

Einfluß von Ultraschall auf die Keimung von Saatgut und die Entwicklung der Pflanze sowie Prüfung der Verwendungsmöglichkeit des Ultraschalls in der Phytopathologie

Von J. Stelter, K. Wolters¹⁾ und I. von der Straten²⁾

Der ersten im Jahre 1935 erschienenen Veröffentlichung von I s t o m i n a und O s t r o w s k i (5) über die Ultraschalleinwirkung auf Saat- und Pflanzgut folgten zahlreiche weitere Arbeiten, die von B e r g m a n n (1) und G i s h l e n i (2) zusammengestellt wurden. Die meisten dieser Untersuchungen befassen sich mit der Beeinflussung von Keimung und Wachstum, einzelne aber auch mit der Bekämpfung bestimmter Pflanzenkrankheiten.

Die bisher erzielten Ergebnisse sind unterschiedlich und z. T. widersprechend. Fast einheitlich hat sich gezeigt, daß die vereinzelt mitgeteilten Ertragssteigerungen sich nicht reproduzieren lassen. Dagegen konnte unter gewissen Bedingungen von verschiedener Seite eine kurz anhaltende Förderung des Wachstumsbeginns, ebenso auch bei zu starker Schalleinwirkung eine mehr oder minder ausgeprägte Hemmung desselben bewirkt werden. Im Gegensatz dazu wird wiederum in anderen Berichten festgestellt, daß entweder überhaupt keine oder nur eine hemmende Wirkung beobachtet werden konnte.

Ähnlich uneinheitliche Ergebnisse zeigen die bisher bekanntgewordenen Versuche über die Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten durch Ultraschall. Deshalb erschien es zweckmäßig, im Rahmen einer Gemeinschaftsarbeit unter Einhaltung möglichst konstanter und reproduzierbarer Bedingungen der Ultraschallanwendung eine Klärung der vorgenannten Probleme zu versuchen. Dabei sollte im Vordergrund eine Vertiefung der Erkenntnisse nach der Grundlagenseite hin stehen, da einerseits über die Ursachen und Begleiterscheinungen der physiologischen Ultraschallwirkung auf Saat- und Pflanzgut wenig bekannt ist und andererseits über den Wirkungsmechanismus des Ultraschalls bei der Bekämpfung

von Pflanzenkrankheiten beziehungsweise deren Erregern kaum Ergebnisse vorliegen.

1. Versuchsdurchführung

Um eine gute Schallübertragung von der Schwingerfläche in das Saatgut zu erzielen, ist es erforderlich, ein Koppelmedium zu benutzen, das die Schallenergie minimal absorbiert und gleichzeitig einen Schallwellenwiderstand (Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit) in der Größenordnung besitzt, wie ihn das zu beschallende Saatgut aufweist, damit auch die Reflexion von Schallenergie an der Saatgutoberfläche minimal wird. Für die meisten Zwecke erfüllt Wasser als Koppelmedium vorteilhaft diese Bedingungen, Luft dagegen nicht.

Damit das Beschallungsgut im zeitlichen Mittel gleichmäßiger Schallintensität ausgesetzt wird, ist es zweckdienlich, es im Bereich des Schallfeldes zu bewegen. Dies läßt sich z. B. mit Hilfe einer Turbulierung des Koppelmediums erreichen. Ferner ist eine Kühlung erforderlich, da die Absorption von Ultraschallenergie, vor allem im Saatgut, sonst zu Wärmestauungen und in gewissen Fällen zu einer zu großen Erwärmung führen kann. Dadurch können sich u. U. in schwer zu kontrollierender Weise der echten Schallwirkung sekundäre Effekte überlagern.

Die für unsere Versuche benutzte Anordnung geht schematisch aus Abb. 1 hervor. Zur Kühlung wurde ein ständiger Wasserstrom durch das Beschallungsgefäß G geleitet, der gleichzeitig bei geeigneter Stromführung eine dauernde Umwälzung (Turbulierung) des Beschallungsgutes im oben erwähnten Sinne bewirkt. Der Schallkopf S strahlt von unten Ultraschall ein. Ein Drahtnetz D verhindert das Abwandern des zu beschallenden Saatgutes. Über den Schlauch S₁ wird das Kühlwasser zu- und über S₂ abgeführt. Dieses kann mit Hilfe eines Thermostaten mit einer maximalen Genauigkeit von $\pm 0,05^\circ\text{C}$ auf der gewünschten Temperatur gehalten werden. Das über S₂ abgeführte Wasser erwärmt sich bei der Beschallung gegenüber dem zugeleiteten im Normalfall um einige Zehntelgrade, wie genaue Messungen zeigten. Diese Erwärmung hängt ab von der im Beschallungsgefäß umgesetzten Energie und von der Durchflußgeschwindigkeit des Wassers. Bei bekannter Durchflußmenge des Kühlwassers kann daher durch eine einfache Rechnung aus einer solchen Temperaturdifferenz die effektiv einwirkende Schallintensität näherungsweise ermittelt werden.

