Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 116 (1965)

Heft: 9

Artikel: Über den winterlichen Gaswechsel der Koniferen im schweizerischen Mittelland

Autor: Keller, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767404

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

116. Jahrgang September 1965 Nummer 9

Über den winterlichen Gaswechsel der Koniferen im schweizerischen Mittelland *

Von *Th. Keller*

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH)

Oxf. 161.1:174.7

1. Einleitung

Der Winter gilt in der gemäßigten Klimazone ganz allgemein als die Zeit der Vegetationsruhe, und die Laubbäume führen mit der Farbenpracht des herbstlichen Laubfalles eindrücklich vor Augen, daß sie die Stoffproduktion für einige Monate einstellen. Die immergrünen Koniferen dagegen gaben dadurch, daß sie ihre Assimilationsorgane auch den Winter über behalten, Anlaß zu allerhand Spekulationen. Schon Boussingault (1874) stellte fest, daß Nadeln von *Pinus laricio* noch im Bereich von 0,5 bis 2,5 °C Sauerstoff abgaben, also Kohlensäure assimilierten, und Kreusler (1887) schloß aus seinen Versuchen, daß der Nullpunkt der Assimilation unter dem Gefrierpunkt liegen müsse. Jumelle (1891) fand an Fichte gar bei –35 °C eine ganz schwache Assimilation. Ein Indiz dafür, daß die Nadelbäume den Winter wirklich zur Stoffproduktion auszunutzen vermögen, lieferte Gut (1929) durch die Messung des CO_2-Gehaltes der Luft in einem Nadelholzbestand auf dem Zürichberg, indem er nachwies, daß die CO_2-Konzentration auch im Winter erheblichen Tagesschwankungen unterlag. Eine Unterstützung dieser Befunde erbrachte Zacharova im selben Jahr durch die Veröffentlichung von Resultaten, wonach junge Fichten und Föhren in Petersburg die CO_2-Aufnahme bis zu –14 °C bzw. –13 °C aufrechtzuerhalten vermochten. Demgegenüber stellten Iwanoff und Kossowitsch ebenfalls 1929 fest, daß bei Föhren die Assimilation die Atmung im Frühjahr erst überstieg, wenn die Tagesmitteltemperatur über 0 °C anstieg, so daß diese Autoren eine winterliche Assimilation der Föhre für unwahrscheinlich hielten. Der noch wenig bekannte winterliche Gaswechsel der Koniferen führte zur Hypothese von Printz (1933, zitiert nach Hagem, 1947), daß die schwache Verbreitung der Nadelhölzer an der westnorwegischen Küste darauf zurückzuführen sei. Die milde Temperatur während der langen, dunklen Winter führe zu so hohen Atmungsverlusten (bis zu 40 % des Trockengewichtes), daß die Sämlinge ihre Stoffreserven verbrauchen und Spätfrösten

* Herrn Forstinspektor Dr. Charles R. Gut, Morges, zum 65. Geburtstag gewidmet.

oder Krankheiten erliegen würden. Eine langjährige Überprüfung durch Hagem (1947) ergab jedoch, daß Fichten- und Föhrensämlinge in Norwegen im Winterhalbjahr (Oktober bis März) um 20 bis 60 % ihres anfänglichen Trockengewichtes zunehmen können, wobei allerdings die CO_2-Bilanz für Dezember und Januar wegen der geringen Lichtmenge negativ sein kann, wenn die Temperatur bei 5 bis 8 °C bleibt.

Nach Ergebnissen von Freilandversuchen von Freeland (1944) im mittleren Westen der USA vermögen Fichte *(Picea mariana)* und Kiefern *(Pinus silvestris* und *P. nigra)* bis etwa –6 °C zu assimilieren, während die Atmung bis zu noch tiefern Temperaturen anhält. Zu gleichen Resultaten kam Zeller (1951) in ihren Versuchen mit abgeschnittenen Fichtenzweigen, und Parker (1953) fand in München, daß bei trübem Winterwetter die Fichte doch noch eine merkliche Assimilationstätigkeit entfalten kann, selbst bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt.

Es war vor allem die Innsbrucker Schule, die sich diesem Problem systematisch und mit verbesserten Methoden erneut annahm. So berichteten Pisek und Tranquillini (1954), daß Fichten bei Innsbruck «bis zum Eintritt stärkerer und anhaltender Kälte sowie nach dem Weichen des Winters jeden Tag mit erheblichem Reingewinn zu nützen» vermögen. Die Stoffproduktion ist allerdings gegenüber dem Sommer stark herabgesetzt, und die Atmung (CO_2-Abgabe) geht bis zu tiefern Temperaturen vor sich als die Assimilation. Nach Pisek und Rehner (1958) assimilieren Fichte, Föhre und Eibe der Tallagen noch bis –4 °C, während bei –5 ° bereits die Atmung überwiegt.

