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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 80 (1929)

Heft: 11

Artikel: Das Kohlensäuregas in der Phytosphäre

Autor: Jaccard, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767840

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: 11.07.2025

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

Leistungsfähigkeit genau auf einander abgestimmt, so daß weder Stauung noch Mangel an Material eintritt. Dazu muß jedes technische Detail durchstudiert sein, wie beispielsweise die Zähnung der Sägeblätter oder der Vorschub der Gatter. Die Handgriffe der Arbeiter werden nach dem taylorschen System beobachtet und die rationellste Form angelernt.

Auf eine möglichst weitgehende Abfallverwertung wird viel Gewicht gelegt. Sehr häufig ist eine Kisten- oder sogar eine Zellulosefabrik der Säge angegliedert.

Die größten Betriebe besitzen 2—4, eventuell 5—6 Gatter, wobei zu beachten ist, daß die Rationalisierung infolge Anwendung von Hochleistungsgattern deren Zahl vermindert. Das erste und zugleich leistungsfähigste vollmechanisierte Sägewerk Oesterreichs und Mitteleuropas überhaupt ist dasjenige des Barons von Rothschild in Waidhofen a. d. Ybbs in Niederösterreich. Seine vier Hochleistungsgatter vermögen pro Jahr 80.000 Fm zu verarbeiten.

Eine große Gefahr bei solchen Werken besteht darin, daß sie in ihrer Leistungsfähigkeit mit dem Belieferungsgebiet nicht im Einklang stehen und leicht zu Uebernutzungen führen, da die teure Fabrikanlage voll ausgenützt sein will. Massentransporteinrichtungen mit weitem Wirkungsbereich, wie es die Trift- und Floßstraßen darstellen, sind dazu fast unerläßlich. Aber auch ihre Arme reichen bei der Beschaffenheit des österreichischen Flußsystems oft nicht weit genug. Die schwedischen Vorbilder bedürfen deshalb mancher Abänderung, um unter den abweichenden Verhältnissen verwendet werden zu können. Das ganze Problem beschäftigt die österreichische Forstwirtschaft und Holzindustrie in hohem Maße und es wird sehr intensiv an seiner Erforschung und Anwendung gearbeitet.

Das Kohlensäuregas in der Phytosphäre.

Angesichts der Tatsache, daß die Kohlensäure ungefähr die Hälfte der Trockensubstanz der Pflanzen als Kohlenstoff liefert, kann man dem Studium der Faktoren, welche die Produktion, Verteilung und Ausnützung dieses Gases beeinflussen, kaum eine zu hohe Bedeutung beimessen. Das Kohlendioxyd ist leider in sehr geringer Konzentration in der Luft vorhanden. Wir sagen ausdrücklich „leider"; denn zahlreiche Versuche haben gezeigt, daß die Pflanzen bei günstigen Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen und auf einem an mineralischen Nährstoffen reichen Boden, viel mehr Kohlensäure ausnützen können, als normalerweise vorhanden ist. Unter den genannten Umständen konstatiert man, daß die Zunahme des Trockengewichtes parallel geht mit der Menge der Kohlensäure, die den Pflanzen zur Verfügung gestellt und von diesen durch Photosynthese assimiliert wird. Auf dieser Erkenntnis beruhen

die verschiedenen Methoden der speziell in der Gärtnerei zum Zwecke besserer Erträge angewandten Kohlensäuredüngung.

Trotz ihrer schwachen Konzentration wird die Kohlensäure durch die Pflanzen in solcher Menge absorbiert, daß Wälder und große landwirtschaftliche Kulturen unter besonders günstigen Verhältnissen zur Zeit der stärksten Assimilation pro Hektare Oberfläche und pro Stunde 60 bis 80 kg oder sogar mehr der Luft entziehen können. Uebereinstimmende Untersuchungen ergeben, daß die gesamte Vegetation der Erde imstande wäre, in ungefähr zwei Jahren den ganzen Kohlensäurevorrat der Luft aufzubrauchen, (nach Le Châtelier betrüge dieser Vorrat ungefähr 800 Milliarden Tonnen) vorausgesetzt, daß dieses Gas in keiner Weise zurückerstattet würde. Nun weiß man aber, daß der Kohlensäureverbrauch durch Exhalation aus verschiedenen Quellen kontinuierlich kompensiert wird, und zwar in der Weise, daß der Kohlensäuregehalt der Luft schon in geringer Entfernung von der Erde sich annähernd konstant verhält.

