

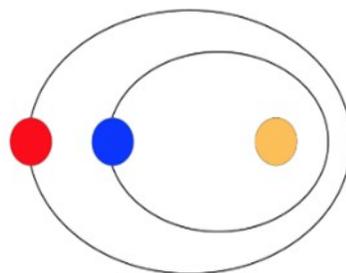
Auswirkungen von Infraschall auf Pflanzen

Jugend Forscht Projekt

von Jeannine Rebmann und Nikola Kabelitz

betreut von

Lara Holderied und Jo Becker



SFL Kepler-Seminar

Kurzfassung

Ein wichtiges Thema unserer Zeit ist die nachhaltige Energieversorgung, mit Windkraft als einem wesentlichen Bestandteil davon. Bei allen bekannten Vorteilen der grünen Stromversorgung stehen Windkraftanlagen schon länger wegen ihrer Infraschallerzeugung in der Kritik. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Infraschall messbare Auswirkungen auf die umgebende Pflanzenwelt hat.

Um diese Hypothese zu überprüfen, haben wir einen Versuchsaufbau entworfen, in dem das Pflanzenwachstum unter konstanten Bedingungen abzüglich anderer störender Umweltfaktoren beobachtet werden kann. Neben optischen Beobachtungen gehen auch Messparameter wie CO₂-Gehalt der Atmosphäre, Luftfeuchtigkeit und Temperatur in unsere Auswertung ein.

Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass Infraschall ein Störfaktor für das Pflanzenwachstum darstellt. Weitere Untersuchungen sollen diese Arbeitshypothese festigen und weitere Störfaktoren wie z.B. Luftbewegung und Tag-Nacht-Rhythmus berücksichtigen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Versuchsaufbau.....	2
3. Versuchsdurchführung.....	9
4. Ergebnisse.....	9
4.1. Versuche mit nicht vorgekeimten Samen.....	9
4.2. Versuche mit vorgekeimten Samen.....	10
5. Ergebnisdiskussion.....	12
6. Zusammenfassung.....	13
7. Quellen- und Literaturverzeichnis.....	13
8. Unterstützungsleistungen.....	14

1. Einleitung

Nachhaltige Energiegewinnung ist aktuell wichtiger denn je im Hinblick auf die Klimaerwärmung. Besonders der Ausbau erneuerbarer Energien steht dabei im Fokus. Den größten Anteil an "erneuerbarer" Stromversorgung machen in Deutschland Windkraftanlagen aus, allerdings werden sie seit einiger Zeit wegen ihrer Infraschallerzeugung kritisiert.

Verschiedene Studien, z.B. durch die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2020) oder das Umweltbundesamt (2014), legen zwar nahe, dass der künstliche Infraschall unterhalb der Wahrnehmungsschwelle keine negativen Auswirkungen auf den menschlichen Körper hat. Jedoch gibt es so gut wie keine Forschung zu den Auswirkungen auf die Natur, obwohl im Rahmen des Umwelt- und Klimaschutzes auch die Pflanzenwelt berücksichtigt werden sollte.

Die Versuche, in denen die Beschallung von Pflanzen mit hörbarem Schall untersucht wurde, zeigten häufig, dass Schall bei Pflanzen Stress auslöst. Daher liegt die Hypothese nahe, dass auch Infraschall die Umwelt beeinflusst. Deshalb untersuchen wir die Fragestellung, ob der Infraschall einen Störfaktor für das Pflanzenwachstum darstellt.

Schall ist die Schwingung von Luft, die sich mit einer konstanten Geschwindigkeit ausbreitet. Die veränderlichen Parameter des Schalls sind die Frequenz, wodurch z.B. ein Ton höher oder tiefer klingt. Die Frequenz wird in Hertz angegeben (1Hz = eine Schwingung pro Sekunde). Der Schalldruckpegel bzw. die Lautstärke des Schalls wird in Dezibel (dB) angegeben.

Schall wird je nach Frequenz in verschiedene Bereiche eingeteilt (Abb. 1). Der für Menschen hörbare Schall befindet sich im Bereich von etwa 16-20 bis 16000-20000 Hertz. Alles was sich darüber befindet, nennt man Ultraschall, und Schall unter 20 Hz heißt Infraschall. Die Wahrnehmungsschwelle befindet sich unter der Hörschwelle und hängt vom Schalldruckpegel ab. Zwischen Hör- und

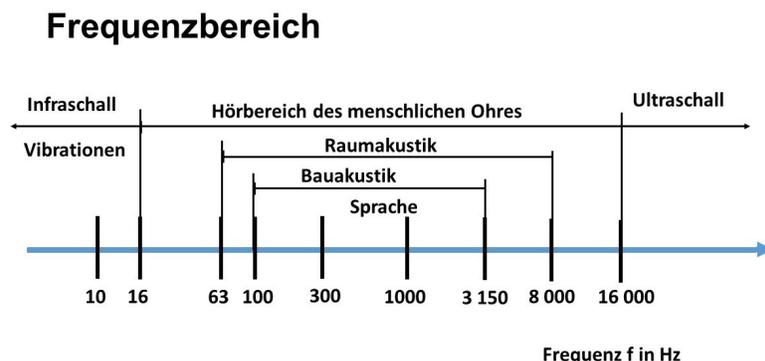


Abb. 1: "Frequenzband" des Schalls.

