

# Produktion von Aroma- und Gewürzpflanzen im Indoor-Farming

Melinda Sattler, Dominic A. Stoll, Stefan Schillberg, Simon Vogel, Silke Hillebrand, Esther-Corinna Schwarze, Jakob Ley, Sebastian T. Soukup, Diana Bunzel, Sabine E. Kulling, Melanie Huch

## Abstract

Pflanzen können sowohl erwünschte als auch unerwünschte Inhaltsstoffe enthalten. Im Indoor-Farming können solche Inhaltsstoffe durch Anpassung der kontrollierten Umweltbedingungen reduziert oder angereichert werden. Im Projekt „In4Food“ innerhalb des Innovationsraums NewFoodSystems wird dies am Beispiel der Aroma- und Gewürzpflanzen Borretsch, Oregano und Parakresse untersucht.

### Zitierweise

Sattler M, Stoll DA, Schillberg S, Vogel S, Hillebrand S, Schwarze E-C, Ley J, Soukup ST, Bunzel D, Kulling SE, Huch M: Production of aromatic and spice plants in indoor farming. *Ernährungs Umschau* 2025; 72(10): 174–9.

### Open access

The English version of this article is available online: DOI: 10.4455/eu.2025.043

### Peer-Review-Verfahren

Manuskript (Übersicht) eingereicht: 15.11.2024; Überarbeitung angenommen: 17.03.2025

Dr. Melinda Sattler<sup>1</sup>, Dr. Dominic A. Stoll<sup>1</sup>, Dr. Sebastian T. Soukup<sup>1</sup>, Dr. Diana Bunzel<sup>1\*</sup>, Prof. Dr. Sabine E. Kulling<sup>1</sup>, Dr. Melanie Huch<sup>1</sup>  
Prof. Dr. Stefan Schillberg<sup>2</sup>, Simon Vogel<sup>2</sup>

Dr. Silke Hillebrand<sup>3</sup>, Esther-Corinna Schwarze<sup>3</sup>, Dr. Jakob Ley<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Max Rubner-Institut (MRI), Institut für Sicherheit und Qualität bei Obst und Gemüse, Karlsruhe, Deutschland

<sup>2</sup> Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME), Aachen, Deutschland

<sup>3</sup> Symrise AG, Holzminden, Deutschland

\* aktuell: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer, Speyer, Deutschland

## Einleitung

Heutzutage werden Pflanzen nicht nur auf dem Feld oder in klassischen Gewächshäusern angebaut, sondern zunehmend auch im sogenannten Indoor-Farming. Hierbei werden die Pflanzen unter kontrollierten Umweltbedingungen angebaut. So können Lichtregime (Tageslänge, Lichtspektrum und -intensität), Bewässerung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, -bewegung und -zusammensetzung, Substrat und Düngemittel umfassend kontrolliert werden. Durch Indoor-Farming ist eine automatisierte Pflanzenanzucht möglich [1]. Die Kultivierung findet in der Regel in erdfreien Bewässerungssystemen im hydroponischen Anbau (Hydroponik) statt. Derartige Systeme ermöglichen eine enorme Einsparung der Ressource Wasser. Beispiele für hydroponische Bewässerungssysteme sind die Nährstoff-Film-Technik (NFT) oder Ebbe-Flut-Sys-

teme. Bei NFT wird lediglich die Unterseite des Wurzelbetts einer dünnen Schicht fließender Nährlösung ausgesetzt, während deren Oberseite der Luft ausgesetzt bleibt. Bei Ebbe-Flut-Systemen werden die Wurzeln in regelmäßigem Wechsel für einen bestimmten Zeitraum in eine Nährlösung eingetaucht, danach werden die Wurzeln durch Ablassen der Nährlösung belüftet. Ähnlich wie bei Hydroponik findet der Anbau mittels Aeroponik ebenfalls in erdelosen Systemen statt, allerdings kommen hier die Wurzeln mit der Nährlösung in Kontakt, indem diese mithilfe feiner Düsen zerstäubt wird [1]. Eine Variante von Indoor-Farming ist „Vertical Farming“: Hier werden Pflanzen in mehreren Ebenen übereinander angebaut und damit bei gleicher Grundfläche eine größere Anbaufläche erreicht.