Cartellieri (1936) hatte an der Waldgrenze in Tirol festgestellt, daß mit dem Eintreten starker Fröste und bei anhaltend tiefen Temperaturen die Arve *(Pinus cembra)* die Assimilation einstellt. Tranquillini (1957) konnte diese Befunde präzisieren, indem die starken Fröste zu Winterbeginn die Assimilation auf einen Zehntel des ursprünglichen Wertes herabsetzten. Auch die Atmung erfuhr eine starke Einschränkung. Die CO_2-Aufnahme wurde im November aber bis zu –4,7 °C gemessen. In dem Moment jedoch, in dem der Boden im Wurzelbereich durchfror, wurde die Assimilation völlig eingestellt. Selbst an klaren Tagen mit schwachem Gaswechsel blieb die CO_2-Bilanz negativ. Sobald eingeschneite Jungpflanzen ausaperten, begannen sie sofort wieder zu assimilieren (Tranquillini, 1959).

Weitere eingehende Versuche ließen Pisek und Winkler (1958) folgern, daß anhaltend frostfreies Herbstwetter relativ intensive Assimilation (abhängig von Licht und Temperatur) erlaubt. Sobald aber Fröste im Spätherbst die Temperatur unter –4 °C fallen lassen, ist die CO_2-Aufnahme am folgenden Tag empfindlich gestört, besonders wenn sich mehrere Fröste folgen. Derartige Fröste im Vorfrühling verzögern die Wiederaufnahme der Assimilation, und wenige aufeinanderfolgende Eistage mit Minima von –6 bis –8 °C können zur Einstellung der Assimilationstätigkeit führen. «So

können auch die immergrünen Koniferen aus dem Dauerbesitz ihrer Assimilationsorgane nur solange ausgiebigeren Vorteil ziehen, als der Winter keine längeren, geschweige scharfen Frostperioden bringt», während welchen, wie auf Grund des stark eingeschränkten Gaswechsels zu schließen ist, sich die Bäume «in einem gewissen Ruhezustand befinden.» Diese Befunde wurden von Bourdeau (1959) bestätigt. Polster und Fuchs verfolgten Assimilation und Atmung von Föhren in Sachsen von Januar bis April 1962 und fanden eine geringe Atmung bei einer mittleren Tagestemperatur von –6 °C, während die Assimilation schon bei –3° C eingestellt wurde. Erst Mitte März überstieg die Assimilation die Atmung wieder. Der Stoffverlust, den die Nadeln durch Atmungsüberschuß während der Zeitperiode Januar bis März erlitten, belief sich auf einen Betrag, der dem Assimilationsüberschuß von vier Sommertagen entspricht. Diese Autoren wiesen daher darauf hin, daß milde Wintertemperaturen bei gleichzeitigem Bodenfrost zu größern Atmungsverlusten führen können, welche die Pflanze in einen Hungerzustand geraten lassen können, der ihre Widerstandskraft vermindert.

Um Anhaltspunkte zu erhalten, welchen Betrag die winterliche Assimilation unter den klimatischen Bedingungen des schweizerischen Mittellandes ausmacht, welche etwas ozeanischer sind als jene von Innsbruck, Sachsen oder Michigan und unter welchen Gut (1929) einen leichten Assimilationsüberschuß vermutete, wurde von Januar bis Ende März 1965 der CO_2-Gaswechsel einiger eingetopfter, junger Koniferen mit dem URAS verfolgt. Die Fragestellung wurde nicht zuletzt deswegen aktuell, weil die Eidg. Lufthygienekommission in ihren 1965 veröffentlichten Richtlinien über die maximalen SO_2-Konzentrationen für die Zeit vom 1. November bis 28. Februar höhere Immissionskonzentrationen zuläßt als während der übrigen Zeit, in erster Linie, um der bereits beachtlichen Luftverunreinigung in den Schweizer Städten Rechnung zu tragen. Man stützte sich dabei auf die Befunde von Katz und McCallum (1952) und Rohmeder und von Schönborn (1965), wonach die Resistenz der Koniferen gegen SO_2-Immissionen im Winter zufolge verminderter oder eingestellter Assimilation wesentlich erhöht ist.

2. Methodik

Vertopfte 3jährige Fichten, Föhren und Douglasien sowie 5jährige Weißtannen wurden in torfgefüllte, isolierende Styropor-Kübel (30 x 30 x 30 cm) verbracht. Zehn mit Pflanzen besetzte Kübel wurden ringsum mit einer weitern Reihe torfgefüllter Styropor-Kübel umstellt, so daß die Pflanzenwurzeln seitlich durch mindestens 40 cm Torf vor eindringendem Frost geschützt waren (Abb. 1). Die ganze Anlage wurde im Januar 1965 auf der Wiese vor dem Fenster des URAS-Labors plaziert.

Die Sprosse der Pflanzen wurden in Plastikküvetten (Wandstärke 0,05 mm) eingeschlossen, deren Durchmesser 22 cm und deren Höhe je nach Pflanzengröße 40 bis 60 cm maß. Die Küvetten waren oben mit einer Plexi-