Wahrnehmungsgrenze ist Schall nur als Vibration spürbar. Diese Werte beziehen sich allerdings nur auf Menschen; Hunde oder Fledermäuse können beispielsweise auch Ultraschall hören. Da auch Pflanzen äußere Faktoren wahrnehmen können, könnten sie eventuell auch Infraschall wahrnehmen und auf diesen mit verändertem Wachstum reagieren.

Pflanzen benötigen zum Wachsen Wasser, Licht, CO₂ und Nährstoffe aus dem Boden. Ihre Energie gewinnen sie aus dem Prozess der Photosynthese (Abb. 2). Aus Wasser und CO₂ entsteht unter Einwirkung von Licht Glucose (Traubenzucker) und Sauerstoff.

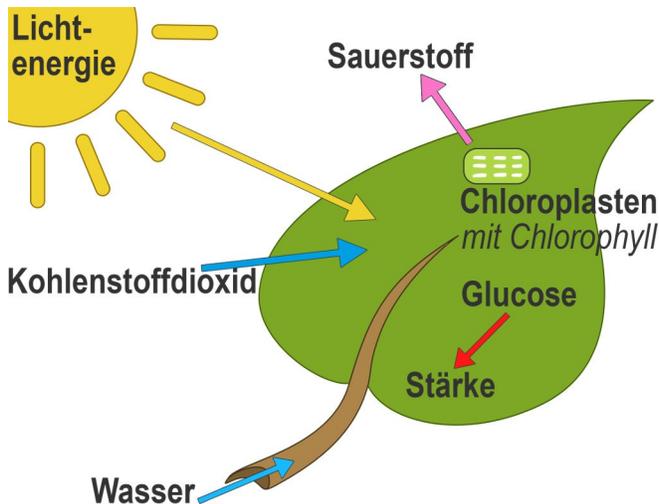


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der Photosynthese.

Dieses Wachstum kann aber durch äußere (abiotische) Faktoren negativ beeinflusst werden. Trockenstress entsteht durch eine zu geringe Wassermenge auf die die Pflanze zugreifen kann. Bei Trockenheit speichert die Pflanze möglichst viel Wasser, aber das Wachstum wird stark gehemmt und die Blätter werden kleiner. Durch Überwässerung befindet sich zu wenig Sauerstoff im Boden, wodurch die Pflanze verkümmert. Weitere Stressfaktoren sind der Salzgehalt im Boden, Hitze, Kälte, Chemikalien und mechanischer Stress. Letzterer entsteht durch Schütteln oder

Biegen der Pflanzen, Vibration und veränderte Luftbewegung. Wenn wir nun dauerhaft künstliche Schallwellen auf die Pflanzen aussenden, verändert sich die Luftbewegung und es kommt unter Umständen zu Vibrationen. Daher ist die Hypothese naheliegend, dass Pflanzen negativ auf Schall reagieren.

