

## Optimierung thigmomorphogenetischer Effekte für die alternative Wuchsregulierung von Topfkulturen durch Einsatz luftgesteuerter Reize

Optimizing (Use of) thigmomorphogenetic effects for alternative growth regulation in potted horticultural crops by employment of air driven stimuli

**FKZ: 11NA057**

**Projektnehmer:**

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für  
Gartenbau  
Diebsweg 2, 69123 Heidelberg  
Tel.: +49 6221 7484-0  
Fax: +49 6221 7484-13  
E-Mail: [poststelle@lvgl.bwl.de](mailto:poststelle@lvgl.bwl.de)  
Internet: <http://www.lvgl-bwl.de>

**Autoren:**

Ruttensperger, Ute; Sparke, Marc-André; Wünsche, Jens; Hintze, Christoph

**FKZ: 11NA067**

**Projektnehmer:**

Universität Hohenheim  
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften  
Fruwirthstraße 20, 70599 Stuttgart  
Tel.: +49 711 459-23295  
Fax: +49 711 459-23504  
E-Mail: [jnwuensche@uni-hohenheim.de](mailto:jnwuensche@uni-hohenheim.de)  
Internet: <https://www.uni-hohenheim.de>

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.

# Optimierung thigmomorphogener Effekte für die alternative Wuchsregulierung von Topfkulturen durch Einsatz luftgesteuerter Reize

BÖLN-Förderkennzeichen: 2811NA057; 2811NA067

## Abschlussbericht



**Laufzeit des Vorhabens:** 1.6.2013 – 30.4.2019

**Projektleitung:** Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau  
Diebsweg 2  
69123 Heidelberg

**Projektpartner:** Universität Hohenheim  
Schloss Hohenheim  
70593 Stuttgart

**Projektbeteiligte:** Knecht GmbH Gewächshauseinrichtungen  
Fleischle Gartenbau GbR

**Autoren:** Ute Ruttensperger<sup>a</sup>, Marc-André Sparke<sup>b</sup>, Jens Wünsche<sup>b</sup>, Christoph Hintze<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau

<sup>b</sup> Institut für Kulturpflanzenwissenschaften,  
Fg Ertragsphysiologie der Sonderkulturen,  
Universität Hohenheim



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau  
und andere Formen nachhaltiger  
Landwirtschaft

## Kurzfassung

Als Reaktion auf die Forderung konventionell wirtschaftender Gartenbaubetriebe wurde ein neuartiges technisches Verfahren entwickelt mit dem Ziel, den Einsatz chemischer Hemmstoffe durch den Einsatz luftgesteuerter Reize zu substituieren und dennoch qualitätsgebende Eigenschaften, wie beispielsweise einen kompakten Pflanzenwuchs, unter Gewächshausbedingungen zu gewährleisten.

Zu Projektbeginn wurde ein Luftstrom über ein Druckluftaggregat erzeugt und über spezielle Düsen an den Pflanzenbestand abgegeben. Die Luftreize versetzen den Pflanzenbestand in Bewegung und führen zu einer Biegung der Hauptsprosse. Infolge dieses mechanischen Reizes tritt eine Veränderung im Phytohormonhaushalt der Pflanze, insbesondere ein verminderter basipetaler Auxintransport von der Sprossspitze ein, welche zu einer Minderung des Streckungswachstums führen.

Anschließende Weiterentwicklungen des Verfahrens beinhalteten den Austausch des Druckluftaggregats durch ein Zentrifugal- oder Axialgebläse. Des Weiteren wurde der Luftstrom über Schlauchleitungen und eine Verteilerschiene mit einer Schlitzöffnung an den Pflanzenbestand appliziert. Eine Weiterentwicklung beruht auf der Reizausbringung über 360° rotierende Röhrenöffnungen. Als Trägereinheit für das gesamte System diente ein praxisüblicher Gießwagen.

Eine systematische Erprobung aller Systeme hat ergeben, dass eine regelmäßige und gezielte Ausbringung von Luftreizen zu einer kompakten und stabilen Wuchsform der Pflanze führt.

Es konnte festgestellt werden, dass die Reizintensität eine entscheidende Rolle für das Maß der Wuchshemmung spielt. Die Reizhäufigkeit ist dagegen von untergeordneter Bedeutung. Die Wirksamkeit des Verfahrens hängt dabei vom ursprünglichen Pflanzentyp ab. Pflanzen mit weichem und weniger verholztem Gewebe (z.B. Tomate) werden einfacher in Bewegung versetzt und reagieren demzufolge mit einer verstärkten Wuchshemmung im Vergleich zu holzigeren Pflanzen (z.B. Weihnachtsstern).

Das System wurde erfolgreich in die Praxis integriert. Der Praxisbetrieb konnte durch das neue Verfahren Pflanzenware ohne Einsatz von chemischen Hemmstoffen und in Bioqualität produzieren.

In Zukunft gilt es, die Pflanze-Luftreiz Interaktion detailliert zu beleuchten, um auf den Pflanzentyp angepasste Anwendungsempfehlungen geben zu können. Mit der Entwicklung dieses innovativen Verfahrens konnte ein Beitrag für eine nachhaltiger Pflanzenproduktion im Gartenbau geliefert werden

## Summary

The demand of conventional horticulturists for alternatives to chemical plant growth regulators (PGRs) led to the development of a new production procedure, which allows the reduction of PGR applications while maintaining major quality criteria such as compacted plant growth under greenhouse conditions.

The technical procedure is based on the generation of air streams, which was initially realized by a compressor unit, and applied to the plant stand through custom-built nozzles. Thereby, the bent plant perceived a mechanical stimulus, leading to phytohormonal changes, which in turn results in a reduction of extension shoot growth. Specifically, a decline in auxin transport rates from the shoot tip to lower plant parts is responsible for the reduced extension growth.

Further improvements of the technical components comprised the replacement of the air pressure unit by a centrifugal or axial fan. Moreover, the air stream was guided through conduit pipes to a distribution unit and pressed through a thin opening to produce an air curtain. An alternative construction enabled the air stream application by 360° rotating tubes. A movable watering carriage served as carrier unit for the air distribution unit.

All technical configurations showed that the application of a regular and directed air stream results in a compact and robust growth habit of treated plants.

It was demonstrated that the stimulus intensity is of major significance for the degree of stem growth inhibition, whereas the stimulus frequency seems to have an inferior role. However, the efficacy of the air stream treatment depends on the natural growth habitat of the plant. Those with soft and less lignified tissue (e.g. tomato) can be bend more easily and subsequently respond to a greater extend compared to stiffer and less flexible stem tissue (e.g. Poinsettia).

The new procedure was successfully implemented into practice and enabled a local grower to produce plants with a certified Bio-based product label without any PGR applications.

In future, the plant-air stimulus interactions need to be further investigated. Thereby, specific implementation pattern of the air stream procedure for individual plant types might be recommended. The new procedure was an important step towards more sustainable plant production.

# INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1. Gegenstand des Vorhabens	1
1.2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	2
1.3. Planung und Ablauf	2
<b>2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</b>	<b>5</b>
<b>3. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse</b>	<b>6</b>
3.1. Material und Methoden	6
3.1.1. Versuchsflächen der LVG Heidelberg und der Universität Hohenheim	6
3.1.2. Pflanzenbauliche Versuche	8
3.1.3. Phytohormon-Analysen und physiologische Parameter an der Universität Hohenheim	11
3.1.4. Luftwagen Konfigurationen	12
3.2. Erzielte Ergebnisse	17
3.2.1. <i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina' (LVG Heidelberg 2014 und 2015)	17
3.2.2. <i>Campanula</i> 'Merrybell' (LVG Heidelberg 2015)	18
3.2.3. <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Early Mars' (LVG Heidelberg 2013 und 2014)	20
3.2.4. <i>Lycopersicon pimpinellifolium</i> 'Rote Murrel' (LVG Heidelberg 2014)	21
3.2.5. <i>Solanum lycopersicum</i> 'Romello' (LVG Heidelberg 2016)	22
3.2.6. <i>Solanum lycopersicum</i> 'Romello' (LVG Heidelberg 2017)	23
3.2.7. <i>Solanum lycopersicum</i> 'Romello' (Universität Hohenheim 2018)	27
3.2.8. <i>Solanum lycopersicum</i> 'Romello' (Universität Hohenheim 2018/2019)	31
3.3. Diskussion	35

<b>4. Implementierung in die Praxis (LVG Heidelberg)</b>	<b>36</b>
4.1. Leitbetrieb Achim und Stefan Fleischle in Vaihingen an der Enz	36
4.2. Druckluftwagen Typ Knecht	37
4.2.1. Material und Methoden	37
4.2.2. Ergebnisse	38
4.2.3. Wirtschaftlichkeit	40
4.2.4. Diskussion	41
4.3. Druckluftunabhängiges Axialluftverfahren mit Heylo Ventilatoren	42
4.3.1. Material und Methoden	42
4.3.2. Ergebnisse	44
4.3.3. Diskussion	45
<b>5. Schlussfolgerung, Handlungsempfehlungen bzw. Forschungsbedarf</b>	<b>47</b>
<b>6. Angaben zu Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</b>	<b>49</b>
<b>7. Gegenüberstellung der tatsächlich erreichten mit den ursprünglich geplanten Zielen</b>	<b>50</b>
<b>8. Zusammenfassung</b>	<b>50</b>
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	<b>51</b>
<b>10. Übersicht über realisierte Veröffentlichungen bzgl. des Projekts</b>	<b>53</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gewächshausparzelle an der LVG Heidelberg. Tangetiallüftersystem (2012)	6
Abbildung 2: Gewächshausparzelle an der LVG Heidelberg. Druckluftsystem Fa. Knecht	6
Abbildung 3: Gewächshausparzelle an der Universität Hohenheim. Air Knife System (Fa. Vebotech)	7
Abbildung 4: Gewächshausparzelle an der Universität Hohenheim: System der Fa. Raith Maschinenbau	7
Abbildung 5: Apparatur zur Messung elektrischer Signale unter Luftreizeinwirkung am Fachgebiet für Membranphysiologie der Universität Hohenheim	7
Abbildung 6: Druckluftsystem Fa. Knecht mit Flachstrahldüsen, LVG Heidelberg	13
Abbildung 7: Druckluftsystem Fa. Knecht mit neu entwickelten Druckluftdüsen, LVG Heidelberg	13
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Druckluftaggregats und Druckluftdüsen im Detail	13
Abbildung 9: Gerätewagen Steuerprogramm, LVG Heidelberg	14
Abbildung 10: „Luftwagen“ mit grundlegenden Baukomponenten und Air knife als Luftauslass	15
Abbildung 11: Vebotech System mit Zentrifugalgebläse, Y-Weiche, zwei Verteilerschläuche und Verteilerschiene für Luftauslass. Das System wurde am Knecht Demowagen installiert, Universität Hohenheim	16
Abbildung 12: „Luftwagen“ mit grundlegenden Baukomponenten und zwei 360° rotierenden PVC Röhren als Luftauslass	16
Abbildung 13: <i>O.basilicum</i> 'Edwina' - physiologische Auswertungen (2014 und 2015)	18
Abbildung 14: <i>O.basilicum</i> 'Edwina' - graphische Auswertung bei End-Bonitur 2015	18
Abbildung 15: <i>O.basilicum</i> 'Edwina' - Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle (2015)	18
Abbildung 16: <i>Campanula</i> 'Merrybell'-graphische Auswertung bei End-Bonitur 2015	19
Abbildung 17: <i>Campanula</i> 'Merrybell'-physiologische Auswertung (2015)	19

Abbildung 18: <i>Campanula</i> 'Merrybell'- Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle	19
Abbildung 19: <i>E. pulcherrima</i> 'Early Mars'- physiologische Auswertung ( 2014)	20
Abbildung 20: <i>E. pulcherrima</i> 'Early Mars'-Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle	19
Abbildung 21: <i>L. pimpinellifolium</i> 'Rote Murmel'- graphische Auswertung bei End-Bonitur	20
Abbildung 22: <i>L. pimpinellifolium</i> 'Rote Murmel'-Vergleich Luftreiz-, Streichelreizvariante und Kontrolle	20
Abbildung 23: <i>S. lycopersicum</i> 'Romello'-graphische Auswertung bei End-Bonitur 2016	22
Abbildung 24: <i>S. lycopersicum</i> 'Romello'-Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle	22
Abbildung 25: Pflanzenhöhe in Abhängigkeit der täglichen Luftreizhäufigkeit (a, b: 5 vs. 20 Überfahrten/ Tag; c, d: 40 vs. 120 Überfahrten/ Tag) in Prozent	24
Abbildung 26: Dauer bis Luftauslassgeschwindigkeit direkt nach Einschalten des Druckluftsystems an 10 Düsen konstant ist	24
Abbildung 27: Zunahme der Pflanzenhöhe über einen Zeitraum von 14 Tagen. Unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle) und täglich 80-fach gereizte Pflanzen	25
Abbildung 28: Messung der Luftgeschwindigkeit an 11 Positionen entlang der Verteilerschiene bei unterschiedlicher Öffnungsweite des Schlitzes(1-5 mm)	26
Abbildung 29: Messpunkte (1-11) entlang der Verteilerschiene	26
Abbildung 30: Lineare Regression zwischen der maximalen Luftgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Reduktion des Höhenzuwachses der Pflanze	27
Abbildung 31: Zunahme der Pflanzenhöhe über einen Zeitraum von 14 Tagen luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelter Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29
Abbildung 32: Durchmesser des 1 - 6 Internodiums nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29
Abbildung 33: Internodienlänge des 1 – 6 Internodiums nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29

Abbildung 34: Blattstiellänge des 1 – 7 Blattstiels nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29
Abbildung 35: Blattfläche nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29
Abbildung 36: Blattdicke nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	29
Abbildung 37: Spezifische Blattfläche nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 38: Nodienanzahl nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 39: Frischmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 40: Trockenmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 41: Prozentuale Frischmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 42: SPAD-Werte von Seitenachse 1 - 7 nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	30
Abbildung 43: Transpirationsraten luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	31
Abbildung 44: Stomatäre Leitfähigkeit luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	31
Abbildung 45: Netto CO <sub>2</sub> – Assimilationsraten luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	31
Abbildung 46: Blattinterne CO <sub>2</sub> Konzentration luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)	31
Abbildung 47: Relative Wachstumsreduktion unter einer Abstufung der täglichen Behandlungshäufigkeit des Luftreizes	33
Abbildung 48: Blattdicke nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag	33
Abbildung 49: Blattdicke nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag	33
Abbildung 50: Gesamte Blattfläche nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag	33
Abbildung 51: Gesamte Blattfläche nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag	33
Abbildung 52: Relative Grünintensität nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung	

mit 40 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 53: Relative Grünintensität nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 54: Transpirationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 55: Transpirationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 56: Netto CO <sub>2</sub> -Assimilationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 57: Netto CO <sub>2</sub> -Assimilationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag	34
Abbildung 58: Lineare Regressionsanalyse zwischen der relativen Grünintensität und der Chlorophyll Konzentration	35
Abbildung 59: Luftauslassgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung zur Auslassröhre	35
Abbildung 60: Druckluftwagen 2015 im Betrieb Fleischle. Luftdüsen sind nur hälftig eingedreht, um im Praxisversuch eine Kontrollvariante Sicherzustellen	38
Abbildung 61: An der Stellwand wurde nachträglich eine Führungsschiene zur Stabilisierung des Druckluftgestänges installiert	38
Abbildung 62: Mit einem Betriebsdruck von 2,5 - 3 bar konnten Luftgeschwindigkeiten von 6 - 8 m/s für die Reizbehandlung realisiert werden	39
Abbildung 63: Die Gießwagensteuerung wurde um ein Luftmodul erweitert. Pro Start werden mit der gezeigten Einstellung 10 Fahrten bei einer Geschwindigkeit von 10 m/min durchgeführt	39
Abbildung 64: Wachstumsparameter von <i>Callisia repens</i> über 5 Sätze im Jahr 2015 (links). Die luftreizbehandelten Pflanzen (linke Pflanze) zeigten einen kompakten Wuchs (rechts)	40
Abbildung 65: Die Messungen wurden wöchentlich durchgeführt (links). Die luftbehandelten Pflanzen (Woche 27/2015) zeigten einen stabileren Wuchs (Mitte, Kontrolle Pflanze links) und damit eine bessere Verkaufsqualität (rechts)	41
Abbildung 66: Axialluftverfahren Typ Heylo im Betrieb Fleischle, Vaihingen/Enz (2018)	43
Abbildung 67: Luftauslassgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung vom Axiallüfter	44
Abbildung 68: Wellenförmiger Wachstumsverlauf von <i>S. lycopersicum</i> 'Romello'	44

Abbildung 69: Zunahme der Pflanzenhöhe bei <i>S. lycopersicum</i> 'Romello' (Satz 1)	45
Abbildung 70: Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit. Linke Pflanze max. ca. 1 m/s, rechte Pflanze max.ca. 5 m/s	45
Abbildung 71: Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit bei <i>S. lycopersicum</i> 'Romello' (Satz 1 bis Messtermin 04.01.2019 und Satz 2 bis Messtermin 26.03.2019)	45
Abbildung 72: Zunahme der Pflanzenhöhe bei <i>S. lycopersicum</i> 'Romello' (Satz 1)	45
Abbildung 73: Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit bei <i>Campanula</i> . Linke Pflanze max. 1 m/s, rechte Pflanze max. 5 m/s	46
Abbildung 74: <i>Campanula</i> - starkes Streckungswachstum einzelner Triebe bei nicht ausreichenden Luftgeschwindigkeiten	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Arbeitspakete der gesamten Projektlaufzeit	3
Tabelle 2:	Kulturdaten	9
Tabelle 3:	Einstellung der Luftreizbehandlungen am Beispiel <i>Campanula</i> 'Merrybell', LVG	15
Tabelle 4:	Kalkulation Betriebskosten Druckluftverfahren am Beispiel <i>Callisia repens</i> im Praxisbetrieb	40
Tabelle 5:	Behandlungsdaten <i>Stellaria</i> und <i>Solanum</i> im Betrieb Fleischle (2018/19)	43

## **Abkürzungsverzeichnis**

AP	Arbeitspakete
LVG	Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau
OPF	Organic Plant Feed
POS	Point of Sale

# 1. Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Um international wettbewerbsfähig zu sein, muss der deutsche Gartenbau ein aktuelles Warensortiment von hoher Qualität kosteneffektiv produzieren und vermarkten. Stabilität und kompakter Wuchs sind wesentliche Qualitätsmerkmale, die im Zierpflanzenbau bisher vorwiegend durch den Einsatz chemischer Wachstumsregulatoren erreicht werden, für deren Einsatz ein großer, seit Jahrzehnten angesammelter Wissensschatz, vorhanden ist.

Die hemmende Wirkung eines mechanischen Reizes auf das Streckungswachstum ist hinreichend belegt, doch bei einigen Pflanzenarten verursachen die „Streicheleinheiten“ qualitätsmindernde Pflanzenschäden. Ein praxistaugliches Standardverfahren mit produkt- und standortspezifischen Referenzwerten, oder gar einer, mittels Quantifizierung und Evaluierung von Stresssignalen, erfolgten, automatischen Steuerung fehlt. Die sich daraus ergebenden Unsicherheiten im Anwendungserfolg sowie die aufwändige, weil betrieblich individuelle Umsetzung, blockieren die Einführung in die Praxisbetriebe.

Konventionell wirtschaftende Zierpflanzenbetriebe suchen zunehmend alternative Verfahren, um die Häufigkeit chemischer Hemmstoffbehandlungen zu minimieren und nachhaltig zu produzieren. Neben Umweltschutz und Ressourcenschonung, spielt dabei der Anwenderschutz, aber auch die Rückstandsproblematik eine große Rolle, denn rückstandsrelevante Kulturen wie Topfgemüse und Topfkräuter werden verstärkt in Zierpflanzenbetrieben angebaut und dürfen nicht mit synthetischen Wachstumsregulatoren behandelt werden. Für ökologisch wirtschaftende Zierpflanzenbetriebe wäre eine praktikable Reizbehandlung ein großer Schritt in Richtung Qualitätsproduktion, ohne Einschränkung auf kompaktwachsende Sorten, blütenverzögernde Absenkungen der Tagesmitteltemperatur oder kritisch zu bewertende Kulturmaßnahmen wie der Einsatz von Trockenstress.

Durch die geplante Installation der Düsen an einer Gießwagenkonstruktion können sowohl Tisch- als auch Beetkulturen behandelt werden. Damit wird das Verfahren auch für Jungpflanzenbetriebe interessant, die in Trays auf Bodenbeeten kultivieren. Auch Mischbetriebe, die Pflanzgemüse für den Hobbygartenbau anbieten, können, unabhängig von der Wirtschaftsweise, von dem Verfahren profitieren. Die Reizbehandlungen erlauben ohne Qualitätsverlust eine längere Standdauer im Betrieb und ermöglichen damit, Schwankungen in der Nachfrage auszugleichen.

## **1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts**

Ziel dieses Projektes war es, entsprechend der zentralen Ziele des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und anderer Formen nachhaltiger Landwirtschaft (<https://www.bundesprogramm.de/>) ein neues, auf Luftbewegung basierendes Verfahren zur alternativen Wuchshemmung zu entwickeln und in der Praxis einzuführen. Damit soll eine nachhaltige und ökologische Produktionsweise in allen Sparten des Gartenbaus, die bodenunabhängig in Topfsystemen kultivieren unterstützt und gefördert werden.

