweigstücke hatten einen Durchmesser von 4 mm, einer der beiden Versuchszweige wurde bis zum Kambium entrindet. Als zusätzliches Objekt diente ein verholztes, an Lentizellen reiches Zweigstück von *Populus × euramericana* cv. 'Heidemij'. Die Applikation des radioaktiven Kryptons erfolgte durch Einströmen des ^{85}Kr -Luftgemisches aus dem Vorratsgefäß in evakuierte Röhren, in denen sich je ein Zweigstück befand. Unmittelbar nach der Entnahme der Zweige wurden die Schnittstellen mit Baumwachs abgedichtet und die Stücke jeweils schräg über die Öffnung der Sonde VAH 250 des Zylinderzählrohres VAZ 111

gelegt. Die ermittelten Werte sind als Relativwerte anzusehen, da bei der benutzten Messanordnung und wegen der nicht zu vernachlässigenden Stärke der Objekte die Vorgänge in der Randzone bevorzugt in die Messwerte eingehen. Es lassen sich deshalb keine Halbwertszeiten für das jeweilige Gesamt-

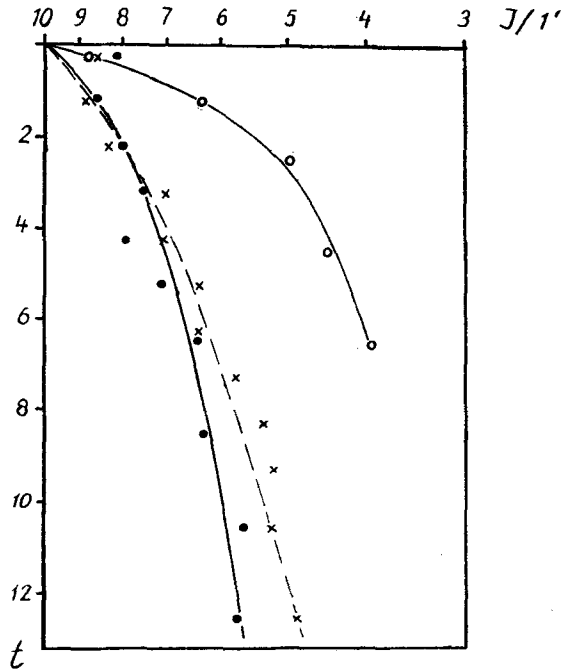


Abbildung 3

Verlauf der Radioaktivitätsabnahme bei unbenadelten Zweigstücken in halblogarithmischer Darstellung

t Zeit

I/I' Impulse/min, abzüglich Nullwert, umgezeichnet auf gleiche Anfangsaktivität

Signatur	Objekt	Durchmesser mm	I/I' nach der ersten Messminute
—●—	Pappel, Zweig mit Rinde	5,0	670
- - x - -	Fichte, Zweig mit Rinde	4,0	2470
—○—	Fichte, Zweig ohne Rinde	3,5	315

objekt angeben, jedoch die Austauschgeschwindigkeiten vergleichen. Aus Abb. 3 geht eindeutig hervor, wie stark die Rinde den Gasaustausch einschränken kann. Demgegenüber zeigen sich zwischen berindeten Zweigstücken von *Populus* und *Picea* sehr viel geringere und kaum so entscheidende Geschwindigkeitsdifferenzen.

Aus der Literatur sind bereits einige Untersuchungen bekannt, die Be-

lüftungsprobleme unter Verwendung radioaktiver Edelgase — u. a. auch mit ^{85}Kr — zum Inhalt haben (Literatur bei Süß u. a. 1960). In der Pflanzenphysiologie wurde ^{87}Ar von WOOLLEY (1960, 1962) zur Gasdiffusionsmessung in Kartoffeln verwendet.

Anwendungsbeispiel

Entscheidende Bedeutung kommt dem Gasaustausch zu, wenn die atmosphärische Luft Giftkomponenten aus Industrieabgasen enthält. Pflanzen mit hohem Gasaustauschvermögen würden dann pro Zeiteinheit stärker von Giften durchspült werden als andere Pflanzen. Es entsteht somit die Frage, ob die Rauchempfindlichkeit der Pflanzen der Intensität ihres normalen Gasaustausches entspricht.

