

Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik als Ersatz chemischer Hemmstoffe

Alternative regulation of plant growth by means of controlled vibration technology as a substitution of the chemical inhibitors

FKZ: 10NA010

Projektnehmer:

Humboldt-Universität zu Berlin
Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften
Lentzeallee 75, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 2093-46299
Fax: +49 30 2093-46275
E-Mail: hgrueneberg@agrار.hu-berlin.de
Internet: www.agrar.hu-berlin.de

Autoren:

Grüneberg, Heiner; Helbig, Diana; Rocks, Thorsten

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Humboldt-Universität zu Berlin

Lebenswissenschaftliche Fakultät

Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften

Lehr- und Forschungsgebiet Gärtnerische Pflanzensysteme

Lentzeallee 75

14195 Berlin

Schlussbericht

BÖLN-Projekt:

„Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik als Ersatz für chemische Hemmstoffe“

PD Dr. Heiner Grüneberg (E-Mail: hgrueneberg@agrار.hu-berlin.de)

Diana Helbig (E-Mail: diana.helbig@agrار.hu-berlin.de)

Dr. Thorsten Rocksch (E-Mail: t.rocksch@agrار.hu-berlin.de)

Förderkennzeichen: 2811NA010

Laufzeit: 01.10.2011 bis 31.12.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	7
1. Einführung.....	8
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	8
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes.....	8
1.3 Planung und Ablauf des Projektes.....	9
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	10
3. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	11
3.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	11
3.1.1 Technische Entwicklung der Vibrationstische	11
3.1.1.1 Erstentwicklung – Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern.....	11
3.1.1.2 Weiterentwicklung – Vibrations-Rolltisch.....	13
3.1.1.3 Vibrationsrolltisch in Praxisgröße	14
3.1.2 Kultivierungsversuche	16
3.1.3 Pflanzenphysiologie.....	28
3.1.4 Praxisversuche.....	32
3.1.4.1 Hanka Gartenbau (Kempen, Nordrhein-Westfalen).....	32
3.1.4.2 Fontana Gartenbau (Küstriner Vorland OT Manschnow, Brandenburg)	34
3.1.4.3 Naturgärtnerei Ingelmann (Algermissen, Niedersachsen)	37
3.1.4.4 Fleischle Gartenbau (Vaihingen/Enz, Baden Württemberg)	40
3.1.5 Wirtschaftlichkeit.....	44
3.1.6 Öffentlichkeitsarbeit, Netzwerkarbeit.....	46
4. Diskussion der Ergebnisse	50
5. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	54
6. Gegenüberstellung der ursprünglichen geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele, Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	54
7. Zusammenfassung.....	56

8. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.....	57
---	----

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern (verbiegungssteife Tischplatte (A), verstärkte und schwingungsgedämmte Unterkonstruktion (B), massive Montage-platte (C))	12
Abb. 2: Einfluss von Vibrationen (IV, 2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr, 50 Hz) auf das Wachstum von <i>Calibrachoa</i> 'Aloha Hot Orange 2012' im Vergleich zur Kontrollvariante (VI) und Hemmstoffvariante (VII).....	12
Abb. 3: Beschleunigung in x-, y- und z- Richtung am Rahmen des Vibrationstisches, Frequenz - 50 Hz (Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern)	13
Abb. 4: Zusammenhang zwischen den Boniturnoten im Gesamteindruck (9–sehr gut, 7–gut, 5–befriedigend, 3–schlecht, 1–sehr schlecht) und der Position auf dem Vibrationstisch (Grafik: E. Baumann)	13
Abb. 5: Anordnung der Basilikumtöpfe auf dem Vibrationstisch (Grafik: E. Baumann).....	13
Abb. 6: Unterkonstruktion Vibrations-Rolltisch	14
Abb. 7: Vibrations-Rolltisch mit Unwuchtmotoren (von unten)	14
Abb. 8: Drei Aluminium-Montageplatten zur Motorenbefestigung, 2016	15
Abb. 9: Unwuchtmotoren zur Vibrationserzeugung	15
Abb. 10: Vibrations-Rolltisch (9,5 m x 1,61 m) im Praxisbetrieb Fleischle, 2016	15
Abb. 11: Vibrations-Rolltisch Grund-konstruktion, 2016.....	15
Abb. 12: Übersicht Versuchsanordnung	16
Abb. 13: Versuchsaufbau der Beet-und Balkonpflanzen 2012	16
Abb. 14: Wachstumsverlauf des Längsten Triebes von <i>Petunia</i> 'Surprise Yellow' beeinflusst durch ver-schiedene Vibrationsarten im Vergleich zur Kontrollvarianten, 2012.....	17
Abb. 15: Einfluss von Vibrationen auf <i>Petunia</i> 'Surprise Yellow' im Vergleich zur Kontrollvariante (links - Vibration, rechts – Kontrolle), 2012.....	17
Abb. 16: Durchschnittlicher Nodienabstand von <i>Petunia</i> 'Surprise Yellow' nach Behandlung mit verschiedenen Vibrationsarten und der Kontrollvarianten, 2012	18
Abb. 17: Einfluss von verschiedenen Vibrationen auf die Pflanzenhöhe (cm) von <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red' im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante (CCC 720), Abschlussbonitur, 2013 (Tukey-Test $\alpha=0,05$)	19
Abb. 18. : Einfluss von verschiedenen Vibrationen auf <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red' vor und nach der Blüteninduktion im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante (CCC 720), Abschlussbonitur, 2013	20
Abb. 19: Einfluss unterschiedlicher Vibrationen auf die Entwicklung des längsten Triebes im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante bei <i>Petunia</i> 'Surprise Yellow', 2014	22
Abb. 20: Einfluss von verschiedenen Vibrationen 50 Hz und 16 Hz auf <i>Petunia</i> 'Surprise Yellow' im Vergleich zur Kontrollvariante, 10. KW, 2014	22

Abb. 21: Einfluss von verschiedenen Vibrationssystemen und –arten auf den Trieb­längen­zu­wachs im Vergleich zur Kontrolle von <i>Pelargonium</i> 'Great Balls of Fire Burgundy', 2015, (Tukey-Test $\alpha=0,05$).....	24
Abb. 22: Einfluss von verschiedenen Vibrationssystemen und –arten auf die durchschnittliche Höhe des ersten Blütenstandes im Vergleich zur Kontrolle von <i>Pelargonium</i> 'Great Balls of Fire Burgundy', 2015, (Tukey-Test $\alpha=0,05$).....	24
Abb. 23: Einfluss von verschiedenen Vibrationen (Testung verschiedener Tischsysteme, 24 Hz: Vibrationsrolltisch, 16 Hz: Tischsystem mit Gummi-Metall-Puffern) auf das Wachstum von <i>Pelargonium</i> 'Great Balls of Fire Burgundy' im Vergleich zur Kontrolle, 2015	24
Abb. 24: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h, je 24 Hz zwischen 7-14 Uhr) auf <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina' im Vergleich zur Kontrolle, 2015.....	25
Abb. 25: gekoppelter Vibrationstisch mit Aluminium-Profilschiene	25
Abb. 26: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h) im Vergleich zur Kontrolle in zwei Versuchsdurchläufe auf die durchschnittliche Pflanzenhöhe von <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina', 2015	26
Abb. 27: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h) im Vergleich zur Kontrolle auf den durchschnittlichen Nodienabstand (n=192) des ersten und zweiten Internodiums von <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina' vom ersten Versuchsdurchgang von gekoppelten Vibrationstischen, 2015.....	26
Abb. 28: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (4x1 min/h und 4x0,5 min/h, 40 min/d bzw. 20 min/d) auf die Entwicklung von <i>Ocimum basilicum</i> 'Siam Queen' (Thaibasilikum) im Vergleich zu den Kontrollvarianten, 2016	27
Abb. 29: Einfluss von unterschiedlichen Vibrationsdauern und gekoppelten Tischen (mit und ohne Antrieb) im Vergleich zur Kontrolle auf den durchschnittlichen Nodienabstand von <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina', 2015	27
Abb. 30: Einfluss von unterschiedlichen Vibrationsdauern und gekoppelten Tischen (mit und ohne Antrieb) im Vergleich zur Kontrolle auf die durchschnittlichen Blattschäden von <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina' (1-keine Schäden, 3-sehr leichte Blatt-schäden, 5-mittlere Schäden, 7-starke Blattschäden, 9-sehr starke Blattschäden), 2015.....	27
Abb. 31: Gaswechselfmessungen an <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red', 2013.....	28
Abb. 32: Blattküvette zur Gaswechselfmessung an <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red', 2013.....	28
Abb. 33: Tagesverlauf der Nettophotosynthese und der Transpiration von <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrollvariante (unbehandelt, ohne Wuchshemmstoffe), 11.12.2013.....	29

Abb. 34: Differenz der Photosyntheseleistungen von <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (1 = 2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrolle (2 = unbehandelt, ohne Wuchshemmstoffe)	29
Abb. 35: Verlauf der Transpiration von <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrolle (unbehandelt, ohne Wuchshemmstoffe), senkrechte Linien zeigen den Beginn der Vibrationsbehandlung, 11.12.2013	30
Abb. 36: Gaswechselfmessungen (CIRAS) an <i>Ocimum basilicum</i> 'Siam Queen' (Thaibasilikum) im Wechsel an je 7 vibrierten Pflanzen und 7 Kontrollpflanzen, (Evap – Transpiration, PN – Nettophotosynthese, Air Temp – Lufttemperatur, Leaf Temp – Blattemperatur), 08.07.2016	31
Abb. 37: <i>Ruellia brittoniana</i> – Vibration links, Kontrolle rechts (Foto: Hanka Gartenbau)	32
Abb. 38: <i>Solanum jasminoides</i> 'Lilliröm' - Vibration links, Kontrolle rechts (Foto: Hanka Gartenbau)	33
Abb. 39: <i>Osteospermum</i> links - Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	34
Abb. 40: Draufsicht - <i>Osteospermum</i> links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	34
Abb. 41: <i>Cleome</i> links - Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	35
Abb. 42: Draufsicht – <i>Cleome</i> , links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	35
Abb. 43: <i>Fuchsia</i> links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	35
Abb. 44: Draufsicht – <i>Fuchsia</i> , links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	35
Abb. 45: <i>Diascia</i> , links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)	36
Abb. 46: Fließrinnensystem in der Gärtnerei Ingelmann	37
Abb. 47: <i>Pelargonium peltatum</i> (lachsfarbend), 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014, (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	38
Abb. 48: <i>Diascia</i> , 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014, (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	38
Abb. 49: <i>Petunia</i> , 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	39
Abb. 50: <i>Osteospermum</i> (orange), 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	39
Abb. 51: <i>Tagetes tenuifolia</i> (Dufttagetes): links – Kontrolle, rechts – Vibrationsvariante, 2015 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	39

Abb. 52: <i>Capsicum annuum</i> (Zierpaprika): links -Vibrationvariante, rechts – Kontrolle, 2015 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)	39
Abb. 53: <i>Mussaenda</i> , links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)	40
Abb. 54: <i>Plectranthus</i> , links - Vibrationsvariante, rechts - Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)	40
Abb. 55: <i>Rumex</i> (Blutsauerampfer) links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)	41
Abb. 56: Leichte Blattschäden an Blutsauerampfer (Foto: Gartenbau Fleischle)	41
Abb. 57: Asia Green Salat links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle).....	42
Abb. 58: Pflanzenversuch mit <i>Crassula rosularis</i> im Betrieb Fleischle, 2016	43
Abb. 59: <i>Cassula rosularis</i> auf Vibrationsrolltisch mit einer Größe: 3,0 m x 1,6 m, links – vibrierte Pflanze, rechts – Kontrollpflanze (Foto: Fleischle Gartenbau).....	43
Abb. 60: <i>Crassula rosularis</i> auf Vibrationsrolltisch mit einer Größe: 9,5 m x 1,6 m, links Kontrolle – rechts Vibrations-Rolltisch	43
Abb. 61: IGW 2013, Bundesministerin für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz besucht die Internationale Grüne Woche 2013 in Berlin (http://-www.gruenewoche.de/Presse-Service/ Fotos/-index.jsp?galleryId=2547867, 2013)	47
Abb. 62: IGW 2015, Projektvorstellung auf der Internationalen Grünen Woche 2015 in Berlin, Halle 23 a	47
Abb. 63: BLE Jubiläum 2015, Marktplatz der Wissenschaft (BLE, Ute Grabowsky, 2015)	48
Abb. 64: Workshop in der HU Berlin 2012	48
Abb. 65: Workshop auf der IPM 2012.....	48

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Varianten des Versuchszeitraumes Weihnachtssterne 2013	19
Tab. 2: Vibrationsvarianten des Versuchszeitraumes Beet- und Balkonpflanzen 2014	21
Tab. 3: Varianten des Versuchszeitraumes Beet- und Balkonpflanzen 2015	23
Tab. 4: Varianten des Versuchszeitraumes Kräuter und Gemüsejungpflanzen 2015.....	25
Tab. 5: Messergebnisse von <i>Ruellia brittoniana</i> (Datenerfassung: Hanka Gartenbau).....	32
Tab. 6: Messergebnisse von <i>Solanum jasminoides</i> 'Lilliom' (Datenerfassung: Hanka Gartenbau)	33
Tab. 7: Messergebnisse von <i>Osteospermum</i> (Datenerfassung: Fontana Gartenbau).....	34
Tab. 8: Messergebnisse von <i>Cleome</i> (Datenerfassung: Fontana Gartenbau).....	35
Tab. 9: Messergebnisse <i>Fuchsia</i> (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)	35
Tab. 10: Messergebnisse <i>Diascia</i> (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)	36
Tab. 11: Ergebnisse des Gartenbaubetriebes Fontana verschiedener Pelargonienarten (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)	36
Tab. 12: Mess- und Boniturergebnisse (Datenaufnahme: Naturgärtnerei Ingelmann, 2014).38	
Tab. 13: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von <i>Mussaenda</i> (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)	40
Tab. 14: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von <i>Plectranthus</i> (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)	41
Tab. 15: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von Blutsauerampfer (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)	41
Tab. 16: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von Asia Green Salat (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)	42
Tab. 17: Wirtschaftlichkeit der Vibrationsbehandlung zur Hemmung des Streckungswachstums im Vergleich zum Hemmstoffeinsatz bei <i>Pelargonium</i> (Annahme: Energiepreises von 18,86 ct/kwh).....	45
Tab. 18: Veränderung der Vibrationszeiten im Projektverlauf	52
Tab. 19: Empfehlung eines gestaffelten Vibrationsintervalls je nach Pflanzenentwicklung ...	56

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die Erzeugung von kompakten und gut verzweigten Pflanzen ist ein sehr wichtiges Ziel in der Zierpflanzenproduktion. Die meisten Pflanzenarten sind nicht in Mittel- und Nordeuropa beheimatet, werden aber als Zierpflanzen u.a. für den deutschen Markt produziert. In der Heimat dieser Zierpflanzen steht klimatisch bedingt ein höheres Lichtangebot zur Verfügung. In den höheren gemäßigten mitteleuropäischen Breiten fällt das Angebot an Licht sehr viel geringer aus. Somit ergibt sich insbesondere im Winterhalbjahr ein Lichtmangel. Infolgedessen setzt bei den Pflanzen ein verstärktes Streckungswachstum ein. Hinzu kommt die Forderung nach hohen Flächenerträgen. Daher stehen die Pflanzen häufig sehr gedrängt, was zusätzlich zu einem erhöhten Streckungswachstum führt.

Im Zierpflanzenbau werden daher bei vielen Kulturen synthetische Wuchshemmstoffe angewendet. Hierbei sind die Hemmung des Streckungswachstums, die Förderung der Verzweigung sowie die Blühinduktion Haupteinsatzziele. Eine trockene Kulturführung, Diff und Drop sowie eine Kultivierung mit reduzierter Stickstoffdüngung sind einige Alternativen zum Einsatz synthetischer Wachstumsregulatoren. Der Einsatz dieser kulturtechnischen Maßnahmen führt häufig nicht zu befriedigenden Ergebnissen, sodass trotzdem synthetische Wuchshemmstoffe eingesetzt werden müssen. Ein zwingender Handlungsbedarf besteht im biologischen Zierpflanzenbau, da hier keine synthetischen Wuchshemmstoffe eingesetzt werden dürfen.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Mit Hilfe des beantragten Projektes sollte eine neue, innovative und alternative Regulierung des Wachstums der Pflanzen untersucht werden. Ziel war es, eine Wachstumshemmung durch einen definierten mechanischen Reiz mittels Vibrationen unter praktischen Bedingungen zu realisieren, der einen vollständigen Verzicht auf synthetische Wuchshemmstoffe ermöglicht. Die technische Entwicklung erst in der Forschungseinrichtung, dann in kleinem Maßstab in Praxisbetrieben und letztendlich die Entwicklung eines anwendertauglichen Vibrationstisches in Praxisgröße waren dabei schwerpunktmäßig zu bearbeiten.

Dabei sollten kompakte Pflanzen von hoher Qualität erzeugt werden. Zu dieser Problematik wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, da bisher wenig darüber bekannt war, welche Vibrationsarten und -zeiten für eine ausreichende Wachstumshemmung geeigneten sind. Es wurde mit einer Dauervibration begonnen und in späteren Versuchen auf die Intervall-Vibration übergegangen. Zu Beginn wurden Fliehgewichte der Unwuchtmotoren unterschiedlichen Einstellungen unterzogen. Nach der Montage von Frequenzumformern konnten genaue Vibrationsfrequenzen von 15 bis 50 Hz untersucht werden ohne die Fliehgewichte verändern zu müssen.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde vom 01.10.2011 bis zum 30.09.2014 bewilligt. Nach einer positiven Bewilligung des Verlängerungsantrages wurde die Laufzeit bis zum 30.09.2016 bzw. 31.12.2016 erweitert.

1. Projektjahr (10/2011 – 09/2012)

- Planung und Entwicklung des ersten Vibrationstisches mit Gummi-Metall-Puffern
- Bau des ersten Vibrationstisches mit Gummi-Metall-Puffern
- Optimierung der Lage der Motoren unter den Tischen (horizontal/vertikal)
- Auswahl und Testung verschiedener Unwuchtmotoren (1500 und 3000 U/min)
- Versuche mit verschiedenen Fliehkraftseinstellungen sowie Frequenzen (Frequenzumformer) und Vibrationsdauer an ausgewählten Pflanzenarten

2. Projektjahr (10/2012 – 09/2013)

- Kultivierungsversuche mit verschiedenen Zierpflanzen mittels des Vibrationstisches mit Gummi-Metall-Puffern
- Optimierung Vibrationsfrequenz und Vibrationsdauer
- Praxisversuche zur Hemmung des Pflanzenwachstum in zwei Gartenbaubetrieben, Einsatz der Vibrationstische mit Gummi-Metall-Puffern
- Öffentlichkeitsarbeit u.a. Internationale Grüne Woche

3. Projektjahr (10/2013 – 09/2014)

- Praxisversuche zur Hemmung des Pflanzenwachstum in drei Gartenbaubetrieben, Einsatz von Vibrationstischen mit Gummi-Metall-Puffern
- Pflanzenphysiologische Untersuchungen der behandelten Pflanzen (u.a. Weihnachtsstern)
- Histologische Untersuchungen der mit Vibration behandelten Pflanzen
- Wirtschaftlichkeitsprüfung (Beispiele: Vibrationstische mit Gummi-Metall-Puffern)
- Öffentlichkeitsarbeit, u.a. Projektvorstellung auf wissenschaftlicher Tagung (IHC-Kongress in Brisbane, Australien)
- Planung und Entwicklung des Umbaus der Vibrationstische von Gummi-Metall-Puffern auf Rolltischbasis zur Verbesserung des Vibrationsverhaltens und zur Vereinfachung der Implementierung in bestehende Tischsysteme

4. Projektjahr (10/2014 – 09/2015)

- Durchführung des Umbaus der Vibrationstische (Gummi-Metall-Puffer) auf Vibrations-Rolltische
- Kultivierungsversuche mit verschiedenen Zierpflanzen, Kräutern und Gemüsejungpflanzen auf Vibrations-Rolltischen
- Optimierung der Vibrationsfrequenz und der Vibrationsdauer für die verschiedenen untersuchten Pflanzenarten

- Vergleichende pflanzenphysiologische Untersuchungen
- Praxisversuche zur Hemmung des Pflanzenwachstum in zwei Gartenbaubetrieben, Einsatz des Vibrations-Rolltisches
- Öffentlichkeitsarbeit u.a. Internationale Grüne Woche und 20 Jahre BLE-Jubiläum (Auftritt auf dem „Marktplatz der Wissenschaft“ und Erstellung eines Films durch die BLE)

5. Projektjahr (10/2015 – 12/2016)

- Planung und Entwicklung des Vibrations-Rolltisches in Praxisgröße (9,50 m x 1,61 m)
- Durchführung und Installation des Neubaus des Vibrations-Rolltisches in Praxisgröße
- Praxisversuch zur Hemmung des Pflanzenwachstum des großen Rolltisches im zertifizierten Bio-Betrieb Fleischle Gartenbau GbR
- Vergleichende pflanzenphysiologische Untersuchungen
- Wirtschaftlichkeitsprüfung

Im Projekt gab es mehrere Praxisbetriebe. Im ersten Projektteil konnten die Vibrationstische mit Gummi-Metall-Puffern von zwei nachhaltig arbeitenden Gärtnereien getestet werden:

- Gartenbau Hanka (Kempen, Nordrhein-Westfalen)
- Fontana Gartenbau (Küstriner Vorland OT Manschnow, Brandenburg)

In der zweiten Projektphase (Verlängerung) testeten zwei zertifizierte Bio-Betriebe die Neuentwicklung des Vibrations-Rolltisches:

- Fleischle Gartenbau (Vaihingen/Enz, Baden Württemberg)
- Naturgärtnerei Ingelmann (Algermissen, Niedersachsen)

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Vor der Durchführung des Projektes gab es wenige Erkenntnisse zu Pflanzenreaktionen auf Vibrationen unter Praxisbedingungen und über geeignete Vibrationseinrichtungen für Gewächshäuser, die sich für die verschiedenen Vibrationsfrequenzen eigneten.

