

mische Wirkungen betreffen, ist der röntgenographische Befund von besonderer Wichtigkeit. Bei der Aufklärung der Verfestigungserscheinungen durch Kaltreckung war es ausschlaggebend zu erfahren, ob das Kristallgitter, wie in manchen Theorien behauptet wird, eine merkliche Veränderung oder gar völlige Zerstörung erleidet. Die Beobachtung zeigte zwar, daß die Röntgenogramme fester Stoffe durch Kaltreckung ein anderes Aussehen bekommen; es gelang jedoch, alle Röntgenbeobachtungen auf Veränderung der Kristallorientierungen bei nicht merklich verändertem Gitter zurückzuführen<sup>22)</sup>.

Von chemischen Vorgängen an kristallisierten Stoffen, die ohne völligen Umbau des Gitters erfolgen, ist besonders die Aufnahme und Abgabe von Wasser im Röntgenbilde untersucht worden<sup>23)</sup>. Die Methode gestattet z. B. zu unterscheiden, ob der Wassereintritt von einer Aufweitung des Gitters begleitet ist, die der gesamten Volumzunahme entspricht, oder ob das Wasser zwischen die unveränderten Kristallpartikel eingelagert wird<sup>24)</sup>.

## VI.

Es ist selbstverständlich, daß durch Interferenzbeobachtungen auch Aufschluß erhalten werden kann über die kristallographische Orientierung eines Einzelkristalles und das Auftreten von bevorzugten Orientierungen in vielkristallinen Stoffen<sup>25)</sup>. Ersteres ist praktisch wichtig geworden bei Untersuchungen an metallischen Einkristallen<sup>26)</sup>. Von bevorzugten Orientierungen in vielkristallinen Stoffen hat eine Art der Orientierung außerordentliche Bedeutung erlangt, nämlich jene, welche durch Parallelstellung einer bestimmten kristallographischen Richtung in allen Kristalliten gekennzeichnet ist. Anordnungen dieser Art liegen den meisten Bestandteilen der höheren pflanzlichen und tierischen Organismen zugrunde<sup>27)</sup>. Auch die meisten natürlichen Faserstoffe verdanken ihre günstigen mechanischen Eigenschaften dem gleichen Bauprinzip („Faserstruktur“)<sup>28)</sup>, und bei künstlichen Faserstoffen läßt sich ähnliches durch geeignete Kunstgriffe erreichen. In der anorganischen Welt finden wir faserartiges Kristallwachstum bei Asbest, bei Kristalldrüsen verschiedener Herstellungsart, bei Gußstrukturen unter geeigneten Abkühlungsbedingungen, sowie bei elektrolytisch abgeschiedenen Metallen<sup>29)</sup>. Ungleich wichtiger aber sind bevorzugte Orientierungen infolge von mechanischen Wirkungen, die bei allen kaltgereckten Metallen vorliegen.

Die röntgenographische Untersuchung hat ergeben, daß hartgezogene Metalldrähte Faserstruktur aufweisen, und zwar stellt sich jeweils die mit Atomen am dichtesten belegte Netzebene senkrecht zur Drahrichtung<sup>30)</sup>. Analog stellen sich in hartgewalzten Blechen bestimmte Orien-

tierungen ein<sup>30)</sup>. Die röntgenographische Aufklärung beschränkt sich aber nicht auf das Endergebnis des Kaltreckens von Metallen, sondern mit ihrer Hilfe konnte auch der Reckvorgang selbst an Einkristall- und Vielkristallproben schrittweise verfolgt werden<sup>31)</sup>, so daß wenigstens dieser Teil der Verfestigungsfrage eine befriedigende Antwort erfahren hat. Ferner sind über die schrittweise Zerstörung der Kaltreckstruktur durch Rekristallisation interessante Anhaltspunkte gewonnen worden<sup>32)</sup>. Auch an nichtmetallischen Stoffen wurden bevorzugte Orientierungen durch mechanische Wirkungen nachgewiesen; sie sind naturgemäß am ausgeprägtesten bei Kriställchen von Blättchen- und von Nadelstruktur.

Ein weiteres Forschungsgebiet, auf dem Röntgenversuche über Kristallorientierungen wertvolle Hilfe darbieten, ist die Topochemie. Ein erfolgreicher Versuch nach dieser Richtung ist an Umsetzungen der Cellulose gemacht worden<sup>33)</sup>. [A. 255.]

## Die Bedeutung der Kohlensäure als Düngemittel.

Von H. NIKLAS, K. SCHARRER und A. STROBEL.

Aus dem Agrikulturchemischen Institut der Hochschule für Landwirtschaft und Brauerei Weihenstephan bei München.

(Eing. 9./11. 1924.)

Obwohl man schon seit langem weiß, daß die Hauptkohlenstoffquelle der Pflanzen die Atmosphäre ist, und der fundamentale Prozeß der Kohlensäureassimilation bereits eingehend erforscht wurde, ist noch immer die Tatsache wenig durchgedrungen, daß auch eine Erhöhung der relativen Kohlensäuremenge der Luft die Pflanzenerträge ganz beträchtlich steigern würde.

Perceval<sup>1)</sup> war wohl einer der ersten, welcher beobachtete, daß Pflanzen in kohlenstoffreicher Luft besser als in gewöhnlicher Atmosphäre gedeihen.

Senebier<sup>2)</sup> stellte ebenfalls die Tatsache fest, daß in Wasser untergetauchte grüne Pflanzen im Licht in künstlich kohlenstoffreicher gemachtem Wasser mehr Sauerstoff entwickeln als unter normalen Bedingungen. Von Saussure<sup>3)</sup> wurde dann der Einfluß höheren Kohlensäurepartialdruckes auf das Pflanzengedeihen näher experimentell untersucht. Da er jedoch die von ihm angewandten Kohlensäuregaben (von 8 % steigend bis zu reiner Kohlensäure) viel zu hoch wählte, konnte er nur bei den mit 8 % behandelten Pflanzen feststellen, daß sie besser wuchsen als die in normaler Luft befindlichen Vergleichspflanzen. Im Jahre 1873 gelang Godlewski<sup>4)</sup> der Nachweis, daß Steigerungen des Kohlensäuregehaltes der Luft innerhalb gewisser Grenzen die Assimilation wahrnehmbar fördern, wobei er das Optimum der Kohlensäure mit 5–10 % ermittelte. Kreuz-

<sup>22)</sup> Vgl. das Referat von R. Groß auf der Hauptversammlung der Ges. für Metallkunde 1924 und die anschließende Diskussion (Z. f. Met.-Kunde 16, 344).

<sup>23)</sup> Über Wasserabspaltung aus Mineralien vgl. zahlreiche röntgenographische Arbeiten von Rinne.

<sup>24)</sup> R. Katz u. H. Mark, Physik. Z. 25, 431 [1924].

<sup>25)</sup> M. Polanyi, Die Naturwiss. 16, 411 [1922]. Die Aufindung der Methoden zur Bestimmung von Kristallorientierungen durch Interferenzbeobachtungen und ihre vielseitige Anwendung ist vor allem den Arbeiten des Instituts für Faserstoffchemie in Dahlem zu verdanken.

<sup>26)</sup> siehe z. B. bei H. Mark, M. Polanyi u. E. Schmid, Z. f. Phys. 12, 58, 78, 111 [1922].

<sup>27)</sup> R. O. Herzog, W. Jancke u. M. Polanyi, Z. f. Phys. 3, 343 [1920].

<sup>28)</sup> R. Glocker u. E. Kaupp, Z. f. Phys. 24, 121 [1924].

<sup>29)</sup> M. Ettisch, M. Polanyi u. K. Weißenberg, Z. f. physik. Ch. 99, 332 [1921].

<sup>30)</sup> H. Mark u. K. Weißenberg, Z. f. Phys. 14, 328 [1923].

<sup>31)</sup> R. Glocker u. E. Kaupp, Z. f. Met.-Kunde 16, 377 [1924].

<sup>32)</sup> R. O. Herzog u. Londberg, Ber. 57, 329 [1924].

<sup>1)</sup> Perceval, Mémoires de la société de Manchester, Vol. 2.

<sup>2)</sup> Senebier, Recherches sur l'influence de la lumière solaire (1873). Vgl. Czapek, Biochemie der Pflanzen, Bd. 1, S. 509.

<sup>3)</sup> Saussure, Recherches chimiques sur la végétation, Paris 1804.

<sup>4)</sup> E. Godlewski, Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalt der Luft, Arbeiten aus dem Botanischen Institut in Würzburg 1, 343 [1873]; Bot. Ztg. 31, 441 [1873], u. Schützenberger, C. r. 77, 272 [1873].

ler<sup>5)</sup> betonte besonders, daß es nicht auf die absolute Menge, sondern nur auf die relative Konzentration der Kohlensäure ankäme. Er stellte fest, daß eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft bis zu 10% die Menge der Assimilationsprodukte erhöht, jedoch eine weitere Erhöhung des Kohlensäuregehaltes, besonders bei unzureichender Lichtstärke, schädlich auf die Pflanzen einwirkt.