Daraus ergab sich folgende Aufgabenstellung:

- Ein Luftwagen sollte auf der Basis eines Gießwagensystems entwickelt, in der Praxis eingesetzt und bei einer betrieblichen Hauptkultur auf die Praxistauglichkeit überprüft werden.
- Für eine definierte Hemmwirkung sollten, anhand der messbaren Stresssignale, sowie letztendlich der bewirkten und erwünschten Wachstumsveränderungen, Stärke und zeitliche Intensität des auszuübenden Reizes in Versuchsreihen an beispielhaften Kulturen erfasst, dokumentiert und standardisiert werden.
- Die durch den applizierten Bewegungsreiz induzierte Signalkette, sowie deren physiologische Wirkungen sollten aufgeklärt und zueinander in Beziehung gesetzt werden.
- Der Wissenstransfer sollte zwischen Universität, Forschungsanstalt, beteiligten Partnern und interessierten konventionell und ökologische wirtschaftenden Topfpflanzenbetrieben durch die Veröffentlichung von Ergebnissen (Veranstaltungen, Messen, Fachpresse, etc.) erfolgen.

## **1.3 Planung und Ablauf**

Die Projektlaufzeit umfasste insgesamt 6 Jahre und kann in zwei Abschnitte aufgeteilt werden.

Abschnitt 1: Bewilligungszeitraum vom 1. Juni 2013 bis 31. Mai 2016.

Abschnitt 2: Verlängerungszeitraum vom 1. Juni 2016 bis 31. Mai 2018, aufgrund von mehrmaligem Bearbeiterwechsel erfolgte eine kostenneutrale Verlängerung bis 30. April 2019.

In Tabelle 1 sind die im Projekt geplanten Arbeitspakete zusammengestellt

**Tab. 1:** Übersicht der Arbeitspakete der gesamten Projektlaufzeit

AP Nr.	Titel der Arbeitspakete	Zuordnung	Meilensteine bis V/2016 (Zeitraum)	Meilensteine ab VI/2016
1	Literaturrecherche	Universität Hohenheim	1 (III/2013)	
2	Auswahl der Pflanzen	LVG Heidelberg	2 (IV/2013)	
3	Technischer und methodischer Versuchsaufbau an der LVG Heidelberg	LVG Heidelberg Universität Hohenheim	1 (III/2013)	
4	Kultivierungsversuche an der LVG Heidelberg	LVG Heidelberg	5 (IV/2015)	3 (I/2018)
5a	Pflanzenphysiologische Untersuchungen an der Universität Hohenheim	Universität Hohenheim	3 (IV/2015)	1 (IV/2017)
5b	Pflanzenphysiologische Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg	Universität Hohenheim	3 (IV/2015)	
6	Praxisversuche Technologietransfer	LVG Heidelberg Universität Hohenheim Fa. Knecht	4,6,7 (IV/2015)	2,4 (I/2018)
7	Wiederholung und Optimierung der Versuche	LVG Heidelberg Universität Hohenheim	5 (IV/2015)	5 (I/2018)
8	Wirtschaftlichkeitsprüfung	LVG Heidelberg	8 (IV/2015)	6 (I/2018)
9	Öffentlichkeitsarbeit, Netzwerkarbeit, Leitfaden	LVG Heidelberg Universität Hohenheim	8 (II/2016)	6 (II/2018)

## **Abschnitt 1: Juni 2013 bis Mai 2016**

Nach Abschluss der Vorarbeiten wurden mit Kulturbeginn von *Euphorbia pulcherrima* 'Early Mars' in Woche 33/2013 zunächst Vorversuche mit der vorhandenen technischen Ausstattung der LVG Heidelberg durchgeführt. Dafür konnte neben den mit Vileda Lappen ausgestatteten Streichelwägen auch ein Tangentialluftwagen (Abbildung 1) eingesetzt werden.

2014 wurde durch die Fa. Knecht ein Druckluftaggregat entwickelt und als Prototyp für eine kleinflächige Versuchsdurchführung an der LVG installiert (Abbildungen 6, 7). In den folgenden Projektjahren wurde in Kulturversuchen mit *Ocimum basilicum*, *Solanum lycopersicum*, *Campanula* und *Callisia* das Luftverfahren optimiert. Neben den wöchentlichen morphologischen Vermessungen erfolgten Probenahmen in Form von Diffusaten für die Bestimmung von Ethylen und Auxin. Im Jahr 2015/16 wurden die Probenahmen ausgedehnt, um Extraktanalysen vorzunehmen.

Ende 2014 wurde auf Basis der Vorversuche durch die Fa. Knecht ein Sondergießwagen im Betrieb Fleischle installiert. Damit erfolgte die großflächige Implementierung in die Praxis. Über ein Jahr, bis Ende 2015 wurde der Einsatz des Luftverfahrens in der Kulturführung von *Callisia* im Betrieb durch Projektmitarbeiter versuchstechnisch begleitet und ausgewertet. Innerhalb der drei Projektjahre wurden Vorträge gehalten, Messe- und Fernsehbeiträge realisiert und Führungen angeboten.

## **Abschnitt 2: Juni 2016 bis April 2019**

Der entwickelte Druckluftwagen erfüllte im Praxiseinsatz die kulturtechnischen Anforderungen und zeigte sich flexibel einsetzbar. Begrenzende Faktoren für einen flächendeckenden Einsatz sind jedoch die Betriebskosten und die Verfügbarkeit der Druckluft. Deshalb wurden im zweiten Projektabschnitt insgesamt drei druckluftfreie Varianten überprüft. Um mögliche Fehlerquellen durch Transportwege in der Hormonanalyse zu minimieren wurde Ende 2017 ein Zentrifugalgebläse mit Air Knife Anbau und in Folge mit 360 ° Rotor an der Uni Hohenheim (Abbildungen 10, 11) installiert. Anfang 2018 in größerem Maßstab das Air Knife Verfahren an der LVG Heidelberg umgesetzt. Versuche wurden mit *Solanum lycopersicum*, *Euphorbia pulcherrima* und *Fuchsia* durchgeführt.

Mitte 2018 erfolgte die Praxisumsetzung mit dem Axialluftverfahren Typ Heylo im Betrieb Fleischle (Abbildung 66). Im Betrieb wurde der Einsatz bei den Kulturen *Solanum lycopersicum*, *Stellaria* und *Campanula* begleitet.

Schwerpunkte der Öffentlichkeitsarbeit waren in dieser Projektphase Vorträge auf verschiedenen gärtnerischen Fachveranstaltungen und die Realisierung eines Imagefilms.

## 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bereits bei vielen Pflanzenkulturen, wie etwa bei *Fuchsia*, *Euphorbia*, *Petunia*, *Dendranthema*, *Pelargonium*, *Lilium* oder auch *Viola* konnte die maßgebliche Hemmung des Streckungswachstums in Verbindung mit Berührungsreizen beobachtet werden (Hiraki 1975, Jatzkowski 1994, Sauer 1997, Göbel 2000, Gugenhan 1999, Ruttensperger 2002, 2008, Koch 2002). Bei Lilien (Hiraki 1975) und Bohnen (Biro 1980, Erner 1983) konnte zusätzlich zur Wuchsreduktion eine Verdickung des Sprossquerschnitts ausgemacht werden.

Bei einem größeren Sortiment an ökologisch produzierten Topfkräutern brachte ein mechanischer Reiz ein geringeres Streckungswachstum hervor. Durch die deutlich geringere Pflanzenhöhe und Internodienlänge zeigten die behandelten Topfkräuter mehr Stabilität und somit eine deutlich verbesserte Produktqualität (Koch et al. 2009, Koch et al. 2011).

Bei *Euphorbia pulcherrima* wurde der Berührungsreiz in Verbindung mit zehnmütigen Pausen zwischen den Behandlungsintervallen untersucht und es zeigte sich, dass die *Poinsettien* auf zeitlich unterbrochene Berührungsreize mit einer verstärkten Reduktion des Längenwachstums reagierten.

Auch der Behandlungszeitpunkt beeinflusst das Maß der Wuchshemmung (Jatzkowski 1994). *Fuchsia* reagierte besonders empfindlich bei einer morgendlichen Behandlung. Untersuchungen mit Jungpflanzen verschiedener Schnittblumen haben in 2007 einen Einfluss des Materials (Vlies oder Folie) sowie der Reizdauer und -intensität gezeigt. Bei Zinnien ergab die mechanische Reizbehandlung mit fünf Bahnen Vlies einen größeren Hemmeffekt, als bei einer Bahn. Allerdings konnten hierbei zu Kulturrende Blattschäden ausgemacht werden (Ruttensperger und Winkler 2011).

Erste praktische Ansätze zur Wuchsregulierung durch den Einsatz mechanischer Reize umfassten den Einsatz von hohlen Stangen aus Stahl (Latimer 1991) oder PVC Röhren (Latimer und Thomas, 1991) welche über den Pflanzenbestand hinweg gezogen und dadurch der obere Teil der Pflanze bewegt wurde. Darauf folgende Versuche setzten Leinen Material zur mechanischen Reizbehandlung ein (Autio 1994).

Untersuchungen während eines Kulturversuches mit *Lycopersicon* von Fink (2006) zeigten, dass die durch den mechanischen Reiz verursachte Wuchsreduktion nicht, wie oft angenommen, auf eine Veränderung der Transpirationsleistung der Stomata zurückzuführen war, sondern vermutlich auf einer komplexen Wechselwirkung zwischen einer Auxin- und Ethylenanreicherung basieren. Infolge der mechanischen Belastung wurde eine verstärkte Bildung des gasförmigen Stresshormons Ethylen beobachtet (Hiraki und Ota 1975, Saltveit et al. 1979, Biro 1980). Von Interesse ist ebenfalls das Phytohormon Auxin (Indolyl-3-Essigsäure - IAA). Im Wechselspiel mit austriebsfördernden Cytokininen (CKs) und eben

genanntem Auxin kommt es zur Aufrechterhaltung einer apikalen Dominanz und damit verbunden eine Ausbildung eines gedrunenen, verzweigten Wuchsverhaltens (Cline 1991, Tanaka et al. 2006).

Das Reizverfahren wurde erstmals an der LVG Heidelberg mit einem Besenteil (rote, harte Borsten) bei Petersilie erprobt und erzielte gute Effekte. So entstand auch die Idee des Vorgängers des Luftreizverfahrens – der „Streichelwagen“ mit bis zu 5 Bahnen Vileda-Stofflappen, die an einem tischläufigen Wagen angebracht wurden (Ruttensperger 2002). Aufgrund der beobachteten Schäden an empfindlichen Kulturen bzw. Knospen und Blüten wurde ein Tangentiallüftersystem (Fa. Schachtner, Ludwigsburg) installiert (Abb. 1), das sich allerdings aufgrund der kleinen Aggregate und der erzielten Luftgeschwindigkeiten als nicht ausbaufähig herausstellte.

### 3. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

#### 3.1 Material und Methoden

##### 3.1.1 Versuchsflächen der LVG Heidelberg und der Universität Hohenheim

Ein Versuchsabteil an der LVG Heidelberg ist mit 4 Rolltischen ausgestattet, mit einer Tischfläche von jeweils 20 m<sup>2</sup>. Jeder Tisch kann für die Bewässerung / Düngung separat angesteuert werden, das Klima wird über RAM geregelt. Die Lüftung erfolgt durch eine Stehwandlüftung auf der Südseite und einer zweiseitigen durchgehenden Firstlüftung.



**Abb. 1:** Gewächshausparzelle an der LVG Heidelberg. Tangentiallüftersystem (2012)



**Abb. 2:** Gewächshausparzelle an der LVG Heidelberg. Druckluftsystem Fa. Knecht

Während in der vorhandenen Ausstattung lediglich 1 Tisch mit einem Tangentialluftsystem behandelt werden konnte (Abbildung 1), wurde die Versuchsanlage für die wissenschaftliche Bearbeitung der Versuche im Projektverlauf erweitert. Zwei Aggregate (Abbildung 2)

behandeln nun jeweils ein Tischhälfte, so dass sowohl Kontrolle als auch Versuchsvariante auf einer Tischfläche aufgestellt werden können.

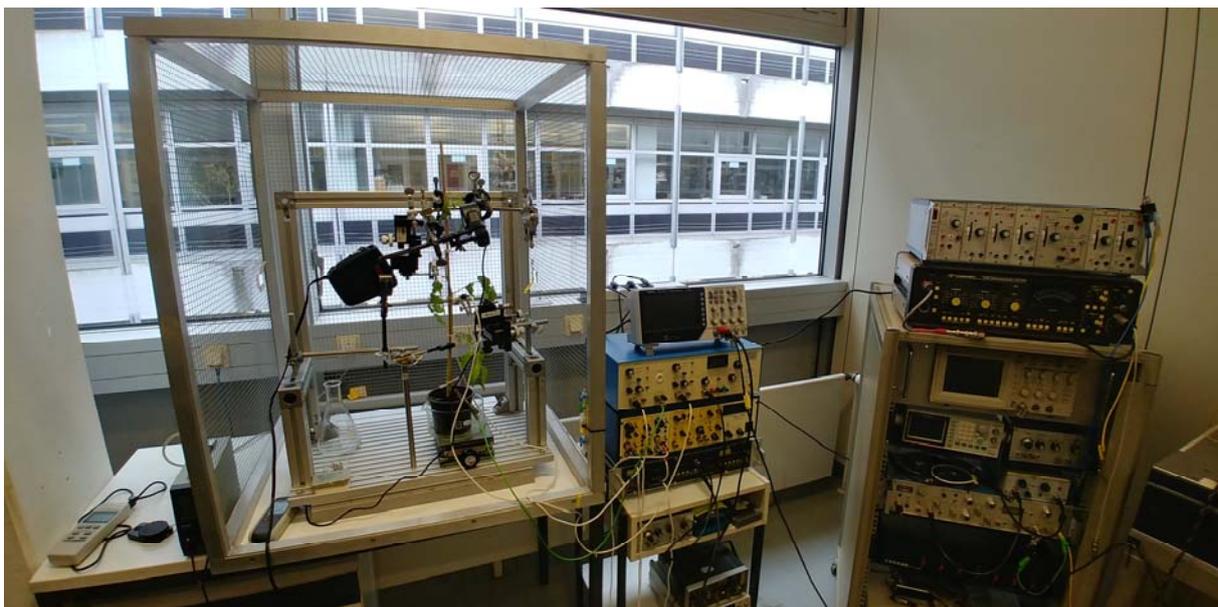
An der Universität Hohenheim wurde 2017 einer von der Fa. Knecht entwickelter Demonstrationswagen in die Gewächshausparzelle 4.5 installiert. Die Gesamtkonstruktion umfasst eine Länge von 3 m und 1,2 m Breite. Die Höhe beträgt 2,4 m. Die Gewächshausparzelle ist mit Kunstlicht ausgestattet. Über eine Ram Steuereinheit kann die Temperatur in der Gewächshausparzelle angesteuert werden. Das Trägersystem wurde im Laufe der Projektlaufzeit umgerüstet (Abbildungen 3, 4).



**Abb. 3:** Gewächshausparzelle an der Universität Hohenheim. Air Knife System (Fa. Vebotech).



**Abb. 4:** Gewächshausparzelle an der Universität Hohenheim. System der Fa. Raith Maschinenbau.



**Abb. 5:** Apparatur zur Messung elektrischer Signale unter Luftreizeinwirkung am Fachgebiet für Membranphysiologie der Universität Hohenheim.

### **3.1.2 Pflanzenbauliche Versuche**

#### **Kulturdaten**

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Kulturdaten zusammengefasst.

#### **Auswertungen über die Projektlaufzeit an der LVG Heidelberg**

##### **a) Pflanzenhöhe**

Manuelle Vermessung mittels eines Metermaßes. Durchschnittliche (mittlere) Höhe (ab Topfrand) und Gesamthöhe (= längster aufrechtstehender Trieb).

##### **b) Pflanzendurchmesser**

Mit Hilfe eines Metermaßes wird die längste Strecke (berücksichtigt werden alle Austriebe) bestimmt. Nachfolgend das Metermaß um 90° gedreht und nochmal dieselbe Strecke vermessen. Beide Werte werden summiert und anschließend das arithmetische Mittel gebildet.

##### **c) Trieblänge**

Manuelle Vermessung vermittels eines Metermaßes. Vermessung von fünf Trieben (ab Substrat); alle Werte werden summiert und anschließend das arithmetische Mittel gebildet.

##### **d) Triebdicke (-durchmesser)**

Zum Zwecke des allgemeinen Triebdurchmessers wurden zwei Werte pro Pflanze ermittelt. Die erste Vermessung erfolgt fünf Zentimeter unterhalb der Triebspitze. Die Zweite ca. fünf Zentimeter oberhalb des Substrats. Beide Werte werden summiert und anschließend das arithmetische Mittel gebildet.

##### **e) Blattfläche**

Die Vermessung der Blattfläche erfolgt an neu gebildeten, frischen Jungblättern in der Nähe der Triebspitze. Zunächst wird die Blattlänge und 90° verdreht die Blattbreite vermessen. Beide Werte werden multipliziert, um die Blattfläche zu ermitteln.

##### **f) Internodienanzahl**

Die Internodien werden visuell ab den Kotyledonen, bis zur Triebspitze hin, abgezählt.

**Tab. 2:** Kulturdaten.

Art/Sorte	Lieferant	Topftermin(e)/ Behandlungsbeginn	Substrat(e)	Düngung	Temperatur Heizung (T/N), Lüftung (T/N)	Pflanzenschutz
<i>Campanula</i> 'Merrybell'	Fleischle	KW 39/ KW 41	RHP (Klasmann)	Universalblue (18:10:18)	20/16 °C, 22/18 °C	Kein Pflanzenschutz
<i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Early Mars'	FloriPro Services	a) KW 30/KW 33 (2013) b) KW 30/ KW 33 (2014)	RHP 15 (Klasmann)	a) Fertiplant 15-10-15 b) Peters Excel hartes Wasser 18:10:18	Vorkultur im Langtag: 16/16 °C, 22/22 °C  Kultur im Kurztag: 18/16 °C, 22/22 °C	Gelb- und Blautafeln; <i>Encarsia formosa</i> ); <i>Steinernema feltiae</i> (Sauter Nematoden Dosierspritzung „Aqua Nemix 2%) <i>Cryosoperla carnea</i>
<i>Lycopersicum pimpinellifolium</i>	Volmary GmbH,	KW 22/KW23 (2014)	KKS BioTopfsubstrat (Klasmann)	Ab KW 26 flüssige Nachdüngung OPF 8-3-3 (0,3%)	18/18 °C, 22/22 °C	Gelb- und Blautafeln; <i>Encarsia formosa</i> ; <i>Steinernema feltiae</i> <i>Amblyseius californicus</i>
<i>Ocimum basilicum</i> 'Edwina'	a) + b) Volmary bzw. c) Vitalis	a) KW7/KW 10 (2014) b) KW 10/KW 12 (2015) c) KW 26/KW 28 (2015)	Klasmann KKS Bio Substrat 2 b) s. a) c) Bio Pot (Brill)	a) ab KW 13 Nach-düngung mit OPF 8-3-3 (0,3 %) b) ab KW 10 s. a) ab KW 28 s. a)	Keimung: 20/20 °C  Dann: 20/16 °C	<i>Steinernema feltiae</i>
<i>Solanum lycopersicum</i> 'Romello'	Graines Voltz	a) KW 5/ KW 6 (2016) b) KW 48- KW 50 (2017) c) KW 8 – 13 (2018) d) KW 45 (2018) – KW 22 (2019)			Keimung: 20/20 °C, 22/22 °C  Dann: 20/16°C, 22/18°	Kein Pflanzenschutz

### **g) Wurzelbonitur**

Nach Versuchsende wird die Wurzel bonitiert; hierzu wird diese von der jeweiligen Pflanze abgetrennt, gesäubert (abgewaschen) und das Frisch- und Trockengewicht bestimmt. Nach einem, im Verlauf des Versuches, festgelegten Schema (1= kein Wurzelwachstum bis 5= sehr starkes Wurzelwachstum) wird die Wurzel bewertet.

### **h) Blütenanzahl**

Bei Versuchsende wird die jeweilige Anzahl an Blüten visuell abgezählt; sind die Blüten in z.B. Dolden ausgerichtet, werden die Dolden gezählt.

## **Auswertungen ab Ende 2017 an der Universität Hohenheim**

### **a) Pflanzenhöhe**

Manuelle Vermessung mittels eines Metermaßes. Gesamte Pflanzenhöhe gemessen von Topfrand bis zum Apikalmeristem.

### **b) Internodienlänge**

Vermessung der Internodienlänge mittels eines Meterstabs.

### **c) Internodiendurchmesser**

Vermessung der Internodiendurchmesser mittels eines digitalen Messschiebers.

### **d) Länge der Seitenachsen**

Vermessung der Länge der Blattstiele mittels eines Meterstabs.

### **d) Blattfläche**

Digitale Auswertung der Blattfläche mittels Schwarz- Weiß Scan und anschließender Bestimmung der Gesamtblattfläche unter Anwendung des Softwarepaket ImageJ.

### **e) Blattdicke**

Rechnerische Annäherung der Blattdicke unter Verwendung folgender Formel:

Blattdicke =  $1 * (\text{Spezifische Blattfläche} * \text{Trockenmassegehalt Blatt})^{-1}$  (Vile, 2005)

### **f) Biomassepartitionierung**

Differenzierung der Biomasse in Wurzel-, Spross-, Blattstiel- und Blattmasse mit

anschließender Bestimmung des Frischmassegewichts und Trockenmassegewichts nach Trocknung bei 60°C.

### **3.1.3 Phytohormon-Analysen und physiologische Parameter an der Universität Hohenheim**

#### **a) Ethylen**

Um die Konzentration an Ethylen ermitteln zu können, werden einmal wöchentlich Gasproben genommen. Am Vortag der Auswertung werden in speziellen 24-Well Platten (Diffusatplatten) jeweils eine Triebspitze pro Well in 2,5 ml 100 mM Phosphatpuffer (zur Stabilisierung des pH-Wertes) gegeben. Die Triebspitzen werden mit einer frischen Rasierklinge sauber abgetrennt. Nachfolgend erfolgt eine Inkubationszeit in speziellen Inkubationskammern von 20 Stunden über Nacht. Am darauffolgenden Tag wird von jeder Variante (viermal Luft/ viermal Kontrolle) jeweils dreifach 1 ml Gas mit einer doppelrippigen Spritze entnommen. Anschließend werden die genommenen Proben schnellstmöglich nach Hohenheim verbracht und am Gaschromatographen analysiert.

