Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 86 (1935)

Heft: 6

Artikel: Untersuchungen über den Wurzelbrand der Fichte

Autor: Roth, Conrad

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764575

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: 09.07.2025

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

Unser letztes Bild (Abbildung 12) entnehmen wir der Planausstellung der BSA-Architekten, die in einem Seitenraum untergebracht war.

Rückblickend auf die « Land- und Ferienhausausstellung » ist zu wünschen, dass dieser Ausstellungstyp Schule machen wird. Grundbedingung dazu ist, dass kompetente Kräfte schon bei der Beratung des Ausstellungsprogrammes zugezogen werden und nicht erst dann, wenn auf Grund kaufmännischer Überlegungen soundso viel Plätze fest vermietet sind, d. h. wenn bestimmte Objekte zur Schau gestellt werden müssen, die mit dem Ausstellungsthema überhaupt nichts zu tun haben.

Architekt *Streiff*, SWB.

Untersuchungen über den Wurzelbrand der Fichte.

Von Conrad Roth.[1]

Inhaltsübersicht:

Seite

1. Definition des Wurzelbrandes 196
2. Auftreten des Wurzelbrandes 198
3. Beobachtungen an Freilandmaterial 199
4. Laboratoriumsversuche, Schlussfolgerungen, Abwehrmassnahmen . . 202
5. Zitierte Literatur 208

1. Definition des Wurzelbrandes.

Unter dem Wurzelbrand der Nadelhölzer versteht man Krankheitserscheinungen, die im Laufe der ersten Vegetationsperiode an den *Keimpflanzen* auftreten und auf die Tätigkeit von Pilz-Parasiten zurückzuführen sind. Die Erkrankung besteht in der Regel in einer Zerstörung der Gewebe der Wurzel oder des untersten Teils des Keimstengels, seltener der Keimnadeln oder des oberen Stengelteils. Der Begriff Wurzelbrand umfasst ferner die Zerstörung der im Boden liegenden Samen, soweit sie durch parasitische Pilze verursacht ist.

Das in der forstlichen Praxis am häufigsten beobachtete Krankheitsbild ist gekennzeichnet durch eine mehr oder weniger deutliche, weissgelbliche bis gelblichbraune Verfärbung des untersten Teils des Keimstengels unmittelbar über der Bodenoberfläche. Diese Erscheinung macht auf die an dieser Stelle begonnene Zerstörung und Schrumpfung der Gewebe aufmerksam, die das Umfallen der Keimpflanze zur Folge haben. Wenn der Befall der Wurzelgewebe zuerst erfolgt, so fällt der Keimling in dem Zeitpunkt um, wo die Gewebe des Keimstengels

---

[1] Der vorliegende Aufsatz stellt die auszugsweise Wiedergabe einer am Institut für spezielle Botanik der E. T. H. in den Jahren 1930—1934 durchgeführten Arbeit dar.

knapp über der Bodenoberfläche in die Zerstörung miteinbezogen werden. Das Umfallen ist durch die physikalische Schwächung des Stengels verursacht und nicht auf Unterbindung der Wasserzirkulation und dadurch bedingtes Welken zurückzuführen. In kürzester Zeit, oft sogar innerhalb Tagesfrist, erfolgt dann die vollständige Zersetzung oder Austrocknung und Schrumpfung der Keimpflanze, so dass diese fast unsichtbar wird. Da das Umfallen der wenige Wochen alten Keimlinge ein auffälliges Merkmal des Wurzelbrandes der Nadelhölzer ist, so findet sich dafür in der deutschen Literatur gelegentlich die Bezeichnung « *Umfallkrankheit* ». Amerikanische Forstleute und Forscher verwenden im Hinblick auf das plötzliche und fast spurlose Verschwinden der Keimpflanze den Ausdruck « *damping-off* », gleichbedeutend mit « Wegdampfen ».

Bei hoher Luftfeuchtigkeit setzt gelegentlich die Erkrankung mit einer Zerstörung des oberen Teils des Keimstengels oder der Keimnadeln ein. Besonders leicht erfolgt die Infektion der Nadeln, solange diese mit den Spitzen in den Samenhüllen stecken. Nach unseren Beobachtungen kommt dieser Krankheitserscheinung jedoch nur geringe Bedeutung zu. Während bei dieser Form des Befalles ein Luftmyzelbildung des Parasiten auf der Wirtspflanze häufig von Auge beobachtet wird, ist sie bei der oben beschriebenen « Umfallkrankheit » meist gar nicht oder erst bei vollständiger Zerstörung der Keimpflanze feststellbar.

Zu der erwähnter Zerstörung der Samen und dem Wurzelbrand der bis ungefähr zwei Monate alten Keimpflanzen tritt als weitere Form der Erkrankung der Wurzelbrand der Keimlinge hinzu, die dieses Alter überschritten haben. Es kommt dabei zu einer teilweisen oder völligen Zerstörung des Wurzelsystems. Da die Gewebe des Keimstengels indessen eine bedeutende Festigung erfahren haben, erfolgt das bei den jüngeren Keimpflanzen übliche Umfallen nicht mehr. Im Gegensatz zum frühen Wurzelbrand, bei dem die Erkrankung für die Keimlinge meist tödliche Wirkung besitzt, wirkt der späte Wurzelbrand nur bei denjenigen Keimlingen abtötend, die eine vollständige Zerstörung des ganzen Wurzelgewebes erlitten haben ; sie können mit zwei Fingern widerstandslos aus dem Boden gezogen werden. Wie die schwächer befallenen Keimpflanzen zeigen sie anfänglich nur Gelbfärbung der Nadeln. Im Laufe des Herbstes oder Winters erfolgt Braunfärbung und vollständige Austrocknung, wobei die entwurzelten Pflanzen aber bis in den folgenden Sommer stehen bleiben können. Keimlinge, bei denen das Wurzelwerk nur eine teilweise Zerstörung erlitten hat, bilden nach kurzer Zeit neue Seitenwurzeln. Sie vermögen sich zu erholen, allerdings unter bedeutendem Zuwachsverlust.

Da sich unsere Beobachtungen mit denjenigen von *Hartley* (1921, S. 9—10) decken, übernehmen wir dessen Gliederung des Wurzelbrandes in drei zeitlich getrennte Befallsformen, von denen allerdings die beiden ersten in bezug auf Ursache und Wirkung unmittelbar ineinander übergreifen.

1. Früher Wurzelbrand,	Keimverlust,	germination loss.
2. Normaler Wurzelbrand,	Umfallkrankheit,	normal damping-off.
3. Später Wurzelbrand,		late damping-off.

