

Kohlensäure und Pflanzenerzeugung.

Von Dr. E. H. REINAU, Berlin-Steglitz.

Vorgetragen in der Sitzung des Hannoverschen Bezirksvereins des Vereins deutscher Chemiker am 27. Oktober 1925.

(Eingeg. 28. Dez. 1925.)

I.

Technologische Einordnung der Pflanzenerzeugung.

Es sind besonders zwei Umstände, welche die Erzeugung von Pflanzen als Gewerbe von anderen Produktionszweigen scharf unterscheiden. Es ist dies erstens die Gebundenheit der Pflanzenerzeugung an die Fläche, denn die Pflanzen können nur vermittelt des strahlenden Lichtes, das auf die Fläche der Erde herableuchtet, wachsen; ferner bedürfen die Pflanzen zu ihrem Gedeihen der jährlichen Regenmengen, die ebenfalls eine Funktion der Erdoberfläche ist, und schließlich wachsen die Pflanzen vermittelt der sich allmählich aus der obersten Erdoberfläche langsam abspaltenden schwer löslichen Nährstoffe.

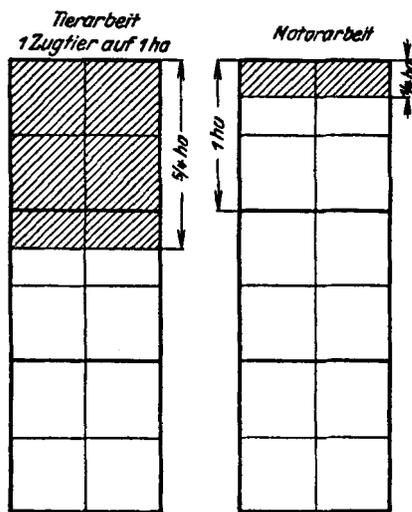


Fig. 1. Verwendung von 3 ha Ackerland bei Tier- und Motorarbeit.

So ist durch drei wesentliche Gründe die Pflanzenproduktion ganz anders wie jede sonstige Industrie unabänderlich an die Fläche gebunden, und eine mehrstöckige Fabrik für Pflanzenwachstum ist praktisch unmöglich.

Der andere wesentliche Unterschied von den übrigen Gewerben, die mit irgendwelchen Werkzeugen oder Maschinen Stoffe verarbeiten, ist der, daß bei der Pflanzenerzeugung die Maschine, welche produzieren soll, sich selbst aufbauen muß. Technologisch ist also die Pflanze gleichzeitig Maschine und Produkt in dem Gewerbe der Pflanzenerzeugung.

Ehe nun die Pflanze aber als Apparat aufgestellt werden kann, muß für sie die Erdoberfläche so zubereitet werden, daß die Pflanzen gedeihen und wachsen können, der Acker muß gepflügt, Düngstoffe müssen herbeigeschafft werden, und während des Wachstums muß mehr oder weniger oft eine Bearbeitung erfolgen, ehe schließlich die Ernteprodukte, also die wirklichen Erzeugnisse, abgefahren werden können.

Alle diese Arbeiten wurden noch bis vor kurzem und werden heute noch größtenteils unter Zuhilfenahme von Tieren vollführt, die ihrerseits mittels der durch den Pflanzenbau erzeugten Nahrungsmittel gefüttert werden und all dieses Material als Kohlensäure wieder veratmen.

Im Mittel der europäischen Wirtschaftsweise kann man sagen, daß zur Durchführung all der genannten Arbeiten $\frac{5}{11}$ der Produkte verbraucht werden, welche im ganzen überhaupt auf der bebauten Fläche zur Ernte kommen (vgl. Fig. 1). Fig. 1 erläutert dies sinnfällig, indem es als Gegenstück den heute erstrebten Zustand hinstellt, daß alle diese Arbeit weitgehend durch Motore, und zwar unter der Annahme eines bodenständigen Betriebes mit Spiritus als Kraftstoff ausgeführt werden. Während bei der Tierarbeit von 3 ha oder 12 preußischen Morgen, wie gesagt, 5 Morgen zur Unterhaltung des Tieres belegt sind, und nur 7 Morgen verfügbar bleiben, würde die Ernte an Kartoffeln, von $\frac{1}{4}$ ha = einem preußischen Morgen fast genügen, um den notwendigen Spiritus für all die genannten Arbeiten zu erzeugen. Praktisch hieße also Übergang von Tierarbeit zu Motorkultur Vermehrung des verfügbaren Landes von $\frac{7}{12}$ auf $\frac{11}{12}$ oder nahezu eine Verdoppelung der Landfläche!

Noch ehe also die Pflanze eigentlich aufgestellt ist, hat sie gewissermaßen schon eine ganz beträchtliche Menge von Kohlenstoff bzw. Kohlensäure für Vorarbeiten verbraucht. Beim Keimen selbst, ehe sie grünt, gibt sie Kohlensäure ab, weil mit dem Beginn des Wachsens und

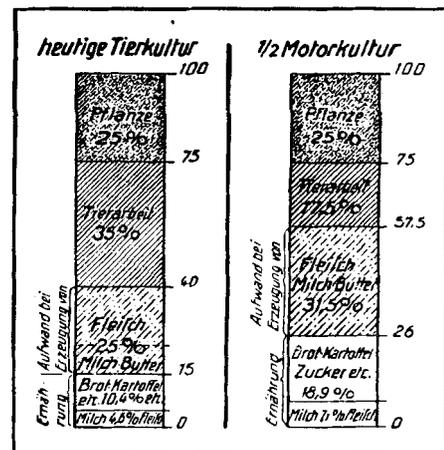


Fig. 2. Verbrauch des Kohlenstoffes der deutschen Ernten.

Zunahme der Zellteilung eine Verstärkung der Protoplasmätätigkeit einsetzt, die eine gewisse Energiemenge erfordert, welche ihrerseits nur durch Verbrennung von kohlenstoffhaltigem Reservematerial geliefert wird. Mit dem Ergrünen aber beginnt nun ein Wettrennen zwischen dem immerwährenden Atmungsprozesse — zur Aufrechterhaltung der Protoplasmabewegung — und dem Vorgänge der Assimilation, welcher an das Vorhandensein von Licht gebunden ist. Im nützlichen Sinne kann von Pflanzenerzeugung erst dann gesprochen werden, wenn im Verlaufe von 24 Stunden die Atmung weniger verbraucht, als in den wenigen Lichtstunden (8—14) die Assimilationstätigkeit aufbauen und festhalten kann.

So entstehen schließlich die Gebilde unserer Kulturpflanzen, von denen wir aber wiederum nur einzelne Teile wirklich benützen; denn Getreidewurzeln, Kartoffelblätter, Rübenschnitzel u. dgl. sind schließlich doch nur notwendige Übel der Tatsache, daß die photosynthetischen Apparate des Pflanzenerzeugers sich selbst aufbauen. Und es ist nicht ohne Interesse, vom Gesichtspunkte der Kohlenstoff- bzw. Kohlensäureverwertung und mit Rücksicht auf die Zwecke, die der Mensch bei der Pflanzenerzeugung eigentlich verfolgt, sich in großen Zügen das bisher Auseinandergesetzte gegenüber zu stellen. Auf Fig. 2 ist auf der einen Seite das Bild

gegeben, wie es sich bei der Tierarbeit darstellt und auf der anderen Seite, wie es würde, wenn die Hälfte der Tierarbeit durch Motorkultur ersetzt wäre. Nach wie vor erfordert der Selbstaufbau der photosynthetischen Apparate bzw. die Notwendigkeit von Wurzeln, unverwendbaren Blättern usw. 25% des ganzen umgesetzten Kohlenstoffes. Die Tierarbeit erfordert 35%; zur Erzeugung von Fleisch, Milch und Butter bleiben 25% übrig, während nur 10,4% sofort in Form der pflanzlichen Nahrungsmittel wie Brot und Kartoffeln und der kaum zu erwähnenden Gemüse vom Menschen aufgenommen werden, und aus den 25% für Fleischerzeugung den Tieren gefütterten Pflanzenstoffen nur 4,6% Kohlenstoffwert für den Menschen genießbar bleiben. Würde zur Hälfte Motorkultur eingeführt, ohne die Tierhaltung im ganzen herabzusetzen¹⁾, dann könnte eben die Hälfte der für Tierarbeit aufgewandten Futterstoffe, z. B. durch ausgedehntere Benützung von Hafererzeugnissen zur

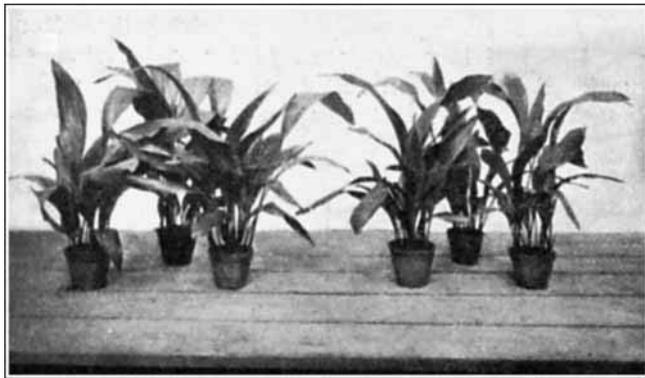


Fig. 3. *Aspidistra elatior*.

| | |
|--|--|
| links | rechts |
| 4 Wochen mit CO ₂ gedüngt. Mehr und kräftigere Blätter. | Ungedüngte Kontrollpflanzen. Schwächere und lichtere Beblattung. |

menschlichen Ernährung und ähnliches, die vegetabilische Nahrung derartig verstärkt und außerdem die Erzeugung von animalischen Nahrungsstoffen so vermehrt werden, daß 26% anstatt früher 15% auf gleicher Fläche umgesetzten Kohlenstoffes für menschliche Ernährung verfügbar wären, also auch hierdurch nahezu eine Verdoppelung des Nahrungsspielraumes auf gleicher Fläche.

