



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

## Musik und Pflanzen „Phytomusikologie“ auf dem Prüfstand

Verfasserin

Christina Schöftner

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Philosophie (Mag. phil.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 316

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Musikwissenschaft

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter



*Wohlgesangdurchschwelte Bäume,*

*wunderblütenschneebereift –*

Christian Morgenstern

## **Danksagung**

Mein herzlichster Dank geht an meinen Betreuer Christoph Reuter, der stets ein offenes Ohr für Fragen, Probleme und Ideen aller Art hat. Seine Begeisterung für das Thema und unsere anregenden Gespräche waren mir eine wichtige Motivation im Zuge dieser herausfordernden und reizvollen Unternehmung.

Dankbar bin ich auch all jenen, die in verschiedener Form zum Gedeihen der folgenden Schrift beigetragen haben, sei es mit inhaltlichen Anregungen, konstruktiver Kritik, Hilfe bei der Literaturbeschaffung oder in Form seelischer und kulinarischer Fürsorge; für diese unschätzbare Unterstützung möchte ich mich vor allem bei Alex, Arthur, Christian, Markus, Miriam, Raimund und Robert bedanken.

Meinen Eltern danke ich besonders für ihr Verständnis und die stete Unterstützung aller meiner Vorhaben.

# Inhalt

1 Einleitung.....	7
2 Grundlagen .....	13
2.1 Pflanzen .....	13
2.1.1 Charakteristika .....	13
2.1.2 Wachstum.....	16
2.1.3 Bewegungsvorgänge und Mechanoperzeption.....	18
2.1.4 Kommunikation.....	21
2.2 Methoden in den Naturwissenschaften.....	26
2.2.1 Die wissenschaftliche Methode.....	26
2.2.2 Methoden zur Untersuchung der Pflanzenphysiologie .....	27
2.2.3 Versuchsumgebung.....	29
3 Studien zur Schallwirkung auf Pflanzen .....	33
3.1 Vorgangsweise.....	33
3.2 Vorgeschichte.....	34
3.3 Forschungen in Indien unter T.C.N. Singh ab 1950.....	36
3.3.1 Strukturelle / histologische Veränderungen.....	38
3.3.2 Veränderungen im Stoffwechsel.....	42
3.4 Einzelne Studien in den USA (1960er und 1970er Jahre).....	48
3.4.1 „Growing Corn to Music“.....	48
3.4.2 „Science Fair“ mit Erbsen, Geranien und Tomaten .....	52
3.4.3 Experimente mit <i>Tagetes erecta</i> .....	54
3.4.4 Auswirkung von Geräuschen auf Pflanzen .....	58
3.4.5 Versuche mit Weizen .....	60
3.4.6 Keimung von Rübensamen .....	62
3.5 Studien in Kanada zwischen 1968 und 1979.....	64
3.5.1 Studien mit Sinustönen und Weizen .....	65
3.5.2 Experimente mit Folklore .....	84
3.6 „The Sound of Music and Plants“ .....	88
3.6.1 Erste Versuche .....	89
3.6.2 Experimente unter „streng kontrollierten Bedingungen“ .....	92
3.6.3 Experimente für „Denver Post“ und „C.B.S. Television News“ .....	97

3.6.4 Interpretationen der Ergebnisse .....	100
3.6.5 Wissenschaftlichkeit der Experimente .....	102
3.7 „Positive“ und „negative“ Musik .....	103
3.8 Gegen den Welthunger: „Sonic Bloom“ .....	106
3.9 Meridian-System und „Agri-Wave-Technology“ .....	110
3.10 „Plant Acoustic Frequency (Control) Technology“ .....	113
3.10.1 Experimente mit Erdbeeren.....	113
3.10.2 Weitere Studien mit Erdbeeren.....	116
3.10.3 Insektengeräusche, Musik und Gemüse.....	117
3.10.4 Weitere Studien mit Insektengeräuschen und Musik .....	119
3.10.5 Pflanzensignale bei „Green music“ und „Folk Song“ .....	120
3.10.6 Weitere Studien mit elektrischen Pflanzensignalen.....	124
3.11 Keimung von Zucchini- und Okra-Samen bei Musik .....	127
3.11.1 Experimentaldesign.....	128
3.11.2 Methoden.....	132
3.11.3 Datenerhebung.....	137
3.11.4 Ergebnisse.....	138
3.12 Experimente in Asien mit <i>Chrysanthemum</i> .....	144
3.12.1 Deformierbarkeit der Zellmembran .....	146
3.12.2 Enzyme, Protein, Calcium-Absorptionsrate.....	147
3.12.3 K <sup>+</sup> -Ionenkanäle.....	148
3.12.4 Wachstumsrate, lösliches Protein, löslicher Zucker .....	149
3.12.6 Pflanzenhormone IAA und ABA.....	150
3.12.7 Nukleinsäuren, lösliches Protein .....	152
3.12.8 Wurzelzellen.....	153
4 Diskussion und Ausblick.....	159
5 Literatur.....	165
5.1 Printquellen.....	165
5.2 Onlinequellen.....	180
Anhang A: ICCEG-Checkliste für Publikationen .....	183
Anhang B: Glossar .....	185
Zusammenfassung.....	197
Lebenslauf.....	199

## 1 Einleitung

Bedient man dieser Tage eine beliebige Internet-Suchmaschine mit den verknüpften Schlagworten „Musik“ und „Pflanzen“, so findet sich eine Vielzahl von Artikeln, Webseiten und Foren, die sich der Wirkung von Musik auf Pflanzen widmen. Die Mehrheit dieser Autoren scheint durchwegs von positiven im Sinne von wachstumsfördernden Effekten zu sein. Auch Tageszeitungen berichten seit den 1960er Jahren sporadisch von der angeblich positiven Wirkung von Musik auf Pflanzen, vor allem in den USA, wo das Thema nach wie vor ein beliebter Gegenstand für Schülerprojekte ist, die im Rahmen des Biologieunterrichts (vgl. Talos 2001) und so genannter „Science Fairs“ durchgeführt werden, wie etwa jenes von Dickerson (1964; vgl. auch Anon. 1960; Menagh 1962). Wenig überraschend dürften bei diesem Thema finanzielle Interessen eine nicht unwesentliche Rolle spielen: Anfang der 1970er Jahre brachte der pensionierte Zahnarzt George Milstein eine LP namens „Music to Grow Plants“ heraus (Corelli-Jacobs 1970). Dan Carlson, der die Methode weiterentwickelte, bewirbt seit den 1980er Jahren seine für Hobbygärtner und Landwirte gleichermaßen geeignete (und patentierte) Methode „Sonic Bloom“ als Lösung gegen den Welthunger (<http://www.originalsonicbloom.com>); eine ähnliche Internetpräsenz vertreibt ihre Produkte offenbar in direkter Konkurrenz unter dem Namen „Real Sonic Bloom“ (<http://www.real-sonic-bloom.com>). In jüngster Zeit machen Winzer auf sich aufmerksam, die ihre Weinberge mit Mozart und Vivaldi beschallen, um Ertrag, Qualität und Schädlingsresistenz der Reben zu steigern (vgl. etwa Martinelli 2007; Schmidt 2009; Trüb 2012). Angesichts zahlreicher euphorischer Berichte von Schülern, Gärtnern, Pflanzenliebhabern, Landwirten und Weinbauern stellt sich die Frage, wie die Wissenschaft zu den Berichten über die schier wunderbare Wirkung der Musik steht.

Wirft man einen Blick in einschlägige Lehrbücher der Pflanzenphysiologie, so wird man zum Thema Schallwahrnehmung bei Pflanzen kaum fündig. Als eine der wenigen Ausnahmen widmet Scott (2008) der Schallwahrnehmung von Pflanzen einen kurzen Abschnitt, wobei ebenso knapp wie unmissverständlich festgehalten

wird, dass Pflanzen nicht über die Fähigkeit verfügen, Schall wahrzunehmen; allenfalls könnten sie auf Vibrationen reagieren: „Therefore, as would be expected, plants are deaf and cannot sense noises; however, they can sense vibrations made by noises [. . .]“ (ebd., S. 208). Andernorts stellt Scott fest: „There has been surprisingly little serious research into the area of whether plants can sense sound“ (ebd., S. 207).

Auch in der musikwissenschaftlichen Literatur sind die Informationen spärlich. Zwar betrachtet die Musikwissenschaft ihren Untersuchungsgegenstand in vielerlei Zusammenhängen und Aspekten, doch steht dabei immer das menschliche Empfinden im Vordergrund; allenfalls ist man an der Wirkung von Musik bzw. Schall auf Tiere interessiert; siehe dazu etwa die Studien von Uetake K. et al. (1997); McDermott & Hauser (2004); Patel et al. (2009); weitere Hinweise finden sich bei Kopiez (2008). Findet das Thema dennoch einmal Erwähnung, so wird es generell eher als Kuriosität abgetan. So schreibt Kopiez (2008) über die Studie Retallacks (1973, vgl. auch Kap. 3.6):

Diese Art von Studien gehört ins Skurrilitätenkabinett der Wissenschaft, denn es gibt weder eine Erklärung noch eine Vorhersage der Wirkung von Musik auf Pflanzen. Solche Studien sind eher ein Beleg für die Bereitschaft der Öffentlichkeit, in Zusammenhang mit Spekulationen über die Wirkung von Musik selbst die abwegigsten Hypothesen noch zu akzeptieren (ebd., S. 543).

Ebenfalls wenig Aufschluss bietet die dem Anschein nach vielversprechendste Disziplin der Bioakustik, die sich vorwiegend mit akustischer Tierkommunikation befasst (etwa das Journal „Bioacoustics“, welches sich dem Studium von Tierstimmen widmet; vgl. auch Fletcher 1992).

Auf den ersten Blick mag es so aussehen, als ob Scott mit seinem Befund Recht behalten würde; es scheint, als ob die Menge an anekdotischen Berichten abseits der Wissenschaft überwiegen würde. Wie sich nach einiger Recherche herausstellt, wurden und werden tatsächlich erstaunlich viele Anstrengungen unternommen, um eine Wirkung von Musik bzw. Schallwellen innerhalb des vom Menschen wahrnehmbaren Frequenzbereichs auf Pflanzen nachzuweisen. Das Thema könnte zu-

dem im Zuge einer relativ jungen Strömung in den Pflanzenwissenschaften wieder an Aktualität gewinnen: Man wendet sich ab vom Bild der Pflanzen als auszubeutende, passive Kreaturen hin zu einer neuen Auffassung pflanzlicher Organismen als zur Wahrnehmung und Kommunikation mit ihrer Umwelt fähige Lebewesen – eine Sichtweise, die lange Zeit der Esoterik und Parawissenschaft zugerechnet wurde, neuerdings aber auch in der Wissenschaft Widerhall findet (Baluška et al. 2006, S. V–IX). So sprechen manche Pflanzenphysiologen von „Verhalten“ (vgl. Karban 2008; Novoplansky 2009; Trewavas 2009) und „Intelligenz“ (vgl. Garzón & Keijzer 2011; Trewavas 2003, 2005a, 2005b) pflanzlicher Organismen und schlagen eine neue Disziplin der „Pflanzenneurobiologie“ vor (vgl. etwa Baluška et al. 2005; Baluška & Mancuso 2007; Brenner et al. 2006; Barlow 2008). Freilich gehen die Pflanzenphysiologen dabei nicht von angeblichen pflanzlichen Fähigkeiten wie ESP („extra-sensory perception“) oder ähnlichen in der Parawissenschaft diskutierten Phänomenen aus – Baluška & Mancuso (2009) sind sogar der Ansicht, dass Bücher wie „The Secret Life of Plants“ (Tompkins & Bird 1973; zur ESP vgl. etwa Backster 2003;) die Entwicklung dieses Bereichs der Pflanzenwissenschaften entscheidend gebremst haben:

[...] this important and well-developed field of plant sciences was almost wiped out following the publication of the controversial book *The Secret Life of Plants* in the 1970s. The resulting „esoteric stigma“ hindered the further development of this branch of plant sciences (Baluška & Mancuso 2009, S. 285).

Vielmehr will man den komplexen physiologischen und biochemischen Kommunikations- und Signalübertragungsprozessen innerhalb von Zellen, Zellverbänden, Organen sowie der gesamten Pflanze auf den Grund gehen. Die Idee einer „Pflanzenneurobiologie“ und der Pflanze als intelligentes Lebewesen wird durchaus kontrovers diskutiert (vgl. etwa Firn 2004; Alpi et al. 2007; Brenner et al. 2007; Garzón 2007); generell scheint sich aber ein neues Verständnis von der Pflanze als mit ihrer Umwelt interagierendes Lebewesen zu bilden. Wie man festgestellt hat, nehmen Pflanzen nicht nur Veränderungen im Lichtspektrum wahr, sie reagieren beispielsweise auf chemische Botenstoffe, etwa auf „Warnungen“ durch Pflanzen der eigenen Art, die

von Pathogenen befallen wurden (Engelberth et al. 2004) sowie auf mechanische Reize wie Wind, Berührung und Vibration (Jaffe 1973; Braam & Davis 1990). Diese Reaktionen können sich etwa in der vermehrten Produktion bestimmter Abwehrstoffe und auch in individuellen Veränderungen des Phänotyps äußern. Pflanzen sind zudem fähig, Wurzeln eigener Artgenossen von artfremder Nachbarschaft zu unterscheiden und ihr Wachstumsverhalten entsprechend anzupassen (Trewavas 2005a, 2005b). Es gibt Hinweise darauf, dass Signale über elektrische Reize zwischen verschiedenen Teilen der Pflanze ausgetauscht werden (Shepherd 2012). In neuesten Studien wird sogar die Möglichkeit einer akustischen Kommunikation zwischen Pflanzen untersucht (Gagliano et al. 2012a; 2012b; 2012c; Gagliano 2012).

Vor all diesen Hintergründen scheint es an der Zeit, der Frage nach einer Wirkung von Musik auf pflanzliche Organismen nachzugehen. Zweifel scheinen berechtigt, da Pflanzen augenscheinlich nicht über ein komplexes auditives System verfügen, wie es beim Menschen (bzw. bei Säugetieren) anzutreffen ist und es ihnen trotz der Argumente für neuronentartige Strukturen und intelligentes Verhalten an kognitiven und emotionalen Verarbeitungsstrukturen mangelt, die an der menschlichen Musikwahrnehmung beteiligt sind. Nun mögen Pflanzen vielleicht nicht zu einem dem menschlichen Empfinden entsprechenden Musikgenuss fähig sein; dies würde aber nicht unbedingt ausschließen, dass Pflanzen überhaupt auf Schall reagieren. Gagliano et al. (2012b; vgl. auch Gagliano 2012) verweisen auf mehrere Beispiele aus der Tierwelt, die zeigen, dass zur Wahrnehmung von Schall nicht unbedingt tympanale oder cochleäre Strukturen notwendig sind. Könnten Pflanzen also tatsächlich über eine Art Hörsinn verfügen?

Um etwaige erste Anhaltspunkte liefern zu können, hat diese Arbeit zum Ziel, einen kritischen Überblick über die vorhandenen Studien zur Untersuchung der Schallwirkung auf Pflanzen in Form eines Reviews zu schaffen und zu untersuchen, ob auf dieser Basis bereits eine Aussage über eine mögliche Wirkung von Musik bzw. Schallwellen im menschlichen Hörbereich getroffen werden kann. Als Kriterium für die wissenschaftliche Aussagekraft der Studien dient die Beurteilung der Wiederholbarkeit der Experimente bzw. die Reproduzierbarkeit der jeweiligen Resul-

tate. Soweit im Rahmen einer musikwissenschaftlichen Arbeit möglich soll daher vor allem auf die Versuchsbedingungen und Methoden der Studien eingegangen werden.

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden Experimente zur Wirkung von Schallsignalen mit Frequenzen innerhalb des menschlichen Hörbereichs, also im Bereich von ca. 20 bis 20.000 Hz (Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 54) herangezogen; dabei ist im Hinblick auf die Frage nach einem pflanzeigenen „Hörsinn“ notwendig, neben Studien mit Musik auch solche mit Sinustönen und Rauschsignalen einzubeziehen. Musikalische Schallsignale sind von hoher Komplexität, sodass es im Sinne einer Bottom-up-Vorgangsweise erforderlich ist, die Wirkung einfacher periodischer harmonischer Schallschwingungen zu berücksichtigen. Auch in der Psychoakustik, welche die ebenso komplexen Vorgänge bei der Schallwahrnehmung anhand von Zusammenhängen zwischen Hörempfindungen und Schallbedingungen untersucht (Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 40), werden vor allem Sinusschwingungen und Rauschen als Reizsignale bei Experimenten eingesetzt (vgl. hierzu auch Fastl & Zwicker 2007).

Da die Grenzen des menschlichen Gehörs nicht unbedingt auch für andere Lebewesen gelten – sofern bei Pflanzen überhaupt von einem „Gehör“ gesprochen werden kann – müssten streng genommen auch Schallwellen mit Frequenzen außerhalb des menschlichen Hörbereichs (Infra- und Ultraschall) in die Betrachtung einbezogen werden. Gerade im Bereich des Ultraschalls wird die Wirkung auf biologisches Gewebe wegen der Bedeutung für medizinische und biotechnologische Anwendungen (etwa im Bereich der Gentechnik) intensiv erforscht, auch zur Wirkung auf Pflanzen findet sich einige Literatur – eine Übersicht bietet z.B. Miller (1983); zu neueren Forschungen vgl. etwa Wu & Lin, 2002a, 2002b; Qin et al. 2003). In der vorliegenden Arbeit wird allerdings auf eine Berücksichtigung von Studien zur Wirkung von Infra- und Ultraschall verzichtet. Eine detailliertere Analyse ginge über den hier gesteckten Rahmen insofern hinaus, als das Thema gerade im Hinblick auf die häufig kolportierte und wenig hinterfragte „Wunderwirkung“ musikalischer Anwendungen auf nicht-menschliche Organismen gewählt wurde – vgl. etwa die Idee,

klassische Musik könnte die Leistung von Mikroben in Kläranlagen steigern (Anon. 2010) oder den Reifungsprozess von Wurst günstig beeinflussen (Anon. 2008); Hinweise zur angeblichen Wirkung von Musik auf die Laktation von Milchkühen finden sich bei Sambras & Hecker (1985). Durch die Beschränkung auf das menschliche Hörfeld ist keinesfalls eine „Vermenschlichung“ pflanzlicher Organismen beabsichtigt; falls überhaupt von einer solchen gesprochen werden kann, so wird argumentiert, dass diese bereits von jenen Studienautoren vorgenommen wurde, die sich konkret mit der Wirkung von Musik auf Pflanzen auseinandersetzen (unter der Voraussetzung, dass Musik als ein in erster Linie menschliches Phänomen verstanden wird).

In Rücksicht auf die Interdisziplinarität des Themas wird in Kapitel 2 ein Überblick über die für Überlegungen bezüglich pflanzlicher Schallwahrnehmung notwendig erscheinenden pflanzenphysiologischen Grundlagen gegeben; insbesondere wird in Hinsicht auf die mechanische Natur von Schallwellen auf die möglichen Mechanismen der Pflanze zur Wahrnehmung mechanischer Reize wie Wind, Berührung und Vibrationen eingegangen. Daneben findet sich eine Einführung in die Methoden der Naturwissenschaften und der Pflanzenphysiologie allgemein sowie über die Kontrolle von Einflussfaktoren bei pflanzenphysiologischen Experimenten im speziellen. In Kapitel 3 werden die untersuchten Studien vorgestellt und im Anschluss verglichen und diskutiert. Zur Übersicht der wichtigsten Termini aus der Pflanzenbiologie findet sich im Anhang ein Glossar; die darin enthaltenen Begriffe sind im Text mit Pfeilen (→) gekennzeichnet.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Pflanzen

#### 2.1.1 Charakteristika

Die Frage, was eine Pflanze ist und wie man Pflanzen von anderen Lebewesen unterscheidet, ist nicht so einfach zu beantworten, wie es auf den ersten Blick scheinen mag. Bis zum 19. Jahrhundert wurden Organismen anhand der Ernährungsweise (→heterotroph bei Tieren; →autotroph bei Pflanzen) und der Fähigkeit zur Fortbewegung entweder als Tier oder Pflanze kategorisiert; allerdings gibt es neben Pilzen, die weder fressen noch →Photosynthese betreiben, sondern ihre Nahrung absorbieren, zahlreiche Organismen, die zugleich verschiedene tierische und pflanzliche Merkmale aufweisen. Seit 1990 hat sich ein von Robert Whittaker vorgeschlagenes Fünf-Reiche-System etabliert (Kutschera 2002, S. 9). Laut Nabors (2007) favorisieren die meisten Wissenschaftler heute aber ein erweitertes System (Tab. 2.1), welches das Reich der Prokaryoten noch einmal unterteilt und als übergeordnete Hierarchie die Domänen *Archaea*, *Bacteria* und *Eukarya* einführt (vgl. ebd., S. 427f).

Angehörige Spezies des Reiches *Plantae* zeichnen sich im Wesentlichen dadurch aus, dass sie ihre Nahrung selbst (über Photosynthese) produzieren, während Tiere und Pilze ihre Nahrung fressen bzw. absorbieren. Pflanzliche Zellen besitzen rigide →Zellwände, die hauptsächlich aus Zellulose bestehen und die Zelle außerhalb der Zellmembran umschließen; die Zellwände von Pilzen setzen sich aus Chitin zusammen, während Tierzellen über gar keine Zellwände verfügen (ebd., S. 429).

Reich	Kurzdefinition	Domäne
1. Monera (Bakterien)	Prokaryoten (Zellen ohne Zellkern, Bakterienzellen); einzeln oder zu Fäden vereinigt	Je nach Lebensweise den Domänen Bacteria und Archaea zugeordnet
2. Protista (Einzeller, einfache Mehrzeller)	Eukaryotische (Zellen mit Zellkern) Mikroorganismen und deren mehrzellige Abkömmlinge	
3. Fungi (Pilze)	Aus Sporen hervorgehende ein- oder mehrzellige Eukaryoten, die ihre Nahrung absorbieren und Zellwände aus Chitin aufweisen	Domäne Eukarya
4. Plantae (Pflanzen)	Aus einem mehrzelligen Embryo hervorgehende, festgewachsene Organismen, die Photosynthese betreiben	
5. Animalia (Tiere)	Mehrzellige Eukaryoten, die sich von anderen Organismen ernähren	

Tab. 2.1: Übersicht über die 5 Reiche und ihre Unterordnung in die Domänen (nach Kutschera 2002, S. 9; Nabors 2007, S. 428).

Photosynthese geschieht in für Pflanzen charakteristischen zellulären → Organellen, den Chloroplasten; darin sind Pigmente enthalten, vor allem der Farbstoff → Chlorophyll; dieses absorbiert Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Im Bereich des grünen Lichts ist die Chlorophyllabsorption sehr gering, wodurch die grüne Farbe der Pflanzen zustande kommt (Bresinsky et al. 2008, S. 277). Ferner verfügen Pflanzenzellen im Unterschied zu Tierzellen über → Vakuolen, das sind von Membranen umschlossene und mit Zellsaft gefüllte Räume innerhalb der Zelle, die bis zu 95 % des Zellvolumens ausmachen können, wodurch auch der so genannte → Turgordruck auf die Zellwand zustande kommt.

Die übergeordnete Struktur der Pflanze besteht aus einem Wurzelsystem, der Sprossachse mit ihren Trieben sowie Blättern und Blüten. Die Wurzeln sorgen für die Verankerung der Pflanze im Boden sowie für die Wasser- und Mineralienaufnahme. Ein effizientes Wurzelsystem muss ausreichend verzweigt sein, ein Grund für die Immobilität der Pflanze. Die Wurzelspitze besteht aus einem Verband undifferenzierter Zellen, dem → Apikalmeristem, in welchem über mitotische Zellteilungen

das Längenwachstum der Wurzel stattfindet. Die Sprossachse kann als Summe von Internodien gesehen werden; an den Nodien (Sg. Nodus, von lat. „Knoten“) setzen die Blätter der Pflanze an. Die Höhe der Sprossachse hängt in hohem Maße von der sie umgebenden Konkurrenz ab, wobei eine größere Wuchshöhe nicht immer vorteilhaft ist, da sie die Stabilität der Pflanze herabsetzen kann. Die Spitze enthält ebenfalls ein Apikalmeristem, das neue Zellen generiert, aus denen Blätter, Triebe, Blüten und Früchte entstehen. Die Blätter stellen den Hauptort der Photosynthese dar, mittels welcher die Pflanze Energie aus dem Sonnenlicht in chemische Energie ( $\rightarrow$ ATP und Elektronencarrier wie  $\rightarrow$ NADPH) umwandelt, die vorwiegend für die Synthese von Kohlenhydraten aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) im so genannten  $\rightarrow$ Calvin-Zyklus benötigt wird. Blätter beinhalten zudem Gefäße, welche die Assimilate vom Ort der Photosynthese zur Sprossachse leiten. Zugleich entsteht über das Verdampfen von Wasser ( $\rightarrow$ Transpiration) über so genannte Spaltöffnungen ( $\rightarrow$ Stomata; Sg. Stoma) in den Blättern eine Sogwirkung, die Wasser und gelöste Mineralstoffe aus den Wurzeln über die Leitbündel in der Sprossachse in die Blätter zieht. Mineralstoffe werden in Form von Ionen über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen. Pflanzen benötigen sie zur Bildung unterschiedlicher organischer Moleküle aus den im Calvin-Zyklus assimilierten Zuckern; diese Moleküle dienen als Energiequelle sowie als Baustoff für strukturelle Komponenten. Über die Spaltöffnungen wird zudem das für die Photosynthese benötigte  $\text{CO}_2$  aus der Luft aufgenommen und  $\text{O}_2$  (Sauerstoff) sowie  $\text{H}_2\text{O}$  abgegeben. Die Spaltöffnungen dienen aber auch zur Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von  $\text{CO}_2$ , im Zuge der äußeren Atmung. Sauerstoff ist bedeutend für die innere Atmung, bei der einige der während der Photosynthese gebildeten Zucker unter  $\text{O}_2$ -Anwesenheit wieder zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  abgebaut werden, wobei Energie in ATP umgewandelt oder als Wärme freigesetzt wird. Dieser Prozess wird auch als Zellatmung bezeichnet und findet in den  $\rightarrow$ Mitochondrien der Zelle statt (vgl. dazu auch die entsprechenden Kapitel bei Scott 2008 und Nabors 2007).

## 2.1.2 Wachstum

Im Unterschied zu Tieren wächst eine Pflanze ihr ganzes Leben lang. Wachstum geschieht im einfachsten Fall durch eine Erhöhung des Zellvolumens, des Weiteren über Zellvermehrung durch →Mitose (Zellteilung) in den Meristemen der Spross- und Wurzelspitze. Wachstumsprozesse erlauben es der Pflanze, die Ressourcen ihres Standortes bestmöglich auszunutzen und ermöglichen ein gewisses Maß an Bewegung in Reaktion auf verschiedene Stimuli aus der Umgebung, die man als Tropismen (siehe Kap. 2.1.3) bezeichnet.

Die Mitose läuft in verschiedenen Phasen ab. In der so genannten S-Phase des →Zellzyklus werden die im Zellkern befindlichen Chromosomen dupliziert, welche Erbinformation in Form von →DNA enthalten. Nach einer Ruhephase (G<sub>2</sub>, von engl. „gap“ für „Lücke“), in welcher sich die Chromosomen verdichten, beginnt die Mitose oder M-Phase (Abb. 2.1): Die Chromosomen teilen sich und bilden zwei identische Zellkerne. Zwischen ihnen bildet sich eine Platte, die aus zwei neuen Plasmamembranen besteht und sich allmählich verstärkt, bis sich zwei identische und zunächst undifferenzierte Tochterzellen gebildet haben, welche in weiterer Folge weiter wachsen und sich spezialisieren.

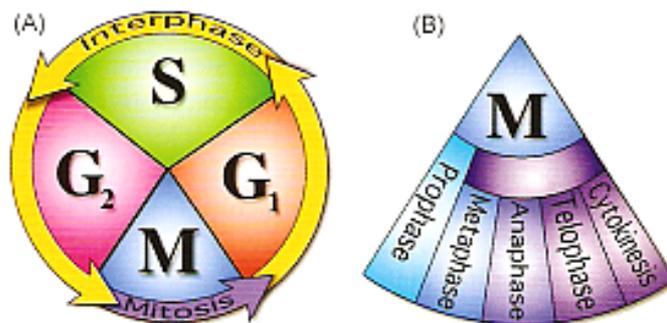


Abb. 2.1: Die Mitosephase ist neben der Interphase ein Teil des Zellzyklus (A). Während der Interphase wächst die Pflanze, danach kommt eine Ruhephase (G<sub>1</sub>). In der S-Phase wird die DNA redupliziert. Nach einer weiteren Ruhephase (G<sub>2</sub>) tritt die Mitose ein, die sich wiederum in die in (B) dargestellten Phasen teilt (Abb. aus Scott 2008, S. 150).

Das Wachstum einer Pflanze wird nicht nur durch den Genotyp (also die individuelle genetische Ausstattung) bestimmt, sondern hängt von einer Vielzahl an äußeren Faktoren wie Licht- und Temperaturverhältnissen sowie der Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen ab; daneben spielt auch die benachbarte Konkurrenz eine Rolle. Für die Reaktion der Pflanze auf Umwelteinflüsse ist eine Reihe verschiedener Substanzen und komplexer Prozesse im Pflanzengewebe verantwortlich (Scott 2008, S. 149–160).

Von wichtiger Bedeutung für das Wachstum sind bestimmte Regulatoren oder →Pflanzenhormone, vor allem die Klasse der so genannten →Auxine. Der wichtigste Vertreter der Auxine ist →IAA (Indol-3-Essigsäure), welches das Zellwachstum stimuliert und daneben in vielfacher und teilweise noch unerforschter Weise auf weitere physiologische Prozesse Einfluss nimmt; seine Wirkung ist vermutlich an zahlreiche Signaltransduktionsketten geknüpft (Nabors, S. 281ff). Der Hormonspiegel im Pflanzengewebe hängt von der beständigen Neusynthese des Auxins ab, denn der Abbau von IAA wird vom Enzym →IAA-Oxidase beschleunigt; IAA-Oxidase trägt daher zur Hemmung des Wachstums bei (Schopfer & Brennicke 2010, S. 414). Neben weiteren Phytohormonen, die man als Cytokinine und Gibberelline bezeichnet, werden Wachstum und Entwicklung auch von →ABA (Abscisinsäure) reguliert; ABA wirkt hemmend auf das Wachstum und reguliert den Ruhezustand bei Samen und anderen Pflanzenorganen, aber auch Reaktionen der Pflanze auf Umweltstress (ebd., S. 426).

Neben Auxinen spielen die Aktivität von Botenstoffen und →Enzymen eine Rolle bei der Reaktion der Pflanze auf Umweltfaktoren. Eine zentrale Rolle kommt dabei der →Zellmembran zu, die an Signal-Transduktion, Substanztransport und Energie-Umwandlung beteiligt ist. Lipide und →Proteine, aus welchen die Membran aufgebaut ist, übernehmen dabei die Hauptfunktion. So gibt es in der Membran Ionenpumpen, das sind Proteine, die Protonen ( $H^+$ ) aktiv, d.h. unter Verbrauch von →ATP durch die Zellmembran transportieren können und daher auch →ATPasen genannt werden; auch Calcium-Ionen ( $Ca^{2+}$ ) können auf diese Weise durch die Membran gepumpt werden (vgl. Schopfer 2010, S. 80f). Von den Ionenpumpen zu unterscheiden

sind Ionenkanäle, welche die Diffusion von Ionen, z.B. Kalium-Ionen ( $K^+$ ) passiv, also ohne Energieaufwand, entlang eines Konzentrations- und Potentialgefälles (von einem Bereich mit höherer Konzentration in den Bereich mit niedrigerer Konzentration) ermöglichen (Nabors, S. 253). Von der Aktivität des  $K^+$ -Ionenkanals etwa hängen verschiedene Prozesse beim Wachstum ab. Sie sind außerdem an der Weiterleitung von Aktionspotentialen beteiligt, das sind abrupte Depolarisationen, die durch  $Ca^{2+}$ -Ionen induziert werden, indem diese Chlorid- ( $Cl^-$ ) und  $K^+$ -Kanäle aktivieren, sodass es zu einem Ausströmen von  $Cl^-$ -Anionen,  $K^+$ -Kationen sowie Wasser aus der Zelle und daher zu einem vorübergehenden Verlust des Turgordrucks kommt. Aktionspotentiale können sich in Pflanzen mit Geschwindigkeiten von 10–70 mm/s ausbreiten, möglicherweise auch schneller (Shepherd 2012). An der Signal-Weiterleitung und in weiterer Folge an der Reaktion einer Pflanze auf Umwelteinflüsse sind also unter anderem  $Ca^{2+}$ -Ionen beteiligt; sie gelten als sekundäre Botenstoffe, die eine Vielzahl an physiologischen und biochemischen Vorgängen auslösen können (Clapham 2007; vgl. DeFalco et al. 2010; Shepherd 2012).

Forscher gehen davon aus, dass auch Enzyme, die an verschiedenen Abwehrmechanismen der Pflanze gegen oxidativen Stress beteiligt sind, das Wachstum beeinflussen können. Eine wichtige Rolle spielen dabei Superoxid-Dismutasen ( $\rightarrow$ SOD), welche die Umsetzung von Super- bzw. Hyperoxid ( $O_2^-$ ) zu Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) beschleunigen. Dieses wird anschließend über weitere Enzyme, sog. Katalasen ( $\rightarrow$ CAT) und Peroxidasen ( $\rightarrow$ POD) zu Wasser abgebaut. Hyperoxid gehört zu den reaktiven Sauerstoffspezies (*reactive oxygen species*, ROS) und kann als freies und sehr reaktionsfreudiges Radikal zu Schäden in der Zelle führen (Schopfer & Brennicke 2010, S. 601f).

### 2.1.3 Bewegungsvorgänge und Mechanoperzeption

Obwohl eine Pflanze an ihrem Standort verwurzelt ist, erlauben Wachstumsvorgänge auch gewisse Bewegungen von Pflanzen bzw. deren Organen. Dabei wird zwischen so genannten Tropismen und Nastien unterschieden. Tropismen sind durch Reize ausgelöste, gerichtete Bewegungen ortsgebundener Pflanzen oder ihrer Orga-

ne. Diese Bewegung vollzieht sich langsam, da es sich hierbei meist um differentielle Wachstumsvorgänge handelt (Kutschera 2002, S. 299); raschere Bewegungen, die richtungsunabhängig und meist über Turgordruckänderungen erfolgen (und damit reversibel sind), werden als Nastien bezeichnet (Bresinsky et al. 2008, S. 496; 506). An diesen Bewegungsvorgängen sind ebenfalls Auxine beteiligt. Pflanzen reagieren auf diese Weise auf Licht (Phototropismus), Sonnenstand (Heliotropismus), Wasservorkommen (Hydrotropismus), Schwerkraft (Gravitropismus), sowie auf Berührung (Thigmotropismus, etwa bei Rankenpflanzen) und Schütteln (Seismonastie) (Scott 2008, S. 161-174; vgl. Bresinsky et al. 2008, S. 496-516). Pflanzen orientieren sich zudem beim Wachsen an geomagnetischen Feldern (Magnetotropismus) (Galland & Pazur 2005).

Mechanische Reize, wie Berührung, Wind, Regen, die Last von Schnee oder Früchten sowie Vibration können je nach Art und Intensität des Reizes zu Veränderungen des Wachstums führen. So kann Berührung innerhalb weniger Minuten zur Hemmung des Wachstums führen (Jaffe 1973, 1976). Bei wiederholter mechanischer Belastung bilden Pflanzen je nach Spezies rigidere oder flexiblere Stämme (McCormack et al. 2006, S. 252); an der Unterseite der Astbasis eines Baumes entsteht z.B. infolge der mechanischen Belastung durch die Schwerkraft so genanntes Reaktionsholz (Schopfer & Brennicke 2010, S. 584). Ein Aspekt dieser als Mechanoperzeption bezeichneten Wahrnehmung mechanischer Reize könnte auch der Wahrnehmung von Schallwellen dienen (Gagliano et al. 2012b; Gagliano 2012). Es wird argumentiert, dass zur Schallwahrnehmung nicht unbedingt tympanale oder cochleäre Strukturen notwendig sind, wie viele Beispiele aus der Tierwelt zeigen; vielmehr eignen sich diverse auf mechanische Einwirkung hochsensibel reagierende morphologische Strukturen zur Schallperzeption (ebd.). Nach Gagliano (2012) wäre für Pflanzen die Fähigkeit zur Wahrnehmung akustischer Reize vorteilhaft: Schallsignale erfordern minimalen energetischen Aufwand und breiten sich rasch über größere Distanzen aus. Sie liefern in Echtzeit Informationen über die Umwelt und stellen einen effektiven Mechanismus für kommunikative Signalübertragung dar; dabei ist die Übertragung in Medien wie Wasser oder Erde wegen der geringeren Impedanz-

unterschiede bei der Kopplung an mechanosensible Strukturen noch effizienter als bei Schallübertragung durch die Luft (ebd.).

Die Zusammenhänge der Mechanoperzeption sind noch nicht zur Gänze erforscht. Die vorhandenen Hypothesen basieren laut Telewski (2006) auf einem Cytoskelett-Plasmamembran-Zellwand-Interface (englisch abgekürzt CPMCW). Demnach könnte die Wahrnehmung mechanischer Belastung auf Zellebene über dehnbare Ionenkanäle als Deformation der Zellmembran erfolgen, wobei man eine Beteiligung von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen vermutet (vgl. ebd.; Schopfer & Brennicke 2010, S. 585). Berührung, Wind und Regen stimulieren zudem die Expression einer Familie von Genen, so genannter TCH-Gene, die auch als „Touch-Gene“ bezeichnet werden (Braam & Davis 1990). Eine Reaktion auf Schallwellen (dazu wurden Pflanzen mit Musik der „Talking Heads“ beschallt) konnte allerdings nicht festgestellt werden (ebd., S. 358f). Inzwischen wurde eine Vielzahl weiterer Gene identifiziert, deren Expression durch mechanische Reize verstärkt wird. Viele dieser Gene kodieren die Synthese  $\text{Ca}^{2+}$ -bindender Regulatorproteine, welche in der Zelle als Glied von  $\text{Ca}^{2+}$ -abhängigen Signalkaskaden fungieren können (Schopfer & Brennicke 2010, S. 585f; vgl. McCormack et al. 2006). Möglicherweise ist auch das  $\rightarrow$ Cytoskelett der Zelle bzw. sind Verbindungsmoleküle zwischen Cytoskelett und Zellmembran in den Vorgang der Mechanoperzeption involviert (Schopfer & Brennicke 2010, S. 286; vgl. Telewski 2003). Weitere Überlegungen gehen von einer Beteiligung von  $\rightarrow$ Ethylen aus, das in Pflanzen häufig bei Stressreaktionen gebildet wird. Mittels Gentechnik ethylen-unempfindlich gemachte *Arabidopsis*-Mutanten zeigten im Wachstum der Keimblätter allerdings ähnliche Reaktionen wie der (nicht manipulierte) Wildtyp, weshalb eine generelle Funktion von Ethylen bei der Reaktion auf mechanischen Stress unwahrscheinlich ist (Schopfer & Brennicke 2010, S. 586; vgl. Johnson et al. 1998).

Es wurde erwähnt, dass Pflanzen unterschiedlich auf verschiedene Reize reagieren. Während Berührung und Verbiegung meist zu einer Hemmung des Wachstums führen, wirken sich Vibrationen mitunter wachstumsfördernd aus. So stellten Takahashi et al. (1991) fest, dass Keimung und Wurzelwachstum von Reis- und Gurkenpflanzen bei Vibrationen mit 50 Hz beschleunigt wurden. Zusätzlich wirkte die Sti-

mulation anregend auf das Sprosswachstum von Reis. Die Autoren vermuten, dass der Effekt durch eine bessere Belüftung des Kulturmediums infolge der Vibration zurückgeführt werden kann, aber auch eine Beteiligung von Ethylen könne nicht ausgeschlossen werden. Mitchell (1992) stellte eine leichte Wachstumsstimulation von Mungobohnen bei 50 Hz und geringer Amplitude fest, wobei der Wachstumsprozess direkt nach der Stimulation gehemmt war und erst nach 30 Minuten wieder aufgenommen wurde. *Arabidopsis* reagierte laut Uchida & Yamamoto (2002) mit beschleunigter Keimung bei 70 und 100 Hz, aber nicht bei 40 Hz. Ethylen-insensitive Mutanten zeigten keine Reaktion; dies lasse auf eine Beteiligung von Ethylen schließen, was darauf hindeuten könnte, dass die mechanische Stimulation unterschiedliche Signale in Samen und Keimlingen auslöst (ebd.).

#### **2.1.4 Kommunikation**

In der Erforschung der Kommunikation zwischen Pflanzen wurden in den vergangenen 20 Jahren bedeutende Fortschritte erzielt. So wurde herausgefunden, dass Pflanzen beispielsweise auf Stress-Signale benachbarter Artgenossen reagieren; die Signalübertragung erfolgt über chemische Stoffe, Kontakt oder Veränderungen im Lichtspektrum. Diese Forschungsergebnisse tragen zunehmend zur Vorstellung von Pflanzen als hochsensible Organismen bei, die sich gegenseitig wahrnehmen und erkennen, einschätzen und miteinander interagieren (Gagliano 2012; vgl. auch Trewavas 2003, Baluška & Mancuso, 2007). Die Idee, dass Pflanzen neben den genannten Signalübertragungswegen auch Schallwellen zur Kommunikation nutzen, wird erstmals von Gagliano et al. (2012a, 2012b, 2012c; Gagliano 2012) formuliert. Schallemissionen im Bereich zwischen 10 und 240 Hz bzw. im Ultraschallbereich zwischen 20 und 300 kHz bei Pflanzen sind ein häufig beobachtetes Phänomen (Gagliano et al. 2012b, S.324; 2012c, S.2; für weitere Referenzen vgl. Gagliano 2012), das meist auf abrupte Spannungslösungen im Wassertransportsystem infolge →Kavitation interpretiert wird; die Emissionen solcher Signale treten in zu großer Zahl auf, als dass jedes Vorkommnis auf Kavitation zurückgeführt werden könnte (Gagliano 2012, S. 2; Zimmermann et al. 2004, S. 613; vgl. Laschimke et al. 2006;

Zweifel & Zeugin 2008). Nach dem Gedankenmodell Gaglianos (2012) könnten intrazelluläre Bewegungen, die durch die Aktivität von →Motorproteinen oder des →Cytoskeletts ausgelöst werden, zu Potentialänderungen der →Zellmembranen führen und so nanomechanische Vibrationen auslösen. Durch die zusammenhängende Gewebestruktur entsteht dabei eine „kollektive Mode“ („collective mode“), die einen akustischen Fluss bewirken könnte. Gagliano zufolge bestehe die Möglichkeit, dass diese Schallwellen aus dem Organismus austreten und zur Kommunikation mit anderen Organismen dienen (Abb. 2.2) (ebd., S. 2–4). Hinweise auf ein alternatives Kommunikationsmittel neben chemischen, taktilen oder optischen Signalen ergaben sich aus einer Studie mit Chilipflanzen (Gagliano et al. 2012a), in der sämtliche ober- und unterirdische Kontakte sowie chemische und über Licht übertragene Signale blockiert wurden (Abb. 2.2). Wie sich herausstellte, sind Chili-Pflanzen bereits im Samenstadium dazu fähig, ihre Nachbarn (in diesem Fall eine hermetisch abgedeckte Fenchelpflanze) wahrzunehmen. Als heranwachsende Pflanzen sind sie in der Lage, zwischen arteigenen und -fremden Spezies zu unterscheiden und ihr Wachstum entsprechend anzupassen. Des Weiteren wurden laut einer noch nicht publizierten Studie (Pagano [unveröffentlicht], in Gagliano et al. 2012b, S. 324) Hinweise darauf gefunden, dass die Wurzeln junger Maispflanzen Klicklaute emittieren, wobei allerdings nicht klar ist, ob diese Klicklaute tatsächlich hörbar waren. Die Wurzeln reagierten zudem auf 220-Hz-Töne (vgl. Abb. 2.4); vgl. dazu auch Koechlin & Battaglia (2012), die im Zuge eines Berichts über diese an der Universität von Florenz durchgeführten Versuchen erwähnen, dass die Pflanzenwurzeln ersten Hinweisen zufolge bei Frequenzen zwischen 200 und 500 Hz auf die Schallquelle zuwachsen, sich bei Frequenzen über 1.000 Hz aber von ihr wegbewegen; sehr hohe Frequenzen werden offenbar nicht wahrgenommen. Genauere Angaben sind nicht vorhanden; die Ergebnisse sind überdies noch unbestätigt. Es scheint aber fraglich, inwiefern hier beispielsweise Reflexionen am Beckenrand nach dem Ausschalten des stimulierenden Signals einbezogen werden müssen.

Der Überlegung Gaglianos et al., Pflanzen könnten akustische Signale zur Kommunikation nutzen, hält Ten Cate (2012) entgegen, dass die von Pflanzen produzierten

Signale vermutlich viel zu leise wären, um von anderen Pflanzen wahrgenommen zu werden; so können die bei Kavitation erzeugten Schallsignale nur durch spezielle Geräte registriert werden. Akustische Kommunikation beinhaltet Signale, die üblicherweise lauter seien als die zufällig oder als Nebenprodukt der ablaufenden Prozesse im Organismus entstehenden Geräusche. Selbst wenn es, wie anhand von Beispielen aus der Tierwelt argumentiert wird, für die Schallwahrnehmung weder tympanaler noch cochleärer Strukturen bedürfe, so seien doch komplexe sensorische und neurale Strukturen zur Verarbeitung sowie Mechanismen zur Verstärkung und Unterscheidung akustischer Signale notwendig. Zudem sei die Fähigkeit zu akustischer Kommunikation wohl für bewegliche Organismen vorteilhafter als für solche, die an einen bestimmten Ort gebunden sind und etwa vor Fressfeinden ohnehin nicht weglaufen können (ebd.).

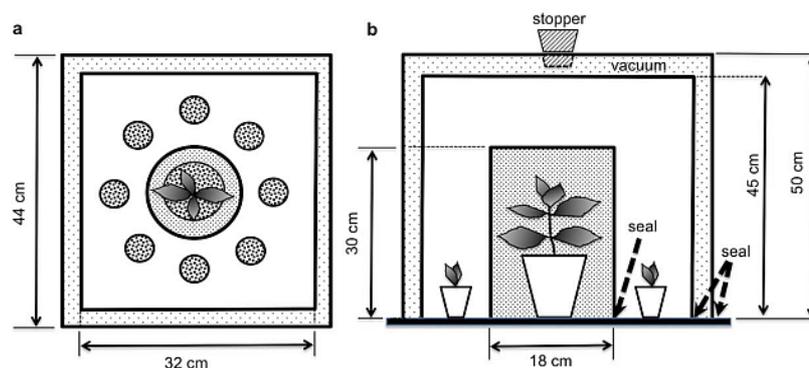


Abb. 2.2: Versuch mit Chilli-Pflanzen: (a) versiegelte Box, Chilli-Samen in Töpfen um eine adulte Fenchelpflanze; (b) Anordnung mit abgedeckter Fenchelpflanze (Abb. aus Gagliano et al. 2012a, S. 2).

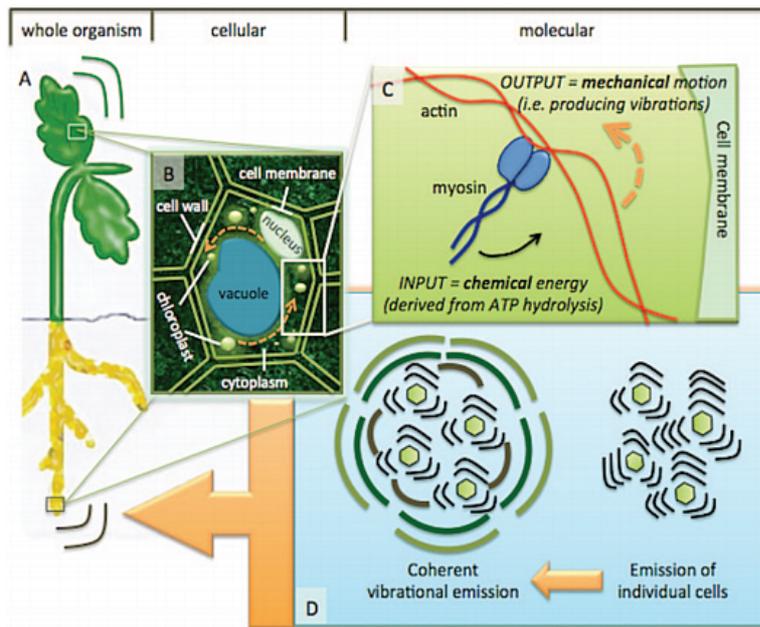


Abb. 2.3: Modell zur Schallproduktion in Pflanzen. Zellen vibrieren infolge der Bewegung ihrer →Organellen – z.B. infolge cytoplasmischer Strömung (B), die durch →Motorproteine (Myosin) hervorgerufen wird (C). Die so erzeugten Vibrationen regen Nachbarzellen an, das Signal breitet sich aus und wird verstärkt (D). Gelangt es nach außen, könnte es Informationen an Nachbarpflanzen übertragen (Abb. aus Gagliano 2012, S. 3).

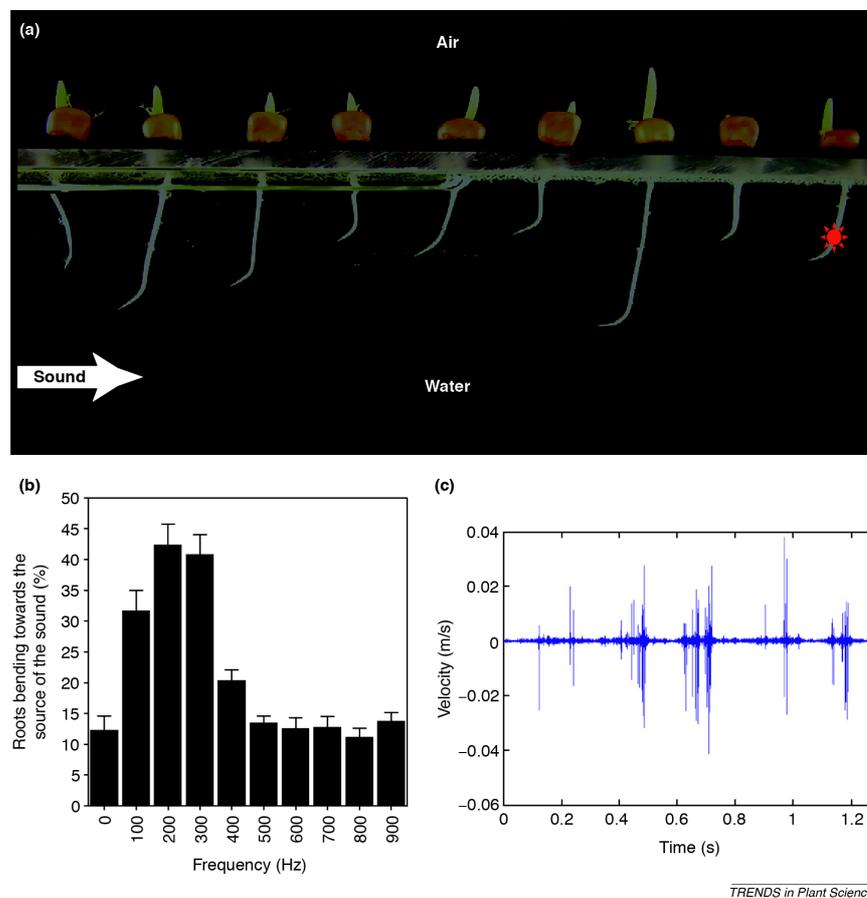


Abb. 2.4: Wurzel-Bioakustik bei *Zea mays* (Mais). (a) Reaktion junger Wurzeln auf ein kontinuierliches 220-Hz-Signal. Die Wurzelspitzen biegen sich Richtung Schallquelle. (b) Reaktion junger Wurzeln auf Wasserschall. (c) Akustische Emissionen junger Wurzeln (Abb. aus Gagliano et al. 2010b., S. 324).

## 2.2 Methoden in den Naturwissenschaften

### 2.2.1 Die wissenschaftliche Methode

Die wissenschaftliche Methode basiert auf der Gültigkeit des Kausalitätsprinzips, d. h. der Korrelation von Ursache und Wirkung. Prinzipiell wird von beobachteten Daten ausgegangen; über Induktion (Schließen vom Speziellen auf das Allgemeine) gelangt man zur Formulierung einer Hypothese. Sie ist eine vorläufige Annahme über einen unbekanntem Zusammenhang und bringt keinen Erkenntnisgewinn; sie gestattet aber verallgemeinernde Schlussfolgerungen (Deduktion), die durch das Experiment auf ihre Richtigkeit überprüft werden können. Eine aufgestellte Hypothese ist dabei nur sinnvoll, wenn sie eine experimentelle Prüfung ihrer Richtigkeit zulässt. Das Wechselspiel aus Induktion, Deduktion und Experiment setzt sich fort, bis eine gesicherte Theorie entwickelt werden kann; sie kann als eine durch zahlreiche experimentelle Daten unterstützte, bewährte Hypothese definiert werden (Schopfer & Brennicke 2010, S. 4f; vgl. Schopfer 1970, S. 16f).

Bei einem wissenschaftlichen Experiment wird gezielt eine Reaktion eines lebenden Systems herbeigeführt (Kutschera 2002, S. 11); eindeutige Aussagen in Hinsicht auf Kausalzusammenhänge sind bei Versuchen mit Pflanzen meist nur unter streng kontrollierten Bedingungen bzw. durch die Reduktion der Einflussfaktoren auf einen einzigen möglich (Schopfer 1970, S. 17). Bei der Planung eines Experiments ist es daher von Bedeutung, das Problem richtig zu erkennen und zu formulieren sowie geeignete Methoden zu wählen. Hält die Hypothese der Überprüfung nicht stand, gilt sie als falsifiziert und wird entweder verworfen oder umformuliert, woraufhin neue Experimente geplant werden können. Die im durchgeführten Experiment gewonnenen Daten müssen objektiv und reproduzierbar sein, um verifiziert werden zu können; andernfalls haben die Ergebnisse für die Wissenschaft keinen Wert. Wird die Hypothese verifiziert, wird sie durch die Verifikation weiter gestützt, aber nicht bewiesen; im Fall der Falsifikation gilt die Hypothese hingegen als widerlegt oder in ihrer Gültigkeit eingeschränkt. Auch eine Theorie kann durch neue Erkenntnisse

verworfen oder modifiziert werden; auch sie kann daher nie bewiesen werden (ebd., S. 16f).