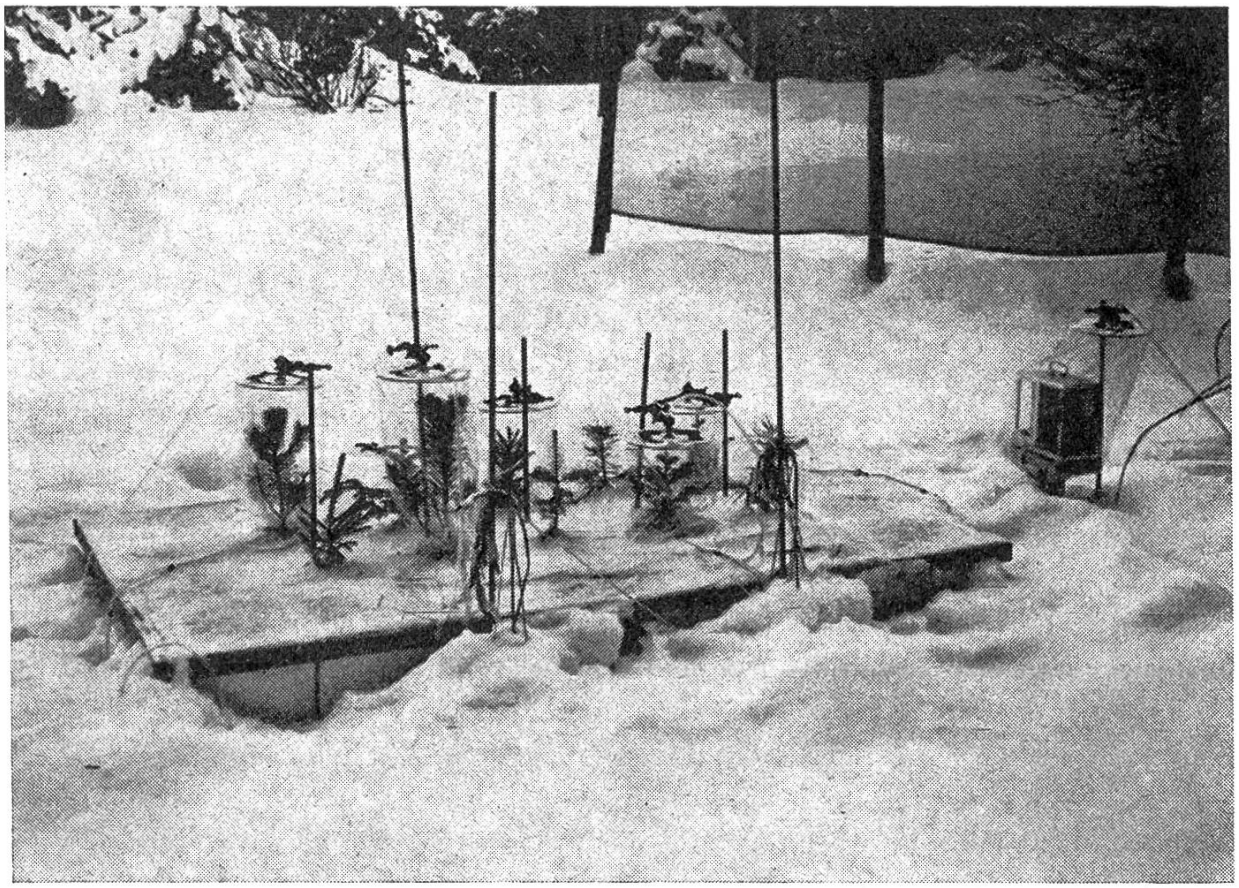

Abbildung 1
Gesamtansicht der Versuchsanlage. Rechts der in die Vergleichsküvette gestellte Thermohygrograph

glasplatte versehen, welche der Küvette eine feste Form verlieh und deren Zentrum mit einem Aluminiumrohr versehen war, womit die Küvette an einem Stativ mit einer Klemme befestigt werden konnte. Durch das Aluminiumrohr wurde ein PVC-Schlauch zur Luftzufuhr eingeführt. Für die Luftentnahme wurde an der Basis der Stämmchen ein PVC-Schlauch angebunden, der zum URAS führte.

Mit einem Kompressor wurden je nach Assimilationsintensität in jede Küvette 2 bis 6 l Luft/min gepumpt, wovon 1 l/min mit Membranpumpen abgesaugt und durch 10 m lange Leitungen zu Gasumschalter (zum gleichzeitigen Anschluß von einer Vergleichs- und 5 Meßleitungen) und URAS geführt wurden. Zwischen Gasumschalter und URAS wurde in einem mit Silikagel gefüllten Trockenrohr die Luft vom Wasserdampf befreit. Die übrigen 1 bis 5 l Luft konnten unten aus der Küvette entweichen, die unmittelbar über dem Boden mit einer Schnur zugebunden war. Die ausströmende Luft verhinderte gleichzeitig das Eindringen von Fremdluft.

Zur Messung der Küvetten- bzw. Freilandtemperatur wurden 10 Pflanzen mit Thermistoren versehen und 2 Thermistoren wurden 10 cm tief in die Topferde eingelassen, um den Gang der Bodentemperatur im Wurzelbereich zu erfassen. Zu Vergleichszwecken wurde außerdem je ein Thermo-

hygrograph in etwa 30 cm Höhe ab Boden in die Vergleichsluftküvette bzw. in eine Englische Hütte gestellt.

Die Lichtverhältnisse wurden mit Hilfe eines Metrawatt-Luxmeters erfaßt, mit welchem periodische Messungen durchgeführt wurden.

Der URAS wurde für den Bereich 0,027 bis 0,0324 % CO_2 (270 bis 324 ppm) so geeicht, daß auf dem Schreiber 1 mm 0,9 ppm entsprachen (1 ppm CO_2 = 1 mm³/l Luft = 1,86 μg CO_2/l Luft bei 720 mm Hg).

