Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 44 (1954)

Artikel: Über den Einfluss des Tabakrauches auf die osmotischen Zustandsgrössen und das Wachstum von Erbsenkeimlingen

Autor: Roggo, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308321

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über den Einfluß des Tabakrauches auf die osmotischen Zustandsgrößen und das Wachstum von Erbsenkeimlingen

von Hans Roggo

INHALTSVERZEICHNIS

Bisherige Untersuchungen 118
Eigene Untersuchungen 127

A. Morphologische Beobachtungen 129
B. Physiologische Beobachtungen 133

a) Messung des O_g- und Sz_g-Wertes 133

1. Messungen am Rindenparenchym 136
2. Messungen an der Stengelepidermis 140
3. Das Verhalten von Sz_g in Epidermis und Rindenparenchym des Stengels 142

b) Bestimmung des Sz_n-Wertes 143

1. Zubereitung des Untersuchungsmaterials 144
2. Vergleichende Sz_n-Messungen am untersten Internodium des Stengels 147
3. Vergleichende Sz_n-Messungen am 1., 2. und 3. Internodium 149
4. Vergleichende Sz_n-Messungen am 1., 2., 3. und 4. Internodium 152

c) Bestimmung des Si_n-Wertes 155

1. Gewinnung des Preßsaftes 156
2. Si_n-Messungen 159

d) Bestimmung des Turgordruckes 164

C. Vergleich der osmotischen Zustandsgrößen im Stengel von *Pisum sativum* 166
D. Die osmotischen Zustandsgrößen und das Längenwachstum des Stengels. 168
E. Beziehungen des stärksten Wachstums zu Sz_n und T_n . . . 176
F. Der Tabakrauch und das Dickenwachstum 177

Zusammenfassung 181
Literaturverzeichnis 183

Bisherige Untersuchungen

Seit langem war der Einfluß des Tabakrauches auf die höheren und niederen Pflanzen bekannt. Eine der ältesten Mitteilungen war wohl die von TASSINARI (1888), in der er von der schädlichen Einwirkung des Tabakrauches auf die Bakterien berichtete. Darnach besitzt dieser die Eigenschaft, die Entwicklung einiger Arten von pathogenen Bakterien zu verzögern und die einiger anderen ganz zu verhindern.

Verschiedene Forscher haben gezeigt, welch hochgradigen Einfluß die in der Laboratoriumsluft vorhandenen Verunreinigungen auf die Pflanze haben. Dabei kamen in erster Linie das Leuchtgas und seine Verbrennungsprodukte in Frage. MOLISCH (1884) berichtete von einer Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase. Er zeigte, wie bereits sehr geringe Mengen von Leuchtgas, nämlich 0,005 %, Verkürzung bei Wurzeln von Zea Mays-Keimlingen im Längenwachstum und Förderung im Dickenwachstum hervorriefen. NELJUBOW (1901) beobachtete, daß der Stengel der Erbse in Laboratoriumsluft eine horizontale Lage einnahm. Die Bildung von Krümmungen beim Übergang aus reiner Luft in Laboratoriumsluft wurde durch das Leuchtgas und von seinen untersuchten Bestandteilen durch das Acetylen und Aethylen verursacht. Außerdem waren alle untersuchten Gase (Leuchtgas, SO_2, Acetylen, Aethylen, CS_2-Dämpfe, Xylol und Benzol) den Keimpflanzen selbst in geringen Mengen sehr schädlich. SINGER (1903) wies nach, daß die Laboratoriumsluft mit ihren Verunreinigungen, aller Wahrscheinlichkeit nach ihres Leuchtgasgehaltes wegen, ebenfalls an Kartoffelsprossen Krümmungen hervorrief. O. RICHTER (1903) bestätigte die Angaben von NELJUBOW und ergänzte sie durch die Beobachtungen, daß das Leuchtgas hemmend auf das Längenwachstum und fördernd auf das Dickenwachstum der Keimlinge *Phaseolus multiflorus Willd.*, *Helianthus annuus L.* und *Cucurbita Pepo L.* wirke. Die Laboratoriumsluft hatte denselben Einfluß, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß die in ihr enthaltenen Spuren von Leuchtgas der Grund der auffallenden Erscheinungen waren. Die Wirkung zeigte sich bei *Helianthus*- und *Cucurbita*-Keimlingen auch darin, daß der Radius des Circumnutationskreises auf ein Minimum herabgedrückt und bei *Helianthus*-Keimlingen und aus-

keimenden Bohnen die spontane Nutation gefördert wurde. Abnorm starke Nutationen von 130°-270° waren auf ihre Rechnung zu setzen. Hg-Dämpfe vermochten ähnliche Höhen- und Dickenunterschiede hervorzurufen wie Leuchtgas, töteten dabei aber die Pflanzen nach ganz kurzer Zeit.

In weiteren Publikationen (1906, 1909, 1910) gab der nämliche Autor bekannt, daß Keimlinge der verschiedensten Art, die gleichzeitig der Wirkung gasförmiger Verunreinigungen ausgesetzt wurden, stärker auf den Lichtreiz zu antworten schienen als Kontrollobjekte in reiner Luft unter sonst gleichen Bedingungen. Am auffallendsten trat diese Erscheinung bei Wicken (*Vicia sativa*) und Erbsen (*Pisum sativum*) zutage, deren Keimlinge in Laboratoriumsluft einer einseitigen Lichtwirkung so zu folgen schienen, als ob überhaupt kein Geotropismus als zweite bestimmende Kraft in Frage käme. Das führte ihn zur Annahme,

> « daß durch die Narkotika der Geotropismus ausgeschaltet wird, wodurch notgedrungen der Heliotropismus verstärkt zutage treten muß, und daß auch der Heliotropismus selbst im Sinne von Rothert (1904) und Loeb (1906/1909) gesteigert wird ».

An Erbsen- und Wickenkeimlingen konnte O. Richter (1910) den Beweis erbringen, daß tatsächlich die Laboratoriumsluft die Fähigkeit besitzt, die einseitige Schwerkraftwirkung auszuschalten, wie es der Experimentator mit Hilfe des Klinostaten vermag. Er schrieb (1912) : « Als entscheidend für diese meine Ansicht konnte ich vor allem auf das Auftreten der 'horizontalen Nutation' der genannten Pflanzen auch in reiner Luft aufmerksam machen. Sie unterblieb in reiner Luft nie, vorausgesetzt, daß die Keimlinge, die am Klinostaten gedreht wurden, noch genügend jung waren. »

Guttenberg (1907/1910) bestritt die Richtigkeit der Annahme O. Richters, daß die heliotropische Empfindlichkeit von Keimlingen durch Narkotika tatsächlich gesteigert werde. Die Richtigkeit dieser Annahme konnte jedoch von O. Richter (1912) auf dreifache Art gezeigt werden :

1. « Dadurch, daß sich die Keimlinge der Narkotikaatmosphäre unter sonst gleichen Bedingungen viel stärker krümmen als die der reinen Luft. In diesem Fall ist der Krümmungswinkel ein Maß für die Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit.

2. Durch die Ermittlung der Schwellenwerte für narkotisierte und Reinluft-Keimlinge. Diese verhielten sich unter den gegebenen Versuchsbedingungen (Zutritt des Lichtes durch relativ dickwandige Glasgefäße) wie 45.741 : 60.988 MK/Sek. oder wie 3 : 4.
3. Dadurch, daß unter sonst gleichen Bedingungen die Krümmung der narkotisierten Keimlinge früher eintritt als die der Kontroll-Keimlinge in reiner Luft, wenn man mit bestimmten Keimlingen (*Avena sativa*) arbeitet und auf sie sehr geringe Lichtmengen einwirken läßt. »

Diese Versuche ließen O. Richter die Wirkung der Narkotika als eine Art photodynamischer Beeinflussung des Protoplasmas erscheinen.

Johannsen (1906) berichtete in seiner bekannten Arbeit « Das Ätherverfahren beim Frühtreiben », daß es durch Ätherisieren möglich sei, die Ruheperiode des Flieders abzukürzen. Die Wirkung des Äthers könne verschiedener Art sein ; er wirke entweder auf die Wachstumstätigkeit oder auf die Hemmungsfaktoren oder vielleicht auf beide zugleich. Dadurch, daß die Hemmung aufgehoben werde, erfahre das Wachstum eine indirekte Förderung.

Woycicki (1909) veröffentlichte Mitteilungen über den Einfluß der Laboratoriumsluft auf den inneren Bau der Kartoffelsprosse und Beobachtungen über Wachstums-, Regenerations- und Propagationserscheinungen bei einigen fadenförmigen Chlorophyceen in Laboratoriumskulturen und unter dem Einfluß des Leuchtgases.

Molisch (1911) machte darauf aufmerksam, daß der Tabakrauch ein ebenso häufiger Bestandteil der Laboratoriumsluft ist wie Leuchtgas und seine Verbrennungsprodukte. Er untersuchte zunächst den Einfluß des Tabakrauches auf Keimlinge, vor allem auf Keimlinge der Wicke. Solche wurden als Wasserkulturen auf einem Tüllnetz im Dunkeln herangezogen, die einen in Rauchluft und die andern in reiner Luft. Die Längen der Stengel betrugen nach sechstägiger Versuchsdauer bei den normalen Pflanzen 13,9 cm (Mittelwert aus 24 Messungen), bei den Rauchpflanzen durchschnittlich nur 0,75 cm. Abgesehen von den enormen Längendifferenzen zeigten sich noch folgende Unterschiede.

In reiner Luft	In Rauchluft
Stengel vertikal aufrecht	Stengel horizontal oder schief
Stengel dünn	Stengel dick

Wurzeln lang (8-12 cm), mehr oder minder gerade	Wurzeln kurz (1-3 cm), am Ende winklig, oft rechtwinklig gebogen
Knospenblätter von Anthokyan stark gerötet	Knospenblätter blaßgelb, nur mit Spuren von Anthokyan

In einem zweiten Versuch wurden die Keimlinge in Blumentöpfe gepflanzt. Die Ergebnisse waren im wesentlichen dieselben, besonders in den ersten Tagen. Später zeigte sich im Vergleich zu dem Versuche mit den im Wasser gezogenen Keimlingen ein Unterschied : am vierten Tage fingen die Rauchkeimlinge an, relativ stark in die Länge zu wachsen, und gewannen, wie der aufrechte, schlanke Wuchs der Stengel und die Anthokyanbildung dartat, das Aussehen der normalen Pflanzen. Nach sechs Tagen wurde der Versuch beendet und die Stengellänge gemessen. Diese betrug bei den normalen Pflanzen im Mittel (25 Pflanzen) 14,08 cm, bei den Rauchpflanzen 4,5 cm.

Wenn man die beiden besprochenen Versuche im Licht anstellt, so gibt sich auch hier der große Einfluß des Tabakrauches zu erkennen. Der Unterschied zwischen den Rauchpflanzen und Reinluftpflanzen ist bei den am Tüllnetz gezogenen Pflanzen viel auffallender als bei den Topfpflanzen. Der Autor glaubt, daß die große Oberfläche, die die Topferde und der poröse Tontopf darbieten, die Rauchgase und Dämpfe rascher absorbiert und hierdurch die Luft reinigt, während dies die mit Wasser gefüllten Glasgefäße viel langsamer und viel unvollkommener besorgen. Dazu kommt, daß die vom Wasser des Kulturgefäßes absorbierten Stoffe von der Wurzel reichlicher aufgenommen werden und die Pflanze dadurch schädigen.

Weitere gleiche Versuche wurden ausgeführt mit *Pisum sativum*, *Cucurbita Pepo* und *Phaseolus vulgaris*. Daraus ging hervor, daß der Tabakrauch einen höchst bemerkenswerten Einfluß auf Keimlinge ausübt. Er gibt sich in erster Linie durch eine hochgradige Hemmung des Längenwachstums der Stengel und der Wurzeln und in einer damit Hand in Hand gehenden Förderung des Stengeldickenwachstums zu erkennen. Die Unterschiede zwischen normalen Pflanzen und Rauchpflanzen waren auffallend groß. Der Anblick der Rauchkeimlinge erinnerte lebhaft an Keimlinge, die mit Leuchtgas stark verunreinigter Laboratoriumsluft ausgesetzt waren.

Molisch (1911) konnte bei Versuchen mit Wicken in Tabakrauch Symptome beobachten, wie sie schon O. Richter (1903) bei Pflanzen in Laboratoriumsluft festgestellt hatte. So war die Anthokyanbildung

gehemmt. Außerdem erfuhr die Gewebespannung infolge von « Turgorzunahme » so hochgradige Steigerungen, daß der Stengel platzte und durch Infiltration der Interzellularen glasig erschien. Bei gewissen Keimlingen (Wicke, Erbse), die in verunreinigter Luft (Laboratoriumsluft) nicht vertikal, sondern mehr oder minder horizontal oder schief wuchsen, zeigte sich dies auch bei Kultur in Tabakrauch. Der negative Geotropismus machte sich nicht oder sehr undeutlich bemerkbar, während der Heliotropismus mit außerordentlicher Feinheit in Erscheinung trat. Weiter war erstaunlich, welch große Empfindlichkeit die Wicke gegenüber Spuren von Tabakrauch bekundete. Wenn die Reinigung der Glasglocken oder Bechergläser, die schon einmal mit Tabakrauch beschickt worden waren, nicht mit peinlichster Sorgfalt durchgeführt wurde, so kam es nicht selten vor, daß die Keimlinge auch in der « reinen » Luft das typische Aussehen der in Rauchluft gezogenen hatten. Die Spuren der Kondensationsprodukte des Tabakrauches an den Glaswänden wirkten noch deutlich auf die Pflanze ein.

Molisch glaubte, daß mit der Einwirkung der Rauchluft innerhalb gewisser Zeiten keine dauernde Hemmung des Längenwachstums verbunden sei, sondern daß sich mit der Entfernung der hemmenden Ursache auch wieder normales Wachstum einstelle.

In der Gärtnerei neigte man seit jeher mehr zur Ansicht, daß der Tabakrauch den Pflanzen nicht schade. Er wird heute noch vielfach zur Vertilgung der Blattläuse verwendet, wobei die Pflanzen selbst anscheinend nicht nachteilig beeinflußt werden. Eine Ausnahme macht unter anderen der Farn *Adiantum Capillus Veneris L.*, dessen Blätter im Tabakrauch schwarz werden und absterben.

1911 dehnte Molisch die früheren an Keimpflanzen ausgeführten Experimente mit Tabakrauch auf Pflanzen in vorgerückterem Entwicklungsstadium aus. Die Methode war im wesentlichen dieselbe wie bei den Versuchen mit Keimpflanzen. Es wurden Topfpflanzen verwendet. Aus diesen Versuchen ging hervor, daß zwar auch die dem Keimlingsstadium entwachsene Pflanze durch den Tabakrauch geschädigt werden kann, mitunter sogar in bedeutendem Grade, daß aber im allgemeinen jene außerordentliche Empfindlichkeit, wie sie bei gewissen Keimlingen, wie jenen von Wicke, Erbse, Kürbis und Bohne, festgestellt wurde, nicht zu bemerken war. So erlitten *Tradescantia guianensis, Selaginella Martensii, Tolmiaea Menziesii, Eupatorium adenophorum, Echeveria Scheideckeri* keine merkbare Schädi-

gung. Sie wuchsen, wenn auch häufig etwas gehemmt, gut weiter. An andern Pflanzen jedoch konnte MOLISCH den pathogenen Einfluß des Tabakrauches sehr gut wahrnehmen, und zwar

1. Durch chemonastische Bewegungen der Blätter (z. B. bei *Boehmeria utilis* und *Splitgerbera biloba*).
2. Durch Lenticellenwucherungen (Stengel von *Boehmeria polystachia* und *Goldfussia glomerata*, sowie *Sambucus nigra* und *Salix rubra*).
3. Durch den Laubfall (verschiedene Leguminosen).
4. Durch Hemmung der Anthokyanbildung (Topfpflanzen von *Strobilanthes Dyerianus*).

Anschließend sei kurz auf die Versuche hingewiesen, die MOLISCH (1911) durchgeführt hat, um den Einfluß des Tabakrauches auf Mikroorganismen festzustellen. Dabei war seine Versuchsanordnung eine wesentlich andere als bei TASSINARI (1888). *Beggiatoa* starb schon nach 2 bis 3 Stunden ab. *Amöben* wiesen schon nach 5 bis 10 Minuten Störungen auf, die nach kaum einer halben Stunde zum Tode führten. *Vorticella* hörte alsbald auf zu schwimmen und starb nach 2 bis 4 Stunden. Andere Infusorien verhielten sich nach seinen Beobachtungen im wesentlichen auch so, doch war ihre Resistenz recht verschieden. Letzteres konnte man leicht beobachten, wenn mehrere Arten oder Gattungen gleichzeitig in demselben Versuchströpfchen studiert wurden.

Versuche, die MOLISCH (1911) mit der Leuchtbakterie *Pseudomonas lucifera* durchführte, zeigten auf das deutlichste, daß unter dem Einfluß des Tabakrauches im Bakterienleib schon nach kurzer Zeit Störungen auftreten, die sich durch Abnahme und gänzliches Verschwinden des Leuchtens kund geben. Stellt man wieder normale Verhältnisse her, so kehrt die Lichtproduktion zurück. Es sieht aus, als ob die Bakterien durch den Tabakrauch narkotisiert worden wären.

MOLISCH (1911) befaßte sich ebenfalls mit der Frage, welche Bestandteile des Tabakrauches auf die Pflanze wirken. Dabei stützte er sich auf Untersuchungen von KISSLING (1905), der mit ziemlicher Sicherheit nachweisen konnte, daß im Tabakrauch, neben andern Stoffen, die uns weniger interessieren, folgende giftige Bestandteile vorkommen: Nikotin, Pyridinbasen, Blausäure, Schwefelwasserstoff und Kohlenoxyd. Da die Giftigkeit des Tabakrauches hauptsächlich seinem Nikotingehalt zugeschrieben wird, untersuchte man zuerst, wie das reine Nikotin auf die Pflanze wirkt.

Es war überraschend festzustellen, daß reines Nikotin auf die Keimlinge nicht schädlich einwirkte. Immerhin wäre es möglich, daß das gebundene Nikotin eine Schädigung hervorrufen könnte.

Bei seinen Untersuchungen über den Einfluß anderer, nikotinfreier Raucharten auf das Wachstum der Keimlinge kam MOLISCH (1911) zur Annahme, daß dem Kohlenoxyd ein bedeutender Anteil an der schädlichen Wirkung des Tabakrauches auf die Pflanze zukommt. So untersuchte er die Wirkung des Rauches von brennendem Schreibpapier, Holz und Stroh. Es genügte schon der Rauch eines Stückes Schreibpapier von 10 bis 20 cm^2, eines Hobelspanes von 10 cm^2 oder eines Strohhalmes von 10 cm Länge, um abnorme Wachstumserscheinungen hervorzurufen, wie sie im Tabakrauch beobachtet wurden.

Es wurde bereits erwähnt (S. 122), daß O. RICHTER (1903) an Keimlingen in Laboratoriumsluft und MOLISCH (1911) an Keimlingen in Tabakrauch ein Aufreißen der Stengel nach der Quere und der Länge feststellen konnten. Sie sprachen von einem Zerplatzen und Zerspringen und schlossen auf eine hohe « Turgorsteigerung » in den betreffenden Teilen. O. RICHTER (1908) hat tatsächlich durch Bestimmung des « osmotischen Druckes » nachweisen können, daß in der Atmosphäre der Narkotika eine sehr beträchtliche « Turgorsteigerung » stattfand. Zudem entstanden Wucherbildungen unter den Spaltöffnungen und Lenticellen, Intumescenzbildungen, wie sie von KÜSTER (1903) und STEINER (1905) als Reaktion auf die Feuchtigkeit im dunstgesättigten Raum beobachtet wurden. Außerdem traten auch im Innern der Objekte Risse auf, die, ausgeheilt, lokalisierte Wundkorkbildungen aufwiesen. Endlich wurde auch eine Förderung der Guttation in der Atmosphäre der Narkotika festgestellt.

Nach JOHANNSEN (1897, 1900, 1902), PRIANISCHNIKOW (1904), HEMPEL (1911), GRAFE und O. RICHTER (1911) ist die chemische Zusammensetzung der Pflanzen in der Laboratoriumsluft und in der Atmosphäre von Narkotika eine ganz andere als in reiner Luft, und zwar finden sich in ihnen stets mehr lösliche Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen als in den Kontrollexemplaren. Darauf begründete nun O. RICHTER seine Anschauung, daß das Auftreten dieser die Osmose befördernden Substanzen die Ursache für die bedeutende Turgorsteigerung sei.

1912 untersuchte PURKYT Pflanzen, die in Tabakrauch herangewachsen waren, auf den « Turgor » (gemeint ist O_g). Er benutzte zu

den Untersuchungen ausschließlich Wasserkulturen, und zwar aus dem Grunde, « weil bei Anwendung derselben die äußeren Unterschiede stets in erhöhtem Maße auftraten, und es daher wahrscheinlich war, daß sich allenfalls auftretende Unterschiede in Turgor und Anatomie gleichfalls bei dieser Versuchsordnung in stärkerm Maße zeigen würden. » Die Untersuchungen erstreckten sich auf *Cucurbita Pepo, Pisum sativum, Vicia sativa, Phaseolus multiflorus* und *Lens esculenta*. Mit Ausnahme von *Lens esculenta* wurden die Versuche bei Lichtabschluß durchgeführt. Die Turgoruntersuchungen erfolgten nach der Methode von DE VRIES mit KNO_3 als Plasmolytikum. Bei vergleichenden « Turgorbestimmungen » an Kürbis wurde im Hypokotyl wie in der Wurzel der Rauchkeimlinge oft ein um 10 Atmosphären höherer « Turgor » festgestellt als in den gleichen Stellen der normalen Pflanzen. Ähnliche Resultate ergaben Untersuchungen an Keimlingen von *Pisum, Phaseolus, Vicia* und *Lens*. Die auffallenden « Turgordifferenzen » zwischen den Reinluft- und Rauchluftkeimlingen blieben nicht während der ganzen Versuchsdauer bestehen, sondern sie nahmen sukzessive ab, um schließlich gleich Null zu werden. Die unter Wasser befindlichen Wurzelpartien zeigten bei Rauchkeimlingen mitunter eine, wenn auch geringe « Turgorsteigerung ».

Das von O. RICHTER (1908), MOLISCH (1911), PURKYT (1912) und in neuerer Zeit von MAIROLD (1943) beobachtete Reißen und Platzen an Stengeln der Keimlinge in Laboratoriumsluft, in Tabakrauchluft, in Narkotika, an mit Colchicin behandelten Keimlingen, wurde von den Autoren als Folge eines hohen « Turgors » erklärt. O. RICHTER (1908) und PURKYT (1912) bestimmten den « osmotischen Druck » bei Grenzplasmolyse und fanden tatsächlich hohe Werte. Man schrieb die mechanischen Kräfte, die notwendig waren, um Risse in dem Gewebe zu verursachen, dem « Turgor » zu. Dabei machte man den « Turgor » verantwortlich für die Förderung des Dickenwachstums bei gleichzeitiger Hemmung des Längenwachstums. Ebenso konnten LINSBAUER und ABRANOWICZ (1909) in *Lemna* einen erhöhten « Turgor » feststellen, nachdem man dem Wasser 1 % Äther zugesetzt hatte.

Die genannten Autoren bestimmten experimentell die Konzentration einer KNO_3-Lösung in Mol. Wenn die Konzentration des Plasmolytikums eben noch ein Abheben des Plasmas in einer Zellecke bewirkte, so wurde der osmotische Wert dieser Zelle als annähernd gleich der der betreffenden KNO_3-Lösung angenommen. Einer 0.1

molekularen Lösung von Kaliumnitrat entspricht ein Druck von 4.67 Atmosphären (JOST 1908). Der osmotische Druck einer höher konzentrierten Lösung wurde durch Multiplikation dieser Zahl mit dem entsprechenden Multiplikator direkt in Atmosphären gefunden.

Wenn man aber die so bestimmten Atmosphärenwerte mit einer von URSPRUNG (1938) angeführten Tabelle osmotischer Drucke von KNO_3-Lösungen vergleicht, so findet man für KNO_3-Lösungen niederere Werte. Die Differenzen zwischen den Berechnungen von JOST und URSPRUNG können ganz bedeutend sein.

Gestützt auf Untersuchungen von O. RICHTER, der an Keimlingen in Leuchtgasatmosphäre eine Förderung des « Turgors » durch Licht feststellte, und zufolge seiner eigenen Versuche, in welchen er bei den Rauchkeimlingen wie bei den Reinluftkeimlingen eine deutliche Förderung des Lichtes auf den « Turgor » nachweisen konnte, führte PURKYT (1912) Versuche mit *Lens esculenta* im Lichte durch. Der « osmotische Druck », nach unserer Terminologie die Saugkraft bei Grenzplasmolyse, einer grünen Pflanzenzelle ist an und für sich schon höher als der einer etiolierten unter sonst gleichen Bedingungen. Demgemäß waren auch die erhaltenen « osmotischen Drucke » der Reinluft- und Rauchluftkeimlinge höher als bei etiolierten Pflanzen. Kam nun noch der Einfluß des Tabakrauches hinzu, so stiegen die Werte der grünen Pflanze rund auf das doppelte der bei entsprechenden Dunkelpflanzen ermittelten « Drucke ». Dazu schrieb PURKYT (1912) : « Durch die Kombination von Licht- und Rauchwirkung hat man also ein Mittel in der Hand, den « Turgordruck » in einer Weise hinaufzuschrauben, daß Werte resultieren, wie sie bei einigen Wüstenpflanzen (FITTING, 1911) aufgefunden wurden. » Auf diese Weise wurden Werte bis zu 32.69 Atm gemessen.

