

Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens

Förderkennzeichen:	031B0959 D
Zuwendungsempfänger:	Symrise AG, Holzminden, Deutschland
Thema (Akronym):	Verbundvorhaben: In4Food Teilvorhaben: <i>Innovationsraum: NewFoodSystems – In4Food – Umsetzungsphase, TP D</i>

Projektbeschreibung:

Vertical Farming-Systeme können nicht nur einen Beitrag zur nachhaltigen, flächen- und ressourcenschonenden Produktion von Lebensmitteln z. B. in urbanen Räumen leisten, sie bieten auch die Möglichkeit schadstofffreie bzw. schadstoffreduzierte und dabei konstant hochqualitative Pflanzen mit nahezu maßgeschneidertem Inhaltsstoffprofil zu erzeugen. Zudem können Pflanzen im *Vertical Farming*-System ohne saisonale Einflüsse, d. h. kontinuierlich über das Jahr hinweg produziert werden, was u. a. auch neue Perspektiven für die weiterverarbeitende Industrie bietet, insbesondere für Pflanzen, deren kontinuierliche Beschaffung in der gewünschten Qualität mit Schwierigkeiten verbunden ist oder deren direkte Weiterverarbeitung in frischer Form (ohne vorherige Trocknung) eine signifikante Qualitätserhöhung der Endprodukte ermöglicht. **Das Gesamtziel** dieses Projektes war es, die wissenschaftlichen Grundlagen für einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Anbau hochqualitativer Pflanzen im *Vertical Farming*-System zu erarbeiten und zu bewerten, die als Rohstoffe für die Gewinnung von Aromastoffen oder Aromazubereitungen eingesetzt werden. Der Pflanzenanbau in geschlossenen, kontrollierbaren Systemen wurde in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Hierbei werden meist hydroponische, aber auch aeroponische Systeme verwendet. Kommerziell werden in *Vertical Farming*-Systemen bislang hauptsächlich leicht kultivierbare Pflanzen mit kurzen Wachstumszyklen, wie Salate, Kräuter und *Microgreens* produziert. Das hier geplante Projekt beschäftigt sich mit Spezialitäten, die in erster Linie aus der Freilandkultur bekannt sind, aber bezüglich einer Inhaltsstoffoptimierung durch Lichtmanagement oder der Wachstumsbedingungen, z. B. aus Hygienegründen und Erweiterung der Ausbeute durch Streckung der Vegetationsperiode im Indoor-Bereich Vorteile bieten könnten. Hierzu wurden im Rahmen des Projektes eine *asiatische Süßteepflanze*, *Spilanthes* sowie *Oregano* im Indoor- und im Freilandanbau angebaut.

Projektergebnisse:

Im Rahmen des Projektes wurden in einem ersten Schritt 200 Jungpflanzen eines bestimmten Genotyps einer *asiatischen Süßteepflanze* im Freiland-Anbau angezogen, um erste Erkenntnisse über die wertgebenden Inhaltsstoffe der Pflanze zu erhalten. In einem Jahreszeitenversuch konnte gezeigt werden, dass der Gehalt der wertgebenden Komponente im Laufe der Vegetationsperiode schwankt. Auch das Blattalter spielt eine große Rolle. So konnte in den jungen Blättern ein Gehalt von über 5 % der wertgebenden Komponente gefunden werden, während die Gehalte in den älteren Blättern deutlich unter 5 % lagen. Diese Annahme wurde auch durch die metabolomischen Studien von jungen und alten Blättern unterstützt, in welchen sich zeigt, dass sich das Metabolom von alten Blättern sich deutlich von jenem der jungen Blätter unterscheidet. Die Ergebnisse lassen ebenfalls den Rückschluss zu, dass das gewählte Kultursystem einen deutlichen Einfluss auf das Metabolom des Blattes haben kann. Dieses wird auch optisch bei einem stickstoffbetonten Düngeversuch sichtbar, da hier neben einer Erhöhung des Gehaltes der Zielkomponente ein deutlich gesünderes Blattwachstum beobachtet werden konnte. Weiterhin wurden Versuche zum Thema Indoor-Kultivierung, Hydroponik als alternatives Anbauverfahren, Kultivierung unter LED-Licht sowie der Applikation von Phytohormonen und Bakterienlösungen zur Optimierung der Biomasse und Maximierung wertgebender Inhaltsstoffe durchgeführt. Hierbei hat sich insbesondere bei

