ressante au double point de vue de la géologie et de l'hydrologie du Liasique inférieur du Grand-duché.

Ces pourparlers terminés, la séance fut levée.

Ed. PIERRET.

Über Kohlensäuredüngung.

Von Prof. **Edm. J. Klein,** Luxemburg.

In der bekannten hüttentechnischen Zeitschrift «Stahl und Eisen» *) veröffentlicht Dr. ing. *Friedr. Riedel* in Essen-Ruhr eine umfassende illustrierte Abhandlung, in welcher er von Versuchen berichtet, bei denen den Kulturpflanzen die Kohlensäure in größerer Menge künstlich zugeführt wurde mit dem Ergebnis einer annehmbaren Steigerung des Kohlenstoffgewinns seitens der behandelten Gewächse. Die Arbeit trägt den Titel: «*Ausnützung der Hochofenabgase zur Kohlensäuredüngung*» und schließt mit folgenden Worten: «Bei den ungeheuren Mengen reiner Hochofenabgase, welche unsere Eisenhüttenindustrie liefert, bietet sich hier, sowohl für Gärtnereien wie für die Landwirtschaft, ein aussichtsreiches Mittel zur Erhöhung der Ernten.»

Damit ist die Frage der Kohlensäuredüngung in ein neues Stadium getreten, indem Versuche auf breiter Basis merkliche Ergebnisse erzielt zu haben scheinen, welche zur Weiterarbeit anregen. Die eben erwähnte Studie steht aber auf dem einseitigen praktischen Standpunkt des Ingenieurs, und es läßt sich nicht leugnen, daß da die Gefahr winkt, die Schwierigkeiten des Problems nach anderen Seiten, besonders nach der biologischen, zu übersehen. Es könnte so leider ein Optimismus zustande kommen, der zuviel erwarten wollte und unter andern unerwünschten Folgen auch die zu haben imstande wäre, daß bei etwaigem Versagen eines späteren Experimentes Entmutigung einträte, und das Forschen zum großen Nachteil der wichtigen Sache aufgegeben würde.

Aus dem Grunde empfiehlt es sich, daß auf diesem Grenzgebiete die beiden interessierten Wissenskreise, jener der Techniker und jener der Biologen, zusammenarbeiten und ihre Erfahrungen austauschen und gegenseitig ergänzen. Möge es mir daher gestattet sein, an dieser Stelle, auf Anregung der Ingenieure aus unserer Gesellschaft, die Gesichtspunkte des Biologen etwas näher zu beleuchten, um vor Übereilung zu bewahren und die sehr löblichen und aussichtsreichen Bestrebungen der Technik

*) Stahl und Eisen 1919, Nr. 49, p. 1497—1506.

auf den richtigen Boden zu stellen und in Erfolg versprechende Bahnen zu leiten.

Das Problem der Düngung unserer Kulturpflanzen mit Kohlensäure drängt sich eigentlich auf. Wissen wir doch, daß der ganze Bedarf der Pflanze an Kohle nur aus dem Kohlensäurevorrat der Atmosphäre gedeckt werden kann, denn irgend eine andere Zufuhr, sei es in elementarer Form oder als Verbindung, ist ergebnislos. Und doch ist der Gehalt der Luft an Kohlensäure ein auffallend geringer, etwa 0.033 Gewichtsprozente, wovon übrigens nur $^3/_{11}$ Kohle sind. Das macht auf 10 000 Liter Luft zwei Gramm! Diese nichtssagende Quantität muß aber reichen für den Bedarf aller Pflanzen und außerdem aller Tiere und Menschen auf Erden. Letzten Endes ist es uns gestattet, zu behaupten, daß der Kohlenstoff, welcher in irgend einer organischen Verbindung unseres Planeten steckt, einmal als Kohlensäure in der Luft schwebte.

Als gegen Anfang des vorigen Jahrhunderts die ersten Gelehrten auf diesem Gebiete ihre festfundierten Ansichten über den Stoffwechsel der Kohle äußerten, wurden ihre Mitteilungen mit Lächeln entgegengenommen; es war aber auch ein starkes Stück, zu verlangen, daß eine so dürftige Quelle den Kohlenstoff für alle irdischen Bedürfnisse liefern sollte. Die Entdecker selbst, ein *Jan Ingenhouß*, ein *Théoph. de Saussure*, begannen zu zweifeln, und sie verteidigten ihre Anschauungen mit so wenig Erfolg, daß diese schließlich in Vergessenheit fielen, und es der wuchtigen Autorität eines *Liebig* bedurfte, um sie wieder ans Licht zu ziehen und ihnen allgemeine Geltung zu verschaffen. Das gelang *Liebig* durch überzeugende Spekulation nach doppelter Richtung: Zuerst konnte er dartun, daß, wenn auch die relative Menge des Kohlenstoffes in der Luft eine recht kleine ist, dennoch die absolute, d. h. der gesamte Vorrat ins Unermeßliche steigt, da eben die Luft eine riesige Ausdehnung besitzt. Zweitens konnte *Liebig* beweisen, daß jedes Quantum Kohlensäure, welches die Pflanze dem Luftmeere entnimmt, sofort wieder ersetzt wird durch neue Mengen, die stammen aus den Verbrennungen, aus Gärung, Atmung und Fäulnis, welche ja letzten Endes nur in einer Mobilmachung des in den Pflanzen festgelegten Kohlenstoffes bestehen. Auch vulkanische Ausbrüche und Mineralquellen beteiligen sich an dem Ersatz der fortgenommenen Kohlensäure. Die absolute Menge der atmosphärischen Kohlensäure ist eine enorme. Auf 10 000 Liter kommen nur, wie oben angegeben, zwei Gramm Kohlenstoff; aber der die Erde umhüllende Luftmantel enthält soviele Millionen Liter, daß «petit à petit», dennoch ein riesiges Quantum Kohlensäure zustande kommt. Die neuesten Berechnungen von *H. Schröder*-Kiel stellen dieses Quantum auf 2100 Billionen

