April 1968, Nr. 7

Eidg. Anstalt für das
forstliche Versuchswesen
8908 Birmensdorf ZH

2

Sonderdruck aus
Forstwissenschaftliches Centralblatt

87. Jahrgang (1968), H. 1, S. 1-8

VERLAG PAUL PAREY · 2 HAMBURG 1 · SPITALERSTRASSE 12

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der photomech. Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten

© 1967 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

I. ABHANDLUNGEN

Die Wirkung einer Bodenabdeckung (Mulchung) im Forstpflanzgarten auf den Gaswechsel junger Fichten

Von TH. KELLER

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf/Schweiz

Einleitung

In den Verschulbeeten mancher Forstgärten der Ostschweiz, besonders auf kalkreichen, tonigen (illitreichen) Würmmoräneböden, treten vorwiegend am Ende des zweiten Verschuljahres an den Fichten charakteristische Nadelverfärbungen auf. An den Zweigenden und im Bereich der Gipfeltriebknospe verfärben sich die Nadeln im Herbst gelblich und röten sich im Verlaufe des Winters. Oft fallen sie ab und lassen die Knospe an kahlem Triebende. Auf Grund von Boden- und Nadelanalysen wurde diese Erscheinung als Kalimangel diagnostiziert, doch brachten auch hohe Patentkaligaben die Symptome nicht völlig zum Verschwinden. Möglicherweise spielt leichter Manganmangel mit (ZECH, 1967). Bessere Resultate wurden durch die Kombination von Düngung und einer organischen Bodenabdeckung erzielt (KELLER, 1966b). Durch weitere Versuche soll geklärt werden, wie weit durch die Bodenabdeckung allein das Auftreten der Symptome verhindert bzw. die Wuchsleistung gesteigert wird.

Ein im Versuchsgarten „Grossmatt“ Birmensdorf mit Fichten (Provenienz Tägerwilen 400 m/M) in sechsfacher Wiederholung angelegter Versuch ergab bis zum Ende des zweiten Verschuljahres folgende Durchschnittswerte:

Tabelle 1

Mulchmaterial	Trieblänge 2. Jahr cm	Gesamt- höhe cm	Symptome %
Nullprobe	8,7	33,4	69,8
saurer Torf	7,4	27,9	(?)
Kehrichtkompost .	14,4	38,2	9,4

Die Bodenabdeckung mit ungedüngtem saurem Torf erwies sich als wachstumshemmend, da letzterer starken Stickstoffmangel induzierte. Die Torfparzellen waren vom Ende des ersten bis zur Mitte des zweiten Versuchsjahres auf Distanz an der gelben Nadelfarbe zu erkennen,

während die Nullproben hellgrüne, die Kompostparzellen dunkelgrüne Nadeln aufwiesen. Gegen Ende des zweiten Jahres erholte sich die Nadelfarbe der Torfparzellen auffallend, ohne daß sich dies jedoch auf die Trieblänge noch ausgewirkt hätte.

Um einen Einblick in den Gaswechsel der verschieden behandelten Verschulfichten zu erhalten, wurden einige Probestpflanzen am Ende des zweiten Verschuljahres in Sand vertopft und der Gaswechsel kurz nach dem Knospenaustrieb gemessen. Dieser Zeitpunkt wurde vor allem deswegen gewählt, weil einem Kalimangel seit langem

ETHICS WSL

01000000595337

eine atmungssteigernde Wirkung zugeschrieben wird; die Atmung ist aber beim Austreiben ohnehin schon erhöht (NEUWIRTH, 1959), da für junge, sich entwickelnde Organe ein hoher Energiebedarf charakteristisch ist.

Material und Methodik

Im Dezember 1966 wurden bei mildem Wetter je 15 vierjährige Fichten (2–2) sorgfältig ausgegraben. Nach dem Sauberwaschen der Wurzeln wurden die Pflanzen in 4-Liter-Töpfe mit reinem Quarzsand (Korngröße 0,1–0,7 mm) gesetzt. Die Wurzeln wurden gewaschen, um keine fremde organische Substanz in den Topf zu bringen, deren Veratmung durch Bodenbakterien die Messung der Wurzelatmung verfälscht hätte. Die Fichten überwinterten in einem Gewächshaus, wo sie im März auszutreiben begannen.

In dem Zeitpunkt, zu dem die neuen Triebe durchschnittlich 3 cm lang waren, wurden die Pflanzen ins Labor verbracht, wo der Gaswechsel mit zwei Infrarot-Gasanalysatoren (URAS) gemessen wurde. Es wurden erfaßt:

Wurzel- und Sproßatmung sowie Transpiration im Dunkeln, Wurzelatmung, Nettoassimilation und Transpiration bei 5000, 30 000 und 40 000 Lux.