2. Versuchsaufbau

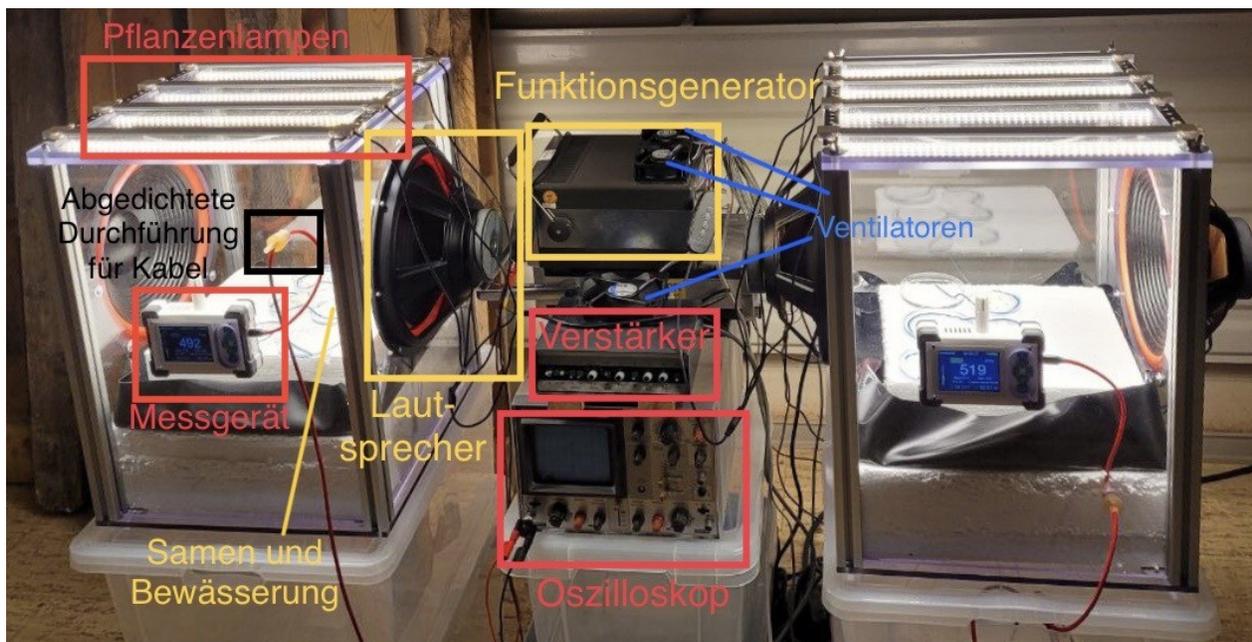


Abb. 3: Gesamter Versuchsaufbau mit zwei identischen Boxen. Links: Kontrollbox, rechts: beschallte Box, Mitte: Generator, Verstärker, Oszilloskop.

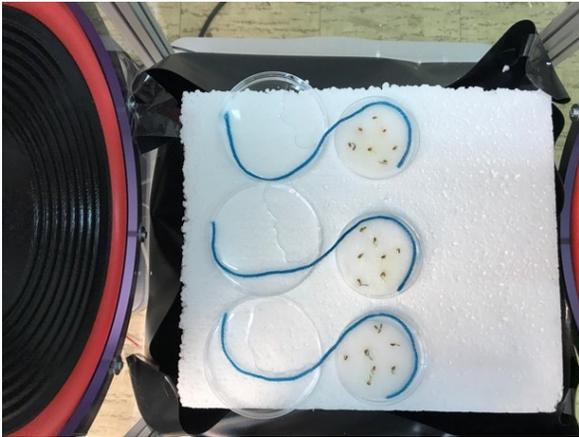


Abb. 4: Bewässerungssystem in den Boxen.



Abb. 5: Aufsicht Generator und Verstärker mit Lüfter.

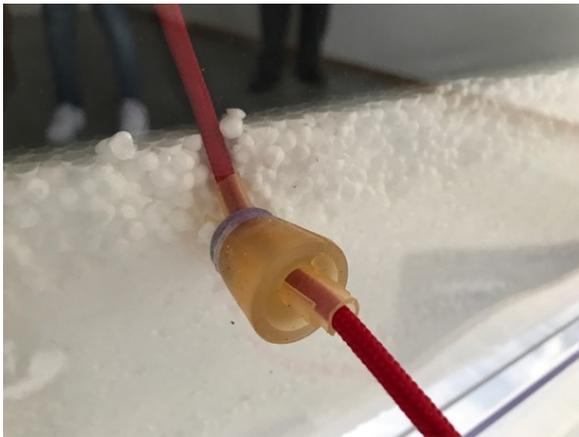


Abb. 6: Detailansicht, abgedichtete Durchführung für Kabel.

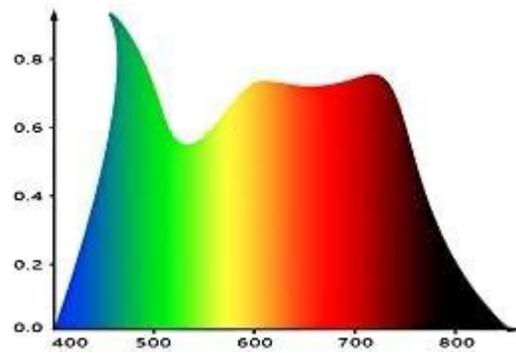
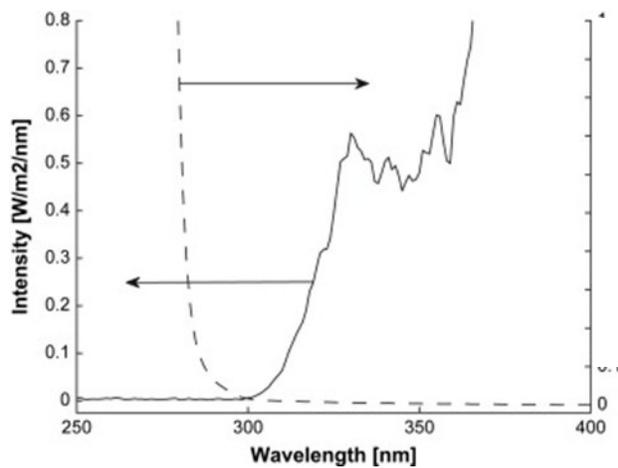


Abb. 7 + 8: Links: Absorptionsmaximum Polycarbonat (gestrichelt) und Spektrum des Sonnenlichtes (schwarze Linie). Rechts: Spektrum LED Wachstumslampe.

Als Material für das Grundgerüst der Boxen haben wir Polycarbonat ausgesucht. Das Material musste stabil genug sein, damit die Konstruktion hält, aber auch bearbeitbar, sodass man Löcher bohren kann, um beispielsweise Kabel hindurchzuführen. Außerdem musste die Box transparent und durchlässig für das Spektrum der Lampe sein (Abb. 7). Die vier Wandscheiben werden durch Boschprofile an den Ecken zusammengehalten. Die Boschprofile sind mit Boden und Deckel verschraubt. Der Deckel hat ein großes rundes Loch, durch das man reingreifen kann und zum Verschließen dieses Loches kann eine weitere PC-Scheibe oben befestigt werden. Das Grundgerüst wurde so optimiert, dass Eigenschwingungen minimiert werden können.

