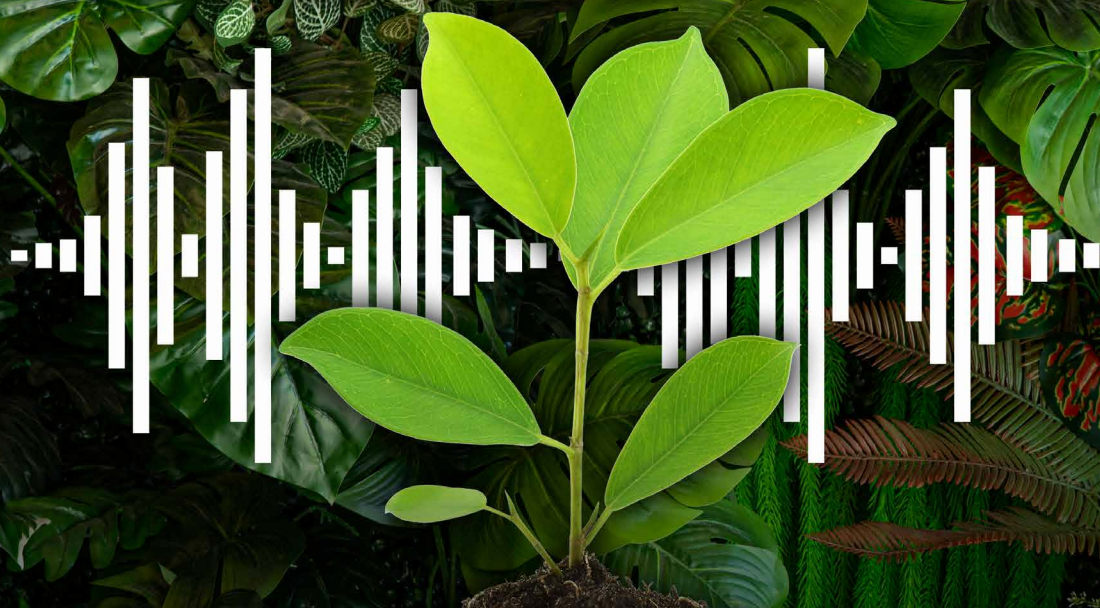


JUNGE wissenschaft

Jungforscher*Innen publizieren
online | **peer reviewed** | original

Verlag:
Physikalisch-
Technische
Bundesanstalt



Biologie &
Medizin

Die Stimmen der Pflanzen

Untersuchung der durch Pflanzen
emittierten Ultraschalltöne

In dieser Arbeit wird mit einfachen technischen Mitteln wie einem Fledermausdetektor, einem Mikrofon, einem Smartphone und einer selbstgebauten Akustikbox untersucht, ob Pflanzen wie Algen, Moose, Gefäßsporen- und Samenpflanzen Töne im Ultraschallbereich abgeben. Die nachgewiesenen Pflanzengeräusche werden hinsichtlich Häufigkeit und Rhythmus des Auftretens sowie der sonographischen Darstellung verglichen.

DER JUNGFORSCHER



© Stiftung Jugend forscht e.V.

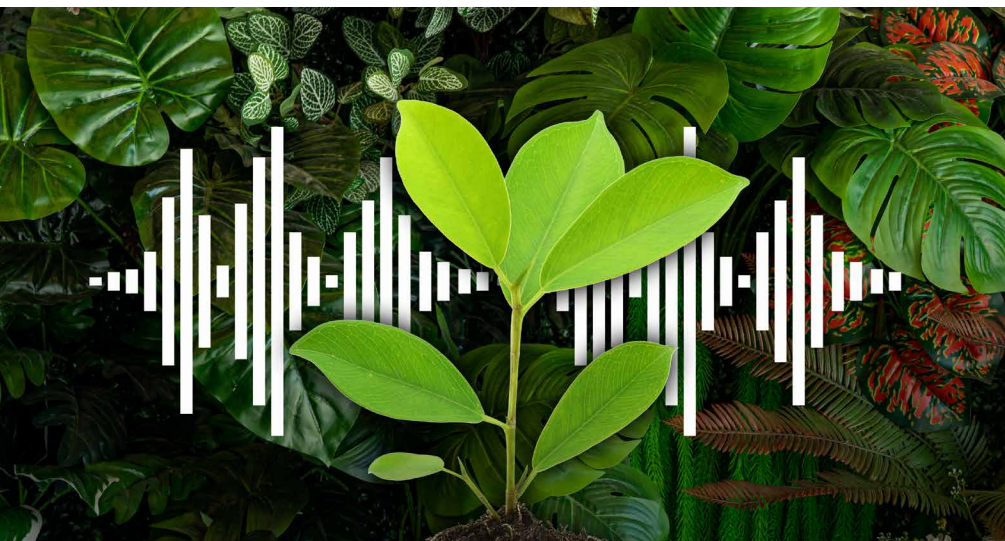
Aeneas Neumann (2009)
Staatliches Lerchenberggymnasium
Altenburg

Eingang der Arbeit:

27.10.24

Arbeit angenommen:

17.12.24



Die Stimmen der Pflanzen

Untersuchung der durch Pflanzen emittierten Ultraschalltöne

1. Einleitung

1.1 Forschungsstand

In einer 2023 von israelischen Wissenschaftlern veröffentlichten Arbeit [1] wird berichtet, dass Samenpflanzen „Plopp-Geräusche“ im Ultraschallbereich erzeugen und dass sich diese Emissionen über die Luft ausbreiten. Dies geschieht verstärkt in Stresssituationen. Es wurde nachgewiesen, dass sowohl trockengestresste als auch angeschnittene Tomaten- und Tabakpflanzen signifikant mehr Töne aussenden als Pflanzen der Kontrollgruppen. Weitere Untersuchungen zeigten, dass auch Weizen, Mais, Wein, Nadelkissenkaktus und Taubnessel Geräusche von sich geben. Die Wissenschaftler vermuten, dass die Geräuschestehung mit der Kavitation im Gefäßsystem der Pflanzen zusammenhängt, da die Geräuschabgabe mit der Transpirationsra-

te bei gestressten Pflanzen korreliert [1]. Inzwischen sind weitere Arbeiten [2], [3] veröffentlicht wurden, die einerseits die Schlussfolgerungen von [1] relativieren und andererseits einen Überblick über Geschichte und den Stand der Ultraschallforschung bei Pflanzen geben.

1.2 Motivation und Vorgehensweise

Die Idee, Pflanzen hören zu können, hat mich begeistert. Wie wohl eine Blumenwiese klingt, wenn wir sie hören könnten? Dazu ist es jedoch erforderlich, die Ultraschalltöne der Pflanzen, die im Frequenzbereich von 20 kHz bis 100 kHz liegen, in einen für uns Menschen hörbaren Bereich zu übertragen. Anders ist dies bei Tieren: Fledermäuse, kleine Nagetiere oder Insekten hören und produzieren Töne im Ultraschallbereich. Daher stellt sich die Frage, ob die Pflanzen mit ihren Tönen auch be-

stäubende Insekten anlocken oder Schädlinge versuchen fernzuhalten. Vielleicht können sie sich auch gegenseitig warnen. Die Beantwortung dieser Fragen geht jedoch weit über meine Untersuchungsmöglichkeiten hinaus.