Die Pflanzenreaktion auf mechanische Reize wird in der Literatur als Thigmomorphogenese¹ bezeichnet. Dies ist eine Reaktion auf Berührung z.B. durch Streicheln oder Bürsten. Die Reaktion auf wechselnden Biegestress z.B. durch Schütteln und Vibrationen werden in der Literatur der Seismomorphogenese zugeordnet². Es wurden morphologische, histologische und physiologische Veränderungen durch mechanische Reize an verschiedenen Pflanzen

¹ JAFFEE, M.J. (1973): Thigmomorphogenesis: The respons of plant controll an development to mechanical stimulation. Planta 114: 143-153

² HAMMER, P.A.; MITCHELL, C. A. und WEILER T. C. (1974): Height control in greenhouse chrysanthemum by mechanical stress. HortScience 9: 474-475

beschrieben. U.a. wurde eine Hemmung des Streckungswachstums^{3,4,5}, eine verbesserte Standfestigkeit und ebenso verbesserte Pflanzenqualitäten⁶ nachgewiesen. Weiterhin wurden eine Verkürzung der Nodienabstände und eine Zunahme der Verzweigung⁷ beschrieben. Ebenso ist eine Verzögerung der Blütenentwicklung und ein geringerer Blütenbesatz⁸ belegt.

3. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

3.1.1 Technische Entwicklung der Vibrationstische

3.1.1.1 Erstentwicklung – Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern

Zur Übertragung von Vibrationen mittels Unwuchtmotoren auf Pflanzen sind die herkömmlichen Gewächshaustische so nicht geeignet. Im Rahmen des ersten Teilprojektes wurden Vibrationstische (Vorlage: Standardgewächshaustisch) neu entwickelt, die sich auszeichnen durch (Abb. 1):

- eine verbiegssteife Tischplatte (d.h. geringeres Raster, A),
- eine verstärkte und schwingungsgedämmte Unterkonstruktion (B),
- einer massiven Montageplatte (C), an der
- zwei gegenläufig arbeitende Unwuchtmotoren (1500 U/min) angebracht sind.

Die Motoren erzeugen eine gerichtete horizontale Bewegung, die über einen vorgeschalteten Frequenzumformer in der Frequenz zwischen 15 und 50 Hz verändert werden kann. Darüber hinaus sind die Motoren mit veränderlichen Unwuchtgewichten ausgestattet, so dass die wirkenden Kräfte entsprechend der Auflagelast angepasst werden können. Zu Beginn wurde eine Zeitschaltuhr dazwischengeschaltet bzw. anschließend eine extra dafür programmierte Software installiert, um die Rütteldauer und Rüttelintervalle frei wählbar zu gestalten. In einem ersten Pflanzenversuch wurde die Wahl zwischen zwei zuvor ausgewählten Motoren (1500 U/min und 3000 U/min) getroffen. In diesem Versuch zeigte sich, dass die Motoren mit 1500 U/min sich als geeigneter erwiesen, da die Vibrationsbewegung systemschonender und ebenso besser von den Pflanzen vertragen wurden.

³ BÜNNING, E.; HAAG, L. und TIMMERMANN, G. (1948): Weitere Untersuchungen über die Formative Wirkung des Lichtes und Mechanische Reize auf Pflanzen. *Planta*, Bd 36: S. 178-187

⁴ HIRAKI, Y. und OTA, Y. (1975): The relationship between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Lilium longiflorum*. *Plant & Cell Physiol.* 16: 185-189

⁵ SALEHI, H. und SALEHI, M. (2009): Effects of Two Methods of Mechanical Stress on Snapdragon and Wallflower Plants Growth Responses. *Adv. Environ. Biol.* 3 (2): 157-161

⁶ LATIMER, J. G. (1998): Mechanical conditioning to controll height. *Hort Technology* 8 (4): 529-534

⁷ MITCHELL, C.A.; SEVERSON, C. J.; WOTT, J. A. und HAMMER, P. A. (1975): Seismomorphogenic Regulation of Plant Growth, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100(2): 161-165

⁸ CIPOLLINI, D. F. (1999): Costs to flowering of the production of a mechanically hardened phenotype in *Brassica napus* L.. *International Journal of Plant Sciences* 160 (4): 735-741

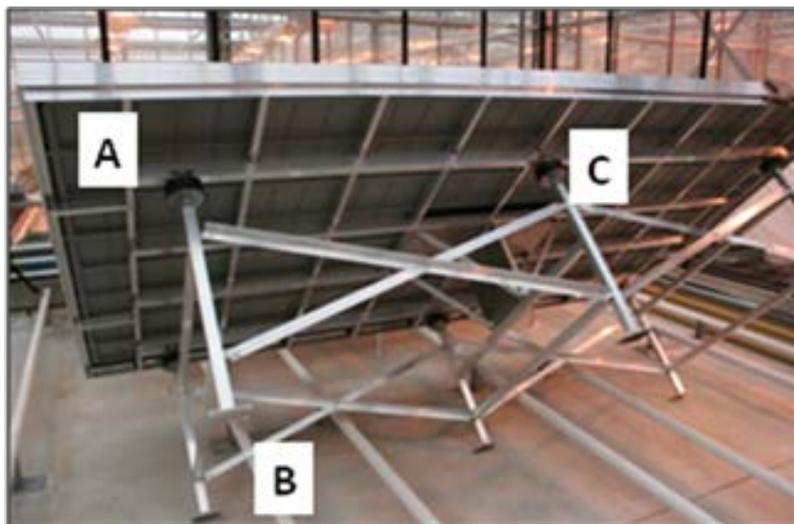


Abb. 1. Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern (verbiegungssteife Tischplatte (A), verstärkte und schwingungsgedämmte Unterkonstruktion (B), massive Montageplatte (C))

Es konnte in zahlreichen Versuchen eine wuchshemmende Wirkung an ausgewählten Zierpflanzen nachgewiesen werden. Es wurden u.a. *Pelargonium*, *Petunia*, *Calibrachoa* (Abb. 2) und *Euphorbia* getestet. Zusätzlich wurden z.B. Versuche mit *Ocimum* durchgeführt. Auch an dieser Kultur konnte eine hemmende Wirkung mittels Vibrationen nachgewiesen werden.



Abb. 2: Einfluss von Vibrationen (IV, 2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr, 50 Hz) auf das Wachstum von *Calibrachoa* 'Aloha Hot Orange 2012' im Vergleich zur Kontrollvariante (VI) und Hemmstoffvariante (VII)

Die Aufnahme mit triaxialen Beschleunigungsaufnehmern zeigte jedoch, dass auf der Tischfläche die Vibration, beim System mit Gummi-Metall-Puffern, nicht immer gleichmäßig verteilt war (Abb. 3). Es kam in einigen Fällen kurzzeitig zum 'Aufschaukeln' der Tische, bedingt durch das Durchlaufen der Eigenresonanz-Frequenz der Tischkonstruktion. Es entstanden dadurch teilweise leichte Schäden an den Versuchstischen (je nach Frequenz und Intensität) und ebenso an den Versuchspflanzen. Diese zeitweise ungleiche Verteilung der Vibration (Beschleunigungsaufnehmer) konnte in einem Versuch mit Basilikum untermauert werden.

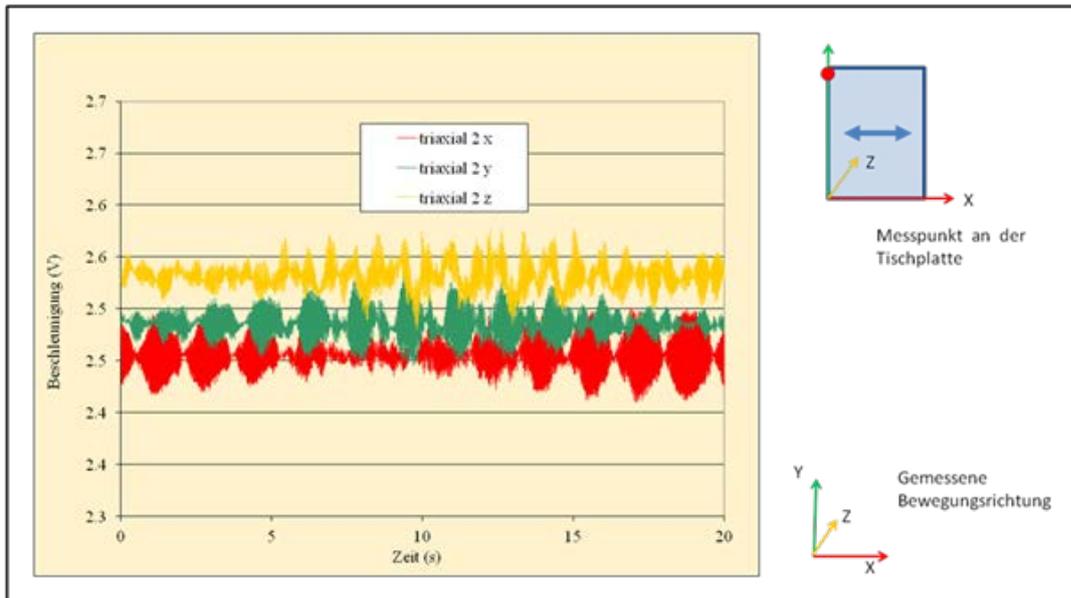


Abb. 3: Beschleunigung in x-, y- und z- Richtung am Rahmen des Vibrationstisches, Frequenz - 50 Hz (Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern)

Es wurden Boniturnoten für den Gesamteindruck bei Basilikum vergeben. Alle Basilikumtöpfe wurden mit guten Boniturnoten (\emptyset zwischen 6 und 7,9) beurteilt (Abb. 4 und Abb. 5), aber die Basilikumpflanzen in den mittleren Positionen (zwischen 7-7,7) wiesen im Vergleich zu den Randpositionen (zwischen 6,5–6,9), tendenziell einen besseren durchschnittlichen Gesamteindruck auf.

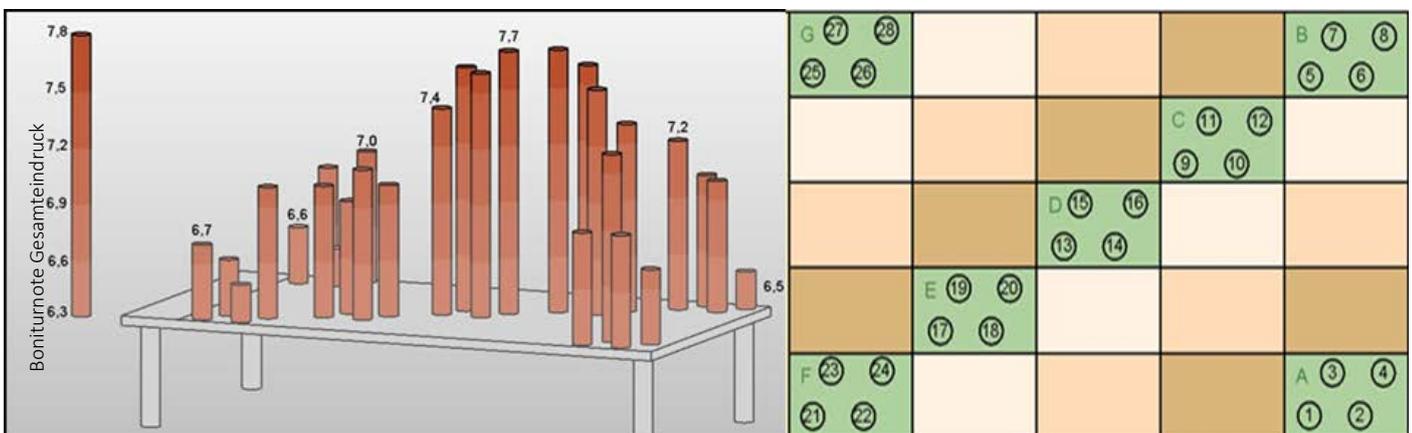


Abb. 4: Zusammenhang zwischen den Boniturnoten im Gesamteindruck (9-sehr gut, 7-gut, 5-befriedigend, 3-schlecht, 1-sehr schlecht) und der Position auf dem Vibrationstisch (Grafik: Baumann, 2014)

Abb. 5: Anordnung der Basilikumtöpfe auf dem Vibrationstisch (Grafik: Baumann, 2014)

3.1.1.2 Weiterentwicklung – Vibrations-Rolltisch

Um eine gleichmäßigere Verteilung der Vibration auf den Tischen zu ermöglichen, wurde eine Implementierung von Vibrationselementen in Rolltischsystemen entwickelt (Abb. 6 und Abb. 7). Dieser Umbau wurde nach Projektverlängerung (4. Quartal 2014) realisiert. Durch den Umbau sind die Vibrationstische frei gelagert. Frei gelagerte Tische stellen eine gute Voraussetzung für eine großflächigere Überführung der Ergebnisse in bestehende Rolltisch- oder auch Mobiltischsysteme größerer Gewächshausanlagen dar. Nach Umbau der Vibrationstische war zu erkennen, dass diese gleichmäßiger und ruhiger vibrierten. Zusätzlich

änderte sich das Vibrationsverhalten der Tische, es waren keine Frequenzen oberhalb von 25 Hz möglich. Die Synchronisierung der Unwuchtmotoren an den Rolltischsystemen konnte nur in den unteren Frequenzen (15 bis 25 Hz) sicher erfolgen, sodass sich nur in diesen Bereichen eine gerichtete und gleichmäßige Bewegung der Vibrationstische ergab. Diese Frequenzen stellten sich bei den Pflanzen und Tischen als günstig (hemmende Wirkung) heraus. Da

- eine gleichmäßige Verteilung der Vibration auf den Vibrationstischen,
- eine geringere Geräuschbelastung,
- ein geringerer Materialverschleiß (da freie Bewegung der Tische möglich ist),
- ein geringer Materialbedarf, da Tischkonstruktion (Unterbau) nicht so stark belastet wird,
- keine extra starke Fixierung der Tische am Untergrund und
- das System praxisnäher ist.

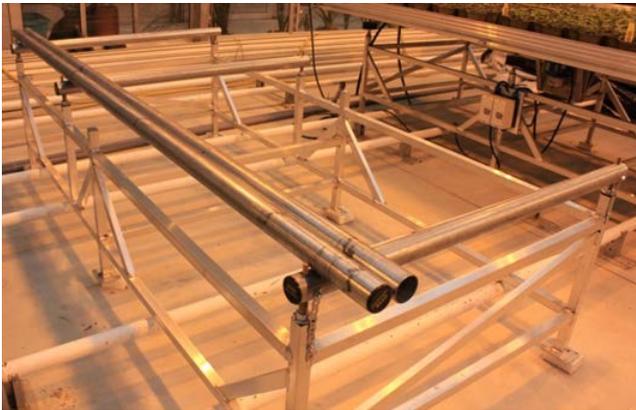


Abb. 6: Unterkonstruktion Vibrations-Rolltisch



Abb. 7: Vibrations-Rolltisch mit Unwuchtmotoren (von unten)

Ein weiterer großer Vorteil des Systems auf Rolltischbasis ist die Möglichkeit einer Kopplung von zwei oder mehreren Vibrations-Rolltischen. Dazu muss eine kraftschlüssige Verbindung (z.B. Elektromagnet) zwischen diesen installiert werden. Es fand in einem Versuch 2015 eine Kopplung zweier Tische mit Aluminium-Profileschienen statt. Leider konnte diese Verbindung nicht die Vibration gleichmäßig übertragen. Deshalb ist die Empfehlung eine Weiterentwicklung mit einer kraftschlüssigen Verbindung zu testen. Diese Möglichkeit wurde so nicht untersucht, sollte aber in weiteren Schritten geprüft werden.

3.1.1.3 Vibrationsrolltisch in Praxisgröße

Der folgende Schritt im Projekt war die Entwicklung und Überführung der kleinen Versuchs-Rolltische auf großflächige Vibrations-Rolltische. Dazu wurde ein neuer und großflächiger Tisch entwickelt. Die Kompetenz der Firma Otte-Metallbau, aber auch die langjährigen Erfahrungen der Projektmitarbeiter der HU Berlin bildete dafür die Grundlage. Der geplante Gewächshaustisch hat das Maß 9,50 m x 1,61 m. Das Vibrationsverhalten dieses Tisches sollte dem des kleinen Vibrations-Rolltisches (3,0 m x 1,60 m) entsprechen. Dazu wurde:

- der Unterbau des Tisches ebenso sehr stabil (Abstand der Tischbeine 1,0 m und mit Querstreben versehen) und

- die obere Tischfläche verbiegungsfest gefertigt (ein sehr enges Raster mit 30 x 30 cm), sowie
- drei Aluminium-Montageplatten (Befestigung für Unwuchtmotoren, Abb. 8, Abb. 9) unter die Tischplatte angebracht (da das Vibrationsverhalten der Motoren zum Tisch nicht eindeutig abgeklärt werden konnte, eine Platte in der Mitte sowie rechts und links im Abstand von ca. 1,0 m).

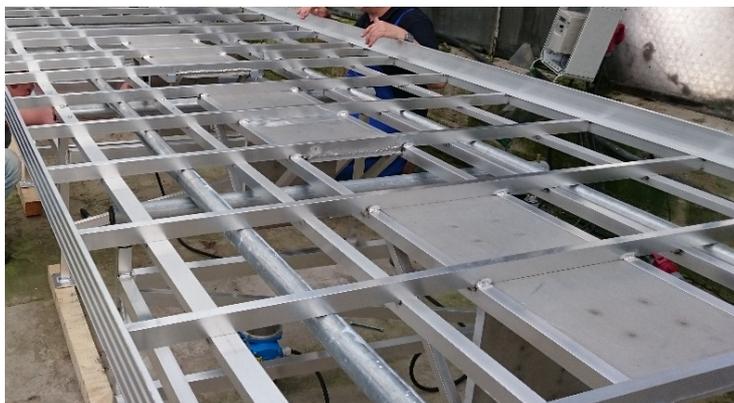


Abb. 8: Drei Aluminium-Montageplatten zur Motorenbefestigung, 2016 Abb. 9: Unwuchtmotoren zur Vibrationserzeugung

Ziel war es, eine gerichtete und sehr gleichmäßige Bewegung der gesamten Tischoberfläche zu erzielen. Nach der Testung der Motoren an den verschiedenen Montageplatten, konnte eindeutig festgestellt werden, dass nur eine mittige Montageplatte notwendig ist, um dieses Ziel zu realisieren. Für künftige Planungen muss somit nur eine Aluminium-Montageplatte eingeplant werden (Kostensparnis ca. 750 €).