In Deutschland wurden im Jahre 1913 bei einer großen Ernte zu den oben geschilderten verschiedenen Zwecken beim Pflanzenbau — also in Wurzeln, Stroh und Früchten! — im ganzen 80 Millionen Tonnen Kohlenstoff umgesetzt, das ist die Hälfte des Kohlenstoffinhaltes der damaligen Steinkohlenförderung. Ich glaube wohl, daß man in Anbetracht dieser Menge den Kohlenstoff, welcher hier verschafft wird, also die landwirtschaftlich erzeugte Kohle, als die „grüne Kohle“ bezeichnen darf²⁾; denn schon für den fast verschwindenden Energiewert von nur einigen Millionen Tonnen Kohle, der in Wasserkräften umgesetzt wird, hat man den kurz-sinnfälligen Ausdruck der „weißen Kohle“.

¹⁾ Es gibt beim Betriebe der Landwirtschaft oder, sagen wir in der Ausdrucksweise der oben entwickelten Auffassung, beim Betriebe der photosynthetischen Pflanzenapparate immer gewisse Abfallstoffe, Rohrleitungen, wie das Stroh zwischen Wurzeln und Blättern, Früchten, die nachher am besten und zweckmäßigsten durch Tiere verwertbar sind und wertvolle Dinge der örtlichen Pflanzenerzeugung erhalten: Bakterienflora, Kohlenstoff, Stickstoff und Salzdünger.

²⁾ Z. d. Vereins deutscher Ingenieure 1925, Bd. 69, S. 672.

II.

Zur Physiologie des Kohlensäureumsatzes von Pflanzen.

Nachdem Düngungsversuche vermittelt Kohlensäure in Glasgefäßen (Corenwinden 1863, Demoussy 1898 und 1903) in Gewächshäusern (Brown und Escome in Kew 1899, H. Fischer 1912, Klein und Reinau 1912) wie z. B. die Figg. 3 und 4 zeigen, erwiesen hatten, daß auch Kohlensäure wie manche andere Nährstoffe der Pflanzen ein Hebel zur Ertragssteigerung sein kann, hat das neuerdings einsetzende Studium der Verhältnisse im Freien bei landwirtschaftlichen Kulturen manch neuen und fruchtbaren Gesichtspunkt zutage gefördert. Es kann an dieser Stelle ja als bekannt vorausgesetzt werden, daß im wesentlichen nur durch die Blätter und aus der diese umgebenden Luft Kohlensäure solange aufgenommen wird, wie im Innern der



Fig. 4. *Asparagus plumosus nanus*

| | |
|---|-----------------------------|
| links | rechts |
| 4 Wochen mit CO ₂ begast. Durchaus kräftigere Ausbildung der Wedel und Mehransatz neuer Stengel. | Unbegaste Kontrollpflanzen. |

Blätter unter dem Einflusse des Lichts eine Verarbeitung, also Festlegung der Kohlensäure stattfindet. Sobald dieser Vorgang nach Sonnenuntergang aufhört, beherrscht die von jeder einzelnen Pflanzenzelle ausgehende Atmung das Feld. Im Innern der Pflanze, in den Interzellularen reichert sich Kohlensäure an. Dies führt schließlich dazu, daß an den Stellen, wo ein Austritt möglich ist (Spaltöffnungen), und der Teildruck an Kohlensäure in der umgebenden Luft geringer ist, dieses Gas entweicht, also veratmet wird. So ist z. B. mit größter Sicherheit anzunehmen, daß im Bereiche der im lichtlosen Boden lebenden Wurzelzellen eine ständige Abgabe von Kohlensäure vor sich geht (Stoklasa), ja, daß sie ungestört vor sich gehen muß, wenn die Pflanzen gut gedeihen sollen (Jenty's).

III.

Über Kohlensäuregehalt der Luft und deren Bestimmung.

Was nun den Kohlensäuregehalt in der Luft anlangt, so ist hier nicht der Ort, um dieses ganze Gebiet ausführlich zu behandeln. Es ist, wie so manches Gebiet, voll von Widersprüchen und Unklarheiten, namentlich solange gewesen, wie man verschiedene Gesichtspunkte bei seiner Bearbeitung vermengte. Es ist nämlich etwas anderes, vom Kohlensäuregehalt der Luft ganz allgemein zu sprechen im Gegensatz zum Kohlensäuregehalt der Luft in der Nähe der wachsenden Pflanzen. Im großen und ganzen kann man sagen, daß alle Untersuchungen bis zur Jahrhundertwende sich mit dem ersteren Punkte be-

faßten. Und es ist der Kohlensäuregehalt der Luft im Laufe der etwa 120 Jahre, seit man überhaupt wußte, daß der Kohlenstoff der Pflanzen aus der Luft stammt (Ingenhouze, Senebrière), mit zunehmender Verfeinerung der Untersuchungsmethoden immer mehr zurückgegangen. A. v. Humboldt fand mit einer verhältnismäßig groben gasanalytischen Bestimmungsweise nach Gay Lussac noch zwischen 1 und 2 Vol.-% CO_2 . Saussure d. J. gibt in der ersten Periode seiner Untersuchungen bis 1816 Werte von 0,05—0,07 Vol.-% an, also 50—70 Hunderttausendstel. Dagegen bei seinen späteren Untersuchungsmethoden, bis 1830, in denen er seine Bestimmungsverfahren verbesserte, bewegen sich seine Werte zwischen 31,5 und 57,4 Hunderttausendstel. Er schreibt aber bereits 1830, daß das Kohlensäuremaximum innerhalb 24 Stunden, gegen Ende der Nacht und das Minimum mitten am Tage sei, und daß ferner die Hauptänderung zwischen Nachtende und den ersten Tagesstunden, also 4 Uhr morgens und abends zwischen 4 und 8 Uhr vor sich gehe. Er sagt ferner: „Der allgemeine Unterschied zwischen Kohlensäuremenge Tags und Nachts erklärt sich leicht durch die Vegetation, die nur im Lichte dieses Gas zersetzt, das tausend verschiedene Ursachen und insbesondere die Pflanzenerde dauernd bilden.“ Spätere Untersuchungen mit an sich noch besseren, exakteren Methoden (Pettenkofer, Marie-Davy, Reisset, Müntz, Aubin) haben diese Erkenntnisse Saussures wieder mehr in den Hintergrund treten lassen, weil sie mehr das allgemeine Problem im Auge hatten und wohl auch zu einer Zeit angestellt wurden, wo man sich über die Frage unterhielt, ob die Zusammensetzung der Luft im ganzen konstant sei. Um größte Genauigkeit zu erzielen, ging man von dem Prinzip, welches Saussure ähnlich wie später Pettenkofer verwandte, nämlich in mehr oder weniger großen Flaschen möglichst rasch eine Luftprobe abzuschließen und diese dann zu untersuchen, dazu über, große Luftmengen während Stunden, ja ganzer Tage anzusaugen, und den Kohlensäuregehalt durch Absorption mit geeigneten Mitteln zu bestimmen. Jene Methoden gestatten, wie ich mich auszudrücken pflege, Momentaufnahmen des Kohlensäuregehaltes der Luft. Diese Methoden aber geben nur Mittelwerte, entbehren jeglicher Bewegung, da jegliches Leben aus den Resultaten ausgetrieben wurde!