Um meine Pflanzen hörbar zu machen, müssen die Töne erstmal aufgezeichnet werden. Dazu entwickelte ich eine schallisolierte Akustikbox und nahm die Ultraschallemissionen mit einem Fledermausdetektor auf. Danach wurde untersucht, welche Pflanzen Töne von sich geben. Es wurde hierbei in der Systematik der Pflanzen rückwärtsgegangen, um zu sehen, ob auch Pflanzen anderer Entwicklungsstufen Töne abgeben. Anschließend erfolgte ein Vergleich aller Versuchsergebnisse. Im vierten Schritt wurde die Klangumgebung der getesteten Pflanzen zusammengefasst, um sie für uns Menschen hörbar zu machen.

2. Materialien und Methoden

Die Töne der Pflanzen befinden sich in einem Ultraschallbereich von 20 kHz bis 100 kHz. Um diese Töne hörbar zu machen, braucht man ein Ultraschallmikrofon und eine technische Möglichkeit, diese in einem für uns wahrnehmbaren Frequenzbereich erklingen zu lassen. Gleichzeitig muss ausgeschlossen werden, dass andere Ultraschallgeräusche, z. B. von technischen Geräten, die Aufnahme stören. Es muss also sichergestellt sein, dass man auch wirklich nur die Pflanze hören kann. Hierfür wurde zunächst eine Akustikbox gebaut und darin mithilfe eines einfachen Fledermausdetektors getestet, ob man die Töne einer Pflanze hören kann.

2.1 Die Akustikbox

2.1.1 Aufbau

Ein kleiner Schrank mit Glastür wurde zu einer Akustikbox umgebaut (siehe Abb. 1). Die Wände der Box wurden mit Akustikvlies in einer Stärke von 3 cm ausgekleidet. Zur weiteren Schall-



Abb.1: Die Akustikbox mit Pflanze und Messgeräten

dämpfung wurden noch Decken verwendet, welche über die Akustikbox gelegt wurden.

2.1.2 Test der Akustikbox

Die Akustikbox befand sich in einem kleinen Zimmer. Nun wurde ein Keyboard in einem festen Abstand zur Akustikbox vor dem Zimmer aufgestellt und auf eine feste Lautstärke (73 dB) eingestellt. Danach erfolgte die Messung der Lautstärke, die in der Akustikbox ankam, mit einem Lautstärkemessgerät. [Tab. 1](#) zeigt die Ergebnisse unter verschiedenen Versuchsbedingungen.

Mit dem realisierten Versuchsaufbau konnte die Lautstärke von Außen-geräuschen um 37 dB gesenkt werden

([Tab. 1](#)). Alle folgenden Aufnahmen wurden deshalb mit dem vorliegenden Versuchsaufbau (Box mit Vlies und Decken, geschlossene Zimmertür)

durchgeführt. Um das Ergebnis noch zu verbessern, wurde darauf geachtet, dass in der gesamten Wohnung zu diesem Zeitpunkt kaum Geräusche entstanden.

2.2 Messung des Ultraschalls

2.2.1 Der Fledermausdetektor

Eine Recherche im Internet zu Ultraschallmikrofonen ergab, dass sich für die Messung des Ultraschalls Fledermausdetektoren eignen könnten, da Fledermäuse Töne im Ultraschallbereich abgeben. Es wurde ein einfacher Fledermausdetektor zum Selberbauen von *Franzis* besorgt. Dieser gibt die Ultraschalltöne in einer für Menschen hörbaren Frequenz in Echtzeit wieder. Aufnahmen sind damit nicht möglich.

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass der einfache Ultraschalldetektor nur Geräusche anzeigt, welche direkt vor dessen Mikrofon entstehen. Damit ist es leichter, andere störende Ultraschalltöne auszuschließen. Um das Mikrofon des Detektors bei kleineren Pflanzen ggf. genauer ausrichten zu können, wurde ein kleiner Schalltrichter gerendert und mit dem 3D-Drucker gedruckt.

Bei dem einfachen Ultraschalldetektor ließ sich der Frequenzbereich nicht ablesen. Die Anzeige ist lediglich in sieben Frequenzstufen aufgeteilt. Der Fledermausdetektor wurde daher mithilfe

Tab. 1: Messungen zur Schalldämpfung in der Akustikbox

Versuchsbedingung	Lautstärke in dB
außerhalb der Akustikbox mit offener Zimmertür	73
innerhalb der Akustikbox	57
innerhalb der Akustikbox mit Akustikvlies	52
innerhalb der Akustikbox mit Akustikvlies und Decken über der Box	49
innerhalb der Akustikbox mit Akustikvlies und Decken über der Box mit geschlossener Zimmertür	36

Tab. 2: Aufnahme einer Tomatenpflanze, Dauer 60 min

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
						2								
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
				2		2								
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

eines Signalgenerators, welcher mit einem Piezoschallwandler verbunden war, kalibriert. Nunmehr war bekannt, welche Stufe welcher Frequenz entspricht.

2.2.2 Testmessungen

Da in [1] die Töne von Tomatenpflanzen untersucht worden waren, wurde eine selbstgezogene Tomatenpflanze als erste Testpflanze gewählt. Im Internet war den Forschungsergebnissen auch ein Soundtrack mit den Geräuschen einer Tomatenpflanze beigefügt, so war bekannt, auf welche Geräusche geachtet werden musste.

