

c Über die Wirkung ätherischer Öle und einiger verwandter Körper auf die Pflanzen.

Von Arthur Heller.

Einleitung.

Die botanische Literatur weist eine ganze Reihe von Arbeiten auf, die sich mit der Untersuchung der Wirkung ätherischer Öle auf die Pflanzen beschäftigt haben. Bereits zu Anfang des vorigen Jahrhunderts haben Göppert¹⁾, Schübler²⁾ und De Candolle³⁾ schädigende Einflüsse flüchtiger Stoffe auf den pflanzlichen Organismus beobachtet, und auch in neuerer Zeit sind vielfach derartige Untersuchungen gemacht worden. Alle Beobachter stimmen darin überein, daß die Giftwirkung sehr groß ist und schnell eintritt.

Derartige Versuche sind meist mit ätherischem Öl in Dampfform ausgeführt worden; bei Anwendung von ätherischem Öl in flüssiger Form wurde keinerlei Unterschied in der Wirkung gefunden.

Ebenso enthält die vorhandene Literatur keine Angaben über die Art und Weise des Eindringens noch über die Wege, die der Öldampf in die Zelle hinein findet.

Die tiefgreifenden Veränderungen aber, die in Gegenwart ätherischer Öle in der Zelle eintreten, lassen keinen anderen Schluß zu, als daß ein Eindringen durch die Zellmembran hindurch auch wirklich stattfindet. Daß die imbibierte Membran in der Tat für Öldampf und gelöstes Öl permeabel ist, darüber finden sich verschiedene Belege. Bereits De Candolle⁴⁾ hatte das an Umbelliferen beobachtet. Hofmeister⁵⁾ erklärte die Permeabilität als eine Folge der Durchtränkung der Membran, und zwar ist diese um so permeabler, je mehr Imbibitionsflüssigkeit sie enthält. Man muß demnach bei einer Imbibition mit ätherischem Öle gleichzeitig eine Verdrängung von Wasser annehmen. Das letztere bewies Hofmeister u. a. an den Membranen der verschiedensten Pollenkörner, die unverletzt und lufttrocken begierig ätherisches Öl aufsaugen. Im feuchten Zustand in

1) Göppert, De acidi hydrocyan. vi in plantas comm. Breslau 1827.

2) Schübler, Untersuch. über Einwirkung versch. Stoffe auf die Pflanzen. Flora 1827, pag. 753 ff.

3) De Candolle, Physiologie végétale, 1832, Bd. III, pag. 1347.

4) De Candolle, Mémoires sur la famille des Ombellifères, 1829, pag. 11.

5) Hofmeister, Lehre von der Pflanzenzelle, 1867, pag. 226, 238.

ätherisches Öl gebracht, imbibierten sie sich damit, wurden durchscheinend und schieden Wassertröpfchen aus. Eine Angabe, wie die Behandlung mit ätherischem Öle auf das Leben der Körner eingewirkt hat, fehlt gänzlich.

Weitere Beobachtungen über die Form und die Wege einer Aufnahme liegen bisher für ätherisches Öl nicht vor.

Für die Aufnahme von fettem Öl sind diese Fragen eingehend studiert worden. Angaben darüber finden sich bereits bei Sachs¹⁾, Hofmeister²⁾, Peters³⁾, Detmer⁴⁾, Pfeffer⁵⁾ u. a.; sicher erwiesen, daß in der Tat die mit Wasser imbibierte Membran für fettes Öl leicht durchdringbar ist, wurde dieses erst durch R. H. Schmidt.⁶⁾

Detmer nimmt im Anschluß an Hofmeister zwar Permeabilität an, ist jedoch der Meinung, daß die Wanderung unter Stoffmetamorphose mit nachfolgender Regeneration zu Fett stattfindet. Nach Pfeffer⁷⁾ dagegen finden Öltropfen ungelöst reichlich den Weg durch Zellwand und Plasmahaut, der Protoplast nimmt fettes Öl auf und gibt es ab; er gibt ferner an, es liegen keine Gründe vor zu bezweifeln, daß fette Öle als solche, wenn auch mit Hilfe von Emulgierung, von Zelle zu Zelle wandern. Zusammenfassende Beobachtungen über diese Erscheinungen stellte R. H. Schmidt⁸⁾ auf, der vor allem die Aufnahme und die dabei eintretenden Veränderungen studierte. Er fand, daß mit dem Mobilisieren der Gehalt an freier Säure derart zunimmt, daß das Wanderfett gewöhnlich 10—30 %, in manchen Fällen fast die Gesamtmenge der Fettsäuren in freiem Zustand enthält.⁹⁾ Schmidt kommt für die Art und Weise des Durchdringens der lebenden Membran zu dem Schlusse, daß ein in der Zellulosehaut befindlicher Körper mit den freien Fettsäuren eine seifenartige Verbindung eingeht. Diese durchtränkt die Membran und erhöht dadurch die Kapillarattraktion derselben für Fette; andererseits emulgiert sie auch einen Teil des Fettes und vermittelt auf diese Weise den Durchgang desselben.

1) Sachs, Pringsheims Jahrbücher, Bd. III, 1863, pag. 213, 251.

2) Hofmeister, l. c. p. 226.

3) Peters, Landwirtschaftl. Versuchsstationen, 1865, Bd. VII, pag. 9.

4) Detmer, Keimungsphysiologie des Samens, 1880, pag. 371.

5) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Bd. I, pag. 97.

6) R. H. Schmidt, Aufnahme und Verarbeitung usw., Flora 1891, pag. 300 ff.

7) Pfeffer, l. c. pag. 81, 97, 581.

8) R. H. Schmidt, l. c. pag. 345, 369.

9) Vgl. Pfeffer, l. c. pag. 478.

Eine solche Anschauung zieht demnach nur verseifbare Stoffe in Betracht. Da nun aber die imbibierte Membran auch für ätherische Öle permeabel ist und diese Körper unverseifbar sind, so ist hier ein anderer Modus anzunehmen. Schon aus der Giftwirkung ätherischen Öles läßt sich eine Aufnahme folgern. Über die Art und Weise einer solchen liegen bisher keinerlei Angaben vor. Ich folgte deshalb gern dem Anraten des verehrten Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Pfeffer näher an diese Fragen heranzugehen.

Zu diesen Körpern, die von der Zelle produziert werden, gehören weiterhin auch die Harze und Harzbalsame, die den ätherischen Ölen in chemischer Beziehung sehr nahe stehen. Tschirch¹⁾ hat deshalb auch für ätherisches Öl und Harz, als nie allein vorkommend, die Bezeichnung Balsam gebraucht. Neuerdings hat Tunmann²⁾ für alle drei Körper das Wort Harz eingeführt, mit der Begründung, daß sie sich im allgemeinen nur in der Konsistenz unterscheiden.

Unverseifbar sind allerdings Harze und Harzbalsame nicht, jedoch liegt die Temperatur der Harzverseifung hoch über der, die von der Pflanze vertragen werden kann. Aus diesen Gründen erwies es sich zugleich als nötig, diese Stoffe in den Kreis meiner Betrachtungen zu ziehen.

Betrachtet man nun die chemische Natur der ätherischen Öle, die aus flüssigen Kohlenwasserstoffen oder Terpenen (meist $C_{10}H_{16}$) in wechselnden Verhältnissen mit Kamphenen (meist $C_{10}H_{18}O$) bestehen, so liegt es nahe, diesen pflanzlichen Kohlenwasserstoffen solche an die Seite zu stellen, die wie Benzin, Petroleum und Paraffin Zersetzungsprodukte untergegangener Vegetationen oder aber wie Benzol und Xylol Produkte der chemischen Industrie sind.

Betrachtet man sämtliche von mir gewählten Stoffe, die unter normalen Verhältnissen alle unverseifbar sind, in ihren physikalischen Eigenschaften, so zeigen sie sich meist als Flüssigkeiten, die öllartigen Charakter tragen. Mit Wasser sind dieselben nicht mischbar, die ätherischen Öle sind jedoch in geringem Grade in Wasser löslich. Außerdem sind fast alle leicht flüchtig. Es mußte daher meine erste Aufgabe sein, die Wirkung dieser flüchtigen Stoffe in Dampfform kennen zu lernen.

Wenn man nun die Resultate betrachtet, welche die zu Anfang dieser Arbeit genannten Forscher erhielten, über deren Versuche ich noch kurz referieren werde, so läßt es sich bei den minimalen

1) Tschirch, Harze und Harzbehälter, 1900, pag. 339.

2) Tunmann, Sekretdrüsen. Dissert. Bern, 1900, pag. 8.

Mengen von Öldampf, die zur Erzielung schädlicher Wirkungen gebraucht werden, wohl annehmen, daß ein positiver mikrochemischer Nachweis von aufgenommenen Ölanteilen in der Zelle nicht zu führen sein wird. Die Tatsache des baldigen Absterbens der Pflanzen läßt aber keinerlei andere Schlüsse zu. Ebenso dürfte es ausgeschlossen sein, daß ätherische Öle und Harzprodukte die Membran in metamorphosierter Form durchdringen. Schon in Anbetracht der komplizierten chemischen Zusammensetzung dieser Körper kann man eine derartige Umwandlung als unwahrscheinlich ansehen.

Als weitere sehr bedeutungsvolle Frage erscheint die Untersuchung der Wirkung von tropfbar flüssigem ätherischen Öle auf die Pflanzen. Daß der Unterschied von dampfförmigem und flüssigem ätherischen Öle in der Tat sehr groß ist, zeigt ein Vergleich der in beiden Fällen zur Giftwirkung erforderlichen Mengen.

Diese Betrachtungen lenken aber gleichzeitig die Aufmerksamkeit hin auf die Wege, die der Dampf in die Pflanze bzw. Zelle hinein nimmt, und ebenso auf die Bedeutung, die die Cuticularisierung für die Permeabilität hat.

In Betracht zu ziehen ist dann das Verhalten der nichtflüchtigen Stoffe gegen die Pflanzen, das diese bei einer direkten Einführung zeigen. Hier würden in erster Linie Harze zu berücksichtigen sein, dann von den Kohlenwasserstoffen das Paraffin. Mit Harzbalsamen als flüchtigen Körpern müßten außer direkten Einführungsversuchen auch Beobachtungen über Dampfwirkungen angestellt werden.

Für die Harzprodukte ist die Möglichkeit einer Durchdringung der imbibierten Membran von verschiedenen Seiten bezweifelt worden; ich halte es daher für nötig, hier an dieser Stelle einige speziell diese Frage berührenden Literaturangaben zu machen.

