

Über die Schwankungen der Kohlendisäureaufnahme bei der Photosynthese

Autor(en): **Jaccard, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **84 (1933)**

Heft 3

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-767768>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Organ des Schweizerischen Forstvereins

84. Jahrgang

März 1933

Nummer 3

Über die Schwankungen der Kohlensäureaufnahme bei der Photosynthese.¹

Von Prof. P. Jaccard.

Trotz der großen Anzahl Veröffentlichungen über die Photosynthese, die seit deren Entdeckung im 18. Jahrhundert erschienen sind, bleiben noch viele Punkte unaufgeklärt, welche vor allem die intrazellulären Vorgänge der Kohlensäure-Assimilation betreffen. Es ist allerdings seit Jahren festgestellt, daß die photochemische Wirkung der Lichtstärke und der Dauer der Belichtung, d. h. also der durch die Chloroplasten absorbierten Energiemenge proportional ist; und ferner, daß die Größe der Kohlensäureassimilation mit der Erhöhung der Temperatur, des Kohlensäuregehaltes der Luft und der Chlorophyllkonzentration bis zu einer gewissen Grenze steigt. Der Einfluß dieser äußeren Faktoren kann bei einfachen, niederen Organismen wie Grünalgen oder bei abgeschnittenen Sprossen von kleinen Wasserpflanzen relativ leicht und genau bestimmt werden. Bei höheren Pflanzen aber, wo die korrelativen Beeinflussungen und die chemischen Vorgänge im Blattgewebe von viel komplizierterer Natur sind, scheint der Gang der Kohlensäureaufnahme während der Photosynthese nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Intensität der erwähnten Faktoren zu stehen. In dieser Hinsicht sind übrigens die Meinungen geteilt, was sich leicht erklärt, wenn man bedenkt, wie schwierig es ist, während einer längeren Zeitspanne ununterbrochen die stündliche oder tägliche Kohlensäureaufnahme einer Pflanze, die unter möglichst ähnlichen Bedingungen wie an ihrem natürlichen Standorte kultiviert wird, zu verfolgen. Solche Bestimmungen werden ferner durch die Tatsache erschwert, daß der Gaswechsel von grünen Pflanzen durch zwei verschiedene Prozesse bedingt wird: eine Kohlensäureaufnahme und eine Kohlensäureabgabe, die am Lichte gleichzeitig vor sich gehen.

¹ P. Jaccard und O. Jaag. I. Schwankungen der CO-Aufnahme bei höheren Pflanzen in kohlensäurereicher Luft und bei kontinuierlicher Belichtung. Ber. deut. Bot. Gesell. 50 (1932). — II. Photosynthese und Photoperiodizität in kohlensäurereicher Luft. Beihefte des botan. Centralblattes, Bd. 50, 1932.

Nachdem wir zu wiederholten Malen unerklärliche Abweichungen in der Kohlensäureaufnahme beobachtet hatten, trachteten wir die Diskordanz zwischen den einzelnen Faktoren zu verstärken, indem wir unsere Versuchspflanzen in kohlensäurereicher Luft bei verschiedener Belichtung und Temperatur kultivierten. Unsere Versuche haben sich mit folgenden Fragen befaßt :

1. Einfluß der kontinuierlichen Belichtung auf den Kohlensäureverbrauch und den Verlauf der Assimilation.
2. Einfluß hoher Kohlensäurekonzentrationen auf den Verlauf und die Stärke der Photosynthese und der Atmung unter veränderten Licht- und Temperaturverhältnissen.
3. Bestimmung des für einen maximalen Kohlensäureverbrauch einer gegebenen Pflanze notwendigen Optimums von Licht, Temperatur und Kohlensäurekonzentration.

* * *

Unsere Versuchspflanzen, Tabak, Tomaten, *Spironema*, Mais, *Ficus*, *Pelargonium*, Esche, Ahorn, *Chrysanthemum*, insgesamt 34 in Tontöpfen (oder auch im Freien) gut verwurzelte Pflanzen von 30 bis 100 cm Länge, wurden in der Weise hergerichtet, daß nur der Stengel mit den Blättern in einer großen Glasglocke eingeschlossen war, während sich der Topf mit dem Wurzelwerk unterhalb der Glocke in der offenen Atmosphäre befand. Diese Anordnung erlaubte jede Kohlensäureabgabe durch Wurzeln und Erde auszuschalten und ermöglichte überdies das Begießen der Topfpflanzen, ohne die während mehrerer Wochen ununterbrochen durchgeführten Bestimmungen des Kohlensäureverbrauches durch die grünen Pflanzenteile zu beeinträchtigen.

Diese Versuche wurden während mehr als zwei Jahren durchgeführt und umfassen über 3000 Bestimmungen. Hier seien nur einige Ergebnisse mitgeteilt.

