

(Aus dem pflanzenphysiologischen Laboratorium der I. Moskauer Staatsuniversität.)

ÜBER DEN GASSTOFFWECHSEL DER NADELHOLZPFLANZEN IM WINTER.

Von

T. M. ZACHAROWA.

(Eingegangen am 18. Februar 1929.)

Die Frage über die Möglichkeit der Assimilation bei niedrigen Temperaturen wurde in der Literatur schon mehrmals aufgeworfen.

Die Untersuchungen verschiedener Forscher: KREUSLER (1888), JUMELLE (1891), G. MATTHÄI (1914) haben gezeigt, daß die Assimilation auch bei Temperaturen unter 0° vor sich gehen kann. So fand z. B. in den Versuchen von KREUSLER mit *Ricinus* und *Laurocerosus* die Assimilation zwischen 0° und $-2,4^{\circ}$ C statt; in den Versuchen MATTHÄIS mit *Laurocerosus* fand Assimilation, wenn auch schwach, bei -6° C statt; bei JUMELLE assimilierten *Picea excelsa* sogar bei -35° C und *Juniperus* bei -40° C.

Die Befunde der aufgezählten Autoren legten die Vermutung nahe, daß die Assimilation bei Nadelholzpflanzen auch unter den klimatischen Bedingungen unseres russischen Winters mit seiner Durchschnittstemperatur von -10° bis -15° C vor sich gehen könne.

Dafür daß Assimilation bei den Nadelholzpflanzen in dieser Jahreszeit stattfände, sprachen auch die Angaben von EHLERS über die Tatsache, daß die Temperatur der Nadeln im Winter in der Sonne die Lufttemperatur um einige Grade übersteigen kann.

Die Zerstörung der Chloroplasten, auf die LEWIS und TUTTLE und früher auch PFEFFER hingewiesen haben, ließ jedoch Zweifel aufkommen, ob eine Absorption der Kohlensäure durch die Nadelholzpflanzen in dieser Jahreszeit tatsächlich möglich sei.

Die Lösung dieser Frage habe ich in der vorliegenden Arbeit unternommen. Sie nahm zwei Winter (1926/27 und 1927/28) in Anspruch und trug im ersten Winter (1926/27) einen methodischen und orientierenden Charakter.

Methodik.

Als Beobachtungsmaterial dienten 4—5jährige Fichten (*Picea excelsa*) und Kiefern (*Pinus silvestris*). 1926 wurden die Pflanzen direkt aus dem Walde genommen, 1927 erhielt ich die nötigen Exemplare aus der Pflanzenschule einer in der Nähe von Moskau gelegenen Forstanstalt.

Ende April wurden die Pflanzen in große Tontöpfe mit Böden ihrer ehemaligen Standorte verpflanzt. Nach der Umpflanzung wurden sie tüchtig benetzt und für einige Tage in einem Glastreibhaus auf dem Dache des Laboratoriums gelassen. Als sich herausstellte, daß die Pflanzen eingewurzelt und ihre Knospen im Schwellen begriffen waren, wurden sie aufs Dach neben dem Treibhaus herausgetragen und 1926 in Kästen mit Erde gesteckt, 1927 aber (zur Verminderung der Verdunstung) in ein tragbares, von allen Seiten mit Glasscheiben versehenes Vegetationshäuschen von etwa 2 cbm gestellt. Zur Beseitigung scharfer Temperaturschwankungen der Wurzeln wurden die Zwischenräume zwischen den einzelnen Töpfen mit Stroh und Sägespänen ausgefüllt. Die Pflanzen wurden im Sommer alle 2—3 Tage begossen.

Zu Beginn des Winters wurden wie die Kästen, so auch das Vegetationshäuschen auf dem Niveau der Wurzel mit Schnee belegt. Des Nachts und an trübem und windigen Tagen wurde von den zwei Türen des Häuschens die eine offen gelassen. An sonnigen und warmen Tagen wurden beide Türen geöffnet. Dank diesem Umstande überstieg die Lufttemperatur innerhalb des Häuschens die Lufttemperatur der Umgebung nicht mehr als um 1—2° C.

Die Anfeuchtung der Luft im Häuschen erfolgte im Sommer durch Wasser, im Winter durch Schnee.

Im Laufe des Sommers kamen die Pflanzen gut zu Kräften und gaben neue normal entwickelte Sprosse.

Pilzbefall, der bei Nadelholzpflanzen ziemlich häufig vorkommt, ließ sich nicht beobachten.

Während der ganzen Arbeitsperiode, d. h. von November bis Ende März, befanden sich die Pflanzen in gutem Zustande, so daß sie sich die ganze Zeit vortrefflich plasmolysieren ließen.

Die Versuche wurden im Luftstrom ausgeführt.

Ein kleiner Zweig der Pflanze wurde in einen 18—20 cm langen Zylinder von 4—5 cm lichter Weite eingeführt. Ein Zylinder geringeren Umfangs (zur Verminderung des „schädlichen Raumes“) war hier unangebracht, da die Nadeln während des Frostes sehr brüchig wurden und leicht beschädigt werden konnten. Die Lage der Seitenzweige im Verhältnis zur Achse blieb während des Versuchs dieselbe wie vorher.