Der Aufbau einer Indoor-Farming-Anlage ist mit hohen Investitionskosten verbunden, um die Systeme zur Kontrolle der Umweltbedingungen zu etablieren. Ebenfalls ist der laufende Betrieb dieser Systeme, insbesondere die künstliche Beleuchtung, mit erheblichen Energiekosten verbunden, diese können jedoch durch Nutzung erneuerbarer Energien deutlich reduziert werden [2, 3]. Die Anzucht von Pflanzen im Indoor-Farming bietet dennoch viele Vorteile: So können die Pflanzen unabhängig von Wetterbedingungen und Jahreszeiten mit gleichbleibender Qualität und mehreren Ernten pro Jahr angebaut werden. Auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann im Indoor-Anbau deutlich reduziert werden [2].

Das Projekt „In4Food“ (*Controlled Environment-Produktion und Verarbeitung von hochqualitativen pflanzlichen Rohstoffen zur Verwendung in Lebensmitteln*) innerhalb des Innovationsraums NewFoodSystems [4] verfolgt das Ziel, wissenschaftliche Grundlagen für einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Indoor-Anbau ausgewählter Spezialkulturen im Bereich der Aroma- und Gewürzpflanzen zu erarbeiten. Bei den ausgewählten Spezialkulturen handelt es sich um Borretsch (*Borago*

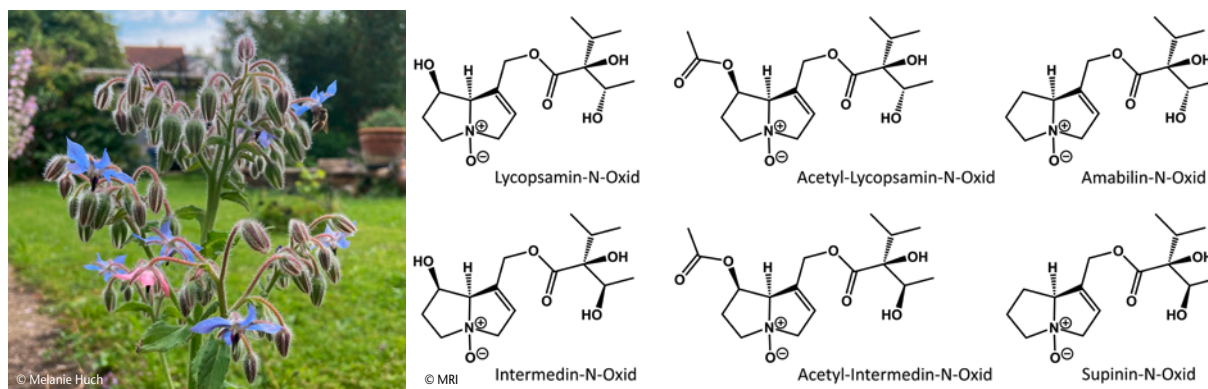


Abb. 1: Borretschpflanze im Hausgarten (links); Struktur der hauptsächlich in Borretsch vorkommenden Pyrrolizidinalkaloide, hier dargestellt in der N-Oxid-Form (rechts)

*officinalis*), Parakresse (*Acmella oleracea*) und Oregano (*Origanum officinalis*). Im Projekt stehen neben der Steigerung des Ertrags und des Gehalts wertgebender Inhaltsstoffe (z. B. ätherischer Ölgehalt bei Oregano und Spilanthalgehalt bei Parakresse) auch die Reduktion unerwünschter Inhaltsstoffe (Pyrrolizidinalkaloide [PA] in Borretsch) im Fokus. Weiterhin wird die Reduktion des Einsatzes mineralischer Düngemittel und die Optimierung der Indoor-Kultivierung durch Bakterien, welche z. B. einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum haben, angestrebt.

## Borretsch (*Borago officinalis*)

Borretsch (♦ Abbildung 1 links), auch Gurkenkraut genannt, ist eine einjährige Pflanze, die in vielen Ländern als Küchenkraut verwendet wird: In Deutschland wird Borretsch beispielsweise als Salatzutat, in Tiefkühlkräutermischungen und insbesondere als ein Bestandteil der sieben Kräuter der „Frankfurter Grüne Soße“ (geschützte geografische Angabe, g. g. A.) verwendet [5]. Auch die Blüten von Borretsch werden aufgrund ihres sternförmigen Aussehens und der violetten Farbe zur essbaren Dekoration von Speisen verwendet. Weiterhin wird Borretsch teilweise beim traditionellen Einlegen von Essiggurken eingesetzt. Auch in Italien, Frankreich, Großbritannien und insbesondere in Spanien wird Borretsch verzehrt [6]. Allerdings besteht beim Verzehr von Borretsch ein gesundheitliches Risiko, da dieser PA enthält. PA sind sekundäre Pflanzenstoffe, die ein Pyrrolizidin-Ringsystem in der Grundstruktur aufweisen und von denen einige aufgrund ihrer spezifischen Struktur (1,2-ungesättigte PA; ♦ Abbildung 1 rechts)