3. Ergebnisse

Als der Versuch am 16. Januar anlief, zeigten die Pflanzen zufolge des relativ milden Winterwetters eine deutliche assimilatorische Tätigkeit mit normalem lichtabhängigem Tagesverlauf. Die in den zwei vorangegangenen Wochen gemessene Tiefsttemperatur hatte –7 °C (6. Januar) betragen, doch sank das Thermometer nachher nicht mehr unter –3 °C.

Die erste aufhellende Winternacht nach dem bis zum 19. Januar anhaltenden trüben Wetter brachte durch eine Küvettentemperatur von –9 °C jedoch eine starke Zäsur. Abbildung 2 zeigt den Verlauf des CO_2-Gaswechsels

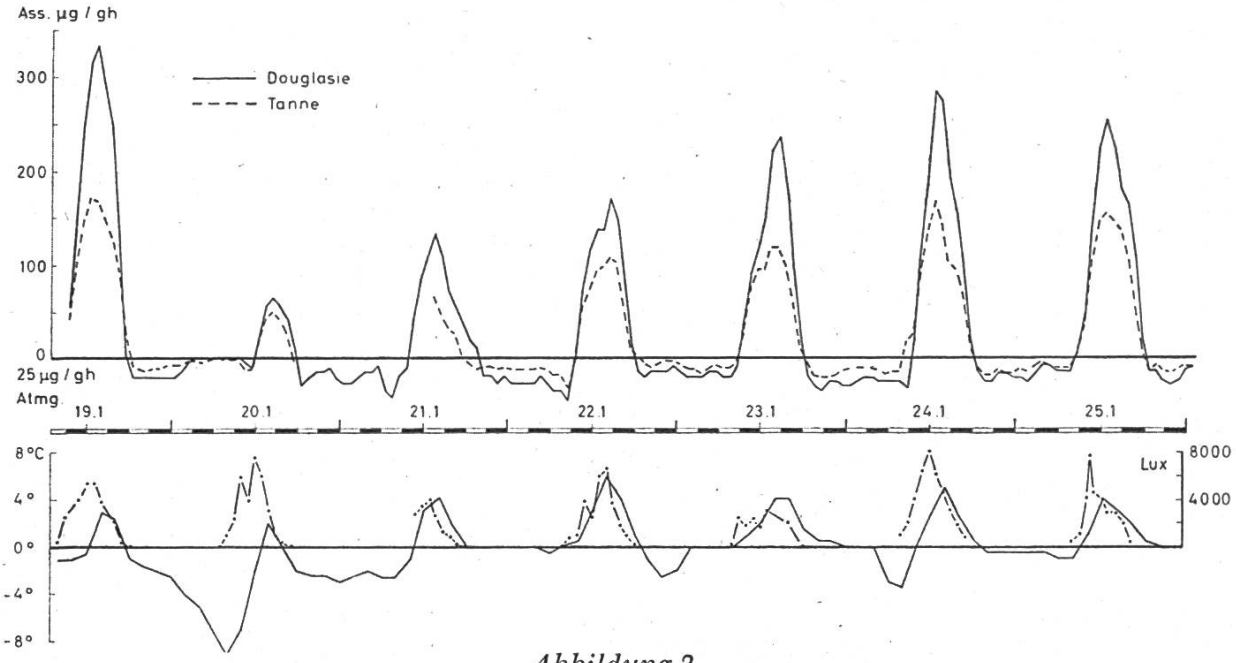

Abbildung 2

Tagesgang von Assimilation und Atmung (μg/g trockene Nadeln/h) von Tanne und Douglasie, 19. bis 25. Januar 1965, mit Licht- und Temperaturkurven (Küvettentemperatur)

einer Tanne und einer Douglasie sowie den Tagesgang von Küvettentemperatur und Lichtstärke vom 19. bis 25. Januar. Die plötzliche Aufklarung am 20. Januar um etwa 01.00 Uhr ließ die Temperatur unter –5 °C fallen, und damit sank die Dunkelatmung auf minimale Werte. Die Überschreitung dieser Temperaturschwelle nach oben führte zu einer verstärkten Atmung, welche während des Vormittags die CO_2-Aufnahme überwog. Selbst bei 6000 Lux (–4,5 °C) war noch keine Nettoassimilation zu messen. Dies bestätigt die Feststellung von Pavletic und Lieth (1958), daß der Licht-

kompensationspunkt bei Temperaturen unter 0 °C bei relativ hohen Lichtstärken liegt. Erst um Mittag, als die Temperatur –2 °C erreichte, wurde der Kompensationspunkt überschritten, das heißt, setzte die Nettoassimilation ein.

Da in den folgenden Tagen und Nächten die Temperatur relativ mild blieb (nur am Morgen des 24. Januar sank sie auf –3,5 °C), erholten sich die Pflanzen zusehends und erreichten von Tag zu Tag höhere Assimilationsintensitäten, wie dies auch Weise und Polster (1962) in Frostungsversuchen feststellten. An allen Tagen, selbst am ungünstigten, dem 20. Januar, erzielten alle Pflanzen einen Stoffgewinn; sie vermochten also die nächtliche Atmung trotz den langen Nächten (Assimilations- und Atmungsperiode betrugen 9 bzw. 15 Stunden) mehr als wettzumachen, da die kühlen Nachttemperaturen bewirkten, daß die Atmung gering blieb. Der gesamte Gaswechsel der Bäumchen war aber stark gedrosselt, denn im Tagesdurchschnitt des 19. Januar lag die Assimilationsintensität der Douglasiennadeln (auf das Trockengewicht bezogen) bei nur 0,2 mg CO_2/gh, wogegen Polster (1950) für diese Baumart während der Vegetationsperiode Werte im Bereiche von 1,1 bis 3,9 mg CO_2/gh maß. Die maximale Assimilationsintensität erreichte am 19. Januar mit 0,34 mg CO_2/gh nur einen Viertel der Ende März gemessenen maximalen Aktivität!

