

Informations - Informationen - Informazioni - Notes

STUDIORUM PROGRESSUS

Kohlensäuredüngung, Humus und Maximalerträge¹

Von E. H. REINAU², Lörrach (Baden)

In einem der ersten Lehrbücher der Botanik aus dem Jahr 1911 stand zur Frage der Kohlensäuredüngung etwa folgendes: «Es sei unnatürlich und unzweckmäßig, Kulturpflanzen mit CO₂ zu düngen, da sie entwickungsgeschichtlich an den sogenannten normalen CO₂-Gehalt der freien Atmosphäre von 0,030 Vol.-% angepaßt seien. Überdies nähmen sie ungewohnte Wuchsformen an, wenn man ihnen mehr CO₂ darbiete.» Das war zu einer Zeit, als ich mich mit dem Problem der Kohlensäuredüngung befassen wollte³. Damals ließ ich mich nicht abschrecken. 1948 konnte ich beim Durchgehen von etwa 16 der bekanntesten Lehrbücher über Pflanzenphysiologie feststellen, daß etwa 90% von ihnen diese Art der Düngung befürworteten. Nur ca. 10% verhielten sich noch skeptisch oder gar ablehnend⁴. Als Arbeitshypothese stellte ich seinerzeit folgenden Satz auf: «Der minimale CO₂-Gehalt in der Luft ist diejenige Menge an CO₂, die die grünen Pflanzen unter den herrschenden mittleren Bedingungen an Licht, Temperatur, Feuchte und sonstigem gar nicht mehr ausnützen können⁵». Hieran stoßen sich die Gegner. Indessen meist nur deshalb, weil sie das Wort *mittleren* übersehen. Als niedrigsten Schwellenwert hatte ich 1919⁶ 0,017–0,018% berechnet und ihn dann 1929⁷ mit 0,009–0,012% ermittelt. Diesen Wert hat GABRIELSEN bestätigt⁸. In der Luft um wachsende Pflanzen gibt es weder einen normalen noch einen konstanten CO₂-Gehalt. Er ist vor allem eine Funktion der Beleuchtung. Am einfachsten zeigt das die graphische Darstellung von CO₂-gehalten in Luft um Pflanzen im Laufe des Tages in verschiedenen Abständen vom Boden und bei unterschiedlicher Bodenart (Abb. 1 und 2). Je näher dem Boden, desto beschatteter, d. h. desto weniger belichtet sind die Blätter. Gleichzeitig sind sie aber auch näher an den mikrobiologischen Lebens- und Atmungsvorgängen im Boden.

Der Schwellenwert¹ kann also sehr verschieden ausfallen. Im Freien düngt man mittels CO₂, indem man die Lebensbedingungen der Mikrobionten des Bodens fördert und ihn überdies mit Energiematerial, d. h. abbaubarem Kohlenstoffmaterial versieht. Schon 1904 wies DEMOUSSY² für Unterglaskulturen nach, daß die starke CO₂-Entwicklung aus den üblichen Mistpackungen düngend wirkt. Das präzipitierte WENT später dahingehend, daß der Effekt solcher Packungen zu ²/₃ auf Erwärmung und zu ¹/₃ auf CO₂-Düngung beruhe³. Wenn es dann seit 1922 durch Einführung des Kohlensäuredüngungsverfahrens des Verfassers gelang, in Europa und in den USA Tausende von Berufsgärtnern für diese Düngweise zu gewinnen, so kann man nicht mehr von unverbesserlichen Optimisten sprechen⁴. Das unhandliche CO₂-Gas war bei diesem Verfahren dadurch zu einem praktisch verwertbaren Düngemittel gemacht worden, daß man Briquets aus reiner Holzkohle benützt hat. Ihr Gewicht entsprach etwa 100 l reinem CO₂ bei völliger Verbrennung. So konnte man beispielsweise durch einen 8tägigen Begasungsschock in großen Gewächshäusern, wo Tausende von Treibrosenbüschen das Erblühen verweigerten, zu Vollblüte erwecken. In Hunderten von Fällen hat ferner bei Gurken und Tomaten eine Begasung von 6–8 Wochen nicht etwa nur mit 10%, sondern mit 600% der Unkosten rentiert⁵. Auch bei der Zucht von Brüsseler Trauben spielt die CO₂-Düngung vermittels größeren flach, in den Boden verbrachten Dünggaben eine wesentliche Rolle. Im Freien könnten indessen die Verhältnisse ganz anders sein. So heißt es nach einer ganz konservativen Meinung: «Von den höheren Pflanzen wird die CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen, und die aus dem Boden aufsteigende CO₂ nimmt vorwiegend diesen Umweg, was durch die schnelle Diffusion des Gases bei Unterstützung durch Luftströmung bedingt ist.... CO₂ ist für die C-Versorgung der höheren Pflanzen kein ausgesprochener Standortfaktor»⁶. Gegen diese Annahme sprechen die vielfachen Bestätigungen der CO₂-Resttheorie. Nach dieser Theorie müßte sich an der Grüngrenze von Pflanzenbeständen ein Minimum an CO₂ gegenüber der freien Atmosphäre und gegenüber der Luft in Bodennähe herausbilden, wie dies NERNST verlangt hat⁷. Das ist auch aus den Abbildungen 1 und 2 zu ersehen. Bei vielen Tausenden von CO₂-Bestimmungen mit dem Ultrarotschreiber (Uras der Badischen Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen a. Rh.) konnte ich das immer wieder bestätigt finden. In ihrer Flächenleistung sind Bodenatmung und Assimilation der Grünpflanzen unter den meisten Umständen