lebertoxisch und kanzerogen wirken [7]. Für ausgewählte 1,2-ungesättigte PA und ihre N-Oxide hat die EU im Jahr 2020 zulässige Höchstgehalte in unterschiedlichen Lebensmitteln festgelegt. So beträgt der gesetzliche Höchstgehalt für PA (Summengehalt) in frischen Borretschblättern 750 µg/kg [8].

## Methodik

Für Borretschproben wurde zunächst eine analytische Methode basierend auf Ultra-Hochleistungs-Flüssigchromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie (UHPLC-MS/MS) entwickelt und validiert, die eine individuelle Quantifizierung der in Borretsch vorkommenden PA und ihrer N-Oxide ermöglicht [9]. Zudem wurde der Indoor-Anbau von Borretsch etabliert. Anschließend wurde Borretsch unter verschiedenen kontrollierten Bedingungen (z. B. unterschiedliche Lichtspektren/-intensitäten) kultiviert und die PA-Gehalte und -Profile mittels der oben genannten Methode bestimmt. Zusätzlich wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Borretschproben aus herkömmlichem Anbau analysiert, z. B. von gewerblichen Erzeugerbetrieben, aus Hausgärten und Borretsch-Microgreens.

## Ergebnisse

Erste Indoor-Anbauversuche haben gezeigt, dass sich Borretsch (blaublühend) sehr gut in solchen Systemen kultivieren lässt. Als geeignete Substrate erwiesen sich Kokosfasern oder Steinwolle. Es ist zu beachten, dass Borretsch aufgrund seines erhöhten Eisenbedarfs ausreichend mit diesem Mikronährstoff versorgt werden muss. Erste Ergebnisse zeigten, dass verschieden große Borretschblätter signifikant unterschiedliche PA-Gehalte aufwiesen ( $n = 6$ , Wilcoxon-Test,  $p = 0,005$ ) [9]. In diesem Versuch wurden Borretschsamen in Kokoserde ausgesät und für 29 Tage unter Natriumdampflampen kultiviert (Lichtintensität:  $402 \pm 29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 16 h Tag/8 h Nacht, Temperatur = 26 °C, relative Luftfeuchte = 65 %). Dabei hatten kleine Blätter (< 14 cm) im Mittel einen 20-fach höheren PA-Gesamtgehalt als größere Blätter (> 14 cm) derselben Pflanze [9]. In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Lichtspektren auf die PA-Gehalte und das Pflanzenwachstum (Blattmasse) untersucht. Dabei wurden in einem DoE-Ansatz (*Design of Experiment*-Ansatz, statistische Versuchsplanung) die Anteile an Rot, Blau und Far-Red variiert (Gesamtlichtintensität:  $81 \pm 6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) und ein Teil der Pflanzen

zusätzlich mit UV-A ( $21 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) bestrahlt. Die Beleuchtung der Pflanzen erfolgte nach Keimung in Steinwolle mit Vermiculit für 27 Tage in einzelnen Lichtboxen (16 h Tag/8 h Nacht, Temperatur =  $26^\circ\text{C}/18^\circ\text{C}$ , relative Luftfeuchte = 65 %). Die verschiedenen Lichtspektren beeinflussten das Pflanzenwachstum und die Morphologie, z. B. Blattgröße und Streckenwachstum. Außerdem wiesen die Blätter der verschiedenen Lichtbehandlungen unterschiedliche PA-Gehalte auf. Die bisherigen Versuchsergebnisse lassen jedoch noch keinen eindeutigen Schluss zu, ob die PA-Gehalte direkt durch die Lichtrezepte oder durch die Pflanzenmorphologie beeinflusst werden.