Neben Objektivität, der Formulierung einer geeigneten Fragestellung und der Wahl einer geeigneten Methode gehört es schließlich zu einer wissenschaftlichen Vorgehensweise, die Erkenntnisse dem Kollektiv der Wissenschaftler zugänglich zu machen (ebd., S. 17f).

### **2.2.2 Methoden zur Untersuchung der Pflanzenphysiologie**

Aufgabe der Physiologie ist die Analyse und kausale Erklärung von Lebensvorgängen; sie konzentriert sich dabei auf Regulations- und Kontrollprozesse. Bei ihren Untersuchungsmethoden greift die Pflanzenphysiologie auf Verfahren aus Zellbiologie, Biophysik, Biochemie und Molekularbiologie zurück (Kutschera 2002, S. 8). Zielsetzung ist es, quantitative Zusammenhänge so zu begründen, dass quantitative Prognosen möglich werden (Schopfer & Brennicke 2010, S. 1). Die Physiologie steht dabei vor dem Problem, dass biologische Systeme einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen, welcher sich in der hierarchischen Organisation solcher Systeme begründet. An isolierten Einzelteilen können für das gesamte System gültige Eigenschaften nicht abgelesen werden. Es handelt sich hierbei um offene Systeme, die im ständigen Austausch von Materie, Energie und Information mit ihrer Umwelt stehen und sich ständig weiterentwickeln (ebd., S. 11); so können zwar unterschiedliche Aspekte verschiedener Pflanzen etwa im Labor oder *in vitro* untersucht werden, doch lässt sich aus den Ergebnissen keine generelle Aussage über das Konzept der Pflanze als Ganzes ableiten (Evans 1972, S. 8). Mit den Worten Schopfer & Brennickes ausgedrückt: „Eine rigorose Analytik, welche die ‚organisierte Komplexität‘ zerstört, führt zum Verlust genau jener Eigenschaften, die es zu erkennen gilt“ (2010, S. 4). Regulierende Elemente können in ihrer wirklichen Bedeutung nur erkannt werden, wenn sie als Elemente von Systemen aufgefasst werden. Die Physiologie steht daher vor der Herausforderung, bei voller Erhaltung dieser „organisierten Komplexität“ sinnvolle Experimente durchzuführen, um die Auswirkungen bestimmter Umweltfaktoren auf die Pflanze zu erforschen (ebd.).

Die Schwierigkeit, die sich aus dem „Komplexitätsproblem“ der Pflanzenphysiologie ergibt, besteht nicht zuletzt darin, eine ausreichende Kontrolle der beeinflussenden Faktoren zu erreichen; am besten eignen sich hierzu Experimente im Labor, die allerdings den Nachteil haben, dass die Pflanze nicht in ihrer natürlichen Umgebung beobachtet werden kann. Diese ist der wissenschaftlichen Untersuchung aber aufgrund der wechselhaften Bedingungen im Freien nur schwer zugänglich; aus diesem Grund sind Resultate aus Feldexperimenten nur schwer zu reproduzieren. Es ist daher notwendig, die Ursachen von Divergenzen in den Ergebnissen zu untersuchen und festzustellen, inwieweit diese vor einer Integration in das Konzept der „Pflanze als Ganzes“ zugelassen werden können (Evans 1972, S.6–8).

Als weiteres Problem kommt hinzu, dass die Variabilität unter den Individuen selbst unter streng kontrollierten Laborbedingungen mitunter sehr hoch ist, was sich auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auswirken kann, wie Poorter et al. in ihrer praktischen Anleitung für Pflanzenbiologen (2012) zu bedenken geben (ebd., S. 821f). Sehr spezielle Versuchsanordnungen können zudem die Wiederholung des Experiments und daher die Reproduzierbarkeit der Resultate erschweren. Die genauen Gründe für Nichtreproduzierbarkeit können vielfältig sein; in Hinsicht auf die nicht geringen Kosten solcher Experimente und der möglichen Behinderung des wissenschaftlichen Fortschritts müsse daher auf „good practices“ bei der Aufzucht der Versuchspflanzen geachtet werden (ebd., S. 822). Die Versuchsbedingungen müssen in einer Publikation detailliert angeführt werden. Für Laborversuche gibt etwa das „International Committee for Controlled Environment Guidelines“ Richtlinien in seinen „Minimum Guidelines for Measuring and Reporting Environmental Parameters for Experiments on Plants in Growth Rooms and Chambers“ an (ICCEG 2004; eine Übersicht über Empfehlungen bezüglich der Angaben in Publikationen zu pflanzenphysiologischen Experimenten findet sich im Anhang).

### 2.2.3 Versuchsumgebung

Die finanziell gesehen günstigste Methode, zu Versuchsergebnissen zu gelangen, ist die Durchführung eines Experiments in einem Versuchsgarten bzw. -feld. Der Vorteil liegt darin, dass die Umweltfaktoren im Freien jenen der natürlichen Umgebung sehr ähnlich sind; wie bereits erwähnt, entziehen sich Variablen wie temporale Variationen in Lichtstärke, Temperatur und Wasserversorgung sowie durch Pflanzenfresser oder Hagel verursachte Schäden allerdings der Kontrolle (Poorter et al. 2012, S. 823).

Glashäuser erlauben gegenüber einer Versuchsanordnung im Freien eine bessere Kontrolle der Wasserversorgung sowie Schutz gegen zu tiefe Temperaturen; Temperaturanstiege infolge des Treibhauseffekts können allerdings oft nicht ausreichend kontrolliert werden. Die Lichtverhältnisse können hingegen durch zusätzliche Beleuchtung oder Blendvorrichtungen beeinflusst werden. Ungewollte Beschattung kann durch die Struktur des Glashauses oder Nachbargebäude auftreten (ebd.).

Laborversuche sind die teuerste Option; sie gewähren aber eine bessere Kontrolle von Faktoren wie Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Tageslänge sowie Lichtintensität und -qualität. Dadurch unterscheiden sie sich wiederum stark von den natürlichen Umweltbedingungen. Daneben weisen Poorter et al. (2012, S. 823f) auf Variabilitäten innerhalb der Wachstumskammern hin, die Measures als „growth position chamber effect“ (1972, S. 67) bezeichnet. Bei Studien im Labor ist daher größte Sorgfalt angebracht. Um mögliche Effekte zu vermindern, sollten die Positionen der Pflanzen regelmäßig getauscht werden, daneben dürfen nicht zu viele Pflanzen in einer Kammer gezogen werden, da es infolge ungenügender Luftzirkulation zu erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration kommen kann (ebd., S. 135f). Schon kleine Abweichungen, die beispielsweise durch die Nähe von Menschen und sogar Kraftfahrzeugen und Heizungen bewirkt werden, können Wachstum und Entwicklung der Pflanze signifikant beeinflussen. Da die CO<sub>2</sub>-Konzentration schwierig zu überwachen ist, muss auf ausreichenden Luftaustausch geachtet werden. Durch den Treibhauseffekt ist zudem die Temperatur generell höher als die Umgebungsluft und ändert sich vergleichsweise langsam. In älteren On-Off-Kontrollsystemen können Temperatur-

schwankungen von  $\pm 5^\circ \text{C}$  auftreten (ICCEG 2004). Schließlich sollte die Lichtintensität regelmäßig überprüft werden, da die Leuchtkraft mit zunehmendem Alter der Lampen zurückgeht. Der Output einer Leuchtstofflampe nimmt beispielsweise nach den ersten fünf Monaten um 2 % ab (ebd.). Die Lichtintensität nimmt darüber hinaus mit abnehmender Distanz zur Lichtquelle zu, was vor allem in Hinsicht auf das Wachstum der Pflanze hin zur Lichtquelle von Bedeutung ist – ältere Pflanzen werden dadurch einem höheren Lichtregime ausgesetzt als jüngere. Der Umstand, dass sich das Lichtspektrum der Lampen im allgemeinen von jenem der Sonne unterscheidet, kann sich auf die Morphogenese mancher Pflanzen auswirken und muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Ein weiterer kritischer Parameter ist die Luftfeuchtigkeit; ihr Wert ist entscheidend für Pflanzen-Wasser-Relationen und Infektionen durch Blattpathogene (ebd.). Poorter et al. (2012) weisen außerdem darauf hin, dass Pflanzen auch bei strenger Kontrolle aller Effekte je nach Jahreszeit unterschiedlich wachsen (ebd., S. 823f).

Neben der Kontrolle von Licht, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und -austausch ist ebenso die Entscheidung über das verwendete Kulturmedium von großer Bedeutung; so können Pflanzen bzw. Gewebe- oder Organkulturen in Hydrokulturen oder in Töpfen in solidem Substrat gezogen werden. Ein solides Medium bietet den Vorteil, dass die höhere mechanische Impedanz des Bodens, die sich auf das Wurzelwachstum auswirkt, zumindest nachgeahmt wird. Bei kommerziell vertriebener Pflanzenerde muss beachtet werden, dass diese Schwankungen im Nährstoffgehalt aufweisen kann, was sich nachteilig auf die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit auswirkt. Des Weiteren muss die richtige Topfgröße gewählt werden; zwar ist es wünschenswert, möglichst viele Töpfe in einer Wachstumskammer platzieren zu können, zu kleine Töpfe könnten aber das Wachstum einschränken. Nicht zuletzt muss auf die Bodentemperatur geachtet werden; in schwarzen Töpfen kann sich das Medium durch Bestrahlung aufwärmen und zu Wurzelschäden führen (ebd., S. 824f).

Eine Möglichkeit zur Gewinnung von Versuchspflanzen ist die Anlage von → Gewebe- oder Organkulturen; hierbei werden isolierte Zellen oder Organe unter steri-

len Bedingungen *in vitro* kultiviert. Die Methode basiert auf einer Eigenschaft von Pflanzenzellen, die Toti- oder Omnipotenz genannt wird – aus einzelnen Zellen kann sich auf einem geeigneten Nährmedium wieder eine vollständige Pflanze mit Wurzel, Spross und Blättern regenerieren. Im Idealfall erhält man dabei genetisch idente Pflanzen (Schopfer & Brennicke 2010, S. 536f).

Von wesentlicher Bedeutung bei der Durchführung pflanzenphysiologischer Experimente ist ferner die Wahl der richtigen Stichprobengröße. Die statistische *Power* bei Experimenten, die Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum untersuchen, steigt generell mit der Anzahl der Versuchsobjekte und sinkt mit der Variabilität zwischen den Pflanzen. Wird mit invasiven Methoden gearbeitet, müssen innerhalb kurzer Zeit viele Pflanzen präpariert werden, was das obere Limit begrenzt. Poorter et al. weisen zudem darauf hin, dass individuell wachsende Pflanzen keine Normalverteilung in der Pflanzengröße aufweisen, sondern eine log-normale Verteilung mit relativ vielen kleinen und einigen größeren Individuen, weshalb für die Beschreibung der Variabilität die Standardabweichung der In-transformierten Trockenmasse oder Blattfläche herangezogen wird. Wie Poorter et al. zeigen, können als Konsequenz Größenunterschiede im Ausmaß von mehr als 50 % statistische Signifikanz erlangen, wenn die Variabilität gering ist; im Gegensatz dazu zeigen Populationen mit hoher Variabilität auch bei einer großer Stichprobe keine signifikanten Unterschiede, selbst wenn die Differenz zwischen den Populationen über 100 % beträgt (Poorter et al. 2012, S. 826).



## 3 Studien zur Schallwirkung auf Pflanzen

### 3.1 Vorgangsweise

Diese Arbeit bietet eine Literaturübersicht über Publikationen, die sich mit der Wirkung von Musik, Sinustönen oder Rauschen auf das Wachstum von Pflanzen oder auf die Keimung von Samen auseinandersetzen. Für das Thema relevante Veröffentlichungen wurden gesammelt, zusammengefasst und diskutiert. Die Analyse der wissenschaftlichen Aussagekraft der vorliegenden Studien basiert auf der Einschätzung der Vergleichbarkeit der entsprechenden Experimente.

Die Experimente werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt. Für die Gliederung dieses Kapitels wurde eine Systematik gewählt, die sich weitgehend an historischen, geographischen oder thematischen Gemeinsamkeiten orientiert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden Forschungen unter jeweilig gemeinsamen Gesichtspunkten zusammengefasst, zum Teil unter Vernachlässigung der chronologischen Reihung.

Ein Unterschied zu der von Greenhalgh et al. (1997) angegebenen Definition eines *Systematic reviews* besteht insofern, als nicht von vornherein Studien mit expliziten und reproduzierbaren Methoden berücksichtigt werden; die Fragestellung wurde so gewählt, dass gerade dieses Kriterium, namentlich die Vergleichbarkeit bzw. Wiederholbarkeit der jeweiligen Experimente der Bewertung der wissenschaftlichen Aussagekraft dieser Studien zu Grunde liegt. Es soll damit dem Umstand Rechnung getragen werden, dass vor allem Untersuchungen, die nicht in einschlägigen, peer-reviewten Medien erscheinen, wie etwa jene von Retallack (1973), außerhalb des wissenschaftlichen Kollektivs stark rezipiert werden – vgl. etwa den Artikel der „Denver Post“ (Curtis 1970); ferner die Beiträge von Tompkins & Bird 1973, S. 145-162; Tame 1984, S. 141-145; Biedermann 1987, S. 87; Berendt 1989, S. 102-104 – und darüber hinaus auch Einfluss auf die Meinung von Wissenschaftlern haben und unkritisch von diesen rezipiert werden (vgl. Creath 2002; Ekici 2007; siehe dazu

auch Miehling 2006, S. 403–405, der Retallacks Ergebnisse zur Argumentation für seine Idee einer „Gewaltmusik“ heranzieht; vgl. des Weiteren die Studien auf Basis des Konzepts eines Pflanzenmeridiansystems von Hou & Mooneyham 1999a und 1999b). Dabei entsprechen vor allem die von Retallack in ihrer Monographie „The Sound of Music and Plants“ (1973) vorgestellten Methoden und deren Beschreibung augenscheinlich nicht den Anforderungen an eine wissenschaftliche Vorgehensweise (vgl. Kap. 3.6.5). Ein Blick in nichtwissenschaftliche Medien wie etwa Internetblogs legt zudem den Befund nahe, dass sich die landläufige Meinung ebenfalls weitgehend unkritisch auf Resultate vermeintlich wissenschaftlich durchgeführter Studien stützt.

Eine statistische Kombination der Daten aller vorhandenen Studien in Form einer Metaanalyse wäre aufgrund der Heterogenität der Studien vermutlich nicht ohne weiteres durchzuführen. Aufgrund der unterschiedlichen Methoden, Spezies und Untersuchungsparameter sind die Untersuchungen schwer vergleichbar. Ein weiteres Problem stellt dabei die in vielen Publikationen ungenügende Wiedergabe der exakten Versuchsbedingungen dar. Neben einer gewissen *Risk of bias* (Liberati et al. 2009) müsste sicherlich auch mit einer Publikationsbias bzw. dem so genannten *File drawer problem* gerechnet werden – dem Umstand, dass Studien, die zu keinen oder zu nicht signifikanten Ergebnissen kommen, nicht zur Veröffentlichung gelangen (Scargle 2000).

## 3.2 Vorgeschichte

Überlegungen zur Wirkung von Musik auf Pflanzen sind bereits aus dem 19. Jahrhundert überliefert. So versuchte Charles Darwin in einem seiner „fool's experiments“ herauszufinden, ob Pflanzen auf den Klang eines Fagotts ansprechen; zuvor hatte er beobachtet, dass die Keimblätter der Mimose hochoempfindlich auf Vibrationen des Tisches reagierten. Dazu ließ er seinen Sohn nahe bei der Pflanze auf einem Fagott spielen (Darwin 1887, S. 126). Erfolg hatte Darwin damit keinen.

Der Pflanzenphysiologe Wilhelm Pfeffer, den „die Thatsache, dass Jodstickstoff durch hohe Violintöne explodirt“ faszinierte, befestigte Stamina (Staubblätter) von *Centaurea* (Kornblumen) an den Saiten einer Violine, um zu untersuchen, ob diese beim Anstreichen der Saite gereizt werden. Der Versuch verlief ergebnislos, Pfeffer mutmaßte aber, dass Töne von größerer Schwingungszahl ein positives Resultat liefern könnten (Pfeffer 1877, S. 193).

In einer Ausgabe des „English Mechanic“ von 1876 findet sich ein Artikel eines Korrespondenten, der festgestellt haben will, dass sich Musik positiv auf das Gedeihen von Pflanzen auswirkt (Anon 1876a, S.270). In einem kargen Landstrich im portugiesischen Trefaria hatte er – mit offenbar bescheidenem Erfolg – versucht, Rosen und andere Blumen zu kultivieren. Als er aber begann, im Gewächshaus häufiger auf seinem Harmonium zu spielen, schien sich die Gesundheit der Pflanzen rasch und kontinuierlich zu verbessern. Hieraus, und angesichts des Fehlens einer Vogelfauna in dieser Region, schließt der Autor, dass Musik zu einem gewissen Grad eine Notwendigkeit für pflanzliches Leben sein könnte – „that music, and the song of birds especially, was conducive to the health of plants; or, I may otherwise state it, that nature is not complete without music“ (ebd.). Wie ernst diese Beobachtungen genommen wurden, zeigen Zeitungsberichte: Amateur-Gärtner in den Vorstädten würden künftig wohl nachsichtiger mit den Drehorgelspielern umgehen, spottet etwa die „Birmingham Daily Post“ (Anon 1876b, S.5). Und die „Manchester Evening News“ schlagen vor, Leiermänner am südlichen Themse-Ufer einzusetzen, um dort die Platanen zum Wachsen anzuregen (Anon 1876bc, S.3).

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erforschte der indische Wissenschaftler Sir Jagadis Chandra Bose Veränderungen im Pflanzenwachstum, die er mit einem so genannten Crescographen aufzeichnete, einem von Bose selbst entwickelten Gerät. Daneben widmete er sich der Untersuchung der „elektrischen Reaktion“ („electric response“) verschiedener Pflanzen auf unterschiedliche Stimuli (Bose 1927; vgl. Shepherd 2012). Möglicherweise experimentierte Bose auch mit Musik; einem Artikel der indischen Zeitung „Amrita Bazar Patrika“ aus dem Jahr 1918 zufolge habe Bose in Bombay (heutiges Mumbai) im Rahmen einer Vorlesung von seinen Versuchen

mit Pflanzen und verschiedenen Klängen berichtet (Anon. 2007, S. 232); in seinen Schriften konnten dazu allerdings keine Hinweise gefunden werden.

Im Dezember 1900 berichtet die „Chicago Tribune“ über einen gewissen Professor Hans Tietgen („a German musical savant“), der entdeckt haben wollte, dass eine Pflanze ihre Blätter bei Musik entfaltet, sie aber bei dissonanten Klängen wieder schließt. Der „English Mechanic“ hatte bereits im September zuvor eine Notiz ähnlichen Inhalts veröffentlicht, es ist darin von einem Professor Teitgen [sic] die Rede. Manche Pflanzen würden durch angenehme Harmonien stimuliert, so könne eine Symphonie das Aufblühen einer Rose beschleunigen. Der Redakteur merkt nicht ohne Spott an, dass eine Blaskapelle wohl gut in der Landwirtschaft eingesetzt werden könne, während sich für Blumengärten wohl besser ein Mandolinenorchester eigne. Bei der Musikauswahl sei jedenfalls Vorsicht geboten: „No one can imagine the havoc which might be crested in a cabbage field or a celery farm if a Strauss tone poem were let loose in all the noisy dissonance“ (Anon. 1900a S. 120; vgl. Anon. 1900b, S. 6).

Das „Zentralblatt für Okkultismus“ berichtet 1931 über einen Vortrag des Naturforschers Alexandre Rouhier, seines Zeichens Entdecker des Pflanzensaftes „Telepathina“, welcher „die Eigenschaft besitzt, jeden hellsehend zu machen“ (Anon. 1931, S. 479); Rouhier habe wiederholt bemerkt, dass Blumen in Ball- und Konzertsälen unter der Einwirkung von Orchestermusik stark verkümmern. Besonders Veilchen und Zyklopen sollen eine „entschiedene Abneigung gegen Musik“ haben. Vor allem die Schallwellen von Pauke und Tuba sollen eine schädliche Wirkung auf diese Pflanzen haben (ebd.; vgl. Schrödter 1997, S. 16).

### **3.3 Forschungen in Indien unter T.C.N. Singh ab 1950**

Zu Beginn der 1950er Jahre wurden unter der Führung des Pflanzenwissenschaftlers und Leiters des Botanik-Departments der Annamalai University in Madras, T. C. N. Singh (Abb. 3.1), die ersten systematischen Experimente mit Pflanzen und Musik

durchgeführt. Er und seine Mitarbeiter experimentierten mit zahlreichen Pflanzen und Versuchsanordnungen, deren Ergebnisse in den 1950er und 60er Jahren vorwiegend in den knappen Abstracts der „Proceedings“ der Indian Science Congress Association abgedruckt wurden. Singh, der auch mit der Wirkung von „Gedankenwellen“ auf Pflanzen experimentierte (Singh 1959, S. 1f), ging davon aus, dass die Schwingungen einer Stimmgabel die Strömungsgeschwindigkeit im →Protoplasma der Zellen der Wasserpflanze *Hydrilla verticillata* beeinflussen; besser noch könne das Protoplasma durch Klänge einer Violine angeregt werden, so seine Beobachtung (Singh & Ponniah 1953).

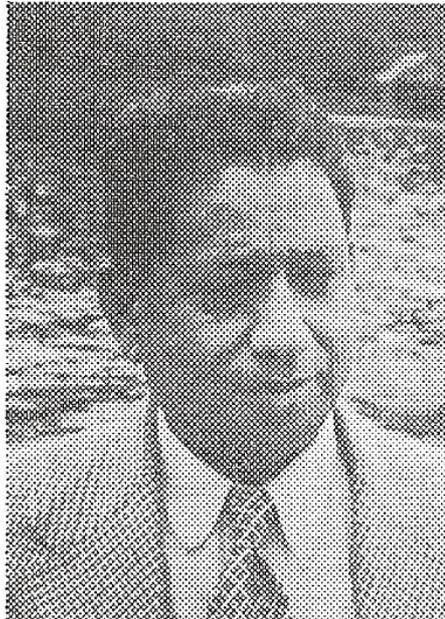


Abb. 3.1: Dr. T. C. N. Singh, Leiter der Botanik-Abteilung der Annamalai-Universität in Annamalainagar (Abb. aus Anon. 1957, s.p.).

### 3.3.1 Strukturelle / histologische Veränderungen

Singh und seine Mitarbeiterin Stella Ponniah experimentierten weiter mit dem Klang von Streichinstrumenten – möglicherweise auf eine Empfehlung des Evolutionsbiologen Julian Huxleys hin, der Singh nach Darstellung von Tompkins und Bird in ihrem Buch „The secret life of plants“ im Jahr 1950 in Madras besuchte (Tompkins & Bird 1973, S.145f; vgl. auch Ponniah 1955). Den Versuchspflanzen wurde, offenbar über längere Zeiträume – diesbezüglich geben die Abstracts der „Proceedings“ wenig Aufschluss – mit einzelnen Tönen und Ragas auf der Violine oder der Vina vorgespielt (vgl. Abb. 3.2). Auf weitere Angaben zu den Versuchsbedingungen wird verzichtet, wie etwa zu Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichtverhältnissen, Zahl der Versuchsexemplare oder über den Ort, an dem die Versuche durchgeführt wurden. Zunächst interessierten sich Singh und Ponniah nur für Änderungen im Längenwachstum und Anzahl und Größe der Blätter. Eine 25-minütige „Behandlung“ mit der auf der Violine gespielten Note „pa“, zwischen 7.00 und 8.00 Uhr morgens, bewirkte nach Angaben Singhs und Ponniahs bei *Mimosa pudica* (Mimose) eine Vergrößerung der Palisadenzellen um 25 % (Singh & Ponniah 1955); die Zahl der →Stomata pro Flächeneinheit erhöhte sich um 55 %. Das Längenwachstum der Zweige übertraf jenes der Kontrollgruppe im Schnitt um 30 %, und die Versuchspflanzen bildeten um 50 % mehr Blätter aus. Ponniah berichtet zudem von „sehr faserreichen“ Wurzeln (Ponniah 1955). Wie behauptet wird, reagierte die so genannte Telegrafepflanze (*Desmodium gyrans*) auf die gleiche Behandlung mit 250 % längeren Zweigen, 200 % mehr Blättern, bildete 200 % mehr Blattfiedern aus und wies im Vergleich zur Kontrollgruppe einen um 80 % größeren Stammdurchmesser auf. Bei Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*) bewirkte die Beschallung einen Zuwachs bei der Stammhöhe um 60 %, und es wurden im Schnitt 120 % mehr Blätter und 130 % mehr →Bestockungstriebe als in der Kontrollgruppe gebildet. Auf den täglichen Vortrag des Raga „Bhairavi“ auf der Violine in den frühen Morgenstunden reagierten die Zuckerrohrpflanzen angeblich mit 25 % höherem Stammwuchs, 30 % mehr Blättern und 200 % mehr Bestockungstrieben, während die Tonfolge „sa – pa – sa“ auf einer Shrutibox Zuwächse von 40 % bei der Stammhöhe, 50 % bei den Blät-

tern und nur 40 % bei den Seitentrieben bewirkte (Ponniah 1956a). Der Raga „Simhendra Madyhama“, dargeboten auf der Vina, bewegte Tapioka-Pflanzen (*Manihot utilissima*) laut Singh und Ponniah dazu, mehr Mesophyll-Zellen und daher dickere Lamina (Blattspreiten) sowie mehr Stärke in den Petiolen (Blattstielen), ebenso um 110 % längere Sprossachsen und 80 % mehr Blätter zu produzieren, wobei hier unbekannt bleibt, wann, über welchen Zeitraum und in welcher Umgebung die Darbietungen erfolgten (vgl. Singh & Ponniah 1956; Ponniah 1956a). Abends zwischen 17.00 und 18.00 Uhr angewendet, führte die Behandlung mit „Simhendra Madhyama“ auf der Vina bei *Capsicum annum* (Chili) offenbar zu einer im Schnitt um 90 % größeren Stammhöhe, 120 % mehr Blättern, einem 50 % größerem Stammdurchmesser und zu 100 % mehr Fruchtbildung, verglichen mit der Kontrollgruppe (vgl. Abb. 3.3) (Ponniah 1956a).

Ähnliche Experimente fanden mit weiteren Ragas und unterschiedlichen Instrumenten statt, untersucht wurden unter anderem Exemplare von *Impatiens balsamina* (Balsam), *Tagetes erecta* (Studentenblume), *Mimosa pudica*, *Ipomoea batatas* (Süßkartoffel) und Petunien (vgl. Ponniah, 1955, 1957b, 1960a, 1960b; Singh & Ponniah 1956). Die Wirkung einzelner Noten auf der Violine wurde anhand von Studien mit *Hydrilla verticillata* (Ponniah 1955), *Desmodium gyrans* (Telegrafepflanze) (Singh & Ponniah 1956), *Capsicum annum* (Paprika bzw. Chili) (Ponniah 1957a) und Tabak (Ponniah 1957a, 1957b) untersucht. Durchwegs wird von positiven Auswirkungen, wie ausgeprägteres Längenwachstum und die vermehrte Ausbildung von Stomata, Blättern und Wurzeln berichtet; bei Chili und Tabak wurde auch eine früher einsetzende Blütenbildung festgestellt, bei Tabak-Sämlingen außerdem eine erhöhte Nikotin-Produktion (Ponniah 1957a).

In einem Überblick über die Versuche an der Annamalai School of Botany berichtet Singh von weiteren Studien im Labor und auf dem Feld mit verschiedenen Wild-, Zier- und Nutzpflanzen. Es ist unter anderem zu erfahren, dass Klänge von Violine, Flöte und Nadheswaram die besten Ergebnisse brachten – Singh zufolge waren die Versuchspflanzen insgesamt kräftiger, das Grün der Blätter dunkler, die Blüte setzte früher ein und die Ernteerträge fielen höher aus als bei den Kontrollgruppen, mit

Steigerungen zwischen 25 % und 65 %. Instrumente (mit Grundtönen) in tieferen Frequenzbereichen, darunter auch die männliche Stimme, hätten hingegen keinen zufriedenstellenden Effekt auf die Pflanzen:

Vocal music was also experimented upon and it was observed that the female voice alone could excite plants. This was because of the higher pitch of the female voice than that of the male voice. In fact instruments played at a lower pitch than 4 [vermutlich ist hier die eingestrichene Oktave gemeint, Anm.], do not have satisfactory effects on plants (Singh 1959; 1962–1963).

Der Autor gibt allerdings nicht an, wie sich dann der Erfolg der Experimente mit 92-Hz-Stimmgabeln (entspricht in etwa dem Fis zwei Oktaven unter dem fis') erklärt. Im selben Artikel wird übrigens auch über den günstigen Einfluss von Darbietungen indischen Tanzes in einer Entfernung von 10 Fuß auf das Wachstum und die Blüte von Topfpflanzen berichtet (ebd., vgl. auch Singh 1959; Srinivasan, 1960; Hicks 1963).



Abb. 3.2: Musikalische Darbietung vor Pflanzen. Ponniah (Violine), Singh (Hintergrund), der Vizekanzler der Annamalai-Universität, P.V. Cheriau (links) und dessen Ehefrau (rechts) (Abb. aus Singh 1956–1957, S. 10).

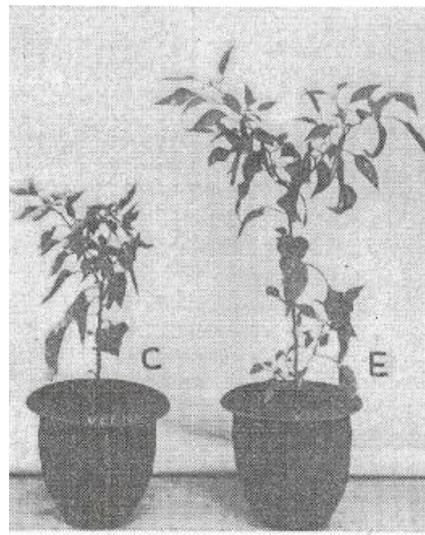


Abb. 3.3: Paprikapflanzen (*Capsicum annuum*). Eine Pflanze aus der Kontrollgruppe (rechts) und ein mit Veena-Klängen behandeltes Exemplar (links) (Abb. aus Anon. 1975, s.p.).



Abb. 3.4: Experiment mit Tanz und Pflanzen (Abb. aus Hicks 1963, S. 121).

Während der musikalischen Experimente wurden die Samen der Versuchspflanzen gesammelt und anschließend im Hinblick auf Keimverhalten und das weitere Gedeihen beobachtet. Über *Mimosa pudica* berichtet Ponniah, dass die Keimung 96 Stunden früher als bei der Kontrollgruppe erfolgte, außerdem keimten dreimal so viele Samen. Die Zahl der Zweige stieg um 456 %, jene der Blätter um 185 %, außerdem wurden um 720 % mehr Blütenstände beobachtet (Ponniah 1956b). Später ist die Rede von einer um 100 % höheren Keimrate gegenüber der Kontrollgruppe; die Sämlinge seien widerstandsfähiger und stärker. Nach dem Umsetzen der jungen Pflanzen aufs Feld profitierten diese von geringerer Sterblichkeit, besserem Wachstum und vermehrter Fruchtbildung (Ponniah 1957c). *Desmodium-gyrans*-Samen keimten zu 90 % in der Versuchsgruppe, während in der Kontrollgruppe im selben Zeitraum gar keine Keimung stattfand; welcher Zeitraum gemeint ist, und ob die Samen der Kontrollgruppe doch noch keimten, geht aus dem Abstract nicht hervor:

In this case also the vigour of germination of seeds was very much superior to the control, attaining a germination percentage as high as about 90 [%] whereas during the same period the germination percentage of the control was 0 [sic] (Ponniah 1956b).

Samen von beschallten Exemplaren von *Petunia hybrida* schienen ebenfalls besser zu keimen, denn Ponniah berichtet: „In this case as well, the germination was 100 % greater than that of the control [...]“ (Ponniah 1956b). Die Versuchspflanzen übertrafen die Kontrollgruppe mit durchschnittlich 100 % mehr Zweigen und 150 % mehr Blättern. Auch von *Hydrilla verticillata* gesammelte Turionen (Überwinterungsknospen) waren gegenüber jenen unbehandelter Pflanzen offenbar klar im Vorteil: Die Turionen keimten 8 Wochen früher und bildeten im Schnitt um 400 % mehr Zweige aus (ebd.).

### 3.3.2 Veränderungen im Stoffwechsel

In Untersuchungen ab 1960 an der Universität Annamalai wurde versucht, neben strukturellen und histologischen Veränderungen auch Auswirkungen akustischer Reize auf den →Stoffwechsel der Pflanzen zu messen. Singh führte bei keimenden Linsenbohnen, die er 30 Minuten lang mit einer elektrischen Glocke (möglicherweise ist auch eine Stimmgabel gemeint) beschallte, mithilfe eines Warburg-Apparats (vgl. Abb. 3.5) eine Messung des →Respirationswerts durch und stellte fest, dass dieser deutlich höher als jene der Kontrollgruppe war (Singh 1960a), wobei die genauen Versuchsbedingungen auch hier nicht angegeben werden. Die Sauerstoff-Rate bei *Hydrilla verticillata* während der →Photosynthese konnte ebenfalls durch die Behandlung mit einer elektrischen Glocke verbessert werden (Singh 1960b). Auch bei Armleuchteralgen bewirkte die Behandlung mit einer elektrischen Glocke angeblich um 60 % höhere Sauerstoffwerte als bei der Kontrollgruppe (Pannirselvam 1960).

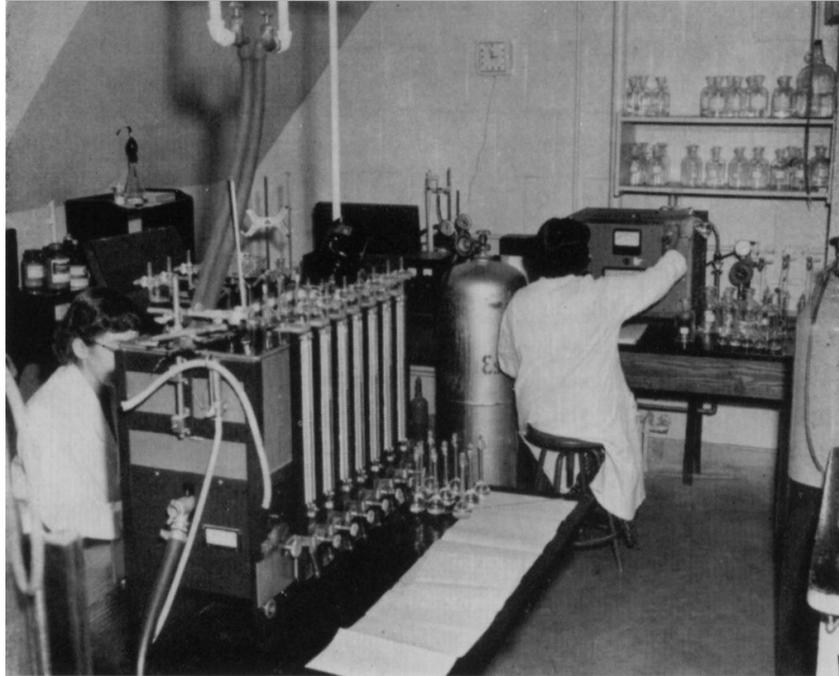


Abb. 3.5: Warburg-Apparat (links), ein Gerät zur manometrischen Messung von Gasaustauschvorgängen über die Bestimmung der Änderungen des Gesamtdrucks in einem abgeschlossenen Volumen (Abb. aus Duke University Medical Center Archives, <http://med-space.mc.duke.edu/vital/access/HandleResolver/2193.1/6452> [15.11.2012]).

In einem späteren Artikel im „Journal of the Annamalai University“ über die Auswirkung von Schallwellen auf die →Respiration keimender Mungobohnen ist etwas mehr über die Versuchsbedingungen zu erfahren: Die sorgfältig mithilfe von Lupen und einem Stereomikroskop ausgewählten Samen quollen 20 Stunden lang in einer Petrischale mit Wasser und wurden danach dreimal mit Wasser abgespült. Eine Schale wurde 30 Minuten lang kontinuierlich den Schwingungen einer elektrisch betriebenen Cenco-Stimmgabel mit 92 Hz ausgesetzt. Danach wurden die Samen in einem Warburg-Apparat untersucht, wobei die Temperatur konstant auf 30° C gehalten wurde. Auf diese Weise wurden 25 Versuche durchgeführt, bevorzugt an Vormittagen. Wie betont wird, wurden die Versuchsbedingungen „rigoros konstant gehalten“, eine genaue Beschreibung ist jedoch nicht vorhanden:

Considered from the view point of musically sound excitation of the germinating seeds, it must be stressed that all the conditions in respect of plant material and also those of the operation of the WARBURG RESPIRATION APPARATUS, were kept rigorously constant (Singh & Nagarathna 1960-1961, S. 184).

Beim Vergleich der Ergebnisse mit Resultaten aus einem früheren Versuch (vgl. Singh 1960a) mit schwarzen Linsen (Urbohnen) stellen die Forscher fest, dass die Werte der Mungobohnen insgesamt niedriger ausfielen, sowohl in der Versuchs- als auch in der Kontrollgruppe, woraus der Schluss gezogen wird, dass die Respiration spezifisch für die Arten der Gattung *Phaseolus* ist.

Aus den Ergebnissen, deren Signifikanz mittels Fisher-t-Tests bestätigt wurde, könne man „ohne Zweifel“ schließen, so das Fazit, dass die Respirationswerte keimender Mungo- und Linsenbohnen Samen tatsächlich unter Einfluss einer Stimmgabel verbessert werden:

In conclusion it may, therefore, be opined beyond doubt that the respiration values of germinating seeds of Black-Gram and Green-Gram do get enhanced when excited by musical humming sound of the tuning-fork (Singh & Nagarathna 1960-1961, S. 184).

Raghavan (1961) untersuchte Veränderungen in der Karbon-Assimilation bei *Lagarosiphon roxburghii* anhand zweier Versuchsanordnungen: Die 30-minütige Beschallung mit einer elektrischen Glocke erfolgte einerseits mit einem kontinuierlichen, andererseits mit einem intermittierendem Reiz in 5-Minuten-Intervallen. Insgesamt wurde ein anregender Effekt auf die Karbon-Assimilation festgestellt. Die besten Ergebnisse brachte die Behandlung mit intermittierenden Signalen: Während die Assimilation bei der ersten Gruppe mit dem durchgehenden Signal nur um 76 % gegenüber der Kontrollgruppe stieg, verzeichnete die zweite Gruppe einen Zuwachs von 223 % gegenüber der ersten Gruppe. Die Daten wurden einer „sehr kritischen“ statistischen Analyse unterzogen:

The data obtained under these experiments were subjected to very critical statistical analysis and they have been found to be very highly significant at both 5 % and 1 % levels, showing there that intermittent excitation by sound is more powerful and potent in stirring up photosynthesis in plants, than continuous excitations by sound (Raghavan 1961).

Als Ursache der so häufig beobachteten Anregung des Wachstums unter Musikeinfluss wurde eine erhöhte →Mitose-Rate (Teilungs- und Vermehrungsgeschwindigkeit von Zellen) vermutet. Auf Basis dieser Annahme versuchte Rangaswami Ayyangar, die Auswirkung einer täglichen halbstündigen Beschallung mit einer elektrisch betriebenen Stimmgabel von 100 Hz auf die Mitose in den Wurzelspitzen von *Ipomoea* (Süßkartoffel) zu messen (Rangaswami Ayyangar 1960a; 1960b). Über die genauen Versuchsbedingungen ist auch hier nichts bekannt. Laut Rangaswami Ayyangars Ergebnissen stieg die Zahl der Zellen, die sich mitotisch teilten, von 5 % auf 43 %. Bei *Urginea indica* zeigten die Versuchspflanzen nach der gleichen Behandlung eine Mitose-Häufigkeit in den Wurzelzellen von 31 %, während jene der Kontrollgruppe bei 12 % lag (Rangaswami Ayyangar 1960b, 1964). Die Entwicklung der Wuchshöhe innerhalb eines Jahres ist in Abb. 3.6 dargestellt. Erklärt wird dieses Phänomen mit der Anregung der Strömung im →Protoplasma der Zelle, wie es auch Singh und Poniah (1953) in ihren Versuchen mit *Hydrilla verticillata* gezeigt haben wollen; es komme dadurch zu schnelleren und häufigeren Zellkernteilungen und daher rascherem Wachstum.

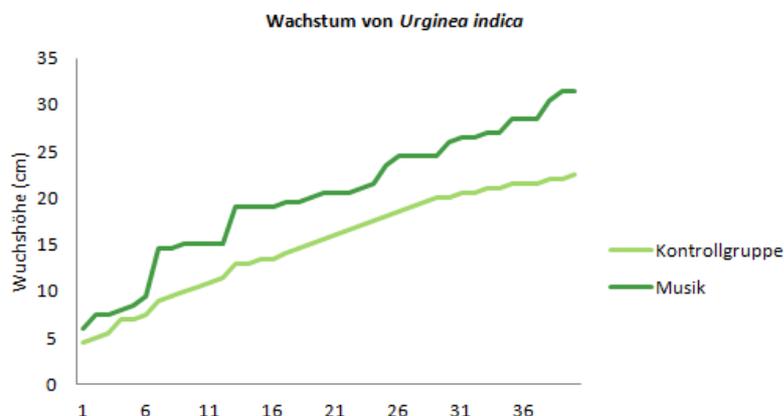


Abb. 3.6: Wachstum von *Urginea indica*. Auf der Ordinate ist die Nummer der jeweiligen Messzeitpunkte innerhalb eines Jahres angegeben (Daten aus Rangaswami Ayyangar 1964, S. 42f).

Studien zur Auswirkung von Musik auf die →Transpiration von *Bauhinia tomentosa* (Gelber Orchideenbaum) zufolge stiegen die Transpirationswerte bei 30-minütiger kontinuierlicher Beschallung mit der elektrischen Stimmgabel um durchschnittlich 83 %, bei intermittierenden Signalen um 146 % gegenüber der Kontrollgruppe (Singh 1961). Wie Singh betont, wurden die Ergebnisse statistisch analysiert und als hoch signifikant befunden: „These results were, however, even statistically analysed and were found to be highly significant in favour of the leaves excited by sound“ (ebd.).

In einer weiteren Untersuchung wollen die Forscher in Annamalainagar anhand von Chromatogrammen festgestellt haben, dass die Stimmgabel auch die Produktion von →Aminosäuren in den Zellen beeinflusst. Die Ergebnisse der Versuche mit *Cosmos bipinnatus* (Kosmea) zeigen erhöhte Cystin- und Lysin-Werte, aber eine verminderte Valin- und Leucin-Produktion gegenüber der Kontrollgruppe. Hydroxyprolin und Prolin waren in den Zellen der behandelten Pflanzen kaum vorhanden (Rangaswami Ayyangar & Gnanam 1961).

Abschließend sei noch eine 1969 im „Madras Agricultural Journal“ publizierte Studie von Subramanian et al. (1969) angeführt. Im Unterschied zu den im Vorangegangenen vorgestellten, durchwegs positiven Ergebnissen weisen die Forscher dar-

auf hin, dass Experimente am Indian Agricultural Research Institut in New Delhi und am Central Rice Research Institute in Cuttack keine Aussagen über die Steigerung von Ernteerträgen durch die Applikation von Schallwellen zulassen. Auch die eigenen Studien, die sowohl unter Labor- als auch Feldbedingungen über vier Jahre hinweg durchgeführt wurden, zeigten keine eindeutigen Resultate.

Diese Feldexperimente wurden auf zwei gleich großen Felder durchgeführt, die im Abstand von 500 Yard (ca. 457 m) voneinander entfernt lagen und deren Fruchtbarkeit mittels künstlichem Dünger egalisiert wurde. Gepflanzt wurden zwei verschiedene Reissorten, jeweils 400 Pflanzen pro Versuchsfeld. Eine Woche nach dem Setzen begann die musikalische „Behandlung“ und wurde bis zur Reife fortgesetzt. Täglich zwischen 7.00 und 7.30 Uhr wurde über vier Lautsprecher der „Carukesi“-Raga eingespielt, dargeboten auf der Nadheswaram. Die Lautsprecher wurden der Wuchshöhe der Pflanzen angepasst. In den ersten zwei Jahren wurde nur das erste Feld („Block A“) bespielt und das zweite Feld („Block N“) diente als Kontrollgruppe; vice versa in den folgenden zwei Jahren. Während des Versuchszeitraums kamen nach Angaben der Autoren bewährte agrarische Praktiken und Prophylaxe-Maßnahmen gegen Krankheiten und Schädlinge in beiden Blöcken zur Anwendung. Vier Jahre lang wurden unter anderem Daten über die Zahl der Bestockungstriebe, Wuchshöhe, Rispenlänge, Blattgröße, Korngröße und Ernteertrag aufgezeichnet.

Die Laborexperimente fanden in eigens errichteten schallgeschützten Räumen statt. 30 Töpfe mit je 10 Setzlingen der Reissorte ASD 5 wurden folgendermaßen aufgeteilt: 10 Töpfe wurden täglich zwischen 9.00 und 9.30 Uhr über Decken-Lautsprecher beschallt, während 10 Töpfe als Kontrollgruppe in einem Raum ohne Beschallung gehalten wurden. Weitere 10 Töpfe standen im Freien und erhielten ebenfalls keine Beschallung. Diese Experimente wurden über drei Jahre fortgesetzt, jeweils von Juli bis Dezember (ebd., S. 510–512).

Die über vier bzw. drei Jahre gesammelten Daten wurden anschließend zusammengeführt und einer statistischen Analyse unterzogen. Diese zeigte, dass weder in den Feldexperimenten noch bei den Laborversuchen signifikante Unterschiede zwischen beschallten und unbeschallten Pflanzen festzustellen waren. Variationen in den Er-

trägen der Feldpflanzen wurden sowohl bei Versuchs- als auch Kontrollpflanzen gleichermaßen festgestellt und auf Unterschiede in unkontrollierbaren Umweltfaktoren zurückgeführt, welche den Autoren zufolge durch den Tausch der Versuchsbedingungen und die Zusammenführung der Daten aber ausgeglichen werden sollten (ebd., S. 512-515).

### **3.4 Einzelne Studien in den USA (1960er und 1970er Jahre)**

#### **3.4.1 „Growing Corn to Music“**

Einer der Ersten, der in den USA in die Fußstapfen T.C.N. Singhs trat, über dessen Forschungen in den 1960er Jahren Tageszeitungen und Magazine berichteten, war der Farmer George E. Smith in Illinois. Seine Erkenntnisse aus drei Jahren Erfahrung mit musikalischer Beschallung von Mais- und Sojapflanzen wurden im Mai 1963 in der Zeitschrift „Popular Mechanics“ veröffentlicht (Hicks 1963).

Den ersten Versuch führte Smith im Frühling des Jahres 1960 durch. In zwei Gewächshäusern pflanzte er Mais und Sojabohnen; es wurde darauf geachtet, dass dieselbe Erde verwendet wurde und Temperatur und Feuchtigkeit exakt gleich gehalten wurden, wobei unbekannt bleibt, mit welchen Methoden diese Parameter gemessen bzw. kontrolliert wurden. In einem der Gewächshäuser wurde über eine Dauer von 24 Stunden pro Tag George Gershwins „Rhapsody in Blue“ über einen Lautsprecher eingespielt – über welchen Zeitraum, ist nicht bekannt. Die Musik bewirkte laut Smith eine frühere Keimung, und die Pflanzen wiesen dickere und härtere Stämme sowie mehr Wurzeln auf. Genaue Daten liegen allerdings nicht vor. Von jedem Feld wurden jeweils 10 Mais- sowie 10 Sojapflanzen entnommen und abgewogen. Die Versuchspflanzen erreichten ein Gesamtgewicht von 40,2 g (Mais) bzw. 31 g (Soja), während die Kontrollgruppe nur ein Gewicht von 28 g (Mais) bzw. 24,5 g (Soja) auf die Waage brachte. Der zweite Versuch fand auf dem Feld statt; am Eck eines Versuchsfeldes mit 10 Reihen Mais brachte er einen Lautsprecher auf einem Telefonmast an; neben der „Rhapsody in Blue“ wählte er diesmal auch diverse Mär-

sche (z.B. einen Hochzeitsmarsch während der Zeit der Bestäubung und Befruchtung). Smith berichtet, dass jene Pflanzen, die direkt unter dem Lautsprecher standen, 12 Stunden früher als alle anderen keimten; die Versuchspflanzen sahen gesünder und gleichförmiger aus – „a subjective judgement“, wie Hicks einräumt –, wuchsen schneller und bildeten drei Tage früher als die Kontrollgruppe weibliche Blüten („Silking“) aus. Die Ernte fiel mit 137,5 Bushels/Acre<sup>1</sup> üppiger aus als beim Kontrollfeld (116,7 Bushels/Acre).

1962 legte Smith vier Felder nebeneinander an. Das erste wurde mit Musik beschallt, während das zweite in Stille gehalten wurde; auf dem dritten Feld erklang ein 1.800-Hz-Ton, auf dem vierten ein Ton mit 450 Hz. Smith verglich die Anzahl der Ähren und den Ertrag in Bushels/Acre; die Ergebnisse sind in Tab. 3.1 dargestellt. Demnach brachte das Feld mit dem 450-Hz-Ton den meisten Ertrag. Die Resultate sind insofern schwer vergleichbar, als von Smith über vier Jahre lang verschiedene Variablen gemessen wurden – so wird im ersten Experiment über das Gesamtgewicht der Pflanzen berichtet, während im zweiten lediglich auf den Ernteertrag eingegangen wird.

Smith erklärt sich die Effekte dadurch, dass die Energie der Schallwellen die Bodentemperatur erhöhe, indem sie molekulare Aktivität und Mikroorganismen anregt; tatsächlich sei unter den Lautsprechern eine Erwärmung von 2 Grad festzustellen gewesen. Die Schallenergie habe allerdings auch deutlichen Einfluss auf die Pflanzenzellen, so Smith – Pflanzen in der Nähe der Lautsprecher (eine genaue Entfernung wird nicht angegeben) hätten demnach deutliche Schäden aufgewiesen (Abb. 3.9). Hierzu ist anzumerken, dass Smiths Ansatz aus thermodynamischer Sicht wenig plausibel ist; zwar wird Schallenergie bei der Absorption größtenteils in Wärmeenergie umgewandelt, allerdings ist die daraus resultierende Temperaturänderung in der Grenzschicht des absorbierenden Mediums unmessbar klein (Brüderlin 1999, S. 69). Die angeblichen Schäden an den Pflanzen können leicht auf andere Ursa-

---

<sup>1</sup> Bushel: engl. Scheffel. Im Getreidehandel als Gewichtseinheit verwendet. 1 US.bsh. = 35,24 l  
Acre: Flächeneinheit. 1 Acre = 4046,9 m<sup>2</sup>

chen zurückgeführt werden; möglicherweise waren die Pflanzen am Feldrand stärkeren Witterungsbedingungen ausgesetzt.

	Stille	Musik	1.800 Hz	450 Hz
<b>Anzahl der Ähren ("Ears")</b>	269	287 (+ 6,69 %)	300 (+ 11,52 %)	328 (+ 21,93 %)
<b>Bushels/Acre</b>	171,3	186,1 (+ 8,64 %)	197,8 (+ 15,47 %)	200,9 (+ 17,28 %)

Tab. 3.1: Anzahl der Ähren und Bushels/Acre inkl. prozentuellem Zuwachs gegenüber der Kontrollgruppe (Daten aus Hicks 1963, S. 121).



Abb. 3.7: Abwiegen der Maiskolben (Abb. aus Hicks 1963, S. 119).

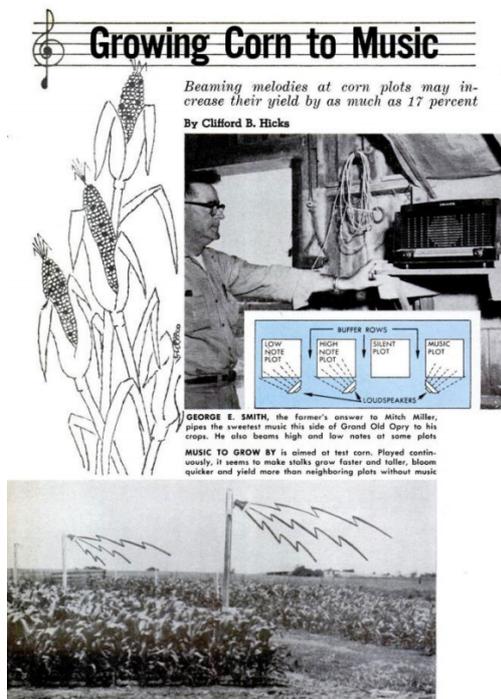


Abb. 3.8: Artikel in „Popular Mechanics“ (Abb. aus S. 118).



Abb. 3.9: Schäden an einer Maispflanze (Abb. aus ebd., S. 119).

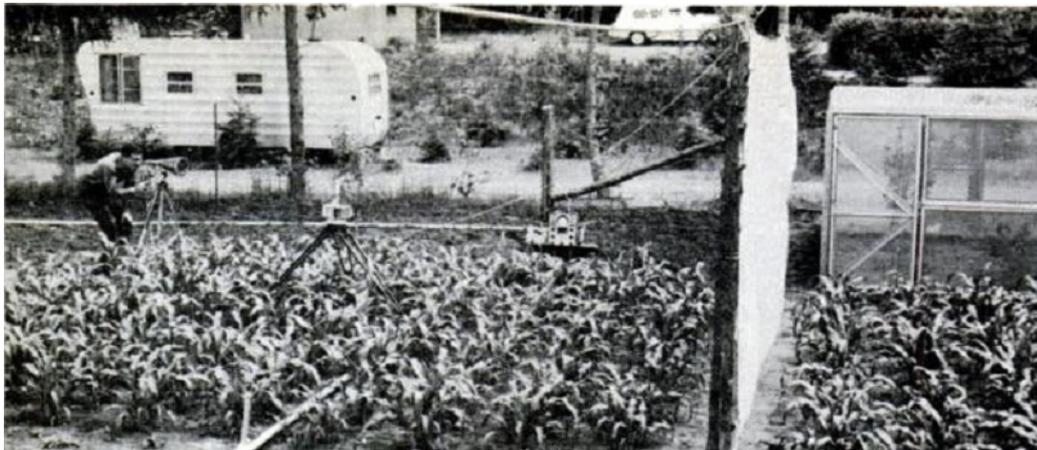


Abb. 3.10: Plastikwand zwischen dem „Musik-Feld“ und dem Kontrollfeld (Abb. aus ebd., S. 120).