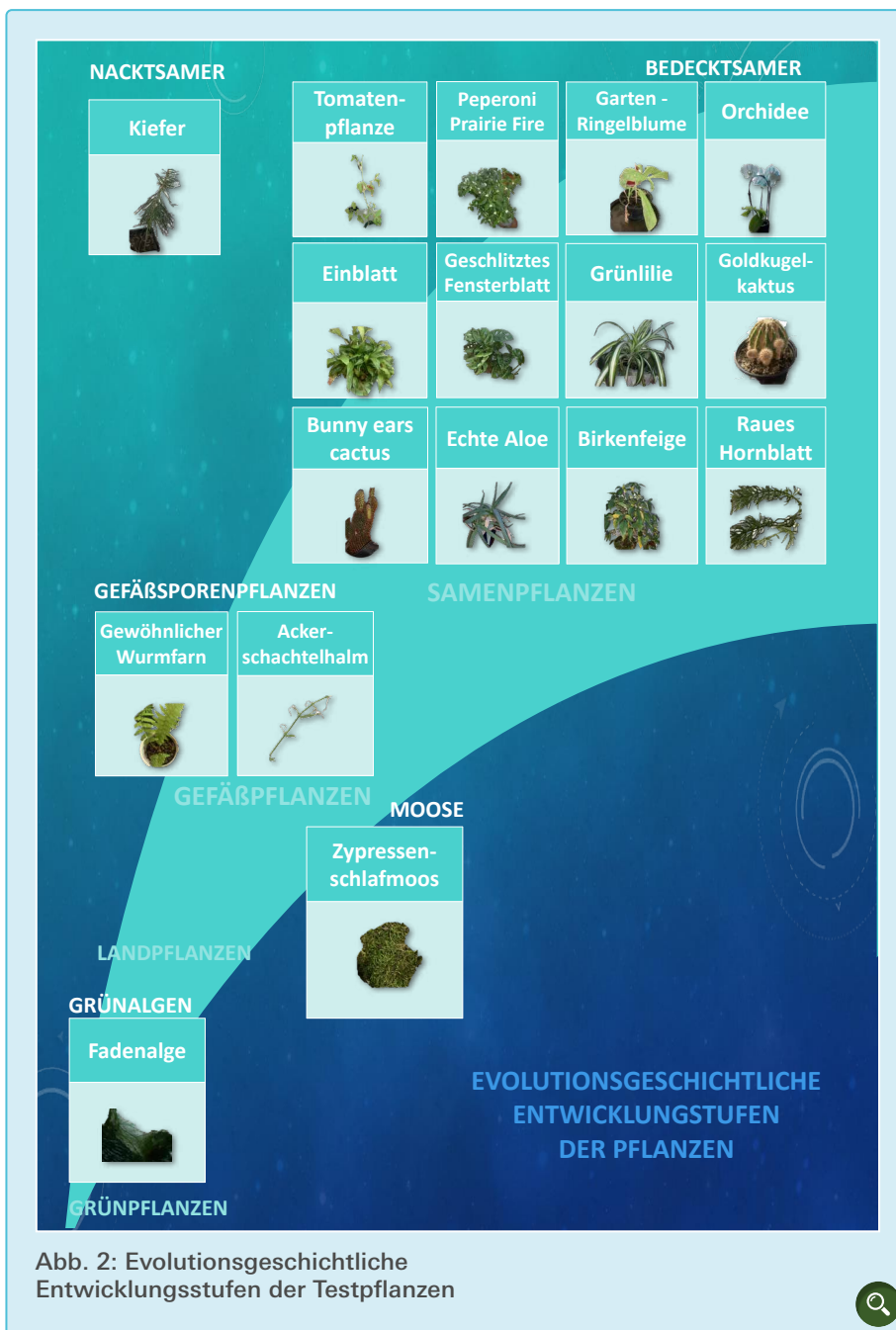
Für zwei Testmessungen wurde zunächst die Stufe 5 genutzt, welche einer Frequenz von ca. 60 kHz entspricht. Die Testpflanze befand sich in der Akustikbox. Aufgrund der Beschaffenheit der Box und der zur Schalldämpfung genutzten Decken, stand die Pflanze im Dunkeln. Das Mikrofon wurde auf den Stängel der Pflanze mit ca. 2 cm bis 3 cm Abstand ausgerichtet. Um die Töne, welche der Detektor überträgt, aufzeichnen zu können, wurde ein Diktiergerät genutzt, welches neben den Detektor in die Box gelegt wurde. Zuvor war das Diktiergerät mit dem Ultraschalldetektor getestet worden, um auszuschließen, dass es selbst störende Ultraschalltöne aussendet.

Es wurde eine einstündige Aufnahme mit einer Tomatenpflanze durchgeführt. Es erfolgte die Auswertung der gesamten Aufnahme, um zu hören, ob die erwarteten Plopp-Geräusche aufgezeichnet wurden. Tab. 2 zeigt die Ergebnisse. Minuten, in denen Geräusche zu hören waren, sind gelb markiert; die Zahl gibt an, wie viele Ploppe zu hören waren. Minuten ohne Geräusche sind grün markiert.

Anschließend wurde eine Vergleichsaufnahme ohne Pflanze in der Akustikbox durchgeführt. Die einstündige Aufnahme erfolgte am nächsten Tag unter gleichen Bedingungen zur gleichen Ta-

Tab. 3: Aufnahme der leeren Akustikbox

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60



geszeit. Tab. 3 zeigt, dass kein Geräusch zu hören war. Damit konnte davon ausgegangen werden, dass tatsächlich die Ultraschallgeräusche der Pflanze aufgezeichnet worden waren.

Bei den weiteren Versuchen wurde die Stufe 5 (ca. 60 kHz) beibehalten, damit die Testbedingungen einheitlich waren. Problematisch war, dass die Aufnahmen des Diktiergerätes nicht direkt auf den PC geladen werden konnten, um sie dort weiter zu bearbeiten. Daher wurde im Folgenden das Diktiergerät durch ein Smartphone ersetzt. Ein Test er-

gab, dass das Smartphone im Flugmodus keine Störungen im Ultraschallbereich hervorruft. Zur Sicherheit wurde es trotzdem außerhalb der Box platziert, obwohl der Detektor gemäß der Erfahrung nur auf Ultraschalltöne reagiert, die direkt vor seinem Mikrofon entstehen. Es wurde noch ein gesondertes Mikrofon für die Aufnahmen mit dem Smartphone benutzt. Dieses wurde auf den Lautsprecher des Detektors ausgerichtet und mit dem Smartphone verbunden. Nach einem weiteren Test mit dem Ultraschalldetektor zeigte sich, dass das Mikrofon im Betrieb keine

Ultraschalltöne aussendet, also konnte es in der Box platziert werden. Mithilfe dieses Mikrofons erfolgte nun die Aufzeichnung mit dem Smartphone.

Mit der App *Splitteroo* konnte die Aufnahme dann gesplittet werden, sodass das Rauschen des Ultraschalldetektors von dem Pflanzengeräusch überwiegend getrennt wurde. Mithilfe des Programms *WavePad* (Freeware) konnten die Geräusche auch sonographisch dargestellt und entsprechende Screenshots angefertigt werden.

3. Ultraschallaufnahmen an unterschiedlichen Pflanzen

3.1 Auswahl der Pflanzen

Ausgewählt wurden 17 verschiedene Pflanzen (Abb. 2, Tab. 4). Zunächst wurden alle im Raum vorhandenen Pflanzen, welche in die Akustikbox passen, genutzt. Alle Pflanzen waren Samenpflanzen. Danach wurden aus dem Garten, dem Wald und dem Park auch Pflanzen anderer Entwicklungsstufen ausgesucht. Alle Pflanzen wurden mit der App *Flora incognita* bestimmt.

3.2 Versuchsdurchführung

3.2.1 Allgemein

Die Pflanzen wurden zu drei verschiedenen Testzeiten jeweils für eine Stunde in die Akustikbox gestellt und vermessen: 6:00 bis 7:00 Uhr, 15:00 bis 16:00 Uhr und 19:00 bis 20:00 Uhr. Die verschiedenen Testzeiten wurden gewählt, um die Chance auf eine erfolgreiche Aufzeichnung von Pflanzengeräuschen zu erhöhen.