Die eben erwähnten Autoren geben als Ursache des abnormalen Verhaltens der unter der Einwirkung der Gase stehenden Keimlinge den hohen « Turgor » der Zellen an. Dabei verstehen sie unter « Turgor » den osmotischen Grenzwert einer Lösung, die im grenzplasmolytischen Zustand der Zelle gerade das erste sichtbare Abheben des Plasmas von der Wand bewirkt. Sie messen damit den Grenzplasmolysewert O_g, oder die Saugkraft der Zelle, wenn das Konzentrationsmaß in Atm ausgedrückt wird, also in einem Zustand der Zelle, in dem der vom Zellinhalt auf die Wand ausgeübte Druck, der Turgordruck, gleich Null ist (vgl. Darstellung der Nomenklatur in URSPRUNG 1938).

Diese und andere Erwägungen veranlaßten mich, die osmotischen Zustandsgrößen in Keimlingen, die dem Einfluß des Tabakrauches unterworfen waren, eingehender zu untersuchen. Als Versuchsobjekt wählte ich *Pisum sativum*, und zwar galt mein Interesse vor allem dem Stengel, da nach PURKYT (1912) die unter Wasser befindlichen Wurzelpartien der Rauchluftkeimlinge nur mitunter, und zudem nur eine geringe « Turgorsteigerung » zeigten. Die vorliegenden Untersuchungen sollen zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen den osmotischen Zustandsgrößen und deren Beziehungen zum abnormen Wachstum in Tabakrauchluft beitragen.

Die Versuche wurden im botanischen Institut der Universität Freiburg (Schweiz) durchgeführt. Meinem verehrten Lehrer, dem verstorbenen Herrn Prof. Dr. A. Ursprung, spreche ich meinen aufrichtigsten Dank aus für die Zuweisung dieser Arbeit und für deren wohlwollende Förderung durch Rat und Tat. Meines besonderen Dankes versichere ich Herrn Prof. Dr. G. Blum, der nach dem Tode von Prof. Ursprung meiner Arbeit die größte Aufmerksamkeit schenkte und ihr sein stetes Interesse angedeihen ließ.

Eigene Untersuchungen

Zu meinen Untersuchungen wählte ich *Pisum sativum*, Sorte « Maikönigin ». In einem Laboratoriumsraum, der frei war von Tabakrauch und Leuchtgas, wurden Erbsensamen während mehrerer Stunden in gewöhnlichem Leitungswasser aufgeweicht, hernach in mit Sägemehl gefüllte irdene Blumentöpfe gebracht und reichlich mit Wasser begossen. Nach 4 bis 5 Tagen waren die Erbsensamen bei Lichtzutritt und in gewöhnlicher Zimmertemperatur gekeimt. Mittels einer Pinzette lockerte ich das Sägemehl auf, zog die Keimlinge, deren Epikotyle 3 bis 4 mm lang waren, sorgfältig aus und entfernte das anhaftende Sägemehl durch Schwenken in Wasser.

Über zwei zylindrische Glasgefäße von ca. 12 cm Lichtweite und 25 cm Höhe, die mit Leitungswasser gefüllt waren, wurde je ein Tüllnetz gespannt, auf das die Erbsenkeimlinge verbracht wurden. Das Netz bestand aus genügend weiten Maschen, so daß die Würzelchen ohne Schaden hindurch gestoßen werden konnten. Die Würzelchen tauchten größtenteils ins Wasser, die Kotyledonen lagen unmittelbar auf dem Netz, und die Stengelchen ragten über das Netz empor.

Die beiden so montierten Gefäße stellte ich nun in einen anderen rauch- und gasfreien Raum, da nach MOLISCH (1911) schon minimale Spuren von Tabakrauch genügen, um die Keimlinge in ihrem Wachstum zu beeinflussen. Hier setzte ich die Gläser in niedere prismatische Behälter aus Zinkblech von der Größe 57 × 27 × 5 ½ cm und bedeckte sie mit ebenfalls prismatischen Stülpgläsern im Ausmaß von 50 × 20 ½ × 48 cm. Sie ersetzten die bekannten Glasglocken und enthielten einen Lichtraum von ca. 50 dm^3. Auf der Schmalseite kam ein Holzpflöckchen zwischen Stülpglas und Boden des Zinkbehälters. In diesen wurde Wasser gegossen, um die Keimlinge von der Außenwelt abzusperren.

Vor der Verwendung der Stülpgläser reinigte ich sie zunächst gründlich mit Wasser und desinfizierte sie nachher mit Wasserdampf, um die Erbsenkeimlinge vor eventuellem Schimmelbefall zu bewahren. Das Bedecken mit den prismatischen Stülpgläsern geschah am offenen Fenster, so daß sie reine Luft enthielten.

In das eine der Deckgefäße blies ich vermittelst eines am Ende gebogenen Glasrohres den Rauch einer Zigarette hinein. Der Raum füllte sich mit einem dichten, weißen Rauch, vermischt mit dem CO_2 der Atmungsluft. Ich habe auch versucht, den Rauch der Tabakpfeife und der Zigarren zu verwenden, aber ich fand, daß die Zigaretten den ausgiebigsten und wirksamsten Rauch erzeugten. Von den Zigaretten wählte ich solche mit schwarzem Tabak. Der Raum des anderen Stülpglases erhielt keinen Rauch, war also mit reiner Luft gefüllt und diente für die Kontrolle.

Die beiden Anlagen stellte ich nebeneinander vor einem großen Fenster auf, so daß sie gleicher Lichteinwirkung ausgesetzt waren. Am geeignetsten erwies sich diffuses Licht, da bei direktem Sonnenlicht die Temperatur unter den Stülpgläsern verhältnismäßig hoch anstieg und so zu stark von den natürlichen Verhältnissen abgewichen wäre. Temperaturunterschiede und Beleuchtungswechsel waren für beide Versuchsanlagen die nämlichen.

Da die Stülpgläser unten mit Wasser abgesperrt waren, herrschte im Innern große Feuchtigkeit, die mit der Zeit Fäulnis an den Stengeln hervorrief. Die Kontrollpflanzen wuchsen so stark in die Höhe, daß der Raum bald zu niedrig war. Aus diesem Grunde und weil an Stelle der Nährlösungen Leitungswasser verwendet wurde, mußten die Versuche zeitlich begrenzt werden.

A. Morphologische Beobachtungen

Auffallend ist, daß Erbsen in mit Tabakrauch verunreinigter Luft einen völlig veränderten Habitus zeigen im Vergleich zu den Erbsen, die in reiner Luft aufwachsen, wie schon MOLISCH (1911) und PURKYT (1912) festgestellt haben. Während die Stengel der in reiner Luft wachsenden Erbsen schlank sind und gerade aufwärts streben, haben die Erbsen, die in Tabakrauch wachsen, ein leicht knorriges Aussehen. Dickere und dünnere Stellen wechseln ab. Oft dreht sich der Stengel um die vertikale Achse und nimmt ein schwach schraubenförmiges Aussehen an. Die Stengel der Reinlufterbsen verjüngen sich von unten nach oben, diejenigen der Rauchlufterbsen besitzen von unten bis oben annähernd die gleiche Dicke. In der Nähe des Vegetationspunktes nimmt die Dicke plötzlich ab, und unvermittelt geht der Stengel in einen ca. 1 mm dünneren Abschnitt über. Das Längenwachstum ist deutlich gehemmt, dagegen wird das Dickenwachstum stark gefördert.

Am 15. Mai wurden Erbsensamen in Sägemehl zum Keimen gebracht und am 21. auf das Netz versetzt, die einen unter ein Gefäß mit reiner und die andern unter ein solches mit 10 Zügen Zigarettenrauch verunreinigter Luft. Gleich alte Pflanzen, die in Rauchluft oder in gewöhnlicher Luft wuchsen, wurden ausgemessen und die Ergebnisse zusammengestellt.

Tab. 1. Stengel- und Wurzelmaße von Pisum sativum

	Länge				Dicke			
	Rauchluft		Reinluft		Rauchluft		Reinluft	
	Stengel cm	Wurzel cm	Stengel cm	Wurzel cm	Stengel mm	Wurzel mm	Stengel mm	Wurzel mm
23. Mai	0.4	3.5	1.5	5.2	—	—	—	—
24. »	0.7	6.0	2.2	6.5	2.5	2.0	2.1	1.5
26. »	1.8	7.0	3.5	8.7	4.0	3.0	2.2	1.5
27. »	2.8	7.0	8.2	11.5	4.5	3.0	2.2	1.5
29. »	4.0	9.0	13.5	13.3	4.0	3.0	2.2	1.5
31. »	6.0	10.4	22.0	14.0	4.0	3.0	2.3	1.5
3. Juni	6.5	11.0	25.0	14.7	4.0	3.0	2.4	1.5
5. »	7.1	11.2	28.1	16.2	4.2	3.0	2.4	1.5
7. »	7.9	12.0	32.0	17.1	4.0	3.0	2.5	1.5
10. »	9.0	12.3	33.2	18.4	4.0	3.0	2.5	1.5

Die Tabelle zeigt vom 24. auf den 26. Mai zunächst eine starke Zunahme der Dicke der Rauchluftstengel, worauf in den folgenden Tagen keine weitere Dickenzunahme mehr erfolgte.

Um jeweils die Länge der Stengel und der Wurzeln zu ermitteln, maß ich vier Exemplare aus und errechnete den Mittelwert. Die Angabe der Dicke gestaltete sich schwieriger, da sie beim Stengel von der Basis bis zur Spitze abnahm, desgleichen bei der Wurzel von den Kotyledonen bis zur Wurzelspitze. Ich maß am Stengel die dickste Stelle und die Wurzel etwas unterhalb der Kotyledonen.

Zu einer weiteren Versuchsreihe wurden am 18. November Erbsensamen « Maikönigin » während einer Stunde in Wasser aufgeweicht und in Sägemehl, das reichlich begossen wurde, zum Keimen gebracht. Am 22. November waren die Keimlinge so weit vorangeschritten, daß sie auf das Netz verbracht und zu einem Teil der Tabakrauchluft ausgesetzt werden konnten. Unter das Sturzglas blies ich 6 Züge Zigarettenrauch. Die übrigen Keimlinge dienten als Kontrolle unter einem Sturzglas mit gewöhnlicher Luft. Am 24., 25., 27., 29. Nov., 1., 6., 9. und 13. Dez. hob ich einzelne Exemplare vom Netze ab, um O_g-Messungen durchzuführen, wobei ich jedesmal 5 Züge Zigarettenrauch als Ersatz des entwichenen Tabakrauches zugab. Auch in der Reinluftanlage wurde gleichzeitig die Luft ausgewechselt. Am 13. Dezember, also 25 Tage nach Beginn, wurde der Versuch abgeschlossen, Stengel- und Wurzellängen, sowie die Dicke der verbliebenen Erbsenpflanzen gemessen. Die Dicke der Wurzel wurde 2 cm unterhalb des Wurzelhalses bestimmt.

Tab. 2. Stengel- und Wurzelmaße von Pisum sativum 25 Tage nach Versuchsbeginn

Länge				Dicke			
Rauchluft		Reinluft		Rauchluft		Reinluft	
Stengel cm	Wurzel cm	Stengel cm	Wurzel cm	Stengel mm	Wurzel mm	Stengel mm	Wurzel mm
14.0	15.0	32.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5
13.5	18.5	27.5	4.2	3.0	2.0	2.0	1.8
15.0	9.5	28.0	6.5	2.8	2.1	1.9	1.5
15.0	12.0	25.0	2.5	3.0	2.0	1.5	2.0
15.0	17.5	30.0	5.0	2.9	2.0	2.0	1.8
15.0	3.0	31.5	9.5	3.0	2.0	2.0	2.0
15.0	8.5	32.5	11.0	3.5	2.0	2.0	1.5

Im Durchschnitt erreichten die Erbsenstengel in reiner Luft eine Länge von 29.5 cm, während das Mittel für die Rauchluftpflanzen 14.6 cm betrug. Der hemmende Einfluß des Tabakrauches auf das Längenwachstum zeigte sich deutlich, auch ließ sich eine Förderung

des Dickenwachstums feststellen. Im allgemeinen ist das Längenwachstum der Wurzeln in Tabakrauch geringer als in reiner Luft (Tabelle 1 und einzelne Fälle in Tabelle 2). Daß es auch anders sein kann, beweist unsere Tabelle 2, in der die Wurzeln in Rauch meistens eine Förderung erfahren, deren Ursache mir nicht näher bekannt ist, vielleicht weil das Wasser im allgemeinen weniger Rauch absorbiert.

Die Anzahl der Internodien ist bei den Rauchpflanzen die nämliche wie bei den Reinluftpflanzen ; sie bleiben aber entsprechend kurz. Die Fiederblättchen entwickeln sich nur kümmerlich und sehen blaßgrün aus. Die Clorophyllbildung wird vom Tabakrauch hemmend beeinflußt. Obwohl die Rauchluftpflanzen abwechslungsweise leichte Krümmungen nach allen Seiten aufweisen, ist doch im allgemeinen keine klare einseitige Krümmung des Stengels zu beobachten, wie Dostál (1941/1942) dies an mit Äethylen behandelten Pflanzen beobachtet hatte. Keimen Erbsen bei Lichtabschluß in äthylenvergaster Atmosphäre, so wächst die den Keimblättern zugekehrte Ventralseite der Wurzel schwächer als die Gegenseite ; die Wurzel krümmt sich also zur Spalte der Kotyledonen. Umgekehrt wird die Ventralseite des Epikotyls gefördert ; dieses krümmt sich somit in entgegengesetzter Richtung. Die Ursache sieht Dostál in einem Vorwiegen des Wuchsstoffes auf der Ventralseite, der für die Wurzel hemmend, für den Sproß aber fördernd wirke.

Die Förderung des Dickenwachstums des Epikotyls von Erbsenkeimlingen in von Tabakrauch verunreinigter Luft könnte durch Zellvermehrung und durch Zellvergrößerung hervorgerufen werden. Querschnitte aus gleichen Regionen der Rauchluft- und der Reinluftpflanzen zeigten auf ihren Durchmessern annähernd die gleiche Anzahl Zellen. Diese Feststellung stimmt überein mit den Angaben O. Richters (1908), der an Gas- und Reinluftpflanzen die gleiche Beobachtung machte. Purkyt (1912) gibt sogar an, daß die Differenz nie über zwei bis drei Zellen hinausging. Die Zahl der Zellen erleidet somit keine Änderung durch den Aufenthalt in Rauchluft. Das Dickenwachstum beruht demzufolge auf Zellenvergrößerung in radialer und tangentialer Richtung des Stengels.

Die Epidermis von Reinluftkeimlingen zeigt im Längsschnitt langgestreckte prismatische Zellen, die oben und unten von mehr oder weniger schief zur Hauptachse liegenden Querwänden begrenzt sind. Der Flächenschnitt weist ein außerordentlich regelmäßiges Bild auf.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Keimlingen, die in Rauchluft aufgewachsen sind. Im Flächenschnitt zeigen die Epidermiszellen krummlinige Konturen, die von eigenartigen Ausbuchtungen herrühren. Oft sind sie am oberen oder unteren Ende erweitert. Zusammenfassend kann von den Epidermiszellen gesagt werden, daß sie bei den Reinluftkeimlingen lang und schmal, bei den Rauchluftkeimlingen kurz und breit sind.

In den vom Tabakrauch im Längenwachstum gehemmten Stengeln der Erbsenkeimlinge sind die Längendimensionen der Parenchymzellen entsprechend kürzer als in den Reinluftkeimlingen. Die Unterschiede sind nicht in allen Regionen gleich groß. In der Nähe des Vegetationspunktes stellte ich kleinere Unterschiede fest ; sie nahmen gegen die Basis hin zu, wo die ausgewachsenen Zellen der Reinluftkeimlinge oft sechs- bis achtmal länger waren als die der Rauchluftkeimlinge. In der Tabakrauchluft wachsen die Parenchymzellen in die Breite, das Längenwachstum erfährt eine starke Hemmung. Auch die Spaltöffnungen veränderten in der Tabakrauchluft ihre Gestalt. Die beiden Schließzellen wuchsen sehr stark in die Breite. Ihre Außenwand bauchte sich nach außen, so daß die beiden Enden, die bei der normalen Schließzelle sich mit breiter Kante berühren, sich kugelig abrunden. Dabei erfuhr auch die Lage der Spalte eine Veränderung. Sie kam oft senkrecht zur ursprünglichen Richtung zu liegen (vgl. Purkyt 1912).

Bei der Beobachtung der Grenzplasmolyse fiel mir auf, daß diese in Zellen von Rauchkeimlingen viel deutlicher zu sehen war als bei den Reinluftpflanzen. Der Zellsaft erschien irgendwie verändert, war besser sichtbar, und offenbar veränderte sich auch die Viskosität des Plasmas.

Ein weiterer auffallender Unterschied besteht darin, daß sich bei den Reinlufterbsen im Stengel ein zentraler, durchgehender, nur an den Knoten unterbrochener Hohlraum bildet, wie dies bei Erbsen, die in freier Natur wachsen, auch der Fall ist. Hingegen bleibt der Stengel der Rauchlufterbsen gefüllt. Es sind keine Anzeichen da, daß sich etwa ein Hohlraum bilden würde. Das hängt wohl damit zusammen, daß die Rauchkeimlinge nicht jene Größe erreichten, bei der erst die Bildung des Hohlraumes beginnt. O. Richter (1908) berichtet von seinen Beobachtungen an Kürbispflanzen, bei denen in reiner Luft Markhöhlen auftraten, die in den Gaspflanzen niemals festgestellt wurden.

B. Physiologische Beobachtungen

a) Messung des O_g- und Sz_g-Wertes

Obschon heute die Messung des osmotischen Wertes bei Grenzplasmolyse und die Bestimmung der Saugkraft der Zelle bei Grenzplasmolyse (URSPRUNG 1938) nicht mehr von so großer Wichtigkeit ist wie früher, so kann man ihnen eine gewisse Bedeutung doch nicht absprechen. Früher glaubte man, wie einleitend bemerkt wurde, mit dem Grenzplasmolysewert den Turgordruck oder die Saugkraft der Zelle im normalen Zustand zu messen. Heute weiß man, daß dies nicht zutrifft, aber die Kenntnis des osmotischen Wertes und der Saugkraft der Zelle im abnormalen Zustand der Grenzplasmolyse vermag uns Aufschluß zu geben über die Zu- und Abnahme der osmotisch wirksamen Stoffe einer Zelle. Die Bestimmung von O_g und Sz_g kann daher zur Untersuchung der Osmoregulationen und zur Analyse der Si_n und Sz_n-Werte benutzt werden. Sie leistet auch einen Beitrag zum Studium der Permeabilität. Nach URSPRUNG (1938) « ist die O_g-Änderung allerdings nur dann ein Maß für die Änderung der osmotisch wirksamen Substanz, wenn Änderungen der Permeabilität des Protoplasmas und der Elastizität der Wand nicht störend eingreifen. »

Zur Anwendung kam die seit Jahren bewährte Grenzplasmolyse-Methodik, wie sie von URSPRUNG (1938) beschrieben wurde. Als Plasmolytikum benutzte ich vor allem Rohrzucker, von dem man weiß, daß er äußerst schwer permeïert und nicht schädigend auf die Zelle wirkt. Nebst Rohrzucker fand auch KNO_3 als Plasmolytikum Verwendung, um meine Resultate mit denen früherer Autoren vergleichen zu können, die ebenfalls KNO_3 benützten.

Aus einer volummolaren Stammlösung wurden die erforderlichen Konzentrationen in Abstufungen von 0.05 Mol zubereitet. Die entsprechend verdünnten Lösungen von 10 cm^3 kamen in weithalsige, 30 cm^3 fassende Fläschchen mit eingeschliffenem Glasstopfen. Nach drei- bis viermaligem Gebrauch wurden die Lösungen erneuert, da die Konzentration der Lösung einesteils durch die eingelegten Schnitte leicht verändert wird und andernteils sich darin gerne Pilze entwickeln, besonders in den Rohrzuckerlösungen.

Um Verwechslungen zwischen Rauchluft- und Reinluftmessungen vorzubeugen, stellte ich zwei Serien von gleichen Konzentrations-

abstufungen her. So brauchten die Schnitte von Rauchluft- und Reinluftkeimlingen nicht in die gleiche Lösung gelegt zu werden. Wenn ich zwei Gewebe oder zwei Plasmolytika miteinander vergleichen wollte, gebrauchte ich vorsichtigerweise vier Serien von gleichen Konzentrationen.

In die so zubereiteten Lösungen legte ich meine Schnitte ein. Zuerst stellte ich Schnitte aus den Reinluftpflanzen her, um eine Vermischung des Tabakrauches mit der Reinluftatmosphäre zu verhindern. Erst wenn die Reinluftkeimlinge unter dem schützenden Stülpglas vor Verunreinigungen gesichert waren, wurden die Rauchlufterbsen abgedeckt und die nötigen Exemplare herausgenommen. Über die verbleibenden Keimlinge kam wieder das Stülpglas. Um den abgegangenen Rauch zu ersetzen, blies ich ca. 10 Züge Zigarettenrauch hinein. Beim Abheben des Stülpglases von den Rauchluftpflanzen und bei Zugabe von Tabakrauch kam es unvermeidlich zu einer, wenn auch geringen Verunreinigung der Luft im Laboratoriumsraum. Da der Laboratoriumsraum sehr groß ist und regelmäßig gut durchlüftet wurde, blieb die Luft praktisch rein.

Untersucht wurden die Epidermis und das Rindenparenchym des Stengels von *Pisum sativum*. Um Schnitte aus dem Rindenparenchym herzustellen, halbierte ich den Stengel, worauf tangentiale Schnitte hergestellt wurden. Die Epidermis maß ich an Flächenschnitten. Selbstverständlich kamen nur lebende Zellen zur Untersuchung.

Der O_g-Wert des Zellverbandes entspricht jener Konzentration des Plasmolytikums, in der mindestens 50 % der untersuchten Zellen Grenzplasmolyse zeigen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Grenzplasmolysezeit, d. h. die Zeit zwischen dem Einlegen des Schnittes ins Plasmolytikum bis zum Eintritt der Grenzplasmolyse. Bei meinen Untersuchungen betrug die Meßzeit in Rohrzucker 45 Minuten bis 1 Stunde.

Zu Vergleichungszwecken wurde auch KNO_3 als Plasmolytikum verwendet. Hier ist die Bestimmung der Plasmolysezeit wegen der oft leicht eintretenden Endosmose besonders wichtig (Beck, Tab. 10-13, und Alphons Müller). Grenzplasmolyse trat schon nach 30 Minuten ein. Bei längerem Verbleiben als einer Stunde im Plasmolytikum erfolgte Deplasmolyse durch Endosmose. Wenn durch zu langes Verweilen der Schnitte im Kaliumnitrat-Plasmolytikum Fehler durch Endosmose und Osmoregulationen entstehen konnten und ferner auf

Schädigungen durch Anaerobiose zu achten war, so bestand die gleiche Gefahr auch für Rohrzucker, jedoch nicht in solchem Grade, da sich bei meinen Objekten nach mehreren Stunden kein Rückgang der Plasmolyse beobachten ließ.

Jede Plasmolyse bedingt eine Loslösung des Protoplasmas von der Zellwand. Die Adhäsion des Protoplasten muß überwunden werden. Wenn diese beträchtlich ist, so kann ein zu hoher O_g-Wert vorgetäuscht werden. BUHMANN (1935) hat auf die Möglichkeit dieser Fehlerquelle hingewiesen und durch entsprechende Messungen an *Pinus Laricio* im Februar eine größte Differenz von 27 Atm aufgedeckt. MERKT (1938) führte am Assimilationsparenchym der Nadeln von *Taxus, Pinus* und *Picea* die gleichen Versuche durch, fand aber, wie schon BÄRLUND (1929) an *Rhoeo discolor,* keine oder nur geringe Unterschiede. Es wurden zu hohe Werte vorgetäuscht, wenn er die Zellen zu kurze Zeit in den Lösungen ließ. Im gleichen Sinne führte ebenfalls GASSER (1942) Messungen aus. Er bestimmte in einer großen Anzahl Krautpflanzen noch einen 2. Plasmolysewert, indem er nach Messung des ersten O_g-Wertes jeden Schnitt eine Konzentrationsstufe (0.05 Mol) tiefer einlegte und O_g nach Ablauf der vorher benötigten Grenzplasmolysezeit von neuem maß. Er fand nur sehr geringe Unterschiede.

Welche Bedeutung hat nun die Adhäsion für die O_g-Werte in den Stengeln von *Pisum sativum,* insbesondere in denjenigen von Rauchluftpflanzen ? Der Versuch zeigte, daß in den Epidermiszellen der Reinluftpflanzen nur sehr geringe oder keine Unterschiede bestehen zwischen O_g I- und O_g II-Werten (Tabelle 3). Auch bei den Rauchluftpflanzen sind mit Ausnahme eines einzigen Falles die Unterschiede Null oder so gering, daß ich mich bei meinen Untersuchungen mit dem Plasmolysewert I begnügen konnte. In der Tabelle 3 sind weiter angegeben das Alter der Keimlinge und die Stengeldimensionen. Das Alter der Keimlinge rechnete ich vom Einlegen der Samen in Sägemehl an. Bei den Rauchkeimlingen maß ich die maximale Dicke, bei den Reinluftkeimlingen erfolgte die Messung der Dicke etwas oberhalb des Wurzelhalses, wo der Stengel am dicksten war, da er sich nach oben gleichmäßig verjüngte. Die angegebenen Dimensionen beziehen sich immer auf den oder auf die Versuchskeimlinge, aus welchen die Schnitte hergestellt wurden. Jedesmal wurden neue Exemplare zur Messung verwendet, da gebrauchte Pflanzen nicht mehr weiter

verwendet werden konnten. Es kam oft vor, daß zur Herstellung einer genügend großen Zahl von Schnitten zwei bis drei Exemplare notwendig waren. In diesem Fall wurde bei Angabe der Dimensionen ein Mittelwert gewählt.