Bei Begiftungsversuchen mit SO_2 , dem wichtigsten Bestandteil der Rauchgase, ergeben sich bei nahe verwandten Koniferenarten und selbst bei Individuen innerhalb einer Art Assimilationsdepressionen und Nekrosen sehr verschiedenen Ausmasses. Nach einer Hypothese von KRASINSKIJ (1949) können diese Unterschiede u. a. auf anatomisch-morphologischen Besonderheiten der Pflanzen, also auch auf einer unterschiedlichen Gaswegsamkeit, beruhen.

In der vorliegenden Untersuchung überprüften wir mit ^{85}Kr eine Reihe von Pflanzenarten und Individuen, deren Rauchempfindlichkeit uns bekannt war. Die Rangfolge der Rauchhärte drückte sich jedoch nicht in den Ergebnissen dieser Versuche aus. Daraus ist zu schliessen, dass die Unterschiede in der SO_2 -Resistenz sicher nicht entscheidend auf Differenzen in der physikalischen Wegsamkeit beruhen. Über die speziellen Zusammenhänge zwischen physiologisch und physikalisch bedingter SO_2 -Resistenz wurde bereits von uns berichtet (BÖRTITZ 1964, VOGL und BÖRTITZ 1964).

Es ist beabsichtigt, die Krypton-Methode zur Lösung spezieller Fragen der Stomata-Physiologie bei Forstgehölzen einzusetzen.

Literatur

- BÖRTITZ, S.: Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadenforschung. I. Mitteilung. — Biol. Zbl. **83** : 501—513, 1964.
- SÜSS, A., BAUMGÄRTNER, F. u. a.: Untersuchung der Luftverteilung in einer Heubelüftungsanlage mittels radioaktiver Isotope. — Atompraxis **6** : 138—142, 1960.
- VOGL, M., BÖRTITZ, S.: Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadenforschung. IV. Mitteilung. — Flora, im Druck.
- WOOLLEY, J. T.: Relationship between respiration and rate of gase-movement in potato tuber tissue. — Plant Physiol. **35**, Suppl., p. 29, 1960.
- WOOLLEY, J. T.: Potato tuber tissue respiration and ventilation. — Plant Physiol. **37** : 793—798, 1962.
- КРАСИНСКИЙ, Н. П.: Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортимента (Итоги работ 1934—1948). — Ученые записки Горьковского Государственного Университета, **14** : 225—246, 1949. [KRASINSKIJ, N. P.: Die Rauchresistenz der Pflanzen und rauchresistente Sortimente.]

M. VOGL a S. BÖRTITZ, Institut für Forstpflanzenzüchtung Graupa, DDR: Stanovení intenzity výměny plynů pomocí ^{85}Kr . — Biol. Plant. 7: 218—225, 1965.

Zatímco měření asimilace a transpirace odrážejí provzdušnění rostlinných částí a reakci živých buněk s obklopujícím vzduchem jenom společně, můžeme pomocí radioaktivního vzácného plynu ^{85}Kr zachytit výměnu plynů mezi vnějším a intercelulárním vzduchem nezávisle na metabolismu a bez umělých tlakových rozdílů. Výměna plynů mezi intercelulárním a vnějším vzduchem je charakterisována rychlostí výdeje ^{85}Kr z rostlinné části, do které byl zaveden krátkodobou difusí nebo pod tlakem.

Orientační pokusy za polních podmínek u celých větviček některých konifer, jakož i částí větví s kůrou nebo bez kůry vykazaly rozdíly v rychlosti výměny plynů jako u různých rostlin za stejných podmínek, tak i u téže rostliny za různých podmínek.

M. Фогл, С. Бортиц, Институт селекции лесных растений, Германская академия сельскохозяйственных наук, Берлин — Граупа, Германская демократическая республика: Определение интенсивности газообмена при помощи ^{85}Kr . — Biol. Plant. 7: 218—225, 1965.

Между тем как измерения ассимиляции и транспирации отображают совместно воздушный режим растительных частей и реакцию живых клеток с окружающим их воздухом, при помощи радиоактивного редкого газа ^{85}Kr мы можем определить газообмен между внешним и межклеточным воздухом независимо от метаболизма и без искусственной разницы в давлении. Обмен газов между межклеточным и внешним воздухом характеризуется скоростью выделения ^{85}Kr из той части растения, в которую был введен коротковременной диффузией или под давлением. Ориентировочные опыты в полевых условиях с целыми веточками некоторых хвойных а также и с частями ветвей с корой или без коры обнаружили существование различий в скорости газообмена как у разных растений в одинаковых условиях, так и у одного и того же растения в разных условиях.