Zu jeder Testzeit wurden die Umgebungsdaten Temperatur, Luftfeuchte (Angaben einer Wetterstation) und die Trockenheit der Erde (Stäbchenprobe: wie viele Zentimeter die Erde ab der Oberfläche nach unten hin trocken ist) notiert. Diese Werte waren während der gesamten Testphase relativ konstant mit Durchschnittswerten von 25,4°C,

Tab. 4: Bezeichnung und Systematik getesteter Pflanzen

Pflanze	Information
Tomatenpflanze	lat. Name: <i>Solanum lycopersicum</i> Familie: <i>Solanaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Peperoni Prairie Fire	lat. Name: <i>Capsicum annum</i> Familie: <i>Solanaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Garten-Ringelblume	lat. Name: <i>Calendula officinalis</i> Familie: <i>Asteraceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Orchidee	lat. Name: <i>Phalaenopsis</i> Familie: <i>Orchidaceae</i> (Orchidee) Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Einblatt (Peace lily)	lat. Name: <i>Spathiphyllum wallisii</i> Familie: <i>Araceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Geschlitztes Fensterblatt	lat. Name: <i>Monstera adansonii</i> Familie: <i>Araceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Grünlilie	lat. Name: <i>Chlorophytum comosum</i> Familie: <i>Asparagaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Goldkugelkaktus	lat. Name: <i>Echinocactus grusonii</i> Familie: <i>Cactaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Bunny ears cactus	lat. Name: <i>Opuntia microdasys</i> Familie: <i>Cactaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Echte Aloe	lat. Name: <i>Aloe Vera</i> Familie: <i>Asphodelaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Birkenfeige	lat. Name: <i>Ficus benjamina</i> Familie: <i>Moraceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanze (Bedecktsamer)
Raues Hornblatt (Wasserpflanze)	lat. Name: <i>Ceratophyllum demersum</i> Familie: <i>Ceratophyllaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanzen (Bedecktsamer)
Kiefer (Föhre)	lat. Name: <i>Pinus sylvestris</i> Familie: <i>Pinaceae</i> Entwicklungsstufe: Samenpflanzen (Nacktsamer)
Acker-Schachtelhalm	lat. Name: <i>Equisetum arvense</i> Familie: <i>Equisetaceae</i> Entwicklungsstufe: Schachtelhalme (Gefäßsporenpflanze)
gewöhnlicher Wurmfarne	lat. Name: <i>Dryopteris filix-mas</i> agg. Familie: <i>Dryopteridaceae</i> Entwicklungsstufe: Farne (Gefäßsporenpflanze)
Zypressenschlafmoos	lat. Name: <i>Hypnum cupressiforme</i> Familie: <i>Hypnaceae</i> Entwicklungsstufe: Moose (Landpflanze)
Fadenalge (Grünalge)	lat. Name: <i>Zygnema</i> Familie: <i>Zygnemataceae</i> Entwicklungsstufe: Grünalge (Grünpflanze)

46,8 Prozent Luftfeuchte und 2,6 cm Bodentrockenheit. Alle Pflanzen bis auf den Farn hatten bei der Messung einen leichten Trockenstress, weil das nach [1] die Wahrscheinlichkeit auf die Pflanzengeräusche erhöht. Beim Farn hatte die erste Testpflanze das Umsetzen in der Sommerhitze nicht überstanden, daher wurde bei der zweiten Testpflanze auf den Trockenstress verzichtet.

Der Detektor wurde auf den Frequenzbereich Stufe 5 (60 kHz) eingestellt. Bei Pflanzen, welche im Wasser leben, erfolgte die Entnahme aus dem Wasser ca. eine halbe Stunde vor der Messung. Die Testung dieser Pflanzen wurde auf einer trockenen Unterlage durchgeführt, da die genutzten technischen Mittel

eine Messung im Wasser nicht möglich machten.

3.2.2 Nachtestung Grünalge

Bei der Testung der Grünalge konnte nur ein Plopp-Geräusch festgestellt werden. Die Grünalge gehört in der Evolution zu den ersten Grünpflanzen und ist nicht so weit entwickelt wie die danach folgenden Pflanzenabteilungen. Aus diesem Grund ist die Aufzeichnung des einen Geräusches etwas Besonderes und so wurde entschieden, noch einmal zwei Nachtestungen durchzuführen, um Fehlerquellen auszuschließen.

Die erste Testung war eine Tagestestung zu den drei bereits bei der ersten

Testung genutzten Testzeiten. Die zweite Testung war eine Testung über zwei Stunden hinweg an einem Nachmittag.

3.2.3 Vergleich der sonographischen Darstellungen

Jede Pflanze wies Ploppe auf, welche immer wieder auftraten, weshalb diese untereinander verglichen wurden. Um die charakteristischen Unterschiede zu erkennen, wurde jede sonographische Darstellung in drei Abschnitte aufgeteilt: den Anstieg, die mittlere Phase in der Höhe und den Abstieg. Diese Abschnitte der häufig auftretenden Ploppe der einzelnen Pflanzen wurden danach genauer betrachtet und beschrieben. Im Anschluss daran erfolgte ein

Tab. 5: Emittierte Ploppe je Testzeit und Summe aller Ploppe für jede Pflanze

Pflanze	Zeit 1 (6:00–7:00 Uhr)	Zeit 2 (15:00–16:00 Uhr)	Zeit 3 (19:00–20:00 Uhr)	Summe
Tomatenpflanze	4	0	6	10
Peperoni Prairie Fire	0	1	4	5
Garten-Ringelblume	0	2	0	2
Orchidee	0	7	0	7
Einblatt (Peace lily)	0	8	0	8
Geschlitztes Fensterblatt	16	1	4	21
Grünlilie	1	0	0	1
Goldkugelkaktus	4	3	0	7
Bunny ears cactus	0	0	6	6
Echte Aloe	4	1	2	7
Birkenfeige	0	2	0	2
Raues Hornblatt (Wasserpflanze)	0	3	1	4
Kiefer (Föhre)	0	2	7	9
Acker-Schachtelhalm	1	0	0	1
gewöhnlicher Wurmfarne	1	0	2	3
Zypressenschlafmoos	0	1	10	11
Fadenalge (Grünalge)	0	0	1	1
Gesamte Testzeit	31	31	43	105

Tab. 6: Pflanzengeräusche zu verschiedenen Testzeiten

	Zeit 1	Zeit 2	Zeit 3	Summe
Gesamt-Ploppe	31	31	43	105
Durchschnitt Ploppe pro Testzeit	1,8	1,8	2,5	6,2
Wie viele Pflanzen mit Geräusch?	7	11	10	17
Wie viele Pflanzen ohne Geräusch?	10	6	7	0
Wie viele Pflanzen haben in dieser Testzeit ihren Plopp-Rekord?	5	5	7	17

Abgleich untereinander, wobei vorrangig die sonographischen Darstellungen der Pflanzen-Geräusche miteinander abgeglichen wurden, welche auf den ersten Blick sehr ähnlich aussehen.