Erst wieder in jüngster Zeit ist die Durchlässigkeit der Membran für Harz direkt bestritten worden und zwar von Tschirch.¹⁾ Dieser geht im botanischen Teil seiner Arbeit von folgendem Satze aus: „Es erscheint nicht wahrscheinlich, daß Harz und ätherisches Öl durch mit Wasser imbibierte Membranen diffundieren kann.“ Entsprechend seiner an genannter Stelle aufgestellten Theorie der Bildung von Harzbalsam und ätherischem Öl innerhalb des Sekretbehälters in einer verschleimten Membranschicht, die er „resinogene Schicht“ nennt, kommt er zu folgender Schlussfrage: „Muß man, um die Harzsekretion in den Gängen und Behältern zu verstehen, notwendig annehmen,

1) Tschirch, l. c. pag. 337.

daß Öl oder Harzbalsam durch die wassergetränkte Membran der secernierenden Zellen hindurch diffundiert?“ Er verneint nun zwar diese Frage im Anschluß an seine Theorie, jedoch erklärt er die Zellwand mehrfach für impermeabel.¹⁾ Dieselbe Meinung vertraten vor Tschirch bereits Wigand²⁾ und Karsten.³⁾ Nach ihrer Meinung ist die Entstehung des Harzbalsams im Sekretbehälter auf Umwandlung der Zellwand zurückzuführen. Diese Anschauung wurde von N. J. C. Müller⁴⁾ lebhaft angegriffen. Müller fand in allen Zellen Harz, in der Hauptsache natürlich in den Secernierungszellen; er kommt zu dem Schlusse,⁵⁾ daß „die ungemein großen Massen in solchen Behälter nicht anders hineingelangen konnten, als durch Wanderung durch viele Zellmembranen“.

Harz in den Secernierungszellen beobachtete ferner E. Schwabach.⁶⁾ Als erster hatte Meyen⁷⁾ die Bedeutung der den Harzgang bildenden Zellen als Sitz der Sekretion erkannt. Er betont als wunderbar die Ablagerung des Stoffes nach außen hin, während die Zelle doch sonst die Stoffe im Innern erzeugt und aufbewahrt. Fernerhin sprechen sich Dippel⁸⁾ und Hanstein⁹⁾ für die Durchlässigkeit der Membran aus. Letzterer kommt zu dem Schlusse, daß Harzbalsam die Cuticula, Zellhaut und Protoplasmaschlauch in Gestalt kleinster Teile zu durchdringen vermag. Bei Drüsenhaaren konstatierten Haberland¹⁰⁾, Martinet¹¹⁾, Behrens¹²⁾ u. a. ebenfalls, daß das gebildete Sekret die Zellwand zu durchwandern vermöge. Von Mayr¹³⁾ ist der Satz aufgestellt worden, daß die Zellwand nur so lange für Harz permeabel ist, als sie noch im Wachstumsprozeß begriffen ist.

1) Tschirch, l. c. pag. 338, 357.

2) Wigand, Bot. Ztg., 1850, pag. 428; Pringsheim, 1863, Bd. III, pag. 164.

3) Karsten, Bot. Ztg., 1857, pag. 317.

4) N. J. C. Müller, Untersuchungen über die Verteilung des Harzes etc. Pringsheim 1866, Bd. V, pag. 387 ff.

5) *ibid.*, pag. 421.

6) E. Schwabach, Ber. d. bot. Ges., 1900, pag. 417, 1899, pag. 295.

7) Meyen, Sekretionsorgane, 1837, pag. 18.

8) Dippel, Bot. Ztg., 1863, pag. 253. Histologie der Coniferen.

9) Hanstein, Laubknospen, Bot. Ztg. 1868, pag. 781.

10) Haberlandt, Physiolog. Anatomie II. Aufl., pag. 434.

11) Martinet, Organes de sécrétion d. vég. Annal. sc. nat. 1872 sér. 5 T. XIV, pag. 161.

12) Behrens, Ber. d. Bot. Ges., 1886, pag. 400.

13) Mayr, Das Harz der Nadelhölzer, Berlin 1894, pag. 8.

Fernerhin wäre zu untersuchen, ob die Pflanze gegen das eigene ätherische Öl etwa weniger empfindlich ist, als es fremde Pflanzen sind. Die Beobachtung, daß Pflanzen und vor allem aber Tiere durch Eigenprodukte in geringerem Maße geschädigt werden, ist für verschiedene Fälle bekannt. Für Alkaloide und andere vegetabilische Gifte sind solche Untersuchungen mit wechselnden Resultaten gemacht worden.¹⁾ Es erweist sich daher als nötig, diese Verhältnisse auch an ätherischen Ölen zu untersuchen. Erwähnt sei, daß Göppert²⁾ angibt, daß *Foeniculum*, *Anisum*, *Rosmarinum* und *Lavandula* durch das aus ihnen gewonnene Öl ebenso schnell zugrunde gehen wie durch Terpentinöl.

Zu einer letzten Frage läßt sich dies leicht erweitern. Es wäre nämlich festzustellen, ob Öldampf ausströmende Pflanzen so viel davon produzieren können, daß sie innerhalb von geeigneten Glasgefäßen die Atmosphäre so mit Öldampf anreichern, daß Schädigung eintritt und die Pflanzen gewissermaßen Selbstmord begehen.

Am Schlusse dieser einleitenden Betrachtung möchte ich die hierher gehörige Literatur kurz zusammenfassen.

Die ältesten Versuche über Schädigung durch Dämpfe flüchtiger Öle weisen auf Göppert, Schübler³⁾ und De Candolle⁴⁾ zurück. De Candolle hat Terpentinöl und Bittermandelöl in Dampfform auf Blätter einwirken lassen. Er konstatiert, daß braune Flecken entstehen und die Blätter allmählich absterben. In direkter Berührung mit den Öltropfen beobachtet er baldigen Tod. Göppert hatte Pflanzen mit ätherischem Öle getränkt, die dann in wenigen Stunden auf den vierten Teil des Volumens zusammenschrumpften. Er stellte ferner Dampfversuche mit Terpentinöl und Blausäure an Zweigen von *Prunus Laurocerasus* und *Mimosa pudica* an; bereits sechs Stunden später traten braune Flecken auf. Schübler untersuchte die schädigenden Wirkungen von Pfefferminzöl und Kampfer. Letzteren Körper in seinen Wirkungen auf die Pflanze studierten Vogel⁵⁾ und

1) Cornerin, Action de poisons sur la germination des graines d. végétaux dont ils proviennent. Compt. rend. Bd. 113, pag. 274 (1891). — de Varigny, L'atropine est-il un engrais végétal? Revue générale de Bot. 1892, Bd. IV pag. 407.

2) Göppert, l. c. pag. 45 Abs. 4.

3) Schübler, Flora 1827, pag. 753.

4) De Candolle, Physiol. vég. 1832, Bd. III, pag. 1347.

5) Vogel, Über das Verhältnis der Kampfergruppe etc. 1873. Sitz.-Ber. d. math. Classe d. Bayer. Akad. III München.

Beurier¹⁾, die in ihm ein Stimulans zu erblicken glaubten. Burgerstein²⁾ und Wilhelm³⁾ widerlegten diese Ansicht und stellten in Übereinstimmung mit Conwentz⁴⁾ und Frank⁵⁾ die schädigenden Wirkungen des Kampfers fest. Weitere Veröffentlichungen liegen vor von Treviranus⁶⁾, Nägeli⁷⁾, Detmer⁸⁾, Mesnard⁹⁾, Nobbe und Hänlein¹⁰⁾, ferner von Frank⁵⁾ und, erst bei Niederschrift dieser Zeilen in meine Hände gelangend, von Detto.¹¹⁾

Auch für Bakterien sind die Wirkungen verschiedener flüchtigen Öle untersucht worden. Flügge¹²⁾ gibt an, daß Hemmung der Entwicklung von Milzbrandbakterien schon in der Verdünnung 1:330 000 durch Senföl und (lt. Koch) durch Terpentinöl bei 1:75 000 erfolgt. Weitere Angaben machen Ometschenko¹³⁾, Chamberland¹⁴⁾ und Cadéac und Meunier.¹⁵⁾ Letztere Arbeiten klassifizieren die ätherischen Öle nach ihrer Giftwirkung speziell gegen Typhus- und Rotzbazillen. Einer Sublimatlösung 1 ‰ kommt etwa chinesisches Zimmtöl gleich, es folgen dann die Öle von *Origanum creticum*, *Thymus* und *Citrus*, später erst Terpentinöl. Weit geringer an Giftwirkung sind bei Bakterien Kampfer und Pfefferminzöl.

Literaturangaben über die Einführung einiger Kohlenwasserstoffe fanden sich nur bei R. H. Schmidt¹⁶⁾, der Versuche mit flüssigem Paraffin an höheren Pflanzen machte, und dann bei Nobbe und Hänlein¹⁷⁾, die die Wirkung einer Lösung von Lavendel- und

1) Beurier, Du camphre comme stimulant actif etc. *Revue horticole* Bd. 46. Paris 1874.

2) Burgerstein, *Landwirtschaftl. Versuchsstat.*, 1888, Bd. XXXV, pag. 9 ff.

3) Wilhelm, Einwirkung des Camphors auf die Keimkraft. (Ref. Just, *Bot. Jahrber.* 1876, pag. 884.)

4) Conwentz, *Bot. Ztg.* 1874, pag. 401.

5) Frank, *Pflanzenkrankheiten*, II. Aufl. Bd. I, pag. 330, 331.

6) Treviranus, *Physiologie der Gewächse*, 1838, Bd. II, pag. 726.

7) Nägeli, *Theorie der Gärung*, 1879, pag. 84, 85.

8) Detmer, *Üb. Zerstörung d. Molekularstrukt. d. Protopl.* *Bot. Ztg.* 1886 Nr. 30.

9) Mesnard, *Annales sc. nat.* 1893, sér. 7, Bd. 18, pag. 257.

10) Nobbe und Hänlein, *Landw. Versuchsstat.* Bd. XXI 1878, pag. 437.

11) Detto, *Bedeutung äth. Öle bei Xerophyten*, *Flora* 1903, pag. 147.

12) Flügge, *Mikroorganismen* Bd. I, pag. 473 (1896).

13) Ometschenko, *Centralblatt für Bakteriologie* Bd. IX, pag. 813.

14) Chamberland, *Les essences au point de vue de leurs propriétés antisept.* *Annal. de l'institut Pasteur* 1887, pag. 153.

15) Cadéac und Meunier, *Action antiseptique des essences.* *Annales de l'institut Pasteur* 1889, pag. 220.

16) R. H. Schmidt, l. c. pag. 329.

17) Nobbe und Hänlein, *Landw. Versuchsstat.* 1878, Bd. XXI, pag. 437.

Krauseminzöl in Benzin auf Blätter von *Prunus* und *Tilia* beobachteten.

Spezieller Teil.

Ich komme nunmehr zu den von mir angestellten Versuchen.

