©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

KOHLE UND PFLANZENWACHSTUM

VON

PROF. DR. VALE VOUK (ZAGREB)

(MIT 3 TAFELN UND 7 TEXTFIGUREN)

(AUS DEM BOTANISCH-PHYSIOLOGISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT IN ZAGREB)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 23. APRIL 1931

I. Die Einleitung.

»In der gärtnerischen Erfahrung stecken physiologische Probleme. Daher soll der Physiologe in die Schule des Gärtners und der Gärtner in die des Physiologen gehen. Beide können viel voneinander lernen.«

H. Molisch
(Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei).

Es ist ein altbekannter Gebrauch der Gärtner, daß zu der Komposterde, die für Topfkulturen benützt wird, etwas wenig Holzkohle oder auch Ruß beigemischt wird. Diese Praxis wird auch oft in den gärtnerischen Handbüchern erwähnt. In dem alten, mir zur Verfügung stehenden Schmiedlin's Gartenbuch (1887, p. 902) wird z. B. erklärt, daß die Holzkohle »die Erde locker macht, verhindert Fäulnis und befördert die Wurzelbildung ausnehmend«. Diese Verwendung der Kohle als Beimischung zur Gartenerde ist überall üblich, und als ich bei Gärtnern in dem mir unterstehenden Botanischen Garten um den Grund dieser Praxis nachforschte, bekam ich meistens die Antwort, daß die Beimischung der Kohle für das Pflanzengedeihen gut sei und daß die Erde dadurch nicht leicht verfaule. Es ist aber erstaunlich, daß diese Tatsache von wissenschaftlicher Seite keine entsprechende Beachtung gefunden hat. Was darüber von praktischer und auch wissenschaftlicher Seite geschrieben wurde, hat A. Appleyard von der Rothamsted Experimental Station in einem Aufsatz, betitelt »The use of charcoal as a medium for plant growth«, im Journal of the Royal Horticultural Society (1914/15) zusammengestellt. Eine kurze Rekapitulation der wichtigsten Angaben von Appleyard halte ich hier der Vollständigkeit des Berichtes wegen als wichtig.

Die meisten gärtnerischen Versuche über die Verwendung der Holzkohle im Gartenbau sind während des ganzen vorigen Jahrhunderts in verschiedenen gärtnerischen Fachblättern zu finden. Appleyard's Angaben gehen auf das Jahr 1841 zurück. In diesem Jahre wurden die ersten Mitteilungen über den Gebrauch von Holzkohle als Dünger notiert. Von den mit Holzkohle kultivierten Pflanzen werden *Gloxinia, Viola* und *Combretum* genannt. Der Erfolg solcher Kulturen sollte sich in der Verlängerung der Blütenperiode und in der Lebhaftigkeit der Blütenfarben zeigen. Appleyard erwähnt weiter, daß im Jahre 1843 in England fast bei allen Gärtnern die Holzkohle ein wichtiger Artikel speziell bei Topfkulturen war. Zum Beweis zitiert Appleyard einen Gärtner, der zu dieser Zeit folgendes schrieb: »Charcoal ist the most astonishing article to make use of for all purposes of cultivation, and especially for plants under artificial treatment«. Doch gab es auch gegenteilige Resultate und ebenso

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

auch Mißerfolge. Es zeigte sich, daß die Zugabe von Holzkohle zu der Kulturerde für gewisse Pflanzen nützlich war, für andere aber nicht. Man besprach auch die Ursachen der Wirkung der Kohle. Einige glaubten, daß die Kohle die Erde »porös« hält und Versäuerung, wie auch Klebrigkeit verhindert und in mechanischer und chemischer Hinsicht wirkt. Es gab aber auch solche, die an Kohle als direkten Nährstoff glaubten. Im Jahre 1849 wurde sogar von einer Gesellschaft die Torfkohle als Dünger in Handel gesetzt, und J. Cutchill schrieb, »daß die Torfkohle für die Melonenkultur so notwendig sei wie der Telegraph zu der Eisenbahn«. Es ist die Mitteilung (1881) interessant, daß die Kohle den Weizen vor Rost schützt. Die Kohle wird als Zusatz speziell zu den lehmigen Erden empfohlen.

In allen diesen wertvollen Beobachtungen der Praktiker werden in der Regel die quantitativen Mengen des Kohlenzusatzes nicht erwähnt und dies war auch vielleicht der Grund der öfteren Mißerfolge. Wahrscheinlich hielten dies die Gärtner als »Geschäftsgeheimnis«.

Die Praxis des Holzkohlezusatzes zu den Gartenkulturen ist bis zum heutigen Tage erhalten, wie wir dies anfangs erwähnt haben und es ist ganz absonderlich, daß sich für diese Erscheinung die Wissenschaft nicht interessierte. Das einzige diesbezüglich finden wir in einer Studie von Prianischnikow aus dem Jahre 1914.

Der russische Forscher versuchte die schädlichen Wirkungen der erneuerten Kultur in derselben Erde durch Wurzelausscheidungen zu erklären. Diese schädliche Wirkung konnte er in Wiederholung der Versuche von anderen Forschern durch Kohlezugabe ausschalten. Er äußert sich darüber folgendermaßen (l. c. p. 582):

»Dans les expériences de M. Cameron du même que dans celles de M. Peritourine le charbon s'est montré capable du rendre inactives les influences, que produit la culture précédent sur la suivante, ou, plus exactement, le charbon elève la récolte de la deuxième culture jusqu'a niveau de la première, de même qu'il rend inactifs les extraits des sols (Fig. 6, 9, 10, 11), et comme la filtration à travers le charbon n'a pas diminuè l'alcalinité de l'extrait, il reste à voir en quoi consiste l'action utile du charbon.

Prianischnikow selbst stellte diese Wirkung der Kohle als Problem auf, indem er sagte: »Nous estimons que l'action utile du charbon dans les cultures répétées doit être étudiée pour qu'on puisse constater definitivement si l'action utile du charbon est en relation, avec l'existence des excrétions nuisibles des racines, ou si le causes de ce phénoméne est d'un autre ordre«.

Außer diesen Angaben von Prianischnikow fand ich in der Literatur nur noch ein Referat über eine russische Arbeit von Domontowitsch M. und Zinzadse Sch., die sich mit der Wirkung der Kohle in Nährlösungen beschäftigt haben. Auf diese Arbeit kommen wir in einem der folgenden Kapitel nochmals zurück.

Dies war ungefähr der Stand der Frage über die Wirkung der Kohle auf das Pflanzenwachstum, als ich mich vor etwa zweiundeinhalb Jahren entschlossen habe, einige orientierende Versuche darüber anzustellen.[1] Gleich nach den ersten Versuchen über die Wirkung des Holzkohlezusatzes zur Erde auf das Wachstum einiger Kulturpflanzen, kam ich auf den Gedanken, anstatt Holzkohle einmal Braunkohle, die zu Heizzwecken benutzt wurde, zu verwenden. Der erste Versuch war überaus erstaunlich. Die Braunkohle, in verschiedener Menge bis 50 auf 100 Teile der Erde zugegeben, zeigte überhaupt keine schädliche Wirkung, ja im Gegenteil, die Kulturen mit höherem Prozent des Braunkohlezusatzes ergaben mehr als 100% Mehrertrag an Trockensubstanz. Die Pflanzen *(Sinapis alba)* zeigten bei Kulturen mit höherem Prozent des Braunkohlezusatzes einen viel kräftigeren Wuchs, intensivere Färbung, sie kamen später zur Blüte und fruchteten reichlicher. Kurz, die Wirkung der Braunkohle war anders als jene der Holzkohle, die nur bei geringer Zugabe (etwa 5 pro 100) in gewissen Fällen eine merkbare

---

[1] Nachtrag. In dem eben erschienenen Werke von Honcamp »Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre (1931)« finde ich im Aufsatz von H. Fischer »Die Bedeutung der organ. Substanz und Umsetzung derselben im Boden« auch eine Angabe über die Anwendung der »Humuskohle« als Dünger. H. Fischer sagt: »Dem Torf anzuschließen wäre die sog. »Humuskohle«, eine erdige, für Brennzwecke wenig geeignete Braunkohle, die seit einigen Jahren zur Bodendüngung empfohlen wird. Daß die Bodenbakterien auch dieses Material werden abbauen können, ist wohl sicher, wenngleich einige Zeit nötig sein wird, bis sie sich an solch schwer zersetzbare Stoffe gewöhnt haben. Jedenfalls sind weitere Versuche nötig und die Akten über die Humuskohle nach einem mißglückten Versuch keineswegs als abgeschlossen anzusehen.«

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erhöhung des Ertrages hervorruft, im übrigen aber bei höherer Zugabe eine dementsprechende schädliche Wirkung zur Folge hatte. Zu dieser Zeit erschien der interessante Artikel von R. Lieske, »Biologie und Kohlenforschung«, der mich auf eine ebenso interessante Arbeit von Kissel aufmerksam machte. In dem erwähnten Artikel wird auch von Lieske auf das Problem der Verwendbarkeit der Kohle als Düngemittel hingewiesen. Er äußert sich darüber folgendermaßen: »In der gärtnerischen Literatur findet sich immer wieder die Angabe, daß man mit Kohlenstaub oder Ruß gute Düngewirkungen erzielen kann. In letzter Zeit von Kissel veröffentlichte Untersuchungen bestätigten diese Angaben, obwohl auch zahlreiche negative Ergebnisse bekannt sind. Die Wirkung der Kohle, die ja angeblich keinen eigentlichen Nährstoff enthält, ist auch nach den Angaben von Kissel ganz unklar. Es konnte nun von uns mit einer neuen Methode, und zwar mit Reinkulturen von Wasserlinsen, einwandfrei festgestellt werden, daß man durch Kohlezusatz zum Nährboden tatsächlich eine ganz erhebliche Steigerung des Erntegewichtes erzielen kann. Die Untersuchungen bezwecken zunächst ausschließlich die Feststellung der physiologischen Wirkung der Kohle, erst dann wenn man diese kennt, kann man die praktische Brauchbarkeit der Kohle als Düngemittel näher untersuchen und beurteilen.« Mit großem Interesse erwarten wir die Veröffentlichung Lieske's Versuche mit Wasserkulturen, obwohl ich die Methode des Vegetationsversuches in Topfkulturen in diesem Falle als Einführung in das Problem vorziehe. Kissel berichtete auf der Internationalen Brennstoffkonferenz in London (1923) über seine erfolgreichen Versuche mit der Düngung gewisser Kulturpflanzen mit Braunkohle, doch machte er sofort Feldversuche im großen, was vom Standpunkte der experimentellen Methodik gar nicht zweckmäßig war. Ich erachte es als notwendig auf diese wichtige Mitteilung von Kissel näher einzugehen.

Kissel geht von der Bedeutung der organischen Substanzen für das Wachstum der Pflanzen aus und glaubt auf Grund der Angaben von vielen Forschern, daß es hauptsächlich die Huminsubstanzen sind, die für die Pflanze im Boden von besonderer Bedeutung sind. »Neanmoins, les résultats des recherches faite par l'auteur prouvent d'une manière évident que la présence de matières humiques dans le sol contribue, dans certaines conditions bio-climatiques, à ce que les plantes forment des quantités plus élevées de matière organique.« Dies gab Kissel Veranlassung zur Benützung der Braunkohle als Dünger in Form von Kohlenstaub und Huminverbindungen, die er durch spezielle Methoden aus der Braunkohle herstellte. Diese zweite Art von Düngung entzieht sich einer wissenschaftlichen Behandlung, da eben diese spezielle Herstellungsmethoden der Huminsubstanzen (»Carbohumate«) nicht angegeben sind. Kissel führte beträchtliche Mengen von Braunkohle (10.000 bis 20.000 *kg* pro Hektar) in den bearbeiteten Boden ein und konstatierte bis 55% Mehrertrag an Ernte bei bestimmten Kulturpflanzen als im Boden ohne Kohle. Kleinere Quantitäten von Kohle waren wenig oder kaum wirksam. Die Erhöhung des Ernteertrages erzielte Kissel bei einigen Getreidearten, Zuckerrübe, Mais und sogar bei Weinrebe. Die Braunkohle, die Kissel benutzte, war eine Lignitsorte aus dem Kohlenbergwerk Hedvika in der Tschechoslovakei, also eine einzige Braunkohlenart, was ebenso in methodischer Hinsicht in bezug auf Verallgemeinerung der Kohlenwirkung zu beanständen wäre. Kissel glaubt, daß der Zusatz der Braunkohle zur Ackererde von verschiedenem Werte ist: das Optimum der Temperatur wird durch Kohle reguliert, wovon später noch die Rede sein wird, die Aeration des Bodens wird verbessert und bessere Wasserregulation wird ermöglicht; außerdem kommt direkte chemische Ausnützung der Kohlenstoff- und Stickstoffsubstanzen der Kohle in Betracht. Kissel entwickelte in einer zweiten Mitteilung seine Ansichten über die Ursachen der günstigen Wirkung der Kohle, ohne aber irgendwelche beweisende Vegetationsversuche durchzuführen.

Ich habe mit meinen Versuchen im Winter 1928 begonnen und führe sie konstant bis heute. Da ich nun zu einem bestimmten einleitenden Abschlusse gekommen bin, entschloß ich mich, das bisherige experimentelle Material und die Resultate zu veröffentlichen, obwohl ich mir bewußt bin, daß wir uns erst am Anfange der Lösung der Frage über die Wirkung der Kohle auf das Pflanzenwachstum befinden. Molisch sagte gelegentlich[1] mit Recht: »Jede Wissenschaft beginnt mit Erfahrung. Erst wenn diese sich bis zu einem gewissen Grade angehäuft hat, greift auch die Theorie ein und sucht praktische Erfahrungen zu beleuchten, zu erklären und die Grundlage für neue Kenntnisse zu schaffen.« Ich bin

[1] Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei. Vorwort.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

auch zufrieden, falls es mir tatsächlich gelungen ist, neue Erfahrungen zum Problem »Kohle und Pflanzenwachstum« beizutragen und Wege zu seiner Lösung zu bahnen.[1]

Ich kann es hier nicht unterlassen, mich meiner stets freiwilligen Mitarbeiter dankbar zu erinnern. Herr Dr. Z. Arnold, Kustos des Botanischen Gartens, war mir bei der Anstellung der allerersten Vorversuche und bei der Ausführung der Photographien stets behilflich, und während aller anderen Versuche unterstützten meine experimentelle Arbeit tatkräftig die wissenschaftliche Hilfsassistentin Fräulein Z. Klas und die technische Assistentin Fräulein M. Chadraba.

II. Versuche mit Holzkohle.

Bereits Ende des Jahres 1928 habe ich eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Pflanzen durchgeführt, um die Frage zu prüfen, ob der Zusatz von Holzkohle zu den Pflanzenkulturen irgendeinen Einfluß auf das Wachstum, beziehungsweise auf den Ertrag der Pflanzen hat. Ich suchte zunächst die alte gärtnerische Erfahrung nachzuprüfen, doch war ich über die Menge der Holzkohle, die den Kulturen zugesetzt werden soll, gar nicht orientiert. Es blieb nichts anderes übrig, als selbst Erfahrung zu sammeln, bis ich endlich zu dem Normalmaß für alle auch späteren Experimente kam und Zusätze von 5, 10, 25, 50 Volumteile feinzerstoßener Buchenkohle auf 100 Volumteile der Versuchserde wählte. In diesen wie auch in allen weiteren Versuchen benütze ich die Zeichen 5/100, 10/100, 25/100, 50/100 als entsprechende Volumteile der Kohle auf 100 Volumteile der Erde.

Aus vielen Versuchsreihen will ich hier nur einige charakteristische herausnehmen.

Versuch Nr. 1. **Hordeum vulgare.**

Dauer des Versuches vom 25. I. bis 24. VI. 1929. Kulturboden: Gute Gartenerde mit Mischungen von reiner, feinstaubiger Holzkohle. Es wurde darauf geachtet, daß die Durchmischung der Erde mit Kohle womöglich gleichmäßig ist. Als Wachstumsmaß wurde in diesem Versuche die Längenzunahme (in Millimetern) genommen. Es wurden zwei Versuchsserien mit je 15 Pflanzen in jedem Versuchsgefäße genommen.

Den Verlauf des Längenwachstums zeigt uns die folgende Tabelle:

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
3. II. ..	19·3	16·3	15·1	11·0	6·9
4. II. .	38·2	35·6	31·5		19·5
7. II.	86·5	87·9	80·3	71·1	59·2
18. II. ..	156·3	152·4	144·5	132·3	104·8
24. VI.. ..	640	**670**	**658**	650	650

Man sieht im allgemeinen einen schwächeren Zuwachs bei Pflanzen fortschreitend mit dem Kohlezusatz. Erst am Schlusse des Versuches ergab sich ein größerer Längenzuwachs der Pflanzen bei 5/100 und 10/100 Kohlezusatz.

[1] Als das Manuskript schon druckfertig lag, bekam ich zugeschickt den Vortrag von R. Lieske: »Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Kohlen als Düngemittel (Brennstoffchemie, Bd. 12, p. 81 bis 85, 1930). Lieske machte Versuche mit Wasserlinsen *(Lemna)* in Wasserkulturen, denen Rohbraunkohle zugesetzt war. In solchen Kulturen konnte er erheblichen Mehrertrag an Trockensubstanz erzielen. Noch besseren Erfolg erzielte er durch den Zusatz von Braunkohle, die zuvor mit 0·5% Ammoniaklösung abgesättigt war. Lieske führte auch zwei Topfversuche an, die er mit Hafer und Mais in ähnlicher Weise wie mit Wasserlinsen durchgeführt hat. In beiden Fällen erzielte er durch Düngung mit Braunkohle bedeutenden Mehrertrag und insbesondere wenn die Kohle mit Ammoniaklösung getränkt war.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Am Schlusse der Versuche wurde die Samenernte gesammelt und abgewogen. Es ergab sich das folgende Resultat:

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Gesamtgewicht der Samen in Grammen	10·288	10·348	10·650	12·278	11 170
Gewicht der Samen pro 200 Körner in Grammen	7·625	7·878	**8·380**	7·525	6·628

Besseres Resultat ergibt uns das Körnergewicht und wir sehen doch eine kleine Erhöhung des Ertrages bei 10/100 Kohle um etwa 9%.