Die Lichtstärke wurde jeweils am Küvettenvorderrand gemessen. Als Lichtquelle

diente eine Xenon-Hochdrucklampe mit 3 mm dicken Schott-KG1-Filtern (zur Verminderung der Wärmestrahlung). Vergleichsmessungen mit einem Sternpyranometer (Firma Ph. Schenk, Wien) ergaben, daß 5000, 30 000 und 40 000 Lux (mit einem Metrawatt-Luxmeter gemessen) bei unseren Versuchsbedingungen einer Strahlung von 0,05 bzw. 0,30 bzw. 0,40 cal/cm²/min entsprachen¹.

Für die Gaswechsellmessung wurde der ganze Sproß in Plastikkuvetten mit Ventilator eingepackt, wie sie früher beschrieben und abgebildet wurden (KELLER, 1966a). Der Luftdurchsatz schwankte zwischen 5 und 25 l/min, je nach Lichtstärke und Pflanzengröße. Es wurde darauf geachtet, daß die CO₂-Konzentration der Küvettenluft in keinem Fall um mehr als 10% sank (im Vergleich zur leeren Küvette), und daß die relative Luftfeuchtigkeit nicht über 80% stieg. Die Lufttemperatur in der Küvette wurde mit Degussa-Pt-Widerstandsthermometern gemessen und registriert und schwankte zwischen 17 und 22° C. Weitere methodische Angaben finden sich bei KELLER (1966a).

Abb. 1. Abhängigkeit der Transpiration vom Drucksättigungsdefizit (DDSD) bei verschiedener Lichtstärke (die Punkte sind Mittelwerte von je fünf Bestimmungen)

¹ Herrn Dr. H. TURNER danke ich bestens für diese Vergleichsmessungen.

Abb. 2. Skizze der Wurzelküvette. 1: Luftzufuhr von Kompressor und Befeuchtungsanlage. 11: Luftwegfuhr zu Pumpe und URAS. Übrige Erläuterungen im Text

Da sowohl die Küvettentemperatur als auch die relative Luftfeuchtigkeit in der Küvette mangels einer Klimatisierung schwanken, waren die an verschiedenen Versuchstagen anfallenden Transpirationswerte nicht vergleichbar. Die Transpiration bei offenen Spaltöffnungen ist proportional zur Blatttemperatur und abhängig von der Dampfdruckdifferenz zwischen der Luft an der verdunstenden Oberfläche im Blattmesophyll und der umgebenden Außenluft (RUFELT et al., 1963). Ist die Luft im Innern der Nadel mit Wasserdampf gesättigt, wird die Dampfdruckdifferenz annähernd gleich dem Dampfdrucksättigungsdefizit (DDSD) der Küvettenluft. Das DDSD kann auf Grund der bekannten Lufttemperatur und mittleren relativen Luftfeuchtigkeit in der Küvette (Mittelwert der Luftfeuchte der ein- und ausströmenden Luft) leicht errechnet werden. Ein gewisser Fehler entsteht allerdings dadurch, daß die Nadel- und Lufttemperatur nicht gleich sind. Die Transpiration einiger Pflanzen wurde bei verschiedenen so ermittelten DDSD gemessen und in Abb. 1 aufgetragen. Die resultierenden Geraden erlaubten die Berechnung von Umrechnungsfaktoren, mit deren Hilfe die bei Dunkel-

heit und 5000 Lux gemessenen Transpirationswerte auf ein DDSD von 6 mm Hg, jene bei 30 000 und 40 000 Lux auf ein DDSD von 10 mm Hg bezogen wurden. Aus Abb. 1 geht hervor, daß die Transpiration z. B. bei 10 mm Hg (30 000 Lux) 74 mg/min beträgt, bei 7 mm Hg nur 51 mg/min, bei 14 mm Hg dagegen 104 mg/min. Die bei 7 mm Hg gemessene Transpiration ist daher mit dem Faktor 1,45, jene bei 14 mm Hg mit 0,7 zu multiplizieren, um den bei 10 mm Hg gemessenen Transpirationswert 74 mg/min zu erhalten.