#### **b) Auxin**

Zur Bestimmung der Konzentration an Indol-3-Essigsäure werden oben in 1. genannte Diffusatplatten zunächst bei -40°C zwischengelagert. Nachdem diese gesammelt mit Hilfe von Trockeneis (-80°C) nach Hohenheim überführt wurden, werden die Durchflussproben aufgereinigt und anschließend mit Hilfe eines Radio-Immuno-Assays analysiert. Auxin-Proben wurden 2013 und 2014 nur in dieser Form genommen. Ab Ende 2015 konnten zusätzlich Proben mit Hilfe von flüssigem Stickstoff (-196°C) generiert werden.

#### **c) Cytokinine/Gibberelline**

Proben zur Analyse von Cytokininen bzw. auch Gibberellinen wurden mit Hilfe von flüssigem Stickstoff genommen. Dabei werden frische, mit einer neuen Rasierklinge, abgetrennte Triebspitzen schockgefroren (nach Möglichkeit 3 g Frischmasse). Die Proben werden nachfolgend bei -40°C zwischengelagert, anschließend mit Hilfe von Trockeneis nach Hohenheim verbracht und dort gefriergetrocknet, um deren Lagerfähigkeit zu optimieren. Danach werden aus den gefriergetrockneten Proben Extrakte erstellt, diese aufgereinigt und nachfolgend ebenfalls vermittlems Radio-Immuno-Assay analysiert.

#### **d) SPAD**

Bestimmung der relativen Grünintensität mittels eines Chlorophyllmeters am Spitzblatt der jeweiligen Seitenachse entlang der Pflanze.

#### **e) Chlorophyllextraktion**

Ausstanzen einer Blattscheibe am äußeren linken Blatt der dritten Seitenachse. Anschließende Inkubation der Blattscheibe bei 60 °C im Wasserbad mit 7 ml DMSO für 30 Minuten. Anschließende photometrische Messung der Grünintensität und rechnerische Annäherung der Chlorophyllkonzentration durch Auslesen der optischen Dichte bei 645 und 663 nm Wellenlänge.

#### **f) Gaswechselfmessungen**

Bestimmung von Transpirationsraten und netto CO<sub>2</sub> Assimilationsraten mittels GFS-3000 am Spitzblatt der dritten Seitenachse.

#### **g) Elektrophysiologie**

Messung elektrischer Signale unter Luftreizeinwirkung an Tomaten. Die Pflanzen werden mit zwei Oberflächenelektroden am Spross versehen. Als Referenzelektrode wird eine Elektrode in feuchtes Bodensubstrat installiert. Während der Luftreizeinwirkung werden Membranpotenziale über die Elektroden abgeleitet.

### **3.1.4 Luftwagen Konfigurationen**

#### **Druckluftwagen Typ Knecht**

Im Rahmen des ersten Projektabschnittes wurde von den Projektpartnern ein Anforderungsprofil für einen druckluftbetriebenen Luftwagen erstellt und von der Fa. Knecht umgesetzt. Ein erster Prototyp wurde an der LVG Heidelberg installiert und optimiert. So erfolgte die Luftausbringung zunächst durch marktübliche Flachstrahldüsen (Lechler - LU - 120 -03 bzw. Lechler 6 79.085.30) (Abbildung 6). Die Geschwindigkeit und Verteilung des dadurch erzeugten Luftstromes erwiesen sich jedoch als nicht ausreichend. Deshalb wurden spezielle Druckluftdüsen (Lechler, Knecht) entwickelt. Der damit entstehende Pyramidalstrahl erzeugt zwischen zwei Düsen einen Wirbelstrom, der auf Pflanzhöhe eine Geschwindigkeit von ca. 8 - 10 m/s erreichen kann (Abbildung 7).



**Abb. 6:** Druckluftsystem Fa. Knecht mit Flachstrahldüsen, LVG Heidelberg.

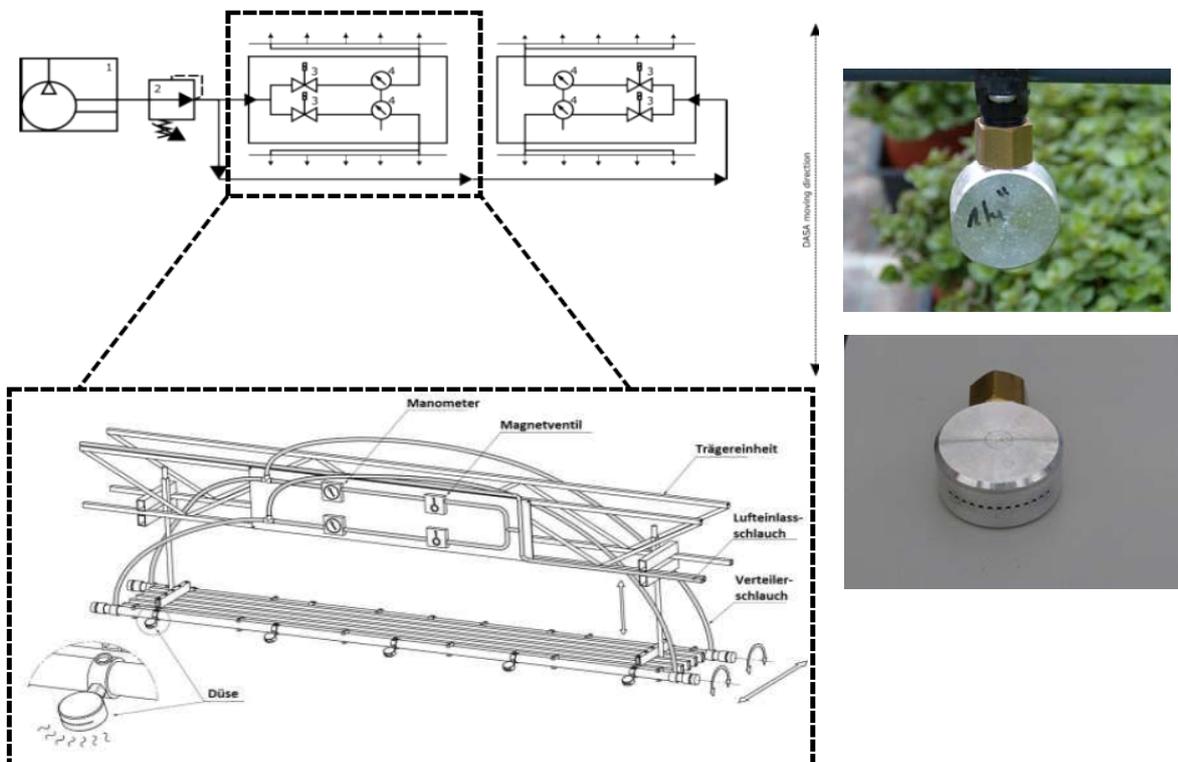


**Abb. 7:** Druckluftsystem Fa. Knecht mit neu entwickelten Druckluftdüsen, LVG Heidelberg.

Um die benötigte Druckluft erzeugen zu können, wurden zwei Scroll-Kompressoren

- SF 4 FF 10 bar, 400 V / 50 Hz ölfrei, luftgekühlt, Kältetrockner integriert  
**Leistung:** 3,1 – 4,3 kW, **Volumenstrom:** 6 l/s
- SF 4 FF 8 bar, 400 V / 50 Hz ölfrei, luftgekühlt, Kältetrockner integriert  
**Leistung:** 3,7 kW, **Volumenstrom:** 7 l/s

der Firma Atlas Copco Kompressoren und Drucklufttechnik GmbH installiert. Damit konnte ein Betriebsdruck von maximal 1,5 bar bereitgestellt werden.



**Abb. 8:** Schematische Darstellung des Druckluftaggregats und Druckluftdüsen im Detail.

Die Luftwagensteuerung wurde in das bestehende RAM System eingebunden. Das Programm erlaubt u.a. eine Festlegung der Startzeiten und eine differenzierte Ansteuerung der Ventile (Abbildung 9).

Anlage	Nummer	Station
Gewächshaus 8b	82	B1
<b>Thema: Gerätewagen</b>		
<p>Zur Durchführung von zyklischen Luftbehandlungen im Pflanzenbestand soll ein Geräteträgerwagen mit 4 Luftauslässen angesteuert werden.            Die Ansteuerung basiert auf der Funktionalität eines Gießwagens, deshalb nimmt die nachfolgende Funktionsbeschreibung Bezug auf das bestehende Gießwagenmodul YGD41.            Der Begriff "GWagen" als Vortext in den Programmzeilen kann beibehalten werden.</p> <p>Der Start des Gerätewagens soll wahlweise manuell über die Programmzeile "Handstart" oder automatisch über "Zeitstarts" erfolgen.            Dabei werden insgesamt 6 Zeitstarts benötigt.            Die zusätzlichen Startbedingungen "Lichtsumme" und "Zeitintervall" werden nicht benötigt und können ausgeblendet werden.            Als Einheit für das Automatikprogramm 1 kann "Auto" verwendet werden.</p> <p>Die Zeitstarts sollen von 1 bis 6 durchnummeriert werden.            Zu jedem Zeitstart sollen 2 weitere Parameter einstellbar sein:</p>		
82 H8B 55111 GWagen: Start 1 Uhrzeit/Freig	7:30 h:min	8 Mo-So
GWagen: Start 1 Anzahl Fahrten/Ventile 1-4	10	1212
GWagen: Start 2 Uhrzeit/Freig	7:30 h:min	8 Mo-So
GWagen: Start 2 Anzahl Fahrten/Ventile 1-4	10	2222
usw.		
<p>Anzahl Fahrten:            Mit dem Start des Gerätewagens soll die eingestellte Anzahl der Fahrten durchgeführt werden. Dafür ist nach jeder Rückkehr in die Home-Position ein neuer Startimpuls zu generieren.</p> <p>Ventile:            Auf dem Gerätewagen sind insgesamt 4 Ventile anzusteuern. Dabei kann unterschieden werden, welche Ventile in der Vorwärtsfahrt und welche Ventile in der Rückwärtsfahrt geöffnet werden.            Die Einstellung erfolgt 4-stellig, wobei die Zifferposition "1" dem Ventil 1, die Zifferposition "2" dem Ventil 2 usw. zugeordnet ist.            Es sind folgende Einstellungen zulässig:            "0" - Ventil wird nicht angesteuert.            "1" - Ventil wird nur in der Vorwärtsfahrt angesteuert            "2" - Ventil wird nur in der Rückwärtsfahrt angesteuert            "3" - Ventil wird in der Vor- und Rückwärtsfahrt angesteuert.</p> <p>Die Ventile sollen eine Betriebsanzeige erhalten:</p>		
82 H8B 55213 GWagen: Ventil 1/2	1 ein	1 ein
GWagen: Ventil 3/4	0 aus	0 aus

**Abb. 9:** Gerätewagen Steuerprogramm, LVG Heidelberg.

### Beispielprogramm *Campanula 'Merrybell'*

- Beginn der Luftreizbehandlung um 7:00 Uhr (Tabelle 3).
- ein Intervall entspricht einem Paket von 10 Überfahrten (eine Überfahrt = Hin- und Rückfahrt) und benötigt ca. 30 Minuten, danach erfolgen 10 Minuten Pause.
- Die durchschnittliche Dauer für eine Hin- bzw. Rückfahrt beträgt 180 Sekunden; mit einem Pflanzenbesatz von durchschnittlich 6 Pflanzen pro laufendem Meter und einer Tischlänge von 10 Metern ergibt sich eine durchschnittliche Behandlungszeit von 3 Sekunden pro Einzelpflanze ( $180 / (6 \cdot 10) = 3$ ).
- Bezogen auf eine Überfahrt (= Hin- und Rückfahrt) ergibt sich somit eine durchschnittliche Behandlungszeit von 6 Sekunden bzw. 6 Minuten pro Pflanze pro Behandlungstag.

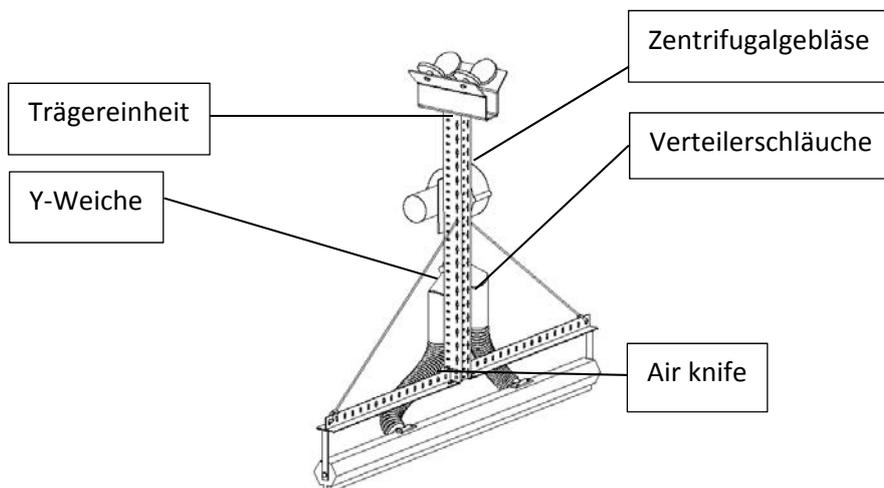
**Tab. 3:** Einstellung der Luftreizbehandlungen am Beispiel *Campanula 'Merrybell'*, LVG Heidelberg.

Start: Durchgang 1 - 7:00	10 Überfahrten à 180 Sek.
Durchgang 2 - 7:40	10 Überfahrten à 180 Sek.
Durchgang 3 - 8:20	10 Überfahrten à 180 Sek.
Durchgang 4 – 9:00	10 Überfahrten à 180 Sek.
Durchgang 5 – 9:40	10 Überfahrten à 180 Sek.
Durchgang 6 – 10:20	10 Überfahrten à 180 Sek.
Ende – 10:40	

### Druckluftunabhängige Verfahren mit Seitenkanalverdichter

Die Erzeugung des Luftstroms erfolgt durch ein Zentrifugalgebläse mit einer Leistung von 0,37 KW. Die angesaugte Umgebungsluft wird über einen Y-Weiche und daran befestigte Verteilerschläuche (Flexschläuche) geleitet. Die Reizausbringung wird dann durch eine Verteilerschiene (Air Knife, Vebotech) realisiert. Die Öffnungsweite der Verteilerschiene kann zwischen 1 – 5 mm eingestellt werden. Ein zweites System basiert auf selbigen Grundbautypen, wobei der Reizausbringung über zwei 360° rotierenden PVC Röhren bewerkstelligt wird (Prototyp Fa. Raith Maschinenbau).

### Zentrifugalgebläse mit Air Knife Anbau

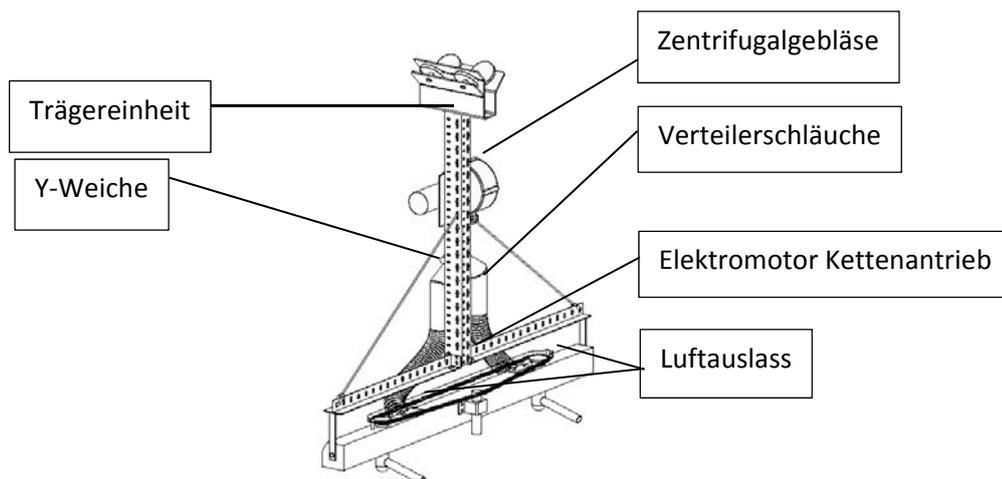


**Abb. 10:** „Luftwagen“ mit grundlegenden Baukomponenten und Air knife als Luftauslass.



**Abb. 11:** Vebotech System mit Zentrifugalgebläse, Y-Weiche, zwei Verteilerschläuche und Verteilerschiene für Luftauslass. Das System wurde am Knecht Demowagen installiert, Universität Hohenheim.

### Zentrifugalgebläse 360° Rotor



**Abb. 12:** „Luftwagen“ mit grundlegenden Baukomponenten und zwei 360° rotierenden PVC Röhren als Luftauslass.

## 3.2 Erzielte Ergebnisse

### 3.2.1 *Ocimum basilicum* 'Edwina' (LVG Heidelberg 2014 und 2015)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Varianten: Tangentiallüftersystem (2014), Druckluft (2015), unbehandelte Kontrolle.
- Luftgeschwindigkeiten am Druckluftwagen (Flachstrahldüsen): Durchschnittlich 8 m/s über den gesamten Versuchszeitraum; ca. 5 m/s bei der Tangentialluftbehandlung.
- Täglich 80 Überfahrten bei Druckluft bzw. 160 Überfahrten bei Tangentialluft (Beginn jeweils 7-8:00Uhr morgens, nach 10 Überfahrten 10 Minuten Pause).

Methoden:

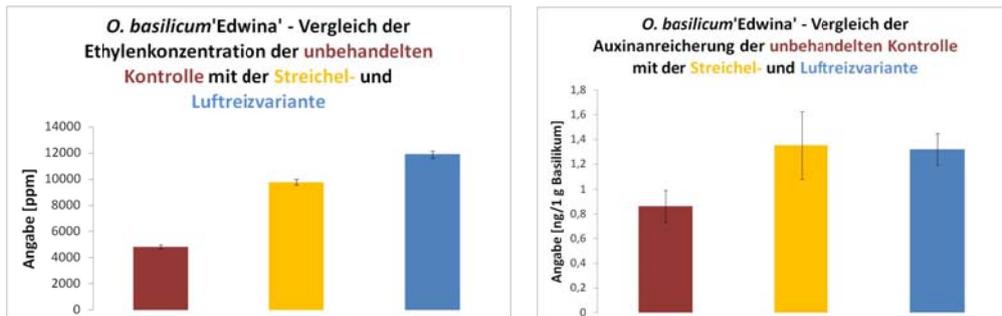
- Anfertigung von Diffusatproben für Auxinexportanalysen.
- Bonitur: Pflanzenhöhe, Trieblänge, Seitentrieбанzahl, Dickenwachstum, Wurzelentwicklung.

Morphologische Versuchsergebnisse Basilikumversuch 2014-2015:

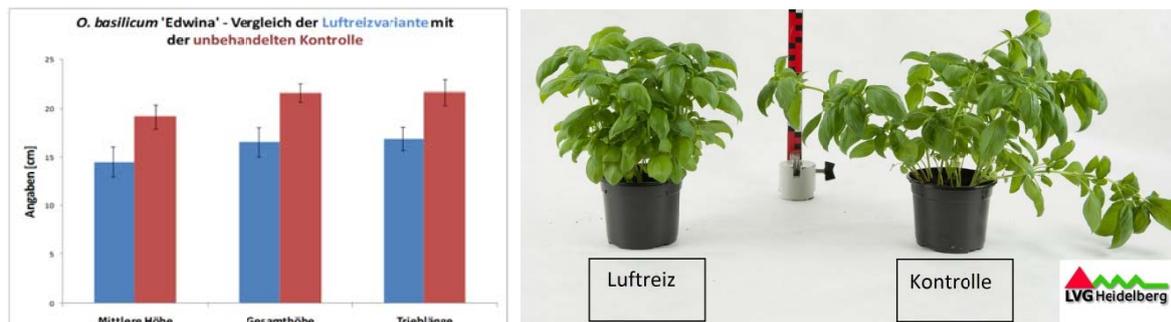
- Vermindertem Streckungswachstum (ca. 16% ) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle.
- Verringerte Trieblänge (ca. 20%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle.
- Erhöhte Seitentrieбанzahl (ca. 37%) bei luftreizbehandelter Variante verstärktes Dickenwachstum (ca. 12%) bei der behandelten Variante.
- Erhöhter Durchwurzelungsgrad (ca. 20%) bei Luftreizvariante.
- Keine Antennenbildung, dichter und buschiger Wuchs bei der Luftreizvariante.
- Druckluftvariante mit stärkerer Hemmwirkung.

Physiologische Versuchsergebnisse Basilikumversuch 2014 und 2015:

- Vermehrte Auxinanreicherung im Sprossmaterial von 44% bei Streichel- und 43% bei Luftreizausbringung.
- Vermehrter Ethylenausstoß bei den behandelten Varianten (60% bei Streichel-, 50% bei Luftreizbehandlung).



**Abb. 13:** *O. basilicum* 'Edwina' - physiologische Auswertungen (2014 und 2015).



**Abb. 14:** *O. basilicum* 'Edwina' - graphische Auswertung bei End-Bonitur 2015.

**Abb. 15:** *O. basilicum* 'Edwina' - Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle (2015).

### 3.2.2 *Campanula* 'Merrybell' (LVG Heidelberg 2015)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Varianten: Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.
- Reizbehandlung: KW 41 – KW 52.
- Druckluftwagen Typ Knecht mit zwei Druckluftaggregaten. Luftgeschwindigkeiten am Druckluftwagen: Durchschnittlich 14 m/s über den gesamten Versuchszeitraum.
- Assimilationslicht: 14.5 Std./Tag.
- Täglich 60 Überfahrten (Beginn 8:00 Uhr morgens, nach 10 Überfahrten 10 Minuten Pause).