der Applikation des Phytohormons Methyljasmonat in Konzentrationen von 1 mM und 10 mM eine signifikante Steigerung des Gehalts der wertgebenden Komponente in jungen Blättern gezeigt, welche auch 7 Tage nach der letzten Methyljasmonat-Applikation signifikant höher als in unbehandelten Pflanzen war. Ein Vergleich des Anbaus im Freiland (JKI) und Indoor (Symrise) zeigte leider keine eindeutigen Tendenzen in Bezug auf eine mögliche Steigerung der Zielkomponente, so dass aus wirtschaftlicher Sicht ein Anbau lediglich im Freiland zu empfehlen ist. Auch die abschließende Untersuchung von 5 neuen Genotypen lieferte insgesamt keine signifikant höheren Gehalte als das Standardmaterial.

Im Falle von *Spilanthes* konnten ebenfalls 4 Genotypen beschafft und analysiert werden. Der Anbau erfolgte bei Symrise im Gewächshaus und Blüten sowie Blätter wurden mittels HPLC-Analyse auf ihren Gehalt an Spilanthol untersucht. Die Blätter zeigen hierbei mit einem Gehalt von 0,29 bis 0,42 % einen deutlich geringeren Gehalt an Spilanthol als die Blüten, bei denen der Gehalt je nach Genotyp zwischen 1,68 und 2,78 % variiert. Ein Vergleich zwischen dem Indoor-Anbau bei Symrise und dem Outdoor-Anbau am JKI zeigen vergleichbare Werte. Weiterhin wurden mittels UPLC-IMS-QToF Massenspektrometrie metabolomische Studien zum Indoor-Anbau durchgeführt. Das Metabolom von Blättern und Blüten weicht stark voneinander ab, was sich letztlich auch im deutlich höheren Spilantholgehalt in den Blüten bemerkbar macht. Ein Vergleich des Metaboloms der Blätter zeigt, dass hier kaum Unterschiede zwischen den vier Genotypen zu sehen ist, dass das Metabolom der Blüten je nach Genotyp stark differiert, was dann auch Auswirkungen auf die Sensorik und Qualität der Extrakte haben könnte, zumal aufgrund des steigenden Bedarfes an Spilanthol-Extrakten eine ausschließliche Verarbeitung von Blüten nicht mehr gewährleistet werden kann. Dieses hat zur Folge, dass nach neuen Extraktionsverfahren gesucht werden muss, die die Erhaltung der Qualität von Extrakten bei gleichzeitiger Verarbeitung von Blüten und Blättern gewährleisten. Erste Versuche haben gezeigt, dass mittels CO₂-Extraktion sehr gute Resultate erzielt wurden. Bei *Spilanthes* muss die Rohstoffsituation anders betrachtet und bewertet werden, da hier aktuell ausschließlich Blüten verwendet werden. In diesem Fall kann ein Indoor-Anbau mit mehrfachen Ernteperioden im Jahr zu einer gesicherten Rohstoffverfügbarkeit führen. Hinzu kommt ein weiterer Punkt, der bei der Prozessierung von *Spilanthes* nicht zu vernachlässigen ist. Der Anbau von *Spilanthes* auf Feldern erfolgt zum Teil weit weg von der Produktion des Extraktes. Die Transportkosten (Carbon-Footprint) sind hierbei ein nicht zu vernachlässigender Faktor. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Dauer zwischen Ernte und Prozessierung der Spilantholgehalt abbaut und während des Abbaus fischige Off-Noten gebildet werden, die die Qualität des Produktes nachfolgend stark einträchtigen können.