Die Borretschproben aus dem herkömmlichen Anbau wiesen zum Teil hohe PA-Gehalte auf. So lag der PA-Gehalt bei einem Großteil der Blattproben aus dem gewerblichen Anbau (ca. 80 %) über dem gesetzlichen Höchstgehalt von  $750 \mu\text{g/kg}$  [10]. Im Falle der Borretsch-Blattproben aus den Hausgärten waren die Gehalte von Pflanzen vor der Blüte mit denen der gewerblich Anbauenden vergleichbar und überschritten zum Großteil den gesetzlichen Höchstgehalt. Die PA-Gehalte in Blättern von Pflanzen, die bereits blühten oder geblüht hatten, waren deutlich niedriger. Die untersuchten Borretsch-Microgreens wiesen durchweg sehr hohe PA-Gehalte auf (40- bis 220-fach über dem gesetzlichen Höchstgehalt) [10].

## Oregano (*Origanum vulgare*)

Oregano (♦ Abbildung 2 links) ist eine Gewürzpflanze, die entweder frisch, getrocknet oder in Form von Ölen oder Extrakten eingesetzt wird. Bekannt ist Oregano auch unter dem Begriff „Pizzagewürz“ [11]. Oregano wird insbesondere im Mittelmeerraum und in West- und Südwest-Eurasien angebaut [12]. Neben seiner Verwendung als Küchengewürz hat Oregano eine große Bedeutung für die Medizin und Kosmetik. Oreganoöl enthält die bioaktiven Monoterpenoide Carvacrol und Thymol (♦ Abbildung 2 rechts), welchen eine antimikrobielle, antioxidative und anti-karzinogene Wirkung zugesprochen wird [13]. Daher ist der Gehalt an ätherischem Öl auch eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale von Oregano, welcher u. a. abhängig von der Varietät, dem Erntezeitpunkt und insbesondere den Anbaubedingungen stark variieren kann. Darüber hinaus konnten in landwirtschaftlich angebautem Oregano aufgrund von Verunreinigungen mit PA-bildenden Unkräutern hohe PA-Kontaminationen nachgewiesen werden [14].

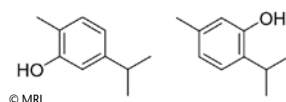
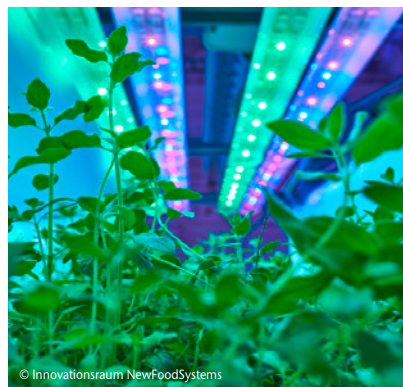


Abb. 2: Oreganopflanzen im Indoor-Anbau (links); Carvacrol (Mitte); Thymol (rechts)

Indoor-Farming bietet die vielversprechende Möglichkeit, Oregano lokal, ganzjährig und mit konstant hohen ätherischen Ölgehalten zu erzeugen. Neben diesen Aspekten verspricht das Indoor-Farming einen weiteren entscheidenden Vorteil: Es können PA-freie Qualitäten für die Herstellung von getrockneten, gerebelten oder gemahlenden Blättern zur Aromatisierung von Lebensmitteln bzw. für die Extraktion von ätherischem Öl erzeugt werden. Für die Qualität ist hierbei insbesondere ein hoher ätherischer Ölgehalt von über 1 % in der Trockenmasse wichtig. Zusätzlich ist ein hoher Biomasseertrag gewünscht, der sich in der Morphologie durch kompaktere Pflanzen mit erhöhter Blattmasse und maximierter Blütenmenge auszeichnet. Für den Einsatz in Kräuterzubereitungen steht die ausschließliche Ernte von Blütenknospen ohne Blattmaterial im Fokus.