Alle drei Befallsarten des Wurzelbrandes sind auf die ausschliessliche Tätigkeit von halbparasitischen Pilzen zurückzuführen. Scharf vom Wurzelbrand zu trennen sind Keimverluste und Schädigungen an Keimpflanzen, denen andere Ursachen zugrunde liegen. Erwähnt seien insbesondere die rein physiologisch bedingten Keimschäden, wie sie sich aus der Einwirkung des Temperaturfaktors auf den Keimungsvorgang ergeben (*Mork,* 1933). Auf gefährliche Hitzewirkungen an Keimpflanzen und weitere rein physikalisch verursachte Schädigungen machen *Münch* (1913, 1914) und *Hartley* (1913,1918) aufmerksam. Nicht unter den Begriff des Wurzelbrandes fallen ferner die gelegentlich vorkommenden Zerstörungen von Samen oder Keimpflanzen bei hoher Temperatur und grosser Luftfeuchtigkeit durch saprophytische Pilze (*Penicillium*-Arten), sowie durch Bakterien (*Dounin* und *Goldmacher,* 1926, S. 295—296). Als Ursache von Keimlingsschädigungen können auch Insekten auftreten. Es sei namentlich auf die verheerende Tätigkeit der *Tipuliden*-Larven hingewiesen, unter denen offenbar besonders *Tipula crocata* L. (gelbbindige Riesenschnake) als gefährlicher Forstschädling in Pflanzengärten und im Wald praktische Bedeutung besitzt. Die durch die *Tipuliden* bewirkte Zerstörung der Keimpflanzen kurz nach Austritt aus dem Boden ist dadurch gekennzeichnet, dass die noch durch die Samenhüllen zusammengehaltenen Nadelspitzen oder der ganze obere Teil des Keimstengels samt dem Nadelwirtel abgebissen werden. Der stehenbleibende Rest der Keimpflanzen (Stengel und Wurzeln) geht nach einiger Zeit zugrunde. In zahlreichen forstlichen Pflanzgärten der Umgebung von Zürich (Zürichberg, Adlisberg, Zollikon), sowie auf eigenen, meist an Bestandesrändern liegenden Saat-Versuchsflächen bei Zürich (Loorenkopf, Zollikon) und Winterthur (Lindberg) stellten wir in den Monaten Mai und Juni der Jahre 1930 bis 1932 massenhafte Vernichtung von Fichtensaaten durch *Tipuliden*-Larven fest. Besonders schwer waren die Schäden in künstlich bedeckten Saatbeeten, sowie an Saaten, die unter schwachem bis starkem Bestandesschluss lagen.

2. Das Auftreten des Wurzelbrandes.

Die Feststellung von pilzparasitären Erkrankungen an Nadelholzkeimlingen ist erst gegen Ende des letzten Jahrhunderts erfolgt, zu einer Zeit, wo infolge der damaligen Methoden in der Forstwirtschaft in ausgedehnten Pflanzgärten grosse Pflanzenmengen unter künstlich geschaffenen Verhältnissen aufgezogen wurden. Da die Wurzelbranderkrankung am einzelnen Keimling infolge der Kleinheit des Wirtes und der Schnelligkeit, mit der dieser vernichtet wird, einen sehr unauffälligen Vorgang darstellt, ist es verständlich, dass das Vorkommen des Wurzelbrandes bis heute fast ausschliesslich in Pflanzgärten und nur

ausnahmsweise an natürlichen Verjüngungen im Wald beobachtet wurde.

Aus den Feststellungen der zuständigen Literatur ergibt sich die Tatsache, dass in Europa an sämtlichen einheimischen Nadelhölzern, wie auch an den meisten in den Pflanzgärten gezogenen exotischen Koniferen Wurzelbrand in mehr oder weniger starkem Ausmasse festgestellt worden ist. Es sei speziell auf die Zusammenstellung von *Neger* und *Büttner* (1907) hingewiesen.

Die in den U. S. A. erschienene Literatur meldet aus ihren Untersuchungsgebieten den Befall aller in den forstlichen Pflanzgärten vorkommenden Nadelhölzer. Der Umstand, dass die meisten Wurzelbrand-erreger als plurivore Parasiten bekannt sind, in dem sie ausser Nadelholzkeimlingen auch Keimpflanzen mono- und dikotyler Kulturpflanzen befallen, lässt die Vermutung aufkommen, dass sich ihre Tätigkeit nicht nur auf Nadel-, sondern auch auf Laubhölzer erstreckt. Unseres Wissens halten jedoch nur drei Untersuchungen die Tatsache fest, dass sich der Wurzelbrand, verursacht durch dieselben Erreger, sowohl auf Nadelholz- als auf Laubholz-Keimpflanzen gezeigt habe.

Als *Erreger des Wurzelbrandes* der Nadelhölzer sind für Europa und für das Gebiet der U. S. A. bis heute vor allem die Arten *Pythium de Baryanum* Hesse, *Phytophthora omnivora* de Bary und die Gattungen *Fusarium* und *Rhizoctonia* nachgewiesen worden.

Es ist eine auffallende Tatsache, dass die bedeutendsten, in den U. S. A. festgestellten Erreger des Wurzelbrandes der Nadelhölzer in Europa als Parasiten anderer Wirtspflanzen schon lange und später wiederholt festgestellt worden sind. Der Umstand, dass *Pythium de Baryanum* als Erreger des Wurzelbrandes der Nadelhölzer vor 1933 nie und *Rhizoctonia*-Arten nur einmal (*Hartig* 1900) beobachtet wurden, legt die Vermutung nahe, dass diese gefährlichsten, aber weniger leicht isolierbaren und sichtbaren Arten durch die europäischen Beobachter übersehen wurden. Ihre Wirksamkeit wurde unzweifelhaft häufig den weniger pathogenen Fusarien zugeschrieben, die von Auge leichter sichtbar sind.

Hervorzuheben ist, dass die genannten wichtigsten Erreger des Wurzelbrandes der Nadelhölzer einerseits grundverschiedene Abstammung und verschiedene morphologische Eigenschaften haben, anderseits aber in ihrem biologischen Verhalten wichtige Uebereinstimmungen zeigen. Sie alle sind halbparasitische, polyphage Bodenbewohner, die ganz allgemeine Verbreitung besitzen. Ihr Saprophytismus ermöglicht die Züchtung in Reinkultur auf künstlichen Nährböden und damit die experimentelle Feststellung wichtiger biologischer Eigenschaften.