¹ Auszug aus einem Vortrag im Kolloquium in der Botanischen Anstalt der Universität Basel am 24. Februar 1949.

² Institut für Bodenhygiene und Bodengesundheitsdienst, Lörrach, Baslerstraße 126 (Baden).

³ W. PFEFFER, *Pflanzenphysiologie* 1, 313ff. (1897) (auch die Auflagen nach 1904).

⁴ Verschiedene Lehrbücher über Pflanzenphysiologie, Assimilation und Mikrobiologie verschiedener Autoren wie W. LEPEŠCHKIN, S. KOSTYSCHEW, E. MILLER, A. F. C. WENT, K. WETZEL, D. P. HOPKINS, E. STRASSBURGER, G. GOLA/G. NEGRI, M. THOMAS, P. BOYSEN-JENSEN, A. FREY-WYSSLING, A. RIPPPEL-BALDES, E. L. RABINOWITSCH, W. BENECKE und L. JOST.

⁵ E. REINAU, *Kohlensäure und Pflanzen* (W. Knapp, Halle 1920), S. 3, Mitte und unten.

⁶ Ebenda S. 152ff.

⁷ E. H. REINAU, *Die Gartenbauwissenschaft* 3, 101 (1930).

⁸ E. K. GABRIELSEN, *Nature* 161, 138 (1948). – E. K. GABRIELSEN und LISE SCHOU, *Exper.* 5, 116 (1949).

¹ Dieses Wort (auf englisch «threshold-value») wurde bereits vom Verfasser 1920 in dem Buch *Kohlensäure und Pflanzen* (Knapp, Halle) auf Seite 7, 2. Zeile von oben und auf Seite 9, 5. Zeile von unten, gebraucht. Damit ergibt sich eine Priorität gegenüber der 3 Jahrzehnte späteren Verwendung dieses Ausdrucks für ziemlich ähnliche CO₂-Befunde, falls deren Begleitumstände wirklich scharf unterscheidbar sind, s. *Exper.* 5, 368 (1949).

² C. DEMOUSSY, *C. r. Acad. Sci.* 139, 883 (1904).

³ A. F. C. WENT, *Lehrbuch der Botanik* (G. Fischer, Jena 1933), p. 179.

⁴ A. FREY-WYSSLING, *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanzen* (Büchergilde Gutenberg, Zürich 1945), S. 90.

⁵ E. REINAU, *Praktische Kohlensäuredüngung in Gärtnerei und Landwirtschaft* (Springer, Berlin 1927), S. 97ff.

⁶ A. RIPPPEL-BALDES, *Grundriß der Mikrobiologie* (Springer, Berlin 1947), S. 274.

⁷ E. H. REINAU, *Technik in der Landwirtschaft* 5, 186 (1924).

den einander adäquat. Es muß ein Boden biologisch schon äußerst aktiv und die Gründecke darüber noch sehr lückenhaft oder sehr jung sein, bis es überschüssiges, bodenbürtiges CO_2 ergibt, das den Umweg über die Atmosphäre nimmt.