Zur Messung der Wurzelatmung wurde durch jeden Topf je nach Pflanzengröße 2 oder 3 l/min befeuchtete Luft durchgeblasen (vgl. Abb. 2). Die Luft wurde unten mit einem Kupferrohr (2), das mit einem Gummistopfen (3) abgedichtet war, bis zur Topfmitte geleitet. Der Topf (4) war unten mit Feinkies (5) gefüllt zur besseren und gleichmäßigeren Verteilung der Luftzirkulation auf den ganzen Querschnitt. Der Kies wurde mit einer Lage Grobsand (6), Körnung 0,7–1,3 mm, überschüttet. Darüber folgte Feinsand (7) mit einer Körnung 0,1–0,7 mm, der wiederum mit Feinkies (8) bedeckt war, um Algenwachstum zu verhindern. Der Sproß wurde von einem geschlitzten Gummistopfen (9) luftdicht umschlossen, welcher ein Glasrohr (10) enthielt, durch welches die Luft aus der Wurzelküvette mit einer Aquariumpumpe zum URAS gesogen wurde. Der Topf wurde oben mit einer Plastikmanschette (12), Wandstärke 0,05 mm, luftdicht abgeschlossen. Diese Manschette wurde mit einem Gummiband (13)

Abb. 3. Temperaturabhängigkeit der Wurzelatmung vierjähriger Fichten bei der Triebelongation und Korrekturfaktorenkurve f zur Umrechnung der Wurzelatmung auf 15°C

am Stopfen (9) zugebunden und unten mit „Scotch Electrical Tape No. 33“ (14) an die Topfwand festgeklebt. Um zu verhindern, daß Rauigkeiten der Topfkante den dünnen Plastik durchlöchern, wurde die Topfkante mit einem Tesamollstreifen (15) beklebt.

Die Töpfe wurden jeweils am Vorabend in Wasserbäder gestellt, damit sich im ganzen Topf die gleiche Temperatur einstellte und auch während der Messung (unter dem Einfluß der Lampenstrahlung) nicht änderte. Die Wassertemperatur wurde mit normalen Quecksilberthermometern, die Temperatur im Topfzentrum mit Widerstandsthermometern gemessen. Leider schwankte die Wasserbadtemperatur zwischen 13 und 17°C, je nach der nächtlichen Raumtemperatur. Daher wurde die Temperaturabhängigkeit der Wurzelatmung an zehn Pflanzen ermittelt. Die resultierende Kurve von Abb. 3 erlaubte die Berechnung von Korrekturfaktoren (f), analog wie bei der Transpiration beschrieben, um alle Werte auf 15°C zu beziehen.

Resultate

Da die Pflanzen noch anderweitig benötigt wurden, konnte leider die Nadelmasse nicht ermittelt werden, und es konnten auch keine Nadelanalysen durchgeführt werden. Alle Werte beziehen sich daher auf einen ganzen vierjährigen Sproß bzw. das ganze Wurzelwerk. Bei der Auswertung zeigte es sich, daß sich die mit Torf gemulchten Pflanzen und die Nullproben im Gaswechsel praktisch nicht unterschieden. Aus diesem Grunde beschränken wir uns im folgenden nur auf die Nullproben und die mit Kompost gemulchten Pflanzen.

1. Nettoassimilation und Atmung des Sprosses

Im Abb. 4 sind die Lichtabhängigkeitskurven der Assimilation wiedergegeben, aus welchen hervorgeht, daß die Assimilation der nicht gemulchten Pflanzen im untersuchten Lichtbereich nur rund 60% der Leistung der gemulchten Fichten erreichte. Dieser Unterschied widerspiegelt schön die Unterschiede in Pflanzengröße und Benadelung. Die Länge der 1966 gebildeten Höhentriebe der nicht gemulchten Pflanzen machte auch nur etwa 60% der Trieb länge der gemulchten Pflanzen aus, während die Chlorophyllkonzentration (Azetonauszug nach MACKINNEY, 1941) mit 2,96 mg/g trockene Nadeln rund 80% der Konzentration in den Nadeln gemulchter Fichten

betrug. Der gedrungene Wuchs der Nullproben führte jedoch zu einer stärkeren gegenseitigen Beschattung der Zweige und Nadeln, so daß das Chlorophyll schlechter ausgenutzt wurde.

Die Sproßatmung der Nullproben macht rund zwei Drittel der Atmung der gemulchten Pflanzen aus. In beiden Gruppen beläuft sich die Sproßatmung auf rund ein Viertel der Nettoassimilation bei 40 000 Lux; dies ist weniger als erwartet, da ja viel junges Gewebe vorhanden ist, welches stark atmet (KOCH und KELLER, 1961).