Eine Variante des Versuches wurde in der Weise ausgeführt, daß anstatt der Gartenerde, die sonst lehmigen Charakter hatte, feine sandige Erde benutzt wurde. Das Resultat dieses Versuches ergibt die folgende Tabelle:

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Endlänge der Pflanzen in Zentimetern.	**54·6**	48·6	49·8	46·0	46·0
Gesamtgewicht der Samen in Grammen	**5·412**	4·80	4·480	2·58	2·58
Gewicht von 200 Samen in Grammen.	**2·84**	2·761	2·729	2·585	2·48

Man sieht, daß mit dem Zusatz der Kohle das Längenwachstum wie auch der Samenertrag zurückgegangen ist.

Der Zusatz von mehr als 25/100 Holzkohle zu den Kulturen zeigte evident schädigende Wirkung. Ein anderer Vorversuch, durchgeführt mit Weizen, ergab, was den Längenzuwachs anbelangt, ungefähr dasselbe Resultat.

Versuch Nr. 2. **Cichorium intybus.**

Der Versuch mit der Zichorie verdient besondere Erwähnung, da außer Länge und Breite der Blätter auch die Trockensubstanz der Blätter und Wurzel gemessen wurde.

Der Versuch dauerte vom 23. II. bis 19. VI. 1929. Zu der lehmig-tonigen Gartenerde wurde Holzkohle in feinem Staub beigemischt. Der Versuch wurde im Gewächshause des physiologischen Laboratoriums ausgeführt.

Die Gesamtresultate des Versuches ergibt die folgende Tabelle:

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Die Höhe der Pflanzen, d. h. die Länge der Blätter in Zentimetern ..	24·6	**29·4**	25·9	18·5	15·5
Die Breite der Blätter in Zentimetern..	3·6	**4·7**	3·7	3·0	2·7
Die Länge der Wurzel in Zentimetern..	8.5	7·9	10·8	**11·1**	8·5
Trockensubstanz der Wurzel in Gramm pro zehn Pflanzen..	13·59	14·54	**16·92**	10·51	5·75
Trockensubstanz der Blätter in Gramm pro zehn Pflanzen..	8·5	**12·83**	9·7	9·67	4·17
Gesamttrockensubstanz pro zehn Pflanzen	22·09	**27·37**	26·62	17·31	9·92

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Tabelle zeigt uns einen nicht unbedeutenden Mehrertrag an Trockensubstanz bei 5/100 Zusatz von Holzkohle. Dies illustriert übrigens die beigelegte Photographie des Versuches (Fig. 1).

Die 5/100-Kulturen sind von einem kräftigeren Wuchs als die normalen Kulturen ohne Holzkohle. Die weiteren 25/100- und 50/100-Kulturen zeigen in der Photographie und noch besser in allen Zahlen der Tabelle eine allmähliche Abnahme in der Größe und im Gewichte der Trockensubstanz. Die Zugabe der Holzkohle von 5/100 bis 10/100 erwirkt eine sichtliche Erhöhung des Ertrages und von 10/100 bis 50/100 eine bedeutende Abnahme. Dieser Versuch ist nicht bis zu vollkommener Entwicklung der Pflanzen weitergeführt worden, da die Versuchsgefäße leider zu klein waren, und der Versuch mußte deshalb vorzeitig abgebrochen werden.

Andere Zahlen ergaben die Messungen der Wurzel. Das Optimum des Längenwachstums zeigte sich bei 25/100-Kulturen und das Minimum bei 5/100-Kulturen, wo eben die oberirdischen assimilierenden Teile ihr Optimum haben. Auch die Trockensubstanz der Wurzeln zeigte sich im Optimum bei 10/100-Kulturen. Man kann aber diese Zahlen nicht als absolute betrachten, da eben, wie oben gesagt, der

Fig. 1.
Einfluß der Holzkohle auf *Cichorium*.

Versuch nicht bis zu Ende der Entwicklung der Pflanzen geführt worden ist. Ich nahm mir vor, diese Erscheinung bei einer anderen Gelegenheit weiter zu untersuchen.

Versuch Nr. 3. **Sinapis alba.**

Bei den Versuchen mit der Senfpflanze, die sich überhaupt als das geeignetste Versuchsobjekt in allen weiteren Versuchen gezeigt hat, benutzte ich die praktischen Mitscherlich'schen Vegetationsgefäße. Durchschnittlich konnten 16 bis 18 Pflanzen in jedem Gefäße normal zur Entwicklung gelangen.

Der Versuch dauerte vom 25. III. bis zum 23. IV. Es wurden aber zwei Versuchsserien aufgestellt, die eine mit der lehmig-tonigen Gartenerde, die andere mit guter Komposterde.

Die Resultate ergeben uns nebenstehende Tabellen.

Die Resultate der beiden Versuchsserien unterscheiden sich voneinander nicht bedeutend. Im allgemeinen sieht man das Optimum des vegetativen Wachstums (Blattgröße) bei 10/100-Kulturen. Der Unterschied gegenüber normalen Kulturen ohne Holzkohle ist prägnanter in der zweiten Versuchsserie (lehmig-tonige Gartenerde). Der Mehrertrag an Trockensubstanz in der Komposterdeserie war nur etwa 6 % und in der gewöhnlichen Gartenerdeserie erreichte er sogar etwa 27 %. Diese Unterschiede sind in der Photographie der zweiten Versuchsserie (Taf. 1, Fig. 1) wenig zu bemerken. Man sieht allerdings bei den 5/100- und 10/100-Kulturen kräftigere Laubentwicklung. In den 25/100-Kulturen sind die Pflanzen viel schwächer als in der Normalkultur und schließlich in der 50/100-Kultur sehen die Pflanzen direkt verkümmert aus. Das Optimum der Entwicklung liegt jedenfalls zwischen 5/100 und 10/100 Kohlezusatz

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und bei 10/100 Kohlezusatz beginnt schon die hemmende Wirkung, die sich im allgemeinen Zurückbleiben der Pflanzen in der Entwicklung zeigt.

1. Versuchsserie mit Komposterde.

Versuchsdauer vom 25. III. bis 23. VI. 1929.

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern ..	47·11	**49·82**	41·93	28·62	22·61
Länge der Blätter durchschnittlich in Zentimetern.. ..	4·3	**4·7**	3·7	3·0	2·0
Breite der Blätter durchschnittlich in Zentimetern..... ..	3·3	**4·3**	3·3	2·2	1·3
Trockensubstanz von zehn Pflanzen ohne Wurzeln in Grammen.....	5·174	**5·481**	3·912	1·641	1·252
Anzahl von Früchten auf einer Pflanze	9·0	**10·7**	9·6	5·7	2·2
Gewicht von Samen in Grammen auf zehn Pflanzen.. ..	1·764	**1·781**	1·312	0·531	0·352

2. Versuchsserie mit lehmig-toniger Gartenerde.

Versuchsdauer vom 25. III. bis 23. VI. 1929.

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern	47·1	47·7	**52·3**	43·3	24·7
Länge der Blätter durchschnittlich in Zentimetern	3·7	4·3	**4·5**	3·3	2·8
Breite der Blätter durchschnittlich in Zentimetern	3·—	3·5	**3·7**	2·7	1·5
Trockensubstanz in Grammen von zehn Pflanzen ohne Wurzeln.....	3·67	4·407	**4·505**	3·062	0·786
Anzahl von Früchten auf einer Pflanze	7·1	**11·1**	10·0	8·8	2·1
Gewicht von Samen in Grammen auf zehn Pflanzen ..	1·0	**1·377**	1·235	1·062	0·176

Um zu sehen, wie sich der *pH*-Wert in Boden in verschiedenen Kulturen am Anfang und am Schlusse des Versuches verhält, sind auf kolorimetrischem Wege (mit Hellige's Komparator) *pH*-Bestimmungen durchgeführt. Die Werte sind aus der folgenden Tabelle zu lesen:

pH-Werte während der 2. Versuchsserie.

	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Am Anfang des Versuches ..	6·8	6·7	6·7	6·7	6·9
Am Schlusse des Versuches .	7·0	6·8	6·9	7·1	7·0

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Man sieht zwar eine schwache Erhöhung der *pH*-Werte während des Versuches, doch steht diese Erhöhung in keiner Relation zu dem Ergebnis der Versuche. Man kann die *pH*-Verhältnisse des Bodens nicht für den Ausfall der Versuche verantwortlich machen.

Versuch Nr. 4. **Linum usitatissimum.**

Die Versuche mit der Leinpflanze wurden im Jahre 1930 ausgeführt (10. V. bis 5. VIII.). Die Versuchsanstellung war wie üblich in Mitscherlich'schen Vegetationsgefäßen. Die Erde wie bei früheren Versuchen. In jedem Gefäß (zwei Versuchsreihen) ungefähr 17 Pflanzen. *pH* in jedem Gefäß zirka 6·7 vor und nach dem Versuche.

Die Resultate der Versuche sind aus der Tabelle ersichtlich.

Zusatz von Holzkohle	Anzahl von Versuchspflanzen	Anzahl der Sproßzweige auf einer Pflanze	Anzahl von reifen Früchten auf einer Pflanze	Trockensubstanz in Grammen auf 100 Pflanzen		
				Blatt und Stengel	Früchte	Zusammen
0/100	17	**4·8**		**40**	**13**	**53**
5/100	17	3·6	4	33	8	41
10/100	18	3·2	3·1	21	7	28
25/100	17	2·8	1·7	18	3·5	21
50/100	15	1·8	0·8	9	3	11

Wie diese Tabelle zeigt, sind hier die Kulturen ohne Zusatz von Holzkohle in jeder Beziehung die besten. Es zeigte sich gar kein günstiger Einfluß der Holzkohle auf die Leinpflanze, ja im Gegenteil, die Kulturen der Leinpflanze mit Zusatz von Holzkohle zeigten fortschreitend mit der Holzkohlemenge schwächeres Wachstum wie auch abnehmenden Ertrag. Die Taf. I, Fig. 2, illustriert deutlich den Ausfall dieses Versuches.

Versuch Nr. 5. **Polygonum fagopyrum.**

Die Vorversuche mit Buchweizen waren bereits anfangs 1929 durchgeführt. Damals hatte ich keine Trockensubstanzbestimmung durchgeführt, und nach der Photographie, die ich besitze, schien es, dem Aussehen der Pflanzen nach, als ob in den 5/100-Kulturen mit Holzkohle die Pflanzen besser gediehen. Der Versuch wurde im letzten Herbste unter denselben Versuchsbedingungen wie die Versuche Nr. 3 und 4 wiederholt. Versuchsdauer: 4. IX. bis 16. XI. Das Ergebnis war folgendes:

Holzkohlezusatz	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Trockensubstanz in Grammen (von zehn Pflanzen).	**5·23**	5·11	3·14	2·71	1·25

Auch diese Versuchsserie zeigte gar keinen günstigen Einfluß der Holzkohle auf die Kulturen. Die wachstumshemmende Wirkung von Holzkohle tritt hier wie bei der Leinpflanze deutlich auf.

Überblicken wir alle unsere bisher durchgeführten Versuche, so können wir folgende übereinstimmende Resultate verzeichnen:

1. Der Zusatz von Holzkohle zum Kulturboden von mehr als 10 auf 100 Volumteile wirkt auf die Pflanzen schädigend;

2. der Zusatz von 5 bis 10 auf 100 Teile von Holzkohle zum Kulturboden wirkte in einigen Fällen *(Hordeum, Cichorium, Sinapis)* günstig auf die Pflanzen, indem der Ertrag an Trockensubstanz höchstens bis auf 10% erhöht wurde; in einigen Fällen aber *(Linum, Polygonum)* zeigte sich diese günstige Wirkung überhaupt nicht.

Es interessiert uns jedenfalls in erster Linie die günstige beziehungsweise wachstumsfördernde Wirkung der Holzkohle, die tatsächlich in einigen Fällen erzielt wurde. Worauf soll diese Wirkung

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

beruhen? Ist es eine physikalische Wirkung oder vielleicht eine physikalisch-chemische? Zunächst wäre es wichtig, nochmals alle diese Versuche gleichzeitig unter gleichartigen Bedingungen auszuführen, denn die Jahreszeit spielt vielleicht dabei eine Rolle.

Worauf die schädigende Wirkung der Holzkohle bei höheren Konzentrationen beruhen soll, ist wieder ein Kapitel für sich, doch ließ ich vorderhand alle diese Fragen beiseite für eine spätere Zeit, da ich bei der Prüfung anderer Kohlenarten auf neue interessantere Probleme gelenkt worden bin, welche wertvoller zu untersuchen schienen als die Frage der Holzkohlewirkung.

Doch bereits aus diesen Vorversuchen über den Einfluß der Holzkohle dürfte man schließen, daß die Holzkohle tatsächlich keine besondere Beachtung in der Pflanzenkultur verdiene, die man ihr oft zuschreibt.

III. Versuche mit Braunkohle.

Von der Voraussetzung ausgehend, es handle sich bei der Wirkung der Holzkohle eventuell um eine rein physikalische Wirkung der Adsorption, versuchte ich anstatt Holzkohle den feinen Staub einer

Fig. 2.
Einfluß der Holzkohle auf Buchweizen (Winterversuch 1929/30).

Braunkohle, die wir zu Heizzwecken des Gewächshauses benutzt haben, zu verwenden. Der Erfolg dieses Versuches, der mit *Sinapis alba* ausgeführt wurde, war äußerst überraschend. Es zeigte sich bei Kulturen sogar bei Zusatz von 50/100 Braunkohlenstaub keine schädigende Wirkung, vielmehr kam die fördernde Wirkung der Braunkohle auf das allgemeine Wachstum der Pflanzen zum Vorschein. Die Pflanzen wuchsen zwar etwas langsamer in die Höhe als jene ohne Zusatz von Braunkohle, doch das Blattlaub entwickelte sich stärker und zeigte eine dunklere Grünfärbung. Durch dieses üppigere vegetative Wachstum wurde die Blütenbildung zwar zeitlich verzögert, aber deshalb war sie viel reichlicher. Wir hatten also vor uns ganz neue Tatsachen, die, wie oben gesagt, wertvoller zu untersuchen schienen als die Frage der Holzkohlewirkung.

Im folgenden will ich nun über das Ergebnis der Versuche mit Braunkohle berichten.

Die Versuche wurden in der üblichen Weise in Mitscherlich'schen Vegetationsgefäßen durchgeführt. Die Erde, die zu den Versuchen benutzt wurde, hatte einen ausgesprochen lehmig-tonigen Charakter. Die benutzte Kohle stammte aus Staatskohlenwerken in Mostar und gehörte zu den besseren Qualitäten von Braunkohle (4·662 Kal.). Die allgemeine Analyse wird angegeben:

Wasser	Asche	Schwefel	O+N	H	C
15·42	7·70	3·18	17·91	3·84	51·95

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Kohle wurde als feiner Staub der Erde gut beigemischt, und zwar in der üblichen Weise in Volumprozenten auf hundert Teile Erde.

Versuch Nr. 6. **Sinapis alba.**

1. Versuchsserie (in lehmig-toniger Gartenerde).

Versuchsdauer: 25. III. bis 23. VI. 1930. In jedem Gefäß 16 bis 18 Pflanzen, *pH* in jedem Gefäß 6·5.

Am Anfang des Versuches sah man etwas schnelleres Wachstum in der Kultur ohne Braunkohle. Die Pflanzen in Kulturen mit Braunkohle kamen in der Entwicklung nach, wurden nachher viel kräftiger, hatten kräftigeres Laub, kamen später zur Blütenbildung, und zwar desto später je mehr Braunkohle zugesetzt war. Die vegetative Entwicklungsperiode wird eigentlich im ganzen etwas verlängert. Fig. 1, Taf. II, zeigt den Zustand der Versuchsserie nach 67 Tagen. Die Pflanzen ohne Zusatz von Braunkohle beginnen früher zu reifen, das Laub beginnt früher gelb zu werden und wird früher abgeworfen. Die Pflanzen in Kultur mit 50/100 Braunkohle verhalten sich gerade umgekehrt, sie reifen als letzte der Versuchsreihe und halten sich am längsten im frischen Grün. Den Enderfolg dieser Versuchsreihe zeigt die folgende Tabelle:

Zusatz von Braunkohle pro 100 Teile Erde	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern	45·0	47·3	51·9	56·2	**56·4**
Länge der Blätter in Zentimetern		4·0	5·0	6·0	**6·5**
Breite der Blätter in Zentimetern	2·7		4·5	5·0	
Anzahl von Früchten auf einer Pflanze		10·1	10·7	12·8	**15·5**
Samengewicht Grammen auf zehn Pflanzen	1·007	1·462	1·520	1·60	**2·075**
Trockensubstanz der Blätter in Grammen pro zehn Pflanzen	0·5	0·8	1·1	1·4	**2·1**
Trockensubstanz der Stengel in Grammen pro zehn Pflanzen	1·63		2·76	3·60	**4·18**
Gesamttrockensubstanz Grammen pro zehn Pflanzen	3·137	4·512	5·380	6·60	**7·355**

Aus dieser Tabelle sehen wir deutlich, daß durch Zusatz von Braunkohle zum Boden das Wachstum der Pflanzen in jeder Beziehung gefördert und der Ertrag an Trockensubstanz erhöht wird. Die Kulturen bei 50/100 Braunkohle waren die besten, insbesondere sah man das an kräftig entwickeltem Laub. Auch Stengel waren in diesen Kulturen mit Braunkohle viel dicker als in den Kulturen ohne Kohle. Eines müssen wir noch besonders hervorheben. Die fördernde Wirkung des Braunkohlezusatzes war nicht vom Anfang an zu sehen. Es schien sogar während des ersten Monats, als ob die Pflanzen mit Kohlezusatz in der Entwicklung zurückbleiben werden. Erst in der sechsten Woche beginnt die kräftigere Entwicklung der Pflanzen in Kohlekulturen, die von diesem Zeitpunkt an stets den normalen Kulturen ohne Kohle in jeder Beziehung vorausgehen.

Zu gleicher Zeit wurde die zweite Versuchsserie in Komposterde mit Braunkohle durchgeführt. Die Versuchsbedingungen waren vollkommen die gleichen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Versuchsserie (mit Komposterde).