In die Wände rechts und links sind gegenüber voneinander zwei Lautsprecher eingebaut, die für die Erzeugung des Infraschalls verwendet werden. Die Lautsprecher schwingen durchgängig bei 7 Hertz mit Sinuswelle, 15 V Spitze-Spitze. Sie werden gegenphasig angesteuert, damit in der Kiste eine im gleichen Takt schwingende Luftsäule ohne Verwirbelungen entsteht. Die maximale Auslenkung beträgt 0,5 cm, wodurch eine bewegte Luftsäule mit einer Geschwindigkeit von 0,07 m/s entsteht.

In der einen PC-Kiste sind die beiden Lautsprecher eingeschaltet, wir nennen sie beschallte Box. In der anderen Kiste sind die Lautsprecher ausgeschaltet, sie dient der Kontrolle.

Da unser Versuchsraum keine Fenster besitzt, haben wir programmierbare LED Wachstumslampen installiert, die wir auf die Deckel der Kisten legen konnten, sodass das Licht direkt in die Kisten strahlt. Sie schalten sich um 7 Uhr morgens ein und leuchten bis 20 Uhr. Dadurch simulieren wir einen natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus.

In die vordere Wand auf der Innenseite wurde ein Messgerät geschraubt, das alle 10 Minuten (2 Tage entspricht etwa 288 Datenpunkten) den CO₂-Gehalt, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in der jeweiligen Box misst. Der CO₂-Gehalt wird in ppm mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ angezeigt, die Temperatur ist auf $\pm 1^\circ\text{C}$ genau und die Luftfeuchtigkeit wird auf $\pm 2\%$ Relativer Feuchte angegeben. Durch eine Aussparung in der Scheibe kann man das Messgerät von außen bedienen ohne den Deckel der Kiste zu öffnen. In der gleichen Scheibe befindet sich ein kleines abgedichtetes Loch (Abb. 6), durch das das Kabel des Messgeräts läuft.

In den geschlossenen PC-Kisten lassen wir Pflanzensamen auf Wattepad in Petrischalen auf Höhe der Lautsprecher wachsen. Weitere Petrischalen dienen als Wasserbehälter, je ein Wollfaden führt Wasser aus den Behältern zu einer Petrischale mit Samen (Abb. 4). Die Menge Wasser wird an die Temperatur und den Verbrauch angepasst. Nach zwei Tagen sollte der Behälter leer sein, die Wattepad aber noch feucht. Eine Teichfolie dichtet den Aufbau nach unten hin ab.

Alle zwei Tage öffnen wir die PC-Kisten, um das Wachstum zu protokollieren und die Pflanzen zu gießen. Beide Kisten werden mit Ausnahme der Beschallung gleich behandelt, um eine Vergleichbarkeit durch gleiche Bedingungen in beiden PC-Kisten zu gewährleisten.

Vorversuche, Schwierigkeiten und Änderungen am Versuchsaufbau

Der erste Vorversuch drehte sich um die Bewässerung. Wir haben verschiedene Methoden ausprobiert: Wasser, das wir unter die Töpfe auf den Boden gossen, ein Infusionsbeutel, der mit Wasser gefüllt war und konstant etwas Wasser abgegeben hat und ganz klassisch von Hand in die Erde gießen. Das direkte Gießen stellte sich dabei als die beste Methode heraus. Das Problem dabei ist, dass man den Pflanzen nicht zu

viel Wasser auf einmal geben darf, sodass man die Pflanzen regelmäßig gießen muss. Das bedeutet, dass man auch die Kisten regelmäßig öffnen muss, was zu einem Anstieg der CO₂-Konzentration führt, was sich deutlich in den Messwerten zeigt. Eine weitere Schwierigkeit dabei war, die richtige Wassermenge zu finden. Daher werden die Pflanzen nun indirekt über einen Wollfaden und eine weitere Petrischale, die mit Wasser gefüllt ist, bewässert, wie oben in Abb. 4 gezeigt. Das ermöglicht selteneres Gießen, also selteneres Öffnen des Deckels und dadurch weniger Störung des Versuches. In einem weiteren Versuch beobachteten wir den CO₂-Verlauf in den Kisten mit Pflanzen darin. Wir haben eine tendenzielle Abnahme erwartet, konnten diese allerdings zunächst nicht beobachten (Abb. 9). Dann haben wir festgestellt, dass unsere Kisten Löcher für die Kabel der Messgeräte haben, die nicht dicht verschlossen sind. Nachdem wir diese mit Stopfen abgedichtet haben (Abb. 6), war die Abnahme der CO₂-Konzentration deutlich erkennbar. Durch das Öffnen der Kisten wird die Atmosphäre mit der Umgebungsluft vermischt, was man auch durch den Anstieg des CO₂-Gehalts beobachten kann (Abb. 10).