3. Beobachtungen an Freilandmaterial.

Die ersten Beobachtungen über das Auftreten von Wurzelbrand machten wir im Sommer 1930 in den Waldungen *Lindberg* der Stadt Winterthur (500 m ü. M.) anlässlich eines Versuches zur Ermittlung der bei der natürlichen Verjüngung der Fichte massgebenden Umweltsfak-

toren. Für das verständnisvolle Entgegenkommen bei der Durchführung dieses Versuches, der im Winter 1930/31 infolge schweren Sturmschadens abgebrochen werden musste, sei auch an dieser Stelle der Stadtforstverwaltung Winterthur, insbesondere Herrn Forstmeister *Lang,* der beste Dank ausgesprochen. In einer grossen, seinerzeit durch Windwurf entstandenen Lücke eines fast reinen, zirka 60jährigen Fichtenbestandes waren in drei konzentrisch angeordneten Kreisen 92 Doppel-Versuchsflächen angelegt worden. Anfangs September 1930 zeigte sich bei einem Teil dieser Versuchsflächen, die am 23. Mai mit einer bestimmten Menge Fichtensamen *(Picea excelsa* Link.) gleichmässig übersät worden waren, eine auffallende Gelbfärbung der Keimnadeln zahlreicher Pflanzen. Die Untersuchung ergab als Ursache dieser Erscheinung eine zeitlich langsam fortschreitende, bei den Spitzen beginnende Zerstörung der Wurzeln, die oft das ganze Wurzelwerk bis knapp unter die Bodenoberfläche vernichtete. Zahlreiche Isolierungen, durchgeführt nach der am Institut für spezielle Botanik der E. T. H. gebräuchlichen Methode, ergaben übereinstimmend als Ursache der Epidemie eine nicht näher bestimmte *Fusarium*-Art. Da sich der verwendete Fichtensamen bei zahlreichen Laboratoriumsversuchen als vollständig frei von pathogenen Pilzen erwies, muss angenommen werden, dass diese *Fusarium*-Art schon vor dem Versuch im Waldboden allgemein verbreitet war.

Besonders heftig war das Auftreten des Wurzelbrandes auf den Versuchsflächen im Freistand, deutlich schwächer auf denen unter dem Saum und gar nicht zu beobachten auf den Flächen unter dem geschlossenen Bestand. Es besteht somit zwischen der Bestandesdichte und dem Auftreten des Wurzelbrandes eine gewisse Abhängigkeit (Tabelle 1).

Tabelle 1.

Versuchsflächen Lindberg bei Winterthur. Abhängigkeit der Befallsstärke von der Bestandesdichte (Aufnahme vom 14. Oktober 1930). Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Befallsgrade, in Prozenten.

Befallstärke Grad	Bestandesdichte			
	Freistand	Freistand/Saum	Saum	Bestand
Befall schwer	46	25	11	0
Befall mittel	45	50	15	0
Befall vereinzelt	9	17	70	0
Kein Befall	0	8	4	100

Wichtig ist ferner die Feststellung, dass die Infektion der Keimlinge fast ausnahmslos nur auf Versuchsflächen beobachtet werden konnte, wo die ursprüngliche lebende Bodendecke bei der Saat entfernt worden war.

Im Frühjahr 1931 stellten wir in zahlreichen Pflanzgärten der Ostschweiz (Zürichberg, Adlisberg und Zollikon bei Zürich ; Neunkirch bei

Schaffhausen) nachträglich fest, dass dieselbe Erkrankung von Fichtensaaten, die auf dem Lindberg bei Winterthur aufgetreten war, im Spätsommer 1930 auch hier teilweise bedeutende Schäden an Rillensaaten verursacht hatte. Obschon die verspätete Beobachtung bei den Isolierungsversuchen Schwierigkeiten bereitete, konnte doch an Hand von Keimlingsmaterial, das dem Pflanzgarten der Holzkorporation Zollikon bei Zürich entnommen wurde, nachgewiesen werden, dass der Befall durch dieselbe, auf Malzagarnährboden auffallend langsam wachsende *Fusarium*-Art hervorgerufen wurde. Vom Aufseher des Pflanzgartens der schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen auf dem Adlisberg bei Zürich wurde uns die Mitteilung gemacht, dass diese Art der Keimlingserkrankung dort seit zirka zehn Jahren nicht mehr beobachtet worden sei.

In allen bis dahin erwähnten Fällen, die in ihrem Wesen übereinstimmen, handelt es sich unzweifelhaft um den « *späten Wurzelbrand* » (3. Form unserer Uebersicht).

Anfangs Juni 1931 zeigten die keimenden Nadelholzsaaten zahlreicher Pflanzgärten in der weiteren Umgebung von Zürich (Zürichberg, Adlisberg, Zollikon, Landforst bei Horgen) nach anfänglich normaler Keimung ausgedehnte, sehr schwere Wurzelbrandschäden. Dabei handelte es sich um den « *normalen Wurzelbrand* » (2. Form unserer Übersicht). Vernichtet wurden Saaten von Fichte, Lärche, Bergföhre, Schwarzföhre und grüner Douglasie. Schon zwei Wochen vor dem Auftreten des Wurzelbrandes im Pflanzgarten Adlisberg (7. Juni) wurde im Pflanzgarten der Holzkorporation Zollikon ein vollständiges Versagen von Frühsaaten der Fichte festgestellt; auch im Adlisberg hatten einzelne Saaten grosse Keimverluste gezeigt. Ohne uns auf eine diesbezügliche Untersuchung stützen zu können, sei die Vermutung ausgesprochen, dass diese Keimverluste pilzparasitärer Natur waren (1. Form unserer Übersicht).

Aus einer Mitteilung von *Bühler* (1892, S. 34) kann mit einiger Wahrscheinlichkeit entnommen werden, dass schon im Jahre 1889 im Pflanzgarten Adlisberg Zerstörungen von Weisstannen-Keimpflanzen durch pathogene Pilze erfolgten. Dem Aufseher des Pflanzgartens verdanken wir die Mitteilung, dass eine ähnliche Wurzelbrandkatastrophe wie 1931 auch im Jahre 1907 vorkam. Der Förster der Korporation Landforst (Horgen) bestätigt für den dortigen Pflanzgarten häufiges Vorkommen des Wurzelbrandes in den vorangehenden Jahren.

Der für die später angeführten Laboratoriumsversuche verwendete Waldboden, der einem annähernd reinen, zirka 60jährigen Fichtenbestand des Lehrreviers der Forstabteilung der E. T. H. (nördlich des Ütlibergs bei Zürich) entstammte, enthielt ebenfalls Wurzelbranderreger. Auf nicht desinfiziertem Boden erfolgte an Fichtensaaten bei konstanter Temperatur von 24° C wenige Tage nach Austritt aus dem Boden Erkrankung eines Teils der Keimpflanzen durch Wurzelbrand. Eine Bestimmung der Parasiten wurde nicht durchgeführt. Der dem normalen Desinfektionsvorgang unterzogene Boden erwies sich bei

allen Versuchen vollständig frei von pathogenen Pilzen. Die Annahme, dass Wurzelbrandparasiten nicht nur in forstlichen Pflanzgärten, sondern auch in natürlichen Waldböden vorkommen, wird ferner durch eine Beobachtung von *Hartley, Merrill* und *Rhoads* (1918, S. 525) gestützt, wonach Freisaaten von Nadelhölzern in Nord-Idaho, U. S. A., durch Wurzelbrand *(Corticium vagum)* stark geschädigt wurden.