Aus diesen Gründen und weil, wenn man dem Gedanken einer Kohlensäuredüngung im Freien näher treten wollte, man wissen mußte: bei welchen Kohlensäuregehalten arbeiten heute unter den natürlichen bzw. üblichen Kulturverhältnissen unsere Pflanzen? sagte ich mir, hier kann nur eine gewissermaßen kinemographische Aufnahme des Kohlensäuregehaltes der Luft, in welcher die Blätter wirklich spielen, zum Ziele führen. Diese Untersuchungen wurden von mir im Laufe der letzten Jahre mit einem etwas modifizierten Apparat von Petterson-Sondén ausgeführt. Diese Apparate eigneten sich besonders, wenn man gleichzeitig mehrere verwendet, und sie in einem fahrbaren Laboratorium auf die Felder fährt. Es ist so möglich, innerhalb von einer Stunde 3—6, ja gelegentlich noch mehr, Einzelbestimmungen an Ort und Stelle fertig zu machen, mit einer Genauigkeit, die mindestens auf ein Hunderttausendstel Volumteil reicht. Es zeigt sich nun, wenn man an einem verhältnismäßig ruhigen, hellen Sommertage eine solche Folge von Analysen vornimmt, daß die schon von Saussure beobachteten täglichen Schwankungen ganz regelmäßig wiederkehren. Und wenn man nun gar diese Untersuchungen so anstellt, daß man

jeweils gleichzeitig eine Luftprobe innerhalb des Pflanzenbestandes, möglichst nahe dem Boden in etwa 3—7 cm Höhe über demselben, eine zweite Luftprobe etwa aus der Höhe des obersten Blattes und eine dritte Probe etwa in doppelter Höhe über dem Bestande entnimmt, wird man ganz eigenartige Gesetzmäßigkeiten finden (vgl. Figg. 5 u. 6).

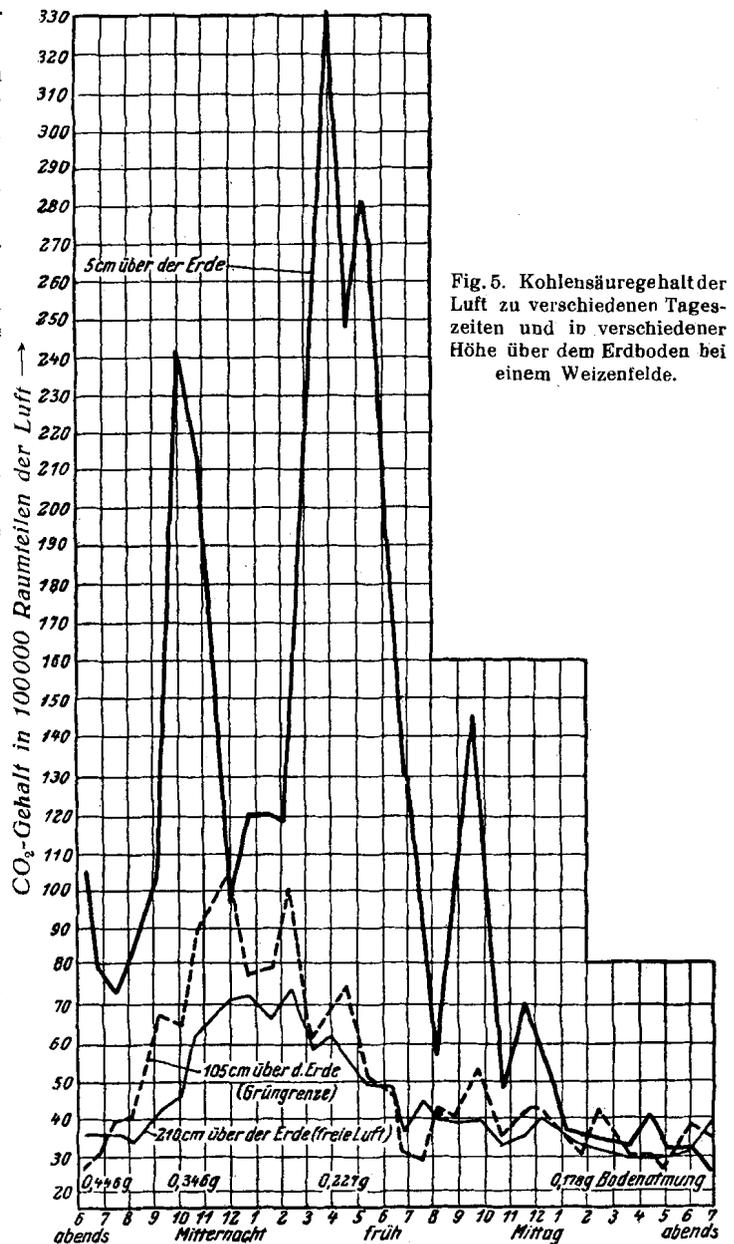


Fig. 5. Kohlensäuregehalt der Luft zu verschiedenen Tageszeiten und in verschiedener Höhe über dem Erdboden bei einem Weizenfelde.

Im allgemeinen ist in Erdnähe der Kohlensäuregehalt der höchste, an der Grüngrenze sinkt bei Tageslicht der Gehalt oft tiefer wie er in der freien Luft ist, namentlich aber wesentlich tiefer wie der in Bodennähe gefundene. Es ist hierbei besonders interessant, den Unterschied zu sehen zwischen Fig. 5 u. 6, wie bei den Zuckerrüben mit ihrer großen Assimilationsenergie im Gegensatz zum Weizen der Kohlensäuregehalt in der Grüngrenze während des ganzen Tages beträchtlich unterhalb der beiden anderen Werte liegt. Daß die Schwankungen sich aber auch noch in einer weiteren Entfernung vom Boden bemerkbar machen, ergeben Untersuchungen, die ich im Laufe des Sommers 1925 als Gast des Forschungsinstitutes für Hochgebirgsphysiologie und Tuberkuloseforschung in Davos durch die Freundlichkeit Prof. Dornos durchzuführen in der Lage war.

Man sieht (Fig. 7) bei diesen Analysenserien, daß der Kohlensäuregehalt der Luft von einer der ortsüblichen Liegehallen im 3. Stock um die Mittagszeit an einem der klaren Hochgebirgstage auf 24 Hunderttausendstel herabsinkt, bei trüberen, nur auf etwa 26,5 und überhaupt während des ganzen Tages höher bleibt, wie bei klarem, blauem Himmel.

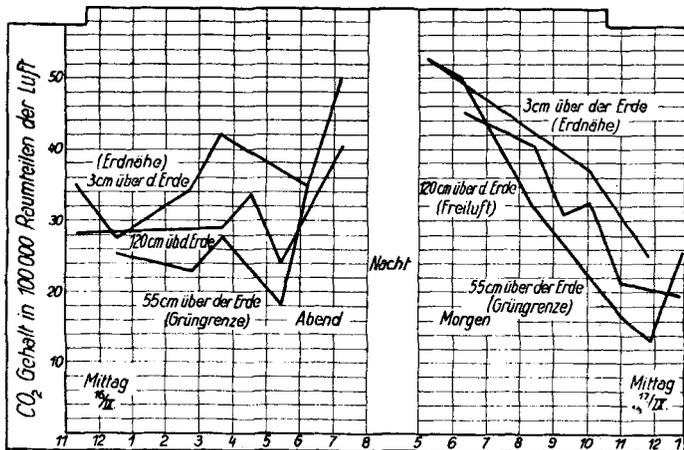


Fig. 6. Gegenstück zu Fig. 5: CO₂-Gehalt der Luft über einem Zuckerrübenacker.

Heute oder vor einiger Zeit, als man noch ganz allgemein der Ansicht war, unsere landwirtschaftlichen Bestände schöpften ihre Kohlensäure einfach aus dem großen Luftozean, und als man die oben angeführte

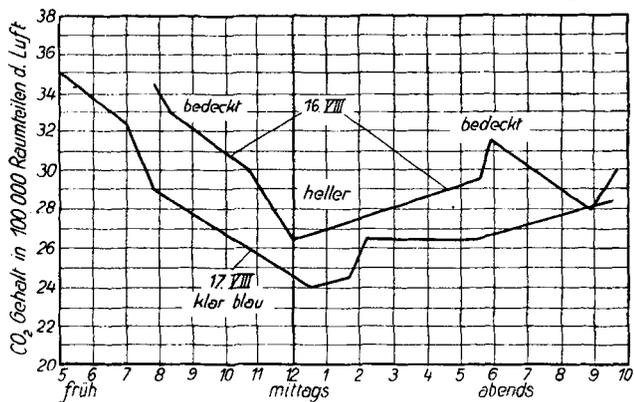


Fig. 7. Witterung und CO₂-Gehalt der Luft im Hochgebirgsort: Davos-Platz.