Die oben geschilderte Versuchsanordnung wurde in derselben Form für alle Versuche zur Prüfung der physiologischen Wirkung des Ultraschalls verwendet. Bei Übergang zu anderen Frequenzen, die durch Schwinger unterschiedlicher Abmessungen erzeugt wurden, blieb die damit von Fall zu Fall verbundene Veränderung des Schallfeldes in der Versuchsanordnung und auch in der Beurteilung der Versuchsergebnisse bei verschiedenen Frequenzen unberücksichtigt. Wegen der unterschiedlichen Schwingergrundfläche mußte lediglich

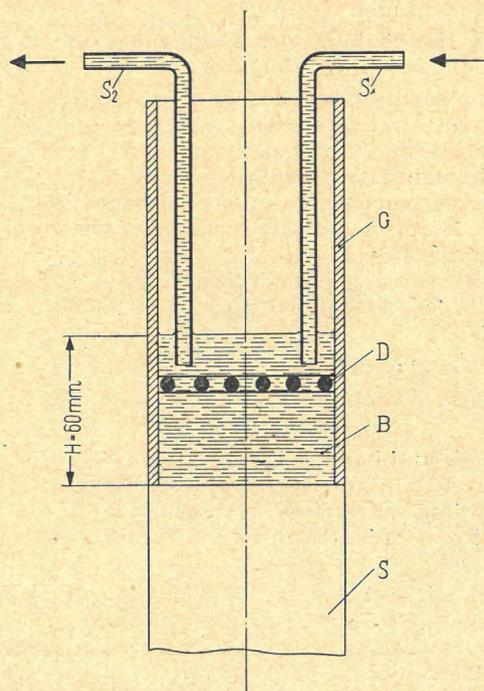


Abb. 1. Beschallungsanordnung. S = Schallkopf; D = Drahtnetz; S₁ S₂ = Schläuche; B = Beschallungsgut; G = Beschallungsgefäß.

¹⁾ Laboratorium für Ultrakurzwellentechnik und Ultraschall an der Technischen Hochschule Aachen. Prof. Dr. Dr. h. c. A. E s a u (†).

²⁾ Institut für Pflanzenbau und Saatguterzeugung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode. Direktor: Prof. Dr. O. F i s c h n i c h.

jeweils die Größe des Beschallungsgefäßes variiert werden, wobei jedoch die Höhe H des Wasserspiegels über dem Schallkopf (H = 60 mm) konstant eingehalten wurde.

Für die später beschriebenen Farb- und Reagenzstoffversuche benutzen wir eine Anordnung nach Abb. 2, wobei der innere Glaszylinder G_2 das Saatgut und die Testlösung aufnahm. Wegen der geringen Anzahl der in einer Probe enthaltenen Samen stellte sich eine Turbulierung durch den Schallsprudel selbst ein, während die Kühlung naturgemäß nicht so wirksam sein konnte wie in der Anordnung nach Abb. 1. Die verwendete Kunststoffmembran von 0,07 mm Dicke hat eine gute Schalldurchlässigkeit, d. h. eine minimale Reflexion der auf sie auftreffenden Schallintensität, weil der Schallwellenwiderstand des Kunststoffes und der des umgebenden Koppelmediums (Wasser) in derselben Größenordnung liegen. So beträgt die Schalldurchlässigkeit der erwähnten Membran — ohne Berücksichtigung der bei hohen Frequenzen nicht mehr zu vernachlässigenden Schallabsorption in der Kunststoffolie für die Laufstrecke von 0,07 mm — bei der niedrigsten benutzten Schallfrequenz ($N = 22 \text{ kHz}^3$) 100% und bei der höchsten, $N = 10 \text{ MHz}$, immerhin noch etwa 80%.

Zur Erzeugung des Ultraschalls benutzten wir für die Schallfrequenzen $N = 22 \text{ kHz}$ und $N = 3 \text{ MHz}$ ein Ultraschallgerät der Firma Schoeller & Co. (Frankfurt a. M.), Type USLG 300, dessen Schallintensität bei $N = 22 \text{ kHz}$ zwischen 0 und 3 W/cm^2 und bei $N = 3 \text{ MHz}$ zwischen 0 und $11,9 \text{ W/cm}^2$ entsprechend den Eich Tabellen regelbar ist. Zur Speisung der Senderöhren verwendet das Gerät pulsierende Anodengleichspannung.

Zwei Ultraschallaborgeräte der Firma Dr. Lehfeld & Co. (Heppenheim), dienen für die Schallfrequenzen $N = 800 \text{ kHz}$ (Type T 150, pulsierende Anodengleichspannung) und $N = 10 \text{ MHz}$ (Type Sonderanfertigung, geglättete Anodengleichspannung). Bei $N = 800 \text{ kHz}$ läßt sich die Schallintensität zwischen 0 und 12 W/cm^2 nach Angabe des Leistungsanzeigers regeln und bei $N = 10 \text{ MHz}$ zwischen 0 und 10 W/cm^2 .

Die Verwendung von Ultraschall bei der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten setzt eine Kenntnis der physiologischen Ultraschallwirkung bei den Vorgängen der Quellung und Keimung des Saatgutes sowie des Wachstums auch der gesunden Pflanze voraus.