Diese Versuche zeigen bereits, daß weder die Arbeitsfähigkeit der grünen Blätter, noch die zur Verfügung stehende Lichtstärke bei dem gewöhnlichen Kohlensäuregehalt der Luft voll ausgenützt werden.

Von Forschern, die auf diesem Gebiete arbeiteten, seien noch genannt Boussingault<sup>6)</sup>, Cloëz und Gratiolet<sup>7)</sup>, J. Böhm<sup>8)</sup>, P. Schützenberger und E. Quinquaud<sup>9)</sup>, N. I. C. Müller<sup>10)</sup>, Warburg<sup>11)</sup>, Déhérais und Maquenne<sup>12)</sup>, L. Montemartini<sup>13)</sup>, O. Treboux<sup>14)</sup>, E. Pantanelli<sup>15)</sup>. Auch die Versuche von Demoussy<sup>16)</sup> im Jahre 1903 beschäftigten sich mit der Beziehung zwischen Erhöhung des Kohlensäuregehaltes und Pflanzenwachstums und ergaben günstige Resultate.

H. Fischer<sup>17)</sup> studierte die Wirkung der erhöhten Kohlensäuremenge auf das Wachstum verschiedener Gartenpflanzen, welche er in kleinen Glashäuschen heranzog. Die hierzu notwendige Kohlensäure entwickelte er in diesen Glashäuschen dadurch, daß er Marmorabfälle oder Kalkstein mit verdünnter Salzsäure zersetzte; billiger kann die Anreicherung der Luft mit Kohlensäure

durch Abbrennen von gewöhnlichem Brennspritus erzielt werden. Um einer etwaigen Schädigung der Pflanzen durch Verunreinigung der Luft vorzubeugen, empfiehlt Hansen<sup>18)</sup>, die aus Kalkstein und Salzsäure entwickelte Kohlensäure durch eine mit Wasser gefüllte Waschflasche zu leiten. Das Resultat der Versuche von H. Fischer war, daß sich das Trockengewicht sowie die Blühwilligkeit bei einzelnen Pflanzen stark erhöhten und die Entwicklung beschleunigt wurde; bei einzelnen Gewächsen konnte überdies eine viel größere Widerstandsfähigkeit gegen allerlei Schädlinge festgestellt werden.

Winter<sup>19)</sup> berichtet über Versuche, die er in einem Warmhause durchgeführt hat und hebt den Wert der Kohlensäuredüngung hervor, die sich durch das üppige Wachstum und den Blütenreichtum seiner Versuchspflanzen (Orchideen) bemerkbar gemacht habe. Klein und Reinau<sup>20)</sup> stellten ihre Versuche in einem Treibhause an, wobei die Kohlensäurebegasung durch Bomben erfolgte, und der Kohlensäuregehalt im Gewächshaus bis auf das Zehnfache vermehrt wurde; sie konnten eine bedeutende Mehrproduktion nachweisen. Durch weitere Versuche von Klein und Reinau<sup>20)</sup>, Kisselew<sup>21)</sup> und Bornemann<sup>22)</sup> wurde festgestellt, daß die Pflanzen mit Kohlensäurezufuhr sich kräftiger entwickelten, daß sie eher zur Blüte gelangten, reicher und oft in lebhafteren Farben blühten, mehr Früchte trugen und auch widerstandsfähiger gegen Schädlinge waren. Hansen<sup>23)</sup> machte den Vorschlag, die Kohlensäuredüngungsversuche auch im Freiland durchzuführen, besonders bei Gemüsebeeten.

Willstätter und Stoll<sup>24)</sup>, deren Experimente hauptsächlich der Erforschung anderer, mit der Kohlensäureassimilation zusammenhängender Fragen galten, haben beobachtet, daß das Optimum der Kohlensäure wesentlich höher ist, als der normale Kohlensäuregehalt der Luft beträgt. Sie geben an, daß die assimilatorische Leistung unter den gegebenen Versuchsbedingungen zur Erhöhung der Kohlensäurekonzentration über 5% hinaus nicht weiter gesteigert werden könnte. Stöcklin und Peters<sup>25)</sup> berichten über Versuche, bei welchen sie bei in hohen Glaszylindern gezogenen Pflanzen Luft bzw. kohlensäure Luftgemische durch den Boden zuführten und dadurch ein bedeutend höheres Wachstum erzielten. Interessante Angaben über die Bedeutung des erhöhten Kohlensäuregehaltes der Luft für die Assimilation der Pflanzen macht Pfeffer<sup>26)</sup>.

Als Grund, warum man erst verhältnismäßig spät zu praktischen Folgerungen der wissenschaftlichen Tatsache kam, daß ein erhöhter Kohlensäuregehalt der Luft eine

<sup>5)</sup> U. Kreusler, Über eine Methode zur Beobachtung der Assimilation und Atmung der Pflanzen und über einige diese Vorgänge beeinflussende Momente, Landw. Jahrb. 14, 913 [1885]. Siehe auch H. Molisch, Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei, S. 47.

<sup>6)</sup> Boussingault, Agronomie 4, 219, 320, 324 [1868].

<sup>7)</sup> Cloëz u. Gratiolet, Ann. de Chim. et Phys. (3), 32, 41 [1851].

<sup>8)</sup> J. Böhm, Sitzungsber. Wiener Akad. 66, I [1872]; 78, I, 14 [1873].

<sup>9)</sup> Schützenberger u. E. Quinquaud, C. r. 77, 272 [1873].

<sup>10)</sup> N. I. C. Müller, Bot. Untersuchungen I, 353 [1876].

<sup>11)</sup> Warburg, Untersuch. bot. Institut Tübingen II, 122.

<sup>12)</sup> Déhérais u. Maquenne, Ann. agronom. 1881.

<sup>13)</sup> L. Montemartini, Bull. Soc. Bot. 62, 683 [1895].

<sup>14)</sup> O. Treboux, Flora 92, 49 [1903].

<sup>15)</sup> Pantanelli, Jahrb. wiss. Bot. 39, 167 [1904]. Zitiert nach F. Czapek, Biochemie d. Pflanzen 1, 527 und 528. A. Meyer, Lehrbuch d. Agrikulturchemie 1, 19 u. 75.

<sup>16)</sup> Demoussy, C. r. 136, 325 [1903]; 139, 883 [1907]. Derselbe, Beeinflussung des Wachstums durch die Bodenkohlensäure, C. r. 138, 291 [1904].

<sup>17)</sup> H. Fischer, Pflanzenernährung mittels Kohlensäure, Gartenflora 61, Heft 14 und 15 [1912]. Ebenda 62, Heft 18 [1913]; 63 [1914]; 68 [1919]. Derselbe, Die Wirkung gesteigerten Kohlensäuregehaltes der Luft auf grüne Pflanzen, Jahresber. d. Vereinigung f. ang. Botanik XI, 1913. Derselbe, Die Kohlensäurebehandlung der Pflanzen, Fühling 1916, Heft 7/8, S. 228. Ferner: Fühling 69, 60 [1920]. Derselbe, Pflanzenbau u. Kohlensäure, Z. Pfl. u. D. 1922 (A), S. 108. Derselbe, Zur Kritik der Kohlensäuredüngung, ebenda, 1922 (A), S. 177. Derselbe, Kohlensäure und praktischer Pflanzenbau, Ch.-Ztg. 1920, S. 247. Derselbe, Pflanzenbau und Kohlensäure, Stuttgart, Verlag E. Ulmer, 1921. Derselbe, Der gegenwärtige Stand der Kohlensäurefrage f. Pflanzenkulturen, Ang. Botanik 1, 139 [1919]. Derselbe, Neue Erfolge der Kohlensäuredüngung, D. L. G. 1920, Nr. 20. Derselbe, Neues und neue Literatur zur Kohlensäurefrage, Ang. Bot. 1, 142 [1919]; 2, 9 [1920]. Derselbe, Zentralbl. f. Bakteriologie, 2. Abt. 1918, 515. Derselbe, Spezif. Assimilationsenergie, B. d. D. Bot. Ges., Juli 1919 u. 1912, S. 598. Bornemann u. Fischer, Mitt. d. D. L. G. 1913, 443; Gartenflora 1914, 125.

<sup>18)</sup> A. Hansen, Düngung v. Kulturpflanzen mit Kohlensäure, Naturwissenschaft. Umschau, Braunschweig 1912, 547.

<sup>19)</sup> E. Winter, Kohlensäure zur Ernährung der Pflanzen, Gartenflora 62, Heft 18 [1913]. Nach Molisch, l. c.

<sup>20)</sup> E. Reinau u. R. Klein, Neuere Betrachtungen über den Wert der Kohlensäure in den organischen Düngemitteln. Die Gartenwelt, Berlin 1914, 214. E. Reinau, Kohlensäure und Pflanzen, Halle 1920 (W. Knapp); Ch.-Ztg. 1920, 208. Derselbe, Ch.-Ztg. 1914, 125, 397, 545, 804; 1919, 449, 469, 489, 509, 524.

<sup>21)</sup> Kisselew, Beihefte Bot. Zentralbl. I, 32, 86 [1914].