### **3.4.2 „Science Fair“ mit Erbsen, Geranien und Tomaten**

Die Erforschung musikinduzierter Effekte auf Pflanzen als Projekt im Rahmen von Schülerwettbewerben („Science Fairs“) erfreut sich in den USA bis heute großer Beliebtheit. Eines der zweifellos in großer Zahl durchgeführten Experimente schaffte es 1964 sogar, im „Journal of the Annamalai University“ veröffentlicht zu werden (Dickerson 1964). Die Autorin hatte sich zuvor an Dr. Singh selbst gewandt, nachdem sie in einer Zeitschrift von dessen Entdeckungen gelesen und diese als Thema für eine Forschungsausstellung im Jahre 1962 in Alexandria (Louisiana, USA) auserkoren hatte.

Untersucht wurde die Auswirkung von klassischer, religiöser und Rock 'n' Roll-Musik auf Erbsen, Geranien und Tomaten. Mehrere Pflanzengruppen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten gepflanzt, wobei pro Gruppe vier Töpfe mit 1 bis 6 bzw. 7 Pflanzen verwendet wurden. In jeder Gruppe diente eine Pflanze (bzw. ein Topf) als Kontrolle, die in fast kompletter Stille gehalten wurde. Alle Versuchspflanzen erhielten dieselbe Behandlung – die Bewässerung erfolgte zur selben Zeit, das verabreichte Wasser wurde abgemessen, es wurde auf gleiche Temperaturbedingungen und Menge an Tageslicht geachtet; freilich sind keine Angaben zu den Methoden und den exakten Bedingungen vorhanden. Die Experimentalgruppe erhielt für die Dauer von 120 Tagen jeden Morgen 30 Minuten Musik; hierfür wurden die Töpfe an einen anderen Ort gebracht und anschließend wieder an ihren Platz gestellt. Mit Ausnahme von 4 bis 5 Tagen, an welchen das Projekt im Rahmen der Forschungsausstellung gezeigt wurde, fand die Behandlung täglich statt.

Die Musik wurde nach den Kriterien „klassisch“, „Rock and Roll“ und „religiös“ ausgewählt:

- |                                         |                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| „Klassisch“<br>(Klavier und Orchester): | <ul style="list-style-type: none"><li>• „The Frank Liszt story“ [sic]</li><li>• „Roger Williams Greatest“ Hits [sic]</li></ul>                          |
| „Rock and Roll“:                        | <ul style="list-style-type: none"><li>• „Something for Everybody“ (Elvis Presley)</li><li>• „Your Twist Party“ (Chubby Checker)</li></ul>               |
| „Religiös“:                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• „Someone watching over you“ (Jimmi Davis with Plainsmen)</li><li>• „No one stands alone“ (Don Gibson)</li></ul> |

Aus den Resultaten schließt Dickerson, dass Musik generell einen stimulierenden Effekt auf das Wachstum der Pflanzen habe. Die Pflanzen aus der Experimentalgruppe wuchsen besser und höher, waren gesünder, reiften früher und brachten größeren Ertrag. Die Ergebnisse waren abhängig von der Musikart, wobei Dickerson die Effekte auf das musikalische Tempo der Stücke zurückführt – je schneller der Beat, desto rascher das Wachstum. So erwies sich Rock 'n' Roll als bester Stimulator für das Längenwachstum von Erbsen; diese Pflanze blühte als Erste, wobei sie mehr Blüten als die anderen Erbsen aufwies und bildete zuerst eine Frucht aus. Die Kontrollpflanze erreichte nie die Wuchshöhe ihrer behandelten Artgenossen. In zwei Gruppen starb die Kontrollpflanze übrigens – offenbar aufgrund des kalten Wetters, so Dickerson, was beweise, dass sie weniger widerstandsfähig war als die anderen: „In two groups this [control] plant died due to cold weather which shows that it was not as healthy as the others as they did withstand the severe weather conditions“ (ebd., S. 137). Für die Geranien wird lediglich festgehalten, dass die Pflanzen in den Musikgruppen deutlich höher wuchsen. Bei den Tomaten erwies sich klassische Musik als der beste Stimulant, am zweitbesten wirkte Rock 'n' Roll und am drittbesten die religiöse Musik. Es werden ebenfalls nur Wachstumsunterschiede angegeben.

Während die Beschreibung für ein Schülerprojekt der 1960er Jahre ausreichend sein mag, ist es fraglich, warum diese Arbeit in die Veröffentlichung einer Universität aufgenommen wurde. In Anbetracht der viel zu geringen Stichprobengröße und der ungenau kontrollierten Bedingungen (abgesehen von der hinsichtlich der Beschaffenheit des Musiksignals sinnlosen Kategorie einer „religiösen“ Musik) hat Dickersons Untersuchung keinerlei wissenschaftlichen Wert. Betrachtet man allerdings Singhs eigene Beiträge, welche hier offenbar als Vorbild dienten, mag es vielleicht weniger verwundern, dass dieses Experiment im „Journal of the Annamalai University“ publiziert wurde.

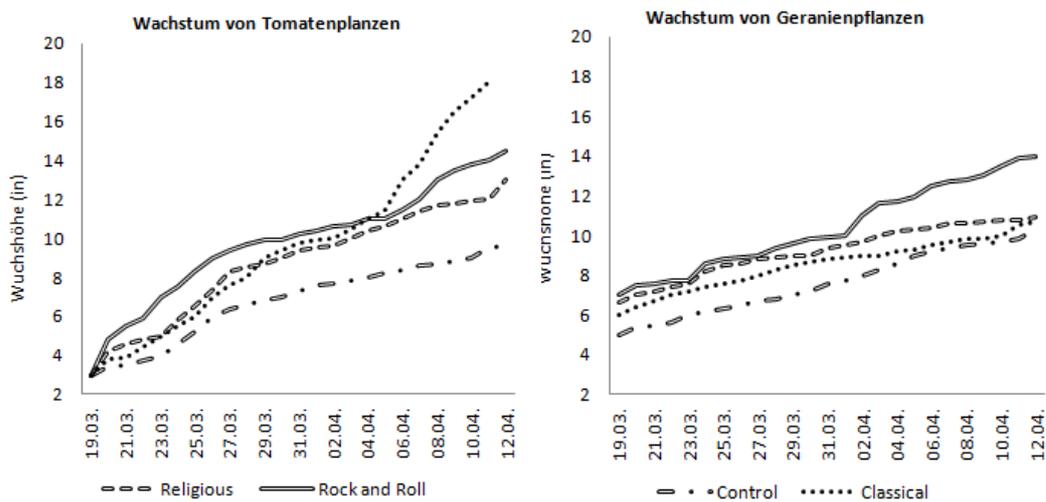


Abb. 3.11: Wachstum von Tomaten und Geranien unter Musikeinfluss (nach Dickerson 1964, S. 48)

### 3.4.3 Experimente mit *Tagetes erecta*

Inspiziert von Singhs und Smiths Erkenntnissen führten Klein & Edsall (1965) Experimente mit *Tagetes erecta* durch, um die Auswirkung von Musik auf Höhe, Feucht- und Trockenmasse festzustellen. Dazu wurden Samen in Plastikbehältern mit Lehm-erde ausgesät. Die Temperatur im Raum wird mit tagsüber konstant 26 °C und

nachts 21° C angegeben, bei 70 % relativer Feuchtigkeit. Die Beleuchtung während der 15-stündigen Photoperiode erfolgte mit weißem Licht (700 ft-c). Fünf Tage nach der Saat wurden die Keimlinge auf 12 bis 14 visuell uniform erscheinende Pflanzen pro Container reduziert. Zwei Container wurden täglich um 10.00 und 15.00 Uhr in einen anderen Raum gebracht, wo sie nacheinander je nach Gruppe mit unterschiedlicher Musik beschallt wurden. Die Beschallung erfolgte an 5 Tagen pro Woche, über 30 Tage lang. Die Kontrollgruppe erhielt eine ähnliche Behandlung (ebd., S. 125).

Die Pflanzen wurden ab dem Tag der Saat der Musik ausgesetzt. Die Angaben bezüglich des Schallpegels sind nicht eindeutig; es wird ein Schallleistungspegel von 90 dB angegeben, allerdings wäre die Angabe des Schalldruckpegels, unmittelbar bei den Pflanzen gemessen, wohl sinnvoller. Daneben wird als Hörschwelle eine Schallleistung von  $10^{-16}$  W angegeben, was einem Pegel von 1 dB entspreche. Auch Borucki gibt die Schallintensität an der Hörschwelle mit  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup> an (Borucki 1993, S. 118), üblicherweise wird als Bezugswert (der mit einem Pegel von 0 dB gleichgesetzt wird) eine Leistung  $P_0$  von  $10^{-12}$  W (bzw. eine Schallintensität  $I_0$  von  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>, meist aber der Bezugsschalldruck an der Hörschwelle  $p_0$  von  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa) angegeben; vgl. hierzu etwa Kuttruff 2004, S. 44; 74).

#### Musikauswahl:

- „Christus Natus Est“ und „Christi Redemptor“, Gregorianische Gesänge der Benediktinerinnenmönche von En Calcat in Frankreich
- Sinfonie Nr. 41 in C-Dur, KV 551, 3. Satz von W.A. Mozart
- „Three to Get Ready“, Dave Brubeck Quartet
- „I Want to Hold your Hand“ und „I Saw her Standing There“, Beatles
- „The Stripper“, David Rose and Orchestra



Abb. 3.12: Klein & Edsalls „Medium fidelity sound system“ (Abb. aus Klein & Edsall, S. 125).

Klein und Edsall konnten keinen signifikanten Effekt von Musik auf das Wachstum von vegetativen Strukturen feststellen: Es waren keine Veränderungen in den Wachstumsmustern zu erkennen (Tab. 3.2, Abb. 3.13 und 3.14) (ebd.). Die Autoren räumen ein, dass die Ergebnisse nicht die Frage nach möglichen Effekten von Schall auf Pflanzen lösen. So konnte die Auswirkung weiterer Musiktypen oder Klänge, verschiedener Schalldruckpegel und Beschallungszeiten sowie die Auswirkung auf andere Spezies nicht zur Gänze untersucht werden. Es wird außerdem auf deutliche Variationen im Wachstum hingewiesen, die trotz strenger Selektion der Samen auftraten. Innerhalb der Kontrollgruppe betrug die Höhe der Pflanzen zwischen 35 und 49 mm (Extremwerte), und das Frischgewicht lag zwischen 0,400 und 1.265 g. Ähnliche Abweichungen waren bei der Experimentalgruppe zu beobachten. Ohne die getroffenen Vorkehrungen wie die Sicherstellung der Uniformität der Samen, Selektion der Setzlinge, adäquate Replikation und strenge Kontrolle der Umweltbedingungen hätten die Abweichungen die Aussagekraft des gesamten Experiments herabgesetzt oder möglicherweise sogar irrtümlicherweise zu positiven Ergebnissen geführt, so die Autoren (ebd., S. 126).

Gruppe		Frisch- masse (g)	Trocken- masse (g)	Höhe (mm)
Control	(a)	0,723	0,081	41,3
Greg. Chants	(b)	0,705	0,071	38,6
Mozart	(c)	0,699	0,069	39,1
Brubeck	(d)	0,680	0,073	41,5
Beatles	(e)	0,717	0,078	39,2
Stripper	(f)	0,756	0,071	42

Tab. 3.2: Durchschnittliche Wachstumsparameter unter Musikeinfluss (Tab. nach Klein & Edsall 1965, S. 126).

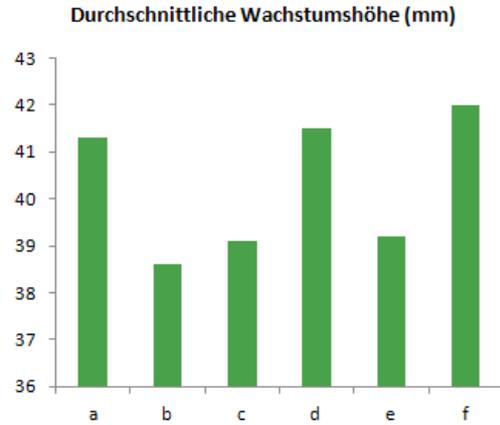


Abb. 3.13: Wachstumshöhe von *Tagetes erecta* unter Musikeinfluss (Daten aus ebd., S. 126).

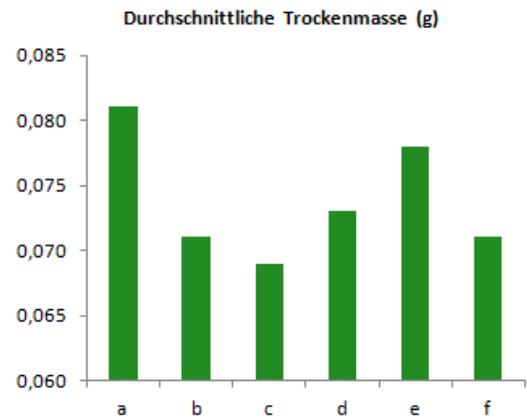
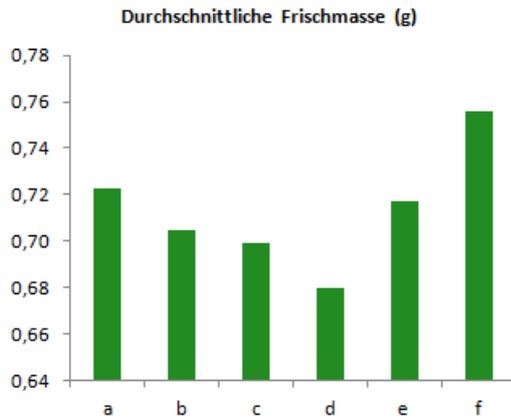


Abb. 3.14: Durchschnittliche Frisch- und Trockenmassen. (a) Control, (b) Gregorian Chants, (c) Mozart Symphony, (d) Brubeck Cool Jazz, (e) The Beatles, (f) The Stripper (Daten aus ebd.).

### 3.4.4 Auswirkung von Geräuschen auf Pflanzen

Angesichts einer zunehmenden Geräusch- und Lärmbelastung erachten es Woodlief et al. (1969) als notwendig, grundlegende Informationen über die Auswirkung von Umweltgeräuschen auf das Pflanzenwachstum zu liefern. Dazu wurde die Wachstumsrate von Tabakpflanzen unter Schallstimulation untersucht.

12 männliche sterile Tabakpflanzen unterschiedlicher Größe (ca. 31–103 cm<sup>2</sup>, gemessen an der Blattfläche) wurden zwei Wochen lang in einem Raum (Abb. 3.15) mit kontrollierten Temperaturbedingungen und jeweils 12-stündigen Licht- und Dunkelperioden kultiviert. Die Töpfe waren mit einer Mischung aus Perlit, Vermiculit und Sand gefüllt; die Bodentemperatur wurde mittels eines Wasserkühlsystems konstant gehalten.

Das Experiment begann, sobald die Pflanzen eine durchschnittliche Blattfläche von 8 inch<sup>2</sup> (ca. 51 cm<sup>2</sup>) erreicht hatten. Zunächst wurde die Blattfläche jeder Pflanze über einen Zeitraum von 2 Wochen 10-mal vermessen. In den folgenden 14 Tagen wuchsen die Pflanzen in denselben Bedingungen weiter, nun wurde aber zusätzlich kontinuierliches Rauschen zwischen 31,5 Hz und 20 kHz eingespielt, das mit einem Generator von Brüel & Kjaer erzeugt wurde. Die Schalldruckpegel, gemessen ca. 15 cm über den Pflanzen, lagen zwischen 103,5 und 99 dB (SPL) (Abb. 3.16) (ebd., S. 481f).

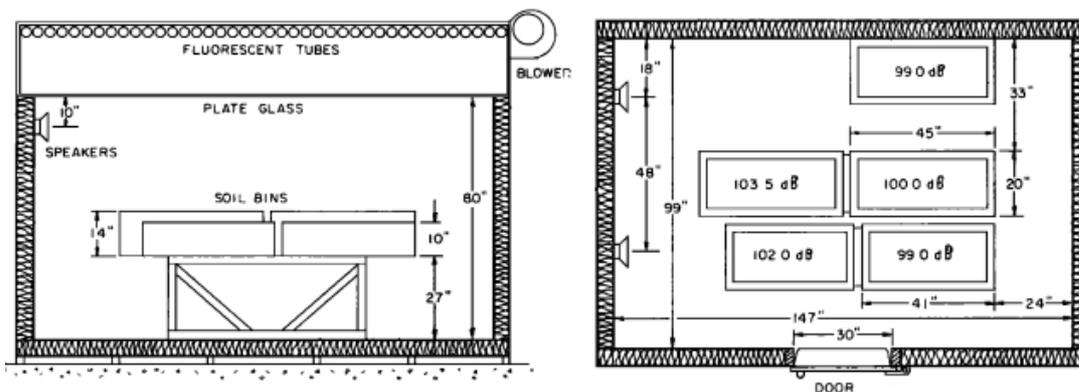


Abb. 3.15: Schematische Darstellungen des Versuchsraums (Abb. aus Woodlief et al. 1969, S. 481).

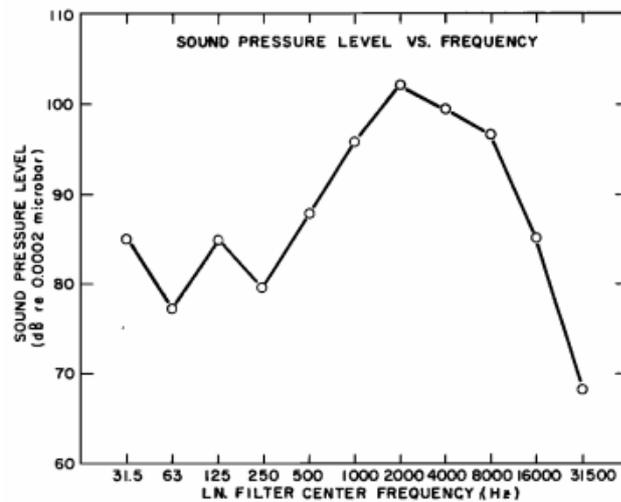


Abb. 3.16: Schalldruckpegel pro Oktavband (Abb. aus ebd., S. 482).

Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten wurde auf eine Kontrollgruppe verzichtet, man beruft sich zum Vergleich stattdessen auf bereits in der Literatur vorhandene ausführliche Beschreibungen der Wachstumscharakteristiken von Tabakpflanzen (vgl. etwa Suggs et al. 1960). An acht Messpunkten wurde jede Pflanze vermessen und die Blattfläche ausgerechnet; die durchschnittlichen Veränderung der Wachstumskurve jeder Pflanze sind in Tab. 3.3 dargestellt (vgl. auch Abb. 3.17). Die Daten weisen auf eine signifikante Abnahme in der Steigung der Wachstumskurve jeder Pflanze ab dem Zeitpunkt der Schallstimulation hin. Die Wachstumsrate ging im Schnitt um 40,6 % zurück, die geräuschvolle Umgebung wirkte sich also ungünstig auf das Wachstum aus; die Sensibilität der Pflanzen schien dabei mit ihrer anfänglichen Größe zusammenzuhängen denn kleinere Pflanzen reagierten sensibler (ebd., S. 482).

Initial leaf area (sq in.)	Slope of growth curve in normalized leaf area	
	Without noise	With random noise of 100 dB
4.82	0.0706	0.0443
4.87	0.0740	0.0427
5.09	0.0636	0.0377
5.18	0.0631	0.0435
5.89	0.0747	0.0385
6.64	0.0708	0.0391
6.88	0.0608	0.0370
8.47	0.0644	0.0364
8.78	0.0566	0.0351
10.10	0.0671	0.0370
11.71	0.0595	0.0350
16.01	0.0604	0.0366

Tab. 3.3: Veränderung in den Wachstumsraten (Tab. aus ebd., S. 482).

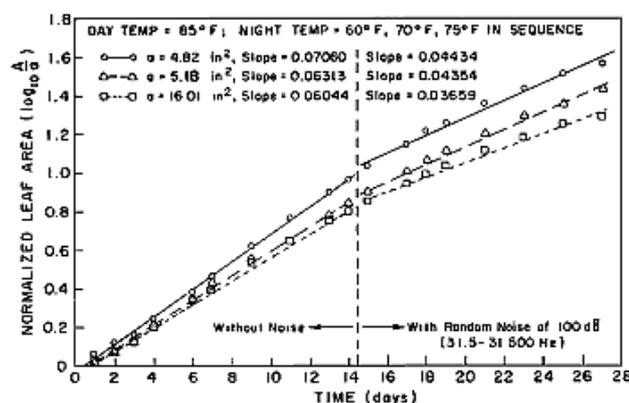


Abb. 3.17: Wachstumskurven dreier ausgewählter Tabakpflanzen (Abb. aus ebd., S. 482).

### 3.4.5 Versuche mit Weizen

Auch Newton (1971) bezieht sich auf die steigende Lärmbelastung als Basis für die Frage nach möglichen Auswirkungen von Schall auf biologische Systeme. In einem Experiment wurde nun der Effekt von 3, 5, 7 und 9 kHz bei 75 dB(A) auf Pflanzen getestet. Dazu wurden eigens schalldichte Wachstumskammern aus Faserplatten konstruiert; Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Labor wurden regelmäßig überprüft, ebenso der Output der die Sinustöne erzeugenden Oszillatoren. In 38 x 30 x 12 cm großen Polyethylen-Töpfen säte man pro Topf 5 x 5 Weizenkörner aus. Keimung und

Wachstum erfolgte anschließend bei 24-stündiger Beschallung in den Wachstumskammern. Die Tageslänge wurde mit 16 Stunden bei einer Temperatur von 28 und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 78 % eingestellt; nachts wurde die Temperatur auf 24° C abgesenkt. Nach 6 Tagen erhielten die Pflanzen 300 ml Wasser, nach weiteren 6 Tagen war das Experiment beendet. Nach jeder Photoperiode wurden Keimrate und Wuchshöhe sowie Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Labor und in den Wachstumskammern erhoben; insgesamt wurden 5 Versuche durchgeführt, wobei jedes Mal die Bedingungen zwischen den Kammern getauscht wurden (ebd., S. 203f).

Die statistische Auswertung der Daten ergab keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich Wuchshöhe, täglicher Wachstumsrate oder Keimrate; ein „Kammer-Effekt“ konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Newton gibt aber zu bedenken, dass die Experimentaldauer von 12 Tagen möglicherweise zu kurz gewesen sei, um merkliche Effekte festzustellen. Zudem konnte nur eine begrenzte Auswahl an Schallfrequenzen und -intensitäten getestet werden (ebd., S. 204).

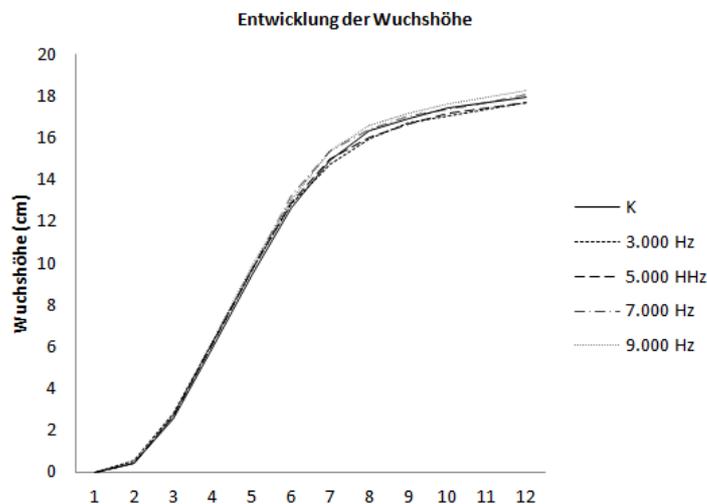


Abb. 3.18: Verlauf der Wuchshöhe von Weizen bei Stille (K) und verschiedenen Frequenzen. Auf der Abszisse ist der Zeitverlauf in Tagen aufgetragen (Daten aus Newton 1971, S. 203).

### 3.4.6 Keimung von Rübensamen

An der Universität von North Carolina wurde untersucht, wie sich Sinustöne verschiedener Frequenzen und Breitbandrauschen auf die Keimung von Rüben auswirkt (Hageseth 1974a, 1974b); zusätzlich wird ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Keimungsprozesses vorgeschlagen. Mit einem Rauschgenerator der Marke Hewlett-Packard wurde Breitbandrauschen in Oktavbändern zwischen 32 und 16.000 Hz erzeugt. Ein Audio-Oszillator produzierte Sinustöne unterschiedlicher Frequenzen (100, 2.000, 4.000 und 9.000 Hz). Zu den Schallbedingungen hält Hageseth fest, dass im Gebäude ein ständiger Geräuschpegel von 62 dB herrschte. Für das Rauschsignal gibt er einen Schalldruckpegel von 100 dB (SPL) an. Pro Experiment wurden zwischen 16 und 32 mit Filterpapier ausgelegte Petrischalen mit je 25 Samen verwendet, die in Wachstumskammern ohne Licht in einem schalldämmten Raum keimten. Es wird nicht erwähnt, ob die Samen zuvor nach Uniformität aussortiert oder sterilisiert wurden. Die Temperatur wurde konstant bei  $23 \pm 1^\circ \text{C}$  gehalten. Die Überprüfung der Samen erfolgte stündlich. Das Experiment wurde in mehreren Durchläufen durchgeführt, wobei die Bedingungen folgendermaßen variiert wurden (Hageseth 1974a, S. 642):

- Breitbandrauschen (25 h lang)
- 100, 1.000, 2.000, 4.000 und 9.000 Hz (25 h)
- 4.000 Hz (1 h)
- 2.000 Hz (6 h); anschließende Trocknung der Samen, Keimung 4 Tage später in Stille
- 2.000 Hz (16 h)
- 1.000 Hz (16 h)

Insgesamt wurden für die Studie 28.000 Samen verwendet, wobei insgesamt 4.800 Samen auf die Kontrollgruppe entfielen. Auf Basis der gesammelten Daten hält Hageseth fest, dass Sinustöne die Keimung von Rübensamen anregen; Breitbandrauschen schien sich hemmend auszuwirken, diese Samen brauchten 2 Stunden länger für die Keimung als alle anderen. Danach holten sie rasch auf, wobei sich die Keim-

rate nach 21 Stunden wieder verlangsamte. Ansonsten gleichen die Effekte aller getesteten Einzelfrequenzen der Kurve bei 1.000 Hz, wie sie unter „B“ in Abb. 3.19 dargestellt ist (Hageseth 1974b, S. 887). An anderer Stelle wird darauf hingewiesen, dass die Keimraten abhängig von Frequenz und Schalldruckpegel stark variieren (Hageseth 1974a, S. 642). Die Kurven für die Keimraten (also die Anzahl der Samen, die innerhalb eines Intervalls einer Stunde keimten) sind in Abb. 3.20 wiedergegeben. Wird die 1.000-Hz-Behandlung nach 16 Stunden abgebrochen, verlangsamt sich der Keimungsprozess; dies gelte nicht für die 2.000-Hz-Gruppe. Samen, die eine Stunde lang quollen und danach eine Stunde lang einer Frequenz von 4 kHz ausgesetzt waren, zeigten zudem ein ähnliches Keimverhalten wie die kontinuierlich beschallte Gruppe; möglicherweise hänge das Phänomen daher von einer „akustischen Energieschwelle“ ab (Hageseth 1974b, S. 887). Auf die Keimfähigkeit und daher letztlich auf den Gesamtertrag hatten die Schallwellen keinen Einfluss: 48 Stunden nach Aussetzen der Schallbehandlung waren in allen Gruppen 98 bis 99 % aller Samen gekeimt.

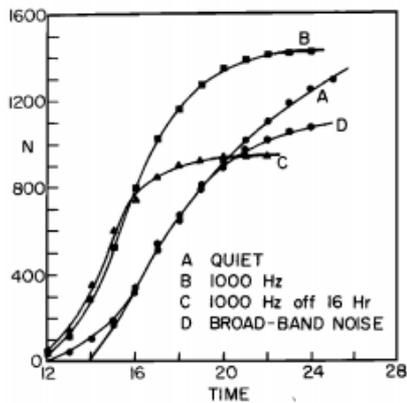
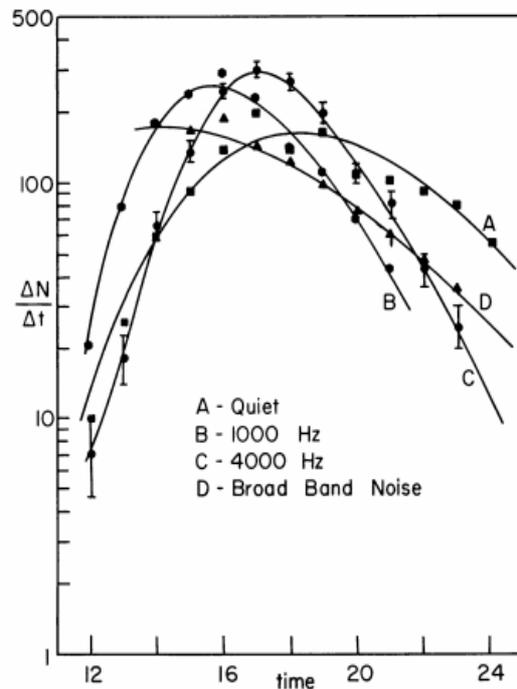


Abb. 3.19 (oben): Zahl der gekeimten Samen als Funktion der Zeit (Abb. aus Hageseth 1974b, S. 887).

Abb. 3.20 (rechts):  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  gibt die Zahl der Samen an, die innerhalb 1 h gekeimt waren (Abb. aus Hageseth 1974a, S. 643).



### 3.5 Studien in Kanada zwischen 1968 und 1979

Von 1968 an wurden an der Universität von Ottawa in Kanada vorwiegend unter der Führung von Pearl Weinberger Studien zu den Auswirkungen von Schall vor allem auf verschiedene Weizensorten durchgeführt. Weinberger selbst ließ sich 1972 eine Methode zur Verbesserung der Wachstumscharakteristiken von Pflanzenmaterial patentieren, das auf den Ergebnissen dieser Studien basiert (Weinberger 1972). Die Ergebnisse mehrerer Publikationen werden im Folgenden auf Basis der Dissertation von Measures (1972) wiedergegeben, in welcher sich auch die Resultate der meisten zu diesem Thema publizierten Studien finden. Measures führte umfassende Studien mit Weizen durch und war selbst größtenteils an verschiedenen Veröffentlichungen beteiligt (vgl. Weinberger & Measures 1968, 1979; Measures & Weinberger 1970, 1973).

### 3.5.1 Studien mit Sinustönen und Weizen

Im Rahmen ihrer Dissertation führte Measures (1972) Labor- und Feldversuche mit Samen und Pflanzen und Sinustönen bzw. weißem Rauschen durch. Im Folgenden werden die Experimente im Labor besprochen. Die Autorin geht bei ihren Überlegungen von Hinweisen auf Effekte von Ultraschall auf Pflanzen aus; die Art der Reaktion auf Schallfrequenzen im menschlichen Hörbereich könnte ebenso wie bei den Ultraschallstudien von Frequenz und Intensität sowie der jeweiligen Pflanzenspezies abhängen (ebd., S. 139). Measures bezieht sich auch auf die Beschreibungen Singhs und seiner Mitarbeiter, wobei sie den Mangel an repräsentativen Studien der möglichen Wirkungen von Schall im Hörbereich bedauert:

Unfortunately, most of the [...] data appear in the literature in the form of abstracts, so the actual figures are not available for inspection and the data therefore subject to question (ebd.).

Die jeweiligen Versuchsanordnungen werden bei Measures vergleichsweise genau beschrieben. Die Wachstumsstudien wurden in Wachstumskammern mit den Maßen 93 x 60 x 83 cm durchgeführt. Zur Beleuchtung dienten vier 25-W-Glühbirnen und 8 Leuchtstofflampen; die Tageslänge wurde auf 16 h festgelegt. Die Positionen der Pflanzen in den Kammern wurden regelmäßig gewechselt, um mögliche Einflüsse durch die Positionierung zu vermeiden.

Die Schallreize wurden mit einem Audio-Oszillator von Hewlett-Packard bzw. mit einem Allison-Rauschgenerator erzeugt. Je nach verwendeter Frequenz bzw. Intensität kamen verschiedene Lautsprecher zum Einsatz (ebd., S. 24f). Die verwendeten Schalldruckpegel und Lautsprecher sind in Tab. 3.4 dargestellt.

Signal	Schalldruckpegel*	Lautsprecher
300 Hz	93 dB	9 inch Woofer
1.250 Hz	89 dB	9,5 x 13 inch Woofer
5.000 Hz	92 dB	4 inch Tweeter
5.000 Hz	105 dB	University Horn (H-600) und Driver (T-30); Verstärker (Dynakit Stereo)
5.000 Hz	120 dB	8 inch
12.000 Hz	95 dB	4 inch Tweeter
Weißes Rauschen**	78-92 dB	8 inch
Hintergrundgeräusch Kühlschrank***	35 ± 3 dB	
Hintergrundgeräusch Wachstumschamber***	45 ± 3 dB	

\* gemessen mit Brüel & Kjaer 2203/1613 Sound Level Meter; Entfernung von Schallquelle nicht angegeben

\*\* Energiezunahme < 3 dB pro Oktave mit steigender Frequenz

\*\*\* keine Angaben zu Frequenzen

Tab. 3.4: Übersicht über die Schallbedingungen (Daten aus Measures 1972, S. 24f).

### 3.5.1.1 *Quellung von Rideau-Körnern*

Untersucht wurde, ob Schall ähnlich wie Ultraschall die Wasseraufnahme bei der Quellung von Samenkörnern beeinflussen kann (ebd., S. 141). Dazu wurden insgesamt 300 Weizensamen der Sorte Rideau untersucht; pro Gruppe wurden zwei Versuche durchgeführt. Als Quellbehälter dienten geschwärzte Petrischalen. Gruppe 1 quoll bei  $2 \pm 2^\circ$  C und einem kontinuierlichen Signal von 5 kHz, Gruppe 2 stellte die Kontrollgruppe (ohne Beschallung) dar. Die Körner wurden in den ersten 6 Stunden stündlich abgewogen, in den folgenden 6 Stunden alle 2 und danach alle 12 Stunden

den. Der Versuch dauerte 8 Tage. Eine dritte Gruppe quoll bei  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  und 5 kHz, Gruppe 4 diente als Kontrollgruppe. Abgewogen wurde bei diesen Gruppen in den ersten 3,5 Stunden alle 30 Minuten, in den nächsten 8 Stunden im 2-Stunden-Intervall; nach 24 Stunden wurde zum letzten Mal abgewogen (ebd., S. 26). Bei beiden Temperaturen konnte kein signifikanter Effekt der Schallsignale auf das Quellverhalten festgestellt werden (ebd., S. 68).

### 3.5.1.2 Keimung von Getreide

Als Untersuchungsobjekte dienten Samen von Hafer, Gerste, Hirse, zwei Sorten Frühlings-Weizen (Marquis, Manitou) und vier Sorten Winter-Weizen (Genesee, Talbot, Rideau). Das Experiment bestand aus drei Durchgängen, insgesamt wurden pro Spezies sowie für die Kontrollgruppen je 150 Samen verwendet. Zwei Gruppen keimten nach der Imbibition (Quellung in Stille bei  $25 \pm 2^\circ \text{C}$ ) im Kühlschrank bei  $2^\circ \text{C}$ , wobei eine Gruppe mit 5 kHz, die andere mit 12 kHz beschallt wurde; über die Dauer der Beschallung wird keine Angabe gemacht, vermutlich erfolgte die Stimulation kontinuierlich. Weitere zwei Gruppen keimten in einer Wachstumskammer bei  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  und Beschallung mit 5 bzw. 12 kHz (Abb. 3.21). Neben den entsprechenden Kontrollgruppen fand außerdem ein Versuch mit Rideau- und Marquis-Weizen bei  $2^\circ \text{C}$  mit 5 kHz bei 120 dB (SPL) statt. Die Erhebung der Zahl der gekeimten Samen erfolgte alle 2 Stunden. Als Kriterium für das Einsetzen der Keimung wurde der Zeitpunkt der Penetration der Samenschale durch die →Radicula herangezogen (ebd., S. 27f).

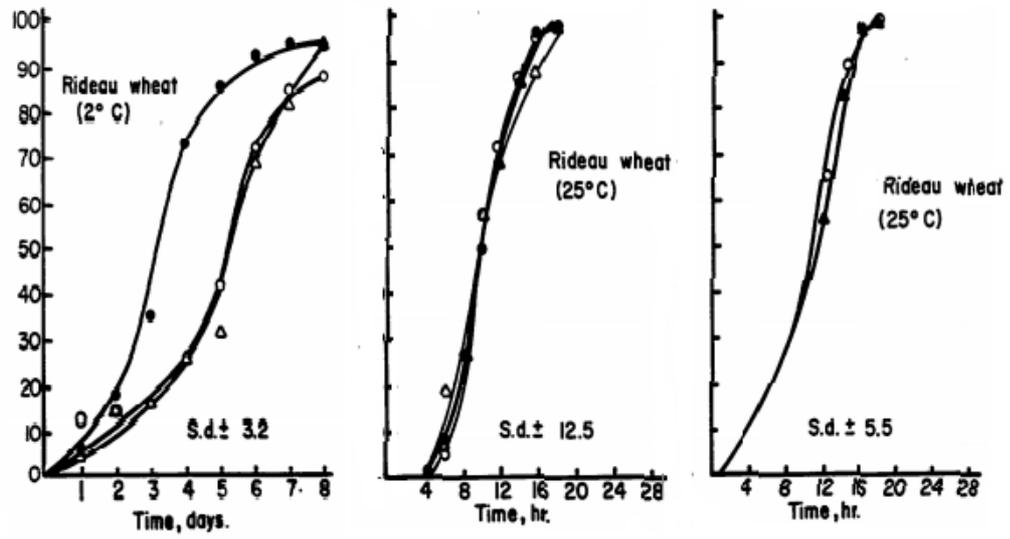
Imbibition (in Stille bei $25 \pm 2^\circ \text{C}$ )					
Keimung:					
$2 \pm 2^\circ \text{C}$			$25 \pm 2^\circ \text{C}$		
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
5 kHz	12 kHz	Kontrolle	5 kHz	12 kHz	Kontrolle

Abb. 3.21: Versuchsaufbau zur Keimstudie (Daten aus ebd., S. 27).

Signifikante Ergebnisse konnten nur bei Rideau und Marquis festgestellt werden. Nach drei Tagen waren unter Einwirkung des 5 kHz-Signals 73 % der Rideau-Samen gekeimt, während in der 12 kHz-Gruppe und der Kontrollgruppe nur 26 % der Körner keimten. Bei Marquis stellte sich die Keimung bei 5 kHz früher ein als bei Vergleichsgruppen, die 12 kHz-Gruppe holte aber nach 5 Tagen auf. Am 8. Tag wiesen alle Versuchspflanzen eine Keimrate von 100 % auf, während in der Kontrollgruppe nur 70 % der Samen gekeimt waren (ebd., S. 68; S. 72–76). Die Keimung dieser Weizensorten wurde durch Schall aber nur bei 2° C stimuliert, nicht bei 25° C – wie angemerkt wird, reichte die Zeit in dieser Gruppe nicht zur Manifestation der Effekte, da die Körner bei dieser Temperatur sehr rasch keimten; eine Keimrate von 98 % war bei Rideau bereits nach 18 Stunden und nach Marquis nach 26 Stunden erreicht (ebd. S. 139f). Interessanterweise wurden in einem vergleichbaren Experiment 1968 mit den gleichen Schallbedingungen und Temperaturen von 2, 10 und 25° C gar keine signifikanten Effekte auf die Keimrate von Rideau-Weizen festgestellt (vgl. Weinberger & Measures 1968).

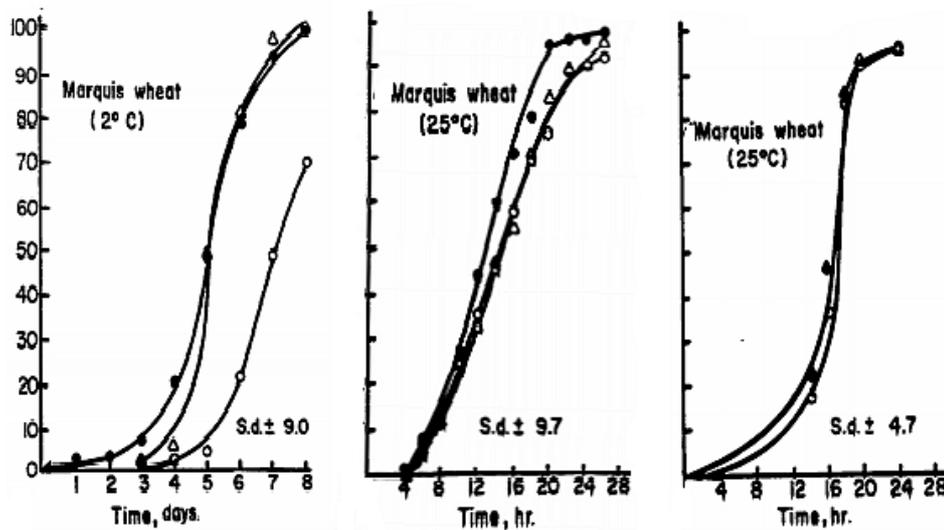
Der Versuch mit dem 120 dB-Signal brachte keine signifikanten Unterschiede; allerdings könnte sich bei den Marquis-Samen eine längere Lagerzeit ausgewirkt haben, da dieses Experiment erst einige Monate später stattfand (ebd., S. 75f). Die Resultate für die Keimung von Rideau- und Marquis-Weizen unter verschiedenen Bedingungen sind in Abb. 3.22 und 3.23 dargestellt.

Bei den übrigen Spezies wiesen die Ergebnisse keine Signifikanz auf. Bei Manitou-Weizen schien die Keimung bei 2° C unter Einwirkung des 5 kHz-Signals gehemmt. Genesee- und Talbot-Weizenkörner keimten in keiner der 2° C-Gruppen gut – nach 30 Tagen waren weniger als 40 % der Körnern gekeimt, der Rest schien zu verfaulen. Bei 25° C schien die Keimung von Genesee unter Schall erst leicht gehemmt, bei Talbot erhöht; die Unterschiede relativierten sich aber wieder (ebd., S. 75).



• 5 kHz      Δ 12 kHz      o Kontrollgruppe      ▲ 5 kHz (120 dB) (rechter Graph)

Abb. 3.22: Keimraten (Ordinate) von Rideauweizen; Beschallung mit 5 bzw. 12 kHz bei 2° C (links); bei 25° C (Mitte); Beschallung mit 5 kHz (120 dB) bei 25° C (rechts) (vgl. Measures 1972, S. 72; 74).



• 5 kHz      Δ 12 kHz      o Kontrollgruppe      ▲ 5 kHz (120 dB) (rechter Graph)

Abb. 3.23: Keimraten (Ordinate) von Marquisweizen; Beschallung mit 5 bzw. 12 kHz bei 2° C (links); bei 25° C (Mitte); Beschallung mit 5 kHz (120 dB) bei 25° C (rechts) (nach Measures 1972, S. 72; 74).

### 3.5.1.3 Wurzelwachstum von Rideau-Weizenkeimlingen

Im folgenden Experiment wurde die Auswirkung von Sinustönen, die während der künstlichen →Vernalisation im Kühlschrank eingesetzt wurden, auf Zahl und Länge der Wurzeln von Rideau-Weizenkeimlingen gemessen. Zuvor erfolgte die Imbibition der Körner in Stille bei  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Aus insgesamt 600 Samenkörnern wurden 12 Gruppen zu je 50 Samen gebildet, die sich in Quelldauer, Wassermenge während des Quellvorgangs und Frequenz des Reizsignals unterschieden. Die Quellung erfolgte mit einer Wassermenge äquivalent zu 60 % (Gruppe  $\alpha$ ) oder 100 % (Gruppe  $\beta$ ), die Quelldauer betrug 3 bzw. 6 Stunden. Anschließend keimten die Körner bei 2° C, währenddessen wurden sie Signalen mit 5 kHz oder 12 kHz ausgesetzt. Die Kontrollgruppen wurden nicht beschallt. Eine Übersicht zum Versuchsaufbau ist in Tab. 3.5 abgebildet. Die Samen wurden täglich belüftet, gewogen und je nach Gruppen-Zugehörigkeit bewässert. Die Wurzellänge wurden jeweils nach 2, 3 und 4 Wochen ge-

messen. Jedes Experiment wurde dreimal durchgeführt, sodass in jeder Gruppe insgesamt 150 Samen untersucht wurden (ebd. 28f).

Weder Schallbehandlung noch Quelldauer hatten offenbar Auswirkung auf die durchschnittliche Wurzellänge und die Zahl der Wurzeln; 90 % aller Keimlinge wiesen bei den Messungen drei Wurzeln auf. Lediglich in Hinsicht auf die für die Imbibition verwendete Wassermenge ließ sich ein Unterschied feststellen, so verdoppelte sich in Gruppe  $\beta$  die durchschnittliche Wurzellänge (ebd., S. 76).

Gruppe (nach Wassermenge bei Quellung)	Quelldauer	Beschallung (während Kühlung); je 50 Samen
$\alpha$ (60 % Wassermenge äquivalent zur Trockenmasse)	3h	5 kHz
		12 kHz
		KG
	6h	5 kHz
		12 kHz
		KG
$\beta$ (100 % Wassermenge äquivalent zur Trockenmasse)	3h	5 kHz
		12 kHz
		KG
	6h	5 kHz
		12 kHz
		KG

Tab. 3.5: Übersichtsschema zum Versuchsaufbau (Daten aus ebd., S. 28).

#### 3.5.1.4 Wachstum von Rideau- und Marquis-Weizen

Untersuchungsgegenstand dieses Experiments war die Auswirkung von Schall, variiert in Frequenz und Intensität, auf die Blatt-Morphogenese und -Morphologie; sie entspricht jener von Weinberger und Measures 1968 publizierten Studie, wie beim Vergleich der Tabellen offenbar wird. Gemessen wurden Wuchshöhe, die Zahl der Wurzeln sowie Frisch- und Trockenmasse von Wurzeln und Sprossen.

Nach dem Quellen (6 Stunden lang bei  $25 \pm 2^\circ \text{C}$ ; in der Studie von 1968 werden  $24 \pm 1^\circ \text{C}$  angegeben) erfolgte die Vernalisation der Samen bei  $2 \pm 2^\circ \text{C}$ , wobei die Kühlperiode bei Marquis-Weizen eine Woche dauerte, bei Rideau vier Wochen. Nach der Vernalisation platzierte man die gekeimten Samen in Wachstumskammern, wobei die Pflänzchen bei Erreichen einer durchschnittlichen Wurzellänge von 3 cm in geschwärzte, mit Nährlösung versehenen Polyethylen-Flaschen gesetzt wurden. Die Position der Flaschen wurde in der Wachstumskammer regelmäßig getauscht. Die Parameter Wuchshöhe, Zahl der Wurzeln, Feucht- und Trockenmasse von Wurzel- und Spross-Systemen wurden jeweils nach 4, 6 und 8 Wochen gemessen (ebd., S. 29f). Während und nach der Vernalisation wurden die Samen nach dem in Tab. 3.6 dargestellten Schema beschallt.

Gruppe	während Vernalisation	nach Vernalisation
5K,5K	5 kHz	5 kHz
5K,C	5 kHz	Stille
12K,12K	12 kHz	12 kHz
12K,C	12 kHz	Stille
C,5K	Stille	5 kHz
C,12K	Stille	12 kHz
C,C	Stille	Stille

Tab. 3.6: Übersicht zum Versuchsaufbau der Wachstumsstudien (Daten aus ebd., S. 29).

Die Ergebnisse des Experiments sind in den Tab. 3.7, 3.8 und 3.9 zusammengefasst. Rideau schien gut auf die 5-kHz-Behandlung zu reagieren: nach 4 und 6 Wochen waren in der Gruppe 5K,5K und 5K,C alle Parameter signifikant erhöht. Nach 8 Wochen Wachstum wiesen Pflanzen aus diesen Gruppen laut Measures mehr Wurzeln auf. In der Gruppe 5K,5K verdoppelten sich Zahl der Wurzeln sowie Frisch- und Trockenmasse von Wurzeln und Sprossen, die 5K,C-Pflanzen verdoppelten die Trockenmasse der Sprosse. Bei der Behandlung mit 12 kHz wurden keine nennenswerten

Verbesserungen festgestellt, außer in der 12K,C-Gruppe, in der das Wurzelwachstum stimuliert wurde. Insgesamt zeigten die Pflanzen einen hohen Grad an Variabilität. Bei Marquis bewirkte die 5K,5K-Behandlung eine leichte, aber nicht signifikante Stimulation des Spross-Wachstums. Pflanzen der 12K,12K-Gruppe wiesen nach 4 Wochen signifikant höhere Frisch- und Trockenmassen der Sprosse auf, nach 6 Wochen schien das Wachstum von Wurzeln und Sprossen aber gebremst. In der 12K,C-Gruppe war nach 8 Wochen die Zahl der Wurzeln signifikant erhöht (ebd., S. 84–86).

Wachstumsphase (8 Wochen)	5 kHz			
	5K,5K		5K,C	
	Marquis	Rideau	Marquis	Rideau
Egebnisse nach 4 Wochen		alle Parameter sign. erhöht		alle Parameter sign. erhöht
nach 6 Wochen	Höhe und Trockenm. sign. erhöht	alle Parameter sign. erhöht		
nach 8 Wochen	leichte Stimulation der Sprosse (nicht sign.)	Wurzelzahl verdoppelt, ebenso Frisch- und Trockenm. (Wurzeln; Sprosse)		Wurzelzahl sign. erhöht, Trockenm. (Sprosse) + 100 % ggü. C;C

Tab. 3.7: Ergebnisse der Gruppen 5K,5K und 5K,C (Daten aus ebd., S. 84–86).

Studien zur Schallwirkung auf Pflanzen

Vernalisation bei 2° C		12 kHz			
Wachstumsphase (8 Wochen)	12K,12K		12K,C		
	Marquis	Rideau	Marquis	Rideau	
Ergebnisse nach 4 Wochen	Frisch- und Trockenmasse (Sprosse) sign. erhöht	Wurzelwachstum stimuliert; Wuchshöhe sign. besser		Wurzelwachstum stimuliert	
nach 6 Wochen	Wachstum von Wurzeln und Sprossen gebremst				
nach 8 Wochen		Zahl der Wurzeln sign. erhöht	Frischgewicht d. Wurzeln sign. erhöht		

Tab. 3.8: Ergebnisse der Gruppen 12K,12K und 12K,C (Daten aus ebd.).

Vernalisation bei 2°		C				
Wachstumsphase (8 Wochen)	C,5K		C,12K		C,C	
	Marquis	Rideau	Marquis	Rideau	Marquis	Rideau
Ergebnisse nach 4 Wochen	x	x	Zahl der Wurzeln, Frisch- u. Trockenm. (W;S) vermindert	x	x	x
nach 6 Wochen	x	x	x	x	x	x
nach 8 Wochen	x	x	x	x	x	x

Tab. 3.9: Ergebnisse der Gruppen C,5K; C,12K und C,C (Daten aus ebd.).

Zur Illustration bildet Measures Fotos ausgewählter Marquis- und Rideau-Pflanzen ab. Die Vergleichsfotos von Marquis sind allerdings entweder in unterschiedlichem Maßstab abgebildet, oder für die Pflanzen wurden verschiedene Topfgrößen verwendet (Abb. 3.24).



Abb. 3.24: Auswirkung der Schallbehandlung auf Marquis- und Rideau-Weizen nach 8 Wochen Wachstum. Links sind zwei Marquis-, rechts Rideau-Pflanzen abgebildet. (A) bezeichnet jeweils die Gruppe 5K,5K; (B) steht jeweils für die Gruppe C,C (Abb. aus ebd., S. 85; 87).

### 3.5.1.5 Marquis- und Rideau – weitere Frequenzen

Ziel dieses Experiments ist es laut Measures, eine „Frequency-Response“-Kurve für Marquis- und Rideau-Weizen zu erhalten. Der Versuch ist ähnlich aufgebaut wie der vorige. Pro Behandlung wurden zwei Sets mit jeweils 10 mittelgroßen Körnern der Weizen-Sorten Marquis und Rideau verwendet. In Anschluss an den Quellvorgang (6 Stunden lang bei 25° C) setzte man diese während der Vernalisation Signalen von 300 Hz, 1.250 Hz, 5 kHz und 12 kHz aus, wobei die Vernalisationszeit bei Marquis-Samen 3 Wochen, bei Rideau-Samen 4 Wochen betrug (ebd., S. 30f). Den Pflanzen wurde anschließend 8 Wochen Zeit zum Wachsen gegeben, danach wurden bei Marquis die Zahl der Wurzeln und →Bestockungstriebe, sowie Frisch- und Trocken-

masse der Wurzel- und Spross-Systeme erfasst, beim Versuch mit Rideau wurde auf die Erfassung der Bestockungstriebe sowie der Frischmasse von Wurzeln und Sprossen aus nicht genannten Gründen verzichtet (ebd., S. 86–89).

In der 5-kHz-Gruppe schnitten alle Marquis-Pflanzen signifikant besser ab als die Kontrollgruppe und besser (aber nicht signifikant) als die 300-Hz-Gruppe. Bei 300 Hz wuchsen die Pflanzen höher, die Trockenmasse von Wurzeln und Sprossen sowie die Frischmasse der Sprosse waren gegenüber der Kontrollgruppe signifikant erhöht. Keine signifikanten Effekte waren in den Gruppen mit 1.250 Hz und 12 kHz festzustellen (ebd., S. 86). Die Resultate entsprechen bis auf marginale Unterschiede bei der Rundung der Dezimalstellen jenen der 1970 publizierten Studie über die Wirkung der vier genannten Frequenzen auf Marquis-Weizen (Measures & Weinberger 1970). Die Ergebnisse der 5-kHz-Gruppe für Rideau wurden aus dem vorigen Versuch übernommen. Alle anderen Frequenzen bewirkten keine signifikanten Unterschiede (ebd., 89).