Systematische Untersuchungen über die geographische Verbreitung und das Vorkommen der Wurzelbrandparasiten sind bis heute nicht durchgeführt worden. Das gleichzeitige plötzliche Auftreten von Wurzelbrandepidemien in ausgedehnten Pflanzgärten und auch im Wald an weit voneinander entfernten Orten und nach mehrjährigem Unterbruch legt die Vermutung nahe, dass die Wurzelbranderreger in zahlreichen Böden ständig vorhanden sind. Ihre ausgesprochen polyphage und halbparasitische Lebensweise lässt diese Möglichkeit als verständlich erscheinen. Aus dem Nichtvorkommen der Erkrankung von Keimpflanzen an einem bestimmten Ort darf nicht ohne weiteres der Schluss abgeleitet werden, dass keine Wurzelbrandparasiten anwesend sind; denn die vegetative Entwicklung der Pilze und das Zustandekommen der Infektion sind, wie später nachgewiesen wird, an einen abgegrenzten Entwicklungszustand der Wirtspflanze und an bestimmte Umweltsverhältnisse gebunden.

Ein im Dezember 1932 durchgeführter Versuch mit natürlichen Böden aus den Waldungen Etzberg der Stadt Winterthur, auf dessen Anordnung hier nicht eingetreten werden kann, leistete den Nachweis, dass es Waldböden gibt, die *keine* für die Fichte pathogenen Mikroorganismen enthalten.

Die Isolierung der Erreger, die im Frühjahr 1931 in der weiteren Umgebung von Zürich die schweren Wurzelbrandschäden verursacht hatten, ergab meist nicht Reinkulturen *eines* Pilzes, sondern Mischkulturen von *Phytium de Baryanum* Hesse, zahlreichen *Fusarium*-Arten und *Corticium vagum* B. et C.

4. Laboratoriumsversuche, Schlussfolgerungen, Abwehrmassnahmen.

Aus der forstlichen Praxis entnommene Erfahrungen und namentlich die Festhaltungen von *Hartley* (1921) lassen erkennen, dass das Auftreten von Wurzelbrandepidemien in ursächlichem Zusammenhang mit den Umweltsverhältnissen steht, unter denen sich die Keimpflanze und der sie gefährdende Parasit befinden. An Hand von Freilandversuchen hat *Hartley* insbesondere einen Zusammenhang zwischen der Befallstärke einerseits und der Temperatur und Azidität des Bodens anderseits ermittelt.

Da sich der Einfluss eines einzelnen Umweltsfaktors auf den Befallsvorgang im Freilandversuch nicht einwandfrei feststellen lässt, indem hier von einer Beständigkeit aller übrigen Einflüsse nicht gesprochen werden kann, trat der Laboratoriumsversuch bei unseren Arbeiten in den Vordergrund. Auf die Versuchsanordnung und die Einzelergebnisse soll nicht näher eingetreten werden. Es seien vielmehr

nur die für die Praxis Bedeutung besitzenden Endergebnisse herausgegriffen.

Durch Laboratoriumsversuche wurde der Einfluss von Temperatur, Azidität des Bodens, Wassergehalt des Bodens und Alter der Keimpflanzen auf den Befallsvorgang unter konstanten Versuchsbedingungen experimentell nachgeprüft. Kurz zusammengefasst lassen sich aus den Ergebnissen folgende Schlüsse ableiten:

Die Parasiten sind in ihrer Befallstätigkeit in hohem Masse von den Umweltsverhältnissen abhängig. Für das Auftreten und die Stärke des Wurzelbrandes ist die durch die Umweltsverhältnisse verursachte unterschiedliche vegetative *Wachstumsfähigkeit der Parasiten* auf oder im Boden in erster Linie von Wichtigkeit.

Gerade die pathogensten Wurzelbranderreger zeichnen sich durch ausserordentlich rasches lineares Myzelwachstum aus und besitzen infolgedessen bedeutende Verbreitungsmöglichkeit und Befallsfähigkeit. Sehr aktive Stämme von *Pythium de Baryanum* sind imstande, in 48 Stunden auf natürlichem Waldboden unter optimalen Bedingungen durch Myzelwachstum eine Entfernung bis 34 Millimeter (Mittelwert!) zurückzulegen, auf künstlichem festen Nährboden sogar bis 122 Millimeter (Mittelwert); diese Wachstumsgeschwindigkeiten werden in Einzelfällen noch wesentlich übertroffen.

Grundbedingung für das Zustandekommen der Infektion ist die Anwesenheit des Parasiten in dem engbegrenzten *Entwicklungszustand* des Wirtes, der dem Parasiten den erfolgreichen Angriff auf die Keimpflanze unter bestimmten Umweltsverhältnissen gestattet. Der *keimende Samen* zeigt grösste Empfindlichkeit gegen Befall durch die den «frühen Wurzelbrand» hervorrufenden Parasiten *Pythium de Baryanum* und *Corticium vagum*. Mit steigendem Alter nimmt die Widerstandsfähigkeit des Fichtenkeimlings so rasch zu, dass dieser im Alter von 2 Monaten (günstige Keim- und Wachstumstemperatur vorausgesetzt) praktisch nicht mehr befallen wird.

Die Laboratoriumsversuche haben als einen der wichtigsten, für die Ausbreitung und das Auftreten des Wurzelbrandes massgebenden Umweltsfaktor die *Temperatur* nachgewiesen. Der Temperaturraum 15 bis 33 ° C ermöglicht das Auftreten des Wurzelbrandes ganz allgemein. Am stärksten begünstigt wird die Befallstätigkeit durch Temperaturen von 18 bis 30 ° C.

Selbstverständlich sind die herrschenden Witterungsverhältnisse eines Ortes für die Tätigkeit der Wurzelbranderreger in erster Linie von ausschlaggebender Bedeutung. Durch künstliche Massnahmen, in Pflanzgärten z. B. durch Bedeckung der Saatbeete (Saatgitter, Reisig, Moospolster), ist eine Beeinflussung der mikroklimatischen Verhältnisse in bestimmtem Rahmen möglich. Es sei hier auf einige bedeutungsvolle Tatsachen hingewiesen, die ihre Bestätigung anlässlich von Versuchen fanden, die im Jahre 1932 im Pflanzgarten Adlisberg der Schweizerischen Zentralanstalt für forstliches Versuchswesen durchgeführt werden konnten. Die Bedeckung der Saatbeete mit Gittern schafft