## Methodik

Die Kultivierung von Oregano erfolgte in zwei verschiedenen Indoor-Systemen mit bis zu 10 biologischen Replikaten: Im Phytotron (Klimakammer zur Pflanzenkultivierung) und in der Vertikal-Farming-Anlage OrbiPlant® (♦ Abbildung 3). Es wurden verschiedene Lichtbedingungen und Düngerzusammensetzungen getestet. Zur Beschreibung der Qualität wurden die Pflanzenmorphologie, die Frisch- und die Trockenmasse erfasst sowie der ätherische Ölgehalt mittels Wasserdampfdestillation bestimmt. Um den Einfluss verschiedener Lichtspektren auf die Biomasseentwicklung und insbesondere auf die Induktion der Blütenknospenbildung zu untersuchen, wurde ein spezielles LED-Screening-System eingesetzt, mit dem unterschiedliche Lichtspektren und -intensitäten getestet werden können. Mittels eines auf die vier Lichtspektren Blau, Grün, Rot und Infrarot ausgelegten DoE-Ansatzes wurden 24 verschiedene Lichtspektren-Zusammensetzungen bei  $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ePPFD (effektive photosynthetische Photonenflussdichte) (18 h Tag/6 h Nacht) zur Kultivierung von Oregano getestet und die daraus resultierenden Lichtspektren bei  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ePPFD (18 h Tag/6 h Nacht) auf ihre Wirksamkeit verifiziert. Zusätzlich wurden ungerichtete Metabolomanalysen durchgeführt.

## Ergebnisse

Oregano lässt sich sowohl hydroponisch als auch aeroponisch in geschlossenen Anbausystemen kultivieren. Dabei ist zu beachten, dass die Bewässerung für diese eher an trockenere

Bedingungen angepassten Pflanzen stark reduziert werden muss. Deutliche Unterschiede konnten innerhalb des Projekts durch Kultivierung verschiedener Oreganovarietäten unter identischen Bedingungen im Phytotron bei gleicher Kultivierungsdauer beschrieben werden. Hinsichtlich des Erntegesamtgewichts und der Trockenmassen gab es zwischen den verschiedenen Oreganovarietäten Unterschiede von bis zu 50 %. Auch die Analyse des Gehalts an ätherischem Öl zeigte Unterschiede zwischen den Varietäten auf: Der ätherische Ölgehalt lag hier im Bereich von 0,7 % bei Spanischem Oregano (*Origanum virens*) bis 5,1 % bei Griechischem Oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) in Bezug auf die Trockenmasse. Es konnte somit gezeigt werden, dass in der Indoor-Kultivierung ausreichend hohe ätherische Ölgehalte erzeugt werden können.

Im DoE-Experiment zeigte sich, dass für die Kultivierung von Oregano eine LED-Beleuchtung mit einem hohen Blauanteil aufgrund seines positiven Einflusses auf die Blütenbiomassebildung für die Vermarktung von Kelchblättern von Vorteil ist. Soll gleichzeitig möglichst viel Biomasse von Blättern und Blüten generiert werden, zeigte der DoE-Versuch, dass Lichtbedingungen mit entsprechender Mischung der Spektralbereiche Rot, Grün und Blau eingesetzt werden sollten. Krautbiomassen von  $3,7 \text{ kg m}^{-2}$  in 87 Tagen wurden durch eine energieeffiziente LED-Beleuchtung mit blau/dunkelrotem Spektrum (10 %/90 %) erreicht. Es konnte für die Kultivierung der Oreganopflanzen eine signifikante Korrelation zwischen Lichtmischung und Pflanzenentwicklung beobachtet werden. Analysen zeigten, dass bei unterschiedlichen Lichtspektren nicht nur das Wachstum beeinflusst wird, sondern auch die Zusammensetzung des Metaboloms, z. B. der ätherischen Öle, stark verändert wird.

## Parakresse (*Acmella oleracea*)

Parakresse ist eine krautige Pflanzenart in der Pflanzenfamilie der Korbblütler (Asteraceae). Diese wächst etwa 30–60 cm hoch und hat gegenständige, dreieckige bis leicht herzförmige gestielte Laubblätter. Die Blütenstände sind gelb oder gelb-rötlich und 1,5–2,5 cm groß (♦ Abbildung 4 links). In tropischen Regionen blüht die Art ganzjährig, bei einer Kultur in gemäßigten Zonen beginnt die Blüte im Frühsommer. Wie viele andere *Acmella*-Wild-



Abb. 3: Förderbandbasierte OrbiPlant®-Anlage zur Anzucht von Pflanzen. Die Anlage ist hier mit diversen Salaten und Kräutern bestückt.