Measures schließt aus den Ergebnissen, dass die Frequenz-Reaktions-Kurve von Marquis-Weizen mindestens zwei Peaks hat, nämlich bei 300 Hz und 5 kHz. Aufgrund der nicht signifikanten Resultate bei 1.250 Hz überlegt die Autorin, dass sich harmonische Frequenzen offenbar nicht unbedingt ähnlich auswirken: „The harmonic frequencies used here do not necessarily react in the same manner“ (Measures & Weinberger 1970). Worauf Measures hinaus will, wird am Ende des Diskussionskapitels (1972, S. 164ff) deutlicher. Angelehnt an Goodwins Konzept der zeitlichen Organisation in Zellen (Goodwin 1963), geht sie von Resonanzeffekten in zellulären → Organellen aus, welche Zelloszillationen verstärken und zelluläre biochemische Vorgänge (z.B. die Proteinsynthese) beeinflussen und auf diese Art das Wachstum anregen können:

[...] the audible sound frequencies which stimulated plant growth may have been the right wavelength to increase the resonance of one or more sets of coupled biochemical oscillators, whereas the other frequencies were not (Measures 1972, S. 166).

Vergleicht man die Größe einer Zelle (zwischen 5 und 300 µm; Nabors 2007, S. 34) mit den Wellenlängen der verwendeten Frequenzen (114,3 cm bei 300 Hz; 27,4 cm bei 1.250 Hz; 6,86 cm bei 5.000 Hz und 2,86 cm bei 12.000 Hz), scheint diese Erklärung aber wenig plausibel.

#### *3.5.1.6 Rideau-Pflanzen bei unterschiedlichen Intensitäten*

Um zu untersuchen, ob die Reaktion der Pflanzen von der Intensität des Schallsignals abhängt, wird ein ähnlicher Versuchsaufbau wie in den vorangegangenen Experimenten (vgl. Kap. 3.5.1.4) verwendet. Das Experiment entspricht der bei Weinberger & Measures (1979) vorgestellten Untersuchung über frequenz- und intensitätsabhängige Wachstumsreaktionen von Rideau-Weizen auf Schallstimulation. Ein Signal mit einer Frequenz von 5 kHz wurde mit variierenden Schalldruckpegeln von 92 dB, 105 dB und 120 dB (SPL) während der Vernalisation und zum Teil während der folgenden 8-wöchigen Wachstumsperiode abgespielt. Durch ein ähnliches Verfahren wie in dem unter Kap. 3.5.1.5 beschriebenen Experiment wurden die Samen bzw. Pflanzen in die Gruppen 92,92; 105,105; 120,120; 92,C; 105,C; 120,C und C,C unterteilt. Nach der Wachstumsperiode wurden die Parameter Wuchshöhe, Zahl der Wurzeln und Trockenmasse von Wurzel- und Spross-Systemen erfasst (ebd., S. 31).

Keine signifikanten Auswirkungen waren auf die Wuchshöhe festzustellen. In der Gruppe 92,92 nahm die durchschnittliche Zahl der Wurzeln gegenüber der Kontrollgruppe zu, während sie sich bei 105,105 verringerte. 92,C wies eine doppelt so hohe Trockenmasse der Wurzeln auf als die Kontrollgruppe, das Ergebnis ist laut Measures aber nicht signifikant, ebenso wie die Abnahme der Trockenmasse der Sprosse bei 105 und 120 dB (ebd., S. 89; 91–93). Rund 3 % aller Keimlinge zeigten ungewöhnliche morphologische Veränderungen der Blätter bei höheren Schalldrücken,

die einer typischen Reaktion auf Hitze- oder Kältestress während der Blattentwicklung gleichen (vgl. Weinberger & Measures 1979). Bei Schalldruckpegeln um 92 dB und Frequenzen von 5 kHz waren keine Veränderungen in Morphogenese und Blattmorphologie festzustellen; auch die Zahl der →Stomata änderte sich nicht (Measures 1972, S. 31f; 93f; vgl. dazu in Kap. 3.3.1, S. 39 die Studien von Singh und Ponniah, die eine Zunahme der Stomata bei schallstimulierten Pflanzen festgestellt haben wollen).

Der Vergleich der Werte mit den Ergebnissen aus vorhergehenden Versuchen (Tab. 3.10, 3.11 und 3.12) lässt auch hier darauf schließen, dass es sich bei den Werten in den Gruppen 92,92 und 92,C um dieselben wie in den Gruppen 5K,5K bzw. 5K,C aus früheren Versuchen handelt (ebd., S. 89; 91–93). Die Ergebnisse aus den Experimenten mit Rideau sind in Abb. 3.26 zusammenfassend dargestellt.

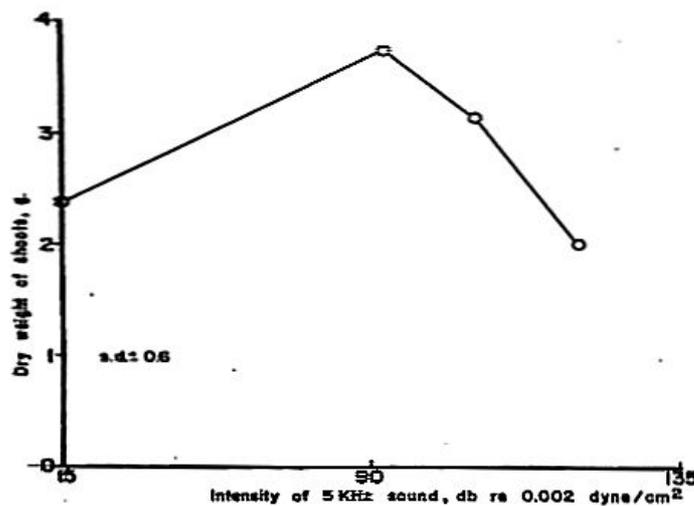


Abb. 3.25: „Intensity response“ von Rideau-Weizen auf einen 5 kHz-Ton unterschiedlicher Schalldrücke nach 8 Wochen Wachstum, dargestellt an der Zu- und Abnahme der Trockenmasse des Spross-Systems in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel (Abb. aus Measures 1972, S. 92).

	5K,C	12K,C	5K,5K	12K,12K	C,C	C,5K	C,12K
Höhe (cm)	57,20	<u>55,00</u>	60,30	55,10	57,10	<u>61,00</u>	55,40
Zahl der Wurzeln	67	53	<u>71</u>	68	<u>36</u>	55	54
Frischmasse Wurzeln (g)	6,60	6,26	8,31	6,67	<u>4,79</u>	7,26	<u>9,64</u>
Trockenmasse Wurzeln (g)	0,64	0,50	0,77	0,69	<u>0,35</u>	0,59	<u>0,96</u>
Frischmasse Sprosse (g)	23,72	18,68	<u>29,24</u>	21,11	<u>15,27</u>	23,79	21,04
Trockenmasse Sprosse (g)	3,73	2,60	<u>4,50</u>	3,31	<u>1,85</u>	3,03	3,14

Tab. 3.10: Ergebnisse aus dem unter 3.5.1.4 beschriebenen Experiment mit Rideau nach 8 Wochen Wachstum. Die höchsten Werte sind zur besseren Übersicht jeweils doppelt, die niedrigsten einfach unterstrichen (nach Measures 1972, S. 83).

	5K,C	12K,C	1250,C	300,C	C,C
Höhe (cm)	57,20	<u>55,00</u>	55,40	<u>61,10</u>	57,10
Zahl der Wurzeln	<u>67</u>	53	41	<u>36</u>	<u>36</u>
Trockenmasse Wurzeln (g)	<u>0,64</u>	0,50	<u>0,32</u>	0,36	0,35
Trockenmasse Sprosse (g)	<u>3,73</u>	2,60	2,06	<u>1,85</u>	<u>1,85</u>

Tab. 3.11: Ergebnisse aus dem unter Kap. 3.5.1.5 beschriebenen Experiment (nach ebd., S. 90).

	92,C	92,92	105,C	105,105	120,C	120,12	C,C
Höhe (cm)	57,20	<u>60,30</u>	59,90	52,90	53,40	57,80	<u>51,50</u>
Zahl der Wurzeln	67	<u>71</u>	56	<u>34</u>	45	41	46
Trockenmasse Wurzeln (g)	0,64	<u>0,77</u>	0,38	<u>0,26</u>	0,31	0,27	0,34
Trockenmasse Sprosse (g)	3,73	<u>4,50</u>	3,13	<u>1,40</u>	2,00	1,90	2,40

Tab. 3.12: Ergebnisse aus dem unter Kap. 3.5.1.6 beschriebenen Experiment (nach ebd., S. 91).



Abb. 3.26: Ergebnisse aus mehreren Experimenten mit Rideau (Daten aus ebd., S. 83; 90; 91.).

### 3.5.1.7 Respiration und Photosynthese

Samen von Marquis- und Rideau-Weizen wurden nach dem Quellen während 2- oder 4-wöchiger Vernalisation mit 5 kHz beschallt. Anhand eines Warburg-Apparats wurden CO<sub>2</sub>-Produktion und Sauerstoffaufnahme gemessen. Ein zweites Experiment wurde ohne Vernalisation durchgeführt – die Pflanzen befanden sich während der Schallbehandlung mit ebenfalls 5 kHz in der Wachstumskammer mit einer Photoperiode von 16 Stunden bei 25 ± 2° C (die „Nachttemperatur“ wird mit 18 ± 2° C angegeben). Die mit einem Warburg-Apparat gemessenen Ergebnisse wurden mit Messungen mittels eines Infrarot-Gasanalysegeräts verglichen (ebd., S. 33f). Wie Measures berichtet, waren hinsichtlich der Schallbehandlung keine signifikanten Unterschiede in der →Respiration der Pflanzen feststellbar, wenngleich festge-

halten wird, dass Sauerstoff rascher von Samen aufgenommen werde, die ungekühlt 48 Stunden lang einer Frequenz von 5 kHz ausgesetzt waren. Measures weist darauf hin, dass sich die Messungen des CO<sub>2</sub>-Volumens mit dem Warburg-Apparat um 30 % von den mit dem Infrarot-Gerät gemessenen Werten unterschieden (ebd., S. 95–98).

Zur Untersuchung des Einflusses auf Respiration und →Photosynthese wurden auch Messungen an Pflanzen vorgenommen. Während der 4-wöchigen Vernalisation von Rideau-Körnern wurde ein kontinuierliches 5-kHz-Signal eingespielt. Die Pflanzen wurden danach in einer Wachstumskammer untergebracht; nach 2 Wochen Wachstum wurden mit dem Infrarot-Gasanalysator an den Blättern die CO<sub>2</sub>-Aufnahme bei Licht (2.200 ft-c) und die CO<sub>2</sub>-Produktion in Dunkelheit gemessen. Während den Messungen setzte man die Blätter verschiedenen Schallfrequenzen (300, 1.250, 5.000, 12.000 sowie 17.00 Hz) aus (ebd., S. 34f). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Versuchspflanzen festgestellt werden (ebd., S. 97).

Die Ergebnisse widersprechen laut Measures jenen von Singh (1959) und Gnanam & Rajaraman (1961), die herausfanden, dass die Photosynthese von Wasserpflanzen und blaugrünen Algen stimuliert werden (vgl. Measures 1972, S. 157); hierbei ist allerdings zu hinterfragen, ob die fraglichen Studien überhaupt vergleichbar sind.

### 3.5.1.8 Aminosäuregehalt in Rideau-Körnern

Rideau wurde 4 Wochen lang bei 5 kHz oder Kontrollbedingungen vernalisiert. Danach entfernte man die Perikarpe (Schalen) und trennte die →Embryos vom →Endosperm. Die →Aminosäuren in Embryo und Endosperm wurden extrahiert und mit einem Analysegerät gemessen (ebd., S. 35f).

Bei den freien Aminosäuren wurden die größten Differenzen zwischen Kontrollgruppe und Experimentalgruppe in den Konzentrationen von Alanin, Glycin und Asparaginsäure festgestellt. So enthielten Embryos der Versuchsgruppe doppelt so

viel, die Endosperme aber nur halb so viel Alanin wie Embryos und Endosperme der Kontrollgruppe. Die Endosperme der beschallten Körner wiesen im Schnitt eine 4-mal höhere Konzentration an Glycin und eine 1,5-mal höhere Konzentration an Asparaginsäure auf als jene der Kontrollgruppe – das Amid Asparagin war dagegen in der Kontrollgruppe höher konzentriert. Insgesamt waren in den Embryos der Kontrollgruppe mehr freie Aminosäuren und Amide enthalten, die relativen Proportionen blieben im Großen und Ganzen aber gleich (ebd., S. 102f). Hinsichtlich der Gesamt-Konzentration freier und gebundener Aminosäuren wird festgehalten, dass diese ebenfalls im Schnitt in den Embryos der Kontrollgruppe höher war; die größten Unterschiede wurden bei Prolin und Glycin beobachtet, zudem enthielten die Embryos mehr Asparagin- und Glutaminsäure (ebd., S. 104f).

Obwohl die Unterschiede in der Gesamt-Konzentration minimal ausfallen, deutet der niedrigere Gehalt an Aminosäuren in Embryo und Endosperm der Experimentalpflanzen laut Measures auf einen rascheren Aminosäuren-Umsatz in den Versuchspflanzen hin, was mit höheren Wachstumsraten zusammenhängen könnte. Die erwähnten Unterschiede bei freiem Alanin weisen möglicherweise auf einen beschleunigten Transport vom Endosperm in den Embryo und somit auf eine raschere Entwicklungsrate hin. Da Alanin auch die Morphogenese beeinflusst, könnte die erhöhte Menge an Aminosäuren in den Embryos der Schall-Serie mit der höheren Anzahl an Bestockungstrieben zusammenhängen (ebd., S. 144–147; vgl. auch Measures & Weinberger 1973).

#### *3.5.1.9 Nukleinsäuregehalt von Rideau-Körnern*

Rideau-Samen, jeweils 2 bzw. 4 Wochen lang gekühlt und währenddessen einem 5-kHz-Signal ausgesetzt bzw. in Stille gehalten, wurden in Embryo und Endosperm präpariert und hinsichtlich ihres  $\rightarrow$ RNA- und DNA-Gehalts untersucht (ebd., S. 36f).

In den Embryos aller Versuchsgruppen wurde im Schnitt signifikant mehr RNA gefunden als in der Kontrollgruppe. Hinsichtlich des RNA-Gehalts im Endosperm sowie des  $\rightarrow$ DNA-Gehalts in Embryo und Endosperm wurden keine signifikanten Un-

terschiede festgestellt (ebd., S. 106; S. 108). Im Wurzelmeristem 24 Tage alter Rideau-Keimlingen wurde zudem anhand der Zahl der →Metaphasen die →Mitose-Aktivität erhoben und ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt (ebd., S. 37f; S. 158).

#### *3.5.1.10 Peroxidase-Aktivität in Rideau*

Um festzustellen, ob sich die Veränderungen im Protein- und Aminosäurenstoffwechsel auf die Enzym-Aktivität auswirkt, wurde aus behandelten (5 kHz) und unbehandelten Rideau-Samen und -Keimlingen das Enzym Peroxidase extrahiert (ebd., S. 38f).

Die Peroxidase-Aktivität schien durch die Schalleinwirkung unbeeinflusst. Measures weist aber darauf hin, dass sich dieser Parameter je nach Pflanzenorgan und Alter verändern kann. Insofern sei dieser Test nicht aussagekräftig, da die Enzymaktivität nur an ganzen Samenkörnern und während zweier Entwicklungsstadien gemessen wurde (ebd., S. 147f).

#### *3.5.1.11 Messung der P<sup>32</sup>-Aufnahme*

Mithilfe des radioaktiven Isotops P<sup>32</sup> können verschiedene Abläufe in der Pflanzenphysiologie verfolgt werden, da Phosphor leicht von der Pflanze in allen Entwicklungsphasen aufgenommen wird (vgl. Keppler & Hentrich 1961). Measures überprüfte die Aufnahme von P<sup>32</sup> bei schallexponierten (5 kHz) Rideau-Samen und -Keimlingen (1972, S. 41f). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Aufnahme in Endosperm und Embryo unter Schalleinwirkung leicht gehemmt ist; P<sup>32</sup> akkumulierte leichter in den Wurzeln der Kontrollgruppe, der Transport in den Spross schien nicht beeinträchtigt zu sein (ebd., S. 111f).

### 3.5.2 Experimente mit Folklore

Anhand von sechs Folklore-Melodien und zwei Rauschsignalen wurde untersucht, ob variable Schallfrequenzen in Form von Musik Wachstum und Entwicklung von acht verschiedenen Pflanzenspezies beeinflussen (Weinberger & Graefe 1973). Diese Studie wurde auch in Weinbergers Patent (1972) angeführt.

Acht Melodien, die aus der Folklore offenbar unterschiedlicher Völker stammen (einerseits ist von zwei Melodien der Valley Tonga die Rede, andererseits werden zwei der Stücke auf der Sopilka dargeboten, einem ukrainischen Instrument), die traditionellerweise mit Keimung und Wachstum assoziiert werden, dienten als Reizsignal. Weitere Angaben zu den Stücken, die in Tab. 3.13 angeführt sind – unter anderem wäre z.B. eine Definition der Kategorie „Vocal“ im Gegensatz zu Männerchor und Frauensolo aufschlussreich – werden nicht genannt.

Tune No.	Type	Agrarian Connection	Verwendung
I	Male choir	Cucumber	Experiment 1, 2, 3
II	Female solo	Oats	Experiment 1
III	Vocal	Haying	Experiment 1
IV	Vocal	Flax	Experiment 1
V	Saduccai pipes	Vegetables	Experiment 1
VI	Flute Sopilka	Vegetables	Experiment 1, 2, 3
VII	Sopilka randomized		Experiment 1
VIII	White noise		Experiment 1, 2, 3

Tab. 3.13: Übersicht über die verwendeten Melodien und deren traditionellen Assoziationen (nach Weinberger & Graefe 1973, S. 1851).

Acht verschiedene Pflanzenspezies (Luzerne, Bohne, Mais, Gurke, Flachs, Salat, Hafer und Erbse) keimten 48 Stunden lang in Dunkelheit bei  $25 \pm 1^\circ \text{C}$ . Jede Spezies wurde währenddessen täglich 8 Stunden lang kontinuierlich den Melodien I–VIII ausgesetzt (Experiment 1; zur Übersicht über den Versuchsaufbau vgl. ); ein weiterer Versuch wurde mit Stimulation während der gesamten Keimperiode mit den Melo-

dien I, VI, VII und VIII durchgeführt (Experiment 2). Die Kontrollgruppe wurde in Stille (35 dB) gehalten. Insgesamt wurden drei Versuchsreihen durchgeführt, pro Versuch wurden vier Petrischalen (und vermutlich je eine für den Kontrollversuch) mit jeweils 25 morphologisch vergleichbaren Samen verwendet, wobei die Kammern bei jeder Wiederholung getauscht wurden. Die Keimrate wurde stündlich notiert.

In einem dritten Versuch ließ man die Melodien I, VI, VII und VIII während der Keimung täglich 8 Stunden auf die Samen einwirken (Experiment 3). Bei Erreichen einer durchschnittlichen Wurzellänge von 3 cm wurden die Keimlinge in Torf-Töpfe mit steriler Lehmerde umgesetzt und nach Bedarf bewässert. Die Pflanzen wuchsen anschließend 8 Wochen lang bei  $24 \pm 1^\circ \text{C}$ , wobei sie einem Tag-Nacht-Verhältnis von 16:8 ausgesetzt wurden. Nach der Wachstumsperiode wurden Frisch- und Trockenmasse der Sprosse, Zahl der Blätter, Knospen und Blüten sowie die Wuchshöhe erfasst. Zur statistischen Auswertung wurde ein Scheffé-Test verwendet, das Signifikanzniveau definierte man mit 5 %.

Experiment Nr.	Verwendeter Stimulus	Beschallungsdauer während Keimung	Gemessene Parameter
1	Melodien I-VIII	8 h	Keimrate (stündlich)
2	Melodien I, IV, VI, VIII	kontinuierlich	Keimrate (stündlich)
3	Melodien I, IV, VI, VIII	8 h	Frisch- u. Trockenmasse (Sprosse), Wuchshöhe, Anzahl d. Blätter, Knospen u. Blüten (nach 8 Wochen Wachstum)

Tab. 3.14: Übersicht über die Experimente von Weinberger & Graefe (1973; Daten aus ebd., S. 1851–1853).

Die Melodien wurden jeweils von Band abgespielt. Für Melodie VII wurde aus dem Signal VI (Sopilka-Flöte) ein Rauschsignal generiert, indem die Amplitudenverteilung randomisiert wurde. Mit einem Rauschgenerator wurde weißes Rauschen (Signal VIII) generiert. Die Schalldruckpegel, mit einem Brüel-Kjaer-Gerät mit Oktavbandfilter in den Wachstumskammern gemessen, variierten zwischen 78 dB und

92 dB über einen Bereich von 63 Hz und 8 kHz. Graefe untersuchte zudem die spektralen Leistungsdichten einiger Melodien, um festzustellen, ob bestimmte Frequenzen für wachstumsbeschleunigende Effekte verantwortlich sind. Nach Angaben der Autoren zeigte eine erste Analyse kurzer Sequenzen bis 5.000 Hz, dass in den Frequenzen über 2.000 Hz (Signale I und II) bzw. 1.000 Hz (Signale III und IV) keine Energie mehr vorhanden war, was angesichts der Angaben aus der Schallpegelmessung (78–92 dB bis 8 kHz) verwundert; auch reichen in den Abbildungen dieser Analysen die Skalen nur bis 1.000 und nicht bis 5.000 Hz (Abb. 3.24). Des Weiteren ist zu bedenken, dass die Leistungsdichtespektren am Ausgang des Kassettenrekorders abgenommen wurden, die Pegelmessungen aber vom Lautsprecher stammen, diese Werte also nur schwer zu vergleichen sind.

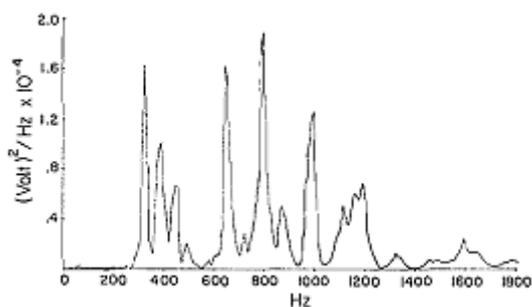


Abb. 3.27: Spektrale Leistungsdichte der ersten 26 Sekunden von Melodie II (Abb. aus Weinberger & Graefe, 1973, S. 1854).

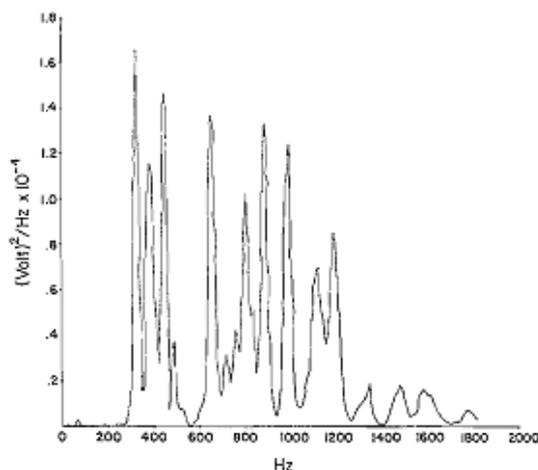


Abb. 3.28: Leistungsdichtespektrum über das gesamte Stück II (Abb. aus ebd.).

Eine signifikante Stimulation der Keimung konnte in keinem Fall beobachtet werden. Nur Bohnen und Mais zeigten Hinweise, dass manche Melodien (besonders I, II und VI, obwohl nicht klar signifikant) die Keimrate beeinflussen (vgl. 3.29). Keine der Melodien, welche traditionellerweise mit Pflanzenwachstum verbunden war, hatte einen Effekt auf die Keimung von Samen.

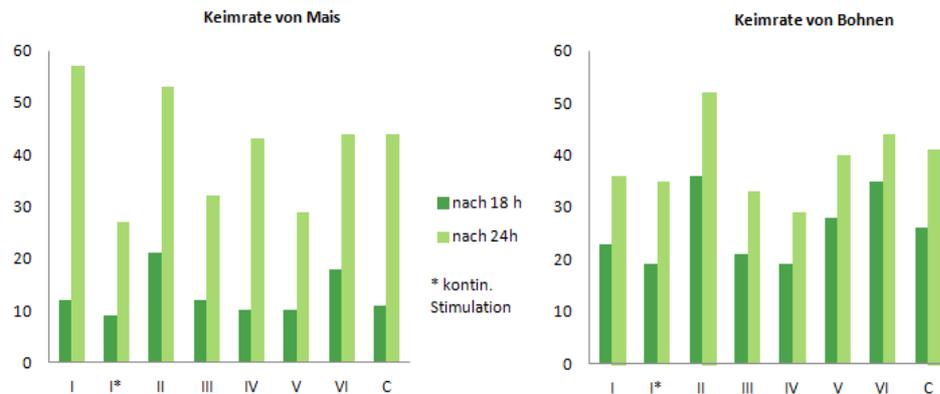


Abb. 3.29: Anteil der gekeimten Samen der Kontrollgruppe (C) und beschallten Bohnen- und Mais-Samen nach 18 h und 24 h (Daten aus Weinberger & Graefe 1973, S. 1853).

Deutlichere Wirkungen waren beim Wachstum zu beobachten, so schien Melodie VI einen zweifachen Anstieg der Wuchshöhe sowie der Frisch- und Trockenmasse der Sprosse von Gurken zu bewirken. Die Pflanzen wiesen verglichen mit der Kontrollgruppe dreimal so viele Knospen auf, und die Zahl der Blätter stieg signifikant. Melodie VI führte auch zu einer signifikanten Zunahme der Frischmasse bei Mais und Hafer; die Wuchshöhe von Hafer wurde sowohl durch Melodien II und VI angeregt. Andere Wachstumsparameter wurden nicht beeinflusst; keine der Pflanzen reagierte auf die Valley-Tonga-Melodien, die randomisierte Sopilka-Flöte oder auf weißes Rauschen.

Weinberger & Graefe sehen es als Tatsache an, dass einige Frequenzen im menschlichen Hörbereich einen wachstumsbegünstigenden Einfluss auf manche Pflanzen haben, wobei offenbar besonders die Flöte eine Reaktion bei 450 Hz bewirke. Worauf sich dieser Schluss begründet, ist aus dem Artikel nicht klar ersichtlich. Aus den eher dürftigen Ergebnissen in Verbindung mit früheren Ergebnissen (vgl. Measures & Weinberger 1970) schließen Weinberger & Graefe auf ein „Audio Action Spectrum“ bei Pflanzen, also auf eine frequenzabhängige Reaktion.

### 3.6 „The Sound of Music and Plants“

Retallacks Experimente mit Pflanzen und Musik am Temple Buell College in Denver riefen in den 1970ern ein gewisses Medienecho hervor (vgl. z.B. Curtis 1970; Ripley 1971; Anon. 1971; Anon. 1975); die Autorin gibt selbst an, dass sie unter anderem von Forschern und Lehrern (Retallack 1973, S. 37) kontaktiert wurde sowie von zahlreichen High-School-Studenten, welche ihre Experimente nachahmen wollten (ebd., S. 32; 37; 41).



Abb. 3.30: Dorothy Retallack mit ihrem Professor-Francis Broman (Abb. aus Retallack 1973, S. 6).

### 3.6.1 Erste Versuche

Für ihren College-Abschluss musste Retallack einen Biologiekurs absolvieren. Der Vorschlag ihres Professors, ihr Hauptfach Musik in die für den Abschluss des Kurses offenbar benötigte Projektarbeit einzubringen, veranlasste Retallack nach eigener Aussage zu dem Ausruf: „What in the world can I do with music and plants!“ (ebd., S. 16). Sie erinnerte sich, bei Keyes (1968) davon gelesen zu haben, dass darniederliegende Usambaraveilchen durch das Abspielen zweier Töne wieder zum Leben erweckt werden konnten und beschloss, dieses Experiment zu wiederholen. Gemeinsam mit einer Kollegin untersuchte sie die Wirkung der Töne „B“ (bzw. deutsch „H“) und „D“, auf dem Klavier angeschlagen und auf Band aufgenommen, auf Philodendron, Mais, Geranien und Usambaraveilchen, wobei nur bekannt ist, dass die Signale täglich 12 Stunden lang in 5-Minuten-Intervallen abgespielt wurden. Weder werden zum verwendeten Oktavraum, die Anzahl der Töne pro Intervall, die Eigenschaften des Aufnahme- bzw. Abspielgeräts etc. Angaben genannt, noch wird Auskunft über die Anzahl der Pflanzen gegeben. Über die Umgebungsbedingungen ist zu erfahren, dass das Experiment in einem Wohnhaus stattfand und zusätzliche Wachstumslampen verwendet wurden. Die Usambaraveilchen, die zu Beginn des Experiments „definitiv herabgingen“, erholten sich gut; allerdings begannen sich die Blätter der Geranien am 14. Tag gelb zu verfärben und waren laut Retallack am 21. Tag tot: „However, by the 14th day the leaves of the geraniums in the experimental group began to yellow and by the 21st day were completely dead“ (ebd., S. 18). Die Radieschen schienen sich von der Schallquelle wegzulehnen; sie starben, ebenso wie Mais und Philodendron, in der dritten Woche, während die Kontrollgruppe „fröhlich“ vor sich hin wuchs: „Meanwhile the control group was growing on its merry way“ (ebd.). Retallack schloss aus ihren Beobachtungen, dass die meisten Pflanzen, ausgenommen Usambaraveilchen, die konstanten Töne schlichtweg nicht aushielten (ebd.).

Am College standen Retallack drei Versuchskammern zur Verfügung, die sie für eine Variante des ersten Experiments verwendete. Geranien, Radieschen, Mais und Philodendron wurden mit dem Ton „F“ beschallt: In der ersten Kammer wurde der

Ton 8 Stunden lang durchgehend abgespielt, in der zweiten Kammer intermittierend; die dritte Kammer diente als stille Kontrolle. Während die Pflanzen in der zweiten Kammer augenscheinlich bei bester Gesundheit waren, gingen alle Pflanzen in der ersten Kammer innerhalb eines Zeitraums von 14 Tagen zugrunde. Daneben beobachtete Retallack, dass sich die Pflanzen vor allem in der ersten Kammer von der Schallquelle wegzulehnen schienen, was die Autorin zu der Frage veranlasst, ob die Pflanzen negativ auf Vibrationen reagieren, oder ob der Effekt gar auf Ermüdung, Langeweile oder Missfallen zurückzuführen sei: „Was it vibrations, fatigue, boredom, or simply the fact they didn't like it?“ (ebd., S. 19). Von den Versuchsbedingungen ist bekannt, dass Licht, Temperatur, „Luft“, Boden und Bewässerung streng kontrolliert wurden; wie bei der Kontrolle vorgegangen wurde, bleibt freilich unbekannt.

Unterdessen inspirierte sie ein von zwei ihrer Kolleginnen durchgeführtes Projekt zu der Idee, mit Pflanzen und verschiedenen Radiostationen zu experimentieren. Aus Gründen der Verfügbarkeit der Versuchskammern wurde auf eine Kontrollgruppe verzichtet. Für die Beschallung (täglich 3 Stunden lang) wurde ein Radiosender gewählt, der vorwiegend Rockmusik spielte sowie ein Sender mit „beruhigender Semi-Pop-Musik“ („a semi-pop soothing music type“ – ebd., S. 20). Pro Gruppe verwendete Retallack je neun äußerlich gleichförmige Exemplare von Mais, Kürbis, Petunie, Zinnie und Tagetes. Retallack berichtet von „drastic changes“ am 5. Tag. In der „Semi-Pop-Kammer“ wuchsen die Pflanzen hin zur Schallquelle; sie begannen Blätter und Blüten auszubilden. In der „Rock-Kammer“ wuchs die Hälfte der Pflanzen höher, bildete dafür aber kleinere Blätter aus, die andere Hälfte verkümmerte. Am 9. Tag waren 80 % der Sprosse, Blätter und Blüten in der Semi-Pop-Kammer zur Schallquelle hingewandt; mit einem Winkelmesser eruierte Retallack eine Abweichung der Stämme von der Vertikalen von ca. 10°. Die Pflanzen in der zweiten Kammer nahmen hingegen groteske Formen mit gelben Blättern an und lehnten sich von der Schallquelle weg. Sie benötigten mehr Wasser (jeden zweiten Tag), während die anderen nur einmal wöchentlich gegossen werden mussten. Am 16. Tag muss sich der Autorin eine turbulente Szene geboten haben, denn sie schreibt:

[...] when I entered the lab the spectacle before me in the rock chamber was unbelievable. All but a few marigolds [Tagetes] were in the last stages of dying. My professor, upon viewing them, exclaimed, „Chaos, pure chaos“ (ebd., S. 23; vgl. Abb. 3.31).

Am 18. Tag wurden die Wurzeln der Pflanzen untersucht; die Wurzeln der „Semi-Pop-Pflanzen“ waren so üppig und derart ineinander verschlungen, dass sie nicht gezählt werden konnten; sie maßen zwischen 2–5 inch (ca. 5–13 cm) . Die Pflanzen in der Rock-Kammer hatten nur spärliche Wurzeln von 0,5–1 inch (ca. 0,13–2,5 cm) Länge ausgebildet (ebd., S. 23).

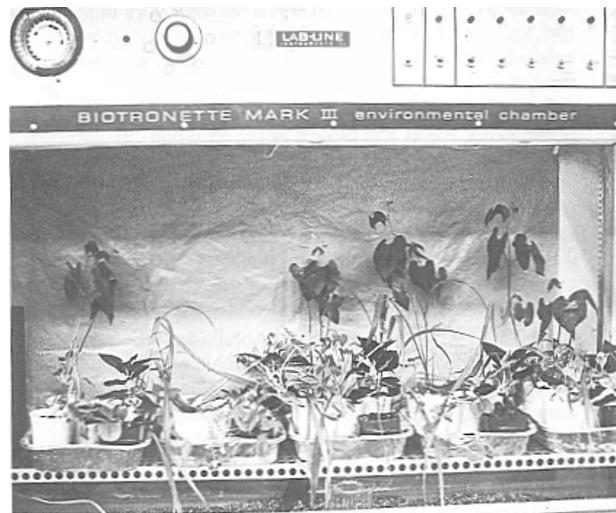


Abb. 3.31: Pflanzen, die 16 Tage lang täglich 3 h lang Rockmusik aus dem Radio ausgesetzt waren (Abb. aus ebd., S. 22).

Der Hinweis ihres Professors, die Pflanzen könnten auf das 60-Hz-Brummen und das Rauschen des Radios reagieren, veranlasste Retallack zur Durchführung eines neuen Experiments. Sie verwendete die gleichen Pflanzen wie im vorangegangenen Experiment. In drei Kammern spielte sie klassische und Rock-Musik ein sowie statisches Rauschen aus dem Radio. Eine Kontrollgruppe war auch hier nicht vorgesehen, Wie Retallack berichtet, gediehen die Pflanzen in der Klassik-Kammer, während jenen in der Rock-Kammer ein ähnliches Schicksal wie im Experiment zuvor widerfuhr. Den dramatischsten Effekt hatte das Rauschsignal – die Pflanzen waren be-

reits nach 8 Tagen eingegangen. Retallack kann sich des Mitleids nicht erwehren: „I feel they just couldn't stand the monotony of that constant hum and the ‚meaninglessness' of the white sound“ (ebd., S. 24).

### **3.6.2 Experimente unter „streng kontrollierten Bedingungen“**

Aufgrund der Anmerkung eines Freundes, die Pflanzen könnten negativ auf die Stimme der Radiomoderatoren reagieren, verwendete man für alle folgenden Experimente nur noch Musik von Band (ebd.). Es wurde nun strenger auf objektive Messungen geachtet; auf die Methoden geht die Autorin im Anhang ihres Buches näher ein (ebd., S. 82–94). Unter anderem gibt sie die Photoperiode mit 8 Stunden an (was eher einer winterlichen Tageslänge entspricht; es ist fraglich, wie sehr eine kurze Lichtperiode dem Wachstum der verwendeten Pflanzen zuträglich ist). Bei der Beleuchtung wurde auf die Verwendung von Glühlampen verzichtet, ebenso auf Ventilatoren, um zusätzliche Geräuschentwicklung zu vermeiden; der Luftaustausch erfolgte über ein Entlüftungssystem. Die Temperatur in den Kammern gibt Retallack mit 22 bis 25,5° C an, die relative Luftfeuchtigkeit in den Kammern fluktuierte abhängig von der Umgebungsluft zwischen 8 bis 19 % im Frühling und zwischen 11 und 21 % im Sommer. Die Beschallung erfolgte über eine Dauer von 4 Stunden während der Photoperiode, jeweils über einen Zeitraum von 21 Tagen.

Pflanzen wurden nach möglichst uniformer Größe ausgesucht, Samen wurden in Styropor-Trinkbechern gezogen und nach 10 Tagen anhand Größe und Wuchsform selektiert. Die Pflanzen wurden auf Aluminiumgeschirren in den Regalen in den Kammern platziert, an deren Enden in zwei Kammern man jeweils einen Lautsprecher anbrachte. Der Schallpegel wurde mit einem Amplitudenmessgerät adjustiert, sodass die Signale „nahezu gleich laut“ waren: „With the doors closed, the sound heard from outside the experimental chambers was barely audible and judged to be nearly equal in volume“ (ebd., S. 86). Der Wasserbedarf wurde bestimmt, indem mit dem Finger die Erde gefühlt wurde. Anzeichen falscher Bewässerung habe es zu keinem Zeitpunkt gegeben, die Menge des verabreichten Wassers wurde allerdings

nicht abgemessen (ebd.). Die verwendete Musik teilte Retallack folgendermaßen in vier Kategorien ein (vgl. ebd., S. 86f):

- Kategorie I: „Orgelbüchlein“ von Johann Sebastian Bach und „Sounds of India“ von Ravi Shankar.
- Kategorie II: Acid Rock von Led Zeppelin, Vanilla Fudge Group und Jimi Hendrix.
- Kategorie III: Orchestermusik ohne Percussion. Retallack nennt diese Kategorie „Strings“, obwohl auch Instrumente wie Klavier, Orgel und Klarinette enthalten sind. Zeitgenössische Klassik zählt ebenfalls zu dieser Kategorie.
- Kategorie IV: Perkussive Musik.

Die Messwerte wurden jeweils am 11. Tag abgenommen, da die Reaktion der Pflanzen laut Retallack zu diesem Zeitpunkt voll ausgeprägt war. Zur Bestimmung der Neigung der Stämme wurden Fotos von den Pflanzen angefertigt und die Abweichung von der Vertikalen auf den Bildern mit einem Winkelmesser erhoben (ebd., S. 87f). Die Trockenmasse von Wurzeln und Blättern wurde offenbar nur im ersten Experiment gemessen (ebd., S. 89: „Total dry root weight of plants in each chamber and total dry stem leaf weight of plants in each chamber only in experiment 1 were taken on the 21st day.“).

Unter den genannten Voraussetzungen führte Retallack vier Versuche durch: Experiment Nr. 1 und 3 verglich die Reaktion der Pflanzen auf Musik von J. S. Bach, Acid Rock-Bands und Stille. Der zweite Versuch untersuchte die Wirkung von Musik der Kategorien II und IV. In einer vierten Versuchsreihe verwendete man Acid Rock, wobei die Pflanzen am 11. Tag um 180° gedreht und weiter beobachtet wurden (ebd., S. 88f). Von zuvor erwähnten Versuchen mit weiteren Varianten von Rock, Country Western und Jazz wird an dieser Stelle nichts erwähnt (vgl. ebd., S. 28f, wo unter anderem zu lesen ist, dass die Pflanzen auf Country Western gar nicht, auf Jazz positiv reagierten, was aufgrund der Verwandtschaft zwischen Jazz und Rockmusik, deren tödliche Wirkung ja zuvor beobachtet wurde, zunächst Verwunderung auslöst). Die Ergebnisse der Neigungswinkel sind in drei Tabellen wiedergegeben, wobei allerdings auf die Angabe der Resultate für Ravi-Shankar-Musik verzichtet wurde, was

angesichts der Feststellung, die besten Resultate würden mit letzterer erzielt, verwundern mag:

Of all the music tried to the present time, the plants "liked" the East Indian music best. [...] The plants in the Bach chamber definitely leaned toward the speaker between 25-35 degrees, but not to the extent as seen in the Indian music chamber (ebd., S. 27).

Als Ergebnis des ersten Experiments hält Retallack fest, dass 40 Pflanzen ihre Stämme bei Bach und Shankar hin zum Lautsprecher neigten (wobei aufgrund der Angaben davon ausgegangen werden muss, dass Shankar-Musik in Experiment 1 gar nicht verwendet wurde); 3 zeigten in die entgegengesetzte Richtung, während bei 2 Pflanzen gar keine Abweichung zu erkennen war. Tab. 3.15 zeigt, dass in Experiment 1 bei Rockmusik nur 5 Pflanzen zur Schallquelle tendierten, 47 neigten ihre Stämme in die entgegengesetzte Richtung; in Experiment 3 waren es 35 Pflanzen, die sich dem „Orgelbüchlein“ zu- und 16, die sich abwandten; 22 Pflanzen drehten sich in der „Rock“-Kammer vom Lautsprecher weg, 14 Pflanzen zeigten in die entgegengesetzte Richtung. Bedauerlicherweise verabsäumt Retallack zu erwähnen, dass hier offenbar Gruppen mit unterschiedlicher Anzahl an Pflanzen verglichen wurden: So ergibt die Summe der Pflanzen gemäß Tab. 3.15 in der Kontrollgruppe 59, während in der „Bach“-Gruppe offenbar nur 45 Pflanzen und in der „Rock“-Gruppe 55 Pflanzen gezählt wurden. Ähnliches gilt für die Experimente 2 und 4 (Tab. 3.16 und 3.17). Des Weiteren steht das Ergebnis nicht mit dem von Retallack zuvor aufgezeichneten Schema im Einklang, in dem die Pflanzen in der Mitte der Kammer durchwegs gerade erscheinen und an der dem Lautsprecher gegenüberliegenden Wand einen „Bounce“-Effekt zeigen (Abb. 3.32 und 3.33). Allerdings ist die schematische Darstellung auch nicht in den Fotos wiederzuerkennen (Abb. 3.36, 3.37 und 3.38).

Experiment 2 bewirkte, gemessen am Neigungswinkel, eine negative Reaktion der Pflanzen auf perkussive Musik (Tab. 3.16). In Experiment 4 blieben interessanterweise in der ersten Phase mehr Pflanzen (12) in aufrechter Position als im ersten Experiment bei Acid Rock (3) (Tab. 3.17). Da aber weder Angaben zu der Verteilung

dieser Werte auf die verwendeten Spezies genannt, noch Details über die statistische Methode bekannt gegeben werden und es sich überdies um unterschiedliche Stichprobengrößen handelt – nicht zu sprechen von zahlreichen weiteren nicht angegebenen Faktoren – lässt sich daraus ebensowenig eine Aussage ableiten wie aus allen anderen Versuchen Retallacks.

Environments	Count of Stem Slants									Gesamtanzahl Pflanzen
	Degree ranges toward sound source				Within 1° of vertical	Degree ranges away from sound source				
	45-60	30-45	15-30	1-15		1-15	15-30	30-45	45-60	
Control (silent)	0	3	0	20	9	24	0	3	0	(59)
Bach	7	4	13	16	2	0	3	0	0	(45)
Rock	0	0	0	5	3	12	5	24	6	(55)

Tab. 3.15: Vergleich der Pflanzenreaktion durch Grad der Stammneigung in Experiment 1 (nach Retallack 1973, S. 88).

Environments	Count of Stem Slants									Gesamtanzahl Pflanzen
	Degree ranges toward sound source				Within 1° of vertical	Degree ranges away from sound source				
	45-60	30-45	15-30	1-15		0±1°	1-15	15-30	30-45	
Control (silent)	0	0	4	15	22	20	3	0	0	(64)
Strings	0	6	7	26	4	6	4	1	0	(54)
Percussion	0	1	1	10	11	15	15	2	0	(55)

Tab. 3.16: Vergleich der Pflanzenreaktion durch den Grad der Stammneigung in Experiment 2 (nach ebd., S. 90).

Manipulation of plants by turning them 180°	Count of Stem Slants									Gesamtanzahl Pflanzen
	Degree ranges toward sound source				Within 1° of vertical	Degree ranges away from sound source				
	45-60	30-45	15-30	1-15		0±1°	1-15	15-30	30-45	
After 11 days in original orientation	0	2	0	8	12	13	8	7	2	(52)
After 10 additional days in reversed orientation	2	3	1	2	6	8	2	3	3	(30)

Tab. 3.17: Vergleich der Pflanzenreaktion auf Acid Rock durch den Grad der Stammneigung vor und nach der Drehung der Pflanzen um 180° (nach ebd., S. 91).

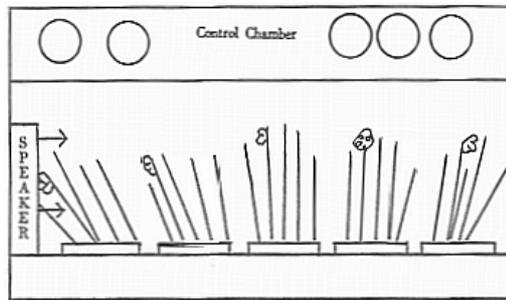


Abb. 3.32: Schematische Darstellung der positiven Reaktion auf Musik von Ravi Shankar oder J. S. Bach. Die Pflanzen wachsen gleichmäßig, neigen sich zur Schallquelle und zeigen an der dem Lautsprecher gegenüberliegenden Wand einen „Bounce“-Effekt (Abb. aus ebd., S. 28).

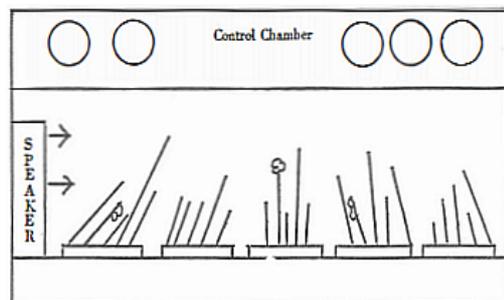


Abb. 3.33: Schematische Darstellung der negativen Reaktion auf Acid Rock. Wuchs und Blüten sind unregelmäßig, die Pflanzen wenden sich von der Schallquelle ab (Abb. aus ebd., S. 29).

### 3.6.3 Experimente für „Denver Post“ und „C.B.S. Television News“

Im Frühling des Jahres 1970 wurde die lokale Tageszeitung „Denver Post“ auf die Forschungen im Temple Buell College aufmerksam; Retallack erklärte sich bereit, ein eigenes Experiment durchzuführen. Neben Acid Rock verwendete sie dazu (von der „Denver Post“ als „Kakophonie“ bezeichnete) Musik von Schönberg, Webern und Farberman, um zu testen, ob Dissonanz die Ursache für die negative Reaktion der Pflanzen sein könnte. Das Experiment dauerte drei Wochen. Bereits nach 10 Tagen, so ist im „Empire Magazine“ der „Denver Post“ zu lesen, zeigte sich, dass sich die Pflanzen in der Acid Rock-Gruppe von der Schallquelle wegneigten und langsamer wuchsen; am Ende des Experiments waren sie dem Tod nahe. Pflanzen, die zur Demonstration mit ruhiger, andächtiger Musik beschallt wurden, zeigten hingegen besseres Wachstum und kräftigere Wurzeln (Curtis 1970). Zur Illustration druckte das „Empire Magazine“ mehr oder weniger aussagekräftige Bilder der Pflanzen ab (Abb. 3.34 und 3.35).

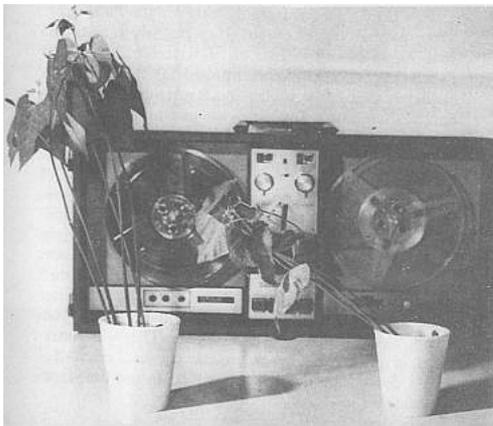


Abb. 3.34: Bohnenpflanzen unter Einwirkung von atonaler klassischer Musik (links) bzw. Acid Rock (rechts) im Zuge des „Denver Post“-Experiments (Abb. aus ebd., S. 31).

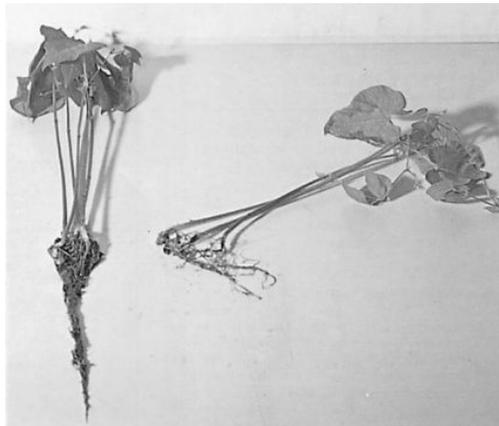


Abb. 3.35: Vergleich der Wurzeln zweier Versuchspflanzen. Dieses Bild wurde auch im „Empire Magazin“ der „Denver Post“ abgedruckt (Abb. aus Biedermann 1987, S. 111).

Eine Woche nach Publikation des Artikels, für welchen Curtis 1971 übrigens den „National Federation of Press Women's Award“ erhielt, meldete sich C.B.S. Television News aus Los Angeles; man wolle einen Versuch mit einer Zeitraffer-Kamera begleiten (Abb. 3.36 bis 3.38). Retallack willigte in ein neuerliches Experiment ein, für welches sie Acid Rock und Musik von Ravi Shankar wählte. Laut Retallack reagierten die Pflanzen noch deutlicher als sonst, als ob sie ahnten, dass sie gefilmt werden (Retallack 1973, S. 32f).



Abb. 3.36: Die Wirkung von Ravi Shankar auf das Wachstum von Pflanzen, 5 Tage nach Beginn (links) und am Ende (rechts) des Experiments (Abb. aus Retallack 1973, S. 35).

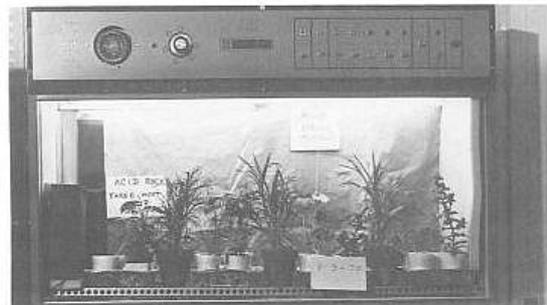


Abb. 3.37: Die Wirkung von Acid Rock auf das Wachstum von Pflanzen, 5 Tage nach Beginn (links) und am Ende (rechts) des Experiments. Interessant die verschiedenen Aufnahmewinkel (Abb. aus ebd., S. 36).



Abb. 3.38: Kontrollgruppe, 5 Tage nach Beginn (links) und am Ende (rechts) des Experiments (Abb. aus ebd., S. 34).

### 3.6.4 Interpretationen der Ergebnisse

Obgleich Retallack selbst einräumt, dass die Experimente nur begrenzte Aussagekraft haben (ebd., S. 92), geht sie davon aus, dass die unterschiedliche Wirkung von Musik auf Pflanzen ohne Zweifel („beyond a doubt“) bewiesen sei (ebd., S. 44f). Aus ihren Beobachtungen wagt Retallack freilich keine direkten Schlüsse zu ziehen:

We cannot conclude that plants bend away from composers' and performers' intent to be primitive, simple or disintegrating as possibly in rock music; or toward mathematically precise music as in Bach and Shankar. It may have been the difference in energy inputs provided by these contrasting categories of musical sound sources that was the prime causative factor. But this cannot be unambiguously concluded (ebd., S. 93).

An anderer Stelle hat die Autorin aber keine Bedenken, ihre Interpretationen wiederzugeben. Aus ihrer Sicht sei es nicht abwegig, dass Pflanzen trotz fehlender Nervenstrukturen ähnlich auf Musik reagieren wie Menschen. Acid Rock, der in seinen Liedern „geheime Botschaften“ (Aufforderungen zum Drogenkonsum, körperlicher Erotik und zum „Drop out“) an Teenager enthalte, könnte daher auch eine schädliche Wirkung auf Menschen haben (ebd., S. 41-43):

[S]everal of my classmates, definitely rock buffs, upon seeing the experiments and hearing the acid rock in the chambers exclaimed, „Gee, if that kind of music is doing *that* to the plants, I wonder what it's doing to me?“ My reply to them was, and is always the same: „I hoped you would ask that question“ (ebd., S. 43).

Retallack geht bei ihren Überlegungen von einer den Pflanzen eigenen natürlichen Fähigkeit zur außersinnlichen Wahrnehmung (in der Esoterik als ESP oder „Extrasensory Perception“ bekannt) aus, basierend auf Cleve Backsters Theorie einer „Primary perception“ (Backster 2003), welche die Pflanzen unter anderem zur Wahrnehmung von Gedanken und Gefühlen anderer Lebewesen befähigen soll. Backster stütze seine Behauptungen auf seine in den 1960er Jahren mit einem so genannten Lügendetektor durchgeführten Untersuchungen an Philodendron-Pflanzen. Möglicherweise sprechen die Pflanzen, ähnlich wie bei Backsters Experimenten, auf ihre persönliche Abneigung atonaler und Rockmusik an, so Retallacks Überlegung, die

sie postwendend relativiert, da die Reaktion der Pflanzen in der experimentellen Überprüfung mit ihrer persönlichen Lieblingsmusik von Claude Debussy nur sehr dürftig ansprachen (ebd., S. 49).

Als bald ist die Rede von Kirlian-Fotografie, sowie von einer Art „Bio-Energie“ aus vergangenen Zeiten (ebd., S. 51f), bevor sich Retallack Gedanken über Mythologisches und „hidden meanings“ in der Musik von Sumerern, Chinesen, Ägyptern, Griechen, Christen und Indianern macht (ebd., S. 52–56) und nach einem Exkurs in die Astrologie (ebd., S. 56f) und einer zusammenhanglosen Erwähnung von Chladni-Figuren (ebd., S. 62) endlich bei der Spiritualität klassischer indischer Musik landet. Retallack kommt schließlich auf ihre Frage zurück, worin sich die außerordentlich positive Reaktion der Pflanzen auf indische Musik, Kompositionen von J. S. Bach und Jazz begründet:

At first I thought it might be the improvisational quality of each that was the common factor – the East Indian and jazz being improvised by the performer on a given melody, and the Bach being the composer's improvisation on given hymn tunes. It was fun to think that maybe the plants appreciated the effort of true creativity (ebd., S. 65).