in diesen ein von den unbedeckten Beeten stark verschiedenes Sonderklima. Ganz allgemein bewirkt die Bedeckung eine Herabsetzung der Bodentemperatur, wenn man von der gelegentlich vorkommenden, praktisch aber bedeutungslosen Temperaturumkehr (nächtliches Strahlungswetter) absieht. Mit steigender Stärke der Wärmeeinstrahlung machen sich die Temperaturunterschiede bedeckter und unbedeckter Saatbeete in zunehmendem Masse bemerkbar. Die Tatsache, dass gerade die gefährlichsten Wurzelbranderreger wie *Pythium de Baryanum* und *Corticium vagum* zur Hauptsache bei Bodentemperaturen innerhalb der Spanne von 15 bis 30 ° C wirksam sind, gibt die Veranlassung, die Bodentemperaturverhältnisse der Saatbeete mit verschieden starker Bedeckung besonders auf das Vorkommen dieses kritischen Temperaturraumes hin zu überprüfen. Mit steigender Temperatur vergrössert sich der tägliche Zeitraum, der innerhalb der Temperaturgrenzen 15 und 30 ° C liegt. Steigt jedoch die mittlere Tagestemperatur des Bodens weiter an und geht die tägliche Kurve mit ihrem Minimal- und Maximalpunkt über 15 bzw. 30 ° C hinaus, so verkleinert sich der tägliche Zeitraum, in dem die Temperatur innerhalb der kritischen Spanne von 15 bis 30 ° C liegt, in zunehmendem Masse. Infolgedessen vermag die Bedeckung der Saatbeete eine Verkleinerung des für das Auftreten des Wurzelbrandes günstigen Zeitraumes nur solange zu bewirken, als die tägliche Maximaltemperatur des unbedeckten Bodens nicht wesentlich über 30 ° C steigt. *Von dem Zeitpunkt an, wo die Temperatur des unbedeckten Bodens die Grenze 30 ° C wesentlich überschreitet, bewirkt die Bedeckung der Saatbeete eine künstliche Verlängerung der Zeitdauer, während der die Temperatur zwischen 15 und 30 ° C liegt, die die Ausbreitung der am stärksten pathogenen Wurzelbrandparasiten und ihre Angriffsfähigkeit gegenüber dem Wirt begünstigt.* Die im Pflanzgartenbetrieb gemachte Feststellung, dass sich Wurzelbrandepidemien gerade in bedeckten Saatbeeten häufig stärker geltend machen als in unbedeckten, dürfte teilweise auf die erwähnten besonderen Temperaturverhältnisse zurückzuführen sein. Da die *Fusarien* einen in bezug auf die Temperatur höher gelegenen Wirkungsbereich besitzen (24 bis 33 ° C), so lässt sich bei diesen durch Temperaturerniedrigung (Saatbeetbedeckung) ein etwas weiter reichender Schutz gegen Befall erzielen als bei *Pythium de Baryanum* und *Corticium vagum.*

Unter natürlichen Verhältnissen im Wald, wie auf Kahlflächen, an Schlagrändern und in Bestandeslücken sind die lokalklimatischen Verhältnisse denen des Freilandes häufig sehr ähnlich. Infolgedessen kann gerade an den Orten, wo die natürliche Verjüngung der Nadelhölzer häufig die günstigsten klimatischen Bedingungen in bezug auf Licht, Temperatur, Niederschläge und Bodeneigenschaften geniesst, sicher Wurzelbrand auftreten. Inwieweit die Wurzelbranderreger ihre aktive Tätigkeit auch auf unter lichtem oder dichtem Bestandesschluss stehende Keimpflanzen auszudehnen vermögen, ist eine Frage, die nur an Hand gründlicher Temperaturstudien gelöst werden könnte. Einen Hinweis auf die Bedeutung dieses Problems geben die in den Waldungen

Lindberg der Stadt Winterthur 1930 (Tabelle 1) gemachten Beobachtungen. Wie die Temperaturmessungen der forstlich-meteorologischen Stationen nachweisen *(Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen,* 1891 bis 1898), treten allerdings auch unter geschlossenen Hochwaldbeständen des schweizerischen Mittellandes Bodentemperaturen auf, die das Vorkommen von Wurzelbrand ermöglichen würden. Die zeitliche Verzögerung des Auftretens hoher Temperaturen unter dem Bestandesschluss ist aber so stark, dass es unwahrscheinlich scheint, dass zur Zeit des Vorkommens dieser hohen Temperaturen sich die Keimpflanzen überhaupt noch in dem für das Zustandekommen der Infektion notwendigen jugendlichen Entwicklungsstadium befinden. Wie auch bei allen Beobachtungen im Pflanzgarten festgestellt werden kann, besitzt die Wirtspflanze in weitgehendem Masse die Möglichkeit, bei relativ niedriger Temperatur, die dem Parasiten keinen erfolgreichen Angriff gestattet, sich über den gefährlichen Zustand, in dem der Befall möglich ist, hinaus zu entwickeln.

Sowohl in Pflanzgärten als im Wald können die lokalklimatischen Verhältnisse in bezug auf die Bodentemperatur durch geeignete Massnahmen (Bedeckung oder Abdeckung der Saatbeete ; bestandespflegliche Eingriffe) bis zu einem gewissen Grade beeinflusst werden. Damit steht die Möglichkeit offen, der Ausbreitung der Parasiten und dem Befall auf rein biologischem Wege vorzubeugen.

Die Bodentemperaturmessungen in Saatbeeten und die meteorologischen Beobachtungen haben ergeben, dass das Auftreten von Wurzelbrandepidemien in Pflanzgärten tatsächlich nur möglich ist, wenn während des kritischen Entwicklungszustandes, in dem die Wirtspflanze vom Parasiten befallen werden kann, langandauernde Warmwetterperioden vorkommen und gleichzeitig der Wassergehalt des Bodens den Wurzelbranderregern optimale Entwicklung gestattet.

Von ausschlaggebender Wichtigkeit für das Auftreten von Wurzelbrandepidemien sind die chemischen Bodeneigenschaften. Im praktischen Forstbetrieb kommt der *Azidität* (Wasserstoffionen-Konzentration) als leicht bestimmbarem Ausdruck der chemischen Eigenschaften des Bodens besondere Bedeutung zu. Die Laboratoriumsversuche haben den Nachweis geliefert, dass namentlich alkalische und schwach saure Böden mit einer Azidität von pH 5,5 bis 8,3 den Wurzelbrand in hohem Masse begünstigen. Nur ausgesprochene Humusböden und podsolierte Böden mit stark saurer Reaktion, wie sie namentlich in höheren Gebirgslagen häufig sind, bieten annähernde Sicherheit gegen das Auftreten des Wurzelbrandes. Die Beeinflussung der Bodeneigenschaften des Waldes durch Veränderung der Bestandeszusammensetzung und des Bestandesaufbaues ist möglich. Allgemeine Gesichtspunkte verbieten aber eine Beeinflussung des Säuregrades des Waldbodens im Sinne einer Erhöhung der Azidität zum Zwecke einer Schwächung der Tätigkeit der Wurzelbranderreger. Durchführbar ist dagegen eine Beeinflussung des Säuregrades des Bodens im Pflanzgarten. Die Laboratoriumsversuche ergaben als praktisch verwertbaren Säurebereich, der bei grösstmög-