arten in Brasilien bevorzugt *A. oleracea* feuchte Böden und wächst entlang von Seeufern [15]. Die nicht winterharte *A. oleracea* wird lokal auch als „Toothache Plant“ oder „Jambu“ bezeichnet. Die ursprüngliche Verbreitung von *A. oleracea* ist nicht vollständig geklärt. Wahrscheinlich stammt diese Art von einer brasilianischen und/oder peruanischen *Acmella*-Art ab. Der erste Beleg einer Kultur in einem botanischen Garten stammt aus dem Jahre 1791 (*Botanic Garden on St. Vincent*) [15]. Heute ist die Art als Kulturflüchtling weltweit in tropischen und subtropischen Gebieten verbreitet. Parakresse wird als Zierpflanze kultiviert oder zu pharmakologischen Zwecken (z. B. entzündungshemmend und antimikrobiell), zur Hautpflege u. a. in Antifaltencremes (dort auch als „Bio-Botox“ beworben) sowie zu kulinarischen Zwecken aufgrund der Schärfe und des sogenannten „Tingling“-Effekts (Prickeln, Kribbeln) angebaut [16]. Als wertgebender Inhaltsstoff ist das Hauptalkamid Spilanthol enthalten (♦ Abbildung 4 rechts), welches für die kosmetische und sensorische Wirkung verantwortlich ist. In der Lebensmittelproduktion wird Parakresse zum Würzen von Speisen oder zum Maskieren von unerwünschten Geschmackswahrnehmungen in bestimmten Lebensmitteln verwendet. In der Literatur ist ein deutlich höherer Gehalt an Spilanthol in den Blüten im Vergleich zum Gehalt in den Blättern und den Stängeln beschrieben [17]. Aktuell ist ein stärkerer Anstieg an spilantholhaltigen Lebensmitteln und Kosmetikprodukten am Markt zu beobachten. Die hiermit verbundene Nachfrage führt bei den Produzenten zu der Notwendigkeit, die Herstellung von Spilanthol zu optimieren. Durch den Innovationsraum NewFoodSystems mit dem Projekt „In4Food“ kann ein direktes „Benefit Sharing“ für Verbraucher\*innen und Industrie erreicht werden: Da spilantholhaltige Extrakte momentan hauptsächlich für die Herstellung von Kosmetika und medizinischen Produkten verwendet werden und die Rohstoffe

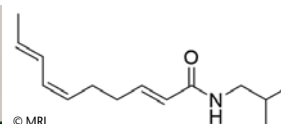
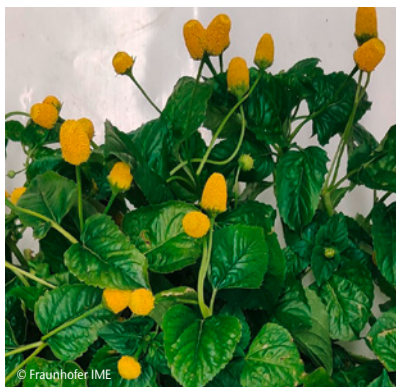


Abb. 4: Parakressepflanzen in einer Klimakammer (links); Struktur Spilanthol (rechts)



schlecht bis gar nicht verfügbar sind, ist es das Ziel, mehr Pflanzen von höherer Qualität (Spilantholgehalt) zu niedrigeren Preisen zu produzieren.

### Methodik

Zur Etablierung der Indoor-Kultivierung von Parakresse wurden verschiedene hydroponische Kultursysteme wie NFT, Ebbe-Flut-System und Aeroponik in kontrollierten Klimakammern getestet. Mit dieser Kultivierung kann durch eine gezielte Kultursteuering eine deutlich höhere Qualität im Vergleich zum Freilandanbau erzielt werden. Hierzu wurden unterschiedliche Pflanzern, Substrate, Dünger und Lichtregime getestet. Des Weiteren wurden Versuche zur Erhöhung der Biomasse und Nachernteverfahren initiiert, wozu unterschiedliche Ernte- und Verarbeitungsmethoden wie die schnelle Frischwaren-Verarbeitung und die Niedrig-Energie-Trocknung eingesetzt wurden.