Es könnte also der improvisatorische Charakter dieser Musik für die Effekte verantwortlich sein, so Retallack, aber vor allem sei diesen Stücken die religiöse Motivation gemeinsam, aus der sie entstanden seien, woraus die Autorin prompt ihre eigene Theorie, eine „theory of intent“ ableitet (ebd., S. 66). Zur Überprüfung ihrer Theorie kündigt Retallack ein neues Experiment an: Musik von Richard Wagner solle in einer Versuchskammer vorwärts, und in einer anderen Kammer rückwärts gespielt werden. Damit blieben alle Variablen gleich – Frequenz- und Intensitätsverteilung, sogar die Harmonien – nur die Idee bzw. die „Kreativität des thematischen Materials“ verändere sich (ebd., S. 67). Bedauerlicherweise ist nicht bekannt, ob dieses Experiment jemals durchgeführt wurde. Retallacks Ausführungen zur Religiosität Wagners versprechen sicherlich eine spannende Lektüre.

### **3.6.5 Wissenschaftlichkeit der Experimente**

Streng genommen handelt es sich bei Retallacks Buch „The Sound of Music and Plants“ (1973) nicht um eine wissenschaftliche Publikation; zwar schreibt die Autorin von „wissenschaftlichen Experimenten“, tatsächlich können diese aber kaum als solche bezeichnet werden. Wie bereits Chalker-Scott (2008) festhält, verabsäumt es die Autorin allem voran, eine Hypothese vorzustellen; statt dessen wartet sie mit der Behauptung auf, die Wirkung von Musik auf Pflanzen sei ohne Zweifel bewiesen – wie Chalker-Scott richtig anmerkt, kann aus wissenschaftlicher Sicht niemals von Beweisen gesprochen werden (vgl. Kap. 2.2.2); Hypothesen werden, so sie nicht verworfen oder abgeändert werden, allenfalls durch Versuchsergebnisse gestützt. Des Weiteren dürfte die Zahl der Stichproben nicht für eine statistische Analyse ausreichen; offenbar wurde auch keine solche durchgeführt, da lediglich Durchschnittswerte angegeben werden. Der Versuchsaufbau ist schlecht dokumentiert, und es ist davon auszugehen, dass die Umweltbedingungen einer unzureichenden Kontrolle unterlagen; nicht immer wurden Kontrollgruppen verwendet. Die Autorin neigt dazu, Pflanzen zu vermenschlichen und bringt unentwegt persönliche Gefühle und Gedanken ein. Ferner werden Autoritäten aus Physik oder Theologie zitiert, nicht aber aus biologischen Fächern; der Großteil der Referenzen stammt aus nicht-wissenschaftlichen Quellen (ebd., S. 5–9). Chalker-Scotts Kritikpunkte lassen sich durch weitere ergänzen, so ergeht sich Retallack in oft scheinbar willkürlich ausgewählten Versatzstücken aus Mythologie, Astrologie, Esoterik und Musikwissenschaft, wobei die Zusammenhänge oft nicht nachvollziehbar sind. Sie selbst scheint sich auch gar nicht als Wissenschaftlerin zu sehen, sondern sie grenzt sich bewusst vom wissenschaftlichen Kollektiv ab, das ihrer Meinung nach an „mentaler Kurzsichtigkeit“ und mangelndem Hausverstand leide, wie an ihrer Erwiderung auf wissenschaftliche Kritik offenbar wird:

My answer to them is the fact that those individuals who are so quick to defend their erected safeguards, intellectual defenses, mental myopia, and cherished philosophies, are constantly ridiculing new information instead of using some degree of common sense and doing a measure of experimenting on their own (ebd., S. 44).

Diese offensive Reaktion auf Kritik von wissenschaftlicher Seite kommt nicht von ungefähr, wie an anderer Stelle deutlich wird, an der Retallack ihrem Ärger folgendermaßen Ausdruck verleiht:

I become extremely upset at times [...] because we have to prove to our research scientist friends beyond a shadow of a doubt that some physical cause is not responsible for the plant reactions before they will ever consider that it could be something of a parapsychological nature. [...] (ebd., S. 69).

Zugleich strebe sie aber einen Brückenschlag zur wissenschaftlichen Gemeinde an: „My recent concern has been to help build a bridge to the scientific community. [...] Yes, hopefully we shall build a small bridge over to the scientific community – so they can walk back to our side on it“ (ebd.) – von welcher Gemeinschaft hier die Rede ist, zu welcher sie sich selbst zu zählen scheint, wenn sie von „wir“ schreibt, geht aus den Ausführungen allerdings nicht klar hervor.

Die Autorin will jedenfalls ein Auseinanderdriften und in der Folge eine gewisse Degeneration von Religion, Kunst und Wissenschaft beobachtet haben und setzt sich in anti-aufklärerischer Manie(r) für eine neue Verbindung dieser drei Domänen ein: „A new Religion-Art-Science is needed which can find what has been lost.“ Musik als universaler Sprache komme hierbei eine zentrale Rolle zu, denn: „The highest mission of music is to serve as a bridge between God and man“ (ebd., S. 75).

### **3.7 „Positive“ und „negative“ Musik**

Anknüpfend an Retallacks Experimente sei an dieser Stelle ein kurioses Beispiel jüngeren Datums für die Erforschung der Musikwirkung auf Pflanzen auf Basis des Konzepts einer „positiven“ vs. „negativen“ Musik vorgestellt: Ekici et al. (2007) untersuchten die die →Mitose-Aktivität in Zwiebelwurzeln, denen man Musik vorgespielt

hatte. Dabei wurde auf bestimmte Charakteristiken der Stücke Wert gelegt, diese sollten bestimmte Intervalle und rhythmische Eigenschaften beinhalten:

The aim of the present study is to investigate if the effects of strong, complex, rhythmic accent classical music with sekunda and kvarta [sic] intervals, frequently reprized and opus with rhythmic dynamically changing lyrics which contain more extensive kvinta septa oktava intervals on mitotic index and root growth were investigated in onion (*Allium cepa*) root tip cells during germination (ebd.)

Worauf sich die Vorgaben für diese spezifischen Intervallstrukturen (Sekunde, Quarte, Quinte, Septime, Oktave) begründen und ob sich diese auf den melodischen oder harmonischen Verlauf beziehen sollen, geht aus dem Artikel nicht hervor. Wie es überhaupt möglich sein soll, das Vorkommen von Terzen und Sexten in derartigen Signalen auszuschließen, ist rätselhaft; alleine in der Naturtonreihe sind Terzen früh und häufig zu finden, während Sekunden und Septimen erst spät und weniger kräftig in der Reihe auftreten (Hindemith 1938, S. 88); daneben reicht ein Blick auf die europäische Musikgeschichte, um festzustellen, dass man bei diesem Experiment kaum ohne Terzen und Sexten ausgekommen sein dürfte.

Exemplare von *Allium cepa* (Zwiebel) wurden in dunklen Behältern gezogen. Einer Gruppe wurde komplexe und rhythmische Musik von Wagner und Mussorgsky dargeboten, die vorwiegend Sekund- und Quart-Intervalle enthält. Für Gruppe 2 wählte man Musik von Mozart, Chopin, Tschaikowsky und Schubert; diese Stücke sollten mehr Quint-, Sept- und Oktavintervalle beinhalten sowie rhythmisch veränderliche (Gesangs-)Melodien („rhythmic dynamically changing lyrics“). Die Behandlung wurde täglich 6 Stunden lang durchgeführt und dauerte insgesamt 10 Tage. Danach wurde Wurzellänge Mitose-Index (Anteil in →Metaphase befindlicher Zellen an der Gesamtzahl an Zellen) gemessen.

Musik der Gruppe 2 wirkte sich besonders günstig auf das Wurzelwachstum aus, wie ein Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigte. Dabei wirkte sich offenbar der Effekt von Gesangsstücken am stärksten aus: „But onions those exposed to lyrics were shown better growth [...]“ (ebd.). Auch die Mitose dürfte positiv beeinflusst

worden sein: „All the samples of music water [sic] have positive effects on mitosis“ (ebd.).

Gruppe	Wurzellänge	Mitose-Index
1	9,54 ± 1,9	7,8
2	10,01 ± 0,5	9,6
Control	5,77 ± 2,3	3,2

Tab. 3.18: Einfluss von Musik auf die Wurzellänge und den Mitose-Index. Für die Länge ist keine Einheit angegeben (nach Ekici et al. 2007).

Die Autoren schließen aus den Ergebnissen, dass „positive“ Musik das Wachstum von Pflanzen beschleunigen könne und diskutieren anschließend die Wirkung von „positiver“ und „negativer“ Musik auf Organismen:

In recently [sic] years music separated into two groups as positive and negative music. Relaxing, calming and mentally invigorating music is called as positive music. [...] Negative music is used to create emotions of suspense, terror, anxiety and fear. It is the music that accompanies crime programs and horror films. This kind of music is created by a Viennese classical composer named Arnold Schönberg early in the 20th century [...] (ebd.).

Und weiter heißt es: „Schonberg [sic] is considered to be the father of 12 tone music which is called negative music.“ Die Behauptung, Schönberg sei der Urheber „negativer“ Musik entnehmen Ekici et al. einem im Internet veröffentlichten Artikel über die Experimente Retallacks und Carlsons (vgl. Kap. 3.6 und 3.8), der u.a. auch von der angeblich intelligenzfördernden Wirkung von Mozart-Musik handelt (Wicke, 2002).

Die Studie habe gezeigt, dass positive Musik das Wachstum von Pflanzen beschleunige, so die Schlussfolgerung Ekicis et al.; die Anwendung dieses Prinzips in der Landwirtschaft könne zur Eindämmung des Welthungers beitragen. Dieser Gedanke ist zweifellos Dan Carlsons Konzept des „Sonic Bloom“ entlehnt, der im Folgenden behandelt wird.

### 3.8 Gegen den Welthunger: „Sonic Bloom“

Die patentierte Methode „Sonic Bloom“, erfunden von Dan Carlson (1991), beinhaltet die Behandlung von Pflanzen mit musikalischen Klängen und einer flüssigen Düngermischung, die nach der Beschallung auf die Blätter aufgetragen wird. Auf der Internetseite, welche entsprechende Produkte vertreibt, preist Carlson – selbst erklärter „nut tree expert“ (<http://originalsonicbloom.com>) – die Anwendung als „Lösung gegen den Welthunger“ an (Abb. 3.39.) Neben Transkripten zahlreicher Artikel aus nichtwissenschaftlichen Magazinen (vgl. etwa Spillane 1991), welche über erfolgreiche Anwendungen des Produkts informieren, finden sich auf der Seite mannigfaltiger Zeugendarstellungen, welche die angebliche Wirkung bestätigen sollen nebst ei-

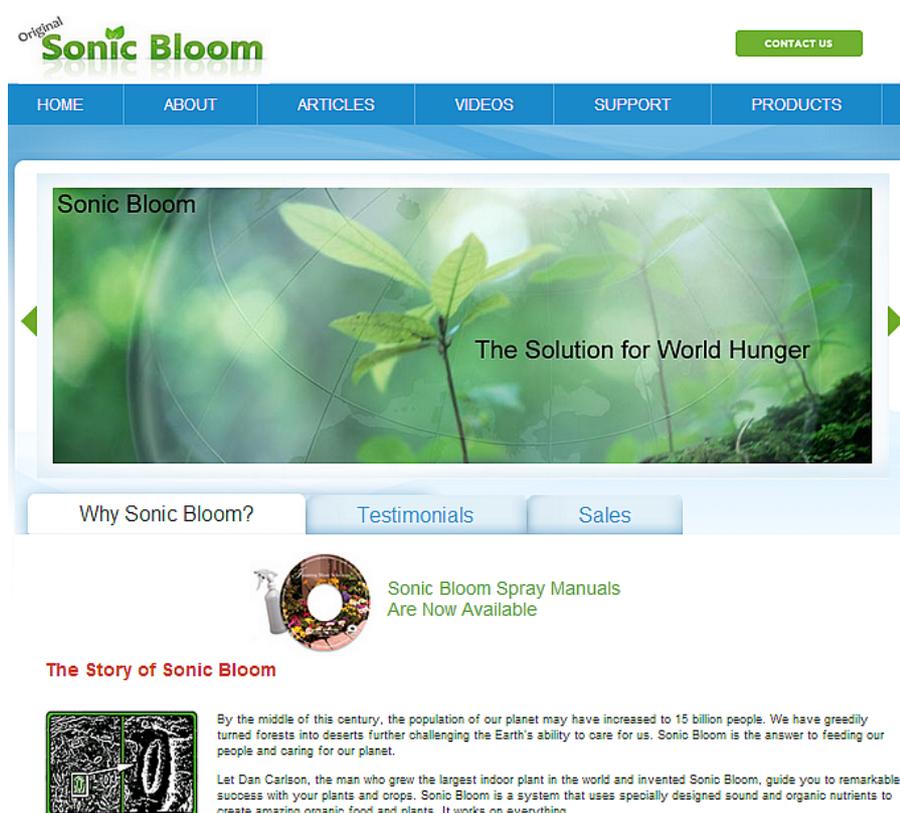


Abb. 3.39: Titelseite der „Sonic Bloom“-Webseite (Abb. aus <http://www.originalsonicbloom.com>).

ner Empfehlung an die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften, Carlson für seine Erfindung den Nobelpreis zu verleihen (Abb. 3.40).

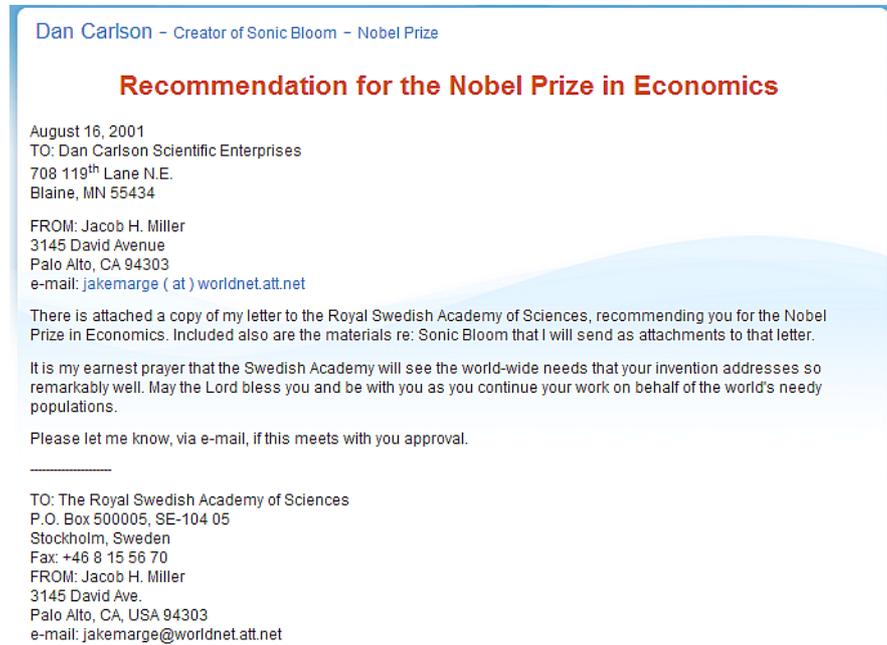


Abb. 3.40: Empfehlung an die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften (Abb. aus ebd.).

Nach der Darstellung Tompkins (1998) kam Carlson, der in den 1960er Jahren nach eigenem Studienplan am Experimental College der Universität von Minnesota studierte, auf den Gedanken, dass Pflanzen Nährstoffe nicht nur über die Wurzeln, sondern auch über die Spaltöffnungen an den Blättern aufnehmen könnten. Um die Pflanzen zur Öffnung der →Stomata zu bewegen, griff er eine Idee eines pensionierten Zahnarztes aus den USA, George Milstein, auf. Dieser hatte in den 1970ern Langspielplatten mit dem Titel „Music to Grow Plants“ vertrieben (Abb. 3.41) und damit offenbar ein gewisses Medienecho hervorgerufen (vgl. Battelle 1970; Klemesrud; 1970; Brown 1970). Der Musik auf den Platten war ein Sinuston mit 5 kHz unterlegt, der die Öffnung der Stomata bewirken sollte.

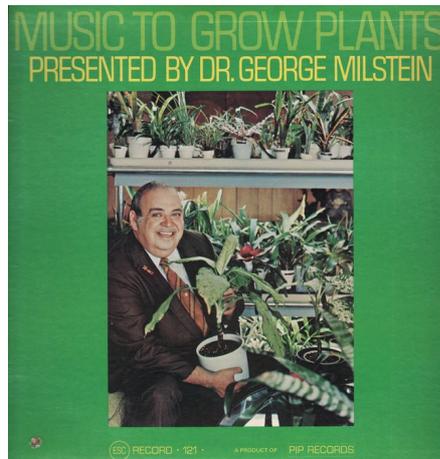


Abb. 3.41: „Music to grow Plants“ - LP-Cover (Corelli-Jacobs 1970; Abb. aus <http://www.rootsimple.com/2010/03/music-to-grow-plants>)

Carlson beschloss, diese Idee weiterzuentwickeln und entdeckte bei seinen Experimenten mit Insektengeräuschen zufällig, bzw. durch eine Anwendung spiritueller Einsicht, jene Frequenzen und Harmonien, die in Vogelgesängen vorherrschen:

[...] he managed through a stroke of spiritual insight to hit upon a combination of frequencies and harmonics exactly accordant with the predawn bird concerts that continue past sun-up into morning (Tompkins, S. 136).

Ein Musiklehrer namens Holtz sollte Carlson bei der Zusammenstellung einer vermarktbareren Kasette helfen, die populäre Musik kombiniert mit nichtmusikalischen Geräuschen enthielt. Das erste Ergebnis der offenbar fruchtbaren Zusammenarbeit war eine Kasette mit indischen Ragas; weil diese bei amerikanischen Gärtnern und Farmern, „especially women“, auf wenig Gegenliebe stießen, stieg man alsbald auf Violinkonzerte von Vivaldi und Bach um. Holtz will schließlich herausgefunden haben, dass die Resonanzfrequenz von →Mitochondrien bei 25 Hz liegt; Weinbergers Experimente mit Frequenzen von 5.000 Hz könnten also über die Anregung von Mitochondrien gewirkt haben. Wie Holtz auf diese Angaben kommt, wird bedauerlicherweise nicht angeführt. Carlson hingegen glaubt an bestimmte kosmische Kräfte, die für den Erfolg der Methode verantwortlich sind und früher oder

später auch dazu führen werden, dass Kühe mehr Milch geben oder zu mehr Harmonie im zwischenmenschlichen Verhalten führen. Schall müsse für Pflanzen von ähnlicher Bedeutung sein wie Photosynthese, so seine Beobachtung, da sie bei ihrem Wachstum weg von der Sonne in Richtung der Lautsprecher tendierten. Nach Carlsons Überzeugung sind Pflanzen dazu in der Lage, Wünsche und Absichten der Menschen zu registrieren und danach zu handeln – aus Eigeninteresse, denn die Pflanze erkenne, dass sie durch den Erwerb der menschlichen Gunst ihr eigenes Überleben sichern könne. Tatsächlich habe er Blumen durch Gedankenkraft dazu bewegen können, in einer anderen Farbe zu blühen.

Wie erwähnt sind es vor allem Zeugenberichte, welche die Wirkung der „Sonic Bloom“-Methode bekunden, etwa jener eines Orangenbauers in Florida, der nicht nur größere, sondern auch schmackhaftere Orangen, reich an Vitamin C, erntete (Tompkins 1998, S. 131). Ein Milchbauer in Pennsylvania berichtet von Kühen, welche „Sonic Bloom“-behandelte Luzerne bevorzugten – angeblich aufgrund des erhöhten Proteingehalts, der angeblich in den Pflanzen gemessen wurde (ebd., S. 131f). Ein Amateur-Farmer schildert Erfolge mit Tomaten und Erdbeeren, die dank der Behandlung auch auf dem unfruchtbaren Boden Mississippis gedeihen (ebd., S. 143–146).

Eine wissenschaftliche Beurteilung dieser Erfolge steht freilich aus; interessanterweise finden sich in der Literatur keine wissenschaftlichen Untersuchungen über den „Sonic Bloom“, ein Umstand, welcher Carlson, der übrigens auch eine Methode zur Unkrautvernichtung patentieren ließ (Carlson 1991), angesichts der „Grausamkeit“ mancher Forscher nicht zu störend scheint:

Scientists are rushing headlong into tampering with plants, monstrously slicing and splicing genes with as much surgical fervor as the ghouls who cut and maim animals in laboratories. [...] We should *tender* plants and animals, not distort God-given gifts still unrevealed in his creatures, but coax these gifts and learn to live cooperatively with all God's creatures (Tompkins 1998, S. 143).

Wenngleich Carlsons Verfahren wissenschaftlich nicht erforscht ist, existieren einige Studien, welche auf einem ähnlichen Verfahren basieren und zusätzlich den

Aspekt eines pflanzeigenen „Meridian-Systems“, wie es in der Akupunktur zur Anwendung kommt, einbringen. Diese Studien, die in einem peer-reviewten Journal veröffentlicht wurden, sind im Folgenden zusammengefasst.

### 3.9 Meridian-System und „Agri-Wave-Technology“

Nachdem Hou et al. (1994) angebliche Hinweise auf die Existenz eines Meridian-Systems<sup>2</sup> in Pflanzen gefunden hatten, entwickelten Hou & Destito (1995) ein eigenes Verfahren zur Pflanzenbehandlung, das sich an Carlsons Technik orientiert. Diese später als „Agri-Wave-Technology“ bezeichnete Behandlungsvariante basiert laut Hou & Mooneyham (1999a, 1999b) auf der Beobachtung, dass Philodendron-Blätter selbst Schallfrequenzen zwischen 50 und 150 Hz produzieren; unter Stress sowie bei Punktierung des Blattstiels nehmen diese Emissionen an Stärke zu, während sie bei der Applikation von externen Schallwellen zurückgehen (Hou et al. 1994). Bei der „Agri-Wave-Technology“ handle es sich nun um einen Schallwellengenerator, der sieben Frequenzen zwischen 20 und 2.000 Hz erzeugen könne und speziell für die Behandlung von Pflanzen entwickelt wurde. Neben der Erzeugung von Schallwellen („physical fertilizer“) beinhaltet das Verfahren wie bei Carlson das Aufbringen einer Düngermischung („chemical fertilizer“) auf die Blätter. Diese neuartige landwirtschaftliche Technik („new agricultural technique“) werde bereits erfolgreich eingesetzt; man habe über 2 kg schwere Tomaten, Pilze mit 60 cm Durchmesser und rote Bete mit einem Gewicht von 13 kg geerntet, so Hou & Mooneyham (1999a, S. 2), die mit ihren Experimenten nun auch den wissenschaftlichen Nachweis für diese außergewöhnlichen Erfolge bringen möchten.

---

2 Das Konzept des Meridian-Systems dient als Basis für die Anwendung der Akupunktur in der traditionellen chinesischen Medizin. Die Existenz von Energiebahnen in Form so genannter Meridiane im menschlichen Körper bzw. die Wirkung von Akupunktur ist Gegenstand wissenschaftlicher Kontroverse; eine eindeutige Wirkung ist wissenschaftlich nicht nachgewiesen (vgl. dazu etwa die Metaanalysen bzw. Reviews von Richardson & Vincent 1986, Ernst 1998, Riet et al. 1990, Ezzo et al. 2000 und Linde et al. 2010).

Dazu wurden Tomatenfelder in Kalifornien mit Schall und Dünger behandelt: Zweimal wöchentlich wurden die Pflanzen je eine halbe Stunde lang niedrigen Schallfrequenzen ausgesetzt, wobei die genaue Frequenz abhängig von Lufttemperatur und dem Wassergehalt der Pflanzen gewählt wurde – hohe Frequenzen bei hohen Temperaturen, tiefe bei hohem Wassergehalt. Auf welche Theorie sich diese Vorgehensweise stützt, wird nicht erläutert. Der Dünger, bestehend aus den Spurenelementen Stickstoff, Phosphor, Kalium, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink und Bor, wurde alle zwei Wochen auf die Blätter gesprüht. Insgesamt wurde die Beschallung 27-mal und die Düngung 7-mal durchgeführt. Während der Wachstumsperiode wurden Wachstum, Fruchtbildung, Reife und Ertrag gemessen. Zufällig ausgewählte Tomatenfrüchte wurden in einem Labor auf den Gehalt von Wasser, Zucker, Vitaminen und Mineralien untersucht (ebd., S. 3).

Die Pflanzen der Versuchsgruppe trugen im Schnitt 47 % mehr Früchte als die Pflanzen in der Kontrollgruppe (verglichen wurden je 40 zufällig ausgewählte Tomatenpflanzen der Experimental- und Kontrollfelder). Anhand 20 zufällig ausgewählter Pflanzen der Versuchsgruppe wurde festgestellt, dass die durchschnittliche Zahl von Früchten pro Pflanze mit der Entfernung zum Lautsprecher abnahm. Am effektivsten wirkte die Beschallung in einem Umkreis von 150 Metern. Aus einer zufällig ausgewählten Reihe wurden vier Pflanzen ausgewählt und das Gewicht von unreifen, reifen und verdorbenen Früchten sowie der Tomatenranken bestimmt, wobei man deutliche Unterschiede zur Kontrollgruppe feststellte: Das Gewicht der reifen Früchte war um 30,73 %, jenes der Zweige und Blätter um 59,53 % höher als in der Kontrollgruppe, in welcher zudem doppelt so viele verdorbene Früchte gezählt wurden. Unreife Tomaten der behandelten Gruppe wogen im Schnitt 27,44 % weniger als in der Kontrollgruppe, woraus die Autoren ableiten, dass die Behandlung die Reifung der Früchte beschleunigte. Der Ernteertrag der „Agri-Wave“-Tomaten stieg um 13,89 % (ebd., S 4-5). Zusätzlich wurden von jedem Feld vier reife Tomaten ausgewählt und 27 Tage lang an einem schattigen Ort im Freien aufbewahrt; während dieser Zeit wurden täglich Fotografien angefertigt und die Haltbarkeit der Früchte in einem Tagebuch dokumentiert, welches auszugsweise zitiert wird:

September 4: 3 out of 4 tomatoes from the control group began to turn soft, the skin wrinkled and on one of them a black spot appeared. The four tomatoes from the treated group were still as hard and fresh as the day they were picked.

September 16: All tomatoes from the control group became soft, the skin folded and dried with black spots. Some spots became larger and split open. The four tomatoes from the treated group started to turn somewhat soft, and two of them wrinkled slightly. Generally, they were still fresh.

September 23: The four tomatoes from the control group were all severely dry and wrinkled and starting to decay. One of the black spots was as large as a coin. The four in the treated group turned slightly soft and wrinkled, but were still edible.

September 26: Visitors came to inspect the results. Two tomatoes from each group were selected and inspected internally. The two in the control group were rotten and inedible, while the treated two were still fresh inside (ebd., S. 6).

Für die Autoren ein eindeutiger Beweis, dass Tomaten, die mit „Agri-Wave“ behandelt werden, länger lagerbar sind. Möglicherweise liege dies am erhöhten Zuckergehalt, der in den schallbehandelten Tomaten festgestellt wurde; Vitamin A und Niacin stiegen um beachtliche 55,39 bzw. 92,31 %. Der Wassergehalt war reduziert, ebenso Vitamin C, der Gehalt an Vitamin B1, B2 und D blieb unverändert. Von 33 untersuchten Mineralien stieg die Konzentration von 26, die restlichen nahmen in der Konzentration ab (ebd., S. 6).

In einer zweiten Studie untersuchten Hou & Mooneyham (1999b) den Effekt der „Agri-Wave-Technologie“ auf das Wachstum weiterer Pflanzenarten. Spinat wurde gemeinsam mit 16 anderen Spezies auf einem kleinen Feld in Washington sowie auf einem größeren Feld in Kalifornien angepflanzt und mit Schall und Dünger behandelt. Die Kontrollgruppen wuchsen ohne Behandlung. Zusätzlich wurde Kopfsalat in einem Treibhaus gezogen sowie auf einem größeren Feld in Kalifornien. Hierbei wurden vier Gruppen gebildet:

(A): Nur Schallbehandlung

(C): Schall + Dünger

(B): Nur Dünger

(D): weder Schall noch Dünger

(ebd., S. 132f). Länge und Breite der Blätter und Wurzeln sowie Frischmasse des behandelten Spinats verzeichneten deutliche Zuwächse gegenüber der Kontrollgruppe; Pflanzen der Versuchsgruppe wuchsen gesund und kräftig, während jene der Kontrollgruppe an Fäule litten. Ähnlich wie bei den Tomatenversuchen (vgl. Hou & Mooneyham 1999a) nahm der positive „Agri-wave“-Effekt mit zunehmender Entfernung zum Lautsprecher ab. Von 33 untersuchten Mineralstoffen stiegen 29 im Gehalt. Die Wirkung erklärt man sich mit Resonanzeffekten, die durch Interaktionen des äußerlich applizierten Schalls und der von den Pflanzen bzw. deren Meridian-system selbst produzierten Schallwellen zustande kommen (ebd., S. 134-137).

### **3.10 „Plant Acoustic Frequency (Control) Technology“**

#### **3.10.1 Experimente mit Erdbeeren**

Die Auswirkungen von Schallsignalen, produziert mithilfe eines auf Basis des Patents von Hou & Destito (1995) eigens entwickelten „Plant Audio Apparatus“, auf verschiedene physiologische Indices von Erdbeeren wurden untersucht (Qi et al. 2010). Dazu wurden je 30 in Töpfen gezogene Pflanzen in zwei Treibhäusern mit ähnlichen Umweltbedingungen (über welche freilich keine Daten bekannt sind) untergebracht (Abb. 3.43 und 3.45). Die Versuchsgruppe wurde alle zwei Tage von 9.00 bis 12.00 Uhr mit Schallfrequenzen zwischen 100 und 2.000 Hz beschallt, wobei Frequenz und Schalldruck wie in den Experiment von Hou (1999a, 1999b) durch Temperatur und Feuchtigkeit bestimmt wurde. Der „Plant Audio Apparatus“ stand dabei in der Mitte des Testarrangements. Während der Versuchsdauer (November 2008 bis Januar 2009) ermittelte man mittels eines tragbaren Messgeräts regelmäßig Blattfläche und →Photosynthese-Indikatoren, daneben wurde auch die Resistenz gegen

Krankheiten während der Fruchtperiode beobachtet. Welche Parameter zur Ermittlung der Krankheitsrate herangezogen wurden, wird nicht erläutert (Qi et al. 2010, S. 450f).



Abb. 3.42: Treibhäuser, in welchen die Versuche stattfanden (Abb. aus Qi et al. 2012, S. 450).



Abb. 3.43: Erdbeerkeimlinge in Töpfen (Abb. aus ebd.).

Die durchschnittliche Blattfläche war anfangs gegenüber der Kontrollgruppe signifikant erhöht ( $p < 0,01$ ); während der Blühphase war kein signifikanter Unterschied mehr festzustellen (ebd., S. 451). Die Erdbeeren der Versuchsgruppe wuchsen besser, das Grün der Blätter war dunkler, und die Pflanzen blühten ca. 1 Woche früher (ebd., S. 449). Im Fruchtstadium war die Photosyntheserate signifikant ( $p < 0,05$ ) erhöht (Abb. 3.44) (ebd., S. 451f); zusätzlich schien die Resistenz der Pflanzen gegen Krankheit und Insektenbefall erhöht (ebd., S. 452). Allerdings erhöhte sich in der Experimentalgruppe anfangs die  $\rightarrow$ Transpiration, was nach Angaben der Autoren den Transport von Wasser und Mineralien und somit die Krankheitsresistenz der Pflanzen steigerte (Abb. 3.45) (ebd., S. 453). Es ist nicht feststellbar, ob Qi et al. überprüft haben, inwieweit die Zunahme der Transpiration nicht auch auf andere Faktoren, etwa unterschiedliche Umweltbedingungen in den Treibhäusern, zurückgeführt werden könnte.

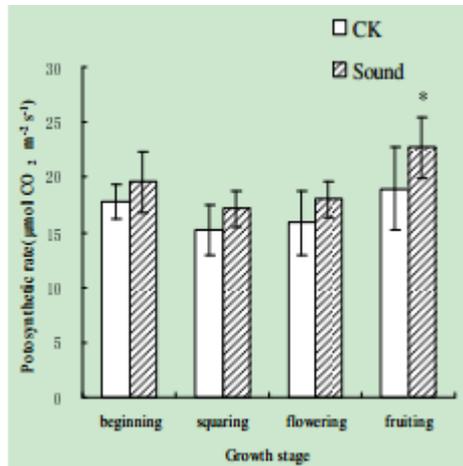


Abb. 3.44: Photosynthese-Rate (Abb. aus ebd., S. 452).

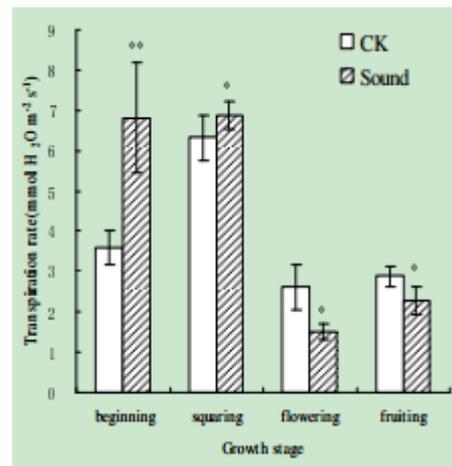


Abb. 3.45: Transpiration (Abb. aus ebd.).

Auf die interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration hatte die Behandlung offenbar keine Wirkung. Auswirkungen auf das Wachstum waren während der Blühphase festzustellen, und daher wohl auch keine Steigerung beim Ernteertrag. Dennoch wird von einem deutlichen Effekt auf die Physiologie der Erdbeeren („great effect on the physiology of strawberry“) gesprochen. In ihrer Conclusio erklären die Autoren diese Effekte mit einem Phänomen, das sie als „spontaneous sound in plants“ bezeichnen; treffe eine Schallwelle mit der passenden Frequenz auf die Pflanze, könnten demnach Resonanzen auftreten, die das Wachstum anregen: „When the frequency between external vibration and plants spontaneous sound are consistent, the resonance will occur, thus promoting plants [sic] growth“ (ebd., S. 453). Die Autoren enthüllen hier, dass in einem Vortest mittels eines Laser-Doppler-Vibrometers spontane Schallemissionen von *Alocasia* zwischen 40 und 2.000 Hz festgestellt wurden. Es bleibt ungewiss, warum man die Auswahl der Schallfrequenzen für das Experiment nicht gleich anhand einer solchen Vibrometer-Vermessung der Erdbeerpflanzen bestimmt hat. (ebd.).

### 3.10.2 Weitere Studien mit Erdbeeren

Ebenfalls mit Erdbeer-Keimlingen und einem Gerät mit der Bezeichnung „PAFT [Plant Acoustic Frequency Technology] QDWA-03“ experimentierten Meng et al. (2012) in Beijing. Die Keimlinge waren zu je 30 Töpfen in zwei Treibhäusern untergebracht, wo täglich von 7.00 bis 10.00 Uhr verschiedene Schallsignalen auf sie einwirkten, deren Frequenzen anhand der Eigenschaften des Meridian-System und den Umweltbedingungen angepasst wurden (Tab. 3.19). Der Abstand der Erdbeeren zum Lautsprecher wird mit ca. 3 Metern angegeben. Erhoben wurden verschiedene Wachstumsindizes wie die Zahl der Blüten und Früchte, ferner →Chlorophyllgehalt und Photosynthese-Werte (ebd., S 347f).

Operating condition	Wave band
Air temperature 10° C ~ 25° C	1
Irrigation and air temperature 10°C ~ 25° C	2
Air temperature 20° C ~ 25° C	3
Air temperature 25° C ~ 28° C	4
Air temperature 28° C ~ 30° C	5
Irrigation and air temperature 25°C ~ 30° C	6
Irrigation and air temperature 30°C ~ 35° C	7
Air temperature 35° C ~ 40° C	8

Tab. 3.19: Verwendung verschiedener Frequenzbänder je nach Temperatur und Bewässerung. Genaue Frequenzangaben sind nicht vorhanden (Tab. nach Meng et al. 2012, S. 348).

Meng et al. berichten von einer bemerkenswerten Steigerung der Photosynthese-Aktivität, die sich in einer besseren Ausnutzung der Lichtenergie zeigte. Blüten und Früchte wuchsen besser; substanzielle Effekte waren allerdings erst nach 40 Tagen bzw. 20 Behandlungen zu beobachten (ebd., S. 349). Die Pflanzen der Experimentalgruppe wiesen nach dieser Zeit einen signifikant höheren Chlorophyllge-

halt als die Kontrollgruppe auf, wobei sich dieser Unterschied am Ende des Versuchs wieder relativiert hatte (ebd., S. 349f). Die Autoren erhoffen sich von der „Plant Acoustic Frequency Technology“ generell eine Erhöhung der Pflanzenproduktion bei zugleich reduziertem Einsatz von Düngemitteln (ebd., S. 348-351).

### **3.10.3 Insektengeräusche, Musik und Gemüse**

Ming-e et al. (2010) studierten den Effekt von Insektengeräuschen mit („MS“) und ohne Musik („IS“) kombiniert auf Wuchshöhe, Frischmasse und Trockengewicht von Sprossen und Wurzeln sechs verschiedener Gemüsearten (Radieschen, Chinakohl, Senf, Amaranth, Kohl und Sojabohne). Das Experiment fand auf einem Versuchsfeld in China statt. Die Pflanzen erhielten 41 Tage lang täglich („except for rainy day“) von 7.00 bis 10.00 Uhr eine Schallbehandlung („acoustic frequency treatment“) mit den Signalen IS oder MS. Die Insektengeräusche (zwei verschiedene Arten von Grillenzirpen) wiesen hauptsächlich Frequenzen zwischen 3.620 und 4.180 bzw. 2.950 bis 4.100 Hz auf, das Musiksignal beinhaltete Frequenzen zwischen 340 und 4.000 Hz; es werden weder Angaben zu Art, Dauer oder Instrumentation genannt, immerhin wird beschrieben, dass es sich um „klassische“ Musik handle (ebd., S. 90f).

Am Ende des Experiments waren alle Parameter gegenüber der unbehandelten Kontrollgruppe signifikant erhöht, ausgenommen die Wuchshöhe von Soja und die Trockenmassen von Kohl und Chinakohl 3.20). Die Radieschen wurden offenbar größtenteils von wilden Tieren verzehrt, ebenso die oberirdischen Teile von Kohl, Chinakohl, Senf und Amaranth: „Especially, underground root of radish was mainly eaten. [...] Aerial parts of cabbage, greengrocery, mustard and amaranth were mainly eaten“ (ebd., S. 91). Dennoch war die durchschnittliche Trockenmasse deutlich erhöht; bei Kohl betrug der Zuwachs gegenüber der Kontrollgruppe 42,74 % bzw. 56,60 % in den Gruppen IS und MS; bei Amaranth machte die Steigerung 98,10 % bzw. 121,75 % aus. Die durchschnittliche Stammhöhe nahm durch Schallbehandlung ebenfalls zu, allerdings zeigten sich verschiedene Wirkungen von IS und MS; so hatte reines Insektengeräusch keine signifikanten Auswirkungen auf Radieschen. Zwischen IS und MS bestanden prinzipiell keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der

Wuchshöhe und Trockenmassen; MS wirkte sich aber besser auf die Frischmasse von Senf aus. Soja reagierte zwar mit einem Zuwachs an Frischmasse auf Schallstimulation, die Pflanzen waren allerdings gedrunken gewachsen („plant morphology of dwarf and strong“), was sich aber praktischerweise günstig auf die Schoten-Ausbeute auswirke. IS schien hier eher die Entwicklung der Wurzeln zu verbessern, während MS positiver auf die oberirdischen Teile der Sojabohnen wirkte (ebd., S. 91-93). Insgesamt stellen die Autoren fest, dass es sich bei der „Plant audio control technology“ um eine vielversprechende Technologie handle, die schon an 30 Pflanzenarten in China und im Ausland untersucht worden sei. Um den Mechanismen hinter den Wachstumssteigerungen auf den Grund zu gehen, seien weitere Studien notwendig. „Meanwhile,“ so heißt es in der Conclusio, „playing music in field could influence sentiment, and enjoying music in work is one of main contents to develop happy agriculture“ (ebd., S. 93) – möglicherweise das einzige verwertbare Ergebnis dieser Studie.

Species	Treatments	Plant height cm	Fresh weight of the whole plant//g	Dry shoot weight//g	Dry root weight//g
Radish	CK	32.69 ±4.61 b	243.46 ±85.23 b	6.95 ±2.37 b	9.50 ±2.47 b
	IS	34.53 ±5.98 b	228.00 ±106.15 b	9.70 ±4.60 ab	12.29 ±3.26 b
	MS	42.86 ±5.39 a	405.00 ±191.88 a	15.42 ±7.89 a	20.02 ±6.35 a
Cabbage	CK	46.84 ±5.11 b	391.54 ±183.32 b	21.01 ±5.36 b	3.89 ±0.96 a
	IS	54.53 ±5.08 a	587.33 ±175.82 a	32.88 ±3.75 a	4.99 ±1.37 a
	MS	56.92 ±5.71 a	599.62 ±268.16 a	29.99 ±7.93 a	4.65 ±2.12 a
Greengrocery	CK	24.54 ±3.04 b	269.23 ±103.68 b	15.98 ±5.01 b	2.48 ±0.98 a
	IS	25.53 ±3.46 ab	498.00 ±216.02 a	32.26 ±8.06 a	3.57 ±1.20 a
	MS	27.54 ±3.40 a	446.43 ±142.20 a	29.04 ±6.08 a	3.29 ±0.58 a
Mustard	CK	48.46 ±5.30 b	301.92 ±171.41 c	29.31 ±9.74 b	4.96 ±2.62 b
	IS	61.87 ±5.73 a	584.33 ±72.53 b	54.46 ±4.98 a	9.94 ±1.39 a
	MS	58.86 ±4.28 a	700.71 ±163.13 a	56.17 ±13.18 a	7.98 ±2.01 a
Amaranth	CK	30.87 ±5.49 b	25.40 ±15.28 b	3.31 ±1.69 b	0.54 ±0.31 b
	IS	46.40 ±8.64 a	69.90 ±27.98 a	6.56 ±2.73 a	1.28 ±0.67 a
	MS	43.67 ±5.08 a	60.93 ±21.01 a	7.34 ±1.94 a	1.37 ±0.42 a
Soybean	CK	29.50 ±4.61 a	15.35 ±5.08 b	2.81 ±0.68 c	0.49 ±0.08 b
	IS	27.37 ±3.62 a	27.82 ±7.06 a	6.89 ±1.49 b	0.89 ±0.27 a
	MS	27.17 ±4.79 a	30.02 ±9.22 a	9.26 ±1.05 a	0.63 ±0.11 b

Different small letters show significant difference at 0.05 level ( $P < 0.05$ ).

Tab. 3.20: Auswirkung der Schallbehandlung auf verschiedene Gemüsearten (Tab. nach Ming-e et al. 2010).

### **3.10.4 Weitere Studien mit Insektengeräuschen und Musik**

Das Patent von Hou & Destito (1995) kam unter der Bezeichnung „Plant Acoustic Frequency Control Technology (PAFCT)“ auch im Experiment von Zhu et al. (2011) zur Anwendung, in welchem wie im vorigen Versuch die Wirkung von Musik, kombiniert mit Insektengeräuschen mit der Wirkung von Insektengeräuschen ohne Musik untersucht wurde. Gurken, Tomaten, Melanzani, Mini-Tomaten, Zuckermelone und Augenbohnen wurden täglich morgens über eine Dauer von 3 Stunden beschallt. Die Gesamtdauer des Experiments wird mit „2 a“ angegeben (ebd., S. 1749), hierbei dürfte es sich allerdings nicht um 2 Jahre, sondern mutmaßlich 2 Monate handeln. Test-Samples, bestehend aus 150 mm langen Trieben der sechs größten Pflanzen, die in der Nähe des Lautsprechers wuchsen, wurden zwischen April und Juni 2011 aus drei verschiedenen Versuchsgärten entnommen und die Konzentration von →IAA (Indol-3-Essigsäure, ein Wachstumshormon) bestimmt (ebd., S. 1749-1751). Die Autoren sehen in den Ergebnissen einen Beleg für den Erfolg der PAFCT als neue landwirtschaftliche und umweltfreundliche Technologie, denn es wurden signifikant positive Effekte auf IAA-Gehalt und Wachstumsrate festgestellt (ebd., S. 1751). Der genaue Versuchsablauf ist auf Basis der Angaben allerdings nicht durchschaubar, ebenso die nicht zu eruiierende Bedeutung der Bezeichnung „shed“ im Gegensatz zu „greenhouse“ (vgl. Tab. 3.21). Die Formulierung ist selbst bei der Präsentation der Ergebnisse unklar, denn aus ihnen geht nicht hervor, worauf sich die Verhältnisangaben in Prozent vor allem der Kontrollgruppe beziehen:

According to the results of two determinations, the contents of IAA in shed tomatoes in acoustic test group had increased by 12.7 % averagely, compared with the control group, which had increased by 8.78 % in cucumbers and 8.93 % in eggplants (ebd., S. 1751).

Experimental site	Experimental object	Plant height /mm		D-value mm	Percentage %
		Test group	Control group		
Zhoupu	Shed tomato	304	277	27	9,86
	Greenhouse tomato	718	681	37	5,36
	Greenhouse muskmelon	1.055	818	237	29,06
Dongyang	Greenhouse mini-cucumber	890	803	87	10,79
	Shed eggplant	658	536	122	22,64
	Shed tomato	1.560	1.450	110	7,62

Tab. 3.21: Wuchshöhe behandelter und unbehandelter Pflanzen (Tab. nach Zhu et al. 2011).

### 3.10.5 Pflanzensignale bei „Green music“ und „Folk Song“

Lee et al. (2002) experimentierten mit Gurken, Chinakohl, Frühlingszwiebel und Zwiebel, die im Treibhaus gezogen wurden, sowie mit *Filipendula vulgaris* (Klein-Mädesüß) aus Hydrokultur. Es ist nicht bekannt, ob Kontrollgruppen verwendet wurden. Als Reizsignal dienten zwei verschiedene Musikstücke eines unbekanntes Komponisten, die als „Green music“ und „Folk song“ bezeichnet werden; die Pflanzen wurden den Schallsignalen 600 Sekunden lang ausgesetzt, offenbar gab es keine Wiederholungen. Die Reaktion der Pflanzen wurde 600 Sekunden vor, während und nach der Schalldarbietung mittels eines eigens entwickelten Systems erfasst, welches die Pflanzenreaktionen mit einem X-Y-Datenschreiber aufzeichnet und anschließend digitalisiert (Abb. 3.46) (ebd., S. 5f).

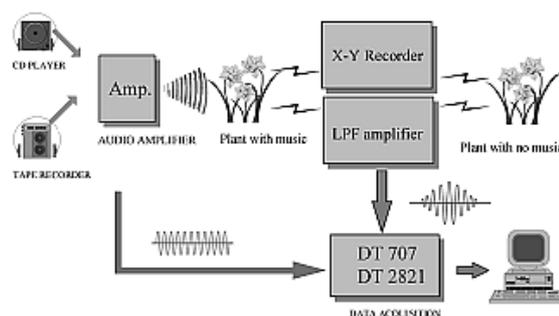


Abb. 3.46: Schema des Versuchsaufbaus (Abb. aus Lee et al. 2002, S. 5).

Diese Signale wurden ebenso wie die Schallsignale mittels Fast Fourier Transformation (FFT) analysiert und mit letzteren verglichen. Auf welche Weise die Reaktion der Pflanzen erfasst wurde, bleibt unklar – möglicherweise wurden die Blätter mit Spannungselektroden verbunden. Die Musikstücke, gleichwohl von Art und Dauer nicht näher definiert, werden umfassenden Analysen unterzogen (vgl. Abb. 3.47 bis 3.49), wobei nicht unbedingt nachzuvollziehen ist, was mit der Berechnung der Durchschnittsfrequenz über die Zeit (in Einheit mV) bezweckt wurde – zum einen ist der Sinn der Angabe einer durchschnittlichen Frequenz bei Musiksignalen fraglich, andererseits ist es angesichts der Wahl der Einheit fraglich, ob hier wirklich die Frequenzen der Audiosignale gemessen wurden. In der Spektralverteilung der Musikstücke werden zudem nur Frequenzen oberhalb von 768 Hz dargestellt (Abb. 3.47 und 3.50), obwohl auch Frequenzen unterhalb vertreten waren, wie aus dem Vergleich der Frequenzspektren beider Signale (Abb. 3.49) ersichtlich ist (ebd., S. 5f).

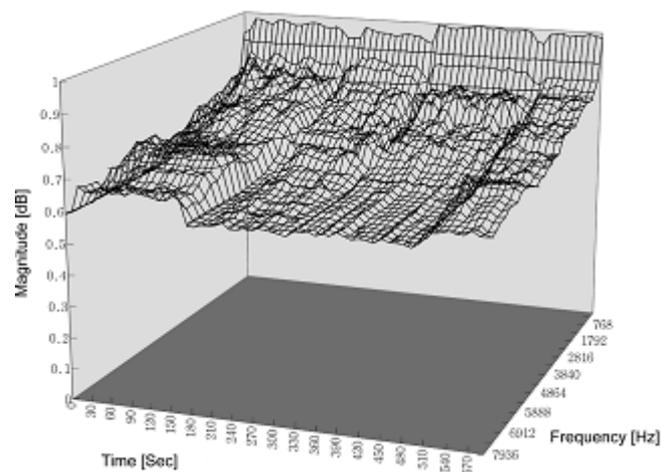


Abb. 3.47: Spektrale Verteilung des Signals „Green music“ (Abb. aus Lee et al. 2002, S. 6).

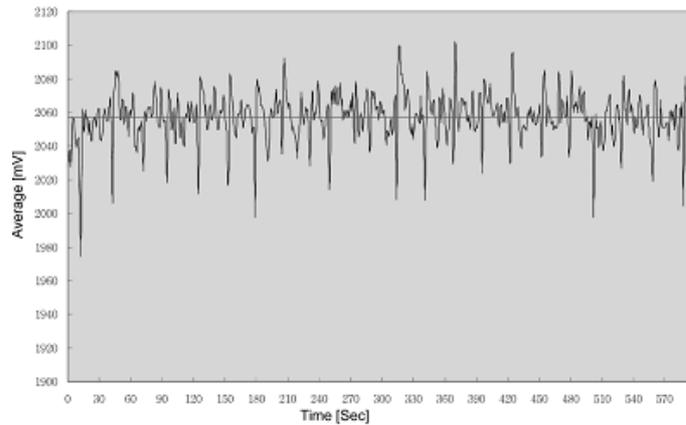


Abb. 3.48: Durchschnittliche Frequenz („Green Music“) (Abb. aus ebd., S. 7).

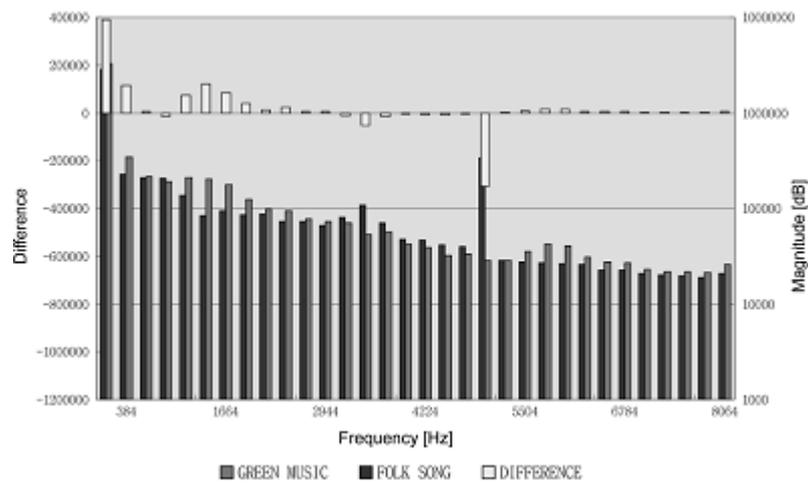


Abb. 3.49: Vergleich der Frequenzspektren von „Green Music“ und „Folk song“ (Abb. aus ebd.).

Untersucht wurden Keimlinge von Gurke, Chinakohl, Frühlingszwiebel und Zwiebel, die in Töpfen im Treibhaus gezogen wurden (ebd., S. 6). Weitere Details zu Keim- oder Wachstumsbedingungen werden nicht angegeben, auch über die verwendete Zahl an Pflanzen ist nichts bekannt. Klein-Mädesüß stammte aus einer Hydrokultur. Abb. 3.50 und 3.51 zeigen die Reaktionen von Klein-Mädesüß auf „Green music“.

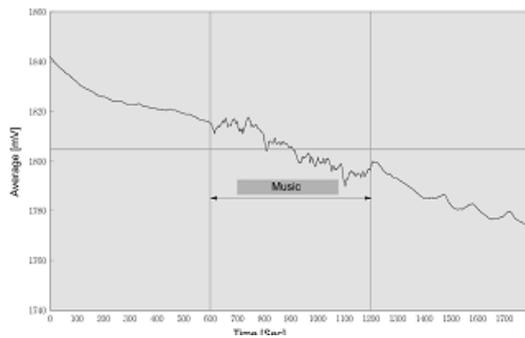


Abb. 3.50: Reaktion von Klein-Mädesüß auf „Green music“ (Abb. aus ebd., S. 8).

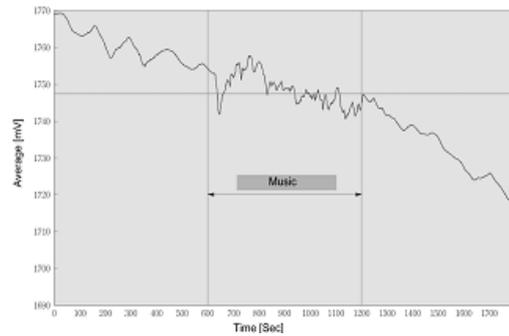


Abb. 3.51: Reaktion auf „Folk Song“ (Abb. aus ebd.).

Das Ausmaß der Reaktion nehme während des Reizes zu; danach sei eine Abnahme zu beobachten. Es zeige sich, dass die „After-Response“ stärker als die „Instant-Response“ auf „Green Music“ ist. Bei „Folk song“ nahm die Größenordnung der Reaktion hingegen ab; die Forscher schließen daraus auf eine höhere Sensibilität auf „Green music“. Gurken reagierten sensibler auf „Folk song“, Frühlingszwiebel schienen wiederum „Green music“ zu bevorzugen. Anhand verschiedener Tabellen zu den Reaktionen der Pflanzen und ohne Angabe von p-Werten wollen Lee et al. demonstrieren, dass Pflanzen eindeutig auf Musik reagieren:

Even though it was uncertain about what the average and variance of response signals in terms of plant growth and development [sic], it was clearly demonstrated that plant responses to musics could be detected by the differences in these values (ebd., S. 9).