Abb. 10: Vibrations-Rolltisch (9,5 m x 1,61 m) im Praxisbetrieb Fleischle, 2016

Abb. 11: Vibrations-Rolltisch Grundkonstruktion, 2016

Dieser Vibrations-Rolltisch (Abb. 10 und Abb. 11) wurde im August 2016 im Gartenbaupraxisbetrieb Fleischle aufgestellt und darauf bis November 2016 Praxisversuche durchgeführt. Mit Hilfe dieses Demonstrations-Vibrations-Rolltisches kann der Nachweis erbracht werden, dass das System für den Einsatz in verschiedenen Gartenbaubetrieben tauglich ist. Wichtig ist die genaue Beobachtung durch das gärtnerische Fachpersonal beim Einstellen der Vibrationsfrequenzen und –dauer, da zu starke Vibration zwingend vermieden werden müssen, um keine Verletzungen hervorzurufen.

3.1.2 Kultivierungsversuche

In diesem Abschnitt sind Ergebnisse ausgewählter Pflanzenbeispiele aufgeführt. Es wurden Untersuchungen von 2012 bis 2016 mit verschiedenen Beet- und Balkonpflanzen wie z.B. *Petunia*, *Calibrachoa*, *Pelargonium*, aber auch mit *Euphorbia pulcherrima*, *Helianthus*, mit Kräutern u.a. Basilikum, sowie Tomaten und Gurken durchgeführt.

Alle Projektversuche erfolgten unter Berücksichtigung der EU-Verordnung Ökologischer Landbau: keine chemischen Wuchshemmstoffe. Einige Versuche wurden zum Vergleich mit einer Hemmstoffvariante durchgeführt. Die Pflanzen wurden hierfür in einer anderen Gewächshauskabine behandelt, es wurden ausschließlich biologische Pflanzenschutzmittel und Nützlinge, Bio-Substrate (reduzierter Torfanteil), Bio-Dünger (z.B. Phytogries, Schafwollpellets bzw. OPF-Flüssigdüngern) und biologisch abbaubare Töpfe verwendet.

Im ersten Versuchsjahr wurden fünf Varianten mit verschiedenen Vibrationsmöglichkeiten, eine Kontrollvariante (ohne Vibration) und eine Variante mit Hemmstoffen vergleichend untersucht. Nach diesem Versuch sollte die endgültige Wahl der Motoren (Motorenwahl zwischen 1500 U/min und 3000 U/min) getroffen werden. Dieser Versuch wurde mit einer Veränderung der Fliehgewichte, aber noch ohne Frequenzumformer durchgeführt.

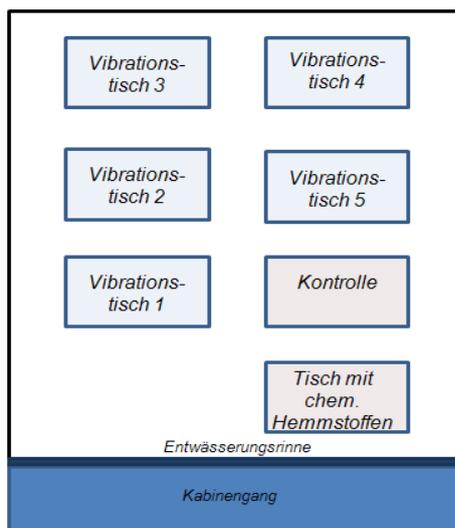


Abb. 12: Übersicht Versuchsanordnung

Abb. 13: Versuchsaufbau der Beet- und Balkonpflanzen 2012

Die Versuchstische wurden mit Nadelfolie ausgelegt und anschließend mit 28 Gittertrays je Versuchstisch ausgestattet, um ein mögliches Verrutschen zu verhindern und gleichmäßige Pflanzenabstände zu erzielen. Ein Gittertray besitzt acht Topffelder (Abb. 12, Abb. 13).

Nachfolgend soll pro Versuchsjahr ein ausgewähltes Pflanzenbeispiel erläutert werden:

Versuchszeitraum 2012: Beet- und Balkonpflanzen, Beispiel: *Petunia* 'Surprise Yellow'

Lieferung/Eintopfen: 07.02.2012 / 10.02.2012 (6. KW - Kalenderwoche)
 Jungpflanzenproduzent: Dümmer
 Vibration: Beginn: 8. KW (zwischen 6:00 – 11:00 Uhr), 5h/d, Ende: 14. KW
 Bonitur: 14-tägig
 Substrat/Dünger: Bio-Substrat (Stender)/Phytogries + OPF granular
 Töpfe: 10,5 D-Grade Bio (Desch)
 Nützlinge: Raubmilben, Nematoden (Katz-Biotech)
 Varianten (n=52): 5 x Vibrationsvarianten, 1 x Kontrollvariante

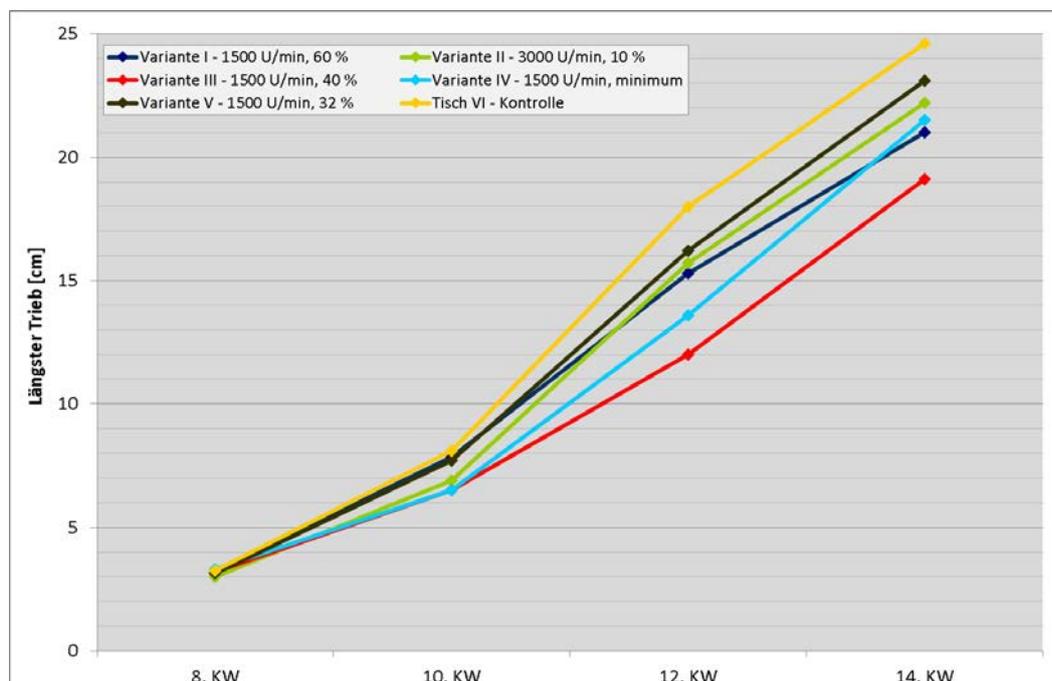


Abb. 14: Wachstumsverlauf des Längsten Triebes von *Petunia* 'Surprise Yellow' beeinflusst durch verschiedene Vibrationsarten im Vergleich zur Kontrollvarianten, 2012

Die Abb. 14 visualisiert den Wachstumsverlauf des längsten Triebes von *Petunia* 'Surprise Yellow'. Bei der ersten Bonitur (8. KW) besaßen alle Pflanzen eine Trieblänge von ca. 3 cm, 14 Tage später waren schon erste Hemmungen des Triebwachstums im Vergleich zur Kontrollvariante erkennbar. Diese wurden zur 12. bzw. zur 14. KW noch deutlicher. Alle Versuchsvarianten mit Vibration zeigten zur Kontrollvarianten ein kompakteres Streckungswachstum (Abb. 15).



Abb. 15: Einfluss von Vibrationen auf *Petunia* 'Surprise Yellow' im Vergleich zur Kontrollvariante (links - Vibration, rechts - Kontrolle), 2012

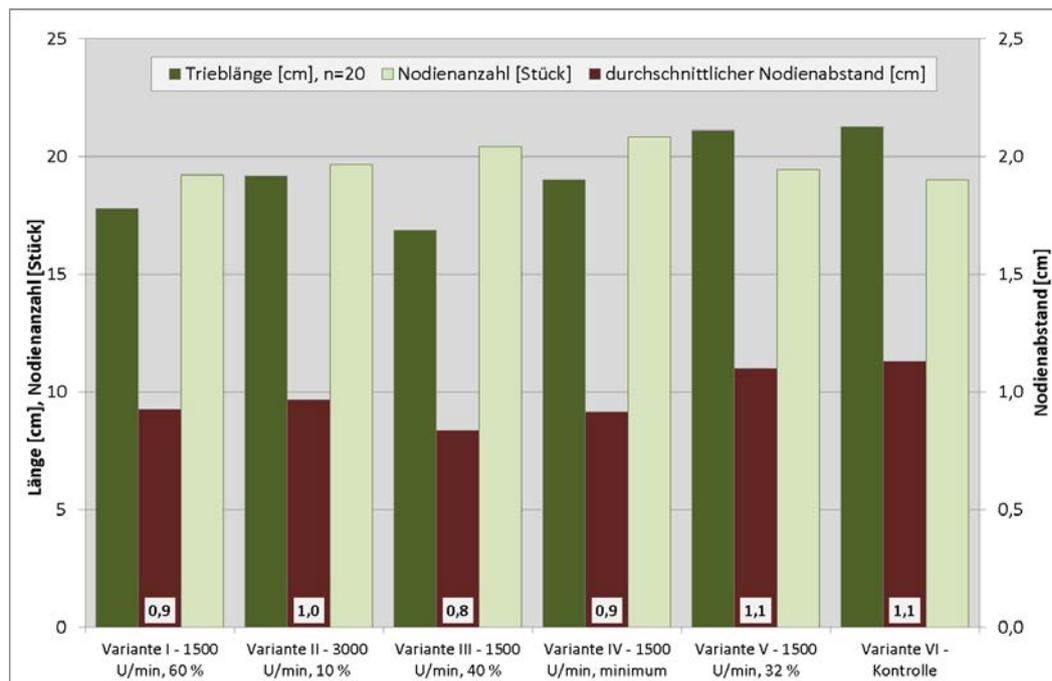


Abb. 16: Durchschnittlicher Nodienabstand von *Petunia* 'Surprise Yellow' nach Behandlung mit verschiedenen Vibrationsarten und der Kontrollvarianten, 2012

In der Abb. 16 wird der durchschnittliche Nodienabstand pro Versuchsvariante zum Versuchsende dargestellt. Von 20 zufällig ausgewählten Petunienpflanzen je Variante ist der längste Trieb entfernt und gemessen worden. Anschließend wurden die Nodien ausgezählt und der durchschnittliche Abstand zwischen den Nodien berechnet. Es wird erkennbar, dass die Varianten der Vibration-Versuchstische I-IV einen durchschnittlich geringeren Abstand (0,8 – 1,0 cm) zwischen den Nodien im Vergleich zur Kontrolle (1,1 cm) aufwiesen. Zahlreiche weitere Kriterien wurden aufgenommen, u.a. wurde eine Verzögerung der Knospen- und Blütenbildung und eine geringfügig schwächere Wurzelbildung bei vibrierten Pflanzen beobachtet.

Nach den Versuchen der Beet- und Balkonpflanzen 2012 ist die endgültige Wahl der Motoren auf 1500 U/min gefallen. Die Kriterien sind u.a. im günstigen Vibrationsverhalten der Versuchstische und im erfolgreichen Pflanzenversuchsverlauf zu sehen.

Die Versuche ab 2013 sind mit zusätzlichen Frequenzumformer realisiert worden. Dabei wurde die Veränderung der Fliehgewichte nicht weiter betrachtet (die Veränderung der Vibrationen mit Hilfe des Frequenzumformers gestaltet sich problemlos).

Versuchszeitraum 2013, Beispiel: *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red'

Lieferung/Eintopfen:	14.08.2013 / 15.08.2013 (33. KW)
Jungpflanzenproduzent:	Dümmen
Stutzen:	26.08.2013 (35. KW)
Vibration:	Beginn: 35. KW (zwischen 6:00 - 18:00 Uhr), 4h/d, Ende: 51. KW
Bonitur:	14-tägig
Substrat/Dünger:	Bio-Substrat (Klasmann-Deilmann)/ Schafwollpellets (75 %) und Phytogries (25 %)
Töpfe:	12er D-Grade Bio (Desch Plantpak)
Nützlinge:	Raubmilben, Nematoden (Katz-Biotech)
Varianten (Tab. 1):	4x Vibrationsvarianten, 1x Kontrolle, 1x Hemmstoffe (CCC 720)
Vibrationsvarianten (n=50):	Ziel: Gesamtvibrationszeit: je 4h/d
Verdunklung:	43. – 50. KW

Tab. 1: Varianten des Versuchszeitraumes Weihnachtssterne 2013

Intervall zwischen 6-18 Uhr	Frequenz [Hz]
Variante I und III - 2x10 min/h	15 Hz
Variante II und IV - 2x10 min/h	50 Hz
Kontrolle	
Hemmstoffe CCC 720	

In diesem Versuch (2013, System mit Gummi-Metall-Puffern) mit *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' (Abb. 18) konnte nach der Behandlung mit verschiedenen Vibrationsvarianten ein signifikant geringeres Streckungswachstum in drei von vier Varianten ermittelt werden (Abb. 17). Ebenso wurde im durchschnittlichen Pflanzendurchmesser von *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' in allen Versuchsvarianten mit Vibration (15 bzw. 50 Hz) ein geringerer Pflanzendurchmesser als bei der Kontrollvarianten erzielt.

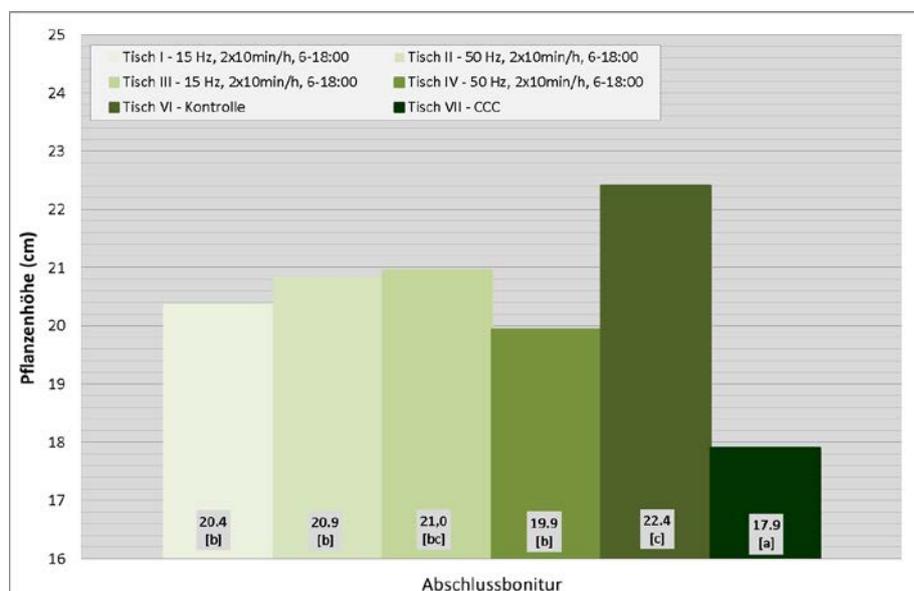


Abb. 17: Einfluss von verschiedenen Vibrationen auf die Pflanzenhöhe (cm) von *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante (CCC 720), Abschlussbonitur, 2013 (Tukey-Test $\alpha=0,05$)

Die durchschnittlichen Nodienabstände (von 15 Pflanzen die 3 obersten Triebe von der Triebbasis bis zur Bildung der Hochblätter) der verschiedenen Versuchsvarianten zur Kontrolle wiesen tendenziell geringere Abstände zwischen den Nodien auf. Klar erkennbar war, dass die Pflanzen der Kontrollvarianten einen stärkeren Wuchs und einen lockeren Pflanzenaufbau besaßen. Die Weihnachtssterne mit Hemmstoffbehandlung wiesen die geringste Pflanzenhöhe auf und zeigten den kompaktesten Wuchs.

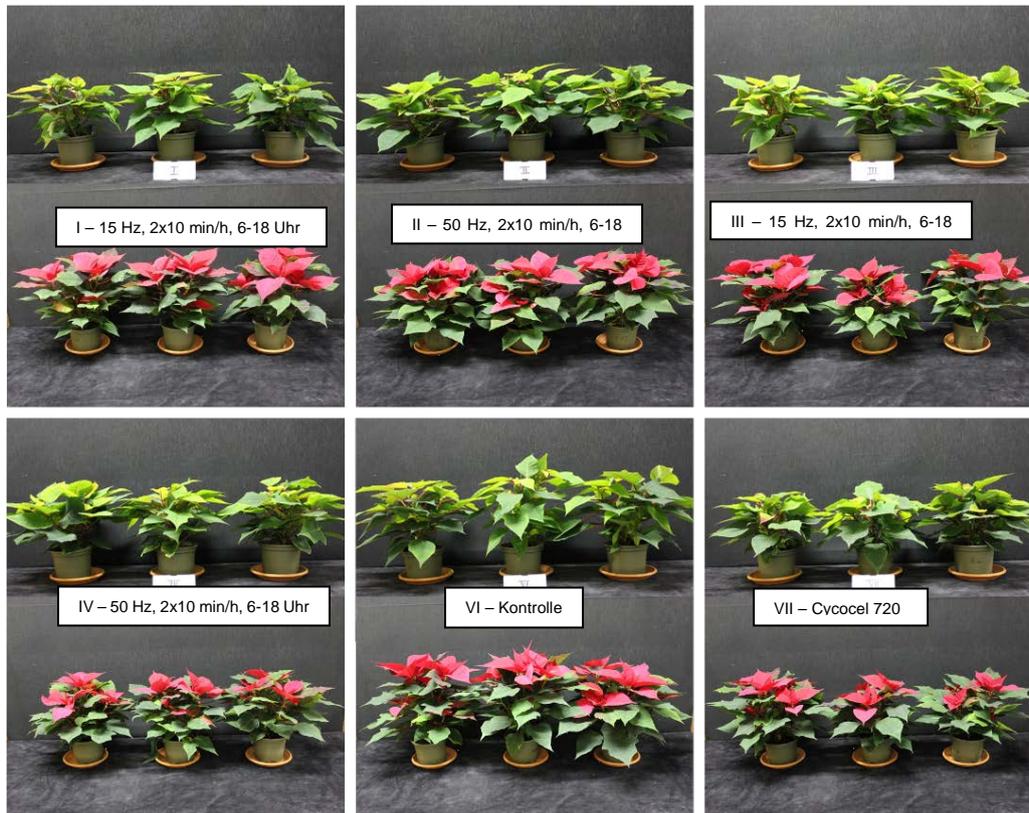


Abb. 18. : Einfluss von verschiedenen Vibrationen auf *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' vor und nach der Blüteninduktion im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante (CCC 720), Abschlussbonitur, 2013

Für die nachfolgenden Untersuchungen sollte die Vibrationszeit verringert werden, ohne die Wuchshemmung zu reduzieren. Der Energieaufwand könnte somit reduziert werden.