Bei der eingehenden Beschäftigung mit der CO_2 -Ernährung der Pflanze stößt man wiederholt auf einen sehr interessanten Gegenspieler: den Stickstoff. So glaubte man um 1911 noch einfach folgendes annehmen zu dürfen: überbetonte CO_2 -Ernährung rege Blüten- und Fruchtbildung an, während Überfütterung mit Stickstoff zu reichlicher Belaubung, zu Schossen usw., d. h. zu vegetativem Wuchs führe¹. In der Tat hat die Praxis zunächst gezeigt, daß ohne jegliche Benützung von Blühstoffen CO_2 -Düngung allein frühere und reichlichere Blüten bringt. Es könnte also sein, daß bei erhöhtem Vorrat von Kohlehydraten in der Pflanze schon kleine Mengen von Blühhormonen aktiviert werden. Hier macht sich noch ein anderer von mir 1919 festgestellter Gesichtspunkt geltend². Licht (eine Kraft) und CO_2 (ein Stoff) verhalten sich bei der Assimilation wie zwei Stoffe im chemischen Massenwirkungsgesetz. Dieses CO_2 -Lichtproduktgesetz konnte 1921 an Wasserpflanzen³ und 1922 für höhere Grünpflanzen⁴ bestätigt werden. Wenn in geschlossenen Kulturen von Luzerne oder Klee die untersten Blätter stark beschattet sind und nur 5 % des auffallenden Lichtes genießen⁵, wäh-

¹ H. FISCHER, *Gartenflora* 61, 298 (1912).

² E. REINAU, *Kohlensäure und Pflanzen* (W. Knapp, Halle 1920), S. 3, Mitte und unten.

³ R. HARDER, *Jb. Botanik* 13, 531 (1921) und *Gartenbauwissenschaft* 5 (1931).

⁴ H. LUNDEGARDH, *Der Kreislauf des Kohlenstoffes* (Fischer, Jena 1923), S. 389.

⁵ E. H. REINAU und F. KERTSCHER, *Wiss. Veröff. aus dem Siemenskonzern* 4, 1. H., 258ff. (1925).

Abb. 1 und 2. Änderung oder Tagesgang des CO_2 -Gehalts – der Rest- oder Schwellenwerte an CO_2 – in der Luft um in geschlossenen Beständen wachsenden Kartoffeln. Es handelt sich jeweils um Luftproben aus physiologisch charakteristischen Höhenschichten über dem Boden: bodennah, ca. 5 cm darüber, Grüngrenze ca. 50–60 cm über der Erde und Freiluft ca. 2,5 m über der Erde. Diese ihrerseits ist bei beiden Aufnahmen im Sinne dieser Abhandlung völlig verschieden hinsichtlich ihres Gehaltes an C und namentlich mikrobiotischer Aktivität. Links war die Erde stark bemisteter, sandiger Lehm. Rechts war es fast steriler Rheinsand nur mit anorganischer Grunddüngung. Man beachte, daß es sich jeweils um 6 zur gleichen Zeit entnommene Luftproben handelt, wobei die Entnahmestellen je nur 8 m horizontalen Abstand voneinander hatten. Man wird bemerken, daß fast alle Werte bzw. die Kurvenscharen links, also über dem biologisch tätigen Boden, um einige $\frac{1}{100\,000}$ Volumenteile an CO_2 höher liegen als über dem sterilen Boden, der keine bodenbürtige CO_2 abgab.

— = Freiluft = Bodennähe
 - - - - = Grüngrenze - · - · - = Lufttemperatur
 ······ = Bodentemperatur

Die vertikalen schraffierten Blöcke geben die Windstärke in m/sec an

Abb. 3. Die Wuchsform von Kulturpflanzen (s. Beginn des Aufsatzes) wird durch die Herkunft der CO_2 in der Umluft gestaltet. Links: wo über der stark bemisteten Erde reichlich bodenbürtige CO_2 geboten wird, breitet die Pflanze ein weit ausladendes, schützendes Dach von Blättern über den das Nährgas liefernden Boden. Rechts: beim Wuchse in sterilem Sande und nur auf luftbürtige CO_2 angewiesen, streckt sich die Pflanze, «das Nährgas aus der freien Luft suchend», schmal und steil empor. Es handelt sich in diesen Bildern genau um diejenigen Pflanzen, aus deren Beständen die Luftproben entnommen sind, deren CO_2 -Gehalte in den Bildern 1 und 2 in den Tagesgängen an 2 verschiedenen Tagen dargestellt sind.