### Ergebnisse

Mit einem hauptsächlich dunkelroten Lichtspektrum konnte die höchste Spilantholausbeute von bis zu 0,7 % in der Krautbiomasse und mehr als 2,5 % in den Blüten erzielt werden. Im Vergleich zu einem blaulastigen Lichtspektrum konnte mit einem dunkelroten Lichtspektrum zudem eine bis zu 40 % höhere Biomasse erreicht werden. Der Indoor-Anbau von Parakresse kann mit diesem reduzierten Lichtspektrum energieeffizient und preisgünstig realisiert werden. Bezüglich der Nährstoffkonzentration und -zusammensetzung konnte ein calciumhaltiger Volldünger mit einem Stickstoff/Phosphor/Kalium (NPK)-Verhältnis von 12/8/24 als optimal ermittelt werden, der ein schnelleres Wurzelwachstum und eine phänotypisch vorteilhafte buschige Wuchsform sowie den höchsten Biomassezuwachs begünstigt. Erste Versuche deuten darauf hin, dass bestimmte Mikroorganismen einen leicht positiven Effekt auf die Blütenbildung ausüben. Um die Wirtschaftlichkeit des Anbauprozesses zu ermitteln, wurde ein hochskalierter Kultivierungsversuch auf Basis des neuartigen, am Fraunhofer IME entwickelten Vertikal-Farming-Systems OrbiPlant® durchgeführt (♦ Abbildung 3). Der Energieeinsatz, vor allem für die LED-Beleuchtung und Klimatisierung, lag hier bei 41 kWh pro Gramm produziertem Spilanthol, der durch verbesserte Klimatechnik noch weiter gesenkt werden kann.

Die bereits in der Literatur beschriebenen, höheren Spilantholgehalte von ca. 2 % in den Blüten konnten mittels HPLC-Analytik bestätigt werden. Der Gehalt an wertgebendem Spilanthol ist in den Blüten um ein 5–10-faches höher als in den Blättern und Stielen der Pflanzen. Auch konnten zwischen unterschiedlichen Akzessionen teils deutliche Unterschiede im Wachstumsverhalten und der Spilantholakkumulation beobachtet werden. Weitere metabolomische Studien mit Pflanzenmaterial aus dem Indoor-Anbau mittels UHPLC-gekoppelter *Ion Mobility Separation-Quadruple Time-of-Flight-Massenspektrometrie* (UHPLC-IMS-QToF) zeigten, dass sich das Metabolom von Blättern und Blüten stark unterscheidet.

### Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse der Borretschproben aus herkömmlichem Anbau zeigen die Notwendigkeit, PA-Gehalte in Borretsch zu monitoren und idealerweise durch optimierte Anbaubedingungen oder neue Züchtungen zu reduzieren. Die Gehalte an PA in Borretsch-Microgreens in dieser Studie waren extrem hoch. Daher stellt sich die Frage, ob durch deren Verzehr eine akute und chronische Gesundheitsgefahr bzw. ein Gesundheitsrisiko gegeben sind und ob Borretsch-Microgreens überhaupt für den menschlichen Verzehr geeignet sind.

Oregano zeigte im Indoor-Anbau die erwünschten hohen Gehalte an ätherischen Ölen. Die bisherigen Versuche zeigten, dass das Lichtregime beim Indoor-Anbau eine große Auswirkung auf die Pflanzenmorphologie und deren Inhaltsstoffe hat. Die induzierte Bildung von Blüten, welche in Kräutierzubereitungen eingesetzt werden sollen, stellt weiterhin eine Herausforderung im Indoor-Anbau dar. Die Ergebnisse der Metabolomanalyse können genutzt werden, um durch eine geeignete Lichtbehandlung den Gehalt an geschmacksbestimmenden Inhaltsstoffen positiv zu beeinflussen. Dies ermöglicht einen vorteilhaften Anbau von Oregano im Hinblick auf Vermarktung und Wirtschaftlichkeit.

Aufgrund der Ergebnisse der Kultivierung von Parakresse in dieser Studie, sollte zur Gewinnung des wertgebenden Inhaltsstoffs Spilanthol der Fokus auf der Erhöhung der Blütenbiomasse je Pflanze liegen. Dies kann zum Beispiel wie im Projekt gezeigt durch ein angepasstes Licht- und Düngeregime erreicht werden.

### Förderung

Beitrag im Rahmen der Publikationsreihe des Innovationsraums NewFoodSystems – Fördermaßnahme „Innovationsräume Bioökonomie“ im Rahmen der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR).