Das eine Ende des Zylinders, durch welches der Zweig eingeführt war, wurde mit einem Kautschukpfropfen verschlossen¹.

Die Luft wurde der Pflanze durch ein Glasröhrchen zugeführt, das an demselben Ende des Zylinders angebracht war. Das andere Ende des Zylinders wurde mit einem Kautschukpfropfen, durch den ein Thermometer und ein Röhrchen zur Luftabfuhr eingeführt waren, befestigt. Die mit Hilfe eines kleinen Wasser-aspirators aus dem die Pflanze enthaltenden Zylinder ausgesaugte Luft gelangte durch ein Barometerglasröhrchen von 2—3 mm lichter Weite in ein System von Absorptionsapparaten und in eine Gasuhr, die sich beide im Treibhaus befanden.

Zur Absorption der Kohlensäure dienten U-förmige Röhrchen mit frischem Natriumkalk und Chlorkalzium (Firma KAHLBAUM)². Zum Vortrocknen der Luft

¹ Ursprünglich (1926) wandte ich anstatt des Kautschukpfropfens einen Korkpfropfen an, dessen Oberfläche mit Quecksilber und einer Schicht Vaseline-Paraffinmischung übergossen wurde. Des weiteren mußte jedoch von diesem Verfahren, um eine Berührung der Pflanze mit dem Quecksilber zu vermeiden, abgesehen werden.

² Außerdem wurden Versuche angestellt, in denen für die Absorption der Kohlensäure eine $\frac{1}{10}$ n-Lösung von Ba(OH)₂ benutzt wurde. Es zeigte sich

wurden chemisch reine Schwefelsäure und ebenfalls chemisch reines, bei 150°C getrocknetes und mit Kohlensäure gesättigtes Chlorkalzium (KAHLBAUM) benutzt.

Gleichzeitig waren zwei gleichartige Apparate im Betriebe. Der zweite Apparat diente zur Bestimmung des Kohlensäuregehalts der atmosphärischen Luft. Beide Apparate standen nebeneinander, so daß die Luft aus derselben Umgebung stammte. Da die Mengen der von der Pflanze absorbierten und ausgeschiedenen Kohlensäure häufig sehr klein waren, konnte leicht der Gedanke entstehen, daß diese Zahlen von Versuchsfehlern herrührten. Deswegen wurde periodisch eine Nachprüfung der Apparate vorgenommen. Es wurde gleichzeitig ein gleiches Volumen der atmosphärischen Luft mit gleicher Geschwindigkeit durch die beiden Apparate durchgeleitet. Dabei stellte es sich jedoch heraus, daß die Gewichtszunahmen der Absorptionsröhren beider Apparate immer gleich groß waren.

Die Nähe des Laboratoriums äußerte sich, wie aus den beigegebenen Tabellen ersichtlich, in einem gegen die Norm erhöhten Kohlensäuregehalt der Luft.

Die Schnelligkeit des Luftstroms war in beiden Apparaten dieselbe und betrug 6 Liter pro Stunde. Da eine vollständige Absorption der Kohlensäure der Luft seitens der Pflanze nicht erfolgt war, schien hier eine größere Schnelligkeit des Luftstroms auch nicht erforderlich.

Zur Bestimmung der von der Pflanze in der Dunkelheit ausgeschiedenen Kohlensäuremengen wurde der Zylinder mit der Pflanze nach dem Versuch im Licht mit einem schwarzen Tuch umgeben; die Absorptionsapparate wurden erst 30—40 Minuten nach dem Beginn der Verdunkelung eingeschaltet. Die Wägung der U-förmigen Absorptionsröhren wurde mit einer Genauigkeit von mehr oder weniger 0,1 mg ausgeführt. Das Gewicht der bei dem Versuch benutzten Röhren wurde dabei jedesmal mit dem entsprechender Kontrollröhren, die neben dem Apparat aufgehängt waren, verglichen¹.

Die Temperatur der Luft innerhalb des Zylinders mit der Pflanze wurde mit einer Genauigkeit von mehr oder weniger 0,1° C mit einem Quecksilberthermometer gemessen.

Die Messung der Temperatur innerhalb der Nadeln wurde auf thermoelektrischem Wege (Kupfer-Constantan) ausgeführt. Die Nulllösung des Thermoelements wurde dabei in ein Glas mit Schnee gesteckt. Die Leitungen wurden von den Thermoelementen in das Treibhaus geführt und mit einem Spiegelgalvanometer (Firma HARTMANN und BRAUN) verbunden.

Die Messung der Temperatur der Nadeln wurde mit einer Genauigkeit von mehr oder weniger 0,01° C ausgeführt.

Ergebnisse.

Beobachtungen im Winter 1926/27.

1926/27 trugen die Versuche mit Fichte und Kiefer, wie oben gesagt, einen methodischen und orientierenden Charakter. Sie zeigten erstens, daß bei diesen Pflanzen im Winter Kohlensäureabsorption und Ausscheidung vor sich gehen, und zweitens, daß der Verlauf des Gastoff-

jedoch, daß diese Methode für kleinere Mengen absorbiertes und ausgeschiedener Kohlensäure unbrauchbar ist.