Methoden:

- Anfertigung von Diffusatproben für Auxinexportanalysen in KW 42 - KW 51.
- Anfertigung von Lyophilisatproben mit flüssigem Stickstoff zur Extraktanalyse auf Cytokinine.
- Wöchentliche Ethylenmessung am Gaschromatographen an der Universität Hohenheim.

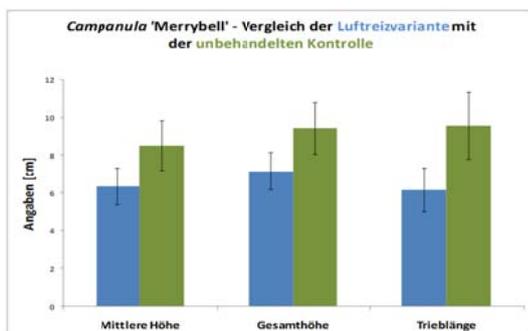
- Bonitur in KW 41 - KW 52: Pflanzenhöhe, Trieblänge, Pflanzendurchmesser, Seitentriebanzahl, Wurzelentwicklung.

#### Morphologische Versuchsergebnisse *Campanula*-Versuch 2015:

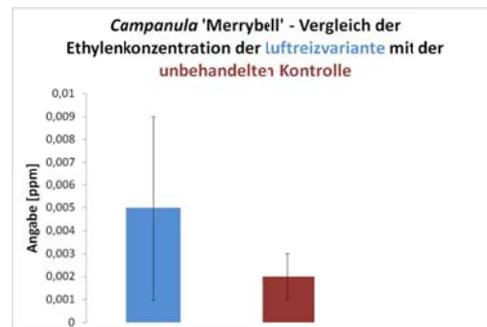
- Vermindertem Streckungswachstum (ca. 25%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle.
- Verringerte Trieblänge (ca. 36%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle.
- Kein signifikanter Unterschied im Pflanzendurchmesser.
- Vermehrte Seitentriebanzahl (ca. 45%) bei der behandelten Variante.
- Erhöhter Durchwurzelungsgrad (ca. 12%) bei Luftreizvariante dichter und buschiger Wuchs bei der Luftreizvariante, keine überhängenden Triebe.
- Gleichzeitiger Blühbeginn.

#### Physiologische Versuchsergebnisse *Campanula*-Versuch 2015:

- Verstärkte Ethylenbildung (zwischen 25-40%) bei der behandelten Variante.



**Abb. 16:** *Campanula* 'Merrybell'-graphische Auswertung bei End-Bonitur (2015)



**Abb. 17:** *Campanula* 'Merrybell'-physiologische Auswertung (2015)



**Abb. 18:** *Campanula* 'Merrybell'- Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle

### 3.2.3 *Euphorbia pulcherrima* 'Early Mars' (LVG Heidelberg 2013 und 2014)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Varianten: Streichelreiz, Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.
- Luftgeschwindigkeiten am Tangentialluftwagen: Durchschnittlich 5 m/s über den gesamten Versuchszeitraum.
- Täglich 80 Überfahrten bei Druckluft bzw. 120 Überfahrten bei Streichelreiz (Beginn jeweils 7:00 Uhr morgens, nach 10 Überfahrten 10 Minuten Pause).

Methoden:

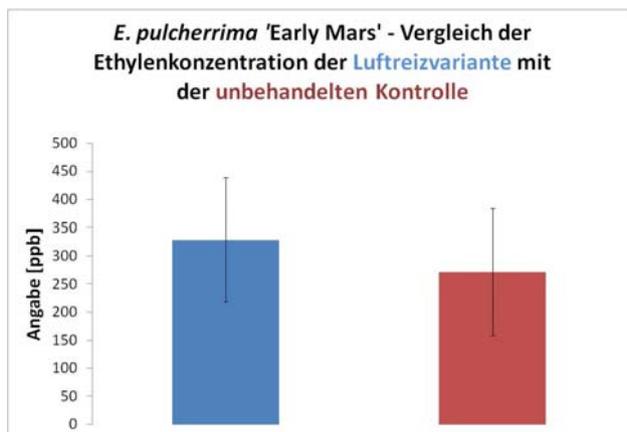
- Wöchentliche Ethylenmessung am Gaschromatographen an der Universität Hohenheim.
- Das Längenwachstum wurde erfasst.

Morphologische Versuchsergebnisse:

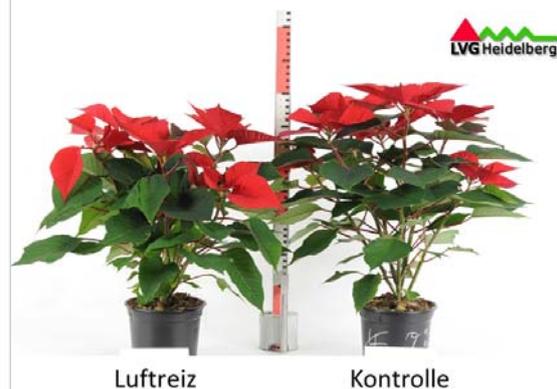
- Leicht vermindertes Längenwachstum (ca. 5%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle, bei der Streichelreizvariante wurden 11 % erreicht.

Physiologische Versuchsergebnisse:

- Verstärkter Ethylenausstoß (ca. 21%) bei Luftreizvariante im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.



**Abb. 19:** *E. pulcherrima* 'Early Mars'-physiologische Auswertung (2014)



**Abb. 20:** *E. pulcherrima* 'Early Mars'-Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle

### 3.2.4 *Lycopersicon pimpinellifolium* 'Rote Murrel' (LVG Heidelberg 2014)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

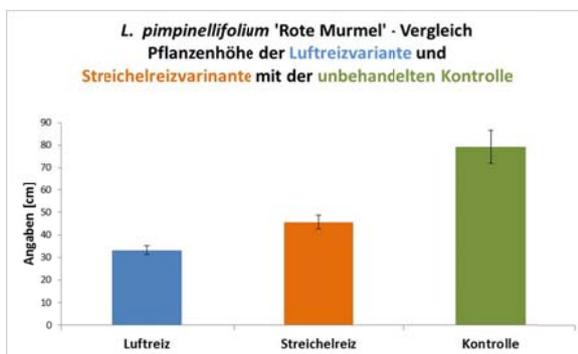
- Varianten: Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.
- Reizbehandlung: KW 21 – KW 29.
- Luftgeschwindigkeiten am Druckluftwagen (Flachstrahldüsen): durchschnittlich 8 m/s über den gesamten Versuchszeitraum.
- Täglich 80 Überfahrten (Beginn 7:00 Uhr morgens, nach 10 Überfahrten 10 Minuten Pause).

Methoden:

- Anfertigung von Diffusatproben für Auxinexportanalysen.
- Bonitur in KW 29: Pflanzenhöhe.

Morphologische Versuchsergebnisse:

- Stark vermindertes Streckungswachstum (ca. 50%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle (43%) bei Streichelreizvariante.
- Dichter und gedrungener Wuchs bei der Luftreizvariante.



**Abb. 21:** *L. pimpinellifolium* 'Rote Murrel'-graphische Auswertung bei End-Bonitur.



**Abb. 22:** *L. pimpinellifolium* 'Rote Murrel'-Vergleich Luftreiz-, Streichelreizvariante und Kontrolle.

### 3.2.5 *Solanum lycopersicum* 'Romello' (LVG Heidelberg 2016)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

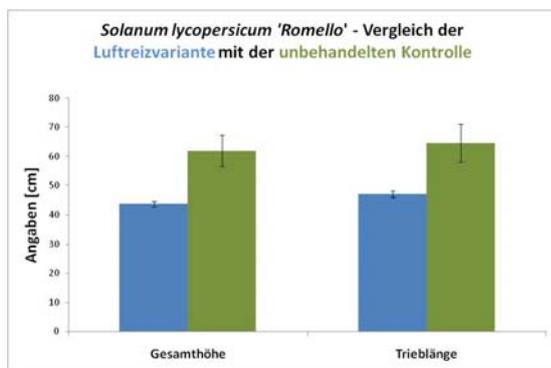
- Varianten: Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.
- Reizbehandlung: KW 5 – KW 13.
- Druckluftwagen Typ Knecht mit zwei Druckluftaggregaten.
- Luftgeschwindigkeiten am Druckluftwagen: Durchschnittlich 14 m/s.
- Täglich 80 Überfahrten (Beginn 8:00 Uhr morgens, nach 10 Überfahrten 10 Minuten Pause).

Methoden:

- Anfertigung von Lyophilisatproben mit flüssigem Stickstoff zur Extraktanalyse auf Auxine und Cytokinine.
- Auswertungen in KW 5 - KW 13: Pflanzenhöhe, Trieblänge, Seitentriebszahl, Dickenwachstum.

Morphologische Versuchsergebnisse:

- Stark vermindertes Streckungswachstum (bis zu 40%, im Durchschnitt 29%) bei luftreizbehandelter Variante im Gegensatz zur Kontrolle.
- Verringerte Trieblänge bei der Luftreizvariante (bis zu 35%, im Durchschnitt ca. 27%)
- Kein signifikanter Unterschrieb bei der Seitentriebszahl.
- Verstärktes Dickenwachstum (ca. 30%) bei der behandelten Variante.
- Dichter, stabiler und gedrungener Wuchs bei der Luftreizvariante.
- Gleichzeitiger Blühbeginn und Fruchtansatz.



**Abb. 23:** *S. lycopersicum* 'Romello'-graphische Auswertung bei End-Bonitur 2016



**Abb. 24:** *S. lycopersicum* 'Romello'-Vergleich Luftreizvariante und Kontrolle

### 3.2.6 *Solanum lycopersicum* 'Romello' (LVG Heidelberg 2017)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Druckluftwagen Typ Knecht mit zwei Druckluftaggregaten.
- Luftgeschwindigkeiten am Druckluftwagen: Durchschnittlich 10 m/s.
- Varianten: Luftreiz mit 4 Behandlungsabstufungen der Reizhäufigkeit (5, 20, 40, 120 Überfahrten Tag<sup>-1</sup>), unbehandelte Kontrolle.
- Reizbehandlung: KW 18 – KW 36.
- Zwei Versuchsdurchläufe mit jeweils 2 zeitlichen Wiederholungen: Durchlauf 1 (5 vs. 20 Überfahrten/Tag); Durchlauf 2 (40 vs. 120 Überfahrten/Tag).

Methoden:

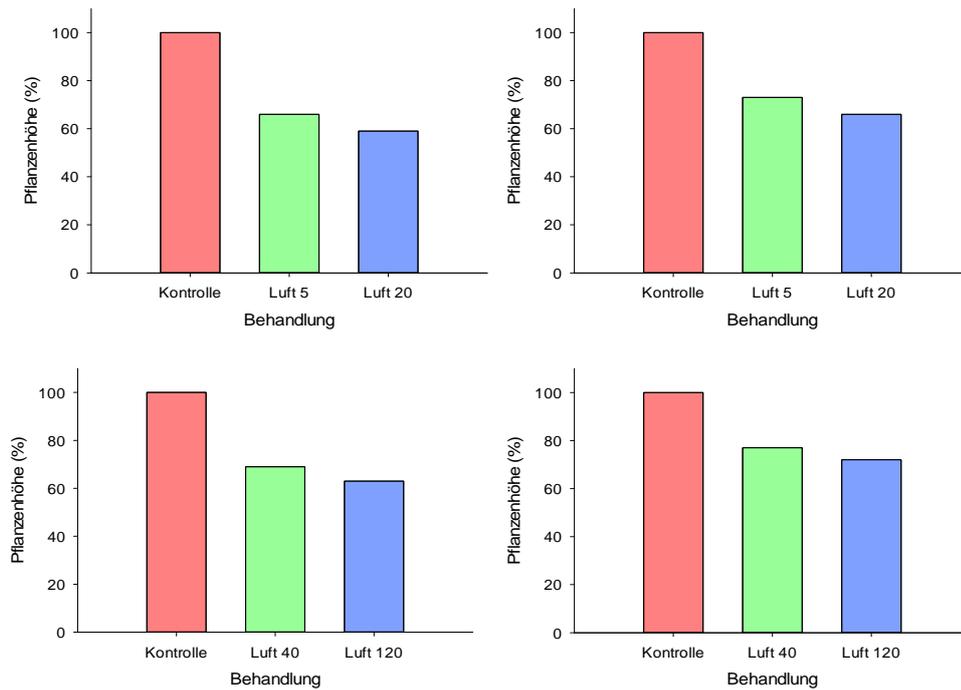
- Messung der Pflanzenhöhe 3-mal wöchentlich für eine Versuchsdauer von jeweilig 3 Wochen an 8 zufällig ausgewählten Pflanzen pro Variante.
- Messung von Luftgeschwindigkeit und Dauer mittels Anemometer direkt nach Einschalten des Druckluftsystems bis konstante Luftgeschwindigkeit an jeweils 5 Luftauslassdüsen erreicht ist.

Morphologische Versuchsergebnisse:

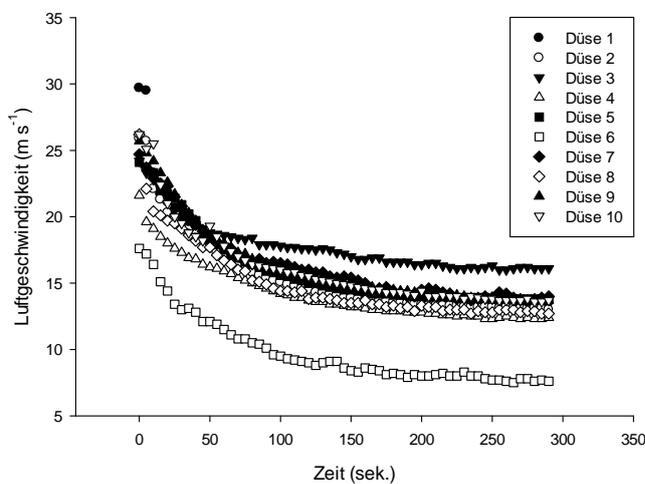
- Vermindertes Streckungswachstum (33 – 41 %) bei luftreizbehandelten Pflanzen (Abbildung 25).
- 120-fache tägliche Reizbehandlung zeigt im Vergleich zur einer 5-fachen Reizbehandlung keine verstärkte Hemmung des Streckungswachstums.
- Insgesamt sehr inhomogenes Gesamtbild des Pflanzenbestandes. Pflanzenreihen direkt unter den Düsen zeigten eine ausgeprägtere Wachstumsdepression im Vergleich zu Pflanzenreihen zwischen zwei Düsen. Dadurch ergab sich ein wellenförmiges Bestandsbild.

Technik Versuchsergebnisse:

- Einheitliche Luftauslassgeschwindigkeit (ca. 14 m/s) an allen Düsen nach ca. 300 s (Abbildung 26).
- Eine gleichmäßige Reizintensität innerhalb des Pflanzenbestandes ist bis zum Aufbau einer konstanten Luftgeschwindigkeit nicht gegeben.



**Abb. 25:** Pflanzenhöhe in Abhängigkeit der täglichen Luftreizhäufigkeit (a, b: 5 vs. 20 Überfahrten/ Tag; c, d: 40 vs. 120 Überfahrten/ Tag) in Prozent.



**Abb. 26:** Dauer bis Luftauslassgeschwindigkeit direkt nach Einschalten des Druckluftsystems an 10 Düsen konstant ist.

### 3.2.7 *Solanum lycopersicum* 'Romello' (Universität Hohenheim 2017)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Druckluftunabhängiges System (Vebotech, Air Knife).
- Varianten: Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.

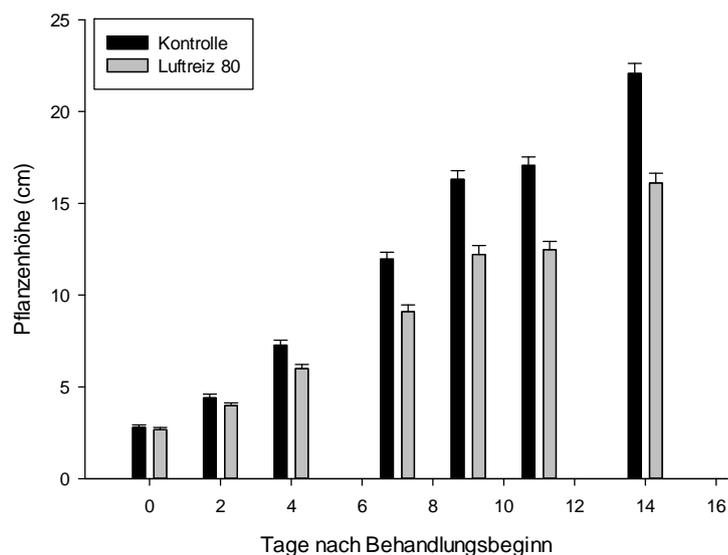
- Reizbehandlung: KW 48 – KW 50.
- Luftgeschwindigkeit an Schlitzöffnung: Stark variabel. Max. 14 m/s.
- Belichtung: 12 h/d mit ca. 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  auf Bestandshöhe ab KW 48.
- Täglich 80 Überfahrten, gestaffelt in jeweils 20 Überfahrten um 8:00 Uhr morgens, 10:00, 12:00 und 14:00 Uhr. Schlitzöffnungsweite der Verteilerschiene max. 5 mm.

#### Methoden:

- Messung der Pflanzenhöhe an 60 Pflanzen 3-mal wöchentlich für eine Versuchsdauer von insgesamt 2 Wochen (30 Luftreizvariante, 30 unbehandelte Kontrolle).
- Systemevaluierung bezüglich Luftauslassgeschwindigkeit und Luftverteilung über eine Schlitzbreite von 1,2 Metern bei unterschiedlichen Schlitzöffnungsweiten (1-5 mm) mittels Anemometer.

#### Morphologische Versuchsergebnisse:

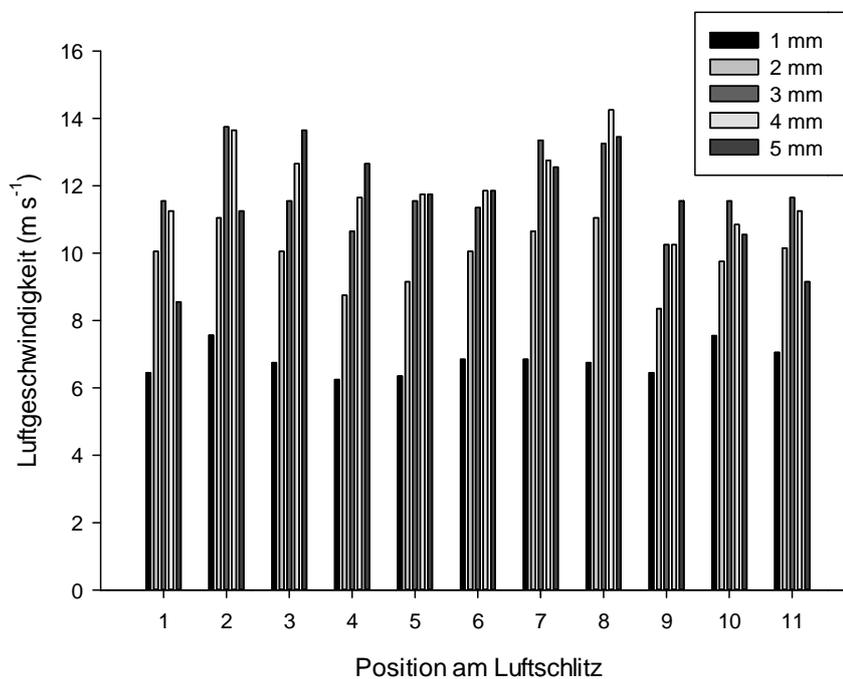
- Vermindert Streckungswachstum mit steigender Ausprägung innerhalb einer 14-tägigen Luftreizbehandlung (Abbildung 27)
- Direkter Zusammenhang zwischen der ausgebrachten maximalen Luftgeschwindigkeit und der daraus Reduktion des Höhenzuwachses der Pflanze.



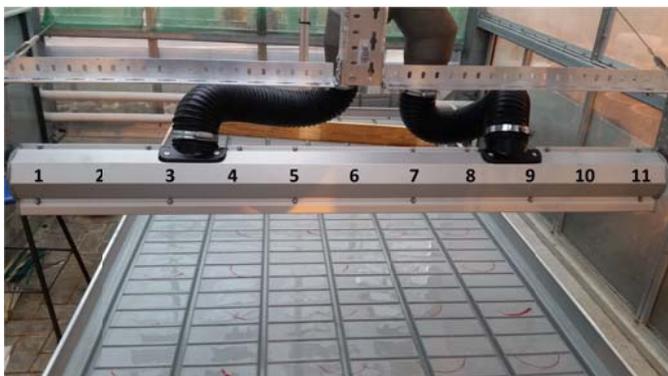
**Abb. 27:** Zunahme der Pflanzenhöhe über einen Zeitraum von 14 Tagen. Unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle) und täglich 80-fach gereizte Pflanzen.