Kartoffeln in Mist

Kartoffeln in Sand

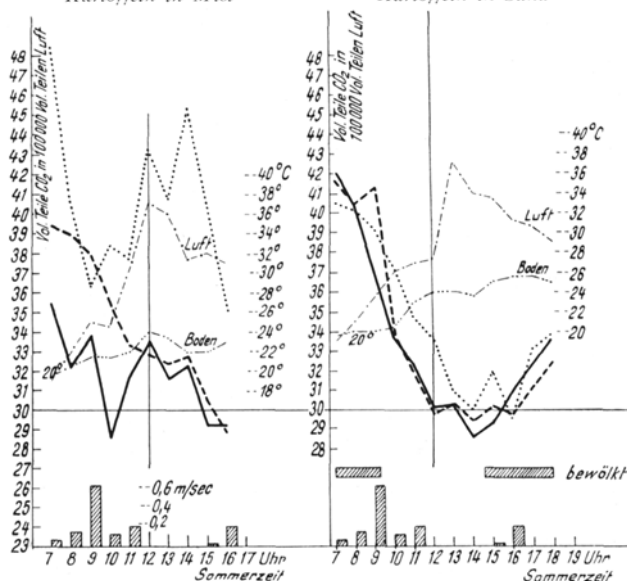


Abb. 1 (Tag A).

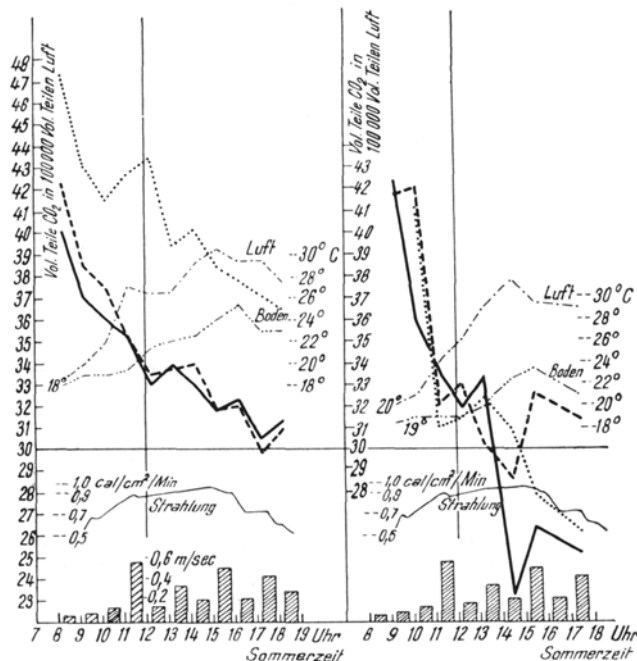
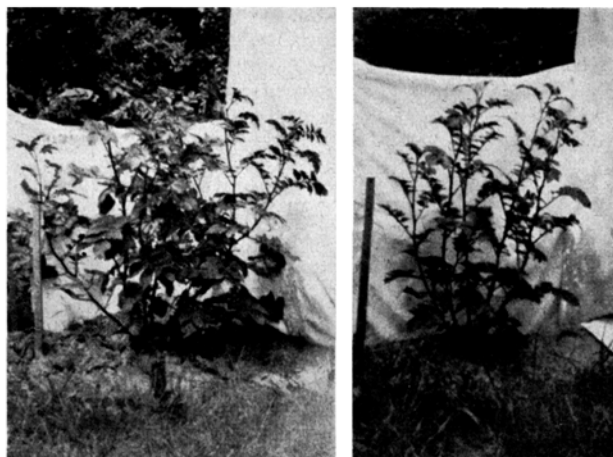


Abb. 3.