¹ Vor der Wägung wurden die Röhren 30—40 Minuten in dem Wägungsraum gehalten, alsdann mit Leinenlappen, Waschleder und Flanell abgewischt und nochmals für 1—1½ Stunden neben der Wage liegen gelassen; die Wägung erfolgte bei geöffneten Hähnen bis zum konstanten Gewicht. Die Schwankungen im Gewichte der Röhren wurden durch diese Maßnahmen beseitigt.

wechsels im diffusen Lichte (bei bedecktem Himmel) und in der Sonne verschieden ist (weswegen 1927/28 die Versuche sowohl bei bewölktem Himmel wie auch in direktem Sonnenlicht ausgeführt wurden).

Beobachtungen des Jahres 1927/28.

Versuche mit Kiefern.

Wie aus Tabelle 1 zu sehen ist, überwog bei der Kiefer in der Sonne bis Anfang Januar die Ausscheidung. Dabei war die im November ausgeschiedene CO_2 -Menge größer als im Dezember. Im Januar und Februar trat (wenn auch schwach) CO_2 -Absorption hervor, im März überwog wiederum CO_2 -Ausscheidung.

An wolkigen Tagen erschien die Art des Gasstoffwechsels der Kiefer etwas verändert (Tabelle 3).

Bis Anfang Februar überwog in diesem Falle Kohlensäureabsorption. Die größten Mengen absorbierter Kohlensäure wurden dabei im Dezember beobachtet. Im Februar und März herrschte die Ausscheidung der Kohlensäure vor.

Somit sehen wir, daß bei der Kiefer im November und Dezember an wolkigen Tagen CO_2 -Absorption hervortrat, während an sonnigen Tagen CO_2 -Ausscheidung überwog.

Im Januar dominierte CO_2 -Absorption wie an wolkigen Tagen, so auch in der Sonne. Im Februar trat eine (wenn auch schwache) Kohlensäureabsorption nur in der Sonne in Erscheinung. Anfang März überwog in beiden Fällen die Ausscheidung; jedoch war diese in der Sonne stärker als im diffusen Lichte (bei bewölktem Himmel). Es muß bemerkt werden, daß in den Zeiten, wo in der Sonne CO_2 -Ausscheidung vorherrschte, eine stärkere Kohlensäureausscheidung auch bei Verdunkelung beobachtet werden konnte.

Wenn wir aber die CO_2 -Mengen, die während derselben Periode in Dunkelheit und im Lichte ausgeschieden wurden, vergleichen, so können wir sagen, daß die Oxydationsvorgänge in der Sonne intensiver vor sich gingen. Die CO_2 -Ausscheidung ging sogar in solchen verdunkelten Zweigen, die vor der Verdunkelung in der Sonne sich befunden hatten (Tabellen 2, 4), energischer vor sich als in anderen, die vor der Verdunkelung in diffusen Lichte (bei bedecktem Himmel) gewelt hatten.

Versuche mit Fichten.

An wolkigen Tagen vom November bis Anfang Februar trat bei der Fichte (Tabelle 5) CO_2 -Absorption hervor.

Mitte Februar bis Anfang März überstieg die Ausscheidung der Kohlensäure ihre Absorption.

Wie aus Tabelle 7 zu ersehen ist, zeigte der Stoffwechsel auch an sonnigen Tagen diese Richtung. Nur Anfang Dezember überwog in der Sonne CO_2 -Ausscheidung, während sonst Absorption in Erscheinung trat.

Tabelle I. Kiefer, Versuchsweig Nr. I in der Sonne.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildete CO ₂ in mg	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausschcheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trocken-substanz	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausschcheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trocken-substanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze			
28. XI.	4,94	1 Std. 20 Min.	8	+ 15,0	+ 17,5	+ 2,5	6,1	9,9	—	+ 3,8	+ 0,58
7. XII.	4,94	1 Std. 40 Min.	9	- 7,5	- 5,8	+ 1,7	3,6	7,3	—	+ 3,7	+ 0,45
17. XII.	4,94	1 Std. 40 Min.	9	- 8,8	- 7,7	+ 1,1	3,6	5,6	—	+ 2,0	+ 0,24
23. XII.	4,94	1 Std. 25 Min.	9	- 14,5	- 13,5	+ 1,0	5,7	7,9	—	+ 2,2	+ 0,31
4. I.	4,94	1 Std. 20 Min.	8	- 7,8	+ 1,9	+ 9,7	5,8	5,5	0	- 0,3	- 0,04
20. I.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	- 12,4	- 9,9	+ 2,5	6,9	6,0	0,2	- 1,1	- 0,16
17. II.	4,94	1 Std. 35 Min.	8	- 10,6	- 9,5	+ 1,1	4,4	4,1	1,3	- 1,6	- 0,20
21. II.	4,94	1 Std. 15 Min.	6	+ 3,1	+ 4,5	+ 1,5	3,5	3,6	1,3	- 1,2	- 0,19
9. III.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	+ 2,7	+ 12,3	+ 9,6	3,4	6,7	—	+ 3,3	+ 0,44
21. III.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	+ 9,7	+ 27,7	+ 18,0	4,0	11,7	—	+ 7,7	+ 1,10