licher Hemmung der Parasiten *(Pythium de Baryanum* und *Corticium vagum)* Wurzelschädigungen am Wirt vermeidet, für die Fichte den Raum pH 4,2 bis 5,0. Gründliche Veränderung der Azidität der obersten Bodenschicht ist möglich durch Behandlung mit einer starken anorganischen Säure. In Betracht kommt am ehesten die Verwendung von *Schwefelsäure*, weniger die Salzsäure, da diese teurer ist und bei nicht gründlicher Auswaschung des Bodens nach unseren Erfahrungen die Saaten bedeutend stärker schädigen kann. Die zu verwendenden Säuremengen sind von Boden zu Boden verschieden; sie lassen sich nur auf experimentellem Wege und durch Messung der Bodenazidität zuverlässig bestimmen. Schwere, tonig-lehmige Böden mit hohem Kalkgehalt, einer Wasserstoffionen-Konzentration kleiner als pH 7,0 und starker Pufferung setzen einer künstlichen Veränderung des Säuregrades bedeutenden Widerstand entgegen. Die Schädigungen, die Fichtensaaten durch stärker alkalische Werte als pH 8,1 erleiden, verhindern die Verwendung extrem basischer Böden als Vorbeugungsmittel gegen Wurzelbrand. Dagegen besteht die Möglichkeit, dass ein Verfahren, bei dem dem Boden alkalische Verbindungen (Kalk, Pottasche usw.) zur Herabsetzung der Wasserstoffionen-Konzentration zugesetzt werden, auf von Natur aus stark alkalischen Böden bei Saaten mit *Pinus*-Arten praktisch anwendbar ist. Kiefernsamen und -keimpflanzen zeigen im Gegensatz zur Fichte bedeutende Unempfindlichkeit gegen stark alkalische Böden. Nach *Schmidt* (1927), liegt die optimale Entwicklung von *Pinus silvestris* in der Nähe der Azidität pH 7,0, diejenige der Fichte bei pH 5,4 bis 6,3.

Die in der Forstwirtschaft übliche Bekämpfung des Wurzelbrandes wird nach *Hartley* und *Pierce* (1917), *Hansen, Kenety, Wiggin* und *Stakman* (1923) durch Übergiessen des Bodens unmittelbar nach der Saat mit einer wässrigen Lösung von Schwefelsäure, Kupfersulfat, Zinkchlorid oder Formaldehyd durchgeführt. *Christoff* (1933) will gute Erfahrungen mit Essigsäure, Borsäure und Germisan (Handelsprodukt) gemacht haben. Ob es sich bei Verwendung dieser Stoffe, die das Auftreten des Wurzelbrandes hemmen, lediglich um momentane Desinfektionswirkung handelt, oder ob die Tätigkeit der Parasiten auf indirektem Wege durch Veränderung des Säuregrades des Bodens gehemmt wird, ist nicht festgestellt worden. Es darf jedoch angenommen werden, dass gerade die sichere Wirkung der Schwefelsäure darauf zurückzuführen ist, dass sie bei nicht zu starker Pufferung des Bodens nicht nur eine momentane Desinfizierung desselben bewirkt, sondern den Boden selbst chemisch zu verändern vermag. Eine nachträgliche Schädigung der Keimpflanzen durch die entstehenden Austauschprodukte ist bei Verwendung der Schwefelsäure nicht zu befürchten (Gips). Nicht zu empfehlen ist nach unseren Erfahrungen die allerdings den Säuregrad des Bodens leicht verändernde Essigsäure, da sie eine starke Dispergierung des Bodens, d. h. eine vollständige Zerstörung der Bodenstruktur bewirken kann. Abgesehen von diesen vorbeugenden Massnahmen zur Verhinderung des Auftretens des Wurzelbrandes, die vor oder bei der Saat durchgeführt werden, sind bis heute keine wirksamen, praktisch

verwendbaren Verfahren bekannt, um Wurzelbrandepidemien im Augenblick des Befalles auf chemischem Wege wirksam bekämpfen zu können, ohne dass gleichzeitig eine Schädigung der Keimpflanzen erfolgt.

Als weiterer Faktor beeinflusst der *Wassergehalt des Bodens* die Stärke des Wurzelbrandes. Aus den Ergebnissen der Laboratoriumsversuche lässt sich ersehen, dass sowohl durch extrem geringen (50%), als auch extrem hohen Wassergehalt (100% der absoluten Wasserkapazität) Wachstumsfähigkeit und Befallstärke von *Pythium de Baryanum* und *Corticium vagum* stark gehemmt werden. Mit steigendem Wassergehalt wächst aber der parasitäre Keimverlust ganz allgemein. Im Pflanzgarten ist durch geeignete Massnahmen eine zweckmässige Beeinflussung der vorliegenden Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens möglich. Bei klarem warmen Wetter wird in der Regel eine zielbewusste Trockenhaltung der Saaten durch Abdecken der Saatbeete erfolgreich sein. Bei bedecktem nassen Wetter mit hoher Temperatur vermag hingegen nur eine ständige Feuchthaltung des Bodens die Ausbreitung des Parasiten möglicherweise zu hemmen. Ein solches Vorgehen ist natürlich nur denkbar in schweren, nicht wasserdurchlässigen Böden.

Der Einfluss der *Luftfeuchtigkeit* auf das Auftreten des Wurzelbrandes ist bis heute nicht abgeklärt. Es liegt aber in der Natur zahlreicher Parasiten, dass sie durch hohe Luftfeuchtigkeit in ihrer Lebenstätigkeit über Boden günstig beeinflusst werden. Während *Pythium de Baryanum* infolge seiner Fähigkeit, unter der Bodenoberfläche wirksam zu sein, voraussichtlich geringe Abhängigkeit seiner pathogenen Tätigkeit von der Luftfeuchtigkeit zeigt, ist die Wirksamkeit des oberflächlich wachsenden *Corticium vagum* vermutlich stark an hohe Luftfeuchtigkeit gebunden. Unzweifelhaft ist auch die teilweise über der Bodenoberfläche erfolgende Befallstätigkeit der *Fusarien* von hoher Luftfeuchtigkeit abhängig. Mangelnde Luftbewegung, hervorgerufen durch die auf den Beeten der Pflanzgärten liegenden Saatgitter oder durch dichten seitlichen Schluss um Stellen mit natürlicher Verjüngung im Bestand (« Löcher ») verursacht hohe Luftfeuchtigkeit und verstärkte Pilztätigkeit. Schaffung von Luftbewegung durch Entfernung der Deckgitter oder durch zweckentsprechende Eingriffe im Bestand ist als Abwehrmassnahme gegen Wurzelbrand zu nennen.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Verbreitung und Wirksamkeit der Wurzelbranderreger, namentlich der Parasiten mit vorwiegender Entwicklung an der Bodenoberfläche *(Corticium vagum)* scheint der Einfluss der Sonnenstrahlung zu sein. Die Ausbreitung der Pilze auf der Bodenoberfläche wird vermutlich nicht nur durch die starke Erhitzung der obersten Bodenschicht (Austrocknung) gehemmt, sondern auch durch den Einfluss der chemisch wirksamen Strahlen auf das Myzelwachstum. In Anbetracht dieser Möglichkeiten scheint eine Begünstigung des freien Lichtzutrittes im Falle einer Gefährdung der Saaten durch Wurzelbrand angezeigt zu sein. Eine Schädigung der unbedeckten Saaten durch Hitzewirkung dürfte in unseren Gegenden