Meinung Saussures schon längst wieder vergessen hatte, wäre naturgemäß zu erwarten gewesen, daß der Kohlensäuregehalt in der Luft etwa gemäß der schwach ausgezogenen Linien der Fig. 8 abnehmend gegen die

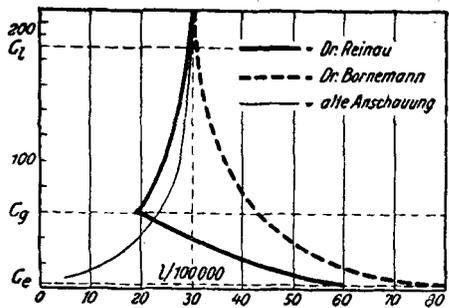


Fig. 8. Schematische Darstellung des CO₂-Gehaltes der Luft über Pflanzenbeständen.

Erde zu verläuft; also der Höchstgehalt oben in der freien Luft und abnehmend nach dem Boden zu, je mehr diese Luft in den Pflanzenbestand eindringt. Die Untersuchungen dagegen haben gezeigt³⁾, daß der Kohlen-

säuregehalt mit Annäherung gegen die Erde sich ändert, teils gemäß der gestrichelten Kurve, wie es nach Untersuchungen von Brown und Escome, durch Bornemann vorausgesagt wurde, teils nach der kräftig ausgezogenen Kurve, wie sie von Nernst unter ganz bestimmten Voraussetzungen einmal als möglich hingestellt worden war.

Ich habe nämlich vor Jahren die Arbeitshypothese aufgestellt⁴⁾, daß der Gehalt an Kohlensäure, welchen man in der oberen freien Atmosphäre findet, nur den Rest dessen ausmacht, was die Pflanzenbestände unter den mittleren Verhältnissen der Erde bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit und Lichtstärke nicht mehr zu verarbeiten imstande sind. Wenn dieser Gedanke einigermaßen richtig ist, dann müßte sich eben an der Stelle, wo die obersten und hellsten Blätter an die freie Luft anstoßen, eine Art Minimum im Kohlensäuregehalt der Luft herausbilden. Wie die aus der großen Fülle von sonst noch vorliegendem Material oben mitgeteilten Tageskurven zeigen, stellt sich dieses Minimum sehr häufig ein und hat auch entsprechend der Arbeitshypothese seinen täglichen Gang. Wenn es zu dunkeln beginnt, wird die Restkonzentration der nicht mehr verarbeitbaren Kohlensäure — bzw. die Gleichgewichtslage durch Assimilation und Veratmung und wie wir weiter unten sehen werden — durch Bodenatmung erhöht. Mit Tagesbeginn aber wird zuerst bei den hellsten obersten Blättern die Restkonzentration erniedrigt und erst einige Zeit später auch bei den tiefer liegenden Blättern in Erdnähe (s. Fig. 5). In der Resthypothese bin ich seinerzeit bestärkt worden durch eine auffallende Serie von mehreren Jahre durchgeführten Kohlensäurebestimmungen in der Luft auf dem Observatorium Mont Souris bei Paris durch Marie Davy. Dieser fand, daß das Jahresmittel, wie in Tabelle 1 angegeben, schwankte.

Tabelle 1.

| Mont - Souris | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Jahr | 76 | 77 | 78 | 79 |
| Licht | 0,63 | 0,58 | 0,55 | 0,50 |
| CO ₂ | 25,6 | 27,6 | 34,6 | 34,4 |
| Produkt | 16,3 | 16,0 | 18,0 | 17,2 |
| Lundegårdh | | | | |
| Licht | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,025 |
| CO ₂ | 0,030 | 0,060 | 0,090 | 0,120 |
| Produkt | 0,0030 | 0,0030 | 0,0027 | 0,0030 |
| Harder | | | | |
| Licht | 19000 | 3500 | 2000 | |
| CO ₂ | 0,040 | 0,160 | 0,320 | |
| Produkt | 76,0 | 56,0 | 64,0 | |

Kohlensäure-Luft-Produktgesetz (Lundegårdhs Relativitätsgesetz).

Beim Suchen nach einer Gesetzmäßigkeit, welche diese Schwankungen mit anderen meteorologischen Daten verbinde, bleibt schließlich nur ein umgekehrtes Verhältnis zwischen mittlerer jährlicher Beleuchtungsstärke und mittlerer Kohlensäurekonzentration. Wenn man nämlich, wie in Tabelle 1 geschehen, die entsprechenden Produkte für jedes Jahr bildet, so bekommt man einigermaßen dieselben Zahlen oder: das Produkt aus Kohlensäuregehalt und Lichtstärke ist konstant.

Es hat sich in der Folge durch botanisch-physiologische Arbeiten von Harder bzw. Lundegårdh ergeben, daß dieses Produktgesetz in gewissem Umfange für Wasser- und für Blattpflanzen zutrifft, d. h. gleiche

³⁾ Die Technik in der Landwirtschaft 1924, S. 96 u. S. 183.

⁴⁾ Reinau: „Kohlensäure und Pflanzen“ (Knapp, Halle 1920).

Assimilationsleistungen können erzielt werden, durch hohen Kohlensäuregehalt mit geringer Lichtstärke wie durch niedrigen Kohlensäuregehalt bei großer Lichtintensität⁵⁾.

IV.

Über die bodenbürtige Kohlensäure.

Wie kommt es nun, daß in Erdnähe fast durchgehends ein größerer Kohlensäuregehalt gefunden wird, wie in den oberen Luftschichten? Nicht etwa nur deshalb, weil Kohlendioxyd schwerer ist als die anderen Luftbestandteile.

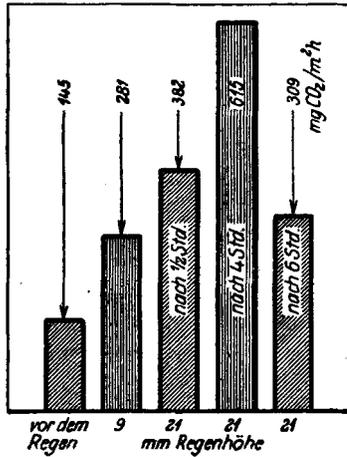


Fig. 9. CO₂-Abgabe in mg/qm/h unter Regeneinfluß.

Auf Grund der zahlreichen angestellten Untersuchungen läßt sich heute mit Sicherheit sagen, daß dies eine Folge davon ist, daß im Erdboden infolge des bakteriellen Humusabbaus eine stetige Quelle für einen Kohlensäureüberdruck in der Bodenluft gegeben ist. Diese Bodenluft, durch das immer dichter werdende Gefüge der Erdrinde und den Grundwasserspiegel nach unten zu abgeschlossen, reichert sich durch die Tätigkeit der Bodenbakterien bis zu einem gewissen Grade mit Kohlensäure an. Diese entweicht nach oben zu durch die mehr oder weniger poröse Bodenoberfläche, weil der Partialdruck der Kohlensäure in der freien Luft ein geringerer ist. Diejenige Menge von Kohlensäure, welche nun ein Quadratmeter Bodenoberfläche während einer Stunde durch freiwillige Diffusion an die freie Luft abgibt, wird Bodenatmung genannt. Die Bestimmung dieser Größe geschieht in Anlehnung an die ersten derartigen Versuche von Bornemann, am praktischsten vermittelt der Lundegård'schen Bodenatmungsglocke. Diese oben mit schließbaren Gasentnahmestutzen versehene Glocke von 1/10 qm offener unterer Fläche wird etwa 7 cm tief in die Erde eingedrückt und im Moment des Aufsetzens der Kohlensäuregehalt der eingeschlossenen Luft ermittelt.

⁵⁾ Die Kohlensäure-Resthypothese sollte und wollte nie mehr sein, als eine Arbeitshypothese und sie bezieht sich, wie nicht oft genug wiederholt werden kann, auf mittlere irdische Verhältnisse. Das Kohlensäure-Licht-Produkt-Verhältnis ist eine gute und praktische Regel, die bei Düngungsmaßnahmen mit Kohlensäure ebenso erfolgreich ist, wie beim Verständnis der oben angeführten Tageskurven im Verlaufe des Kohlensäuregehaltes. Die feineren Gesetzmäßigkeiten hat Harder und namentlich Lundegård'sch bearbeitet und letzterer in einer Art Relativitätsgesetz zwischen Licht und Kohlensäure ausgedrückt. Der Name Relativitätsgesetz scheint mir wenig glücklich, weil eine zu prätentiose Verbindung mit den bekannten physikalischen Tagesfragen vorliegt, während andererseits die über die Produktregel hinausgehenden Fassungen bereits Gegenstand umfassenderer Gesetzmäßigkeiten (Minimumgesetz) sind.