Tabelle 2. Kiefer, Versuchszweig Nr. 1 bei Verdunkelung.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Ausscheidung von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trockengewicht
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze		
8. XI.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	+ 10,5	+ 10,5	0	4,9	8,2	3,3	0,47
7. XII.	4,94	1 Std. 40 Min.	9	- 7,8	- 7,7	+ 0,1	3,6	7,1	3,5	0,43
17. XII.	4,94	1 Std. 35 Min.	9	- 8,7	- 8,7	0	4,2	5,6	1,4	0,18
23. XII.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	- 14,8	- 14,8	0	5,8	7,1	1,3	0,18
4. I.	4,94	1 Std. 20 Min.	8	- 10,5	- 10,0	+ 0,5	6,8	6,8	0	0
20. I.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	- 14,0	- 13,8	+ 0,2	6,0	6,2	0,2	0,03
17. II.	4,94	1 Std. 40 Min.	8	- 13,0	- 12,8	+ 0,2	3,7	5,0	1,3	0,16
21. II.	4,94	1 Std. 15 Min.	6	- 10,2	- 10,0	+ 0,2	3,0	4,3	1,3	0,21
9. III.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	- 1,3	+ 5,4	+ 6,7	3,4	5,8	2,4	0,32
21. III.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	+ 3,3	+ 5,3	+ 2,0	4,8	6,6	1,8	0,25

Tabelle 3. Kiefer, Versuchszweig Nr. 1 bei bedecktem Himmel.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trockensubstanz	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze			
25. XI.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	- 6,0	- 5,5	+ 0,5	4,1	1,9	0,5	- 2,7	- 0,36
28. XI.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	- 0,7	- 0,1	+ 0,6	3,6	4,4	1,5	- 0,7	- 0,10
6. XII.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	- 5,0	- 4,8	+ 0,2	3,8	1,9	0,8	- 2,7	- 0,36
21. XII.	4,94	1 Std. 35 Min.	9	- 13,9	- 13,0	+ 0,9	9,8	5,1	0	- 4,7	- 0,60
11. I.	4,94	1 Std. 20 Min.	8	+ 0,4	+ 1,9	+ 1,5	7,4	6,9	0,3	- 0,8	- 0,12
26. I.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	- 0,5	+ 0,6	+ 1,1	7,3	6,8	0	- 0,5	- 0,07
8. II.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	- 2,0	+ 0,1	+ 2,1	7,8	7,8	0	0	0
16. II.	4,94	1 Std. 40 Min.	10	- 7,0	- 5,8	+ 1,2	6,0	6,4	-	+ 0,4	+ 0,05
8. III.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	+ 2,2	- 6,7	+ 4,5	4,9	6,0	-	+ 1,1	+ 0,18
16. III.	4,94	1 Std. 50 Min.	10	- 0,1	+ 4,5	+ 4,6	4,6	5,7	1,3	- 0,2	- 0,02

Tabelle 4. Kiefer, Versuchsweig Nr. 1 bei Verdunkelung.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Ausscheidung von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trockensubstanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze		
25. XI.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	- 6,3	- 6,3	0	3,2	3,7	0,5	0,07
28. XI.	4,94	1 Std. 25 Min.	8	- 1,4	- 1,0	+ 0,4	3,2	4,7	1,5	0,21
6. XII.	4,94	1 Std. 30 Min.	8	- 5,5	- 5,5	0	3,4	4,2	0,8	0,11
21. XII.	4,94	1 Std. 40 Min.	9	- 14,2	- 14,2	0	7,3	7,3	0	0
11. I.	4,94	1 Std. 20 Min.	8	+ 0,1	+ 0,4	+ 0,3	6,8	7,1	0,3	0,04
26. I.	4,94	1 Std. 33 Min.	9	- 0,9	- 0,9	0	7,0	7,0	0	0
8. II.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	- 2,7	- 2,6	+ 0,1	6,6	6,6	0	0
16. II.	4,94	1 Std. 40 Min.	10	- 9,5	- 9,0	+ 0,5	5,5	5,9	0,4	0,05
8. III.	4,94	1 Std. 30 Min.	9	- 3,7	- 1,8	+ 1,9	4,0	4,8	0,8	0,11
16. III.	4,94	1 Std. 50 Min.	10	- 2,8	- 1,4	+ 1,4	3,6	4,9	1,3	0,14