Versuchszeitraum 2014: Beet- und Balkonpflanzen, Beispiel: *Petunia* 'Surprise Yellow'

Lieferung/Eintopfen: 15.01.2014 / 16.01.2014 (3. KW)

Jungpflanzen: Dämmen

Stutzen: 27.01.2014 (5. KW)

Vibration: Beginn: 6. KW, zwischen 6:00 bis 15:00 Uhr, 3h/d, Ende: 12.KW

Bonitur: 14-tägig

Substrat: Bio-Substrat (KKS Bio-Kräutersubstrat, Klasmann-Deilmann)

Töpfe: 10,5 D-Grade Bio (Desch Plantpak),

Nützlinge: Raubmilben, Nematoden (Katz-Biotech)

Varianten (n=24): 3x Vibrationsvarianten (mit je 2 Versuchswiederholungen), 1x Kontrolle und 1x Hemmstoffeinsatz (CCC 720) (Tab. 2)

Tab. 2: Vibrationsvarianten des Versuchszeitraumes Beet- und Balkonpflanzen 2014

Intervall zwischen 6-15 Uhr	Frequenz [Hz]
2 x 10 min/h	16
4 x 5 min/h	16
2 x 10 min/h	50
Kontrolle	
Hemmstoffe CCC 720	

In Abb. 19 ist die Entwicklung des durchschnittlich längsten Triebes der verschiedenen Vibrationsvarianten, der Kontrolle und der Variante mit Hemmstoffen dargestellt. Es wird deutlich, dass eine Hemmung des Streckungswachstums durch die verschiedenen Vibrationsvarianten erzielt wurde. Das geringste Streckungswachstum und somit die größte Hemmung, wiesen die Pflanzen der Varianten mit 16 Hz auf. Diese Unterschiede werden ab der 9. Kalenderwoche (4 Wochen nach Vibrationsbeginn) besonders deutlich.

Die Ergebnisse zur Abschlussbonitur zeigen Unterschiede zwischen den einzelnen Vibrationsvarianten. Die niederfrequenten Varianten (Var. I und III, 16 Hz) wiesen ein geringeres Streckungswachstum im Vergleich zur höherfrequenten Variante (Variante II, 50 Hz) auf. Die Kontrollvariante wuchs zu allen Vibrationsvarianten und zur Variante mit Hemmstoffeinsatz am stärksten in die Länge.

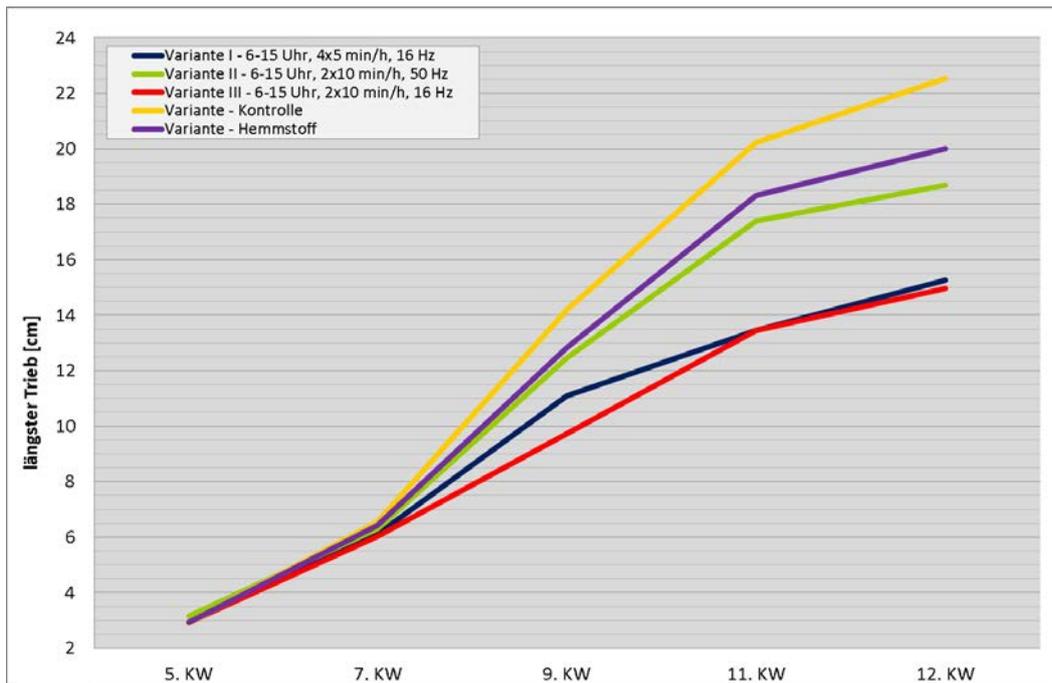


Abb. 19: Einfluss unterschiedlicher Vibrationen auf die Entwicklung des längsten Triebes im Vergleich zur Kontroll- und Hemmstoffvariante bei *Petunia* 'Surprise Yellow', 2014

Die Ergebnisse des Pflanzendurchmessers zur Abschlussbonitur wiesen ebenso Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten auf. Die Variante mit 16 Hz zeigte den geringsten durchschnittlichen Pflanzendurchmesser von 26,5 bzw. 26,6 cm, folgend von der Vibrationsvariante mit 50 Hz von 30,2 cm. Die Kontrollvariante wies den größten durchschnittlichen Pflanzendurchmesser mit 33,8 cm auf. Visualisiert werden diese Ergebnisse in der Abb. 20.

Bei der Berechnung des durchschnittlichen Nodienabstandes führten die Vibrationen mit 16 Hz zu den geringsten durchschnittlichen Nodienabständen mit ca. 0,7 cm. Die Variante mit 50 Hz ergab durchschnittlich 0,9 cm und die Kontrolle 1,0 cm zwischen den Nodien. Diese Ergebnisse stützen die zuvor gewonnenen Messergebnisse des durchschnittlich längsten Triebes und des Pflanzendurchmessers.



Abb. 20: Einfluss von verschiedenen Vibrationen 50 Hz und 16 Hz auf *Petunia* 'Surprise Yellow' im Vergleich zur Kontrollvariante, 10. KW, 2014

Vor dem folgenden Versuchszeitraum 2015 fand der Umbau der Vibrationstische statt. Es wurden die Tische vom System mit Gummi-Metall Puffern auf das Rolltischsystem umgebaut. Die Gründe für den Umbau dieses Systems werden in Punkt: 3.1.1.2 genannt.

Versuchszeitraum 2015: Beet- und Balkonpflanzen, Beispiel: *Pelargonium* 'Great Balls of Fire Burgundy'

Im Jahr 2015 wurde u.a. das Wuchsverhalten von *Pelargonium* 'Great Balls of Fire Burgundy' unter mechanischem Reiz untersucht (Abb. 23).

Lieferung/Eintopfen: 26.02.2015 / 02.03.2015 (9. /10. KW)

Jungpflanzen: Dämmen

Vibration: Beginn: 11. KW (zwischen 8-14 Uhr), 2h/d bzw. 1h/d, Ende: 19. KW

Bonitur: 14-tägig

Substrat: Bio-Substrat (KKS Bio-Kräutersubstrat, Klasmann-Deilmann)

Düngung: Flüssigdüngung: Optifer und OPF 8-3-3

Töpfe: 12er D-Grade Bio (Desch Plantpak),

Nützlinge Nematoden (Katz-Biotech)

Varianten (n=28): 4 verschiedene Vibrationsvarianten (24 Hz = neues Rolltischsystem, 16 Hz = Gummi-Metall-Puffer System) und 1 Kontrollvariante (Tab. 3)

Tab. 3: Varianten des Versuchszeitraumes Beet- und Balkonpflanzen 2015

Varianten	Frequenz [Hz]
2 x 10 min/h (8-14 Uhr)	24
2 x 5 min/h (8-14 Uhr)	24
2 x 10 min/h (8-14 Uhr)	16
2 x 5 min/h (8-14 Uhr)	16
Kontrolle	

In diesem Versuch sind die verschiedenen Vibrationssysteme untersucht worden, mit 24 Hz das System auf Rolltischbasis (nur Vibrationen zwischen 15 – 25 Hz möglich, siehe 3.1.1.2) und mit 16 Hz das System mit Gummi-Metall-Puffern. Somit wurden beide Systeme zeitgleich getestet. Im Kriterium Zuwachs zeigte die Kontrolle 12,7 cm auf und die mit Vibration behandelten Pflanzen einen Zuwachs von 8,7 cm bis 11,5 cm (Abb. 21). Drei von vier Varianten zeigten hier signifikante Unterschiede. Mit dem Rolltischsystem wurde die Streuung (z.B. in Kriterium Zuwachs des längsten Triebes) tendenziell reduziert. Dieser Vergleich deutet auf gleichmäßigere Verteilung der Vibrationen des Rolltischsystems hin (kein 'Aufschaukeln' der Tischsysteme).

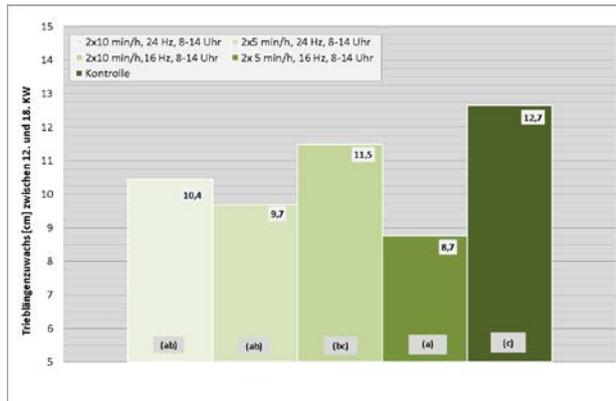


Abb. 21: Einfluss von verschiedenen Vibrationssystemen und -arten auf den Trieb länge zu wach s im Vergleich zur Kontrolle von *Pelargonium* 'Great Balls of Fire Burgundy', 2015, (Tukey-Test $\alpha=0,05$)

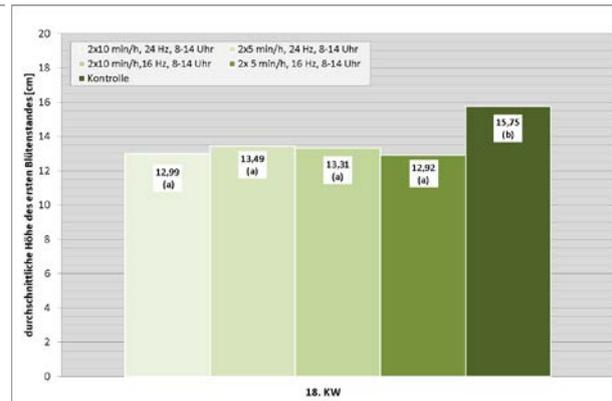


Abb. 22: Einfluss von verschiedenen Vibrationssystemen und -arten auf die durchschnittliche Höhe des ersten Blütenstandes im Vergleich zur Kontrolle von *Pelargonium* 'Great Balls of Fire Burgundy', 2015, (Tukey-Test $\alpha=0,05$)

Die durchschnittliche Höhe des ersten Blütenstandes konnte in allen mit Vibration behandelten Varianten signifikant von 15,8 cm der Kontrollvariante auf 13,0 bis 13,4 cm reduziert werden (Abb. 22). Die Entwicklung der Knospen und Blüten zeigte eine Verzögerung der gereizten Pflanzen. Das Kriterium Gesamteindruck erreichte in allen Versuchsvarianten ein sehr gutes Ergebnis (Abb. 23). Ebenso wurden diese Ergebnisse im Punkt Wurzeleindruck erzielt. In der Berechnung der Trockensubstanz ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Varianten, die Trockensubstanz lag zwischen 9,6 und 10,0 %. Der durchschnittliche Nodienabstand wurde in drei von vier Varianten signifikant reduziert.

Nachfolgende Versuche wurden mit dem Rolltischsystem durchgeführt.



Abb. 23: Einfluss von verschiedenen Vibrationen (Testung verschiedener Tischsysteme, 24 Hz: Vibrationsrolltisch, 16 Hz: Tischsystem mit Gummi-Metall-Puffern) auf das Wachstum von *Pelargonium* 'Great Balls of Fire Burgundy' im Vergleich zur Kontrolle, 2015

Versuchszeitraum 2015: Gemüse/Topfkräuter, Beispiel: *Ocimum basilicum* 'Edwina'

Im Versuch mit Basilikum fanden zwei aufeinanderfolgende Versuche statt. Ziel war es hier, die mögliche Kopplung von zwei Vibrationstischen zu testen (Abb. 25).

- Aussaat: 25.06.2015 (26. KW) / 17.07.2015 (29. KW)
 Saatgut: je 20 Korn/Topf (Volmary)
 Vibration: Beginn: 28. KW (zwischen 7 und 14 Uhr), Ende: 31. KW /
 Beginn: 33. KW (zwischen 7 und 14 Uhr), Ende: 37. KW
 Bonitur: 14-tägig
 Substrat: Bio-Substrat (KKS Bio-Kräutersubstrat, Klasmann-Deilmann)
 Töpfe: 12er D-Grade Bio (Desch Plantpak)
 Nützlinge: Nematoden (Katz-Biotech)
 Variante (n=32): 2 x Vibrationsvarianten, 1 x Kontrollvariante (Tab. 4)

Tab. 4: Varianten des Versuchszeitraumes Kräuter und Gemüsejungpflanzen 2015

Varianten	Frequenz [Hz]
2 x 5 min/h (Vibrations-Rolltisch plus angekoppelter Tisch)	24
2 x 2,5 min/h (Vibrations-Rolltisch plus angekoppelter Tisch)	24
Kontrolle	

Die Vibrationsrolltische waren jeweils mit dem Nachbartisch mit einem einfachen Aluminium-Profil gekoppelt. Zwei aufeinanderfolgende Versuchsdurchläufe von Basilikum 'Edwina' zeigten, dass im ersten Versuchsdurchlauf (28. bis 31. KW) in beiden Versuchsvarianten 2x5 min/h und 2x2,5 min/h, (je 24 Hz zwischen 7:00-14:00 Uhr) jeweils eine Hemmung um 3 cm des Streckungswachstums erzielt wurde (Abb. 24). Im folgenden Versuchsdurchlauf (33. bis 36. KW) konnte ein ähnliches Ergebnis erzielt werden. Die Basilikumpflanzen waren zur Endbonitur im Durchschnitt in der Pflanzenhöhe um 4 cm verringert (Abb. 26).



Abb. 24: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h, je 24 Hz zwischen 7-14 Uhr) auf *Ocimum basilicum* 'Edwina' im Vergleich zur Kontrolle, 2015



Abb. 25: gekoppelter Vibrationstisch mit Aluminium-Profilsschiene

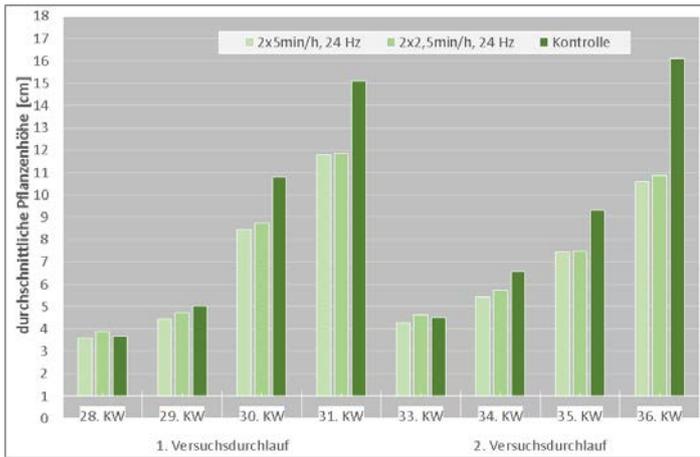


Abb. 26: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h) im Vergleich zur Kontrolle in zwei Versuchsdurchläufe auf die durchschnittliche Pflanzenhöhe von *Ocimum basilicum* 'Edwina', 2015

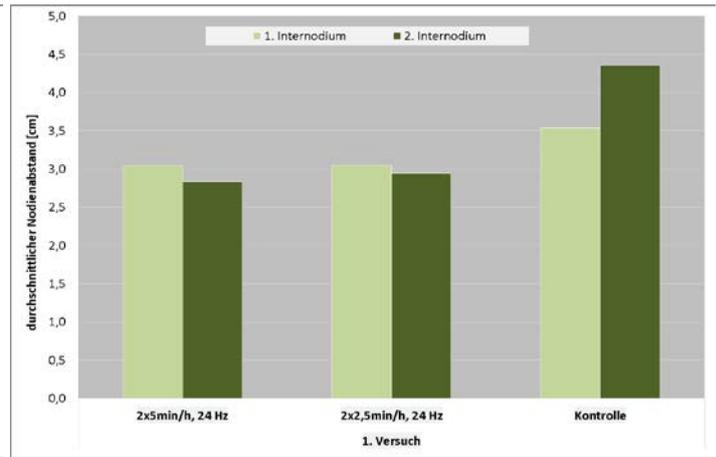


Abb. 27: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (2x5 min/h und 2x2,5 min/h) im Vergleich zur Kontrolle auf den durchschnittlichen Nodienabstand (n=192) des ersten und zweiten Internodiums von *Ocimum basilicum* 'Edwina' vom ersten Versuchsdurchgang von gekoppelten Vibrationstischen, 2015

Die Ergebnisse der durchschnittlichen Pflanzenhöhe werden im durchschnittlichen Nodienabstand des ersten und zweiten Internodiums bestätigt (Abb. 27). Das erste und zweite Internodium der Vibrationsvarianten im ersten Versuchsdurchgang zeigten im Durchschnitt eine Länge von 3 cm. Die Basilikumkontrollpflanzen hingegen wiesen einen durchschnittlichen Abstand von über 3,5 bzw. über 4 cm auf. Im folgenden Versuch waren die Abstände zwischen den Nodien insgesamt verkürzt (günstige Klimabedingungen). Die Ergebnisse des zweiten Versuches sind im Verhältnis ähnlich. Die Unterschiede beim 2. Internodium sind größer, da die Vibrationen während der Bildung des 1. Internodiums erst begannen. Das 2. Internodium wurde komplett unter Einwirkung der Vibration gebildet. Im Kriterium durchschnittliche Blattschäden der Pflanzen pro Variante wird ersichtlich, dass leichte Blattschäden durch die Vibration bei 2x5 min/h entstanden sind (Abb. 30). Es wurde eine durchschnittliche Boniturnote von 3 (leichte Blattschäden) vergeben. Die Variante 2x2,5 min/h zeigte mit einer durchschnittlichen Boniturnote von 2,1 geringere durchschnittliche Blattschäden. Die Kontrollvariante wies die geringsten Blattschäden auf. Basilikum ist sehr empfindlich, die Vibrationszeiten bzw. -frequenzen sollten weiter reduziert werden, es kann ebenso eine andere Sorte gewählt werden, z.B. Thaibasilikum. Im Jahr 2016 ist Thaibasilikum verwendet worden, hier wurden kaum Schäden beobachtet. Zusätzlich wurde in diesem Versuch die Vibrationszeit weiter reduziert (40 bzw. 20 min/d) umgesetzt. Es konnte trotz dessen in diesem Versuch ein kompakteres und stabileres Wachstum mittels Vibrationen festgestellt werden (Abb. 28).

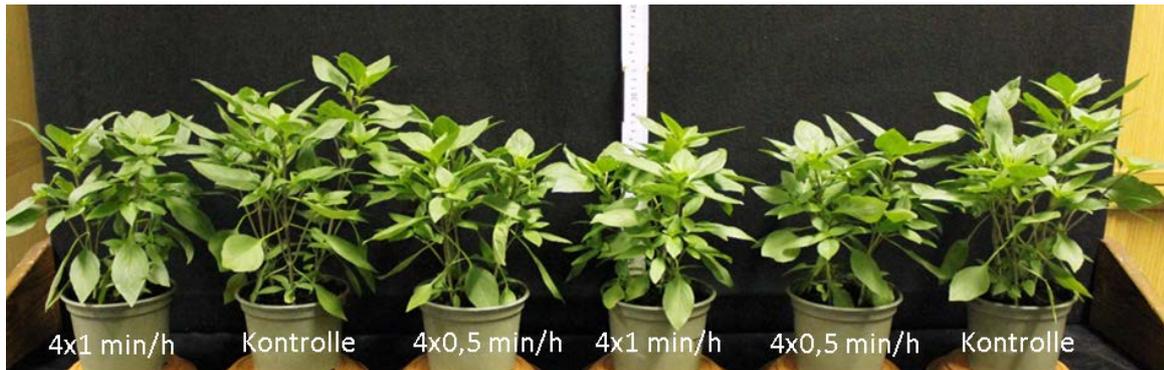


Abb. 28: Einfluss von verschiedenen Vibrationslaufzeiten (4x1 min/h und 4x0,5 min/h, 40 min/d bzw. 20 min/d) auf die Entwicklung von *Ocimum basilicum* 'Siam Queen' (Thaibasilikum) im Vergleich zu den Kontrollvarianten, 2016

Die gekoppelten Vibrationstische wurden zusammen zunächst als eine Einheit angesehen. Beim weiteren Analysieren der Daten wurde erkennbar, dass die Daten der Pflanzen der Vibrationstische mit Motoreinheit nicht den Daten des angekoppelten Tisches (ohne Antrieb) entsprachen.