2. Transpiration

Bei der Transpiration liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei der Assimilation, wie aus den in Tabelle 2 zusammengestellten Werten hervorgeht. Es

interessiert aber nicht nur die absolute Größe der Transpiration, sondern auch das Verhältnis von Assimilation zu Transpiration, d. h. der A/T-Quotient. Die Berechnung dieses Quotienten ergab jedoch, daß die pro g transpiertes Wasser assimilierte CO_2 -Menge bei den gemulchten Pflanzen nicht wesentlich größer war als bei den unbehandelten Pflanzen. Nur im Schwachlicht war der Unterschied statistisch gesichert. Die

Abb. 4. Dunkelatmung und Lichtabhängigkeit der Nettoassimilation ganzer Fichtensprosse

Tabelle 2

Transpiration und A/T-Quotienten bei verschiedener Lichtstärke

Lichtstärke Lux	DDSD mm Hg	Transpiration g/Pflz/h		A/T-Quotient mg CO_2 /g H_2O	
		Nullprobe	Mulch	Nullprobe	Mulch
0	6	0,68	1,04	—	—
5 000	6	1,18	1,63	7,25	9,83 ¹
30 000	10	3,10	5,18	6,98	7,32
40 000	10	3,13	5,25	7,88	8,19

¹ Statistisch signifikanter Unterschied mit $P = 0,05$.

nicht gemulchten Pflanzen gehen somit mit dem Wasser nicht verschwenderisch um. Dies ist insofern aufschlußreich, als durch die Mulchung offensichtlicher Kalimangel, wie er sich an den nicht gemulchten Fichten durch Symptome äußerte, vermieden wurde. Im Gegensatz zu diesen Resultaten wurde nämlich bei Schwarzpappeln gefunden, daß bei einer Verschlechterung der Kaliernährung der A/T-Quotient abfiel, der Wasserverbrauch im Vergleich zur Assimilation also weniger haushälterisch wurde (KELLER, 1968a).

3. Wurzelatmung

Bei der Vertopfung der Pflanzen wurde darauf geachtet, daß keine pflanzenfremde organische Substanz (Humus, Torf etc.) in den Topf gelangte. Eine allfällige Bodenatmung durch die Organismen der Rhizospäre wurde ebenfalls als Wurzelatmung betrachtet, da sich diese Mikroorganismen von Wurzelasscheidungen, abgestorbenen Saugwürzelchen und dgl. ernähren, von Produkten also, welche quantitativ kaum zu erfassen sind, welche aber mit Gaswechsel und Stoffproduktion (als Negativposten der CO_2 -Bilanz) eng zusammenhängen.

Die Resultate der Messungen der Wurzelatmung sind in Abb. 5 graphisch dargestellt und zusammengefaßt. Es fallen vor allem zwei Punkte auf:

1. Die Wurzelatmung der gemulchten und nicht gemulchten Pflanzen ist, absolut gemessen, praktisch gleich groß. Im Vergleich zum Sproßgaswechsel besitzen die gemulchten Pflanzen dagegen eine geringere Wurzelatmung als die Nullproben.
2. Die Wurzelatmung macht in bezug auf die Nettoassimilation bei Starklicht mit nur rund 6–10% einen wesentlich geringeren Betrag aus, als auf Grund der Befunde von EIDMANN (1961) oder KELLER und WEHRMANN (1963) erwartet wurde. Immerhin stellte schon EIDMANN (1943) fest, daß die Wurzelatmung im Frühjahr geringer ist als im Mai oder Juli.

Im Zeitpunkt der Triebelongation beläuft sich die Wurzelatmung auf etwa ein Viertel

Abb. 5. Wurzelatmung absolut ($\text{mg CO}_2/\text{Pflz/h}$) und in Prozenten von Sproßatmung bzw. Nettoassimilation bei verschiedener Lichtstärke

bis ein Drittel der Sproßatmung, welche zu diesem Zeitpunkt zufolge des beträchtlichen Anteils an jungen, stark atmenden Geweben erhöht ist (NEUWIRTH, 1959; KELLER, 1966a).

Da die Wurzelatmung bei Sproßbelichtung abnimmt, eine Beobachtung, welche auch in früheren, noch unveröffentlichten Versuchen mit Koniferen-Jungpflanzen gemacht wurde, beträgt die Wurzelatmung schon bei 5000 Lux nur noch einen Bruchteil des CO_2 -Umsatzes der Gesamtpflanze. Dies ist um so erstaunlicher, als die Schwarzpappel, welche als ökonomisch atmende Art bekannt ist, im Hochsommer (daher allerdings bei höherer Bodentemperatur) bei 5000

Lux den CO_2 -Kompensationspunkt für die ganze Pflanze erst knapp überschritten hat (KELLER, 1968b).

Abschließend sei Herrn E. FREHNER für die sorgfältige Durchführung der Versuchsarbeiten im Pflanzgarten und Herrn R. KEISER für die zuverlässige Mithilfe bei Messung und Auswertung bestens gedankt.