<sup>22)</sup> Bornemann, Kohlensäure u. Pflanzenwachstum, Berlin, P. Parey, 1920.

<sup>23)</sup> Nach Molisch, l. c.

<sup>24)</sup> Willstätter u. Stoll, Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure, B. 1915, 1540; 1918, 180. Willstätter, Über die chemischen Einrichtungen des Assimilationsapparates, Sitzungsber. d. K. Pr. Akad. 1915, 322.

<sup>25)</sup> Stöcklin u. Peters, s. Ch.-Ztg. 1914, 545.

<sup>26)</sup> Pfeffer, Pflanzenphysiologie 1, 309 [1897].

erhöhte Assimilationstätigkeit erzielt, geben Klein und Reinau<sup>27)</sup> folgende Punkte an:

1. Die zahlreichen Luftanalysen über der ganzen Erde haben immer den konstanten Gehalt der Luft an Kohlensäure zu 0,03 % ergeben. Daraus wurde geschlossen, daß durch beständig herrschende Luftbewegung diese 0,03 % den Pflanzen immer aufs neue wieder zur Verfügung stünden.
2. Deshalb scheint sich die Ansicht gebildet zu haben, daß den Pflanzen reichlich Kohlensäure zur Verfügung stehe. Heiden<sup>28)</sup> glaubt, daß der Kohlensäuregehalt der Luft für den Bedarf der Pflanzen vollkommen ausreiche, und daher der Landwirt weiter nichts zu tun brauche. Da die Pflanzen einen humusreichen Standort lieben, so meint Heiden, daß von den Eigenschaften des Humus diejenige, den Boden an Kohlensäure anzureichern, gewiß nicht die unwesentlichste sei. Auch Stutzer<sup>29)</sup> schreibt in seinem Lehrbuch: „Auf Vermehrung des Humus ist sorgfältig Bedacht zu nehmen, trotzdem den Pflanzen der darin enthaltene Kohlenstoff als Nährstoff und zum Aufbau der organischen Substanz nicht unbedingt nötig ist, weil ihnen Kohlensäure in hinreichender Menge zur Verfügung steht.“
3. Die ersten wissenschaftlichen Beweise über die erhöhte Assimilation durch erhöhte Kohlensäurezufuhr wurden zu einer Zeit gemacht, als reine Kohlensäure im Handel kaum erhältlich war. Auch war man mit der mineralischen Düngung derart beschäftigt, daß man damals nicht daran dachte, daß auch der Kohlenstoff ins Minimum kommen könnte.

Klein und Reinau<sup>30)</sup> sind ferner der Ansicht, daß die Tatsache, die dem Boden zugeführte Nährstoffmenge werde in der Asche nicht ganz, sondern nur zum Teil (60 %) wiedergefunden, darauf zurückzuführen sei, daß sich die Kohlensäure im Minimum befinde. Von Interesse ist die Meinung dieser beiden Forscher, daß, da jeder positive und negative Düngungsversuch in dem Kohlensäuremehr- oder -minderverbrauch seinen stärksten Ausdruck findet, dadurch mit einer leicht auszuführenden gasanalytischen Methode jeglicher Versuch mit mineralischer Bodendüngung in jedem Augenblick überwacht werden könnte.

Plaschke<sup>31)</sup> ist der Ansicht, daß die Feuchtigkeit der oberen Erdschichten von großer Bedeutung für die Pflanzenwelt sein muß, weil die Feuchtigkeit die durch die Humusverwesung sich bildende Kohlensäure absorbiert und dadurch verhindert, daß diese in die Atmosphäre nutzlos entweicht. Ebenso bewirkte Tau und Nebel, daß zur Nachtzeit während der Dissimulationsperiode die ausgeatmete Kohlensäure nicht verlorengehe. Ähnliche Gedanken äußerte schon Liebig<sup>32)</sup>. Er schreibt: „Von der in den Poren der Ackerkrume enthaltenen Kohlensäure tritt unausgesetzt ein Teil in die äußere Luft durch Diffusion, und man versteht, daß Pflan-

zen, die mit ihren Blättern den Boden wie mit einer dichten Decke überschatten und dadurch den Wechsel der kohlensäurereichen Luftschichten unterhalb verlangsamen, in einer gegebenen Zeit mehr Kohlensäure vorfinden und dadurch ihre Blätter mehr aufzunehmen vermögen, als solche, die auf ihren Bedarf ausschließlich auf die atmosphärische Luft angewiesen sind.“

Reinau<sup>33)</sup> entwickelt eingehend das Problem der Kohlensäuremenge der Luft. Er erwähnt dabei auch die Arbeiten von Saussure<sup>34)</sup>, welcher bereits den schwankenden Gehalt der Luft an Kohlensäure festgestellt hat. Zahlreiche Versuche über diesen Kohlensäuregehalt haben ergeben, daß bei intensiver Sonnenbestrahlung und höchstem Wachstum der Gehalt an Kohlensäure gegenüber dem Mittelwert von 0,03 % um etwa 10–15 % fällt, gegenüber dem Nachtmaximum sogar um 25 %. An diesen Messungen beteiligten sich auch Reitz, Müntz und Aubin<sup>35)</sup>. Auch Brown und Escombe<sup>36)</sup> kommen zu ähnlichen Zahlen, wenn sie auch daraus Schlüsse ziehen, die den früheren Beobachtungen geradezu widersprechen. Marié-Davy<sup>37)</sup>, welcher jahrelang täglich Kohlensäurebestimmungen auf der Pariser Sternwarte anstellte, konnte auf Grund seiner Untersuchungen zwischen dem Kohlensäurebefunde und der Beleuchtungsstärke „umgekehrte Proportionalität“ dieser beiden Größen zueinander konstatieren. Von Blackman<sup>38)</sup> und seinen Schülern wurden dann die Verhältnisse bei der Assimilation genauer studiert und dabei die Faktoren Kohlensäure, Partialdruck, Temperatur und Lichtmenge in ihren Beziehungen erforscht.

W. Nernst<sup>39)</sup> erwähnt gelegentlich eines Vortrags im Deutschen Museum zu München, daß bei starkem Sonnenschein zu einer Zeit, wo bei intensiver Assimilationstätigkeit der Pflanzen „Windstille“, also ein Mangel an Lufternährung herrscht, weniger als 0,03 % Kohlensäure in der Luft vorhanden sein müsse. Tatsächlich haben Klein und Reinau<sup>40)</sup> den Nachweis erbracht, daß in einem Treibhause zeitweise nur ein Viertel des normalen Kohlensäuregehalts vorhanden war.

Reinau<sup>41)</sup> bringt ausführliche Angaben über die Kohlensäureverhältnisse der Atmosphäre und ihre Beziehungen zur geographischen Breite und zu anderen geographischen Faktoren. Während Schlösing<sup>42)</sup> der

<sup>27)</sup> R. Klein u. E. Reinau, Kohlensäure und Pflanzen, Ch.-Ztg. 1920, 545.

<sup>28)</sup> Heiden, Düngerlehre. Darin findet sich eine Berechnung über den Kohlensäurehaushalt in der Natur, mit dem Ergebnis, daß die Pflanzen nie Mangel an Kohlensäure leiden werden.

<sup>29)</sup> R. Klein u. E. Reinau, l. c.; Stutzer, Düngerlehre, 17. Aufl., S. 27.

<sup>30)</sup> l. c.

<sup>31)</sup> Plaschke, Ch.-Ztg. 1914, 804.

<sup>32)</sup> Liebig, Die Chemie in ihrer Anwendung auf die Agrikultur und Physiologie. 1. Der chemische Prozeß der Ernährung der Vegetabilien. 2. Der Ursprung und die Assimilation des Kohlenstoffes.

<sup>33)</sup> E. Reinau, Eine neue Energiequelle und deren Anwendungsmöglichkeit für die chemische Industrie, Ch.-Ztg. 1920, 348. Derselbe, Die Struktur des Windes und die Kohlensäuredüngung, D. L. G. 1920, Heft 47, S. 340, 478. Derselbe, Deutsche Landw. Presse 1920, 340; Ang. Bot. 1920, 193, 290; Z. Elektroch. 1920, 329.

<sup>34)</sup> Saussure, Ann. Chim. Phys. 44, 1 [1830]; zitiert nach Reinau.

<sup>35)</sup> Siehe auch Dumas, Ann. Chim. Phys., 5. Reihe, 26, 254 [1882].

<sup>36)</sup> Brown u. Escombe, Report of the 69 meeting of the British association for the advancement of science: Dover 1899, Reinau, l. c. Brown u. Escombe, Proceedings of the royal society 70, 394 [1902]; Philos. Trans. Ser. B. 193, 237 [1900].

<sup>37)</sup> Marié-Davy, C. r. 10, 32 [1880]. Siehe auch Reinau, Kohlensäure u. Pflanzen, S. 7.

<sup>38)</sup> Blackman, Phil. Trans. 1895, Reihe B, 186, 485. Blackman u. Miß Matthaei, Phil. Trans. 1905, Reihe B, 195, 47. Blackman u. Miß Irving, Ann. of Botany 24, 805 [1910].

