

Zeitschrift:	Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber:	Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band:	15 (1957)
Artikel:	Experimentelle Untersuchungen über die kombinierte Wirkung eines pflanzlichen Hormons (-Indolessigsäure) und eines Antibioticums (Streptomycin) auf Pisumwurzeln und auf einige Gewebe
Autor:	Bandi, Peter
Kapitel:	III: Diskussion
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-319491

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: 08.01.2026

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

III. DISKUSSION

Wir versuchten in dieser Arbeit eine Wechselwirkung zwischen Streptomycin und IES auf die höhere Pflanze festzustellen. Als erstes Versuchsobjekt haben wir isolierte Wurzeln gewählt, weil sie sehr empfindlich auf IES reagieren und weil ihre Vegetationspunkte vermutlich eine Affinität für Streptomycin aufweisen (SCHOPFER 1952). Deshalb lag die Vermutung nahe, daß die Kombination der IES mit dem Antibioticum eine Wechselwirkung auf das Wurzelwachstum auslösen könnte.

Wir haben mit IES allein qualitativ dieselben Ergebnisse erhalten wie GEIGER-HUBER und BURLET (1936), welche mit Maiswurzeln arbeiteten. Durch IES-Konzentrationen bis 10^{-9} mol wird an beiden Wurzelarten eine Hemmung erzeugt. IES in schwächerer Konzentration als 10^{-9} mol löst Wachstumsförderung aus, und stärkere Verdünnungen als 10^{-13} mol sind wirkungslos. Der Unterschied im Verhalten der beiden Wurzelarten ist quantitativer Art. Bei Maiswurzeln wird eine optimale Wachstumsförderung bereits mit 10^{-11} molarer IES erzielt, bei Pisumwurzeln erst mit 10^{-10} molarem Wuchsstoff. Die Maiswurzel reagiert also empfindlicher auf IES als die Pisumwurzel. Eine unterschiedliche Wuchsstoffempfindlichkeit besteht nicht nur unter den einzelnen Organen einer Pflanze, sondern auch zwischen den gleichen Organen verschiedener Objekte. Dieser Umstand verhindert, daß man die Wirkung der IES auf verschiedene Wurzelarten quantitativ miteinander vergleichen kann.

Mit Streptomycin erhielten wir zunehmende Pisumwurzelhemmung mit steigender Konzentration und konnten damit die Versuche von BEIN (1951) bestätigen. Allerdings erreichten wir mit $1,142 \times 10^{-5}$ molarem Streptomycin ($10 \gamma/\text{ccm}$) nicht erst nach 10, sondern bereits nach 5 Kulturtagen eine 50 %ige Hemmung, weil unsere Wurzeln empfindlicher reagierten.

Aus den Wirkungen der IES und des Antibioticums im Wurzeltest allein wäre zu erwarten, daß der in einer bestimmten IES-Konzentration hervorgerufene Wachstumszustand durch Kombination mit dem Hemmstoff Streptomycin in jedem Fall eine zusätzliche Hemmung erfahren würde. Für den wirkungslosen und fördernden Bereich des Wuchshormons (10^{-12} bzw. 10^{-10} mol) hat sich diese Vermutung bestätigt, die Wurzeln zeigten hier unter dem Einfluß des Streptomycins geringeres Wachstum als in IES allein. Im hemmenden Bereich der IES (10^{-8} mol) entstand aber durch die Kombination mit Streptomycin

($1,1-2,8 \times 10^{-5}$ mol) nicht eine zusätzliche Hemmung, sondern eine Enthemmung oder Abschwächung der IES-Wirkung. Diese Enthemmung ist zeitlich beschränkt, sie wurde nach 2 Kulturtagen festgestellt und war am 5. Kulturtag nicht mehr vorhanden. Diese Grunderscheinungen haben sich in unseren Versuchen stets wiederholt und sind statistisch gesichert.

Wir wollen im Folgenden versuchen, unsere Resultate mit modernen Auffassungen über IES- und Streptomycinwirkung in Einklang zu bringen.