Zusammenfassung

Nettoassimilation, Transpiration und Wurzelatmung vierjähriger Fichten, welche aus Verschulbeeten mit bzw. ohne Bodenbedeckung (Mulchung) entnommen und verpottet wurden, wurden im Zeitpunkt der Triebelongation bei verschiedener Lichtstärke im Labor gemessen. Es ergab sich, daß die mit Kehrriecht-kompost gemulchten Pflanzen eine um etwa 60% höhere Nettoassimilation und Transpiration aufwiesen als die nicht gemulchten Pflanzen. Die höhere Gaswechselintensität widerspiegelt die unterschiedliche Pflanzengröße und die bessere Versorgung mit Chlorophyll. Das Verhältnis Assimilation/Transpiration dagegen wurde nur bei Schwachlicht leicht verbessert. Die absolute Größe der Wurzelatmung wurde durch die Bodenbedeckung nicht beeinflusst; im Verhältnis zum Gaswechsel des Sprosses ist die Wurzelatmung der gemulchten Pflanzen aber kleiner. Bezogen auf die Assimilation ist die Wurzelatmung durchweg erstaunlich gering (nur 6–10% bei Starklicht, 15–30% bei Schwachlicht). Die größere Assimilation bei gleicher Wurzelatmung erlaubt daher den gemulchten Pflanzen eine größere Stoffproduktion und damit schnelleres Wachstum.

Summary

Net photosynthesis, transpiration and root respiration of potted 4-year-old spruce transplants were measured with IRGAS in the laboratory at the time of shoot elongation in order to detect whether there was an effect of mulching on gaseous exchange, as half of the plants had been mulched with garbage compost in the nursery.

Mulched plants showed a net photosynthesis and transpiration which were increased by 60% over that of controls. This reflects bigger size and higher chlorophyll content of mulched plants. Absolute amount of root respiration was not affected but in comparison to gaseous exchange of shoots, root respiration is relatively smaller in mulched plants. Compared to photosynthesis root respiration is astonishingly small (6–10% in strong light, 15–30% in weak light). Higher assimilatory intensity at equal root respiration therefore leads to greater dry matter production and hence to faster growth.

Literatur

EIDMANN, F. E., 1943: Untersuchungen über die Wurzelatmung und Transpiration unserer Hauptholzarten. Sauerländer, 144 p. — Ders., 1961: Rauchschäden im Walde. In: Forschungsergebnisse zur Förderung der forstlichen Erzeugung. 3, 99–103. Landwirtsch. Verlag Hiltrup. — KELLER, T., 1966a: Über den Einfluß von transpirationshemmenden Chemikalien (Antitranspirantien) auf Transpiration, CO_2 -Aufnahme und Wurzelwachstum von Jungfichten. Forstwiss. Cbl. 85, 65–79. — Ders., 1966b: Versuche zur Bekämpfung der winterlichen Nadelverfärbungen an den Triebenden der Fichte im Forstpflanzgarten. Schweiz. Z. Forstwes. 117, 706–719. — Ders., 1968a: The influence of fertilization on gaseous exchange of forest tree species. Colloquium on Forest Fertilization 1967. Im Druck. — Ders., 1968b: Nettoassimilation, Sproß- und Wurzelatmung junger Pappeln bei unterschiedlicher Ernährung. Tag.-Ber.

Dtsch. Akad. Landw. Wiss. Berlin. Im Druck. — KELLER, T., und WEHRMANN, J., 1963: CO₂-Assimilation, Wurzelatmung und Ertrag von Fichten- und Kiefernssämlingen bei unterschiedlicher Mineralstoffernährung. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-Wesen 39, 217-242. — KOCH, W., und KELLER, T., 1961: Der Einfluß von Alterung und Abschneiden auf den CO₂-Gaswechsel von Pappelblättern. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 74, 64-74. — MACKINNEY, G., 1941: J. Biol. Chem. 14 D, 315. Zitiert in: Moderne Methoden der Pflanzenanalyse 4, 159. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag 1955. — NEUWIRTH, G., 1959: Der CO₂-Stoffwechsel einiger Koniferen während des Knospenaustriebs. Biol. Zbl. 78, 559-584. — RUFELT, H., JARVIS, P. G., und JARVIS, M. S., 1963: Some effects of temperature on transpiration. Physiol. Plant. 16, 177-185. — ZECH, W., 1968: Über die Wirkung einer Kalium- und Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ernährungszustand gelbspitziger Kiefernkulturen in Süddeutschland. Colloquium on Forest Fertilization 1967. Im Druck.