Nach 20 bis 30 Minuten entnimmt man der inzwischen geschlossen gehaltenen Glocke wiederum eine Luftprobe und kann nun aus dem Konzentrationszuwachs und der verflissenen Zeit errechnen, wieviel Kohlensäure der betreffende Boden abgegeben hat. Diese Bodenatmung ist

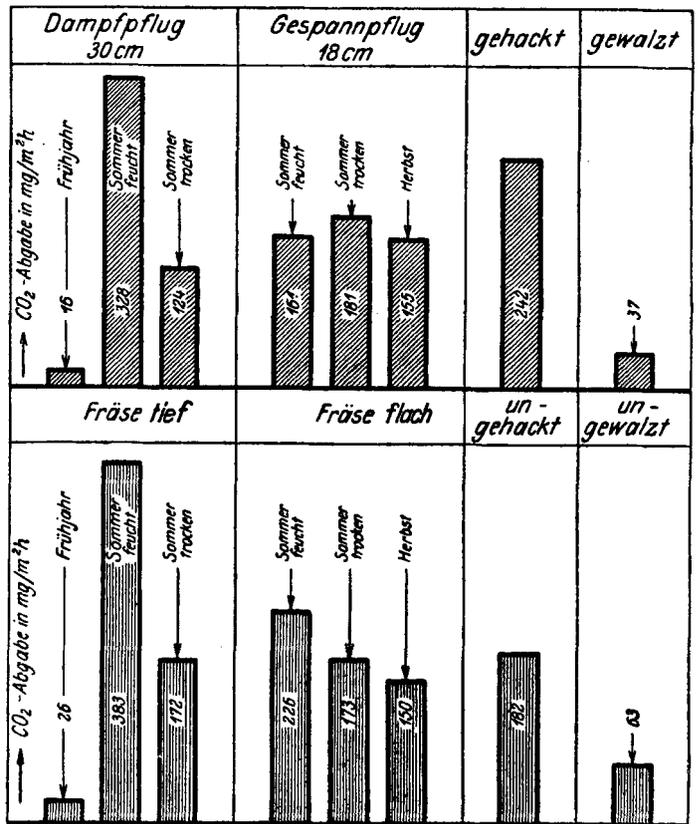


Fig. 10. CO₂-Abgabe des Bodens in mg/qm/h unter Berücksichtigung der Wirkung verschiedener Bearbeitungsweisen.

nach den zahlreich angestellten Untersuchungen im wesentlichsten abhängig von all den Umständen, die überhaupt bakterielles Leben beeinflussen, also besonders von Feuchtigkeit bzw. Regen (Fig. 9), Sauerstoff, Lüftung, Porosität bzw. Bearbeitung (Fig. 10), Humus-

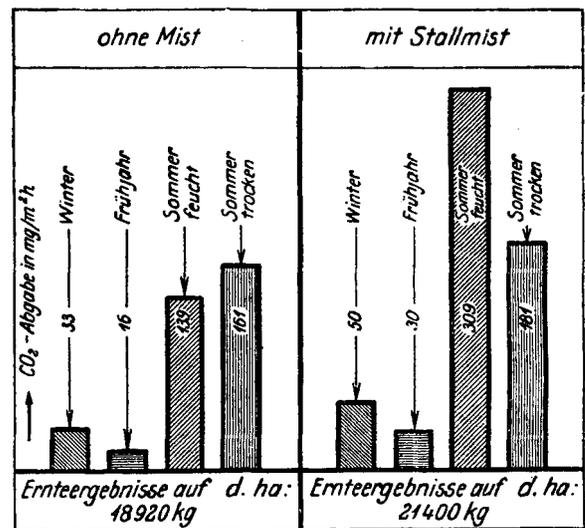


Fig. 11. Einfluß von Stallmist auf die CO₂-Abgabe des Bodens in mg/qm h und auf Ertrag.

gehalt der Erde bzw. leicht abbaubaren organischen Stoffen (Fig. 11) ferner von der Anwesenheit lebenswichtiger biogener Ionen K, P, N, Ca (Fig. 12) und schließlich von der Temperatur gemäß (Fig. 13 bzw. 16). Fig. 13 stellt den Temperatureinfluß im Verlaufe der Bodenatmung während eines ganzen Jahres heraus. Weiterhin

ist für die Bodenatmung natürlich nicht ohne Bedeutung die Anwesenheit von mehr oder weniger stark lebenden Pflanzenwurzeln. Bei der Messung der Bodenatmung selbst wird selbstverständlich der oberirdische Stengel und Blatteil der Pflanze abgeschnitten, weil sonst die bei Lichtabschluß bemerkbar werdende Ausatmung dieser Pflanzenteile die Werte stören würde. Das Wurzelwerk der vorhandenen Pflanzen selbst kann indessen nicht

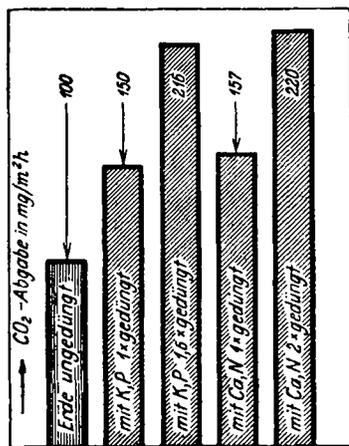


Fig. 12. Einfluß verschiedener Kunstdünger auf die CO₂-Abgabe des Bodens.

entfernt werden, weil sonst die Struktur und Belüftung des Bodens zu sehr verändert würde. Es ist indessen sehr oft vorgekommen, im Bestand von landwirtschaftlichen Pflanzen solche Stellen zu finden, wo die Glocke aufgesetzt werden kann, ohne daß sich unter ihr frische Pflanzenwurzeln befinden. Es ist weiter oben ja bereits darauf hingedeutet worden, daß Stoklasa als erster ein-

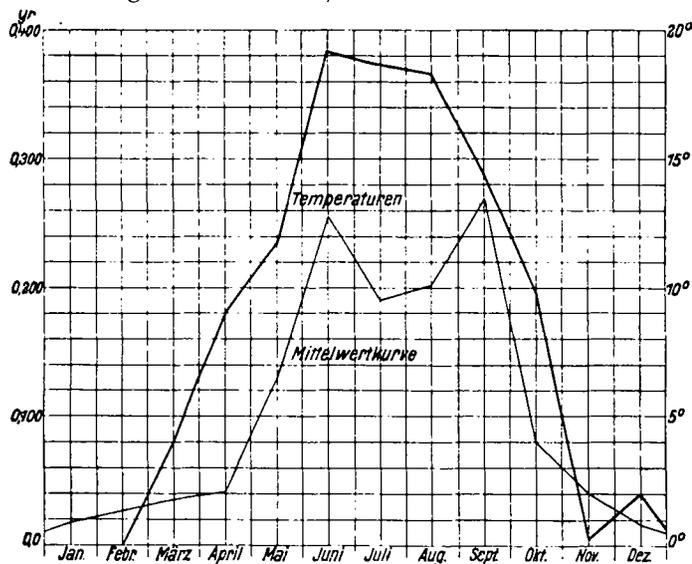


Fig. 13. Jahresverlauf von Bodenatmung und Temperatur.

gehende Untersuchungen über die Größe der Wurzelatmungen angestellt hat. Sie hat nach seinen Untersuchungen zwei Ursachen, einmal die Atmung der Wurzelzellen selbst und dann die Anhäufung von bestimmten Bakterien mehr freilebender Art in der Nähe der Wurzeloberfläche (Rhizosphäre). Darüber hinaus habe ich nun die Beobachtung gemacht⁶⁾, daß die Bodenatmung von solchen Beständen, wo Schmetterlingsblütler wachsen, — also Pflanzen, die als Stickstoffsammelnde, d. h. als Träger von Stickstoff sammelnden Bakterien bekannt sind, — daß dort die Bodenatmung

⁶⁾ Technik in der Landw. 1924, H. 10, S. 187.

durch die Anwesenheit dieser Bakterienkolonien verstärkt wird (Fig. 14). Der Zusammenhang ist kurz folgender: Man sieht in Fig. 15 schematisch eine Klee- pflanze, an deren Wurzeln zahlreiche kleine Knötchen sitzen, welche die Kolonien der Knöllchenbakterien enthalten. Diese Bakterien beziehen ihr Energiematerial von Blättern der Pflanze selbst durch deren Leitbündel in Form von zuckerartigen Stoffen. Sie sind dann in der Lage, den Stickstoff der Luft zu binden, dafür aber

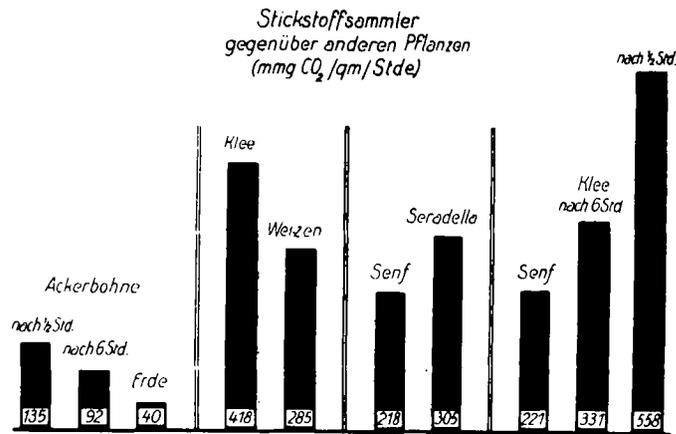


Fig. 14. Bodenatmung verschiedener Bestände (Leguminosen gegen Getreide usw.).

scheiden sie Kohlensäure ab. Diese Kohlensäure entweicht und wird zum größeren Teil nach oben zu gegen die freie Atmosphäre abgegeben, wo sie als Zusatz zu derjenigen Bodenatmung, welche durch die freilebenden Bodenbakterien und die gewöhnliche Wurzelatmung entsteht, hinzukommt. Es ließ sich dies leicht so nachweisen, daß man die Glocke zur Bestimmung der Bodenatmung

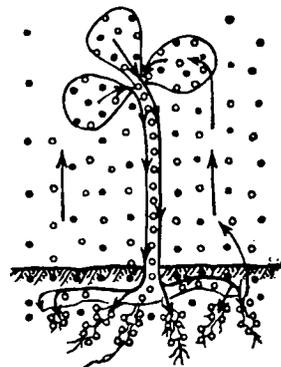


Fig. 15. Schematische Darstellung des Kohlenstoffweges bei Stickstoff sammelnden Pflanzen.