Besonders die durchschnittliche Internodienlänge der Pflanzen (erstes und zweites Internodium) des Vibrationstisches mit Vibrationseinheit hatte längere Internodien im Vergleich zum angekoppelten Tisch (Abb. 29).

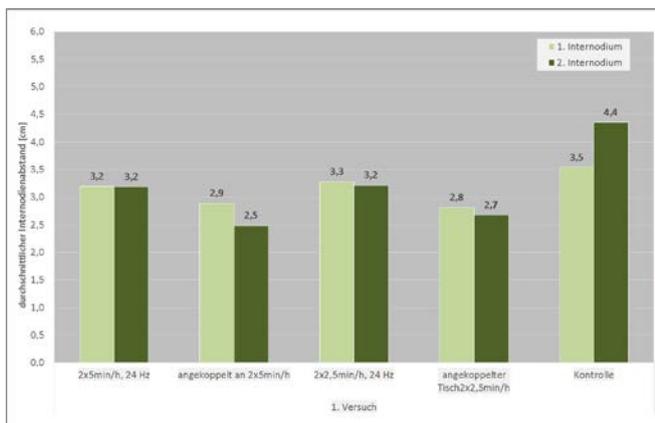


Abb. 29: Einfluss von unterschiedlichen Vibrationsdauern und gekoppelten Tischen (mit und ohne Antrieb) im Vergleich zur Kontrolle auf den durchschnittlichen Nodienabstand von *Ocimum basilicum* 'Edwina', 2015

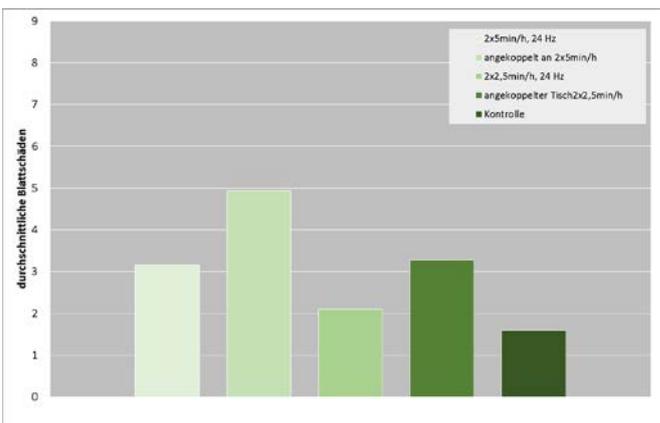


Abb. 30: Einfluss von unterschiedlichen Vibrationsdauern und gekoppelten Tischen (mit und ohne Antrieb) im Vergleich zur Kontrolle auf die durchschnittlichen Blattschäden von *Ocimum basilicum* 'Edwina' (1-keine Schäden, 3-sehr leichte Blattschäden, 5-mittlere Schäden, 7-starke Blattschäden, 9-sehr starke Blattschäden), 2015

Letztendlich kann gesagt werden, dass die Kopplung nicht mit einer Aluminium-Profilschiene erfolgen kann, sondern mit einer kraftschlüssigeren Verbindung vorgesehen werden muss. Die Vibrationen müssen gleichmäßig auf den angekoppelten Tisch übertragen werden können. Diese Testung konnte nicht innerhalb des Projektes realisiert werden. Das zweite Internodium (komplett unter Vibrationseinwirkung gewachsen) ist bei der Variante 2x5 min/h im Durchschnitt 3,2 cm und der angekoppelte Tisch mit 2x5 min/h durchschnittlich 2,5 cm lang. Die Varianten 2x2,5 min/h ebenso = 3,2 cm und der angekoppelte Tisch 2x2,5 min/h = 2,7 cm lang. Die Vibrationen waren auf den angekoppelten Tisch verstärkt und verursachten zusätzliche Blattschäden (Abb. 30). Es wurden schlechtere durchschnittliche Boniturnoten auf

den angekoppelten Tischen vergeben. Dies ist eine Folge der unzureichenden Verbindung zwischen den gekoppelten Tischen.

3.1.3 Pflanzenphysiologie

Im Rahmen des Projektes wurden Gaswechsellmessungen an Zierpflanzen und Kräutern (u.a. an *Euphorbia pulcherrima*, *Impatiens*, *Fuchsia* und *Ocimum basilicum*) durchgeführt.

Dazu konnte 2013 das am Fachgebiet Biosystemtechnik entwickelte Bermonis-Gerät (**Berliner Pflanzenmonitoring System**) genutzt werden. Bei diesem Messsystem wird permanent ein sehr geringer Luftstrom aus 10 Blattküvetten abgesaugt und der CO₂- und Feuchtegehalt bestimmt. Darüber hinaus wird über Thermoelemente die Blattoberflächentemperatur erfasst. Wechselseitig wird über die Messeinrichtung ein Referenzluftstrom erfasst. Aus den CO₂- und Feuchtedifferenzen der Küvetten- und der Referenzluft unter Berücksichtigung der Blatt- und der Lufttemperatur werden online die Transpirations- und die Nettophotosyntheseleistung ermittelt (Abb. 31 und Abb. 32).



Abb. 31: Gaswechsellmessungen an *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red', 2013



Abb. 32: Blattküvette zur Gaswechsellmessung an *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red', 2013

Bei den Messungen im Dezember 2013 mit dem Bermonis-Gerät an Blättern von Weihnachtssternen zeigten sich nur geringe Unterschiede in der Photosyntheseleistung zwischen behandelten und unbehandelten Varianten (Abb. 33). Im Mittel über einem fünftägigen Versuchszeitraum lag die Photosyntheseleistung der Vibrationsvariante um 0,3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ über der Referenzvariante (Abb. 34).

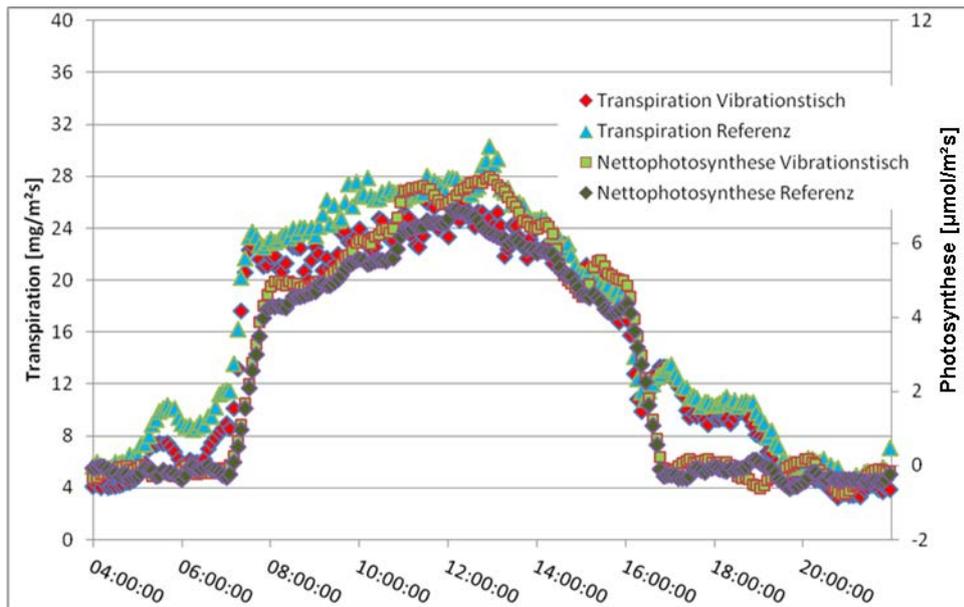


Abb. 33: Tagesverlauf der Nettophotosynthese und der Transpiration von *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrollvariante (unbehandelt, ohne Wuchshemstoffe), 11.12.2013

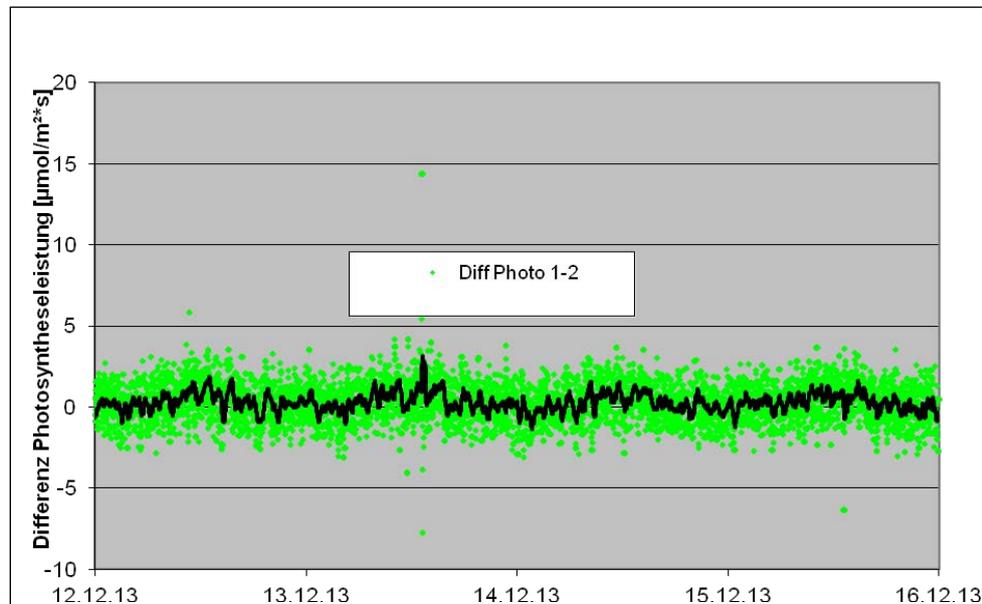


Abb. 34: Differenz der Photosyntheseleistungen von *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (1 = 2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrolle (2 = unbehandelt, ohne Wuchshemstoffe)

An einigen Tagen wurde eine kurzzeitige Verringerung der Blatttranspiration nach Vibrationsbehandlungen beobachtet (Abb. 35). Insgesamt lagen die Transpirationsraten bei den Vibrationsvarianten unter denen der unbehandelten Varianten.

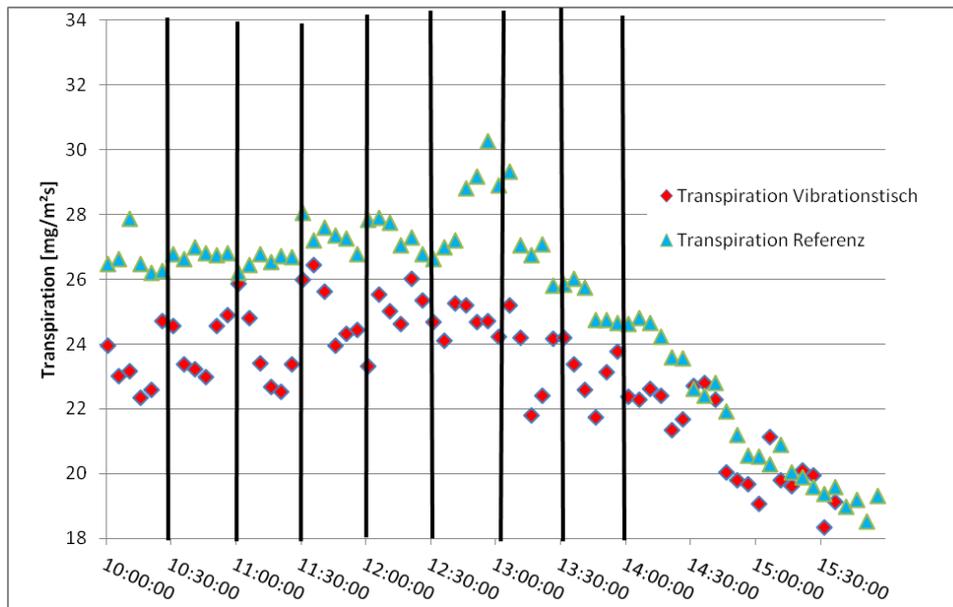


Abb. 35: Verlauf der Transpiration von *Euphorbia pulcherrima* 'Bella Italia Red' der Vibrationsvariante 15 Hz (2x10 min/h, zwischen 6-18 Uhr) und der Kontrolle (unbehandelt, ohne Wuchshemmstoffe), senkrechte Linien zeigen den Beginn der Vibrationsbehandlung, 11.12.2013

In den Jahren 2015 und 2016 wurden Gaswechsellmessungen mit dem Messgerät CIRAS Portable Photosynthesis System (PP Systems) durchgeführt. Der große Vorteil dieses Messgerätes ist der mobile Einsatz und die zusätzliche Messung der PAR-Strahlung. Parallelmessungen (wie beim Bermonis-Gerät) sind damit jedoch nicht möglich, was sich als nachteilig erwies. Durch sich schnell ändernde Klimabedingungen im Gewächshaus (Einstrahlung, Temperatur, Luftfeuchte) sind zeitlich versetzte Messungen an den Versuchsvarianten nur schwer auswertbar.

Es wurden jeweils sieben Kontrollpflanzen und sieben Vibrationspflanzen (je 3-4 Messwerte) im Wechsel an das CIRAS-Gerät angeschlossen. Dabei wurde ein ausgewähltes gleichartiges Blatt in die Küvette eingespannt. Das Blatt musste sich im gleichen Entwicklungsstadium befinden. Anhand der Ergebnisse war erkennbar, dass z.B. *Ocimum basilicum* (Abb. 36) auf die Vibration reagiert. Mit höherer Einstrahlung zeigten die Vibrationspflanzen tendenziell sowohl bei der Transpiration als auch bei der Nettophotosyntheseleistung geringere Anstiege als die Kontrollpflanzen.

BRUNOLD ET. AL. (1996)⁹ beschreibt, wenn die Gewebetemperatur bei mechanischen Reizen (Wind) geringer ist, kann die Transpirationsrate bei zunehmenden mechanischen Reiz sinken. In der Messung des Jahres 2016 an Basilikum war die Gewebetemperatur (Blatt) in behandelter und unbehandelter Variante jeweils geringer als die Temperatur in der Luft. Die Blatt- und Lufttemperaturen waren bei einer PAR-Strahlung zwischen 170 und 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ sehr homogen.

⁹ BRUNOLD, CH.; RUEGSEGGER, A. und BRÄNDLE R. (1996): Stress bei Pflanzen, UTB für Wissenschaft

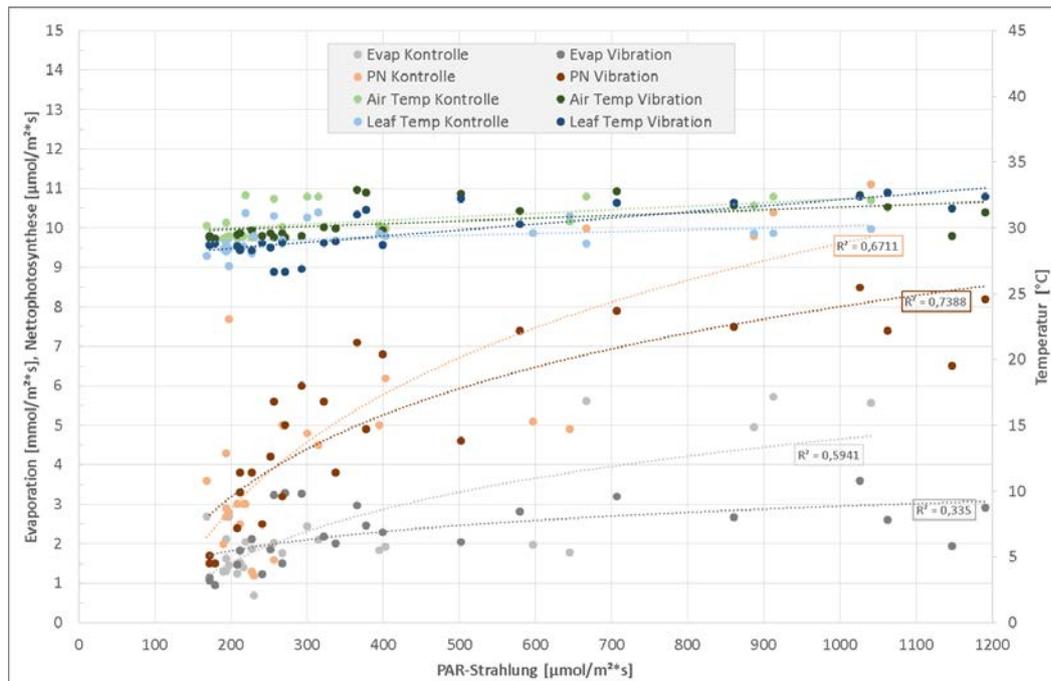


Abb. 36: Gaswechsellmessungen (CIRAS) an *Ocimum basilicum* 'Siam Queen' (Thaibasilikum) im Wechsel an je 7 vibrierten Pflanzen und 7 Kontrollpflanzen, (Evap – Transpiration, PN – Nettophotosynthese, Air Temp – Lufttemperatur, Leaf Temp – Blatttemperatur), 08.07.2016

Die Blatttemperaturen lagen bei durchschnittlich 29°C und die Lufttemperaturen bei ca. 31°C (Kontrolle und Vibration). Die Nettophotosynthese im Bereich bis 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (PAR) und die Transpiration bis 260 $\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ (PAR) wiesen höhere Werte bei den Pflanzen der Vibration auf. Mit zunehmender PAR-Strahlung stieg die Gewebetemperatur an. Bei der Kontrollvariante stieg die Blatttemperatur nicht im gleichen Maße an wie bei Pflanzen mit Vibration. Bei einer Strahlung von 400 bis 750 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ sankt die Temperaturdifferenz zwischen Blatt- und Lufttemperatur der Vibrationspflanzen bis auf 0 K. Die Transpiration stieg stärker bei der Kontrolle an und konnte dadurch die Blatt- oder Gewebetemperatur gut regulieren. Diese stieg nur bis auf 30°C, während die Lufttemperatur ca. 32,5°C aufzeigte. Die Pflanzen der Vibrationsvariante konnten nicht im gleichen Maße die Transpiration erhöhen und die stomatäre Leitfähigkeit war leicht sinkend bei höherer PAR-Strahlung. Es wurde eine Blatt-/Gewebetemperatur von 33°C gemessen, die Lufttemperatur war 32°C. Die Pflanzen konnten durch den mechanischen Reiz offenbar nicht auf die erhöhte PAR-Strahlung so gut reagieren. Die Grenzschicht des Blattes war gestört und reagierte mit einer gleichbleibenden bzw. leicht sinkenden stomatären Leitfähigkeit. Die Transpiration konnte sich daher nicht erhöhen.

2013 wurde mit dem Bermonis-Gerät über einem Zeitraum von 5 Tagen gemessen. Dabei lag die Photosyntheseleistung der Vibrationspflanzen um durchschnittlich 0,3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ über der Referenz. Diese Unterschiede konnten 2016 an Basilikum nur im unteren PAR-Strahlungsbereich bis 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ nachgewiesen werden. Bei höheren Strahlungswerten führte die Kontrollvariante eine höhere Nettophotosynthese durch. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die Blatttranspiration bei hoher PAR-Strahlung der Vibrationsvariante verringert war.

3.1.4 Praxisversuche

In der ersten Projektphase testeten zwei nachhaltig kultivierende Zierpflanzenbetriebe den mit Gummi-Metall Puffern ausgestatteten Vibrationstisch.

3.1.4.1 Hanka Gartenbau (Kempen, Nordrhein-Westfalen)

Der Gartenbaubetrieb Hanka führte die ersten Untersuchungen mit einer Frequenz von 18 Hz durch. Dabei konnte der Praxisbetrieb u.a. die hemmende Wirkung durch Vibrationen aufzeigen. Diese Ergebnisse sind beispielsweise bei *Ruellia brittioniana* und *Solanum jasminoides* (Hauptprodukt des Betriebes) erzielt worden.