Tab. 3. Die O_g- und Sz_g-Werte (Mol Rz und Atm) in der Stengelepidermis von Pisum sativum zeigen keine merkliche Abhängigkeit von der Adhäsion des Protoplasmas

Messungsdatum	2.2.	3.2.	5.2.	7.2.	9.2.	14.2.	17.2.
Alter des Keimlings, Tg.	7	8	10	12	14	19	22
Rauchluft :							
Raucheinfluß, Tage	3	4	6	8	10	15	18
Stengellänge, cm	0.6	0.9	1.8	2.5	3.8	6.0	12.0
Max. Stengeldicke, mm	3.0	3.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0
Plasmolyse I :							
O_g in Mol Rz	0.70	0.61	0.46	0.45	0.44	0.43	0.38
Sz_g in Atm	21.8	18.4	13.1	12.8	12.5	12.2	10.6
Plasmolyse II :							
O_g in Mol Rz	0.66	0.62	0.46	0.43	0.43	0.42	0.38
Sz_g in Atm	20.2	18.7	13.1	12.2	12.2	11.8	10.6
Reinluft :							
Stengellänge, cm	1.6	2.0	4.0	6.1	11.2	22.0	34.5
Max. Stengeldicke, mm	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Plasmolyse I :							
O_g in Mol Rz	0.47	0.35	0.33	0.36	0.33	0.40	0.38
Sz_g in Atm	13.5	9.7	9.1	10.1	9.1	11.2	10.6
Plasmolyse II :							
O_g in Mol Rz	0.47	0.35	0.32	0.35	0.32	0.39	0.38
Sz_g in Atm	13.5	9.7	8.8	9.7	8.8	10.9	10.6

1. Messungen am Rindenparenchym

Zu den Messungen des Rindenparenchyms benutzte ich die größeren, etwa in der Mitte liegenden Zellen des 10-12 Rindenschichten dicken Parenchyms. Die Untersuchungen begannen in jungen Kulturen, deren einzelne Pflänzchen in Reinluftkulturen 1-4 cm, in gleich alten Rauchluftkulturen etwa 1 cm hoch waren. Sie wurden in den wachsenden Kulturen fortgesetzt, bis die Blätter der Rauchluftpflanzen geschädigt waren, was nach etwa 16-28 Tagen sichtbar wurde. Die

O_g- und Sz_g-Werte der aufeinanderfolgenden Messungen sind unter sich nicht vergleichbar, weil sie von verschiedenen Pflanzen und in ungleichem Abstand vom Vegetationspunkt stammen. Hingegen sind unter sich vergleichbar die zur gleichen Zeit untersuchten Pflänzchen in Rauch- und Reinluft. Eine Auswahl der Messungen findet sich in Tab. 4 und 5, wobei in Tab. 4 Messungen in KNO_3 und Rohrzucker, in Tab. 5 gleichzeitig durchgeführte Messungen in den erwähnten Plasmolytika angeführt sind.

Am 20. September wurden Erbsensamen, Sorte « Maikönigin », während mehrerer Stunden in Leitungswasser aufgeweicht und in Sägemehl gelegt. Am 24. September waren sie soweit gekeimt, daß sie auf das Netz versetzt werden konnten. Wie üblich kamen die Kulturen unter Stülpgläser, wovon eines mit 10 Zügen Zigarettenrauch beschickt wurde, während das andere zur Kontrolle gewöhnliche Luft enthielt. Die herangezogenen Keimlinge dienten als Untersuchungsmaterial für O_g-Messungen in KNO_3. In gleicher Weise wurde etwas später eine Kultur herangezogen, die zu O_g-Messungen in Rohrzuckerlösungen Verwendung fand (siehe Tab. 4).

Wie aus Tab. 4 ersichtlich ist, wurden an den ersten Untersuchungstagen junge Keimlinge verwendet, deren Stengel nur geringe Längen aufwiesen. Die Schnitte stammten bei Rauchkeimlingen aus der Region unmittelbar unter dem Vegetationspunkt. Später wählte ich am Stengel die Stelle der maximalen Dicke, die sich meistens in halber Höhe des Stengels vorfand, bei älteren, längeren Exemplaren in den oberen Partien des Stengels. Um die Schnitte aus den Reinluftkeimlingen zu gewinnen, wählte ich die den Rauchluftkeimlingen entsprechenden Stellen.

Gleich bei der ersten Messung mit KNO_3 konnte ein Sz_g-Unterschied von 8.2 Atm festgestellt werden. Der gemessene Rauchkeimling hatte eine maximale Dicke von 3 mm ; Sz_g betrug 21.2 Atm, diejenige der Reinluftpflanze 13.0 Atm. Der am folgenden Tag untersuchte Stengel des Rauchkeimlings maß an der dicksten Stelle 4.0 mm ; die Sz_g-Bestimmung ergab 16.8 Atm. Der entsprechende Sz_g-Wert in der Reinluftpflanze betrug 12.6 Atm, die sich ergebende Differenz 4.2 Atm. Alle Sz_g-Werte der Rauchluftpflanzen waren höher als diejenigen der Reinluftpflanzen, doch nahm die Differenz im Verlaufe des Versuches ab. Die letzte Messung ergab gleichhohe Werte.

Das auffallendste Resultat ist die beständige Abnahme der Sz_g-

Differenz mit zunehmendem Alter, die von 8.2 Atm am 1. Tag schließlich auf Null herunterfällt. In allen weiteren Untersuchungen, die ich in Rohrzuckerlösungen und auch in KNO_3 durchgeführt habe, war kein so regelmäßiges Verhalten mehr bemerkbar und vor allem auch nicht die fast gleichmäßige Abnahme der Differenz bis zum Werte Null. Unsere KNO_3-Messungen dieser Tabelle deuten vielmehr darauf hin, daß hier die Permeabilität des KNO_3 eine Rolle, besonders in Rauchluft, gespielt haben könnte, so daß die Werte in jungen Zellen und damit auch die Differenz zu hoch ausfallen mußten.

Tab. 4. Vergleichende Sz_g-Messungen am Rindenparenchym von Pisum sativum mit den Plasmolytika Kaliumnitrat und Rohrzucker

			Rauchluft			Reinluft			Unterschied		
	Alter d. Keiml. Tg.	Rauch-einfluß Tg.	Länge cm	Dicke max. mm	Sz_g Atm	Länge cm	Dicke max. mm	Sz_g Atm	Länge cm	Dicke mm	Sz_g Atm
Kaliumnitrat:											
27.9.	7	3	1.0	3.0	21.2	4.0	2.5	13.0	3.0	0.5	8.2
28.9.	8	4	1.4	4.0	16.8	5.3	2.5	12.6	3.9	1.5	4.2
29.9.	9	5	1.6	4.0	14.2	8.5	2.5	10.3	6.9	1.5	3.9
30.9.	10	6	2.3	4.0	11.5	14.0	2.5	9.5	11.7	1.5	2.0
2.10.	12	8	2.7	5.0	11.1	16.5	2.5	9.1	13.8	2.5	2.0
4.10.	14	10	4.2	4.5	12.6	20.0	2.5	9.9	15.8	2.0	2.7
6.10.	16	12	5.0	4.0	9.5	21.5	2.0	9.5	16.5	2.0	0.0
Rohrzucker:											
24.11.	6	2	0.9	3.0	14.5	1.3	2.0	11.8	0.4	1.0	2.7
25.11.	7	3	1.0	3.0	14.1	2.8	2.5	11.2	1.8	0.5	2.9
27.11.	9	5	1.7	3.0	18.7	3.0	2.5	12.8	1.3	0.5	5.9
29.11.	11	7	2.0	4.0	21.4	9.7	2.0	10.9	7.7	2.0	10.5
1.12.	13	9	4.5	3.5	16.9	13.0	2.5	9.4	8.5	1.0	7.5
6.12.	18	14	6.0	4.5	9.7	27.0	2.1	7.9	21.0	2.4	1.8
9.12.	21	17	11.0	4.0	11.8	33.0	2.3	7.3	22.0	1.7	4.5
13.12.	25	21	13.0	3.5	10.3	29.0	2.3	6.7	16.0	1.2	3.6

Ein Vergleich der Messungen mit Rohrzuckerlösungen zeigt in erster Linie auch, daß die Sz_g-Werte in den Rauchluftpflanzen stets höher sind als diejenigen in den entsprechenden Stellen der Reinluftpflanzen. Die Differenzen können ganz beträchtlich sein. In einem Stengel der Rauchluftkeimlinge konnte eine 10.5 Atm höhere Saugkraft bei Grenzplasmolyse (Sz_g) gemessen werden als in der gleichen Region eines Stengels der in reiner Luft gewachsenen Pflanzen.

Ein Blick auf die Sz_g-Differenzen läßt feststellen, daß diese zunächst ansteigen, um dann wieder zu fallen. Die größte Differenz von 10.5 Atm wurde bei der 4. Messung erhalten, nachdem sich der Stengel

der Rauchluftpflanzen von 3 auf 4 mm verdickt hatte. Hingegen findet sich im abfallenden Teil der Reihe eine Sz_g-Differenz von nur 1.8 Atm, der Stengel aber weist eine maximale Dicke von 4.5 mm auf.

Die folgende Tabelle 5 zeigt vergleichende Messungen in Rohrzucker und KNO_3, die selbstverständlich gleichzeitig durchgeführt wurden. Die Behandlung der Keimlinge und die Ausführung der Messungen waren dieselben wie in Tab. 4.

Tab. 5. Vergleichende Sz_g-Messungen am Rindenparenchym des Stengels von Pisum sativum mit den Plasmolytika Rohrzucker (Rz) und Kaliumnitrat (Kn)

Datum	29.7.	30.7.	31.7.	1.8.	2.8.	3.8.	4.8.	8.8.	13.8.
Alter des Keiml., Tg.	5	6	7	8	9	10	11	15	20
Rauchluft:									
Raucheinfluß, Tg.	1	2	3	4	5	6	7	11	16
Länge, cm	0.6	0.8	1.0	2.0	2.0	2.5	3.0	5.4	7.0
Dicke, mm	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0
Sz_g, Rz Atm	14.1	21.4	17.2	15.5	14.8	14.5	15.5	12.2	10.3
Sz_g, Kn Atm	15.7	22.0	17.1	17.1	15.0	15.0	15.7	12.3	10.7
Unterschied, Atm	1.6	0.6	0.1	1.6	0.2	0.5	0.2	0.1	0.4
Reinluft:									
Länge, cm	2.0	2.5	3.0	4.3	7.0	9.5	11.4	21.5	29.0
Dicke, mm	2.0	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5
Sz_g, Rz Atm	12.8	14.5	13.1	12.8	9.4	7.6	10.3	10.3	10.9
Sz_g, Kn Atm	13.8	15.2	13.8	13.4	10.3	7.9	11.5	10.7	11.1
Unterschied, Atm	1.0	0.7	0.7	0.6	0.9	0.3	1.2	0.4	0.2
Unterschied Rauchluft/Reinluft:									
Sz_g, Rz Atm	1.3	6.9	4.1	2.7	5.4	6.9	5.2	1.9	+0.6
Sz_g, Kn Atm	1.9	6.8	3.3	3.7	4.7	7.1	4.2	1.6	+0.4
Länge, cm	1.4	1.7	2.0	2.3	5.0	7.0	8.4	16.1	22.0
Dicke, mm	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5	1.5	1.5	1.5

Zunächst stellen wir fest, daß die Sz_g-Werte für die Rauchluftpflanzen in KNO_3 etwas höher sind als die Sz_g-Werte für die gleichen Pflanzen in Rohrzucker, z. B. am 1. Tag um 1.6 Atm. Die übrigen Differenzen blieben unter 1.6 Atm. Ferner ergibt sich, daß die Sz_g-Werte der Reinluftpflanzen in KNO_3 ebenfalls leicht über den Sz_g-Werten der nämlichen Pflanzen in Rohrzucker liegen. Es liefert demnach KNO_3 etwas höhere Werte als Rohrzucker. Nach URSPRUNG (1938) findet die Erscheinung die einfachste und natürlichste Erklärung im relativ leichten Eindringen des Kalisalpeters. Auf solche möglichen Differenzen weist ebenfalls ALPHONS MÜLLER hin.

Ein Vergleich der Werte mit zunehmendem Alter zeigt folgendes. Nachdem die Keimlinge einen Tag in Tabakrauchluft waren, ergab eine erste Messung einen Sz_g-Wert von 14.1 Atm — ich beziehe mich ausschließlich auf die Rohrzuckerwerte —, in den Reinluftpflanzen wurde ein Sz_g-Wert von 12.8 Atm festgestellt. Die Differenz betrug somit 1.3 Atm. Nach einem weiteren Tag Einwirkung des Tabakrauches stieg Sz_g auf 21.4 Atm, in den Reinluftpflanzen ergab die Messung einen Sz_g-Wert von 14.5 Atm. Die Differenz betrug in diesem Falle 6.9 Atm. Die Dicke der Rauchluftpflanzen hatte in dieser Zeit um ca. ½ mm zugenommen. Vor der nächsten Dickenzunahme stellte ich einen Unterschied von 4.1 Atm fest. Am 3. August maß ich an einem Rauchkeimling mit einer maximalen Dicke von 4.5 mm einen Sz_g-Wert von 14.5 Atm, in dem entsprechenden Reinluftkeimling einen solchen von 7.6 Atm und konnte also eine Differenz von 6.9 Atm notieren. Gegen Ende der Versuchszeit nahmen die Unterschiede ab. Bei der letzten Messung fand ich in dem Reinluftkeimling einen um 0.6 Atm höheren Sz_g-Wert als in dem Rauchluftkeimling. Wir finden also auch hier, wie schon früher, von einer Ausnahme abgesehen, die höheren Werte in Rauchluft. Was die absoluten Werte anbetrifft, sind sie in Rauchluft- wie in Reinluftpflanzen in den ersten Meßtagen, also bei jungen Pflanzen, am höchsten, während sie mit zunehmendem Alter der Keimlinge abnehmen, und zwar in beiden Plasmolytika.

2. Messungen an der Stengelepidermis

Mit besonderem Interesse untersuchte ich Sz_g in der Epidermis der Erbsenstengel. Schon an früherer Stelle verwies ich auf die Tatsache, daß die Epidermiszellen unter dem Einfluß des Tabakrauches eigenartige Formen annehmen, und die unmittelbare Berührung des Tabakrauches mit der Epidermis ließ auch ein besonderes Verhalten derselben vermuten. Die Messungen wurden an Flächenschnitten vorgenommen ; als Plasmolytika dienten wiederum in zwei Parallelmessungen KNO_3 und Rohrzucker. Von den vielen Versuchen, die meistens bis zum Schluß, manchmal aber auch nur teilweise durchgeführt werden konnten, seien diejenigen in Tabelle 6 angeführt.

Die Versuchsanordnung war die bisherige. Am 26. Januar wurden Erbsen zum Keimen gebracht und am 30. Januar aufs Netz versetzt.

Tab. 6. Vergleichende Sz_g-Messungen an der Stengelepidermis von Pisum sativum mit den Plasmolytika Rohrzucker (Rz) und Kaliumnitrat (Kn)

Datum	2.2.	3.2.	5.2.	7.2.	9.2.	14.2.	17.2.
Alter des Keiml., Tg.	7	8	10	12	14	19	22
Rauchluft :							
Raucheinfluß, Tg.	3	4	6	8	10	15	18
Länge, cm	0.6	0.9	1.8	2.5	3.8	6.0	12.0
Dicke, mm	3.0	3.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0
Sz_g, Rz Atm	20.2	18.7	13.1	12.2	12.2	11.8	10.6
Sz_g, Kn Atm	20.5	19.1	15.0	13.8	15.7	11.5	11.1
Unterschied, Atm	0.3	0.4	1.9	1.6	3.5	0.3	0.5
Reinluft :							
Länge, cm	1.6	2.0	4.0	6.1	11.2	22.0	34.5
Dicke, mm	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Sz_g, Rz Atm	13.5	9.7	8.8	9.7	8.8	10.9	10.6
Sz_g, Kn Atm	13.8	11.2	9.5	11.1	9.5	10.3	10.7
Unterschied, Atm	0.3	1.5	0.7	1.4	0.7	0.6	0.1
Unterschied Rauchluft/Reinluft :							
Sz_g, Rz Atm	6.7	9.0	4.3	2.5	3.4	0.9	0.0
Sz_g, Kn Atm	6.7	7.9	5.5	2.7	6.2	1.2	0.4
Länge, cm	1.0	1.1	2.2	3.6	7.4	16.0	22.5
Dicke, mm	0.7	0.5	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5

Der Tabelle können wir entnehmen, daß die Sz_g-Werte in der Epidermis der Rauchluftkeimlinge wiederum höher liegen als diejenigen der Epidermis der Reinluftkeimlinge. Schon bei der ersten Messung ergab sich eine Differenz von 6.7 Atm — ich beziehe mich auf die Rohrzuckerwerte —, bei der zweiten betrug die Differenz 9.0 Atm, nachdem die Pflanzen einen Tag länger in der Tabakrauchluft waren. Dann nahmen die Differenzen ab. Am 9. Februar stellte sich wieder eine Zunahme der Differenz auf 3.4 Atm ein. Die Dickenmaße zeigten nichts außergewöhnliches ; die Rauchkeimlinge hatten eine Dicke von 3-4 mm, bei einem einzigen maß ich eine größte Dicke von 4.5 mm.

Des weiteren traten nach der Tab. 6, sei es bei den Rauchpflanzen, sei es bei den Reinluftpflanzen, zwischen KNO_3- und Rohrzuckerwerten immer wieder geringe Differenzen auf von 0.1-3.5 Atm. Der größte Unterschied zwischen mit KNO_3 bestimmten Sz_g-Werten und den mit Rohrzucker gefundenen Sz_g-Werten ergab sich bei den Rauchpflanzen und betrug 3.5 Atm.

Die meistens etwas höheren KNO_3-Werte stammen wahrscheinlich von Schnitten, die etwas zu lange in der Lösung waren und beruhen möglicherweise auf dem Eindringen von KNO_3.

Wie Tabelle 6 zeigt, fallen mit der Ausdehnung der Versuchsdauer die Sz_g-Werte der Rauchluftpflanzen zuerst stärker, nachher langsamer, um sich den Sz_g-Werten der Reinluftpflanzen zu nähern; offenbar ist der Einfluß des Tabakrauches mit zunehmendem Alter geringer, was übrigens auch die Untersuchungen der Stengelrinde zeigten.

3. Das Verhalten von Sz_g in Epidermis und Rindenparenchym des Stengels

In der üblichen Weise wurden am 26. März Erbsensamen, Sorte « Maikönigin », zum Keimen gebracht und der Wirkung der Tabakrauchluft ausgesetzt. Die Tabelle 7 enthält eine Zusammenstellung der Resultate der Untersuchungen. Diese Messungen sind unter sich vergleichbar, da sie sowohl in Rauch- wie in Frischluft mit KNO_3 durchgeführt wurden. Die ersten Messungen erfolgten am 31. März. Sie zeigten in der Epidermis der Rauchluftkeimlinge einen Sz_g-Wert von 18.7 Atm und in den Reinluftkeimlingen einen solchen von 13.1 Atm. Der Unterschied betrug 5.6 Atm. Gleichzeitig maß ich im Rindenparenchym der Rauchpflanzen einen Sz_g-Wert von 18.3 Atm, und im Rindenparenchym der Reinluftpflanzen stellte ich einen Sz_g-Wert von 14.2 Atm fest, was einen Unterschied von 4.1 Atm ergab. Die Messungen an der Epidermis zeigten ein Abflauen der Differenzen, am 5. und 15. April war sie Null; das gleiche wurde bei dem Rindenparenchym beobachtet, in keinem Falle jedoch war die Differenz Null; die Differenzen nehmen, wie früher, mit zunehmendem Alter ab.

Wenn wir die Sz_g-Werte in der Epidermis der Rauchluftpflanzen mit denjenigen im Rindenparenchym derselben Pflanzen vergleichen, so stellen wir im Rindenparenchym allgemein etwas höhere Sz_g-Werte fest. Es liegen Differenzen von 1.9, 1.6 und weniger Atmosphären vor. Am 31. März war der Sz_g-Wert im Rindenparenchym der Rauchluft um 0.4 Atm unter dem Sz_g-Wert in der Epidermis der Rauchluftpflanzen. In den Reinluftpflanzen war das Verhältnis der Sz_g-Werte in Epidermis und Rindenparenchym ähnlich. Die Differenzen waren

eher geringer als in den Rauchluftpflanzen; sie betrugen nur 1.1, 0.4, 0.8 und weniger Atmosphären. Am 3. und 5. April konnte überhaupt keine Sz_g-Differenz zwischen Epidermis und Rindenparenchym beobachtet werden.

Tab. 7. Sz_g in Epidermis und Rindenparenchym des Stengels von Pisum sativum in Rauch- und Reinluft

Plasmolytikum Kaliumnitrat							
Datum	31.3.	3.4.	5.4.	7.4.	9.4.	11.4.	15.4.
Alter des Keiml., Tg.	5	8	10	12	14	16	20
Rauchluft:							
Raucheinfluß, Tg.	2	5	7	9	11	13	17
Länge, cm	0.4	2.0	2.9	3.5	4.6	5.5	8.1
Dicke, mm	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Sz_g-Epid.	18.7	11.5	9.5	9.9	9.5	9.5	9.1
Sz_g-Rind.	18.3	13.4	11.1	11.5	11.1	10.3	9.9
Unterschied beider	0.4	1.9	1.6	1.6	1.6	0.8	0.8
Reinluft:							
Länge, cm	1.4	3.9	6.2	9.8	15.3	21.2	31.6
Dicke, mm	2.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Sz_g-Epid.	13.1	10.3	9.5	9.5	8.7	9.1	9.1
Sz_g-Rind.	14.2	10.3	9.5	9.9	9.5	9.5	9.5
Unterschied beider	1.1	0.0	0.0	0.4	0.8	0.4	0.4
Unterschied Rauchluft/Reinluft:							
Sz_g-Epid.	5.6	1.2	0.0	0.4	0.8	0.4	0.0
Sz_g-Rind.	4.1	3.1	1.6	1.6	1.6	0.8	0.4
Länge, cm	1.0	1.9	3.3	6.3	10.7	15.7	23.5
Dicke, mm	0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

b) Bestimmung des Sz_n-Wertes

Die Saugkraftformel lautet allgemein:

$$Sz = Si - W$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich für die Saugkraft der Zelle im normalen Zustand und beim Fehlen äußerer Zug- oder Druckkräfte:

$$Sz_n = Si_n - W_n$$

Die Saugkraft Sz_n läßt sich nach mehreren erprobten Methoden messen. Für meine Untersuchungen kamen vor allem zwei Methoden

in Betracht: die vereinfachte Methode oder die Streifenmethode (URSPRUNG 1923) und die Hebelmethode (URSPRUNG und BLUM 1930). Mit Hilfe der Streifenmethode findet man aus der Längenänderung die mittlere Saugkraft von Gewebestreifen; die Hebelmethode vermittelt die Saugkraft aus der Dickenänderung. Zunächst versuchte ich es mit der vereinfachten Methode. Der etwas knorrige Wuchs der Rauchpflanzen verhinderte aber die Herstellung geeigneter Streifen. Ich entschloß mich deshalb nach einigen Vorversuchen, Sz_n nach der Hebelmethode zu messen. Diese beruht auf der Annahme, daß die Dickenänderung eines Gewebestreifens im gleichen Sinne erfolgt wie die Volumänderung seiner Zellen, was nach den bisherigen Erfahrungen (URSPRUNG und BLUM 1930) in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle zutrifft. Eine Ausnahme bilden Zugwurzeln, bei denen eine Längendimension abnehmen und das Volumen trotzdem zunehmen kann. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Dimensionsänderungen des Gewebes in verschiedenen, am besten in drei zueinander senkrechten Richtungen zu messen.

Der Hebelapparat ist von URSPRUNG und BLUM eingehend beschrieben worden (URSPRUNG und BLUM 1930 und URSPRUNG 1938). In einem eigens eingerichteten, zitterfreien Raum stand mir zur Messung eine genügende Anzahl Horizontalmikroskope zur Verfügung.

1. Zubereitung des Untersuchungsmaterials

Nach der üblichen Weise wurden Erbsenkeimlinge herangezogen und in Tabakrauch verbracht, während andere als Kontrollpflanzen in gewöhnlicher Luft aufwuchsen. Nach 2 oder 3 Tagen wurden Rauchluftkeimlinge und Kontrollpflanzen vom Netz abgehoben. Rasch schnitt ich die Stengel in Querscheiben von ca. 2 mm Dicke und verbrachte sie in Paraffinöl. Diese Arbeit benötigte nur kurze Zeit, so daß der Transpirationsfehler äußerst gering war. Hierauf kam das so zubereitete Untersuchungsmaterial in den Raum der Hebelapparate. Ein Stengelstück nach dem andern wurde mit Filtrierpapier gereinigt, aufrecht, in der Richtung der Längsachse auf das Glastischchen gestellt und in Rohrzuckerlösungen der gewünschten Abstufungen gebracht. Ich achtete genau darauf, daß bei älteren und deshalb längeren Keimlingen diejenigen Partien zur Untersuchung kamen, an denen früher die Saugkraft bei Grenzplasmolyse gemessen worden war,

durchschnittlich ca. 1 cm unter dem Vegetationspunkt. Gemessen wurden Querstücke des Stengels.