Zusatz von Braunkohle pro 100 Teile Erde	0/100	5/100	10/100	25/100	50/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern . . .	**50·2**	45·3	48·5	47·3	48·23
Länge der Blätter in Zentimetern .	4·0	4·5	5·0	**6·0**	**6·0**
Breite der Blätter in Zentimetern	3·5	4·0	**5·0**	**5·0**	**5·0**
Anzahl von Früchten auf einer Pflanze	9·8	10·6	9·5	12·8	**14·9**
Samengewicht in Gramm pro zehn Pflanzen .	1·411	1·361	1·352	2·066	**2·352**
Trockensubstanz der Blätter in Gramm pro zehn Pflanzen... .	0·80	0·80	0·90	1·4	**1·7**
Trockensubstanz der Stengel in Gramm pro zehn Pflanzen. ..	2·28	2·27		2·66	**3·11**
Gesamttrockensubstanz Gramm pro zehn Pflanzen... .	4·49	4·43	4·77	6·13	**7·16**

Im allgemeinen sieht man, daß der Unterschied in der Wirkung der Braunkohle dieser Versuchsserie gegenüber der ersten Versuchsserie nicht bedeutend ist, doch immerhin kann man sagen, daß auch in dieser Versuchsserie die Kulturen mit 50/100 Zusatz von Braunkohle die besten waren. Vergleichen wir z. B. die Zahlen der gesamten Trockensubstanz der beiden Versuchsreihen, so haben wir:

1. Lehmig-tonige Gartenerde	3·137 *g*
2. Komposterde .	4·491
3. Lehmig-tonige Gartenerde mit 50/100 Braunkohle.	7·355
4. Komposterde mit 50/100 Braunkohle	7·162

Wenn wir die Ertragserhöhung in Prozenten ausdrücken, so bekommen wir:

1. Mehrertrag durch Braunkohle in lehmig-toniger Gartenerde.	134 %
2. in Komposterde	59

Dieser Unterschied ist selbstverständlich, da die Pflanzen in der Komposterde besser ernährt sind als in der lehmig-tonigen Gartenerde.

Fig. 1, Taf. III, zeigt uns im Vergleich Pflanzen in normaler Erde und Komposterde ohne Zusatz von Kohle und Pflanzen in Kultur mit 50/100 Braunkohle. Diese Photographie benötigt keine weitere Erklärung.

3. Versuchsserie (Kultur bis zu 100/100 von Braunkohle).

Da die Kulturen bei Zusatz von 50/100 Braunkohle sozusagen im Optimum waren, so führte ich wiederholt Versuche mit Zusatz von 75/100 und sogar 100/100 von Braunkohle. Die Resultate einer von diesen Versuchsserien werden hier mitgeteilt.

Versuchsdauer vom 11. VIII. bis 10. IX., sonst die gleichen Versuchsbedingungen. Die Pflanzen zeigten sogar bei 100/100 von Braunkohle ein kräftiges Wachstum. Wie die folgende Tabelle zeigt, ergab sich bei 100/100 Braunkohle der Höchstertrag an Trockensubstanz.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Trockensubstanz in Gramm auf zehn Pflanzen	0/100	25/100	50/100	75/100	100/100
Blätter .	1·1	1·6	1·6	1·7	**2·35**
Stengel mit Früchten .	6·0	7·6		7·6	**9·9**
Zusammen. .	7·1	9·2	9·1	9·3	**12·25**

Dieser Versuch zeigt noch eine weitere Eigentümlichkeit, die als wichtig zu verzeichnen ist und die sich in einigen anderen hier nicht verzeichneten Versuchen zeigte. Der Ertrag an Trockensubstanz war hier bei weitem nicht so hoch wie bei den ersten Versuchsreihen, die im Frühjahr aufgestellt worden sind. Die Sommerversuche zeigten also keine so großen Unterschiede im Wachstum nach Zusatz von Braunkohle wie die Frühjahrs- und Herbstversuche. Wir wollen uns vorläufig mit der Konstatierung dieser Tatsachen begnügen, ohne auf ihre Ursachen einzugehen.

Versuch Nr. 7. **Linum usitatissimum.**

1. Versuchsreihe (bis 50/100 Braunkohle).

Versuchsdauer: 10. V. bis 5. VIII. 1930. In jedem Gefäße durchschnittlich 17 Pflanzen. *pH* in allen Gefäßen = 6·7.

Schon während des Versuches konnte man nach etwa 4 bis 6 Wochen Unterschiede in den Kulturen wahrnehmen. Die Pflanzen in den Kulturen mit Braunkohlezusatz zeigten auffallend intensivere Grünfärbung und außerdem reichlichere Verzweigung. Nach etwa sechs Wochen waren die Pflanzen in den 25/100 und besonders in den 50/100-Kulturen so üppig entwickelt, daß sie einfach nicht aufrecht stehen konnten, sondern umkippten. Diesmal zeigte sich kein Einfluß auf die Höhe der Pflanzen, denn sie war in allen Kulturen ungefähr gleich. Die Resultate der Versuchsreihe illustriert am besten die folgende Tabelle.

Braunkohle	Anzahl von Pflanzen	Anzahl der Zweigsprosse pro eine Pflanze	Anzahl von Früchten auf einer Pflanze	Trockensubstanz pro 100 Pflanzen		
				Sprosse mit Blättern	Früchte	Zusammen
0/100 .	15	3·5	5·4	34	13	47
5/100 .	15	4·6	6·1	36	16	
10/100	17		5·8	40	14	54
25/100 .	18		6·8	44	**16**	60
50/100 .	16	**6·6**	**7**	**54**	14	**68**

Bevor wir die Resultate dieser Versuchsreihe besprechen, wollen wir zunächst über eine zweite Versuchsreihe berichten, in der noch eine 100/100-Kultur untersucht war.

2. Versuchsreihe (bis 100/100 Kohle).

Versuchsdauer vom 20. VIII. bis 14. XI. 1930. Während der Keimung war der Versuch im Gewächshause des Laboratoriums aufgestellt und nach der Keimung blieb er im Freien des Versuchsgartens bis

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zum 25. VIII. aufgestellt und, da kalte Nächte eingetreten sind, wurde er wieder ins Gewächshaus übertragen.

Nach etwa 4 bis 5 Wochen zeigten sich neue Sproßbildungen und die intensivere Grünfärbung der Pflanzen, insbesondere in Kulturen bei 50/100 Braunkohle. Sogar Pflanzen in 100/100-Kulturen waren viel stärker entwickelt als Pflanzen in Kulturen ohne Braunkohle. Zu bemerken ist diesmal, daß die 25/100-Kulturen kaum besser entwickelt waren als jene ohne Braunkohle. *pH*-Werte waren nach

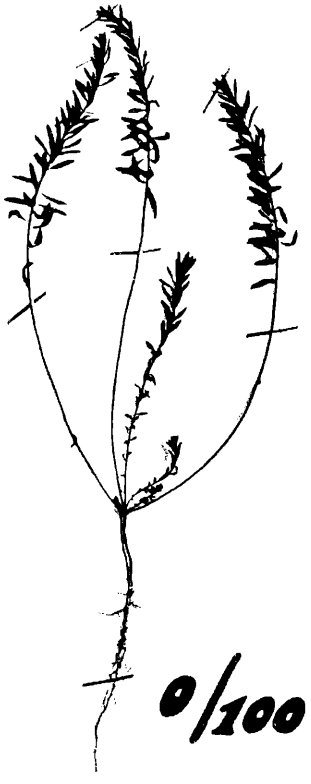

Fig. 3*a*.
Leinpflanze aus der Kultur ohne Zusatz von Braunkohle.

Fig. 3*b*.
Leinpflanze aus der Kultur mit 50/100 von Braunkohle.

dem Versuche in allen Kulturen gleich 6·9. Der Versuch wurde vor der Reife abgebrochen. Die Resultate zeigt die Tabelle:

Braunkohle	0/100	10/100	25/100	50/100	100/100
Anzahl von Pflanzen	32	35	34	32	34
Anzahl der Sproßzweige pro eine Pflanze	6·5	8·0	6·0	**10·5**	10·4
Trockensubstanz in Grammen von zehn Pflanzen	1·94		1·56	**4·09**	3·10

Vergleichen wir die Resultate beider Versuchsreihen, so können wir folgendes konstatieren:

1. Es zeigt sich bei *Linum* eine bedeutende Förderung des vegetativen Wachstums bei Zusatz von 50/100 Braunkohle. Der Ertrag an Trockensubstanz war bei Herbstkulturen höher als bei Sommerkulturen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. Die Förderung des Wachstums zeigt sich nicht in der Höhe der Pflanzen oder in der Laubblattgröße, sondern fast ausschließlich in der reichlicheren Zweigsproßbildung.

Die Fig. 3 zeigt eine durchschnittlich normale Pflanze aus der Kultur ohne Braunkohlezusatz und eine durchschnittliche Pflanze aus der Kultur mit 50/100 Braunkohlezusatz. Einzelne Pflanzen hatten sogar 17 Zweigsprosse. Die Wirkung des Braunkohlezusatzes war nicht am Wurzelsystem zu bemerken, ebenso war auch die Höhe der Pflanzen fast in allen Kulturen die gleiche. Die Chlorophyllbildung war in Kohlekulturen natürlich viel intensiver. Für diese Leinversuche ist noch zu bemerken, daß bei 10/100 und 25/100 der Einfluß der Kohle ein sehr schwacher war und erst in 50/100-Kulturen war er stärker bemerkbar. Die Pflanzen vertragen sehr gut den Zusatz von 100/100 Kohle, doch war eine Abnahme des Ertrages an Trockensubstanz festzustellen.

Versuch Nr. 8 **Polygonum fagopyrum.**

Der Versuch wurde in der üblichen Weise in Mitscherlich'schen Gefäßen durchgeführt. Es wurden zwei Serien mit je 14 bis 16 Pflanzen in jedem Gefäße aufgestellt. Versuchsdauer: 23. VII. bis 8. X. Aufstellung der Versuche im Versuchsgewächshause des Laboratoriums.

Die Unterschiede in den Kulturen waren lange nicht zu sehen. Erst nach der fünften Woche war an den Pflanzen in Kohlekulturen üppigere Laubentwicklung zu sehen, obwohl die Blattgröße fast die gleiche war.

Die Infloreszenzen zeigten eine schwache Entwicklung in den Kulturen ohne Braunkohle, hingegen in den Kohlekulturen waren sie reichlicher und voller. Was die Höhe der Pflanzen anbelangt, so war kein Unterschied zu verzeichnen, da die Pflanzen in allen Kulturen, mit Ausnahme der 50/100- und 100/100-Kohlekulturen, fast gleich hoch waren.

Als wichtig soll hervorgehoben werden, daß an Pflanzen in den Kulturen von 100/100 Braunkohle eigentümliche Schädigungen an Blättern auftraten. Diese Schädigungen zeigten sich in der Austrocknung und schwacher Zusammenrollung von Blatträndern. Teilweise und in schwacher Ausbildung zeigten solche Schädigungen auch Pflanzen in den 50/100-Kohlekulturen. Worauf diese Schädigungen beruhen, ist schwer zu sagen, doch sind sie wahrscheinlich auf eine schädigende Komponente der Kohle, die bei stärkeren Zugaben zum Vorschein kommt, zurückzuführen.

Bei der Beurteilung dieses Versuches muß man in Betracht ziehen, daß es sich um einen Sommerversuch handelt und daher der Erfolg auch weniger günstig war, wie wir es an bisherigen Versuchen mit anderen Pflanzen gelernt haben.

Der Versuch wurde bis zur Reife der Samen weitergeführt und darum mußten Blätter vor dem Abfallen vom Sprosse sorgfältig gesammelt und für die Trockensubstanzbestimmung aufbewahrt werden.

Die Endresultate dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle verzeichnet:

Braunkohle	Anzahl von Pflanzen	Höhe der Pflanzen	Anzahl von Infloreszenzen pro eine Pflanze	Samengewicht in Gramm pro eine Pflanze	Trockensubstanz in Grammen		
					Stengel	Blätter	Zusammen
0/100. ..	29	**73·4**	4·75	6·2	6·4	17	8·57
10/100. .	29	72·9	6·36	8·8	7·8	2·67	10·47
25/100..	31	72·0	6·67	8·9		**3·17**	10·87
50/100. .	31	69·3	**6·78**	**10·17**	**8·3**	**3·16**	**11·46**
100/100.	34	60·7	6·39	7·9	6·4	3·08	9·48

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Pflanzen waren am üppigsten in den 50/100-Kohlekulturen, obwohl hier die ersten Anzeichen von Blattschädigungen bemerkbar waren. Am besten illustriert dies der Samenertrag, der gegenüber Kulturen ohne Braunkohle um 64% erhöht war. Die beiliegende Fig. 4 zeigt den absoluten Samenertrag pro 20 Pflanzen dieses Versuches.

Versuch Nr. 9. **Soja hispida.**

Der Versuch wurde in üblicher Weise wie die vorigen Versuche ausgeführt. Es wurden zwei Versuchsreihen aufgestellt mit je 10 bis 12 Pflanzen in jedem Versuchsgefäß. Versuchsdauer: 20. VIII. bis 19. XI. 1930. Bis zum 10. IX. waren die Pflanzen im Versuchsgarten aufgestellt und nach Eintritt der Kälte wurden sie in das Gewächshaus übertragen.

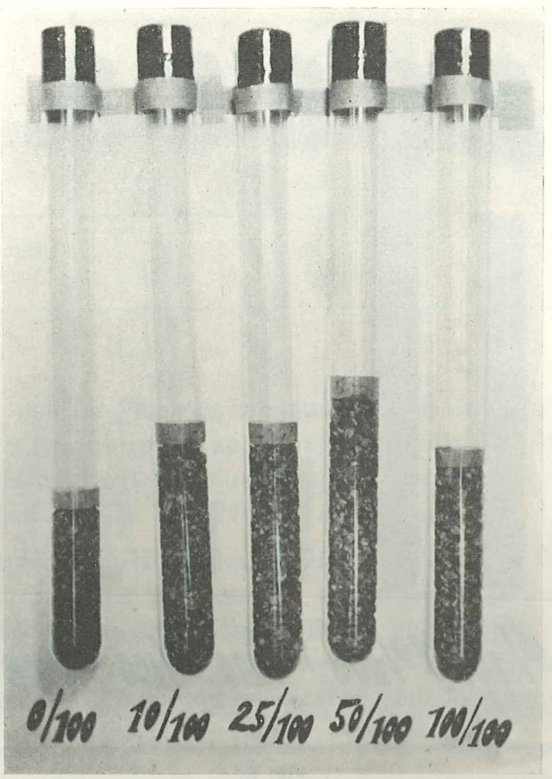

Fig. 4.
Samenertrag von Buchweizen bei verschiedenem Zusatz von Braunkohle.

Im Anfang waren keine Unterschiede in den Kulturen zu vermerken, namentlich nicht in der Höhe der Pflanzen. Die Längenmessung der Pflanzen am 20. IX. ergab folgende Werte:

0/100	..28·59 *cm*
10/100	.29·08
25/100	.30·69
50/100	.27·83
100/100	.28·45

Die Pflanzen in 25/100-Kohlekulturen waren die höchsten, doch wir können diese Tatsache nicht ohne weiteres auf die Wirkung der Kohle zurückführen, denn es konnte dies ebenso ein zufälliges Resultat sein, da wir zu wenig Pflanzen hatten, um eventuelle Variabilität auszuschließen. Anderseits konnte man an Blattgröße auch keine Unterschiede wahrnehmen. Der einzige Unterschied bestand darin, daß 50/100- und 100/100-Kulturen eine etwas intensivere Grünfärbung zeigten. Diese stärkere Ergrünung trat erst später deutlich hervor. Anfangs November, also nach mehr als zwei Monaten, waren auch Differenzen in der gesamten Entwicklung der 50/100-Kohlekulturen zu sehen. Die 50/100-Pflanzen zeigten kräftigeres Aussehen, üppig entwickeltes Laub und fast dunkelgrüne Färbung (vgl. die Fig. 2, Taf. III). Auffallend war der schroffe Unterschied gegenüber den 25/100- und

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

10/100-Kulturen, zu denen kein Übergang zu sehen war. Die 100/100-Kulturen waren etwas schwächer entwickelt, aber ebenso dunkelgrün wie die 50/100-Kulturen. An diesen 100/100-Kohlekulturen zeigten sich ähnliche Krankheitserscheinungen wie wir sie bei *Polygonum* beobachtet haben. Die Blattränder waren gelb und teilweise auch vertrocknet. In sehr schwacher Ausbildung waren solche Schädigungen auch bei 50/100-Kohlekulturen zu beobachten. Der 50/100-Kohlezusatz war scheinbar hier an der Grenze des Maximums in bezug auf die wachstumsfördernde Wirkung auf die Pflanzen.

Der Versuch wurde am 19. November abgebrochen, als schon die Blätter bei 0/100-Kulturen fast ganz abgefallen waren. Auch bei anderen Kulturen waren Blätter teilweise vertrocknet und abgefallen. Die abgefallenen Blätter wurden für Trockensubstanzbestimmung sorgfältig aufbewahrt. Zur Trockensubstanzbestimmung wurden nur die oberirdischen Organe benutzt. Die Wurzeln waren bei allen Kulturen

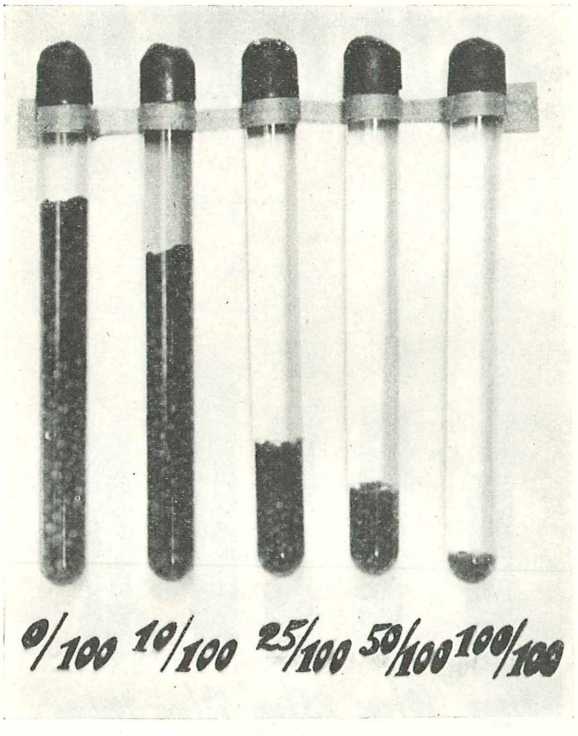

Fig. 5.
Knöllchenbildung bei der Bohne nach verschiedenem Zusatz von Braunkohle. Knöllchen abgenommen von den Wurzeln und aufbewahrt in Alkohol.

fast gleich stark entwickelt, doch bei keiner Pflanze wurden Knöllchen beobachtet. Dies kann uns kaum wundern, da *Soja* spezifische Bakterien besitzt, die in unseren Böden nicht vorhanden sind.