zu der Jahreszeit, in der die Keimpflanzen durch den Wurzelbrand gefährdet sind (Mai-Juni), namentlich auf schweren Böden selten vorkommen. Allerdings beschreiben *Münch* (1913, 1914) und *Hartley* (1913, 1918) Hitzeschäden an Keimpflanzen. Diese vereinzelten Feststellungen lassen jedoch erkennen, dass Hitzeschäden gegenüber den viel häufigeren und ausgedehnteren Keimlingsschädigungen durch Wurzelbrand keine nennenswerte Bedeutung besitzen.

5. Zitierte Literatur.

Bühler, A., 1892. Saatversuche. Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, **2**, S. 33—50.

Christoff, A., 1933. The « Damping-off » of Coniferous seedlings and ist control. Gorski Pregled, **19**, S. 9—12.

Dounin, M. et *Goldmacher, N.*, 1926. Quelques maladies épidémiques des jeunes plantes dans les pépinières des forêts. Actes du Ier Congrès internat. des Sylvicult., **5**, S. 284—298.

Hansen, T. S., Kenety, W. H., Wiggin, G. H. and *Stakman, E. C.*, 1923. A study of damping-off disease of coniferous seedlings. Minnesota Agr. Exp. Sta. techn. Bull., **15**, S. 1—35.

Hartig, R., 1900. Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten. 3. Auflage, S. 67, 116—118.

Hartley, C., 1913. The bliths of coniferous nursery stock. U. S. Dept. Agr. Bull., **44**, S. 1—21.

Hartley, C., 1918. Stem lesions caused by excessive heat. Journ. agr. res., **14**, S. 595—604.

Hartley, C., 1921. Damping-off in forest nurseries. U. S. Dept. Agr. Bull., **934**, S. 1—99.

Hartley, C., Merrill, T. C. and *Rhoads, A. S.*, 1918. Seedling diseases of conifers. Journ. agr. res., **15**, S. 521—558.

Hartley, C. and *Pierce, R. G.*, 1917. The control of damping-off of coniferous seedlings. U. S. Dept. Agr. Bull., **453**, S. 1—32.

Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, 1891—1898. **1—6.**

Mork, E., 1933. Temperaturen som foryngelsesfactor i de nordtrønderske granskoger. Meddel. Norske Skogversøksvesen, **5**, 1, S. 1—153.

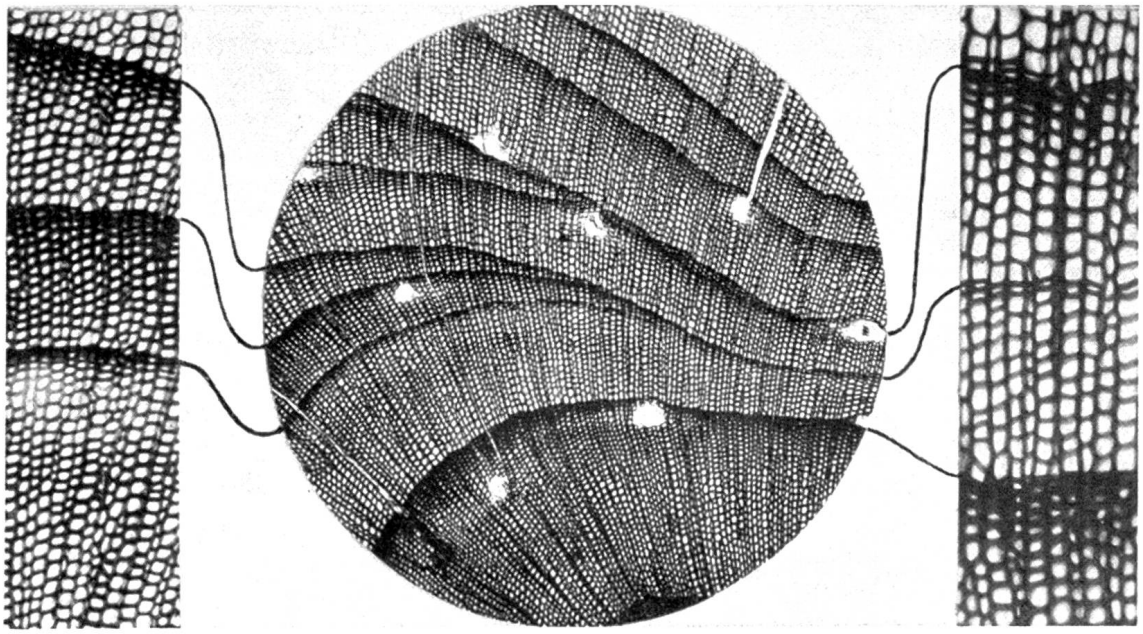
Münch, E., 1913. Hitzeschäden an Waldpflanzen. Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft, **11**, S. 557—562.

Münch, E., 1914. Nochmals Hitzeschäden an Waldpflanzen. Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Land- und Forstwirtschaft, **12**, S. 169—188.

Neger, F. W. und *Büttner, G.*, 1907. Ueber Erfahrungen mit der Kultur fremdländischer Koniferen im akademischen Forstgarten zu Tharandt. Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Land- und Forstwirtschaft, **5**, S. 204—210.

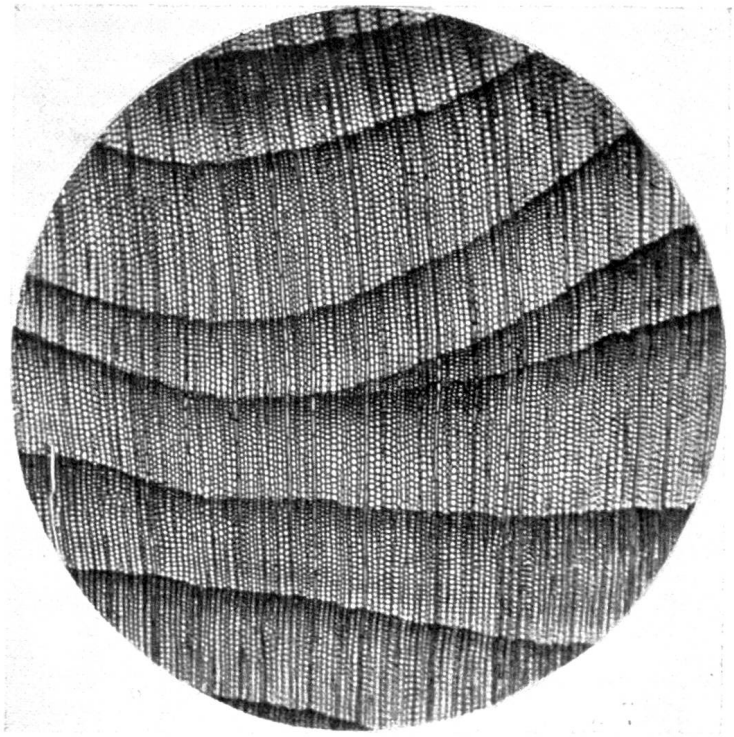
Roth, C., 1935. Untersuchungen über den Wurzelbrand der Fichte (*Picea excelsa* Link). Phytopathologische Zeitschrift, **8**, S. 1—110.