Technische Versuchsergebnisse:

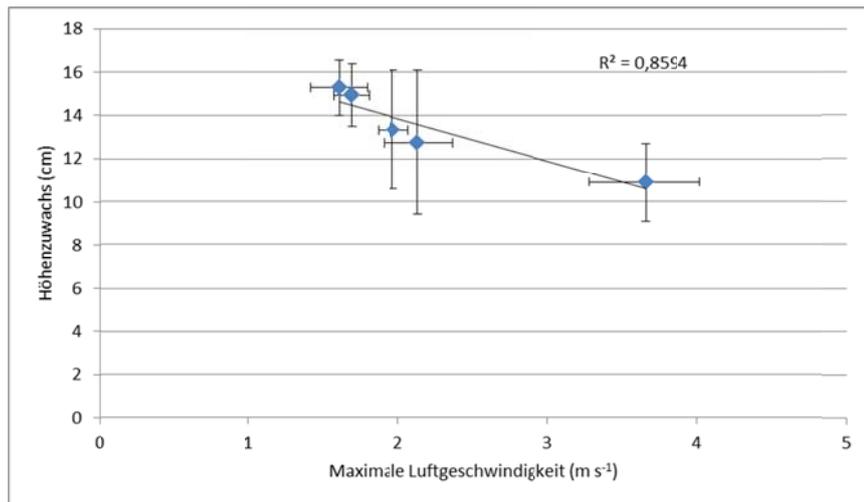
- Je nach Schlitzöffnungsweite (1 – 5 mm) kann die Luftauslassgeschwindigkeit reguliert werden.
- Keine Öffnungsweite gewährleistete eine zufriedenstellende, gleichmäßige Luftverteilung entlang der Behandlungsbreite des Air Knifes (Position 1-11).
- Bei einer Öffnungsweite von 1 und 2 mm ist die Reizintensität unzureichend.
- Bei einer Öffnungsweite von 4 und 5 mm wird eine ausreichende Reizintensität erreicht



**Abb. 28:** Messung der Luftgeschwindigkeit an 11 Positionen entlang der Verteilerschiene bei unterschiedlicher Öffnungsweite des Schlitzes(1-5 mm).



**Abb. 29:** Messpunkte (1-11) entlang der Verteilerschiene.



**Abb. 30** : Lineare Regression zwischen der maximalen Luftgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Reduktion des Höhenzuwachses der Pflanze.

### 3.2.8 *Solanum lycopersicum* 'Romello' (Universität Hohenheim 2018)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Druckluftunabhängiges System (Fa. Raith Maschinenbau).
- Varianten: Luftreiz, unbehandelte Kontrolle.
- Reizbehandlung: KW 8 – KW 13.
- Luftgeschwindigkeit an Röhrenöffnung: 4 m/s
- Belichtung: 12 h/d mit ca. 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  auf Bestandshöhe.
- Täglich 80 Überfahrten, gestaffelt in jeweils 20 Überfahrten um 8:00 Uhr morgens, 10:00, 12:00 und 14:00 Uhr.

Methoden:

- Messung der Pflanzenhöhe an 60 Pflanzen 3-mal wöchentlich für eine Versuchsdauer von insgesamt 2 Wochen (30 Luftreizvariante, 30 unbehandelte Kontrolle)
- Woche 2 Versuchsdurchlauf: Kontinuierliche Messungen des Blattgasaustausches (Fa. Walz Regeltechnik, Model GFS) an 10 zufällig ausgewählten Pflanzen (2 Blätter pro Pflanze) direkt nach letzter Luftreizbehandlung an 6 aufeinanderfolgenden Tagen pro Variante.

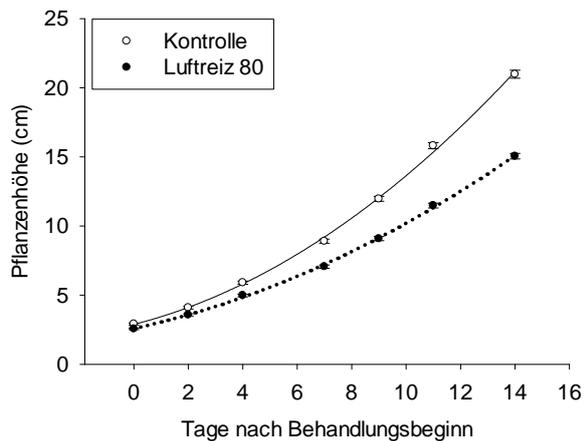
- Versuchende (Endbonitur): Messung Internodienlänge, Internodiendurchmesser, Länge Blattstiele, Nodienanzahl, Blattfläche, Frischmasse-Trockenmasseverteilung (Wurzel, Spross, Blattstiel, Blatt), SPAD an 10 zufällig ausgewählten Pflanzen pro Variante.

#### Morphologische Versuchsergebnisse:

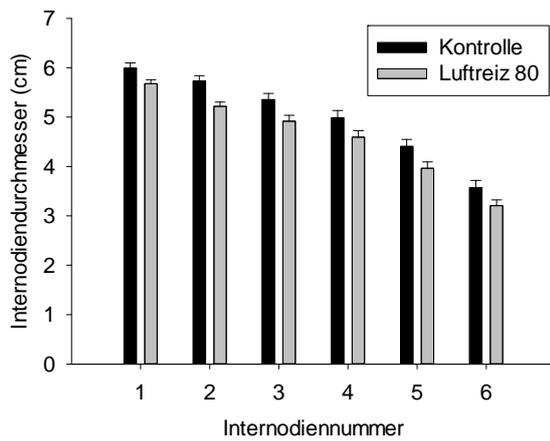
- Vermindertem Streckungswachstum mit steigender Ausprägung innerhalb einer 14-tägigen Luftreizbehandlung (Abbildung 31).
- Abnahme des Internodiendurchmessers der luftreizbehandelten Pflanzen (Abbildung 32).
- Internodien 3, 4, 5, 6 der luftreizbehandelten Pflanzen stark verkürzt (Abbildung 33).
- Seitenachsen 3, 4, 5, 6 der luftreizbehandelten Pflanzen stark verkürzt (Abbildung 35).
- Gesamtblattfläche sowie spezifische Blattfläche der luftreizbehandelten Pflanzen verringert (Abbildung 35, 37).
- Blattdicke der luftreizbehandelten Pflanzen erhöht (Abbildung 36).
- Keine Veränderung der Nodienanzahl zwischen unbehandelten Kontrollpflanzen und luftreizbehandelten Pflanzen (Abbildung 38).
- Reduktion des Frisch- und Trockenmassegewichts in Spross und Blattstiel der luftreizbehandelten Pflanzen (Abbildung 39, 40).
- Prozentuale Biomasseverlagerung von Spross zu Wurzel der luftreizbehandelten Pflanzen (Abbildung 41).
- Zunahme der Grünintensität (SPAD) an jüngeren, frisch entwickelten Blättern luftreizbehandelter Pflanzen (Blatt 5, 6, 7) (Abbildung 42).

#### Physiologische Versuchsergebnisse:

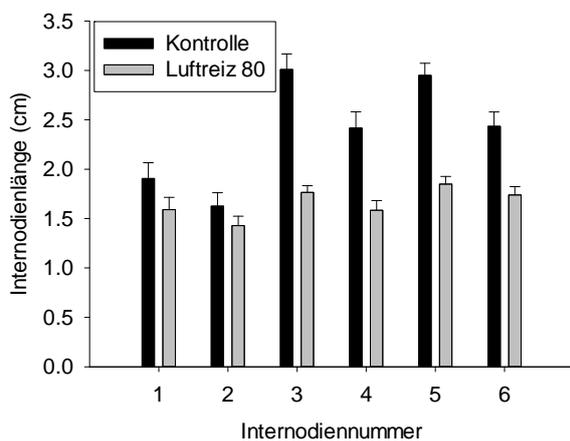
- Luftreizbehandelte Pflanzen zeigen erhöhte Transpirations- und CO<sub>2</sub> Assimilationsraten (Abbildung 43, 44) sowie eine höhere stomatäre Leitfähigkeit (Abbildung 45) und blattinterne CO<sub>2</sub> Konzentration (Abbildung 46) gegenüber unbehandelten Kontrollpflanzen.



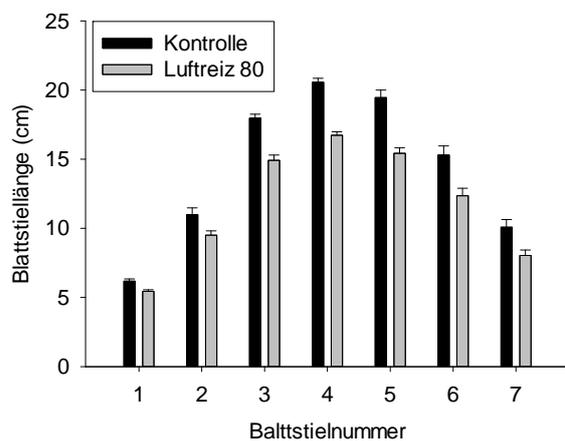
**Abb. 31:** Zunahme der Pflanzenhöhe über einen Zeitraum von 14 Tagen luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelter Kontrollpflanzen (Kontrolle).



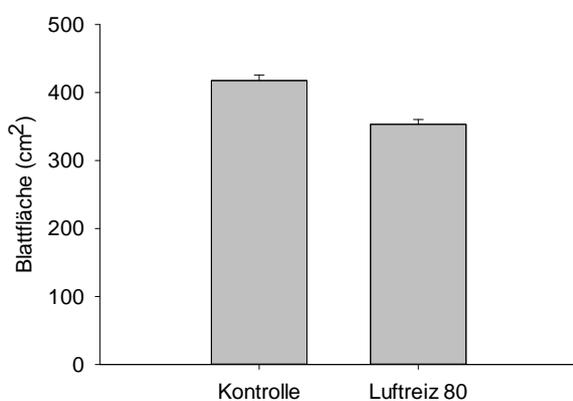
**Abb. 32:** Durchmesser des 1 - 6 Internodiums nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



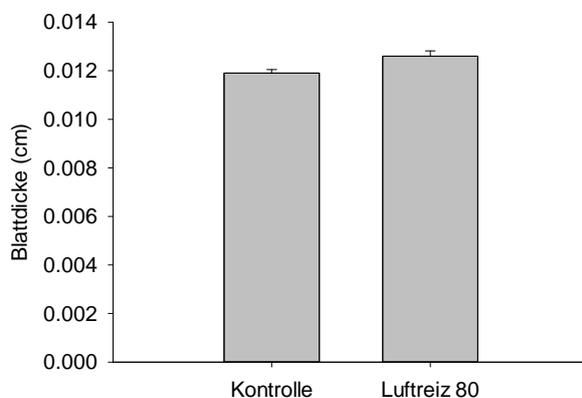
**Abb. 33:** Internodienlänge des 1 – 6 Internodiums nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



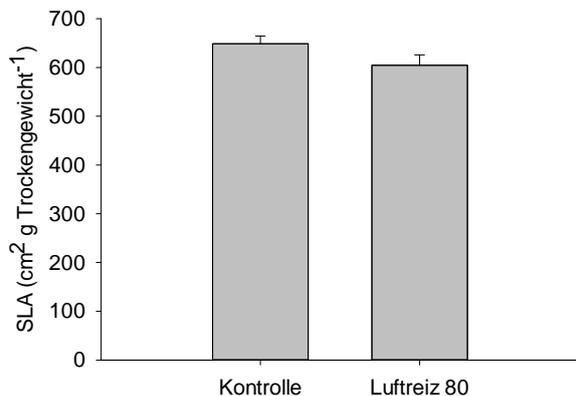
**Abb. 34:** Blattstielänge des 1 – 7 Blattstiels nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



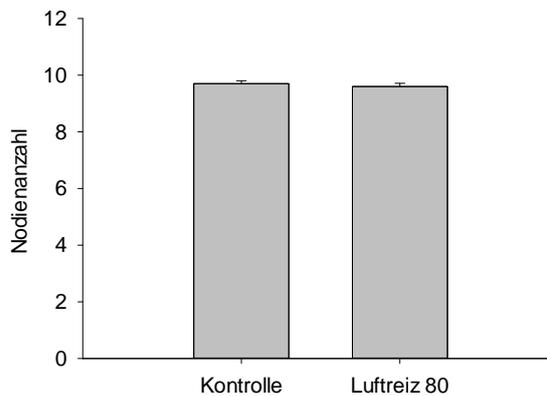
**Abb. 35:** Blattfläche nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



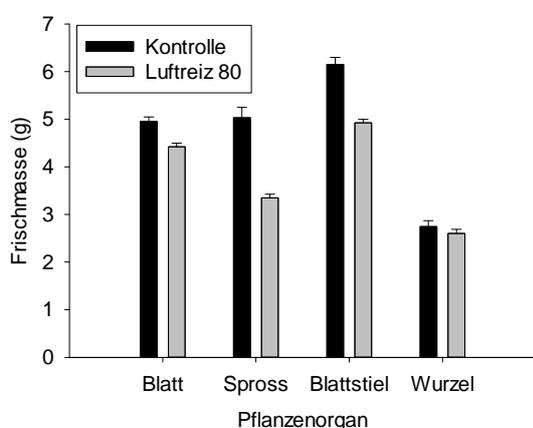
**Abb. 36:** Blattdicke nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



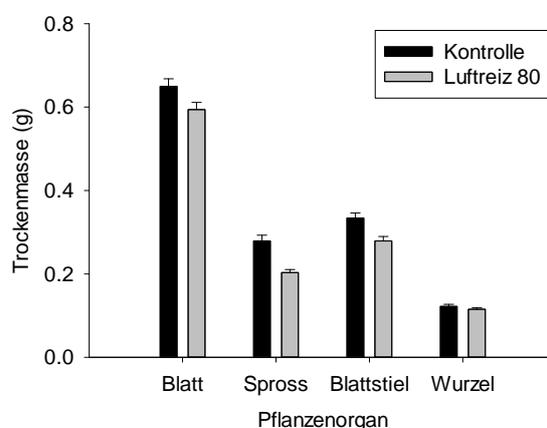
**Abb. 37:** Spezifische Blattfläche nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



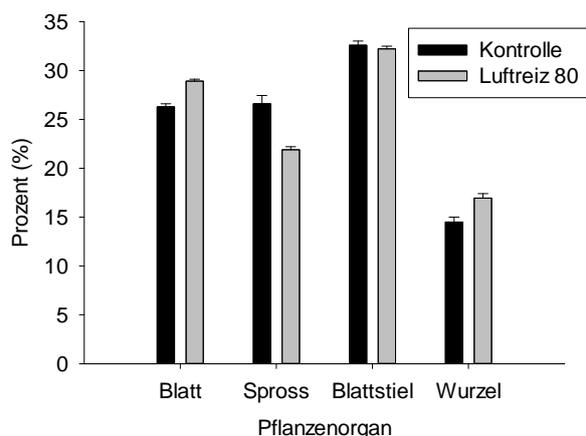
**Abb. 38:** Nodienanzahl nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



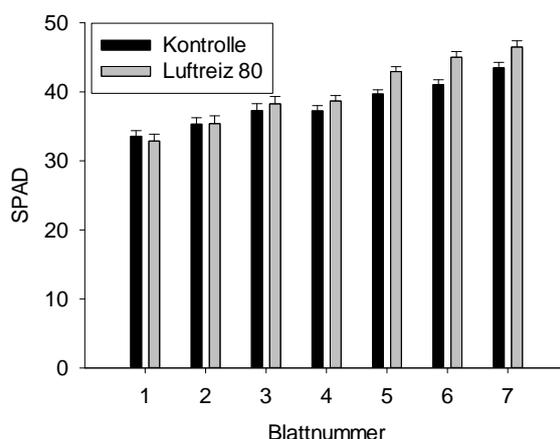
**Abb. 39:** Frischmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



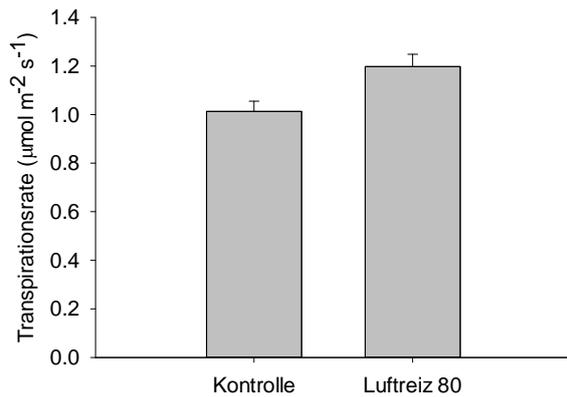
**Abb. 40:** Trockenmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



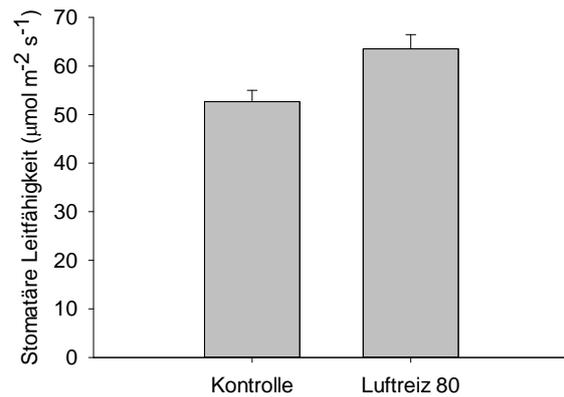
**Abb. 41:** Prozentuale Frischmasseverteilung nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



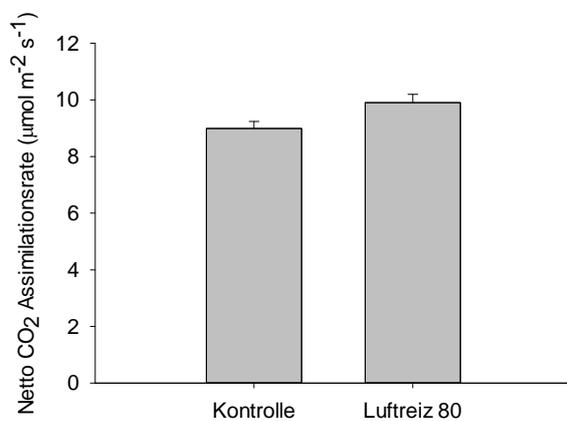
**Abb. 42:** SPAD-Werte von Seitenachse 1 - 7 nach 14-tägiger Luftreizbehandlung (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



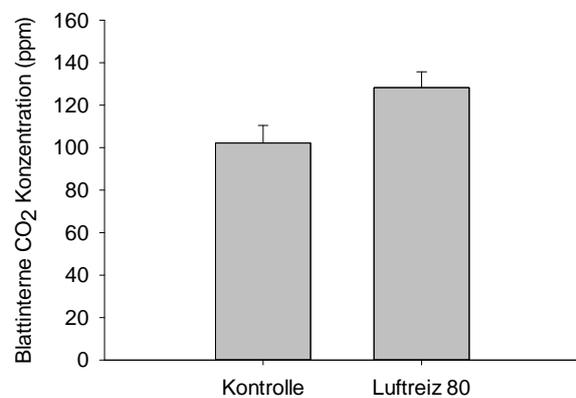
**Abb. 43:** Transpirationsraten luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)



**Abb. 44:** Stomatäre Leitfähigkeit luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle)



**Abb. 45:** Netto CO<sub>2</sub> – Assimilationsraten luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).



**Abb. 46:** Blattinterne CO<sub>2</sub> Konzentration luftreizbehandelter Pflanzen (Luftreiz 80) und unbehandelten Kontrollpflanzen (Kontrolle).

### 3.2.9 *Solanum lycopersicum* 'Romello' (Universität 2018/2019)

Wichtigste Kulturdaten und technische Einstellungen:

- Druckluftunabhängiges System (Fa. Raith Maschinenbau).
- Varianten: Luftreiz Behandlungsabstufung (8, 24, 40, 56, 72 Überfahrten pro Tag), unbehandelte Kontrolle in zwei Wiederholungen.
- Reizbehandlung: KW 45 (2018) – KW 7 (2019)
- Luftgeschwindigkeit an Röhrenöffnung: 4 m/s
- Belichtung: 12 h/d mit ca. 300 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> auf Bestandshöhe
- Jeweilige Überfahrtenanzahl um 8:00; 8:45; 10:00; 10:45; 12:00; 12:45; 14:00; 14:45 Uhr.

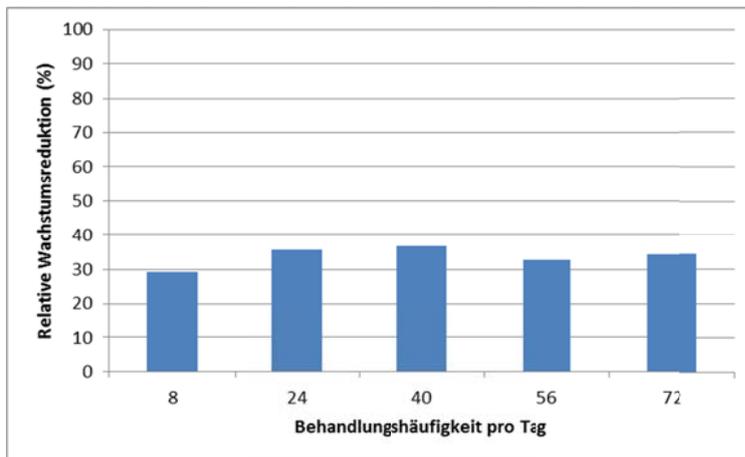
#### Methoden:

- Messung der Pflanzenhöhe an 60 Pflanzen 3-mal wöchentlich für eine Versuchsdauer von insgesamt 2 Wochen (30 Luftreizvariante, 30 unbehandelte Kontrolle)
- Versuchende (Endbonitur nach 14 tägiger Luftreizbehandlung): Messung Internodienlänge, Internodiendurchmesser, Länge der Seitenachsen, Blattfläche, Blattdicke, Trockenmasseverteilung (Wurzel, Spross, Blattstiel, Blatt), SPAD, Chlorophyllkonzentration an 10 zufällig ausgewählten Pflanzen der Varianten 8 und 40 Überfahrten pro Tag.
- Nach 2 wöchiger Luftreizbehandlung Messung des Blattgasaustausches (Fa. Walz Regeltechnik, Model GFS) an 10 zufällig ausgewählten Pflanzen ( Spitzblatt der dritten Seitenachse) direkt nach letzter Luftreizbehandlung. Hierbei wurden Messungen an den Varianten 8 und 40 Überfahrten pro Tag vorgenommen.