Die Trockensubstanzbestimmung ergab folgende Zahlen:

Braunkohle	Trockensubstanz pro zehn Pflanzen
0/100...	12·63
10/100.	13·79
25/100.	14·00
50/100.	**18·02**
100/100.	14·55

Der Mehrertrag an Trockensubstanz bei 50/100-Kulturen gegenüber Kulturen ohne Kohle ergibt sich mit etwa 42 %, was gegenüber bisherigen Versuchspflanzen eine verhältnismäßig niedrige Zahl bedeutet.

Versuch Nr. 10. **Phaseolus vulgaris** F. nana.

Der etwas absonderliche Ausfall des Versuches mit *Soja* gab die Anregung zur Ausführung eines Versuches mit einer anderen Leguminose und als das günstigste Versuchsobjekt wurde *Phaseolus vulgaris* f. *nana* ausgewählt. Der Erfolg dieses Versuches war, wie wir sehen werden, unerwartet.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Versuchsanstellung wie üblich. Die Versuchsdauer vom 1. X. bis 9. XII. Zwei Versuchsreihen mit je zehn Pflanzen in jedem Gefäß.

Schon während des Versuches konnte man keine Unterschiede in den Kulturen beobachten. Das Erwarten, daß sich die Unterschiede beziehungsweise die günstige oder fördernde Wirkung der Kohle nach etwa fünf Wochen doch zeigen werde, war vergeblich. Im Gegenteil, nach etwa sechs Wochen war schon zu sehen, daß die Kulturen ohne Kohle etwas besser und stärker waren und jene bei 50/100 und 100/100 Braunkohle zeigten schon erste Anzeichen von ähnlichen Blattschädigungen, die wir an *Soja* und *Polygonum* beobachten konnten. Der Versuch wurde bis zur vollkommenen Fruchtbildung weitergeführt und erst dann verarbeitet. Die Resultate sind in der Tabelle verzeichnet.

Braunkohle	0/100	10/100	25/100	50/100	100/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern	**23·48**	22·53	20·23	17·45	17·20
Anzahl von Früchten ..	25	**29**			18
Gesamttrockensubstanz ohne Wurzeln in Grammen .	**24·29**	23·14	21·60	18·69	15·58

Diese Tabelle zeigt uns, daß die Pflanzen in Kulturen ohne Braunkohle die bestentwickelten waren. Es zeigte sich also bei der Bohnenpflanze überhaupt keine fördernde Wirkung des Braunkohlezusatzes, hingegen, je mehr Braunkohle zugesetzt war, desto mehr trat die hemmende Wirkung auf das Gesamtwachstum der Pflanzen hervor.

Sehr interessant verhielt sich die Knöllchenbildung an Wurzeln. Die Wurzelknöllchen waren am stärksten in den Normalkulturen ohne Kohlezusatz entwickelt und immer schwächer, je mehr der Boden Kohle enthielt. Die Ausbildung der Wurzelknöllchen zeigte keine gesetzmäßigen Unterschiede in ihrer Anzahl, sondern vielmehr in ihrer Größe. Wir bestimmten nun approximativ das Gesamtvolum der in jeder Kultur vorkommenden Knöllchen, und es ergaben sich folgende Werte:

Braunkohle	0/100	10/100	25/100	50/100	100/100
Anzahl von Knöllchen . .	**508**	459	281	495	137
Gesamtvolum der Knöllchen in Kubikmillimetern	**3717·76**	3215·36	1206·24	703·36	251·20

Diese Zahlen illustriert auch die Fig. 5. Es muß also die Tatsache konstatiert werden, daß in diesem Versuche die Knöllchenbildung parallel mit der Zugabe von Braunkohle zurückging. Wir wollen uns vorläufig mit dieser Tatsache zufriedenstellen, ohne nach Ursachen der Erscheinung zu fragen, da darüber auf einer anderen Stelle die Rede sein wird.

Der Versuch mit *Phaseolus* wurde wiederholt, allerdings mit einer anderen Braunkohlenart (Trbovlje oder Trifail), die aber, wie spätere Versuche festgestellt haben, sonst eine gute Wirkung auf *Sinapis*-Kulturen ausgeübt hat. Der Versuch wurde im Winter aufgestellt (27. XI. bis 5. II.), was scheinbar eine schlechte Entwicklung der Knöllchen zur Folge hatte. Der Versuch bestand aus zwei Reihen mit je zehn Pflanzen in jedem Versuchsgefäß. Das Resultat zeigt die Tabelle:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kohlezusatz	Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Anzahl der Früchte	Blattinfektion in Prozenten	Anzahl der Knöllchen	Trocken-substanz in Grammen
0/100. ..	26·4	18	6·7	**91**	18·2
10/100. ..	**26·9**	**22**	16·2	73	**19·05**
25/100. ..	24·8	21	27·7	60	18·15
50/100. ..	25·2	20	38·4	67	16·55
100/100. ..	24·8	18	**45·2**	24	17·8

Der Versuch ergab im großen und ganzen gleiche Resultate wie der erste Versuch mit *Phaseolus*. Es wurde die Tatsache bestätigt, daß die Zugabe von Braunkohle zur Kultur von *Phaseolus* gar keinen wachstumsfördernden Einfluß hat; es zeigte sich wieder bei höherem Zusatz von Kohle eine wenn auch schwache Abnahme des Ertrages an Trockensubstanz. Die Wurzelknöllchen waren diesmal sehr schwach entwickelt, doch trat der Unterschied der Kohlepflanzen gegenüber den Normalpflanzen klar hervor. Die überhaupt schwächere Ausbildung der Knöllchen steht vielleicht mit der Saison (Winterversuche) in Zusammenhang. Eine Neuigkeit zeigte sich in diesen Versuchen in der Infektion der Pflanzen mit einem parasitischen Pilz, der nach flüchtigerer Untersuchung vom Herrn Prof. Škorić einer *Erysiphaceae* (Oidiumform) zugehört. Für unsere Untersuchung war diese Pilzinfektion insofern von Interesse, da die Infektion in Kulturen mit Kohle parallel mit der Menge der Kohlenzugabe immer stärker war. Auf diese Beobachtung kommen wir noch später zurück.

Die Versuche mit einigen anderen Leguminosen sind bereits im Gange.

Rückblick auf die Versuche mit Braunkohle.

Wollen wir nun einen kurzen Überblick auf die bisherigen Resultate der Versuche über die Wirkung des Zusatzes der Braunkohle auf das Wachstum und den Ertrag der Pflanzen werfen, so müssen wir zunächst hervorheben, daß der Einfluß der Braunkohle in bezug auf Pflanzenarten kein gleichartiger ist. Es wäre jedenfalls verfrüht, einen allgemeinen Schluß zu machen, wie dies Kissel in der Zusammenfassung des Berichtes an die Internationale Brennstoffkonferenz getan hat. Wir wollen zunächst einige aus den Versuchen hervorgehende Tatsachen hervorheben:

1. Die Zugabe der Braunkohle zu der Kulturerde übt auf das Gesamtwachstum einiger Pflanzen *(Sinapis, Linum, Polygonum)* in der Optimalmenge von 50 auf 100 Volumteile der Erde einen recht günstigen und wachstumsfördernden Einfluß aus. Der Ertrag an Trockensubstanz wurde in einigen Fällen bis über 100% erhöht.

2. Die fördernde Wirkung der Braunkohle zeigte sich hauptsächlich in üppiger Blattbildung, in intensiverem Ergrünen der Pflanzen beziehungsweise in intensiverer Chlorophyllbildung, reichlicherer Zweigsproß- und Blütensproßbildung, was schließlich ein Erhöhen des Ertrages an Trockensubstanz zur Folge hatte.

3. Auf einige andere Pflanzen *(Soja, Phaseolus)*, die zu den Leguminosen gehören, wirkte die Braunkohlenzugabe nur im geringeren Grade *(Soja)* oder überhaupt nicht *(Phaseolus)* wachstumsfördernd. Vielmehr zeigten sich auch schädigende Wirkungen in Form von Blattrandaustrocknung.

Obwohl bisher eigentlich verhältnismäßig wenig Versuche mit verschiedenen Pflanzen durchgeführt worden sind, so trat die Verschiedenheit der Wirkung schon aus diesen wenigen Beispielen klar hervor. Um diese Verschiedenheit der Wirkung auf verschiedene Pflanzen zu zeigen, wollen wir den Mehrertrag gegenüber den Normalpflanzen (ohne Kohle) in Prozenten ausdrücken. Wir bekommen die folgende Reihenfolge in bezug auf die Gesamttrockensubstanz.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Sinapis alba	+ 136 %
Linum usitatissimum.	+ 110
Polygonum fagopyrum (Samen)	+ 64
Soja hispida	+ 42
Phaseolus vulgaris f. *nana*.	— 23

Selbstverständlich sind dies nur relative Zahlen, denn, wie wir nochmals hervorheben müssen, war der Erfolg der Kohlekulturen in verschiedenen Jahreszeiten verschieden. Allgemein konnte beobachtet werden, daß die fördernde Wirkung der Braunkohle in Sommerkulturen viel weniger zum Vorschein kam als in Frühjahrs- oder Herbstkulturen. Es haben also im Sommer unbekannte Faktoren die Wirkung der Kohle ausgeglichen. Wir werden auf diese Erscheinung bei der Besprechung der Wirkung der Kohle nochmals zurückkommen.

Vergleichen wir den Einfluß der Holzkohle und Braunkohle, so sehen wir, daß es sich wahrscheinlich um verschiedene Wirkungen handelt. Die Holzkohle zeigt nur im sehr geringen Grade und in kleinen Zugaben (5/100 bis 10/100) bei gewissen Pflanzen eine wachstumsfördernde Wirkung, die der Braunkohle in hohem Grade zukommt. Dies dürfte uns nicht wundern, da die beiden Kohlenarten, obwohl desselben Ursprungs, doch auf recht verschiedene Art zustande gekommen sind und daher verschiedene chemische Zusammensetzung haben.

Kissel glaubte, daß diese fördernde Wirkung der Braunkohle hauptsächlich auf die in Braunkohlen vorkommenden Huminsubstanzen zurückzuführen ist, und deshalb machte er auch Versuche mit den »Carbohumaten«, deren Gewinnung nicht näher beschrieben wird. Um dieser Frage der Huminsubstanzwirkung näherzutreten, entschloß ich mich, einige Versuche mit echter Steinkohle auszuführen, da sich die Steinkohlen von den Braunkohlen eben durch das starke Zurücktreten und Mangel an Huminsubstanzen unterscheiden. Über die Versuche wird im folgenden Kapitel berichtet.

Es interessierte uns noch eine weitere Frage, die sich im Laufe unserer Untersuchungen als sehr wichtig herausgestellt hat. Es handelte sich um die Frage, wie sich verschiedene Arten von Braunkohlen (Lignite und Braunkohlen) in bezug auf die wachstumsfördernde Wirkung verhalten. Die Versuche in dieser Richtung führten uns zu ganz neuen Tatsachen, welche das ganze Problem der Kohlewirkung auf Pflanzen noch verwickelter machten als uns dies im ersten Moment erschienen ist. Erst nach dem Berichte über diese Versuche wollen wir zu der Frage über die Ursachen der Kohlewirkungen übergehen.

IV. Versuch mit Steinkohle.

Versuch Nr. 11.

Durch die Liebenswürdigkeit der Direktion der Städtischen Gaswerke in Zagreb wurde mir eine gewisse Menge einer Steinkohle englischer Provenienz (Englische Gaskohle Rykappe) zur Verfügung gestellt. Die Elementaranalyse des Chemischen Laboratoriums der Städtischen Gaswerke für diese Kohlenart lautet:

Wasser	1·26
Asche	7·19
Kohlenstoff.	79·44
Wasserstoff	4·04
Schwefel..	1·53
Stickstoff, Sauerstoff	6·46

Die Versuche sind in sonst üblicher Weise durchgeführt. Als Versuchspflanze wurde wieder *Sinapis alba* gewählt. Es wurden zwei Versuchsreihen mit je 20 Pflanzen in jedem Gefäß aufgestellt. Versuchsdauer: 17. X. bis 23. XII. 1930. *pH* in jedem Gefäße nach dem Versuche 6·9. Zum Vergleiche wurde außer zwei Versuchsreihen ohne Zugabe von Steinkohle auch eine Kontrollreihe von Pflanzen mit 50/100 Zugabe von Braunkohle aufgestellt. Schon nach einem Monat wurde die erste Aufnahme des Versuches gemacht. Man sah das Optimum der Entwicklung in den 10/100-Steinkohlekulturen. Die 25/100-Steinkohlekulturen waren etwas schwächer als die normalen ohne Kohle. Auch diesmal waren die üppigsten Kulturen in der Kontrollserie bei 50/100 Braunkohle. Die 50/100-, 75/100- und

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

100/100-Steinkohlekulturen zeigten eine schwächere Entwicklung als die normalen, und zwar eine desto schwächere je mehr Kohle zugesetzt wurde.

Bei der zweiten Aufnahme (Fig. 6) am 21. XII. waren diese Unterschiede viel deutlicher ausgeprägt. Insbesonders schön erwiesen sich die Kontrollkulturen bei 50/100 Zugabe von Braunkohle. Die Kulturen bei Steinkohlezusatz zeigten ungefähr das bekannte Bild der Versuche mit der Holzkohle. Die Kulturen bei 10/100 Steinkohle waren etwas besser entwickelt als die normalen Kulturen ohne Kohle.

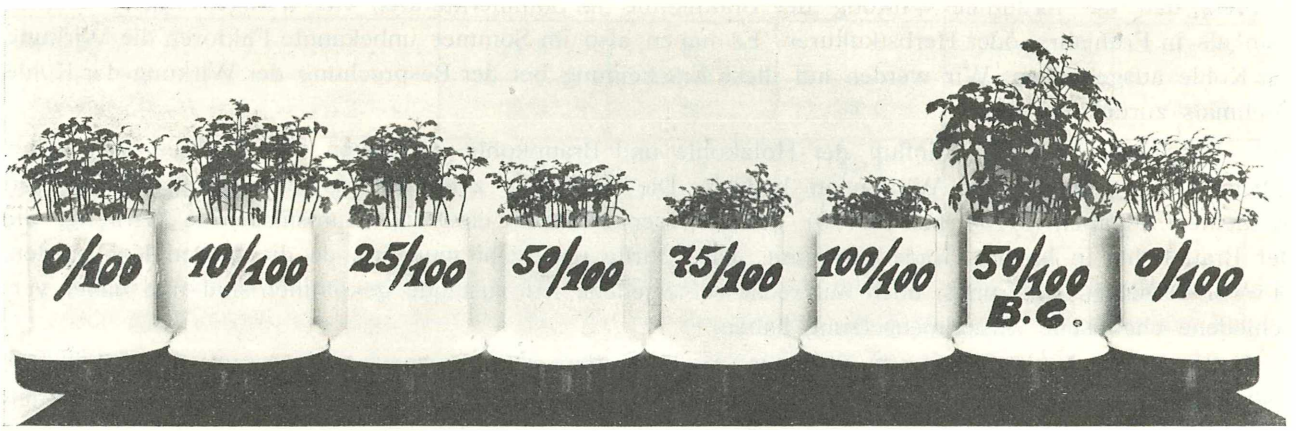

Fig. 6.

Senfpflanzen in Kultur bei verschiedenem Zusatz von Steinkohle. Kontrollpflanzen ohne Kohle (0/100) und mit Braunkohle (B. C.).

Diejenigen mit 25/100 Steinkohle waren gleich den normalen Kulturen. Übrigens zeigt die Resultate am besten die Tabelle:

	0/100	10/100	25/100	50/100	75/100	100/100	0/100	Braunkohle 50/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern (18. XI.)	8·04	**9·48**	8·31	6·34	5·98	18	8·68	**14·00**
Höhe der Pflanzen Zentimetern (21. XII.).. ..	14·99	**16·68**	14·28	10·79	7·85	7·29	15·15	**24·06**
Trockensubstanz ohne Wurzeln in Grammen.. ..	5·57	**7·25**	6·35	4·51	2·95	2·33	5·12	**13·33**

Aus dieser Tabelle folgt, wie schon oben gesagt, daß die Wirkung der Steinkohle einer anderen Art ist als die Wirkung der Braunkohle.[1]

Die wachstumfördernde Wirkung der Steinkohle ist nur bei 10/100 Zugabe in schwachem Grade sichtbar, hingegen hat die schädigende und wachstumshemmende Wirkung bei 25/100 Zugabe ihren Anfang und tritt bei 50/100 Zugabe stark hervor. Dieser Versuch wurde zur Zeit nur mit 50/100 Zugabe der Steinkohle wiederholt. Es zeigte sich ungefähr dasselbe Resultat, wie folgende Zahlen bezeugen:

Die Trockensubstanz von 40 Versuchspflanzen betrug in Grammen	2·7
Kontrollpflanzen (ohne Kohle)	5·08

Es ergibt sich die Verminderung des Ertrages von 46·85%.

Obwohl Steinkohle und Holzkohle denselben Effekt an Pflanzen bei schwacher Zugabe hervorrufen, ist es noch immer fraglich, sogar auch zweifelhaft, ob es sich um Wirkungen gleicher Ursachen handelt. Da wir aber die Ursache der Wirkung der Holzkohle nicht kennen, so läßt sich natürlich auch schwer

[1] Ähnliches beobachtete auch Lieske bei seinen Wasserlinsenversuchen. Die Steinkohle hatte überhaupt keinen Einfluß auf den Ertrag.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der physiologische Vergleich ziehen. Übrigens wollen wir diese theoretische Seite der Kohlewirkung auf Pflanzen, soweit dies auf Grund unserer mangelhaften Kenntnisse überhaupt möglich ist, an einer anderen Stelle besprechen.