Tabelle 5. Fichte, Versuchsweig Nr. 1 bei bedecktem Himmel.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgelitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeliteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trockensubstanz	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trockensubstanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze				
9. XI.	1,35	1 Std. 35 Min.	9	+ 6,4	+ 6,5	+ 0,1	8,4	4,4	0,4	- 4,4	- 2,06	
27. XI.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 1,1	- 0,8	+ 0,3	6,3	5,4	0,4	- 1,3	- 0,68	
1. XII.	1,35	1 Std. 25 Min.	9	+ 1,2	+ 2,1	+ 0,9	7,5	7,1	0,5	- 0,9	- 0,47	
5. XII.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 4,9	- 3,8	+ 1,1	7,2	8,0	1,2	- 0,4	- 0,21	
11. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 6,5	- 5,5	+ 1,0	7,3	5,8	0,5	- 2,0	- 1,10	
17. XII.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	- 14,5	- 14,3	+ 0,2	9,0	8,2	0	- 0,8	- 0,40	
13. I.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	+ 0,2	+ 0,8	+ 0,6	6,7	5,8	0,1	- 1,0	- 0,55	
27. I.	1,35	1 Std. 35 Min.	9	- 0,3	+ 0,4	+ 0,7	7,2	5,9	0,4	- 1,7	- 0,80	
2. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 10,0	- 9,1	+ 0,9	3,8	3,6	0,3	- 0,5	- 0,28	
15. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 9,0	- 8,2	+ 0,8	4,3	4,7	-	+ 0,4	+ 0,22	
1. III.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 10,4	- 9,2	+ 1,2	4,5	5,1	-	+ 0,6	+ 0,33	
15. III.	1,35	2 Std. 00 Min.	12	+ 8,1	+ 11,0	+ 2,9	6,0	5,8	0,9	- 1,1	- 0,40	

Tabelle 6. Fichte, Versuchsweig Nr. 1 bei Verdunkelung.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Auscheidung von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trocken-substanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze		
9. XI.	1,35	1 Std. 35 Min.	9	+ 5,5	+ 5,5	0	4,8	5,2	0,4	0,19
27. XI.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 1,5	- 1,4	+ 0,1	4,0	4,4	0,4	0,21
1. XII.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	+ 0,6	+ 0,8	+ 0,2	7,1	7,6	0,5	0,26
5. XII.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 5,4	- 5,3	+ 0,1	7,1	8,3	1,2	0,62
11. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 8,3	- 8,2	+ 0,1	6,8	7,3	0,5	0,28
17. XII.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	- 0,5	- 0,4	+ 0,1	6,3	6,3	0	0
13. I.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	0	+ 0,1	+ 0,1	5,8	5,9	0,1	0,06
27. I.	1,35	1 Std. 35 Min.	9	- 0,5	- 0,4	+ 0,1	3,8	4,2	0,4	0,19
2. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 10,6	- 10,4	+ 0,2	3,8	4,1	0,3	0,16
15. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 9,8	- 9,7	+ 0,1	4,0	4,4	0,4	0,22
1. III.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 10,4	- 10,1	+ 0,3	3,8	4,2	0,4	0,22
15. III.	1,35	2 Std. 00 Min.	12	+ 3,4	+ 4,7	+ 1,3	5,2	6,1	0,9	0,33

Tabelle 7. Fichte, Versuchsweig Nr. 1 in der Sonne.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Absorption (-) bzw. Ausscheidung (+) von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trocken-substanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze		
8. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 2,2	+ 2,8	+ 5,0	7,6	8,4	-	+ 0,44
16. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 9,9	- 3,7	+ 6,2	6,2	5,7	0,2	- 0,38
28. XII.	1,35	1 Std. 40 Min.	10	- 11,5	- 11,0	+ 0,5	7,4	7,1	0,2	- 0,23
5. I.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 8,2	- 6,7	+ 1,5	6,1	5,7	0,2	- 0,33
28. I.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	+ 2,5	+ 7,1	+ 4,6	8,3	7,6	0,3	- 0,49
3. II.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 8,1	- 5,5	+ 2,6	5,5	5,5	0,4	- 0,21
22. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	+ 2,9	+ 4,4	+ 1,5	5,2	5,5	0,5	- 0,11
6. III.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	- 1,3	+ 3,8	+ 5,1	6,0	6,5	0,7	- 0,10

Tabelle 8. Fichte, Versuchsweig Nr. 1 bei Verdunkelung.

Versuchszeit	Trockengewicht in g	Versuchsdauer	Durchgeleitete Luft in l	Lufttemperatur im Zylinder in °C		Differenz der Temperaturen in °C	CO ₂ -Gehalt der durchgeleiteten Luft in mg		Im Versuch gebildetes CO ₂ in mg	Tatsächliche Ausscheidung von CO ₂ in mg pro 1 Stunde und 1 g Trocken-substanz
				ohne Pflanze	mit Pflanze		ohne Pflanze	mit Pflanze		
8. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 6,9	- 5,0	+ 1,9	6,4	7,0	0,6	0,33
16. XII.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 10,2	- 9,9	+ 0,3	6,4	6,6	0,2	0,11
28. XII.	1,35	1 Std. 40 Min.	10	- 11,6	- 11,5	+ 0,1	6,8	7,0	0,2	0,08
5. I.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 8,9	- 8,7	+ 0,2	6,0	6,2	0,2	0,11
28. I.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	- 3,3	- 1,8	+ 1,5	7,3	7,6	0,3	0,15
3. II.	1,35	1 Std. 25 Min.	8	- 10,1	- 8,4	+ 1,7	4,8	5,2	0,4	0,21
22. II.	1,35	1 Std. 20 Min.	8	- 2,1	- 1,4	+ 0,7	4,8	5,3	0,5	0,27
6. III.	1,35	1 Std. 30 Min.	9	- 8,0	- 7,2	+ 0,8	5,5	6,2	0,7	0,35