Tab. 8. Saugkraft-Messungen (Sz_n) an Erbsenstengeln, die in Rauch- und Reinluft gezogen waren

Datum	Alter Tg.	R'einfluß Tg.	Rauchluft Länge cm	Rauchluft Dicke mm	Rauchluft Sz_n Atm	Reinluft Länge cm	Reinluft Dicke mm	Reinluft Sz_n Atm	Diff. Sz_n Atm
13.12.	6	2	0.5	2.2	10.6	1.6	2.0	9.1	1.5
15.12.	8	4	0.9	2.5	10.6	2.4	2.5	8.5	2.1
17.12.	10	6	1.7	3.2	10.6	2.8	2.7	7.6	3.0
19.12.	12	8	1.9	3.9	9.7	4.1	2.1	8.2	1.5
21.12.	14	10	2.3	3.8	9.7	6.2	2.0	8.5	1.2
23.12.	16	12	2.8	3.9	9.1	7.4	2.5	7.9	1.2
24.12.	17	13	3.0	4.2	9.1	8.5	2.0	8.8	0.3
26.12.	19	15	3.8	4.0	8.5	11.5	2.0	7.9	0.6
28.12.	21	17	4.0	4.0	6.7	15.2	2.0	6.7	0.0
30.12.	23	19	6.6	4.0	7.9	17.0	2.5	7.9	0.0
2.1.	26	22	7.2	3.8	7.3	22.0	2.4	7.0	0.3
7.1.	31	27	8.5	3.8	6.7	26.0	2.0	6.4	0.3
10.1.	34	30	11.0	3.5	7.3	30.0	2.1	7.9	— 0.6

Die Tabelle 8 enthält die Ergebnisse einer ersten Versuchsreihe. Aus ihr ersieht man, daß auch die Sz_n-Werte der Rauchluftkeimlinge höher liegen als die Sz_n-Werte der Reinluftkeimlinge. So maß ich am 13. Dezember im Stengel einer Rauchluftpflanze eine Saugkraft von 10.6 Atm, im Stengel der Reinluftpflanze aber eine solche von 9.1 Atm. Die Differenz betrug somit 1.5 Atm. Am 15. Dezember konnte ich in einem Rauchluftkeimling wieder einen Sz_n-Wert von 10.6 Atm feststellen, während ich in der Reinluftpflanze Sz_n 8.5 Atm maß, was einen Unterschied von 2.1 Atm ergab. In der Messung vom 17. Dezember ergab sich zum dritten Mal eine Saugkraft von 10.6 Atm in der Rauchluftpflanze, in der Reinluftpflanze eine solche von 7.6 Atm. Die Differenz stieg auf 3 Atm. Im Verlaufe der Versuchsreihe nahmen die Differenzen nach und nach ab bis 0.3 und 0.0 Atm. Am 10. Januar konnte ich in einem Rauchluftkeimling eine Saugkraft von 7.3 Atm messen, in einer Reinluftpflanze einen entsprechenden Wert von 7.9 Atm. An diesem Tage fand ich also in dem Reinluftkeimling eine um 0.6 Atm höhere Saugkraft als in der Rauchluftpflanze. Sz_n verhält sich demnach ähnlich wie Sz_g : erst eine Steigerung der Differenzen, dann ein Fallen bis Null, was wahrscheinlich mit

der erst nach und nach eintretenden Wirkung des Rauches in Beziehung steht. Später findet offenbar eine Anpassung an den Rauch statt.

In den vorgehend beschriebenen Untersuchungen kontrollierte ich die Dimensionsänderungen des Stengelstückes in der Richtung der Längsachse. Um die bereits gefundenen Saugkraftwerte zu erhärten, wurde in weiteren Messungen außerdem die Dickenänderung senkrecht zu den bisher untersuchten Dimensionsänderungen geprüft.

Wie für die bisherigen Saugkraftmessungen wurde der Stengel in Querscheiben von ca. 2 mm Dicke geschnitten, die in Paraffinöl kamen. Im Hebelraum präparierte ich nun Querscheibe um Querscheibe zur Untersuchung. Ich halbierte eine jede parallel zur Längsachse des Stengels, worauf ich auf der intakt gebliebenen Gegenseite die Epidermis entfernte. Dies war notwendig, um den leicht auftretenden Störungen durch Krümmungen des Objektes vorzubeugen. Diese können fälschlicherweise eine Dickenänderung anzeigen, die in Wirklichkeit nicht besteht. So glaubte ich eine der unangenehmsten Fehlerquellen auszuschalten, die bei der Saugkraftmessung mit der Hebelmethode auftreten kann. Mit vorrückendem Alter wurden die zunächst zylinderförmigen Stengel mehr und mehr vierkantig. Es zeigte sich, daß die Kanten über die Seitenflächen vorstanden, diese also leicht konkav waren. Dadurch, daß ich durch einen geeigneten Schnitt mit der Epidermis zugleich die vorstehenden Kanten entfernte, war für eine ebene Aufliegefläche gesorgt.

Im Verlaufe der Versuchsreihe stellte sich noch eine weitere Schwierigkeit ein. In dem Stengel der Reinluftkeimlinge traten Hohlräume auf, worauf schon früher hingewiesen wurde. Beim Halbieren des Stengelstückes ergab sich eine gekehlte Seite, die auf dem Glastischchen hohl aufliegen würde oder, wenn sie oben zu liegen käme, dem Taster eine ungeeignete Angriffsfläche bieten würde. In beiden Fällen könnten die Seitenwände unter dem, wenn auch geringen Druck des Tasters seitlich ausweichen und eine Dickenabnahme vortäuschen. Durch einen zum Halbierungsschnitt parallel geführten Schnitt entfernte ich die seitlich hochstehenden Ränder so, daß ich eine ebene Fläche erhielt. Ebenso wurden die Stengelstücke der jüngsten Keimlinge zubereitet, für die die Notwendigkeit einer solchen Behandlung eigentlich nicht bestand, die aber die Möglichkeit ergab, die ganze Versuchsreihe hindurch gleichartig zugeschnittene Stengelteilchen messen zu können.

2. Vergleichende Sz_n-Messungen am untersten Internodium des Stengels

Gemessen wurde in einer ersten Versuchsreihe ausschließlich das erste, unterste Internodium. Dicke Querscheiben des Stengels wurden nach zwei Richtungen gemessen, in der Richtung der Längsachse des Stengels und in radialer Richtung. Die Bezeichnung « wagrecht » bezieht sich auf die Sz_n-Messungen in radialer Richtung des Stengels und die Bezeichnung « senkrecht » auf die Messungen in der Längsrichtung des Stengels. Die Messungen in radialer Richtung verlangten, wie vorstehend beschrieben wurde, eine besondere Zubereitung der zu untersuchenden Querscheiben. Als Osmotikum kam Rohrzucker in Konzentrationsabstufungen von 0.02 Mol zur Verwendung.

Vergleichen wir zunächst die Ergebnisse der Messungen derselben Stengelpartie in der Längsrichtung und in radialer Richtung (Tab. 9), so ergeben sich für die Rauchpflanzen Differenzen, die sich von 0.0 Atm bis 1.0 Atm erstrecken. Am 14. Juli maß ich in radialer Richtung einen Sz_n-Wert von 8.1 Atm und in der Längsrichtung einen solchen von 9.1 Atm : Unterschied also 1.0 Atm. Die Unterschiede werden auch negativ ; Mittel 0.26. Bei den ersten Messungen am 2. Juli ergaben die beiden Richtungen die gleichen Werte

Tab. 9. Sz_n-Messungen am ersten, untersten Internodium des Stengels von Pisum sativum

Datum	2.7.	3.7.	4.7.	6.7.	8.7.	10.7.	14.7.	16.7.	18.7.	21.7.
Alter, Tg.	7	8	9	11	13	15	19	21	23	26
Rauchluft :										
R'einfluß, Tg.	3	4	5	7	9	11	15	17	19	22
Länge, cm	1.3	1.8	2.0	2.8	3.8	5.0	5.5	6.0	6.6	7.5
Dicke, mm	4.5	4.0	4.5	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0	4.0	4.0
Sz_n wagr.	8.4	8.0	7.3	7.2	6.2	7.2	8.1	8.4	6.2	6.8
Sz_n senkr.	8.4	8.5	6.8	7.3	6.9	8.0	9.1	8.0	6.8	6.6
Unterschied	0.0	+0.5	—0.5	+0.1	+0.7	+0.8	+1.0	—0.4	+0.6	—0.2
Reinluft :										
Länge, cm	2.7	4.0	7.0	14.0	19.4	24.5	27.0	27.5	28.0	30.0
Dicke, mm	2.0	2.5	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Sz_n wagr.	7.9	7.6	7.3	7.5	6.5	5.1	6.2	7.4	6.0	6.0
Sz_n senkr.	8.0	8.1	7.5	7.4	5.8	6.4	6.5	7.1	6.4	6.2
Unterschied	+0.1	+0.5	+0.2	—0.1	—0.7	+1.3	+0.3	—0.3	+0.4	+0.2
Sz_n-Unterschied Rauchluft/Reinluft :										
Wagr. Atm	+0.5	+0.4	0.0	—0.3	—0.3	+2.1	+1.9	+1.0	+0.2	+0.8
Senkr. Atm	+0.4	+0.4	—0.7	—0.1	+1.1	+1.6	+2.6	+0.9	+0.4	+0.4

von 8.4 Atm. Ein entsprechender Vergleich bei den Reinluftpflanzen ergibt, daß zwischen den Sz_n-Werten, gemessen in der Längsrichtung und in radialer Richtung der Erbsenstengel, Differenzen bis zu 1.3 Atm auftreten. Die Differenz von 1.3 Atm muß allerdings als vereinzelter Fall betrachtet werden, denn die Unterschiede bewegen sich im allgemeinen um 0.2 und 0.3 Atm herum. In der Mehrzahl der Fälle fand ich in der Richtung der Längsachse etwas höhere Sz_n-Werte als in radialer Richtung. Es mag dies von den Leitbündeln herrühren, die in der radialen Richtung mitgemessen werden und die Saugkraft der radialen Schnitte naturgemäß etwas erniedrigen.

Was zunächst die Resultate der beiden Messungsarten, senkrecht und wagrecht, anbetrifft, so sind die Unterschiede meistens sehr gering, nämlich unter einer halben Atm ; nur in zwei Fällen betrugen sie 1.0 bzw. 1.3 Atm. Sie bewegen sich also im Rahmen von Messungsfehlern, besonders wenn man berücksichtigt, daß in der wagrechten Lage auch noch das Gefäßbündel miterfaßt wird.

Besonders auffallend ist in Tab. 9 das Verhalten der Saugkraft in Rauch- und Reinluftstengeln. Während wir bisher in unsern Sz_g-Messungen, wie auch für die Saugkraft (Tab. 8) in den Rauchluftstengeln fast durchwegs höhere Werte fanden, sehen wir hier gleiche oder gar höhere Sz_n-Werte in den Stengeln, die in Reinluft gezogen wurden. Allerdings zeigen auch hier unter 20 Messungen 15 Rauchstengel höhere Werte, aber die Differenzen gehen im Maximum bis 2.6 Atm, während sie meistens unter 1 Atm bleiben, und eine Messung gleiche, 4 Messungen aber niederere Werte ergaben. Da es sich um Messungen im untersten, also im ältesten Internodium handelt, dürfen wir wohl daraus den Schluß ziehen, daß ältere Zellen auf die Einwirkung des Rauches nicht mehr so empfindlich sind wie die Zellen jüngerer Internodien (Tab. 8), ein Ergebnis, das wir auch später (Tab. 10) beim Vergleich verschieden alter Internodien an denselben Pflanzen, allerdings in abgeschwächter Form, wieder finden werden.

Ein Vergleich der Saugkraft mit der Stengeldicke der Rauchluftpflanzen läßt vorläufig keine besonderen Beziehungen erkennen. Bei einer maximalen Dicke von 5.0 mm maß ich Werte von 7.2 Atm, 6.2 Atm, 8.4 Atm ; bei einer Dicke von 4.5 mm 8.4 Atm, 7.3 Atm, 7.2 Atm, 8.1 Atm und bei 4.0 mm Dicke konnte ich Sz_n-Werte von 8.0 Atm, 6.2 Atm, 6.8 Atm messen.

3. Vergleichende Sz_n-Messungen am 1., 2. und 3. Internodium

Am 5. August legte ich wie üblich Erbsensamen, Sorte « Maikönigin », während mehrerer Stunden zum Aufweichen in Wasser und brachte sie dann zum Keimen in irdene Töpfe mit reichlich bewässertem Sägemehl. Am 8. August waren sie so weit gekeimt, daß ich sie auf das Netz versetzen und unter ein Stülpglas bringen konnte, dessen Raum mit Tabakrauch beschickt wurde. Eine zweite Kultur kam als Kontrolle unter ein Stülpglas mit reiner Luft. Sobald die Stengel der Keimlinge genügend lang waren, begann ich mit den Saugkraftmessungen im ersten, untersten Internodium. Mit fortschreitendem Längenwachstum untersuchte ich dann auch das zweite und dritte Internodium auf die Saugkraft. Als Osmotikum dienten Rohrzuckerlösungen in 0.02 Mol Abstufungen. Gemessen wurde wiederum mit dem Hebel in Quer- und Längsrichtung des Stengels.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Fragen wir uns zunächst, wie sich die Resultate der Saugkraftmessungen der beiden Positionen (wag- und senkrecht) zueinander verhalten. Zu diesem Zwecke vergleichen wir zunächst die Messungen an den Rauchluftpflanzen.

Beim ersten Internodium betrug die größte Differenz bei den Rauchluftpflänzlingen 0.4 Atm, beim zweiten 0.6 Atm und beim dritten Internodium ist dieselbe 1.1 Atm. Von dieser größten und einmaligen Abweichung abgesehen, ist der Sz_n-Unterschied unbedeutend oder gar Null. Wir finden also ein ähnliches Resultat wie in Tab. 9 : beide Meßrichtungen ergeben im ersten Internodium im ganzen gesehen ein ähnliches oder gar gleiches Resultat.

Vergleichen wir weiter die Sz_n-Werte der Reinluftpflanzen miteinander. Beim ersten Internodium ergaben die beiden Messungsverfahren gleiche oder beinahe gleiche Resultate. Die Differenzen betrugen 0.0 Atm, 0.1 Atm und 0.2 Atm ; eine Ausnahme stellte die Differenz von 1.2 Atm dar. Im zweiten Internodium und im dritten Internodium fielen die Resultate ebenfalls praktisch gleich aus.

Wie die Tabellen 9 und 10 zeigen, kann die Saugkraft mit dem Hebel sowohl in der Längs- wie in der Quer- (Radial-)richtung des Stengels untersucht werden. In der letzteren zeigt der Hebel die Durchschnittssaugkraft sämtlicher Stengelgewebe (Gefäßbündel eingeschlossen) an. Messen wir hingegen Längsstücke des Stengels, so wird

Tab. 10. Sz_n-Messungen am Stengel

Datum	Rauchluft		Reinluft		Erstes, unterstes Internodium Rauchluft		Reinluft	
	Länge cm	Dicke mm	Länge cm	Dicke mm	wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm
10.8.	1.0	3.5	1.3	2.0	9.4	9.1	7.9	7.9
11.8.	1.1	3.6	2.5	2.0	8.2	8.5	7.9	7.9
12.8.	1.2	4.0	4.0	2.5	7.6	7.6	6.4	7.6
13.8.	2.4	4.0	4.0	2.0	7.0	7.4	6.5	6.7
14.8.	3.5	4.0	7.0	2.0	7.0	7.0	6.7	6.7
16.8.	3.7	4.0	12.5	2.1	6.8	7.0	6.4	6.5
18.8.	4.2	4.0	16.0	2.0	6.6	—	6.5	—
20.8.	5.2	4.0	20.0	2.2	6.5	—	6.2	—
22.8.	6.3	4.0	27.5	2.0	6.5	—	6.4	—

offenbar in allererster Linie die Rinde erfaßt, weil diese wohl etwa $^3/_4$ des Stengelgewebes ausmacht. Man vergleicht also in beiden Richtungen verschiedene Gewebe, und daher sind in der Regel auch verschiedene Sz_n-Werte zu erwarten. Wie aber der Vergleich der in beiden Richtungen gemessenen Saugkräfte (Tab. 9 und 10) zeigt, sind die Differenzen fast durchwegs unbedeutend. Sie bewegen sich in der Größenordnung 0.0 bis 0.8 Atm. Wenn ausnahmsweise größere Unterschiede vorkommen, wie am 10. und 14. Juli (Tab. 9), so darf man nicht vergessen, daß die untersuchten Stücke wohl von denselben Internodien, aber von verschiedenen Pflanzen stammen.

Zusammenfassend darf gesagt werden, daß die Saugkraftmessungen, bei denen die Dimensionsänderung in der Längsachse des Stengels geprüft wurde, ziemlich übereinstimmende Resultate mit denjenigen aus den Saugkraftmessungen in radialer Richtung ergaben. Jedenfalls betragen die Sz_n-Differenzen Längs-Querrichtung nur einen Bruchteil der Saugkraftunterschiede Rauch-Reinluft, wie aus dem Vergleich der Sz_n-Werte der Rauchluft- mit den Reinluftpflanzen in Tabellen 9 und 10 hervorgeht. Aus diesem Grunde und weil an den oberen Internodien größerer Pflanzen aus Reinluft infolge Hohlraumbildung keine meßbaren Längsstücke zu erhalten sind, wurde in den weiteren Versuchen die Größe Sz_n zur Hauptsache in radialer Richtung gemessen.

Vergleichen wir jetzt Rauch- und Reinluftpflanzen miteinander. Da stellen wir fest, daß die Sz_n-Werte der Rauchluftpflanzen nur wenig höher liegen als diejenigen der Reinluftpflanzen. So maß ich am 10. August in einem Rauchluftkeimling eine Saugkraft von 9.4 Atm, dagegen im entsprechenden Reinluftkeimling eine solche von 7.9 Atm :

von Pisum sativum

Zweites Internodium				Drittes Internodium				Alter	Rauch-
Rauchluft		Reinluft		Rauchluft		Reinluft		des Keiml.	einfluß
wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm	Tg.	Tg.
—	—	—	—	—	—	—	—	5	2
8.5	8.8	7.0	7.0	—	—	—	—	6	3
8.2	8.8	6.8	7.0	—	—	—	—	7	4
7.3	7.9	6.7	6.7	8.4	7.3	6.7	6.8	8	5
7.0	7.0	6.7	6.7	7.3	7.3	7.3	6.9	9	6
6.9	6.9	6.3	6.5	6.9	7.1	6.8	6.8	11	8
6.5	—	6.2	—	6.7	—	6.5	—	13	10
6.7	—	6.3	—	6.5	—	6.2	—	15	12
6.4	—	6.2	—	6.5	—	6.4	—	17	14

Differenz 1.5 Atm. Am 12. August betrug die Differenz 1.2 Atm, die Saugkraft des Rauchluftkeimlings zeigte 7.6 Atm, diejenige des Reinluftkeimlings 6.4 Atm. Der nämliche Vergleich ergibt im zweiten Internodium eine größte Differenz von 1.5 Atm. Im dritten Internodium besteht in der ersten Messung ein größter Unterschied von 1.7 Atm zwischen der Saugkraft der Rauchluft- (8.4 Atm) und Reinluftpflanzen (6.7 Atm). Oft sind die Unterschiede aber so gering, daß es manchmal schwer fällt zu entscheiden, ob eine wirkliche Saugkraftdifferenz vorliegt, ob die Unterschiede innerhalb der Fehlergrenze liegen, oder ob die Differenzen durch individuelle Eigenheiten der gemessenen Stengelstücke bedingt sind. Im allgemeinen, und besonders im ersten und zweiten Internodium, finden wir, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in den Rauchluftpflanzen höhere Sz_n-Werte als in den Reinluftpflanzen.

Vergleichen wir nun noch die einander entsprechenden Werte der übereinander liegenden Internodien, also die Messungen vom 13. bis 16. August. Erwartungsgemäß sollte Sz_n von unten nach oben zunehmen. Dies kommt bei den meisten Einzelwerten kaum, deutlicher aber in den Durchschnittswerten zum Ausdruck, wie folgende Zusammenstellung zeigt.

Tab. 11. Sz_n-Durchschnitte für die drei untersten Internodien (vgl. Tab. 10)

	1. Internodium		2. Internodium		3. Internodium	
	wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm	wag. Atm	senk. Atm
Rauchluft	6.9	7.1	7.0	7.3	7.5	7.2
Reinluft	6.5	6.6	6.6	6.6	6.9	6.8

4. Vergleichende Sz_n-Messungen am 1., 2., 3. und 4. Internodium

Eine weitere Versuchsreihe konnte an Pflanzen mit 4 Internodien durchgeführt werden. Da in den vorausgegangenen Messungen Längs- und Querschnitte der Stengel annähernd dieselben Zahlen ergaben, sind in den folgenden Messungen nur noch die Ergebnisse der Stengelquerschnitte ausgeführt.

Am 31. Juli legte ich Erbsensamen zum Keimen in Sägemehl, am 4. August wurden die Keimlinge nach der gewohnten Versuchsanordnung der Einwirkung des Tabakrauches ausgesetzt, und am 5. August erfolgte die erste Messung. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tab. 12. Sz_n-Messungen (wagrecht) am 1. bis 4. Internodium

Datum		5.8.	6.8.	7.8.	8.8.	9.8.	11.8.	13.8.	14.8.	16.8.	19.8.	25.8.
Rauchluft:												
Länge, cm		0.5	0.9	1.3	2.1	2.0	3.5	3.7	4.2	5.2	7.0	11.2
Dicke, mm		2.2	3.2	3.1	3.3	4.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Sz_n Internod.	1	10.2	7.7	8.3	8.3	7.2	8.9	7.9	7.5	7.0	6.5	6.5
	2	—	—	8.4	8.2	7.8	8.5	8.6	7.7	6.9	6.5	6.6
	3	—	—	—	—	—	8.5	8.6	7.6	7.0	6.7	6.7
	4	—	—	—	—	—	—	—	7.5	6.8	6.5	6.8
Reinluft:												
Länge, cm		1.6	2.4	3.5	4.3	6.0	14.0	15.5	17.0	20.0	26.0	31.0
Dicke, mm		2.0	2.2	2.0	2.0	2.2	2.3	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2
Sz_n Internod.	1	8.2	7.1	8.4	8.3	7.0	7.1	7.0	6.7	6.5	6.3	6.3
	2	—	—	8.2	6.4	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.4	6.2
	3	—	—	—	7.0	6.6	7.6	7.1	6.5	6.5	6.3	6.3
	4	—	—	—	—	6.8	7.0	6.8	6.7	6.7	6.5	6.4

Zunächst seien die Werte der Rauch- und Reinluftpflanzen in den einzelnen Internodien miteinander verglichen. Die erste Messung am ersten Internodium einer Rauchluftpflanze ergab eine Saugkraft von 10.2 Atm, die der entsprechenden Stengelpartie der Reinluftpflanze eine solche von 8.2 Atm; in der Rauchluftpflanze war die Saugkraft somit 2.0 Atm höher als in der entsprechenden Reinluftpflanze. Eine etwas geringere Differenz konnte am sechsten Tag festgestellt werden; sie betrug 1.8 Atm, da in der Rauchluftpflanze eine Saugkraft von 8.9 Atm, in der Reinluftpflanze eine solche von 7.1 Atm gemessen wurde. Alle anderen Unterschiede blieben merklich unterhalb 1.8 Atm.

Hinzuweisen ist auf das Ergebnis der Saugkraftmessungen vom dritten Messungstag, an welchem im ersten Internodium einer Rauchluftpflanze ein Sz_n-Wert von 8.3 Atm und in der entsprechenden Reinluftpflanze ein solcher von 8.4 Atm gemessen wurde, und ebenso ist hinzuweisen auf den folgenden Tag, wo gleiche Sz_n gefunden wurde. Die übrigen Messungen wie auch der Durchschnitt ergaben wie bisher höhere Werte in den Rauchluftpflänzlingen.

Die vergleichenden Saugkraftmessungen im 2. Internodium der Rauchluft- und Reinluftpflanzen ergaben als höchste Differenzen 1.9 und 1.8 Atm. Mit zunehmendem Alter scheint ein Ausgleich stattzufinden, indem in den letzten Tagen nur noch kleine Unterschiede gemessen wurden, aber immer zeigen, wie bereits im ersten Internodium, Rauchluftpflanzen höhere Werte als Reinluftpflanzen.

Dasselbe fanden wir im 3. und 4. Internodium, nur mit dem Unterschied, daß die Differenzen sich in engen Grenzen halten (Null bis höchstens 1.5 Atm), was mit den in denselben Tagen gefundenen Werten im 1. und 2. Internodium übereinstimmt.

Die Tabelle 12 bestätigt die Befunde der früheren Untersuchungsreihen. Die Saugkraft in den Rauchluftpflanzen ist fast immer höher als diejenige in den Reinluftpflanzen. Die Unterschiede bewegen sich von 0.0 Atm bis 2.0 Atm. Ein Vergleich der Ergebnisse aufeinander folgender Internodien zeigt auch hier wieder leicht höhere Werte in den weiter oben liegenden Zellverbänden des Stengels.

Versuchen wir nun noch, die in den Rauchluft- und Reinluftpflanzen gefundenen Sz_n-Werte mit dem zunehmenden Alter der Internodien in Beziehung zu bringen. Die erforderlichen Zahlen sind ebenfalls aus Tab. 12 zu entnehmen.

Betrachten wir zunächst das Verhalten der Saugkraft im 1. Internodium der Rauchpflanzen. Wir stellen fest, daß sie die Tendenz hat, mit zunehmender Entfernung vom Vegetationspunkt abzunehmen. Bei 0.5 cm Stengellänge konnte ein Sz_n-Wert von 10.2 Atm, bei 1.3 cm 8.3 Atm, bei 2 cm 7.2 Atm, 5.2 cm 7.0 Atm und bei 11.2 cm noch 6.5 Atm gemessen werden ; bei 3.5 cm Stengellänge schob sich ein Saugkraftanstieg auf 8.9 Atm ein. Ähnlich verhielt sich die Saugkraft auch in den übrigen gemessenen Internodien der Rauchluftpflanzen.

Die erste Saugkraftmessung für jedes der vier untersuchten Internodien wurde in der Zone der Dickenzunahme des Stengels ausgeführt.