Ruellia brittioniana

Ruellia brittioniana zeigte eine verringerte durchschnittliche Pflanzenhöhe um 2,2 cm (Abb. 37). Eine verringerte Anzahl der Knospen zum Zeitpunkt der Bonitur war bei den vibrierten Pflanzen im Vergleich zur nicht vibrierten Referenz/Kontrolle erkennbar (Tab. 5). Darüber hinaus zeigten die Pflanzen der vibrierten Variante eine Erhöhung der durchschnittlichen Anzahl der Triebe.



Abb. 37: *Ruellia brittioniana* – Vibration links, Kontrolle rechts (Foto: Hanka Gartenbau)

Tab. 5: Messergebnisse von *Ruellia brittioniana* (Datenerfassung: Hanka Gartenbau)

	Durchschnittliche Pflanzenhöhe [cm]	Durchschnittliche Knospenanzahl [Stück pro Pflanze]	Durchschnittliche Blütenanzahl [Stück pro Pflanze]	Anzahl der Triebe [Stück pro Pflanze]	durchschnittlicher Nodienabstand [cm]
Kontrolle	46.5	14.7	1.8	2.9	7.7
Vibration	44.2	11.6	1.6	3.8	7.5

Solanum jasminoides

Wie in der Tab. 6 ersichtlich, führten die Vibrationen bei *Solanum jasminoides* 'Lilliom' zu einer deutlichen Reduzierung des Streckungswachstums (Abb. 38). Die Kontrollpflanzen zeigten einen durchschnittlichen längsten Trieb von 56,4 cm, die vibrierten Pflanzen erzielten hingegen einen durchschnittlichen längsten Trieb von nur 47,2 cm. Weiterhin ist erkennbar, dass es nur sehr geringe Unterschiede bei der Anzahl der Knospen und Blüten sowie im durchschnittlichen Nodienabstand gab.



Abb. 38: *Solanum jasminoides* 'Lilliom' - Vibration links, Kontrolle rechts (Foto: Hanka Gartenbau)

Tab. 6: Messergebnisse von *Solanum jasminoides* 'Lilliom' (Datenerfassung: Hanka Gartenbau)

	Durchschnittlicher längster Trieb [cm]	Durchschnittliche Knospenanzahl [Stück pro Pflanze]	Durchschnittliche Blütenanzahl [Stück pro Pflanze]	Anzahl der Triebe [Stück pro Pflanze]	durchschnittlicher Nodienabstand [cm]
Kontrolle	56.4	1.0	0.2	15.4	2.1
Vibration	47.2	1.3	0.1	14.7	2.0

3.1.4.2 Fontana Gartenbau (Küstriner Vorland OT Manschnow, Brandenburg)

Der Betrieb Fontana Gartenbau realisierte mit einem Vibrationstisch (System mit Gummi-Metall-Puffern) einige Pflanzenversuche unter Praxisbedingungen. Hier wurde ebenfalls eine Frequenz von 18 Hz eingestellt. Es standen u.a. *Osteospermum*, *Cleome* und *Fuchsia* auf den Versuchstischen.

Osteospermum:

In Tab. 7 sind die Messeergebnisse von *Osteospermum* aufgeführt. Hier konnte mit Hilfe der Vibrationstechnik eine durchschnittliche Reduzierung des Streckungswachstums (Abb. 39) um fast 4 cm erzielt werden. Auch das Kriterium Pflanzendurchmesser (Abb. 40) deutet auf kompaktere Pflanzen durch Vibrationen hin.



Abb. 39: *Osteospermum* links - Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)



Abb. 40: Draufsicht - *Osteospermum* links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)

Tab. 7: Messeergebnisse von *Osteospermum* (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)

	durchschnittliche Pflanzenhöhe [cm]	durchschnittlicher Pflanzendurchmesser [cm]
Kontrolle	30.1	23.5
Vibration	26.4	21.9

Cleome:

Die Messeergebnisse von *Cleome* (Tab. 8) zeigen eine hemmende Reaktion durch den mechanischen Stress mittels Vibrationen. So konnte das durchschnittliche Streckungswachstum (Abb. 41), d.h. die Pflanzenhöhe im Vergleich zu den Kontrollpflanzen (37,7 cm) um über 4 cm zu den behandelten Pflanzen (33,4 cm) reduziert werden. Ebenso ist der Pflanzendurchmesser von *Cleome* mittels Vibrationstechnik verringert (Abb. 42 und Tab. 8).



Abb. 41: *Cleome* links - Vibrationspflanze, rechts - Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)



Abb. 42: Draufsicht - *Cleome*, links - Vibrationspflanze, rechts - Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)

Tab. 8: Messergebnisse von *Cleome* (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)

	durchschnittliche Pflanzenhöhe [cm]	durchschnittlicher Pflanzendurchmesser [cm]
Kontrolle	37.7	34.6
Vibration	33.4	31.8

Fuchsia

Wie in Tab. 9 ersichtlich, konnte ebenfalls bei den Fuchsien im Gartenbaubetrieb Fontana eine Verringerung der Pflanzenhöhe mittels Vibrationen von 35,3 cm (Kontrolle) auf 32,0 cm (Vibrationsvariante) erzielt werden (Abb. 43). Der Pflanzendurchmesser hingegen wurde nicht reduziert (Abb. 44). Offenbar sind bei der Vibrationsvariante verstärkt horizontal wachsende Triebe zu beobachten (Abb. 43).



Abb. 43: *Fuchsia* links - Vibrationspflanze, rechts - Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)

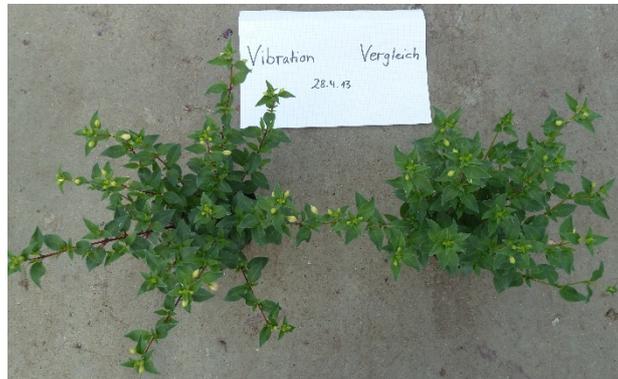


Abb. 44: Draufsicht - *Fuchsia*, links - Vibrationspflanze, rechts - Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)

Tab. 9: Messergebnisse *Fuchsia* (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)

	durchschnittliche Pflanzenhöhe [cm]	durchschnittlicher Pflanzendurchmesser [cm]
Kontrolle	35.3	25.0
Vibration	32.0	26.0

Diascia

Die Messergebnisse von *Diascia* zeigen, dass im Kriterium Pflanzenhöhe keine Unterschiede erzielt werden konnten. Dieses wird in der Abb. 45 erkennbar. Der Pflanzendurchmesser von

Diascia konnte allerdings mit Hilfe der Vibrationstechnik um etwa 2 cm verringert werden (Tab. 10). Die Pflanzen werden offenbar durch den Einfluss der Vibration stabiler.



Abb. 45: *Diascia*, links – Vibrationspflanze, rechts – Kontrolle (Foto: Fontana Gartenbau)

Tab. 10: Messergebnisse *Diascia* (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)

	durchschnittliche Pflanzenhöhe [cm]	durchschnittlicher Pflanzendurchmesser [cm]
Kontrolle	30.0	32.9
Vibration	29.3	30.8

Der Betrieb Fontana Gartenbau realisierte ebenso mit einem Vibrationstisch einige Pflanzenversuche mit verschiedenen Pelargonienarten. Die Frequenz für diesen Versuch wurde auf 50 Hz (System mit Gummi-Metall-Puffern) für eine Vibrationsdauer von 4 h am Tag (in den Vormittagstunden ohne Intervall) für einen 4-wöchigen Zeitraum eingestellt. In Tab. 11 sind die durchschnittlichen Zuwächse von Pflanzenhöhe und –durchmesser von den vier untersuchten Pelargonienarten aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass bei allen hemmende Wirkungen der Vibrationen auftraten, besonders gut reagierte die Sorte 'Calliope Dark Red' auf die Behandlung.

Tab. 11: Ergebnisse des Gartenbaubetriebes Fontana verschiedener Pelargonienarten (Datenerfassung: Fontana Gartenbau)

	'Calliope Dark Red'		'Savannah Punch'		'Classic Light Salmon'		'Light Pink Splash'	
								
	Vibration	Kontrolle	Vibration	Kontrolle	Vibration	Kontrolle	Vibration	Kontrolle
Zuwachs der Pflanzenhöhe von 8. - 11. KW [cm]	2,1	3,9	2,8	3,2	2,3	2,8	2,5	2,7
durchschnittlicher Pflanzendurchmesser 11. KW [cm]	19,5	22	17,3	18,7	16,8	17,8	15,6	16,4
Beispflanzpflanzen 11. KW								

In der zweiten Projektphase (2015/2016 nach Verlängerungszustimmung) testeten zwei zertifizierte Bio-Betriebe die Neuentwicklung des Vibrations-Rolltisches:

3.1.4.3 Naturgärtnerei Ingelmann (Algermissen, Niedersachsen)

Die Naturgärtnerei Ingelmann ist ein zertifizierter Bio-Gartenbaubetrieb nach der EU-Verordnung Ökologischer Landbau. Es wurden zu Beginn Versuche mit dem Vibrationssystem: Gummi-Metall-Puffern durchgeführt und nachfolgend mit dem Rolltischsystem. Die beginnenden Versuche wurden mit einer Frequenz von 18 Hz und einer Vibrationsdauer von 1 h durchgeführt. Der Tisch ist nicht wie die Versuchstische in der Humboldt-Universität und die Versuchstische bei den anderen Praxisbetrieben mit einer Plastikwanne ausgestattet, sondern dieser Betrieb arbeitet mit einem Fließrinnensystem (Abb. 46). Die Naturgärtnerei Ingelmann konnte u.a. eine hemmende Wirkung durch den mechanischen Reiz (Vibrationen) an *Pelargonium peltatum* (Abb. 47), *Diascia* (Abb. 48), *Petunia* (Abb. 49) und *Osteospermum* aufzeigen (Abb. 50).



Abb. 46: Fließrinnensystem in der Gärtnerei Ingelmann

Die Versuche der Beet- und Balkonpflanzen zeigten, dass durch eine Vibrationsbehandlung (1 h) eine Reduzierung des Streckungswachstums bei *Pelargonium peltatum* um durchschnittlich 5 cm, bei *Diascia* und *Petunia* um durchschnittlich 13 cm und bei *Osteospermum* um durchschnittlich 12 cm (nach einer 5 wöchigen Vibrationsbehandlung) realisiert wurde (Tab. 12). Diese alternative Methode zur Hemmung des Streckungswachstums wird von Seiten der Gärtnerei Ingelmann als positiv gesehen.

Tab. 12: Mess- und Boniturergebnisse (Datenaufnahme: Naturgärtnerei Ingelmann, 2014)

Vibrationstisch-Versuche NaturGärtnerei Ingelmann Algermissen			
13. KW			
Kultur	mit Vibration	ohne Vibration	
Topfen am 6.3.2014, Vibration ab dem 14.03.2014	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Bemerkungen
Pelargonium peltatum Lachs einfach blühend	11	12	Vibration tägl. 1h mit 18Hz
Diascia	3	8	Vibration tägl. 1h mit 18Hz
Petunia	5	8	Vibration tägl. 1h mit 18Hz
Osteospermum orange	5	6	Vibration tägl. 1h mit 18Hz
16. KW			
Kultur	mit Vibration	ohne Vibration	
Topfen am 6.3.2014, Vibration ab dem 14.03.2014	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Bemerkungen
Pelargonium peltatum Lachs einfach blühend	14	16	Knospenansatz
Diascia	5	12	Blühbeginn
Petunia	10	14	Blühbeginn
Osteospermum orange	12	17	Blühbeginn
18. KW			
Kultur	mit Vibration	ohne Vibration	
Topfen am 6.3.2014, Vibration ab dem 14.03.2014	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Durchschnittliche Pflanzenhöhe	Bemerkungen
Pelargonium peltatum Lachs einfach blühend	31	36	Kulturende/Versuchsabbruch Lausbefall
Diascia	15	28	Kulturende/Versuchsabbruch Lausbefall
Petunia	17	30	Kulturende/Versuchsabbruch Lausbefall
Osteospermum orange	19	31	Kulturende/Versuchsabbruch Lausbefall

Abb. 47: *Pelargonium peltatum* (lachsfarbend), 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014, (Foto: Gärtnerei Ingelmann)Abb. 48: *Diascia*, 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014, (Foto: Gärtnerei Ingelmann)



Abb. 49: *Petunia*, 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)



Abb. 50: *Osteospermum* (orange), 16. KW, links Kontrolle und rechts Rütteltisch, 2014 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)

Nach der Umbauphase wurden weiterführende Praxisversuche mit dem neuen, verbesserten Rolltischsystem in der Gärtnerei Ingelmann im Jahr 2015 durchgeführt. Die Bewässerung der Pflanzen wurde je nach Bedarf durchgeführt (Fließrinne), die Heiztemperatur für alle Kulturen lag bei 12 °C und die Lüftungstemperatur bei 18 °C. Das verwendete Substrat stammt aus eigener Kompostierung.



Abb. 51: *Tagetes tenuifolia* (Dufftagetes): links – Kontrolle, rechts – Vibrationsvariante, 2015 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)



Abb. 52: *Capsicum annuum* (Zierpaprika): links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle, 2015 (Foto: Gärtnerei Ingelmann)

Die Abb. 51 und Abb. 52 zeigen ausgewählte Ergebnisse der Gärtnerei Ingelmann mit dem neuen Vibrations-Rolltisch. Dufftagetes und Zierpaprika konnten u.a. erfolgreich im Wachstum gehemmt werden. Die Pflanzen der Vibrationsvarianten in diesen Bildern visualisieren ein kompakteres Wachstum und eine bessere Verzweigung. Diese Pflanzen sind transportfähiger und stabiler. Die Naturgärtnerei Ingelmann wies mittels Vibrationen des Rolltisches eine wuchshemmende Wirkung nach.

Die Gärtnerei konnte beide Tischsysteme (Gummi-Metall Puffer und anschließend das System auf Rolltischbasis) testen. Der Umbau des Vibrationstisches auf das Rolltischsystem wird als bedeutsame Verbesserung zum bestehenden Vibrationstisch mit Puffern eingeschätzt.

3.1.4.4 Fleischle Gartenbau (Vaihingen/Enz, Baden Württemberg)

Dieser Bio zertierte Praxisbetrieb realisierte ebenso einige Versuche mit dem Vibrationstisch auf Rollbasis. Der Betrieb bearbeitete die Versuche mit Frequenzen zwischen 15 und 21 Hz (nur untere Frequenzen, da sich das Vibrationsverhalten durch den Umbau veränderte) und einem Vibrationsintervall von 2 x 15 min/h zwischen 8 und 16 Uhr.

Die folgenden Versuche sind mit 19 Hz durchgeführt worden.

Mussaenda



Abb. 53: *Mussaenda*, links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)

Tab. 13: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von *Mussaenda* (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)

2015		KW 35	KW 36	KW 37	KW 38	KW 39	KW 40	KW 42	Bemerkung
Mussaenda Flo 009	Rütteltisch	14,6	15,6	16,8	20,0	21,8	23,8	27,0	leichte Blattschäden, Pflanzen hatten mehr Austriebe
TX 29, RTX 34	Kontrolle	14,5	16,2	17,9	21,8	25,0	26,0	29,4	
je 22 Pflanzen									
Mussaenda Flo 006	Rütteltisch	10,8	12,0	12,5	13,4	13,7	14,8	20,0	leichte Blattschäden, Pflanzen hatten mehr Austriebe
TX 35, RT 35	Kontrolle	10,5	10,6	10,6	12,3	12,8	15,2	20,2	
je 24 Pflanzen									

Wie in Tab. 13 ersichtlich, konnten die Pflanzen einer *Mussaenda*-Sorte im Wachstum um 2,4 cm reduziert werden. Zusätzlich wiesen sie eine höhere Verzweigung auf (Abb. 53). Als nachteilig werden die beobachteten leichten Blattschäden gesehen. Eine weitere Reduzierung der Vibrationsfrequenz ist zu prüfen.

Plectranthus



Abb. 54: *Plectranthus*, links - Vibrationsvariante, rechts - Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)

Asia Green Salat



Abb. 57: Asia Green Salat links - Vibrationsvariante, rechts – Kontrolle (Foto: Gartenbau Fleischle)

Tab. 16: Durchschnittliche Pflanzenhöhe (cm) von Asia Green Salat (Datenaufnahme: Gartenbaubetrieb Fleischle)

2015		KW 35	KW 36	KW 37	KW 38	KW 39	KW 40	KW 42	KW 44	Bemerkung
Asia Greens	Rütteltisch		11,2	13,5	16,4	22,8	25,6			Pflanzen waren auf dem Rütteltisch deutlich kräftiger als auf den Vergleichstisch. Ist auf dem Bild aber nicht zu erkennen
A 35, RT 36	Kontrolle		11,1	14,4	17,7	22,6	26,0			
je 12 Pflanzen										

Im Gartenbaubetrieb Fleischle wurde auch Asia Green Salat getestet. Es konnte hier keine eindeutige Hemmung gemessen werden (Abb. 57). Die Pflanzen waren jedoch nach Aussagen der Versuchsbetreuer des Gartenbaubetriebes Fleischle deutlich kräftiger.

Praxisgröße (9,5 m x 1,6 m) geplant und entwickelt und anschließend im August 2016 im Gartenbaubetrieb Fleischle von den Mitarbeitern der HU Berlin eingebaut und getestet (Abb. 58).



Abb. 58: Pflanzenversuch mit *Crassula rosularis* im Betrieb Fleischle, 2016

Crassula rosularis wurde bereits in einem Versuch mit dem kleinen Vibrations-Rolltisch getestet. *Crassula*-Pflanzen reagierten u.a. mit verkürzten Blütenständen (Abb. 59). Ebenso wurde festgestellt, dass durch die steifen und sukkulenten Blätter leicht Verletzungen auftreten können. Um Qualitätsminderungen vorzubeugen, sollten nach Aussagen der Versuchsbetreuer zu Beginn der Vibrationsbehandlungen beim Auftreten erster Schäden, die Vibrationszeiten und – frequenzen schrittweise herabgesetzt werden.



Abb. 59: *Cassula rosularis* auf Vibrationsrolltisch mit einer Größe: 3,0 m x 1,6 m, links – vibrierte Pflanze, rechts – Kontrollpflanze (Foto: Fleischle Gartenbau)



Abb. 60: *Crassula rosularis* auf Vibrationsrolltisch mit einer Größe: 9,5 m x 1,6 m, links Kontrolle – rechts Vibrations-Rolltisch

Das Ergebnis mit dem großen Praxistisch spiegelt die zuvor gewonnenen positiven Ergebnisse (Versuch mit kleinen Vibrations-Rolltisch) wieder. Laut Aussagen der Mitarbeiter der Firma Fleischle, sind die Pflanzen kompakter und die Blütenstände verkürzt (Abb. 59 und Abb. 60).

3.1.5 Wirtschaftlichkeit

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der alternativen Wachstumsregulierung mittels Vibration wurde u.a. im Vergleich zur konventionellen Wuchsregulierung bei Pelargonien durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Kosten am Beispiel der Kultivierung von 1000 Pelargonien wird nachfolgend in der Tab. 17 dargestellt.

Investitionskosten

Die Investitionskosten für einen normalen Gewächshaustisch belaufen sich (Auskunft: der Otte-Metallbau GmbH) auf ca. 645 € (Bezug auf eine Größe 9,5 m x 1,6 m). Der anwendertaugliche große Vibrations-Rolltisch der Firma Fleischle Gartenbau kostete 3.724,60 € (inkl. Motoreinheit und Frequenzumformer). Es besteht hohes Einsparpotential:

1. nur eine Aluminium-Montage Platte für Vibrationsmotoren notwendig, der Versuchstisch im Gartenbaubetrieb Fleischle besitzt drei Aluminium-Montage Platten, da hier zum Vibrationsverhalten keine Erfahrungen vorlagen (nach erfolgreicher Testung kann gesagt werden, dass eine mittig angeordnete Aluminium-Montage Platte ausreichend ist),
2. im Unterbau: weniger Material für die Unterkonstruktion und Tischkonstruktion des Vibrations-Rolltisches verwenden z.B. weiteres Rastermaß
3. in der Kopplung: großes Einsparpotential wird in der Ankopplung der Rolltische rechts und links gesehen (beispielsweise durch Elektronenhaftmagnete oder Verriegelungsmagnete). Diese gekoppelten Tische benötigen keine eigene Vibrationseinheit.