Um spezifische Effekte einer Ultraschallbehandlung von Saatgut erkennen zu können, ist es notwendig, die Parameteranzahl möglicher Einflüsse klein zu halten und statistisch festzulegende Resultate zu gewinnen, da

die biologische Schwankungsbreite für Einzelergebnisse zu groß ist. Dadurch werden die Versuche wegen der erforderlichen Wiederholungen und Paralleluntersuchungen sehr umfangreich und zeitraubend. Nach vielen orientierenden Einzeluntersuchungen mit Saatgut verschiedener Kulturpflanzen entschieden wir uns, vor allem an Gerste derartige Untersuchungen vorzunehmen. Dies geschah auch im Hinblick auf später an dieser Getreideart vorgesehene Untersuchungen zur Bekämpfung des Gerstenflugbrandes durch Ultraschall.

Das Hauptproblem bei jeder Beschallung von Saatgut liegt in der Lösung der Frage, auf welche Weise es möglich ist, die Schallenergie in das Sameninnere zu leiten und dort zu indizieren. Wie schon erwähnt wurde, läßt sich die Schallenergie von der Schwingerfläche in das Saatgut nur mittels eines geeigneten Koppelmediums übertragen, für das Luft aus den dargelegten Gründen nicht in Betracht kommen kann, vielmehr dagegen Flüssigkeiten, z. B. Wasser. Hierdurch zeichnet sich sofort eine große Schwierigkeit ab. Das im Wasser beschallte Saatgut muß nach der Behandlung in all den Fällen rückgetrocknet werden, in denen eine sofortige Aussaat nicht möglich ist, oder wenn Aussaatmaschinen nur trockenes Saatmaterial verarbeiten können. Neben der wirtschaftlichen Komponente, die eine Rücktrocknung behandelten Saatgutes mit sich bringt, ist auch zu untersuchen, ob eine evtl. vorhandene Ultraschallwirkung nach diesem Prozeß erhalten bleibt, und wie groß gegebenenfalls die Lagerfähigkeit ist.

Infolge der Lufteinschlüsse in trockenen Samen, insbesondere auch in den tiefer liegenden Gewebeschichten, ist eine Übertragung der Schallenergie zunächst nur in die Samenschale und später erst in das Sameninnere möglich, weil jeweils an der Grenzschicht Luft/Medium wegen der großen Unterschiede der Schallwellenwiderstände praktisch eine totale Reflexion eintritt. Um daher eine möglichst verlustlose Übertragung der Schallenergie zu ermöglichen, müssen die oben erwähnten Luftpinschlüsse und Luftsichten beseitigt werden. Dieses Ziel kann durch Quellung erreicht werden. Weiterhin bewirkt die Quellung durch die Wasseraufnahme eine Angleichung des Schallwellenwiderstandes des zunächst trockenen Samens an den des Koppelmediums selbst.

2. Ultraschalleinwirkung auf die Keimung und das Wachstum von Gerste

Als konstantes Ausgangsmaterial diente für die Versuche Sommergerste „Heines Pirol“ (Ernte 1955).

Abb. 3 zeigt zunächst in Kurve 1 den normalen Verlauf der Quellung dieser Gerste, wenn sie zur Zeit $t = 0$

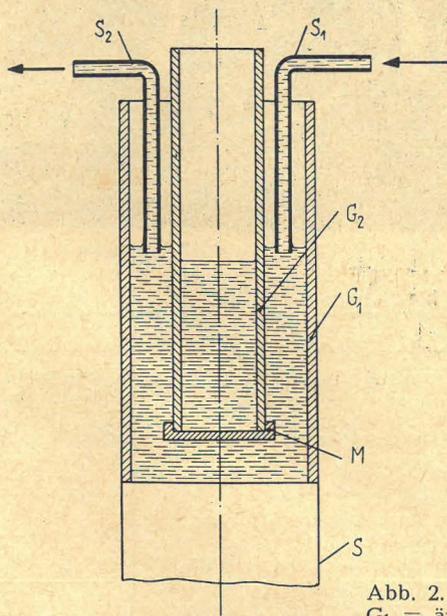


Abb. 2. Beschallungsanordnung. S = Schallkopf; M = Kunststoffmembran; G_1 = äußerer Glaszylinder; G_2 = innerer Glaszylinder; S_1, S_2 = Schläuche.

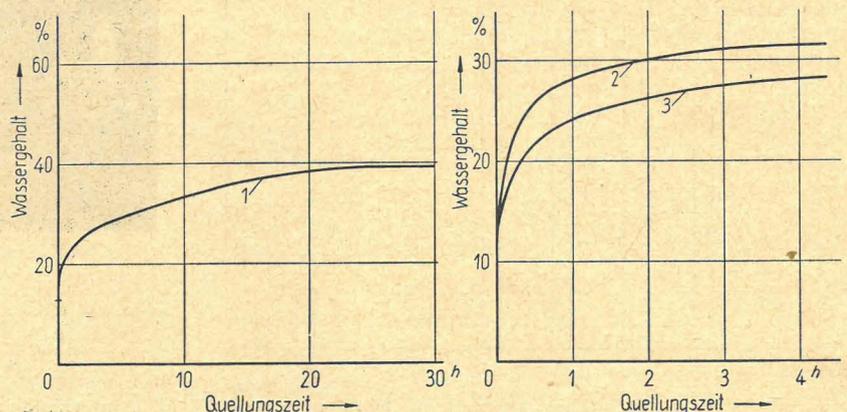


Abb. 3. Wirkung des Ultraschalls auf die Quellung von Sommergerste „Heines Pirol“.