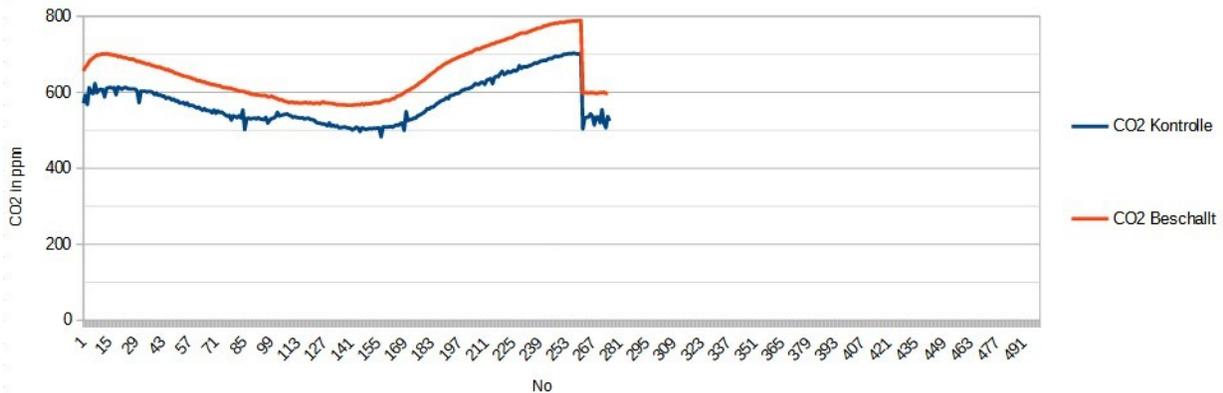


Abb 9: CO₂-Verlauf in beiden Kisten ohne Abdichtung.

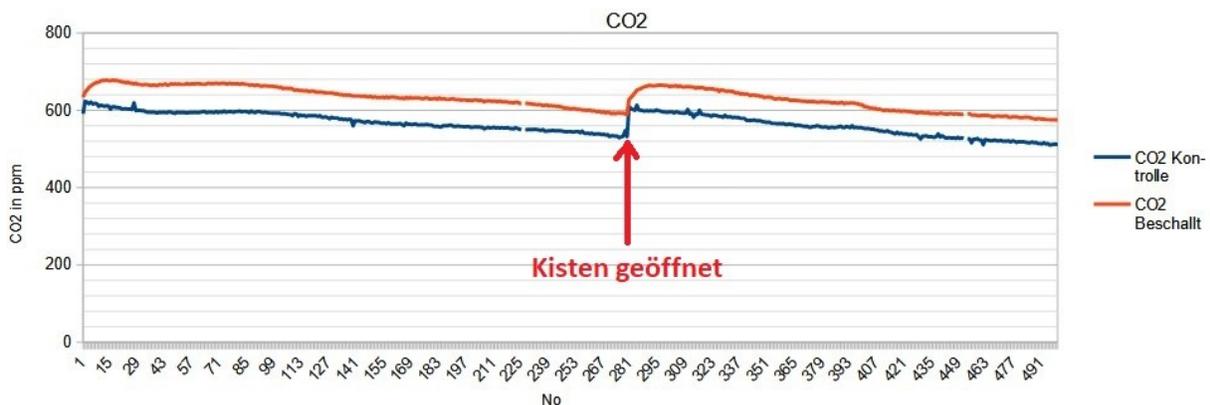


Abb 10: CO₂-Verlauf in beiden Kisten mit Abdichtung.

Bei Vergleichen des CO₂-Gehalts beider Kisten fällt auf, dass das Messgerät in der beschallten Kiste immer eine höhere CO₂-Konzentration mit gleichbleibendem Offset anzeigt. Wir sind aber zu dem Schluss gekommen, dass es am Gerät liegt und die

Werte nur verschoben sind. Daher kann der Verlauf der Kurven trotzdem direkt miteinander verglichen werden.

Als wir die Lautsprecher getestet haben, sind der Generator und der Verstärker zu heiß geworden und durch eine automatische Sperre haben sie sich ausgeschaltet. Um dieses Problem zu lösen, haben wir kleine Ventilatoren auf den Funktionsgenerator und den Verstärker gelegt, um sie zu kühlen (Abb. 5). Dadurch sind die Geräte zwar nicht mehr überhitzt, aber die Rotoren der Ventilatoren erzeugen Schall, was ein Störfaktor darstellen kann.

3. Versuchsdurchführung

Die Versuche werden als Triplikate durchgeführt, um möglichst aussagekräftig zu sein. Wir setzen vorgekeimte oder nicht vorgekeimte Samen auf die Wattepad in den Petrischalen. In jeder Petrischale eines Versuches befinden sich gleich viele Samen. Diese Petrischalen werden wie in Abb. 2 gezeigt in die Kisten gestellt. Der Faden für die Bewässerung wird um das Wattepad gelegt. Dann wird der Deckel geschlossen und nur alle zwei Tage wird er zum Gießen der Pflanzen kurz geöffnet. Zu diesen Zeitpunkten wird immer eine optische Kontrolle der Keimlinge vorgenommen und die Daten der Messgeräte ausgelesen. In der Regel läuft ein Versuch 2-4 Wochen je nach Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums.