## Danksagung

Die Autor\*innen danken dem BMBF-Innovationsraum NewFoodSystems für die Förderung des Vorhabens In4Food (FKZ: 031B0959A) sowie allen Kooperationspartner\*innen, die bei diesem Projekt mitgewirkt haben und somit maßgeblich zum Erfolg von In4Food beigetragen haben. Mehr Informationen unter [www.newfoodsystems.de](https://www.newfoodsystems.de)

**Angaben zu Interessenkonflikten und zum Einsatz von KI**  
SH ist Mitarbeiterin der Symrise AG. JL ist Mitarbeiter der Symrise AG und Inhaber öffentlicher Aktien der Symrise AG. Die Autor\*innen erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen und bei der Erstellung des Manuskripts keine KI-Anwendungen eingesetzt wurden.

## Literatur

1. Eldridge BM, Manzoni LR, Graham CA, Rodgers B, Farmer JR, Dodd AN: Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *New Phytol* 2020; 228(4): 1183–92.
2. Debdas S, Chatterjee S, Das S, Das D, Hazra S, Shah PB: IoT edge based vertical farming. *World Conference on Communication and Computing, WCONF* 2023.
3. Morella P, Lambán MP, Royo J, Sánchez JC: Vertical farming monitoring: How does it work and how much does it cost? *Sensors (Basel)* 2023; 23: 3502.
4. Fink L, Bunzel D, Horn J, et al.: Der Innovationsraum NewFoodSystems und die Transformation unserer Ernährungs- und Lebensmittelsysteme. *Ernährungs Umschau* 2024; 71(9): M521–9.
5. Europäische Union (EU): Durchführungsverordnung (EU) 2016/326 der Kommission vom 25. Februar 2016 zur Eintragung einer Bezeichnung in das Register der geschützten Ursprungsbezeichnungen und der geschützten geografischen Angaben [Frankfurter Grüne Soße/Frankfurter Grieß Soß (g.g.A.)]. 2016.
6. Montaner C, Zufiaurre R, Movila M, Mallor C: Evaluation of borage (*Borago officinalis* L.) genotypes for nutraceutical value based on leaves fatty acids composition. *Foods* 2022; 11: 16.
7. Abdelfatah S, Naß J, Knorz C, Klauck SM, Küpper J-H, Efferth T: Pyrrolizidine alkaloids cause cell cycle and DNA damage repair defects as analyzed by transcriptomics in cytochrome P450 3A4-overexpressing HepG2 clone 9 cells. *Cell Biol Toxicol* 2022; 38: 325–45.
8. EU: Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006.
9. Sattler M, Müller V, Bunzel D, Kulling SE, Soukup ST: Pyrrolizidine alkaloids in borage (*Borago officinalis*): comprehensive profiling and development of a validated LC-MS/MS method for quantification. *Talanta* 2023; 258: 124425.
10. Sattler M, Huch M, Bunzel D, Soukup ST, Kulling SE: Pyrrolizidine alkaloid contents and profiles in *Borago officinalis* leaves, flowers and microgreens: implications for safety. *Food Control* 2025; 168: 110930.
11. Sharifi-Rad M, Yilmaz YB, Antika G, et al.: Phytochemical constituents, biological activities, and health-promoting effects of the genus *Origanum*. *Phytother Res* 2021; 35: 95–121.
12. Soltani S, Shakeri A, Iranshahi M, Boozari M: A review of the phytochemistry and antimicrobial properties of *Origanum vulgare* L. and subspecies. *Iran J Pharm Res* 2021; 20: 268–85.
13. Sharifi-Rad M, Varoni EM, Iriti M, et al.: Carvacrol and human health: a comprehensive review. *Phytother Res* 2018; 32: 1675–87.
14. Kaltner F, Rychlik M, Gareis M, Gottschalk C: Occurrence and risk assessment of pyrrolizidine alkaloids in spices and culinary herbs from various geographical origins. *Toxins* 2020; 12: 155.
15. Hind N, Biggs N: 460. *Acmella Oleracea compositae*. *Curtis's Bot Mag* 2003; 20: 31–9.
16. Uthpala TGG, Navaratne SB: *Acmella oleracea* plant; identification, applications and use as an emerging food source – review. *Food Rev Int* 2020; 37: 399–414.
17. Dias AMA, Santos P, Seabra IJ, Júnior RNC, Braga MEM, de Sousa HC: *Spilanthol* from *Spilanthol* *acmella* flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. *J Supercrit Fluids* 2012; 61: 62–70.