Abb. 2 (Tag B).



rend ihnen 2–3mal mehr CO_2 aus der Bodenatmung zur Verfügung steht, so ist das ein natürlicher Gegenstrom von Licht gegen CO_2 . Dieser ist bei der praktischen Pflanzenkultur wohl zu beachten. Man wird sich also um Vorgänge kümmern müssen, die die biologische Entstehung in den Böden verursachen. Das sind einerseits die Bionten und andererseits das Energiematerial, das den Kohlenstoff liefert. Hieraus ergibt sich eine völlig neue Seite in der *Humusfrage*. Diese wird zwar in der neueren Bodenkunde etwas mehr beachtet, doch mehr vom statischen Gesichtspunkt eines physikalisch wirksamen Konstituenten aus (Kalkton-Humat nach DEMOLON und BARBIER)¹. Auch ich bemühte mich zunächst um rasche Bodenverbesserung vermittels dieses Komplexkörpers. Hierzu wurden beliebige organische (pflanzliche und tierische) Abfälle, Kalk, Kunstdünger und eventuell toniges Material mittels der Bodenfräse innig zusammengebracht. Auf diese Weise kann das Kalkton-Humat unmittelbar an Ort und Stelle entstehen. Selbst sterile Böden geben damit schon im ersten Jahr Höchsterträge². Es darf deshalb angenommen werden, daß aller Kohlenstoff der organischen Massen voll ausgenutzt wird. Von den 30 bis 50 Mol C, die sonst in solchen Abfällen auf 1 Mol N_2 vorhanden sind, gehen während der üblichen Verrottung 20–40 Mol C irgendwie als CO_2 verloren. Da hier aber der Vorgang in einem Boden geschieht, über dem bereits grüne Pflanzen wachsen, so bewirkt er eine Vermehrung des bodenbürtigen CO_2 ³. Mittels des gebotenen organischen C-Materials war zudem der Boden «azotobakter»fähig geworden, d. h. er war in der Lage, Stickstoff aus der Luft als Düngerstickstoff in den Boden zu schaffen. Überdies konnten die Schleimstoffe und Hyphen der wachsenden Pilze und Bakterien die feinsten Mineraltrümmer des Bodens verkitten und verweben. Dies hat STARKEY⁴ als biologische Grundlage der Krümelbildung beschrieben. Es ist indessen zu beachten, daß als Feinde der Bakterien auch zahlreiche beutegieriger Amöben im Boden leben, die sowohl die Produkte der Bazillen wie auch diese selbst zerstören. Das Tempo und die Zyklen dieser Vernichtung machen es fast unmöglich, Zahlen von Bakterien aus Böden als Charakteristikum anzugeben (Untersuchungen in Rothamsted⁵). Sie schwanken in Perioden von 30–60 Minuten um ganze Größenordnungen. Was nun die Selbstbindung von Stickstoff durch Böden anlangt, so hat sich gezeigt, daß die Zusammenhänge *in praxi* beim gewerblichen Pflanzenbau ganz andere sind als *in vitro*. So konnte ich z. B. in Kulturen von Leguminosen mit vielen Knöllchen an ihren Wurzeln folgendes beobachten: sie hatten so lange eine erhöhte Wurzelatmung und demzufolge auch eine vermehrte Ergiebigkeit an bodenbürtigem CO_2 , als sie kräftig assimilieren konnten. Es ließ sich auch zeigen, daß der Gehalt an CO_2 in der Umgebung der Blätter gesteigert war und daß diese weiterhin fähig waren, die überschüssig gebotene CO_2 bis zum möglichen «Rest» zu verarbeiten⁶. Es gibt hier also einen sehr engen kleinen Kreislauf des Kohlenstoffs. Dieser scheint mir für die Leistungen der im Acker frei lebenden Binder von Stickstoff vom Typ der Azotobakter sehr bedeutsam zu sein. Sobald also ein bewach-