Hier ergaben sich dann auch öfters die höchsten Saugkraftwerte in den betreffenden Internodien wie 10.2 Atm im ersten, 8.4 Atm im zweiten, 8.5 Atm im dritten und 7.5 Atm im vierten Internodium. Bei fortschreitendem Längenwachstum des Stengels, also mit zunehmender Entfernung der betreffenden Internodien von der Stengelspitze, bei einem Dickenwachstum, das zum Stillstand gekommen zu sein schien, lagen die gemessenen Saugkraftwerte in der Mehrzahl der Fälle unter den Höchstwerten. Wenn wir die in den vier untersten Internodien der Rauchluftpflanzen gefundenen Sz_n-Werte unter einander vergleichen, so stellen wir, wie Tabelle 12 angibt, die verschiedensten Variationen fest. Am 7. August war Sz_n im ersten Internodium 8.3 Atm, im zweiten 8.4 Atm ; am 8. August ergab die Sz_n-Messung im 1. Internodium 8.3 Atm, im 2. 8.2 Atm ; am 9. August fand ich im 1. Internodium eine Saugkraft von 7.2 Atm, im 2. eine solche von 7.8 Atm. Die gefundenen Sz_n-Werte im 2. Internodium waren somit bald über, bald unter der Saugkraft des 1. Internodiums.

Am 13. August betrug die Saugkraft im 1. Internodium 7.9 Atm, im 2. 8.6 Atm, im 3. 8.6 Atm ; also war ein Anstieg vom 1. zum 2. Internodium zu verzeichnen. Zwei Tage zuvor, am 11. August, ergab die Untersuchung im 1. Internodium eine Saugkraft von 8.9 Atm, im 2. 8.5 Atm und im 3. 8.5 Atm ; also fiel die Saugkraft vom 1. zum 2. Internodium. Erwähnenswert wären auch die Messungsresultate vom 14. August. Ich fand im 1. Internodium eine Saugkraft von 7.5 Atm, im 2. eine solche von 7.7 Atm, im 3. und 4. Internodium Sz_n-Werte von 7.6 Atm bzw. 7.5 Atm ; es trat somit ein Ausgleich der Werte ein, der sich in den folgenden Tagen fortsetzte.

Was bereits für die Rauchluftpflanzen festgestellt werden konnte, trifft auch für die Reinluftpflanzen zu. Mit der Zunahme der Stengellänge tritt allgemein eine Abnahme der Saugkraft ein, was sich besonders deutlich im 1. und 2. Internodium zeigt, während im obersten Internodium die Abnahme nur wenig ausgeprägt ist. Es ist nicht überflüssig noch beizufügen, daß an der Stengelspitze, also unmittelbar unter der Teilungszone, die höchsten Saugkräfte gefunden wurden ; sie sind in unserer Tabelle nicht notiert.

Zusammenfassend zeigen unsere Messungen in verschieden alten Internodien, daß, trotz einiger Abweichungen, Sz_n mit zunehmendem Alter abnimmt.

c) Bestimmung des Si_n-Wertes

Bis jetzt haben wir die Saugkraft des Zellinhaltes Sz_g in Epidermis- und Rindenzellen, sowie die Durchschnittssaugkraft der Zelle — als Sz_n bezeichnet — in den Internodien des Erbsenstengels untersucht. Von Interesse wäre jetzt auch noch die Kenntnis der Saugkraft des Zellinhaltes im normalen Zustand der Zelle, gewöhnlich als Si_n bezeichnet.

Wir gehen aus von der bekannten Saugkraftgleichung

$$Sz = Si - W,$$

die besteht, falls äußere Zug- und Druckkräfte fehlen. Daraus ergibt sich für einen Zellverband im normalen Zustand, immer unter Voraussetzung, daß keine Außenkräfte in Erscheinung treten, die Gleichung

$$Sz_n = Si_n - W_n$$

Zur physiologischen Bedeutung von Si_n als osmotische Zustandsgröße äußert sich URSPRUNG (1938) wie folgt: « Die Saugkraft des Zellinhaltes im normalen Zustand (Si_n) ist einmal deshalb von Interesse, weil sie eine Komponente der Saugkraft der Zelle darstellt, ferner deshalb, weil sich bei Gleichgewicht die Saugkraft des Zellsaftes decken muß mit der Saugkraft des Protoplasmas, und weil daher in diesem Falle die Saugkraft des Zellsaftes ein Maß ist für die Saugkraft des Protoplasmas, der Lebenssubstanz. » Da die Saugkraft des Protoplasmas für die Lebensfunktionen verschiedener Pflanzen bestimmend ist, schien es mir wünschenswert, das Verhalten von Si_n an den in Tabakrauch aufgewachsenen Erbsenpflanzen zu untersuchen und mit Si_n in Reinlufterbsen zu vergleichen. Ferner erlauben die beiden Größen Sz_n und Si_n den Wanddruck, der beim Fehlen von Außenkräften gleich dem Turgordruck ist, experimentell festzustellen.

Zur Bestimmung der Saugkraft des Zellinhaltes wurden im Verlaufe der Zeit verschiedene Methoden ausgedacht und ausgebaut. Von diesen schien mir für meine Zwecke die Kapillarenmethode von URSPRUNG und BLUM (1930) die geeignetste zu sein. Mit dieser kann man einen Mittelwert von Si_n aller Zellen eines Gewebes oder eines Organs bestimmen, sofern dieser Wert nicht durch Gefäßwasser verfälscht wird und sofern es gelingt, durch Auspressen einen Saft zu erhalten, der mit jenem des Zellsaftraumes identisch ist.

1. Gewinnung des Preßsaftes

Wie zu den bisherigen Untersuchungen wurden Erbsensamen, Sorte « Maikönigin », zum Keimen gebracht und davon nach der üblichen Versuchsanordnung unter ein Stülpglas mit Tabakrauch verbracht. Zum Vergleich kamen die übrigen Erbsenkeimlinge unter ein ebensolches Glas mit gewöhnlicher Luft. Nachdem die Keimlinge 2 bis 3 Tage unter der Einwirkung des Tabakrauches gestanden waren, wurde die zu einer Untersuchung erforderliche Anzahl von Exemplaren vom Tüllnetz gehoben, die Wurzeln entfernt und sofort in eine mit Watte ausgekleidete Schachtel zwischen Staniolpapier gelegt, um einen eventuellen Transpirationsverlust auf ein Mindestmaß herabzusetzen.

Wenn der semipermeable Plasmaschlauch der Zelle intakt ist, so kann man aus dieser nur Wasser pressen. Man würde bei Messung dieses Preßsaftes von dem tatsächlichen osmotischen Wert des Zellsaftes ein ganz falsches Bild erhalten. Es handelt sich also darum, in den Zellen das Protoplasma zu töten, damit sämtlicher Zellsaft mit den darin gelösten Stoffen möglichst unverändert austreten kann. So ist es beispielsweise möglich, durch eine weitgehende Zerkleinerung der Gewebe die Großzahl der Zellen zu öffnen, wie die Versuche von Gassner und Goeze (1932) mit der Weizensorte « Kraffts Dickkopf » bewiesen (Ursprung 1938). Sie fanden, daß die Konzentration des Preßsaftes mit dem Verkleinerungsgrad zunimmt. Das Zerkleinern und Zerreiben nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch. Es besteht die Gefahr, daß eine Konzentrationserhöhung durch Verdunstung während des Präparierens eintreten kann. Mit dieser Möglichkeit muß bei derartiger Arbeitsweise gerechnet werden.

Schon de Vries (1884) hatte gefunden, daß ein Gewebe viel ausgiebiger Saft liefert, wenn es vor dem Pressen durch Erhitzen auf ca. 100° C abgetötet wird. Die Ausbeute fiel oft eineinhalb- bis zweimal größer aus als beim bloßen Pressen des lebenden Gewebes. Auch nahm er an, daß durch Erhitzen auf ca. 100° C sämtliche Zellen abgetötet werden. Auf diese Weise lassen sich nun die Säfte sämtlicher Zellen gewinnen, während beim Pressen lebender Gewebe eine große Zahl Zellen geschlossen bleibt. « Weicht deren Inhalt von dem der übrigen Zellen ab, so entspricht der gewonnene Saft nur nach vorherigem Töten dem wirklichen Mittelwert. Zumal bei vergleichenden

Versuchen ist dieses zu berücksichtigen. Doch lehrten mich einige Vorversuche, daß weder der Salpeterwert, noch auch die quantitativ-chemische Zusammensetzung von Säften, welche nach beiden Methoden aus dem Pflanzenteil gewonnen waren, wesentliche Verschiedenheiten zeigten » (DE VRIES 1884). Neuere Versuche von THREN (1934) zeigten, daß das Resultat ganz vom Versuchsmaterial und, wie GASSNER und GOEZE (1932) nachwiesen, vom Grade der Verkleinerung abhängt. Sie erhielten durch Erhitzen der Weizenblätter deutlich höhere Refraktometerwerte, als wenn die 5 cm langen, in 40 Teile zerschnittenen Blattstücke nicht durch Kochen abgetötet wurden. Die Mehrzahl der bisherigen Versuche zeigte, daß die Pressung der lebenden Gewebe meist tiefere, jedenfalls nie höhere Saugkräfte ergab.

Durch die Abtötung sollte der osmotische Wert des Zellsaftes nicht oder möglichst wenig verändert werden. Ob sich eine Abtötungsart finden läßt, die diese Forderung restlos erfüllt, dürfte bezweifelt werden. So erfolgen mit zunehmender Erwärmung der Zellen, die noch lebend sind, Osmoregulationen, die weitgehend von der Dauer der Wärmeeinwirkung abhängig sind. Vielfach konnte anfänglich ein Fallen des Grenzplasmolysewertes beobachtet werden, dem oft ein prämortales Steigen folgte. Bei weiterer Temperaturzunahme stirbt das Plasma ab, wodurch die Semipermeabilität verschwindet. Verschiedene, vorher getrennte Substanzen können sich nun unbehindert vermischen und zu wenig bekannten chemischen Umsetzungen führen. Diese können von Zelle zu Zelle verschieden sein und sich durch Verfärbung äußern oder eine anderweitige Veränderung des Gewebes veranlassen. Ebenso wäre es möglich, daß auch die Enzyme, die vielfach bei ca. 50° ihr Optimum besitzen, in die chemischen Prozesse eingreifen. Nach EULER (1920) werden bei 70° die meisten Enzyme sehr schnell zerstört, nachdem sie vorerst eine intensive Wirksamkeit entwickelten. Andere sind imstande, für kurze Dauer selbst Siedetemparaturen zu überstehen.

Unsere Kenntnisse über den Grad der O_n-Änderung durch die Hitze und über die dafür verantwortlichen chemischen Umsetzungen sind noch sehr gering ; « denn um die Änderung feststellen zu können, sollte zuerst der osmotische Wert und die chemische Zusammensetzung des unveränderten Zellsaftes mit Sicherheit bekannt sein. Immerhin liegen einige Vergleiche vor, aus denen gewisse Schlüsse gezogen werden können. Es handelt sich um den Vergleich der Saug-

kraft des Preßsaftes bei verschieden langem Erhitzen, bei Abtötung durch Hitze und Kälte, sowie um den Vergleich des Preßsaftes mit der lebenden Zelle bei Grenzplasmolyse und — das Wichtigste — mit der lebenden Zelle im normalen Zustand. Die beobachteten Veränderungen bestehen bald in einer Erhöhung, bald in einer Senkung des osmotischen Wertes, was an einigen Beispielen zu zeigen ist » (URSPRUNG 1938). Die meisten Autoren fanden ein Überwiegen des Hitzewertes über den Kältewert, d. h. der osmotische Wert des Preßsaftes, der nach Abtötung mittels Hitze gewonnen wurde, lag höher als derjenige des Preßsaftes, den man nach Abtötung durch Kälte erhielt. « Zusammenfassend ist zu sagen, daß sich keine allgemeine Regel aufstellen läßt und daß von Fall zu Fall zu untersuchen ist, ob, in welchem Sinne und wie stark das Abtöten durch Hitze den Zellsaft verändert. Soweit bekannt, scheinen die Änderungen gewöhnlich nicht groß zu sein. »

Diese Angaben bewogen mich, den Preßsaft nach Abtötung durch Hitze zu gewinnen. Ich nahm 4 bis 5 Erbsenkeimlinge, legte sie parallel nebeneinander und zerschnitt sie in Stücke von ½ cm Länge. Da bei den ersten Messungen einer Versuchsreihe die Keimlinge noch klein waren, lieferten sie verhältnismäßig wenig Preßmaterial, weshalb ich die erwähnte Operation mehrmals wiederholen mußte, bis ein gewöhnliches Reagenzglas zu drei Viertel Höhe gefüllt werden konnte. Auf diese Weise füllte ich zwei Reagenzgläser, das eine mit Pflanzenmaterial aus der Rauchluft und das andere mit solchem aus gewöhnlicher Luft. Beide wurden dann mit einem Kork gut verschlossen. Die beiden Reagenzgläser kamen nun in eine gewöhnliche, zylindrische Blechbüchse mit Wasser, und zwar so tief, daß das Material unter Wasser stand. Nun wurde mit dem Erhitzen begonnen und das Wasser zum Sieden gebracht. Es trat bald eine Verfärbung ein. Das Grün wechselte in ein blasses Gelb über. Die Reagenzgläser mit den Proben blieben jedesmal 10 bis 15 Minuten im siedenden Wasser. Versuche ergaben, daß ein Verbleiben von 15 Minuten im siedenden Wasser das nämliche Resultat ergab, wie eine Eintauchzeit bis zu einer Stunde. Daher wurde bei meinem Objekt nie länger als 15 Minuten erhitzt. Dann kühlte ich die Reagenzgläser mit dem Versuchsmaterial auf Zimmertemperatur ab. Zur rascheren Abkühlung tauchte ich die selbstverständlich stets gut verschlossenen Reagenzgläser in Wasser von Zimmertemperatur. Sobald diese Temperatur

erreicht war, wurde das Preßmaterial in ein feingewobenes, aber starkes Tüchlein gewickelt und in den Preßapparat gelegt, der aus einem hohlzylindrischen, dickwandigen Gefäß von Stahl bestand und eine Öffnung von ca. 1 cm Durchmesser hatte. In den Hohlraum wurde, ebenfalls aus Stahl geschliffen, ein Stöpsel, der seitlich mit einer kleinen Rinne versehen war, eingeführt. Der Behälter hatte oben eine Abflußrinne, in welche die Rinne des Stöpsels einmündete. Zum Ausdrücken stand eine kräftige Schraubenpresse zur Verfügung. Der Saft quoll durch die Rinne nach außen und durch den Schnabel in ein bereitgestelltes Gefäß. Der Saft war klar und von fahlgelber Farbe. Der Rückstand fühlte sich trocken an.

2. Si_n-Messungen

Zur Aufnahme des zu untersuchenden Preßsaftes benutzte ich vierseitige Glasklötze mit Aushöhlung und aufgeschliffener, planparalleler Glasplatte aus farblosem Glas. Auf die Innenseite der Glasplatte wurden die Kapillaren mit Hilfe eines Plastilinstreifens befestigt. Die Kapillaren waren nach Angaben von Ursprung und Blum (1930) aus leicht schmelzbaren « Jenaer Geräteglas 20 » oder « Fischer Prima » hergestellt worden, Glassorten, die von beiden Autoren besonders empfohlen werden. Die vorausgehende gründliche Reinigung der verwendeten Glasröhren erfolgte nach ihren Anweisungen mit einer Lösung von Kaliumbichromat, darauf mit Äther, Alkohol und heißem Wasser.

Die Kapillaren erhielten eine Länge von 8 bis 10 mm, ein für meine Zwecke recht günstiges Maß. Bei der Längenmessung leistete der Plastilinstreifen als gut sichtbare Marke vortreffliche Dienste. Die Ablesung erfolgte unter drei Malen, zuerst vom Meniskus zum benachbarten Rand des Plastilinstreifens, dann über die Breite des Plastilinstreifens und hierauf wieder vom Plastilinrand zum anderen Meniskus. Die Prüfung ergab, daß mögliche Ablesungsfehler sich gegenseitig annullierten. Dieses Vorgehen erlaubte mit einer stärkeren Vergrößerung abzulesen und schon geringe Verschiebungen der Menisken festzustellen.

Das Einfüllen der Kapillaren ging folgendermaßen vor sich. Ich hielt mit der Pinzette die Kapillare senkrecht über die Zuckerlösung und berührte diese leicht mit dem Kapillarenende, worauf die Flüssigkeit in der Kapillare aufstieg. Mit feinem Filtrierpapier tupfte ich die

beiden Enden ab, regulierte die Distanz der Menisken vom Glasende, um den nötigen Spielraum für eine eventuelle Zunahme der Rohrzuckersäule zu schaffen. Die mit Osmotikum beschickten Kapillaren wurden nun in der Reihe aufsteigender Konzentration quer in den am Deckel angebrachten Plastilinstreifen eingedrückt. Zwischen dem Kapillarsystem und dem Deckel war jeweils ein kleiner Abstand mit einer isolierenden Luftschicht. Außerdem wurde dafür gesorgt, daß der tote Raum zwischen dem zu messenden Substrat und den Kapillaren möglichst klein blieb, damit der Austausch zwischen Lösung und Kapillareninhalt möglichst rasch vor sich gehe. Als Osmotikum verwandte ich ausschließlich Rohrzuckerlösungen in Abstufungen von 0.05 Mol, die für meine Zwecke völlig ausreichend waren.

Alle Dampfdruckmethoden ergeben nur bei möglichst konstanter Temperatur verwendbare Resultate; vor allem dürfen keine Temparaturdifferenzen zwischen dem zu untersuchenden Preßsaft und den Kapillaren bestehen. Wie sich solche Differenzen auswirken können, erläutern URSPRUNG und BLUM (1930) und URSPRUNG (1938). Ein anfängliches Gleichgewicht wird durch Temparaturdifferenzen gestört.

Zu meinen Untersuchungen stand mir ein gut abgedichteter und isolierter Raum zur Verfügung, der beinahe absolute Temperaturkonstanz gewährleistete. Eine elektro-mechanische, durch ein Thermometer regulierte, automatisch funktionierende Heizeinrichtung erlaubte es, die geringsten Schwankungen auszugleichen. Da der Raum sich im Kellergeschoß befindet und eher kühle Temperatur aufwies, war mit der vorhandenen Heizvorrichtung leicht eine Korrektur nach oben anzubringen. Zu meinen Versuchen hielt ich das Zimmer bei 20.0° C.

Um die Saugkraft (Si_n) des gewonnenen Preßsaftes zu messen, wurden 8-12 Kapillaren mit je einer Konzentrationsstufe eingesetzt, die Exsikkatoren mit der Glasplatte, an der die Kapillaren mit Plastilin befestigt waren, zugedeckt und außerdem mit Vaselin abgedichtet. Nach dem Einstellen des Versuches wurde die Länge der Kapillarensäulchen festgestellt. Daraufhin wurde die Schale bis zur zweiten Ablesung in eine kleine mit Watte gut ausgepolsterte Kartonschachtel mit Deckel verbracht. Statt dieser Kartonschachteln verwendete ich später auch eine gegen äußere Temperatureinflüsse gut abgeschirmte Holzkiste. Diese scheinbar überflüssigen Vorsichtsmaß-

nahmen — befinden wir uns doch in einem Raum mit Temperaturkonstanz — wurden getroffen, um jegliche Temperaturschwankungen auszuschalten.

Über die Ausdehnung der Versuchsdauer lehrten mich einige Vorversuche, daß ein Minimum von Zeit erforderlich ist, um verwendbare Resultate zu erhalten. Nachfolgende Angaben mögen dies erläutern. In einem der zahlreichen Versuche stellte ich um 14.45 Uhr die Längen der Rohrzuckersäulchen fest und schritt dann um 17.15 Uhr zur zweiten Ablesung und nach 22 Std. 45 Min. zur dritten. Die Resultate dieser Ablesungen sind in folgender Zusammenstellung festgehalten.

Mol Rohrzucker	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Differenz in Teilstrichen									
nach 2 $^1/_2$ Std.	0	0	+ 2	+ 2	— 1	— 1	— 4	— 2	— 1
nach 22 $^3/_4$ Std.	+ 12	+ 11	+ 7	+ 2	— 4	— 6	— 18	— 15	— 20

Daraus geht hervor, daß nach 2 ½ Stunden der Austausch nicht bis zum Gleichgewicht fortgeschritten war, hingegen nach 22 Std. 45 Min. die Grenze zwischen Zunahme und Abnahme der Rohrzuckersäulchen klar in Erscheinung trat. Mit Deutlichkeit zeigt sich, daß Si_n zwischen 0.35 und 0.30 Mol Rohrzucher liegen muß. Den Wert der Saugkraft berechnete ich durch Interpolation. Die Ausdehnung der Versuchsdauer über das erforderliche Minimum hinaus bei Temperaturkonstanz ergab natürlich größere Ausschläge und erlaubte ein mehrfaches Ablesen, was die Zuverlässigkeit der Resultate erhöhte. So wartete ich in der Regel zwischen der ersten und zweiten Ablesung 48 Stunden.

Um Fehler aufzudecken und die notwendigen Korrekturen anbringen zu können, bediente ich mich der Vergleichskapillare. Diese enthielt anstatt einer Rohrzuckerlösung Preßsaft. Ihre Bedeutung soll an einem Beispiel erläutert werden (vgl. S. 162 oben).

Daraus geht hervor, daß sich die Preßsaftsäule in der Vergleichskapillare nach 48 Stunden um 8 Teilstriche verkürzt hat. Ohne Vergleichskapillare ergäbe die Messung einen Si_n-Wert, der zwischen 0.45 und 0.40 Mol Rohrzucker liegt. Nach angebrachter Korrektur ergibt sich ein Si_n-Wert zwischen 0.40 und 0.35 Mol. Die weitern Messungen am 16. und 18. Mai erhärteten nur das nach 48 Stunden gefundene Resultat.

Inhalt der Kapillaren Mol Rohrzucker	Abstand der Menisken 12.5.	14.5.	Diff.	16.5.	Diff.	18.5.	Diff.
0.50	278	287	+ 17	321	+ 53	350	+ 70
0.45	285	292	+ 15	306	+ 31	316	+ 29
0.40	225	221	+ 4	224	+ 9	229	+ 2
0.35	270	261	— 1	259	— 1	260	— 12
0.30	187	177	— 2	169	— 8	168	— 21
0.25	236	223	— 5	213	— 13	203	— 35
0.20	280	247	— 25	226	— 44	219	— 63
0.15	250	216	— 26	177	— 63	188	— 64
Vergleichskapillare mit Preßsaft	306	298	— 8	296	— 10	308	+ 2

Nach diesen Erläuterungen seien nun aus der Folge der Versuchsreihen die Ergebnisse von zweien zusammengestellt. Die Versuchsanordnung erfolgte wie bei früheren Untersuchungen. Wie bisher wurde das Alter des Keimlings von dem Tage an gerechnet, an dem die Samen zum Keimen in das Sägemehl gelegt wurden. Das Messen der Länge und Dicke des Stengels erfolgte nach der bisherigen Art und Weise (S. 130 und 136). Die Beobachtung der Wurzel zeigte, daß das Längenwachstum derselben in Rauchluft nicht in dem Maße gehemmt ist wie dasjenige des Stengels, ihr Dickenwachstum durch Rauchluft aber auch nicht dermaßen gefördert wird wie dasjenige des Stengels. Hingegen erfolgt in der Rauchluft zahlenmäßig eine viel üppigere Entwicklung der Seitenwurzeln. Ähnliche Beobachtungen konnten auch schon in früheren Versuchsreihen gemacht werden.

Tab. 13. Si_n-Messungen in Erbsenstengeln von Rauchluft- und Reinluftpflanzen

Datum	12.7.	13.7.	15.7.	16.7.	17.7.	19.7.	21.7.	22.7.	23.7.	24.7.	25.7.	26.7.
Alter d. Keiml.	8	9	11	12	13	15	17	18	19	20	21	22
Rauchluft:												
R'einfluß, Tg.	3	4	6	7	8	10	12	13	14	15	16	17
Länge, cm	0.7	1.2	2.2	3.2	4.0	4.9	5.7	6.7	7.0	7.5	8.1	8.5
Dicke, mm	3.5	4.0	3.9	4.1	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5
Si_n, Atm	11.0	10.0	11.5	9.7	10.2	9.1	8.2	6.3	7.6	7.3	7.0	5.4
Reinluft:												
Länge, cm	1.7	2.4	6.7	8.7	12.7	15.4	18.1	21.2	21.0	21.9	23.2	25.0
Dicke, mm	3.0	3.0	3.0	3.2	3.1	3.0	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Si_n, Atm	9.3	9.3	9.7	8.5	8.5	8.0	7.1	5.7	5.9	4.9	6.0	7.0
Unterschied der Si_n Atm	1.7	0.7	1.8	1.2	1.7	1.1	1.1	0.6	1.7	2.4	1.0	— 1.6

Wir stellen an Hand unserer in Tabelle 13 zusammengestellten Resultate fest, daß die gemessene Saugkraft des Zellinhaltes aus den Stengeln der Rauchlufterbsen mit einer Ausnahme höher ist als die Si_n-Werte der Reinluftpflanzen. Die Differenzen gehen von 0.6 bis 2.4 Atm. Der durchschnittliche Unterschied beträgt 1.36 Atm.

Eine weitere gleichangelegte Versuchsreihe wurde graphisch dargestellt (Fig. 1). Daraus geht ebenfalls hervor, daß Si_n in den Rauchluftpflanzen höher ist als in Reinluft. Die Unterschiede bewegen sich zwischen 0.2 und 2.6 Atm. Die mittlere Differenz beträgt 1.05 Atm.

Weitere Versuchsreihen, deren Resultate hier nicht angeführt werden, vermittelten die nämliche Erkenntnis, daß die Saugkraft des Zellinhaltes aus Rauchluftpflanzen höher liegt als diejenige in den Reinluftpflanzen. Ab und zu wurden aber auch Abweichungen festgestellt, indem die Si_n-Messungen in den Rauchluftpflanzen tiefere Werte ergaben als die in den Reinluftpflanzen. Jedoch konnte man in den Versuchsreihen mit solchen Abweichungen feststellen, daß es sich um Ausnahmen handelt.