Die zerstörungs- und lösungsmittelfreie Analytik hat am Beispiel von *Oregano*, den asiatischen Süßteeblättern sowie *Spilanthes* gezeigt, wie leistungsfähig die Verwendung von elektronischen Nasen bzw. FT-NIR-Geräten ist, wenn sie denn gezielt eingesetzt und eine Verarbeitung der Datensätze über einen chemometrischen Ansatz erfolgt. Gerade im Fall der Ionenmobilitätsspektrometrie (IMS) konnte am Beispiel von *Oregano* gezeigt werden, dass die Bewertung von Qualität nicht nur über die konventionellen Methoden wie Gaschromatographie (GC) sowie Flüssigkeitschromatographie (LC) erfolgen kann. Diese Methoden sind in der Routineanalytik von modernen Laboren, wo vor allem ein hoher Probendurchsatz erfolgt, nicht mehr wegzudenken.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Förderempfänger: Symrise AG, Holzminden, Deutschland

**Verbundvorhaben: In4Food, Teilvorhaben: Innovationsraum:
NewFoodSystems – In4Food – Umsetzungsphase, TP D**

**Autoren: Dr. Silke Hillebrand, Esther-Corinna Schwarze, Dr.
Jakob P. Ley**

Förderkennzeichen: 031B0959D

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 031B0959D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Projektbeschreibung:

Vertical Farming-Systeme können nicht nur einen Beitrag zur nachhaltigen, flächen- und ressourcenschonenden Produktion von Lebensmitteln z. B. in urbanen Räumen leisten, sie bieten auch die Möglichkeit schadstofffreie bzw. schadstoffreduzierte und dabei konstant hochqualitative Pflanzen mit nahezu maßgeschneidertem Inhaltsstoffprofil zu erzeugen. Zudem können Pflanzen im *Vertical Farming*-System ohne saisonale Einflüsse, d. h. kontinuierlich über das Jahr hinweg produziert werden, was u. a. auch neue Perspektiven für die weiterverarbeitende Industrie bietet, insbesondere für Pflanzen, deren kontinuierliche Beschaffung in der gewünschten Qualität mit Schwierigkeiten verbunden ist oder deren direkte Weiterverarbeitung in frischer Form (ohne vorherige Trocknung) eine signifikante Qualitätserhöhung der Endprodukte ermöglicht. **Das Gesamtziel** dieses Projektes war es, die wissenschaftlichen Grundlagen für einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Anbau hochqualitativer Pflanzen im *Vertical Farming*-System zu erarbeiten und zu bewerten, die als Rohstoffe für die Gewinnung von Aromastoffen oder Aromazubereitungen eingesetzt werden. Der Pflanzenanbau in geschlossenen, kontrollierbaren Systemen wurde in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Hierbei werden meist hydroponische, aber auch aeroponische Systeme verwendet. Kommerziell werden in *Vertical Farming*-Systemen bislang hauptsächlich leicht kultivierbare Pflanzen mit kurzen Wachstumszyklen, wie Salate, Kräuter und *Microgreens* produziert. Das hier geplante Projekt beschäftigt sich mit Spezialitäten, die in erster Linie aus der Freilandkultur bekannt sind, aber bezüglich einer Inhaltsstoffoptimierung durch Lichtmanagement oder der Wachstumsbedingungen, z. B. aus Hygienegründen und Erweiterung der Ausbeute durch Streckung der Vegetationsperiode im Indoor-Bereich Vorteile bieten könnten. Hierzu wurden im Rahmen des Projektes eine *asiatische Süßteepflanze*, *Spilanthes* sowie *Oregano* im Indoor- und im Freilandanbau angebaut.