Durch diese Maßnahmen können die einmaligen Investitionskosten erheblich gesenkt werden. Je nach Größe der angekoppelten Fläche ergeben sich entsprechend große Einsparpotentiale.

Direktkosten

Die Direktkosten beinhalten die Kosten für die Ausgangsmaterialien und Produktionsmittel. Diese sind für 1000 Pelargonien-Pflanzen berechnet worden (Stecklinge, Jungpflanzen, Töpfe, Substrat, Verpackung, Pflanzenschutz, Düngung und Bewässerung).

Annahme: 420,79 € für 1000 Pelargonien (konventionelle Produktionsweise, Standardqualität, Betrieb: mittlerer Rationalisierungsgrad¹⁰). In der Kultivierung biologischer Pelargonien treten 20 bis 30 % Mehrkosten auf.

Die Direktkosten für die Hemmung des Wachstums (Kosten des Hemmstoff) ist in den Berechnungen in Höhe von 0,04 € enthalten. Dem entgegen müssen die Energiekosten der Vibrationseinheit gesetzt werden. Diese belaufen sich auf 4,55 € (7 Wochen Vibration, Beginn der Vibration zwei Wochen nach dem Topfen, 2-maliges Rücken, 2 h Vibration/d, zwei Motoren a 80 Watt und Energiepreis: 0,1886 €/kWh (09/2016 - aktueller Preis eines großen Gartenbaubetriebes).

¹⁰ BELAU, T. ET AL (2009): Gartenbau – Produktionsverfahren planen und kalkulieren, KTBL-Datensammlung, Darmstadt

Einsparpotentiale bestehen durch die Senkung der Vibrationsdauer pro Tag. Es wurden auch erfolgreich Versuche mit einer geringeren Vibrationszeit pro Tag durchgeführt.

Arbeitszeitkosten

Der Arbeitszeitbedarf pro 1000 Pelargonien für eine Standardkultur mit mittleren Rationalisierungsgrad beträgt 34,87 h¹¹. Bei einer Annahme von 15 €/h betragen die Arbeitskosten 523,05 €. In vollem Umfang sind die Arbeitskosten für die chemische Hemmung des Wachstums (Hemmstoffgaben) enthalten. Durch die alternative Hemmung des Wachstums mittels Vibrationen, kann der Arbeitszeitbedarf gesenkt werden. Der Aufwand wird um 1,09 h gesenkt, dies entspricht 16,35 €

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten für 1000 Pelargonien betragen in der Produktion mit Hemmstoffeinsatz 943,84 €, während die Kosten für die Pflanzen ohne Hemmstoffeinsatz 932,00 € betragen. Die Kosten werden durch den Einsatz der Vibrationstechnik nicht zwangsläufig erhöht, diese können sogar durch einen geringeren personellen Einsatz (keine Hemmstoffausbringung) gesenkt werden.

Tab. 17: Wirtschaftlichkeit der Vibrationsbehandlung zur Hemmung des Streckungswachstums im Vergleich zum Hemmstoffeinsatz bei *Pelargonium* (Annahme: Energiepreises von 18,86 ct/kwh)

	a. Standard-Gewächshaustische (Standardgröße 9,5 m x 1,61 m = 15,3 m ²)	b. Vibrations-Rolltische (Gartenbau Fleischle, 9,50 m x 1,61 m = 15,3 m ²)	c. Vibrations-Rolltische (9,50 m x 1,61 m = 15,3 m ² , 1 Montageplatte, sonst wie b)	d. Vibrations-Rolltische (9,50 m x 1,61 m = 15,3 m ² , mit 1 Montageplatte, geringes Raster, weniger Material im Unterbau)	
Investitionskosten					Besteht weiteres Einsparpotential, z.B. durch Kopplung der Tische rechts und links. Diese Kopplung könnte mittels Elektronenhaftmagnete oder elektrische Verriegelungsmagneten erfolgen.
Gesamte Kosten für Neuanschaffung bzw. Installation	644,89 €	3.724,60 €	2.969,60 €	2.629,60 €	
Neuanschaffung bzw. Installation pro m ²	42,15 €	243,44 €	194,09 €	171,87 €	
Direktkosten für Ausgangsmaterial und Produktionsmittel für 1000 Pflanzen					
Direktkosten für Ausgangsmaterial und Produktionsmittel für 1000 Pflanzen	420,79 €	420,79 €	420,79 €	420,79 €	
Kosten zur Hemmung des Längenwachstums für 1000 Pflanzen					
Stauchemittel (ist in Direktkosten enthalten)	0,04 €	-0,04 €	-0,04 €	-0,04 €	
Produktionskosten (Energie) zur Hemmung des Wachstums pro 1000 Pfl.		4,55 €	4,55 €	4,55 €	
Arbeitszeitbedarf für 1000 Pflanzen					
Arbeitskosten für 1000 Pflanzen	523,05 €	506,70 €	506,70 €	506,70 €	
Gesamtkosten pro 1000 Pflanze (enthält die Direkt-, Produktions- und Arbeitskosten)	943,84 €	932,00 €	932,00 €	932,00 €	
laufende Kosten pro Pflanze	0,94 €	0,93 €	0,93 €	0,93 €	

¹¹ REINHOLD, CH. ET AL (2014): Topfpflanzenbau – Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulation, KTBL-Datensammlung, Darmstadt

Nicht berücksichtigt sind die Umweltbelastungen, die durch die Herstellung und Ausbringung der Hemmstoffe verursacht werden. Auch sind mögliche Beeinträchtigungen der Mittelanwender und Endverbraucher nicht einberechnet.

3.1.6 Öffentlichkeitsarbeit, Netzwerkarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit war sehr vielfältig. Dabei konnte das innovative Projekt einem sehr breiten Publikum von Wissenschaftlern (auch weltweit), Technikern, Gärtnern, aber auch dem Konsumenten vorgestellt werden. Es wurden zahlreiche höchst interessante Diskussionen geführt, aber auch Aufklärungsarbeit geleistet und dabei die Probleme, die Ziele der Wachstumsregulierung und der Notwendigkeit der zunehmenden Berücksichtigung biologischer Anbauverfahren erläutert.

- HELBIG, D., GRÜNEBERG, H. UND ROCKSCH, T. (2012): Vibrierte *Helianthus annuus* blieben kürzer, Versuche im deutschen Gartenbau
- HELBIG, D., GRÜNEBERG, H. UND ROCKSCH, T. (2012): Petunien können mit gesteuerter Vibrationstechnik gehemmt werden, Versuche im deutschen Gartenbau
- ROCKSCH, T.; HELBIG, D. UND GRÜNEBERG, H. (2013): Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik - Versuchsaufbau und Erfassung technischer Parameter, BHGL-Tagungsband 29/2013, S. 32
- ROCKSCH, T.; HELBIG, D. UND GRÜNEBERG, H. (2013): Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik - Versuchsaufbau und Erfassung technischer Parameter, 48. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, Vortrag
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. UND GRÜNEBERG, H. (2013): Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik - Pflanzenbauliche Untersuchungen, BHGL-Tagungsband 29/2013, S. 33
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. UND GRÜNEBERG, H. (2013): Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik - Pflanzenbauliche Untersuchungen, 48. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, Vortrag
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. UND GRÜNEBERG, H. (2013): Hängende Pelargonien und Petunien können mit Vibrationstechnik gehemmt werden, Versuche im deutschen Gartenbau
- HELBIG, D., GRÜNEBERG, H. UND ROCKSCH, T. (2014): Alternative Wachstumsregulierung von Zierpflanzen, BHGL-Tagungsband 30/2014, S. 86
- HELBIG, D., GRÜNEBERG, H. UND ROCKSCH, T. (2014): Alternative Wachstumsregulierung von Zierpflanzen, 49. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, Poster
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. AND GRÜNEBERG, H. (2014): Alternativ of plant growth with controlled vibration technology – experimental performance and results, 29th International Horticultural Congress, Brisbane

- ROCKSCH, T.; HELBIG, D. AND GRÜNEBERG, H. (2014): Alternativ of plant growth with controlled vibration technology – experimental setup and input of technical parameters, 29th International Horticultural Congress, Brisbane
- ROCKSCH, T.; HELBIG, D. UND GRÜNEBERG, H. (2015): Übertragung gesteuerter Vibrationen auf Rolltischeinheiten, BHGL-Tagungsband 31/2015, S. 124
- ROCKSCH, T.; HELBIG, D. UND GRÜNEBERG, H. (2015): Übertragung gesteuerter Vibrationen auf Rolltischeinheiten, 50. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, Poster
- HELBIG, D. UND GRÜNEBERG, H. (2015): Alternative Wachstumsregulierung von Pflanzen mittels gesteuerter Vibrationstechnik als Ersatz chemischer Hemmstoffe, Beet-und Balkonpflanzentag Heidelberg
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. UND GRÜNEBERG, H. (2015): Einsatz von Vibrationstischen im Unterglas-Zierpflanzenbau, KTBL-Arbeitskreis-Berater und Wissenschaftler für Technik im Gartenbau, Trebbin
- HELBIG, D.; ROCKSCH, T. UND GRÜNEBERG, H. (2016): Wachstumsregulierung mittels Rütteltisch, KTBL-Arbeitskreis-Berater und Wissenschaftler für Technik im Gartenbau, Regenstauf

Projektpräsentationen

- Internationale Grüne Woche (Berlin, 2013): 18.01.-27.01.2013 (Abb. 61)
 - Präsentation des Vibrationstisches (Gummi-Metall Puffer) mit Pflanzenbeispielen (Bio-Halle)
- Internationale Grüne Woche (Berlin, 2015): 16.01.-25.01.2015, (Abb. 62)
 - Präsentation des Vibrations-Rolltisches mit Pflanzenbeispielen (Halle des Bundesministeriums)



Abb. 61: IGW 2013, Bundesministerin für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz besucht die Internationale Grüne Woche 2013 in Berlin (<http://www.gruenewoche.de/Presse-Service/Fotos/-index.jsp?galleryId=2547867>, 2013)



Abb. 62: IGW 2015, Projektvorstellung auf der Internationalen Grünen Woche 2015 in Berlin, Halle 23 a

- 20 Jahre BLE in Bonn (2015): 16.04.2015 (Abb. 63)
 - Präsentation des Vibrations-Rolltisches mit Pflanzenbeispielen
 - In Vorbereitung wurde ein Film bei einem Praxisbetrieb zu dieser Thematik gedreht



Abb. 63: BLE Jubiläum 2015, Marktplatz der Wissenschaft (BLE, Ute Grabowsky, 2015)

Im Dezember 2013 gab es einen Bericht in der Zeitung: Humboldt – Die Zeitung der Alma Mater Berolinensis: „Pflanze – duck dich“. Dieser Bericht verbreitete sich sehr schnell, sodass zahlreiche Medien (Tageszeitungen, Internetpresse etc.) über diese Thematik berichteten. Viele Anrufe von Pressemitarbeitern wurden angenommen und Fragen beantwortet. Auch ein Live-Interview im Kulturradio wurde ermöglicht. Die Thematik Weihnachtssterne ohne chemische Mittel zu kultivieren und im Wuchs durch Vibration zu hemmen, wurde als höchst positiv aufgenommen.

Netzwerk/Workshops



Abb. 64: Workshop in der HU Berlin 2012



Abb. 65: Workshop auf der IPM 2012

Es fanden Workshops in der HU Berlin statt und in den darauffolgenden Jahren Treffen auf den Tagungen (z.B. Bio-Zierpflanzentagung in Heidelberg) und Messen (u.a. IPM). Auf diesen Veranstaltungen wurden die Ergebnisse beraten und neue Ansätze diskutiert. Ein regelmäßiger telefonischer, aber auch E-Mail-Kontakt bestand zu jeder Zeit. Die Praxisbetriebe sind in regelmäßigen Abständen (mind. 2 x pro Jahr) besucht worden.

Es wurde zu der Firma Otte-Metallbau GmbH ebenso eine sehr enge Verbindung gehalten. So konnten zahlreiche Veränderungen/Verbesserungen an der Tischkonstruktion durchgeführt werden. Die Firma brachte sich auch bei der Standbetreuung auf der Internationalen Grünen Woche ein.

Zusammenarbeit im Projekt (Netzwerkarbeit)

Die enge und direkte Zusammenarbeit im Projekt `Alternative Wachstumsregulierung mittels Vibrationen` stellte sich als sehr konstruktiv dar. Es bestand eine Zusammenarbeit mit den Praxisbetrieben (Abb. 64, Abb. 65), zu Beginn mit konventionellen, aber nachhaltig

arbeitenden Betrieben, im folgenden Projektteil ausschließlich mit zertifizierten Bio-Betrieben. Die Kultivierungsweise war von Projektbeginn auf biologischen Zierpflanzenbau ausgerichtet. Aufgrund dessen wurde ein enger und direkter Kontakt zu zahlreichen Firmen, die biologische Produkte anbieten aufgebaut: u.a. Katz Biotech (Nützlingsproduzent), Klasmann-Deilmann (Bio-Substrat), Desch-Plantpak (Biologisch abbaubare Töpfe), Florapell (Schafwollpellets). Die vegetativ vermehrten Pflanzen des Projektes wurden von den Firmen Dümmer Orange und Volmary bezogen. Die Firma Volmary lieferte ebenso Saatgut, hauptsächlich in Bio-Qualität. Mit der Firma Otte-Metallbau GmbH bestand ebenso ein enger Kontakt. Gemeinsam mit der Firma konnten die verschiedenen Vibrationstische entwickelt, geplant und konstruiert werden. Zu Beginn wurde der Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern in enger Zusammenarbeit ermöglicht. Dabei mussten technische aber auch pflanzenbauliche Fragestellungen gelöst werden. Weiterhin wurde nach Projektverlängerung der Vibrations-Rolltisch und anschließend der Vibrations-Rolltisch in Praxisgröße entwickelt, geplant und ebenso realisiert.

Zusammenarbeit projektübergreifend

Projektübergreifend wurden zahlreiche Kontakte aufgebaut, u.a. ist die Humboldt-Universität zu Berlin (Fachgebiet Gärtnerische Pflanzensysteme) im Netzwerk Bio-Zierpflanzen sehr aktiv. Zu allen Fachtagungen stand der gegenseitige Wissensaustausch zwischen den einzelnen Akteuren des Netzwerkes, sowie den Praktikern im Vordergrund. Es wurden gemeinsam Fragen des Bio-Zierpflanzen-Anbaus diskutiert und zahlreiche Versuche durchgeführt. Es ergaben sich neue Fragestellungen zwischen den biologisch arbeitenden Betrieben und Firmen, die sich diesem innovativen und transparenten biologischen Wirtschaften stellen.

Es wurde im ostdeutschen Raum eine Bio-Tagung in Großbeeren gemeinsam mit der Firma Volmary veranstaltet. Besonders kam das unzureichende Angebot von Bio-Jungpflanzen zur Sprache. Der Berliner Raum gilt als potentieller Markt. Daher wurden Gespräche mit den Leitern der Einrichtungen zum Absatz künftiger Bio-Zierpflanzen (u.a. Bio-Company, LPG) geführt.

Ein sehr enger Kontakt besteht zwischen der HU Berlin und der Lehr- und Versuchsanstalt Heidelberg (LVG), wo ebenso Versuche zur alternativen Wachstumsregulierung durchgeführt werden. In der LVG wurden weitere mechanische Reize getestet: der Berührungs- und Luftreiz. Zahlreiche Ergebnisse wurden mit der LVG Heidelberg ausgetauscht und diskutiert. Im Jahr 2015 wurde ein gemeinsamer Stand in der Halle des Bundesministeriums auf der Internationalen Grünen Woche realisiert und betreut.

Durch die enge Zusammenarbeit kooperieren und diskutieren von offenen Fragen und Problemen im Bio-Anbau auf den verschiedenen Tagungen und Sitzungen konnte sich eine neue und besonders innovative Projektidee entwickeln. Das seit 2015 laufende Projekt BIOVITRO - „Sterilkulturverfahren zum Aufbau gesunder Mutterpflanzenbestände für den

ökologischen Zierpflanzenbau“ (aktuelle Förderung: BLE, BÖLN) verspricht ein großer Erfolg auf dem Gebiet der Jungpflanzenerzeugung zu werden.

4. Diskussion der Ergebnisse

Der zu Beginn des Projektes entwickelte Vibrationstisch auf Gummi-Metall-Puffern (3.1.1.1 Erstentwicklung – Vibrationstisch mit Gummi-Metall-Puffern) zeigte bei den Kulturen eine hemmende Wirkung. Das System funktionierte, aber die Tischsysteme wiesen in unregelmäßigen Abständen ein 'Aufschaukeln' während der Vibrationen auf. Ebenso war eine gleichmäßige Vibrationsverteilung auf den Tischen nicht immer gegeben. Deshalb wurde ein neues Tischsystem durch die Ermöglichung der Projektverlängerung auf Rolltischsystem geplant und umgesetzt. Dieser erfolgreiche Umbau zeigte wesentliche Vorteile und wurde auch von Seiten der Praxisbetriebe als bedeutsame Verbesserung gesehen. So konnte eine gleichmäßigere Verteilung der Vibration auf dem gesamten Tisch und ein geringerer Materialverschleiß (eine längere Haltbarkeit des Unterbaus) erreicht werden. Das Rolltischsystem ist praxisnäher, da viele Gartenbaubetriebe mit Gewächshaus-Rolltischen arbeiten. Somit ist die Umsetzung bzw. der Einbau schnell möglich. Ein weiterer bedeutender Vorteil des Vibrations-Rolltischsystems ist die Möglichkeit der Kopplung mehrerer Gewächshaustische miteinander. Beispielsweise könnten die direkten Nachbartische mit einer kraftschlüssigen Verbindung an den vibrierenden Tisch angekoppelt werden. Mit dieser Möglichkeit ist der Energiebedarf pro Flächeneinheit reduziert und ebenso die Investitionskosten für die Vibrationstechnik. Die kraftschlüssige Kopplung konnte so nicht getestet werden. Es wurde nur ein Versuch zur Kopplung mit einer Aluminium-Profilschiene verwirklicht, diese ist so nicht empfehlenswert. Die gleichmäßige Übertragung auf den angekoppelten Tisch ist nicht gegeben.

Das mechanische Reize das Wachstum von Pflanzen hemmen können, wird in der Literatur beschrieben (u.a. BÜNNING, E. ET. AL. (1948)¹²; HIRAKI UND OTA (1975)¹³; SALEHI H. UND SALEHI M. (2009)¹⁴). Die Ergebnisse sind durch die im Forschungsprojekt generierten Daten bestätigt und erweitert worden. Dazu wurden in der Projektlaufzeit mit verschiedenen Zierpflanzen (im Bereich der Beet- und Balkonpflanzen, ebenso mit Weihnachtssterne, Sonnenblumen und Topfkräutern) wissenschaftliche Versuche mit Praxisrelevanz durchgeführt. Eine Auswahl der verschiedenen Ergebnisse ist in diesem Abschlussbericht (3.1.2 Kultivierungsversuche) enthalten. Es konnten Hemmungen des Streckungswachstums an *Petunia*, *Calibrachoa*, *Pelargonium*, aber auch an Weihnachtsternen aufgezeigt werden. Dazu wurden die Pflanzen

¹² BÜNNING, E.; HAAG, L. und TIMMERMANN, G. (1948): Weitere Untersuchungen über die Formative Wirkung des Lichtes und Mechanische Reize auf Pflanzen. *Planta*, Bd 36: S. 178-187

¹³ HIRAKI, Y. und OTA, Y. (1975): The relationship between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Lilium longiflorum*. *Plant & Cell Physiol.* 16: 185-189

¹⁴ SALEHI, H. und SALEHI, M. (2009): Effects of Two Methods of Mechanical Stress on Snapdragon and Wallflower Plants Growth Responses. *Adv. Environ. Biol.* 3 (2): 157-161

bei Versuchsaufstellung/Vibrationsbeginn u.a. im Kriterium längster Trieb/Höhe und Pflanzendurchmesser im 14-tägigen Rhythmus bonitiert. Der mechanische Reiz wurde bis zur verkaufsfertigen Pflanze übertragen. Es reagierten die unterschiedlichen Pflanzenarten sehr verschieden. Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine Hemmung des Streckungswachstums erzielt werden kann, es aber immer arten- und sortenspezifische optimale Frequenzen und Behandlungszeiten ermittelt werden müssen. Für Hemmstoffanwendungen müssen auch immer arten- und sortenspezifische Anwendungskonzentrationen durch aufwendige Untersuchungen ermittelt werden.