Von ätherischen Ölen wählte ich folgende: Pfefferminz-, Origanum-, Salbei-, Rosmarin-, Lavendel-, Eucalyptus-, Senf-, Terpentin- und Kiefernöl (= *Ol. Pini silv.*), außerdem blausäurefreies Bittermandelöl, ferner Kampfer und Thymol. Als Harze und Balsam wandte ich an: Venetianischen Terpentin (Lärchenterpentin), Colophon und Asphalt, gelöst teils in Paraffin, teils in Olivenöl. Von Kohlenwasserstoffen berücksichtigte ich: Paraffin, Petroleum, Benzin, Petroläther, Xylol und Benzol.

Als Untersuchungsobjekte benutzte ich folgende Pflanzen:

Keimlinge: *Pisum*, *Vicia*, *Cucurbita*, *Sinapis*, *Brassica*, *Mentha silvestris*, *Pinus Pinea*, *Pinus silvestris*;

Zweige und Blätter: *Salvia*, *Rosmarinum*, *Lavandula*, *Pinus pinaster*, *Pin. silv.*, *Abies pectinata*, *Tradescantia*, *Begonia parvifolia*, *Camphora offic.*, *Laurus nobilis*;

ferner *Primula sinens.* und *obconica*, *Pelargonium*;

Moose: *Bryum*, *Ceratodon*, *Barbula*;

Pilze: *Aspergillus niger*, *Penicillium glaucum*.

Methode.

Versuche über die Wirkung flüchtiger Stoffe.

Für diese Untersuchungen wählte ich eine Anzahl gleich großer Glasglocken, die auf abgeschliffene Glasplatten aufgesetzt wurden. Um den Versuchspflanzen, die in kleinen Töpfchen mit Erde oder Sägespänen gezogen waren, beim Aufenthalt unter der Glocke etwa dieselben Verhältnisse wie in freier Luft zu gewähren, mußte für Entfernung der durch die Atmung ausgeschiedenen Kohlensäure gesorgt werden. Das geschah durch Einsetzen von flachen Schälchen mit etwa 25proz. Kalilauge. Durch Verdampfen der in den Blumentöpfen und den Schälchen mit Kalilauge enthaltenen Feuchtigkeit, ferner aber auch durch die Transpiration der Pflanze selbst enthält der Raum unter der Glocke bedeutende Mengen von Wasserdampf. Um dem ätherischen Öle die Gelegenheit zur Erreichung der vollen Dampfspannung zu geben, erwies es sich als notwendig, den Wasserdampf nach Möglichkeit zu entfernen. Ich gab daher behufs Entwässerung

ein kleines Weithalsglas voll Chlorcalcium unter die Glocke, das zuvor frisch gegläht war.

Um den verbrauchten Sauerstoff wieder ersetzen zu können, verband ich die Glasglocke mit einer Vorlage, die Sauerstoff enthielt. Zur Regulierung war zwischen Glocke und Vorlage eine Quecksilbersperre eingeschaltet, deren Spiegel mit Wasser bedeckt war. Das Vorlagegefäß enthielt noch ein zweites Glasrohr, das bis zum Boden führte und durch eine fein ausgezogene Spitze das Nachsaugen von Luft in die Vorlage gestattete. Auf diese Weise wurden gleichzeitig ungünstige Spannungen innerhalb der Versuchsglocke vermieden.

Zum luftdichten Abschluß der Glocke auf der Glasplatte verwandte ich anfänglich ein Fettgemisch. Letzteres absorbiert jedoch ein gut Teil des Öldampfes, wird dadurch weichflüssig und verbreitet sich über die ganze Platte hinweg. Ich nahm später in fast allen Fällen Glycerin. Das erreichte Resultat entsprach im allgemeinen den Erwartungen. Wenn durch Anwesenheit reichlicher Mengen von austrocknenden Stoffen, wie Chlorcalcium oder gebranntem Kalk, für genügende Entfernung des Wasserdampfes in der Glocke gesorgt wurde, so fand keine wesentliche Absorption von Öldampf statt. Erst durch einen gewissen Wassergehalt wird das sehr hygroskopische Glycerin befähigt Öldampf in sich aufzunehmen. In kritischen Fällen wurde deshalb Kobaltpapier zur Feststellung des Feuchtigkeitsgrades herangezogen.

Das Einbringen von flüchtigen Stoffen geschah meist so, daß fächerartig gefaltetes Fließpapier mit dem betr. Körper getränkt wurde. Die große Oberfläche gestattet ein schnelles Erreichen der Dampfspannung. Bei festen Körpern, wie Kampfer und Thymol, welche dampfförmig wirken sollten, nahm ich Uhrschalen, beschickte dieselben mit einigen Stücken des betr. Körpers, übergoss zur Gewinnung einer großen Oberfläche mit einem Lösungsmittel und ließ dasselbe dann schnell abdunsten.

Bei allen von mir angestellten Versuchen war es nötig, Kontrollpflanzen in ölfreien Glocken zu halten, da immerhin eine Schädigung bei den veränderten Lebensbedingungen möglich war.

Der Platz, der den Glocken angewiesen wurde, war ein Ostfenster für die selbst Öl produzierenden Pflanzen, während bei allen Versuchen mit künstlicher Zufuhr der flüchtigen Stoffe die Glocken im Zimmer, den Sonnenstrahlen nicht direkt erreichbar, standen.

Als Kriterium für eingetretene Schädigungen diente bei Massenkulturen der Augenblick des Absterbens von mindestens der Hälfte

der Pflanzen. Bei Einzelpflanzen nahm ich als Markstein die Dunkel-färbung und die Schrumpfung des Protoplasmas bei mikroskopischer Untersuchung an. Bei Begonia konnte aufer der Verfärbung noch die Infiltration des Hautgewebes und das dadurch bedingte Durch-scheinendwerden als Moment des Absterbens betrachtet werden.

Versuche über die Aufnahme von Harz und Balsam.

Bei den Versuchen der Einführung dieser Stoffe bediente ich mich der Lösungen derselben in Olivenöl sowie in Paraffin.

Die zur Verwendung gelangenden Keimpflanzen wurden mit Ausnahme der Coniferen im Dunkeln erzogen, um Ergrünen zu verhindern, ferner um Bildung transitorischer Stärke und aller solcher Körper nach Möglichkeit auszuschließen, welche die Beobachtung des Zellinhalts erschweren konnten. Gezogen wurden die Pflanzen in Töpfen mit Sägespänen; um sie zur Aufnahme geeigneter zu machen, stellte ich dadurch einen gewissen Hungerzustand her, daß ich nach dem Auskeimen die Hälfte der Kotyledonen wegschnitt, wodurch die Reservestoffe bald zu Ende gingen.

Derart behandelte Keimpflanzen von *Pisum*, *Vicia faba* und *Cucurbita* stellten Exemplare von 30—40 cm Höhe dar und diese bildeten bei hinreichender Bewässerung ein sehr gutes Arbeitsmaterial. — Die Einführung selbst geschah in der von R. H. Schmidt¹⁾ angegebenen Methode. In die Pflanze wurde ein etwa centimeterlanger Längs-schnitt durch die Mitte des Stengels mittels eines spitzen, scharfen Messers gemacht und zwar oberhalb des untersten Knotens. In den entstandenen Spalt führte ich einen Streifen Fließpapier ein, dessen eine Hälfte trocken war; nach dem Vollsaugen mit der reichlich auf-tretenden Blutungsflüssigkeit wurde das Papier bis zur anderen Hälfte durchgezogen, die mit der einzuführenden Lösung getränkt war. Zur Erleichterung des Auffindens der Tröpfchen wurden die Einführungs-flüssigkeiten meist gefärbt; als bester Farbstoff erwies sich dazu Al-kannin. Zur Anwendung kamen auferdem Chlorophyll und Cyanin. Bei der späteren Untersuchung der etwa 8—15 cm über der Einfüh-rungsstelle entnommenen Schnitte benutzte ich zur Erkennung des Harzes teils die Unverdorben-Franchimont'sche Methode, teils nahm ich Cyanin zur Differenzierung.

Die genannte Methode des Harznachweises besteht in einem mindestens achttägigen Einlegen des möglichst zerkleinerten Materials

1) R. H. Schmidt, l. c. pag. 321.

in eine gesättigte Kupferacetatlösung.¹⁾ Bei Vorhandensein von Harzen bilden diese ein intensiv grün gefärbtes Kupfersalz.

Einführungsversuche von Paraffin in Moose.

Derartige Versuche wurden mit *Bryum caespitium*, *Barbula muralis* und *Ceratodon purpureus* vorgenommen, also Objekten, die das Austrocknen vertragen.

Die Vorversuche an trockenem Material machte ich derart, daß ich die Moospflänzchen im Warmzimmer an der Luft austrocknen liefs. Bevor ich diese nun in Schälchen mit alkannarotem Paraffin hineingab, überzeugte ich mich an verschiedenen Exemplaren, ob nach Einweichen in Wasser und darauffolgendem Behandeln mit Salpeterlösung auch deutliche Plasmolyse eintrat, die dann durch Wiederbehandeln mit Wasser zurückgehen mußte. Beim Einbringen in Paraffin saugten sich die trockenen Pflänzchen sofort damit voll und wurden von anhaftender Luft durch Auspumpen befreit. Nach dreistündigem Verbleiben im Paraffin wurden die ersten Probepflanzen daraus entnommen, auf Fließpapier abgetupft und wieder in Wasser überführt.

Aufser diesen getrockneten verwandte ich vor allem frische Exemplare. Die Behandlung war hierbei folgende: Auf einen Objektträger wurde ein Glasring aufge kittet, der entstandene Raum mit Paraffin gefüllt und mit einem Glimmerplättchen bedeckt. Dieses Plättchen war mehrfach fein durchlöchert; durch seine Öffnungen steckte ich frische Moospflänzchen ohne Wurzel in nur kräftigen Exemplaren derart ein, daß die Schnittstelle ins Paraffin hineintauchte. Ich machte mehrere solche Objektträger fertig und stellte sie teils staubgeschützt frei auf, teils brachte ich dieselben in einer feuchten Kammer unter. Im ersteren Falle traten bald Schrumpfungen ein, trotzdem die Präparate kühl standen. Die feuchtgehaltenen Moospflänzchen blieben turgescent und erschienen äußerlich mit kleinen Paraffintröpfchen bedeckt. Sie wurden deshalb leicht mit Fließpapier abgetupft, dann eine Zeitlang in Wasser gelegt und schließlich mit Hilfe von Plasmolyse etc. untersucht.

Versuche über Wachstum von Pilzen in Gegenwart von Kampfer.