In den Versuchsreihen, deren Ergebnisse in der Tabelle 13 und in den Kurven der Fig. 1 zusammengestellt sind, konnte mehrfach beobachtet werden, wie vereinzelte Rauchluftpflanzen, hauptsächlich am

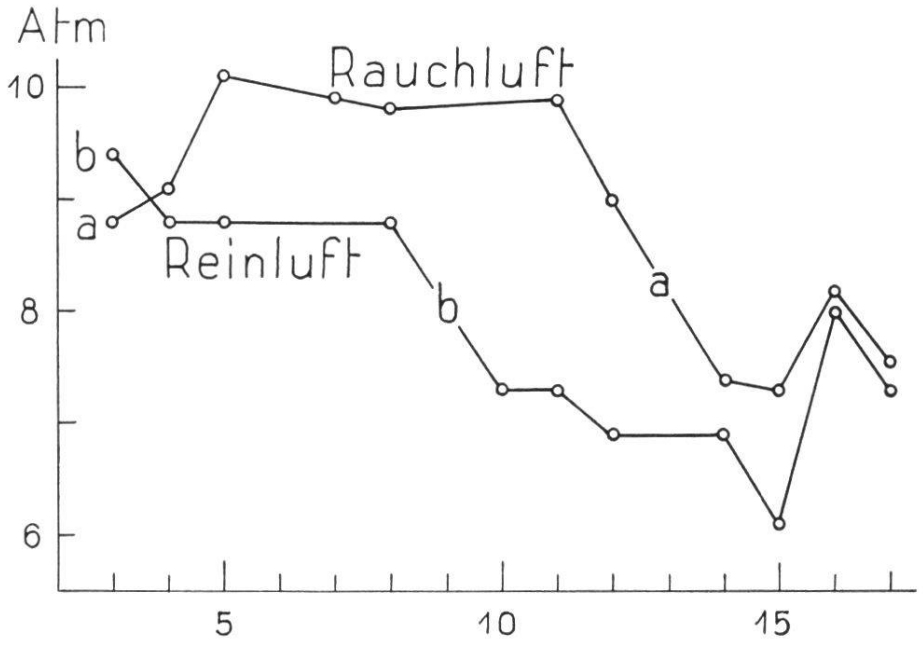

Fig. 1. Vergleich der Si_n-Werte in Erbsenstengeln von Rauchluft- und Reinluftpflanzen. Die Abszissen bezeichnen die Anzahl der Tage, während welcher ein Teil der Pflanzen der Rauchluft ausgesetzt war, und damit indirekt die Versuchsdaten : 22. Juli bis 5. August.

Stengel, einen Längsriß aufwiesen. In einem Fall maß der Riß ca. 7 mm und befand sich ungefähr 1 ½ cm unterhalb des Vegetationspunktes, etwas schief zur Längsachse des Stengels.

Andere wiesen etwa 1 cm unterhalb der Stengelspitze einen Riß von ca. ½ cm Länge auf. Der Riß konnte eine Weite bis zu 1 mm besitzen. Auch einige Wurzeln zeigten Längsrisse.

Da O. RICHTER (1908) und andere Autoren die Ursache solcher Rißbildungen in Narkotika und verunreinigter Luft, wie Laboratoriumsluft, einem gesteigerten Turgordruck zuschrieben, dem die Gewebe nicht mehr Stand hielten, glaubte ich, in den Erbsenpflanzen mit Stengelrissen einen besonders hohen Si_n-Wert zu finden. Selbstverständlich war ich mir bewußt, daß in der Zone der Risse eine Entspannung stattgefunden hat, vermutete aber in der nächsten Umgebung der Rißstellen Zellverbände mit hoher Saugkraft des Zellinhaltes.

So gewann ich denn am 21. Juli (vgl. Tab. 13) den zu messenden Preßsaft zu einem großen Teil aus Rauchluftpflanzen mit solchen Längsrissen und einer maximalen Dicke von 4 und 4.5 mm und fand eine Saugkraft von 8.2 Atm, also keinen besonders hohen Wert im Vergleich zu den andern gemessenen Si_n-Werten. Hierbei darf aber nicht vergessen werden, daß die Si_n-Werte Mittelwerte darstellen, daß also nicht ohne weiteres auf den Si_n-Wert an einer besonderen Stelle des Stengels geschlossen werden darf. Ferner ist Si_n nur eine der Komponenten, die bei der Regulierung des Turgors mithelfen. Um den Turgor berechnen zu können, müßte auch die Saugkraft der Zelle im normalen Zustand der Zelle bekannt sein.

Zusammengefaßt kann gesagt werden, daß die Saugkraft des Zellinhaltes in den Erbsenpflänzlingen, die unter dem Einfluß des Tabakrauches standen, in der Regel höher ist als diejenige in den Erbsenpflänzchen, die in gewöhnlicher Luft heranwuchsen.

d) Bestimmung des Turgordruckes

Anhangsweise soll auch noch über den Versuch einer Turgormessung berichtet werden. Aus der Formel $Sz = Si - W$ kann der Turgordruck einer einzelnen Zelle gemessen werden. $W = T$ unter der Voraussetzung, daß Zug und Druck von außen fehlen. Die Formel gilt also nicht für Zellverbände, wie sie für meine Messungen vorliegen.

Trotzdem soll hier versucht werden, aus den Komponenten einen mittleren Turgordruck zu berechnen, obwohl es sich nicht um gleichartige Zellen handelt. In einem solchen Fall ist der Turgordruck nur dann mit einiger Genauigkeit zu ermitteln, wenn in allen Zellen die beiden erwähnten Größen (Sz_n und Si_n) gleich sind, was offenbar in unserem Fall nicht zutrifft. Der Turgordruck, dessen Größe wir für unsere Zellen in unseren Organstücken ermitteln, kann deshalb nichts anderes sein als eine Orientierung über dessen mögliche Größe. Um trotzdem zu einem einigermaßen befriedigenden Resultat zu gelangen, führten wir an Exemplaren von *Pisum sativum*, die in Rein- bzw. Rauchluft gezogen waren, besondere Messungen durch. Auf diese Weise erhielten wir Zahlen, die wenigstens näherungsweise eine ungefähre Vorstellung geben von der Größenordnung des Turgordruckes. Die Versuche wurden im bisherigen Rahmen durchgeführt und die Ergebnisse in Tabelle 14 zusammengestellt.

Aus dieser ist vorerst zu entnehmen, daß der Turgordruck relativ klein ist — im Durchschnitt ein Sechstel von Si_n —, trotzdem es sich um Wasserkulturen handelte, deren Blätter sich allerdings ganz in Luft befanden. Die Zellen waren somit noch sehr weit vom Wassersättigungsgrad entfernt, obgleich die Wurzeln in Leitungswasser tauchten. Als ein weiteres Ergebnis der Messungen wollen wir festhalten, daß der Turgordruck in den Rauchluftpflänzlingen im Mittel größer war als in den Reinluftpflanzen. Der mittlere Turgordruck zeigt tatsächlich nach Tab. 14 in den Rindenzellen der Rauchluftpflanze deutlich höhere Werte als in Reinluftpflanzen. Ich vermute aber, daß das nur die indirekte Folge der Erhöhung von Si_n sei, da Si_n stärker wächst als Sz_n ; somit muß nach der Gleichung

$$T = Si_n - Sz_n$$

T größer werden.

Tab. 14. Der mittlere Turgordruck in Erbsenstengeln aus Rauch- und Reinluft

	Rauchluft			Reinluft		
	Sz_n	Si_n	T_n	Sz_n	Si_n	T_n
Schwankungen, Atm	6.2.-8.2.	7.6.-9.5.	0.9.-3.3.	5.3.-7.4.	5.7.-8.5.	0.5.-1.3.
Mittelwerte, Atm	7.0	8.6	1.6	6.1	7.0	0.9

C. Vergleich der osmotischen Zustandsgrößen im Stengel von Pisum sativum

Nachdem ich in verschiedenen Versuchsreihen Sz_g, Sz_n und Si_n in den Stengeln von Erbsen, die unter dem Einfluß von Tabakrauch standen oder in gewöhnlicher Luft heranwuchsen, einzeln gemessen hatte, versuchte ich, die osmotischen Zustandsgrößen nebeneinander und gleichzeitig an gleichalterigen, gleichartigen und unter gleichen Bedingungen herangewachsenen Erbsenkeimlingen zu ermitteln. Die

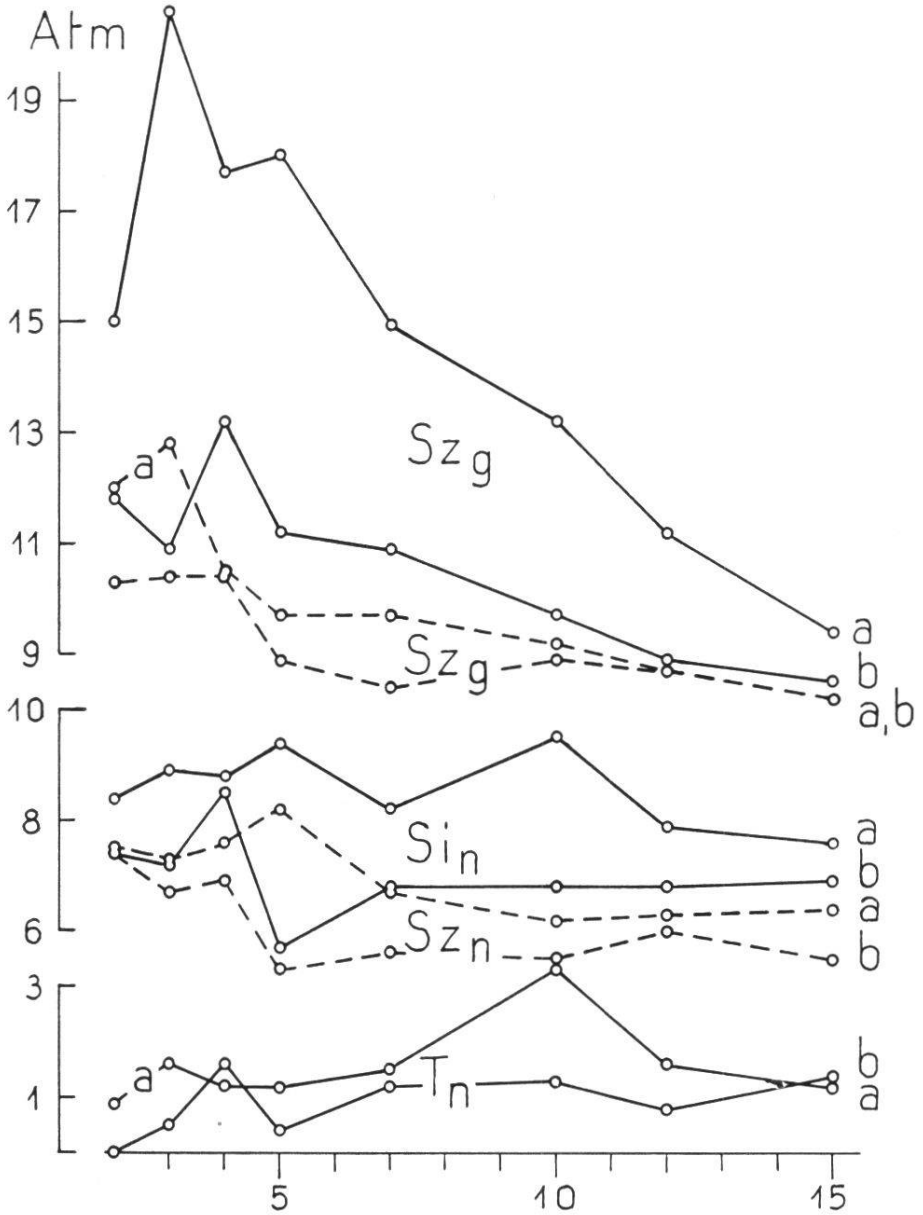

Fig. 2. Vergleich der osmotischen Zustandsgrößen im Stengel von Pisum sativum: a Rauchluft-, b Reinluftpflanzen. Das oberste, ausgezogene Kurvenpaar bezieht sich auf das Rindenparenchym; das enge, darunterliegende Paar gibt die Epidermiswerte wieder. Die untern drei Paare entsprechen dem Gesamtwert aller Stengelgewebe. Bedeutung der Abszissen wie in Fig. 1. Beobachtungszeit vom 8. bis 21. Juli.

Ergebnisse sind in Fig. 2 dargestellt, wobei die mit a bezeichneten Kurven das Verhalten der osmotischen Zustandsgrößen in Rauchluft und die mit b bezeichneten in Reinluft angeben. Die Kurven stellen die Resultate einer einzigen Messungsserie dar, bei der gleichzeitig Sz_g, Sz_n und Si_n ermittelt wurden. Die jeweiligen Untersuchungen erfolgten zeitlich so nahe, daß die Schwankungen der Tagesperiode praktisch ohne Einfluß waren. Die Größe Sz_g wurde mit der plasmolytischen Methode im Rindenparenchym und in der Epidermis ermittelt, Sz_n mit der Hebel- und Si_n mit der Kapillarenmethode. Als Osmotikum dienten in allen Messungen Rohrzuckerlösungen. Sowohl Si_n, wie Sz_n und Sz_g sind in den Rauchluftpflanzen höher, im Maximum um 9.7 Atm. In der Epidermis reichten die Sz_g-Werte nicht an diejenigen im Rindenparenchym heran, doch konnten in den Rauchluftpflanzen ebenfalls höhere Werte gemessen werden als in den Reinluftpflanzen.

Damit man sich ein Bild vom Grad der Vergleichbarkeit machen kann, sei erwähnt, daß zum Messen von Si_n mit der Dampfdruckmethode (Kapillarenmethode) alle Gewebe des Stengels zur Verwendung kamen, zum Messen von Sz_n dicke Querschnitte des Stengels benutzt wurden, während zur Bestimmung von Sz_g eine bestimmte Zahl von Zellen aus der Stengelepidermis oder aus dem Rindenparenchym dienten. Daraus folgt, daß die erwähnten Größen direkt nicht miteinander vergleichbar sind. Da hier aber nur ihr gegenseitiges Verhalten in Frage steht, ist eine Diskussion ihrer Beziehungen zueinander, so wie sie aus der Zustandsgleichung hervorgehen (Ursprung 1938) wohl angebracht.

Aus den bisherigen zahlreichen Untersuchungen (Ursprung, Blum etc.) ist zu entnehmen, daß zwischen den osmotischen Zustandsgrößen gewöhnlich die Beziehung $Sz_n < Si_n < Sz_g$ besteht. Welches ist nun in meinem Versuch das wechselseitige Verhalten dieser Größen? Vergleichen wir zunächst die in Reinluft gemessenen osmotischen Zustandsgrößen miteinander. Die drei Zustandsgrößen Sz_n, Si_n und Sz_g zeigen die erwartete Abstufung. Die drei Kurven weisen einen weitgehenden Parallelismus auf. Die ersten Messungen der Versuchsreihe ergaben größere Schwankungen als diejenigen in der Mitte und gegen das Ende des Versuches.

Ein Vergleich der osmotischen Zustandsgrößen in den Rauchluftpflanzen zeigt, daß sie im gleichen Sinne variieren, daß aber die Abstufungen $Sz_n < Si_n < Sz_g$ viel ausgesprochener zu Tage treten als bei

den Reinluftpflanzen, demzufolge auch auf einen höheren Turgordruck in den Geweben der Rauchluftpflanzen geschlossen werden darf. Wie aus dem Kurvenbild (Fig. 2) ersichtlich ist, verzeichnen die Sz_g-Messungen im Rindenparenchym der Rauchluftstengel auffallend hohe Werte, konnte doch ein Höchstwert von 20.5 Atm ermittelt werden. Dieser Anstieg erscheint am Anfang des Versuches, unmittelbar nach der Einwirkung des Rauches. Die weiteren Messungen ergaben ein sukzessives Fallen der Sz_g-Werte. Sie näherten sich mehr und mehr den Sz_g-Werten der Reinluftpflanzen. Niederere Werte ergaben die Sz_g-Messungen in der Epidermis der Rauchluftkeimlinge. Darin ließ sich ein maximaler Sz_g-Wert von 12.8 Atm messen. Die Epidermis-Sz_g-Werte in den Rauchluftpflanzen näherten sich von Anfang an denjenigen in den Reinluftpflanzen. In der Epidermis sind keine so großen Sz_g-Rauchluft-Reinluft-Differenzen zu verzeichnen, wie dies im Rindenparenchym der Fall war. Es scheint, als ob der Tabakrauch auf das Protoplasma insbesondere der Rindenparenchymzellen des Stengels, aber auch der Epidermiszellen einen schockartigen Einfluß ausübe, der zu einer gesteigerten, aber kurzfristigen Osmoregulation führt, welcher eine langsame Anpassung an die atmosphärisch fremdartige Umgebung folgt, die sich durch die festgestellte sukzessive Abnahme der Sz_g-Werte und deren Annäherung der Sz_g-Werte der Pflanzen mit normaler Atmosphäre ausdrückt.

Anschließend kann gesagt werden, daß sich die osmotischen Zustandsgrößen der Rauchluftpflanzen zueinander ähnlich verhalten, wie dies nach den bisherigen Kenntnissen bei den Reinluftpflanzen der Fall ist. In beiden ist, wie aus Fig. 2 hervorgeht, der Turgordruck außerordentlich klein, trotzdem meine Pflanzen äußerlich frisch und turgeszent aussahen. Auch T_n der Reinluftpflanzen ist, wie die andern Zustandsgrößen kleiner als bei Rauchluftpflanzen.

D. Die osmotischen Zustandsgrößen und das Längenwachstum des Stengels

Unter dem Einfluß des Tabakrauches erfuhr das Längenwachstum der Erbsenkeimlinge eine deutliche Hemmung, das Dickenwachstum aber eine deutliche Förderung (Tab. 2). Das gibt uns Gelegenheit, den Beziehungen zwischen osmotischen Zustandsgrößen und Längen-, bzw. Dickenwachstum unserer Keimlinge nachzugehen.

Bei jeder Messung bestimmte ich an den zu untersuchenden Exemplaren die gesamte Stengellänge von der Ansatzstelle der Wurzel bis zum Vegetationspunkt und seine maximale Dicke, oft auch die Länge der Wurzel und ihre Dicke (vgl. Angaben zu Tab. 1). Die Beziehungen zwischen Wurzeldimensionen und osmotischen Zustandsgrößen wurden nicht verfolgt, weil in den Wurzeln keine osmotischen Messungen vorgenommen wurden.

Vergleichen wir zunächst nur das Längenwachstum von Reinluft- und Rauchluftstengel ohne Berücksichtigung der osmotischen Zustandsgrößen. Eine der vielen Versuchsreihen ist in der Fig. 3 dargestellt. Die Kurven stellen das mittlere Längenwachstum von je 3-4 Reinluftpflanzen, beziehungsweise von je 3-4 vergleichbaren Rauchluftkeimlingen dar. Die Kurven geben am 3. Versuchstage eine Rauchluftlänge von 0.6 cm und eine Reinluftlänge von 1.0 cm an.

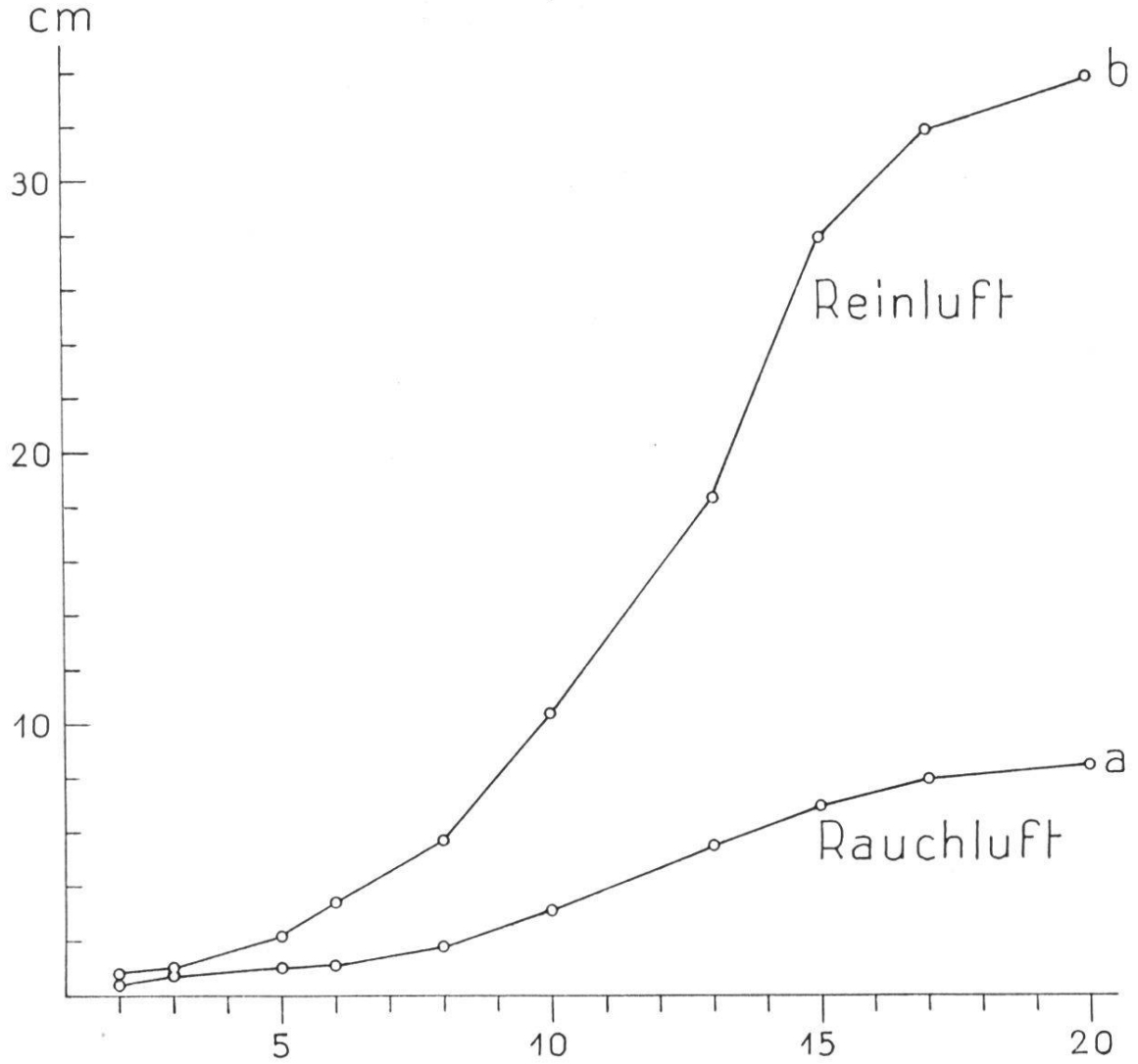

Fig. 3. Längenzuwachs des Stengels von Pisum sativum in Rauch- und Reinluft. Abszissen wie in Fig. 1. Zeit der Untersuchung: 23. Mai bis 5. Juni.

Die Hemmung betrug bei Annahme von übereinstimmenden Wachstumsbedingungen bei gleicher Wachstumsdisposition in den Pflanzen in 3 Tagen 0.4 cm, was einer Wachstumsverminderung von 40 % entspricht bezogen auf das Wachstum der Reinluftpflanzen (= 100 %). Die prozentuale Hemmung ist am Anfang des Versuches geringer als im späteren Verlauf, denn am 5. Versuchstag betrug die Hemmung 54 % und am 10. 69 %. Am 15. Tag der Versuchsdauer konnte ich eine Hemmung von 75 % feststellen. Allgemein ergaben die Versuche eine regelmäßige Zunahme der Stengellänge und damit auch ein stetiges Längenwachstum der Reinluftpflanzen, während bei den Rauchluftpflanzen die Stengellänge zwar auch eine fortwährende Zunahme erfuhr, diese aber im Ausmaß wesentlich geringer war und deutlich gehemmt erschien.