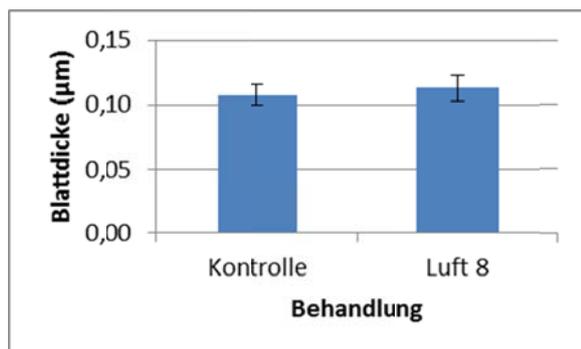
#### Morphologische Versuchsergebnisse:

- Eine Hochstufung der Reizhäufigkeit von 8 auf 72 Überfahrten pro Tag zeigt ab 24 Überfahrten keine wesentliche Steigerung der Wachstumsreduktion (Abbildung 47).
- Internodien 1, 2 und 3 sind bei der Variante Luft 8 stark verkürzt. Die Internodien 3, 4, und 5 hingegen bei der Variante Luft.
- Pflanzen der Variante Luft 4 und Luft 40 zeigen eine Reduktion des Internodiendurchmesser 1 – 6.
- Die Seitenachsen 2, 3, 4 und 5 der Variante Luft 8 und Luft 40 sind stark verkürzt.
- Variante Luft 8 und Luft 40 zeigen Tendenzen einer erhöhten Blattdicke (Abbildung 48, 49)
- Varianten Luft 8 und Variante Luft 40 zeigen eine relative Zunahme der Blattmasse und eine relative Abnahme der Sprossmasse. Tendenzen einer erhöhten Wurzelmassebildung sind ersichtlich.
- Das Wurzel:Spross Verhältnis der Variante Luft 8 und Luft 40 ist erhöht.
- Die gesamte Blattfläche der Variante Luft 8 und Luft 40 ist reduziert (Abbildung 50, 51).
- Tendenzen einer erhöhten relativen Grünintensität der Spitzblätter 1-6 der Variante Luft 8 und Luft 40 sind ersichtlich (Abbildung 52, 53).
- Tendenzen erhöhter Transpirationsraten der Variante Luft 8 und Luft 40 sind ersichtlich (Abbildung 54, 55).
- Die Netto CO<sub>2</sub>- Assimilationsraten der Varianten Luft 8 und Luft 40 sind erhöht (Abbildung 56, 57).

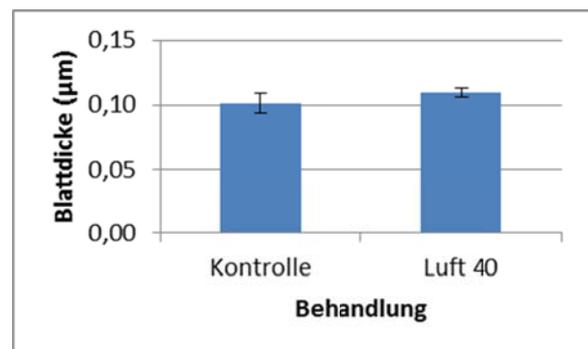
- Eine lineare Regressionsanalyse zwischen der relativen Grünintensität und der Chlorophyll Konzentration ergibt ein R-Quadrat von 0.82 und deutet auf einen signifikanten Zusammenhang dieser beider Parameter hin (Abbildung 58). Unter Zuhilfenahme der Regressionsgeraden kann über die Gesamte Pflanze hinweg (Spitzblatt 1-6) die Chlorophyllverteilung angenähert werden.



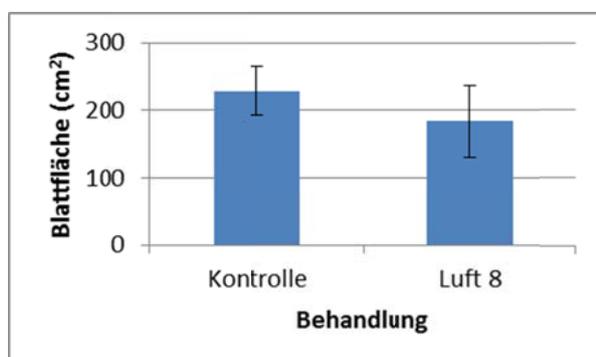
**Abb. 47:** Relative Wachstumsreduktion unter einer Abstufung der täglichen Behandlungshäufigkeit des Luftreizes.



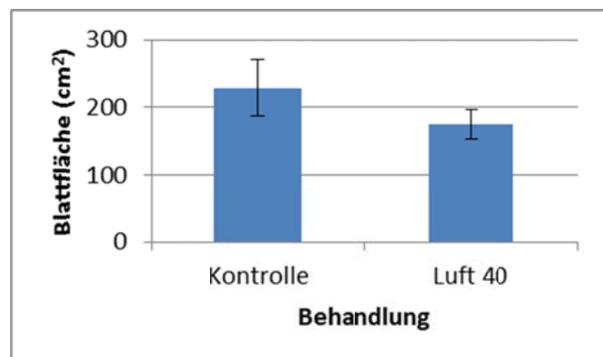
**Abb. 48:** Blattdicke nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag



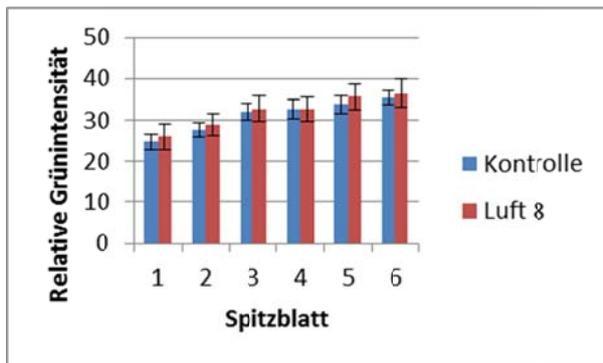
**Abb. 49:** Blattdicke nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag



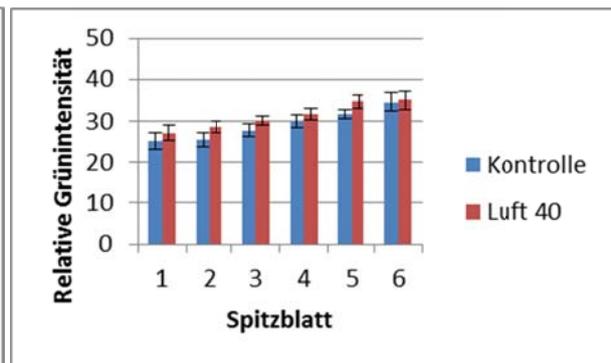
**Abb. 50:** Gesamte Blattfläche nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag.



**Abb. 51:** Gesamte Blattfläche nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag.



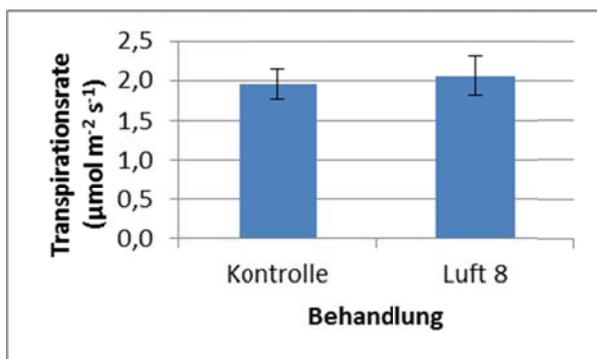
**Abb. 52:** Relative Grünintensität nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag.



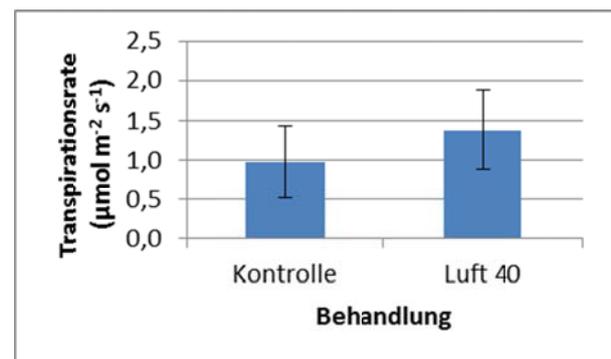
**Abb. 53:** Relative Grünintensität nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag.

Physiologische Versuchsergebnisse:

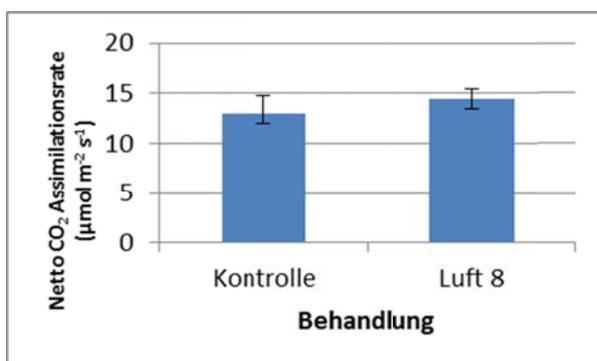
- Luftreizbehandelte Pflanzen zeigen erhöhte Transpirationsraten (Abbildung 53, 54) sowie erhöhte netto CO<sub>2</sub> Assimilationsraten (Abbildung 55, 56).



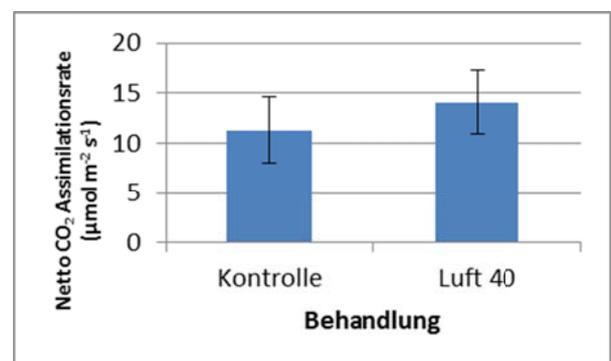
**Abb. 54:** Transpirationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag



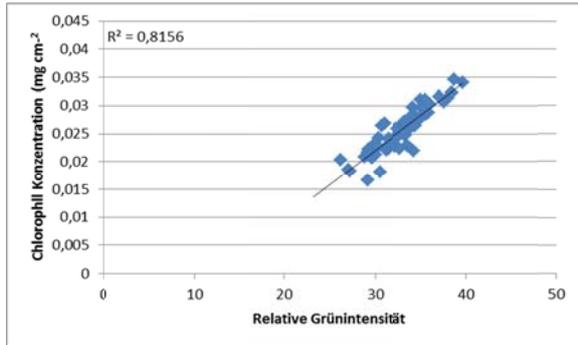
**Abb. 55:** Transpirationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag



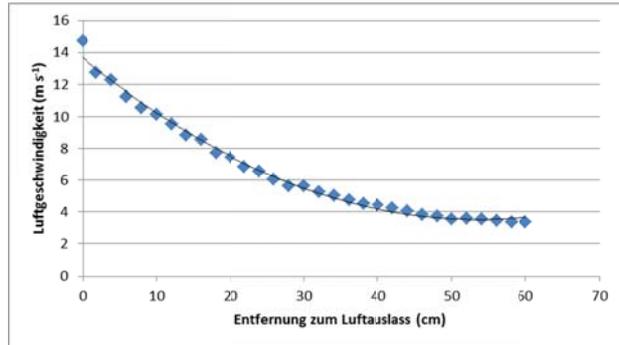
**Abb. 56:** Netto CO<sub>2</sub>-Assimilationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 8 Überfahrten pro Tag



**Abb. 57:** Netto CO<sub>2</sub>-Assimilationsraten nach einer 14-tägigen Luftreizbehandlung mit 40 Überfahrten pro Tag



**Abb. 58:** Lineare Regressionsanalyse zwischen der relativen Grünintensität und der Chlorophyll Konzentration



**Abb. 59:** Luftauslassgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung zur Auslassröhre.

Technische Versuchsergebnisse:

- Mit zunehmender Entfernung zum Luftauslass nimmt die Luftgeschwindigkeit stetig ab, bis sie sich bei ca. 50 cm Entfernung auf einem konstanten Niveau einpendelt (Abbildung 59).

### 3.3 Diskussion

Die morphologischen Reaktionen der Tomate auf den Luftreiz zeigten, dass nicht nur wie erwartet das Streckungswachstum des Haupttriebs reduziert, sondern auch das Wachstum der Blätter und die Länge der Seitenachsen eine Wachstumsreduktion erfahren. Der dadurch erzielte stabile und kompakte Wuchs stellt eine Qualitätsverbesserung dar.

Die Erhöhung des Wurzel:Spross Verhältnisses der luftreizbehandelten Tomaten deutet auf eine Biomasseverlagerung in Richtung Wurzel hin. Dies kann durchaus ebenfalls als eine qualitätsverbessernde Eigenschaft gewertet werden.

Als zusätzlich Reaktion der Tomate zeigte sich durch eine rechnerische Annäherung, die Zunahme der Blattdicke, bzw. des Flächen/Volumen Verhältnisses. Diese steht möglicherweise im Zusammenhang mit einer erhöhten Chlorophyll Konzentration/relativen Grünintensität der Blätter.

Der zugrundeliegende Mechanismus der erhöhten netto  $\text{CO}_2$  Assimilationsraten der luftreizbehandelten Tomaten konnte nicht vollständig geklärt werden. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass erhöhte Stickstoff- und Chlorophyll Konzentrationen dafür verantwortlich sind. Unter Zuhilfenahme des linearen Zusammenhang ( $R$  Quadrat = 0.8) zwischen der

relativen Grünintensität und der Chlorophyll Konzentration, konnte die Verteilung der Chlorophyll Konzentration entlang der Pflanze (Spitzblatt 1-6) dargelegt werden. Die Tendenz erhöhter Chlorophyll Konzentrationen luftreizbehandelter Tomaten Pflanzen konnte hierdurch aufgezeigt werden.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass der Schellenwert zur Erreichung der maximalen Wachstumsreduktion in Hinblick auf die tägliche Reizhäufigkeit bereits bei ca. 8 Überfahrten pro Tag erreicht ist. Wurden die Behandlungen gesteigert, konnte das Streckungswachstum bis zu einer Anzahl von 24 Fahrten um weitere 5 % reduziert werden, darüber hinausgehende Reizhäufigkeiten erzielten keinen zusätzlichen Effekt. Jedoch konnte dieser Zusammenhang nur an Versuchen mit Tomate gezeigt werden.

Außerdem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der ausgebrachten Luftgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Wachstumsreduktion. Die in den Tomatenversuchen maximal erreichte Luftgeschwindigkeit lag bei ca. 4 m/s. Pflanzen die diese Luftgeschwindigkeit erfuhren zeigten die stärkste Wachstumsregulierung. Ob Luftgeschwindigkeiten darüber hinaus zu einer verstärkten Wachstumsreduktion führen, konnte im Rahmen dieser Versuchsanordnung nicht geklärt werden. Um einen Wachstumsreduktion an Kulturen mit geringerer Sensitivität bzw. geringerer Beweglichkeit gegenüber einer luftbasierten mechanischen Reizung zu erzielen, sind höhere Luftgeschwindigkeiten notwendig. Als Folge dessen kann eine ausreichende Bewegung/Biegung des Haupttriebes gewährleistet werden.

## **4. Implementierung in die Praxis (LVG Heidelberg)**

### **4.1 Leitbetrieb Achim und Stefan Fleischle in Vaihingen an der Enz**

Fleischle Gartenbau GbR produziert auf einer Fläche von 14.000 m<sup>2</sup> Hochglas Jungpflanzen und Fertigware für den Absatz über Landgard, Großhändler und Gartencenterketten. Ein Schwerpunkt der Produktion sind Futterpflanzen im Topf für Kleintiere, die unter der Marke "PetSnack" mittlerweile 25 verschiedene Artikel umfasst. Hauptkulturen in den Zierpflanzen sind *Campanula*, *Streptocarpus* und *Crassula*, zunehmend werden jedoch auch verschiedene Arten von Naschgemüse im Topf produziert. Im angegliederten Substratwerk werden Substrate für den Produktions- und Dienstleistungsgartenbau produziert und das eigene Vermehrungssystem "LogiPot" hergestellt.

Ziel des Betriebes war es in 2016 die Biozertifizierung zu erhalten, insbesondere für die Produktion des PetSnacks Programmes und Jungpflanzen, auf weitere Sicht auch für die Produktion von Zierpflanzen. Als wesentliche Kriterien für einen Umstieg wurden die Wuchskontrolle und die Düngung definiert, weshalb der Betrieb auch am Biozierpflanzenprojekt (Frankenberg et al. 2017) teilnahm. Während aufgrund der relativ kurzen Kulturdauer der PetSnack- und Jungpflanzenkulturen die Nährstoffversorgung problemlos zu regeln war, stellte und stellt die Wachstumskontrolle ein wesentliches Entscheidungskriterium für die Umstellung zur Bioproduktion dar.

Momentan sind im Betrieb zwei Flächen mit jeweils 1.500 m<sup>2</sup> nach EU Bio-Richtlinien zertifiziert und das gesamte PetSnack Sortiment, mit Schwerpunkt *Callisia* wird aus Bioproduktion vermarktet. Der Betrieb plant die Umstellung weiterer Flächen, auch die Produktion von *Campanula* soll biokonform aufgebaut werden.

## **4.2 Druckluftwagen Typ Knecht**

### **4.2.1 Material und Methoden**

#### **Technische Details**

Als Trägersystem wurde ein Hängegießwagen TPY SK mit Schleppkette installiert, mit einer Gießbalkenbreite von 13,00 m und einer Fahrstrecke von 60,00 m (Abbildung 60). Die Fahrgeschwindigkeit ist regelbar von 1,5 m/min bis 18 m/min. Eine beidseitige Abspannung mit Schiebegewichten zum Austarieren des Balkens war notwendig, ebenso eine zusätzliche Führungsschiene (Abbildung 61). Über ein Steckbolzensystem ist eine manuelle Höhenverstellung möglich. Über Magnete können Behandlungssektionen definiert werden.

Die Luftausbringung wurde durch spezielle Luftdüsen mit jeweils 13 Auslässen realisiert (siehe Kapitel 3.4). Um die gesamte Tischlänge von 13 m abzudecken wurden zwei Düsenrohre vorgesehen, welche einzeln über ein Magnetventil gesteuert werden können. 18 Düsenpunkte wurden gesetzt. Der Ausbringwinkel ist durch Drehen des PVC Düsenrohrs veränderbar. Der Druck kann zwischen 0,5 und 10 bar geregelt werden. Die Druckluft wird vom betriebseigenen Kompressor bereitgestellt, der u.a. auch für die Produktion der LogiPots eingesetzt wird. Die Steuerung des Wagens erfolgt mit der modifizierten Gießwagensteuerung GW2-S38, die um das Medium "Luft" erweitert wurde (Abbildung 63.)



**Abb. 60:** Druckluftwagen 2015 im Betrieb Fleischle. Luftdüsen sind nur hälftig eingedreht, um im Praxisversuch eine Kontrollvariante sicherzustellen.



**Abb. 61:** An der Stellwand wurde nachträglich eine Führungsschiene zur Stabilisierung des Druckluftgestänges installiert.

## Versuchsaufbau und -durchführung

Ab Woche 4/2015 bis Woche 50/2015 wurden insgesamt 7 Sätze *Callisia repens* versuchstechnisch begleitet, 5 davon konnten ausgewertet werden (Abbildung 64). Die Kulturführung wurde durch den Betrieb vorgegeben.

Das Einstreuen von *Callisia* Teilstücken erfolgte mit ca. 15 g / 11 cm Topf auf ein betriebseigenes Torf-Ton Substrat mit einem pH von 5,8 – 6,2. Der Heizungswert wurde auf 18 °C (Tag/Nacht), der Lüftungswert auf 22 °C (Tag/Nacht) eingestellt. Schattiert wurde ab einer Einstrahlung von 50 klux. Die Bewässerung erfolgte mit einem Handgießgerät, gedüngt wurde mit Biovin. Als Pflanzenschutzmittel standen NeemAzal und Prestop sowie der Bodenhilfsstoff RhizoVital zur Verfügung.

Kurz nach dem Einschalten der Druckanlage wurde ein Betriebsdruck von bis zu 4,5 bar erreicht, der sich nach wenigen Metern auf 2,5 – 3 bar einpendelte. Damit waren durchschnittliche Luftgeschwindigkeiten zwischen 6 und 8 m/s auf Pflanzenhöhe zu realisieren (Abbildung 62).

Täglich führte der Wagen 40 Fahrten (vor und zurück) aus. Auf der Hinfahrt wurde die eine Tischhälfte behandelt, auf der Rückfahrt die zweite Hälfte. Damit erhielten die Pflanzen jeweils max. 40 Luftimpulse pro Tag. Die Überfahrten starteten um 7 bzw. 8 Uhr, innerhalb

von 15 Minuten konnten 10 Fahrten durchgeführt werden. Zwischen den Überfahrten lag jeweils eine Pause von 15 Minuten (Abbildung 63.)

Ausgewertet wurden wöchentlich die Gesamthöhe (längster aufrechtstehender Trieb) und fünf Triebhöhen pro Topf (ab Substratoberfläche). Die Endauswertung fand bei Verkaufsreife der Pflanzen statt, in der Regel bei einer Triebhöhe / Pflanzenhöhe von ca. 15 cm. Die Kulturdauer betrug zwischen 4 und 7 Wochen.