Dabei verlief die CO_2 -Absorption am schwächsten im Februar und Anfang März. Die Tabellen 5 und 7 zeigen für sonnige Tage fast zweimal kleinere Zahlen der CO_2 -Absorption als an wolkigen Tagen. Die Ursache liegt hier zweifellos daran, daß die Atmung in der Sonne stärker ist als im diffusen Lichte, wodurch die wahre Größe der von den Pflanzen absorbierten Kohlensäure verschleiert wurde.

Was die CO_2 -Ausscheidung bei der Verdunkelung anbetrifft, so fand sie während des ganzen Winters statt. Die kleinsten Kohlensäuremengen wurden dabei von Ende Dezember bis Anfang Februar ausgeschieden (Tabelle 6 und 8).

Vergleichung des Gasstoffwechsels bei der Fichte und bei der Kiefer.

Nach Aufklärung des Gasstoffwechsels der Kiefer und Fichte während des Winters und Zusammenstellung der Befunde kann folgendes gesagt werden: Bei der Fichte war die Periode, während welcher CO_2 -Absorption hervortritt, länger als bei der Kiefer. Während bei der Kiefer im Laufe des ganzen Dezembers CO_2 -Ausscheidung vorherrschte, lag in dieser Zeit bei der Fichte das Übergewicht auf der Seite der CO_2 -Absorption. Diese letztere ging bei der Fichte an sonnigen Tagen zweifellos stärker vor sich als die Ausscheidung; bei der Kiefer lagen die Verhältnisse umgekehrt. Deswegen konnte bei der Fichte in der Sonne Kohlensäureabsorption zum Vorschein kommen, während bei der Kiefer die Oxydationsvorgänge überwogen.

Und erst wenn im Januar-Februar die Oxydationsvorgänge bei der Kiefer abgenommen haben, trat in der Sonne ein Übergewicht der CO_2 -Absorption hervor. Diese war im Januar bei der Kiefer jedoch schwächer als die gleichzeitig bei der Fichte festgestellte.

Nach Zunahme der Oxydationsvorgänge im März herrschte bei der Fichte jedoch die Absorption vor, bei der Kiefer die Ausscheidung.

An wolkigen Tagen trat bei beiden CO_2 -Absorption hervor; doch sind die in der letzten Rubrik in Tabelle 5 angeführten Zahlen für die Fichte immerhin größer als für die Kiefer (Tabelle 3).

Ein Vergleich der von den beiden Pflanzen bei Verdunkelung ausgeschiedenen CO_2 -Mengen lehrt, daß die CO_2 -Ausscheidung bei beiden Pflanzen in gleicher Weise erfolgt, und zwar ist sie von Ende Dezember bis Anfang Februar am geringsten. Ich bin zur Vermutung geneigt, daß in dieser Zeit eine größere Bildung von unvollständigen Oxydationsprodukten, z. B. organischen Säuren, stattfindet.

Stoffwechselverlauf und Temperatur der Luft sowie der Nadelholzpflanzen.

Aus den Tabellen 1—8 ist ersichtlich, daß irgendein bestimmtes Abhängigkeitsverhältnis des Verlaufes des Gasstoffwechsels bei den

Nadelholzpflanzen von der Lufttemperatur schwer festzustellen ist, und ebensowenig von der Temperatur der Nadelholzpflanze. Eine Erhöhung der Temperatur der Nadelhölzer um einige Grade, auf die EHLERS und MATTHÄI hingewiesen hatten, wurde von mir niemals beobachtet, vielmehr überstieg nach meinen Beobachtungen die Temperatur der Nadeln, sogar in der Sonne, die Lufttemperatur niemals um mehr als 1°C .

Die geringste Temperaturerhöhung der Nadelhölzer beobachtete ich im Januar, wo sie $+0,2^{\circ}$, $+0,3^{\circ}$ betrug; die größte im Februar-März, $+0,9^{\circ}$ bis $+1^{\circ}$. Dabei muß bemerkt werden, daß die Temperaturdifferenz zwischen Nadeln und Luft im Laufe des Tages nicht konstant ist; so war sie in den Morgenstunden größer. Außerdem erlitt sie alle 20—30 Sekunden rhythmische Schwankungen, indem sie bald stieg, bald sank (Tabelle 9). Sie war in diffusem Lichte geringer als in der Sonne.

Tabelle 9. Kiefer in der Sonne (wolkenlos), 3. II. 1928.