3.2.4 Vergleich dreier Individuen einer Pflanzenart

Um der Frage nachzugehen, ob jede Pflanze oder jede Pflanzenart ihre eigene „Stimme“ hat, wurde entschieden, neben der ursprünglichen Testpflanze (hier Raues Hornblatt) zwei weitere Individuen dieser Art unabhängig voneinander zu testen und die sonographi-

Tab. 7: Zeitliches Ploppmuster der Tomatenpflanze in der Zeit 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Tab. 8: Zeitliches Ploppmuster des Rauhen Hornblatts (Bert) in der Zeit 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

schen Aufzeichnungen dieser Tests mit den ersten Aufzeichnungen zu vergleichen.

Getestet wurden beide Pflanzen für eine Stunde am Nachmittag (15.00 bis 16:00 Uhr), da hier in der ersten Testung die meisten Reaktionen des Rauhen Hornblatts vorlagen. Danach wurden die Aufnahmen geschnitten, gesplittet und im PC sonographisch dargestellt. Im Anschluss erfolgte ein bildlicher Vergleich der sonographischen Aufnahmen untereinander und mit den Aufnahmen der ersten Testpflanze dieser Art „Bert“.

4. Ergebnisse

4.1 Aufgenommene Plopp-Geräusche

4.1.1 Alle Pflanzen

Es wurden insgesamt 51 Stunden Aufnahmen ausgewertet. Im Ergebnis hatten alle getesteten Pflanzen mindestens einmal bis maximal 21-mal ein Plopp-Geräusch abgegeben (Tab. 5). Dies kann nahelegen, dass alle Entwicklungsstufen der Pflanzen tatsächlich diese Ultraschalltöne von sich geben.

Tab. 6 fasst die Ergebnisse aller Pflanzen unter verschiedenen Fragestellungen zusammen. In den Tabellen 7, 8, 9 und 10 sind die zeitlichen Ploppmuster verschiedener Pflanzen dargestellt. Es fällt auf, dass alle Pflanzen immer in einem zeitlichen Abstand von 10 bis 20 Minuten entweder einen Plopp abgeben oder eine dicht aufeinanderfolgende Plopp-Gruppe erzeugen.

4.1.2 Grünalge

In der Nachtestung konnten keine weiteren Ultraschallgeräusche bei der Grünalge nachgewiesen werden. Der

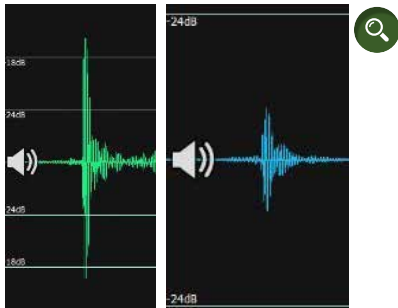
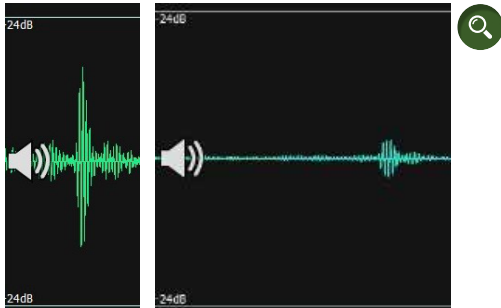
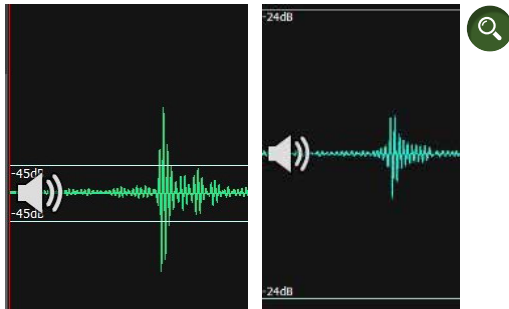
Tab. 9: Zeitliches Ploppmuster des Zypressenschlafmoos in der Zeit 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Tab. 10: Zeitliches Ploppmuster des Geschlitzten Fensterblatts in der Zeit 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Tab. 11: Häufigste sonographische Aufnahme eines Plopps unterschiedlicher Pflanzen.

Pflanze	Sonographische Aufzeichnung	Pflanze	Sonographische Aufzeichnung
Tomatenpflanze		Orchidee	
Kiefer (Föhre)		Peperoni Prairie Fire	
Geschlitztes Fensterblatt		Raues Hornblatt (Wasserpflanze)	

einzelne, nachgewiesene Plopp steht deshalb immer noch im Raum, und es wäre von Vorteil mit deutlich besserer Messtechnik erneute Messungen durchzuführen. Zudem ist es ungünstig, die Pflanze länger als zwei Stunden außerhalb des Wassers zu halten, da ein Austrocknen zu befürchten ist.

4.2 Ploppe in der sonographischen Darstellung

Tab. 11 zeigt die sonographischen Aufnahmen, die bei jeder Pflanze am häufigsten auftraten. Es kann festgestellt werden, dass ein und dieselbe Pflanze (z. B. Tomatenpflanze, Kiefer, Einblatt) sowohl lautere als auch leisere Ploppe von sich gibt. Die Pflanze kann also die

Geräusche in verschiedenen Stärken erzeugen.

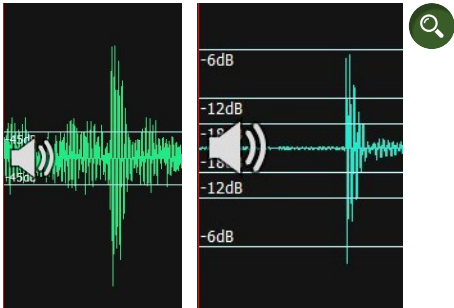
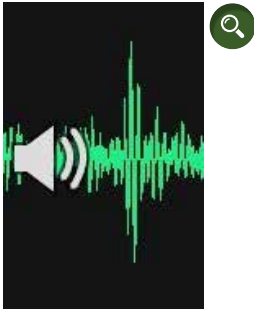
Der Vergleich der sonographischen Darstellungen der häufig auftretenden Pflanzen-Geräusche je Pflanze ergab, dass sie sich voneinander unterscheiden. Sowohl in der Anstiegsphase als auch in der mittleren Phase, dem Höhepunkt und der Endphase weisen alle sonographischen Darstellungen der Geräusche der verschiedenen Pflanzen Unterschiede zueinander auf.

Tab. 12 zeigt, dass die „Plopp-Muster“ aller drei Hornblatt-Pflanzen sehr ähnlich sind. Die Unterschiede sind hier nicht so auffällig wie zwischen den verschiedenen Pflanzenarten. Das legt

nahe, dass jede Pflanzenart ihre eigene „Stimme“ hat, d. h. artspezifische Plopp-Geräusche von sich gibt, und sich daran auch unterscheiden lassen könnte. Weitere Tests mit anderen Pflanzenarten könnten diese Annahme bestärken.