Unsere Versuche haben wir mit drei verschiedenen Arten durchgeführt: Kresse, Weißklee und Radieschen der Sorte Cherry Belle. Dabei haben wir 6 aussagekräftige Versuche durchgeführt, zwei davon mit vorgekeimter Kresse, einer mit nicht vorgekeimten Klee, zwei mit vorgekeimten Klee und einer mit vorgekeimten Radieschen

4. Ergebnisse

4.1. Nicht Vorgekeimte Samen

Erst haben wir Kleesamen direkt, ohne Vorkeimung auf die Wattepad gesetzt und sie so in den Kisten wachsen lassen.

In der beschallten Kiste haben 30% der Samen später Blätter entwickelt. In der Kontrolle waren es dagegen 73%.

Viele der Samen haben somit gar nicht gekeimt und sie sind insgesamt nacheinander ausgetrieben. Das liegt daran, dass die Samen erst keimen müssen bevor sie austreiben können.

Viele der beschallten Samen sind später als die Kontrolle ausgetrieben, wie man in Abb. 12 - 17 erkennen kann.



Abb 12: Klee, nicht vorgekeimt, Beschallt, Tag 1.



Abb 14: Klee, nicht vorgekeimt, beschallt, Tag 3.

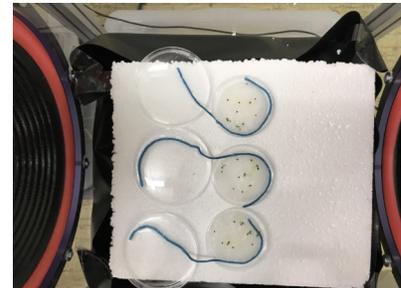


Abb 16: Klee, nicht vorgekeimt, beschallt, Tag 5.



Abb 13: Klee, nicht vorgekeimt, Kontrolle, Tag 1.



Abb 15: Klee, nicht vorgekeimt, Kontrolle, Tag 3.

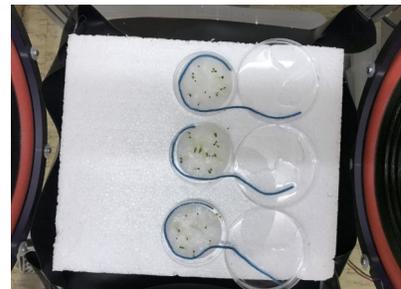


Abb 17: Klee, nicht vorgekeimt, Kontrolle, Tag 5.

4.2. Vorgekeimte Samen

Um einen vergleichbaren Startpunkt zu haben, an dem alle Keimlinge gleichzeitig austreiben können, wurden die Samen vorgekeimt (also etwa 5 Tage vor Versuchsbeginn in ein dauerhaft feuchtes Küchenpapier gelegt) und erst dann in die Kisten gelegt. Somit haben wir auch blinde Samen von Anfang an ausschließen können und einen einheitlichen Startpunkt für alle Keimlinge gewährleisten können.

Bei den Kressesamen (Abb. 18 – 23) haben in der beschallten Kiste 39% Blätter entwickelt, in der Kontrolle 50% der Keimlinge.

Im zweiten Versuch mit Kresse haben 57% der beschallten Keimlinge Blätter entwickelt, in der Kontrolle aber ganze 81%.

Mit Kleesamen haben wir auch zwei Versuche durchgeführt. Beim ersten Versuch wuchsen 90% der beschallten Keimlinge bis sie Blätter bekamen, in der Kontrollkiste aber nur 67%.

Bei der Wiederholung kamen wir aber auf 73% Blattentwicklung in der Schallbox und 92% in der Kontrolle.

Der nächste Versuch wurde mit Radieschen (Abb. 24 – 29) durchgeführt. Dabei sind aus allen Keimlingen Pflanzen gewachsen, die Stängel und Blätter der beschallten Gruppe waren hier aber größer.

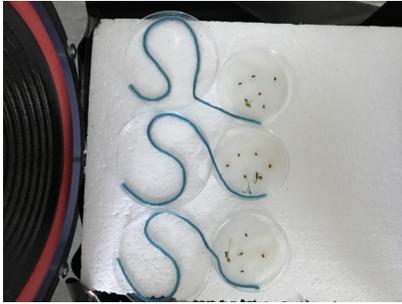


Abb 18: Kresse 1, beschallt, Tag 3.

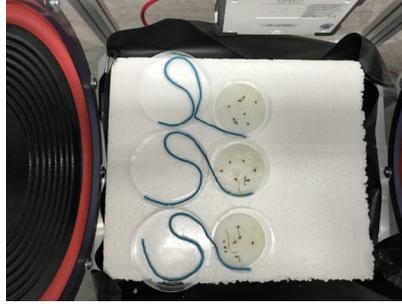


Abb 20: Kresse 1, beschallt, Tag 7.

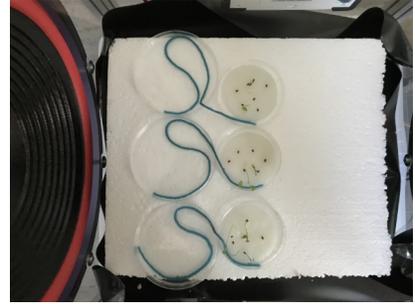


Abb 22: Kresse 1, beschallt, Tag 11.