- Von frei in der Ackerkrume lebenden Bakterien erzeugte C-Atome in Form von CO₂. Ungefähr in diesem Betrage findet Aufbau der Pflanzenmasse statt. (Assimilationsstrom.)
- Von den Knöllchenbakterien erzeugte C-Atome in Form von CO₂. Ungefähr in diesem Betrage erfolgt Rückkehr der C-Atome zur Ernährung der Knöllchenbakterien. (Kurzschlußstrom.)

zu verschiedenen Zeitpunkten aufsetzt, nachdem man den oberen Teil der Pflanzen von den Wurzeln getrennt hat. Je länger man wartet (Fig. 14, B. Klee), desto weiter haben die Knöllchen das ihnen von den Blättern zufließende Energiematerial verarbeitet und legen mangels Kohlenzufuhr ihre Stickstoffabrik mehr und mehr still, und ihre Schornsteine liefern keine Kohlensäure mehr. Dadurch wird dann der in Fig. 15 schematisch dargestellte enge Kreislauf der Kohlensäure unterbrochen. Dieser enge Kohlensäurekreislauf scheint namentlich unter dem Gesichtspunkte der Kohlensäure-Lichtproduktregel dahin zu wirken, daß in einem geschlossenen Bestände von Leguminosen auch noch die in ziemlicher Dunkelheit in Erd-

nähe sitzenden Blätter zu arbeiten und sich zu erhalten vermögen. Andererseits erklärt dieser Zusammenhang die Beobachtung, daß bei künstlicher Kohlensäurebegasung namentlich Bohnen und Lupinen (Riedel und Lundegårdh) besonders dankbar sind. Dr. Riedel fand, daß durch Begasung im Freien bei Lupinen ein mehr wie doppelt so starker Ertrag erzielt wird.

Alle die verschiedenen Faktoren, welche die Bodenatmung beeinflussen, wirken im Verlauf der Wachstumszeit der grünen Pflanzen mit einem gewissen weitestgehenden Gleichlauf so, daß Zeiten vermehrter Bodenatmung auch mit Zeiten begünstigten Pflanzenwuchses übereinstimmen. Dies geht aus Fig. 13 durch Vergleich der mittleren Monatstemperatur im Laufe des Jahres und der mittleren Bodenatmung desselben Jahres hervor. Da außerdem im Laufe des Tages sehr häufig das oben bei der Luftanalyse gekennzeichnete Minimum an Kohlensäuregehalt im Niveau der Grüngrenze vorhanden ist, so bietet das eine Gewähr, daß die Kohlensäure, welche vom Boden entsteht, auch wirklich ausgenutzt wird. Was aber nun diejenige Kohlensäuremenge anlangt, welche im Laufe der Nacht dem Boden entsteigt, so ließ sich an Hand der Diffusionsgeschwindigkeit von Kohlensäure gegen Luft zeigen⁷⁾, daß im Verlaufe von einer 6—7-stündigen Nacht, diese Kohlensäure sich im allgemeinen durch Diffusion nicht höher als 3 m über den Erdboden erhebt, ja zum allergrößten Teil innerhalb des ersten, bzw. zu einem kleinen Teil innerhalb des zweiten Meters Luftschicht über dem Boden ansammelt. Diese Tatsache ist, unabhängig von dieser Berechnung, auch aus den analytischen Befunden in Fig. 5 (S. 499) zu ersehen. Selbstverständlich wird bei windigem Wetter und in Sturm Nächten diese nächtlich entstehende Kohlensäure nicht örtlich festgehalten. Immerhin ergibt sich aber für einen großen Teil der Vegetationszeit der Kulturpflanzen, daß die vom Standorte entwickelte Kohlensäure weitgehend verzehrt und wohl auch ausgenutzt wird.

V.

Einiges zum Humusproblem.

Aus diesen Erwägungen heraus bekommt das Humusproblem neuerdings ein anderes Gesicht. Nachdem man den Humus in der rein mineralistischen Epoche als nur ein den Boden physikalisch verbesserndes Mittel gelten ließ, ist er unter dem Einfluß der Arbeiten über die Bedeutung der Bodenbakterien für das Pflanzenwachstum wieder mehr als ein chemisches Energiematerial beachtet worden. Er dürfte in Zukunft als wesentliche Kohlenstoffquelle zur Erzielung höchster Erträge bei Kulturpflanzen eine wesentliche Rolle spielen. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß im wesentlichen jeder Humus einmal durch die Tätigkeit grüner Pflanzen, die sich Kohlensäure aus der Luft angeeignet haben, entstanden ist. Eine Frage aber bleibt übrig, ob bei der heutigen angespannten Art der gewerblichen Pflanzenerzeugung in Landwirtschaft und Gärtnerei Höchsterträge von der Fläche erzielbar sind, wenn diese Pflanzen allein darauf angewiesen wären, die nötige Kohlensäure aus der obersten Atmosphäre heranzuziehen. Es hat den Anschein, als ob hinsichtlich der Fähigkeit mehr oder weniger Freiluftkohlensäure anzusaugen, bzw. umgekehrt, die bodenbürtige Kohlensäure weitestgehend auszunutzen, die verschiedenen Kulturpflanzen sich unterscheiden: Hierfür sei besonders daran erinnert, was sich oben aus den Kohlensäuregehaltkurven bei Weizen und Zuckerrüben ergibt (Fig. 5 u. 6). Die mehr oder minder große Stärke der Assimilationstätigkeit zeigt sich dort

deutlich, wenn in der Blattnähe eine wesentliche Erniedrigung der Kohlensäurekonzentration die Folge ist, dann muß auch die Nachdiffusion von der freien Luft her sich verstärken. Andererseits aber werden solche intensiv assimilierende Blätter wie die der Zuckerrübe auch die im Boden entstehende Kohlensäure vielleicht noch mit größerer Gewalt an sich reißen, als die nach der oben geschilderten Methode zur Bestimmung der Bodenatmung gewonnenen Zahlen erwarten lassen; denn unter der Lundegårdhschen Glocke muß die Kohlensäure der Bodenluft in die eingeschlossene Luft hineindiffundieren, während deren CO₂-Gehalt stetig zunimmt. Wenn dagegen bei Tage assimilierende Blätter in Bodennähe tätig sind, werden sie die Bodenkohlensäure etwas stärker an sich heranziehen. Daß die Kulturgewächse Kartoffeln und Rüben mit großer Vorliebe direkt in den Stallmist gebaut werden, welcher im ersten Jahre nach seiner Einbringung und namentlich auch in den ersten Wochen danach am raschesten sich zersetzt, dürfte aus diesem Zusammenhange eine neue Beleuchtung erfahren. Die Art und Weise der Verteilung der einzelnen Pflanzen auf der Ackerfläche, enge Reihen, weite Reihen, Einzelpflanzen usw. ist hier ebenfalls bedeutungsvoll. Wie auf den Stallmist meist Kartoffeln oder Rüben folgen, und dies altgewohnte Tun aus dem Gesichtspunkte der Bedeutung der bodenbürtigen Kohlensäure eine neue Aufklärung findet, so dürfte des weiteren die Art der Fruchtfolge, wie sie seit alters her üblich ist, hiermit etwas zu tun haben. In der Tabelle 2 sind zu den mittleren Ernte-

Tabelle 2.