Auf Grund der zahlreichen Messungen des Längenwachstums der Stengel, von denen in der Folge einige im Zusammenhang mit den

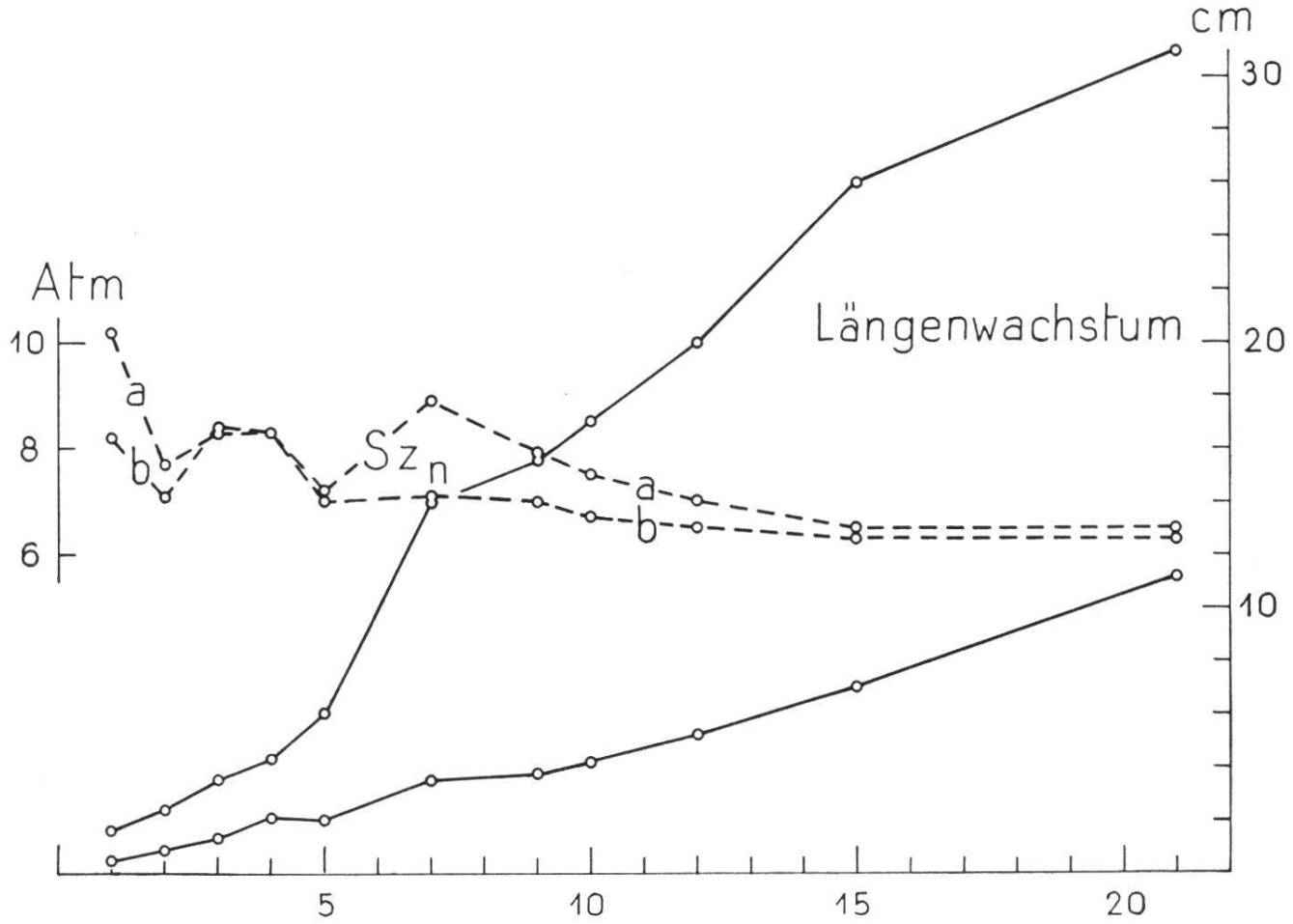

Fig. 4. Sz_n im untersten Internodium und Längenwachstum (b-Kurve oben) des Stengels von Pisum sativum. Abszissen wie in Fig. 1. Für die Saugkraft (Atm) und den Längenzuwachs (cm) wurden hier und in den weiteren Figuren verschiedene Ordinatenachsen gewählt. Beobachtungszeit: 5. Juli bis 25. Juli.

osmotischen Zustandsgrößen noch besprochen werden, geht deutlich hervor, daß die Wachstumsgeschwindigkeit der Reinluftkeimlinge größer ist als diejenige der rauchgeschädigten Keimlinge.

Obschon ich in meinen Versuchen die Wachstumsbestimmungen nur sehr grob durchführen konnte, schien es mir doch nicht überflüssig, die Ergebnisse der osmotischen Messungen mit dem Längenwachstum zu vergleichen. In Fig. 4 sind die Resultate der Sz_n-Messungen und das Gesamtlängenwachstum des Stengels einer Versuchsreihe angeführt. Die Sz_n-Werte stammen aus dem untersten Internodium des Stengels; die angegebenen Längenmaße aber beziehen sich auf den ganzen Stengel. Der Vergleich der Saugkraft (Sz_n), sowohl in Rauch- wie in den Reinluftpflanzen, mit dem dazu gehörenden Längenwachstum zeigt, daß die Saugkraft mit zunehmender Länge des Keimlings und der dadurch bedingten größeren Entfernung des untersten Internodiums vom Vegetationspunkt abnimmt, wobei Sz_n in den Rauchluftpflanzen fast immer höher ist als in den Reinluftpflanzen. Die am Anfang der Versuchsreihe in den Reinluftpflanzen gefundenen größeren Saugkraftwerte sind vor allem darauf zurückzuführen, daß sie in der Zone intensiven Wachstums lagen. Da bei dem verlangsamten Längenwachstum der Rauchluftpflanzen auch in der Streckungszone die Saugkraftmessungen trotzdem höhere Werte ergaben, darf geschlossen werden, daß die Differenzen der Saugkraft nicht nur eine Folge des Wachstums, sondern tatsächlich eine solche der Einwirkung des Tabakrauches sind. Dies wurde im späteren Verlauf nur bestätigt, da die Differenzen auch mit zunehmender Entfernung vom Vegetationspunkt bestehen bleiben.

Ursprung und Blum (1924) zeigten durch ihre Untersuchungen an der Wurzel von *Vicia Faba*, daß in der Region des stärksten Längenwachstums, sowohl bei der geraden als auch bei der geotropisch sich krümmenden Wurzel, die größte Saugkraft (Sz_n) vorherrscht, dagegen der schwächste Turgordruck. Es darf angenommen werden, daß die Verhältnisse im normalen Stengel die nämlichen sind.

Eine weitere Sz_n-Messungsreihe wurde an je einem der obern Internodien ausgeführt, wobei das Gesamtlängenwachstum der untersuchten Stengel bestimmt wurde. Die Ergebnisse sind in Fig. 5 festgehalten. Diese zeigt, daß Sz_n am Anfang der Untersuchung die höchsten Werte aufweist. Im Verlaufe des Versuches fällt Sz_n, offenbar deshalb, weil der Abstand vom Vegetationspunkt wie oben zunimmt.

Die Sz_n-Messungen wurden nämlich bei den Rauchluftpflanzen an der Stelle der größten Dicke, die sich meistens in der Mitte oder oberhalb davon befand, und an entsprechenden Stellen der Reinluftstengel vorgenommen. Am Anfang lag die Saugkraft (Sz_n) in den Rauchluftpflanzen merklich höher als in den Reinluftpflanzen. Mit fortschreitendem Versuch klangen die Differenzen ab. Es machte sich hier das gleiche Phänomen geltend wie im vorgehend beschriebenen Versuch. Doch ist hinzuzufügen, daß bei den Untersuchungen am obern Internodium die Saugkraft sowohl in der Rauchluft als auch in den Reinluftpflanzen, von einer einzigen Ausnahme abgesehen, höher liegt als die Saugkraft im untersten Internodium. Es macht sich wiederum der Abstand vom Vegetationspunkt geltend.

Es sei an dieser Stelle nochmals auf Tab. 12 hingewiesen, die gleichzeitige Sz_n-Messungen der vier unteren Internodien der nämlichen Pflanze enthält und zeigt, daß die jeweiligen Messungen in der Nähe des Vegetationspunktes die höchsten Sz_n-Werte ergaben.

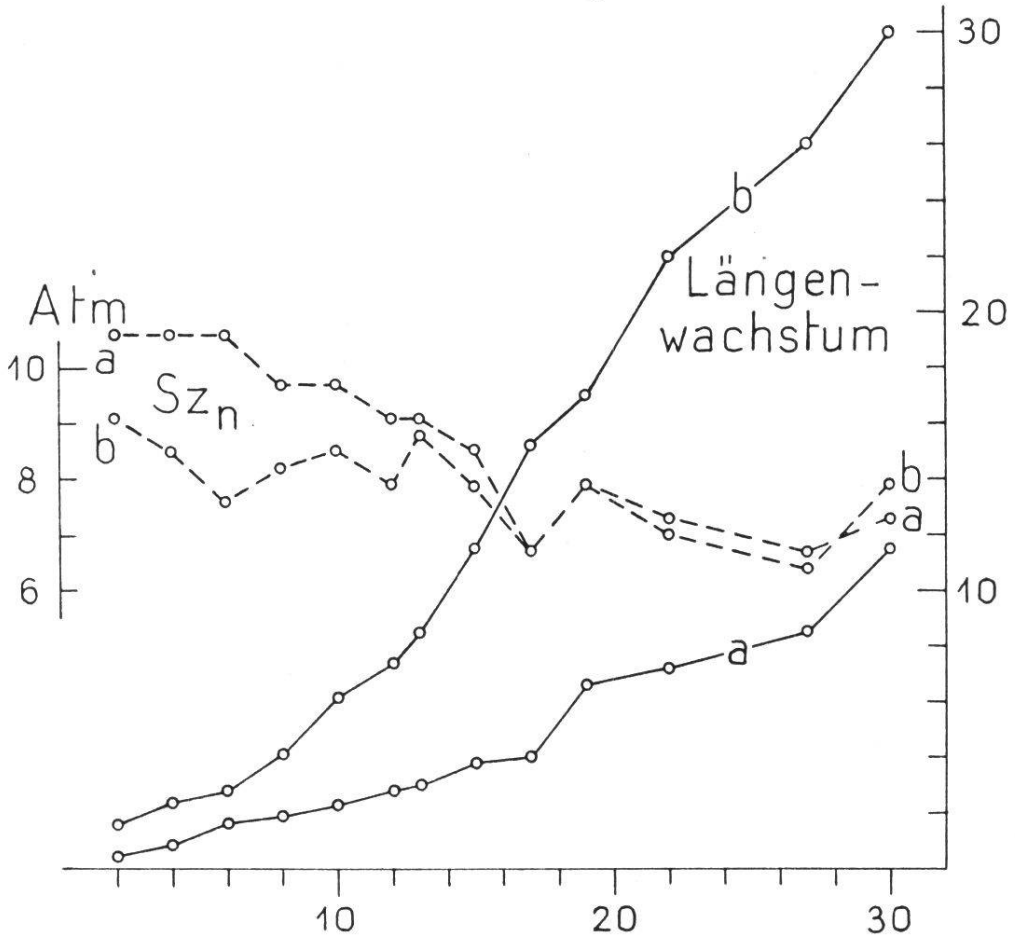

Fig. 5. Sz_n des obern Internodiums und Längenwachstums des Stengels. Vgl. Fig. 4. Zeit der Messungen : 13. Dezember bis 10. Januar.

Wie sich für Rauch- und Reinluftpflanzen die Saugkraft bei Grenzplasmolyse im Stengel zu dessen Längenwachstum verhält, wird aus Fig. 6 sofort klar ersichtlich. Die beiden Sz_g-Kurven, die die Resultate der Sz_g-Messungen im Rindenparenchym der Rauch-, bzw. der Reinluftstengel darstellen, zeigen anfänglich große, nach und nach abklingende Sz_g-Differenzen zwischen den Rauch- und Reinluftpflanzen. Die Rein- und Rauchluftpflanzen wachsen, wie die Kurven des Längenwachstums erläutern, mit ziemlich großer Regelmäßigkeit weiter. Die Rauchluftpflanzen weisen eine Hemmung im Längen-

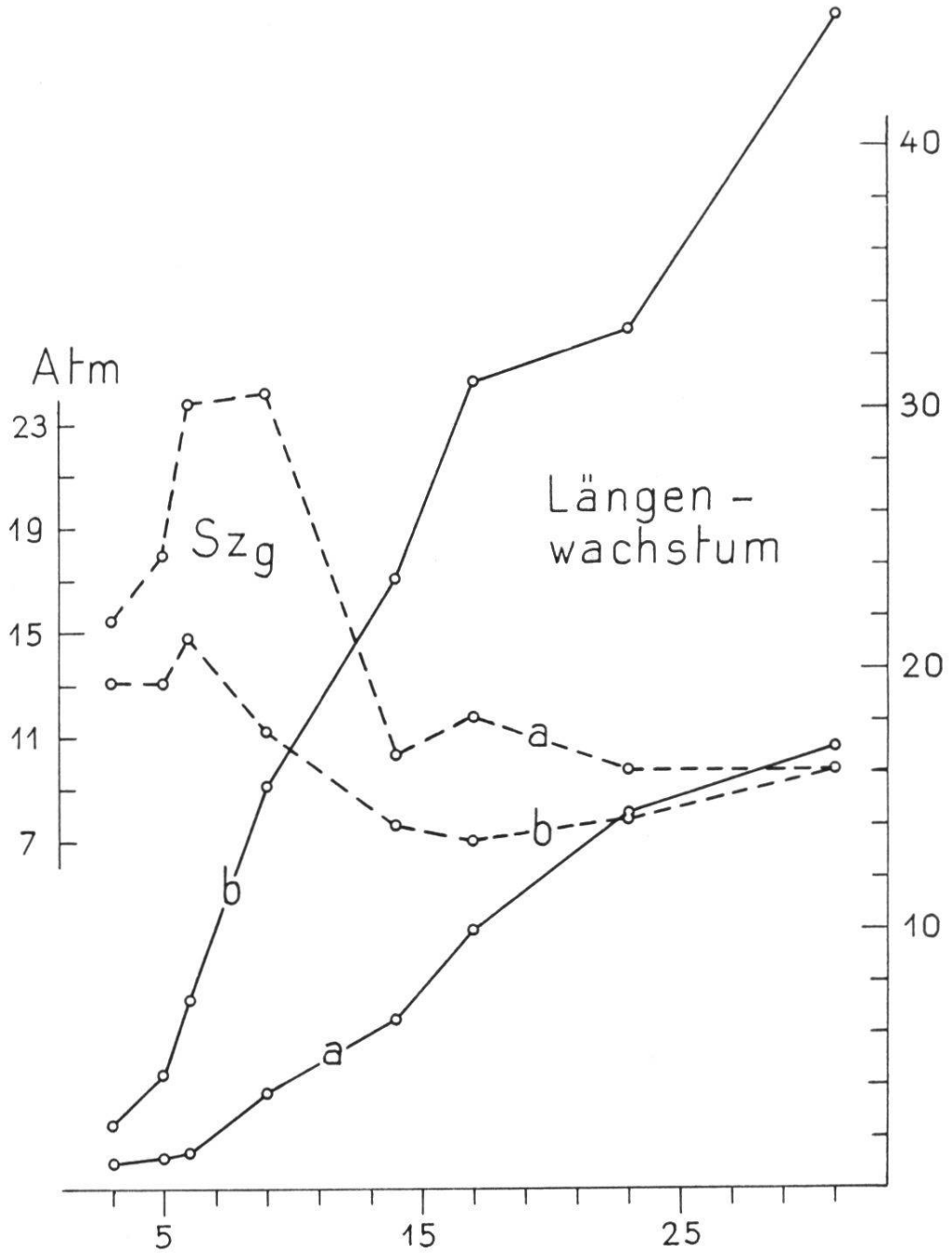

Fig. 6. Sz_g im Rindenparenchym und Längenwachstum des Stengels. Vgl. Fig. 4. Beobachtungsdaten : 28. Oktober bis 25. November.

wachstum und deutliche Förderung im Dickenwachstum auf (festgestellte maximale Dicke bei den Rauchluftkeimlingen 5 mm, bei den Reinluftkeimlingen 3 mm).

Die O_g-Schwankungen wurden vielfach mit dem Wachstum in Beziehung gebracht. Einem stärkeren Wachstum entspreche ein kleineres O_g, weil ein stärkerer Stoffverbrauch vorhanden sei. Dem stärkeren Längenwachstum der Reinluftpflanzen sind nach Fig. 6 niederere Sz_g-Werte zugeordnet, während in den im Längenwachstum gehemmten Rauchluftpflanzen höhere Sz_g-Werte vorkommen. URSPRUNG und BLUM (1924) weisen darauf hin, daß die O_g-Werte in hohem Maße auch von der elastischen Spannung der Wand abhängen. Darnach kann eine Änderung des Grenzplasmolysewertes nicht nur auf Änderung des osmotisch wirksamen Inhaltes beruhen, sondern auch auf Änderung der Wandspannung. Tatsächlich konnte ich (vgl. PURKYT 1912) an Schnitten von Stengeln rauchgeschädigter Erbsenkeimlinge feststellen, daß die Membranen der Zellen eine bedeutende Verdickung erfahren haben. Sie schien in allen Zellen gleichmäßig zu sein. Bei Behandlung der Schnitte von Erbsenstengeln der Rauchluftpflanzen mit Phloroglucin und Salzsäure erfolgte eine äußerst starke Verquellung der Membran, während in den Reinluftpflanzen die Quellung sehr gering blieb. PURKYT (1912) glaubte annehmen zu müssen, daß die Zellulosemembran durch die Einwirkung des Tabakrauches eine physikalisch-chemische Veränderung erleidet, die sich eben in ihrer äußerst starken Quellungsfähigkeit äußert. Auf unsere Verhältnisse angewendet würde das bedeuten, daß mit der physikalisch-chemischen Veränderung der Membran auch ihre Elastizität anders geworden wäre. Es ist deshalb nicht ausgeschlossen, daß die hohen Sz_g-Werte in den Rauchluftpflanzen durch die Änderung der elastischen Spannung der Wand bedingt sind, daß bei gleicher Zuckerkonzentration im normalen Zustand, aber bei verschiedener Kontraktion bei Grenzplasmolyse andere O_g-Werte erhalten werden nach der Beziehung $Sz_g = \frac{Vn}{Vg} \cdot Si_n$. Ist Si_n in zwei Zellen gleich, die Volumkontraktion beider Zellen aber verschieden, so muß daraus auch ein verschiedenes Sz_g resultieren. Man kann sich aber auch vorstellen, daß der Tabakrauch die enzymatische Tätigkeit der Zellen beeinflußt, also etwa eine intensivere Stärkezersetzung bewirkt, so daß auch aus diesem Grunde Si_n und damit auch Sz_g bei gleicher Volumkontraktion steigen würden (Fig. 7).

Das Abflauen der Sz_g-Differenzen deutet PURKYT (1912) dahin, daß vermutlich eine Kondensierung von osmotisch wirksamen Stoffen zu Membransubstanz vor sich gehe. Diese Vorstellung ließe sich gut mit den beschriebenen Membranverdickungen in den Rauchluftkeimlingen vereinbaren. Zudem darf die Annahme, daß die Membranverdickung auf Kosten des Längenwachstums vor sich geht, nicht ganz von der Hand gewiesen werden. Die Beziehungen der chemischen Umwandlungen des Zellinhaltes, die vor allem für die osmotische Zustandsgröße Sz_g verantwortlich sind, zum Längenwachstum sind noch zu wenig abgeklärt.

Es sei auch die Saugkraft des Zellinhaltes Si_n der Rauch- und Reinluftpflanzen mit dem Längenwachstum des zugeordneten Stengels in Beziehung gebracht. Fig. 7 zeigt die Ergebnisse der Si_n-Messungen einer Versuchsreihe und die entsprechenden Angaben über das Längenwachstum. Zur Messung des Si_n-Wertes wurde der ganze Stengel verwendet. Wir stellen fest, daß sich Si_n gleichsinnig verhält wie Sz_n (vgl. Fig. 5 mit Fig. 7), ein Verhalten, das sich aus der Saugkraftgleichung ergibt. Das Längenwachstum der Stengel aus Rauch- und

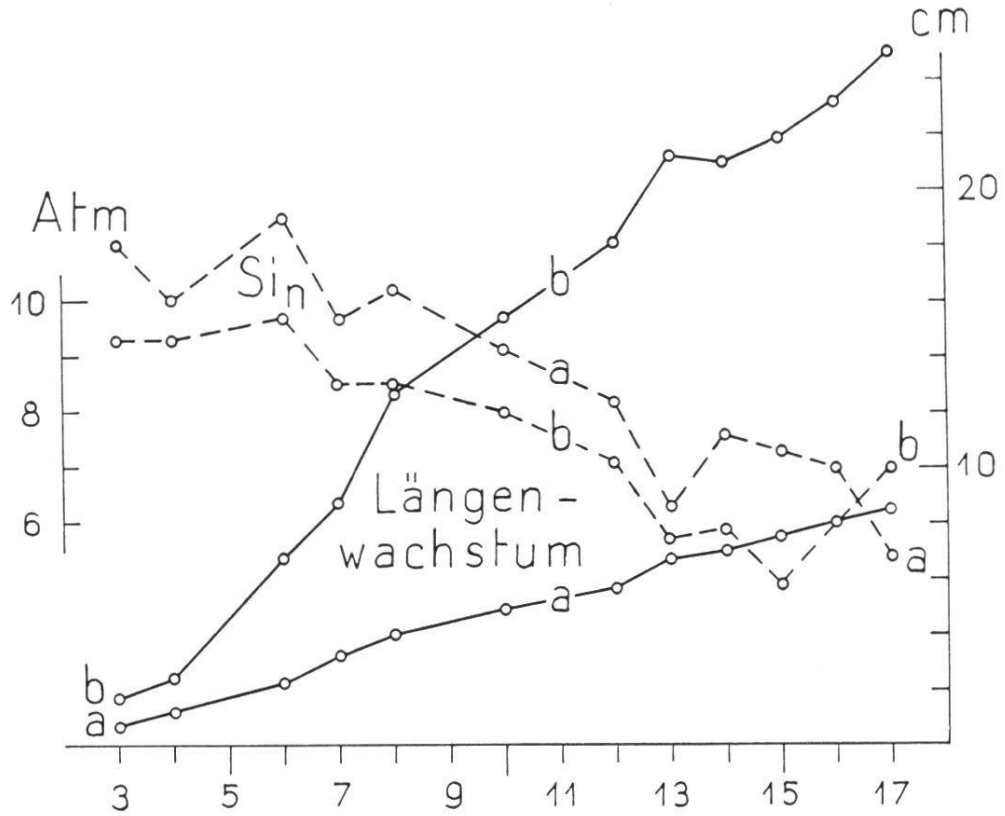

Fig. 7. Si_n und Längenwachstum des Stengels. Für die Bezeichnung vgl. Fig. 4. Datum der Beobachtungen: 12. bis 26. Juli.

Reinluft weist die nämlichen Merkmale auf, wie wir sie bisher feststellen konnten : mit dem Längerwerden der Stengel nimmt Si_n sowohl in den Rauch- als auch in den Reinluftpflanzen ab.

E. Beziehungen des stärksten Wachstums zu Sz_n und T_n

In einer Versuchsreihe maß ich in den Stengeln der Rauch- und Reinluftpflanzen von *Pisum sativum* durch Bestimmung der Größen Sz_n und Si_n experimentell in erster Annäherung den Turgordruck. Die Ergebnisse finden sich in Fig. 8 mit den Angaben über das Längenwachstum des Stengels zusammengestellt. Daraus geht hervor, daß der Turgordruck in den Rauchluftkeimlingen mit zunehmendem Alter

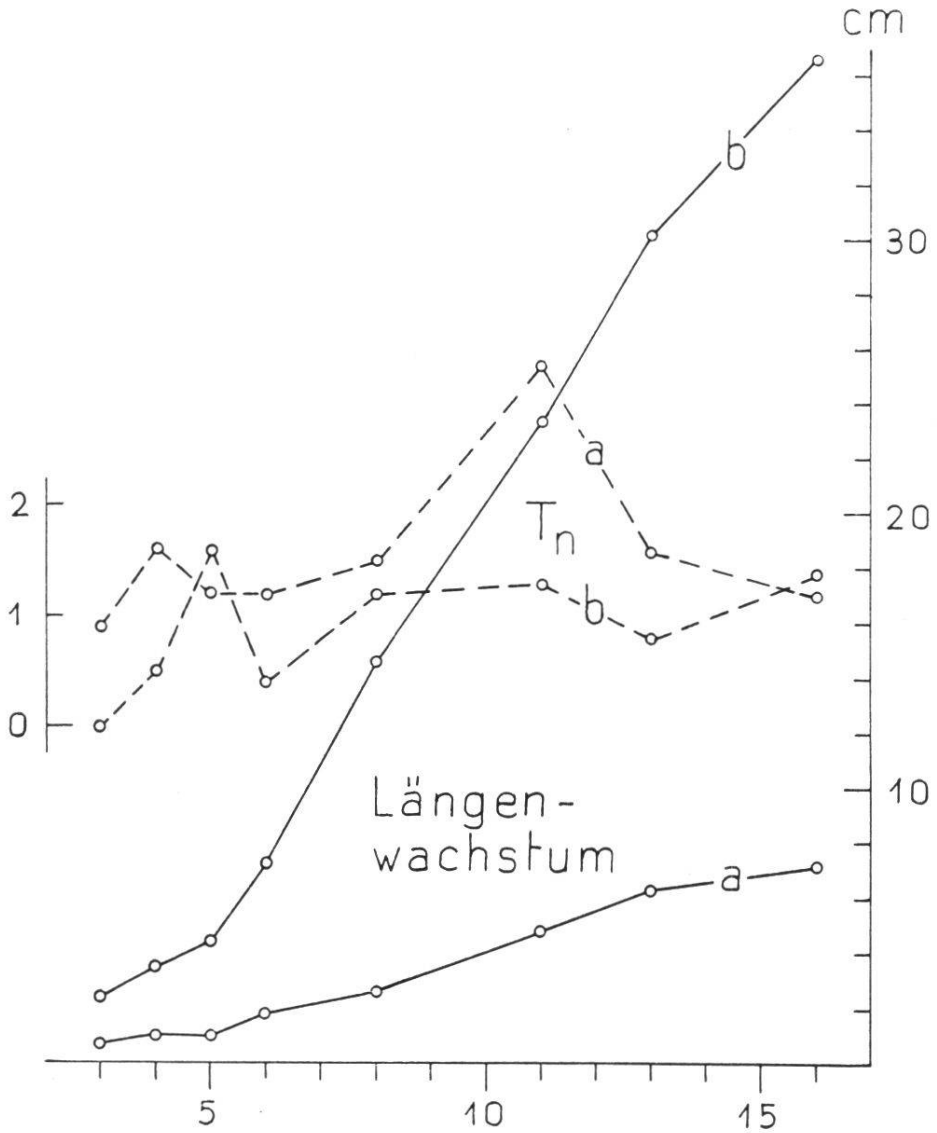

Fig. 8. T_n im ganzen Stengel und Längenwachstum. Wegen der Abszissen und Ordinaten vgl. Fig. 4. Beobachtungszeit : 8. bis 21. Juli.

zuerst ansteigt und dann wieder fällt. Der Turgordruck nimmt dann am stärksten zu, wenn das Längenwachstum am meisten gehemmt ist. Betrachten wir nun das Verhalten des Turgordruckes in den Reinluftpflanzen. Da Sz_n in den oberen Internodien gemessen wurde, konnten die ersten Messungen nur in allernächster Nähe des Vegetationspunktes, also in der Zone der größten Streckung vorgenommen werden. Man darf deshalb die gefundenen Si_n-Werte, die an dem Preßsaft des ganzen Stengels ermittelt wurden, als direkt mit Sz_n vergleichbar betrachten. So finden wir am Anfang der Versuchsreihe für die Reinluftpflanzen niedere Turgordrucke. Mit der Zunahme der Länge der Stengel, also mit der Entfernung der Messungsstelle für Sz_n von der Zone des größten Längenwachstums, stieg der Turgordruck, allerdings mit einigen Schwankungen. Ein Vergleich der Turgorwerte in den Reinluftpflanzen mit der Wachstumsgeschwindigkeit ergibt, mit einer einzigen Ausnahme, daß einer abnehmenden Wachstumsgeschwindigkeit eine Zunahme des Turgordruckes entspricht. URSPRUNG und BLUM (1924) fanden, wie bereits früher erwähnt wurde, an der Wurzel von *Vicia Faba* in der Zone des größten Streckenwachstums den schwächsten Turgordruck. Darnach wäre es gut denkbar, daß der Turgordruck infolge der Hemmung des Längenwachstums ansteigt. Anderseits muß, da bei gleich bleibender Hemmung des Längenwachstums T_n im Verlaufe der Versuchsreihe in den Rauchluftpflanzen wieder fällt, angenommen werden, daß der Tabakrauch direkt osmoregulatorisch einwirkt und dadurch die Größe T_n unmittelbar beeinflußt.