Jedenfalls wäre es notwendig, Steinkohle verschiedenen Ursprunges zu prüfen, ehe man einen allgemeinen Schluß über die Wirkung der Steinkohle faßt.

V. Versuche mit Braunkohle verschiedener Herkunft und Qualität.

Versuch Nr. 12.

Wie schon früher erwähnt, war es sehr zweckmäßig, verschiedene Braunkohlenarten, und zwar verschiedenen Ursprungs und Qualität, auf die wachstumsfördernde Wirkung zu prüfen. Durch die Vermittlung der Kammern für Handel, Gewerbe und Industrie in Zagreb, Sarajevo, Osijek und Split und durch das Entgegenkommen von über 30 Kohlenbergwerken aus Jugoslawien war ich in der Lage, verschiedene Braunkohlen, Lignite und Pechkohlen beziehungsweise Glanzkohlen zu untersuchen. Alle Kohlenarten wurden, wie in früheren Versuchen, in feinstaubigem Zustande benutzt. Da ich nach ersten Versuchen zu dem Resultat gekommen bin, daß die Braunkohle bei 50/100 Zugabe ihre optimale Wirkung hatte, so führe ich zur Zeit Versuche nur mit dieser Menge aus. Von jeder Kohlenart wurden zwei Gefäße, beziehungsweise zwei Kulturen mit je 20 Pflanzen aufgestellt. Um womöglich gleichmäßige Versuchsbedingungen zu haben, wurden die Kulturen in der Mitte des Versuchsgewächshauses aufgestellt. In die mittlere Reihe wurden Kontrollpflanzen ohne Kohle (insgesamt 15 Gefäße) gestellt. Als Versuchspflanze diente wieder *Sinapis alba.*

Versuchsdauer vom 31. X. bis 31. XII. 1930.

Die Längenmessungen wurden dreimal durchgeführt, doch bringe ich in der tabellarischen Übersicht nur die letzte Messung vom 31. XII. Es zeigte sich in einigen Fällen, daß die Kulturen in beiden Gefäßen derselben Kohlenart nicht gleichmäßig waren, doch haben wir stets von beiden Kulturen das Mittel angegeben.

Bereits während des Versuches war das unerwartete Resultat ersichtlich. Von 31 Kohlenarten waren nur einige, welche wachtumsfördernde Wirkung zeigten, und nur wenige, welche diese besondere Eigenschaft in erhöhtem Maße hatten. Viele davon zeigten in der gegebenen Menge sogar eine nicht geringe wachstumshemmende Wirkung.

Die Kontrollpflanzen zeigten ungefähr gleichartiges Wachstum, und von 16 Kulturen wurde zum Vergleiche das Mittel aus der nachfolgenden Tabelle (p. 22) gezogen.

Diese Tabelle hat nur den Zweck, zu zeigen, daß die individuelle Variabilität der Kulturen keine besondere Bedeutung hat. Die Versuche sind vor der Blütenbildung abgebrochen, da die Jahreszeit zu ungünstig war. Anderseits hatten wir mit Pflanzenläusen zu kämpfen, die die Kulturen angefallen haben. Um den weiteren Einfluß der Läuse zu eliminieren, zogen wir vor, die Versuche vorzeitig abzubrechen. Wir haben ohnedies im Programm, diese wichtige Versuchsserie zu wiederholen. Nichtsdestoweniger ergab auch diese erste Versuchsserie wichtige Ergebnisse, so daß wir nicht unterlassen konnten, sie hier zu besprechen.

Überblicken wir die tabellarische Zusammenstellung der Resultate, so fällt es sofort auf, daß von 31 Braunkohlenarten nur 11 einen Mehrertrag an Trockensubstanz gegenüber normalen Kulturen ohne Kohle zeigten. Von diesen müssen wir noch Banjaluka (Stadt) mit 1·33% Überschuß ausschließen, da die Zahl zu klein ist, um diese Kohlenart in die Reihe der wachstumsfördernden zu zählen. Was das Längenwachstum anbelangt, so waren die Unterschiede weniger sichtbar als in der Trockensubstanz. Die durchschnittliche Höhe der normalen Kulturen war 18·6 *cm.* Die Länge der Pflanzen war nur in einigen Kohlekulturen merklich größer. Wir können die wachstumsfördernden Kohlenarten in drei Kategorien einteilen:

1. Gruppe mit mehr als 50% erhöhtem Ertrag: Velenje (Lignit), Mostar und Zenica.
2. Gruppe mit mehr als 25% erhöhtem Ertrag: Budinšćina, Trbovlje (Trifail).
3. Gruppe mit unter 25% erhöhtem Ertrag: Lepavina, Kakanj, Rogatica, Sinj, Kreka.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kontrollpflanzen ohne Kohle.

	Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Trockensubstanz in Grammen von 20 Pflanzen
1	19·2	2·95
	19·3	2·8
3.	19·4	2·4
4.	19·3	2·55
5.	18·3	2·35
6.	17·8	2·3
7	19·0	2·5
8.	18·3	2·2
9.	16·9	2·15
10.	19·9	2·85
11	15·9	2·8
12.	17·8	2·7
13.	20·1	2·65
14.	16·2	2·24
15..	19·9	2·65
16..	20·8	3·8
Durchschnitt.	18·6	2·54

Tabellarische Zusammenstellung über die Wirkung verschiedener Braunkohlenarten aus Jugoslawien.

Versuchs-Nr.	Ursprungsort der Kohle	Qualität der Kohle	Die Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Trockensubstanz von 40 Pflanzen in Grammen	Unterschied der Trockensubstanz gegenüber Kontrollpflanzen in Prozenten	
					+	—
1	Konjšćina.. ..	Lignit	14·8	4·2	—	17·32
2	Pitomača ..		16·6	4·8	—	5·51
3	Velenje. ..		24·1	8·12	**59·84**	—
4	Ivanec ..		12·1	3·45		32·08
5	Bregi ..		12·9	3·16	—	37·79
6	Topusko ..		10·4	3·05	—	39·96
7	Kreka.. ..		17·8	5·5	8·27	—
8	Banjaluka (Stadt) ..		16·9	5·15	1·38	
9	Banjaluka (Vorstadt) ..	Pechkohle	11·4	3·55	—	30·12
10	Breza ..	Glanzkohle	12·1	3·55		30·12
11	Bukinje ..	erdige Kohle	12·5	3·3	—	35·04
12	Dobrljin ..	Glanzkohle	14·5	4·8	—	5·51
13	Kakanj. ..	erdige Kohle	18·2	6·10	20·08	—
14	Majevica ..	Glanzkohle	9·9	2·6	—	48·82
15	Mostar ..	Pechkohle	23·8	8·9	**75·19**	—
16	Rogatica .		19	5·7	12·20	—
17	Ugljevik.. ..	erdige Kohle	13·9	4·2	—	17·32

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Versuchs-Nr.	Ursprungsort der Kohle	Qualität der Kohle	Die Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Trockensubstanz von 40 Pflanzen in Grammen	Unterschied der Trockensubstanz gegenüber Kontrollpflanzen in Prozenten	
					+	—
18	Vrdnik . .	Glanzkohle	14·6	3·75	—	26·18
19	Zenica . .	Pechkohle	20·9	8·8	**73·23**	—
20	Lepavina . .	Pechkohle	18·4	6·19	21·85	—
21	Sinj .	Pechkohle	17·9	5·7	12·20	—
22	Siverić	Glanzkohle	14·6	4·03	—	20·67
23	Budiešćina	Glanzkohle	18·2	7·04	38·58	—
24	Krapina . .	Glanzkohle	11·3	3·3	—	35·04
25	Peklenica . . .	Pechkohle	13·3	4·05	—	20·28
26	Radoboj . .	Pechkohle	14·1	4·6	—	9·45
27	Rogatec . .	Pechkohle	14·2	4·6	—	9·45
28	Zabukovca . .		14	4·2	—	17·32
29	Golubovec	Glanzkohle	13·8	4·55	—	8·46
30	Senjski Rudnik . .		13·4	4·7	—	7·48
31	Trbovlje (Trifail) . .	Pechkohle	19·5	6·5	27·95	—

Die verschiedenen Kohlenarten wirken also nicht gleichartig, und es war allerdings verfrüht, die Wirkung der Braunkohle auf das Pflanzenwachstum zu verallgemeinern, wie dies Kissel gemacht hat, denn es hat sich hier herausgestellt, daß viele Braunkohlenarten sogar wachstumshemmend wirken. Dieses Ergebnis des Versuches ist zwar interessant, doch das Problem der Wirkung kompliziert sich dadurch desto mehr. Über die Möglichkeit der Deutung der spezifischen wachstumsfördernden Wirkung einiger Braunkohlenarten wird in einem der weiteren Kapiteln dieser Abhandlung die Rede sein.

VI. Über die Ursachen der wachstumsfördernden Wirkung der Kohle.

Wir haben bisher festgestellt, daß alle Kohlenarten (Holzkohle, Braunkohle, Steinkohle) mehr oder weniger und unter bestimmten Bedingungen einen günstigen Einfluß auf das Wachstum der Pflanzen ausüben können. Daß es gewisse Braunkohlen gibt, denen diese Eigenschaft in erhöhtem Maße zukommt, ist von besonderem Interesse. Anderseits steht wieder auch die Tatsache fest, daß den Kohlenarten in bestimmten Quantitäten wie auch in bezug auf bestimmte Pflanzen ebenso eine wachtumshemmende Eigenschaft zukommt. Es ist selbstverständlich, daß uns in erster Linie die Eigenschaft der Förderung des Wachstums interessiert, da diese Eigenschaft eventuell auch von praktischer Bedeutung sein könnte. Aus diesem Grunde wollen wir uns mit den Ursachen dieser fördernden Wirkung auf das Wachstum beschäftigen. Im Mittelpunkte des Interesses steht aber die ganz eigenartige Wirkung der Braunkohle und deshalb wollen wir hier, was die Wirkung der Holzkohle anbelangt, nur das bisher Bekannte berühren. Was die Wirkung der Braunkohle anbelangt, haben wir in der experimentellen Analyse des sehr komplizierten Problems erst den allerersten Anfang gemacht. Die vorläufigen Resultate unserer diesbezüglichen Beobachtungen ermutigen uns zu weiterer Arbeit in der angebahnten Richtung, welche vielleicht doch zur Lösung des Problems führen wird.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die bisherigen Ansichten über die Wirkung der Kohle auf die Pflanzen.

Alle bisherigen Ansichten beziehen sich zunächst auf die Wirkung der Holzkohle. Allgemeiner Ansicht nach soll die Wirkung der Holzkohle auf die Pflanzen, die auch öfters in gärtnerischen Zeitschriften verzeichnet wird, hauptsächlich in der »Verhinderung der Fäulnis« bestehen. Einige Praktiker glaubten, wie Appleyard (l. c.) berichtet, daß die Holzkohle mechanische und chemische Wirkung habe. Mechanische Wirkung soll in der Auflockerung der Erde und chemische in der direkten ernährenden Wirkung auf die Pflanze bestehen. Andere waren der Meinung, daß die Holzkohle Kohlendioxyd und Ammoniak absorbiert und daß diese Stoffe, aufgelöst in Wasser, von der Pflanze direkt aufgenommen werden.

Prianischnikow, der sich als erster mit der Wirkung der Holzkohle wissenschaftlich beschäftigt hat, geht eigentlich auf die Frage über die Ursachen der Kohlenwirkung nicht ein. Die einzige Studie, die sich mit diesem Problem befaßt, ist jene von Domontovitsch M. und Zinzadse Sch.[1] Die beiden russischen Forscher untersuchten eigentlich die Wirkung der Kohle als Pufferstoff und Absorbient in den Nährlösungen und sie schreiben der Kohle dreifache Bedeutung zu: 1. der Pufferwirkung in saueren Nährlösungen, 2. der Katalysatorwirkung (Entgiftung der Nährlösung von dem vorhandenen $NaNO_2$ und H_2O_2), 3. der Wirkung als Absorbient der organischen (Phenole, Formalin usw.) und anorganischen (ars. Säuren, Kupfersulfat usw.) Gifte. Dieser letzteren Wirkung wird die stärkste Bedeutung zugeschrieben, und es ist auch zweifellos die absorbierende Wirkung der Kohle, die in Betracht gezogen werden soll. Die beiden genannten Autoren sprechen auch von eventueller, in gewissen Fällen vorkommender schädlicher Wirkung der Kohle, die auch auf die absorbierende Eigenschaft zurückgeführt werden soll. Es sind nach Domontovitsch und Zinzadse einige organische Eisenverbindungen, die durch Kohle absorbiert werden sollen, wodurch die Pflanze in einen bestimmten Zustand des Eisenhungers versetzt wird, was natürlich die Chlorose nach sich zieht.

Dies ist, soviel mir bekannt, alles, was wir über die Ursachen der Wirkung der Holzkohle auf das Pflanzenwachstum kennen, und ich kann leider selbst gar nicht auf diese Frage eingehen, da ich nach meinen ersten Versuchen über die Wirkung der Holzkohle im allgemeinen auf die eigenartige Wirkung der Braunkohle aufmerksam geworden bin, wodurch mein Interesse zunächst an die letzte Wirkung gelenkt worden ist. Jedenfalls verdient die Wirkung der Holzkohle eine spezielle Beachtung seitens der Physiologen, und es wird notwendig sein, zunächst alle physikalische und chemische Bodeneigenschaften nach Zusatz von Holzkohle zu untersuchen. Doch bin ich schon vorhinein bereit zu glauben, daß die Wirkung der Holzkohle einer anderen Art sei als die Wirkung der Braunkohle. Die künftigen Untersuchungen sollen dies zeigen.

A. Kissel, der die ersten Untersuchungen über die Wirkung der Braunkohle angestellt hat, bespricht in einer besonderen Studie »die Ursachen der erfolgreichen Wirkung von Braunkohle auf die Entwicklung von Nutzpflanzen«. Daß es nicht notwendig ist, die Lösung der wachstumsfördernden Wirkung der Braunkohle in den Mineralstoffen, die in der Kohle enthalten sind, zu suchen, darin dürfte Kissel gewiß recht haben, soweit es sich nämlich um direkte mineralische Ernährung handelt. Ob gewisse Mineralstoffe eventuell indirekt irgendeine Rolle haben, läßt sich nicht ohne weiteres entscheiden. Was andere Bestandteile der Kohle anbelangt, so glaubt Kissel, daß die Wirkung der Braunkohle auf die Pflanzen eine vielfache ist, und er äußert sich darüber folgendermaßen:

»Die Gründe des Erfolges der Kohlendüngung sind in einer anderen Gruppe von Faktoren zu suchen, auf welche der Pflanzenorganismus, abgesehen von der Wirkung der Mineralstoffe, in seiner Entwicklung angewiesen ist. Zu diesen Faktoren gehören: der Luftsauerstoff, die Kohlensäure, der Wasservorrat im Ackerboden und dessen Wärme. Ferner fallen in diese Gruppe verschiedene Lösungen organischer Verbindungen der Huminreihe, die nach den neuesten Untersuchungsergebnissen ebenfalls einen erheblichen Einfluß auf die Nutzpflanzenentwicklung ausüben.«

Es sind also in erster Linie die physikalischen Eigenschaften des Bodens, welche durch die Beimischung des Kohlenstaubes in für die Pflanzen günstiger Richtung hin verändert werden. Der Boden wird nach Kissel's Meinung gewissermaßen aufgelockert, und außerdem »wird schneller und leichter vom überflüssigen Wasser entlastet«. Durch dieselbe Auflockerung soll auch bessere Aeration des Bodens ermöglicht

[1] Die Arbeit war leider im Original nicht zugänglich.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

werden. Die bessere Zuführung des Luftsauerstoffes ist nicht allein für die Wurzelatmung, sondern auch für die gesamte Bodenatmung und speziell für die Nitrifikation von Bedeutung. Weiters betont Kissel auch die Bedeutung der Änderung der Temperaturverhältnisse zu gunsten der Pflanzen bei Zusatz von Kohle zur Erde. Nach seinen Temperaturmessungen kam Kissel zu folgendem Resultat: »Infolge der Einführung von größeren Mengen von Kohlenstaub in den Ackerboden nähert sich dessen Durchschnittswärme im Laufe des Tages und im Laufe der gesamten Vegetationsperiode mehr dem Optimum als in unbearbeitetem Boden.« Auch darin hat Kissel bestimmt recht, denn nach den Messungen, die Fräulein M. Chadraba in unserem Institute durchgeführt hat, zeigt der Boden mit 50/100 Braunkohle bei niedrigen Temperaturen stets eine Erhöhung und bei höheren Temperaturen stets eine Erniedrigung der Temperatur gegenüber dem reinem Boden ohne Kohle. Doch sind die Differenzen verhältnismäßig zu klein, um meiner Meinung nach von einer entscheidenden Bedeutung für die Pflanzen zu sein.

Es sind noch zwei Faktoren, denen Kissel bei der wachstumsfördernden Wirkung der Kohle eine Bedeutung zuschreibt und dies sind: »Huminstoffe und zu gewissem Maße auch die Erhöhung der Nitrifikationsprozesse«. Doch zur Klärung der Wirkung dieser Faktoren hat Kissel keine Versuche angestellt.[1]

Bei der Besprechung der bisherigen Deutungen der Kohlewirkung auf die Pflanzen dürfen wir schließlich auch diesbezügliche Bemühungen Reinau's nicht unerwähnt lassen. Reinau glaubte in der Kohle ein günstiges Material für biologische Oxydation und CO_2-Produktion für die Kohlensäuredüngung zu sehen. Er sagt auch: »Also ich meine an dieser Stelle nicht die Kohlen, nachdem sie zu gewerblichen Zwecken verbrannt worden sind, und die Verwendung der kohlensäurehaltigen Kamingase zur Kohlensäuredüngung — nein, hier handelt es sich darum, die mehr oder minder wertvollen alten Kohlensorten nach Mahlung und Krümmelung in ähnlicher Weise in die Kohlenwirtschaft der Äcker überzuführen, wie es heute mit feinem Moorstoff in der Gärtnerei allgemein üblich.« Weiter meint Reinau: »Es ist kein Zweifel, daß durch geeignete Zubereitung, Zumischung von anderen Stoffen und Anpassung geeigneter Bakteriensorten auch Braunkohle sich verhältnismäßig rasch zu Kohlensäure zersetzen läßt.« Nach weiteren Überlegungen sieht Reinau Schwierigkeiten für die Ausnützung der durch Bakterienwirkung der Kohle veratmeten CO_2 für die Pflanzen in dem sehr langsamen Ablauf dieser Reaktionen.