Die Versuchsanordnung hierbei war folgende: Die Erlenmeyerschen Kölbchen, die eine der üblichen schwach sauren Nährflüssig-

1) Vgl. Zimmermann, Mikrotechnik 1892, § 145, pag. 88.

keiten enthielten (C-quelle = Zucker 3 ‰, N-quelle = Pepton $1\frac{1}{2}$ ‰), wurden mit Wattepfropfen verschlossen. Zur Impfung dienten Sporen von *Aspergillus niger* und *Penicillium glaucum*. Die Kölbchen setzte ich unter Glocken, die luftdicht in der früher beschriebenen Weise abschlossen und mit einem Schälchen beschickt waren, das den Kampfer teils fest, teils in Form von Kampferwasser enthielt. Letzteres hatte ich derart dargestellt, daß Kampfer zerrieben in eine gut schließende Flasche voll Wasser gegeben wurde und unter gelegentlichem Schütteln längere Zeit stehen blieb. Ihren Platz fanden die Glocken im Warmzimmer.

Bei den Versuchen, bei denen gleich mit der Impfung Kampferwasser zugesetzt wurde, erhielt ich anfänglich bakterielle Trübungen. Das Kampferwasser gleich mit der Nährlösung zusammen zu sterilisieren, war kaum möglich, da hierbei der Verlust an Kampfer zu groß gewesen wäre. Ich half dem so ab, daß ich in die betr. Kölbchen von Anfang an zu dem aus Nährlösung und Kampferwasser bestehenden Inhalt etwas festen Kampfer gab. Diesen Kampfer tauchte ich dadurch unter, daß ich ihn in ein kleines mit Glaskügelchen beschwertes Siebdöschen steckte, das völlig unter dem Flüssigkeitsspiegel lag. Dadurch wurde gleichzeitig eine direkte Berührung zwischen Kampfer und Sporen verhindert.

Versuche über die Wirkung ätherischen Öles auf Drüsenhaare.

Die Untersuchung des Einflusses von flüchtigem Öle auf Drüsenhaare geschah derart, daß Schnitte durch die Teile der drüsenhaartragenden Pflanzen gemacht wurden. Diese Schnitte wurden mit sehr wenig Wasser so auf Deckgläser aufgesetzt, daß die Haare in Berührung mit der Luft blieben. Andererseits hatte ich Glasringe mittels Wasserglas auf Objektträger festgekittet. Innerhalb dieser Ringe befanden sich aus ungeleimtem Kartonpapier ausgeschnittene Scheiben, die mit ätherischem Öle getränkt waren. In der Mitte der Papierscheiben war ein Loch ausgestanzt, das genügend groß war, um Licht für mikroskopische Untersuchungen durchzulassen. Auf derart vorbereitete Glasringe setzte ich die Deckgläser mit den Schnitten auf, nachdem vorher der abgeschliffene Rand des Ringes mit Vaseline eingefettet war, um einen möglichst luftdichten Verschluss und die volle Dampfspannung zu erreichen.

Versuche einseitiger Öldampfwirkungen und Studium der eingeschlagenen Wege.

Bei allen bisherigen Versuchen war stets eine allseitige Zufuhr der flüchtigen Untersuchungstoffe in Anwendung gekommen. Um nun auch einseitige Einwirkungen beobachten zu können, verfuhr ich folgendermaßen: Blätter von *Tradescantia* wurden mit einem ziemlich (ca. 3—4 cm) langen Stengel in ein wassergefülltes Gläschen mit durchbohrtem Stopfen fest eingesteckt. Die Spitze des Blattes wurde in einem gespaltenen Kork, der in entsprechender Entfernung auf einem zweiten Fläschchen saß, leicht eingeklemmt, derart, daß das Blatt seine Spreite vertikal darbot. Gegen diese Blattoberseite wurde ein Weithalsglas mit der Öffnung leicht ange-drückt, das mit terpen-tinölgetränkten Fließpapierstreifen angefüllt war. Eine direkte Berührung zwischen Blatt und Öl war so ausgeschlossen, ein leichtes Einfetten des Glasrandes mit Vaseline schützte vor größeren Verlusten an Terpen-tindampf. Einen leichten Gegendruck auf der Rückseite des Blattes erzielte ich durch einen lockeren Wattebausch, der ebenfalls in einer Flasche befestigt war.

Um das Durchdringen des Öldampfes durch Zwischenschichten zu beobachten, wurde ein Stück dünnsten sog. Seidenpapiers, sowohl trocken als auch genäßt, zwischen Blatt und Glasöffnung eingeschaltet. In derselben Weise wurden auch Kartoffelschalen und ebenso die Rinde von *Cytisus Laburnum* benutzt.

Ferner stellte ich Versuche an, bei denen *Tradescantiablätter* mit Gelatineüberzug versehen waren, der, um Austrocknen und Spaltbildung zu verhüten, einige Tropfen Glycerinzusatz erhielt.

Bemerkt sei noch, daß alle diese Versuche bei einer Temperatur von 17° C. vorgenommen wurden.

Versuchsergebnisse.

Die ersten Versuche, die ich anstellte, betrafen Untersuchungen über die Wirkung verschiedener ätherischen Öle auf Keimpflanzen von *Brassica nigra* und *Sinapis alba*.

Die Töpfchen, die in die nach oben angegebener Methode vorbereiteten Glocken eingesetzt wurden, enthielten Massenkulturen, ca. 40 Stück per Glocke, und zwar etwa 14 Tage alte, 10—12 cm hohe Pflänzchen.

Das erste Zeichen des Eindringens von ätherischem Öldampf war eine fahle gelbliche Färbung, die allgemein sehr schnell eintrat. Allmählich wurden die Anzeichen des Hinsterbens deutlicher, die

Blätter färbten sich bräunlich bis braun, und bald brachen die Pflänzchen zusammen. Äußerlich erschienen sie mit kleinen Tröpfchen bedeckt, die deutlich saure Reaktion zu erkennen gaben. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, daß die Zellen tot waren. Das Protoplasma hatte sich unregelmäßig zusammengezogen, und die hellgrüne Farbe der Chlorophyllkörner war in schmutziggelb übergegangen.

Den abgestorbenen Pflanzen haftete auch nach stunden-, selbst tagelangem Stehen noch ein deutlicher Geruch nach dem zur Anwendung gekommenen ätherischen Öle an. Ein mikrochemischer Nachweis dafür, daß ätherisches Öl ins Zellinnere gelangt war, ließ sich bei den geringen Mengen nicht erbringen, doch läßt die Erscheinung des Absterbens kaum einen anderen Schluß zu. In nachstehender Tabelle sind die Wirkungen verschiedener ätherischer Öle auf Sinapis und Brassica zusammengestellt; die Versuche wurden bei einer ungefähren Temperatur von 17° C. vorgenommen, direkte Besonnung war ausgeschlossen. Die Zeitangaben ergeben die Dauer des Versuches bis zum Absterben in Stunden ausgedrückt:

Tabelle I. — Zeitdauer der Versuche bis Eintritt des Todes.

Ätherisches Öl	Sinapis (in Stunden)	Brassica (in Stunden)
Eucalyptus globulus	5	5—6
Citrus vulgaris	5	6
Salvia officinalis	36	40
Thymus vulgaris	32	32
Origanum vulgare	27	30
Mentha piperita	32	33
Pinus silvestris	5½—6	6
Bittermandelöl (HCy-frei)	5½—6	6
Terpentinöl	4½—5	5
" (20 0/0) mit Colophon	130	—
" (40 0/0) " "	32	32
" (25 0/0) " Olivenöl	92	—
" (50 0/0) " "	28	34
Lärchenterpentin 1) (Terebinthina laricina)	165	—
Kampfer	18	20
Thymol	8	8

1) Der Lärchenterpentin enthält nach neueren Bestimmungen 15—16 0/0 eines leichtflüchtigen u. 5—6 0/0 eines schwerflüchtigen Öles [nach Tschirch u. Weigel 1).]

1) Tschirch u. Weigel, Über Harzbalsam von Larix decidua etc. Archiv für Pharmacie Bd. 238, 1900, pag. 387 ff. (pag. 408).

Fernerhin untersuchte ich die Einwirkungen einiger flüchtigen Stoffe auf verschiedene andere Pflanzen. Mit Ausnahme von *Vicia faba*, die in Töpfchen mit Sägespänen gezogen war, kamen abgeschnittene Zweigstücke in Gläsern mit feuchtem Sand gehalten zur Verwendung. *Pinus Pinea* wurde in Form von etwa sechs Wochen alten Keimpflanzen zum Versuch herangezogen.

Tabelle II.

Untersuchungspflanze	Flüchtiger Körper	Zeit des Absterbens (in Stunden)
<i>Tradescantia viridis</i>	<i>Pinus silvestris</i> -Öl	11—12
„ <i>zebrina</i>	„	12
„ „	Terpentinöl	10
„ <i>viridis</i>	„	12
<i>Salvia officinalis</i>	„	22
<i>Mentha piperita</i>	„	24
<i>Begonia parvipeltata</i>	Thymol	14
<i>Pinus Pinea</i>	Kampfer	72
		(Stengel noch nicht tot)
<i>Abies pectinata</i>	„	122
<i>Laurus nobilis</i>	„	80
<i>Vicia faba</i>	„	42 (unterer Teil des Stengels noch nicht tot)
<i>Origanum vulgare</i>	Senföl	18
<i>Lavandula vera</i>	„	22
<i>Mentha piperita</i>	„	19—20
„ „	Zitronenöl	23
<i>Origanum vulgare</i>	„	24
<i>Lavandula vera</i>	„	27
<i>Pinus silvestris</i>	Terpentinöl	56 (63)
<i>Pinus Pinaster</i> (Treibhaus) . .	<i>Pinus silvestris</i> -Öl	{ 24 Beginn 42 Ende

Bei längerer Aufbewahrung nehmen die ätherischen Öle Sauerstoff aus der Luft auf; einen Teil des O₂ wandeln sie in Ozon (O₃) um. Ein typisches Beispiel hiefür bildet das Terpentinöl, das bei Zutritt von Licht und Luft stets einen Gehalt an Ozon erkennen läßt. Diese Tatsache mußte bei meinen Untersuchungen berücksichtigt werden; denn noch ganz abgesehen von dem schon im Öl vorhandenen Ozon bot die Anordnung meiner Versuche alle zur Ozonbildung nötigen Bedingungen. Und welch bedeutende Giftwirkung Ozon allein schon auf die Zelle auszuüben vermag, hat bereits Pfeffer¹⁾ gezeigt.

1) Pfeffer, Beiträge zur Kenntnis der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen, 1889, pag. 55.

Ich versuchte daher das etwa vorhandene Ozon in Glocken mit Terpentinöl nachzuweisen, die stundenlang im Sonnenlicht gestanden hatten. Zu diesem Zwecke befestigte ich Streifen feuchten Jodkaliumstärkepapiers in der Glocke. Das Resultat war eine Bräunung des Papiers, die in der Richtung auf das Terpentinschälchen zunahm und an den Konturen braunschwarz war. Diese durch den Terpentindampf veranlafste Zersetzung, deren Grund mir unbekannt ist, trat unabhängig vom Licht auch in der verdunkelten Glocke ein. Dementsprechend hatte auch die Reaktion mittels durch Jodkalium genetzten Lakmuspapiers denselben Erfolg.