Die Autoren sind sich darüber einig, daß die Zahl der zur Wirkung gelangenden IES-Moleküle über Wachstumsförderung oder Wachstumshemmung entscheidet. POHL (1952) leitet aus dieser Auffassung ab, daß durch Zerstörung oder Inaktivierung von Wuchsstoffmolekülen in hemmender Konzentration eine Wachstumsbeeinflussung entstehen kann. Die Wuchsstoffmoleküle sind nach ihrer Verminderung in einer schwächeren Konzentration vorhanden, welche je nach der Zahl der noch wirkenden Molekel das Wachstum weniger stark hemmt, fördert, oder überhaupt nicht mehr beeinflußt. Ein geeigneter Wirkstoff kann nach POHL die Wuchsstoffkonzentration auf drei Arten erniedrigen:

1. durch Verdrängung der Wuchsstoffmoleküle von ihren Reaktionsorten im Plasma,
2. durch Abschirmung wirksamer Teile der Wuchsstoffmoleküle,
3. durch eine unmittelbare Zerstörung der Wuchsstoffmoleküle.

Da wir auch im Streptomycin einen Auxininaktivator vermuteten, wollen wir die erwähnten Möglichkeiten im Zusammenhang mit dem Antibioticum diskutieren:

Zu 1.: Wie wir bereits in der Einleitung erwähnt haben, tritt Wuchsstoffwirkung nur dann ein, wenn die Wuchsstoffmoleküle eine sog. Zweipunktbinding mit dem Substrat eingehen können. KOEPFLI, THIMANN und WENT (1938), welche diese Theorie entwickelten, geben Substanzen an (sog. Antiauxine), die in der Lage sind, Wuchsstoffmoleküle von ihren Reaktionsorten zu verdrängen und damit deren Wirkkonzentration zu erniedrigen. Diese Erscheinung beruht auf einem kompetitiven Antagonismus und ist an die Bedingung geknüpft, daß der Hemmstoff (Antiauxin) ähnliche Struktur wie der Wuchsstoff aufweist. Ein Vergleich zwischen den Molekülformen des Streptomycins und der IES zeigt sofort, daß dieser Fall für unsere Verhältnisse ausgeschlossen werden kann.

Zu 2.: Die Abschirmung wirksamer Teile einzelner Wuchsstoffmoleküle (Säuregruppe, ortho-Stellung zur Säuregruppe) führt nach RAE und BONNER (1953) zur Erscheinung, daß die letzteren nur unwirksame Einpunktbindungen mit dem Substrat eingehen können. Dadurch wird die Wirkkonzentration der IES ebenfalls erniedrigt. Dieser Zustand ist nur möglich, wenn der Wirkstoff mit der Säuregruppe oder der ortho-Stellung zur Säuregruppe eine chemische Bindung eingeht (z. B. Esterbindung). Eine derartige Bindung zwischen IES und Streptomycin ist aber kaum vorhanden und deshalb können wir auch diese Möglichkeit ausschließen.

Zu 3.: Mit größter Wahrscheinlichkeit käme also eine Verminderung der Wuchsstoffkonzentration mit Streptomycin durch eine unmittelbare Zerstörung von Wuchsstoffmolekülen in Frage.

Unsere Ergebnisse würden unter dieser Voraussetzung folgende Deutung erhalten:

Wenn die IES in wachstumsfördernder, schwacher Konzentration vorhanden ist, führt die Kombination mit Streptomycin zur Zerstörung aller vorhandenen Wuchsstoffmoleküle. Die beobachtete Hemmung des Wachstums wird dann wahrscheinlich bewirkt durch den vermuteten Einfluß des Streptomycins auf die Nukleinsäuren (NICKELL 1953). Ist die IES in wachstumshemmender, starker Konzentration vorhanden, können vermutlich nicht alle Wuchsstoffmoleküle zerstört werden. Unter Anwendung einer geeigneten Streptomycindosis bleibt eine schwächere, möglicherweise wachstumsfördernde IES-Konzentration übrig, welche eine kurzfristige Enthemmung des Wurzelwachstums bewirkt und die Streptomycinhemmung nach 2 Kulturtagen überdeckt. Die Theorie wird gestützt durch die Tatsache, daß ein optimaler Enthemmungseffekt nur bei einem bestimmten Mengenverhältnis von IES- und Streptomycin-Molekülen erreicht werden kann.