<sup>39)</sup> Nernst, Über die Rolle des Stickstoffes für das Leben, Ch.-Ztg. 1913, 1259. Vgl. auch Henkel, Naturwissenschaftl. Umschau 1914, 11.

<sup>40)</sup> Reinau, l. c.

<sup>41)</sup> Reinau, l. c.

<sup>42)</sup> Schlösing, Ann. Chim. Phys., 5. Reihe, 26, 145.

Meinung ist, der Kohlensäuregehalt der Luft werde durch das Meer reguliert, wird von Reinau die Anschauung vertreten, daß diese Regelung durch die Tätigkeit der grünen Pflanzen des Landes und Meeres im Widerspiel mit der Tätigkeit des Edaphons (Humus und seiner Lebewelt) erfolgt. Er verwirft die Anschauung des konstanten Gehalts der Luft zugunsten einer dynamischen Auffassung des Sachverhalts in der Weise, daß dieses Edaphon der Dauerbringer der Kohlensäure ist und die zwei Reiche der grünen Pflanzen auf dem Lande und im Wasser die ständigen Abnehmer sind. Diese Faktoren, abhängig von Wärme, Wasser und Licht, regulieren die Schwankungen des Kohlensäuregehalts der Luft. Da diese bedingenden Faktoren von irdischer und kosmischer Konstanz sind, so liegt nach Reinau darin der Grund für die Konstanz der Mittelwerte der Kohlensäure in Jahren und Jahrzehnten. Er sucht weiterhin aufzuklären, wieso es komme, daß trotz der gewaltigen Kohlensäuremenge, die sich in der Atmosphäre vorfindet, die Pflanzen daran Mangel litten. Auf Grund eines umfangreichen Zahlenmaterials bringt er den Beweis, daß der Gehalt der Luft an Kohlensäure schwankt, daß er sinkt, wenn durch Lichteinstrahlung die Assimilationstätigkeit angeregt wird, daß er jedoch steigt, wenn durch trübes Wetter der Kohlensäureverbrauch herabgesetzt ist. Selbst bei Höchstassimilationstätigkeit der Pflanzen geht jedoch der Kohlensäuregehalt der Luft niemals unter ein gewisses Minimum herab. Daraus ist aber nicht zu schließen, daß der Pflanze genügend Kohlensäure zur Verfügung stehe, sondern nur, daß die grünen Gewächse nicht befähigt sind, diesen Rest noch für ihr Wachstum auszunützen. Da die Ein- und Ausatmung der Gase bei der Pflanze durch die Spaltöffnungen bewirkt wird und festgestellt worden ist, daß die Aufnahme der Kohlensäure ebenfalls ein Diffusionsvorgang ist, kann das Eindringen der kohlensäurehaltigen Luft in diese Spaltöffnungen nur erfolgen, wenn in der umgebenden Luft die Kohlensäure einen höheren Druck aufweist als im Innern der Pflanze, kurzum ein Druckgefälle von außen nach innen herrscht. Reinau entwickelt den schon von Brown eingeführten Begriff des Kohlensäureinnendruckes, welcher nach seiner Meinung sowohl von der Temperatur, mit deren Steigen er zunimmt, als auch vom Licht, mit dessen Zunahme er fällt, abhängt. Er meint, daß diese beiden Faktoren in der von Willstätter<sup>43)</sup> entwickelten chemischen Auffassung des Assimilationsvorgangs ihre Erklärung finden. Durch seinen Gehalt an Magnesium ist das Chlorophyll befähigt, eine bicarbonatähnliche dissoziierende Verbindung mit Kohlensäure zu bilden, andererseits bedingt sein Chromophorkomplex die Lichtempfindlichkeit. Da dieser Kohlensäureinnendruck niemals unter einen gewissen Wert sinkt, kann die Pflanze unter keinen Umständen die Luftkohlensäure vollkommen ausnützen. Nach Reinau stelle also die absolute Kohlensäuremenge der Luft gar nicht den Betrag dar, welchen die Pflanze zu ihrem Wachstum zur Verfügung hat, sondern diese Größe ist nur jene Menge Kohlensäure, welche die Pflanze unter den herrschenden Mittelbedingungen an Licht, Temperatur und Feuchtigkeit nicht mehr auszunützen imstande sei; mithin wäre also diese Menge Kohlensäure gerade der Rest, welchen die Pflanze nicht mehr aufzehren kann (Kohlensäureresttheorie). Somit ist nach Reinau der Betrag der Assimilation der grünen Pflanzen nicht dem absoluten Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, sondern der erwähnten Spannungsdifferenz proportional. Nach Reinau vermag die Pflanze nur den zehnten Teil der Luftkohlensäure zu verwerten, so daß ihr durchaus nicht die Vorräte des ungeheuren Luftmeeres zu Gebote stehen. Während früher die Ansicht herrschte, daß eine Verdoppelung der Assimilation erst bei einem Kohlensäuregehalt der Luft von 0,06 % erzielt werden könnte, braucht man auf Grund dieser Theorie Reinaus diesen Kohlensäuregehalt dazu nur auf 0,033 % zu bringen; denn nur 0,03 % Kohlensäure stehen der Pflanze unter den normalen Bedingungen zur Verfügung.

Rein角度 tritt deshalb der Kohlensäureversorgung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen näher. Nach ihm müßte man vor allem die Eigenschaft des Humus bzw. seiner Lebewelt, des Edaphons, je nach der Temperatur und Feuchtigkeit Kohlensäure zu entwickeln; noch genauer erforschen und besonders den Einfluß der Wechsel-, Gründungs- und Stallmistwirtschaft auf die Kohlenstoffbilanz der Böden studieren; ebenso wie man zu lernen hätte, geeignete Bodenbakterien zu züchten.

Scharf bekämpft wird Reinau in diesen seinen Anschauungen durch Rippel<sup>44)</sup>, der vor allem darauf hinweist, daß bei Annahme der Kohlensäureresttheorie die in der Luft vorhandene Kohlensäuremenge im Minimum wäre und durch Erhöhung der übrigen Wachstumsfaktoren kein Mehrertrag eintreten könnte. Auf die weitere Polemik zwischen Rippel und Reinau sei hier bloß hingewiesen.

Bornemann<sup>45)</sup> ist auf Grund seiner Versuche der Überzeugung, daß das üppige Wachstum der Randpflanzen auf vermehrter Kohlenstoffernährung beruht, und daß alle dichten Feldkulturen unter Kohlenstoffmangel leiden müssen, wenn der Boden nicht so viel Kohlensäure erzeugt, daß der Fehlbetrag gedeckt wird. Er bespricht eingehend die Beziehungen zwischen Kohlenstoffernährung und Standort, insbesondere auch unter Hinweis auf die Bedeutung dieser Fragen für die Intensivierung der forstwirtschaftlichen Erträge. Bornemann und Fischer unterscheiden zwischen Boden- und Lufternährung einer Pflanze, indem sie unter Bodenernährung die Substanzaufnahme verstehen, welche durch die Wurzeln aus dem Erdreich erfolgt (mineralische Bestandteile) und unter Lufternährung jene, welche durch die Blätter vor sich geht (Kohlensäureaufnahme). Sie weisen in ihren Arbeiten auf die mannigfaltigen Beziehungen hin, die zwischen Luft- und Bodenernährung bestehen.

Ziemlich alle Forscher vertreten den Standpunkt, daß die Pflanzen imstande sind, größere Kohlenstoffmengen, die ihnen durch die Kohlensäure zugeführt werden, aufzunehmen und zu verarbeiten. Nur darüber, ob die besonderen Verhältnisse, unter denen die Feldfrüchte gedeihen, eine erhöhte Kohlensäureausnützung ermöglichen, herrschen verschiedene Ansichten. Fischer<sup>46)</sup>, Riedel<sup>47)</sup>, Reinau<sup>48)</sup>, Bornemann<sup>49)</sup> bejahen

<sup>44)</sup> Rippel, Kohlensäure u. Pflanzen, Fühling 1921, 7, 314. Derselbe, Nochmals Kohlensäuredüngung, Ang. Bot. 4, 14 [1922]; E. Reinau, Fühling 1921, 197.

<sup>45)</sup> Bornemann: „Kohlensäure und Pflanzenwachstum“, Berlin, P. Parey. Derselbe, Mitt. d. D. L. G. 1919, Heft 20, S. 283; 1920, Heft 51, S. 603; Ch.-Ztg. 1920, 243; Dtsch. landw. Presse 47, Nr. 1, 2, 3 [1920]; 48, 191 [1921]. Derselbe, Die Kohlenstoffernährung der Kulturpflanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (A), 326.

<sup>46)</sup> Fischer, l. c.

<sup>47)</sup> F. Riedel, Die Aussichten des Kohlensäuredüngungsverfahrens mit Hilfe von Abgasen, Ch.-Ztg. 45, 157 [1921]. Derselbe, Die Anwendung der Kohlensäuredüngung im Großen, Mitt. d. D. L. G. 1919, Heft 32, S. 427; Heft 34, S. 451; Heft 35, S. 467. Derselbe, Stahl und Eisen 1919, Nr. 49: Die Ausnützung der Hochofenabgase zur Kohlensäuredüngung.