Die Verteilung des Kohlenstoffes bei mittelguten Ernten in kg/ha.

| | Umsatz | zurück | Verbrauch aus Boden und Luft | vom Acker entnommen |
|----------------------|--------|--------|------------------------------|---------------------|
| Rüben | 3375 | 1050 | 2325 | 2000 |
| Kartoffeln | 2900 | 1300 | 1600 | 1200 |
| Weizen | 2830 | 2030 | 800 | 450 |
| Wiese | 2200 | 1500 | 700 | 100 |
| Roggen | 2400 | 1770 | 630 | 280 |
| Hafer | 2300 | 1900 | 400 | 50 |

erträgen in Deutschland die Mengen von Kilo C errechnet, welche im Mittel durch die verschiedenen Feldfrüchte pro Jahr und Hektar in Pflanzensubstanz — Wurzel, Halme und Früchte — festgelegt werden: Rubrik Umsatz. In der nächsten Rubrik ist angeführt, was von diesem Kohlenstoff bei üblicher Wirtschaftsweise wieder mehr oder weniger rasch in die Erde zurückkehrt, so daß dann in der dritten Zahlenrubrik der eigentliche Verbrauch als Differenz erscheint. Etwas problematischer ist die Zahlenreihe in der letzten Rubrik. Sie gründete sich auf von verschiedenen Seiten und an den verschiedensten Orten gemachte Angaben über die Abnahme des Humusgehaltes bei fortgesetztem Anbau der gleichen Pflanzenart und trägt überdies der Tatsache Rechnung, daß gerade Rüben und Kartoffeln sich höchsterträglich nicht bauen lassen, wenn nicht mit Stallmist gewirtschaftet wird. Diese letzte Rubrik ergibt nun, daß die verschiedenen Hauptpflanzenarten Wurzelfrüchte und Halmfrüchte an die Kohlensäureabgabefähigkeit des Bodens verschieden starke Ansprüche stellen. Wenn man sie deshalb in einer gewissen regelmäßigen Reihenfolge anbaut und entsprechende Vorsorge trifft, daß durch Stallmistgaben Humusersatz getrieben wird, dann wird man auch auf eine gewisse Gleichförmigkeit der Erträge hoffen können. Es ist in dieser letzten Rubrik im großen und ganzen damit gerechnet, daß geschlossene Kulturbe-

7) Die Technik i. d. Landwirtschaft 1924, S. 96 u. 183.

stände in einer Kulturperiode zwischen 300 und 600 kg C, im Mittel 400, aus der freien Luft ansaugen. Im Mittel ist der Verbrauch in Rubrik 3 bei den Hauptkulturpflanzen der Landwirtschaft, also unter Ausschluß von Rüben und Kartoffeln, die nur ein Sechstel der Erntefläche Deutschlands belegen, etwa 600 kg C angegeben. Stellt man diese beiden Zahlen gegeneinander, so kommt man überschlägig dazu, daß etwa $\frac{2}{3}$ des umgesetzten Kohlenstoffes aus der freien Luft und $\frac{1}{3}$ vom Boden her stammt. Immerhin bleibt eine auch schon an verschiedenen Orten (Kansas, Rothamsted) beobachtete allmähliche Verarmung an Humus bzw. Kohlenstoffgehalt des Kulturbodens zu erwarten. Deshalb wird die Frage des Kohlenstoffersatzes in Zukunft nicht mehr von der Tagesordnung verschwinden. Es wird deshalb die in Tabelle 3⁸⁾ gegebene Übersicht über den Wert des

Tabelle 3.

Menge und Preis des in einigen Stoffen vorkommenden Kohlenstoffes.

| 1 kg Kohlenstoff ist enthalten in | | 1 kg Kohlenstoff kostet |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------|
| Art der Ware | Menge in kg | Pfennige |
| Ackererde | 100 | 0,2 |
| Torf | 2,6 | 3 |
| Steinkohle | 1,25 | 5 |
| Stroh | 3 | 1,6 |
| Holzkohle | 1,4 | 10 |
| Stallmist | 10 | 10 |
| Benzin | 1,25 | 50 |
| Kartoffeln | 10 | 60 |
| Roggen | 3 | 75 |
| Brennspiritus | 2,2 | 100 |
| Mehl | 3 | 150 |
| Zucker | 3 | 180 |
| Erbsen | 3,4 | 180 |
| Weißbrot | 3,4 | 245 |
| Schmalz | 1,25 | 250 |
| Milch | 12 | 370 |
| Butter | 1,25 | 550 |
| Bier | 8,51 | 800 |
| Fleisch | 2,6 | 800 |
| Äpfel | 10 | 800 |
| Eier | 10 | 2000 |
| Blumenkohl | 12,5 | 2500 |
| Apfelsinen | 2,5 | 4000 |
| Treibhausgurken | 8 | 50000 |
| Nelken oder Rosen | 4 | 350000 |
| Orchideen | 4 | 2000000 |
| Diamanten | 1 | 12000000 |

Kohlenstoffes in verschiedenem Rohmaterial und landwirtschaftlichen Erzeugnissen von gewissem Interesse sein. Sie bietet auch unschwer jedem, der sich für die Frage besonders interessiert, eine Handhabe dafür, zu berechnen, welchen Rohstoff man etwa, wenn man es nur fertigbringt, ihn zu Kohlensäure abzubauen, für dieses Problem heranziehen könnte, und mit welchem Nutzeffekt er verwendet werden muß, um noch einen wirtschaftlichen Nutzen zu lassen. So zeigt die Tabelle z. B., daß man den teuren Kohlenstoff des Strohes wohl verkaufen könnte, um dafür den billigeren von Torf einzutauschen, wenn nur, was man zu der Untersuchung bedarf, beide Kohlenstoffarten in demselben Umfange bakteriellem Abbau zugänglich sind.

⁸⁾ Es ist immerhin interessant, daß Friedrich der Große, um die Gartenkultur anzuregen, für jede ihm im Winter angebotene Kirsche oder jeden Pfirsich einen Taler bot und daß auf dieser Basis gerechnet, der Kohlenstoff in diesen Früchten mit etwa 8 Millionen Pfennigen das Kilo aufgewogen wurde, also nahezu den Wert des Diamanten erreichte (Denkwürdigkeiten des General Diebitzsch).

VI.

Die Kohlensäuredüngung.

Damit gelangen wir zu den Aufgaben der Kohlensäuredüngung. Diese wird zunächst einmal in der Gärtnerei, soweit sie sich der Glashäuser und Frühbeete unter Glas bedient, schon seit langem unbewußt verwendet. Bei der Frühreiberei von Gurken, die manchmal schon am Ende November oder Anfang Dezember begonnen wird, werden die dicht schließenden Glashäuser nicht ein einziges Mal während der ganzen Kulturperiode, die bis Anfang Mai dauern kann, gelüftet; und doch erzeugen solche Häuser Hunderte von Kilogramm an neuen Blättern, Ranken und Früchten. Es ist aber unwahrscheinlich, daß alle hierzu nötige Kohlensäure durch etwaige Fugen, Undichtigkeiten im Mauerwerk usw. von draußen hereingekommen wäre. Namentlich ergibt aber die analytische Prüfung des Kohlensäuregehaltes der eingeschlossenen Luft, daß er z. B. zu Beginn einer solchen Treibperiode gelegentlich um das Fünf- bis Zehnfache so groß ist, wie in der freien Luft. Nach dem über die Bodenatmung Auseinandergesetzten ist dies nun weiter nicht verwunderlich und die Bestimmung der Bodenatmung von mistreicher Erde in Gurkenhäusern ergibt eine Leistung solcher Erde von 2,5, 2 und 1 g je Stunde. Es ist nur erstaunlich, daß selbst unter diesen Umständen noch ein künstliches Zuführen von Kohlensäure, wie es mittels des von mir in die Gärtnerei eingeführten Apparates (Oco-Dunggasspender) leicht möglich ist noch ein weiteres Steigen der Produktion und namentlich eine Verfrühung des Fruchtertrages verursacht.

Das Oco-Verfahren selbst besteht darin, daß die Kohlensäure, die sonst für den Gärtner ein schwierig handliches Düngemittel wäre, in feste Formen gebracht wurde. Dies geschah dadurch, daß man geeignete Kohlenarten so zurichtete, daß sie beim Verbrennen ohne Rauch und Geruch nur Kohlensäure liefern. Und zwar wird die Kohle in solchen Mengen zur Einheit gepreßt, daß jede Einheit hundert oder ein Mehrfaches von hundert Litern Kohlensäure liefert. Bei der Verbrennung selbst wird ein geeignet gebauter ofenartiger Apparat, der Dunggasspender oder die Gaskanne, verwendet. Durch das Ansaugen der Verbrennungsluft und durch das Aufsteigen der warmen Verbrennungsgase wird eine gelinde Luftbewegung im Raume bzw. in der Umgebung der Pflanze erzielt, so daß hierdurch gegenüber der langsam wirkenden Diffusion durch Massenbewegung der Gase eine gleichmäßige Verteilung der Kohlensäure geschieht. Durch Einführung dieses Verfahrens ist es möglich gewesen, in kurzer Zeit schon etwa 800 praktische Gartenbaubetriebe zur Mitarbeit an dem Problem der Kohlensäuredüngung so heranzuziehen, daß die Düngung selbst für die Beteiligten nützlich und rentabel wird. Mehrerträge von Gurkenfrüchten von 25—30% sind die Regel, und eine Verfrühung der Ernte schwankt zwischen ein und vier Wochen; die Erfolge beziehen sich aber nicht nur auf Fruchtertrag, sondern auch auf frühere und reichere Blüte, vermehrte und verschönten Blattansatz (Figg. 3 u. 4), besseres Gedeihen der Kultur und manches mehr.