In Abbildung 3 sind die Tagessummen der Nettoassimilation und Atmung von je einer Douglasie, Fichte und Föhre sowie die mittägliche Bodentemperatur (in 10 cm Tiefe) und die täglichen Temperaturmaxima und -minima (Küvettentemperaturen) für Februar und März 1965 aufgezeichnet. Um die Darstellung nicht zu überladen, wurde darauf verzichtet, auch die Kurve der Tanne wiederzugeben, die zwischen den Kurven von Fichte und Douglasie liegt. Die Tagesbilanzen konnten leider nicht lückenlos erstellt werden. Die Unterbrüche vom 6./7. und 10./14. Februar sind darauf zurückzuführen, daß an diesen Tagen während mehrerer Stunden die CO_2-Konzentration der Luft über 0,035 % anstieg und dadurch außerhalb des eingestellten Meßbereiches des Gerätes geriet. Vom 22. Februar bis 14. März dagegen war der CO_2-Austausch so gering, daß er nicht mehr eindeutig meßbar war. Die Tagesbilanzen – in welchen übrigens die Wurzelatmung nicht berücksichtigt ist, die aber zufolge des gefrorenen Bodens sehr klein gewesen sein dürfte – waren in dieser Zeit aber nur schwach negativ, obwohl auch an klaren und relativ warmen Tagen der Kompensationspunkt nicht mehr überschritten wurde. Der Grund liegt in den tiefen Temperaturen der frühen Morgenstunden des 3., 9., 10. und 17. Februar, welche den Gaswechsel der Nadeln trotz den dazwischenliegenden wärmeren Perioden zum Erliegen brachten. Am 17. Februar erreichte der Bodenfrost die tiefsten Wurzeln und bewirkte die Schließung der Spaltöffnungen, wie dies bereits von Tranquillini (1957) an jungen Arven der Waldgrenze beobachtet worden war.