<sup>48)</sup> l. c.

<sup>49)</sup> l. c.

<sup>43)</sup> Willstätter u. Stoll, l. c.

diese Frage; Pfeiffer<sup>50)</sup>, Gerlach<sup>51)</sup>, Lemmermann<sup>52)</sup> jedoch sind auf Grund theoretischer Erwägungen und eigener Arbeiten mehr ablehnender Haltung. Auch Densch<sup>53)</sup> meint, daß bei dem Klima des überwiegenden Teils von Deutschland eine erhöhte Kohlensäurezufuhr gar nicht oder nur sehr selten verwertet werden könnte, eine Ansicht, die von Bornemann<sup>54)</sup> energisch bestritten wird.

In Übereinstimmung mit Densch erklärt Mitscherlich<sup>55)</sup>, die Versuchsanstellung Bornemanns beweise nur, daß bei Beschattung eine Kohlensäurezufuhr ertragsteigernd wirkt, nicht aber einwandfrei feststeht, daß unter normalen Lichtverhältnissen eine Kohlensäurezufuhr die Pflanzenerträge noch zu steigern vermag. Mitscherlich führt auf die nämliche Ursache auch die Kohlensäurerandpflanzentheorie zurück. Nach seinen Ausführungen haben Pflanzen, die an einem Feldrande stehen, mehr Licht, Wasser und Nährstoffe zur Verfügung als die eingeschlossenen Feldbestände und liefern daher höhere Erträge als diese. Er meint, daß die Freilandversuche von Bornemann unter der Beschattung der „leichten Eisenkonstruktion“ und des engmaschigen Drahtgefächts ganz außerordentlich leiden.

H. Janert<sup>56)</sup> bringt eine interessante geschichtliche Entwicklung des Kohlensäureproblems und beschäftigt sich in kritischer Weise mit den neueren Arbeiten auf diesem Gebiet, insbesondere mit denjenigen Bornemanns.

Der englische Botaniker Bottomley hat während des Krieges bakterisierten Torf unter dem Namen „Humogen“ im Impfdünger empfohlen und nach seinen und den Angaben seiner Mitarbeiter damit außerordentliche Wirkungen erzielt. Vogel<sup>57)</sup> hat die Veröffentlichungen Bottomleys besprochen und gemeinsam mit Germer<sup>58)</sup> Versuche darüber angestellt. Er empfiehlt den Melassenschlempedünger Guanol, welcher nach

einem patentierten Verfahren von L. Wilkering, Hannover, erzeugt wird. Bei der Fabrikation wird diese Mischung aus Torf und Melasseschlempe einer Gärung unterworfen, deren Endergebnis eben das Guanol ist. Gehring<sup>59)</sup> berichtet über seine Versuche mit diesem Guanol. Er weist nach, daß eine Düngung mit diesem Stoff die Kohlensäureproduktion des Bodens erhöht und dieser durch Guanolbakterien aufgeschlossene Torf in eine leicht zersetzliche Masse verwandelt wird. Hinsichtlich dieser Arbeiten Gehrings über das Guanol vertritt Mitscherlich ähnliche Ansichten wie die oben-erwähnten.

Gehring ist der Überzeugung, daß die günstige Wirkung einer Kalkdüngung neben der sonstigen Beeinflussung des Bodens auch auf seine Kohlensäuredüngung zurückzuführen ist. Nicht nur dadurch, daß durch die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften und der Bodenreaktion das Bakterienleben befördert und damit die Oxydation der organischen Substanz beschleunigt und verstärkt wird, sondern auch deshalb, weil beim Neutralisieren der Bodenacidität ziemliche Mengen Kohlensäure entweichen. Auch infolge Umsetzung der durch Wurzelabscheidung und durch den Abbau der organischen Substanz entstehenden organischen Säure mit dem kohlensauren Kalk wird Kohlensäure entwickelt, wobei allerdings zu bedenken ist, daß die an Kalk gebundenen organischen Säuren durch die Tätigkeit der Mikroorganismen leichter abgebaut werden, wodurch das Calcium wieder in Freiheit gesetzt wird und sich wieder mit Kohlensäure zu verbinden trachtet. Dadurch entziehen sie den Pflanzen wieder eine gewisse Kohlensäuremenge, so daß also die organischen Säuren keine große Bedeutung für die Entbindung von Kohlensäure aus dem Calciumcarbonat des normalen Bodens haben. Jedoch spielt, wie erwähnt, die Bodenacidität in dieser Hinsicht eine große Rolle und je stärker die Zufuhr mineralischer Düngung ist, desto mehr Kohlensäure wird durch die Bindung der Anionen des zugeführten Düngesalzes mit dem Calcium entwickelt.

Da nach Bornemann eine Düngung mit Kohlensäure erheblich den Kornertrag gegenüber dem Strohertrag steigert, so ließe sich nach Gehring auf diesem Wege feststellen, ob auch in der Praxis mit einer Kohlensäurewirkung der Kalkdüngung zu rechnen ist, und tatsächlich konnte er bei den Kalkdüngungsversuchen, die Hoffmann<sup>60)</sup> ausführte, konstatieren, daß in 141 Versuchen eine Steigerung des Kornertrags, in 103 Versuchen eine Steigerung des Strohertrags zu bemerken war, während 106 Versuche ein unentschiedenes Resultat gaben. Aus diesen und andern Zahlen schließt Gehring, daß die Kohlensäurewirkung der Kalkdüngung nicht mehr anzuzweifeln ist und die Kohlensäurewirkung einer Düngung mit organischer Substanz durch eine gleichzeitige Kalkabgabe erheblich gesteigert werden kann. Selbst die verhältnismäßig geringen Kalkmengen, welche durch Kalkstickstoff dem Boden einverleibt werden, lassen eine solche Wirkung erkennen. Die Bemerkung Linters<sup>61)</sup>, daß der Kalkstickstoff den Kornertrag

<sup>50)</sup> Th. Pfeiffer, Fühling 1921, 315. Derselbe, Welcher Vegetationsfaktor bedingt in letzter Linie die hohen Pflanzenerträge bei Vegetationsversuchen, Fühling 1920, 369 (361).

<sup>51)</sup> M. Gerlach, Kohlensäuredüngung, D. L. G. 35, 370 [1920]. Derselbe, Die Kohlensäureernährung der Pflanzen und der Stalldünger, D. L. G. 36, 147 [1921]. Derselbe, Mitt. d. D. L. G. v. 1. 2. u. 8. 2. 1919.

<sup>52)</sup> O. Lemmermann u. K. Eckl, Über die Bedeutung des Stall- und Gründüngers für die Kohlensäureernährung der Pflanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1924 (B), 47. O. Lemmermann u. H. Kaim, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Luft über mit Stalldünger gedüngtem und ungedüngtem Boden, Z. f. Pfl. u. D. 1924 (B), 1. O. Lemmermann, Über die Kohlensäureernährung der Pflanzen, Mitt. d. D. L. G. 1920, Heft 51, S. 696. Derselbe, Die Kohlenstoffernährung der Kulturpflanzen, Mitt. d. D. L. G. 1921, Heft 32/33.

<sup>53)</sup> A. Densch, Zur Kohlensäurefrage, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (A), 32.

<sup>54)</sup> Bornemann, Zur Kohlenstoffernährung der Kulturpflanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (A), 326. Derselbe, Fühling 70, Heft 15/16, S. 1, 170, 311 [1921].

<sup>55)</sup> Mitscherlich, Die Kohlensäure als Wachstumsfaktor der Pflanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1923 (A), 211. Derselbe, Ein Beitrag zur Kohlensäuredüngung, Arbeiten aus dem landwirtschaftl. Institut d. Universität Königsberg.

<sup>56)</sup> H. Janert, Ein Beitrag zur Beurteilung der klimatischen Wachstumsfaktoren: Kohlensäure, Sauerstoff und Luftdruck, Z. f. Pfl. u. D. 1923 (A), 177. Vgl. hierzu: E. Reinau, Ist Kohlensäure ein klimatischer Wachstumsfaktor?, Z. f. Pfl. u. D. 1924 (A), 182.

<sup>57)</sup> Vogel u. Germer, Bakteriologisches Zentralblatt, Abt. II, 1920. Siehe auch Nolte, Braunschweiger landwirtschaftl. Nachrichten vom 18. 12. 1920.

<sup>58)</sup> Germer, Diss., Leipzig, 1920. Vogel, Mitt. d. D. L. G. 1917, 126; 1918, 584 u. 585.

<sup>59)</sup> A. Gehring, Über die Düngewirkung der Kohlensäure, Fühling 1921, 187, 181. (Z. f. Pfl. u. D. 1923 (B), 171.) Derselbe, Beitrag zur Aufklärung der Herstellung und Düngewirkung des Guanols, Fühling 1919, 259. Derselbe, Bewirkt Kalkdüngung auch eine Kohlensäuredüngung?, Dtsch. landw. Presse 47, 1920. Derselbe, Technik in der Landwirtschaft, 1. Jahrg., Heft 7/8. Derselbe, Beitrag zur Klärung der Düngewirkung organischer Substanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1923 (B), 234. (Zentralbl. f. Bakteriologie, 2. Abt., 57, 1922, 241.)