Kilogramm Kohlensäure; diese bergen achtmal mehr Kohlenstoff als die Kohlenvorräte aller Länder zusammen ausmachen. Von solcher Menge könnte die Vegetation der Erde, ohne daß etwas hinzukäme, während 35 Jahren normal leben, und eine Wiese von der Oberfläche aller Kontinente hätte daran genug für 20 Jahre.

Die Pflanzen allerdings brauchen viel davon. Ein Baum von hundert Zentnern trockenen Festholzes führt 2500 Kg. Kohlenstoff, und um sich diesen zu sichern, muß er 12 Millionen Kubikmeter Luft durch seine Gewebe streichen lassen; ein Hektar Zuckerrüben nutzt 44 Millionen Kubikmeter Luft aus und entnimmt ihnen 70 000 Kg. Kohle, das sind 7 Eisenbahnwagenladungen.

Die Quellen, aus welchen der Atmosphäre Kohlensäure zuströmt, um die von den Pflanzen fortgenommene zu ersetzen, fließen reichlich. Alle Schlote, die auf Erden rauchen, spenden fast die gesamte im Brennstoff gespeicherte Kohle in Form von Kohlensäure. Bedenken wir, daß beispielsweise die Kruppschen Werke in Essen vor dem Kriege täglich 240 Eisenbahnwagenladungen Steinkohle verbrannten, und wir können uns ein Bild machen von der Leistungskraft der Industrie in diesem Sinne. Ein Mensch atmet pro Tag 245 Gramm Kohle in Form von Kohlensäure aus; für die ganze Menschheit macht das in grober Schätzung 340 Millionen Kilo, eine gewiß nicht zu verachtende Zahl. Da aller in den Lebewesen festgelegter Kohlenstoff schließlich durch chemischen Zerfall der Kadaver als Kohlensäure entbunden wird, und da dieser Vorgang der Zersetzung an jedem Punkte der Erdoberfläche unausgesetzt stattfindet, ist auch von dort ein bedeutendes Quantum zu erwarten. Manche Kenner behaupten sogar, es sei die hervorragendste Wirkung des Stalldüngers jene, daß er durch Fäulnis Kohlensäure erzeuge. Auf hohen Bergen scheint die Zersetzung des Humusbodens die einzige Kohlensäurequelle zu sein, da die schwere Kohlensäure des Tales nicht hinauf zu den Gipfeln gelangen kann, und eventuell dort erzeugte sofort an den Hängen zur Tiefe rieselt; das ist ein Grund unter andern, weshalb die Alpenpflanzen niemals in die Länge wachsen, sondern rosetten- und polsterartig geduckt bleiben und ihre Blätter mit der porenbedeckten Unterseite innig an den Boden schmiegen, um ja kein Deutchen des von dort aufsteigenden Kohlensäuregases verloren gehen zu lassen.

Wie dem auch sei, die relative Menge der in einem gegebenen Augenblick in der Atmosphäre verfügbaren Kohlensäure ist eine geringe. Wir wissen aber nun, daß dieses Quantum in früheren geologischen Perioden ein größeres war, und aus jener Zeit datiert ebenfalls eine viel üppigere Vegetation, die wir heute als Bildner oder als Einschlüsse der Steinkohlenlager sichten. Die

erste Kohlensäure auf Erden stammte wohl aus vulkanischen Ausbrüchen, und sie wurde dann von den ersten grünen Vegetalien aufgenommen und zerlegt. Dazu muß man rechnen, daß der dichte Kohlensäuremantel, welcher damals um unsern Planeten lagerte, dessen Lebensraum wie in ein Glashaus einschloß, in welchem sich Temperatur und Wasserdampfgehalt steigerten, was ebenfalls die Vegetation ungemein fördern mußte. Die Pflanzen trugen so nach und nach durch ihre Assimilationstätigkeit bei, daß der Kohlensäuregehalt der Luft abnahm und bis auf die heutige Stufe sank. Einige Autoren wollen sogar für eine gewisse Epoche eine noch geringere Menge postulieren, als wir heute besitzen, welche dann Schuld trug an dem Herabgehen der Temperatur, also an dem Eintreten der Eiszeiten. Auf alle Fälle dürfen wir festhalten, daß aller Kohlenstoff der Steinkohle und sonstiger Brennmaterialien einst als Kohlensäure aus der Luft geschöpft wurde, und *Thompson* berechnet sogar aus dem Betrag des atmosphärischen Sauerstoffes die Quantität der noch nicht abgebauten Steinkohlenvorräte.