Klar scheint den Autoren, dass jede Pflanzen unterschiedlich auf die unterschiedlichen Reizsignale reagierten; für die unterschiedlichen „Sensitivitätsstufen“ wurden daher die Attribute „High“, „Medium“ und „Low“ vergeben, wobei diese nicht nur von Spezies und Musik, sondern auch von der Methode bei der Analyse der Reaktion abzuhängen scheinen (Tab. 3.23). Die Hoffnung der Autoren ist, dass auf Basis ihrer Resultate nun für jede Pflanzenspezies die passende Musik komponiert werden könnte (ebd., S. 9).

Green music	Before		During		After	
	Average	Variance	Average	Variance	Average	Variance
Chinakohl	1774,825	18,79891	1770,411	18,20579	1767,389	17,01579
Frühlingszwiebel	1624,486	77,3596	1596,033	78,55825	1580,72	82,14275
Klein-Mädesüß	1827,799	66,35827	1804,963	66,422	1784,403	64,96791
Gurke	1831,269	106,1587	1819,876	104,2171	1811,426	102,5876
Zwiebel	1844,607	15,03996	1879,083	14,93097	1877,265	15,16886

Tab. 3.22 : Veränderung des elektrischen Potentials bei „Green music“ (Tab. nach ebd., S. 9).

Spezies	Musik		Analysemethode		
	Green	Folk	Average	Variance	Frequency
Chinakohl	L	M	L	H	M
Frühlingszwiebel	H	M	M	M	H
Klein-Mädesüß	H	M	H	M	H
Gurke	L	H	L	H	H
Zwiebel	M	H	L	L	H

Tab. 3.23: Sensibilitätsstufen (Low, High, Middle), abhängig von Musik und Analyse-methode (Tab. nach ebd.).

### 3.10.6 Weitere Studien mit elektrischen Pflanzensignalen

In einer ähnlich aufgebauten Studie experimentierten Lee et al. (2003) mit Kohl, Gurke, Klein-Mädesüß, *Cymbidium* (eine Orchideenart), Landnelken sowie Kürbis-Keimlingen und Sinustönen zwischen 500 und 20.000 Hz. Lee et al. gehen davon aus, dass Musik das Wachstum von Pflanzen fördert. Ihre These lautet, dass die Reaktion einer Pflanze auf Musik als Summe der Reaktionen auf die individuellen Frequenzkomponenten im Musiksignal gesehen werden kann:

Since music is composed of frequencies differing in composition and size over time, plant response to a music can be defined as sum of responses to individual frequency component (ebd., S. 560).

Nachdem Pflanzen wie in der vorigen Studie gezeigt wurde unterschiedlich sensibel auf verschiedene Schallfrequenzen zu reagieren schienen, sollte nun herausgefunden

den werden, welche Frequenzen am effektivsten auf das Wachstum der Pflanzen wirken, um zwecks Ertragssteigerung eine Grundlage für die Komposition eigener Musikstücke für die jeweilige Spezies zu schaffen; warum hierfür Musikstücke notwendig sind und nicht einfach die wirksamsten Frequenzen abgespielt werden können, ist eine interessante Frage, die Lee et al. bedauerlicherweise nicht beantworten. Zudem beziehen sich die Autoren auf eine Studie, in der gar keine Wachstumsparameter, sondern lediglich Spannungsänderungen in Pflanzen in Reaktion auf Schallstimulation untersucht wurden (vgl. Lee et al. 2002). Das Experiment ist wie jenes von 2002 angelegt, mit dem Unterschied, dass hier mit einer Software generierte Sinustöne verwendet wurden (ebd., S.560f; vgl. Lee et al. 2002, S. 5f).

1. Experiment: Gemessen wurde die Reaktion 300 Sekunden vor, während und nach der Stimulation mit einem 2.000-Hz-Signal, anschließend wurde eine Fourier-Analyse der Reaktionssignale durchgeführt. Untersucht wurden offenbar Keimlinge von Kürbispflanzen, wie erst im Abschnitt „Results and Discussion“ (Lee et al. 2003, S. 561) zu erfahren ist. Die Ergebnisse lassen keine eindeutigen Schlüsse zu:

No regularity or specificity in the magnitude of frequency components of response signals before, during, and after the treatment were indicated, but the difference of the magnitude was generally greater in the frequencies ranging from 200 to 300 Hz (ebd., S. 562).

2. Experiment: Die charakteristische Reaktion von Pflanzen auf Sinustöne steigender Wellenlänge (in Wirklichkeit ist steigende Frequenz gemeint – die Wellenlänge nimmt entsprechend der Formel  $\lambda = c / f$  mit steigender Frequenz ab; vgl. etwa Kutt-ruff 2004, S. 50) wurde untersucht. Hierzu wurden Signale zwischen 500 und 2.000 Hz hintereinander abgespielt, wobei alle 110 Sekunden die Frequenz um 500 Hz erhöht wurde. Die Signale selbst wurden 10 Sekunden lang dargeboten. Untersucht wurden Kohl, Gurke, *Cymbidium*, Klein-Mädesüß und Landnelken (Lee et al. 2003, S. 561). Die durchschnittliche Reaktion einer Kohl-Pflanze ist in Abb. 3.52 und 3.53 dargestellt. Aus den Ergebnissen sei abzulesen, dass höhere Frequenzen raschere und stärkere, allerdings auch kürzere Reaktionen hervorrufen. Die Autoren

sehen darin einen Hinweis, dass die Pflanzen tatsächlich unterschiedlich auf verschiedene Frequenzen reagieren (ebd., S. 562).

3. Experiment: Verschiedene Pflanzen wurden mit einzelnen Sinustönen von 5 Sekunden Dauer (von 500 bis 20.000 Hz, in 500-Hz-Intervallen ansteigend). Die Spannungsänderung in der Pflanze wurde jeweils 100 Sekunden vor und nach der Darbietung erfasst und gemittelt (ebd., S. 561). Die durchschnittlichen Frequenzen zeigen laut den Autoren große Differenzen zwischen den Vorher- und Nachher-Werten. Kohl reagiere demnach am empfindlichsten bei 7 kHz, 9,5 und 15,5 kHz; *Cymbidium* bevorzuge hingegen Frequenzen von 0,5 kHz, 2,5 und 20 kHz. Entsprechend abwechslungsreich dürften die Kompositionen ausfallen; Gurken werden mit besonders eintöniger Musik vorlieb nehmen müssen: Sie haben nur eine einzige „Lieblingsfrequenz“ bei 17,5 kHz (ebd., S. 563).

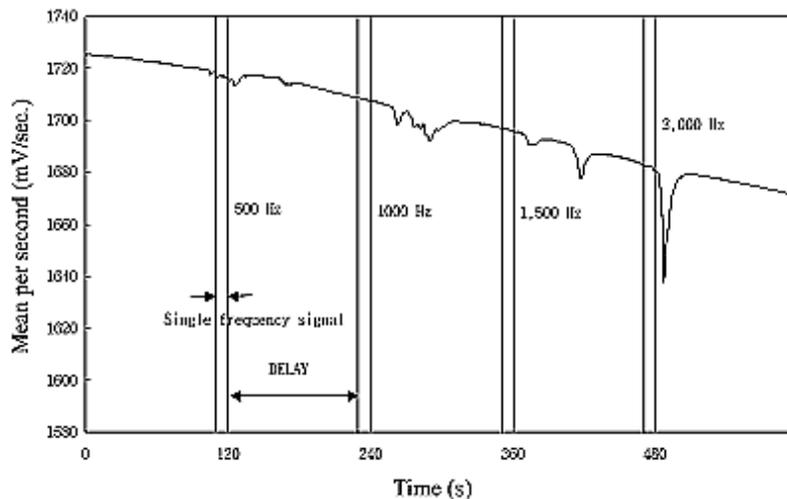


Abb. 3.52: Reaktion von Kohl auf wechselnde Frequenzen (Abb. aus Lee et al. 2003, S. 562).

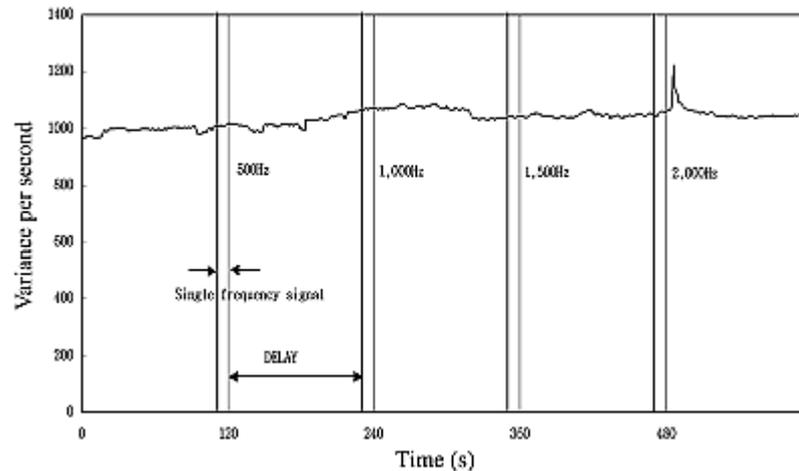


Abb. 3.53: Änderung der Varianz in der Reaktion von Kohl auf 2 kHz (Abb. aus ebd.).

### 3.11 Keimung von Zucchini- und Okra-Samen bei Musik

Eine der wohl am ausführlichsten dokumentierten Studien führte Creath im Zuge ihrer Dissertation an der Universität von Arizona durch (2002). Creath untersuchte darin die Auswirkung von Musik und rosa Rauschen auf die Keimung von Zucchini- und Okra-Samen. Ihre Arbeit will dabei eine replizierbare experimentelle Methode vorstellen, indem jene Methoden, die in der Vergangenheit (etwa jene von Weinberger et al., vgl. Kap. 3.5) zum Studium der Auswirkungen einzelner hörbarer Frequenzen sowie Frequenzen im Ultraschall auf Keimung und Wachstum von Pflanzen angewendet wurden, mit der Idee Retallacks (1973) kombiniert werden, verschiedene Arten von Musik hinsichtlich ihrer Wirkung auf Pflanzen zu erforschen. Sollte es gelingen, einen direkten Effekt zu zeigen, habe dies laut Creath signifikante Implikationen für die Erforschung der Wirkung von Musik auf biologische Systeme überhaupt (Creath 2002, S. 17). Sie räumt dabei ein, dass bei einem wissenschaftlichen Experiment mit Musik als komplexes Zusammenwirken von Tonhöhe, Harmonie, Rhythmus, Klangfarbe etc. zahlreiche Parameter beachtet werden müssen; aufgrund der Kontroversität des Themas sei es aus ihrer Sicht aber notwendig, die grund-

gende Frage zu beantworten, nämlich, ob Musik überhaupt einen Einfluss auf die Pflanzen hat (ebd.).

Die Ergebnisse wurden zwei Jahre nach Creaths Dissertation in Form eines Artikels in einem Journal für alternative und komplementäre Medizin publiziert (Creath & Schwartz 2004); angesichts der ansonsten wissenschaftlich strengen Vorgehensweise ist es befremdlich, dass neben Musik hier die Wirkung eines so genannten bioenergetischen Heilverfahrens vorgestellt wird; nach eigener Aussage wenden Creath & Schwartz eine von den „Associated Bodywork and Massage Professionals (ABMP)“ anerkannte „Biofeld-Therapie“ namens VortexHealing® an (vgl. Kap. 3.11.1).



Abb. 3.54: Handhaltung beim „VortexHealing®“ (Abb. aus Creath & Schwartz 2004, S. 116).

### 3.11.1 Experimentaldesign

Insgesamt führte Creath von Mitte März bis Juni 2002 fünf Experimente mit Zucchini- und Okrasamen in dafür eigens hergestellten Wachstumskammern durch. Es wurden einerseits Keimrate und -geschwindigkeit, andererseits Daten über die Veränderung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit erhoben, um Rückschlüsse auf etwaige Auswirkungen dieser Faktoren ziehen zu können. Im Zuge der Experimente

wurden die Methoden adaptiert, so betrug die Dauer der Versuche anfangs 120 Stunden, bevor sie ab dem dritten Experiment auf 72 Stunden reduziert wurde; zugleich wurden die Wachstumskammern in eine speziell kontrollierte Laborumgebung transferiert, die Bewässerung standardisiert und eine unbeteiligte Person zum Zählen der gekeimten Samen eingesetzt. Im Folgenden werden die Experimente kurz vorgestellt; zur Übersicht vgl. auch Tab. 3.24 und 3.25.

Experiment	Zahl der Durchgänge	Kontrollgruppe	Getestete Bedingungen		
			Musik	Rauschen	Heilenergie
I	2	x	x		
II	2	x	x		
III	2	x	x		x
IV	4	x	x	x	x
V	4	x	x	x	x

Tab. 3.24: Übersicht über die in den Experimenten getesteten Bedingungen (Tab. nach Creath & Schwartz 2004, S. 114).

Experiment I: 2 Wachstumskammern mit jeweils Musik und Stille; 2 Durchläufe, die Konditionen in den Kammern wurden im zweiten Versuch getauscht. Die Temperaturdifferenz betrug 0,4° C zwischen den durchschnittlichen Temperaturen zwischen den Kammern (Creath 2002, S. 47).

Experiment II: Replikation von Experiment I, ebenfalls mit 2 Durchläufen. Die Positionen der zwei Wachstumskammern im Raum wurden verändert, um bessere Kontrolle über die Temperaturschwankungen zu erlangen (ebd., S. 48).

Experiment III: Um die Wirkung von „Heilenergie“<sup>3</sup> auf die keimenden Samen zu untersuchen, wird eine zusätzliche Kammer aufgestellt (vgl. Creath & Schwartz 2004); dieser Versuch findet in der Dissertation von 2002 keine Erwähnung. Die Wachstumskammern wurden in eine speziell kontrollierte Laborumgebung transferiert, ab dem zweiten Versuch wurde zur Bewässerung ein standardisiertes Verfahren eingeführt – zuvor wurden den Samen unterschiedliche Wassermengen verabreicht. Die Dauer des Versuchs wurde von 120 auf 72 Stunden reduziert, und ab sofort wurde eine unbeteiligte Person zum Zählen der gekeimten Samen eingesetzt. Ein Verdunstungskühler und ein Deckenventilator sorgten für Kühlung und Belüftung des Raumes (Creath 2002, S. 48).

Experiment IV: Mit der Kondition „Noise“ (Rauschen) kommt eine vierte Wachstumskammer hinzu. Da die Außentemperatur Ende Mai auf über 100° F (37,8° C) stieg und trotz des Kühlers stabile Umgebungsbedingungen nicht mehr gewährleistet werden konnten, schieden 2 der 6 geplanten Durchgänge aus (ebd., S. 49).

Experiment V: Replikation des vorangegangenen Experiments. Die Bedingungen Musik, Rauschen und Stille (sowie „Heilenergie“, vgl. Creath & Schwartz 2004) wurden so auf die Wachstumskammern verteilt, dass nach insgesamt 8 Durchläufen in Experiment IV und V jede Kondition 2-mal an jeder Position vertreten war. Um die Temperaturabweichung bei 0,1° C zu halten, wurde die Verdunstungskühlung durch eine Klimaanlage ersetzt, die Fenster wurden mit einer Hitzebarriere versehen. Zusätzlich wurden Ventilatoren eingesetzt. Während des Experiments musste ein Durchlauf wiederholt werden, weil die Person, die für das Zählen vorgesehen war,

---

3 Die Behandlung kam zweimal täglich 15 bis 20 Minuten lang zur Anwendung und setzte sich aus mehreren Schritten zusammen: Zunächst musste eine „bewusste Verbindung“ („consciously connecting to the seeds“) zu den Samen hergestellt werden, dann konzentrierte sich die Versuchsleiterin auf den Wunsch, die Samen mögen rascher keimen als die Kontrollgruppe; danach wurden „energetische Strukturen“ („energetic structures“) sowie vom „göttlichen Bewusstsein“ („divine consciousness“) Hilfe zur „Integration“ dieser Energie erbeten, die dann zu einem „offenen Kanal für den Fluss der göttlichen Energie“ werden sollte („becoming an open channel for divine energy to flow through“). Die Petrischalen wurden hierzu übereinandergestapelt und leicht mit der Hand berührt (Abb. 3.54, S. 128). Laut Creath & Schwartz rufe diese bioenergetische Behandlung thermale und andere bioelektromagnetische sowie heilende Effekte hervor (Creath & Schwartz 2004, S. 116f).

nicht verfügbar war (Creath 2002, S. 50). Die strenge Kontrolle der Temperaturbedingungen in diesem Experiment führte unbeabsichtigt zu einer künstlichen Verschiebung des täglichen Temperaturzyklus in den Wachstumskammern um 8 Stunden, der von den natürlichen Schwankungen der Außentemperatur abhängt. Während draußen die wärmste Temperatur um 17.00 Uhr und die kühlsste um 5.00 Uhr morgens gemessen wurde, hatte die Temperatur im Laborraum um 9.00 Uhr die höchsten und um 21 Stunden die kühlssten Werte (ebd.).

Exp	Run	Dates	Length (hours)	Position			Comments
				C	M	N	
I	1	3/16-22	144	A	B	---	2 chambers. 2 conditions.
	2	3/22-27	120	B	A	---	Temperature difference between chambers > 0.1°C.
II	1	3/28-4/2	120	B	A	---	2 chambers. 2 conditions. Moved chambers to have temperature difference <0.1°C.
	2	4/2-7	120	A	B	---	
III	1	4/27-30	72	C	B	---	3 chambers. 2 conditions. Moved experiment to a different room. Evaporative cooler with ceiling fan.
	2	5/1-4	72	B	A	---	
IV	1	5/6-9	72	C	B	D	4 chambers. 3 conditions. Evaporative cooler with ceiling fan.
	2	5/10-13	72	A	C	B	
	3	5/13-16	72	C	A	D	
	4	5/17-20	72	A	D	B	
---	5a*	5/27-30	72	B	A	C	Outside temperature above 100°F (38°C). Evaporative cooler without ceiling fan. Temperature not controlled well enough.
	5b*	5/30-6/2	72	B	A	C	Evaporative cooler with ceiling fan. Temperature not controlled well enough. New lot of zucchini seeds.
	0a*	6/5-8	72	all	all	all	Control run – no conditions. Added radiant heat barriers on windows and 4 circulating fans before this run. Switched to AC turned last day of this run.
	0b*	6/8-11	72	all	all	all	AC on. Control run – no conditions.
V	5c	6/11-14	72	B	A	C	AC on.
	6	6/14-17	72	D	C	A	
	7a*	6/18-21	72	B	D	C	Scorer was not available at 60 hours.
	8	6/22-25	72	D	B	A	
	7b	6/26-29	72	B	D	C	Repeated run. Scorer was available.

\*Runs not included in data analysis.

Tab. 3.25: Zusammenfassung der Experimente. Die Position zeigt an, welche Gruppe (C=Kontrollgruppe, M=Musik, N=Rauschen) in welcher Kammer (A–D) untergebracht war. In jeder Kammer befanden sich je 50 Okra- und Zucchini-Samen (Tab. aus Creath 2002, S. 115).

## 3.11.2 Methoden

### 3.11.2.1 Wachstumskammern

Identische Kammern, bestehend aus 32 gall (ca. 121 l) fassenden Plastikcontainern mit Deckel, wurden zur Schallisolierung mit akustischem Schaum ausgestattet. In einem umgedrehten Blumentopf wurde in jeder Kammer ein 4-Inch-Lautsprecher platziert; 6 l Sand am Boden sollten die Samen von direkten mechanischen Vibrationen vom Lautsprecher isolieren. Petrischalen mit den Samen wurden in einem versiegelten Plastikbehälter im oberen Teil der Kammer mittels einer Aufhängung platziert. Jeder dieser Behälter war mit einem Datenlogger zur Aufzeichnung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit ausgestattet (Abb. 3.55).

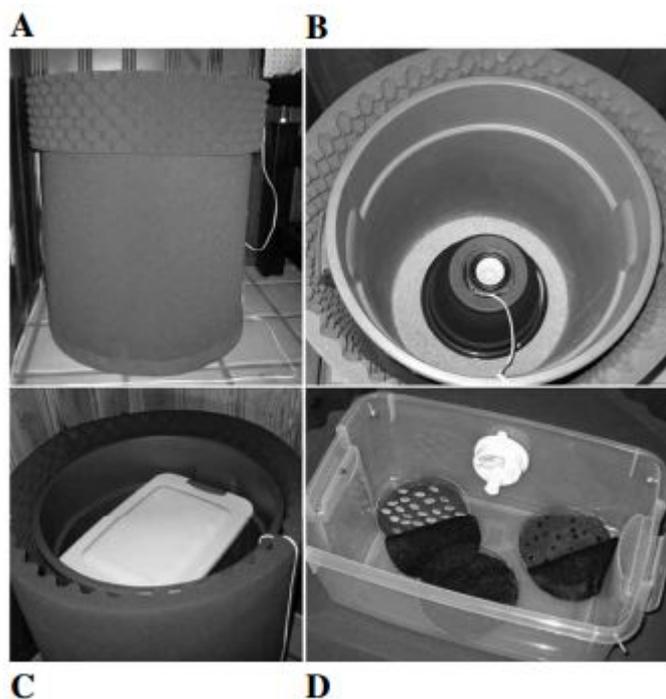


Abb. 3.55: Wachstumskammern. A: Außenansicht des Behälters, umgeben mit akustischem Dämmstoff. B: Lautsprecher am Boden. C: Samenbehälter. D: Offener Samenbehälter mit Petrischalen und Datenlogger (Abb. aus Creath & Schwartz, 2004, S. 115).

Alle Wachstumskammern wurden so weit wie möglich voneinander entfernt aufgestellt, um gegenseitige akustische oder vibratorische Beeinflussung zu vermeiden und ausreichend Luftbewegung zu erlauben, wobei auf ausreichenden Abstand zur Wand geachtet wurde, um von Klimaanlage und Kühlgerät verursachte Resonanzen zu vermeiden (ebd., S. 55).

### 3.11.2.2 Samen

Je 25 nach Uniformität und Unversehrtheit ausgesuchte Zucchini- und Okra-Samen, die in allen Experimenten außer V aus derselben Charge stammten, wurden zur Eliminierung etwaiger Kontaminanten mit 1 %iger Bleichlösung gespült und zur Quellung 30 Minuten in Leitungswasser eingeweicht. Anschließend wurden die Samen in je zwei Petrischalen platziert, mit dunklem desinfizierten Filz umgeben und mit 30 ml Wasser bewässert. Eine dritte Schale enthielt insgesamt 50 Samen, je 25 von jeder Spezies; diese wurde im Samenbehälter jeweils mittig platziert (Abb. 3.57). Es wurde darauf geachtet, dass die Samen in Richtung des magnetischen Nordpols ausgerichtet waren. Nach jedem Versuchsdurchgang wurden Petrischalen und Samenbehälter mit Bleichlösung behandelt, um Kontamination zu vermeiden; ab dem dritten Experiment wurden bei der Handhabung der Samen zudem sterile Handschuhe und Pinzetten verwendet (ebd., S. 53f; 59-63).

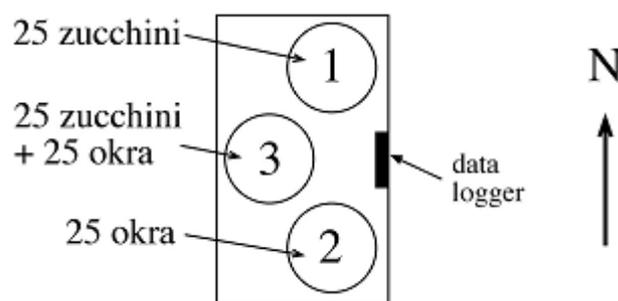


Abb. 3.56: Anordnung der Petrischalen im Samenbehälter (Abb. aus Creath 2002, S. 61).

### *3.11.2.3 Schallbedingungen*

Die Schallsignale wurden mittels 4-Inch-Lautsprecher (Fostex), verbunden mit einem 2-Kanal-Verstärker (Rolls RA235), 2 CD-Spielern und einer Zeitschaltuhr als Mono-Signal in die Wachstumskammern übermittelt. Anfangs erhielt auch die Kontrollkammer einen Lautsprecher, der an einen Verstärker angeschlossen war. Der Schallpegel wurde mit einem Radio Shack-Messgerät überprüft und das Signal so eingestellt, dass in jeder Kammer ein durchschnittlicher Pegel von 72 dB herrschte (ebd., S. 56-58).

Als nichtmusikalisches Schallsignal wurde rosa Rauschen von einer Behringer-Audio-Test-CD verwendet, das Musiksinal bestand aus 74 Minuten größtenteils improvisierter, melodischer und rhythmisch undefinierter Flötenmusik in Pentatonik ohne Perkussion (eine Übersicht über die verwendete Musik wird in Tab. 3.27 gegeben); zum Teil waren Klänge aus der Natur (Wind oder Vogelgesang) und in zwei Nummern zudem Sopransaxophon und eine männliche Bassstimme zu hören (ebd., S. 34-36).

Die Komplexität musikalischer Signale demonstriert Creath anhand einer quantitativen Analyse zweier CD-Titel (Abb. 3.57 und 3.59). Anhand eines 14-sekündigen Exzerpts weist sie auf Besonderheiten in Phrasierung und Tonhöhengestaltung hin (Abb. 3.47) (ebd., S. 32-45).

Track	Length	Title	Instrumentation & Prominent Sounds	Key Center	Most Frequent Pitches <sup>5</sup>
1	1:33	Within the Rocks <sup>1</sup>	NA flute <sup>3</sup> , birds, water	C	G B <sup>b</sup>
2	3:26	Anasazi Journeys <sup>1</sup>	NA & alto flutes, water	F <sup>#</sup>	B F <sup>#</sup> C <sup>#</sup>
3	2:04	Dreamer's Chant <sup>2</sup>	NA flute	B <sup>b</sup>	G D
4	1:46	Fortress Rock <sup>1</sup>	C flute	G	G D
5	2:08	Raven Rendezvous <sup>1</sup>	Soprano sax, Raven	C	C G
6	2:02	Solstice Prayer <sup>2</sup>	NA flute	F <sup>#</sup>	B F <sup>#</sup> C <sup>#</sup>
7	1:51	Pennyroyal Canyon <sup>1</sup>	Two NA flutes, thunder	G	G D
8	3:04	Medicine Keeper <sup>1</sup>	Voice, NA flute, water	D	A D
9	1:59	Atoká, Atoká <sup>2</sup>	NA flute	F <sup>#</sup>	B F <sup>#</sup>
10	3:18	Tunnel Canyon <sup>1</sup>	NA flute, ti-tze <sup>4</sup>	D	D G
11	1:52	Spider Woman's Home <sup>1</sup>	C flute & NA flute	E <sup>b</sup>	E <sup>b</sup> B <sup>b</sup>
12	5:59	Coyote Rainbows <sup>2</sup>	NA flute	F <sup>#</sup>	A F <sup>#</sup>
13	2:39	Bad Trail <sup>1</sup>	Soprano sax, birds	C	C G
14	2:00	Canyon Breeze <sup>1</sup>	NA flute	E <sup>b</sup>	B <sup>b</sup> E <sup>b</sup>
15	3:27	The Young Old Warrior <sup>2</sup>	NA flute, synth echo	C	G C D
16	2:22	Tsegi <sup>1</sup>	Two NA flutes	G	G D
17	2:33	Shaman Winds 1 <sup>1</sup>	NA & alto flutes	B	B F <sup>#</sup>
18	3:44	Red Streaking into the Water <sup>2</sup>	NA flute, synth echo	F <sup>#</sup>	F <sup>#</sup> C <sup>#</sup>
19	2:09	Shaman Winds 2 <sup>1</sup>	C flute, birds	B <sup>b</sup>	D G F
20	3:20	Wild Cherry Canyon <sup>1</sup>	C flute, & NA flute, water	C	C G
21	3:36	Willow People <sup>2</sup>	NA flute, synth echo	G	G D
22	1:54	Beehive <sup>1</sup>	NA flute, natural echo	G	G D
23	2:19	Pot-Shards & Pictographs <sup>1</sup>	Two NA flutes	F <sup>#</sup>	F <sup>#</sup> C <sup>#</sup>
24	5:47	Rainbow World <sup>2</sup>	Voice, synth echo	F <sup>#</sup>	B A F <sup>#</sup>
25	2:23	Life Surrounds Me <sup>1</sup>	C flute, natural echo	C	G D C
26	1:57	Pele's Thunderbird <sup>1</sup>	Nose flute, jet plane	A	A D
27	2:17	Amazing Grace <sup>2</sup>	NA flute, synth echo	B	B F <sup>#</sup>

<sup>1</sup> *Inside Canyon de Chelly*, Paul Horn and R. Carlos Nakai (CR-7019, Canyon Records, 1997).

<sup>2</sup> *Emergence: Songs of the Rainbow World*, R. Carlos Nakai (CR-609, Canyon Records, 1992).

<sup>3</sup> Unless otherwise indicated, selections are for solo instruments. NA = Native American flute.

<sup>4</sup> A ti-tze is a Chinese bamboo transverse flute.

<sup>5</sup> Determined from audio recording by PsySound 2.05.

Tab. 3.26: Für die Keimstudien verwendete Musik (Tab. aus ebd., S. 113).

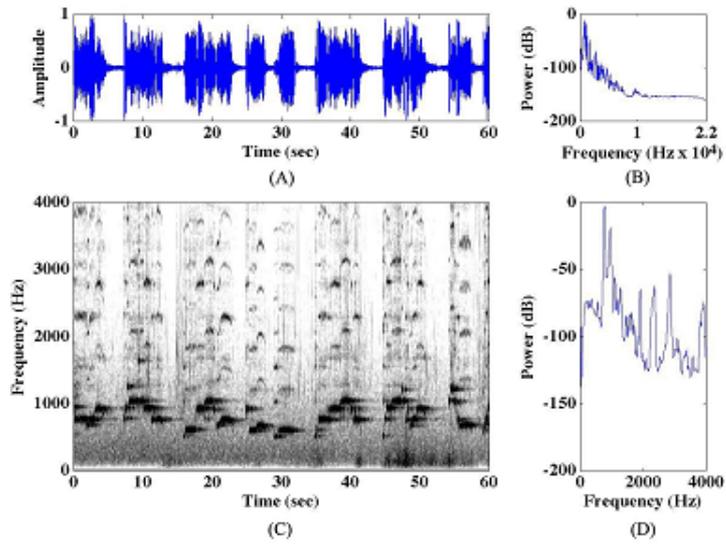


Abb. 3.57: Analyse des Titels „Within the Rocks“ für Indianische Flöte. (A): Oszillogramm, das die Phrasen erkennen lässt. (B): Leistungsdichtespektrum. (C) Spektrogramm, das Phrasen und Teiltöne anzeigt. (D) Leistungsdichtespektrum, gemittelt über 1 Sekunde (Abb. aus ebd., S. 38).

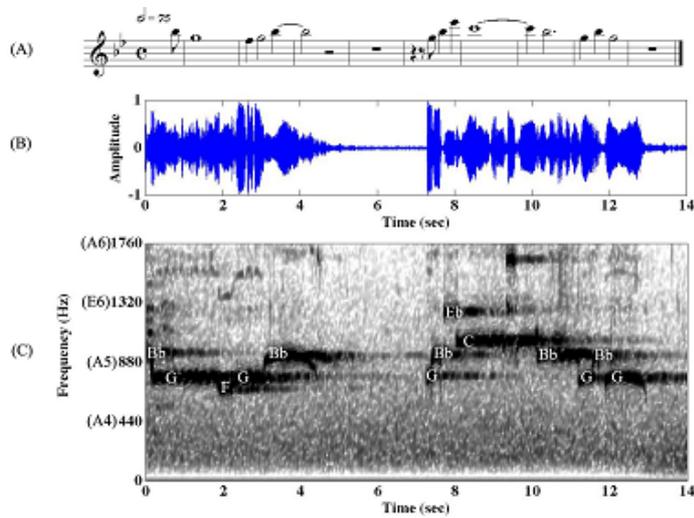


Abb. 3.58: Die ersten zwei Phrasen aus dem Titel „Within the Rocks“. (A): Transkription in Notenschrift. (B): Oszillogramm. (C): Spektrogramm (Abb. aus ebd., S. 39).

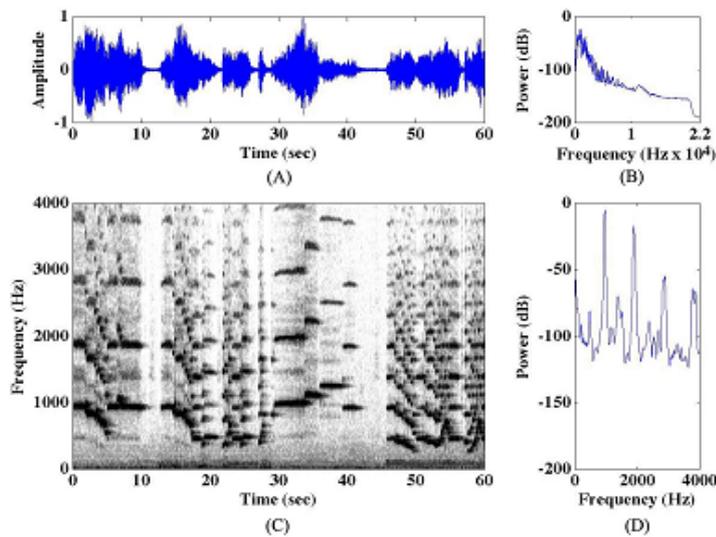


Abb. 3.59: „Anasazi Journeys“, ein Duett für Indianische Flöte und Altflöte. (A): Oszillogramm. (B): Spektrale Leistungsdichte (LDS) über den gesamten Frequenzbereich. (C): Spektrogramm. (D): LDS, gemittelt über die erste Sekunde (Abb. aus ebd., S. 44).

### 3.11.3 Datenerhebung

Jeder Testlauf begann um 9.00 Uhr morgens. Alle 12 Stunden wurde die Anzahl der gekeimten Samen erhoben, indem pro Messung je ein Samencontainer aus der Kammer genommen wurde; jede Petrischale wurde fotografiert, die Zahl der gekeimten Samen notiert und mit einer abgemessenen Wassermenge versehen. Während der ersten drei Experimente wurde „nach Bedarf“ bewässert, wobei nach Aussehen beurteilt wurde: „If the seeds looked drier they got more water than if they looked wetter“ (ebd., S. 63). Während Experiment III wurde die Wassermenge standardisiert: zu Beginn wurden jeweils 30 ml, nach den ersten 12 Stunden 10 ml und danach 3,0 ml (Zucchini) bzw. 2,0 ml (Okra) verabreicht (ebd., S. 64).

Der Beginn der Keimung galt als vollzogen, sobald die →Radicula die Samenschale durchbrach. Da dieser Zeitpunkt oft schwer zu bestimmen ist, wurden die Samen ab Experiment IV als „definitiv gekeimt“, „möglicherweise gekeimt“, „möglicherweise nicht gekeimt“ und „definitiv nicht gekeimt“ gekennzeichnet. Als Gesamtkeim-

zahl in der Analyse wurde die Nummer der definitiv und möglicherweise gekeimten Samen verwendet. Eine unbeteiligte Person, die nicht über den Versuch informiert war, wurde ab dem dritten Experiment zum Zählen der gekeimten Samen eingesetzt (ebd., S. 64-67).

Von insgesamt 5.100 Samen wurden 3.600 für die Datenanalyse verwendet (ebd.S. 69). Neben der Keimungsrate wurde auch die Positionierung im Samenbehälter gekennzeichnet, wobei jede Gruppe von 25 Samen als ein Testsubjekt betrachtet wurde (Tab. 3.27). Daten zu Temperaturentwicklung und relativer Luftfeuchtigkeit wurden mittels Datenlogger in den Samenbehältern erfasst (ebd., S. 53f).

Gruppe	Spezies	Position	Zahl der gekeimten Samen						
			0 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
1	Zucchini	außen	0	0	0	7	11	16	17
2	Okra	außen	0	0	8	14	16	20	22
3	Zucchini	Mitte	0	0	0	3	5	9	11
4	Okra	Mitte	0	0	9	13	15	19	23

Tab. 3.27: Erhobene Daten aus einer Wachstumskammer während eines Durchlaufs (Tab. aus ebd., S. 68).

### 3.11.4 Ergebnisse

In der Analyse wurde neben der Keimraten in Abhängigkeit der Kondition (Musik, Rauschen oder Stille) auch mögliche Zusammenhänge zwischen Keimverhalten und Temperatur, Position der Wachstumskammer untersucht sowie geprüft, ob Bias-Effekte beim Zählvorgang der gekeimten Samen berücksichtigt werden müssen. Ferner wurde analysiert, ob Unterschiede zwischen den Reizen „Musik“ und „Rauschen“ festzustellen sind.

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde eine 5-Weg-ANOVA (gemischtes Modell) angewandt. Es wurde ein hoch signifikanter Haupteffekt ( $p < 0,002$ ) zwischen Musik und Kontrollgruppe über alle Experimente, Zeit, Position der Petrischalen und Samentypen festgestellt. Musik erhöhte also die Keimrate gegenüber der Kontrollgruppe, zudem war die Gesamtzahl an gekeimten Samen in der Musikgrup-

pe höher als in der Kontrollgruppe. Wie Abb. 3.60 zeigt, stieg der Gesamt-Anteil an gekeimten Samen mit dem Experiment, was mit dem saisonal bedingten Anstieg der Temperaturen erklärt wird. Ab Experiment III wird die Kurve aufgrund der verbesserten Kontrolle der Temperaturen flacher.

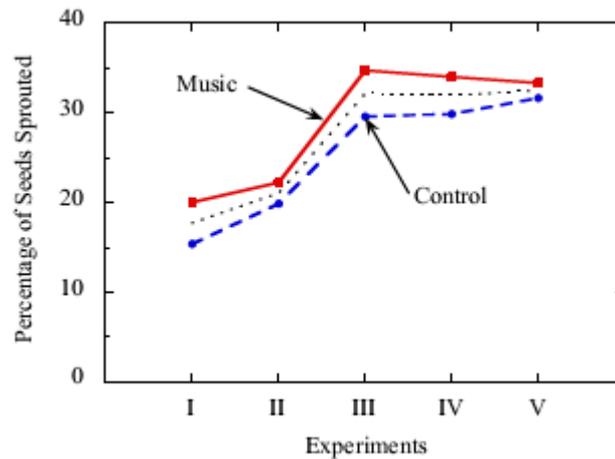


Abb. 3.60: Anteil der gekeimten Samen, gemittelt über Samentyp (Spezies), Position der Petrischalen (innen bzw. außen) und Zeit vs. Experiment. Die Datenpunkte der Experimente I-III repräsentieren jeweils 200 Samen pro Datenpunkt, jene der Experimente IV und V jeweils 400. Die punktierte Linie stellt den Durchschnitt dar (Abb. aus ebd., S. 78).

Die weitere Analyse ergab, dass die Position der Petrischale im Samenbehälter keinen Einfluss auf die Keimrate hatte. Okra-Samen keimten unabhängig von den akustischen Bedingungen generell früher als Zucchini-Samen. Musik wirkte sich ähnlich in beiden Spezies aus, wie aus den Keimraten (Abb. 3.61) ersichtlich ist (ebd., S. 70–82). Keine Auswirkung auf das Keimverhalten hatte zudem die Position der Wachstumskammern im Raum (ebd., S. 87–90). Ein Vergleich der von der Versuchsleiterin und der später eingesetzten unabhängigen Person durchgeführten Zählungen der Experimente IV und V zeigten, dass die Zählung unvoreingenommen erfolgte (ebd., S. 90–93).

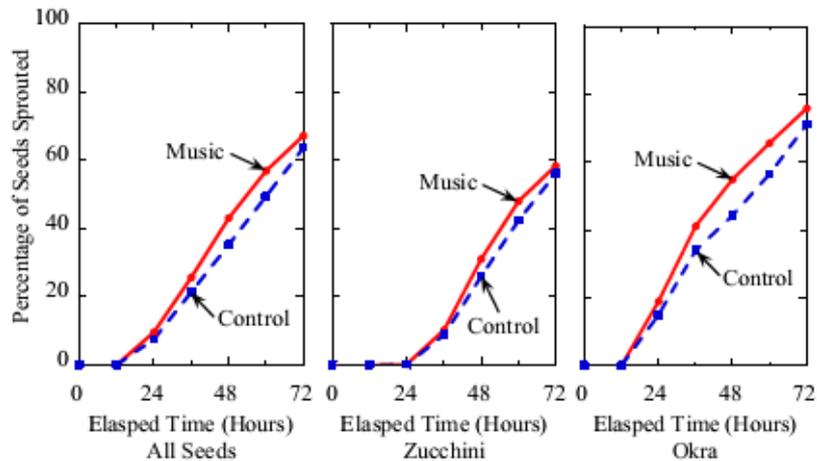


Abb. 3.61: Anteil an gekeimten Okra- und Zucchini-Samen in Musik- und Kontrollgruppe, gemittelt über Position der Petrischalen und alle Experimente (Abb. aus ebd., S. 80).

Die statistische Auswertung der Temperaturdaten erfolgte über eine 3-Weg-ANOVA (gemischtes Modell). Die Temperatur stieg saisonal bedingt mit jedem Experiment an, ausgenommen in Experiment V, in welchem die Kontrolle der Umgebungstemperatur verbessert wurde. Die diurnalen Temperaturschwankungen sind in Abb. 3.62 und 3.63 dargestellt, wo auch die „Phasenverschiebung“ in Experiment V ersichtlich ist – bei hohen Außentemperaturen herrschten in der Wachstumskammer niedrige Temperaturen und vice versa. Trotz der Temperaturschwankungen war die 3-Weg-Interaktion zwischen Kondition, Experiment und Zeit nicht signifikant, der Haupteffekt kann daher nicht auf die Temperaturbedingungen zurückgeführt werden (ebd., S. 82-87).

Musik und rosa Rauschen wirkten sich unterschiedlich auf die Keimrate aus, wie eine Varianzanalyse der Ergebnisse aus den Experimenten IV und V ergab. Der Effekt war nach 48 Stunden am größten (Tab. 3.28). In Experiment IV trat der Unterschied zwischen der Wirkung von Musik und Rauschen deutlicher zutage als in Experiment V, was laut Creath auf die unterschiedlichen Temperaturbedingungen zurückzuführen sei (Musik wurde im Vergleich zu allen anderen Experimenten „phasenverschoben“ dargeboten).

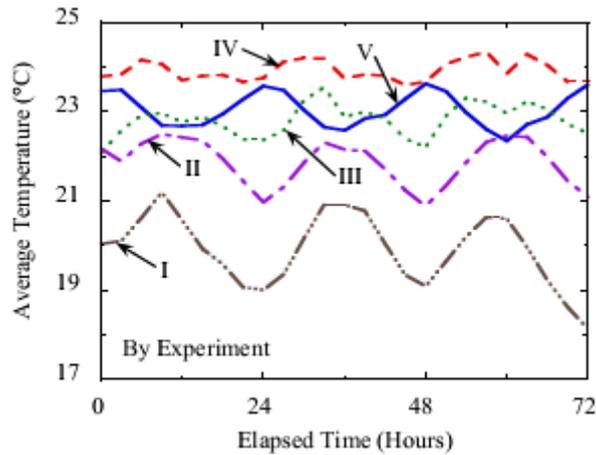


Abb. 3.62: Tageszeitbedingte Temperaturschwankungen, gemittelt über Kondition und alle Experimente (Abb. aus ebd., S. 84).

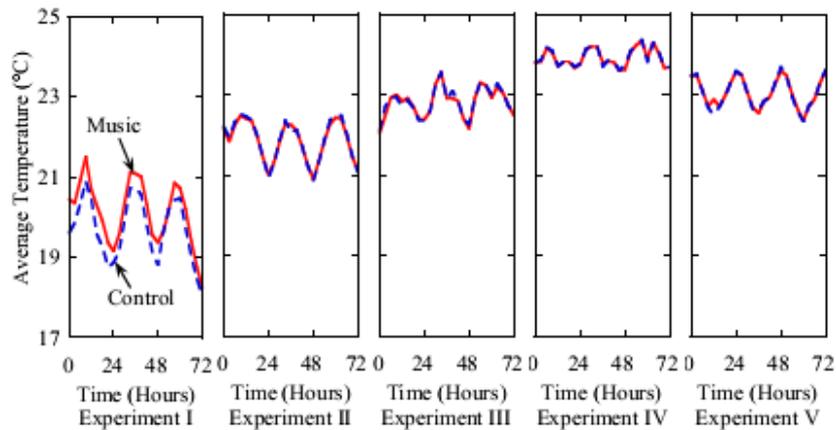


Abb. 3.63: Temperaturschwankungen in Musik- und Kontrollgruppe, gemittelt über alle Durchläufe jedes Experiments (Abb. aus ebd., S. 85).

Rosa Rauschen zeigte im Vergleich zur Kontrollgruppe keine signifikanten Auswirkungen, der Effekt war zudem im Unterschied von der Musik-Gruppe unabhängig von der Temperaturverschiebung (Abb. 3.64). Creath schließt daraus, dass die Wirkung der Musik an natürliche tägliche Temperaturzyklen gekoppelt sein könnte, da Pflanzen nach ihrer Ansicht eher tagsüber (also tendenziell bei Wärme) wachsen,

wenn auch die Umgebung der Pflanze natürlicherweise geräuschvoller als bei Nacht ist (ebd., S. 103) – dies ist angesichts der Vielfalt an Spezies und Einflussfaktoren auf Wachstum und Keimung allerdings eine recht allgemeine Aussage; zudem existieren Hinweise, dass Pflanzen am aktivsten in der Morgen- bzw. Abenddämmerung wachsen (vgl. etwa Michael et al. 2008).

Bedingung	Gesamtanteil gekeimter Samen	Unterschied relativ zur Kontrollgruppe
Musik	33,73%	9,40%
Rauschen	32,88%	6,70%
Kontrolle	30,82%	--

Tab. 3.28: Gesamtanteil gekeimter Samen pro Bedingung (Musik, Rauschen, Stille) in Experiment IV und V vs. Kontrollgruppe nach 48 h (Tab. nach ebd., S. 97).

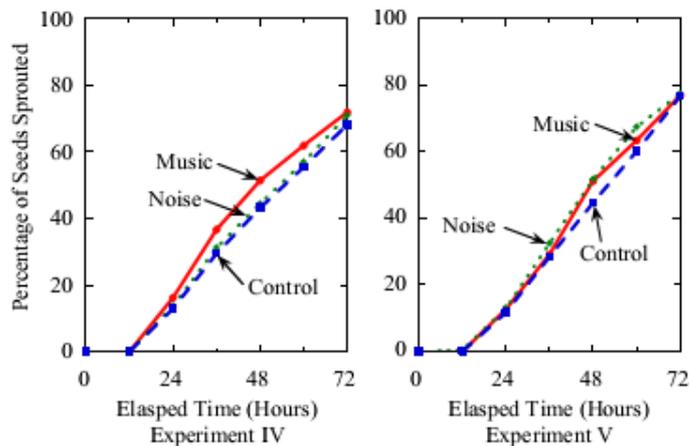


Abb. 3.64: Anteil gekeimter Samen, gemittelt über jeweils 4 Durchläufe in Experimenten IV und V (Abb. aus ebd., S. 98).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass diese spezifische Musikauswahl eine reproduzierbare Wirkung auf die Keimung hat, unabhängig von Samentyp, Petrischale, Temperatur, Position und Zählvorgang. Der Vergleich mit nichtmusikalischem

Schall zeigt, dass es Unterschiede im Keimungsverhalten bei unterschiedlichen Schallbedingungen gibt; die Daten deuten darauf hin, dass diese Effekte mit den natürlichen Zyklen von Temperatur und Schallbedingungen zusammenhängen. Die Interaktionen stellten sich als sehr komplex heraus. Allerdings unterstütze diese Komplexität laut Creath die Hypothese, dass Musik die Keimung von Samen mehr als nichtmusikalischer Schall unterstützt, verglichen mit einer stillen Kontrollgruppe (ebd., S. 103). Die Autorin betont den festgestellten Zusammenhang zwischen Schalleinwirkung und Temperatur als wichtigen Aspekt, der freilich noch weiter untersucht werden müsse. Es sei zu überlegen, ob dieser auf natürliche Zyklen zurückgeführt werden könne, so Creath, die als Beispiel die mögliche Wirkung des Vogelgesangs im Frühling nennt (ebd., S. 109). Ob sich die Wirkung von Vogelgesang im Freifeld allerdings mit dem Effekt von Musikbeschallung mit Schalldruckpegeln um 72 dB in einer geschlossenen Kammer vergleichen lässt, ist fraglich; neben Temperatur und akustischen Einflüssen spielen bei phänologischen Phänomenen<sup>4</sup> sicherlich weitere Faktoren wie etwa die frühjahreszeitliche Veränderung von Licht- und Wasserverhältnissen eine wichtige Rolle.

Als mögliche Erklärung für den Effekt von Musik auf die Keimung von Samen nennt Creath auch die Anregung von Resonanzen in biologischen Systemen; Vibrationen könnten über Temperaturänderungen zur Beschleunigung von Stoffwechselfvorgängen führen: „Resonances from musical sound vibration can couple directly into biological systems because they are composed mostly of water“ (ebd., S. 111). Physiologische Effekte, welche durch Resonanzen zustande kommen, seien möglicherweise eher die Regel als die Ausnahme – auch und gerade in Bezug auf die Wirkung von Musik auf den Menschen könnte dies eine Rolle spielen (ebd., S. 110). Laut Creath sollte bei weiteren Forschungen die Frage nach dem Einfluss von Rhythmus, Tempo und Tonhöhe berücksichtigt werden.

---

4 Phänomenologie: die Kunde von den im Laufe der Jahreszeiten veränderlichen Entwicklungserscheinungen der Tier- und Pflanzenwelt (Schubert 1993, S. 381).

### 3.12 Experimente in Asien mit *Chrysanthemum*

Diese Studien, die zwischen 2001 und 2004 in China durchgeführt wurden, widmen sich vorwiegend Veränderungen im →Kallus-Gewebe in *Chrysanthemum* unter Schallwellenwirkung. Dabei waren vorwiegend biochemische Vorgänge in den Kallus-Zellen von Interesse, wie Veränderungen der Konzentration von →IAA-Oxidase (Yiyao et al. 2002a), →Nukleinsäuren, (Xiujuan et al. 2003a), löslichem Protein (ebd.; Zhao et al. 2003) und der Aktivität der Pflanzenhormone →IAA und →ABA (Bochu et al. 2004); ferner wurde die Aktivität von K<sup>+</sup>-Ionenkanälen untersucht (Zhao et al. 2002a) sowie Auswirkungen auf die Verformbarkeit der →Zellmembran (Bochu et al. 2001) und den →Zellzyklus (Xiujuan et al. 2003b). Yi et al. untersuchten, ob sich Schallwellen auf die Aktivität der →H<sup>+</sup>-ATPase (2003a) und auf die Mikrostruktur der Zellmembran in Wurzelzellen auswirkt (2003b); ferner wurde der Stoffwechsel der Wurzeln beobachtet und die Permeabilität der Zellmembran gemessen (2003c). Daneben entwickelten die Forscher ein Modell für die Schallwellenausbreitung in *Chrysanthemum*-Kallus-Gewebe (Yiyao et al. 2002b) sowie ein „optimales Design“ für die Stimulation des Wachstums von Kallus bei *Chrysanthemum* (Jiping et al. 2003). Hintergrund für die Untersuchung dieser Parameter ist durchwegs die Annahme, dass die Pflanze durch die Schallwellen mechanischem Stress ausgesetzt ist, der sich auf die Zellen und in der Folge auf Stoffwechsel -und Wachstumsprozesse auswirkt; oder, wie Bochu et al. (2001) es ausdrücken:

It was found long before that the mechanical stress has evident effects on the plant growth. For example, some plants' stems grow shorter and thicker after they were whacked (ebd., S. 321).

Gearbeitet wurde vorwiegend mit Organ- und Gewebekulturen (vgl. Kap. 2.2.3., S. 18). Die Kultivierung von Kallus erfolgte in allen Studien auf solidem →Murashige-Skoog-(MS-)Nährmedium, dem in den meisten Fällen synthetische Phytohormone (Naphthyllessigsäure und Benzylaminopurin) zugesetzt wurde. Das Gewebe wurde 10 bis 14 Tage lang in einem beleuchteten Inkubator bei 25–26° C kultiviert. In den meisten Fällen ist nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt die Beschallung be-

gann, nur Zhao et al. (2002b) erwähnen, dass fünf Tage nach der Inokulation des Kulturmediums mit der Schallbehandlung begonnen wurde (ebd., S. 330). Neben Kalluskulturen wurden auch Organkulturen angelegt. Dazu wurden →Explantate von gut wachsenden Keimlingen in Flaschen mit MS-Nährmedium bei 24–26° C in einem beleuchteten Inkubator kultiviert; Details zu Lichtperiode, Lichtstärke und relativer Feuchtigkeit werden lediglich bei Bochu et al. (2004) angegeben (ebd., S. 108). Die Zahl der jeweils untersuchten Kulturen ist in keiner der Studien vermerkt. In Studien mit Keimlingen inokulierte man Sprossachsen von Keimlingen in Glas kolben mit 20 ml MS-Nährmedium und kultivierte sie anschließend im Inkubator bei 26° C (Yi et al. 2003a, S. 66).

Alle Autoren außer Yi et al. (2003a) beziehen sich auf einen eigens für die Versuche konstruierten Schallgenerator, meist als „Sound apparatus“ oder auch als „Strong sound field system“ (Yiyao et al. 2002a, S. 322) bezeichnet. Wie aus der in mehreren Studien abgebildeten schematischen Darstellung in Abb. 3.65 zu ersehen, scheint der Lautsprecher außerhalb der Wachstumskammer angebracht zu sein; befremdlich ist, dass der Verstärker der Abbildung nach unkorrekterweise vor den Oszillator geschaltet ist. Bei Yiyao et al. (2002a) ist angegeben, dass der „Apparat“ in ca. 20 cm Entfernung von den Pflanzen aufgestellt war (ebd., S. 322). In allen Publikationen finden sich zwar Dezibel-Angaben, doch wird weder explizit angeführt, ob es sich hierbei um Schalldruckpegel handelt, noch, in welcher Weise die Messung erfolgte.