sener Boden neutral ist, ferner genügend Kalk, P_2O_5 und Kali enthält (kurz also azotobakterfähig ist), wird sich ein solch kleiner Kohlenstoffkreislauf herausbilden. Die Kurzlebigkeit der Wurzelhaare ist bekannt. Es gibt auch allerlei Wurzelsekrete. Fortwährend fallen unbrauchbar gewordene Pflanzenteile zu Boden. Stetig erhalten die Mikroorganismen des Bodens organisches Energiematerial. Es wird sehr rasch zerstört. Dabei entsteht bodenbürtiges CO_2 , das in die Luft und damit zu den Blättern hin entweicht. Dort wird es zu Zucker und Baumaterial assimiliert. Mit diesen beginnt dann der Kreislauf des Kohlenstoffs von neuem. Im Laufe einer Vegetationsperiode kann ein derartiges C-Atom etwa 50–100mal kreisen. Es ist nicht erforderlich, daß, wie bei N-Bindungsversuchen *in vitro* von Anfang an 100 Teile Kohlehydrate vorhanden sind, damit 1 Teil Stickstoff gebunden wird. Zusätzliche thermokinetische Bodenuntersuchungen zeigten, daß azotobakterfähige Böden im Tempo und Ausmaß (entsprechend den üblichen Düngemittelgaben) imstande sind, Stickstoff selbst zu binden, wenn sie das nötige organische Energiematerial erhalten¹. Andererseits weisen die praktischen Erträge ohne jegliche Stickstoffzuführung auf gepflegten azotobakterfähigen Böden darauf hin, daß dieser Erscheinungskomplex des C-Haushalts mehr kinetisch als statisch gedeutet werden sollte. Es muß davor gewarnt werden, die Humusfrage auf einen bestimmten Stoff zu beschränken und anzunehmen, daß es sich um einen nur physikalisch wirksamen Bodenbestandteil handelt. Vielmehr darf nicht vergessen werden, daß der Humus nur eine Teilerscheinung in den großen und kleinen Zyklen des Kohlenstoffs beim gesamten Wuchsphänomen der Kulturpflanzen darstellt (s. Abb. 3).

Die Energie für alle diese stetigen Vorgänge ziehen die Pflanzen bei der Assimilation der CO_2 aus dem Sonnen- und Himmelslicht. Die Frage ist also naheliegend: Wie weit nützen eigentlich Kulturpflanzen das Licht energetisch aus? Was für *Maximalerträge* sind wohl zu erwarten? Würde man bei den Kulturpflanzen, wie das meist geschehen ist, nur deren kalorischen Brennwert berücksichtigen und nicht die sonstigen physiologischen Vorgänge beachten, dann käme man zu irreführenden Voraussagen². Während sich in höheren Grünpflanzen 1 g Trockenmasse bildet, müssen sie ca. 300 g Wasser – zur Erlangung der nötigen biogenen Stoffe des Bodens – aufsaugen und wieder verdunsten. Dazu wird etwa 45–50mal mehr Energie latent, als in der Ernte steckt. Höchsterträge, die ich anfangs der zwanziger Jahre³ mit ca. 4,2 kg Zucker je m^2 vorausberechnete, könnten nur bei Benützung von untergetauchten Wasserpflanzen übertroffen werden. Diese nehmen die biogenen Stoffe ohne wesentlichen «Durchsatz» von Wasser, also ohne Aufwand von latent werdender Wärme, unmittelbar durch Osmose auf⁴. Inzwischen sind seit 1934 mittels Zuckerrohr 4 bis 5 kg Zucker je m^2 /Jahr erzielt worden. Man kann von der universellen Solarkonstanten: 2 cal/cm²/sec bei Berücksichtigung der physiologischen Gegebenheiten der Kulturpflanzen Höchsterträge exakt vorausberechnen. Dies hatte man auch mittels einer «universellen Stickstoffkonstanten» gemäß O. W. WILLCOX⁵ etwa in folgender Weise vornehmen können: Die «uni-

¹ A. DEMOLON und G. C. BARBIER, C. r. Acad. Sci. 188, 654 (1929).

² E. REINAU, Der Fräsendienst 2, 1 (1931) (Siemens-Schuckertwerke).

³ ERICH H. REINAU, 4. Int. Congr. of Soil Science, Amsterdam 1950, Transact. 2, 121.

⁴ ROB. L. STARKEY, Soil Sci. 45, 242 (1938).

⁵ H. G. THORNTON, Rothamsted Exp. Stat. Harpenden Ann. Rep. 1939/45 und 1946.

⁶ E. H. REINAU, Fortschr. Landw. 1, 787 (1926).

¹ E. H. REINAU, Techn. in der Landw. 19, 207 (1938).

² W. NODDACK, Z. physik. Chemie A 185, 207 (1939). – D. FARRINGTON, Sci. 109, 51 (1949).

³ E. REINAU, Mitt. deutsch. Landw.-Ges. 35, 163 (1920). – E. H. REINAU und F. KERTSCHER, Wiss. Veröff. aus dem Siemenskonzern 4, 1. H., 258ff. (1925).