Projektergebnisse:

Im Rahmen des Projektes wurden in einem ersten Schritt 200 Jungpflanzen eines bestimmten Genotyps einer *asiatischen Süßteepflanze* im Freiland-Anbau angezogen, um

erste Erkenntnisse über die wertgebenden Inhaltsstoffe der Pflanze zu erhalten. Es wurde ein Jahreszeitenversuch durchgeführt. Ziel dieses Versuches war es herauszufinden, in welchen Monaten die Pflanzen die gewünschte Zielkomponente am höchsten sind und in welchen Organen die Pflanzen diese anreichern bzw. bilden. Von anderen Kulturen ist bereits bekannt, dass die erwünschten Inhaltsstoffe im Laufe der Vegetationsperiode schwanken. Die quantitative Ermittlung der verantwortlichen Parameter (Sonnenscheindauer, Einstrahlung, Tageslänge, Temperatur etc.) war dabei im ersten Schritt noch nicht Ziel dieses Versuches. Der Versuch wurde mit Pflanzen aus dem Freiland und aus dem Indoor-Anbau bei Symrise durchgeführt. Jede Woche am gleichen Tag vormittags wurden die Pflanzen im Freiland und im Indoor-Anbau beprobt. An den Pflanzen im Freiland wurden nur die Stiele und die Blätter beprobt, bei den Pflanzen aus dem Indoor-Anbau wurden die Stiele, Blätter und die Wurzeln beprobt. Zudem wurde die Spross- bzw. Pflanzenlänge gemessen und die Klimadaten aufgezeichnet. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse des Jahreszeitenversuches graphisch dargestellt. Die Graphik enthält lediglich die Daten für die Blätter, da in den anderen Organen der Pflanze die wertgebende Komponente nicht nachgewiesen werden konnte.

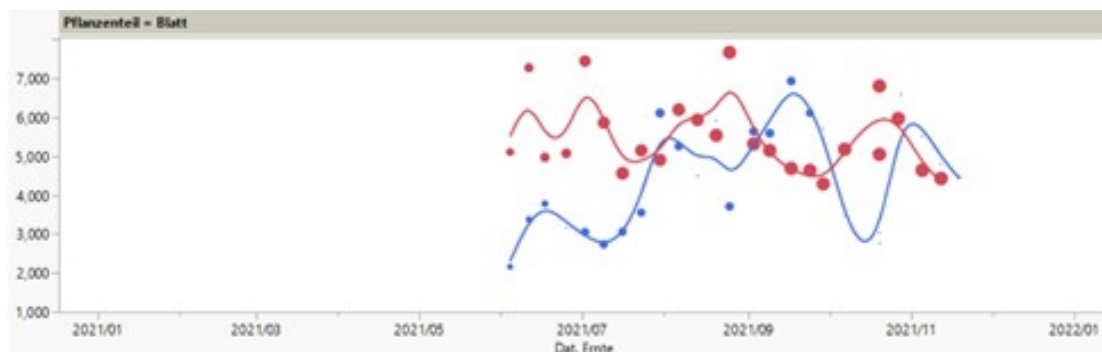


Abbildung 1: Verlauf des Gehaltes an wertgebendem Bestandteil in den Blättern im Vegetationsjahr 2021 der Pflanzen im Freiland (rot) und im Indoor-Anbau (blau)

Die rote Linie zeigt den Gehalt an Zielkomponente (Y-Achse in %) nach den Beprobungszeitpunkten (Datum, X-Achse), wobei die blaue Linie den Verlauf für die Indoor-Pflanzen darstellt. Die mit den Linien laufenden Punkte stellen anhand ihres

Durchmessers in etwa dar, wie hoch die Pflanzen gewachsen sind. In Abbildung 2 ist der Klimaverlauf des Freilandversuches abgebildet. Es ist zu erkennen, dass mit dem Temperaturanstieg im Mai auch ein Anstieg der Zielkomponente zu beobachten war. Mit Einsetzen des Frostes ließen die Pflanzen ihre Blätter fallen. Die Pflanzen im Freiland wurden in einen sandigen Lehmboden mit guter Nährstoffversorgung gepflanzt und einmalig mit 40kg/ha N gedüngt.