Wenn der Enthemmungseffekt durch Streptomycin tatsächlich auf einer Verminderung der Wuchsstoffmenge beruht, muß man annehmen, daß die Zerstörung der IES-Moleküle erst im Zellinnern und nicht schon in der Nährösung stattfindet. Es ergaben sich nämlich keine Unterschiede zwischen Wurzeln, welche in frisch angesetzten oder in 2 Tage alten IES-Streptomycinlösungen kultiviert wurden.

Eine Wachstumsförderung durch einen Hemmstoff ist bereits früher von SCHOPFER (1952) an Pisumwurzeln festgestellt worden. Er wendete eine andere bakteriostatisch wirkende Substanz, das Rimifon (Isonicotinsäurehydrazid), an. Die Wurzeln unter dem Einfluß der Kombina-

tion 10^{-7} molare IES/100 γ/ccm Rimifon wuchsen wesentlich stärker (+ 48 %) als in Rimifon derselben Konzentration und auch in 10^{-7} molarer IES allein.

Kombinationsversuche mit IES und Streptomycin unter veränderten Versuchsbedingungen bestätigten die Grunderscheinung der Abschwächung der IES-Hemmung und führten zu folgenden Überlegungen:

Mit überimpften, experimentell wuchsstofffrei gemachten Wurzeln erhielten wir ähnliche Resultate wie mit den nicht überimpften. Es darf deshalb angenommen werden, daß die isolierten Wurzeln ihren natürlichen Wuchsstoff rasch verlieren, wie auch WUERGLER (1942) vermutet hat. Die beobachteten Wachstumsveränderungen wären demnach nur durch die von außen zugeführten Wirkstoffmengen entstanden.

Wenn Streptomycin nach 5 Kulturtagen zu IES-gehemmten Wurzeln zugeführt wird, stellt sich ebenfalls nach 48 h. eine Enthemmung ein. Dies könnte ein weiterer Hinweis darauf sein, daß die vermutete Wuchsstoffzerstörung am Reaktionsort der IES stattfindet.

Bei Anwesenheit von Meso-Inositol tritt keine Enthemmung des Wurzelwachstums durch Streptomycin ein. Meso-Inositol kann scheinbar, in uns unbekannter Weise, die Wuchsstoffzerstörung durch Streptomycin verhindern.

IES hemmt nicht nur das Wachstum der isolierten Wurzeln, sondern in stärkerer Konzentration auch das Nebenwurzelwachstum ganzer Pflanzen. Wenn die Wurzeln der Pflanzen zuerst für kurze Zeit in eine Streptomycinlösung getaucht und dann erst in die Nährlösung mit wachstumshemmender IES übergeführt werden, tritt ein stärkeres Nebenwurzelwachstum auf als ohne Vorbehandlung. Vielleicht beruht auch diese Erscheinung auf einem ähnlichen Mechanismus wie wir ihn bei der Enthemmung isolierter Wurzeln angenommen haben.

An den Kohlenhydratbestimmungen im Milieu wachsender Wurzeln ist ersichtlich, daß starke IES-Konzentrationen neben der Wachstums- hemmung eine Verminderung der Sacharoseaufnahme hervorrufen. Die Kombination der IES mit Streptomycin führt nicht nur zu der bekannten Enthemmung des Wachstums, sondern auch zu einer enormen Verstärkung des Kohlenhydratverbrauches. Wir kamen deshalb auf den Gedanken, daß neben der Wirkung des Wuchsstoffs und des Antibioticums auf das Wachstum auch eine Beeinflussung der Zellpermeabilität vorhanden sein könnte. Wir wechselten auf Grund der neuen Problemstellung unser Versuchsobjekt und arbeiteten für die Permeabilitätsuntersuchungen mit Speichergewebeproben.

Anhaltspunkte über den Einfluß der IES auf den Wasseraustausch pflanzlicher Gewebe fanden wir in mehreren Arbeiten.