Das zur Untersuchung auf Ozon von Wurster¹⁾ vorgeschlagene Tetrapapier (Tetramethylparaphenylendiaminpapier $C_6H_4[N(CH_3)_2]_2$) gibt ebenso wie das aus der Lösung der Dia-base hergestellte Diapapier im angefeuchteten Zustande die charakteristische Bläuung auch über Wasserstoffsuperoxyd.

Erst Guajakpapier, das analog dem Verfahren von Schaer²⁾ zur Darstellung von Guajakblau verfertigt war, liefs Ozon erkennen, während es über H_2O_2 unverändert blieb. Die an sich geringe Bläuung trat erst nach längerem Stehen ein; bei Versuchen, die abends bei hereinbrechender Dämmerung mit frischem, in dunkler Flasche bewahrtem Terpentinöl angesetzt wurden, war am nächsten Morgen noch keinerlei Veränderung eingetreten. Erst der Einfluß der Mittagssonne rief einige Reaktion hervor. — Ich glaube deshalb das Absterben der Pflanzen im Öldampf bei diffusem Licht in der Hauptsache auf eine Giftwirkung des vorhandenen flüchtigen Öles zurückführen zu können. Ich erinnere an den in Tab. I erwähnten Versuch, bei dem Sinapis bereits nach 5 Stunden im Terpentindampf abstarb. Die Vornahme desselben Versuches in der Dunkelkammer ergab keinerlei Verlangsamung und bestätigte obiges Resultat.

Das zur Untersuchung benutzte Guajakpapier wird derart hergestellt, dafs man Fließpapier mit einer Lösung von Guajakharz in Chloroform (1:200) tränkt. Bei längerer Aufbewahrung empfiehlt es sich das Licht auszuschliessen.

Es sei gestattet, im Anschluß hieran zu bemerken, dafs das Guajakpapier über H_2O_2 nach Zusatz minimaler Mengen eines als

1) Wurster, Bestimmung der oxydierenden Kraft der atmosphärischen Luft. Berichte der chemischen Gesellschaft Bd. 1888, pag. 923.

2) Schaer, Das Guajakblau und Aloinrot. Chemikerzeitung 1900 (Nr. 79), pag. 842. Ferner Archiv für Pharmacie 1900, Bd. 238, pag. 279 ff.; ibid. 1901, Bd. 239, pag. 610 ff.

Katalysator wirkenden Metallsalzes, wie Ferrocyankalium, sofort gebläut wird.

Weitere Untersuchungen betrafen die Wirkungen, die ätherisches Öl auf die Pflanzen ausübt, aus denen es dargestellt wird.

Pinus silvestris kam in Form abgeschnittener junger Zweige, dann als 8—10cm hohes Keimpflänzchen und schließlich als ganze Pflanze zur Anwendung, die ich in Exemplaren von 15—25cm Höhe und schon holzigem Stämmchen der Letzlinger Heide entnommen hatte.

Tabelle III. — Zeitdauer des Absterbens von Pflanzen im eigenen, künstlich zugeführten Öldampf.

Name der Pflanze	Absterben in Stunden	Name der Pflanze	Absterben in Stunden
Sinapis alba (Keimpflanze)	7	Origanum vulgare . . .	76
Mentha piperita (")	74	Lavandula vera . . .	140
Pinus silvestris (zarte ")	22	Camphora officin. . . .	60
" " (kräftige ")	75	Citrus vulgaris	60
" " (Zweige) . . .	66		

Für die letzte Versuchsgruppe lautete die Frage dahin, ob es möglich sei, daß eine ätherisches Öl liefernde Pflanze so viel davon produziert, daß dieses bei entsprechender Versuchsanordnung durch eine reichliche Ansammlung unter der Glocke auf die Pflanze selbst schädigend einwirkt. Zu jeder Versuchspflanze wurde zur Kontrolle noch eine Kultur Brassica mit unter die Glocke gegeben. Die Versuche wurden stets gleichzeitig mehrmals angestellt. Ferner sei bemerkt, daß die Versuche an hellen Tagen des Juni und Juli im Zimmer von durchschnittlicher Temperatur von 17—18° C. vor sich gingen.

Tabelle IV. — Versuche über die Möglichkeit einer Selbstschädigung.

a) Ölpflanze, b) Kontrollpflanze	Absterben nach Tagen
{ a) Dictamnus	{ 12 Tage
{ b) Brassica	{ gelb am 4. Tg., verkümmerte dann.
{ a) Salvia	{ 11 Tage
{ b) Brassica	{ 3¾ Tage
{ a) Mentha piperita	{ 11 Tage
{ b) Brassica	{ 5 Tage
{ a) Pinus silvestris	{ beide unverändert nach Been-
{ b) Brassica	{ digung sämtlicher Versuche.
{ a) Camphora offic.	{ 15 Tage
{ b) Brassica	{ schwach gelb am 7. Tage.

Die in dieser Übersicht gegebenen Zahlen geben zwar die Tage des Absterbens an, doch kann als Ursache des letzteren nicht ohne weiteres der schädigende Einfluß des Öldampfes daraus abgeleitet werden. Um die Möglichkeit einer baldigen Dampfsättigung zu haben, war es nötig, die Glocken nicht zu groß zu wählen (Inhalt ca. 2,5 l). Deshalb konnte ich aber auch nur mit abgeschittenen Stengeln erwachsener, im Vollbesitz des ätherischen Öles befindlicher Freilandpflanzen operieren. Kleinere Exemplare, die ich in Töpfen gezogen hatte, hatten geringen Ölgehalt und waren deshalb zu meinen Versuchen ungeeignet. Nun halten sich zwar abgeschnittene Pflanzenteile in feuchten Sand gesteckt in freier Luft sehr gut, 14 Tage und länger, ohne Schrumpfungen und Braunwerden der Blätter. Bei *Dictamnus* aber erwies die Anstellung eines weiteren Versuches in offener Glocke, daß ein Aufenthalt in Glocken auf längere Zeit nicht vertragen wird. Vom neunten Tage an treten selbst hier gewisse Krankheitserscheinungen auf, trotz genügender Bewässerung Runzligwerden der Blätter, Schwarzfärbung geringfügiger Verletzungen. Vor allem aber zeigte sich die Tatsache, daß bei gelegentlichen Riechproben allmählich der sehr starke Geruch des *Dictamnus*öles verschwunden war; schon am vierten Tage hatte derselbe aufgehört. Weniger empfindlich erwiesen sich die in gleicher Weise untersuchten Labiaten *Salvia* und *Mentha*. Zwar zeigten auch hier Versuche bei offener Glocke nach längerer Dauer die herabgesetzte Lebenstätigkeit, geringere Turgescenz, doch wurde die Ausscheidung von Dämpfen ätherischen Öles erst später als bei *Dictamnus* verringert. Wie Tab. IV zeigt, starben die Kontrollpflanzen bei *Salvia* nach 4, bei sehr kräftigen Exemplaren sogar schon $3\frac{1}{2}$ Tagen, bei *Mentha piperita* erst nach 5 Tagen. Das Absterben der zur Kontrolle verwandten Brassicakulturen zeigt sehr deutlich den schädigenden Einfluß des von den Ölpflanzen abgegebenen Öldampfes; das Absterben der Ölpflanzen möchte ich dagegen nicht auf eine Selbstvergiftung zurückführen, vielmehr scheint es, als ob mit einer beginnenden Schädigung überhaupt die Ölabgabe aufhört. Der Tod wäre demnach nur durch die ungünstigen Lebensbedingungen zu erklären.

Versuche über Aufnahme von Harz und Balsam.

Als Untersuchungsmaterial hiefür benutzte ich etiolierte Keimpflanzen von *Pisum sativum*, *Vicia faba* und *Cucurbita Pepo*, außerdem noch *Pinus silvestris*. Zur Einführung in die Pflanzen dienten von Balsamen Lösungen des Lärchenterpentins, der an sich schon

ca. 20 % flüchtiges Öl enthält, aber trotzdem noch zu zähflüssig ist, um mittels Papierstreifen in die Stengeleinschnitte eingeführt zu werden. Als Lösungsmittel benutzte ich Terpentinöl, Olivenöl und Paraffin, und zwar setzte ich diesen 40 % Balsam zu. Bei den Pflanzen, die mit ätherischer Terpentinauflösung behandelt waren, machte sich bald ein Aufsteigen der zuvor rotgefärbten Lösung bemerkbar; jedoch schon nach wenigen Stunden zeigten sich die verletzten Partien des Stengels bräunlich gefärbt, sie wurden weich, und die Pflanze knickte an der Einführungsstelle um.

Querschnitte zeigten alle Zellen als abgestorben, die Lücken zwischen den letzteren enthielten die rötlichen Tropfen der Einführungsflüssigkeit. Im Innern der geschrumpften Zellen waren jedoch derartige Tröpfchen nicht nachzuweisen. Ebenso schädigenden Einfluß, wenn auch erst nach späterer Zeit, rief auch die Einführung der ätherischen Balsamlösung in gespaltenen *Pinus silvestris*-Zweigen hervor.

Ich löste deshalb den Balsam in Olivenöl, und die Behandlung hiermit wurde 2--3 Tage ohne besondere Schädigung ertragen. Am vierten Tage aber machten sich alle Anzeichen des Verfalls geltend. Bei diesen Versuchen zeigte es sich als praktisch, den Längsschnitt nicht durch die Mitte, sondern mehr seitlich durchs Parenchym zu führen. Bei mäßiger Balsamzuführung wurde dann nur die kleinere Hälfte davon durchdrungen, während die größere Hälfte frisch blieb und zur genügenden Wasserversorgung beitrug.

Ausgesucht kräftige Exemplare von *Pisum* und *Cucurbita* wurden nach zwei Tagen untersucht. Ich fertigte Längsschnitte der über der Einschnittsstelle liegenden Partien an. Diese Schnitte behandelte ich mit Cyaninwasser, das durch Mischen von einigen Tropfen alkoholischer Cyaninlösung mit viel Wasser bereitet war. Dabei konnte ich zwar eine dunkelblaue Färbung des Intercellularinhalts konstatieren, jedoch enthielten die Zellen im Innern nur kleine lichtbrechende Tröpfchen, die ungefärbt erschienen. Es lag hierbei nun die Möglichkeit vor, daß der Farbstoff die Zellwand nicht so schnell oder gar nicht passieren kann und deshalb die Blaufärbung ausgeblieben war. Andererseits konnte es aber auch sein, daß eine Trennung der eingeführten Flüssigkeit in fettes Öl und Balsam stattgefunden hatte. Untersuchung der Tröpfchen mittels Osmiumsäure ergab eine Schwarzfärbung als Reaktion für Fett, eine Tatsache, die im Einklang steht mit den von R. H. Schmidt¹⁾ gemachten Beobachtungen, daß fette

1) R. H. Schmidt, l. c. pag. 317 ff.