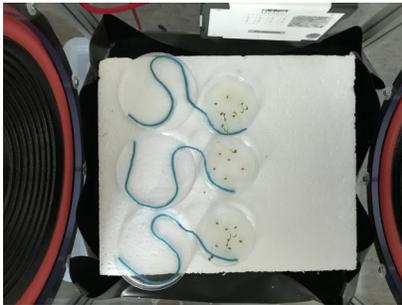


Abb 19: Kresse 1, Kontrolle, Tag 3.

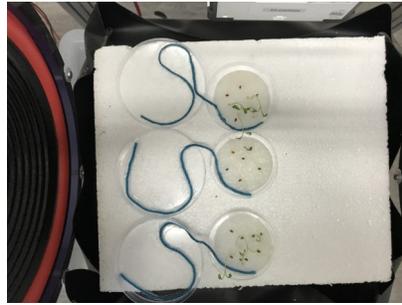


Abb 21: Kresse 1, Kontrolle, Tag 7.



Abb 23: Kresse 1, Kontrolle, Tag 11.

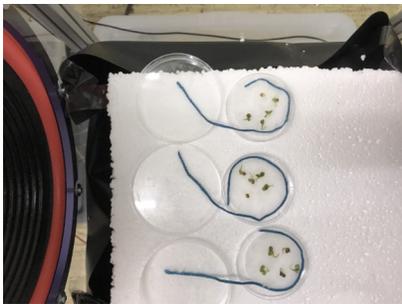


Abb 24: Radieschen, beschallt, Tag 3.



Abb 26: Radieschen, beschallt, Tag 7.

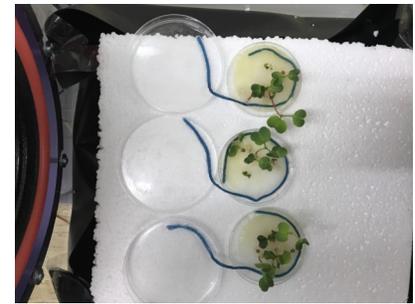


Abb 28: Radieschen, beschallt, Tag 13.

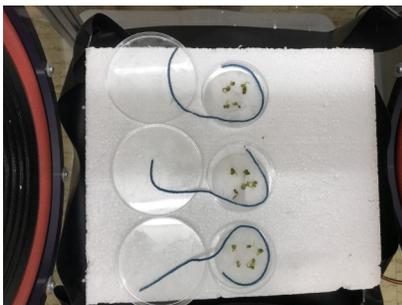


Abb 25: Radieschen, Kontrolle, Tag 3.



Abb 27: Radieschen, Kontrolle, Tag 7.



Abb 29: Radieschen, Kontrolle, Tag 13.

Wir konnten feststellen, dass Kresse insgesamt am schlechtesten gewachsen ist und die Radieschen am besten. Die Kresse ist selten und wenn, nur langsam in die Höhe gewachsen und in beiden Gruppen gab es viele gelbe bis braune Stellen. Die Radieschen sind stattdessen sehr schnell gewachsen, alle Pflanzen sahen gesund und stark aus und alle Blätter waren groß und dunkelgrün.

Bei den beschallten Pflanzen konnte man häufig ein schiefes Wachstum beobachten, teilweise blieben die Pflanzen sogar ganz am Boden. Wie in der Statistik (Abb. 30) zu sehen, sind mehr Keimlinge in der beschallten Kiste zu Pflanzen gewachsen. Außerdem waren die beschallten Pflanzen insgesamt kleiner, hatten kleinere Blätter und öfter braune Stellen.

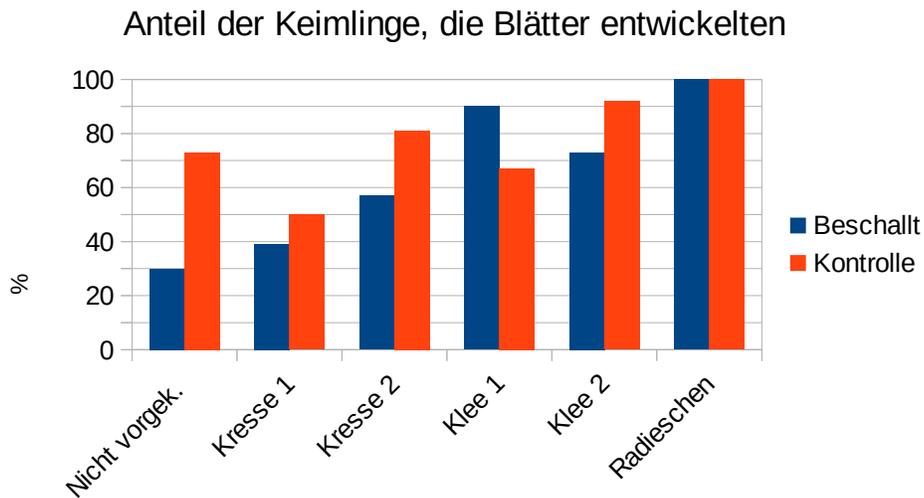


Abb 30. : Anteil der Keimlinge, die Blätter entwickelt haben.