⁴ RICH. L. MEIER, Look 13, fasc. 3, 27 (1949).

⁵ O. W. WILLCOX, Facts about Sugar 28, 254, 116 (1933).

verselle N-Konstante» (im Maximum 360 kg N in der Ernte eines Hektars) ist gemäß den Lehren der Agrobiologie: «die Fähigkeit, zur Synthese verschiedener Mengen stickstofffreier Pflanzensubstanz die gleiche Menge an N-haltigem Protoplasma zu gebrauchen». Wenn also wie beim Zuckerrohr der Gesamt-N-Gehalt des Ertrags sehr niedrig ist, so kann man einen Ertrag von 450 Tonnen pro ha (= 45 kg je m²) Rohr erwarten. N-reiche Leguminosenernten sind wesentlich niedriger zu berechnen. Wahrscheinlich steht die «universelle N-Konstante» mit der Solarkonstante in Verbindung. Sie verliert damit ihren etwas vitalistischen Nebenklang: Pflanzen, die an Salzen und N arm sind, werden viel weniger Wasser zur Erlangung der biogenen Stoffe aufnehmen und verdunsten müssen, und werden damit bei übereinstimmender Solarkonstante mehr Trockensubstanz herstellen können. Da hier die Sonne stark ins Zentrum der Betrachtungen rückt, seien folgende Sätze von ROBERT J. MAYER angeführt: «Die Pflanzen leben vom Sonnenlichte als ihrer Hauptnahrung. Sie absorbieren das auf sie fallende Licht und speichern dasselbe in Form brennbarer Materie in sich auf, und in dieser Tätigkeit besteht der Hauptsache nach ihre Ernährung. Nächste Licht und Luft hat also, wie bekannt, auch die Bodenbeschaffenheit auf die Ernährung und das Gedeihen der Pflanzen großen Einfluß¹.» MAYER hat also noch zu LIEBIGS Zeiten dem Lichte den ersten, der Luft, CO₂, den zweiten und dem Boden erst den dritten Rang beim Pflanzenwuchs eingeräumt. Einige Werte² von maximalen Erträgen an wirklichen Nahrungskalorien aus großflächigen Kulturen mögen hier angeführt werden: Weizen 3330 kcal/m²³, Reis 4070, Karotten 2680, Tomaten 5310, Mais 7000, Zuckerrüben 5–7000, Kartoffeln 7570, Zuckerrohr 17600⁴, alles Werte in Kalorien je Quadratmeter im Jahr. Es sei daran erinnert, daß der Ertragsdurchschnitt bei der üblichen Bauern- und Farmwirtschaft 150–200 kcal/m²/Jahr bei einem Aufwand von 5–50 kcal Arbeit je m²/Jahr beträgt. In Kürze sei noch das Schema der Vorausberechnung und Erzielung solcher Maximalerträge angeführt. Aus der Solarkonstante ergibt sich z. B. für einen Ort wie Potsdam die Jahresstrahlungssumme von 800 000 kcal/m²/Jahr (es erübrigt sich für Frost und Winter Abzüge zu machen). Einschließlich der Transpirationsenergie muß man auf 1 g Trockensubstanz rund 200 Kalorien rechnen. Man kommt zu einem Höchstertag von 800 000 : 200 = 4000 g = 4 kg. Dazu sind je kg 300 l Wasser, d. h. 1200 l oder 12000 mm Regen je Quadratmeter erforderlich. Bei nur 610 mm durchschnittlicher Regenhöhe muß man also einerseits für mindestens nochmals soviel H₂O durch Berieseln oder Beregnen sorgen und andererseits die Wasserhaltefähigkeit des Bodens soweit als möglich verbessern. Man wird ihm also gemäß dem oben Gesagten durch Zufuhr entsprechender Stoffe Gelegenheit geben, tiefe Kalkton-Humatschichten entstehen zu lassen. Dabei wird auch dafür gesorgt, daß (neben 1 g «luftbürtiger» CO₂) noch die erforderlichen 2 g «bodenbürtige» CO₂ entstehen. Diese müssen in etwa 1800 Wuchsstunden assimiliert werden.

¹ ROB. JUL. MAYER, *Die Mechanik der Wärme*, 2. Aufl. (Cotta, Stuttgart 1874), S. 379.