Öle leicht von der lebenden Zelle aufgenommen werden. Diese Schwärzung liefs jedoch keine Schlüsse auf das gänzliche Freisein des Oles von harzigen Bestandteilen zu. Erst durch Behandeln zerschnittener Stengelteile mit konzentrierter Kupferacetatlösung nach Unverdorben-Franchimont'scher Methode gelang es sicher nachzuweisen, dafs die Öltropfen keinerlei Harz enthielten.

Die Behandlung mit Paraffinauflösung des Balsams erzielte ein betreffs Aufnahme in die Zelle völlig negatives Ergebnis. Selbst vom Paraffin waren keine Spuren in den Zellen aufzuweisen, und alle weiterhin angestellten Versuche der Einführung von 20proz. Colophon- und Asphaltauflösung in Olivenöl und Paraffin bestätigten das obengenannte Resultat. Gegenversuche nur mit Paraffin zeigten selbst 15—20 cm über der Einschnittstelle in den meisten Intercellularen perl-schnurartige Aneinanderreihungen von Paraffintropfen. In den Zellen selbst war nichts davon nachzuweisen, ein Resultat, welches auch die diesbezüglichen Angaben von R. H. Schmidt¹⁾ bestätigt.

Die Behandlung mit Paraffin und Colophon wurde in einzelnen Fällen mehrere Tage hindurch von den Pflanzen ausgehalten, wenn eben der Schnitt so geführt war, dafs die Durchtränkung der Schnittstellen mit der Harzlösung keine vollständige war, sondern wenigstens in einer Hälfte die Wasserzufuhr aus dem Boden gestattetetc.²⁾ Erwähnen möchte ich noch, dafs von colophonhaltigem Olivenöl die Hauptmenge des Fettes nach mehreren Tagen in die Zellen aufgenommen ist; der harzige Rest dagegen bildet allmählich in den Intercellularräumen kleine Kristalle von Nadelform, die vermutlich aus den Harzsäuren des Colophons, wie Abietin-, Silvin- und Pininsäure, bestehen.

Versuche mit Kohlenwasserstoffen.

Um die Wirkung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen auf die Pflanze zu beobachten, stellte ich Versuche mit Kulturen von Sinapis und Brassica unter Glocken an und zwar in der bei den Untersuchungen über Öldampf angegebenen Weise.

Von Kohlenwasserstoffen der Reihe C_nH_{2n+2} benutzte ich Petroläther, Benzin und Petroleum, die als Gemenge verschiedener Kohlenwasserstoffe anzusehen sind und nach ihren Siedepunkten getrennt werden. Von denen der Reihe C_nH_{2n-6} wählte ich Benzol und Xylol. Ausserdem zog ich noch zwei andere aromatische Körper, Anilin und

1) R. H. Schmidt, l. c. pag. 329.

2) Pfeffer, Physiologie, II, Bd. 1, pag. 204 Anmerk. 2.

Phenol, zum Vergleich heran, deren Siedepunkt wenig oberhalb dem der meisten ätherischen Öle liegt. Die Ergebnisse habe ich in folgender Übersicht zusammengestellt:

Tabelle V. — Zeitdauer der Versuche bis zum Absterben.

Kohlenwasserstoff	Sinapis (in Stunden)	Brassica (in Stunden)
Petroläther	16	18—19
Benzin	18	20
Petroleum	152	156
Benzol	3½	3½—4
Xylol	4½	5
Anilin	(5)	(5)
Phenol	(12)	(12)

Ich untersuchte fernerhin die Einwirkung eines hochsiedenden (360 ° C.) Kohlenwasserstoffes, des flüssigen Paraffins. Um das Eindringen der farblosen, ölartigen Flüssigkeit leicht beobachten zu können, wählte ich als Untersuchungsmaterial einige Moose, deren dünne Blättchen ohne weiteres eine mikroskopische Untersuchung erlauben. Bei den Experimenten mit trockenem Material waren zwar nach 3—4stündigem Aufenthalt in gefärbtem Paraffin die Pflänzchen völlig damit durchtränkt, jedoch das nach dem Abtupfen mit Fließpapier vorgenommene Einwässern änderte das gänzlich. Die künstlich untergetauchten Pflänzchen imbibierten sich sofort mit Wasser und deutlich sah man kleine rote Tröpfchen aufsteigen und sich oben ausbreiten.

Nach mehrstündigem Liegen im Wasser ergab die mikroskopische Untersuchung, daßs nur einige wenige Zellen Paraffintropfen enthielten. Behandlung mit 5proz. Salpeterlösung zeigte, daßs es sich in solchen Fällen um Zellen mit nicht mehr lebendem Plasma gehandelt hatte. Auch die Versuche an frischen Moospflanzen ergaben kein anderes Resultat. Durch die Leitbündel war, wie sich auch makroskopisch beobachten liefs, reichlich Paraffin in den Stengel aufgestiegen. Die mikroskopische Untersuchung bewies, daßs die Inter-cellulargänge reichlich mit Paraffin gefüllt waren, ein Eindringen von Tröpfchen war nur sporadisch zu konstatieren und dann stets zwischen Zellwand und abgehobenem Plasma. Ähnliche Bilder, wie sie die Behandlung von Bryum mit Ölsäure ergibt, waren nicht zu erzielen.

Ich möchte also die Frage einer Paraffinaufnahme in die lebende Zelle verneinen.

Um auch den Einfluss von Paraffin auf Pilze und eine event. Aufnahme desselben zu untersuchen, gab ich zu anorganischen Nährsalzlösungen, die mit *Aspergillus niger* geimpft waren, als einzige Kohlenstoffquelle einen Tropfen Paraffin, ebenso zu gleichen Kulturen eine Spur von 10proz. bzw. 30proz. Colophonlösung in Paraffin. In keinem der genannten Fälle trat Mycelbildung ein. Um die Möglichkeit auszuschließen, daß die Sporen mit dem auf dem Wasser ausgebreiteten Paraffin sich überziehen und dadurch am Auskeimen behindert werden, übertrug ich in anderen Versuchen noch nicht fruktifizierende Mycelfäden in die Kulturen. Wenn diese Pilzfäden vorher in destilliertem Wasser abgespült waren, so trat keinerlei Wachstum oder Fruktifikation ein. Eine Paraffinaufnahme war also auch bei Pilzen unmöglich.

Wachstum von Pilzen in Gegenwart von Kampfer.

Hatten die eben geschilderten Versuche ergeben, daß Paraffin für Pilze nicht als Kohlenstoffquelle nutzbar gemacht werden kann, so lag der Gedanke nahe, zu diesem Zwecke flüchtige Stoffe zu wählen, um gleichzeitig dadurch die Wirkungen derselben auf Pilze feststellen zu können. Versuche mit Kampfer in Stücken führten ebenfalls nicht zum Auskeimen der *Aspergillus*sporen. Es erwies sich daher als nötig, die Sporen erst auskeimen zu lassen und den Kampfer auch nur in Form verdünnter Lösung anzuwenden. In den Glocken fanden außer den Kulturkölbchen noch Schalen mit Kampfer oder Kampferwasser Platz.

Tabelle VI.

KW = Kampferwasser; 1. = ein Kölbchen, das nur Nährlösung und Sporen enthält; 2. = ein Kölbchen, dessen Aussaat bis zur Fruktifikation gewachsen war und dann KW zugesetzt erhielt; 3. = ein Kölbchen, das gleich mit einem Siebdöschen voll Kampfer sterilisiert war.

In d. Glocke	Aussaat	Im Kölbchen	Ergebnis
Kampferwasser	<i>Aspergill. niger</i>	1. ganz ohne KW	dichte Rasen, viel Mycel, wenig Sporen
		2. bis z. Frukt. gew., dann KW	geringe Zunahme d. Mycels
		3. gleich KW	nichts
	<i>Penicillium glaucum</i>	1. ganz ohne KW	größere Inseln, viel Mycel, wenig Sporen
		2. bis z. Frukt. gew., dann KW	Zuwachs gering
		3. gleich KW	nichts
Kampfer	<i>Aspergill. niger</i>	1. ganz ohne KW	wenig Mycelbildung
		2. bis z. Frukt. gew., dann KW	unverändert
		3. gleich KW	nichts
	<i>Penicillium glaucum</i>	1. ganz ohne KW	etwas Mycel
		2. bis z. Frukt. gew., dann KW	unverändert
		3. gleich KW	nichts

Die in vorstehender Tabelle gegebenen Resultate zeigen einen bemerkenswerten Unterschied in der Wirkung zwischen Kampferwasser und festem Kampfer. Während in Glocken mit der hohen Dampfspannung des festen Kampfers selbst bei den Kulturen Nr. 1, also ohne Kampferwasser, die Sporen bei Optimaltemperatur kaum über das Auskeimen hinwegkommen, ergeben die entsprechenden Versuche mit Kampferwasser sogar Rasen- bzw. Inselbildung. Fruktifikation war allerdings nur vereinzelt zu konstatieren, hierzu trägt einmal wohl die geringere Dampfspannung des Kampferwassers und der größere Gehalt an Wasserdampf in der Glocke bei. Das Kampferwasser enthält nur eine begrenzte Menge von Kampfer, die mit der Zeit auch schwindet. Bei Gegenwart von Kampfer wird dagegen Sättigung erhalten. Gegenversuche mit Kampferwasser sowohl als auch wässerigen Lösungen von ätherischen Ölen zeigten, daß dieselben auf abgeschnittene Zweige von *Tradescantia* innerhalb von Glocken zwar noch schädigend einwirken; beim Einstellen von *Tradescantia* in solche Lösungen an freier Luft hielten sich die Zweige lange Zeit hindurch frisch.

Wirkung des ätherischen Öles auf Drüsenhaare.

Zur Untersuchung zog ich ferner Drüsenhaare heran, die ein günstiges Material zu ständiger mikroskopischer Kontrolle abgaben. Ich wählte Haare von *Primula* und *Pelargonium* und zwar in den verschiedensten Stadien, teils mit, teils ohne Köpfchen. Bei manchen Drüsenhaaren hatte sich unter der Cuticula noch kein Sekret abgeschieden, bei anderen erschien der Zwischenraum zwischen Endzelle und Cuticula bereits mit gelbem Sekret erfüllt.