Neue Beiträge zur Frage der Braunkohlewirkung auf Pflanzen.

Es ist außer Zweifel, daß durch den Zusatz der Kohle zum Boden dessen Eigenschaften in physikalischer und chemischer Hinsicht stark verändert werden, und naturgemäß müssen wir in diesen Veränderungen den Schlüssel zur Lösung der wachstumsfördernden Wirkung suchen. Das Studium der Veränderung der physikalischen Eigenschaften ist eine besondere Aufgabe nicht der Physiologie, sondern vielmehr der Bodenkunde. Kissel hat, wie wir schon früher erwähnt haben, diese physikalischen Veränderungen des Bodens in Erwägung gezogen und teilweise auch experimentell untersucht. Er glaubt sogar, daß diese physikalischen Eigenschaften des mit Kohle gedüngten Bodens für die wachstumsfördernden Wirkungen in erster Linie verantwortlich gemacht werden müssen. Den Darlegungen Kissel's kann man keine Einwände prinzipieller Natur machen, doch bin ich der Ansicht, daß diesen physikalischen Eigenschaften des Kohlebodens bei der Beurteilung des wachstumsfördernden Effektes auf Pflanzen eine weit untergeordnete Rolle zukommt.

Wenn wir auf unsere Versuchsresultate zurückkommen, so sehen wir, daß der Holzkohle und der Steinkohle im allgemeinen eine minimale wachstumsfördernde Eigenschaft zukommt, obwohl es schon von vornherein einleuchtend ist, daß diese Kohlenarten in staubförmiger Form höchstwahrscheinlich ebensolche Veränderungen in den Bodeneigenschaften hervorrufen wie die Braunkohle. Diese wirken ebenso auf Auflockerung des Bodens, auf Durchlüftung, auf Regulierung des Temperaturoptimums wie

[1] Auch Lieske in seiner letzten letzten Mitteilung, die ich nach Abschluß dieses Manuskriptes bekam, konnte keine Erklärung für die wachstumsfördernde Wirkung der Braunkohle finden. Er sagt: »Durchaus ungeklärt ist dagegen noch die physiologische Wirkungsweise der Kohle. Wir wissen nicht, welche Komponenten der Kohlen den wirksamen Faktor darstellen, und ebensowenig, in welcher Weise diese Faktoren wirken!« Doch ist er der Meinung, die er in folgender Weise präzisiert: »Daß die Huminverbindungen, die in exakten Laboratoriumsversuchen Ertragssteigerungen von Hunderten von Prozenten ergeben haben, auch in der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Praxis noch weitgehende Beachtung finden werden, ist in hohem Grade wahrscheinlich.«

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

die Braunkohle. Noch mehr ist es erstaunlich, daß von über 30 verschiedenen Braunkohlen nur wenige sind, die eine wachstumsfördernde Wirkung zeigten. Schon diese Tatsachen führen uns zum Gedanken, daß der wachstumsfördernde Faktor in erster Linie nicht unter physikalischen Eigenschaften der Kohle zu suchen ist.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir noch auf unsere Versuche hinweisen, die wir durch wiederholte Kultur in dem schon einmal gebrauchten Kohleboden ausgeführt haben. Als ein Versuch mit *Sinapis alba* zu Ende geführt wurde, haben wir die Erde getrocknet, durchgesiebt und von neuem mit *Sinapis*-Samen beschickt. Der Versuch dauerte vom 26. IX. bis 6. XII. Es war selbstverständlich, daß sich Pflanzen bei wiederholter Kultur in derselben schon einmal benutzten Erde nicht so gut entwickeln werden, doch war nicht zu erwarten, daß diesmal die Kulturen in Kohlekulturen je nach der Menge der Kohlezugabe allmählich schwächer werden. Die folgende Tabelle illustriert uns die Resultate des Versuches.

Versuch Nr. 13.

Zugabe der Kohle	0/100	25/100	50/100	75/100	100/100
Höhe der Pflanzen in Zentimetern. .	**19·6**	12·2	10·9	12·6	9·7
Trockensubstanz in Grammen . .	**1·65**	1·00	1·08	1·34	1·26

Bei wiederholter Kultur in der schon einmal gebrauchten Erde mit Kohlezugabe waren die Kulturen in Erde ohne Kohle die besten. Der wachstumsfördernde Einfluß in Kohlekulturen ist vollkommen ausgeblieben, und man sah sogar eine schwache wachstumshemmende Wirkung auf die Pflanzen. Die 50/100-Kulturen, welche bei dem erstem Versuch einen bis 100%igen Mehrertrag zeigten, waren bedeutend schwächer als die normalen Kulturen ohne Kohle und zeigten bedeutenden Rückgang im Ertrag.

Es ist aber kaum zu glauben, daß sich bereits in so kurzer Zeit nach einmaliger Kultur die physikalischen Eigenschaften des Bodens mit Kohlezusatz bedeutend verändert haben. Ich bin vielmehr geneigt zu glauben, daß bei wiederholter Kultur ein anderer wachstumsfördernder Faktor ausgeblieben ist, den man unter den verbrauchten Nährstoffen der Pflanze suchen muß. Dieser Versuch wurde übrigens gelegentlich mit gleichem Resultate wiederholt.

Unsere Beobachtung, daß die Kohlewirkung auf die Pflanzen in verschiedenen Jahreszeiten eine ungleiche ist, ließe sich auch kaum durch verschiedene physikalische Eigenschaften des Bodens deuten. In unseren Versuchen waren die Feuchtigkeitsverhältnisse immer die gleichen und die Temperaturverhältnisse trachteten wir ebenso immer im Optimum zu halten. Übrigens haben wir schon früher betont, daß die schon von Kissel festgestellten Temperaturdifferenzen im Kohleboden kaum von einer Bedeutung sein können, da sie zu gering sind.

Schließlich hat Kissel selbst gewisse als Karbohumate genannte Substanzen aus Kohle isoliert, die ebensolche Wirkung auf die Wachstumsförderung der Pflanzen haben sollen wie die Kohle selbst. Haben diese Substanzen ebensolche Wirkung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens wie die Kohle selbst?

Dem endgültigen Urteil über die Bedeutung der physikalischen Eigenschaften des Kohlezusatzes zum Boden für das Wachstum der Pflanzen wird zunächst eine ausführliche Analyse solcher Böden vorangehen müssen. Wenn wir die chemischen Bestandteile der Braunkohle für die wachstumsfördernde Wirkung verantwortlich machen wollen, so kommen in erster Linie die anorganischen Substanzen in Betracht. Der Aschengehalt der Braunkohlen variiert im allgemeinen (nach Strache und Lant, p. 266) etwa von 5 bis 20%. Die von uns benutzten gut wirksamen Kohlenarten haben den Aschengehalt wie folgt:

Zenica (Bosnien)	7·33%
Mostar (Herzegovina)	7·70
Velenje (Slovenien)	6·68

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Asche der Braunkohlen besteht nach Strache und Lant (p. 260) vorwiegend aus Tonerde, Kalk, Eisenoxyd und Kieselsäure; in geringeren Mengen kommen Magnesia, Alkalien, Schwefelsäure und Phosphorsäure vor, eben Substanzen, die für die Ernährung der Pflanzen mehr Bedeutung haben. Bereits Kissel war der Meinung, der ich mich anschließen möchte, daß die Lösung des Problems der wachstumsfördernden Wirkung nicht in den in der Kohle enthaltenen mineralischen Stoffen zu suchen ist.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir hier aus unseren Versuchsergebnissen hervorheben, daß die Zugabe der Kohle zu der Erde kaum eine Wirkung auf die Wasserstoffionenkonzentration hatte. *pH*-Werte zeigten Schwankungen zwischen 6·5 bis 7·0, und es zeigte sich keine bedeutende Veränderung während des Versuches. Die *pH*-Konzentration kann ebensowenig für die Wirkung verantwortlich gemacht werden.

Was weitere Hauptbestandteile der Kohle, die für die wachstumsfördernde Wirkung in Betracht gezogen werden könnten, anbelangt, so müssen zunächst Humusstoffe, beziehungsweise Humussäuren genannt werden, die für die Charakterisierung der Braunkohlen wichtig sind. Die Braunkohlen sind nach Strache und Lant (p. 481) eben dadurch charakterisiert, daß sie noch beträchtliche Mengen von alkalilöslichen Huminsäuren enthalten. Doch variiert der Gehalt an Huminsäuren bei verschiedenen Braunkohlenarten beträchtlich. Nach Strache und Lant (p. 266) enthalten die Braunkohlen durchschnittlich:

Huminsäuren	1·8	bis	98%
Humine	2		70

Kissel glaubt, daß eben diesen Huminsubstanzen bei der Kohlewirkung eine große Bedeutung zukommt. Er äußert sich darüber folgendermaßen (p. 85): »On voit donc que les composés humiques contribuent à élever la quantité de la matière organique de la plante par une action double: indirectement en réglant d'une manière favorable les conditions du milieu entourant la plante, ou directement en prenant part aux procédés de formation de la matière organique. Quant à ce dernier mode, il n'a pas pu être prouvé jusqu'alors si le système des racines accepte directement les solutions des matières humiques et les produits de leurs décompositions ou si l'influence de ces matières consiste seulement dans ce qu'elles épargnent à la plante, en lui apportant de l'azote sous une forme plus convenable, les pertes d'énergie inhérentes à la réduction des nitrates. Néanmoins, les resultats des recherches faites par l'auteur prouvent d'une manière évidente que la présence de matières humiques dans le sol contribue, dans certaines conditions bio-climatiques, à ce que les plantes forment des quantités plus élevées de matière organique; ceci est naturellement d'un grand interêt, puisqu'il s'agit des plantes agricoles.«

Ich selbst war im Anfang sehr geneigt, den Huminsubstanzen für die wachstumsfördernde Wirkung die größte Bedeutung zuzuschreiben. Als wir den Ausfall des Versuches mit Steinkohle vor uns hatten und sahen, daß die Steinkohle in ganz anderer Art auf die Pflanzen einwirkt als die Braunkohle, ja sogar schädigend, waren wir geneigt dies hauptsächlich auf den Mangel an Huminstoffen zurückzuführen. Ist ja doch die Steinkohle hauptsächlich dadurch charakterisiert, daß sie keine beträchtliche Mengen von alkalilöslichen Huminsäuren enthält. Doch, wie wir den Versuch mit verschiedenen Braunkohlen durchführten, zeigte sich, daß nur wenige davon eine wachstumsfördernde Wirkung haben, obwohl alle an Huminsubstanzen höchstwahrscheinlich mehr oder weniger reich sind. Es soll aber doch auch dies bei der Wiederholung des Versuches nachgeprüft werden.

Worin die Wirkung der Huminsubstanzen bestehen soll, hat bereits auch Kissel besprochen. Die Frage nach der direkten Wirkung der Huminsubstanzen als Nährstoff für die Pflanze ist seit Untersuchungen von Nikitinsky (1902) bis Bottomeley (1917) und Olsen (1930) nicht gelöst worden. Die Antwort im negativen Sinne ist mehr wahrscheinlich. Nach allen neueren Untersuchungen ist man zum Ergebnis gelangt, »daß der vermeintliche Stickstoffgehalt der Huminsäuren nur auf der Adsorptionsfähigkeit der kolloidalen Humussäure für alle Gase und somit auch für Stickstoff und Ammoniak beruht« (Strache und Lant, p. 245). Ähnliche Ansicht über den Stickstoffgehalt der Humussäuren hat bereits S. Odén (1922) geäußert und sie hält sich auch bis zur neuesten Zeit (W. Fuchs, p. 251). Doch über die Form des Stickstoffs der Kohle äußern sich Strache und Lant folgendermaßen:

»Heute ist man sich jedoch darüber vollständig klar, daß jene Stoffe, die wir als Huminsäuren bezeichnen, keinen Stickstoff enthalten und daß nur ein scheinbarer Stickstoffgehalt vom Ammoniak herrührt, das zufolge des Adsorptionsvermögens der kolloidalen Huminsäuren mit außerordentlicher Zähigkeit festgehalten wird.«

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Diese Konstatierung scheint für unsere eigene Anschauung über die Ursachen der wachstumsfördernden Wirkung von besonderer Bedeutung zu sein. Es bleibt nämlich für die Deutung der wachstumsfördernden Wirkung nur noch eine Möglichkeit, und diese stelle ich nun als erste. Es handelt sich meiner Meinung nach bei dem Problem der wachstumsfördernden Wirkung gewisser Braunkohlen um eine Stickstoffernährung.

Für diese These bin ich zur Zeit in der Lage, folgende Gründe zu bringen:

1. Die mit Braunkohle gedüngten und überaus gut entwickelten Pflanzen, wie in unseren Versuchen z. B. die Senf- und Leinpflanzen, hatten ein Aussehen von Pflanzen, die gut mit Stickstoff gedüngt sind. Die Pflanzen zeigten auffallend reichlichere Chlorophyllbildung als die Kontrollpflanzen in ungedüngtem Boden, die vegetativen Teile waren stärker entwickelt und die Fruchtbildung bedeutend verzögert.

Herr Kollege Dr. Gračanin, Professor für Bodenkunde und Pflanzenernährung an der landwirtschaftlichen Fakultät in Zagreb, als er zum ersten Male meine mit Braunkohle gedüngten Pflanzen ansah, sprach die Meinung aus, daß die Pflanzen denen mit Stickstoff gedüngten gleich aussehen.

2. Den entscheidenden Grund, der für die oben aufgestellte These spricht, finde ich in unseren Versuchen mit Leguminosen und speziell mit *Phaseolus*. Wir haben zunächst konstatiert, daß die Düngung mit Braunkohle auf Bohnenpflanzen von gar keinem günstigen Effekt war, ja es zeigte sich sogar eine schwache Schädigung. Dasselbe, wenn auch im geringeren Maße, wurde bei der Sojabohne beobachtet. Es ist jedoch eine allgemein bekannte Tatsache, daß die Leguminosen keine Stickstoffdüngung vertragen. Zur Bekräftigung dieser Tatsache führe ich aus dem Kostytschew's »Lehrbuch der Pflanzenphysiologie« (p. 210) nur folgendes an: »Anderseits bedarf die Leguminose keines Bodenstickstoffes. Direkte Versuche zeigen, daß auch bei reichlicher Stickstoffdüngung der größte Teil des von den Leguminosen assimilierten Stickstoffs der Atmosphäre entnommen wird (Nobbe und Richter, Landwirtschaftliche Versuchsstationen, Bd. 59, p. 167, 1904).« Die Schwächung der mit Braunkohle gedüngten Pflanzen ließe sich dadurch erklären, daß bei den mit Kohle gedüngten Kulturen die Knöllchenbildung gehemmt war. Übrigens spricht auch diese Tatsache der Hemmung der Wurzelknöllchenbildung bei Anwesenheit von Braunkohle für die These, daß es sich um eine Stickstoffdüngung handelt. Durch Untersuchung mehrerer Autoren ist es erwiesen, daß die Stickstoffdüngung die Knöllchenbildung wie auch die Luftstickstoffassimilation der Knöllchenbakterien hemmt. Um nicht auf einzelne Originalarbeiten einzugehen, führe ich nur an, was darüber Waksman in seinen »Principles of soil microbiology« sagt:

»The presence of nitrates in the medium and in the soil diminishes nitrogens-fixation by the organism. This has been demonstrated by Nobbe and Richter and other, and it was found to be due not any injurious influence of the nitrate but to the fact that the plant, capable of obtaining its nitrogens from the soil, represses the development of the nodules.

A condition is found here very similar to the influence of nitrates upon nitrogen fixation by non-symbiotic bacteria. Prucha found that the addition of KNO_3, $Ca(NO_3)_2$, NH_4Cl, or pepton to sandy soil, ad the rate of 0·25 gram of the salts to 300 grams air-dry soil, had an inhibiting effect on nodule development of Canada field pea, while $MgSO_4$, KH_2PO_4, $Ca(H_2PO_4)_2$ and tannic acid, especially in low concentrations, had a beneficial effect.«

Die Resultate unseres Versuches mit *Phaseolus* zeigen deutlich eine allmähliche Abnahme der Knöllchenbildung (siehe p. 16 d. A.), je mehr Braunkohle zugegeben wird. Es sind wahrscheinlich die Stickstoffsubstanzen, welche die Bildung der Knöllchen gehindert haben.

Bei dem *Soja*-Versuch haben wir überhaupt keine Knöllchen festgestellt, da *Soja* bekanntlich spezifische Bakterien hat, die in unseren Böden nicht vorkommen. Daher sehen wir auch ein etwas abweichendes Resultat gegenüber dem *Phaseolus*-Versuch.

3. Es ist schließlich auch ganz interessant, die sonst nebensächliche Beobachtung zu erwähnen, daß wir während unserer Versuche stark mit Pflanzenläusen zu kämpfen hatten. Insbesonders waren die mit Braunkohle gut gedüngten Kulturen stark von Pflanzenläusen angegriffen. Es ist aber eine bei Pflanzenkultivateuren bekannte Tatsache, daß die Stickstoffdüngung die Entwicklung von Läusen begünstigt (Prianischnikow D. N., Spezieller Pflanzenbau, 1930, p. 353; Honcamp, Düngemittel und Düngung, 1931, p. 883).