² Alle folgenden kalorischen Werte sind solche in Kilokalorien (kcal)

³ M. DE SARTORI, *Come si ottengono 80 qu. di Grano ad Ettaro* (Off. Graf. Mantere, Tivoli 1938). – Auch von so weit nördlich wie Gent (Belgien) wird von ha-Erträgen von Weizen (Var. «Alba») von 70,6–72,2 dz 1949 berichtet (L. DE LEENHEER und K. DE CAESTECKER: 4. Int. Congr. Soil Science, Amsterdam 1950, Transact. 2, 50).

⁴ Vide nebenstehende Note 2 (F. J. R. BARKE).

Aus dem zu erwartenden Maximalertrag und den bekannten Aschenanalysen der angebauten Gewächse berechnet man dann die etwa noch zusätzlich erforderlichen Mengen von P, K und N. Diese werden in Anbetracht der großen Mengen zweckmäßig in vielen kleinen Teilgaben appliziert.

An einigen Beispielen sei noch gezeigt, daß sich diese Rezepte für Maximalerträge in ausgedehnten Großversuchen an verschiedensten Stellen der Erde bewährt haben. Dabei handelte es sich um Hektarflächen und nicht um Topf- oder Parzellenversuche. FERRAGUTTI hat in Italien bis an den Fuß der Alpen 80 dz Weizen und bis 100 dz Mais auf Hunderten von Gütern erreicht¹. Mit Zuckerrohr erzielte man die oben mitgeteilten Maximalerträge in Queensland (Australien)² während mehrerer Jahre, ebenso auf Hawaii³. 600 dz Birnen pro Hektar gab es in Großkulturen in Italien⁴. Ebenso wurden in Bayern Obstbaumschulen gesund⁵. Überall wurde für die Auflockerung des meist tonigen Bodens bis zu 1,3 m Tiefe und Vermengung mit Kalk, mit ausgiebigsten organischen Düngemengen, d. h. also für die Ausbildung tiefer Kalkton-Humat-Schichten gesorgt. Dazu kamen unwahrscheinlich große, aber in Einzelgaben aufgeteilte Mengen von Kunstdünger, reichlichste Bewässerung oder Beregnung und ständige Pflege der Bodenoberfläche durch Behacken bzw. durch Mulchen⁶.

Beginnt man damit die Nahrungsschöpfung als Sonnennutzung zu betreiben, von der Erde also mehr die Fläche als den Boden zu beachten, so wird man, ohne auf Hydroponics oder auf submerse Wasserpflanzen zu verfallen^{7,8}, mit sehr viel weniger Land pro Kopf der Bevölkerung auskommen.

Summary

A comparison of the most modern textbooks of plant physiology with those from the beginning of the century shows that to-day fertilizing with carbonic acid is an accepted fact, at least in cultures made under glass. But fertilizing is also done with cultures in the open and in agriculture with the help of this nutrient gas, which develops out of the ground through microbiotic processes on materials containing carbon, often called for short «humus». Between these processes, and leaf respiration on the one hand and the assimilation of the green on the other, follows a variable equilibrium in respect to the no longer utilizable carbonic acid of the atmosphere. Maximal yields are unobtainable when these relations are not taken into account. Some basic methods for reaching maximal yields are described.

¹ M. DE SARTORI, *loc. cit.*

² F. J. R. BARKE, Ann. Rep. Bur. Sugar Exp. Station Queensland, S. 34 (1932).

³ CHARLES J. WELSH, *Facts about Sugar* 28, 389 (1933).

⁴ A. DEL LUNGO und E. ZANINI, *600 qu. li di Pere ad Ettaro* (Istit. di Frutti cultura e di Elettrogenetica, Roma 1939).

⁵ F. VOGEL, *Gartenbauwirtschaft* 4, (1939).

⁶ Mulching = etwas mit Mulch bedecken. Mulch = halbverrottetes Stroh; in der Gärtnerei eine Mischung aus feuchtem Stroh, Blättern, loser Erde usw., die auf dem Boden ausgebreitet wird, um die Wurzeln von frisch gepflanzten Bäumen usw. zu schützen.

⁷ E. H. REINAU und F. KERTCHER, I. c., 261ff. (1925).

⁸ P. LINDNER, *Wschr. Brauerei* 46, 520 (1929).