Den Verbrauch dieses Gases können wir gewissermaßen als ein vorübergehendes Anleihen auffassen, dem nicht nur die totale Rückerstattung über kurz oder lang folgt, sondern auch eine partielle, die Stunde um Stunde und Tag für Tag bis zur Hälfte, ja noch mehr, des durch die Chlorophylltätigkeit fixierten Kohlenstoffes auszustoßen vermag, ferner auch zufolge der Verwesung der toten Pflanzenteile im Boden, welchen Vorgang man als „Bodenatmung" bezeichnet.

Durch das Zusammenwirken der Kohlenstoff-Assimilation der Respiration und der Verwesung organischer Substanzen variiert die Kohlensäurekonzentration fortwährend in der Nähe der Pflanzen, d. h. in der Phytosphäre.

Die Kenntnis der täglichen und jahreszeitlichen Veränderungen der drei obengenannten Faktoren erlaubt, die Bilanz aus der Ab- und Zunahme der Kohlensäure in der Phytosphäre festzustellen. Exakte und auf lange Zeit hin ununterbrochene Messungen sind notwendig, um den Verlauf, sowie die lokalen Einflüsse auf diese Schwankungen zu bestimmen, und uns Auskunft zu geben über deren theoretische und praktische Bedeutung.

Solche Messungen sind von Herrn R. Ch. Gut, Forstingenieur ausgeführt worden. Letzterer hat die erzielten Resultate in seiner Promotionsarbeit, die er soeben als Dissertation, an der E. T. H. vorgelegt hat, niedergelegt und diskutiert.[1]

Robert Ch. Gut: Le gaz carbonnique dans l'atmosphère forestière. Thèse présentée à l'Ecole polytechnique fédérale pour l'obtention du grade de Docteur ès sciences naturelles. (Arbeit aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der E. T. H. 112 S., 20 Fig.) Bern, Buchdruckerei Büchler & Co. 1929. Zu beziehen beim Verfasser; Schweizer. Forstwirtschaftliche Zentralstelle, Solothurn. Preis Fr. 5.

Diese Arbeit wurde mit Unterstützung des Schweizer. Forstvereins publiziert. Letzterer läßt sie seinen Mitgliedern zukommen als Supplement zum « Journal forestier » und zu dieser Zeitschrift; ferner mit finanziellen Beiträgen der Soc. vaudoise de sylviculture, der Soc. forestière du Contrôle und dem Oberforstinspektorat in Bern. Die Studie von Herrn Gut enthält zahlreiche graphische Darstellungen, welche die Ergebnisse von nahezu 5000 im Wald ausgeführten Analysen zusammenfassen. Es ist ihr überdies ein Literaturverzeichnis von zirka 300 Publikationen beigegeben, welches alle wichtigen Arbeiten über die behandelten Fragen anführt.

Herr Gut hat sich die Aufgabe gestellt, während eines Jahres, d. h. eines vollständigen Vegetationszyklus, den Verlauf der stündlichen, täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen der CO_2-Konzentration insbesondere in zwei Beständen, einem Laubholz- (Buchen) und einem Nadelholz- (Fichten) Wald auf dem Zürichberg festzustellen.

Dabei handelte es sich darum, eine geeignete Untersuchungsmethode auszuarbeiten. Zu diesem Zwecke hat Herr Gut einen tragbaren Apparat erfunden und konstruiert, der auf derselben volumetrischen Methode beruht, wie derjenige von Bonnier und Mangin. Er hat aber jenem gegenüber den Vorteil, an Ort und Stelle, d. h. im Walde Analysen mit Proben von je 50 cm^3 Luft zu ermöglichen, die aus verschiedenen Höhenlagen zwischen 0 und 33 m aus dem Inneren eines Bestandes gesaugt und direkt in den Apparat geleitet werden. Dieser Apparat erlaubt durch Eintauchen der graduierten Pippetten in Wasser Temperaturschwankungen auszuschließen, wodurch die Fehlerquellen auf ein Minimum reduziert werden. Mit diesem Apparat kann man in weniger als 10 Minuten den Kohlensäuregehalt einer Luftprobe mit sehr großer Genauigkeit analysieren. Im Vergleich zum normalen Kohlensäuregehalt der Luft, der $0{,}03$ %, d. h. 300 Millionstel beträgt, sei erwähnt, daß die vom Autor in den untersuchten Waldbeständen gemessenen extremen Werte zwischen 120 und 700 Millionstel schwanken.

Aus den interessanten Resultaten dieser Studie mögen die für den Forstmann besonders wichtigen im folgenden zusammengefaßt sein:

Allgemein konstatiert der Verfasser eine Verminderung des Kohlensäuregehaltes während der ersten Morgenstunden, welcher am Nachmittag eine Anreicherung folgt, die eine Zeitlang andauert und dann anwächst bis zum Morgen. Im Zeitraum einiger Stunden kann sich die Konzentration des Kohlendioxydes vervierfachen. Am 30. März z. B. ergab sich im Buchenwald zwischen 13½ und 17¾ Uhr eine Steigerung des CO_2 von 152 auf 576 Millionstel.