1 = normaler Quellungsverlauf über 30 Stunden (Kontrolle).

2 = Quellungsverlauf über 4 Stunden bei Einwirkung von Ultraschall (22 kHz , 1 W/cm^2).

3 = normaler Quellungsverlauf über 4 Stunden (Kontrolle).

in Wasser von 12°C eingelegt wird und dabei einen Wassergehalt von 12,7% hat. Wie ersichtlich, steigt dann der Wassergehalt exponentiell auf einen Wert von 39% an, der nach etwa 24 Stunden erreicht ist. Dann bleibt er zunächst konstant, weshalb wir die Quellung als beendet ansehen können. Die nach etwa weiteren 24 Stunden erneut einsetzende Gewichtszunahme steht in Verbindung mit dem beginnenden Sproß- und Wurzelwachstum.

Kurve 2 der gleichen Abbildung stellt den Verlauf der Quellung dar, wie sie sich für die ersten 4 Stunden des Quellungsverlaufs bei der Einwirkung von Ultraschall (22 kHz, 1 W/cm²) einstellt. Die zugehörige Kontrollbehandlung ist in Kurve 3 gezeigt. Sie stellt den entsprechenden Ausschnitt aus Kurve 1 für t = 0 bis t = 4 Std. dar. Wie ersichtlich, ist der Vorgang durch Ultraschall wesentlich beschleunigt. Während z. B. bei normaler Quellung nach 30 Min. ein Wassergehalt von etwa 22% erreicht wird, ergibt sich nach 30 Min. Ultraschalleinwirkung schon ein Wert von 26%, d. h. die Wasserzunahme erhöht sich gegenüber dem Wert bei normaler Quellung in diesem Falle um 41%.

Zur Methodik dieser Versuche ist anzumerken, daß die Wassergehaltsbestimmung entsprechend den internationalen Vorschriften für die Prüfung von Saatgut (11) mit 1½stündiger Trocknung bei 130°C vorgenommen wurde. Die in Abb. 3, Kurve 1 und 3, dargestellte Kontrollbehandlung wurde jeweils im gleichen Beschallungsgefäß nach Abb. 1 untergebracht wie die Ultraschallbehandlung. Jeder Versuch — je 10 g Gerste — wurde fünffach wiederholt, die Unterschiede zwischen Ultraschallbehandlung und Kontrolle sind statistisch gut gesichert. Quellungsversuche mit den Frequenzen 800 kHz und 3 MHz zeigten prinzipiell den gleichen Effekt, wobei weitere Versuche im größeren Umfange noch klären müssen, welche Frequenz den stärksten Einfluß ausübt. Steigende Intensität des Ultraschalls bewirkt eine zunehmende Förderung der Quellung. Ähnliche Ergebnisse hatten wir früher an Bohnen gefunden (9).

Wie bei der Quellung zeigt sich auch bei der Prüfung der Keimsschnelligkeit, welche wir ebenfalls nach den erwähnten Vorschriften (11) durchführten, eine deutliche Wirkung der Ultraschallbehandlung. Abb. 4 stellt die Keimsschnelligkeit der genannten Gerstensorte nach Ultraschallbehandlung mit 22 kHz und 1 W/cm² für verschiedene Behandlungszeiten zwischen einer Minute

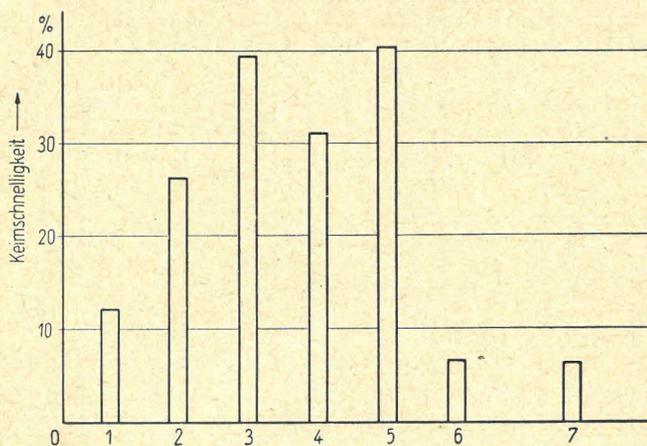


Abb. 4. Wirkung des Ultraschalls auf die Keimsschnelligkeit von Sommergerste „Heines Pirol“.

1 = 1 Minute beschallt (22 kHz, 1 W/cm²)

2 = 10 Minuten " (" ")

3 = 30 " " (" ")

4 = 60 " " (" ")

5 = 2½ Stunden gequollen

6 = 30 Minuten beschallt (22 kHz, 1 W/cm²) mit nachfolgender Rücktrocknung.