Im Angesicht dieser Verhältnisse kam nun zumal bei Technikern die Meinung auf, es könne die Pflanzenwelt auch heute wieder zu gesteigerter Produktion getrieben werden, wenn man ihr eine größere Dosis Kohlensäure zukommen ließe, als sich normal in der Luft vorfindet. Diese Kohlensäuredüngung bedeutete in den Augen der Ingenieure einen ausgezeichneten Nebenerwerb für die Industrie; die Steinkohle bleibe nicht bloß mehr Energielieferant, sondern hebe sich auf die Stufe eines Rohstoffes. Die Logik dieser Berechnungen leuchtet ein; jedoch muß neben der sehr dabei interessierten Technik auch die Biologie gehört werden, und ich möchte eben als Biologe an dieser Stelle einiges dazu berichten.

Um die Möglichkeit und Ergiebigkeit eines Zusatzes von Kohlensäure zu den Kulturen zu erwägen, müssen wir uns erinnern, daß zur Zerlegung dieser Verbindung in ihre Bestandteile Kohlenstoff und Sauerstoff eine beträchtliche Energie nötig ist: Die Pflanze kann jedoch aus sich diese Energie nicht beziehen, sie muß sie also von außen hernehmen, und da wendet sie sich an die säkulare Spenderin aller Kraft, an die Sonne. Sämtliche grünen Pflanzen bedürfen zu ihrer Ernährung der Mithülfe der Sonnenenergie; nur im Lichte, sei es im direkten oder diffusen, können sie die Kohlensäure spalten und aus ihren Baustoffen organisches Material herstellen, welchen Vorgang man Photosynthese nennt. Nur einige niederste pflanzliche Organismen, so vor allen die Salpeterbakterien, vermögen aus chemischen Vorgängen, aus Oxydationen, soviel Energie freizumachen, wie zum Aufbau ihrer Nahrung erfordert ist; der Prozeß wird dann

als Chemosynthese bezeichnet. Die Sonne überflutet uns mit ungeheuren Energiemassen; auf ein Quadratmeter fallen im Jahre zwei Millionen Kalorien, und doch vermag die Pflanze von dieser Fülle nur ein weniges zu verwerten, etwa 1 %, da eben dieses genügt, um die jeweils vorhandene Kohlensäure zu spalten. Das hatte schon Liebig überlegen lassen, ob nicht bei Anwesenheit größerer Kohlensäurequantitäten mehr Energie zur Verwertung gelangen könnte, und es liegt auch jetzt noch immer der Gedanke der Kohlensäuredüngung sehr nahe. Theoretisch läßt sich berechnen, daß die von der Sonne fließende Energie genügen würde, um auf jedem Quadratmeter eine Ernte an Kartoffeln oder ähnlichen Vegetalien von 750 Kilogramm zu erzielen. Verübeln darf man es daher wohl den Aposteln der Kohlensäuredüngung nicht, daß sie ihre Hoffnungen recht hoch schrauben.

Allein wir wollen etwas genauer zusehen, denn ganze Erkenntnis tut not, damit wir vor Enttäuschungen bewahrt bleiben. Man darf nämlich unter keinen Umständen aus dem Auge verlieren, daß die Pflanzen lebende Wesen sind, welche sich nicht anfassen lassen wie die leblose Materie. — Da liegt, glaube ich, der Punkt, in welchem die Techniker nicht zu weit in ihrer Zuversicht gehen dürfen! Die blendenden Erfolge der angewandten Naturwissenschaft auf dem Felde der Industrie verleiten leicht zu der Auffassung, man könne auch die lebenden Körper mit gleichem Ergebnis meistern, und viel Überschwängliches ist uns Biologen bereits von physikalischer, technischer oder chemischer Seite prophezeit worden, das nachher in sich zerfiel, weil eben die lebende Substanz sich nicht in die Projekte der Experimentatoren fügen will.

Jede Pflanze ist an den ziemlich eng umschriebenen Komplex von Bedingungen angepaßt, den sie normalerweise an ihrem Standort vorfindet; sie hat diese Anpassung in langer Entwickelung erworben als letztes Ergebnis einer Kette von Kämpfen mit der Umgebung; aber das alles ist nur allmählich erfolgt und kann daher nicht plötzlich umgewandelt werden. (Schluß folgt.)

Untersuchungen über die Psychologie der Ameisen,

von **Robert Stumper,** z. Zt. Straßburg.

(Schluß.)

Zur näheren Kontrolle Hennings experimentierte ich darauf mit Ameisensäure, und zwar mit der käuflichen offizinellen Ware mit 24—25 % H. COOH. Die drei Konzentrationen 12.5 %, 5 % und 2.5 % ergaben stets negative Resultate, auch hier wur-