Schmidt, W., 1927. Reaktionsempfindlichkeit von Keimlingen. Mitteilungen der Waldsamenprüfungsanstalt Eberswalde. Forstarchiv, S. 81, 133.



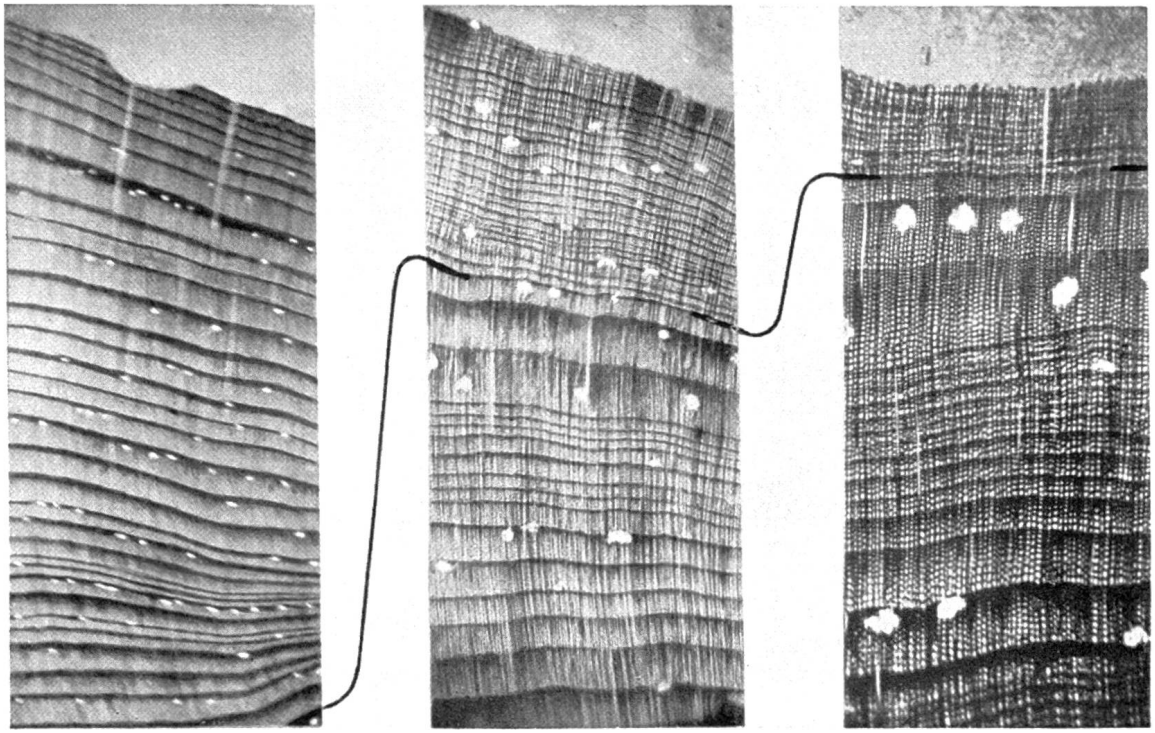
a 50 x | *b* 22 x | *c* 86 x

Fig. 1. Auskeilende Jahrringe bei einer Weymouthsföhrenwurzel.



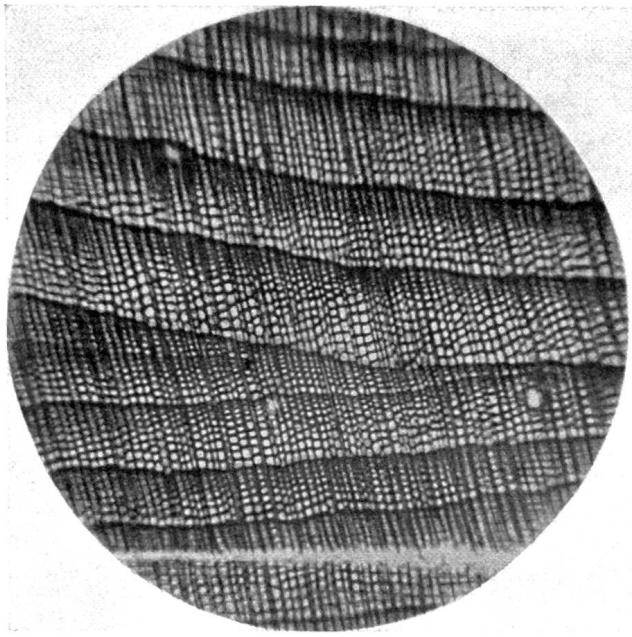
25 x

Fig. 2. Auskeilender Jahrring bei einer Weisstanne aus natürlicher Verjüngung.



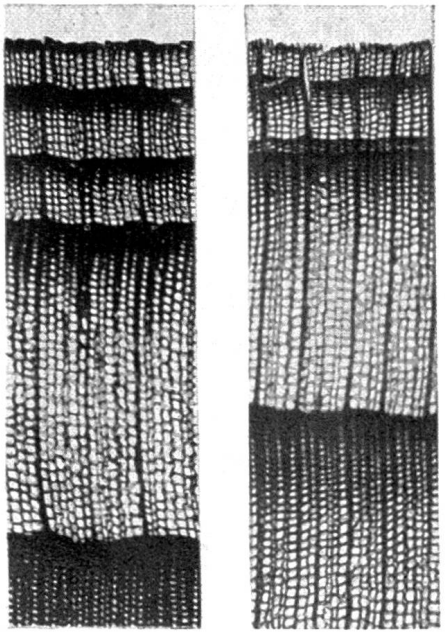
a 3.5 x — *b* 8.5 x — *c* 18 x

Fig. 3. Auskeilende Jahrringe bei einer 200 jährigen Legföhre.



27 x

Fig. 4.
Auskeilende Jahrringe bei einer unterdrückten Fichte.



a 27 x — *b* 27 x

Fig. 5.
Auskeilen des Frühholzes bei einer Weisstanne mit Dreyfusiabefall.