7 = Kontrolle, unbehandelt.

und einer Stunde dar (Säule 1 bis 4). Es ergibt sich gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Säule 7) eine starke Erhöhung der Keimsschnelligkeit, die bei 30 Min. Beschallungsdauer ein Maximum zu erreichen scheint.

Aus den Quellungskurven 2 und 3 der Abb. 3 ersieht man, daß durch eine 30 Min. lange Beschallung der gleiche Quellungsgrad erreicht wird, wie er sich bei normaler Quellung erst nach 2½ Stunden einstellt. Wir ließen daher zum Vergleich Saatgut 2½ Stunden lang quellen und prüften die Keimsschnelligkeit. Das in Abb. 4, Säule 5, dargestellte Ergebnis zeigt praktisch die gleiche Keimsschnelligkeit, wie sie sich nach 30 Min. Ultraschalleinwirkung ergibt. Daraus läßt sich vermuten, daß die fördernde Wirkung der Ultraschallbehandlung im wesentlichen als ein Quellungsseffekt anzusehen ist, dem eine schnellere Keimung zwangsweise folgt. Zur Erhärtung dieser Hypothese führten wir weitere Ultraschallbehandlungen durch, denen sich eine genau dosierte Trocknung anschloß. Durch diese Trocknung wurde der gleiche Wassergehalt wieder hergestellt, wie er im unbehandelten Korn vorhanden war. Wie Abb. 4, Säule 6, zeigt, stellt sich dann auch die gleiche Keimsschnelligkeit ein, wie sie ohne Behandlung vorhanden ist. Den gleichen Sachverhalt gibt Abb. 5 wieder. Die Aufnahme zeigt in der obersten Zeile den normalen

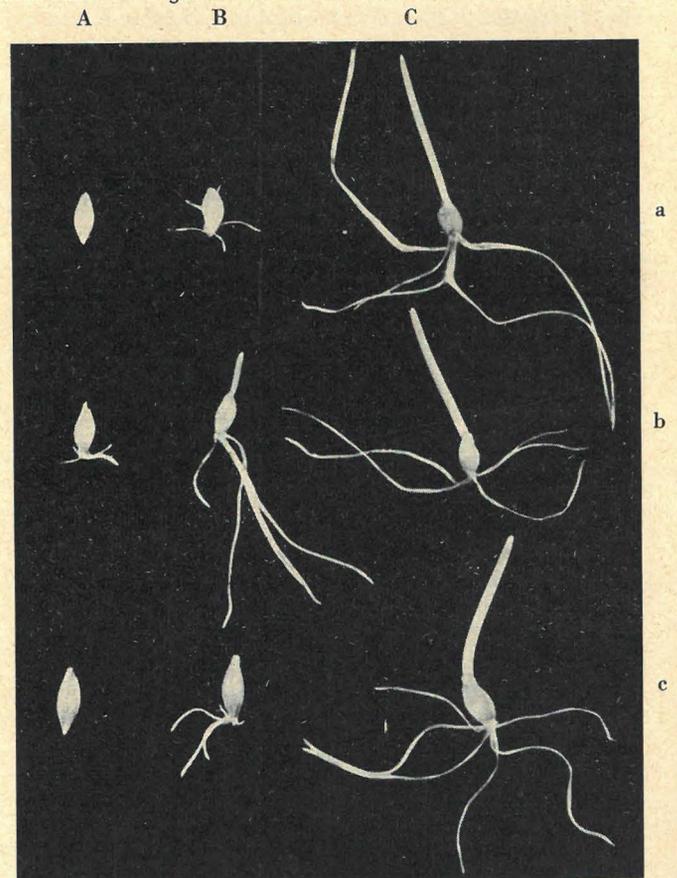


Abb. 5. Keimungsverlauf der Sommergerste „Heines Pirol“ (Ernte 1955) Versuchsbeginn: 2. 10. 1956.

		A	B	C
a	Kontrolle unbehandelt	nach 2 Tagen	nach 3 Tagen	nach 6 Tagen
b	Ultraschall 22 kHz, 1 W/cm ² 30 Minuten	„	„	„
c	Ultraschall 22 kHz, 1 W/cm ² 30 Minuten + Trocknung	„	„	„

Keimungsverlauf der Kontrolle, aufgenommen nach 2, 3 und 6 Tagen. Darunter ist der gleiche Vorgang für beschallte Gerste (30 Min., 22 kHz, 1 W/cm²) dargestellt. Man sieht einen deutlich schnelleren Beginn der Samenkeimung. In der untersten Zeile sind die Verhältnisse gezeigt, wie sie sich bei beschalltem Saatgut nach Rücktrocknung auf den Feuchtigkeitsgehalt der Kontrolle ergeben. Gegenüber der Kontrolle besteht kein Unterschied mehr.