POHL (1948) beobachtete das Verhalten von Haferkoleoptilzylindern in hypo- und hypertonischen Mannitlösungen. Er gelangte zum Resultat, daß die Streckung der Proben im hypotonischen und ihre Verkürzung im hypertonischen Bereich gegenüber den Kontrollen viel geringer sind bei Anwesenheit von 10^{-6} molarer und stärker konzentrierter IES. Die Anwendung schwächerer IES-Konzentrationen (10^{-8} mol) führten zur gegenteiligen Wirkung.

BRAUNER und HASMAN (1949) stellten eine Verminderung des Wasseraustausches von Kartoffelgewebezylindern in einer Glucosekonzentrationsreihe fest, wenn die letzteren in 10^{-4} molarer oder stärker konzentrierter IES vorbehandelt wurden. Ihre Methode haben wir ausführlich im experimentellen Teil behandelt, da wir sie für eigene Experimente ebenfalls anwendeten.

POHL ist der Auffassung, daß die Hemmung des Wasseraustausches durch eine Veränderung der Durchlässigkeit der semipermeablen Plasmagrenzschichten zustande kommt. Er vermutet, daß die IES in starker Konzentration eine Quellwirkung hervorruft, welche zum Zusammendrücken der Plasmaporen und damit zu einer Permeabilitätserniedrigung führt. Diese Erklärung paßt gut zur Vorstellung, welche sich LEVITT (1954) vom Aufbau der Plasmagrenzschichten macht. Die letzteren bestehen nach seiner Auffassung aus einem Lipoidfilm mit Poren. Lipophile Moleküle mit wenig Hydroxylgruppen und vielen Kohlenwasserstoffgruppen können diesen Lipoidfilm nach seiner Theorie ungehindert passieren, und zwar unabhängig von ihrer Größe. Ihr Eindringen beruht auf einem Lösungsvorgang. Hydrophile Moleküle mit vielen Hydroxylgruppen können sich aber in der Lipoidschicht nicht lösen. Deshalb sind sie auf die Poren angewiesen, durch deren Größe eine Filterwirkung zustandekommt.

BRAUNER und HASMAN nehmen ebenfalls an, daß starke IES-Konzentrationen die Durchlässigkeit der Plasmagrenzschichten irgendwie erniedrigen können. Sie haben zudem noch festgestellt, daß die Dehnbarkeit der Zellmembranen durch starke IES-Konzentration vermindert wird. Diese Erscheinung führt indirekt, durch die Erhöhung des Wanddruckes, zu einer Erniedrigung der Saugkraft im hypotonischen Milieu.

Unsere eigenen Versuche an Speichergeweben haben diese Ergebnisse bestätigt. Wir konnten nachweisen, daß die Hemmung des Wasseraustausches unter IES-Wirkung durch Kombination mit Streptomycin auf-

gehoben wird. Als Erklärung scheint ein Konkurrenzmechanismus zwischen IES und Streptomycin auf die Permeabilitätsverhältnisse möglich. Denn aus dem Verlauf der Kurven unserer Wasseraustauschversuche kann man ableiten, daß Streptomycin die Dehnbarkeit der Zellmembran erhöht. Die Ermöglichung des Anthozyanaustrittes aus den Zellen der roten Rübe und die gesteigerte Harnstoffendosmose am gleichen Objekt, deuten zudem darauf hin, daß Streptomycin direkt eine Permeabilitätserhöhung der Plasmagrenzschichten hervorrufen kann.

Die IES nimmt eine Sonderstellung unter den Wirkstoffen ein, indem sie in der Lage ist, nicht nur eine, sondern mehrere Reaktionsketten auszulösen, welche alle schließlich eine Wachstumsbeeinflussung verursachen (SOEDING 1952). Sie wird zu einem idealen Regulator im Zellgeschehen, indem sie die Reaktionsabläufe konzentrationsabhängig fördert oder hemmt.

In Wechselwirkung mit dem Streptomycin haben wir einen Antagonismus zur Entwicklung isolierter Wurzeln aufgefunden, der möglicherweise auf einer direkten Beeinflussung des IES beruht. Hingegen wirken Streptomycin und IES sehr wahrscheinlich über getrennte Reaktionen auf die Permeabilität als Voraussetzung des Wachstums.