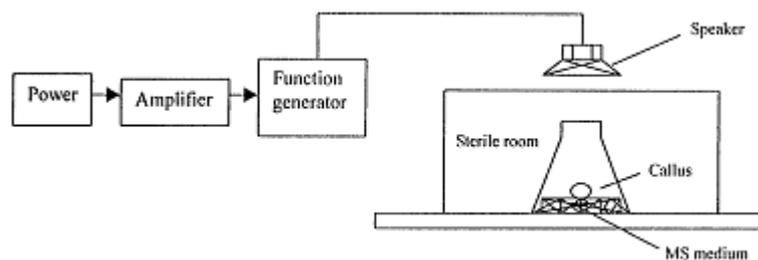


Abb. 3.65: „The strong sound field apparatus“ (Abb. aus Bochu et al. 2001, S. 322; vgl. auch Yiyao et al. 2002a, S. 322; Xiujian 2003a, S. 60; Zhao et al. 2003, S. 144).

Untersucht wurde die Wirkung von Sinustönen unterschiedlicher Frequenzen und Intensitäten auf verschiedene biochemische und physiologische Parameter, die Hinweise aus der Forschung zufolge eine Rolle in der Stressreaktion und beim Wachstum von Pflanzen haben könnten (für Erläuterungen zu den besprochenen Parametern sei an dieser Stelle auf die Ausführungen in Kap. 2.1.2 bzw. das Glossar im Anhang verwiesen).

### 3.12.1 Deformierbarkeit der Zellmembran

Ziel dieses Versuchs von Bochu et al. (2001) ist es, festzustellen, ob die Behandlung mit Schallfrequenzen von 80, 800 und 8.000 Hz bei 100 dB zu einer Veränderung des Elastizitätsmoduls  $\mu$  und des Viskositätskoeffizienten  $\eta$  der Zellmembran führt. Zunächst wurden aus den schallbehandelten Kallus-Zellen die  $\rightarrow$ Protoplasten extrahiert, um Zellen ohne Zellwand zu erhalten, diese wurden anschließend mit Colchicin (hemmt die Umbildung von  $\rightarrow$ Mikrotubuli) und Cytochalasin (beeinflusst die Formation von  $\rightarrow$ Mikrofilamenten) behandelt. Festgestellt wurden diese Parameter anhand der Mikropipetten-Aspirationstechnik; dabei wird die Oberfläche einer Zelle in eine dünne Glaskapillare (Mikropipette) gesaugt und die Einsauglänge der Membran in die Glasröhre gemessen (Abb. 3.66) (ebd., S. 322f).

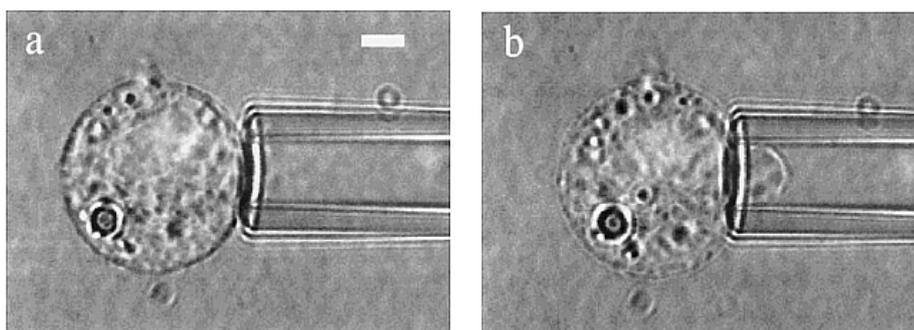


Abb. 3.66: Mikropipetten-Aspirationstest zur Messung des Elastizitätsmoduls einer Zelle. Die Pipette wird auf die Zellmembran aufgesetzt und ein negativer Druck appliziert (a). Die Zellmembran verformt sich und wird in die Pipette gesaugt (b) (Abb. aus Jones et al. 1999, S. 122).

Es wurde festgestellt, dass die Biegesteifigkeit der Zellmembran bei akustischer Stimulation mit steigender Frequenz zunimmt. Die Zugabe von Colchicin schien dabei keinen Einfluss zu haben, während die Verformbarkeit unter Cytochalasin-Einwirkung ähnlich jener der Kontrollgruppe blieb. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich das →Cytoskelett unter Schalleinwirkung umbildet; die Steifigkeit der Zellmembran nahm auch trotz der Hemmung der Mikrotubuli-Umbildung durch Colchicin zu, blieb aber gleich bei Hemmung der Formation der Mikrofilamente (ebd., S. 323f). Die Forscher schließen daraus, dass für die Zunahme der Rigidität der Zellmembran unter Schalleinwirkung die Umbildung der Mikrofilamente verantwortlich ist, weisen aber darauf hin, dass weitere Faktoren, welche die Verformbarkeit der Zellmembran beeinflussen, erst erforscht werden müssen (ebd., S. 325).

### 3.12.2 Enzyme, Protein, Calcium-Absorptionsrate

Anhand der Aktivität von →SOD, →IAA-Oxidase, dem Gehalt an löslichem Protein und der Calcium-Absorptionsrate untersuchten (Yiyao et al. 2002a) die Wirkung von Schall unterschiedlicher Intensität und unterschiedlicher Frequenz auf das Wachstum von *Chrysanthemum*-Kallusgewebe. In einer Versuchsreihe wurde dazu ein 800-Hz-Signal in der Intensität variiert (90, 95, 100, 105 und 110 dB), in einem zweiten Experiment blieb die Intensität mit 100 dB gleich, während pro Gruppe die Frequenz verändert wurde (80, 800 und 8.000 Hz). Die Beschallung erfolgte zweimal täglich 30 Minuten lang über einen Zeitraum von 30 Tagen. Anschließend wurden die Messdaten erhoben; die Forscher verweisen bei der Beschreibung der Methoden auf die Literatur (Giannopolitis & Ries 1977; einige der zitierten Publikationen sind augenscheinlich in China erschienen und nicht zugänglich) (Yiyao et al., S. 322f).

Die Resultate zeigten, dass mit steigender Intensität und Frequenz eine Zunahme in allen Messparametern einhergeht, außer bei der IAA-Oxidase-Aktivität, die sich umgekehrt zu den übrigen Indices verhielt, was sich wiederum begünstigend auf das Wachstum auswirkt, da bei geringerer Oxidase mehr IAA vorhanden ist; der Effekt kehrte sich allerdings um, wenn die Marke von 100 dB bzw. 800 Hz überschritten wurde. Die Autoren schließen daraus, dass für die Stimulation des Wachs-

tums von *Chrysanthemum*-Kallus eine optimale Frequenz und Intensität existiert, die bei 800 Hz und 100 dB liegt (ebd., S. 323).

Die Mechanismen hinter dieser Wirkung sind unklar; die Autoren spekulieren, dass Schallsignale die kritische Temperatur für Phasenübergänge verändern könnten, wodurch sich die Fluidität der Zellwand und -membran erhöhen könnte und Zellwachstum und -teilung erleichtern würde. Andererseits könnte die Veränderung des elektrischen Potentials der Zellmembran und somit die Aktivität der Ionenkanäle und der Stofftransport beeinflusst werden (ebd., S. 325).

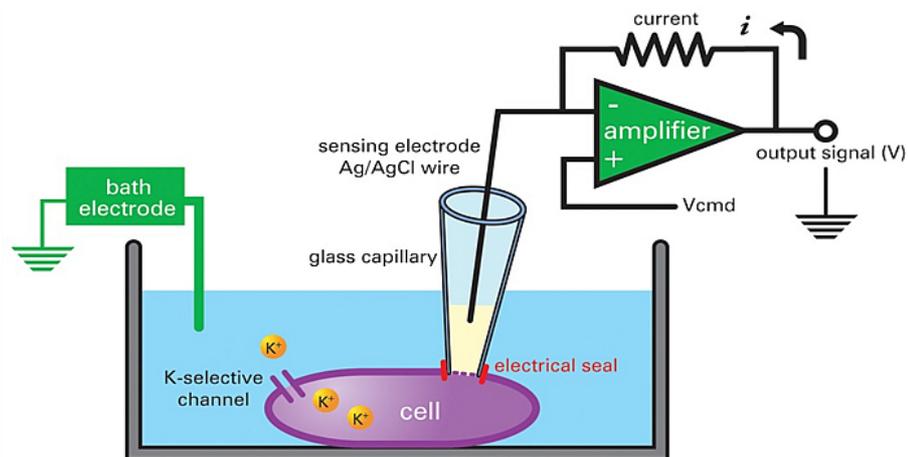


Abb. 3.67: Schematische Darstellung der Patch-Clamp-Technik. Eine Mikropipette (Glaskapillare) wird dazu auf die Zellmembran gesetzt (Abb. aus Clare 2010: Targeting ion channels for drug discovery. <http://www.discoverymedicine.com/Jeffrey-J-Clare/2010/03/24/targeting-ion-channels-for-drug-discovery> [22.12.2012]).

### 3.12.3 K<sup>+</sup>-Ionenkanäle

In den von Zhao et al. (2002b) durchgeführten Experimenten zur Untersuchung des Einflusses von Schallstimuli auf die Aktivität der K<sup>+</sup>-Ionenkanäle wurde Kallusgewebe 14 Tage lang 2-mal täglich 30 Minuten lang mit einem 1.000-Hz-Signal beschallt. Anschließend wurden die Protoplasten mittels Beigabe von Zellulase (und nicht Zellulose, wie die Autoren fälschlicherweise angeben), Pektinase und Rinderalbumin und anschließender Zentrifugation isoliert (ebd., S. 330). Die Stromstärken

durch einen einzelnen Ionenkanal ermittelte man durch Anwendung der so genannten Patch-Clamp-Technik, bei der eine Art Spannungsklemme an die Zellmembran angelegt wird. Eine schematische Darstellung des Vorgangs ist in Abb. 3.67 zu sehen. Durch Zugabe von Tetraethylammonium-Ionen ( $\text{TEA}^+$ ), welche spezifisch die Aktivität der  $\text{K}^+$ -Kanäle blockieren, wurde sichergestellt, dass tatsächlich der  $\text{K}^+$ -Ionenkanal untersucht wurde (ebd., S. 330f).

Die Häufigkeit der Öffnungen des  $\text{K}^+$ -Ionenkanals war nach der Stimulation deutlich (um etwa 50 %) erhöht. Dieses Ergebnis ist signifikant bei  $p < 0,001$ , allerdings ist nichts über die Anzahl der Experimente und die Größe der Stichproben bekannt (ebd., S. 330). Die vermehrte Öffnung der Kanäle führe zu einer Hyperpolarisation der Zellmembran, wodurch sich der  $\rightarrow$ Turgordruck der Zelle ändern und in der Folge eine Kette weiterer physiologischer Vorgänge auslösen könnte. Möglicherweise werde die Aktivität der  $\text{K}^+$ -Kanäle aber durch Veränderungen im Cytoskelett und nicht direkt durch Schall beeinflusst, so die Autoren (ebd., S. 332f).

#### **3.12.4 Wachstumsrate, lösliches Protein, löslicher Zucker**

Weitere Wachstumsparameter untersuchten Zhao et al. (2003). Dazu wurden Kalluskulturen aus Sprossgewebe kultiviert und 14 Tage lang zweimal täglich mit verschiedenen Schallfrequenzen unterschiedlicher Intensität behandelt – genauere Angaben sind in der Publikation nicht vorhanden (ebd., S. 144). Anschließend wurde die Frischmasse der Proben erhoben und die Wachstumsrate über den Quotient aus der Differenz zwischen den Frischmassen nach und vor der Stimulation und Zeit bestimmt. Den Gehalt an löslichem Protein ermittelten die Forscher mittels der Methode nach Bradford (Bindung der Proteine an den Farbstoff Coomassie Blue – vgl. Metzner 1982, S. 50 bzw. Bradford 1976), die Konzentration des löslichen Zuckers wurde ebenfalls über Kolorimetrie festgestellt (Zhao et al. 2003, S. 144f).

Die Kallus-Zellen schienen am besten auf Schallsignale mit 1.000 Hz und 100 dB zu reagieren: Wachstumsrate und Gehalt an löslichem Protein und Zucker stiegen mit zunehmender Frequenz und Intensität an; der Effekt kehrte sich ab einer Frequenz von 1.000 Hz und einem Schallpegel von 100 dB um (Abb. 3.68-3.71) (ebd., S. 145f).

Die Autoren erklären sich den Effekt damit, dass Energie in Form mechanischer Stimulation durch die Schallwellen in die Zelle transferiert wird (ebd., S. 146).

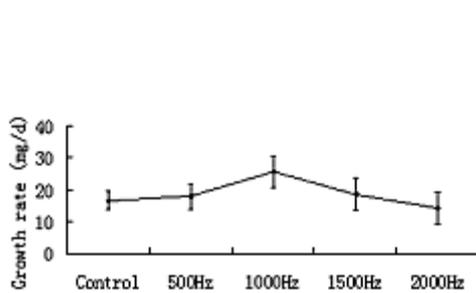


Abb. 3.68: Effekt eines Signals mit 100 dB und unterschiedlichen Frequenzen auf die Wachstumsrate, gemessen anhand der Frischmasse (Abb. aus Zhao et al. 2003, S. 145).

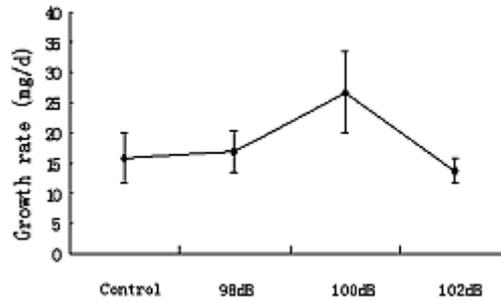


Abb. 3.69: Effekt eines 1.000 Hz-Signals mit wechselnder Intensität (Abb. aus ebd.).

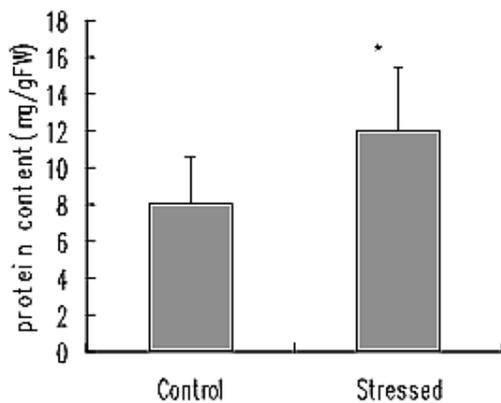


Abb. 3.70: Effekt der Schallstimulation auf den Proteingehalt (Abb. aus ebd.).

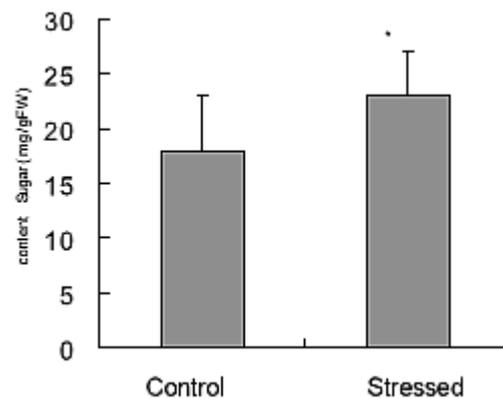


Abb. 3.71: Effekt der Schallstimulation auf den Zuckergehalt (Abb. aus ebd.).

### 3.12.6 Pflanzenhormone IAA und ABA

Zellen aus schallbehandeltem Kallus-Gewebe (1.400 Hz, 95 dB, zweimal täglich 30 Minuten über eine Periode von 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 und 18 Tagen) wurden mittels →ELISA auf →IAA- und →ABA-Gehalt analysiert. (Bochu et al. 2004, S. 108).

Die Versuchsgruppe wies signifikant höhere IAA- und niedrigere ABA-Konzentrationen als die Kontrollgruppe auf, wobei der Anstieg des IAA-Gehalts mit einer Abnah-

me von ABA korrelierte: Bis zum 12. Tag war ein Anstieg von IAA und danach ein Rückgang festzustellen (Abb. 3.72) (ebd., S. 109); ABA stieg in beiden Gruppen anfangs gleichermaßen an und nahm in der der behandelten Gruppe ab dem 6. Tag ab (Abb. 3.73) (ebd.). Das Verhältnis des IAA- zum ABA-Gehalt war in den Versuchspflanzen um 125 % höher als in der Kontrollgruppe, was die Differenzierung der Zellen begünstigen könnte (ebd., S. 110). Die Autoren stellten außerdem eine bessere Fähigkeit schallbehandelter Kallus-Kulturen zur Ausbildung neuer Sprosse fest. Eine mögliche Erklärung für den Effekt sehen die Autoren in der Aktivierung von Ionenkanälen durch mechanische Stimulation (ebd., S. 110f).

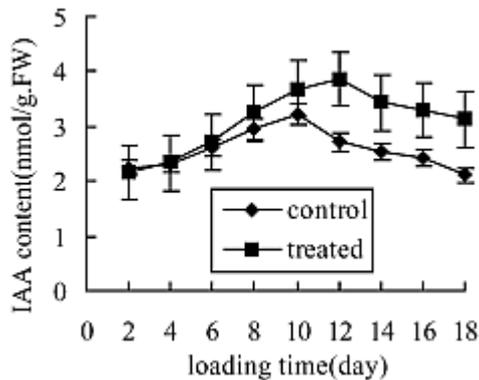


Abb. 3.72: Zeitverlauf der IAA-Level in *Chrysanthemum*-Kallus als Reaktion auf die Schallstimulation (Abb. aus Bochu et al. 2004, S. 109).

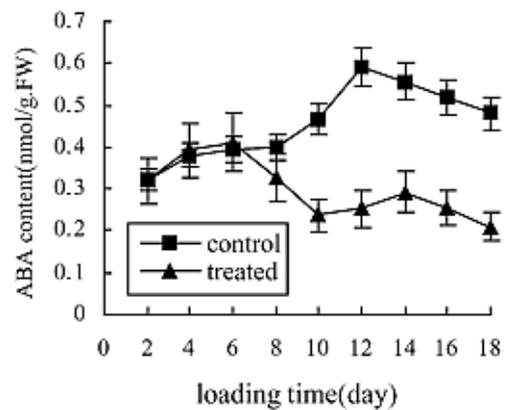


Abb. 3.73: Zeitverlauf der ABA-Level in *Chrysanthemum*-Kallusgewebe als Reaktion auf die Schallstimulation (Abb. aus ebd., S. 110).

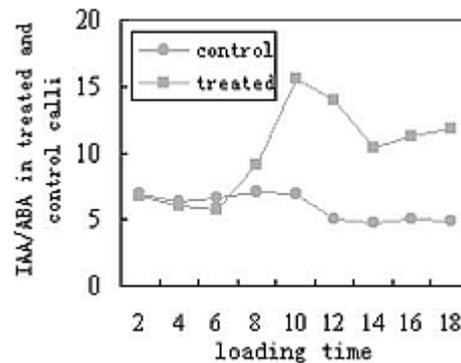


Abb. 3.74: Verhältnis IAA- und ABA-Aktivität nach Schallstimulation (Abb. aus ebd.).

### 3.12.7 Nukleinsäuren, lösliches Protein

Die kultivierten Sprosse von *Chrysanthemum* wurden 3 bis 15 Tage lang mit einem Schallsignal (1.000 Hz, 100 dB) behandelt (Xiujuan et al. 2003b). Danach wurden nach den Methoden u.a. von Nassuth et al. (2000); Mongelli et al. (2000) →DNA und →RNA extrahiert und der Gehalt der Nukleinsäuren bestimmt, zusätzlich wurde nach der bereits erwähnten Bradford-Methode der Gehalt an löslichem Protein erhoben (Xiujuan et al. 2003b), S. 100).

Wie Abb. 3.75 und 3.76 zeigen, veränderte sich der DNA-Gehalt kaum, während die Synthese von RNA und löslichem Protein beschleunigt war (ebd., S. 100f), wobei zwischen diesen Parametern offenbar ein Zusammenhang besteht; die erhöhte RNA-Synthese könnte darauf hindeuten, dass gewisse Gene bei Schalleinwirkung aktiviert werden, sodass der Gehalt an mRNA steigt und die Proteinproduktion anregt (ebd., S. 102). Hinweise auf erhöhte →Genexpression wurden von Jeong et al. (2007) gefunden. Des Weiteren wurde auch eine Veränderung des Zellzyklus bei neun Tage lang beschallten Zellen festgestellt (Xiujuan 2003c): Der Anteil der in S-Phase befindlichen Zellen, während der die Reduplikation der DNA stattfindet, nahm zu; in der Experimentalgruppe lag dieser Anteil nach neun Tagen bei 41,33 %, während er in der Kontrollgruppe 21,76 % ausmachte (ebd., S. 106). Die Zahl der aus-

gereiften, nicht mehr teilungsfähigen Zellen in Ruhephase ging hingegen zurück (ebd., S.104).

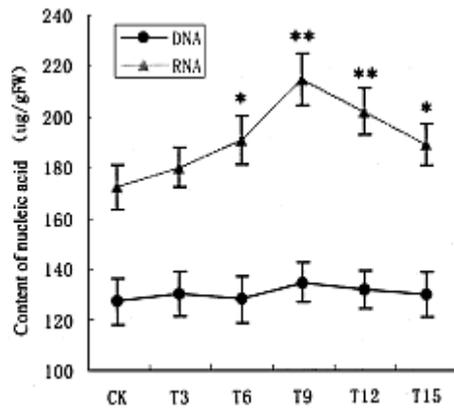


Abb. 3.75: Veränderungen des DNA- und RNA-Gehalts unter Schallstimulation (Abb. aus Xiujuan et al. 2003b, S. 100).

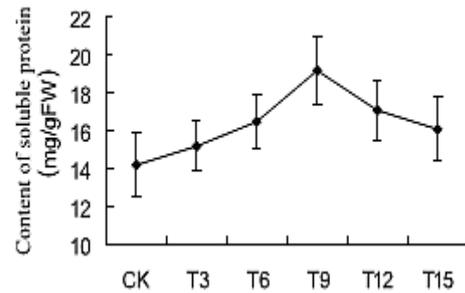


Abb. 3.76: Veränderung des Gehalts an löslichem Protein unter Schallstimulation (Abb. aus ebd., S. 101).

### 3.12.8 Wurzelzellen

Keimlinge, in MS-Nährlösung kultiviert, wurden einer Frequenz von 1.000 Hz bei 100 dB ausgesetzt. Die Messwerte für die  $\rightarrow$ H<sup>+</sup>-ATPase-Aktivität (Yi et al. 2003a), die Calciumchlorid-Konzentration, sowie der Gehalt an löslichem und gebundenem Protein wurden erfasst, daneben wurde anhand eines Farbttests die Wurzelaktivität bestimmt; dies geschah mittels der Reduktion von Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) zu seinem Formazan. TTC ist im oxidierten Zustand farblos und färbt sich bei Reduktion rot; dieses Pigment kann extrahiert und photometrisch gemessen werden (vgl. Altman 1976; Comas et al. 2000). Die Frischmasse der Wurzeln, Wurzellänge und Zahl der Wurzeln wurden jeweils nach 3, 6, 9, 12 und 15 Tagen erhoben (Yi et al. 2003a). Daneben wurde die Mikrostruktur der Zellmembran in den Wurzeln gemessen (Yi et al. 2003b) sowie die  $\rightarrow$ Amylase-Aktivität, der Gehalt an löslichem Zucker und die Durchlässigkeit (Permeabilität) der Zellmembran (Yi et al. 2003c).

Wie in den vorangegangenen Studien stieg auch hier die Konzentration der löslichen Proteine und erreichte den höchsten Wert am 9. Tag (Yi et al. 2003c, S. 116). Exakte

Werte sowie Angaben zur Entwicklung der Kontrollgruppe sind nicht verfügbar. Zuckergehalt und Amylase-Aktivität stiegen im Vergleich zur Kontrollgruppe (Abb. 3.77 und 3.78) signifikant an, laut den Autoren ein Hinweis auf erhöhte  $\rightarrow$ Katabolismus-Aktivität nach der Schallstimulation (ebd., S. 117f).

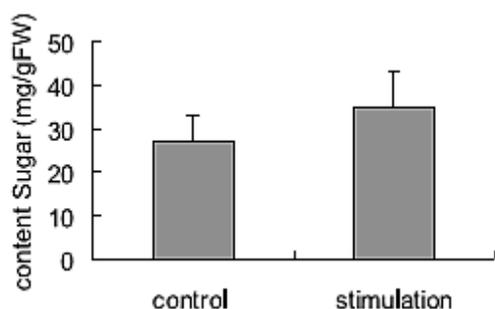


Abb. 3.77: Entwicklung des Zuckergehalts unter Schallstimulation (Abb. aus Yi et al. 2003c, S. 117).

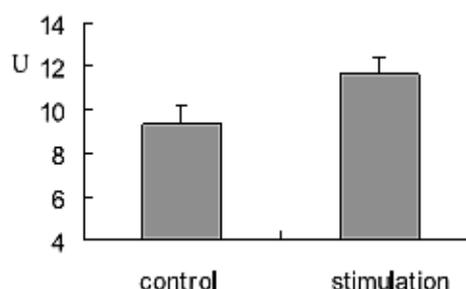


Abb. 3.78: Amylaseaktivität unter Schallstimulation (Abb. aus ebd.).

Die Werte für die Parameter Frischmasse, Wurzellänge, Zahl der Wurzeln und Wurzelaktivität sind in Tab. 3.18 dargestellt. Alle Werte außer der Zahl der Wurzeln verzeichneten laut den Autoren einen deutlichen Anstieg; obwohl sie sich in der Anzahl nicht merklich unterschieden, wird festgehalten, dass die Wurzeln dicker als in der Kontrollgruppe waren (Yi et al. 2003a, S. 67).

Die Aktivität von  $H^+$ -ATPase im  $\rightarrow$ Plasmalemma nahm gegenüber der Kontrollgruppe um 18,3 % zu (vgl. Abb. 3.79) (ebd.); später ist jedoch von einer Zunahme um 19,8 % die Rede (ebd., S. 68). Die  $H^+$ -ATPase-Aktivität war offenbar von der Anwesenheit von  $Ca^{2+}$ -Ionen abhängig, wie die Zugabe verschiedener Konzentrationen von Calciumchlorid ( $CaCl_2$ ) zum Nährmedium zeigte (Abb. 3.80). Zudem näherte sich das Aktivitätslevel von  $H^+$ -ATPase bei Blockade der  $Ca^{2+}$ -Ionen durch Zugabe des Calciumantagonisten Verapamil dem Niveau der Kontrollgruppe an (Abb. 3.81) (ebd., S. 67f). Ein weiterer Hinweis auf die  $Ca^{2+}$ -Abhängigkeit der ATPase zeigte sich bei Addition des Ionophors A23187 (ein Carrier-Molekül zum Transport von Ionen durch die Zellmembran) und des Proteinkinase-Inhibitors Staurosporin, das offenbar die

Phosphorylierung der H<sup>+</sup>-ATPase im Plasmalemma bremste (ebd., S. 69). Phosphorylierung und Dephosphorylierung von Proteinen spielen eine wichtige Rolle in der Signalübertragung in Zellen; der H<sup>+</sup>-ATPase könnte nach Meinung von Yi et al. ebenfalls eine wichtige Bedeutung zukommen (ebd.).

	Root fresh wt (g)	Root length (cm)	Number of root	Root activity (TTCH mg/g FW)
Control	1,35 ± 0,04	48,77 ± 1,12	10	12,6 ± 0,8
Stimulation	1,64 ± 0,06	63,55 ± 1,08	9	18,2 ± 0,7

Tab. 3.29: Auswirkung der Schallstimulation auf Wachstumsparameter in Chrysanthemum-Wurzeln (Tag. nach Yi et al. 2003a, S. 67).

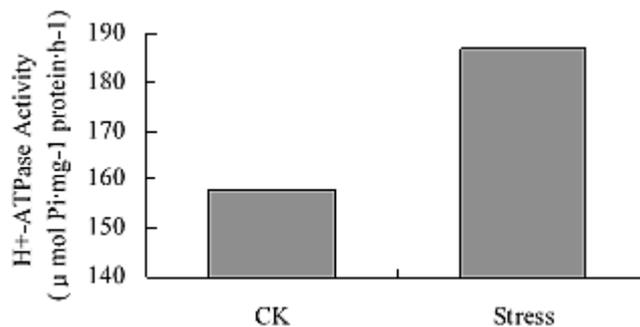


Abb. 3.79: H<sup>+</sup>-ATPase-Aktivität in der Zellmembran bei Kontrollbedingungen (rechts) und unter Schallstimulation (links) (Abb. aus ebd., S. 68).

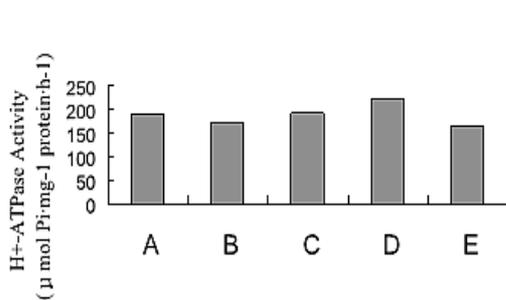


Abb. 3.80: Auswirkung verschiedener Calcium-Konzentrationen (A-E) auf die H<sup>+</sup>-AT-Pase-Aktivität der Zellmembran unter Schallstimulation (Abb. aus ebd.).

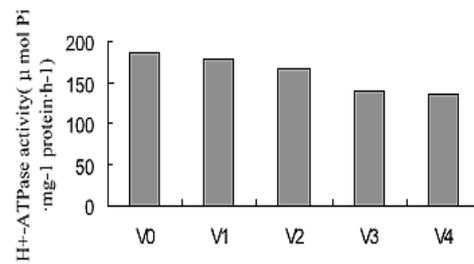


Abb. 3.81: Auswirkung verschiedener Konzentrationen von Verapamil (V0-V4) auf die H<sup>+</sup>-ATPase-Aktivität der Zellmembran unter Schallstimulation (Abb. aus ebd.).

Die Durchlässigkeit der Zellmembran wurde anhand der →Osmose in destilliertem Wasser (vgl. Cakmak et al. 1995) festgestellt; wie die Resultate zeigten, wurde die Permeabilität offenbar nicht durch die Schallwirkung verändert (Abb. 3.82) (Yi et al., 2003c, S. 116).

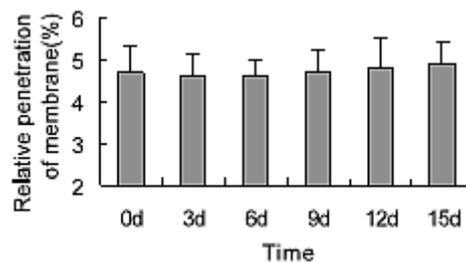


Abb. 3.82: Permeabilität des Plasmalemmas unter Schallstimulation (Abb. aus Yi et al. 2003c, S. 116).

Um auch etwaige Änderungen in der Mikrostruktur der Zellmembran festzustellen, wurde die Fluidität der Membran anhand der Fluoreszenzpolarisation des Farbstoffes DPH und der Fluoreszenzintensität des Farbstoffs MC540 untersucht (Yi et al., 2003b). DPH bindet an die Zellmembran; erhöht sich seine Beweglichkeit infolge

der Zunahme der Fluidität der Zellmembran, dadurch wird das vom Fluorophor emittierte Licht weniger polarisiert. MC540 fügt sich in die Lipidschicht der Membran ein; je lockerer die Phospholipide sitzen, je höher also die Fluidität, desto mehr Farbstoff gelangt in die Schicht, wodurch die Intensität der Fluoreszenz zunimmt. Die Fluoreszenzintensität ist also ein Maß für den „Kompaktizitätsgrad“ der Zellmembran. Die Ergebnisse in diesem Experiment deuten auf eine Zunahme der Fluidität hin (Abb. 3.83 und Fehler: Referenz nicht gefunden) (ebd., S. 112).

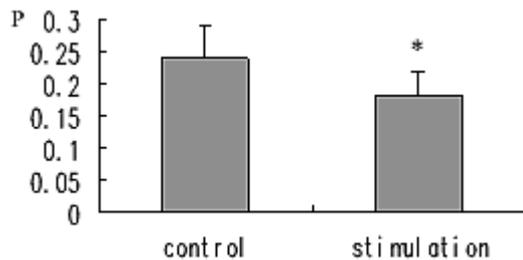


Abb. 3.83: DPH-Polarisation bei Kontroll- und Experimentalbedingungen (Abb. aus Yi et al. 2003b, S. 110).

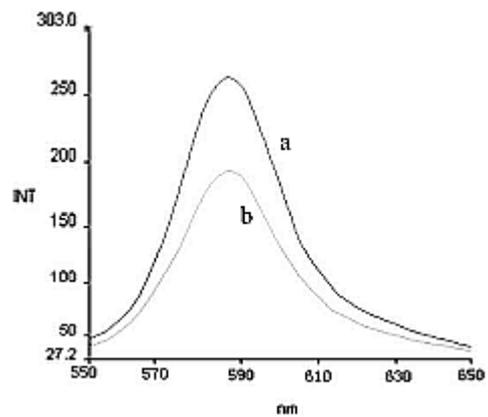


Abb. 3.84: MC540-Fluoreszenzintensität. (a) Stimulation, (b) Kontrollgruppe (Abb. aus ebd., S. 111).

Zur Analyse der →Sekundärstruktur wurde ein Infrarot-Spektrum des Membran-Proteins angefertigt. Anhand der Absorptionsbänder kann auf den Anteil der jeweiligen Strukturen ( $\alpha$ -Helix und  $\beta$ -Faltblatt) geschlossen werden. Die Auswertung ergab eine deutliche Beeinflussung des  $\beta$ -Faltblatts, woraus die Autoren auf eine Veränderung der sekundären Struktur des Membranproteins schließen, möglicherweise durch Selbstadjustierung oder auch infolge der Veränderung der Membran-Fluidität.



## 4 Diskussion und Ausblick

Im Hinblick auf die Fragestellung dieser Arbeit wurden verschiedene Studien über die Auswirkung von Schallwellen im Frequenzbereich des menschlichen Hörvermögens präsentiert und auf ihre wissenschaftliche Aussagekraft hin geprüft. Innerhalb der vergangenen 60 Jahre wurde eine relativ große Zahl an Studien zum Thema durchgeführt, mit dem scheinbar eindeutigen Ergebnis, dass bestimmte Arten von Musik bzw. Sinustöne bestimmter Frequenzen generell anregend auf das Wachstum von Pflanzen wirken. Tatsächlich ist es auffällig, dass die meisten Autoren von positiven Resultaten berichten, was unter anderem die Vermutung nährt, dass Studien mit negativen oder weniger eindeutigen Ergebnissen erst gar nicht publiziert wurden (vgl. Kap. 3.1).

Bei der Gegenüberstellung der vorliegenden Ergebnisse fällt zunächst auf, dass sich die einzelnen Studien nur begrenzt vergleichen lassen. Dies liegt einerseits daran, dass man verschiedene Parameter an unterschiedlichen Spezies untersucht hat. Andererseits erschweren die zahlreichen Variablen in den Versuchsbedingungen den Vergleich; so wurden für die Stimulation je nach Studie unterschiedliche Signale verwendet; die Dauern der Behandlungen sind nicht einheitlich. Auch hinsichtlich der Kontrolle der Experimentalbedingungen bestehen teils große Unterschiede, zudem ist aufgrund der in den überwiegenden Fällen unzureichenden Dokumentation der Vorgangsweise und des Versuchsaufbaus die Wiederholbarkeit der Versuche und daher die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben. Je nach Studie fehlt es an exakten Angaben zu Luft- oder Bodentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Bewässerung, Lichtverhältnissen, Belüftung, ferner zu Topfgröße oder -farbe und Kulturmedium (vgl. Kap. 2.2.3; s. auch Anhang A). Auch auf einen möglichen Positionseffekt innerhalb der Wachstumskammern wird selten eingegangen. Neben Measures, bei welcher relativ exakte Angaben zur Durchführung der Versuche vorhanden sind, geht einzig Creath (2002) umfassend und detailliert auf alle Faktoren ein, hier wird beispielsweise sogar die mögliche Wirkung des Erdmagnetfelds einkalkuliert und eine unabhängige Person zum Zählen der gekeimten Samen eingesetzt. Als einzige

nimmt sie eine Sterilisation der Samen vor. Neben dem Keimverhalten wurden Faktoren wie Temperaturverhältnisse und Position der Wachstumskammern überwacht und auf einen möglichen Einfluss auf die Keimung hin geprüft; einzig zur Veränderung der Luftfeuchtigkeit fehlen detaillierte Angaben. In vielen Fällen wird des Weiteren nicht angegeben, wie viele Pflanzen untersucht und welche statistischen Methoden verwendet wurden (etwa bei den Versuchen mit *Chrysanthemum*, siehe dazu Kap. 3.12). In manchen Experimenten wurden statt eines Faktors gleich mehrere verändert, etwa in den Studien von Hou & Mooneyham (1999a), in welchen neben Schallwellen auch Düngemittel zum Einsatz kamen; solcherart behandelte Pflanzen wurden Kontrollgruppen gegenübergestellt, welchen man weder Schall- noch Düngerbehandlung angedeihen ließ. Es ist fernerhin zu erwähnen, dass insbesondere den Autoren aus asiatischen Ländern in ihren Ausführungen nicht immer leicht zu folgen ist, was im Besonderen für die Artikel von Lee et al. (2002, 2003) gilt, die elektrische Spannungsänderungen als Reaktion auf die Stimulation mit den nicht näher bezeichneten Signalen „Green music“ und „Folk song“ sowie Sinuswellen verschiedener Frequenzen feststellten. Zur Dokumentation der jeweiligen Schallbedingungen ist anzumerken, dass durchwegs kaum auf mögliche Effekte infolge einer Körperschallkoppelung geachtet wurde; womöglich wurden Ergebnisse beobachtet, die nicht auf die vermeintlich untersuchten Luftschallwellen zurückzuführen sind. Der Großteil der Autoren gibt nicht bekannt, wie und wo die Schallquelle angebracht wurde. Zu den Schallgrößen werden oft unvollständige Angaben gemacht, so ist in manchen Fällen nicht eindeutig, ob von Schallintensitäts- oder von Schalldruckpegeln die Rede ist bzw. auf welche Bezugsgröße sich die Pegelangabe bezieht. Oft wurde nicht bedacht, dass für die Angabe des Schallpegels generell Informationen über den Abstand zur Schallquelle notwendig sind, vor allem, wenn der Versuch im Freien durchgeführt wird; der Schalldruck nimmt pro Abstandsverdoppelung um die Hälfte ab, dies bedeutet eine Verringerung des Schalldruckpegels um 6 dB bei jeder Distanzverdoppelung (Everest & Pohlmann 2009, S. 35f). Zum Teil wird überhaupt auf die Angabe von Schallpegeln verzichtet. Zusätzlich müsste auf die in den Wachstumskammern entstehenden Raummoden eingegangen werden,

die möglicherweise sogar für die Reaktion der Pflanzen verantwortlich sind. Vor diesem Hintergrund, und da aktuell keine Standards für solche speziellen Versuchsanordnungen existieren, scheint es im Hinblick auf künftige Studien notwendig, Standards für die Bewerksstellung und Dokumentation der Schallbedingungen für Versuche mit Schallsignalen und Pflanzen zu entwickeln.

Zu hinterfragen sind nicht zuletzt die Fragestellungen der Autoren. So scheinen manche Autoren, welche die Auswirkung von Musik auf das Pflanzenwachstum untersuchen, davon auszugehen, dass die Reaktion der Pflanze mit jener des Menschen vergleichbar ist (vgl. etwa Retallack 1973 und Ekici 2003). Generell ist festzuhalten, dass die Autoren bei der Untersuchung der Wirkung von Musik oft von unkorrekten Voraussetzungen bezüglich der Musikperzeption ausgehen; dass Pflanzen Musik in ähnlicher Weise wahrnehmen können wie der Mensch, erscheint sehr unwahrscheinlich, wenn man die Eigenschaften musikalischer Signale und die bei der menschlichen Musikperzeption involvierten physiologischen und kognitiven Prozesse einkalkuliert. Musik muss als ein in hohem Maße komplexer Hörreiz betrachtet werden, der auf die speziellen Eigenschaften des menschlichen Hörvorgangs ausgerichtet ist. Das Hören und Verstehen von Musik ist eine nicht weniger komplexe Leistung, für welche außerordentliche Fähigkeiten des Gehörsinns und kognitiver Strukturen notwendig sind. Die akustische Information muss analysiert, im auditiven Arbeitsgedächtnis zwischengespeichert und mit zeitlichen Abläufen sowie mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis in Zusammenhang gebracht werden (Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 170). Das Gehör führt bei der Wahrnehmung zugleich Analysen der spektralen Bestandteile sowie zeitlicher Schwankungen des Musiksignals durch, wobei eine Reihe physiologisch bedingter Faktoren bei der Wahrnehmung von Tonhöhen, Intervallen und Lautstärke beachtet werden müssen. Neben Periodizitätsdetektion, Frequenzgruppenbreiten und Verdeckungsphänomenen spielen in der Wahrnehmung auditive Muster- bzw. Gestalterkennungsprozesse („auditory scene analysis“, vgl. Bregman 1994) sowie spezialisierte kognitive, teils kulturell überformte Analysemechanismen, ferner emotionale und psychosoziale Aspekte eine Rolle. Die musikalischen Strukturen und Muster werden dabei nach den Re-

geln einer musikalischen Syntax als etwas den Einzelklängen Übergeordnetes wahrgenommen und in semantische Zusammenhänge eingeordnet (Hellbrück & Ellermeier 2004., S. 129; vgl. auch Koelsch & Schröger 2008; Fricke & Louven 2008; Fastl & Zwicker 2007). Zusammenfassend kann mit den Worten Brüderlins (1999) festgehalten werden, dass das Ton- und Klangempfinden nur sehr bedingt der physikalischen Realität entspricht (ebd., S. 106). Von derartigen Verarbeitungsstrukturen kann bei Pflanzen nicht ausgegangen werden. Vor diesen Hintergründen erscheint es fraglich, bei Versuchen mit Pflanzen eine Fragestellung zu wählen, die beispielsweise von „positiven“ oder „negativen“ Wirkungen verschiedener Musikstile (Retallack 1973), dem Effekt verschiedener musikalischer Elemente wie Melodieverlauf (Ekici 2007) oder dem musikalischen Tempo (Dickerson 1964) ausgeht. Daneben ist festzuhalten, dass Musik aufgrund der Vielzahl der sie bestimmenden Faktoren zum Einsatz als Testsignal in solchen Experimenten denkbar ungeeignet ist. Selbst wenn unter strenger Kontrolle aller Variablen eine deutliche Reaktion auf Musik zu beobachten ist, könnte man diese nicht auf ein nach menschlichem Ermessen charakteristisches Merkmal des Musikstücks, wie etwa die von Ekici et al. (2008) angeführten spezifischen Intervallstrukturen zurückführen – es ist fraglich, ob das Konzept „Musik“ (ohne hier näher auf eine komplette Definition einzugehen) überhaupt sinnvoll auf die Pflanzenwelt angewandt werden kann. Um überhaupt zuverlässige Aussagen über die Verarbeitung von Schallsignalen in pflanzlichen Organismen treffen zu können, erscheinen vor diesen Hintergründen die Experimente mit einfachen Sinussignalen oder Rauschen zweckvoller.

Zu den als problematisch anzusehenden Voraussetzungen als Basis für Pflanzenexperimente mit Musik können auch jene Versuche gezählt werden, die auf wissenschaftlich nicht haltbaren Konzepten basieren, wie beispielsweise der Existenz eines Meridiansystems (Hou 1994; Hou & Mooneyham 1999a, 1999b), der Annahme von „Heilenergien“ (Creath & Schwartz 2004) oder die Annahme einer durch „extrasensorische Perzeption“ gegebenen besonderen Wertschätzung der Pflanzen für religiöse Inhalte (Retallack 1973). Mit dieser Kritik soll nicht ein bloßes „Debunking“ (Eberlein 1991, S. 9) verfolgt werden soll; sie bezieht sich vielmehr auf den Umstand,

dass hier Experimente mit ohnehin schwer kontrollierbaren Variablen auf Basis wissenschaftlich nicht haltbarer Aussagen durchgeführt wurden. Zuweilen distanziert man sich sogar ausdrücklich vom wissenschaftlichen Kollektiv. Als für die Wissenschaft ebenfalls nicht zulässige Aussagen gelten die zahlreichen Erwähnungen von unanfechtbaren Beweisen („beyond a shadow of doubt“; vgl. etwa Singh 1962-1963; Singh & Nagarathna 1960-1961; Retallack 1973); die wissenschaftliche Methode basiert auf Hypothesen, die allenfalls widerlegt, aber niemals bewiesen werden können (vgl. Kap. 2.2.1), noch dazu zählen gerade jene Studien, in denen die Rede von „Beweisen“ ist, zu den am schlechtesten dokumentierten.

Vergleicht man die weiteren Erklärungsansätze der Autoren für die Mechanismen hinter der vermuteten Wirkung der Schallstimulation auf verschiedene Wachstumsparameter, so ist – neben Überlegungen zu ESP oder Akupunktur – generell die Auffassung vorzufinden, dass die durch Schallwellen bewirkten Effekte auf Resonanzen in Zellen und Geweben zurückzuführen sind, welche durch mechanische Stimulation infolge der Schall-Einwirkung zustande kommen. Angesichts der Komplexität biologischer Systeme muss davon ausgegangen werden, dass hier viele spezifische Annahmen bezüglich der beteiligten Mechanismen getroffen werden müssen. Zum Vergleich sei das Modell zur akustischen Pflanzen-Kommunikation von Gagliano (2012) erwähnt (vgl. Kap. 2.1.4); dieses basiert auf Zellvibrationen, die während der Ausbreitung durch das Gewebe verstärkt werden und nach der Vorstellung Gaglianos in weiterer Folge Informationen an Nachbarpflanzen übermitteln könnten. Bei diesem Modell sind allerdings noch einige Fragen ungeklärt. Mit neuen Erkenntnissen sollte aber in naher Zukunft zu rechnen sein; im Bereich der akustischen Pflanzenkommunikation werden laut Gagliano aktuell weitere Forschungsanstrengungen unternommen (persönliche Korrespondenz vom 14.12.2012; vgl. auch Gaglianos *Call for Studies* 2012).

Aus Sicht der Musikwissenschaft kann zusammenfassend gesagt werden, dass für die Wirkung von Musik auf Pflanzen keine wissenschaftlich verwertbaren Hinweise existieren. Weder verfügen Pflanzen über ein Gehör, noch über die entsprechenden Strukturen zum Verständnis von Musik. Selbst wenn sich tatsächlich Effek-

te manifestieren, so wären diese nur sehr schwer vorherzusagen; auch über die Wirkung von Musik auf Menschen kann ja aus naheliegenden Gründen keine pauschale Aussage getroffen werden. Zudem sind die vorliegenden Ergebnisse bei näherer Betrachtung aufgrund der meist ungenügend dokumentierten Versuchsbedingungen fragwürdig und angesichts der unterschiedlichen Versuchsanordnungen nicht vergleichbar.

## 5 Literatur

### 5.1 Printquellen

- Alpi, A., Amrhein, N., Bertl, A., Blatt, M.R., Blumwald, E., Cervone, F., Dainty, J., De Michelis, M.I., Epstein, E., Galston, A.W. et al. (2007): Plant neurobiology: No brain, no gain? In: Trends in plant science 12 (4), S. 135.
- Alscher, R.G. (2002): Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. In: Journal of Experimental Botany 53 (372), S. 1331-1341.
- Altman, F.P. (1976): Tetrazolium salts and formazans. In: Progress in histochemistry and cytochemistry 9 (3), S. 1-56.
- Anon. (1876a): Effect of music on plants. In: English mechanic and world of science Nr. 609 vom 24.11.1876, S. 270.
- Anon. (1876b): The effect of music on plants. In: The Birmingham Daily Post vom 22.12.1867, S. 5.
- Anon. (1876c): The effect of music on plants. In: The Manchester Evening News vom 27.12.1876, S. 3.
- Anon. (1900a): Musical plants. In: English Mechanic Nr. 1851 vom 14.9.1900, S. 120.
- Anon. (1900b): Music and plants. In: Chicago Tribune vom 26.12.1900, S. 6.
- Anon. (1931): Blumen, die keine Musik lieben. In: Zentralblatt für Okkultismus. Monatsschrift zur Erforschung der gesamten Geheimwissenschaften 24 (April 1931), S. 479.
- Anon. (1957): They „fertilize“ with music and plants grow bigger, better, faster. In: Farming Today Toronto, November 1957, s.p.
- Anon. (1960): Does music make plants grow faster? In: San Mateo Times vom 17.11.1960, S. 34.
- Anon. (1971): Plants as music critics are hardly scientific. In: European Stars and Stripes vom 21.2.1971, S. 5.
- Anon. (1975): House plants hate hard rock. In: New York Times vom 23.11.1975, S. 264.

- Anon. (2010): Kein Witz: Mozart-Musik soll den Abfall reduzieren. In: Heute vom 2.11.2010, S. 8.
- Arnqvist, G. & Wooster, D. (1995): Meta-analysis: Synthesizing research findings in ecology and evolution. In: Trends in Ecology & Evolution 10 (6), S. 236-240.
- Backster, C. (2003): Primary perception. Biocommunication with plants, living foods and human cells. Anza: White Rose Millennium Press.
- Baluška, F., Volkmann, D. & Menzel, D. (2005): Plant synapses: Actin-based domains for cell-to-cell communication. In: Trends in plant science 10 (3), S. 106-111.
- Baluška, F., Mancuso, S. & Volkmann, D. (Hg.) (2006): Communication in plants. Neuronal aspects of plant life. Heidelberg: Springer.
- Baluška, F. & Mancuso, S. (2007): Plant neurobiology as a paradigm shift not only in the plant sciences. In: Plant signaling & behavior 2 (4), S. 205-207.
- Baluška, F. & Mancuso, S. (2009): Plants and animals: Convergent evolution in action? In: F. Baluška (Hg.). Plant-Environment Interactions. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 285-301.
- Barlow, P. (2008): Reflections on „Plant neurobiology“. In: Bio systems 92 (2), S. 132-147.
- Battelle, P. (1970): „Music to grow plants by.“ Tune up tulips, try a march on the marigolds. In: San Antonio Light vom 5.7.1970, S. 5W.
- Berendt, J.-E. (1986): Nada Brahma. Die Welt ist Klang. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Biedermann, H. (1987): Das Undenkbare denken. Vom Ursprung des Lebens bis zum Weltuntergang. Gütersloh: Prisma-Verlag.
- Bochu, W., Hucheng, Z., Yiyao, L., Yi, J. & Sakanishi, A. (2001): The effects of alternative stress on the cell membrane deformability of chrysanthemum callus cells. In: Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 20 (4), S. 321-325.
- Bochu, W., Jiping, S., Biao, L., Jie L., Chuanren, D. (2004): Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the Chrysanthemum mature callus. In: Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 37 (3-4), S. 107-112.
- Borucki, H. (1993): Einführung in die Akustik. 3., erw. Auflage. Mannheim [u.a.]: BI-Wiss.-Verlag.
- Bose, J.C. (1927): Plant autographs and their revelations. New York: The Macmillan company.

- Braam, J. & Davis, R.W. (1990): Rain-, wind-, and touch-induced expression of calmodulin and calmodulin-related genes in Arabidopsis. In: *Cell* 60 (3), S. 357–364.
- Bradford, M.M. (1976): A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. In: *Analytical biochemistry* 72 (248-254), S. 248–254.
- Bregman, A. (1994): Auditory scene analysis. The perceptual organization of sound. Cambridge Massachusetts: MIT Press.
- Brenner, E.D., Stahlberg, R., Mancuso, S., Vivanco, J., Baluška, F. & Van Volkenburgh, E. (2006): Plant neurobiology: An integrated view of plant signaling. In: *Trends in plant science* 11 (8), S. 413–419.
- Brenner, E.D., Stahlberg, R., Mancuso, S., Baluška, F. & Van Volkenburgh, E. (2007): Response to Alpi et al.: Plant neurobiology: The gain is more than the name. In: *Trends in plant science* 12 (7), S. 285–286.
- Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit, J. W., Neuhaus, G. & Sonnewald, U. [Bearb.]; Strasburger, E. [Begr.] (<sup>6</sup>2008): Strasburger Lehrbuch der Botanik. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Brown, V. (1970): Retired dentist uses sound to grow plants. In: *Cedar Rapids Gazette vom 29.11.1970*, S. 43.
- Brüderlin, R. (<sup>6</sup>1999): Akustik für Musiker. Eine Einführung für Lernende, Ausübende und Musikliebhaber. Regensburg: Bosse.
- Cakmak, I., Kurz, H. & Marschner, H. (1995): Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in Boron deficient leaves of sunflower. In: *Physiologia plantarum* 95 (1), S. 11–18.
- Carlson, D.R. (1987): Process for treating plants. US-Patent Nr. 4680889.
- Carlson, D.R. (1988): Process for treating plants. EP-Patent Nr. 0071383B1.
- Carlson, D.R. (1989): Process for treating plants. US-Patent Nr. 4834789.
- Carlson, D.R. (1991): Process for treating plants. US-Patent Nr. 5043009.
- Chalker-Scott, L. (2008): The informed gardener. Seattle: University of Washington Press.
- Clapham, D.E. (2007): Calcium signaling. In: *Cell*. 131 (6), S. 1047–1058.

- Comas, L.H., Eissenstat, D.M. & Lakso, A.N. (2000): Assessing root death and root system dynamics in a study of grape canopy pruning. In: *New Phytologist* 147 (1), S. 171–178.
- Creath, K. (2002): Effects of Musical Sound on the Germination of Seeds. Dissertation, University of Arizona.
- Creath, K. & Schwartz, G.E. (2004): Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. In: *Journal of alternative and complementary medicine* 10 (1), S. 113–122.
- Csada, R.D., James, P.C. & Espie, R.H.M. (1996): The “File drawer problem” of non-significant results: does it apply to biological research? In: *Oikos* 76 (3), S. 591–593.
- Curtis, O. (1970): Music that kills plants. In: *Empire Magazine of the Denver Post* vom 21.6.1970, S. 8–11.
- Darwin, F. (1887): The life and letters of Charles Darwin. Including an autobiographical chapter. Bd. I. New York: D. Appleton and Company.
- DeFalco, T.A., Bender, K.W. & Snedden, W.A. (2010): Breaking the code: Ca<sup>2+</sup> sensors in plant signalling. In: *Biochemical Journal* 425 (1), S. 27–40.
- Dickerson, M. (1964): On the growth of pea, geranium and tomato under the influence of musical sounds. In: *Journal of the Annamalai University XXV (Part B – Sciences)*, S. 48; 135–143.
- Eberlein, G. (1991): Schulwissenschaft, Parawissenschaft, Pseudowissenschaft. Stuttgart: S. Hirzel; Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Ekici, N., Dane, F., Mamedova, Metin, I. & Huseyinov, M. (2007): The effects of different musical elements on root growth and mitosis in onion (*Allium cepa*) root apical meristem (musical and biological experimental study). In: *Asian Journal of plant sciences* 6 (2), S. 369–373.
- Engelberth, J., Alborn, H.T., Schmelz, E.A. & Tumlinson, J.H. (2004): Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101 (6), S. 1781–17855.
- Ernst, E. (1998): Acupuncture for back pain: A meta-analysis of randomized controlled trials. In: *Archives of internal medicine* 158 (20), S. 2235–2241.
- Evans, G. (1972): The quantitative analysis of plant growth. Berkeley, Los Angeles: University of California Press.