5. Auswertung und Diskussion

Im Hinblick auf die genutzten, sehr einfachen Messinstrumente müssen alle Ergebnisse kritisch betrachtet werden. Wenn bei der Grünalge nur ein Plopp-Geräusch registriert wird, liegt die Frage nach der Messgenauigkeit der einfachen technischen Mittel nahe. Hinsichtlich der Grünalge wurden deshalb Wieder-

Pflanze	Sonographische Aufzeichnung	Pflanze	Sonographische Aufzeichnung
Gewöhnlicher Wurmfarne		Garten-Ringelblume	
Einblatt (Peace lily)		Acker-Schachtelhalm	
Birkenfeige		Echte Aloe	

holungsmessungen durchgeführt. Dennoch muss man sich im Klaren darüber sein, dass die Grünalge außerhalb ihres natürlichen Lebensraums getestet wurde. Insgesamt erlauben die Ergebnisse jedoch Antworten auf einige Fragen.

5.1 Welche Testzeit ist die Beste?

In der Testzeit am Abend gab es insgesamt die meisten Plopp-Geräusche (siehe [Tab. 5](#)), und die meisten Pflanzen hatten in dieser Testzeit ihren „Plopp-Rekord“. In der Testzeit 2 (Nachmittag) gaben die meisten Pflanzen ein Plopp-Geräusch ab. Geht man davon aus, dass die Anzahl der Ploppe ein Maß für (Trocken-)Stress ist, dann

hatten die Pflanzen am Abend den größten Stress. Die meisten Pflanzen regten sich nachmittags und abends auf. Morgens waren die Pflanzen weniger gestresst. Eine Ausnahme war allerdings das Geschlitzte Fensterblatt, welches mit 16 Ploppen, knapp über die Hälfte der gesamten Ploppe der Testzeit 1 am Morgen ausgemacht hat. ([Tab. 5](#))

Daraus lässt sich ableiten, dass eine Messung in den Abendstunden unter den gegebenen Testbedingungen am günstigsten ist, um viele Geräusche der Pflanzen hören zu können. Da Pflanzen erwiesenermaßen bei Stress mehr Geräusche abgeben, kann man den Stressfaktor nochmals genauer betrachten. Alle Pflanzen, außer dem Farn, befan-

den sich unter leichtem Trockenstress. Dies galt für alle Testzeiten. Jedoch kam hier ein weiterer Stressfaktor durch die gegebene Testsituation hinzu. Da ausschließlich in der Akustikbox gemessen werden konnte, wurden alle Pflanzen in Dunkelheit gemessen. Bei allen Pflanzen handelt es sich um Grünpflanzen, also Pflanzen, welche mittels Sonnenlicht Photosynthese durchführen. Alle Testungen wurden im Sommer durchgeführt und es war auch um 20:00 Uhr noch hell. Eine mögliche Erklärung wäre, dass in der Testzeit 2 und besonders in der Testzeit 3 die Pflanzen durch die plötzliche Dunkelheit deshalb erhöhtem Stress ausgesetzt waren, da sie ihre Stoffwechselprozesse plötzlich anpassen mussten und nicht durch

Tab. 12: Sonographische Aufnahmen dreier Individuen des Rauen Hornblatts

Pflanze	Bert	Bertram	Berta
Typisches Geräusch			

eine Dämmerung, wie gewohnt, diese langsam anpassen konnten.

Eine andere mögliche Erklärung wäre, dass bei den Pflanzen abends viel Trockenstress vorliegt, da sie den ganzen Tag Photosynthese betrieben haben und z. B. besonders in der Testzeit 3 einen erhöhten Wassermangel verzeichnen. Nachts können die Wurzeln dann über eine lange Zeit Wasser aufnehmen, ohne dass es sofort verstoffwechselt wird. Daher könnte der Trockenstress morgens geringer sein.

5.2 Sagt der Rhythmus des Plopp-Auftretens etwas über die Plopp-Entstehung aus?

Es fällt auf, dass alle Pflanzen immer in einem zeitlichen Abstand von 10 bis 20 Minuten entweder einen Plopp abgeben oder eine dicht aufeinanderfolgende Plopp-Gruppe erzeugen (Tab. 7 – Tab. 10). Da diese Art von Rhythmus bei allen Pflanzenarten auftritt, könnte dies ein Hinweis darauf sein, dass der Rhythmus nicht pflanzenartspezifisch ist, sondern eher eine mechanische Ursache hat. Es könnte mit der Plopp-Erzeugung im Zusammenhang stehen, dass immer eine gewisse „Stille-Zeit“ von 10 bis 20 Minuten besteht. Denkbar ist eine mechanische Ursache, z. B. durch die Erzeugung eines Drucks oder Unterdrucks, was seine Zeit braucht.

Der Plopp wäre dann die Druckentlastung. Das würde auch zum Klang des Pflanzengeräusches passen. Es könnte ein Plopp aufgezeichnet werden, der wie ein Peitschenschlag klang.

5.3 Hat jede Pflanzenart eine eigene „Stimme“?

Bei der Auswertung der sonographischen Abbildungen der Pflanzengeräusche (Tab. 11) konnte festgestellt werden, dass ein und dieselbe Pflanze sowohl lautere als auch leisere Ploppe von sich gibt. Die Pflanze kann also die Geräusche in verschiedenen Stärken erzeugen. Ob dies bewusst durch die Pflanze gesteuert wird, könnte Gegenstand einer weiterführenden Forschung sein. Aufgefallen ist, dass mehrere Pflanzen am Nachmittag leisere Geräusche als am Abend abgegeben haben. Dies passt zu der Auswertung in Tab. 6. Auch hier war der Abend die Zeitspanne, in der es die meisten Ploppe gab. Mithin könnte man den Schluss daraus ziehen, dass die Pflanzen mit zunehmendem Stress nicht nur häufiger ein Geräusch von sich geben, sondern auch lauter werden. Allerdings haben die verschiedenen Testpflanzen allgemein auch gezeigt, dass sie entweder eher leise oder eher laute Ploppe abgeben.

Eine weitere Erkenntnis aus den Vergleichen ist, dass die sonographischen Aufzeichnungen, soweit man das rein

optisch wahrnehmen kann, sich bei allen Pflanzen im Bild unterscheiden. Es scheint, als hätte jede Pflanzenart oder auch jede Pflanze ihre eigene „Stimme“.

5.4 Wie hört sich ein Wohnzimmer an, wenn man Ultraschall hören könnte?

Mithilfe des Computerprogrammes *Clipchamp* wurden die einzelnen Plopp-Geräusche der getesteten Pflanzen pro Testzeit zusammengefügt und auf eine Minute gerafft, indem jede Minute ohne Geräusch durch eine Leersekunde dargestellt wurde. Nun kann man die getesteten Pflanzen in dem Musikwerk „Die drei Tageszeiten“ hören und sich vorstellen, wie es in der Ultraschallwelt der Pflanzen klingt

Hörbeispiel 1: Morgen



Hörbeispiel 2: Nachmittag



Hörbeispiel 3: Abend



6. Zusammenfassung und Ausblick

Mittels eines einfachen Fledermausdetektors, eines Mikrofons, eines Smartphones und einer selbstgebaute Akustikbox konnten die Ultraschallge-

räusche verschiedener Pflanzen hörbar gemacht, aufgezeichnet und in Ansätzen analysiert werden.