I. Abgabe von Kohlensäure durch grüne Pflanzen im Lichte.

Bei der Mehrzahl der oben erwähnten Pflanzen hat sich in Abweichung von der üblich beobachteten Kohlensäureabnahme verschiedentlich am Lichte ein positiver Wert in der CO_2 -Bilanz, d. h. in der Differenz zwischen CO_2 -Aufnahme durch Photosynthese und CO_2 -Abgabe durch die Atmung, ergeben. Diese Erscheinung trat ohne sichtbare Beziehung zur Kohlensäurekonzentration oder Belichtung auf. Eine CO_2 -Abgabe wurde bei kontinuierlicher Belichtung häufiger beobachtet als im periodischen Lichte, nämlich bei acht verschiedenen Pflanzen 20mal bei kontinuierlichem Lichte und nur dreimal bei periodischer Belichtung. Die durchschnittliche CO_2 -Abgabe pro Stunde und dm^2 Blattfläche war 0,34 mg bei kontinuierlichem Lichte und beinahe 2,0 mg im periodischen Lichte.

Noch häufiger aber als die CO_2 -Abgabe am Lichte wurde eine

CO₂-Aufnahme im Dunkeln, während der Nacht, konstatiert. Dies konnte man in 25 Fällen bei zehn verschiedenen Pflanzen beobachten; sie erreichte im Durchschnitt 0,43 mg pro Stunde und pro dm² Blattfläche.

In keinem Falle konnten diese Anomalien einer hemmenden Wirkung, übermäßig starker Belichtung, zu hoher Temperatur oder CO₂-Konzentration auf die CO₂-Aufnahme bzw. -Assimilation zugeschrieben werden, ebensowenig wie einem zu geringen Wert dieser Faktoren, welche auf die Assimilation einschränkend hätten wirken können. Man darf aber wohl annehmen, daß sie gewissermaßen im Zusammenhange stehen mit einer Auflösung bzw. Entbindung der im Pflanzensaft gelösten Kohlensäure.

II. Photoperiodizität.

Das Verhältnis $\frac{\text{Belichtungsdauer}}{\text{Dauer der Verdunkelung}}$ das der natürlichen Photoperiodizität eigentümlich ist und das mit der geographischen Breite und auch mit dem topographischen Relief variiert, bewirkt bei den Pflanzen eine gewisse Anpassung an die klimatischen Verhältnisse einer Gegend. Diese Übereinstimmung tritt in erster Linie im Verlauf der Kohlensäureassimilation zutage und ist spezifisch und bis zu einem gewissen Grade erblich festgelegt. Wir versuchten festzustellen, in welchem Maße experimentelle Veränderungen der Photoperiodizität auf den Gang der Assimilation bei verschiedenen Pflanzen einwirken. Zur Lösung dieser Frage wurden nebeneinander zwei Individuen derselben Art kultiviert und das eine dem periodischen natürlichen, das andere dem kontinuierlichen Lichte ausgesetzt, wobei in letzterem Falle während der Nacht das Tageslicht durch starke elektrische Beleuchtung ersetzt wurde. In einer anderen Versuchsreihe wurde eine bestimmte Pflanze abwechslungsweise zunächst aufeinanderfolgenden kurzen Licht- bzw. Dunkelperioden von zwei bis drei Stunden Dauer und dann langen Perioden von 36 bis 48 Stunden unterstellt.

Parallelkulturen zweier Pflanzen von derselben Art, von denen die eine dem natürlichen, periodischen Licht, die andere einer kontinuierlichen Belichtung ausgesetzt ist, zeigen, daß ganz allgemein bei einem höheren als dem normalen CO₂-Gehalt, aber bei gleichbleibender Temperatur und Beleuchtung während des Tages die durchschnittliche CO₂-Aufnahme bzw. die durchschnittliche CO₂-Bilanz pro Stunde und pro Blattfläche in periodischem Licht am Ende des Tages größer ist als für die Pflanze, die Tag und Nacht belichtet wurde.

Die täglichen Schwankungen im Verlauf der CO₂-Aufnahme, so wie die Nichtübereinstimmung dieser letzteren mit der CO₂-Konzentration sind im allgemeinen größer bei kontinuierlichem als bei periodischem Licht.