Kissel hatte jedenfalls der Stickstoffernährung in unserem Problem eine ganz nebensächliche Bedeutung zugeschrieben, denn er äußert sich nur über die Möglichkeit, daß eventuell die Nitrifikation

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

damit verbunden ist, folgendermaßen: »Eine gewisse Rolle spielt hier die Salpetersäure; diese wird besonders durch die Nitritbakterien erzeugt, die bei erhöhtem Luftzutritt und ebenfalls durch den spezifischen Einfluß von Huminsäuren in mit Kohlenstaub bearbeitetem Ackerboden viel intensiver arbeiten als im gewöhnlichen Boden.« Zur Bekräftigung dieser Ansichten hat Kissel überhaupt keine Gründe gebracht. Ich glaube, daß meine obenerwähnte Gründe zur Genüge dafür sprechen, daß es sich bei Braunkohledüngung um Stickstoffdüngung handelt. Eine andere Frage ist es aber, wie wir uns diese Prozesse der Stickstoffernährung durch Braunkohle vorstellen sollen. Auf Grund gewisser Beobachtungen, die wir während der Versuchsdauer gemacht haben, und auf Grund gewisser Versuchsresultate haben wir nun unsere Hypothese in folgender Weise aufgebaut:

Die Huminsubstanzen der Braunkohle werden, nachdem sich das Wurzelsystem genügend entwickelt, durch die Wurzelausscheidungen oder durch die Mikroorganismen des Bodens oxydiert, beziehungsweise zersetzt. Daraufhin wird das an Huminsubstanzen kolloidal adsorbierte Ammoniak freigestellt, worauf durch Nitrifikationsprozesse schließlich die für die Pflanze wichtige Nitrate gebildet werden. Es scheinen drei aufeinanderfolgende Prozesse: das Aufschließen der Huminsubstanzen, das Freiwerden des Ammoniaks und schließlich die Nitrifikation, hier mit im Spiele zu sein. Diese Hypothese kann durch folgende Indizien gestützt werden:

1. Molisch hat bereits im Jahre 1887 Versuche angestellt, die darauf hinweisen, daß die Ausscheidungen der Wurzeln es wirklich vermögen, auch die Huminsubstanzen zu oxydieren. Es werden selbstverständlich dadurch die Huminsubstanzen zersetzt.

2. Es soll nochmals hervorgehoben werden, daß die wachstumsfördernde Wirkung erst nach einer bestimmten Zeit von etwa 4 bis 6 Wochen zutage tritt. In diesem Zeitraume hat sich das gesamte Wurzelwerk zur Genüge entwickelt, daß die Ausscheidungen der Wurzeln zur Geltung kommen konnten. Man könnte zwar diese Erscheinung des nachträglichen Erscheinens der wachstumsfördernden Wirkung auch durch die Tätigkeit der Bakterien, beziehungsweise der Mikroorganismen deuten, die nach den Untersuchungen von Nikitinsky in Gegenwart von Sauerstoff der Luft das Vermögen besitzen, gewisse Huminsubstanzen zu zersetzen. Nach Nikitinsky soll die Spaltung der Huminsäure in einfachere Verbindungen die Assimilation der höheren Pflanzen stark befördern. Es ist aber sehr schwer, ohne irgendwelche experimentelle Untersuchungen im voraus zu sagen, welche von beiden Möglichkeiten bei der Zersetzung der Huminsäuren der Braunkohlen in Betracht kommen. Es könnten möglicherweise beide Faktoren zugleich im Spiele sein. Mir scheint es aber doch wichtig, zu betonen, daß die Wirkung der Wurzelausscheidungen auf den Boden gewöhnlich unterschätzt wird. Ich bin jedoch geneigt zu glauben, daß bei der Zersetzung der Braunkohle das Wurzelsystem eine bedeutende Rolle spielt.

3. Da wir schon früher, uns auf Strache und Lant berufend, angenommen haben, daß die Huminsubstanzen in sich keinen Stickstoff enthalten, sondern nur infolge des Adsorptionsvermögens des kolloidalen Charakters der Humussäuren adsorbierten Ammoniak enthalten, so ist es leicht verständlich, daß durch Zersetzung der Huminsubstanzen eben Ammoniak freigestellt wird.

4. Ob eine Nitrifikation in dem mit Braunkohle gedüngten Boden vor sich geht, muß eben geprüft werden, doch ist es bereits öfters von verschiedenen Autoren (Makrinoff, Krzeminiewsky, Remy und Rösing u. a.) festgestellt, daß die Huminsubstanzen in der Tat begünstigend auf die Nitrifikationsprozesse wie auch auf die Stickstoffansammlung wirken. Ich kann hier nur auf den interessanten Parallelismus zwischen optimaler Braunkohledüngung und optimaler Nitrifikation in bezug auf die Jahreszeit hinweisen. Es ist durch verschiedene Forscher (Müntz und Gaudechon, Lemmermann und Wickers, Schönbrunn, Limbach u. a.) und hauptsächlich durch Löhnis festgestellt worden, daß die Nitrifikation Herbst- und Frühjahrsmaxima und Sommer- und Winterminima zeigt. Obwohl diese Erscheinung bis heute nicht erklärt worden ist, ist es doch auffallend, daß wir bei Sommerversuchen mit Braunkohledüngung bei weitem nicht so günstige Erfolge hatten wie bei Frühjahrs- und Herbstversuchen. Ob dies in direktem Zusammenhang steht mit den Maxima der Nitrifikation ist zwar annehmbar, muß aber doch bewiesen werden.

5. Schließlich werden alle unsere Annahmen durch den erwähnten Leguminosenversuch mit *Phaseolus* bekräftigt, der uns zur Genüge bewiesen hat, daß es sich bei der Braunkohledüngung um eine Stickstoffdüngung handelte.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Es ist selbstverständlich, daß in unserem Indizienmaterial noch vieles lückenhaft ist. Es soll unbedingt klargestellt werden, ob durch Braunkohledüngung eine Erhöhung an Stickstoff im Boden erfolgt. Nicht weniger muß auch die Pflanze selbst in dieser Hinsicht analysiert werden. Eine besondere Aufmerksamkeit bei den künftigen Untersuchungen unseres Problems soll den Nitrifikationsvorgängen gewidmet werden.

Natürlich wird uns diesbezüglich die zielbewußte chemische Analyse der Kohlen vieles enträtseln können. Die verschiedenartige Wirkung der verschiedenen Braunkohlenarten ist uns vollkommen unklar geblieben. Vielleicht liegt dies auch im verschiedenen Gehalte von an Huminsubstanzen gebundenem Ammoniak.

Eine Menge von Fragen trat vor uns auf und eine Reihe von weiteren Untersuchungsbahnen wurde uns eröffnet. Dabei wurde aber die ganz merkwürdige Wirkung der Holzkohle und auch der Steinkohle vollkommen außerhalb des Weges gehalten und diese bleibt uns vollkommen im Dunkeln. Es ist dies ein Problem für sich, dem wir separate Untersuchungen zu widmen hoffen.

Wenn auch so viele und viele Fragen unbeantwortet geblieben sind, hoffen wir doch, daß es durch Beobachtungen und Versuche gelungen ist, die richtigen Bahnen zur Lösung des Problems der Kohlenwirkung auf die Pflanzen zu eröffnen.

VII. Die Möglichkeit der praktischen Ausnutzung der Kohle für die Pflanzenkultur.

Was zunächst die praktische Ausnutzung der Holzkohle in der Gärtnerei anbelangt, so scheint es, daß die Holzkohle für die Ernährung der Pflanzen kaum von Bedeutung ist. Wie unsere wenigen Versuche gezeigt haben, ist die Holzkohle in dieser Hinsicht für bestimmte Pflanzen von keiner Bedeutung. Die negativen Erfolge mit einigen Pflanzen *(Linum, Polygonum)* beziehen sich zwar auf Sommerversuche, und es ist fraglich, ob nicht eventuell auch hier die Jahreszeit mit im Spiele ist wie bei der Wirkung der Braunkohle. Wenn es sich vielleicht zeigen wird, daß die Holzkohle eventuell bestimmte desinfizierende Eigenschaften hat, wie man es öfters sagt, so würde dies die Verwendung der Holzkohle befürworten. Übrigens muß die Wirkung der Holzkohle auf verschiedene im Gartenbau benutzte Pflanzen zunächst gründlich geprüft werden, bevor wir darüber das endgültige Urteil aussprechen können.

Was die Verwendung von Braunkohle in der Pflanzenkultur anbelangt, so hat bereits Kissel selbst zugestanden, daß die Braunkohledüngung für die Praxis in der Landwirtschaft von keiner Bedeutung ist, denn trotz der ausgezeichneten wachstumsfördernden Wirkung auf Pflanzen sind die notwendigen Mengen von Kohle nach Kissel (20 bis 30 *t* pro 1 *ha*) viel zu groß, um eine Rentabilität zu erzielen. Auch in unseren Versuchen zeigte es sich, daß die optimale Menge der notwendigen Braunkohle zu Düngungszwecken (50 auf 100) verhältnismäßig sehr hoch ist. Für den Betrieb in der Landwirtschaft wird daher die Braunkohle kaum von Bedeutung sein, jedoch bin ich der Ansicht, daß die Braunkohle im gärtnerischen Kleinbetrieb gute Verwendung finden wird. Die Braunkohlen werden in feinkörniger Form dem Boden zugegeben und solches Kohlenmaterial ist in den Kohlenbergwerken im Überfluß zu finden. Es kann als billiges — sozusagen — Abfallprodukt für Düngungszwecke Verwendung finden. Natürlich soll erst, wie unsere Versuche mit verschiedenen Braunkohlen gezeigt haben, jede Braunkohlenart auf die Verwendungsmöglichkeit in qualitativer und quantitativer Hinsicht geprüft werden. Außer dem Vorteil in der Stickstoffernährung der Pflanzen werden bekanntlich durch Beimischung der Braunkohle zur Erde eine Reihe von verschiedenen physikalischen Eigenschaften in vorteilhafter Weise verbessert. Unsere eigenen weiteren Versuche nach dieser Richtung hin sind bereits im Gange.

Anhang.

Versuche über Sterilisation der mit Braunkohle gedüngten Kulturen.

Als wir zur Überzeugung kamen, daß die Braunkohlewirkung indirekterweise auch biochemischer Natur ist und daß die Mikroflora des Bodens bei diesen Prozessen einen bedeutenden Anteil hat, so wollten wir durch partielle Sterilisation den mikrobiologischen Faktor wenigstens teilweise ausschließen. Es hat bereits eine Reihe von Forschern, und unter diesen hauptsächlich Russel und Hutchinson,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

festgestellt, daß man den Ertrag der Pflanzenkulturen durch partielle Sterilisation vermittels Hitze bedeutend erhöhen kann. Ich verweise diesbezüglich auf die ausführliche Zusammenstellung der diesbezüglichen Literatur von Koppeloff, Clay und Coleman. Uns interessierte doch die Frage, wie sich die mit Braunkohle gedüngten gegenüber den ungedüngten, aber sterilisierten Kulturen verhalten werden. Obwohl der Ausfall des Versuches kein beweisendes Material für die Bewertung unserer Hypothese brachte, so bringen wir doch auch diesen Versuch, da er für die Frage der Wirkung der partiellen Bodensterilisation von Interesse sein kann.

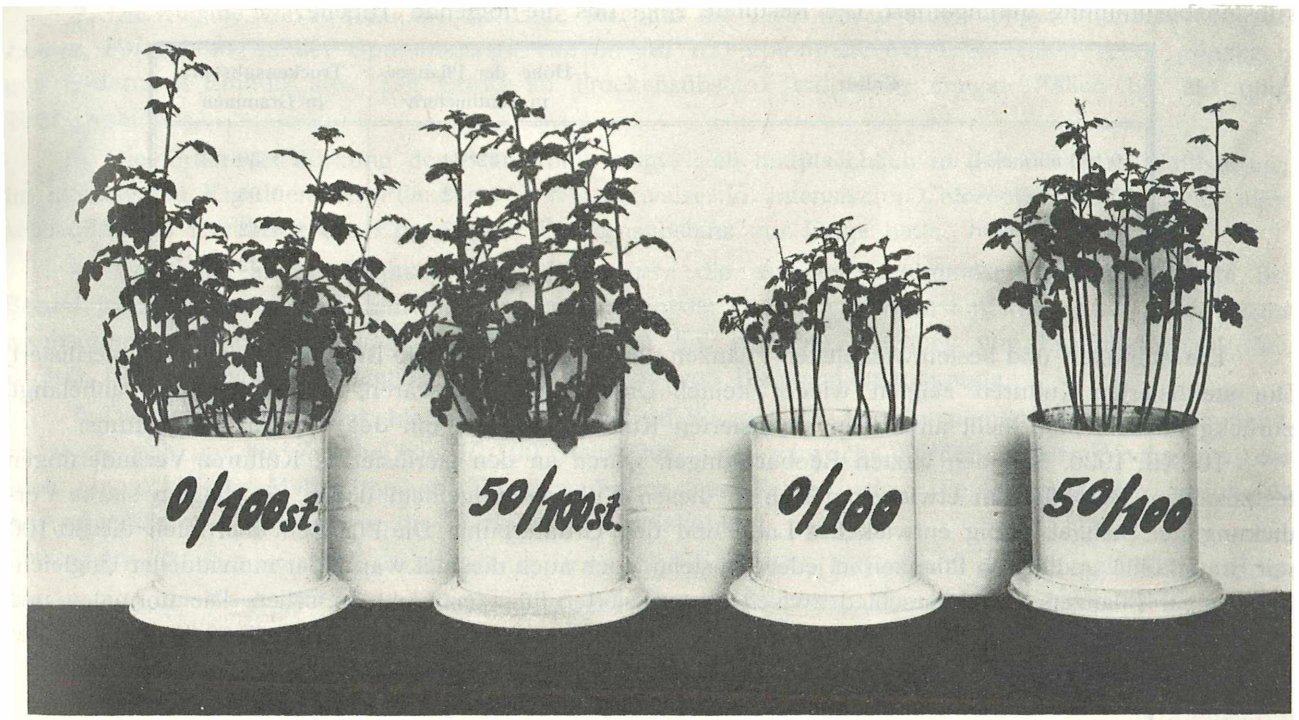

Fig. 7.

Einfluß partieller Sterilisation auf die *Sinapis*-Kulturen.

0/100 st. = ohne Kohle, sterilisiert, 50/100 st. = mit Kohle, sterilisiert, 0/100 = ohne Kohle, nicht sterilisiert, 50/100 = mit Kohle, nicht sterilisiert.

Versuch Nr. 14.

Versuchspflanze *Sinapis alba*. Versuchsdauer: 12. IX. bis 16. XII. 1930. Versuchsanstellung in üblicher Weise im Gewächshaus des Laboratoriums. Vier Versuchsserien mit je zwei Gefäßen mit je 14 Pflanzen, und zwar:

1. Sterilisiert ohne Zugabe von Braunkohle,
2. sterilisiert mit 50/100 Braunkohle,
3. nicht sterilisiert, Kontrolle ohne Braunkohle,
4. nicht sterilisiert, Kontrolle mit 50/100 Braunkohle.

Die Sterilisation wurde im Autoklav bei $2^1/_2$ Atmosphären und 138·5° C zwei Tage hintereinander je 1 Stunde durchgeführt. Nachher wurden die Kulturen mit Samen beschickt. Zur Zeit der Keimung waren die Gefäße mit Glasplatten zugedeckt. Die sterilen Kulturen wurden stets mit sterilisiertem Wasser begossen. Der Unterschied zwischen sterilisierten und nichtsterilisierten Kulturen war schon am Anfang des Versuches bemerkbar. Die letzteren waren stärker und höher. Anderseits war der Unterschied auch zwischen 0/100- und 50/100-nichtsterilisierten Kulturen augenfällig. Bei 50/100-Kulturen trat die Wirkung der Braunkohledüngung hervor. Dieser Unterschied war zwischen 0/100- und 50/100-sterilisierten Kulturen nicht zu sehen.

8. XI. Die bemerkten Unterschiede werden immer deutlicher, wie Fig. 7 zeigt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

14. XI. Es wurde die durchschnittliche Länge der Pflanzen bestimmt:

0/100 sterilisiert	13·23 *cm*
50/100	10·82
0/100 nichtsterilisiert	19·99 *cm*
50/100	23·64

Zu dieser Zeit zeigten sich die sterilisierten Braunkohlekulturen als die schwächsten.

18. XI. Eine Serie von Versuchen wurde demontiert und die Längenmessung wie auch die Trockensubstanzbestimmung durchgeführt. Die Resultate zeigt uns die folgende Tabelle:

Kultur	Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Trockensubstanz in Grammen
0/100 normal. ..	22·64	3·50
50/100 ..	23·32	6·95
0/100 sterilisiert .	13·57	3·12
50/100 .	10·80	3·32

Die stärksten und bestentwickeltsten Pflanzen waren jene bei 50/100 Braunkohle und nichtsterilisiert. Die sterilisierten Kulturen zeigten wieder keinen Unterschied und waren, was die Länge anbelangt, zurückgeblieben. Man sieht an diesen sterilisierten Kulturen den Beginn des üppigen Wachstums.

16. XII. 1930. Seit den letzten Beobachtungen waren an den sterilisierten Kulturen Veränderungen festzustellen. Die Pflanzen etwickelten sich in diesen Kulturen ungemein üppig. Sie zeigten starke Verdickung der Stengel, üppig entwickeltes Laub und tiefe Grünfärbung. Die Pflanzen übertrafen die 50/100 mit Braunkohle gedüngten Pflanzen in jeder Hinsicht, doch auch diesmal war außer individueller Ungleichheit einiger Pflanzen der Unterschied zwischen sterilisierten Pflanzen nicht zu sehen. Die normalen und mit Kohle gedüngten Pflanzen waren gleich. Den Ausgang dieser Kulturen zeigt die folgende Tabelle:

Kultur	Höhe der Pflanzen in Zentimetern	Trockensubstanz in Grammen
0/100 nichtsterilisiert..	23·2	3·4
50/100 .	32·4	9·2
0/100 sterilisiert. .	30·8	8·7
50/100	29·7	10·0

Aus dieser Tabelle folgt, daß die sterilisierten Kulturen ohne Rücksicht auf die Zugabe von Braunkohle ungefähr denselben Ertrag gegeben haben wie die nichtsterilisierten mit Braunkohledüngung und bedeutenderen Mehrertrag als die nichtsterilisierten Kulturen ohne Braunkohlezugabe. Es hat scheinbar die Braunkohledüngung bei sterilisierten Kulturen keinen Anteil an der Wachstumsförderung gehabt. Es genügte die Wirkung der Sterilisation allein, die Pflanzen zu ihrer maximalen Entwicklung zu bringen. Worin aber diese Wirkung der Sterilisation beruht ist bis heute noch eine vollkommen ungelöste Frage, und alle bisher aufgestellten Hypothesen (siehe Kopeloff, Clay und Coleman) können uns derzeit nicht befriedigen.

Zusammenfassung.