Da nun die Dämpfe ätherischer Öle in diesem Sekret löslich sind, lag die Möglichkeit vor, eine etwaige Zunahme mikrometrisch zu bestimmen und dadurch die Aufnahme des Öldampfes zu beweisen. Die ganze Versuchsreihe ergab aber kein befriedigendes Resultat. Die Giftwirkung der Dämpfe ist eine viel zu hohe. Bereits nach sehr kurzer Zeit waren alle Drüsenhaare abgestorben. So hörte z. B. in der Terpentinölatmosfera schon nach einer Stunde die Plasmaströmung auf. Bald traten auch Schrumpfungen ein. So möchte ich denn die Fälle, bei denen ich eine Sprengung der Cuticula und einen Erguß des Sekrets beobachten konnte, nicht auf eine meßbare Öldampfspeicherung zurückführen. Ich sehe diese Erscheinung nur als eine Folge der Veränderungen an, die das Drüsenhaar beim Absterben erleidet. — Bemerkt sei noch, daß die basalen Zellen der Haare schneller geschädigt wurden als die Endzellen.

Über einseitige Öldampfwirkungen.

Aus den in Tab. II gegebenen Zahlen geht hervor, daß *Tradescantia zebrina* und *viridis* im Terpentindampf in 10 bzw. 12 Stunden abstarben. Um zu beobachten, welchen Weg der Oldampf in die Blätter hinein nimmt und inwieweit die meisten auf der Unterseite der Blätter befindlichen Spaltöffnungen für das Eindringen des ätherischen Öles in die Intercellulargänge und von da ins Zellinnere von Wert sind, stellte ich folgenden Versuch an. Ein Blatt von *Tradescantia zebrina* wurde unterseits mit flüssiger Gelatine überzogen, so daß die unterseitigen Spaltöffnungen gänzlich verdeckt waren. Das Einströmen des Dampfes mußte nunmehr durch die spaltöffnungsfreie Cuticula der Oberseite erfolgen. Im terpentinöl-gesättigten Raume war das Blatt nach 18 Stunden tot. Der Gegenversuch, bei dem die Oberseite überzogen wurde, ergab, daß das Absterben etwas schneller, in 14—15 Stunden, erfolgte. Da dieser Versuch deutlich auf den Einfluß der Spaltöffnungen hinwies, ließ ich zunächst einseitig in der früher geschilderten Weise Terpentindampf auf die Oberseite einwirken. Und hier, wo die Möglichkeit einer Durchlüftung des Blattes gegeben war, zeigten sich auch erst am zweiten Tage größere braune Stellen. Brachte ich nun zwischen Blatt und Terpentinquelle ein genügend großes Stück trockenes Seidenpapier, so war das Resultat etwa dasselbe; wurde jedoch dieses Papier durch herabfließendes Wasser stets feucht gehalten, so trat Mißfärbung und Absterben erst nach drei Tagen ein. Überziehen mit Gelatinelösung erlaubte eine Einwirkung von $6\frac{1}{2}$ Tagen. Weitere Versuche stellte ich mit Einschalten von Korkschichten an. Nun ist zwar Kork keineswegs ganz impermeabel für ätherisches Öl und seine Dämpfe, das beweist jede mit einem Korkstopfen versehene ätherische Ölfflasche, ferner auch ein Versuch, den Zacharias¹⁾ beschrieben hat.

Ein ganz lückenfreies Stück Kartoffelschale, das vorher zur Abtötung allen Protoplasmas gekocht worden war, zeigte, daß es möglich ist, die Einwirkung des Öldampfes auf das *Tradescantiablatt* so herabzusetzen, daß auch nach 12 Tagen die beeinflusste Stelle ganz frisch war. Das an der Spitze des Blattes beginnende Abtrocknen veranlaßte mich, diesen Versuch abubrechen. Erwähnt sei, daß innerhalb dieser Versuchszeit kein Unterschied zwischen

1) Zacharias, Sekretbehälter mit verkorkten Membranen. Bot. Ztg. 1879, pag. 645.

trockener und stets feucht gehaltener Kartoffelschale beobachtet werden konnte.

Dasselbe Resultat ergab auch die Zwischenschaltung der abgezogenen Rinde von *Cytisus Laburnum*.

Wie günstig überhaupt die Rindenschicht darunterliegende Teile schützt, das zeigten Zweigstücke von *Ribes*, die mit einem Ende in ein Gläschen voll Wasser tauchten, dessen durchbohrten Kork sie fest verschlossen. Wenn die Schnittfläche des frei herausragenden Teiles mit etwas Ton verklebt wurde, so hielten sich die Versuchsobjekte wochenlang unter der Terpentinglocke. Zog man aber die Rinde des überstehenden Zweiges vorsichtig ab, so trat bereits nach weniger als 24 Stunden Braunfärbung und Absterben ein.

Schlussbetrachtung.

Nach Schilderung vorstehender Versuche möchte ich noch vor der Zusammenfassung der Resultate einige Bemerkungen anknüpfen.

Sämtliche Versuche über den Einfluß ätherischen Öles auf die Pflanzen hatten eine starke Giftwirkung ergeben. Nun ist aber jede Giftwirkung, die als Eintritt einer funktionellen Störung im Organismus spez. im Protoplasten anzusehen ist, nur möglich, wenn eine spezifische Wechselwirkung zwischen dem Gift und dem Protoplasma stattfindet.¹⁾ Das würde also in diesem Falle das Eindringen von Öldampf ins Zellinnere durch Membran und Hyaloplasmahaut hindurch voraussetzen. Es findet demnach eine Aufnahme von Öldampf statt, durch die die Giftwirkung ausgeübt wird. Daß in der Tat ein Teil des Öldampfes verbraucht wird, beweist folgender Versuch, der allerdings nur auf einer Zeitvergleichung beruht. Eine quantitative Bestimmung des Verbrauches kann aber überhaupt als ausgeschlossen gelten.

Unter zwei gleich großen Glocken, deren eine zwei Keimpflänzchen von *Brassica*, deren andere aber ca. 200 Stück enthielt, starben nach Zusatz von Terpentinöl in gleicher Menge und bei gleicher Oberfläche die beiden Pflänzchen der ersten Glocke früher als die Massenkultur. Bemerkt sei, daß gleichzeitig mehrere Glocken mit nur zwei Pflänzchen zur Kontrolle beschickt wurden, ferner, daß bei den Glocken, welche die Massenkultur enthielten, für Entfernung von Transpirationswasserdampf und Kohlensäure gesorgt wurde. Außerdem wurde ein Parallelversuch in der Dunkelkammer angestellt.

1) Pfeffer, l. c. II pag. 332, 339.

Die Menge der von den Pflanzen der zweiten Glocken anfänglich aufgenommenen Dampfmoleküle ist jedenfalls in Vergleich zu den ersten Glocken sehr groß. Durch die Aufnahme ist aber die Dampfspannung innerhalb der Glocken verringert worden und der Verbrauch muß erst wieder ersetzt werden. Diese Wiederersetzung bis zur Erreichung der vollen Dampfspannung geschieht eben weit langsamer als das über dem Quecksilber des Barometers der Fall ist. Da es sich hier um einen Raum mit atmosphärischer Luft neben Öl- und Wasserdampf handelt, geht die Verdampfung bis zur vollen Spannung nur allmählich vor sich.

Auffallend ist die hohe Giftwirkung so geringer Mengen des Öldampfes. Bei Anwendung von tropfbar flüssigem ätherischem Öle werden verhältnismäßig bedeutende Quantitäten zur Schädigung verbraucht. Setzt man z. B. auf die Oberfläche eines Blattes von *Tradescantia viridis* einen Tropfen Terpentinöl, so verbreitet sich dasselbe sofort nach allen Seiten. Nach Ablauf von $1\frac{1}{2}$ —2 Stunden fangen die Blattränder an mißfarbig zu werden und allmählich folgen dann einzelne Stellen der Blattspreite nach.

Welche Rolle bei diesen Versuchen die Cuticula spielt, zeigt sich bei Anwendung von Blättern der *Tradesc. zebrina*, die zwar sehr stark, aber nicht gleichmäßig cuticularisiert sind. Hier tritt nach einer Stunde dunkle Bräunung der weniger stark cuticularisierten Teile ein, während das Blatt an den übrigen Teilen nach 8 Stunden noch nicht tot ist.

Betrachtet man die Versuchsergebnisse der Einwirkung ätherischer Öle auf die Pflanzen, von denen sie abstammen, so erscheint es, als ob in der Tat die Pflanze gegen das eigene ätherische Öl resistenter sei als die fremden Pflanzen sind, selbst wenn diese nahe verwandt sind. Die Differenz in der Wirkung von Kampfer auf *Camphora officin.* und *Laurus nobilis* — beim ersten dauert es 68, beim zweiten 78 Stunden bis zum Absterben — möchte ich darauf zurückführen, daß *Camphora offic.* dem Gewächshause entnommen wurde, während *Laurus nobilis* an kalten Herbsttagen noch im Freien stand.

Die stetige Erwähnung von Kampfer in der Reihe ätherischer Öle rechtfertige ich dadurch, daß Kampfer direkt aus dem ätherischen Öle des Kampferbaumes durch postmortale Sauerstoffaufnahme entsteht.¹⁾

1) Pfeffer, l. c. I pag. 500.

Bemerken möchte ich auch noch, daß Wiederholung von Versuchen mit Terpentinöl auf *Pinus silvestris*, die im Sommer angestellt worden waren, im Dezember ein etwas günstigeres Ergebnis erzielten und zwar im Verhältnis 56:63 Stunden.

Bei den Untersuchungen über Wirkung von Kohlenwasserstoffen der Reihen C_nH_{2n+2} und C_nH_{2n-6} zeigte es sich, daß dieselben sehr giftig für die Pflanzen sind.

Es hat den Anschein als ob ein bestimmtes Verhältnis zwischen Giftigkeit und Siedepunkt besteht. Bei Kohlenwasserstoffen gleicher Reihen nimmt mit höherem Siedepunkt die Schädlichkeit ab.

Folgende Zahlen mögen das zeigen.

Petroläther S.-P.	55—60 °	Sinapis stirbt nach	16 Stunden
Benzin	„ 60—75 °	„ „ „	20 „
Petroleum	„ über 150 °	„ „ „	156 „
(Paraffin	„ über 360 °; nicht flüchtig).		

Ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei Kohlenwasserstoffen der Zusammensetzung C_nH_{2n-6} . Es sind natürlich aber noch verschiedene andere Faktoren, die außer diesen Werten der größeren Flüchtigkeit bzw. der Dampfspannung für die Unterschiede in der Giftwirkung ausschlaggebend sind. Bei allen diesen Körpern fällt es auf, daß die Giftwirkung insofern etwas anders als bei ätherischen Ölen ist, als nämlich die Pflanzen schon alle Anzeichen des Absterbens bieten, während kaum Gelbfärbung zu beobachten ist. Derartige Braunfärbungen, wie sie die Behandlung mit Terpentin- und Zitronenöldampf sehr bald erzielt, habe ich an den durch Kohlenwasserstoffdämpfe abgestorbenen Pflanzen nicht gesehen.