Im Laubwald stellt sich häufig gegen Ende des Nachmittages eine auffallende Zunahme des CO_2 ein, die der Verfasser als Abendwelle

(vague vespérale) bezeichnet. Diese vorübergehende vermehrte CO_2-Abgabe kann im Laufe einer Stunde so weit gehen, daß sie einer Exhalation von 150 kg CO_2 pro Hektare Wald entspricht. Sie macht sich im Nadelwald weniger geltend. Die erwähnte abendliche Welle scheint durch eine Anhäufung von Kohlenhydraten in den Blättern hervorgerufen zu werden, welche infolge einer starken Respiration bei verlangsamter Chlorophylltätigkeit intensiv ausgeatmet werden. Was die jahreszeitlichen Schwankungen anbetrifft, konstatiert man im Frühling die größte Abnahme und gleichzeitig auch die größten Schwankungen. Dagegen ist die Amplitude derselben im Sommer geringer, was wohl einer stärkeren Gasproduktion des Bodens zuzuschreiben ist. Dieselbe wirkt als Regulator des Kohlensäuregehaltes in der Phytosphäre. Im Herbst ist zufolge der verminderten Assimilation der Kohlensäuregehalt des Waldes am höchsten, während sich im Laufe des Winters die Amplitude der Konzentrationsschwankungen auf ein Minimum reduziert, trotzdem die Chlorophylltätigkeit zu dieser Zeit nicht vollständig aufhört.

Im allgemeinen sind die beobachteten Schwankungen bedeutender in den Laubholzbeständen als im Nadelholz. Man kann sich angesichts der erwähnten Untersuchungsergebnisse fragen, ob praktisch die Möglichkeit bestehe, den Kohlensäuregehalt der Phytosphäre des Waldes zu erhöhen oder zu regulieren, und dadurch den Ertrag bzw. die Holzproduktion zu steigern.

Im Walde kann es sich natürlich nicht um eine künstliche Kohlensäurebereicherung handeln, wie man sie in der Landwirtschaft durchführt. Dagegen gibt es verschiedene Mittel, um die natürliche CO_2-Produktion zu begünstigen und zu erhöhen. Im modernen Waldbau sucht man durch geeignete Lichtungen das bestmögliche Eindringen des Lichtes, und so die Ausnützung dieses für die Kohlensäureassimilation unerläßlichen Faktors zu verwirklichen. Durch eine angemessene Lichtung erhöht man in der Regel Erwärmung und Durchlüftung des Bodens, und dadurch auch seine Kohlensäureproduktion.

Kann man in der Praxis mehr tun? In dieser Hinsicht ist der Förster im Nachteil gegenüber dem Landwirt, der durch Bearbeitung und Düngung die Kohlensäureabgabe des Bodens direkt beeinflussen und in beträchtlichem Maße steigern kann. Man hat freilich vorgeschlagen, die Vermehrung gewisser Leguminosen: Orobus, Lathyrus (Platterbse) im Unterholz des Waldes zu fördern, welche bekanntlich dank ihrer Eigenschaft, den elementaren Stickstoff zu binden, einen günstigen Einfluß auf den Boden ausüben.

Dazu ist aber zu bemerken, daß außerhalb des Areals ihres natürlichen Vorkommens die Auslagen für ihre Einführung und künstliche Erhaltung auf zahlreichen Böden größer wären, als der Gewinn, den

sie ergeben würden. Ueberdies erreicht der Ertrag der Wälder zahlenmäßig nicht den der großen landwirtschaftlichen Kulturen.

Während eine Hektare Wald jährlich um 2000 bis 3000 kg Trockensubstanz zunimmt, ergibt eine Zuckerrübenkultur von gleicher Bodenfläche 10,000 bis 12,000 kg Kohlenstoff, wovon ungefähr 4000 kg auf die Respiration entfallen.

Eine derartige ausgiebige Produktion ist nur möglich bei intensiver Düngung. In dieser Hinsicht ergeben die lebenden oder biologischen Dünger ganz bemerkenswerte Resultate. Es handelt sich dabei um spezifische Erden, in denen Ammoniak-, Kali- und Phosphatdünger verbunden sind, mit der Gegenwart stickstoffbindender Bakterien.

Durch geeignete Bodenbehandlung, die eine starke Durchlüftung hervorbringt, und durch Verwendung von Stickstoff- und Phosphathumus, der pro Gramm 1—2 Milliarden aktiver Bodenbakterien enthält, gelingt es Stocklasa, die Kohlensäureproduktion durch den Boden bis auf 100 und sogar 134 mgr in 24 Stunden zu erhöhen.