Wie in der Literatur von MITCHELL ET AL (1975)¹⁵ beschrieben, konnte nachgewiesen werden, dass durch die Anwendung des mechanischen Reizes es ebenso zu einer Verkürzung des Internodienabstandes kommen kann. Diese Erkenntnis kann z.B. bei *Petunia* 2012 (Abb. 16) und bei Basilikum 2015 (Abb. 27) bestätigt werden. Durch die Verkürzung der Abstände zwischen den Nodien wirken die Pflanzen viel kompakter und weisen zudem eine höhere Standfestigkeit auf. Die Verkürzung der Internodienabstände bewirken außerdem einen geringeren Pflanzendurchmesser (visualisiert Abb. 15). Eine Zunahme der Verzweigung wie von MITCHELL ET AL (1975)¹⁶ beschrieben, konnte in den Versuchen der HU Berlin nicht nachgewiesen werden, aber in den Berichten der Praxisbetriebe wurde bei einigen Kulturen (Tab. 5 und Tab. 13) von einer besseren Verzweigung berichtet. Somit konnte das Ziel kompaktere Pflanzen ohne chemische Hemmstoffe, aber mit Hilfe des mechanischen Reizes (Vibration) erreicht werden. Eine vereinzelte Verzögerung in der Blütenentwicklung konnte wie bei CIPOLLINI D. F. (1999)¹⁷ in einigen Versuchen von ca. 1-2 Wochen je nach Art/Sorte ebenfalls festgestellt werden.

Die Vibrationszeiten wurden ständig in Richtung Minimierung der Zeit angepasst. Begonnen wurde mit einer Dauervibration (2012), d.h. keine Ruhepausen. In den folgenden Versuchsjahren (Tab. 18) wurde die Vibrationszeit pro Tag abgesenkt. Zufriedenstellende Ergebnisse konnten bei Zierpflanzen bei 2 h/d und bei Kräutern sogar mit unter 1 h/d aufgenommen werden. Parallel mit den Kräutern wurden 2015 Versuche mit Gemüsejungpflanzen (Tomaten und Gurken) durchgeführt. Hier wurden die gesetzten Ziele der Hemmung nicht voll erreicht, da die Vibrationszeit mit 70 min/d für diese Kulturen nicht ausreichend waren. Somit müssten hier die Vibrationszeiten erhöht und die Frequenzen verändert werden.

¹⁵ MITCHELL, C.A.; SEVERSON, C. J.; WOTT, J. A. und HAMMER, P. A. (1975): Seismomorphogenic Regulation of Plant Growth, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100(2): 161-165

¹⁶ MITCHELL, C.A.; SEVERSON, C. J.; WOTT, J. A. und HAMMER, P. A. (1975): Seismomorphogenic Regulation of Plant Growth, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100(2): 161-165

¹⁷ CIPOLLINI, D. F. (1999): Costs to flowering of the production of a mechanically hardened phenotype in *Brassica napus* L.. International Journal of Plant Sciences 160 (4): 735-741

Gründe für die Verringerung der Vibrationszeiten lagen in der Energieeinsparung, in der Reduzierung der Belastung des technischen Materials und in der Vermeidung von Pflanzenschäden. Tab. 18 gibt einen Überblick über die Reduzierung der Vibrationszeiten.

Tab. 18: Veränderung der Vibrationszeiten im Projektverlauf

Versuchsjahr	Kultur	Art der Vibration	Vibrationszeiten	Vibration pro Tag	Tischsystem
2012	Beet- und Balkonpflanzen	Dauervibration	6:00 - 11:00	5 h/d	Gummi-Metall-Puffersystem
2013	Weihnachtssterne	Intervallvibration	6:00 - 18:00	4 h/d	
2014	Beet- und Balkonpflanzen	Intervallvibration	6:00 - 15:00	3 h/d	
2015	Beet- und Balkonpflanzen	Intervallvibration	8:00 - 14:00	2 h/d bzw. 1 h/d	Vibration auf Rolltischbasis
2015	Kräuter	Intervallvibration	7:00 - 14:00	70 bzw. 35 min/d	
2016	Kräuter	Intervallvibration	6:00 - 16:00	40 bzw. 20 min/d	

Im System mit Gummi-Metall-Puffern wurden die Frequenzen zwischen 15 – 50 Hz näher untersucht. Dabei wurden die Frequenzen um 16 Hz und um 50 Hz für günstige Frequenzen eingeschätzt (Vibrationsverhalten der Tischsysteme) und auch getestet. Die gewählten Beet- und Balkonpflanzen 2013/2014 zeigten u.a. eine hemmende Reaktion (siehe 3.1.2 Kultivierungsversuche).

Für das neu entwickelte System auf Rolltischbasis wurden die Auswirkungen der Frequenzen zwischen 15 und 25 Hz untersucht. Nur diese Frequenzen waren nach den Veränderungen durch den Umbau möglich. Diese stellten sich ebenso für die Pflanzen und das System als besonders günstig heraus, da bei den meisten Zierpflanzenkulturen die Frequenzen von 24/25 Hz des Rolltischsystems gut vertragen wurden (z.B. Beet- und Balkonpflanzen). Es konnten schon gute hemmende Reaktionen der Pflanzen bei 2 h pro Tag (2x10 min/h zwischen 8:00 bis 14:00 Uhr) beobachtet und gemessen werden. Trotz guter hemmender Wirkungen wurden keine größeren Pflanzenschäden bonitiert und die technische Anlage funktionierte reibungslos.

Da hier nur einzelne Sorten getestet wurden, können keine generellen Aussagen zu anderen Arten und Sorten getroffen werden. Jede Sorte kann eine abweichende Reaktion zeigen, u.a. können diese einen veränderten Habitus (eher kriechender oder aufrechter Wuchs oder in einer anderen Blattform) aufzeigen.

Es wurde in den Versuchen 2015/2016 mit Basilikum ersichtlich, dass eine unterschiedliche Blattform z.B. 'Genoveser' Typ im Vergleich zum Thai-Basilikum (siehe 3.1.2 Kultivierungsversuche) unterschiedliche Grade der Sensibilitäten gegen Verletzungen durch mechanischen Stress bewirkten. Der 'Genoveser'-Typ ist sehr empfindlich auf das Rütteln

bzw. die Vibration. Hier muss schnell auf zu starke und zu lange mechanische Reize reagiert werden. Während das Thai-Basilikum einer geringeren Gefahr der mechanischen Verletzungen ausgesetzt wird. Basilikum ist eine sehr empfindliche Kultur und es sollten eher nur die geringen Frequenzen in einer Kombination mit einer geringen Vibrationsdauer gewählt werden.

Die Transpirationsrate kann bei zunehmenden mechanischen Reiz durch Vibration sinken. Gleichzeitig wird die Photosyntheseleistung kaum eingeschränkt, wie Untersuchungen 2013 mit dem Bermonis-Gerät zeigten. Allerdings kann bei hohen Temperaturen durch einen vibrationsbedingt geringeren stomatären Leitwert auch die Photosyntheseleistung eingeschränkt sein. Daher sollten bei der Kultivierung mit Vibrationstechnik alle Wachstumsfaktoren möglichst im Optimum gehalten werden.

Zu Beginn arbeiteten zwei nachhaltig, aber konventionell kultivierende Betriebe mit dem Vibrationssystem mit Gummi-Metall-Puffern und nach Projektverlängerung zwei zertifizierte Bio-Betriebe mit dem Vibrations-Rolltisch. Die Mitarbeiter der Betriebe wählten wichtige Pflanzenkulturen ihrer Produktion aus und nahmen während der Versuche wichtige Kriterien (z.B. Pflanzenhöhe, Anzahl der Triebe oder Verzweigung) auf. Zusätzlich wurden zu den Bonituren Bilder zur Dokumentation aufgenommen. Nach einer Testphase konnten an verschiedenen Kulturen gute hemmende Wirkungen des Streckungswachstums festgestellt werden, z.B. Gartenbau Hanka an *Ruellia brittoniana* (Tab. 5), Fontana Gartenbau an *Osteospermum* (Tab. 7), aber auch die Naturgärtnerei Ingelmann an *Tagetes* (Abb. 51) und Fleischle Gartenbau an *Plectranthus* (Tab. 14). Es konnte jedoch nicht für jede untersuchte Kultur eine gute hemmende Wirkung aufgezeigt werden, z.B. *Diascia* (Tab. 10) oder beim Asiatischen Salat (Tab. 16). Gründe für eine nicht ausreichende Hemmung des Streckungswachstums sind beispielsweise in der nicht angepassten Vibrationsdauer und –frequenz zu suchen, sodass die Vibrationen nicht passend für die Kulturen waren. Weiterhin könnten die Pflanzen zu früh oder zu spät auf die Vibrationstische gestellt worden sein.

Weiterhin konnten die Betriebe beobachten, dass die Längen der Blütenstände durch den mechanischen Reiz reduziert waren. Auch hatten sie verringerte Pflanzendurchmesser, waren besser verzweigt und standfester. Damit konnten die Ergebnisse, die unter definierten Versuchsbedingungen im Forschungsgewächshaus der HU Berlin erzielt wurden, unter Praxisbedingungen reproduzierbar gemacht werden.

Die Datenaufnahmen der Betriebe zeigten auch, dass die Kulturen gerade zu Beginn der Versuche genau beobachtet werden müssen und direkt auf Verletzungen an Blättern, Trieben, Blüten etc. schnell reagiert werden muss. Da Verletzungen die Pflanzenqualität mindern. Dazu kann die Vibrationszeit, aber auch die Frequenz reduziert werden.

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Praxistische (9,5 m x 1,6 m) konnte aufgezeigt werden, dass die Investitionskosten im Vergleich zum normalen Gewächshaustisch höher

liegen. Es besteht Einsparpotential, indem beispielsweise weniger Material im Unterbau verwendet oder nebeneinander liegende Gewächshaustische gekoppelt werden.

Die Kosten für die laufende Produktion beispielsweise von 1000 Pflanzen (hier für Pelargonien berechnet) mittels mechanischen Reiz gehemmt, erhöhen sich nicht zur konventionellen Produktion mit Einsatz chemischer Hemmstoffe. Die Kosten für die Arbeitskräfte zur Anmischung/Ausbringung der Hemmstoffe entfallen in der Kultivierung mittels Vibrationen. Dafür fallen Energiekosten für die Unwuchtmotoren an. Die Energiekosten sind demgegenüber geringer.

5. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die zuerst entwickelten Vibrationstische mit Gummi-Metall Puffern und auch die entwickelten Vibrations-Rolltische (Maß: 3,00 x 1,6 m) sind für kleinere Betriebe gut geeignet, um z.B. Bio-Zierpflanzen oder Topfkräuter zu kultivieren. Die Entwicklung und Umsetzung in großflächige Rolltischsysteme wurde erfolgreich realisiert. Somit kann den nachhaltig arbeitenden Gartenbaubetrieben eine Möglichkeit der Wuchsregulierung mittels Vibrationen auf Tischsystemen aufgezeigt werden. Es müssen nicht mehr zwingend synthetische Mittel zur Hemmung des Wachstums eingesetzt werden. Diese erhaltenen Ergebnisse bilden eine wertvolle Grundlage auf dem Weg zum Bio-Anbau und sind ein weiterer Baustein, um eine nachhaltige Produktion zu ermöglichen.

Alternativ zur Wachstumshemmung durch Vibration ist die Behandlung mittels starkem Wind. Dieses System wird an der LVG Heidelberg untersucht. Beide Systeme sind geeignet für grundsätzlich verschieden arbeitende Gartenbaubetriebe. Die Vibrationstischsysteme sind für Betriebe mit Tischsystemen und das Windsystem für Betriebe mit Bodenkulturen gut einsetzbar. Auch Kombinationen beider Systeme sind denkbar.

Anhand der Ergebnisse von den getesteten Pflanzenarten und –sorten können bereits erste Empfehlungen zu günstigen Vibrationsfrequenzen und –zeiten gegeben werden.

6. Gegenüberstellung der ursprünglichen geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele, Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Vor diesem Projekt gab es keine anwendertaugliche Technik, um Pflanzen mittels Vibrationen im Praxisbetrieb im Wuchs zu regulieren. Durch die Realisierung dieses Projektes konnte so eine alternative Methode erarbeitet und getestet werden.

Im ersten Schritt musste ein Vibrationsgewächshaustisch entwickelt werden. Dieser musste den Bedingungen im Gewächshaus entsprechen und gleichzeitig ein mechanischen Reiz auf

Pflanzen übertragen können. Die Entwicklung eines Vibrationstisches für Pflanzen war hierbei zielgebend. Dieser bildete die Grundlage für die folgenden Arbeiten mit den Pflanzen.

Nach der Planung und Entwicklung dieses Tisches (Basis von Gummi-Metall Puffern) wurde dieser produziert und installiert. Es schlossen sich erste Versuche mit verschiedenen Unwuchtmotoren in der HU Berlin an. Nach diesen erfolgreichen Voruntersuchungen und entsprechender Wahl der Motoren, folgte der Bau der Vibrationstische für die Praxisbetriebe. Anschließend konnten die Betriebe erste Erfahrungen sammeln, ihre Versuche durchführen und wichtige Hinweise (Feedback) zur Verbesserung der Technik und den einzelnen Pflanzenarten geben.

Nach Projektverlängerung folgte die Weiterentwicklung der Vibrationstische auf Rolltischbasis. Diese Tische bieten einige Vorteile zum zuvor entwickelten Tisch (2.1.1.2) und bildeten somit die Grundlage des in der letzten Projektphase realisierten Vibrationstisch in Praxisgröße (2.1.1.3). Die HU Berlin und die Firmen standen im direkten Kontakt (es fanden regelmäßig Besuche statt), sodass offene Fragen und Probleme zeitnah besprochen und gelöst werden konnten.

Es wurde durch dieses Vibrations-Projekt ein wesentlicher Schritt zur nachhaltigen Produktion im Gartenbau aufgezeigt. Es konnte eine intensive Öffentlichkeitsarbeit realisiert werden. Hierbei waren die Produzenten und Konsumenten allseits interessiert und es konnten konstruktive Gespräche geführt werden.

Die Arbeiten im Projekt waren notwendig und standen im engen Zusammenhang mit dem Bio-Zierpflanzenanbau, da gerade im biologischen Anbau von Pflanzen dringender Handlungsbedarf besteht. Nur durch die Förderung des Projektes konnte das wichtige Feld der alternativen Wuchsregulierung mittels Vibration in diesem Rahmen untersucht werden.

Weiter müsste im Bereich der Verbindung/Kopplung mehrerer Vibrations-Rolltische gearbeitet werden, da so die Neuinvestitionen drastisch gesenkt werden können. So sind auch die Energiekosten reduzierbar. Es könnte so zukünftig eine größere Fläche mit einer Vibrations-Einheit (mit zwei gegenläufig arbeitenden Motoren) bewegt werden.

Nicht untersucht wurde bisher, inwieweit sich Vibrationen auf den Schädlingsbefall auswirken. Reduziert sich der Befall von Schädlingen und wie wirken sich die Vibrationen auf einen Nützlingseinsatz aus? Nach LATIMER, J. G. (1998)¹⁸ können mechanische Reize (Bürsten) den Befall von Thripsen und Blattläusen reduzieren. Somit könnte ein reduzierter Einsatz von biologischen und chemischen Pflanzenschutzmitteln die Folge sein.

Zukünftig sollte ein Vibrationsplan entwickelt werden, in dem je nach Pflanzenentwicklung die Zeit und Frequenzen gewählt werden kann. Um die empfindlichen Stadien der Pflanzenentwicklung zu berücksichtigen (Tab. 19).

¹⁸ LATIMER, J. G. (1998): Mechanical conditioning to controll height. Hort Technology 8 (4): 529-534

Tab. 19: Empfehlung eines gestaffelten Vibrationsintervalls je nach Pflanzenentwicklung

	1./2. Woche	3./4. Woche	5./6. Woche	7./8. Woche	9./10. Woche	11. Woche	12./13. Woche	14. Woche
Kalender- woche	5./6. KW	7./8. KW	9./10. KW	11./12. KW	13./14. KW	15. KW	16./17. KW	18. KW
	Topfen	Vibrationsbeginn				Vibrationsende		Verkauf
		2x2,5 min/h 24 Hz	2x5 min/h 24 Hz	2x10 min/h 24 Hz	2x5 min/h 24 Hz	2x2,5 min/h 24 Hz		

Nach dem Topfen benötigen die Pflanzen mindestens zwei Wochen zum Einwurzeln. Anschließend sollte die Vibrationsbehandlung einsetzen, aber mit einer geringen Dauer, da sich die Wurzeln gerade langsam entwickeln und nicht schon in diesem Stadium gestört werden dürfen (besonders bei wurzelempfindlichen Arten). Zunehmend kann die Dauer erhöht werden. Zum Ende hin sollte die Zeit der Vibration wieder herab gesetzt werden, damit die Pflanzen sich regenerieren und den möglichen Blütenentwicklungsverzug in vollem Maße ausgleichen können.

7. Zusammenfassung

Ein bedeutendes Ziel in der Produktion von Zierpflanzen ist die Kultivierung von kompakten, gut verzweigten und standfesten Pflanzen. Viele Zierpflanzen sind nicht in den mitteleuropäischen Breiten beheimatet. Es steht somit ein geringeres Lichtangebot zur Verfügung und dadurch kann ein verstärktes Streckungswachstum einsetzen.

Um dieses wesentliche Ziel zu erreichen, werden meist verschiedene chemische Hemmstoffe verwendet.

Diese Mittel sind im Bio-Anbau von Zierpflanzen grundsätzlich nicht zugelassen. Der produktive und nachhaltig arbeitende Zierpflanzenbetrieb setzt immer weniger dieser chemischen Mittel ein. Gründe dafür sind u.a.:

- Produktion von Bio-Pflanzen
- Anwenderschutz des Fachpersonals
- Auflagen des Großhandels zur Vermarktung
- schwierige Situation in der Zulassung chemischer Hemmmittel
- nachhaltige Wirtschaftsweise von Betrieben, mit reduzierten Aufwandsmengen von chemischen Hemmstoffen und Pflanzenschutzmitteln

Es konnte durch die Realisierung des Projektes gezeigt werden, dass Zierpflanzen und Kräuter im Streckungswachstum mit dem mechanischen Reiz (Vibrationen) gehemmt werden können. Somit können kompakte Pflanzen kultiviert und auf chemische Hemmstoffe verzichtet werden. Es wurden im ersten Schritt entsprechende Vibrationseinheiten entwickelt und erbaut, die einen mechanischen Reiz (Vibrationen) auf die Pflanzen übertragen können. Die Realisierung der alternativen Hemmung wird als sehr gut eingeschätzt. Die Gartenbaubetriebe ermöglichten eine Testung der Tischsysteme unter Praxisbedingungen und zeichneten die wichtigen Erkenntnisse auf.

Im Zierpflanzenbereich sollten Vibrationen in den Vormittagsstunden bis Nachmittag gewählt werden. Bei Nutzung des Rolltischsystems sind Frequenzen zwischen 23 bis 25 Hz bei 2x10 min/h empfehlenswert. Es sollten die Pflanzen in den ersten Tagen beobachtet und beim Auftreten von Verletzungen die Vibrationsfrequenzen und -zeiten herabgesetzt werden.

Bei Kulturen die als sehr empfindlich (z.B. blatt- oder bruchempfindlich) einzustufen sind, sollten gleich zu Beginn geringe Frequenzen (zwischen 15-18 Hz) und geringere Vibrationszeiten (2x2,5 min/h) eingestellt werden. Hohe Pflanzenqualitäten sind zielgebend.

8. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Die Veröffentlichungen sind im Kapitel 2.1.6. aufgeführt.