Von der gärtnerischen Praxis, in welcher Holzkohle als Beimischung zur Kulturerde verwendet wird, ausgehend, wurden Versuche aufgestellt, welche die Wirkung der Holzkohle auf Pflanzenkulturen aufklären sollten. In Erweiterung dieser Frage wurde nachher die Wirkung verschiedener Braunkohlen auf das Wachstum der Pflanzen geprüft, was der Hauptgegenstand weiterer Untersuchungen geworden ist. Schließlich wurde in den Rahmen dieser Untersuchungen auch die Wirkung der echten Steinkohle einbezogen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Hauptresultate der Untersuchungen lassen sich folgenderweise zusammenstellen:

1. Der Zusatz von Holzkohle zur Erde in der Menge von mehr als 10 auf 100 Volumteile wirkte auf die Versuchspflanzen stets wachstumshemmend.

Der Zusatz von 5 bis 10 Teile Holzkohle auf 100 Teile Erde wirkte in einigen Fällen *(Hordeum, Cichorium, Sinapis)* schwach wachstumsfördernd, indem der Ertrag höchstens bis auf 10% erhöht wurde; in einigen anderen Fällen *(Linum, Polygonum)* zeigte sich diese wachstumsfördernde Wirkung überhaupt nicht.

2. Die Zugabe von Braunkohle zur Erde übte auf das Gesamtwachstum einiger Pflanzen *(Sinapis, Linum, Polygonum)* in der Optimalmenge von 50 auf 100 Volumteile der Erde einen recht günstigen und fördernden Einfluß aus. Der Ertrag an Trockensubstanz wurde in einigen Fällen bis auf über 100% erhöht.

3. Die fördernde Wirkung der Braunkohle zeigte sich hauptsächlich in der stärkeren Blattbildung, im intensiveren Ergrünen der Pflanzen, beziehungsweise in intensiverer Chlorophyllbildung, was alles schließlich die Erhöhung des Ertrages an Trockensubstanz zur Folge hatte.

4. Auf einige andere Pflanzen *(Soja, Phaseolus)*, die zu den Leguminosen gehören, wirkte die Braunkohlezugabe zur Erde entweder in sehr geringem Grade wachstumsfördernd *(Soja)* oder sogar wachstumshemmend *(Phaseolus)*. Dabei zeigte sich bei stärkeren Zugaben von Braunkohle (50/100, 75/100, 100/100) eine schädigende Wirkung in Form von Blattrandaustrocknung.

5. Die Zugabe der Steinkohle zur Erde wirkte auf *Sinapis alba* im allgemeinen wachstumshemmend. Es zeigte sich nur bei Zugabe von 10/100 Steinkohle eine schwache Förderung des Wachstums, die auch einen kleinen Mehrertrag an Trockensubstanz zur Folge hatte. Die Wirkung der Steinkohle war ungefähr eine gleiche wie die Wirkung der Holzkohle.

6. Von 31 untersuchten verschiedenen Braunkohlen (Lignite, Erd-, Pech- und Glanzkohlen) zeigten nur wenige die wachstumsfördernde Wirkung auf *Sinapis*-Kulturen. Die meisten davon wirkten sogar wachstumshemmend.

7. Was die Erklärung der wachstumsfördernden Wirkung der Braunkohledüngung anbelangt, ist der Verfasser der Ansicht, daß den physikalischen Eigenschaften des durch Zusatz von Braunkohle veränderten Bodens (Auflockerung, Aeration, Wasserkapazität, Wärmeregulierung) im Gegensatz zu Kissel eine weit untergeordnete Rolle zukommt. Gar keine Bedeutung für die Ernährung der Pflanzen haben anscheinend die mineralischen Bestandteile der Braunkohle. Ebensowenig Bedeutung haben für die direkte Ernährung der Pflanzen die in der Kohle enthaltenen Huminstoffe, denen vielleicht nur eine sekundäre und indirekte Rolle als Reizstoffe für die physiologische Aktivierung gewisser Bakterien zukommt.

Die wachstumsfördernde Wirkung gewisser Braunkohlen besteht nach Verfassers Ansicht hauptsächlich in der Ausnutzung der in der Kohle enthaltenen Stickstoffsubstanzen. Die Braunkohledüngung wäre somit eine indirekte Stickstoffdüngung.

8. Die aufgestellte These der Stickstoffdüngung durch Braunkohle wird hauptsächlich durch die negative Wirkung der Braunkohle auf das Wachstum von Leguminosen (*Phaseolus*-Versuch) gestützt. Durch die Braunkohledüngung wird die Bildung der Wurzelknöllchen bei *Phaseolus* gehemmt, was auf Stickstoffwirkung zurückzuführen ist.

9. Es wird schließlich eine Hypothese über den ganzen Vorgang der wachstumsfördernden Wirkung der Braunkohle auf Pflanzen entwickelt.

Die Huminsubstanzen der Braunkohle werden allmählich durch die Wurzelausscheidungen der Pflanzen oder vielleicht auch durch die Mikroorganismen des Bodens zersetzt, wobei das an Huminsäure kolloidal adsorbierte Ammoniak freigestellt wird, worauf durch Nitrifikationsprozesse schließlich die für die Pflanzen nötigen Nitrate gebildet werden.

10. Die wachstumsfördernden Braunkohlen werden für die Stickstoffernährung der Pflanzen in der Landwirtschaft kaum eine Verwendung finden, doch könnten sie im Gartenbau von bedeutendem Nutzen werden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Literatur.

Appleyard A. The use of charcoal as a medium for plant growth. Journal of the Royal Horticultural Society. Vol. 40, 1914/15.

Bottomeley. Proc. Royal Society. London, Ser. B. 89, 481, 1918. Zitiert nach Referat in »Brennstoffchemie« *11*, 269, 1930.

Domontowitsch M. und Zinzadse Sch. Versuche zur Verbesserung der Nährlösung für höhere Pflanzen durch Zugabe von Pufferstoffen und Absorbienten: SiO_2 $Fe(OH)_3$ und Kohle. Journal für Landwirtsch. Wissensch. Moskau 1928, *5*, 16—29 (Russisch). Zitiert nach Referat im Bot. Zentralblatt. Original nicht gesehen.

Fuchs W. Huminsäuren. Kolloidzeitschrift *52*, 248 (1930).

Honcamp F. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre. II. Bd., Düngemittel und Düngung, 1931.

Kissel A. D. Principes de l'utilisation de la matière organique du charbon comme engrais (The use of coal as a fertiliser). Transactions of the Fuel Conference, London. Vol. 1, 1928.

— Kurze Studie über die Ursachen der erfolgreichen Wirkung der Braunkohle auf die Entwicklung von Nutzpflanzen. Brennstoffchemie B. C., Bd. 11, Heft 13, 257—260 (1930).

Kopeloff N., Clay, Lint and Coleman D. A. Review of Investigations on Soil Sterilisation. Centralbl. f. Bakt. II., 46, 1916 bis 1917.

Krzeminiewski. Bulletin de l'Acad. d. sc. de Cracovie, p. 929—1051 (1928).

Lemmermann O. und Wichers L. Über den periodischen Einfluß der Jahreszeit auf den Verlauf der Nitrifikation. Centralbl. f. Bakt. *50*, 33—43 (1920).

Lieske R. Biologie und Kohlenforschung. »Brennstoffchemie«, Bd. 10, 437 (1929); Forschungen und Fortschritte, Berlin, VI, p. 24.

— Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Kohlen als Düngemittel. »Brennstoffchemie«, Bd. 12, p. 81—85, 1930.

Limbach S. Studien über die Nitratbildung im Boden. Centralbl. f. Bakt., II., *78*, 354 (1929). Nach Referat von Rathrack in Fortschrit d. Landwirtsch. 4 (1930).

Löhnis F. Über den Einfluß der Jahreszeit auf den Verlauf der Salpeterbildung im Boden. Centralbl. f. Bakt. *58*, p. 655 (1923).

Molisch H. Über Wurzelausscheidungen und deren Einwirkung auf organische Substanzen. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. in Wien, *96*, 1, 1887, 84.

Nikitinsky J. Über die Zersetzung der Huminsäure durch physikalisch-chemische Agentien und durch Mikroorganismen. Pringsh. Jahrb. 37 (365—420) 1902.

Odén S. Die Huminsäuren. Kolloidchemische Beihefte, Bd, XI, 1922.

Olsen C. Über den Einfluß von Huminsubstanzen auf Wachstum der Pflanzen in Wasserkultur. Compt. rend. Lab. Carlsberg, 18. 1 (1930). Zitiert nach Referat v. E. Hofmann in »Brennstoffchemie« *11*, 269, 1930.

Prianischnikov D. M. Sur la question des excrétions nuisibles des racines. Revue générale de Botanique, 1914, p. 503—587. Spezieller Pflanzenbau, 1930.

Reinau E. Praktische Kohlensäuredüngung in Gärtnerei und Landwirtschaft. Berlin 1927, p. 44—46.

Remy T. und Rösing C. Über die biologische Reizwirkung natürlicher Humusstoffe. Centralbl. f. Bakt., II., *30*, 349—384, 1911.

Russel E. J. and Hutchinson H. B. The effect of partial sterilisation of soil on the production of plant food. Journ. of Agric. Science *3*, 111—144. 1009.

Schönbrunn B. Über den zeitlichen Verlauf der Nitrifikation unter besonderer Berücksichtigung der Frage nach dem periodischen Einfluß des Jahres. Centralbl. f. Bakt. *56*, 545—565.

Strache H. und Lant R. Kohlenchemie. Leipzig 1924.

Waksmann S. A. Principles of Microbiologie, 1927.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Inhaltsangabe.

		Seite
I.	Die Einleitung	1
II.	Versuche mit Holzkohle.	4
III.	Versuche mit Braunkohle.	9
IV.	Versuche mit Steinkohle.	19
V.	Versuche mit Braunkohlen verschiedener Herkunft und Qualität..	21
VI.	Über die Ursachen der wachstumsfördernden Wirkung der Kohle	23
VII.	Die Möglichkeit der praktischen Ausnützung der Kohle für die Pflanzenkultur.	30
	Anhang. Versuche über Sterilisation der mit Braunkohle gedüngten Kulturen.	30
	Zusammenfassung	32

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Fig. 1. Kulturen von *Sinapis alba* mit Holzkohle.

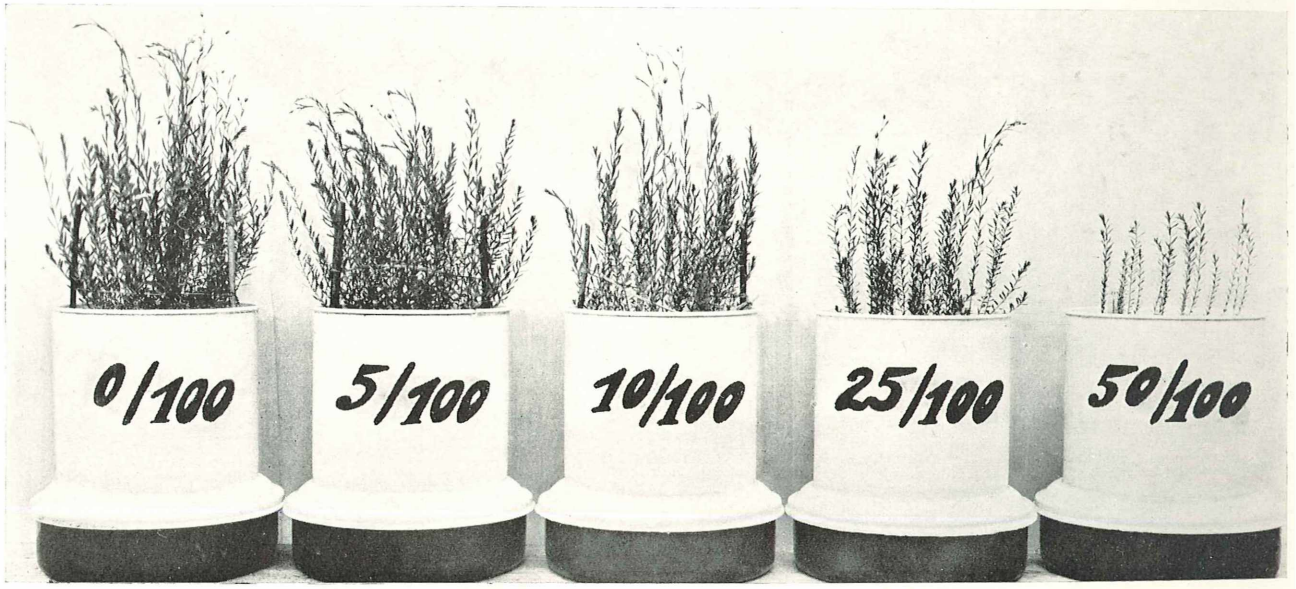

Fig. 2. Kulturen von *Linum usitatissimum* mit Holzkohle.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Fig. 1. Senfpflanze, kultiviert in mit Braunkohle gedüngtem Boden in verschiedener Menge.

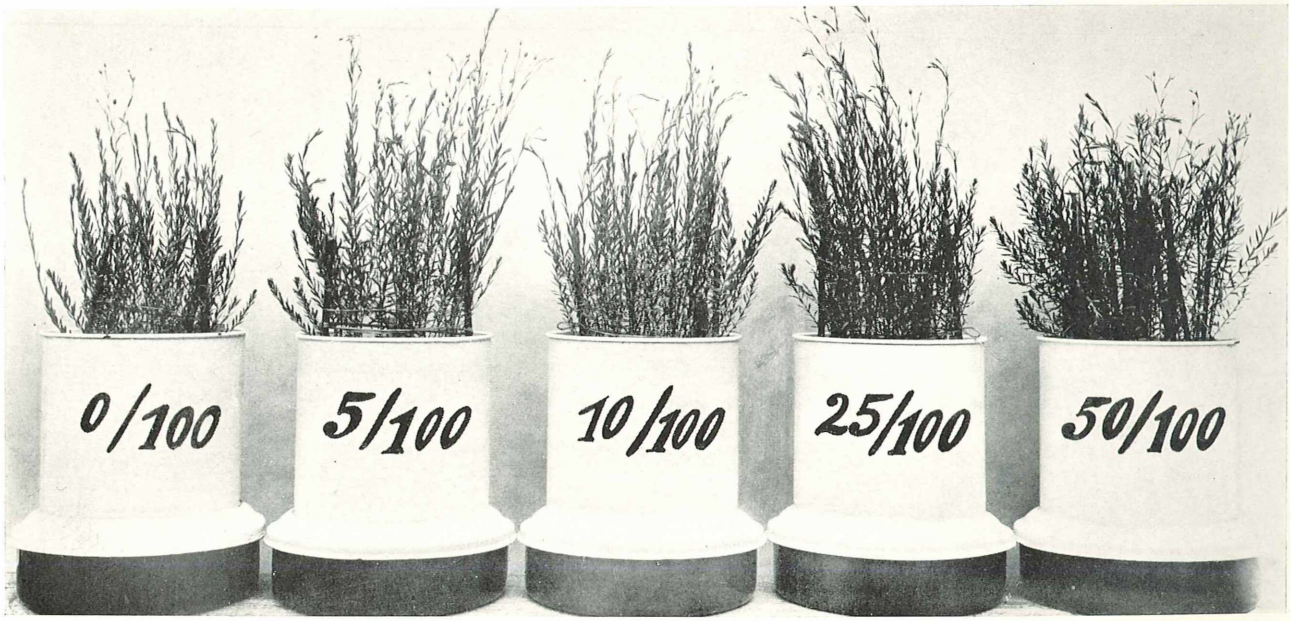

Fig. 2. Leinpflanze, kultiviert in mit Braunkohle gedüngtem Boden in verschiedener Menge.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Fig. 1. Senfpflanze, kultiviert in lehmig-toniger Gartenerde (0/100), in Komposterde (K.) und mit Braunkohle (B. C.).

Fig. 2. *Soja hispida* in lehmig-toniger Erde (0/100) und in mit Braunkohle (50/100) gedüngter Erde.

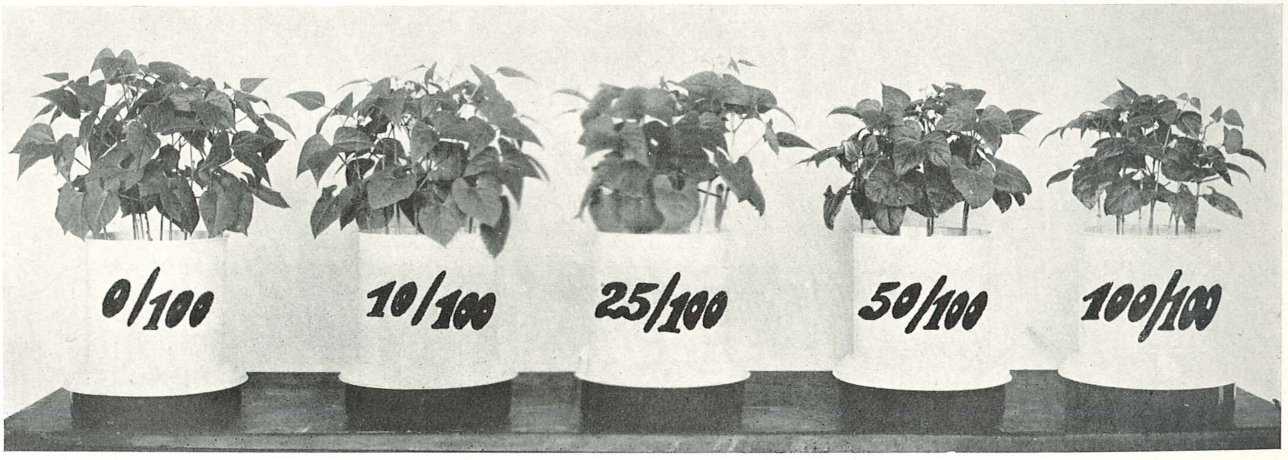

Fig. 3. *Phaseolus vulgaris* f. *nana* in Kultur mit verschiedenem Zusatz von Braunkohle.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl. Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt: Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.

Jahr/Year: 1934

Band/Volume: 103

Autor(en)/Author(s): Vouk Valentin (Vale)

Artikel/Article: Kohle und Pflanzenwachstum. (Mit 7 Textfiguren und 3 Tafeln). 1-35