Versuchszeit	Lufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$	Temperatur der Nadel in $^{\circ}\text{C}$	Differenz der Temperaturen in $^{\circ}\text{C}$
12 h 47' 20" nachm.	- 11,0	- 10,36	+ 0,64
12 h 47' 50" „	- 11,0	- 10,40	+ 0,60
12 h 48' 20" „	- 11,0	- 10,44	+ 0,56
12 h 48' 50" „	- 11,0	- 10,32	+ 0,68
12 h 49' 20" „	- 11,0	- 10,29	+ 0,71
12 h 49' 50" „	- 11,0	- 10,36	+ 0,64
12 h 50' 20" „	- 11,0	- 10,40	+ 0,60
12 h 50' 50" „	- 11,0	- 10,37	+ 0,63
12 h 51' 20" „	- 11,0	- 10,56	+ 0,44
12 h 51' 50" „	- 11,0	- 10,64	+ 0,36
12 h 52' 20" „	- 11,1	- 10,39	+ 0,71
12 h 52' 50" „	- 11,1	- 10,61	+ 0,49
12 h 53' 20" „	- 11,1	- 10,47	+ 0,63
12 h 53' 50" „	- 11,1	- 10,40	+ 0,70
12 h 54' 20" „	- 11,1	- 10,49	+ 0,61
12 h 54' 50" „	- 11,1	- 10,32	+ 0,78
12 h 55' 20" „	- 11,1	- 10,27	+ 0,83
12 h 55' 50" „	- 11,1	- 10,33	+ 0,77
12 h 56' 20" „	- 11,1	- 10,86	+ 0,24
12 h 56' 50" „	- 11,1	- 10,74	+ 0,36

Verlauf des Gasstoffwechsels und der Beleuchtung.

Bei meinen Beobachtungen war von der allgemein anerkannten Abhängigkeit der Kohlensäureabsorption von der Beleuchtung nichts zu merken. Wie aus dem dargelegten ersichtlich, herrscht an wolkigen

und wenig hellen Tagen im Dezember und Januar die CO_2 -Absorption vor. Die Intensität der Beleuchtung nahm im Februar und März zu, ohne jedoch die CO_2 -Absorption zu steigern. Vielmehr nahm die Ausscheidung der Kohlensäure, wie die Tabellen zeigen, im Februar und März zu. In einigen Fällen glich sie im Lichte die Absorption der Kohlensäure aus, während in anderen Fällen eine geringfügige Absorption bestehen blieb. Die Absorption der CO_2 hat folglich in diesen Monaten nicht zugenommen.

So begünstigt in meinen Versuchen also das Licht verstärkend die CO_2 -Ausscheidung (Oxydationsvorgänge) in viel höherem Grade als die Absorption (Tabelle 1, 3, 5 und 7).

Der Verlauf des Gasstoffwechsels und der Kohlensäuregehalt der Luft.

Wie aus den Tabellen hervorgeht, kann der beschriebene Gasstoffwechselerlauf durch Veränderungen des CO_2 -Gehalts der Luft nicht erklärt werden.

Gasstoffwechsel und Zustand der Chloroplasten in der Zelle.

Mikroskopische Untersuchungen der Nadelschnitte der Kiefer und Fichte zeigten, daß im September in den Zellen eine starke Veränderung vor sich geht. Bei der Fichte besteht sie im folgenden: In den dem Zentrum der Nadel näher liegenden Zellen beginnen die Chlorophyllkörner sich von den Wandungen zu entfernen und in der Nähe des Zellkernes sich anzuhäufen.

In den peripherer liegenden Nadelzellen werden die Umrisse der Chlorophyllkörner zunächst verschwommen, und diese selbst dann blasser und körniger, um schließlich zu zerfallen.

Gegen Ende November nimmt die Zahl der „diffuses Chlorophyll“ enthaltenden Zellen noch etwas zu, übersteigt jedoch die Hälfte der Gesamtzahl der Zellen nicht. Diese Sachlage besteht bis Mitte März, wo das „diffuse Chlorophyll“ verschwindet und die Chlorophyllkörner sich von neuem gleichmäßig über die ganze Zelle anordnen. Bei der Fichte enthält die Mehrzahl der Zellen dagegen schon im September nur noch „diffuses Chlorophyll“, von November bis April befindet sich dieses in allen Zellen, und Chlorophyllkörner fehlen vollständig. Die von LEWIS und TUTTLE beobachtete Zerstörung der Chlorophyllkörner wurde somit auch durch unsere Beobachtungen bestätigt. Außerdem zeigte es sich, daß sie bei der Kiefer weitergehend erfolgt als bei der Fichte.

Diese Zerstörung der Plastiden hat jedoch, wie unsere Beobachtungen gezeigt haben, den Assimilationsvorgang nicht unmöglich gemacht; die weniger weitgehende Zerstörung der Chloroplasten in den Nadeln der Fichte spiegelte sich jedoch in einer energischeren CO_2 -Absorption durch diese Pflanze wieder.

Gasstoffwechselverlauf und Chlorophyllgehalt der Zelle.

Wie bekannt, spielt der Chlorophyllgehalt der Zelle für die Photosynthese eine wichtige Rolle.

Die Untersuchungen von STÄLFELT (1927) zeigten, daß der Chlorophyllgehalt bei *Picea excelsa* und *Pinus silvestris* periodischen Schwankungen unterliegt und im Winter (im Dezember und Januar¹) und im Sommer maximale Größen erreicht. Der geringste Chlorophyllgehalt fällt in den Herbst und das Frühjahr (Februar und März).