Es liegt nahe zu vermuten, daß die ätherischen Öle in der Pflanzenzelle verschiedenartige Wirkungen ausüben, die in erster Linie die Hemmung der Plasmataktivität zur Folge haben; die Zerstörung des Chlorophylls kommt erst an zweiter Stelle. Bei mikroskopischer Beobachtung von solchen Pflanzen, die mittels Kohlenwasserstoffen abgetötet waren, habe ich öfters gefunden, daß die Chlorophyllkörner zwar etwas umgeformt, aber dennoch grün erschienen.

Es muß als ausgeschlossen betrachtet werden, die Verhältnisse zwischen Siedepunkt und Giftwirkung bei Kohlenwasserstoffen etwa auf ätherische Öle verallgemeinern zu wollen. Denn die Werte für Verdampfungsfähigkeit laufen den Zahlen der Siedepunktgrade keineswegs parallel.

Ich stellte für zwei ätherische Öle mit naheliegenderem Siedepunkt und gleicher Dampfspannung quantitative Bestimmung des Verdampfungswertes an. Die Untersuchungen erstreckten sich auf Terpentin- und *Pinus silvestris*-Öl (letzteres frisch von Schimmel & Co., Leipzig-Miltitz, bezogen). Die Bestimmung wurde derart ausgeführt, daß exakt gewogene Kristallisierschalen mit dem betreffenden Öle bei gleicher Oberfläche (6,7 cm Durchmesser) und gleicher Zimmertemperatur staubsicher aufgestellt wurden. Nach 48 Stunden wurde der Gewichtsverlust festgestellt und ergab im Mittel folgende Werte:

Terpentinöl . .	6,55 g
<i>Pinus silvestris</i> -Öl	2,20 g.

Das wären also für letzteres $33\frac{1}{3}\%$ des Verdampfungswertes von Terpentinöl, trotzdem weisen beide Öle gleiche Dampfspannung (4,7) auf. Und da die Giftwirkung beider ätherischen Öle nicht wesentlich verschieden ist, so muß man zum Schlusse kommen, daß die Schädigung als eine nach chemischer Zusammensetzung verschiedene aufzufassen ist.

Die Versuche über die Einwirkung ätherischen Öles auf die Pflanzen, aus denen es gewonnen wird, scheinen dadurch stark beeinflusst zu sein, daß die Ölexhalation unter den anormalen Lebensbedingungen innerhalb der Glocke gestört wird. Die Tatsache, daß die Kontrollkultur *Brassica* eingeht, zeigt sehr deutlich, daß anfänglich noch reichlich Öldampf ausgeatmet wurde, wenigstens am 1. und 2. Tage. Noch schneller als bei *Salvia* und *Mentha* setzt die Ölabgabe bei *Dictamnus* aus, der besonders empfindlich zu sein scheint. Die Schädigung durch Ölexhalation, die bei den als Kontrollpflanzen beigegebenen fremden Pflanzen sogar zum Tode führt, ist aber bei der ölexhalierenden Pflanze selbst weit geringer; ich möchte das Absterben der abgeschnittenen Ölpflanze lediglich als eine Folge der ungünstigen Lebensbedingungen hinstellen.

Die Blätter von *Camphora officinalis* zeigen an sich einen schwachen Geruch nach Kampfer, der erst beim Zerreiben des Blattes deutlicher wird. Entsprechend der postmortalen Entstehung des Kampfers ist es verständlich, daß erst mit beginnendem Fleckigwerden der Camphorblätter das Absterben der *Brassica* seinen Anfang nimmt.

Die Versuche einer künstlichen Einführung von Harzen hatten ergeben, daß sowohl diese als auch das als Lösungsmittel benutzte Paraffin von der Zelle nicht aufgenommen werden.

R. H. Schmidt hat nun in seiner schon öfters zitierten Arbeit über Aufnahme fetten Öles gezeigt, daß dieses bei der Wanderung von Zelle zu Zelle eine Zerspaltung in seine Komponenten, Fettsäuren und Glycerin, erleidet, und Pfeffer¹⁾ nimmt als Sitz dieser Zerlegung das Zellinnere an. Eine Einwirkung auf solche Fette, die sich außerhalb der Zelle befinden, tritt nicht ein, doch ist eine solche extracellulare Zerspaltung von Fett bei Pilzen durch Schmidt gezeigt worden. Daß Pilze einen derartigen Einfluß, teils zerlegender, teils emulgierender Art, auf Paraffin und Harze ausüben könnten, war schon wegen der chemischen Indifferenz des Paraffins schwer denkbar. Dementsprechend ist auch das Resultat der Wachstumsversuche mit *Aspergillus niger* ein völlig negatives. In Berücksichtigung zu ziehen ist ferner, daß bei der Aufnahme von fettem Öle „die Bildung löslicher, seifenartiger Fettsäureverbindungen in Betracht kommt, welche höchst wahrscheinlich von einer teilweisen Emulgierung des Fettes begleitet ist.“²⁾ Auch unter diesem Gesichtspunkte wäre dann die Nichtaufnahme von Paraffin und schwer verseifbaren Körpern wie Harz und Harzbalsam zu verstehen.

Was nun die Aufnahme von ätherischen Ölen anbelangt, so müßte man nach vorigem annehmen, daß die imbibierte Membran für diese ebenfalls impermeabel sei, wie überhaupt für die meisten unverseifbaren und nicht mit Wasser mischbaren Körper. Eine Erklärung findet die durch die Giftwirkung bewiesene Ölaufnahme darin, daß ätherisches Öl in Wasser nicht ganz unlöslich ist. Versetzt man nämlich Wasser mit $\frac{1}{4}$ Prozent Öl und schüttelt kräftig um, so zeigt es sich, daß fast alle ätherischen Öle in diesem Verhältnis direkt mischbar bzw. löslich sind.

Der Öldampf tritt nach meinen Versuchen durch die Spaltöffnungen in die Gaswege ein und wird hier infolge der relativ großen Oberfläche von der imbibierten Zellwand schnell absorbiert und ist so in gelöstem Zustande befähigt, die Membran zu durchwandern. Das erklärt dann zugleich, daß das ätherische Öl in Dampfform seine Hauptwirkung entfaltet. Bei der schnell eintretenden Giftwirkung durch Berührung mit Öltropfen wirkt in erster Linie nur die Menge schädlich, die sich im Zellimbibitionswasser löst. Bei Pflanzenteilen, die sich durch eine starke Cuticula auszeichnen, kommt zuerst eine Giftwirkung durch die Spaltöffnungen hindurch in Betracht. Bei längerer Versuchsdauer wird aber auch die cuticularisierte Haut-

1) Pfeffer, l. c. Bd. I, pag. 478.

2) R. H. Schmidt, l. c. pag. 333; ferner Pfeffer, l. c. Bd. I, pag. 86.

schicht nicht widerstehen. Das zeigen die Versuche, bei denen die spaltöffnungsbesitzende Unterseite des Tradescantiablattes mit Gelatine überzogen war.

Es muß nun als ein gewisser Widerspruch zu den von mir beobachteten Giftwirkungen erscheinen, wenn man sieht, daß mitten im Gewebe der Pflanzen das Vorhandensein von ätherischen Ölen in besonderen Behältern keinerlei schädigenden Einfluß ausübt. Diese Behälter sind zwar meist mit einer Korksicht umschlossen, doch ist auch eine solche absolut nicht impermeabel für ätherische Öle. Es muß hier entweder eine besondere Schutzschicht oder aber eine Veränderung der Durchlässigkeit angenommen werden. Auch das Verhalten der Sekretbehälter, die Harzbalsam führen, würde für letztere Annahme sprechen.

Meine Versuche einer künstlichen Einführung von Harzbalsam hatten eine völlige Impermeabilität der imbibierten Membran ergeben; die Membranen der Epithelzellen, die den Harzgang umschließen, müssen aber dennoch durchlässig sein. Ich habe wiederholt beobachtet, im Gegensatz zu verschiedenen früher zitierten Autoren, daß die den Harzgang auskleidenden Zellen Harztröpfchen enthielten. Von hier aus können diese doch nur durch Wanderung in den Harzkanal gelangen. Bei den untersuchten jüngeren und älteren Coniferennadeln, besonders Pinus- und Abiesarten, blieben die Epithelzellen auffallend zartwandig. Diese Membranen möchte ich als permeabel ansehen.

Die Bildung von Harzen und Harzbalsamen ist aber auch leichter verständlich in den lebenden Zellen, die den Harzgang bilden, als in einer besonderen Schicht des Sekretbehälters, die wohl auch als „resinogen“ ¹⁾ bezeichnet worden ist. Der Harzgang als solcher hat ebensowenig wie die Öl- und Harzbehälter Reste von Plasmamassen oder Zellkernen aufzuweisen, die auf eine eigene Lebenstätigkeit hindeuten. Ein solcher Mangel ist auch in verschiedenen Lehrbüchern ²⁾ betont worden.

Zusammenfassung.

I. Die Giftwirkung der ätherischen Öle in Dampfform auf die Pflanze ist sehr groß; in flüssigem Zustand wirken die Öle geringer, ebenso wenn sie in Wasser gelöst sind.

1) Tschirch, l. c. pag. 338.

2) Sachs, Lehrbuch IV. Aufl., pag. 69 u. 84; de Bary, Vergleichende Anatomie 1877, pag. 141.

II. Ölproduzierende Pflanzen sind gegen ihr eigenes Öl resistenter als fremde Pflanzen.

III. Ätherisches Öl wird in die lebende Zelle aufgenommen.

IV. Der Öldampf gelangt am schnellsten durch die Gaswege in die Pflanze.

V. Der Öldampf löst sich im Imbibitionswasser der Membran und gelangt so ins Zellinnere.

VI. Die Ölexhalation unter der Glocke scheint vermindert zu werden, wenn die Lebensbedingungen für die Ölpflanze ungünstig werden.

VII. Die Cuticula verlangsamt die Einwirkung des ätherischen Öles nur, hindert sie aber nicht.

VIII. Eine trockene Membran bietet einen geringeren Schutz als eine imbibierte.

IX. Flüchtige Kohlenwasserstoffe zeigen gleiche Wirkung wie ätherische Öle.

X. Aufnahme von gelösten Harzen in die lebende Zelle scheint bei künstlicher Zufuhr nicht möglich zu sein.

XI. Paraffin wird von Moosen und Pilzen nicht in die lebende Zelle aufgenommen.

Vorliegende Arbeit wurde im Laufe des Jahres 1902 im botanischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Pfeffer für die gütige Überweisung der Arbeit und die wohlwollende Unterstützung meiner Studien auch an dieser Stelle meinen ehrerbietigen, aufrichtigen Dank auszusprechen. Ebenso bin ich dem I. Assistenten Herrn Dr. Klemm zu großem Danke verpflichtet.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [93](#)

Autor(en)/Author(s): Heller Arthur

Artikel/Article: [Über die Wirkung ätherischer Öle und einiger verwandter Körper auf die Pflanzen 1-31](#)