<sup>60)</sup> Hoffmann, Arbeiten der D. L. G., Heft 106.

<sup>61)</sup> Linter, Kalkstickstoff als Düngemittel, Parey 1915.

verhältnismäßig mehr steigert als den Strohertrag, will Gehring damit erklären, daß der Kalk des Kalkstickstoffs in diesen Fällen tatsächlich eine Kohlensäuredüngung ausübt.

Gehring weist mit Recht darauf hin, daß im Hinblick auf die kohlenstäuredüngende Wirkung des Stallmistes es nicht angebracht erscheint, zur Stickstoffkonservierung bei der Stallmistbereitung desinfizierende Stoffe, wie Formaldehyd, Bisulfat und Schwefelsäure, anzuwenden, weil dadurch das Bakterienleben unterbunden und der Abbau der organischen Substanz zu Kohlensäure außerordentlich verlangsamt wird. Er schlägt auch vor, zur Feststellung der Fruchtbarkeit des Bodens mehr als bisher die Bedeutung der organischen Substanz für den Ernteertrag zu berücksichtigen. Nebst dem Gehalt an mineralischen Nährstoffen sind nach Gehring Art und Menge der zur Verfügung stehenden organischen Substanz einerseits, Kalk und lösliche Kalkverbindungen andererseits wichtig für die Landwirtschaft. Interessante Hinweise gibt er auch auf das Verhältnis von Bodenbearbeitung bzw. Brache und Kohlensäureproduktion. Daß bei der Guanolverstellung tatsächlich eine Torfaufschließung vor sich geht, hat Gehring durch Bestimmung des Verrotungsgrades des zur Herstellung des Guanols benutzten Torfs und des im fertigen Guanol enthaltenen Torfs und Vergleichung dieser beiden Werte ermittelt.

Weitere Versuche, eine Erhöhung der Erträge durch Begasung der Felder mit Kohlensäure oder durch Düngung mit Guanol zu erreichen, wurden von A. Densch und Th. Hunnius<sup>62)</sup> vorgenommen. Ihre Versuche sprachen nicht sehr zugunsten der Kohlensäuredüngung.

Stoklasa<sup>63)</sup> gelang es, durch Impfung der Böden mit Wurzelbakterien die Ernteerträge um 35–90 % zu erhöhen. Dabei ergaben seine Versuche, daß ein günstiges Resultat nur erzielt wird, wenn der Boden genügend leicht zersetzliche organische Stoffe enthält, gut durchlüftet ist und keine saure Reaktion aufweist. Auch er führt die ertragsteigernde Tätigkeit dieser Bakterien auf die großen Kohlensäuremengen zurück, die von ihnen erzeugt werden und die nicht nur die verschiedenen Phosphate und Silicate aufschließen, sondern auch Bicarbonate zu bilden imstande sind. Diese Bicarbonate erleichtern die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanzen, bilden sie doch neben der sonstigen Kohlensäure nach Stoklasa eine wichtige Kohlenstoffquelle, da die Pflanzen auch die Kohlensäure des Bodens durch ihre Wurzeln in Form des Bicarbonats aufzunehmen vermögen.

O. Lemmermann und H. Kaim<sup>64)</sup> fanden im Gegensatz zu den Befunden Bornemanns, daß der Kohlensäuregehalt der Luft über gedüngtem und ungedüngtem Boden ziemlich gleich ist; sie meinen auf Grund dieser Versuche, es sei keine Rede davon, daß der Kohlensäuregehalt der Luft über einem gedüngten Feld schon bei schwacher Düngung wesentlich höher sei als der Durchschnittsgehalt der Atmosphäre. In einer weiteren Arbeit haben O. Lemmermann und E. Eckl<sup>65)</sup> keine Anhaltspunkte dafür gefunden, daß die bei der Zersetzung der organischen Substanzen entstehende

Kohlensäure von wesentlicher Bedeutung für die Kohlen säureernährung der Pflanzen ist. Auch Lundegardh<sup>66)</sup> kommt auf Grund seiner Versuche zu ähnlichen Schlüssen.

Heine<sup>67)</sup> verwendete Kohlen- und Koksasche als Kohlensäuredüngungsmittel. A. C. v. Euler<sup>68)</sup> hält die günstige Kohlensäuredüngung für ein wesentliches Moment zur Erhöhung der Ernteerträge. S. Kostytshew<sup>69)</sup> fand als Resultat seiner ausgedehnten Arbeiten, daß bei erhöhtem Kohlensäuregehalt die Kohlen säureassimilation bei Leguminosen bedeutend stärker als bei den übrigen Pflanzen ist und überdies eine auf nitrathaltigem Boden lebende Pflanze stärker assimiliert als andere Exemplare von derselben Pflanzenart, die auf nitratfreiem Boden sich entwickeln. Ähnliche Resultate erhielten Boas und Merckenschlager<sup>70)</sup> bei der Lupine.

Eingehende Versuche durch Begasung von Pflanzen mit kohlenstäurehaltigen Hochofengasen wurden von F. Riedel<sup>71)</sup> gemeinsam mit der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-A.-G., in Horst a. d. Ruhr bei Essen durchgeführt. Auf seine interessanten Arbeiten sowie seine ausgedehnte Polemik mit H. Classen<sup>72)</sup>, der die praktische Durchführung und Wirtschaftlichkeit der Begasung für die Landwirtschaft in Zweifel zieht und sich nur durch Erhöhung der Kohlensäuremengen der Luft mit Stall- und Gründüngung praktische Erfolge verspricht, sei hingewiesen.

Begasungsversuche mit Kohlensäure aus Stahlbomben von Höstermann<sup>73)</sup> bei Gewächshauskulturen mit Gurken führten zu dem Ergebnis, daß die Vermehrung

<sup>66)</sup> H. Lundegardh, Über die Kohlensäureproduktion und die Gaspermeabilität des Bodens, Arkiv för Botanik. K. Svenska Vetenskaps. Akademien 18, Nr. 13 [1923]. Derselbe, Beiträge zur Kenntnis der theoretischen und praktischen Grundlagen der Kohlensäuredüngung, Ang. Bot. 4, 120 (Z. f. Pfl. u. D. 1923 (B), 234). Derselbe, Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur, Jena 1924, Verlag G. Fischer.

<sup>67)</sup> Heine, Kohlen- und Koksasche als Düngemittel, Ber. d. Gartenlehranstalt Dahlem 1916/17, 98.

<sup>68)</sup> Svensk chem. Tidskr. 34, 119–135 (C. 1921, 1340).

<sup>69)</sup> Kostytshew, Studien über Photosynthese, 1. Das Verhältnis  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  bei der Kohlensäureassimilation, Ber. d. bot. Ges. 39, 319 [1921]. 2. Wirkt der Wundreiz stimulierend auf die Kohlensäureassimilation am Lichte?, Bd. 39, 328 [1921]. 3. Findet eine Kohlensäureassimilation während der Sommer-nächte in der subarktischen Region statt?, Bd. 39, 334 [1921]. 4. Die Kohlensäureassimilation der Leguminosen, Bd. 40, 112 [1922].

<sup>70)</sup> Boas u. Merckenschlager, Die Lupine als Objekt der Pflanzenforschung, S. 89 (Berlin, P. Parey).

<sup>71)</sup> l. c.

<sup>72)</sup> Riedel, Ch.-Ztg. 1920, 263. H. Classen, Die Begasung der Pflanzen mit Kohlensäure, Ch.-Ztg. 1920, 585. E. Reinau, Die Begasung der Pflanzen mit Kohlensäure, Ch.-Ztg. 1920, 808. F. Bornemann, Die Begasung der Pflanzen mit Kohlensäure, Ch. 1920, 808. H. Classen, Die Begasung der Pflanzen mit Kohlensäure, Ch.-Ztg. 1920, 808. F. Riedel, Die Auswirkungen der Kohlensäuredüngungsverfahrens mit Hilfe von Abgasen, Ch.-Ztg. 1921, 157. H. Classen, Ch.-Ztg. 1921, 397. F. Riedel, Die Begasung der Pflanzen mit kohlenstäurehaltigen Abgasen, Ch.-Ztg. 1921, 829. H. Classen, Zur Begasung der Pflanzen mit kohlenstäurehaltigen Abgasen, Ch.-Ztg. 1921, 1028. F. Riedel, Zur Begasung der Pflanzen mit kohlenstäurehaltigen Abgasen, Ch.-Ztg. 1921, 1123. H. Classen, Zeitschrift Verein der Zuckerindustrie, August 1921.

<sup>73)</sup> Höstermann u. Ranke, Holzkohle als Kohlen säurequelle bei Gewächskulturen, Ang. Bot. 4, 78 [1922]. Höstermann, Landw. Jahrbücher 57, Erg.-Ed. 1, 112 u. 116 [1922].