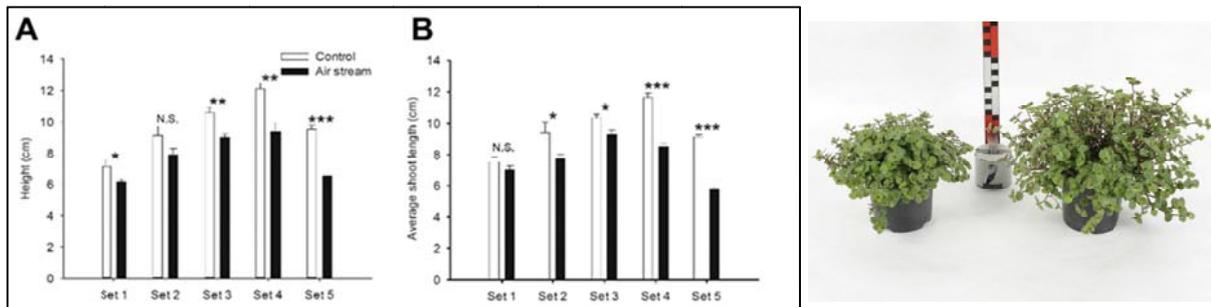
**Abb. 62:** Mit einem Betriebsdruck von 2,5 - 3 bar konnten Luftgeschwindigkeiten von 6 - 8 m/s für die Reizbehandlung realisiert werden.



**Abb. 63:** Die Gießwagensteuerung wurde um ein Luftmodul erweitert. Pro Start werden mit der gezeigten Einstellung 10 Fahrten (hin und zurück) bei einer Geschwindigkeit von 10 m/min durchgeführt.

## 4.2.2 Ergebnisse

In allen 5 Sätzen reagierten die Pflanzen auf den Luftreiz mit einem verminderten Längenwachstum und zeigten einen kompakteren Wuchs, wenn sich auch in Satz 1 die Pflanzenhöhen und in Satz 2 die Triebhöhe nicht signifikant unterschieden. Die Unterschiede im Höhenzuwachs variierten je nach Satz. Bei den Sätzen 4 und 5, die mit den Topfwochen 42 bzw. 47 in der lichtarmen Jahreszeit kultiviert wurden, fiel der Unterschied größer aus als bei den Sätzen 1 bis 3 mit den Topfwochen 11, 23 und 29 (Abbildung 64.). Die Stielstärke bzw. Stabilität der Pflanzen wurden messtechnisch nicht erfasst, beim Umdrehen der Töpfe zeigten jedoch die luftbehandelten Pflanzen durch die sichtbar kürzeren Internodien einen stabilen Aufbau (Abbildung 65). Schäden an den Pflanzen traten durch die Luftreizbehandlung nicht auf.



**Abb. 64:** Wachstumsparameter von *Callisia repens* über 5 Sätze im Jahr 2015 (links). Die luftreizbehandelten Pflanzen (linke Pflanze) zeigten einen kompakten Wuchs (rechts).

#### 4.2.3 Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 4 sind die Betriebskosten für das Druckluftverfahren auf Basis betrieblicher Angaben zusammengestellt. Durch die höhere Anzahl von Betriebsstunden sind für die Kompressoren nun zwei Wartungen im Jahr notwendig. Die Kosten einer Wartung wurden deshalb der *Callisia* Kultur zugeschlagen. Die jährlichen Stromkosten wurden bei einem täglichen Einsatz von 2,5 Stunden auf 1.960 Euro kalkuliert. Damit ergeben sich im laufenden Betrieb zusätzliche Kosten pro Topf von 3,4 Cent.

**Tab. 4:** Kalkulation Betriebskosten Druckluftverfahren am Beispiel *Callisia repens* im Praxisbetrieb

Stromkosten Kompressoren* <sup>1</sup> (brutto)	1.960 €
Wartungskosten Kompressoren* <sup>2</sup> (brutto)	780 €
Stromkosten Antrieb * <sup>3</sup>	120 €
	2.860 €
Anzahl Tische * <sup>2</sup>	8
Tischfläche (m <sup>2</sup> )	26
Pflanzen / m <sup>2</sup>	40
Anzahl Sätze pro Jahr	10
Anzahl Pflanzen (Töpfe) pro Jahr	83200
<b>Kosten pro Topf</b>	<b>0,034 €</b>
* <sup>1</sup> 365 Tage bei einem Einsatz von 2,5 Stunden/Tag und 0,19 €/KWh (netto)	
* <sup>2</sup> Bei einer Tischbreite von 2 m und einer Wagengeschwindigkeit von 10 m/min, inkl. Zuschlag für Wegefläche und Zeitverzögerung beim Umschalten	
* <sup>3</sup> Leistungsaufnahme Antrieb von 0,57 kW	

Die Gesamtkosten für die Neuanschaffung des Druckluftsystems beliefen sich mit der Neuentwicklung der Luftdüsen, der zusätzlichen Stabilisierung, Erweiterung der Steuerung, Anschlussleistungen an das betriebseigenen Druckluftsystem, Montage und Elektrik auf rund 25.000 Euro. Damit liegen die Anschaffungskosten bei einer Einsatzfläche (Bruttofläche) von 750 m<sup>2</sup> bei 33 Euro/ m<sup>2</sup>. Nicht beinhaltet sind in dieser Kalkulation die Kosten für die Anschaffung von Kompressoren für die Bereitstellung ölfreier Druckluft, welche Voraussetzung für den Einsatz bei der Produktion von Nahrungsmitteln ist.

#### 4.2.4 Diskussion

Durch Einsatz des druckluftbasierten Reizverfahrens konnten *Callisia* in der vom Betrieb Fleischle gewünschten kompakten Qualität produziert werden. Die Triebe zeigten sich in der Luftreizvariante bruchfester, ein Merkmal das insbesondere in der Vermarktung erwünscht ist, da brechende Stiele am POS vom Kunden mit schlechter Qualität gleichgesetzt werden.

Begrenzende Faktoren für einen weiteren flächendeckenden Einsatz sind jedoch die Betriebskosten und die Verfügbarkeit der Druckluft, die für weitere betriebliche Anwendungen (siehe oben) eingesetzt wird. Da der Luftwagen zuverlässig und störungsfrei arbeitete, wurden die Anwendungen in die frühen Morgenstunden verschoben, um die Konkurrenzsituation zu entspannen. Allerdings ist eine Sichtkontrolle der Fahrten dadurch nicht mehr möglich. Das System sieht keine Fahrtaufzeichnungen vor.



**Abb. 65:** Die Messungen wurden wöchentlich durchgeführt (links). Die luftbehandelten Pflanzen (Woche 27/2015) zeigten einen stabileren Wuchs (Mitte, Kontrolle Pflanze links) und damit eine bessere Verkaufsqualität (rechts).

Die Kosten für die Bereitstellung der Druckluft inkl. der Stromkosten für den Antrieb des Wagens belasten einen PetSnack Topf mit 3,4 Cent und liegen damit im Kostenbereich eines Kulturtopfes. Während durch die Umverpackung (Abbildung 65 rechts ) am POS ein zusätzlicher Kaufanreiz geschaffen und damit ein höherer Umsatz generiert wird, werden die

Bioproduktion und die sich daraus ergebende stabile Qualität der *Callisia* nicht honoriert sondern als gegeben vorausgesetzt.

Damit stellt sich für den Betrieb in erster Linie die Kostenfrage. Sowohl die Betriebskosten als auch die stärkere Abnutzung der Kompressoren und damit die Notwendigkeit einer schnelleren Ersatzinvestition sprechen gegen eine flächendeckende Einführung dieses druckluftabhängigen Verfahrens. Auch die Triple Funktion des Trägersystems, neben der Luftausbringung können auch Düsen für die eigentliche Gießfunktion sowie Lichtaggregate installiert und gesteuert werden, gleichen die finanziellen Aufwendungen für Anschaffung, Instandhaltung und Betrieb nicht aus.

Aus diesem Grund wurden weitere, druckluftunabhängige Systeme auf ihre Praxistauglichkeit überprüft. Dabei wurde insbesondere Wert auf die Verwendung von Luftaggregaten gelegt, die einen kostengünstigen Betriebszustand erlauben.

### **4.3 Druckluftunabhängiges Axialgebläse mit Heylo Ventilatoren**

#### **4.3.1 Material und Methoden**

##### **Technische Details**

Als Trägersystem wurde ebenfalls ein Hängegießwagen TPY SK mit Schleppkette installiert, die Gießbalkenbreite beträgt 14 m, die Fahrstrecke 50 m. Die Fahrgeschwindigkeit ist regelbar von 1,5 m/min bis 18 m/min. Eine Führungsschiene an der Trennwand der Gewächshauseinheit stabilisiert den Wagen, über Magnete können Behandlungssektionen definiert werden.

Die Luftausbringung wird durch zwei Hochleistungsgebläse (Axialventilatoren) Typ Heylo PV 1500 realisiert, jeweils mit einem Volumenstrom von 128 m<sup>3</sup>/h (Abbildung 66). Montiert sind die Gebläse mittig auf den Auslegern, jeweils auf einer verstellbaren Platte. Der Antrieb erfolgt durch einen Belimo Drehmotor. Die Grundplatten sind in einem Winkel von ca. 40 ° in Fahrtrichtung gekippt, um eine Luftbehandlung der gesamten Tischfläche zu gewährleisten. Der Drehwinkel beträgt ca. 120 °. Der Abstand zwischen Tisch und Gebläsemitte liegt bei ca. 1 m, der Wagen ist nicht höhenverstellbar. Die Steuerung des Wagens erfolgt mit der modifizierten Gießwagensteuerung GW2-S38, die um das Medium "Luft" erweitert wurde.



**Abb. 66:** Axialluftverfahren Typ Heylo im Betrieb Fleischle, Vaihingen/Enz (2018).

## Versuchsaufbau und -durchführung

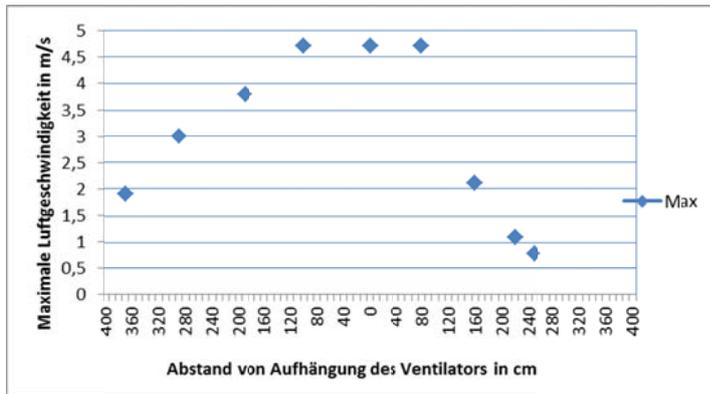
Ab Woche 40/2018 bis Woche 11/2019 wurden *Stellaria* mit einem Satz und *Solanum* 'Romello' mit insgesamt zwei Sätzen versuchstechnisch begleitet und ausgewertet. Die Kulturführung wurde durch den Betrieb vorgegeben. *Stellaria* wurden als getopfte Ware direkt aus dem Betrieb als Versuchspflanzen verwendet, *Solanum* wurden satzweise in Kw 44 / Kw 7 an der LVG ausgesät und in Kw 47 / Kw 7 vor Ort in einen 13 cm Topf getopft und über Matte bewässert. Die Kultur erfolgte bei einem Heizungssollwert von 15 °C (Tag/Nacht) und einem Lüftungssollwert von 28 °C (Tag/Nacht).

**Tab. 5:** Behandlungsdaten *Stellaria* und *Solanum* im Betrieb Fleischle (2018/19).

Datum / Woche	Uhrzeit	Starts pro Zeiteinheit (insgesamt)	Anzahl Einzelfahrtem	Fahrgeschwindigkeit
<b><i>Stellaria</i></b>				
4.10. - 10.10.2018	4:00 - 7:00	4	32	2 m/min
11.10. - 18.10.2018	4:00 - 7:00	4	72	1,5 m/min
	12:00 - 18:00			
19.10. - 25.10.2018	4:00 - 7:00	4	72	6 m/min
	12:00			
	15:00 - 18:00			
<b><i>Solanum</i> 'Romello' Satz 1</b>				
29.11. - 3.1.2019	4:00 - 7:00	4	72	2 m/min
	12:00			
	15:00 - 18:00			
<b><i>Solanum</i> 'Romello' Satz 1</b>				
21.2. - 26.3.2019	4:00	10	40	2 m/min
	12:00			

In Tabelle 5 sind die Einstellungen der Luftbehandlungen zusammengefasst. Während für *Stellaria* und *Solanum* Satz 1 eine Kontrollvariante auf der zweiten Tischhälfte durch Inbetriebnahme nur eines Lüfters eingerichtet werden konnte, war dies aus Platzgründen und der Ausdehnung der Behandlungsbreite über die gesamte Tischlänge für Satz 2 nicht

möglich. Die Luftgeschwindigkeiten betragen im Durchschnitt der Messungen 0,5 - 2,5 m/s mit Maximumwerten von 0,5 – 5 m/s (Abbildung 67). Zusätzlich wurde ein Plastikstreifen von ca. 50 cm am Balkenende angehängt, um die Wirkung eines Kontaktreizes zu veranschaulichen. Ausgewertet wurde wöchentlich die Gesamthöhe (längster aufrechtstehender Trieb). Die Kulturdauer betrug pro Satz ca. 4 Wochen.



**Abb. 67:** Luftauslassgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung vom Axiallüfter.

**Abb. 68:** Wellenförmiger Wachstumsverlauf von *S. lycopersicum* 'Romello'.

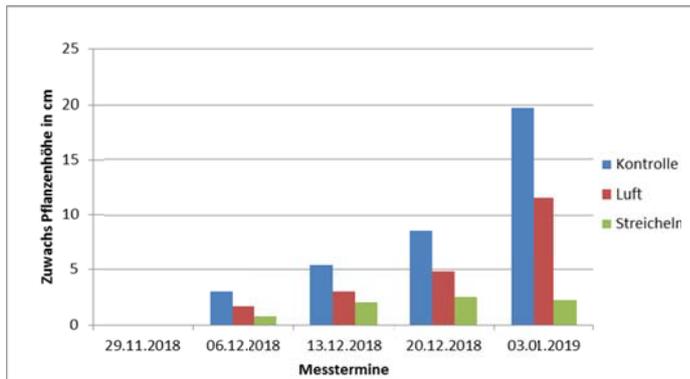
### 4.3.2 Ergebnisse

Alle mit luftbehandelten Pflanzen reagierten wie erwartet mit vermindertem Längenwachstum. Abbildung 69 zeigt den Wachstumsverlauf am Beispiel *S. lycopersicum* Satz 1. Im Durchschnitt wuchsen die Kontrollpflanzen in den 4 Versuchswochen um rund 20 cm, während die luftbehandelte Variante einen Zuwachs von rund 12 cm zeigte (Abbildung 70). Die mechanisch gereizten Tomaten stellten, wie aus früheren Versuchsreihen bekannt, den Wuchs nahezu ein.

Das Ausmaß der Wuchsminderung variierte sehr stark und hing vom jeweiligen Standort auf dem Tisch und der damit verabreichten Luftgeschwindigkeit ab (siehe auch Abbildung 67). Die mit der maximalen Luftgeschwindigkeit von 5 /m behandelten Pflanzen zeigten eine deutliche stärkere Reaktion als Pflanzen im Randbereich der Ventilatoren Einwirkung (Abbildung 68). Die Ausprägung des Wachstums war wellenförmig und entsprach der Luftverteilung. Wurden beide Ventilatoren (*S. lycopersicum* Satz 2) eingeschaltet war der Effekt zwar weniger stark ausgeprägt aber immer noch vorhanden (Abbildung 72).

Auch die Behandlungsdauer hatte einen Einfluss auf die Wuchshöhe. Während im 1. Satz mit 72 Einzelfahrten pro Tag die Tomatenpflanzen im Schnitt rund 15 cm pro Woche

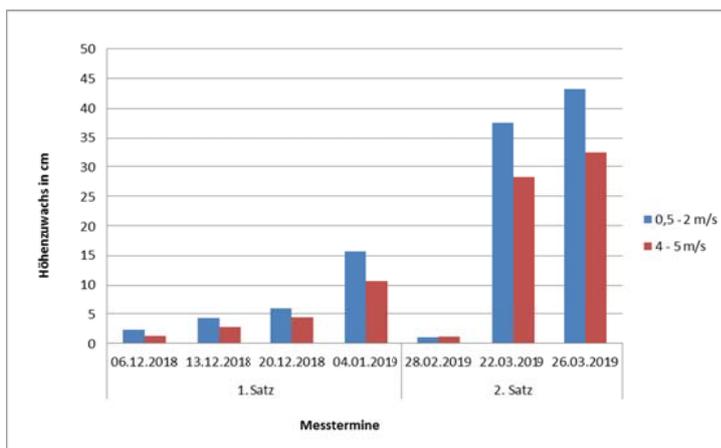
wuchsen, erhöhte sich der Zuwachs bei 40 Einzelfahrten pro Tag auf bis zu 43 cm (Abbildung 71).



**Abb. 69:** Zunahme der Pflanzenhöhe bei *S. lycopersicum* 'Romello' (Satz 1).



**Abb. 70:** Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit. Linke Pflanze max. ca. 1 m/s, rechte Pflanze max. ca. 5 m/s.



**Abb. 71:** Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit bei *S. lycopersicum* 'Romello' (Satz 1 bis Messtermin 04.01.2019 und Satz 2 bis Messtermin 26.03.2019).



**Abb. 72:** Zunahme der Pflanzenhöhe bei *S. lycopersicum* 'Romello' (Satz 2).

### 4.3.3 Diskussion

Durch den Einsatz des Axialluftsystems mit Heylo Ventilatoren konnte das Wachstum der Tomaten innerhalb bestimmter Tischsegmente, nicht jedoch über die gesamte Tischlänge im gewünschten Umfang und Gleichmäßigkeit gehemmt werden. Wenn auch im Satz 2 die wellenförmige Ausprägung der Wuchshemmung durch Zuschaltung des zweiten Ventilators weniger stark auftrat, wurden doch die Pflanzen, insbesondere am Tischrand in Richtung Hauptweg, zu groß. Auch die Messung der Luftgeschwindigkeiten zeigte, dass die baugleichen Ventilatoren nicht nur in der absoluten Luftgeschwindigkeit sondern auch in der

horizontalen Verteilung variierten. Zwei Ventilatoren erwiesen sich daher für eine Balkenlänge von 14 m als zu gering. Da eine gute Hemmwirkung in einem Segment von 3,70 bis 5,20 m nachgewiesen werden konnte, sollte ein Ventilator nicht mehr ca. 4 m abdecken. Damit könnte der Ventilator auch steiler gekippt, der Abstand zur Pflanzen verringert und damit ein gezielter Luftstrom ausgebracht werden.

Die Behandlungsgenauigkeit war deutlich geringer als bei Einsatz des Düsensystems, das reihenbezogen zu- oder abgeschaltet werden kann. Durch den Luftschwall ist eine genaue Zuordnung des Behandlungsbeginns bzw. -ende nicht ohne weiteres möglich. Gerade bei einem satzweisen Anbau erschwert dies einen passgenauen Einsatz. Auch die Luftgeschwindigkeit ist in einem nur sehr engen Rahmen variabel und kann lediglich über die Abstand Pflanze zu Ventilator geregelt werden.

Gegenüber der Druckluftvariante sind die Betriebskosten für das Axiallüfterverfahren vernachlässigbar. Die Vorteile im Vergleich zum Air Knife Verfahren sind die deutlich geringeren Anschaffungskosten hinsichtlich der Luftaggregate.



**Abb. 73:** Zunahme der Pflanzenhöhe in Abhängigkeit von der maximalen Luftgeschwindigkeit bei *Campanula*. Linke Pflanze max. 1 m/s, rechte Pflanze max. 5 m/s.



**Abb. 74:** *Campanula* - starkes Streckungswachstum einzelner Triebe bei nicht ausreichenden Luftauslassgeschwindigkeiten

Im Praxisbetrieb soll das System für die biologische Produktion von *Campanula* eingesetzt werden, die in mehreren Sätzen von Anfang Januar bis Juli angeboten wird. Mit dem zweiten Satz *S. lycopersicum* wurden bereits mehrere Tische mit *Campanula* mitbehandelt.

Diese benötigen jedoch für einen marktüblichen kompakten Pflanzenaufbau eine deutlich höhere Luftgeschwindigkeit (siehe Kapitel 3.2.2). Luftauslassgeschwindigkeiten von ca. 5 m/s zeigten zwar einen deutlich stärkeren Effekt als Geschwindigkeiten von ca. 1 m/s, doch

genügte der Reiz nicht, um eine ausreichend gleichmäßige und ausreichend kompakte Produktqualität zu erzielen (Abbildungen 73, 74).

## **5. Schlussfolgerung, Handlungsempfehlungen bzw. Forschungsbedarf**

Eine Vielzahl von Kulturen wurde im Rahmen des Projektes auf ihre Reizreaktion untersucht, alle reagierten mit einem verringerten Streckungswachstums, wenn auch in unterschiedlichem Maße. Pflanzen mit wenigen weichen Trieben wie *Solanum lycopersicum*, *Ocimum basilicum* oder auch *Euphorbia hypericifolia* konnten mit Luftgeschwindigkeiten von 5 – 8 m/s gut gehemmt werden. Ließ der Pflanzenaufbau wenig Spielraum für ein Biegen der Triebe zu, reichten die Luftgeschwindigkeiten nicht aus um eine marktübliche Qualität zu produzieren. Dazu zählten insbesondere *Euphorbia pulcherrima* mit starren, nur schwer zu bewegendenden Trieben aber auch *Calibrachoa* und *Campanula* deren dichter Pflanzenaufbau im Kulturverlauf erschwert, dass alle Triebe gleichmäßig und ausreichend vom Luftstrom erreicht werden können.