5. Ergebnisdiskussion

Durch unseren Versuchsaufbau mit identischer beschallter und Kontrollkiste und darin herrschenden vergleichbaren Bedingungen können wir unsere Experimente untereinander vergleichen. Wir beziehen uns hierbei vor allem auf die optischen Eindrücke der gewachsenen Pflanzen.

Insgesamt wachsen die beschallten Pflanzen langsamer und bilden weniger Blätter aus als Pflanzen in der Kontrollkiste. Das zeigt, dass Infraschall die Pflanzen in Stress versetzt und somit ein Störfaktor für sie ist. Im Anfangsstadium des Wachstums einer Pflanze aus deren Keimling scheint dies besonders ausgeprägt zu sein.

Wir wollen weitere Versuche mit weiter entwickelten und größeren Pflanzen durchführen, um zu überprüfen wie sich der Infraschall auf die späteren Wachstumsstadien einer Pflanze auswirkt.

Momentan werden die Pflanzen in unseren Versuchen stärker beschallt als die Pflanzen in der Nähe einer Windkraftanlage, da die Rotoren eines Windrads etwa 100m hoch sind und die Pflanzen in der PC-Kiste sich unmittelbar in der Nähe der Infraschallquelle

befinden. Ein weiterer Ansatzpunkt wäre daher andere Amplituden und auch Frequenzen zu testen.

Auch Versuche mit anderen Störfaktoren wie zum Beispiel mechanische Beanspruchung durch Bewegungen des Versuchsaufbaus oder Veränderung der Temperatur würden wir gerne mit unserem Versuchsaufbau durchführen.

6. Zusammenfassung

In unseren Versuchen ließen wir Keimlinge unter Beschallung mit Infraschall und ohne Beschallung in einer kontrollierten Umgebung wachsen. Wir konnten dabei beobachten, dass die Samen in der Kontrollgruppe meist früher Blätter entwickelten, insgesamt wuchsen mehr Pflanzen aus den Keimlingen und die gewachsenen Pflanzen waren größer und gesünder, im Gegensatz zu den beschallten Pflanzen, die häufiger braune Stellen aufwiesen und z.T. verkümmert aussahen.

Der Infraschall stellt somit eindeutig einen Störfaktor im frühen Wachstumsstadium einer Pflanze dar.

7. Quellen- und Literaturverzeichnis

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit; Windenergieanlagen, Infraschall und Gesundheit, https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf (zuletzt besucht am 31.12.2022)

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Infraschall, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/infraschall> (zuletzt besucht 12.01.23)

CANNA, Stress bei Pflanzen, https://www.canna-de.com/die_haeufigsten_formen_von_pflanzenstress (zuletzt besucht 12.01.23)

Mein schöner Garten, Weißklee, <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/klee/weissklee#wuchs> (zuletzt besucht 12.01.23)

Gartenfreunde, Cranberry Bohne/ Borlotti Bohne, <https://www.gartenfreunde.de/gartenpraxis/gartengenuss/borlotti-bohnen-anbauen/> (zuletzt besucht 12.01.23)

Alois Schaffarczyk: "Einführung in die Windtechnik" Carl Hanser Verlag München, 2. Auflage 2016, S. 85, 86, 116

Abb. 1: Ingenieurbüro für Arbeitssicherheit Rey,
<https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/none/path/s253a0b7c43c6a3b8/image/i55cdfbc038bc3826/version/1521469189/image.jpg> (zuletzt besucht 14.01.23)

Abb. 2: Sofatutor,
https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/images.sofatutor.com/content_topics/2538/2x/fotosynthese-uebersicht.jpg (zuletzt besucht 14.01.23)

Abb. 3 – 6,9 - 30: Jeannine Rebmann

Abb. 7: M. Diepens, P. Gijsman *Polymer Degradation and Stability* 93 (2008) 1383–1388

Abb. 8: https://www.amazon.de/Puosike-Pflanzenlampe-Pflanzenleuchte-Wachstumslampe-Zimmerpflanzen/dp/B09BC1CTDC?ref_=ast_sto_dp (zuletzt besucht 14.01.23)

8. Unterstützungsleistungen

Lara Holderied, Chemikerin, Beratung zum Versuchsaufbau, zur Durchführung und Auswertung

Jo Becker, Diplom-Ingenieur Nachrichtentechnik, Beratung zum Versuchsaufbau und zur Durchführung, hat uns die technischen Geräte wie Verstärker zur Verfügung gestellt

Bernhard Rebmann, Diplom-Ingenieur (FH) Nachrichtentechnik, Aufbau der Technik, Unterstützung bei der Versuchsdurchführung

Bernhard Horlacher, Chemiker, Kepler Seminar, Beratung zum Versuchsaufbau und zur Durchführung, hat uns CO₂-Messgeräte und die Materialien für die PC-Kisten zur Verfügung gestellt

Sieglinde Berger, Operative Koordinatorin, AEROSPACE LAB e.V., Bereitstellung der Räumlichkeiten