Unsere kolorimetrischen Bestimmungen des Chlorophyllgehalts des Alkoholextrakts der Nadeln bestätigten die Angaben von STÄLFELT; die größten Mengen Chlorophyll in den Nadeln der Fichte und Kiefer können im Winter im Dezember und Januar beobachtet werden. Setzt man den Gehalt der Nadeln an grünen Pigmenten im März gleich 100, so ergeben sich für die anderen Monate die in Tabelle 10 verzeichneten Zahlen.

Tabelle 10. Chlorophyllgehalt, November 1927 bis März 1928. Märzwert = 100%.

Jahresnadeln	XI	XII	I	II	III
Fichte	90	160	150	130	100
Kiefer	112	133	107	104	100

Das Maximum der von den Nadeln absorbierten CO₂ fällt also für die von mir untersuchte Periode gerade in die Zeit des größten Chlorophyllgehalts der Zellen, die Abnahme der CO₂-Absorption im Februar und März in die Zeit, in welcher nach STÄLFELTS und meinen Beobachtungen die Zellen der Nadelholzpflanzen chlorophyllärmer werden.

Dies gestattet uns den Schluß, daß in der Veränderung des Chlorophyllgehalts der Zellen eine von den Ursachen zu erblicken ist, die den beschriebenen Verlauf der CO₂-Assimilation bei den Nadelholzpflanzen im Winter bedingen².

Schlußfolgerungen.

1. An wolkigen Tagen trat CO₂-Absorption bei der Kiefer (*Pinus silvestris*) und Fichte (*Picea excelsa*) in meinen Versuchen bis Anfang Februar hervor.

2. An sonnigen Tagen trat CO₂-Absorption bei der Fichte zwar während des ganzen Winters hervor, ging aber schwächer vor sich als an wolkigen Tagen; bei der Kiefer überwog dagegen die Ausscheidung der Kohlensäure. Die Ursache dieser Erscheinung lag zweifellos im

¹ Nach den Angaben von LIRO kann die Chlorophyllbildung auch in gefrorenen Zellen vor sich gehen.

² Weitere Untersuchungen des Gasstoffwechsels der Nadelholzpflanzen im Winter mit Hilfe chemischer Analysen der Nadeln (Kohlenhydratengehalt und Gehalt an unvollständigen Oxydationsprodukten, d. h. organischen Säuren usw.) bilden den Gegenstand einer anderen von mir durchgeführten Arbeit.

folgenden: Die wahre Größe der CO₂-Absorption war an sonnigen Tagen in bedeutendem Maße durch ihre Ausscheidung verdeckt, weil diese bei der Fichte und Kiefer in der Sonne stärker als bei bedecktem Himmel erfolgt.

3. Im Endergebnis des Gasstoffwechsels sind die Zahlen für die CO₂-Absorption bei der Fichte größer als bei der Kiefer.

4. Der jahreszeitliche Verlauf der CO₂-Ausscheidung bei Verdunkelung ist bei der Fichte und Kiefer im Winter gleichartig: die kleinsten CO₂-Mengen wurden von beiden Pflanzen von Ende Dezember bis Anfang Februar ausgeschieden.

5. Durch Veränderungen der Lufttemperatur, der Temperatur der Nadeln und des CO₂-Gehalts der Luft kann der Verlauf des Gasstoffwechsels nicht erklärt werden.

6. Die Zerstörung der Plastiden in den Nadeln schließt die Möglichkeit der CO₂Absorption durch dieselben nicht aus; die unvollständige Plastidenzerstörung bei der Fichte äußert sich jedoch darin, daß die Fichte die Kohlensäure energischer absorbiert.

7. Die Übereinstimmung zwischen dem jahreszeitlichen Verlauf der CO₂-Absorption und den Veränderungen des Chlorophyllgehalts der Nadeln während der ganzen Periode unserer Beobachtung gestattet uns den Schluß, daß diese Veränderung eine der Ursachen, die den Verlauf des Gasstoffwechsels der Nadelholzpflanzen im Winter bedingen, bildet.

Zum Schlusse muß ich Herrn Prof. Dr. F. N. KRASCHENINNIKOF für die Aufmerksamkeit, die er mir bei meiner Arbeit geschenkt hatte, meinen innigsten Dank aussprechen.

Literatur.

1. Ehlers, J. H.: Amer. J. Bot. 2, 32 (1915).
2. Jumelle: C. r. Acad. Sci. 112, 1462 (1891).
3. Kreuzler, V.: Landw. Jb. 16, 711 (1887).
4. Matthäi, G.: Philos. Trans. roy. Soc. Lond. 197, 47 (1905).
5. Lewis, F. J. and Tuttle, G. M.: Ann. of Bot. 34, 405 (1920).
6. Liro, J.: Ann. Acad. Fennicae, Ser. A., 1 (1908).
7. Lubimenko, V. N.: C. r. Acad. Sci. 145, 1347 (1907).
8. Stälfelt, M. G.: Planta 4, 201 (1927).