- Everest, F. A. & Pohlmann, K. C. (2009): *Master Handbook of Acoustics*. New York: McGraw-Hill.
- Ezzo, J., Berman, B., Hadhazy, V., Jadad, A.R., Lao, L. & Singh, B.B. (2000): is acupuncture effective for the treatment of chronic pain? A systematic review. In: *Pain* 86 (3), S. 217-225.
- Fastl, H. & Zwicker, E. (2007): *Psychoacoustics. Facts and models*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Firn, R. (2004): Plant intelligence: An alternative point of view. In: *Annals of botany*. 93 (4), S. 345-51.
- Fletcher, N. (1992): *Acoustic systems in biology*. New York: Oxford University Press.
- Fricke, J.P. & Louven, C. (2008): Psychoakustische Grundlagen des Musikhörens. In: H. Bruhn, R. Kopiez, & A. C. Lehmann (Hg.): *Musikpsychologie. Das neue Handbuch*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, S. 413-437.
- Gagliano, M., Mancuso, S. & Robert, D. (2012b): Towards understanding plant bioacoustics. In: *Trends in plant science* 17 (6), S. 323-325.
- Gagliano, M., Renton, M., Duvdevani, N., Timmins, M. & Mancuso, S. (2012c): Acoustic and magnetic communication in plants: Is it possible? In: *Plant signaling & behavior* 7 (10), S. 1346-8.
- Galland, P. & Pazur, A. (2005): Magnetoreception in plants. In: *Journal of Plant Research* 118 (6), S. 371-389.
- Garzón, F. C. (2007): The quest for cognition in plant neurobiology. In: *Plant signaling & behavior* 2 (4), S. 208-211.
- Garzón, P. C. & Keijzer, F. (2011): Plants: Adaptive behavior, root-brains, and minimal cognition. In: *Adaptive Behavior* 19 (3), S. 155-171.
- Giannopolitis, C.N. & Ries, S.K. (1977): Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. In: *Plant physiology*. 59 (2), S. 309-314.
- Gnanam, A. & Rajraman, R. (1961): Studies in the activation of carbon assimilation of blue-green alga *Lyngbya* by sound waves. In: *Proceedings of the forty-eight Indian Science Congress*. Roorkee 1961. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 341.

- Greenhalgh, T., Sciences, P. & Hospital, W. (1997): How to read a paper. Papers that summarise other papers (systematic reviews and meta-analyses). In: *BMJ* 315, S. 672-675.
- Gurevitch, J. & Hedges, L. V (1999): Statistical issues in ecological meta-analyses. In: *Ecology* 80 (4), S. 1142.
- Hageseth, G.T. (1974a): Effect of noise on the mathematical parameters that describe isothermal seed germination. In: *Plant physiology* 53 (4), S. 641-3.
- Hageseth, G.T. (1974b): Effect of sound on the germination rate of turnip seeds. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 55 (4), S. 1973-1974.
- Hall, D. (1997): *Musikalische Akustik. Ein Handbuch.* Mainz [u.a.]: Schott.
- Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004): *Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie.* 2., aktual. Aufl. Göttingen [u.a.]: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Hicks, C. (1963): Growing corn to music. In: *Popular mechanics* 119 (5), S. 118-121; 183.
- Hindemith, Paul (1938): *Unterweisung im Tonsatz.* Mainz: Schott.
- Hou, T.Z., Luan, J.Y., Wang, J.Y. & Li, M.D. (1994): Experimental evidence of a plant meridian system III: The sound characteristics of *Phylodendron (Alocasia)* and effects of Acupuncture on those properties. In: *The American Journal of Chinese Medicine* 22 (3-4), S. 205-214.
- Hou, T.Z. & Destito, J.S. (1995): Plant treatment. US-Patent Nr. 5731265.
- Hou, T.Z. & MooneyFham, R.E. (1999a): Applied studies of plant meridian system I. In: *The American Journal of Chinese Medicine* 27 (1), S. 1-10.
- Hou, T.Z. & Mooneyham, R.E. (1999b). Applied studies of plant meridian system II. *The American Journal of Chinese Medicine* 27 (2), S. 131-141.
- Jaffe, M.J. (1973): Thigmomorphogenesis. The response of plant growth and development to mechanical stimulation. In: *Planta* 114 (2), S. 143-157.
- Jaffe, M.J. (1976): Thigmomorphogenesis. A detailed characterization of the response of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to mechanical stimulation. In: *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 77 (5), S. 437-453.
- Jiping, S., Bochu, W., Meisheng, L., Hongyang, Z. & Xir, C. (2003): Optimal designs for sound wave stimulation on the growth conditions of *Chrysanthemum callus*. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 30 (1-2), S. 93-98.

- Jeong, M.-J., Shim, C.-K., Lee, J.-O., Kwon, H.-B., Kim, Y.-H., Lee, S.-K., Byun, M.-O. & Park, S.-C. (2007): Plant gene responses to frequency-specific sound signals. In: *Molecular breeding* 21 (2), S. 217–226.
- Johnson, K. a, Sistrunk, M.L., Polisensky, D.H. & Braam, J. (1998): *Arabidopsis thaliana* responses to mechanical stimulation do not require ETR1 or EIN2. In: *Plant physiology* 116 (2), S. 643–649.
- Jones, W.R., Ting-Bealf, H.P., Lee, G.M., Kelley, S.S., Hochmuth, R.M. & Guilak, F. (1999): Alterations in the Young's modulus and volumetric properties of chondrocytes isolated from normal and osteoarthritic human cartilage. In: *Journal of Biomechanics* 32 (2), S. 119–127.
- Karban, R. (2008): Plant behaviour and communication. In: *Ecology letters* 11 (7), S. 727–39.
- Keppler, E. & Hentrich, W. (1961): Versuche zur Anwendung von P<sup>32</sup> in der Mutationszüchtung bei Sommergerste. In: *Der Züchter* 31 (4), S. 162–172.
- Keyes, L.E. (1968). *Toning: The "Lost Word?". A New Concept in Healing.* Denver: Gentle Living Publications.
- Kikuta, S.B., Gullo, M.A., Nardini, A., Richter, H. & Salleo, S. (1997): Ultrasound acoustic emissions from dehydrating leaves of deciduous and evergreen trees. In: *Plant, cell & environment* 20 (11), S. 1381–1390.
- Klein, R.M. & Edsall, P.C. (1965): On the reported effects of sound on the growth of plants. *Bioscience* 15 (2), S. 125–126.
- Klemesrud, J. (1970): Plants serenaded every day – to aid growth. *New York Times* vom 3.8.1970, S. 40.
- Koelsch, S. & Schröger, E. (2008): Neurowissenschaftliche Grundlagen der Musikwahrnehmung. In: H. Bruhn, R. Kopiez, & A. C. Lehmann (Hg.). *Musikpsychologie. Das neue Handbuch.* Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, S. 393–413.
- Kopiez, R. (2008): Wirkungen von Musik. In: H. Bruhn, R. Kopiez, & A. C. Lehmann (Hg.). *Musikpsychologie. Das neue Handbuch.* Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, S. 525–547.
- Kutschera, U. (2002): *Prinzipien Der Pflanzenphysiologie.* Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

- Kuttruff, H. (2004): Akustik. Eine Einführung. Stuttgart, Leipzig: Hirzel.
- Laschimke, R., Sigmaringen-albstadt, F.H. & Burger, M. (2004): Acoustic emissions from transpiring plants – new results and conclusions. In: *Journal of Acoustic Emission* 22, S. 141–148.
- Laschimke, R., Burger, M. & Vallen, H. (2006): Acoustic emission analysis and experiments with physical model systems reveal a peculiar nature of the xylem tension. In: *Journal of plant physiology* 163 (10), S. 996–1007.
- Lee, K.Y., Hur, T.W., Lee, W.C. & Yun, S.J. (2002). Analysis of plants response to music signals. In: *Horticulture environment and biotechnology* 43 (1), S. 5–10.
- Lee, K.Y., Hur, T.W., Lee, W.C. & Yun, S.J. (2003). Analysis of plant response to frequency spectrum of audio signals. In: *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 44 (5), S. 560–564.
- Linde, K., Niemann, K., Schneider, A. & Meissner, K. (2010): How large are the nonspecific effects of acupuncture? A meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC medicine* 8 (1), S. 75.
- McCormack, E., Velasquez, L., Delk, N.A. & Braam, J. (2006): Touch-responsive behaviors and gene expression in plants. In: F. Baluška, S. Mancuso, & D. Volkmann (Hg.). *Communication in plants. Neuronal aspects in plant life*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 249–260.
- McDermott, J. & Hauser, M. (2004): Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. In: *Cognition* 94 (2), S. B11–21.
- Measures, M. & Weinberger, P. (1970): The effect of four audible sound frequencies on the growth of Marquis spring wheat. In: *Canadian journal of botany* 48 (3), S. 659–662.
- Measures, P. (1972): Effects of certain aspects of the environment on plant growth and development with special reference to audible sound and magnetic fields. Dissertation, National Library of Canada.
- Measures, M. & Weinberger, P. (1973): Effects of an audible sound frequency on total amino acids and major free alcohol-soluble amino acids of Rideau wheat grains. In: *Canadian journal of plant science* 53 (4), S. 737–742.
- Menagh, F. (1962): Are plants “music lovers”? Student’s experiments how they do respond. In: *Danville Register* vom 20.5.1962, S. 33.

- Meng, Q., Zhou, Q., Zheng, S. & Gao, Y. (2012): Responses on photosynthesis and variable chlorophyll fluorescence of *Fragaria ananassa* under sound wave. In: *Energy procedia* 16 (A), S. 346–352.
- Metzner, H. (1982): *Pflanzenphysiologische Versuche*. Stuttgart, New York: Fischer.
- Miehling, Klaus (2006): *Gewaltmusik – Musikgewalt. Populäre Musik und die Folgen*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Miller, D.L. (1983): The botanical effects of ultrasound: A review. In: *Environmental and experimental botany* 23 (1), S. 1–27.
- Ming-e, B., ShiRen, J., Nan, L., LiXing, H., WenBin, H. [u.a.] (2010): Effects of insect acoustic and music acoustic frequency on the growth of 6 kinds of vegetables. In: *Agricultural science & technology* 11 (3), S. 90–93.
- Mitchell, C.A. (1992): Modification of plant growth and development by acceleration and vibration: Concerns and opportunities for plant experimentation in orbiting spacecraft. In: *Advances in space research* 12 (1), S. 219–225.
- Mongelli, E., Pampuro, S., Coussio, J., Salomon, H. & Ciccía, G. (2000): Cytotoxic and DNA interaction activities of extracts from medicinal plants used in Argentina. In: *Journal of ethnopharmacology* 71 (1-2), S. 145–51.
- Nabors, M. (2007): *Botanik*. München, Boston, Mass. [u.a.]: Pearson Studium.
- Nassuth, A., Pollari, E., Helmecczy, K., Stewart, S. & Kofalvi, S.A. (2000): Improved RNA extraction and one-tube RT-PCR assay for simultaneous detection of control plant RNA plus several viruses in plant extracts. In: *Journal of Virological Methods* 90 (1), S. 37–49.
- Newton, P.E. (1971): The effect of sound on plant growth. In: *Journal of the Audio Engineering Society* 19 (3), S. 202–205.
- Novoplansky, A. (2009): Picking battles wisely. Plant behaviour under competition. In: *Plant, cell & environment* 32 (6), S. 726–41.
- Osenberg, C.W., Sarnelle, O., Cooper, S.D. & Holt, R.D. (1999): Resolving ecological questions through meta-analysis. Goals, metrics, and models. In: *Ecology* 80 (4), S. 1105–1117.
- Pagano, M. [unveröffentlicht]: N.N. Dissertation, Universität Florenz.

- Pannirselvam, S. (1960): On the effect of sound-waves on the carbon assimilation of Chara. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 392-393.
- Patel, A.D., Iversen, J.R., Bregman, M.R. & Schulz, I. (2009): Experimental evidence for synchronization to a musical beat in a nonhuman animal. In: Current biology 19 (10), S. 827-30.
- Peretti, P.O. & Kippschull, H. (1990): Influence of five types of music on social behaviors of mice, *Mus musculus*. In: Psychological Studies 35 (2), S. 98-103.
- Pfeffer, W. (1877): Osmotische Untersuchungen. Studien zur Zellmechanik. Leipzig: W. Engelmann.
- Ponniah, S. (1955): On the effect of musical sounds of stringed instruments on the growth of plants. In: Indian Science Congress Association. Proceedings of the forty-second session. Baroda 1955. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 255.
- Ponniah, S. (1956a): Further studies on the effect of musical sounds on the growth of plants. In: Proceedings of the forty-third Indian Science Congress. Agra 1956. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 272-273.
- Ponniah, S. (1956b): Observations on plants raised from seeds and clones of musically excited plants. In: Proceedings of the forty-third Indian Science Congress. Agra 1956. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 273.
- Ponniah, S. (1957a): Further studies on the effect of musical sound on the growth of plants. In: Indian Science Congress Association. In: Proceedings of the forty-fourth session. Calcutta 1957. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 273.
- Ponniah, S. (1957b): Further observations on histological changes in plants evoked by the musical excitation of violin. In: Proceedings of the forty-fourth session. Calcutta 1957. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 273.
- Ponniah, S. (1957c): Observations on the germination of seeds obtained from musically excited plants. In: Indian Science Congress Association. Proceedings of the forty-fourth session. Calcutta 1957. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 273.
- Ponniah, S. (1960a): On the effect of Recorded Sound-waves of flute on the growth of Pothos. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 395.

- Ponniah, S. (1960b): On the Response of *Tagetes erecta* Linn. to the Musical Sound of Violin. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 393.
- Poorter, H., Fiorani, F., Stitt, M., Schurr, U., Finck, A., Gibon, Y., Usadel, B., Munns, R., Atkin, O.K., Tardieu, F. & Pons, T.L. (2012): The art of growing plants for experimental purposes: a practical guide for the plant biologist. In: Functional Plant Biology 39 (11), S. 821–838.
- Qi, L., Teng, G., Hou, T., Zhu, B. & Liu, X. (2010): Influence of sound wave stimulation on the growth of strawberry in sunlight greenhouse. In: Computer and computing technologies in agriculture III. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 449–454.
- Qin, Y.C., Lee, W.C., Choi, Y.C. & Kim, T.W. (2003): Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures. In: Ultrasonics 41 (5), S. 407–411.
- Raghavan, R. (1961): On the activation of intermittent harmonic sound on carbon assimilation of *Lagarosiphon roxburghii* Benth. In: Proceedings of the forty-eighth Indian Science Congress. Roorkee 1961. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 339.
- Rangaswami Ayyangar, K. (1960a): A note on the effect of sound vibrations of tuning fork on the mitosis in *Ipomaea batatas* (sweet potato) and *Urginea indica* Kunth. (Indian squill). In: Journal of the Annamalai University XXII (B), S. 83–86.
- Rangaswami Ayyangar, K. (1960b): A note on the effect of sound vibrations of Tuning Fork on the mitosis in Sweet Potato (*Ipomaea batatas* Lam.). In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 393–394.
- Rangaswami Ayyangar, K. & Gnanam, A. (1961): Chromatogram analysis of the amino acids content of *Cosmos bipinnatus* excited by sound waves. In: Proceedings of the forty-eighth Indian Science Congress. Roorkee 1961. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 341.
- Rangaswami Ayyangar, K. (1964): Observations on the influence of sound waves on the growth vigour and reproductive phase in *Urginea indica* Kunth. In: Journal of the Annamalai University XXV (B), S. 41–45.
- Retallack, D.L. (1973): The sound of music and plants. Marina del Rey: DeVorss.
- Richardson, P.H. & Vincent, C.A. (1986): Acupuncture for the treatment of pain. A review of evaluative research. In: Pain 24 (1), S. 15–40.

- Riet, G., Kleunen, J. & Knipschild, P. (1990): Acupuncture and chronic pain. A criteria-based meta-analysis. In: *Journal of clinical epidemiology* 43 (11), S. 1191–1199.
- Ripley, A. (1971): Acid rock causes plants to cringe, die. In: *Arizona Republic* vom 17.2.1971, S.p.
- Sambraus, H.H. & Hecker, P.A. (1985): Zum Einfluß von Geräuschen auf die Milchleistung von Kühen. In: *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 98, S. 298–302.
- Scargle, J.D. (2000): Publication Bias. The “File drawer problem“ in scientific inference. In: *Journal of scientific exploration* 14 (1), S. 91–106.
- Schopfer, P. (1970): *Experimente zur Pflanzenphysiologie. Eine Einführung.* Freiburg im Breisgau: Rombach.
- Schopfer, P., Brennicke (2010): *Pflanzenphysiologie.* München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schrödter, Willy (1997): *Pflanzen-Geheimnisse.* St. Goar: Reichl Verlag.
- Schubert, R. (1993): *Botanisches Wörterbuch. Pflanzennamen und botanische Fachwörter mit einer “Einführung in die Terminologie und Nomenklatur”, einem Verzeichnis der “Autorenamen” und einem Überblick über das „System der Pflanzen“.* Stuttgart: E. Ulmer.
- Scott, P. (2008): *Physiology and behaviour of plants.* Chichester: John Wiley & Sons.
- Shepherd, V.A. (2012): At the roots of plant neurobiology. In: A. G. Volkov (Hg.): *Plant Electrophysiology.* Berlin, Heidelberg: Springer, S. 3–43.
- Singh, T.C.N. & Ponniah, S. (1953): On the effect of sound on protoplasmic streaming in the cells of *Hydrilla verticillata* Presl. In: *Proceedings of the fortieth Indian Science Congress.* Lucknow 1953. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 119–120.
- Singh, T.C.N. & Ponniah, S. (1955): On the response of structure of the leaves of *Balsam* and *Mimosa* to the Musical sounds of Violin. In: *Indian Science Congress Association. Proceedings of the forty-second session.* Baroda 1955. Calcutta: Indian Science Congress Association, S. 254.
- Singh, T.C.N. & Ponniah, S. (1956): On histological changes in plants evoked by musical excitation of violin and veena. In: *Proceedings of the forty-third Indian Science Congress.* Agra 1956. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 270–271.
- Singh, T.C.N. (1959): *Music and plants.* Akashvani XXIV, S. 1–7.

- Singh, T.C.N. (1960a): On the activation of photosynthesis in *Hydrilla verticillata* Presl. by sound waves of electric bell. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 395.
- Singh, T.C.N. (1960b): On the effect of sound-waves on the respiration of germinating seeds of black gram. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 392.
- Singh, T.C.N. & Nagarathna, K.H. (1960-1961): On the effect of sound-waves on the respiration of germinating seeds of green gram (2). *Journal of the Annamalai University* XXII (B), S. 179-185.
- Singh, T.C.N. (1961): Studies in transpiration in relation to sound - I. (*Bahinia tomentosa* Linn.). In: Proceedings of the forty-eighth Indian Science Congress. Roorkee 1961. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 342-343.
- Singh, T.C.N. (1962-1963): On the effect of music and dance on plants. *Bihar agricultural college magazine* 13 (1), S. 19-22.
- Spillane, M. (1991): Brave new waves. In: *TCL for Plants* 6, S. 36.
- Srinivasan, A. (1960): The effect of sound-percussion of Bharat-Natyam dances transmitted through the earth on the growth and flowering of *Gaillardia*. In: Proceedings of the forty-seventh Indian Science Congress. Bombay 1960. s.l.: Indian Science Congress Association, S. 392.
- Subramanian, S., Chandrasekharan, P., Madhava Menon, P., Raman, V.S. & Ponnayxa, B.W.X. (1969): A study of the effect of music on the growth and yield of paddy. *The Madras agricultural journal* 56 (8), S. 510-516.
- Suggs, C.W., Beeman, J.F. & Splinter, W.E. (1960): Physical properties of green Virginia-type Tobacco leaves. Part III. Relation of Leaf Length and Width of Leaf Area. In: *Tobacco Science* 4, S. 194-197.
- Takahashi, H., Suge, H. & Kato, T. (1991): Growth promotion by vibration at 50 Hz in rice and cucumber seedlings. In: *Plant cell physiol* 32 (5), S. 729-732.
- Talos (2001): If only corn had ears. *ASPB News* 28 (6), S. 8-9.
- Tame, D. (1984): The secret power of music. The transformation of self and society through musical energy.

- Telewski, F.W. (2006): A unified hypothesis of mechanoperception in plants. In: American journal of botany 93 (10), S. 1466–76.
- Tompkins, P. & Bird, C. (1973): The Secret Life of Plants. New York: Harper & Row.
- Tompkins, P. (1998): Secrets of the soil. New solutions for restoring our planet. Anchorage: Earthpulse Press.
- Trewavas, A. (2003): Aspects of plant intelligence. In: Annals of botany 92 (1), S. 1–20.
- Trewavas, A. (2005a): Plant intelligence. In: Naturwissenschaften 92 (9), S. 401–413.
- Trewavas, A. (2005b): Green plants as intelligent organisms. In: Trends in Plant Science 10 (5), S. 413–419.
- Trewavas, A. (2009): What is plant behaviour? In: Plant, cell and environment 32 (6), S. 606–616.
- Trüb, A. (2012): “Viele Leute halten mich für verrückt”. In: Blick am Abend vom 19.3.2012, S. 13.
- Uchida, A. & Yamamoto, K.T. (2002): Effects of mechanical vibration on seed germination of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. In: Plant & cell physiology 43 (6), S. 647–651.
- Uetake K., Hurnik J.F. & Johnson L. (1997): Effect of music on voluntary approach of dairy cows to an automatic milking system. In: Applied animal behaviour science 53 (3), S. 8.
- Weinberger, P. & Measures, M. (1968): The effect of two audible sound frequencies on the germination and growth of a spring and winter wheat. In: Canadian journal of botany 46 (9), S. 1151–1158, 10.1139 / b68-152.
- Weinberger, P. (1972): Methods for improving the growth characteristics of plant material such as seeds and growing plants. US-Patent Nr. 3703501.
- Weinberger, P. & Graefe, U. (1973): The effect of variable-frequency sounds on plant growth. In: Canadian journal of botany 51 (10), S. 1851–1856.
- Weinberger, P. & Measures, M. (1979): Effects of the intensity of audible sound on the growth and development of Rideau winter wheat. In: Canadian journal of botany 57 (9), S. 1036–1039.

- Woodlief, C.B., Royster, L.H. & Huang, B.K. (1969): Effect of random noise on plant growth. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 46 (2), S. 481.
- Wu, J. & Lin, L. (2002a): Elicitor-like effects of low-energy ultrasound on plant (*Panax ginseng*) cells. Induction of plant defense responses and secondary metabolite production. In: *Applied microbiology and biotechnology* 59 (1), S. 51-7.
- Wu, J. & Lin, L. (2002b): Ultrasound-induced stress responses of *Panax ginseng* cells. Enzymatic browning and phenolics production. In: *Biotechnology progress* 18 (4), S. 862-866.
- Xiujian, W., Bochu, W., Yi, J., Defang, L., Chuanren, D., Xiaocheng, Y. & Sakanishi, A. (2003a): Effects of sound stimulation on protective enzyme activities and peroxidase isoenzymes of chrysanthemum. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 27 (1), S. 59-63.
- Xiujian, W., Bochu, W., Yi, J., Chuanren, D. & Sakanishi, A. (2003b): Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 29 (2-3), S. 99-102.
- Xiujian, W., Bochu, W., Yi, J., Danqun, H. & Chuanren, D. (2003c): Effect of sound stimulation on cell cycle of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*). In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 29 (2-3), S. 103-107.
- Yi, J., Bochu, W., Xiujian, W., Chuanren, D. & Xiaocheng, Y. (2003a): Effect of sound stimulation on roots growth and plasmalemma H<sup>+</sup>-ATPase activity of chrysanthemum (*Gerbera jamesonii*). In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 27 (1), S. 65-69.
- Yi, J., Bochu, W., Xiujian, W., Chuanren, D., Toyama, Y. & Sakanishi, A. (2003b): Influence of sound wave on the microstructure of plasmalemma of chrysanthemum roots. In: *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 29 (2-3), S. 109-113.
- Yi, J., Bochu, W., Xiujian, W., Daohong, W., Chuanren, D., Toyama, Y. & Sakanishi, A. (2003c): Effect of sound wave on the metabolism of chrysanthemum roots. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 29 (2-3), S. 115-118.
- Yiyao, L., Wang, B., Xuefeng, L., Chuanren, D. & Sakanishi, A. (2002a): Effects of sound field on the growth of *Chrysanthemum* callus. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 24 (3-4), S. 321-326.

- Yiyao, L., Wang, B., Chuanren, D. & Sakanishi, A. (2002b): The non-linear model of sound wave diffusion in Chrysanthemum callus. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 24 (3-4), S. 333-337.
- Zhao, H.C., Wang, B.C., Liu, B.A., Cai, S.X. & Xi, B.S. (2002a): The effects of sound stimulation on the permeability of K<sup>+</sup> channel of Chrysanthemum Callus plasma. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 26 (4), S. 329-333.
- Zhao, H.C., Wang, B., Liu, B.A., Cai, S.X. & Xi, B.S. (2002b): The effects of sound stimulation on the permeability of K<sup>+</sup> channel of Chrysanthemum callus plasma. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 26 (4), S. 329-333.
- Zhao, H.C., Wu, J., Zheng, L., Zhu, T., Xi, B.S., Wang, B., Cai, S. & Younian, W. (2003): Effect of sound stimulation on Dendranthema morifolium callus growth. In: *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 29 (2-3), S. 143-147.
- Zhu, J., Jiang, S. & Shen, L. (2011): Effects of music acoustic frequency on indoleacetic acid in plants. In: *Agricultural Science & Technology* 12 (12), S. 1749-1752.
- Zimmermann, U., Schneider, H., Egner, L.H. & Haase, A. (2004): Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? In: *New Phytologist* 162 (3), S. 575-615.
- Zweifel, R. & Zeugin, F. (2008): Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees. More than signals from Cavitation? In: *New Phytologist* 179 (4), S. 1070-1079.

## 5.2 Onlinequellen

- Anon. (Hg.) (2007): Jagadis Chunder Bose - His Life and Speeches. <http://www.gutenberg.lib.md.us/2/2/0/8/22085/22085.txt> [5.11.2012]
- Anon. (2008): Lebensmittel: Tegut beschallt Wurst mit klassischer Musik. <http://www.faz.net/aktuell/rhein-main/region/lebensmittel-tegut-beschallt-wurst-mit-klassischer-musik-1698987.html> [17.1.2013].
- Corelli-Jacobs (1970): Music to grow plants. Presented by Dr. George Milstein. New York: Pip Records. <http://www.rootsimple.com/2010/03/music-to-grow-plants> [15.1.2013]

- Gagliano, M., Renton, M., Duvdevani, N., Timmins, M. & Mancuso, S. (2012a): Out of Sight but Not out of Mind. *Alternative Means of Communication in Plants*. 7 (5), e37382. doi:10.1371/journal.pone.0037382 [7.1.2013].
- Gagliano, M. (2012): Green symphonies: A call for studies on acoustic communication in plants. *Behavioral Ecology*. doi: 10.1093/beheco/ars206 [30.12.2012].
- International Committee for Controlled Environment Guidelines (ICCEG) (2004): Minimum guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments on plants in growth rooms and chambers. <http://www.controlledenvironments.org/Guidelines/Minimum-Guidelines-Brochure-version-A4.pdf>. [12.10.2012].
- Liberati A., Altman D. G., Tetzlaff J., Mulrow C., Gøtzsche P. C., et al. (2009): The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Med* 6(7): e1000100. doi:10.1371/journal.pmed.1000100 [2.12.2012].
- Kikuta, S.B. (2007): Ultraschallemissionen als Nachweis von Kavitationsereignissen in Pflanzen. Vortrag im Rahmen des 16. Kolloquium Schallemission 2007, S. 1–8. <http://www.ndt.net/article/dgzfp-ae-2007/Inhalt/v13.pdf> [10.10.2012].
- Koechlin, F. & Battaglia, D. (2012): Brunello-Wein mag Mozart. In: *Die Wochenzeitung* Nr. 9/2012 vom 1.3.2012. <http://www.woz.ch/129/biologie/brunello-wein-mag-mozart> [19.1.2012]. Leicht gekürzter Vorabdruck aus Koechlin, F. & Battaglia, D. (2012): Mozart und die List der Hirse. *Natur neu denken*. Basel: Lenos Verlag.
- Martinelli, N. (2007): Grape Expectations. Vines May Love Vivaldi. [http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/06/music\\_and\\_wine](http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/06/music_and_wine) [3.3.2012].
- Michael, T.P., Breton, G., Hazen, S.P., Priest, H., Mockler, T.C., Kay, S.A. & Chory, J. (2008): A morning-specific phytohormone gene expression program underlying rhythmic plant growth. In: *PLoS Biol* 6(9), S.e225. doi:10.1371/journal.pbio.0060225 [7.1.2013].
- Schmidt, H.-P. (2009): Guter Wein dank Mozart. Musiker spielt vor Trauben. *Journal für Terroirwein und Biodiversität*. <http://www.ithaka-journal.net/mozart-fur-reben>. [29.2.2011].

Ten Cate, C. (2012): Acoustic communication in plants: Do the woods really sing? In: Behavioral Ecology.

<http://beheco.oxfordjournals.org/content/early/2012/12/21/beheco.ars218.short>  
[17.1.2013].

Wicke, R.W. (2002): Health benefits of music and sound. In: Herbalist Review 1.  
<http://www.rmhiherbal.org/review/2002-1.html#plants> [5.1.2013].

<http://www.originalsonicbloom.com> [15.12.2012]

<http://www.real-sonic-bloom.com> [15.12.2012]

Disclaimer:

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

## **Anhang A: ICCEG-Checkliste für Publikationen**

Minimum Guidelines for Measuring and Reporting Environmental Parameters for Experiments on Plants in Growth Rooms and Chambers des International Committee for Controlled Environment Guidelines (ICCEG 2004).

## Minimum Guidelines for Measuring and Reporting Environmental Parameters for Experiments on Plants in Growth Rooms and Chambers

International Committee for Controlled Environment Guidelines

Parameter to measure	Units <sup>1</sup>	Where to measure	When to measure	What to report
<b>Radiation</b> and	Photosynthetically active radiation (PAR) <sup>2</sup>	Top of plant canopy in centre of growing area	At start and end, and every 2 weeks of the experiment	Average and standard deviation. Radiation source (type, model, and manufacturer)
	Photoperiod			Duration of light and dark periods
<b>Temperature</b>	°C	Top of plant canopy in centre of growing area	Daily during each light and dark period, at least 1 hour after light/dark change	Average and standard deviation
	Liquid culture	Within solution under plants	As above for air temperature	Average and standard deviation
<b>Atmospheric moisture</b> or	Water vapour pressure deficit (VPD)	Top of plant canopy in centre of growing area	Daily during each light and dark period, at least 1 hour after light/dark change	Average and standard deviation
	Relative humidity (RH)	As above for VPD	As above for VPD	Average and standard deviation
<b>Carbon dioxide</b> <sup>3</sup>	µmol mol <sup>-1</sup>	Top of plant canopy	At least hourly	Average and standard deviation
<b>Air velocity</b> <sup>3</sup>	m s <sup>-1</sup>	At one or more representative canopy locations	At least once during the experiment	Average and standard deviation
<b>Watering</b>	l/m <sup>2</sup> (L)		Daily	Frequency, amount and type of water added
<b>pH</b>	Liquid culture	In the bulk solution	Before and after pH correction	Average and standard deviation
<b>Electrical conductivity (EC)</b> <sup>3</sup>	Liquid culture	In the bulk solution	Before and after EC correction	Average and standard deviation
<b>Substrate</b>			At start of the experiment	Type and volume per container, components of soil-less substrate, container dimensions
<b>Nutrition</b>	Solid media		When added or replenished	Nutrients and their form added to soil media
	Liquid culture		Daily, or when replenished	Ionic concentration in initial and added solution. Aeration if any. Volume of initial solution
<b>Room or chamber properties</b>	Specifications			Floor area, Manufacturer and model if available
	Barrier beneath lamps			Indicate if present and its composition
	Air flow			Indicate whether up, down or horizontal

<sup>1</sup> Report in other multiples or sub-multiples of indicate units if more convenient.

<sup>2</sup> Referred to as photosynthetically active radiation (PAR; 400-700 nm) for general usage and described as photosynthetic photon flux density (PPFD) by many journals, professional societies, and manufacturers of quantum sensors. When dual PAR is ramped, integrals should be reported, e.g. in mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> This parameter should be reported if the conditions are available and always when it is a variable under investigation. For more information consult the detailed guidelines published as ANSI/ASAE Engineering Practice EP411.4 (2003) 'Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for plant experiments in growth chambers', ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49086-9639, USA.

## Anhang B: Glossar

Die für das Glossar ausgewählten Informationen wurden aus Schubert (1993), Nabors (2007), Bresinsky et al. (2008) und Schopfer & Brennicke (2010) zusammengestellt.

ABA	Abscisinsäure, ein →Phytohormon, das die Hemmung des Sprosswachstums bewirkt. Es reguliert viele physiologische Prozesse, darunter die Öffnung der →Stomata, Keimruhe (Dormanz), Samenentwicklung und -keimung sowie die Synthese von Speicherprotein und -lipid in Samen. Daneben spielt ABA eine wichtige Rolle in der Änderung der Pflanzenmorphologie als Antwort auf Stress.
Amine	Abkömmlinge des Ammoniaks, in dem ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Alkyl- und Arylreste ersetzt sind.
Aminosäuren	Organische Verbindungen, die zu den Carbonsäuren gehören und in der Regel eine Aminogruppe, (-NH <sub>2</sub> ), enthalten. Sie sind Bausteine der lebensnotwendigen →Proteine.
Amylase	Enzym, das Stärke (Amylum) und Glykogen zu Maltose abbaut; ihre Aktivität lässt Rückschlüsse auf den →Katabolismus zu.
Apikalmeristem	Undifferenziertes Bildungs- oder Teilungsgewebe an der Spitze des Sprosses oder der Wurzel, das die Fähigkeit zu laufenden mitotischen Teilungen besitzt und Ort des primären Wachstums ist. Differenziertes Dauergewebe ist dagegen nicht mehr teilungsfähig.
ATP	Adenosintriphosphorsäure; wirkt in Organismen als Energiespender, -speicher oder fungiert als Modulator von Enzymaktivitäten, ohne die ein →Stoffwechsel nicht möglich wäre.

ATPasen	Adenosintriphosphatasen; →Enzyme, die →ATP in ADP (Adenosindiphosphat) und Phosphat aufspalten können. Bei dieser Hydrolyse wird Energie frei, die vom Enzym genutzt werden kann, um eine andere Reaktion zu katalysieren. Verschiedene ATPasen fördern so den Transport von Ionen, Bewegung von Muskelfasern oder verschiedene Reaktionen des Energiestoffwechsels. Sie kommen in allen Lebewesen vor. Manche ATPasen sind Membranproteine (→membranständigen ATPasen).
autotroph	„Sich selbst ernährend“; Bezeichnung für einen Organismus, der sich über →Photosynthese und die Aufnahme anorganischer Stoffe selbst ernähren kann. Siehe auch →heterotroph.
Auxine	Gruppe von →Pflanzenhormonen, die das Pflanzenwachstum steuern können. Sie beeinflussen unter anderem auch Fruchtwachstum und Laubfall. Künstlich hergestellte Auxine finden in großem Umfang beim Anbau von Nutzpflanzen eingesetzt.
Bestockungstriebe	Bildung von Seitensprossen an dicht aufeinanderfolgenden Stengelknoten (Bestockungsknoten) in der Nähe der Erdoberfläche.
Calvin-Zyklus	Reaktionen der photosynthetischen CO <sub>2</sub> -Assimilation; unter Verwendung von in der Luft enthaltenem CO <sub>2</sub> sowie →ATP und →NADH, die in den Lichtreaktionen im Zuge der →Photosynthese entstehen, werden sog. Triosephosphate gebildet, aus denen dann komplexere Moleküle (z.B. Glucose) synthetisiert werden.
CAT	Katalase, ein Enzym, das Wasserstoffperoxid (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) zu Sauerstoff und Wasser umbildet. Wasserstoffperoxid entsteht beim Abbau von Hyperoxiden durch →Superoxiddismutase.

Chlorophyll	Natürlicher Farbstoff; Pigment in Pflanzenteilen (v.a. Blättern) das in zwei chemisch verwandten Formen vorkommt, dem blaugrünen Chlorophyll a und dem gelbgrünen Chlorophyll b. Chlorophyll a ist unmittelbar an der Lichtreaktion während der →Photosynthese beteiligt, indem es Licht aus dem blauvioletten und dem roten Bereich des Spektrums absorbiert. Chlorophyll b fungiert als Hilfspigment, indem es Lichtenergie zu den Chlorophyll-a-Molekülen überträgt.
Cytoplasma	Viskose bis gallertartige Grundsubstanz innerhalb der Zellmembran mit Ausnahme des Zellkerns; Ort vieler Stoffwechselreaktionen.
Cytoskelett	„Zellskelett“, Netzwerk innerhalb der Zelle, bestehend aus fadenförmigen Proteinen, den →Mikrotubuli, →Mikrofilamenten und sog. Intermediärfilamenten. Es ist verantwortlich für die mechanische Stabilisierung der Zelle, ferner für aktive Bewegungen der Zelle als Ganzes und für Bewegungen und Transporte innerhalb der Zelle.
DNA	Wie die →RNA ein hochmolekulares Polynucleotid (ein Nucleotid ist ein Baustein der →Nucleinsäuren, z.B. RNA oder DNA, das sich aus einer Base, einem Zucker und einem Phosphatrest zusammensetzt); Träger der genetischen Information, vor allem im Zellkern der Zelle vertreten.
ELISA	Enzyme-Linked-Immunosorbent Assay; analytische Methode, mit deren Hilfe auf der Basis immunologischer Verfahren Natur- und andere Stoffe oft sehr spezifisch und in geringsten Konzentrationen nachweisbar sind.

Embryo	Teil des Samens der Samenpflanzen, besteht aus Keimachse, Keimwurzel und Keimblättern, meist vom Nährgewebe (Endosperm) umgeben.
Endosperm	Nährgewebe der Samen, das den Keimling umgibt.
Enzyme	Proteine, welche die Regulierung chemischer Reaktionen innerhalb der Zelle unterstützen.
Ethylen	Ein Gas, das wie ein Phytohormon wirkt, indem es Antworten auf mechanische Beanspruchungen sowie Alterungsprozesse wie die Fruchtreife und den Blattfall bewirkt.
Explantation	Herausschneiden von Teilen einer Pflanze (Blatt- oder Blütenanlagen, Spross-Spitzen, Wurzeln, →Embryonen u.a.), die als Explantate isoliert kultiviert für eine Gewebe-oder Organkultur kultiviert werden können.
Filamente	Dünne, fadenförmige Zellstrukturen.
Genexpression	Realisierung genetischer Information; diese wird über →RNA durch Transkription und Translation an Proteine, v.a. →Enzyme, weitergegeben.
Gewebekultur	Methode, mit der ganze Pflanzen, Pflanzenorgane oder -gewebe in einem künstlichen Medium aus Zellen herangezogen werden. Das Prinzip basiert auf der sog. Toti- oder Omnipotenz (Fähigkeit einer einzigen Zelle eines mehrzelligen Lebewesens, einen vollständigen, lebensfähigen Organismus aufzubauen) der Pflanzenzellen. Oft bilden die Zellen zunächst einen amorphen Komplex undifferenzierter Zellen (→Kallus). Bei Zugabe von Wachstumshormonen diffe-

	renziert sich dieser zu →Embryonen oder Geweben und Organen der Pflanze aus. Man erhält auf diese Weise klonierte Tochterpflanzen, die im Idealfall genetisch ident sind (bei Gewebekulturen ist allerdings generell mit genetischen Änderungen zu rechnen, beispielsweise Veränderungen der Chromosomenzahl).
H <sup>+</sup> -ATPase	Ein über →ATP gesteuertes →Enzym, das über aktiven Transport von H <sup>+</sup> -Ionen (Wasserstoff-Ionen bzw. Protonen) die Energie der ATP-Hydrolyse in elektrochemische Potentialänderungen der Zellmembran transformiert. Von ihm hängt die Regulierung einer Reihe vieler wichtiger physiologischer und biochemischer Prozesse ab (Wachstum, →Turgordruck, Aufrechterhaltung des pH-Werts des Zellplasmas). H <sup>+</sup> -ATPase ist an der Reaktion der Pflanze auf Umweltstress beteiligt.
heterotroph	„Sich von anderen ernährend“; Bezeichnung für Organismen, die sich von anderen Organismen ernährt. Siehe auch →autotroph.
IAA	Indol-3-Essigsäure, das am weitesten verbreitete Auxin. Es reguliert die Zellstreckung und steuert mit anderen Pflanzenhormonen zahlreiche Differenzierungsvorgänge.
IAA-Oxidase	Enzym, das die Zersetzung des Phytohormons →IAA beschleunigt. Da IAA eine wichtige Rolle beim Wachstum spielt, trägt das IAA-Oxidase-Enzym zur Wachstumshemmung bei.
Internodien	Zwischen zwei Blattansatzstellen (Knoten) liegender Teil der Sproßachse, Stengel- oder Zwischenglied.
Kallus	Ein Komplex undifferenzierter Zellen, der als Wundgewebe auftritt und unter Zugabe von →Pflanzenhormonen zur Ausbildung von

	Gewebe und Organen einer vollständigen Pflanze stimuliert werden kann.
Katabolismus	Zerlegender →Stoffwechsel, Gesamtheit der Abbauvorgänge in der Zelle; Dissimilation.
Kavitation	Embolie, Gasblasenbildung im Xylem (Leitbündel holzigen Zellen, enthält wassertransportierende Gefäße) der Pflanze, die den Wassertransport beeinträchtigt. Kavitation ist bei Pflanzen nicht ungewöhnlich, wie Untersuchungen mit Schalldetektoren ergaben.
Membranständige ATPasen	Spezielle ATPasen, die den Auf- oder Abbau von ATP gekoppelt mit dem Transport von Teilchen (Ionen, kleine Moleküle, Proteine) von einer Seite der Zellmembran oder Organell-Membran zur anderen katalysieren. Sie spielen daher eine wichtige Rolle im Energiestoffwechsel und in der Signaltransduktion.
Metaphase	Zweite Phase der →Mitose, während der sich die Chromosomen in der sog. Äquatorialplatte der Zelle anordnen und sich der Länge nach spalten.
Mitochondrien	Sg. Mitochondrion; membranumhüllte →Organellen, in welchen Zucker oxidiert wird, wodurch dessen chemische Energie in →ATP umgewandelt wird.
Mikrofilamente	Lange →Filamente im →Cytoskelett, das Zellen oder Zellbestandteile transportiert und die Zellform mitbestimmt. Bestehen aus langen Ketten des Proteins Aktin.
Mikrotubuli	Lange, röhrenförmige →Filamente innerhalb des →Cytoskeletts, das Zellbestandteile wie Moleküle, Organellen und Chromosomen von einem Ort zum anderen transportiert.

Mitose	Phase des Zellzyklus, in der sich Zellen teilen; bestehend aus Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase. Die Mitose ist gewöhnlich die kürzeste Phase des Zellzyklus und nimmt etwa 10 % der für die Zellteilung benötigten Zeit in Anspruch.
Motorproteine	Erzeugen in Verbindung mit →Mikrotubuli und →Mikrofilamenten Bewegung von Zellstrukturen innerhalb der Zelle. Dabei wird Energie in Form von ATP verbraucht.
Murashige-Skoog-Medium	Häufig eingesetztes Pflanzennährmedium zur Kultivierung von →Gewebekulturen.
NADPH	Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat; ein komplexes Molekül, das Elektronen und Protonen als Teil einer Elektronentransportkette aufnehmen und abgeben kann. Es transportiert Elektronen zwischen enzymatischen Reaktionen innerhalb der Zelle, z.B. während der →Photosynthese oder während der Atmung.
Nukleinsäuren	Große Moleküle aus Nukleotiden, z.B. →DNA und →RNA, denen eine wesentliche Rolle in physiologischen Prozessen zukommt. Die →Genexpression wird durch DNA und Transkriptions- sowie Translationsprozesse beeinflusst (→RNA).
Organellen	Subzelluläre Funktionseinheiten, lebende Teile einer Zelle, meist durch doppelte Membranen abgegrenzt, die besondere physiologische Leistungen erbringen (z.B. Zellkern, Mitochondrien, Plastiden).
Osmose	Diffusion von Wasser oder einem anderen Lösungsmittel durch eine halbdurchlässige Membran.

Pflanzenhormone	Wuchsstoffe. →Auxine.
Photosynthese	Physiologischer Prozess, bei dem aus anorganischen Stoffen unter katalytischer Beteiligung von →Chlorophyll und unter Ausnutzung der Sonnenenergie organische Stoffe (Kohlenhydrate) aufgebaut werden.
Plasmalemma	Äußere Plasmahaut, dünne Rand- oder Grenzschicht (Membran), welche das Zellplasma gegen die Zellwand abgrenzt.
POD	Peroxidasen; →Enzyme, welche die Reduktion von giftigen Peroxiden (meist Wasserstoffperoxid) katalysieren.
Polypeptid	Ein aus →Aminosäuren bestehendes Polymer; ein →Protein ist ein großes Polypeptid.
Protein	Makromolekül, das aus einer oder mehreren Aminosäureketten besteht. Die Proteine eines Organismus bestimmen dessen physische Merkmale und dienen als strukturelle Grundbausteine und katalysieren chemische Reaktionen (→Enzyme). Sie spielen in den Zellen als Struktur-, Speicher-, Transport- und Rezeptorproteine eine wichtige Rolle in biologischen Organismen. Proteine werden durch Gene kodiert.
Protoplasma	Gesamtheit der lebenden Bestandteile einer Zelle, bestehend aus dem →Cytoplasma und den →Organellen.
Protoplast	Eine Pflanzenzelle, deren Zellwand entfernt wurde.
Radicula	Embryonale Wurzelanlage.

---

Respiration	Atmung; Gaswechsel aller Organismen, der in der Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von CO <sub>2</sub> besteht. Kann über den respiratorischen Quotienten ermittelt werden (Verhältnis von ausgeatmeten CO <sub>2</sub> zum aufgenommenen Sauerstoff).
RNA	Ribonucleinsäure, Familie großer biologischer Moleküle. RNA spielt eine wichtige Rolle bei der Proteinsynthese der Zelle. Je nach Funktion unterscheidet man Boten-RNA (messenger oder mRNA, transportiert Informationen von der DNA zu den Ribosomen, wo →Proteine synthetisiert werden), Überträger-RNA (transfer oder tRNA) und ribosomale RNA (rRNA).
Sekundärstruktur	Die lokalen Windungen und Faltungen der Bestandteile (→Polypeptidketten) eines →Proteins. Die Struktur ergibt sich aus den Wasserstoffbrücken zwischen CO- und NH-Gruppen. α-Helices und β-Faltblätter sind Beispiele für sekundäre Proteinstrukturen.
SOD	Superoxiddismutasen, gehören zum Abwehrmechanismus der Pflanze gegen oxidativen Stress. Es sind dies →Enzyme, welche die Umsetzung von →Superoxid-Anionen zu Wasserstoffperoxid (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) beschleunigen; dieses wird anschließend über weitere Enzyme, sog. Katalasen (→CAT) oder Peroxidasen (→POD) abgebaut.
Spaltöffnungen	Siehe →Stomata.
Stoffwechsel	Austausch von Stoffen zwischen dem Organismus und seiner Umgebung (äußerer Stoffwechsel) sowie der Transport und die Umsetzung dieser Stoffe im Organismus (innerer Stoffwechsel); dazu gehört der ständige Aufbau von Körpersubstanzen (Anabolismus) und ihr Abbau (→Katabolismus), wobei immer Energie umgesetzt wird. Wichtige Stoffwechselprozesse sind außerdem Assimilation (bei

	Pflanzen besonders die →Photosynthese) und die Dissimilation (Atmung, Gärung).
Stomata	Sg. Stoma; Spaltöffnungen bzw. Poren in der Epidermis von Blättern, deren Öffnung durch Schließzellen reguliert wird. Sie dienen dem Austausch von Wasserdampf, CO <sub>2</sub> und O <sub>2</sub> .
Superoxid	Auch: Hyperoxid. Hyperoxide sind chemische Verbindungen, die das vom Sauerstoff abgeleitete Dioxid(1-)-Anion (O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) enthalten. Sie gehören zu den sog. reaktiven Sauerstoffspezies (reactive oxygen species, ROS) und können als freie Radikale etwa zu Schäden in der Struktur der Zellmembran führen.
Transpiration	Wasserabgabe in Form von Dampf, vor allem über →Stomata (Spaltöffnungen) und Cutikula (dünne Wachsschicht auf den Blättern); kann z.B. über den Transpirationskoeffizienten gemessen werden (Vergleichszahl, die angibt, wie viel Liter Wasser eine Pflanze verbraucht, um 1 kg Trockensubstanz aufzubauen).
Turgordruck	Osmotisch bedingter Spannungszustand der Zelle bzw. der Druck des Zellinhaltes auf die Zellwand. Wassermangel und →Transpiration führen zur Herabsetzung des Turgors und schließlich zum Erschlaffen und Welken der Pflanzenteile.
Vernalisation	Auch: Jarowisation, bezeichnet die Induktion des Schossens [sic] (Emporwachsen der Halme bis zur Bildung der Blütenstände) und Blühens bei Pflanzen durch eine längere Kälteperiode. Viele ein- und zweijährige Pflanzenarten in Regionen mit ausgeprägten Unterschieden zwischen Winter- und Sommerbedingungen schossen und blühen erst nach einer andauernden Periode mit niedrigen Temperaturen. Dies verhindert etwa, dass Samen vor Winterein-

	<p>bruch zu keimen beginnen. Künstliche Vernalisation (thermische Behandlung angequollenen Saatgutes) ermöglicht z.B. die Aussaat von Wintergetreide im Frühjahr und führt bei Sommergetreide mitunter zu Ertragssteigerungen.</p>
Vakuolen	<p>Größere runde Kompartimente innerhalb einer Pflanzenzelle. Die Zentralvakuole in ausgewachsenen Zellen kann oft über 90 % des Zellvolumens ausmachen. Sie enthalten Zellsaft (sauer reagierende Lösung von anorganischen und organischen Verbindungen) und häufig Speicher- und Abfall- bzw. Farbstoffe und auch Gifte.</p>
Zellmembran	<p>Auch Plasmamembran oder →Plasmalemma; flexible Schutzhülle, die jede Zelle umgibt. Sie ist selektiv permeabel und steuert den Transport von Wasser, Gasen und Molekülen in die Zelle hinein und aus der Zelle hinaus. Die Plasmamembran ist u.a. an der Signaltransduktion und der Energieumwandlung beteiligt. Die Bausteine der Membran, Lipide und →Proteine, sind dabei Haupt-Funktions-träger. Die Fluidität der Lipidschicht ist u.a. von Umweltfaktoren abhängig.</p>
Zellwand	<p>Den lebenden →Protoplasten umschließendes, der →Zellmembran dicht anliegendes Exoskelett, das zu einem großen Teil aus Cellulose besteht, einem hochmolekularen Kohlenhydrat. Bei Gefäßpflanzen werden die Zellwände durch starre Moleküle, sog. Lignine verstärkt.</p>
Zellzyklus	<p>Folge von Ereignissen, die mit der Entstehung der Zelle als Tochterzelle in einer Zellteilung beginnt und damit endet, dass sich die Zelle selbst wieder teilt</p>



## Zusammenfassung

Innerhalb und außerhalb des wissenschaftlichen Umfelds liegen zahlreiche Berichte über die vorgebliche Wirkung von Musik auf das Pflanzenwachstum vor. In der vorliegenden Arbeit wurde der Frage nachgegangen, ob anhand der verfügbaren Studienergebnisse eine Aussage über die Effekte musikalischer und einfacher periodischer sowie aperiodischer Schallsignale auf Pflanzen zulässig ist. Zunächst wird ein Überblick über relevante pflanzenphysiologische Grundlagen und die wissenschaftliche Methodik gegeben. Die Studien wurden in Form einer systematischen Übersicht präsentiert und erörtert. Die Analyse wurde auf Basis der wissenschaftlichen Aussagekraft der Studien durchgeführt, die anhand der Kriterien für Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit der Experimente beurteilt wurde. Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Reproduzierbarkeit im überwiegenden Teil der Fälle nicht gegeben ist; erschwerend kommt die mangelnde Vergleichbarkeit der Untersuchungen hinzu. Eine bestimmte Wirkung von Musiksignalen auf Pflanzen kann aus wissenschaftlicher Sicht nicht bestätigt werden.

## Abstract

There are numerous reports about the alleged effects of music on plant growth within and beyond the scientific community. The present study undertakes an effort to analyze if the scientific evidence can sufficiently answer the question about possible effects of musical, sinusoidal or aperiodic sound waves on plants. An overview over basic principles in plant physiology and scientific methods is given. Past and current research results are presented and discussed in form of a systematic review. Analysis was based on the scientific validity of the studies which was evaluated according to criteria for repeatability and reproducibility. As a result it can be stated that in most cases the results are not reproducible and can thus not be verified; there are also difficulties in comparison to be noted. Thus, a distinct effect of music on plants cannot be confirmed.



# Lebenslauf

## Ausbildung

2001–dato	Diplomstudium Musikwissenschaft an der Univ. Wien
1999–2001	Diplomstudium Ernährungswissenschaft an der Univ. Wien
1999	Matura am Stiftsgymnasium Wilhering

## Beruf

2011–2012	Key Account Management (Medienbeobachtung)
2006–2011	Redaktion (Medienbeobachtung)
Sonstige Tätigkeiten	Freiberufliche Autorin und Musikerin