Wenn ganz allgemein die Intensität der Assimilationstätigkeit während der langen Perioden innerhalb gewisser Grenzen von Lichtstärke, Temperatur, CO₂-Konzentration und der Dauer der Einwirkung dieser Faktoren proportional ist, so zeigen unsere Messungen dennoch klar, daß der Verlauf der CO₂-Aufnahme bzw. der CO₂-Assimilation wie auch der CO₂-Abgabe durch die Atmung innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit überraschende Unregelmäßigkeiten aufweist. Da diese in keiner Proportionalität stehen mit den gemessenen Veränderungen der äußeren Bedingungen, so müssen sie inneren Ursachen zugeschrieben werden, wie dem Chemismus der Zellen, Löslichkeit der CO₂ im Pflanzensaft, Oxydations- und Reduktionsvorgängen bei der Atmung und beim Aufbau der Kohlenhydrate, oder dann beschleunigenden oder hemmenden Agentien, die auf die Chlorophylltätigkeit einwirken können. Ferner aber sind sie aller Wahrscheinlichkeit nach zum größten Teil ganz besonders auf die Schwankungen in der Translokation der Assimilate zurückzuführen. Durch eine zeitweise übermäßige Anhäufung derselben in den grünen Zellen kann die Assimilation zeitweise mehr oder weniger stark gehemmt werden. Diesen Umstand könnte unserer Ansicht nach wohl die ziemlich häufig beobachtete CO₂-Abgabe am Lichte¹ zugeschrieben werden. Die durch *Ch. Gut*¹ für diese im Walde vorkommende Erscheinung vorgeschlagene Bezeichnung «*Abendwelle von CO₂*» hat also in diesem Sinne keine allgemeine Gültigkeit.

III. Maximale Leistung der Chlorophylltätigkeit.

Bei Temperaturen zwischen 20° und 30° C hängt die maximale Leistung der Chlorophylltätigkeit vor allem von der Lichtintensität und dem Kohlensäuregehalt der Luft ab. Nach *Boysen-Jensen*¹ kann in Kopenhagen die durchschnittliche Beleuchtungsstärke am Mittag der Sommermonate zu etwa 50.000 Lux² veranschlagt werden; die maximale Assimilation von Lichtblättern vieler Pflanzen wird jedoch schon bei einer Lichtstärke von etwa 10.000—15.000 Lux, d. h. bei 20—30 % der maximalen Tagesbelichtung, erreicht. *O. Stocker*³ konstatierte, daß auch in Java die von ihm untersuchten Bäume ihre maximale Assimilationstätigkeit schon bei weniger als der Hälfte, einige sogar bei $\frac{1}{5}$ der vollen Mittagslichtintensität, erreichen; diese beträgt nach Stocker in Buitenzorg (Java) ungefähr 150.000 Lux. Der maximale CO-Verbrauch in mg pro Stunde und dm² Blattfläche betrug bei den betreffenden Pflanzen 8—11 mg/hd². Allerdings kom-

¹ Le gaz carbonique en forêt. Diss. E. T. H. 1929.

¹ Die Stoffproduktion der Pflanzen. Jena 1932.

² Lux = Lichtstärke einer Normkerze (Hefner-Kerze) in einer Entfernung von 1 m (MK); auch die Lichtmenge einer MK auf 1 m².

³ Assimilationsbedingungen in tropischen Regenwäldern. Ber. deut. bot. Ges. Bd. 49 (1931).

men in den Tropen größere Assimilationsintensitäten vor. Für europäische Bäume fand *Boysen-Jensen* folgende Maximalwerte: Für die Birke 22 mg/hd² und für die Esche 13 mg/hd², *Kostytschew* gibt für Tomaten und Zuckerrüben 17—19 mg/hd² an.

Bei unseren Versuchen konnte eine maximale Assimilations-tätigkeit in CO₂-reicher Luft schon bei mittelstarker Lichtintensität erreicht werden. Durch *Spironema*, einer Pflanze tropischen Ursprungs, wurde bei einer Lichtstärke von zirka 10.000 Lux, einer Temperatur von 30—34° C und einer CO₂-Konzentration von 2—3 %, 8½ mg/hd² Kohlensäure aufgenommen. Bei ähnlichen Bedingungen stieg aber die maximale Kohlensäureaufnahme bei *Chrysanthemum* viel höher und erreichte im periodischen Licht 49—53 mg/hd² (im Durchschnitt während 14 Tagen 27 mg/hd²). Bei kontinuierlicher Beleuchtung und einer 2,25 % CO₂-Konzentration wurde eine CO₂-Aufnahme von 65,0 mg/hd² gemessen. Bei einer 4jährigen, auf der Terrasse im Freien verwurzelten Esche, deren Stengel und Blätter in eine Glasglocke mit 1½—2 % CO₂ eingeschlossen waren, wurden während kurzer Zeit zwischen 16 und 17½ Uhr im Juli 1930 51 und sogar 80 mg/hd² gemessen! Für andere Pflanzen bewegen sich die Maxima zwischen 20 und 38 mg/hd². Die durchschnittliche CO₂-Aufnahme für eine längere Zeitspanne war allerdings bedeutend niedriger; sie variierte übrigens bei verschiedenen Individuen derselben Art; außerdem ist sie vom Alter der Pflanzen und der Fertilität des Bodens abhängig.