Die durchgeführten Versuche ergaben, dass wahrscheinlich alle Pflanzen, vor allem auch Pflanzen aller Entwicklungsstufen von den Grünalgen bis zu den Samenpflanzen, Geräusche im Ultraschallbereich erzeugen, welche wie ein Plopp klingen. Geht man davon aus, dass alle Messergebnisse korrekt sind, dann liegt die Vermutung nahe, dass die Ultraschallgeräusche der Pflanzen über die gesamte Entwicklung der Pflanzen hinweg vorhanden sind und waren. Sie sind in diesem Fall im Laufe der Evolution nicht verlorengegangen. Auch kann man daraus ablesen, dass sie keine Anpassung an verschiedene Standorte mit entsprechenden Umweltbedingungen sind. Dies liegt nahe, da Ultraschallgeräusche bei Pflanzen verschiedener Entwicklungsstufen und auch bei Pflanzen verschiedener Lebensräume nachgewiesen wurden. Ultraschallgeräusche konnten sowohl bei einer Unterwasserpflanze als auch bei Sukkulenten, heimischen Blütenpflanzen, einer kleinen Kiefer und dem Zypressenschlafmoos nachgewiesen werden. Zudem erlauben die Testergebnisse die Theorie, dass die Pflanzengeräusche durch Kavitation erzeugt werden, infrage zu stellen, da die Geräusche auch bei Nichtgefäßpflanzen, wie dem Zypressenschlafmoos, nachgewiesen wurden. Zumindest legt es nahe, dass auch andere Bestandteile oder Prozesse der Pflanze ursächlich für die Erzeugung der Töne sein können. Auch die Theorie, dass diese Geräusche durch die Stomata der Pflanzen erzeugt werden, wird durch die Testergebnisse infrage gestellt, da in der Testreihe auch eine Unterwasserpflanze, das Raue Hornblatt, enthalten war, welche keine Spaltöffnungen besitzt. Eine weitere mögliche Theorie hierzu wäre die Erzeugung der Geräusche mittels der Zellwände. Dies könnte ein neuer Forschungsansatz sein.

Im Vergleich der Testergebnisse konnte festgestellt werden, dass die Pflanzen

in der Abendtestung unter den gegebenen Testbedingungen (Sommer, Temperatur und Luftfeuchte ähnlich, leichter Trockenstress und Dunkelheit während der Testung in der Akustikbox) am stärksten reagiert haben. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Pflanzen durch die plötzliche Dunkelheit erhöhtem Stress ausgesetzt waren, da sie ihre Stoffwechselprozesse in kurzer Zeit anpassen mussten und nicht, wie üblich, eine langsame Anpassung in der Dämmerung erfolgen konnte. Auch wäre es denkbar, dass bei den Pflanzen abends ein erhöhter Trockenstress vorliegt, weil sie den ganzen Tag Photosynthese betrieben haben. Zudem wurde herausgefunden, dass die Pflanzenarten jeweils eine eigene „Stimme“, d. h. arttypische Ultraschallgeräusche, zu haben scheinen. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, die Pflanzen an ihrer „Stimme“ erkennen zu können. Dies könnte so weiterentwickelt werden, dass man Mit Hilfe von KI z. B. die Artenvielfalt bestimmter Orte ermitteln könnte.

Beim Auftreten der Geräusche konnte ein gewisser Rhythmus erkannt werden, welcher zeigt, dass die Pflanze zwischen der Abgabe einzelner Geräusche oder einer Geräuschgruppe (kurz nacheinander folgende Ploppe) immer eine gewisse „Stille-Zeit“ von 10 bis 20 Minuten hat. Da sich dies bei allen Pflanzenarten gezeigt hat, scheint es nicht von der Art der Pflanze abzuhängen. Es könnte jedoch mit der Erzeugung der Geräusche zusammenhängen und eine mechanische Ursache haben, z. B. durch die Erzeugung eines Drucks oder Unterdrucks, was seine Zeit braucht. Der Plopp wäre dann die Druckentlastung.

Schlussendlich konnten Sounddateien zusammengefügt werden, welche die Klangwelt der getesteten Pflanzen jeweils am Morgen, am Nachmittag und am Abend zeigen. Kritisch zu betrachten ist, dass nur mit einfachen technischen Mitteln gearbeitet werden konnte. Dies birgt immer auch eine höhere Fehleranfälligkeit. Auch konnten die sonographischen Aufzeichnungen nur

bildlich verglichen werden und nicht auf technischem Weg.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Lehrerin Anne Helling für ihre motivierende Unterstützung und das Korrekturlesen der Arbeit im Rahmen ihrer Leitung der Jugendforscht-AG am Lerchenberggymnasium Altenburg bedanken. Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern Patricia Neumann und Jens Bickel bedanken, die mich bedingungslos begleiteten und unterstützten, womit sie erheblich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben.

Quellenverzeichnis

- [1] Khait et al.(2023) Sounds emitted by plants under stress are airborne und informative in Cell Press, Volume 186, Issue 7, aufgerufen unter: [https://www.cell.com/cell/full-text/S0092-8674\(23\)00262-3#secsectitle0055](https://www.cell.com/cell/full-text/S0092-8674(23)00262-3#secsectitle0055) und <https://www.cell.com/cms/10.1016/j.cell.2023.03.009/attachment/b90ae191-71fb-4237-b311-79a395622de9/mmc2.mp3>; besucht am 02.11.2023
- [2] Nardini et al. (2024) Talk is cheap: re-discovering sounds made by plants. Trends in Plant Science 29, 662–667
- [3] Son et al. (2024) Is plant acoustic communication fact or fiction? New Phytologist 242, 1876-1880

Verwendete Apps:

- *Flora Incognita*
Herausgeber: Technische Universität Illmenau
- *Splitteroo*
Herausgeber: Paulo R Ribeiro
- *Clipchamp*
Herausgeber: Microsoft
- *WavePad*
Herausgeber: NCH Software

Als Schüler*in wissenschaftlich publizieren

Wie auch aus deiner Wettbewerbsarbeit eine zitierfähige Veröffentlichung wird

Was ist eine wissenschaftliche Veröffentlichung?

Wissenschaftliche Publikationen, sogenannte Papers, sind ein zentrales Element wissenschaftlichen Arbeitens. In Papers werden nicht nur Zeitpunkt und Stand einer Erkenntnis öffentlich dokumentiert, sondern auch mit der Wissenschafts-Community geteilt. So lässt man Kolleg*innen derselben Fachrichtung an Ergebnissen teilhaben oder zeigt progressive Forschungsansätze auf.

Was kostet die Veröffentlichung?

Für die Autor*innen fallen keinerlei Veröffentlichungsgebühren (*page charges*) an. Alle Kosten z. B. für Redaktion, Lektorat, Layout, Website und App tragen Verlag und Sponsoren. Verlag ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, die das Projekt seit Gründung begleitet.

Was ist besonders an einer wissenschaftlichen Veröffentlichung?