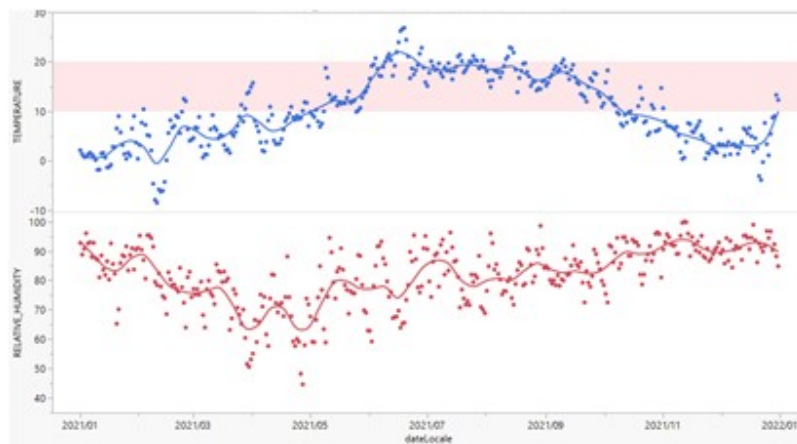


Abbildung 2: Klimatischer Temperatur- (blau) und relativer Luftfeuchteverlauf (rot) in %

Die Klimadaten des Indoor-Anbaus werden hier nicht zusätzlich dargestellt, die Temperatur betrug zwischen 24-27°C und die Luftfeuchte im Mittelwert um die 70 %rel. Luftfeuchte. Die Pflanzen wurden für 16 Stunden mit der P1-500-VIS LED Lampe der Firma Future LED® bei 560 $\mu\text{mol/s}$ beleuchtet und mit dem Dünger Kamasol grün® (N10+P4+K7/ Compoexpert) wöchentlich gedüngt. Insgesamt konnte bei diesem Versuch gezeigt werden, dass die wertgebende Komponente nur in den Blättern der *asiatischen Süßteepflanze* gebildet wird. Aus diesem Grund wurde ein weiterer Versuch durchgeführt, wobei es das Ziel des Versuches war, eine mögliche Korrelation zwischen dem Gehalt an Zielkomponente und dem Blattalter zu untersuchen. Es konnte gezeigt werden, dass die jüngeren, oberen Blätter höhere Gehalte aufwiesen als die älteren, unteren Blätter. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse bildlich dargestellt.

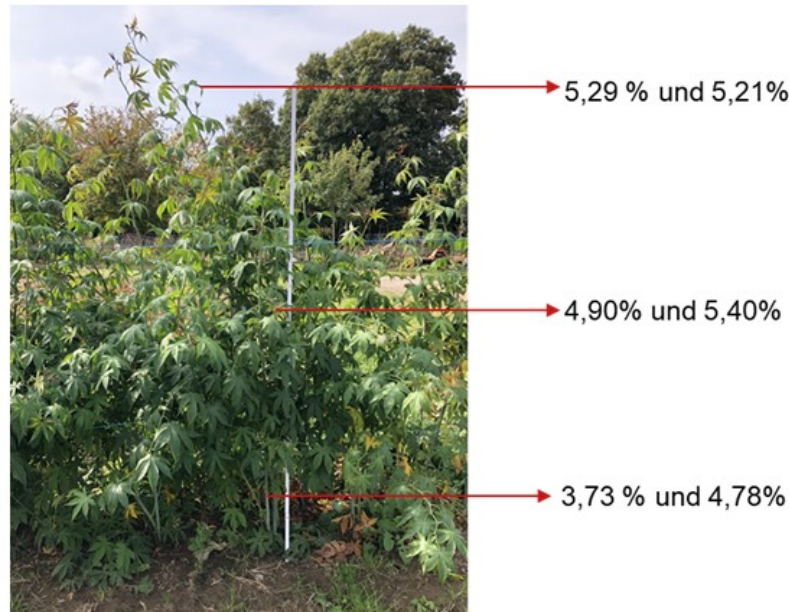


Abbildung 3: Darstellung der Ergebnisse in Korrelation von Blattalter und Gehalt der wertgebenden Verbindung (Doppelbestimmung)