Was nun die Kohlensäuredüngung im Freien anlangt, so hat Dr.-Ing. Fr. R i e d e l, Essen, das Verdienst, einen großzügigen Versuch durch die Deutsch-Luxemburgische Bergwerkshütten A.-G. ins Leben gerufen zu haben. Hier wurden Hochofenabgase nach völliger Verbrennung in Winderhitzern und Befreiung von Flugstaub durch

Zementröhren auf große Feldstücke geleitet. Es sind bei allen üblichen Feldfrüchten Ertragssteigerungen zwischen dem 1,5- und 2,8fachen beobachtet worden. Es wäre nun zu begrüßen, wenn derartige Versuche im Anschluß an chemische Fabriken, die dies bei der meistens freien Lage draußen auf dem Lande leicht könnten, unter Verwertung von Schornsteinabgasen wiederholt würden.

Die große Praxis der Landwirtschaft wird sicherlich zunächst in sparsamerer Weise ihre Kohlensäuredüngung so durchführen, daß sie all das beachtet, was oben über die Bodenatmung und den bakteriellen Abbau der Humusstoffe angeführt bzw. angedeutet wurde. Denn wahrscheinlich ist ein weitgehendster Nutzeffekt der Kohlensäure, welche im Erdboden selbst durch Bakterientätigkeit entwickelt wird und dann durch die feinsten Poren und Spalten der Ackererde entweicht, gewährleistet. Man erinnere sich nur des Gleichlaufes bei der Kurve von bakterieller Bodentätigkeit und vom Wachstum grüner Pflanzen (Fig. 16), ferner der Tatsache, daß

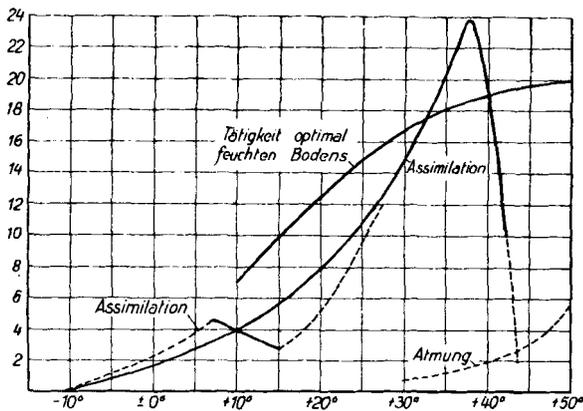


Fig. 16. Assimilation, Atmung und Boden-tätigkeit in Abhängigkeit von Temperatur.

die Kohlensäure durch Diffusion praktisch nicht so stark weggeführt wird, wie man das früher namentlich für die Nachtzeit glaubte annehmen zu sollen. Die richtige Einschaltung von Gründüngerkulturen, also eine Wirtschaftsweise: „Immergrün“ wird weiter dazu beitragen, etwa sonst sich verflüchtigende Kohlensäure in der Wirtschaft festzuhalten, bzw. aus der freien Luft anzuziehen und so die Wirtschaft zu bereichern (Schultz-Lupitz). Der Chemiker mag aber in diesem Zusammenhang nie vergessen, was oben in Fig. 11 u. 12 gezeigt wurde, daß jede Düngung mit den üblichen Düngungssalzen auch gleichzeitig einen vermehrten Humusabbau oder automatische Kohlensäuredüngung bedeutet.

VII.

Sonderwirkungen der Kohlensäuredüngung.

Wenn wir von der Bedeutung der Kohlensäure bei der Pflanzenerzeugung sprechen, so kommt es schließlich nicht nur auf Massenerzeugung an, sondern es kann auch die Frage der Qualität der Erzeugnisse und der Zeit und Art des Erzeugnisses von Bedeutung sein. Da die Kohlensäure nicht nur Nährstoff der Pflanzen ist, sondern auch Endergebnis des Stoffwechsels bei der Atmung, so hat sie auch in dieser Beziehung die verschiedensten Wirkungen auf die gesamte Pflanzenerzeugung. Es ist oben schon angedeutet, daß z. B. die Wurzeln, die ja ohne Licht und ohne Chlorophyll leben, im allgemeinen Kohlensäure abgeben müssen, wenn die Pflanze gedeihen soll. Es hat ferner Schmidt am Fichtensamen nachgewiesen, daß dessen Keimung durch stark kohlensäure-

haltiges Wasser beschleunigt, stimuliert wird. Andererseits haben Versuche von Lundegårdh erwiesen, daß junge grüne Keimlinge, wenn sie z. B. unter einer Schneedecke in eine kohlensäurereiche Atmosphäre von 1½–2% CO₂ kommen, dem Befallen von Schneeschimmel stärker ausgesetzt sind, wie in kohlensäurefreier Luft. Andererseits hat aber E. Hiltner die interessante Beobachtung gemacht, welche von praktischen Gärtnern, die Kohlensäure anwandten, schon seit einigen Jahren immer wieder betont wurde, daß gut mit Kohlensäure versorgte Pflanzen gegenüber gewissen Krankheiten widerstandsfähiger sind. Hiltner hat gezeigt, daß die Dörrfleckenkrankheit des Hafers durch Kohlensäuredüngung sowohl verhindert wie auch geheilt werden kann: eine Krankheit, von der man bisher glaubte, sie nur mit Mangansalzen beheben zu können. Daß eine vermehrte Kohlensäuredüngung bei Pflanzen, diese unter Umständen veranlassen kann, aus dem mehr vegetativen Wachstum in das generative des Blühens und Fruchtens überzugehen, wurde schon oben erwähnt. Die theoretische Erklärung für diese Erscheinung geht auf die Versuche von Klebs zurück. Praktisch ist sie in der Frühreiberei von Blumen und Frühgemüsen bedeutungsvoll und wird auch nach Ansicht von Bornemann bei der Bestockung des Getreides nicht ohne Einfluß sein.

Ich möchte an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen, daß die Fortführung meiner Arbeiten seit dem letzten Jahre durch Unterstützung des Reichsernährungsministeriums, des Bayrischen Ministeriums für Landwirtschaft, des Vereins deutscher Ingenieure und des Kalisyndikats ermöglicht wurde. [A. 253.]

Nachtrag zu dem Aufsatz:

Über die Fachausdrücke in der Wernerschen Theorie der anorganischen Komplexsalze.

Von Dr. TH. STECHÉ, Göttingen.

(Eingeg. 22. März 1926.)

Prof. Fr. Hahn in Frankfurt hat mich freundlichst darauf aufmerksam gemacht, daß er in seiner Arbeit „Komplexe mit unsymmetrischen zweizähligen Liganden“¹⁾ für den Begriff „koordinativ x-wertig“ das Wort „-zählig“ vorgeschlagen hat. Als ich meinen Vorschlag „-ortig“ am 26. Juli 1925 der Nomenklatur-Kommission der Deutschen Chemischen Gesellschaft einreichte, war die Arbeit von Prof. Hahn noch nicht erschienen; sie ist mir leider unbekannt geblieben, weil ich nach Einreichung meines Vorschlags die Literatur über diese Fragen nicht weiter verfolgt hatte. Gegen das Wort -zählig habe ich vom sprachlichen Standpunkt aus nichts einzuwenden.

Ferner macht mich Prof. Hahn darauf aufmerksam, daß das Wort N-Methyl-chininiumbromid günstiger sei als die Bezeichnung Chinin-methylum-bromid, wenn man die am Kohlenstoff methylierten Derivate als C-Methyl-chininiumbromid unterscheidet. Dasselbe wird in einem soeben erschienenen Aufsatz von Fr. Richter²⁾ ausgesprochen. Ich halte diese Ansicht für zutreffend. In meinem Aufsatz sollte hauptsächlich zur Abschaffung der irreführenden Bezeichnung Brommethylat aufgefordert und die vorhandenen sprachlichen Möglichkeiten sollten angegeben werden; welche davon die günstigsten sind und wieweit sie eingeführt werden können, kann natürlich nur durch Erörterung unter den Spezialfachleuten festgestellt werden. [A. 60.]

¹⁾ Z. anorg. Ch. 144, 117, eingeg. 19. Februar 1925

²⁾ Vgl. Z. ang. Ch. 39, 377 [1926].