Versuche bei anderen Ultraschallfrequenzen (800 kHz, 3 MHz) zeigten in der Tendenz die gleichen Erscheinungen. Ein quantitativer Vergleich der Wirkung verschiedener Frequenzen kann jedoch erst nach Auswertung weiterer Versuche gegeben werden. Neben der Frequenz wirken sich auch Schallintensität und Behandlungsdauer stark auf die Änderung der Keim Schnelligkeit aus. So zeigt sich bei zu starker Schalleinwirkung eine Hemmung der Keim Schnelligkeit und gegebenenfalls auch der Keimfähigkeit. Eine ausführliche Darstellung derartiger Ergebnisse, besonders auch für Saatgut weiterer Kulturpflanzen, wird in Kürze folgen (8).

Aus den beschriebenen Versuchen, deren Reproduzierbarkeit sich in einer größeren Anzahl von Wiederholungen erwiesen hat, ergibt sich, daß je nach Behandlung eine Förderung oder Hemmung der Keim Schnelligkeit erreicht werden kann, wobei die Förderung überwiegend auf einem Quellungs effekt zu beruhen scheint, während die Hemmung vermutlich andere Ursachen hat.

Eine praktische Anwendung des Ultraschalls zur Förderung der Keim Schnelligkeit erscheint nach den bisherigen Ergebnissen jedoch im allgemeinen nicht zweckmäßig, da dieselbe Wirkung auch mit wesentlich geringerem Aufwand durch eine allerdings etwas mehr Zeit beanspruchende Vorquellung erzielt werden kann.

Parallelaufende Feldversuche, die wir mit beschallter Sommergerste zur Beobachtung des Wachstums und einer evtl. Ertragssteigerung auf zwei unterschiedlichen Böden (Völkensrode und Maria Laach) durchführten, ergaben keine positiven Effekte. Wir beschallten dabei mit der Frequenz 22 kHz und einer Intensität von etwa 3 W/cm² und variierten die Behandlungsdauer zwischen 1 und 30 Min., woran sich stets eine Rücktrocknung anschloß.

Es zeigten sich weder im Vegetationsablauf noch in den Korn- und Stroherträgen statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den Pflanzen, die aus beschallten und unbeschallten Aussaaten aufwuchsen. Ebenso waren Zeitpunkt und Stärke des Aufgangs der Saaten im Rahmen der Versuchsgenauigkeit gleich, was sich

nach den vorangegangenen Erläuterungen leicht als Folge der Notwendigkeit erklären läßt, die Körner zur Ermöglichung des Ausdrillens nach der Beschallung auf gleiche, ursprüngliche Feuchtigkeit rückzutrocknen.

Ähnlich lagen die Ergebnisse bei Feldversuchen mit Sommerraps „Liho“.

3. Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten mittels

Ultraschall

Die erwähnte Einwirkung auf den Quellungs vorgang läßt vermuten, daß durch Ultraschallbehandlung von Saatgut die Permeabilität der Gewebe des Samens erhöht wird. Wenn dieser Effekt auch für in Wasser lösliche Schädlingsbekämpfungsmittel zu erreichen wäre, so könnte dadurch eine Bekämpfung solcher Pflanzenkrankheiten versucht werden, deren Erreger in das Gewebe des Samens eindringen und durch gewöhnliche Beizung von außen nicht abzutöten sind.

Mit Hilfe einer solchen „Pumpwirkung“ des Ultraschalls müßte es gelingen, fungizide oder bakterizide Stoffe an den Erreger heranzubringen, wobei sich eine zusätzliche Beizwirkung auch dadurch ergeben könnte, daß der Ultraschall selbst unter bestimmten Bedingungen auf gewisse Organismen abtötend wirkt (3, 4, 6 u. 7).

Um zu prüfen, ob die oben angedeutete Wirkung bei der Beschallung von Saatgut nachzuweisen ist, untersuchten wir zunächst — der leichteren Erkennbarkeit wegen — das Eindringen von Farb- und Reagenzstoffen. Da solche Stoffe bei Getreide nur schwer durch die Samenschale eindringen (10), wählten wir als Testmaterial weiße Buschbohnen (Sorte „Imuna“).

Aus einer in dieser Richtung durchgeführten Versuchsreihe gibt Abb. 6 ein Teilergebnis in verschiedenen Schnitten wieder. Die Bohnen der Behandlung 1 wurden 30 Min. lang der Einwirkung von Ultraschall 22 kHz, 3 W/cm² in Lugolscher Jod-Jodkalium-Lösung ausgesetzt, die der Behandlung 2 bei 800 kHz und 5 W/cm² und schließlich die der Behandlung 3 bei 10 MHz und 5 W/cm². Die Kontrollbehandlung 4 wurde 30 Min. lang ohne Schalleinwirkung unter sonst gleichen Bedingungen in der Lösung gequollen. Es zeigte sich, daß die Lösung mit Hilfe von Ultraschall (800 kHz) durch die Samenschale gedrungen ist und die Keimblätter verfärbt hat, während bei den übrigen Behandlungen keine Verfärbung sichtbar wird. Das Durchdringen der Samenschale im Falle 2 (800 kHz) bestätigt sich auch dadurch, daß sich die Samenschale nach 30 Min. langer Beschallung leicht abtrennen läßt. Nach Ablösen der Samenschale werden dann die stark gefärbten Keimblätter sichtbar. In Abb. 6, Fall 2, ist ein solches Keimblatt zusätzlich wiedergegeben.