Die heutigen Kenntnisse über die Wirkungsweise der Wuchshormone gestattet noch keine genaue Formulierung des Wachstumsmechanismus. Ausgehend von der beobachteten Wechselwirkung zwischen Streptomycin und IES haben wir eine Verknüpfung mit der von KOEPFLI, THIMANN und WENT (1938) aufgestellten Theorie in Erwägung gezogen, sind uns aber des hypothetischen Charakters dieser Erklärung bewußt. Zudem setzt die erwähnte Theorie einzig die Bedingungen fest, welche zu einer Wachstumsbeeinflussung durch Wuchsstoffe vorhanden sein müssen, sagt aber nichts aus über die Vorgänge welche bis zur sichtbaren Wachstumsveränderung vor sich gehen. Längst bekannt ist die Tatsache, daß zum Wachstum pflanzlicher Zellen erhöhte Wasseraufnahme (Quellungsphänomene) Voraussetzung ist. Offenbar stellt der Einfluß der IES auf die Permeabilität, wie er in der vorliegenden Arbeit mehrfach bestätigt wurde, deren Primärwirkung dar. Der Wachstumsmechanismus ist vor allem deshalb ungeklärt, weil es bis heute nicht möglich war die komplexen Wirkungen des Wuchshormons auf Permeabilitätsverhältnisse, Zellstreckung, Zellteilung und Zellatmung in bezug auf Ursache und Wirkung einzuteilen und in ihrem Ablauf einem Grundprinzip unterzuordnen. Das Objekt, an dem eine Einzelfrage untersucht wird, ist meist nicht auch vorteilhaft für die Prüfung der übrigen Probleme. Da-

mit wird eine koordinierte Betrachtung erschwert. Neue Erkenntnisse auf diesem Gebiet sind weiterhin aus der kombinierten Anwendung von Wuchs- und Hemmstoffen zu erwarten.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wechselwirkung zwischen Indolesigsäure und Streptomycin auf das Pisumwurzelwachstum in steriler Organkultur und auf die Permeabilitätsverhältnisse einiger Speicher-gewebe untersucht. Ausgangspunkte bildeten Beobachtungen über die Wachstumshemmung durch Streptomycin, welche BEIN (1951) an isolierten Pisumwurzeln und SCHOPFER (1952) an der Nebenwurzelentwicklung ganzer Pisumpflanzen gemacht hatten, sowie die konzentrationsabhängige Förderung und Hemmung durch Indolessigsäure, welche GEIGER-HUBER (1936) an Maiswurzeln festgestellt haben. Grundlegend für die Untersuchung der Permeabilitätsveränderungen pflanzlicher Zellen unter Indolessigsäureeinfluß waren die Arbeiten von BRAUNER und HASMANN (1949).

1. Die 50 %ige Wachstumshemmung, welche 10^{-8} molare IES an isolierten Pisumwurzeln hervorruft, wird durch die Kombination von 1,1 bis $2,8 \times 10^{-5}$ molarem Streptomycin (10—25 γ/ccm) in den ersten 48 h. der Kultur um etwa 40 % abgeschwächt. Nach 5 Tagen ergibt sich aus der Kombination eine zusätzliche Hemmung, welche stärker ist als diejenige in 10^{-8} molarer IES allein.
2. Die Abschwächung der IES-Hemmung durch Streptomycin nach 2 Tagen tritt auch bei überimpften Pisumwurzeln auf, welche keinen eigenen Wuchsstoff mehr enthalten. Der natürliche Wuchsstoffgehalt der Wurzeln hat demnach keinen Einfluß auf den beobachteten Enthemmungseffekt.
3. Eine Streptomycinzugabe (10 γ/ccm) zu IES-gehemmten Wurzeln führt inner 48 h. zu einer kurzfristigen Enthemmung um etwa 30 %.
4. Streptomycin (10 γ/ccm) zeigt bei Anwesenheit von meso-Inositol (750 γ/ccm) keine abschwächende Wirkung auf die IES-Hemmung des Wurzelwachstums. Die Inaktivierung des Streptomycins geschieht dabei wahrscheinlich in gleicher Weise wie bei der Aufhebung seiner bakteriziden Wirkung durch Lipositol (= kombinierte Form des meso-Inositols).