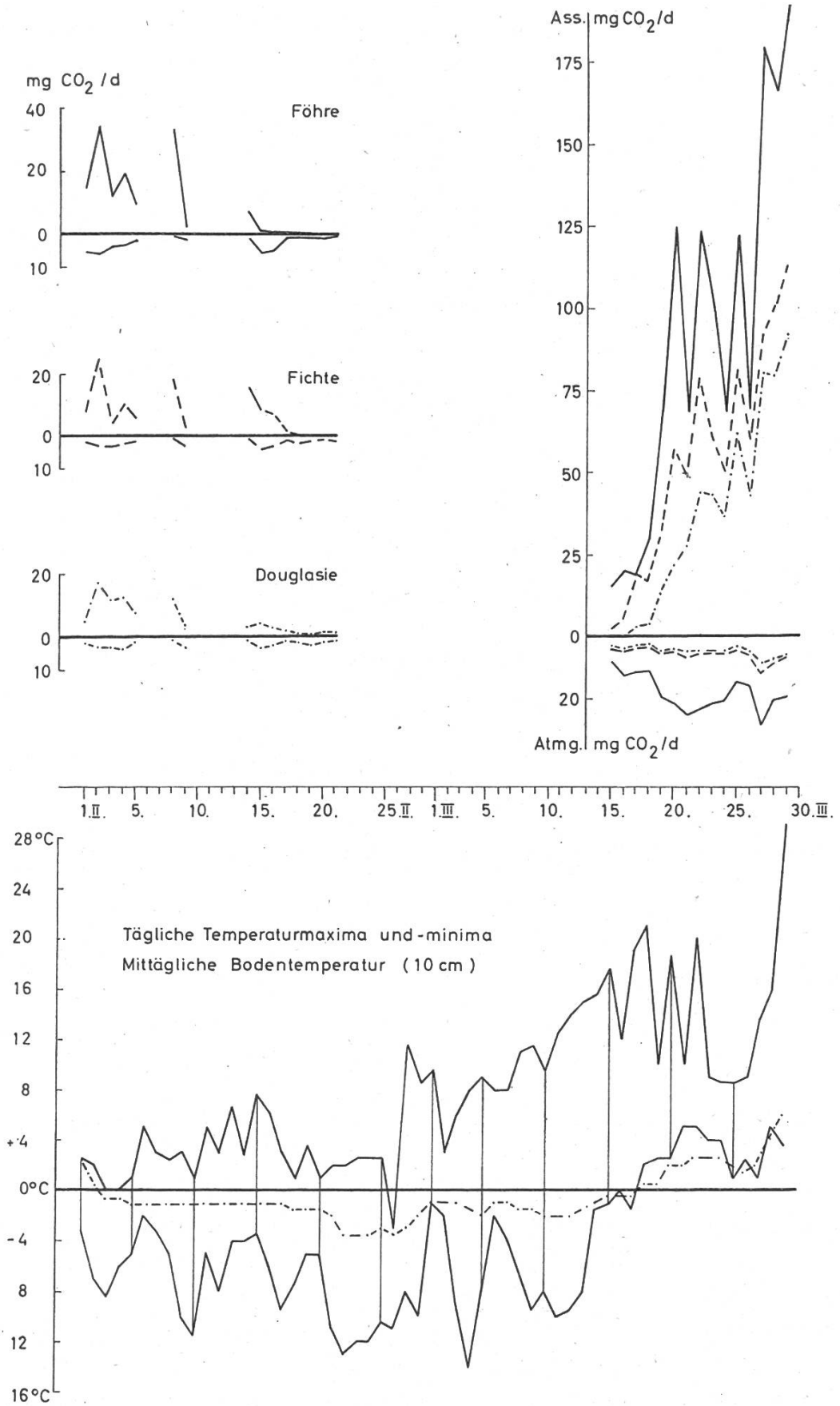

Abbildung 3

Tagessummen von Assimilation und Atmung des ganzen Sprosses von Föhre, Fichte und Douglasie im Februar — März 1965. Unten tägliche Temperaturmaxima und -minima (in Küvetten) und mittägliche Bodentemperatur in 10 cm Tiefe

Die Morgenfrühe des 13. März brachte zum letztenmal ein Temperaturminimum von –8 °C, und die warmen Tage führten zum Auftauen des Bodens. Die Tagessummen der Assimilation und Atmung stiegen daher innerhalb weniger Tage sehr steil an. Die starken Schwankungen der Assimilationskurven sind auf den unterschiedlichen Lichtgenuß zurückzuführen, da der 20., 22., 25. und 27. bis 29. März helle oder gar sonnige Tage waren, während der 19., 21., 23., 24. und 26. März durch trübes, regnerisches Wetter gekennzeichnet waren. Die Tagessummen erreichten Ende März das Fünf- bis Sechsfache des im Januar bis Februar Gemessenen, wobei natürlich auch die in den zwei Monaten um drei Stunden angestiegene Tageslänge wesentlich beitrug. Die Atmungsverluste vom 17. Februar bis 14. März wurden daher in wenigen Tagen wieder ausgeglichen. Die Ausbeute der winterlichen Assimilationstätigkeit ist daher sehr bescheiden im Vergleich zu der schon am Anfang der Vegetationsperiode erreichten Leistung. Dies kommt auch in Tabelle 1 deutlich zum Ausdruck, in welcher die Assimilationssummen und die Überschüsse bzw. Defizite von je 5 Tagen festgehalten sind (Differenz = Atmung).

Tabelle 1

Fünftägige Assimilationssummen und CO_2-Überschüsse bzw. -Defizite in mg/Pflanze

Periode	Douglasie		Tanne		Fichte		Föhre	
	Σ der Ass.	CO_2-Überschuß bzw. -Defizit	Σ der Ass.	CO_2-Überschuß bzw. -Defizit	Σ der Ass.	CO_2-Überschuß bzw. -Defizit	Σ der Ass.	CO_2-Überschuß bzw. -Defizit
1.–5. II.	55,06	+ 41,70	88,10	+ 55,00	52,30	+ 39,51	90,12	+ 68,88
6., 7., 14.–16. II.	26,87	+ 14,70	48,93	+ 17,56	50,07	+ 37,10	43,93	+ 23,34
17.–21. II.	5,52	– 4,54	2,60	– 20,10	2,04	– 8,14	1,54	– 5,80
15.–19. III.	20,27	+ 2,15	96,88	+ 42,41	79,78	+ 58,32	159,13	+ 95,02
20.–24. III.	179,80	+155,30	245,30	+200,00	308,92	+281,17	505,32	+393,25
25.–29. III.	372,58	+341,17	380,05	+336,50	466,88	+430,94	763,24	+664,23

Die Atmungskurven von Föhre und Tanne widerspiegeln weitgehend die Temperaturverhältnisse. So stieg die Gesamtatmung vor allem der Föhre nach dem 18. März merklich, da von da an die Minimal- wie auch die Bodentemperaturen über 0 °C lagen, während das kühle Wetter von 23. bis 26. März eine Verminderung der Atmung bewirkte. Auffällig ist die starke Atmung von Tanne und Douglasie beim Anlaufen der Assimilation (15. bis 19. März).

Die lange Periode unterbundener CO_2-Aufnahme bot günstige Gelegenheit, die Temperaturabhängigkeit der Atmung im niederen Temperatur-

bereich zu untersuchen. In Abbildung 4 ist die Atmung der vier Nadelbaumarten des Versuchs für den Bereich –10 °C bis +6 ° in Punktdiagrammen dargestellt. Der Befund von Polster und Fuchs (1963), wonach die Atmung der Föhre unterhalb etwa 6 °C linear verläuft, findet eine Bestäti-