Zur Erzielung solcher „Eintreibwirkungen“ scheint nach diesen Untersuchungen die Frequenz 800 kHz am geeignetsten, während — auch aus anderen Versuchen folgend — die Frequenz 22 kHz besonders an vorgequollenem Saatgut eine größere Wirkung zeigt, die Frequenz 10 MHz dagegen nicht diffusionsfördernd wirkt.

Zu klären bleibt noch die Frage, ob die Absorptionswärme bei diesem Effekt mitwirkt, wozu wir derzeit Temperaturmessungen mit Kleinthermistoren eingeleitet haben. Ebenso können wir noch nicht übersehen, welchen Einfluß die durch Ultraschall verstärkte Quellung auf diese Vorgänge hat.

An eine Ausnutzung dieser Ultraschallwirkung wäre beispielsweise bei der Bekämpfung von Gerstenflugbrand zu denken, da das in das Innere des Samens eingedrungene Myzel des Erregers dieser

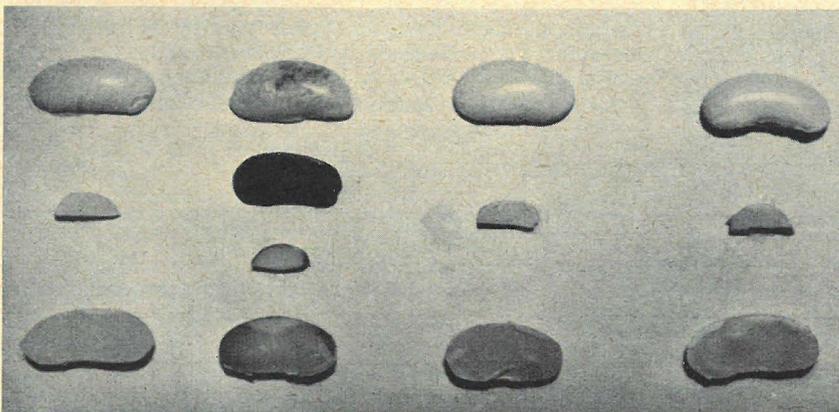


Abb. 6. Einschlung von Jod-Jodkalium-Lösung nach Lugol in weiße Buschbohnen

- 1 = 30 Min. beschallt (22 kHz, 3 W/cm²)
 - 2 = 30 " " (800 kHz, 5 W/cm²)
 - 3 = 30 " " (10 MHz, 5 W/cm²)
 - 4 = 30 " gequollen
- jeweils in Jod-Jodkalium-Lösung.

Krankheit durch äußerlich angewandte Beizmittel nicht vernichtet wird. Lediglich durch Heißwasserbeize läßt sich eine Hemmung des Myzelwachstums, welches nach der Aussaat einsetzt, erreichen, wodurch die Ausbreitung verringert wird.

In einem Freilandversuch³⁾ (Völkenrode) mit infizierter Wintergerste stellten wir der Heißwasserbeize die Behandlung mit Ultraschall in Wasser und in Lösungen von Quecksilberbeizmittel (Hg-Lösung) gegenüber. Der Flugbrandbefall betrug, wie sich nachträglich ergab, etwa 5%. Infolge dieses geringen Befalls war es schwierig, auf eine eindeutige Wirkung der Behandlung zu schließen.

Abb. 7 zeigt, daß nach Heißwasserbeize (Säulen 7 und 8) der Flugbrandbefall gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Säule 1) zurückgegangen ist, während die einfache Tauchbeize (Säule 2) offenbar wirkungslos bleibt.

Bei Beschallung in Wasser mit 800 kHz und 15 W/cm² (Säulen 3 und 4) ergibt sich ein leichter Anstieg des Befalls, der allerdings nicht varianzanalytisch gesichert ist und im Falle einer echten Steigerung eventuell auf Anregung des Myzelwachstums beruhen könnte. Die Beschallung in Quecksilberlösung mit der gleichen Dosis (Säulen 5 und 6) zeigt die Tendenz zur Verminde-

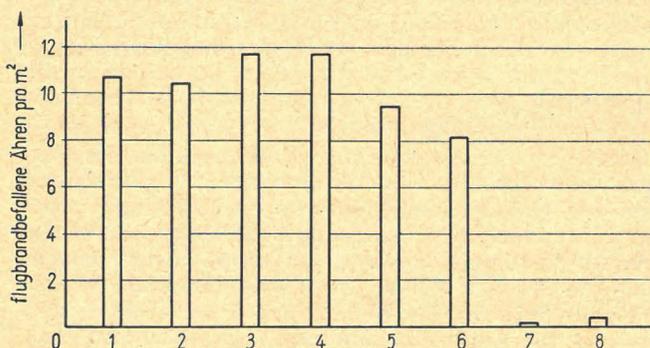


Abb. 7. Wirkung von Warmwasserbeize und Ultraschallbehandlung auf Gerstenflugbrand (*Ustilago nuda*).