<sup>62)</sup> A. Densch u. Th. Hunnius, Die Wirkung erhöhter Kohlensäurezufuhr auf Sand- und Kulturböden, Z. f. Pfl. u. D. 1923 (B), 241.

<sup>63)</sup> Stoklasa, Nouveaux progrès dans la fertilisation de la terre arable, Ann. de la science agronom. franc. et étrangère 40, Nr. 4, 203–211 [1923].

<sup>64)</sup> l. c.

<sup>65)</sup> l. c.



des Kohlensäuregehalts der Luft bis zum Dreiunddreißigfachen des normalen Betrags die Entwicklung der Pflanzen sehr beschleunigt, die Erträge dagegen nur ganz unbedeutend steigert. Er verwendete auch Holzkohlen als Kohlensäurequelle für Gewächshauskulturen.

Als eifriger Verfechter der Kohlensäuredüngung möge noch H. Krantz<sup>74)</sup> erwähnt werden.

E. Hiltner<sup>75)</sup> konnte interessante Beziehungen zwischen der Dörrfleckenkrankheit des Hafers und vermehrter Kohlensäurezufuhr feststellen.

Bei ihrer Arbeit über den Einfluß des elektrischen Lichts auf das Pflanzenwachstum fanden K. Tjebbes und I. C. Uphof<sup>76)</sup>, daß die Zufuhr von Kohlensäure nur dann von Bedeutung für die Pflanze ist, wenn durch Vermehrung der Lichtmenge die Möglichkeit für ihre Verarbeitung gesichert wird.

Auf die Bedeutung der Kohlensäuredüngung für die Forstwirtschaft weisen Th. Meinecke<sup>77)</sup>, Hornschee<sup>78)</sup>, Oelkers<sup>79)</sup> und Ebermayer<sup>80)</sup> hin. Von sonstigen Arbeiten und Aufsätzen über das Kohlensäureproblem seien noch erwähnt: Richthofen<sup>81)</sup>, A. Stutzer<sup>82)</sup>, K. Miksch<sup>83)</sup>, E. Haselhoff und O. Liehr<sup>84)</sup>, R. Harder<sup>85)</sup>, W. Benecke<sup>86)</sup>, Th. Bokorny<sup>87)</sup>, H. Schröder<sup>88)</sup>, R. Potonié<sup>89)</sup> und E. Wollny<sup>90)</sup>.

Neben der ernährungsphysiologischen Wichtigkeit, welche der Kohlensäure für das Pflanzenwachstum zukommt, darf auch ihre bodenkundliche Bedeutung nicht unterschätzt werden<sup>91)</sup>. Die Massenwirkung der Kohlen-

säure ist gering. Nur bei ihrer Einwirkung auf Carbonate der Erdalkalien kann sie größere Wirkungen auslösen. Sonst reicht bereits eine geringe Menge an Kohlensäure im Boden aus, um jene Stoffe aufzulösen, die sie überhaupt in Lösung zu bringen vermag. Mit steigen der Temperatur nimmt die Einwirkung der Kohlensäure auf Alkalien und Erdalkalien ab. Dagegen nimmt die Affinität der Kieselsäure zu den Alkalien mit zunehmender Temperatur zu. Sie treibt dann die Kohlensäure aus (vulkanischer Prozeß im Erdinnern), während bei tieferen Temperaturen die Silicate durch erstere unter Bildung von Carbonaten zerstört werden. Auf basenarmen Gesteinen und Böden kann die Kohlensäure erhebliche zersetzende Wirkungen auslösen und zu einer weitgehenden Verarmung an Basen führen. Sind dagegen noch Carbonate vorhanden, so wird dadurch die Hydrolyse der Kohlensäure zurückgedrängt, und ihre verwitternde und zersetzende Tätigkeit gehemmt; man spricht daher von einer Pufferwirkung dieser Carbonate. Somit kann die Gegenwart von Calciumcarbonat oder Magnesiumcarbonat basenarme Böden gegen eine zu stark zersetzende und auswaschende Wirkung der Kohlensäure schützen.

Wie aus dem Obigen hervorgeht, sind die Ansichten über die Bedeutung der Kohlensäuredüngung ziemlich verschieden; doch darin herrscht Übereinstimmung, daß der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre nicht das Optimum für die Pflanzenernährung darstellt, und daß man, um zu höheren Pflanzenerträgen zu kommen, den Kohlensäuregehalt der Luft steigern muß. Was die Methodik anbelangt, so erachten die einen die Benutzung der sogenannten Abfallkohlenensäure aus Hoch- und Kalköfen als geeignet hierfür, während andere die Verwertung jener Kohlensäure empfehlen, welche bei der Verwesung der organischen Substanz im Boden (Stalldünger, Gründünger) entsteht (Zersetzungskohlensäure). Natürlich muß die Abfallkohlenensäure gründlich gereinigt werden, da die unreinen Gase der Industrieanlagen pflanzenschädigende Stoffe enthalten. Was die Hochofengase im besondern anbelangt, so müssen daraus Staub und schädliche Kohlenwasserstoffe entfernt werden. Die so gefährliche schweflige Säure kommt hier kaum in Frage, da bekanntlich im Hochofenbetrieb Koks verwendet wird. Den Kohlenstoff enthalten die Abgase infolge unvollständiger Verbrennung größtenteils als Kohlenmonoxyd, das erst weiter zu Kohlendioxyd verbrannt werden muß. Dies geschieht meist schon im Betriebe, wo die brennbaren Abgase dazu dienen, in den Vorwärmern die für den Hochofen bestimmte Luft zu erhitzen. Die so mit Kohlensäure angereicherten Gase werden mit Luft vermischt, durch elektrische Ventilatoren in ein Röhrensystem gepreßt und so über das Freiland verteilt oder in die Gewächshäuser geleitet. Nach dem von Riedel patentierten Verfahren lassen sich Heizgase der verschiedensten Art, auch Abgase von Kalköfen, verwenden.

Wie schon eingehend dargelegt wurde, zweifeln verschiedene Forscher an der praktischen Durchführbarkeit der Verwertung der Abfallkohlenensäure und glauben, daß diese Art der Kohlensäuredüngung für die größere landwirtschaftliche Praxis wohl kaum größere Bedeutung gewinnen dürfte und höchstens für Gewächshäuser und sonstige örtliche Verwendungsmöglichkeiten in Betracht käme, zumal es fraglich ist, ob im Freiland diese Art Düngung überhaupt Erfolg verspricht. Von größerem Interesse und allgemeinerer Bedeutung ist unzweifelhaft die Verwertung der Zersetzungskohlensäure, für die sich Bornemann und Fischer besonders einsetzen. Vor allem Bornemann will den Stall- und Gründünger

<sup>74)</sup> H. Krantz, Binnenversorgung durch Bodenkraftmehrerung (B. Filser, Augsburg-Stuttgart).

<sup>75)</sup> E. Hiltner, Die Dörrfleckenkrankheit des Hafers und ihre Heilung durch Mangan, zugleich ein Beitrag zur Kohlensäurefrage. Ernährung der Pfl. S. 129 (1923).

<sup>76)</sup> K. Tjebbes u. I. C. Uphof, Einfluß des elektrischen Lichtes auf das Pflanzenwachstum, Landw. Jahrb. 56, 313–326 [1921].

<sup>77)</sup> Meinecke, Ertragssteigerung durch Kohlensäurezufuhr, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (B), 45 (Biedermann 1923, 78).

<sup>78)</sup> Hornschee, Die Wirkung der Reisgüddüngung als Kohlensäuredüngung, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (B), 44.

<sup>79)</sup> Oelkers, Kohlensäure und Jahresringe, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (B), 253.

<sup>80)</sup> Ebermayer, Die Beschaffenheit der Waldluft. Wollny, Agrikulturphysik, Bd. 8.

<sup>81)</sup> Richthofen, Zur Kohlenstoffernährung der Kulturpflanzen, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (B), 194 (D. L. G. 36, 620 [1921]).

<sup>82)</sup> A. Stutzer, Düngung mit Kohlensäure, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (B), 399.

<sup>83)</sup> K. Miksch, Kohlensäure als Düngemittel, Praktische Blätter f. Pflanzenbau u. Pflanzenschutz 16, 90 u. 111 [1918].

<sup>84)</sup> E. Haselhoff u. O. Liehr, Der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure, Landw. Versuchsst. 102, 60 [1924].

<sup>85)</sup> R. Harder, Kritische Versuche zu Blakmans Theorie der begrenzenden Faktoren bei der Kohlensäureassimilation, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (A), 332.

<sup>86)</sup> W. Benecke, Beiträge zum Problem der Kohlensäureassimilation, Z. f. Pfl. u. D. 1922 (A), 40 (Z. f. Bot. 13, 417 [1921]).

<sup>87)</sup> Th. Bokorny, Eine neue Anwendung der Sulfitalauge, Ch.-Ztg. 1919, 64. Mitt. d. D. L. G. v. 4. 1. 1919.