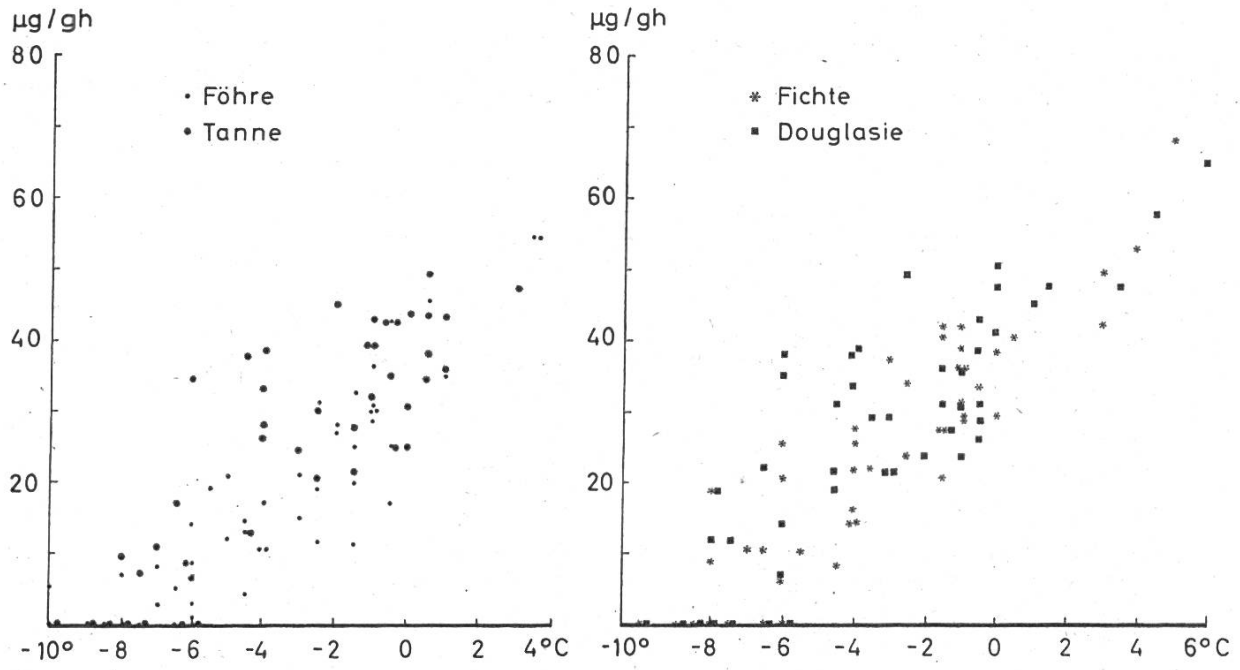

Abbildung 4

Temperaturabhängigkeit der Dunkelatmung von Föhre, Douglasie, Fichte und Tanne im Bereich –10 °C bis +6 °C

gung in unseren Messungen für alle vier Arten. Auffällig ist die starke Streuung von Tanne und Douglasie im Bereich von –2 °C bis –8 °C, doch soll diese an Einzelpflanzen gemachte Beobachtung noch nicht zur Verallgemeinerung führen, daß diese beiden Arten aus ozeanisch getönten Klimagebieten auf winterliche Fröste empfindlicher reagieren als etwa Fichte und Föhre. Immerhin sei darauf hingewiesen, daß sich auch in den Versuchen von Pavletic und Lieth (1958) die Tanne als empfindlicher erwies als Fichte und Föhre. Unterhalb von –8 °C konnten wir keine Atmung mehr messen, im Gegensatz zu Zeller (1951), welche die Atmung der Fichte bis –12 °C verfolgte.

Um die Temperaturschwelle festzustellen, bei welcher die Nettoassimilation eingestellt wurde, genügen die Aufzeichnungen dieses Winters nicht. Gewöhnlich fielen Temperaturen von –4 °C bis –6 °C in die Zeit vor 08.00 oder nach 17.00 Uhr, wenn geringe Lichtstärken herrschten, oder aber sie kamen an Tagen vor, welche sehr kalten Nächten folgten (–8 °C oder kälter), so daß der gesamte Gaswechsel noch stark eingeschränkt war. So wurde zum Beispiel am 10., 12., 18. und 19. Februar zufolge der vorangegangenen kalten

Nächte der Kompensationspunkt bei –5 °C bis –6 °C selbst bei Lichtstärken von 4000 bis 8000 Lux nicht erreicht, während bei –3 °C 4000 Lux genügten, um die Atmung zu kompensieren.

Diese vorläufigen Beobachtungen sollen daher im nächsten Winter auf breiterer Basis weitergeführt werden.

Zum Schlusse möchte ich auch an dieser Stelle Frl. S. Rusche und Herrn R. Keiser für ihre Mithilfe bei der Einrichtung, Betreuung und Auswertung des Versuches sowie Herrn Dr. H. Turner für die Eichung der Thermistoren aufrichtig danken.

Résumé

L'échange gazeux hivernal des conifères du Plateau suisse

A l'aide d'un analysateur à gaz infrarouge, on a mesuré de janvier à fin mars 1965 l'assimilation et la respiration chez des épicéas, des pins sylvestres, des sapins et des douglas. Les plantes, âgées de 3 à 5 ans, étaient empotées et placées à l'air libre.