- 1 = Kontrolle, unbehandelt
- 2 = 30 Min. getaucht in Quecksilberbeizlösung 0,1%
- 3 = 15 " beschallt in Wasser (800 kHz, 15 W/cm²)
- 4 = 30 " " in Wasser (800 kHz, 15 W/cm²)
- 5 = 15 " " in Quecksilberbeizlösung 0,1%
- 6 = 30 Min. beschallt in Quecksilberbeizlösung 0,1%
- 7 = 2 Std. in Warmwasser (45° C) gebeizt
- 8 = 2 Std. in Warmwasser (45° C) bei Zusatz von 0,1% Quecksilberbeizmittel gebeizt.

rung des Befalls, welche aber ebenfalls nicht statistisch gesichert ist.

In weiteren Feldversuchen (Völkenrode und Maria Laach) drillten wir infizierte Sommergerste (Befall etwa 5%) aus, welche wegen der besseren Ergebnisse bei den oben erwähnten Farbstoffversuchen mit 22 kHz erst nach 20stündiger Vorquellung 1, 5, 15 und 30 Min. lang mit einer Schallintensität von etwa 3 W/cm², diesmal in 8-Oxychinolinsulfat (Chinosol), behandelt wurde. Auch hier zeigten sich bei dem angegebenen geringen Befall keine gesicherten Ergebnisse.

Der im Verlauf unserer weiteren Arbeit eingeschlagene Weg sieht nun die Beschallung von Pilzmyzel des

³⁾ Versuche zur Flugbrandbekämpfung wurden in Zusammenarbeit mit der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Pflanzenschutzmittel- und Geräteprüfung, und dem Pflanzenschutzamt Münster (Westf.) durchgeführt.

Flugbrandes und die weitere Untersuchung der vielleicht möglichen „Eintreibung“ der Beizmittel in Samen vor, wonach wir Anwendungen der Kombination von Ultraschall und Beizmitteln prüfen werden. Darüber wird zu gegebener Zeit berichtet.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann heute über die Anwendungsmöglichkeit von Ultraschall auf Gerste gesagt werden:

1. Er bewirkt in Abhängigkeit von den Beschallungsdaten eine mehr oder minder starke Förderung der Quellung, die sekundär eine schnellere Keimung nach sich zieht.
2. Bei zu starker Schalleinwirkung treten Wachstumshemmungen auf.
3. Eine Kombination von Ultraschall und geeigneten Beizmitteln läßt es möglich erscheinen, spezielle Methoden der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten zu finden.

Literatur

1. Bergmann, L.: Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. 6. Aufl. Stuttgart: S. Hirzel 1954.
2. Ghisleni, P.: Contributo alla conoscenza degli effetti degli ultrasuoni sui vegetali superiori. Ann. Accad. Agricolt. Torino 1955/1956, 1—43.
3. Grün, L. und Stelter, J.: Ultraschalleinwirkung auf Mikroorganismen. Zeitschr. Hygiene **141**. 1955, 267—314.
4. Grün, L., Pothmann, F. J., Schopner, R. und Stelter, J.: Über die bakterizide Wirkung der Kombination von Ultraschall und chemischen Desinfektionsmitteln. Zeitschr. f. Hygiene **142**. 1956, 289—298.
5. Istomina, O., und Ostrowsky, E.: The effects of supersonic vibrations on potato growth. Compt. rend. (Doklady) Acad. Sci. USSR. N. S. 1935 I, 635—636.
6. Stelter, J., und Grün, L.: Über eine einfache Methode zur Abbildung des Schallfeldes und über den Einfluß von Schallfrequenz und Bakterienform auf die Keimabtötung. Zeitschr. f. Hygiene **142**. 1956, 299—311.
7. Stelter, J., Schopner, R., und Grün, L.: Weitere Untersuchungen über Ultraschalleinwirkungen. Zeitschr. f. Hygiene **143**. 1956, 81—90.
8. Straten, I. von der: (unveröffentlicht).
9. Wolters, K. und Straten, I. von der: Ultraschall in der Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode **6**. 1956, 18—19.
10. Ziegenspeck, H.: Die Wegsamkeit der Pigmentschale der Getreidekörner (Endodermis) für Fluorochrome. Protoplasma **41**. 1952, 425—431.
11. Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. Mitt. d. Internat. Vereinigung f. Samenkontr. **22**. 1957, Nr. 2, S. 581—671.

Eingegangen am 17. Januar 1957.

XV. Internationaler Gartenbaukongreß in Nizza

Das Kongreßbüro versandte inzwischen das 2. Rundschreiben mit dem vorläufigen Tagungsprogramm. Unter den 7 Symposien, die im Rahmen dieses Kongresses stattfinden sollen, ist Nr. 4: Diagnose und Bekämpfung der Viruskrankheiten hervorzuheben. In den Sektionen 1—5: Gemüse- und Samenbau; Obstbau; Blumenkultur; Kultur der Bäume und Ziersträucher; Anbau von Mittelmeer- und subtropischen Pflanzen, werden auch Pflanzenschutzfragen zur Sprache kommen. Vgl. im übrigen diese Zeitschrift Heft 6/1957, S. 95.