Die Besonderheit eines echten, wissenschaftlichen Papers ist, dass es *peer reviewed* ist. Der Begriff setzt sich zusammen aus den englischen Wörtern *peer* für „Kolleg*in“ und *reviewed* für „überprüft“ (*review* = die Überprüfung). Die Arbeit wird also von einem / einer meist anonymen Fachkolleg*in, der oder dem *referee*, auf Schlüssigkeit überprüft. Die Arbeit ist somit gecheckt und kann als Basis für weitere Forschungsvorhaben genutzt werden.

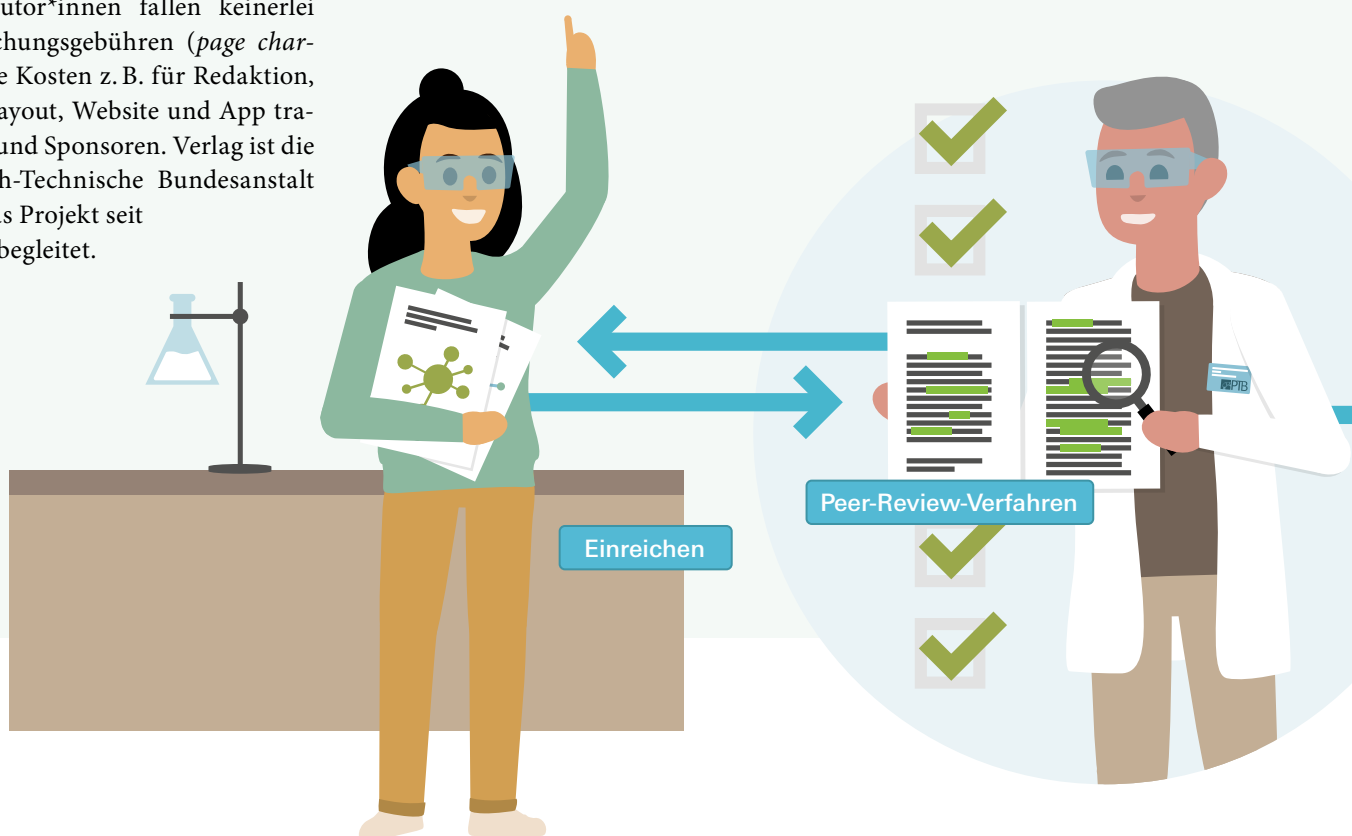


Hast du Fragen? In den FAQs auf der Seite „Für Autor*innen“ findest du Antworten.

www.junge-wissenschaft.ptb.de/fuer-autorinnen

Wieso wissenschaftlich publizieren?

Diese Papers dienen nicht nur dem fachlichen Austausch, sondern auch als Nachweis der erbrachten Leistungen im jeweiligen Spezialgebiet. Wie ein Lebenslauf informiert die Veröffentlichungsliste über den beruflichen Werdegang und wissenschaftlichen Erfolg.



Wie geht das und wie viel Arbeit muss ich investieren?

Die Junge Wissenschaft (JuWi) ist die einzige Plattform, auf der bereits Schüler*innen ein erstes Paper, *peer reviewed*, veröffentlichen können. Das von der JuWi-Chefredaktion eingeleitete und begleitete Peer-Review-Verfahren macht aus deinem Wettbewerbsbeitrag eine zitiertfähige Veröffentlichung. Ein JuWi-Paper ist der Startschuss für deine persönliche Veröffentlichungsliste. Und als erfolgreiche Teilnehmer*in eines Forschungswettbewerbs hast du den Löwenanteil der Arbeit bereits erledigt.

Sende deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung an:

Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter
Paul-Ducros-Straße 7
30952 Ronnenberg

Tel: 05109 / 561508
Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de



Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter*in, der bzw. die, die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird dir zugeschickt und du erhältst die Möglichkeit, Hinweise des oder der Fachgutachter*in oder eigene Änderungen einzuarbeiten. Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie Jugend forscht die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen. Bis hierhin hast du keinerlei Arbeit investiert.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und nach der Freigabe als Open-Access-Beitrag, also für jedermann zugänglich, veröffentlicht.

Was bringt es mir?

JuWi-Autor*innen erwerben in der engen Zusammenarbeit mit der Redaktion Kenntnis über den Aufbau einer wissenschaftlichen Arbeit, über wissenschaftlichen Schreibstil, worauf zu achten ist und welche Schritte wann notwendig sind. Autor*innen eines JuWi-Papers haben so sehr früh einen bedeutenden Teil wissenschaftlichen Publizierens erlernt, noch bevor sie an die Hochschule gehen.

Impressum

Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)
www.junge-wissenschaft.ptb.de

Redaktion

Dr.-Ing. Sabine Walter,
Chefredaktion Junge Wissenschaft
Paul-Ducros-Str. 7
30952 Ronnenberg
E-Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de
Tel.: 05109 / 561 508



Sabine Siems, Verlag
E-Mail: sabine.siems@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 8202



Design & Satz

Sebastian Baumeister
Art Director / stilsicher.design
E-Mail: baumeister@stilsicher.design
Tel.: 05142 / 98 77 89



Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,
Pressesprecher der PTB
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
E-Mail: jens.simon@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 3006
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)