L'intensité de l'assimilation en janvier et en février n'atteint que le quart de celle mesurée à fin mars. Les nuits fraîches, avec des températures de –6 ° à –8 °C, provoquent une forte baisse de l'assimilation; cependant le bilan journalier de l'absorption et du dégagement de CO_2 reste souvent positif. Si des jours plus chauds succèdent à une telle nuit, l'assimilation augmente de jour en jour (fig. 2). Par contre, après plusieurs nuits froides rapprochées et lorsque le sol gèle jusqu'aux racines, les stomates restent fermés et l'échange gazeux est pratiquement arrêté (fig. 3). Au cours de cette période du 18 février au 14 mars, la respiration, dont l'intensité dépend de la température, subsiste seule. Lorsque le temps devient légèrement plus chaud, les aiguilles dégagent bien un peu de CO_2, mais l'assimilation reste insignifiante. Au-dessus de 6 °C la respiration, qui peut être enregistrée jusqu'à –8 °C, est linéairement proportionnelle à la température (fig. 4).

A partir de mi-mars, l'échange gazeux reprend et s'intensifie rapidement avec le dégèlement du sol et des températures plus élevées, cet échange dépendant avant tout de la quantité de lumière disponible. A fin mars, le volume journalier d'acide carbonique assimilé atteint le quintuple à sextuple de la quantité absorbée en janvier lors des jours les plus favorables. L'assimilation hivernale est modeste par rapport à celle de la période de végétation.

Traduction: O. Lenz

Literaturverzeichnis

Bourdeau, P. F. (1959): Seasonal variations of the photosynthetic efficiency of evergreen conifers. Ecology 40, 63–67

Boussingault, M. (1874): Sur les fonctions des feuilles. In: Agronomie, chimie agricole et physiologie. Bd. 5, 1–32. 2. Aufl., Paris

Cartellieri, E. (1936): Jahresgang von osmotischem Wert, Transpiration und Assimilation

einiger Ericaceen der alpinen Zwergstrauchheide und von *Pinus cembra*. Jb. wiss. Bot. 82, 460—506

Freeland, R. O. (1944): Apparent photosynthesis in some conifers during winter. Plant Physiol. 19, 179—185 (zitiert nach Forestry Abstracts 6, 75)

Gut, Ch. R. (1929): Le gaz carbonique dans l'atmosphère forestière. Büchler, Bern. 112 pp.

Hagem, O. (1947): The dry matter increase of coniferous seedlings in winter. Meddel. Vestlandets Forstl. Forsoksstat. (Bergen) 26, 7—275

Iwanoff, L. A., und *Kossowitsch, N. L.* (1929): Über die Arbeit des Assimilationsapparates verschiedener Baumarten. I. Die Kiefer *(Pinus silvestris)*. Planta 8, 427—464

Jumelle, H. (1891): Sur le dégagement d'oxygène par les plantes, aux bases températures. Comptes rendues hebd. Acad. Sci. (Paris) 112, 1462—1465

Katz, M., und *McCallum, A. W.* (1952): The effect of sulfur dioxide on conifers. In «Air pollution», p. 84—96. Mc Graw Hill, New York — Toronto — London

Kreusler, U. (1887): Beobachtungen über die Kohlensäureaufnahme und -ausgabe (Assimilation und Atmung) der Pflanzen. II. Abhängigkeit vom Entwicklungszustand. Einfluß der Temperatur. Landw. Jahrbücher 16, 711—755

Parker, J. (1953): Photosynthesis of Picea excelsa in winter. Ecology 34, 605—609

Pavletic, Z., und *Lieth, H.* (1958): Der Lichtkompensationspunkt einiger immergrüner Pflanzen im Winter und im Frühjahr. Ber. dt. bot. Ges. 71, 309—314

Pisek, A., und *Rehner, G. (1958):* Temperaturminima der Nettoassimilation von mediterranen und nordisch-alpinen Immergrünen. Ber. dt. bot. Ges. 71, 188—193

Pisek, A., und *Tranquillini, W.* (1954): Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten- *(Picea excelsa* Link) und Rotbuchenbäumen *(Fagus silvatica* L.). Flora 141, 237—270

Pisek, A., und *Winkler, E.* (1958): Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte *(Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe *(Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta 51, 518—543

Polster, H. (1950): Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. Bayer. Landwirtschaftsverlag, München. 96 pp.

Polster, H., und *Fuchs, S.* (1963): Winterassimilation und -atmung der Kiefer *(Pinus silvestris* L.) im mitteldeutschen Binnenlandklima. Archiv f. Forstwes. 12, 1011—1023

Printz, H. (1933): Granens og furuens fysiologi og geografiske utbredelse. Nyt Magazin f. Naturvidenskaberne 73, 167—219

Rohmeder, E., und *von Schönborn, A.* (1965): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigung durch Industrieabgase. Forstwiss. Cbl. 84, 1—13

Tranquillini, W. (1957): Standortsklima, Wasserbilanz und CO_2-Gaswechsel junger Zirben *(Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta 49, 612—661

Tranquillini, W. (1959): Die Stoffproduktion der Zirbe an der Waldgrenze während eines Jahres. Planta 54, 107—129

Weise, G., und *Polster, H.* (1962): Untersuchungen über den Einfluß von Kältebelastungen auf die physiologische Aktivität von Forstgewächsen. Biol. Zentralbl. 81, 129—143

Zacharowa, T. M. (1929): Über den Gasstoffwechsel der Nadelholzpflanzen im Winter. Planta 8, 68—83

Zeller, O. (1951): Über Assimilation und Atmung der Pflanzen im Winter bei tiefen Temperaturen. Planta 39, 500—526