Im Projektverlauf bewährte sich die Kombination von angewandter und universitärer Forschung, Wirtschaftspartner und Praxisversuchen. An der Lehr- und Versuchsanstalt Heidelberg konnte die vorhandene technische Ausstattung für einen schnellen Einstieg in die Reizversuche genutzt und so die Basis für die zeitnahe Entwicklung eines ersten druckluftabhängigen Wagens geschaffen werden. Durch Einbindung des Systems in die Klimasteuerung war eine lückenlose Überwachung der Kulturbedingungen und der technischen Luftbehandlungen möglich. Im weiteren Verlauf stellte sich heraus, dass die örtliche Entfernung zwischen Probennahme und Analyse zeitaufwändiger und störanfälliger als geplant war, doch konnte durch Bereitstellung eines zwischenzeitlich montierten und transportablen Messewagens der Fa. Knecht das Luftsystem auch an der Universität Hohenheim in kleinem Maßstab etabliert werden. Damit war auch die Basis für (elektro)physiologische Untersuchungen geschaffen. Erst durch den Einsatz im Betrieb Fleischle konnte jedoch die Praxisrelevanz der Systeme in Bezug auf technische Funktionalität und erzielbare Produktqualität überprüft werden. Während das Druckluftsystem Typ Knecht sehr gut zu steuern ist und mit einer gleichmäßigen Luftausbringung sehr gute Qualitäten sicherstellt, sind die Kosten für die Bereitstellung und Wartung der Druckluft wie auch die innerbetriebliche Konkurrenz um den Drucklufteinsatz jedoch große Hürden für einen rentablen Einsatz. Auch die bisher geprüften druckluftunabhängigen Varianten zeigen Vor- und Nachteile. Die SKV Systeme Vebotech

und der Prototyp der Fa. Raith überzeugen mit einer ausreichend gleichmäßigen Verteilung des Luftstromes, doch die Investitionskosten sind hoch, das Axialluftverfahren mit Heylo Ventilatoren zwar deutlich günstiger in der Anschaffung und Wartung aber mit deutlichen Schwächen in der Anwendungsgenauigkeit.

Zwei neue Systeme sind im Rahmen des Projektes in die Praxis eingeführt, begleitet und überprüft, zwei weitere an den Forschungseinrichtungen installiert worden. Viele neue Erfahrungen konnten gesammelt und umgesetzt werden, interessierte Betriebe konnten und können sich vor Ort, im direkten Gespräch, auf Messen und Veranstaltungen oder über die Homepage der LVG Heidelberg informieren. Dennoch sehen wir für eine weitere positive Entwicklung der Wuchsregulation mit alternativen Reizverfahren folgenden Handlungs- bzw. Forschungsbedarf.

- Chemische Wuchsregulatoren wirken systemisch, das Reizverfahren nur im direkten Pflanzenkontakt. Damit kann eine vergleichbare Hemmung in der Regel nicht erreicht werden, auch wenn verschiedenen Maßnahmen (Klimasteuerung, Pflanzenabstand) kombiniert werden. Maßstab für eine gute Produktqualität von Topfpflanzen sollte daher weniger die Kompaktheit der Pflanzen als vielmehr die Vitalität des angebotenen Produktes sein. Deshalb ist es notwendig verstärkt auf die Handelsebene Einfluss zu nehmen und die Vermarktung stärker einzubinden.
- Alternative Reizverfahren sind Bausteine für nachhaltige Produktionsverfahren, gerade auch in der konventionellen Produktion von Topfpflanzen. Die Vielzahl der zugelassenen chemischen Wuchsregulatoren darf nicht dazu verleiten den darüber hinausgehenden Umwelt- und Anwenderschutz zu vernachlässigen. Für eine pestizidfreie Produktion im Zierpflanzenbau, wird der Ersatz der Hemmstoffe eine große Herausforderung darstellen. Deshalb sollte überprüft werden, ob für alternative Verfahren die Investitionskosten einer technischen Lösung gefördert werden können.
- Während das Druckluftverfahren marktreif ist, fehlt ein in der Ausbringgenauigkeit vergleichbares druckluftunabhängiges Verfahren. Mit dem auf Luftanwendungen spezialisierten Unternehmen Raith, würde ein kompetenter Partner aus dem Maschinenbau zur Verfügung stehen, der im Rahmen eines Anschlussprojektes ein marktreifes Aggregat entwickeln würde. Die Fa. Knecht würde die Markteinführung für die Anwendung im gärtnerischen Bereich begleiten.
- Die eingesetzten Trägersysteme können als multifunktionale Systeme eingesetzt und damit die Investitionskosten auf mehrere Anwendungen verteilt werden. Denkbar sind neben der Gießfunktion, Anwendungen mit Licht oder zusätzliche Aggregate zur Verteilung von Nützlingen. Realisierbarkeit und Nutzen dieser Optionen sollten überprüft werden.

- Wie die zurückliegenden Untersuchungen zeigen, reagieren die Pflanzen in erster Linie auf die Stärke des Luftstromes (hier: Luftgeschwindigkeit) mit kurzen und stabilen Trieben. Ist dieser Schwellenwert nicht erreicht, führen auch häufigere Lufteinheiten zu keinem ausreichenden Ergebnis. Wird der Schwellenwert hingegen überschritten, führen häufigere Anwendungen zu einer stärkeren Ausprägung des gewünschten Effektes. Schwellenwerte für weitere marktrelevante Kulturen sollten deshalb versuchstechnisch ermittelt und in der Praxis erprobt werden.
- Im Projektverlauf zeigte sich, dass die Konzentrationsveränderung der analysierten Hormone nicht als Marker für eine Standardisierung einer Reizbehandlung herangezogen werden können. Dennoch sollte im Umfeld von Gartenbau 4.0 das Ziel einer automatisierbaren Wachstumskontrolle verfolgt werden. Hier wäre zu prüfen, ob zwischenzeitlich deutlich günstigere Sensorsysteme für ein "graphical tracking" zur Verfügung stehen, die an die bereits vorhandene Luftwagensteuerung angedockt werden könnten.

## 6. Angaben zu Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für die Wuchsregulierung von Topfpflanzen im Unterglas Anbau können anhand der erzielten Ergebnisse Empfehlungen für notwendige Luftauslassgeschwindigkeiten und Behandlungshäufigkeiten gegeben werden. Zwar wurden nur wenige Kulturen in die wissenschaftlichen Versuche einbezogen, doch eine Eingruppierung in stark- bzw. schwachluftsensitive Pflanzen erlaubt eine Aussage über die notwendige Behandlungsintensität, um im beschriebenen Rahmen das Wachstum zu steuern.

Der von der Fa. Knecht entwickelte Druckluftwagen wurde unter Versuchsbedingungen optimiert und in die Praxis eingeführt. Damit liegt ein marktreifes und verfügbares Verfahren vor, das die kulturtechnischen Anforderungen erfüllt und flexibel einsetzbar ist. Allerdings sind Investitions- und Betriebskosten aufgrund der Bereitstellung von Druckluft hoch. Das druckluftunabhängige Axiallüfterverfahren mit Heylo Ventilatoren ist wesentlich kostengünstiger, zeigt aber Schwächen in der Luftverteilung. Die Komponenten dieses Verfahrens sind frei auf dem Markt verfügbar.

Die zwei weiteren, nur im Versuchsbetrieb eingesetzten Verfahren, arbeiten mit einem Seitenkanalverdichter. Während das Air Knife (Fa. Vebotech) für Anwendungen im industriellen Bereich bereits auf dem Markt verfügbar ist, ist das rotierende Verfahren der Fa. Raith Maschinenbau bisher nur als Prototyp realisiert. Beide Verfahren benötigen keine

stationären Kompressoren, sind also im Betrieb günstiger als das Druckluftverfahren aber aufgrund der technisch ausgereiften Luftaggregate, die eine gute Luftverteilung garantieren, in der Anschaffung preisintensiv.

## **7. Gegenüberstellung der tatsächlich erreichten mit den ursprünglich geplanten Zielen**

Geplant war ein auf Luftbewegung basierendes Verfahren zur alternativen Wuchshemmung zu entwickeln und in der Praxis einzuführen. Dieses Ziel wurde erreicht.

Allerdings bleibt festzustellen, dass hinsichtlich der Schwellenwertermittlung und der technischen Umsetzung einer automatisierten Luftausbringung noch Forschungsbedarf besteht.

## **8. Zusammenfassung**

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass eine regelmäßige und gezielte Ausbringung von Luftreizen zu einer kompakten und stabilen Wuchsform der Pflanze führt. Mit Luftgeschwindigkeiten auf Pflanzhöhe von 5 m/s bis 12 m/s kann das Wachstum von Topfpflanzen zuverlässig gehemmt werden kann. Dafür müssen Luftauslassgeschwindigkeiten von ca. 8 bis 16 m/s bereitgestellt werden. Es konnte festgestellt werden, dass die Reizintensität eine entscheidende Rolle für das Maß der Wuchshemmung spielt. Die Reizhäufigkeit ist dagegen von untergeordneter Bedeutung.

Topfkulturen mit weichen Trieben benötigen für vermarktungsrelevante Produktqualitäten Luftbehandlungen mit Geschwindigkeiten von ca. 5 bis 8 m/s, dazu zählen beispielsweise *Solanum lycopersicum*, *Ocimum basilicum* und *Euphorbia hypericifolia*. Mit Luftgeschwindigkeiten von mindestens 10 m/s sollten stark verzweigende Kulturen wie *Calibrachoa* und *Campanula* behandelt werden. Dies trifft auch auf Kulturen mit verholzenden Trieben zu, wie beispielsweise *Euphorbia pulcherrima* und *Fuchsia*. Die erzielte Wuchshemmung lag im Minimum bei 5 % (*E. pulcherrima*) und konnte bei *S. lycopersium* bis auf 45 %, im Vergleich zur Kontrolle, ansteigen.

Insgesamt vier neue Luftverfahren, davon drei mit druckluftunabhängigen Aggregaten wurden im Projektverlauf auf ihre Einsatzpotentiale zur Wuchsregulierung untersucht. Das entwickelte Druckluftverfahren Typ Knecht erfüllte die kulturtechnischen Anforderungen und

wurde in die Praxis eingeführt. Allerdings sind Investitions- und Betriebskosten aufgrund der notwendigen Bereitstellung von Druckluft hoch. Bei den druckluftunabhängigen Systemen erwies sich das Zentrifugalgebläse mit Seitenkanalverdichter und Air Knife Anbau (Fa. Vebotech) als technisch ausgereift. Für den Einsatz in der gärtnerischen Produktion sind die Anschaffungskosten jedoch zu hoch. Das weiterentwickelte Zentrifugalgebläse mit 360 ° Rotor (Fa. Raith Maschinenbau) erreichte als Prototyp noch keine Praxisreife. Im Leitbetrieb wurde als kostengünstige Variante das Axiallüfterverfahren mit Heylo Ventilatoren umgesetzt. Allerdings zeigt das System Schwächen in der Luftverteilung.

Von den erprobten Systemen sind das Druckluft- und das Axiallüfterverfahren marktreif und können zur alternativen Wuchsregulierung eingesetzt werden. Ob sich der Einsatz eines luftabhängigen Reizverfahrens für eine betriebliche Anwendung lohnt, kann nur einzelbetrieblich in Abhängigkeit von den betrieblichen Voraussetzung, dem Anbauplan und Markterfordernissen entschieden werden.

## 9. Literaturverzeichnis

**Autio, J., Voipio I., Koivunen, T. (1994)**, Responses of aster, dusty miller, and petunia seedlings to daily exposure to mechanical stress. Hortscience 29(12), 1449-1452.

**Biro R.L. (1980)**, Thigmonorphogenesis: ethylene biosynthesis and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean internodes. Dissertation Abstract international B (1981) 41 (8) 2840.

**Burg und Burg (1965)**, The interaction between auxin and ethylene and its role in plant growth, 262-269, PNAS.

**Cipollini D.F. (1999)**, Costs to flowering of the production of a mechanically hardened phenotype in *Brassica napus* L., 735-742, Int. J. Plant Sci. 160.

**Cline M.G. (1991)**, Apical Dominance. The Botanical Review 57:318-358.

**Erner, Y. et al (1983)**, Thigmomorphogenesis: membrane lipid and protein changes in bean plants as affected by mechanical perturbation and ethrel. Physiol. Plant. (58):197-203.

**Frankenberg, A. (2017)**, Entwicklung und Optimierung des Zierpflanzenbaus zu nachhaltiger und ökologischer Produktion im Rahmen eines Netzwerkes von Leitbetrieben und Versuchsanstaltern. Abschlussbericht BÖLN Förderkennzeichen 2811NA009

**Fink M. (2006)**, Physiologische Auswirkungen des mechanischen Reizes am Beispiel der Tomate. Diplomarbeit Hochschule Rhein Main.

**Göbel, C.,(2000)**, Vergleich von Kulturverfahren im Hinblick auf die Einsparung von Hemmstoffen bei *Euphorbia pulcherrima*. Versuche im deutschen Gartenbau – Zierpflanzenbau 2000:77-78.

**Gugenhan E. (1999)**, Kompakte Pflanzen durch zartes Streicheln. DeutscherGartenbau 53 (46):27-28.

**Hiraki Y. und Ota Y. (1975)**, „The relationship between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Liliumlongiflorum*. Plant Cell Physiol. 16:185-189.

**Jaffe M.J. (1973)**, Thigmomorphogenesis : The Response of Plant Growth and Development to Mechanical Stimulation, Planta (Berl.) 114, 143-157, Springer Verlag.

**Jatzkowski M. et a,I (1994)**, 'Silver Leaf' hat wertvolle Charakterschwächen. Deutscher Gartenbau 48 (16):976-977.

**Koch R. (2002)**, Einfluss von Trockenstress und Berührungsreizen auf das Wachstum von *Helianthus annuus*. Diplomarbeit Hochschule Rhein Main.

**Koch R., Sauer H. und Schäfer S. (2009)**, Streicheleinheiten für Topfkräuter. Bioland 10:14

**Koch R., Koch R., Sauer H., Ruttensperger U. (2011)**, Der Streichelwagen nimmt Fahrt auf. Das Taspo Magazin 2:28-29.

**Koch R., Sauer H. , Ruttensperger U. (2011)**, Einfluss von mechanischen Berührungsreizen auf das Wachstum von Küchenkräutern im Topf, 199-204, Gesunde Pflanzen 63.

**Latimer, J. G., Fukuyama, J., Fukuyama, Y. (1991)**, The effect of brushing on the growth and quality of field-grown root crops. Hortscience 29(9): 1171-1173.

**Latimer, J., Thomas, P. (1991)**, Application of brushing for growth control of tomato transplants in a commercial setting. Horttechnology 48(2): 109-110.

**Ruttensperger U. (2002)**, Don't touch too much. Das Taspo Magazin 2:23-25.

**Ruttensperger U., Koch R. und Degen B. (2008)**, Durch Berührung kompakt bleiben. DEGA Magazin für Entscheider:26-28.

**Ruttensperger U. und Winkler, A. (2011)**, Wuchsregulation an *Zinniaelegans*. Vortragsveranstaltung Zierpflanzenbau „Im Mittelpunkt steht die Pflanze“, 13.07.2011.

**Salveit M.F., Pharr D.I., and Larson D.A. (1979)**, Mechanical stress induces ethylene production and epinasty in *poinsettia* cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:452-455.

**Sauer H. (1997)**, Vergleich verschiedener Kulturverfahren zur Einsparung von Hemmstoffen bei Pelargonium-Zonale-Hybriden 'Präludium' und 'Gen Rena'. Versuche im deutschen Gartenbau 1997 – Zierpflanzenbau:120-121.

**Tanaka M., Takei K., Kojima, Sakakibarah M., Mori H. (2006)**, Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. The Plant Journal 45:1028–1036.

Vile, D, Garnier, è., Shipley, B., Laurent, G., Navas, M-L., Roumet, C., Lavorel, S., Diaz, S., Hodgson, J. G., Lloret, F., Midgley, G. F., Poorter, H., Rutherford, :, Wilson, P. J., Wright, I. J, 2005. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. Annals of Botany 96: 1129-1136.

Wink M. (2015), Sekundärstoffe, die Geheimwaffen der Pflanzen, Biologie in unserer Zeit Vol. 45, 225-235, Wiley Online Library.

## 10. Übersicht über realisierte Veröffentlichungen bzgl. des Projekts

### Vorträge

- **Optimierung thigmomorphogenetischer Effekte für die alternative Wuchsregulierung von Topfpflanzen durch den Einsatz luftgesteuerter Reize**, Zukunftsstrategien für den Gartenbau, Gartenbauberatertagung 2014, Schwäbisch Gmünd (03/2014).
- **Luftreiz fördert kompaktes Wachstum**, „Bio-Zierpflanzen und –Kräuter, Nachhaltiger Gartenbau“, Jahrestagung der Anbaugemeinschaft Bio-Zierpflanzen, der OEKOmene und der LVG Heidelberg, Heidelberg (11/2014).
- **Bewegungsreiz fördert kompaktes Pflanzenwachstum bei Tomate und Basilikum**, Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft (DGG) und Bundesverband der Hochschulabsolventen/Ingenieure Gartenbau und Landschaftsarchitektur (BHGL), Freising-München (02/2015).
- **Gerüttelt statt gespritzt – Luftreize halten Pflanzen kompakt**, Hausmesse Knecht, Metzingen (07/2015).
- **Luftreiz fördert kompaktes Pflanzenwachstum**, 25. Gemüsebauberatertagung in Grünberg (03/2016).
- **Air stimuli induce compact plant growth** (Poster), European Conference of Post Graduate Horticulture Scientists, Palermo (05/2016).
- **Wachstumsregulierung mit Streichelwagen und durch Luftreiz** KTBL-Arbeitskreis BWTG Fortbildungsseminar 2016, Regenstrauf (9/2016).
- **Luftreiz – Alternative Wuchsregulierung in Theorie und Praxis** Präsentation und Podiumsdiskussion am Südwestdeutschen Zierpflanzentag, Neustadt an der Weinstraße (09/2017).
- **Technische Möglichkeiten der Wuchsregulierung** Präsentation am Topfpflanzentag 2018, Straelen (01/2018).

## Messeauftritte

- **Luftreiz fördert kompaktes Pflanzenwachstum**, Internationale Grüne Woche Berlin vom 16. bis 25. Januar 2015, Berlin (01/2015).
- **Hausmesse Fa. Knecht**, Metzingen (07/2015).
- **IPM 2016 – Präsentation im Rahmen der Lehrschaу "Gesunde Pflanzen"** (01/2016).
- **IPM 2017 – Präsentation im Rahmen der Lehrschaу "Kultursteuerung aktuell"** (01/2017).
- **Hausmesse Knecht**, Metzingen (06/2017).

## Fernsehbeiträge/Videos

- **„Pflanzen streicheln“**, Kopfball, ARD Mediathek, 29.11.2014 (Einblick: Darstellung der Anlage, Wuchshemmung bei Tomate).
- **„Tierfutter“**, Sendung Grünzeug, SWR, 18.04.2015 (Luftwagen in Praxisbetrieb Fleischle und Hemmung von *Callisia* durch Luftreiz).

## Veröffentlichungen / Berichte

- **„Luftreiz fördert kompaktes Pflanzenwachstum“**, Landinfo Artikel Ausgabe 4/2015  
[https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung\\_1/Landinfo/Landinfo\\_extern/04\\_2015/Achim%20Wegscheider.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/04_2015/Achim%20Wegscheider.pdf)
- **„Air stimuli induce compact plant growth“**, Ball Publishing (Grower Talks), Illinois.
- **Luftreiz fördert kompaktes Pflanzenwachstum**  
IPM Essen (01/2017).
- **Shaping plants – Innovative Gewächshaustechnik zur Steigerung der pflanzlichen Produktqualität durch Einsatz luftgesteuerter Reize**  
2. Bioökonomietag des MLR in Kooperation mit dem Forschungszentrum für Bioökonomie und BioPro (09/2017).
- **Wuchsregulierung von Topfpflanzen durch Einsatz luftgesteuerter Reize unter Gewächshausbedingungen**  
Landinfoartikel Heft (04/2017).

## Betreute Abschlussarbeiten

- **Haban, T. (2014)**, Mechanische Reizausbringung bei Basilikum (*Ocimum basilicum* L.), Betreuer: Prof. Dr. Wünsche, Bachelorarbeit Universität Hohenheim.
- **Stoll, P. (2015)**, Auswirkungen eines Luftreizes auf das vegetative Wachstum von (*Ocimum basilicum* L.), Betreuer: Prof. Dr. Wünsche, Bachelorarbeit Universität Hohenheim.
- **Link, S. (2017)**, Auswirkung mechanischer Reizbehandlung auf den Phytohormonhaushalt von *Campanula* 'Merrybell', Betreuer: Prof. Dr. Wünsche, Masterarbeit Universität Hohenheim.

### Interviews

- Geführt mit Anja Scheurenbrand vom Gartenbauverband Baden-Württemberg (02/2016).

- 

### Führungen

- Sommertagung Beet- und Balkonpflanzen "Alternativen wagen – Pflanzenvielfalt stärken", LVG Heidelberg (7/2015).
- Infonachmittag Zierpflanzenbau "Qualitätssicherung im Zierpflanzenbau" (2/2016).
- Zierpflanzenbautag GBV Baden-Württemberg-Hessen und Sommertagung Beet- und Balkonpflanzen LVG Heidelberg "Aktiv in die Zukunft", LVG Heidelberg (7/2016).
- Sommertagung Beet- und Balkonpflanzen LVG Heidelberg "Regional, Fair, Nachhaltig und Neu", LVG Heidelberg (7/2017).
- Sommertagung Beet- und Balkonpflanzen LVG Heidelberg "Gut zu wissen – neue Sorten, intelligenter Pflanzenschutz, innovative urbane Systeme", LVG Heidelberg (7/2018).
- Infonachmittag Zierpflanzenbau "Klima, Pflanzenschutz und Sortimente – Stellschrauben in Produktion und Verkauf" (1/2019).
- Besuchergruppen wie z.B. Fa. GrainesVoltz u.a. (fortlaufend).

### Internetauftritt

- Homepage Gartenbaubetrieb Fleischle (Stand: 04.04.2019).  
<http://www.petsnack.farm/bio-anbau.htm>
- Thigmo – Alternative Wuchsregulierung (Stand 04.04.2019)  
<http://www.lvg-heidelberg.de/pb/,Lde/Aktuelle+Projekte>