Da solche Hilfsmittel dem Förster nicht zur Verfügung stehen, bleibt ihm zur Erhöhung seiner Erträge nichts anderes übrig, als die Faktoren, welche Wachstum und Holzbildung beeinflussen, wissenschaftlich zu erforschen. Durch sachgemäße Behandlung hat er danach zu trachten, die Wirkung derjenigen Faktoren zu begünstigen, welche bessere Belichtung des Laubwerks sichern, und auch die Erwärmung, Lüftung und Verdunstung des Bodens und schließlich auch die mechanischen und physiologischen Einflüsse des Windes regulieren.

* * *

Man kann das wichtige Problem der Kohlensäureabsorption und Kohlensäureverwertung durch die Pflanzen nicht in Angriff nehmen, ohne dieses auch vom energetischen Standpunkt aus zu betrachten. Solche Betrachtungen konnten aus Mangel an Zeit und theoretischer Spezialvorbereitung von Herrn Gut nicht angestellt werden.

Die Bildung von Glukose und von Stärke aus CO_2 und Wasser erfordert einen beträchtlichen Aufwand an Energie, welche durch das Chlorophyll absorbiert wird und bekanntlich aus den Sonnenstrahlen stammt. Man versteht aber nur schwer, in welcher Weise die relativ geringe von den Chloroplasten absorbierte Menge strahlender Energie eine chemische Arbeit liefern kann, die sich auf Tausende von Kalorien pro Quadratzentimeter grüner Blattfläche berechnen läßt. Wie allgemein im Chemismus der Zellen, geht die Chlorophylltätigkeit Hand in Hand mit enzymatischen und katalytischen Vorgängen, welche die absorbierte Energie umwandeln.

Ein anderer Faktor von höchster Wichtigkeit für das Verständnis der

Photosynthese besteht in der Kleinheit der Chlorophyllkörner, die dank ihrer Linsenform und ihrer beträchtlichen Zahl (man schätzt sie auf zirka 5 Milliarden pro Quadratmeter Ricinusblatt) dem Gas der Atmosphäre und der Sonnenstrahlung gegenüber eine enorme Kontaktfläche bieten, die in keinem Verhältnis steht zur aktiven Chlorophyllsubstanz, die sie enthalten und die auf weniger als $0,_4$ g pro m^2 Blattfläche bei Ricinus angegeben wird.

Auf welche Weise formt nun das Chlorophyll die absorbierte strahlende Energie in chemische Energie um? Man hat zuerst die spezielle Rolle des grünen Pigmentes der Pflanzen dem Lichte gegenüber mit derjenigen der in der Photographie verwendeten Sensibilisatoren verglichen, ein Vergleich, der allerdings zur Stunde nur schwer aufrechtzuerhalten ist; sodann hat man sie mit derjenigen eines Photokatalysators verglichen, in welchem das dem Chlorophyll eigene Magnesium eine analoge Rolle spielen würde, wie die Metalle in den metallorganischen Verbindungen. Man geht nun noch tiefer auf die Frage ein, indem man die durch die absorbierten Lichtstrahlen befreite intraatomische Energie zu messen versucht. Es scheint in der Tat, daß die Bestrahlung des Chlorophylls einen photoelektrischen Effekt hervorruft, bei welchem die an der Synthese der Kohlenhydrate beteiligten Gasmoleküle durch Elektronenumlagerungen aktiviert werden. Diese Auffassung hat den Vorteil, dem sich mit diesen Theorien befassenden Physiologen die unerschöpfliche Quelle von Atom- und Elektronenenergie, welche für die Erklärung des Dynamismus der Chlorophyll-Photosynthese bei den grünen Pflanzen notwendig ist, zur Verfügung zu stellen.

* * *

Noch viele andere Fragen ziehen die Aufmerksamkeit des Physiologen auf sich. Erwähnen wir unter denjenigen, die gegenwärtig in meinem Laboratorium untersucht werden, das Problem der Diffusionsgeschwindigkeit der Kohlensäure in der Nähe der Vegetation, den Einfluß des Windes auf die Konzentrationsschwankungen der Kohlensäure, das Zurückhaltungsvermögen des Bodens gegenüber CO_2, die Wirkung elektrischer Entladungen auf die Ionisierung des Gases, sowie auf den Gasaustausch zwischen Pflanze und Atmosphäre. Auf diese Weise wird nach langem Unterbruch, infolge anderweitiger Untersuchungen, die Fortsetzung meiner ersten Studie (Influence de la pression des gaz sur les végétaux; Rev. gén. de Bot. Paris 1893) wieder aufgenommen.

P. Jaccard.