<sup>88)</sup> H. Schröder, Die Hypothesen über die chemischen Vorgänge bei der Kohlensäureassimilation und ihre Grundlagen, Verlag v. G. Fischer, Jena 1917.

<sup>89)</sup> R. Potonié, Fortschritte auf dem Gebiete der angew. Botanik, Ch.-Ztg. 1920, 205.

<sup>90)</sup> E. Wollny, Zersetzung der organischen Stoffe, Heidelberg, Verlag v. K. Winter, 1897, und Forschungen auf dem Gebiet der Agrik.-Physik 3, 5, 12.

<sup>91)</sup> Vgl. auch: E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., H. Niklas, Verwitterung der Silicate und der Gesteine unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Humusstoffe auf die Verwitterung (Verlag für Fachliteratur, Berlin).

fast nur unter dem Gesichtspunkte dieser Kohlensäuredüngung beurteilt und angewendet wissen, entweder als Kopfdünger oder kurz nach der Aussaat. Besonders bei Hackfrüchten würde, wie er glaubt, die durch Zersetzung aufsteigende Kohlensäure des Bodens infolge der Nähe der Blattorgane gut ausgenützt.

Überzeugt davon, daß nur Vegetationsversuche die Möglichkeit bieten, die vielumstrittene Frage der Kohlensäuredüngung mit der Zeit zu einer befriedigenden Lösung zu bringen und daß wiederum für die große landwirtschaftliche Praxis hauptsächlich die Zersetzungskohlensäure in Betracht käme, wählten wir für unsere Versuche eine Substanz, die bei ihrer Umsetzung im Boden Kohlensäure entwickelt, und zwar wurden diese Versuche mit einem Kohlensäuredünger der Chemischen Werke Bayern, Reichertshofen bei Ingolstadt, durchgeführt, einem Produkte, das nach Angabe dieser Firma aus 50 % Torf, 45 % Holzkohle und 5 % Braunstein besteht. Die Untersuchung dieses Düngemittels in unserm Institut (27,55 % Asche, 2,42 % N, 1,80 %  $P_2O_5$ , 1,25 %  $K_2O$ ) ergab, daß Stickstoff, Phosphorsäure und Kali darin nur in geringen Mengen enthalten sind, eine etwaige günstige Beeinflussung der Pflanzen durch diese Substanz daher nicht auf Rechnung dieser Nährstoffe zurückzuführen ist. Auch führten wir eine Prüfung auf Kohlensäureentwicklung in der Weise aus, daß wir einen Luftstrom, welcher vorher zwei Waschflaschen mit starker Kalilauge und eine Lösung von Barytwasser passiert hatte, durch den in ausgekochtem, destilliertem Wasser suspendierten Kohlensäuredünger und hierauf durch eine Barytlösung leiteten. Während die erste Barytlösung innerhalb der Dauer des Versuchs klar blieb, zeigte sich bei der zweiten kurze Zeit nach Beginn (20 Minuten) eine schwache, aber deutlich erkennbare Trübung, die beim darauffolgenden Erwärmen des in Wasser suspendierten Kohlensäuredüngers auf etwa 35–40° immer deutlicher wurde. Schließlich schied sich ein reichlicher weißer Niederschlag von Bariumcarbonat aus.

Die mit diesem Kohlensäuredünger in Angriff genommenen Vegetationsversuche, über die wir bereits an andern Orten<sup>92)</sup> ausführlich berichtet haben, wurden zum größeren Teil in runden, in die Erde eingelassenen Betonzylindern von je  $\frac{1}{2}$  qm Oberfläche, zum kleineren Teil im Freiland angesetzt. Die Zylinder sind im Innern mit Asphalt ausgekleidet und 1,10 m tief, ohne nach unten abgeschlossen zu sein, damit ein ungehinderter Wasseraustausch vom Untergrund nach oben stattfinden kann. Eine Bewässerung der Zylinder fand nicht statt. Zur Verhinderung des Vogelfraßes wurde die ganze Anlage mit einem leichten Drahtnetz umgeben. Durch inniges, sachgemäßes Mischen der Versuchserde wurde jedem Zylinder vollkommen gleicher Boden zugeführt. Auf die Versuchspflanzen und ihre Entwicklung wirkten somit dieselben natürlichen Einflüsse ein, wie bei Feldversuchen, nur besteht gegenüber diesen der Vorteil, daß man mit Bodenverschiedenheiten nicht zu rechnen braucht. Bei den Freilandversuchen fanden Parzellen mit je ein Ar Größe unter fünfmaliger Wiederholung jeder Düngungsart Anwendung.

Der Versuchsplan bei den Zylinderversuchen war folgender:

1. Volldüngung.
2. Volldüngung + 400 kg Kohlensäuredüngung je ha.
3. Volldüngung + 800 kg Kohlensäuredüngung je ha.
4. Volldüngung + 1200 kg Kohlensäuredüngung je ha.

<sup>92)</sup> H. Niklas, K. Scharrer u. A. Strobel, Beiträge zur Frage der Kohlensäuredüngung, Landw. Jahrbücher 60, 349 [1924].

Im Freiland mußte wegen Mangel an Fläche die Parzellengruppe 4 weggelassen werden.

Die Volldüngung wurde nach dem jeweiligen Bedürfnis der Pflanzen in entsprechender Höhe und Form gegeben. Der Versuchsboden war ein tertiärer Deckleimboden des Weihestephaner Hügellandes mit neutraler Reaktion, ein Boden, der zu den besten Weizenböden gerechnet werden darf. Zum Anbau kamen in den Zylindern Hafer, Sommergerste, Rotklee, Wiesenhafer, Wiesenrispen- und Knautgras; im Freiland Kartoffeln, Hafer und Ackerbohnen. Der Kohlensäuredünger wurde in den Zylindern zu Getreide kurz vor der Saat, zu den Futterpflanzen Ende März gestreut und auf etwa 5 cm Tiefe durch Einhacken untergebracht. Im Freiland wurde er nach dem Auflaufen der Saat gegeben und eingeeget.

Die Ergebnisse dieser Vegetationsversuche<sup>93)</sup>, kurz zusammengefaßt, ergaben nun folgendes Bild:

1. Unter 45 Einzelergebnissen der Zylinderversuche befanden sich 23 mit einer einwandfreien Steigerung der Erträge, 18 ohne Wirkung und vier mit Ertragsminderungen.

2. Zwölf Einzelergebnisse der Freilandversuche teilen sich in sieben Ertragsmehrungen und fünf ohne Einfluß der Düngung.

3. Die größte Wirkung des Kohlensäuredüngers wurde der Reihe nach abnehmend festgestellt bei Knautgras dritter Schnitt, danach bei Gerste im Strohertrag, bei Wiesenhafer 1924 erster Schnitt, Wiesenhafer 1923 dritter Schnitt, Kartoffeln im Stärke- und Knollenertrag, Knautgras zweiter Schnitt, Wiesenhafer 1923 erster Schnitt und Hafer.

4. Die höchsten Ertragssteigerungen bei Futterpflanzen kamen vor beim ersten und dritten Schnitt, weniger beim zweiten Schnitt. An diesen höchsten Mehrerträgen waren die dreifachen und zweifachen Gaben Kohlensäuredünger gleichmäßig, die einfache Menge in geringerem Maße beteiligt.

5. Die Mehrzahl der Ertragserhöhungen an Futterpflanzen wurden beim dritten Schnitt, weniger beim ersten und am wenigsten beim zweiten Schnitt erzielt. Die meisten Mehrerträge waren zurückzuführen auf die zweifachen Gaben Kohlensäuredünger, weniger, aber gleichmäßig, auf einfache und dreifache Gabe.

6. An den Ertragsminderungen waren die einfachen und dreifachen Mengen in gleicher Weise, die zweifachen überhaupt nicht von Einfluß.

7. Bei Halmfrüchten wurde der Strohertrag mehr erhöht als der Kornertrag.

8. Der Gehalt der Kartoffeln an Stärke und damit die Gesamtmasse an Stärke wurden durch die Kohlensäuredüngung wesentlich vermehrt.

9. Die chemische Untersuchung der Ernteprodukte zeigte eine uneinheitliche, im allgemeinen unbedeutende Beeinflussung durch die Kohlensäuredüngung<sup>93)</sup>.

Betrachtet man die Versuchsergebnisse insgesamt, so kann auch unter Berücksichtigung der nur einjährigen Versuchsdauer gefolgert werden, daß der Kohlensäuredünger zu verschiedenen Pflanzen und unter gewissen Verhältnissen recht gute Wirkung hatte, daß aber bei der an sich schon heiß umstrittenen Frage der Düngung mit Kohlensäure eine weitere Fortführung der Versuche auf den verschiedensten Standorten durch möglichst viele Institute auf weitere Jahre notwendig ist, um die Frage der Wirksamkeit dieses Kohlensäuredüngers und der Kohlensäuredüngung überhaupt einwandfrei zu klären.

[A. 247.]

<sup>93)</sup> Vgl. das Tabellenmaterial in: H. Niklas, K. Scharrer u. A. Strobel, l. c.