F. Der Tabakrauch und das Dickenwachstum

Unter dem Einfluß des Tabakrauches erfuhr das Längenwachstum der Erbsenstengel eine deutliche Hemmung und das Dickenwachstum eine ebensolche Förderung. Nun beruht das Dickenwachstum der Stengel im Tabakrauch auf einem vermehrten Breitenwachstum der Zellen (siehe « Morphologische Beobachtungen », S. 129 ff.). Ursache dieses Phänomens soll nach Annahme von RICHTER, MOLISCH, PURKYT der gesteigerte Turgordruck sein, wobei sie die Saugkraft der Zelle bei Grenzplasmolyse maßen. In diesem Zustand aber ist die Zellwand entspannt und der Turgordruck Null. Hingegen fanden die erwähnten Autoren tatsächlich in narkotisierten, rauchbeschädigten Exemplaren,

deren Stengel dicker waren als in Reinluft, also in den verdickten Rauchstengeln, eine höhere Saugkraft bei Grenzplasmolyse.

In meinen Versuchen verglich ich die Größe des Dickenwachstums mit Sz_g, mit Si_n, mit Sz_n und mit T_n. Daraus ergab sich, daß die Saugkraft bei Grenzplasmolyse in den Rauchluftpflanzen immer höher blieb als in den Reinluftpflanzen, gleichgültig, ob die Stengel der Rauchpflänzlinge dicker oder dünner waren. Nur am Anfang der Versuchsreihe fand ich in den Rauchstengeln bei zunehmender Dicke ein Hinaufschnellen von Sz_g. In einem 3 mm dicken Stengel, der während 3 Tagen dem Raucheinfluß ausgesetzt war, betrug Sz_g 15.5 Atm, 2 Tage darauf bei 3 ½ mm Dicke 18 Atm, und am 6. Tag, bei einer Stengeldicke von 4 mm, ergab die Messung einen Sz_g-Wert von 23.8 Atm. Am 9. Tag bestimmte ich in einem 4 mm dicken Stengel — also gleich dicken Stengel wie in der vorhergehenden Messung — einen Sz_g-Wert von 24.2 Atm, dann aber am 14. Tag der Versuchsreihe merkwürdigerweise in einem Stengel von 5 mm Dicke nur einen Sz_g-Wert von 10.3 Atm. Im weiteren Verlauf der Versuchsreihe konnte kein auffallendes Resultat mehr ermittelt werden. Interessant ist ein Vergleich meiner Sz_g-Ergebnisse mit denjenigen von PURKYT (1912). Hier wie dort steigt Sz_g der Rauchluftstengel sehr stark an und fällt dann ab, bleibt aber immer noch höher als Sz_g in den Reinluftpflanzen. In ähnlicher Weise wurde auch die Größe Si_n mit dem Dickenwachstum in Beziehung gebracht. Auch hier war Si_n in den Rauchluftpflanzen während der ganzen Versuchsdauer größer als in den Reinluftpflanzen. Aber Si_n hat in den Rauch- und Reinluftpflanzen allgemein fallende Tendenz und zwar, wie es scheint, ganz unabhängig von der Dicke des untersuchten Stengels. Mittelst einer weitern Reihe suchte ich festzustellen, wie sich die Sz_n-Werte aus Rauch- und Reinluftstengeln zum Dickenwachstum derselben verhalten. Auch hier ergab sich, daß die Sz_n-Werte in den Rauchluftkeimlingen höher waren als in den Reinluftpflanzen. Aber die Differenzen zwischen Rauch- und Reinluft waren nicht mehr so groß wie für Sz_g und Si_n. Eine nähere Beziehung zwischen Dickenwachstum und den gefundenen Sz_n-Werten konnte ich nicht aufdecken. Endlich sei noch das Verhalten des Turgordruckes zum Dickenwachstum betrachtet. In den Rauchluftpflanzen konnte ich fast immer einen höheren Turgordruck feststellen als in den Reinluftpflanzen. Sowohl in den Rauch- wie in den Reinluftpflanzen nahm der Turgordruck mit zunehmendem Alter der Keim-

pflanzen zu. Unregelmäßigkeiten spielen hier eine geringe Rolle, da die Messung des Turgordruckes sich nicht auf eine Zelle bezieht, sondern auf den ganzen Stengel. Man konnte deutlich erkennen, daß auch der Turgordruck in den Rauchpflanzen größer ist als in den Reinluftpflanzen.

Zusammenfassend läßt sich folgendes sagen. Sämtliche osmotischen Zustandsgrößen sind in den verdickten Rauchluftstengeln größer als in den Reinluftpflanzen.

Man kann sich natürlich fragen, was die Erhöhung der osmotischen Zustandsgrößen in rauchgeschädigten Zellen für eine Bedeutung hat und wie sie zustande kommt. Diese beiden komplizierten Fragen können aus unserem Material wohl kaum eindeutig beantwortet werden. Hingegen zeigt die Sz_g-Kurve, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist, immerhin, daß die größeren Werte von Si_n, Sz_n und T_n in den rauchgeschädigten Pflanzen vor allem auf einer Zunahme von Sz_g beruhen dürften. Daraus geht hervor, daß die erste Wirkung des Tabakrauches auf die osmotischen Zustandsgrößen in einer Vermehrung der osmotisch wirksamen Substanzen besteht. Nun nimmt in unseren Versuchen auch Si_n, die Saugkraft im normalen Zustand, zu. Die Zunahme ist in rauchgeschädigten Stengeln relativ gering. Daraus folgt, wie aus der Saugkraftgleichung $Sz_n = Si_n - T_n$ hervorgeht, daß der Turgordruck in den Rauchluftpflanzen zunehmen und größere Werte aufweisen müßte als in den Reinluftpflanzen, unter der Voraussetzung, daß die Beziehung $\frac{V_n}{V_g}$ in Rauch- und Reinluft gleich ist. Tatsächlich ist der Turgordruck in den rauchgeschädigten, verdickten Zellen größer als in den nicht rauchgeschädigten Pflanzen. Der höhere Turgordruck ist also nicht Ursache, sondern nur eine Folge der relativ starken Zunahme von Sz_g.

Ob nun das Breitenwachstum der Zelle zur Hauptsache auf dem höheren Turgor beruht, kann nach den bisherigen Kenntnissen über die Beziehungen der osmotischen Zustandsgrößen zum lokalen Wachstum der Zellen nicht ausgesagt werden, weil darüber noch keine Untersuchungen vorliegen. Da in rauchgeschädigten Pflanzen das Längenwachstum gehemmt wird, muß bei gleichbleibendem Zellinhalt und erhöhtem Turgordruck die Zelle notwendigerweise in die Dicke wachsen. Wie allerdings dieses Breitenwachstum der Zelle zustande kommt, ist eine Frage, die erst gelöst werden kann, wenn wir über Turgordehnung und Wandstruktur besser unterrichtet sind.

Die Ursache der Erhöhung von Sz_g kann auf einer vermehrten Erzeugung osmotischer Substanzen oder auf einer Zerlegung größerer Moleküle in einfachere (z. B. Maltose in Glukose) beruhen.

In neueren Arbeiten wird die Rolle des im Tabakrauch vorkommenden Aethylens vielfach diskutiert. Da dieses osmotisch nicht in Betracht fällt, ist eine Besprechung nicht nötig. Hingegen scheint das Aethylen auf die Richtung des Wuchsstoffstromes einen Einfluß auszuüben und dadurch das Dickenwachstum der in Tabakrauch befindlichen Erbsen zu beeinflussen. So untersuchte VAN DER LAAN (1934) den Einfluß des Aethylens auf *Avena sativa* und stellte ein vermindertes Längenwachstum und ein vermehrtes Dickenwachstum fest. Er fand die größte Hemmung in der am kräftigsten wachsenden Zone und schloß auf einen Zusammenhang zwischen dem Streckenwachstum und dem Gaseinfluß. Ferner stellte er fest, daß Aethylen bei *Avena* das Wuchsstoffzentrum in der Spitze schädigt. Die Wuchsstoffproduktion betrug bei vergasten Pflanzen nur 66 % der Menge normaler Pflanzen. Hingegen zeigte sich, daß der Transport sowie der Verbrauch beim normalen und in Aethylengas gezogenen Pflanzen vollkommen gleich waren. Auch fand V. D. WEIJ (1932), daß die Geschwindigkeit des Wuchsstofftransportes unabhängig von der Menge des zugeführten Wuchsstoffes ist. Die Ausgangskonzentration ist dafür nicht von Belang. PFÄLTZER (1934) betont die Unabhängigkeit des Wuchsstofftransportes von der Wirkung der Längskomponente der Schwerkraft. VAN DER LAAN (1934) untersuchte unter anderem auch den Einfluß von Aethylen auf die Keimlinge von *Pisum sativum* im Dunkeln und fand wie schon KNIGHT und CROCKER (1913) geringeres Längenwachstum, verstärktes Dickenwachstum und horizontale Nutation, die sich in einem leicht aufwärts strebenden, geraden Wuchs zeigte. An meinen in Tabakrauch, aber im Licht gezogenen Erbsenkeimlingen konnte ich die horizontale Nutation nicht beobachten. Versuche mit *Vicia Faba* im Dunkeln führten VAN DER LAAN zu folgenden Ergebnissen : « Durch Aethylen wird das Wachstum von *Vicia Faba*-Keimlingen stark herabgesetzt. Die Hemmung erstreckt sich gleichmäßig über alle Zonen. Die Epikotyle enthalten sehr viel Wuchsstoff, bei jungen Pflanzen in allen Zonen gleich viel, bei älteren in den unteren Zonen weniger. In Aethylen wird die Wuchsstoffabgabe sehr stark herabgesetzt, so daß nur eine ganz geringe Menge übrig bleibt. Die einseitige Verteilung des Wuchsstoffes und die geotro-

pische Krümmung beginnen zur gleichen Zeit, in der dritten Viertelstunde nach Anfang der geotropischen Reizung. Durch den Einfluß von Aethylen ist der übrig gebliebene Wuchsstoff in vergasten Pflanzen einseitig verteilt ; die obere Hälfte enthält den meisten Wuchsstoff. » F. W. WENT (1928) stellte fest, daß Aethylen ähnlich wie bei *Avena sativa* und *Vicia Faba* die Wuchsstoffproduktion auch bei *Pisum sativum* herabsetzt. Bei gehemmtem Längenwachstum kann man aber trotzdem ein starkes Dickenwachstum feststellen. BORGSTRÖM (1939*a*) machte wahrscheinlich, daß Aethylengas in Pflanzen einen transversalen Hormonstrom erzeugt. In einer weiteren Publikation (1939*b*) richtet er die Aufmerksamkeit auf die grundsätzliche Bedeutung des Quertransportes der Wuchsstoffe in der Natur. « Die relative Kraft polaren und lateralen Auxinentransportes regelt die meisten Lebensprozesse der Pflanzen. Da die Siebröhren die wichtigsten Wanderbahnen der Wuchsstoffe sind und demzufolge den hauptsächlichsten Vorrat der Wuchsstoffe enthalten, so regelt ihre zurückhaltende Fähigkeit die Menge, die seitwärts transportiert wird. » Es stellte sich heraus, daß diese Funktion der Siebröhren durch Aethylen tiefgreifend gestört werden konnte (BORGSTRÖM 1939*a*). Darnach wäre das vermehrte Dickenwachstum der Erbsenpflanzen in Tabakrauch dem Einfluß des darin vorkommenden Aethylens zuzuschreiben, das die normale Funktion der Siebröhren als wichtigste Wanderbahnen des Wuchsstoffes tiefgreifend störe. Aethylen, also auch Tabakrauch, verursache einen vermehrten Quertransport von Wuchsstoff und somit eine Förderung des Dickenwachstums, da nach BORGSTRÖM (1939*b*) die Richtung des Transportes des Wuchsstoffes die Richtung des Wachstums bestimmt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegenden Versuche über den Einfluß des Tabakrauches auf im Lichte gezogene Erbsenkeimlinge führten zu folgenden Ergebnissen.

1. Unter dem Einfluß des Tabakrauches wurde das Längenwachstum des Stengels gehemmt und das Dickenwachstum gefördert. Eine Beeinträchtigung des negativen Geotropismus konnte nicht beobachtet werden.
2. Das stärkere Dickenwachstum des Stengels beruht auf einem vermehrten Breitenwachstum der Zellen.

3. Mit Hilfe der Grenzplasmolysemethodik ergaben sich im Rindenparenchym der Rauchluftpflanzen zu Anfang der Versuchsreihe bis zu 10 Atm höhere Werte als im nämlichen Gewebe der Reinluftpflanzen. Die hohen Sz_g-Werte in den Rauchluftpflanzen sanken im Verlaufe der Versuchsreihe ab, so daß sich die Sz_g-Werte der Rauchlufterbsen denjenigen der Reinlufterbsen näherten. Ähnlich verhielt sich die Saugkraft bei Grenzplasmolyse in der Epidermis, nur daß die Unterschiede zwischen Rauch- und Reinluftpflanzen nicht so groß waren. Ein Zusammenhang der Zu- und Abnahme der Sz_g-Werte mit dem Wachstum war nicht restlos aufzudecken.
4. In der Regel war die Saugkraft im normalen Zustand (Sz_n) in den Rauchluftpflanzen etwas größer als in den Reinluftpflanzen. Die jeweils am Anfang der Versuchsreihe in den Reinluftpflanzen gefundenen größeren Saugkraftwerte sind vor allem darauf zurückzuführen, daß sie in der Zone intensiven Wachstums liegen. Da bei dem verlangsamten Längenwachstum der Rauchluftpflanzen die Saugkraftmessungen auch in der Streckungszone höhere Werte ergaben, darf ohne Zweifel geschlossen werden, daß die Differenzen der Saugkraft nicht nur eine Folge des Wachstums, sondern tatsächlich eine solche der Einwirkung des Tabakrauches sind.
5. Wie es die Saugkraftgleichung als wahrscheinlich vermuten ließ, verhielt sich die Saugkraft des Inhaltes (Si_n) ähnlich wie die Saugkraft (Sz_n). In den Rauchluftpflanzen konnten in der Regel etwas höhere Si_n-Werte gemessen werden als in den Reinluftpflanzen. Doch kam es vor, daß auch das Gegenteil der Fall war. Ganz allgemein nahm Si_n mit dem Längerwerden der Stengel sowohl in den Rauch- als auch in den Reinluftpflanzen ab.
6. Aus den experimentell bestimmten Größen Sz_n und Si_n ließ sich näherungsweise der Turgordruck (T_n) bestimmen. In den Rauchluftpflanzen bestimmte ich einen maximalen Turgordruck von 3.3 Atm. Alle andern Werte für den Turgordruck waren geringer, sowohl in den Rauchluftpflanzen als auch in den Reinluftpflanzen. Wie die beiden Werte Sz_n und Si_n in den Rauchluftpflanzen in der Regel etwas höher waren, so traf dies auch für den Turgordruck zu.
7. Die Energie zum vermehrten Dickenwachstum der Zellen der Rauchluftpflanzen dürfte nur zum kleinsten Teil von einem erhöhten Turgordruck herrühren, ließen sich doch nur relativ geringe Turgorwerte ermitteln.

Literaturverzeichnis

BÄRLUND H., Permeabilitätsstudien an Epidermiszellen von *Rhoeo discolor*. Acta Bot. Fennica 1929, 5, 1.

BECK W. A., Cane sugar and potassium nitrate as plasmolysing agents. Protoplasma 1927, 1, 15.

BORGSTRÖM G., a) Theoretical suggestions regarding the ethylene responses of plants and observations on the influence of apple-emanations. Kgl. Fysiogr. Sällsk. i Lund Förh. 1939, 9, Nr. 12, 40.

— — b) The Transverse Reactions of Plants. Lund 1939.

BUHMANN A., Kritische Untersuchungen über vergleichende plasmolytische und kryoskopische Bestimmungen des osmotischen Wertes bei Pflanzen. Protoplasma 1935, 23, 579.

DOSTÁL R., Über die Wirkung von Leuchtgas und Aethylen auf die Pflanzenmorphogenese und -produktion. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1941, 59, 437.

— — Untersuchungen zur Analyse der Wirkung der Laboratoriumsluft und anderer Gase auf die Keimlinge von *Pisum sativum* unter Berücksichtigung der Wuchsstofftheorie. Jahrb. f. wiss. Bot. 1941/1942, 90, 199.

EULER H., Chemie der Enzyme. 1920, 2. Aufl., 1. Teil.

FITTING H., Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Bot. 1911, 3. Jahrg., H. 4, 209.

GASSER R., Zur Kenntnis der Änderung der Saugkraft bei Grenzplasmolyse durch Wasserunter- und überbilanz. Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1942, 52, 47.

GASSNER G. und GOEZE G., Frosthärtebestimmung durch refraktometrische Untersuchung von Pflanzenpreßsäften. Phytopatholog. Zeitschr. 1932, 4, 387.

GRAFE V. und RICHTER O., Über den Einfluß der Narkotika auf die chemische Zusammensetzung von Pflanzen. I. Das chemische Verhalten pflanzlicher Objekte in einer Acethylenatmosphäre. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1911, 120, 1187.

v. GUTTENBERG H., Ritter, I. Über das Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus in parallelotropen Pflanzenteilen. Jahrb. f. wiss. Bot. 1907, 45, 229.

— — Über das Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus und die tropistische Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft. Jahrb. f. wiss. Bot. 1910, 47, 462.

HEMPEL J., Researches into the effect of etherization in plantmetabolism. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. 1911, *T. VI*, Nr. 6, 213.

JOHANNSEN W., Ia. Studier over Planternes periodiske Livs yttringer. I. Om antagonistiske Virksomheder i Stofskiftet särlig under Modning og Hoile. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr. 6. Raekke, naturw. og. math. Afdeling, 5, p. 275-394, 1897.

— — Ib. Über antagonistische Wirkungen im Stoffwechsel, besonders während der Reife und Ruhe. Ref. zu Ia., Just's Bot. Jahresber., 1897, 25. Jahrg., 143.

JOHANNSEN W., II. Über Rausch und Betäubung der Pflanzen. Naturw. Wochenschrift. Neue Folge, Bd. II, d. ganz. Reihe XVIII. 1902, 9, 97.
— — III. Das Ätherverfahren beim Frühtreiben. I. Aufl. 1900 ; II. Aufl. 1906.
JOST L., Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 1908, Vorlesung 2 und 32.
KISSLING R., Handbuch der Tabakkunde, des Tabakbaues und der Tabakfabrikation. Berlin 1905, 2. Aufl. 350, 353.
KNIGHT L. J. and CROCKER W., Toxicity of Smoke. Bot. Gaz. 1913, 55, 337.
KÜSTER E., Pathologische Pflanzenanatomie. 1903.
VAN DER LAAN P. A., Der Einfluß von Aethylen auf die Wuchsstoffbildung bei Avena und Vicia. Extrait du Recueil des Travaux Botaniques Néerlandais 1934, 31, 691.
LINSBAUER K. und ABRANOWICZ E., Untersuchungen über Chloroplastenbewegungen. Wiener Akademie, Sitzungsber. 1909, 118, 137.
LOEB J., Über die Erregung von positivem Heliotropismus durch Säure, insbesondere Kohlensäure, und von negativem Heliotropismus durch ultraviolette Strahlen. Sep.-Abdr. a. d. Arch. f. d. ges. Phys., Bonn 1906, 115, 564.
— — Chemische Konstitution und physiologische Wirkung von Alkoholen und Säuren. Biochemische Zeitschrift 1909, 23, 93.
MAIROLD F., Studien an colchicinierten Pflanzen. Protoplasma 1943, 37, 443.
MERKT P. C., Zur Kenntnis des O_g-Wertes einiger Koniferennadeln. Beilage z. Jahresbericht 1937/1938 der Stiftsschule Einsiedeln.
MOLISCH H., Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase (Aerotropismus). Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1884, 90, 183.
— — Über den Einfluß des Tabakrauches auf die Pflanze. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1911, 120, I. Teil, 3 ; II. Teil, 813.
— — Der Einfluß einer Pflanze auf die andere. Allelopathie. Jena 1937.
MÜLLER A., Vergleichende Messungen von O_g mit KNO_3 und Rohrzucker. Diss. Frib. (nicht veröffentlicht).
NELJUBOW D., Über die horizontale Nutation der Stengel von *Pisum sativum* und einiger anderen Pflanzen. Beihefte z. Bot. Centralblatt 1901, 10, 128.
PFÄLTZER J. W., Lengtekracht, groeistof en groei bij het coleoptiel van *Avena sativa*. Diss. Utrecht 1934.
PRIANISCHNIKOW D., Zur Frage der Asparaginbildung. (Vorl. Mitt.) Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1904, 22, 39.
PURKYT A., Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Einfluß des Tabakrauches auf Keimlinge. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1912, 121, 758.
RICHTER O., Pflanzenwuchs und Laboratoriumsluft. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1903, 21, 180.
— — Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1906, 115, Abt. I, 265.

RICHTER O., Über den Einfluß der Narcotica auf die Anatomie und die chemische Zusammensetzung von Keimlingen. Naturw. Rundsch. 1908, 23, 553.

— — Über Turgorsteigerung in der Atmosphäre von Narcotica. Lotos, Prag 1908, 56, 106.

— — Über das Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. Jahrbücher f. wiss. Botanik 1909, 46, 481.

— — Die horizontale Nutation. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1910, 119, 1051.

— — Über die Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit von Keimlingen durch Narkotika. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1912, 121, 1183.

ROTHERT W., Über die Wirkung des Äthers und Chloroforms auf die Reizbewegungen der Mikroorganismen. Jahrb. f. wiss. Botanik 1904, 39, 1.

SINGER M., Über den Einfluß der Laboratoriumsluft auf das Wachstum der Kartoffelsprosse. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1903, 21, 175.

STEINER R., Über Intumeszenzen bei *Ruellia formosa Andrews* und *Aphelandra Porteana Morel*. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1905, 23, 105.

TASSINARI V., Experimentaluntersuchungen über die Wirkung des Tabakrauches auf die Mikroorganismen im allgemeinen und im besonderen auf die krankheitserzeugenden. Vorl. Mitt. Zentralblatt für Bakteriologie etc. 1888, 4, 449.

THREN R., Jahreszeitliche Schwankungen des osmotischen Wertes verschiedener ökologischer Typen in der Umgebung von Heidelberg. Zeitschr. f. Bot. 1934, 26, 449.

URSPRUNG A., Eine neue vereinfachte Methode zur Messung der Saugkraft. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1923, 41, 338.

— — Zur Terminologie und Analyse der osmotischen Zustandsgrößen. Zeitschr. f. Botanik 1930, 23, 183.

— — Wasserhaushalt der Pflanzen. Handwörterbuch der Naturwissenschaften, 2. Aufl. 1935, 10, 548.

— — Die Messung der osmotischen Zustandsgrößen pflanzlicher Zellen und Gewebe. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmeth., Abt. XI, Teil 4, 1109-1572, 1938.

URSPRUNG A. und BLUM G., Über die periodischen Schwankungen des osmotischen Wertes. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1916, 34, 105.

— — Eine Methode zur Messung des Wand- und Turgordruckes der Zelle, nebst Anwendungen. Jahrbücher f. wissensch. Bot. 1924, 63, 1.

— — Zwei neue Saugkraftmethoden. I. Die Kapillarmethode zur Messung der statischen Saugkraft von Flüssigkeiten, Quellkörpern und Böden. II. Die Hebelmethode zur Messung der Saugkraft von Hartlaub und anderen schwierigen Objekten. Jahrb. f. wiss. Bot. 1930, 72, 254.

DE VRIES H., Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1884, 14, 427.

VAN DER WEIJ H. G., Der Mechanismus des Wuchsstofftransportes. Rec. Trav. Bot. Néerlandais 1932, 29, 379.

WENT F. W., Wuchsstoff und Wachstum. Rec. Trav. Bot. Néerlandais 1928, 25, 1.

WOYCICKI Z., Über den Einfluß der Laboratoriumsluft auf den inneren Bau der Kartoffelsprosse. Sitzungsber. d. Warschauerges. der Wissenschaften 1909, 30.

— — Beobachtungen über Wachstums-, Regenerations- und Propagationserscheinungen bei einigen fadenförmigen Chlorophyceen in Laboratoriumskulturen und unter dem Einfluß des Leuchtgases. Anzeiger d. Akad. d. Wissenschaften in Krakau, Math.-nat. Kl. 1909, 588.