Die bei unseren Versuchen erhaltenen Zahlen zeigen, daß im hiesigen Klima die CO₂-Aufnahme derjenigen vieler Tropenpflanzen gleichkommt, oder diese zeitweise sogar übertrifft. In dieser Hinsicht macht *O. Stocker* die Bemerkung, daß die hohe Stoffproduktion des Tropenwaldes, dessen Größe man manchmal zu überschätzen geneigt ist, im wesentlichen der Verlängerung der Vegetationsperiode zugeschrieben werden kann. Daraus geht hervor, daß in den Tropen, wie übrigens auch in unserem Klima, bei einer normalen CO₂-Konzentration der Luft und mittleren Temperaturen die maximale Beleuchtungsstärke nicht voll ausgenützt wird. Auf die obigen Zahlen zurückkommend, sei noch erwähnt, daß eine höhere CO₂-Konzentration in der Phytosphäre eine bessere Ausnützung der schwachen Lichtintensität ermöglicht. In dichten Beständen, wo die unteren und die inneren Teile der Baumkronen nur schwach belichtet werden, ist daher eine CO₂-Anreicherung um so bedeutsamer.

Ein letzter Punkt sei noch erwähnt: nämlich die Höhe des maximalen CO₂-Gehaltes der Luft, welchen die Pflanzen verwerten können. Zu Versuchen in dieser Richtung wurde *Spironema fragrans* verwendet. Die Pflanze wurde bei einer Lichtstärke von zirka 10.000 Lux und konstanter Temperatur zwischen 30—33° C, während zehn Tagen einer CO₂-Konzentration von 20 % ausgesetzt. Während dieser Zeit verlief die CO₂-Aufnahme unter üppiger Entwicklung der Pflanze regelmäßig. Am Ende des Versuches blieben nur noch

7,8 % CO₂ in der Glasglocke zurück. Zehn Tage später wurde das Experiment weitergeführt mit einer Anfangskonzentration von zirka 30 %. Nach zwei Tagen zeigten sich die ersten Spuren einer schädlichen Wirkung in einem Abdorren der Blattspitzen. Nach dem Öffnen der Glocke, wobei die CO₂-Konzentration bis auf 11 % heruntersetzt wurde, stellten sich keine neuen Krankheitsflecken mehr ein. Die jungen Blätter entfalteten sich normal und nach 15 Tagen war fast sämtliche CO₂ verbraucht, und ihre Konzentration auf 1,3 % reduziert. Dies zeigt, daß *Spironema fragrans* wochenlang gedeihen, und ohne Schaden eine CO₂-Konzentration von nahezu 800fachem Normalgehalt der Luft verwerten kann!

Was das Minimum anbelangt, so konnten wir konstatieren, daß zufolge der Assimilation der CO₂-Gehalt in unseren Glocken vollständig aufgebraucht und die durch die Atmung abgegebene CO₂ sogleich verarbeitet wurde. Überdies fand, worauf bereits hingewiesen wurde, bisweilen sogar eine CO₂-Abgabe im Lichte statt.

Unsere Versuchsergebnisse erweisen die weitgehende Leistungsfähigkeit des Chlorophyllapparates und bringen einen neuen Beitrag zur Frage der photosynthetischen Arbeit bei den höheren Pflanzen. Es wird dabei gezeigt, daß der Verlauf der CO₂-Assimilation bei höheren Pflanzen nicht ohne weiteres mit dem Gang der Photosynthese bei Algen und kleinen Wasserpflanzen, oder gar bei abgeschnittenen Blättern, die meistens für die Untersuchungen über Assimilation verwendet werden, in jeder Beziehung übereinstimmt. Er geht eher sprunghaft mit ungleichmäßigen Beschleunigungen und Verlangsamungen vor sich, was im Zusammenhang mit inneren physiologischen Korrelationen steht.

* * *

Nach der Ansicht der Geophysiker war die ursprüngliche Atmosphäre der Erde während der Zeitperiode des Karbons viel reicher an Kohlensäure als heute, während die Durchsichtigkeit und folglich die Lichtintensität kleiner sein mußten. Es leuchtet ein, in Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen anzunehmen, daß selbst bei geringeren Lichtstärken, als wir sie heute kennen, die Kohlensäureassimilation doch sehr beträchtlich sein mußte, was die Üppigkeit der Vegetation jenes geologischen Zeitalters erklärt.

Die Tatsache, daß die grünen Pflanzen sehr hohe CO₂-Konzentrationen auszunützen vermögen (z. B. 20—25 %), spricht zugunsten einer Kohlensäuredüngung bzw. einer Anreicherung des Kohlendioxydes in der forstlichen Phytosphäre, und zwar durch alle Mittel, die geeignet erscheinen, die Ausscheidung dieses Gases durch den Waldboden zu fördern.