Während der gesamten Laufzeit des Projektes wurden wiederholt alte und junge Blätter auf ihren Gehalt untersucht und die erzielten Erkenntnisse mehrfach bestätigt. Um mögliche Standorteffekte zu untersuchen, wurde neben der Freilandkultivierung in Holzminden (2 Standorte) auch in Berlin bei den Kooperationspartnern am JKI kultiviert. Um die Blattalterungseffekte und den Erntezeitpunkt zu synchronisieren, wurde genau festgelegt, wo und wann an den Pflanzen Proben genommen wurden. Es wurde zu drei Zeitpunkten jeweils am Morgen des verabredeten Tages geerntet. Die Ergebnisse der Ernte vom 30.06.2022 zeigen mit 6,89 bzw. 6,4 % der Zielkomponente einen nahezu gleichen Gehalt an beiden Standorten. Während der Gehalt bei den Erntezeitpunkten am 28.07.2022 und am 29.08.2022 am Standort I der Symrise AG abnahm, zeigten die Ergebnisse für das Versuchsfeld am JKI eine leichte Zunahme des Gehaltes. Insgesamt konnte kein signifikanter Standorteffekt beobachtet werden. Eine Abhängigkeit zwischen Gehalt und Alter der Pflanzen konnte jedoch auch in diesem Versuch gezeigt werden. Die Pflanzen des Standortes II der Symrise AG waren im Vergleich zu den Pflanzen auf dem Feld des Standortes I der Symrise AG und des JKI (Berlin) einjährig und zeigten mit 4,03-4,64%

deutlich niedrigere Gehalte im Vergleich zu den zweijährigen Kulturen mit 5,8-7,1% (siehe Abbildung 4).

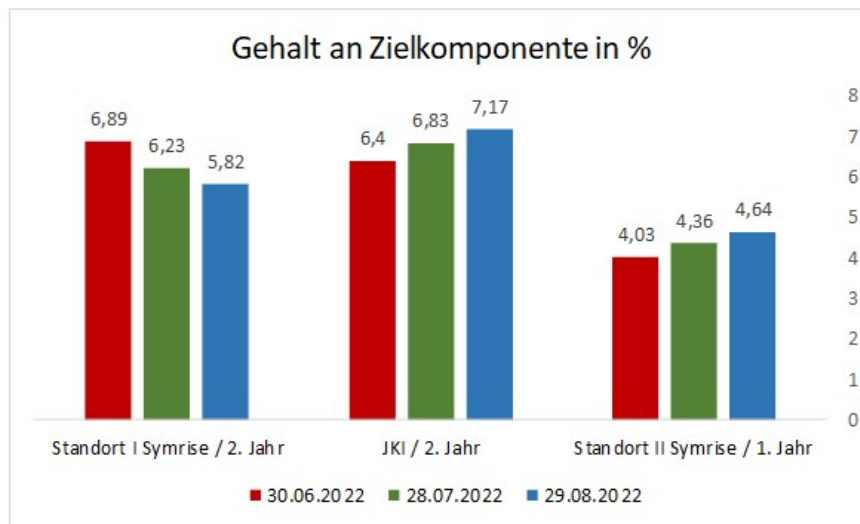


Abbildung 4: Vergleich unterschiedlicher Standorte im Freilandanbau

Neben dem Jahreszeitenversuch und dem Blattalter-Versuch wurde auch getestet, ob die Gehalte der wertgebenden Komponente mit einer zusätzlichen stickstoffbetonten Düngung erhöht werden können. Hierzu wurde zusätzlich 40 kg N/ha ausgebracht. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse dargestellt

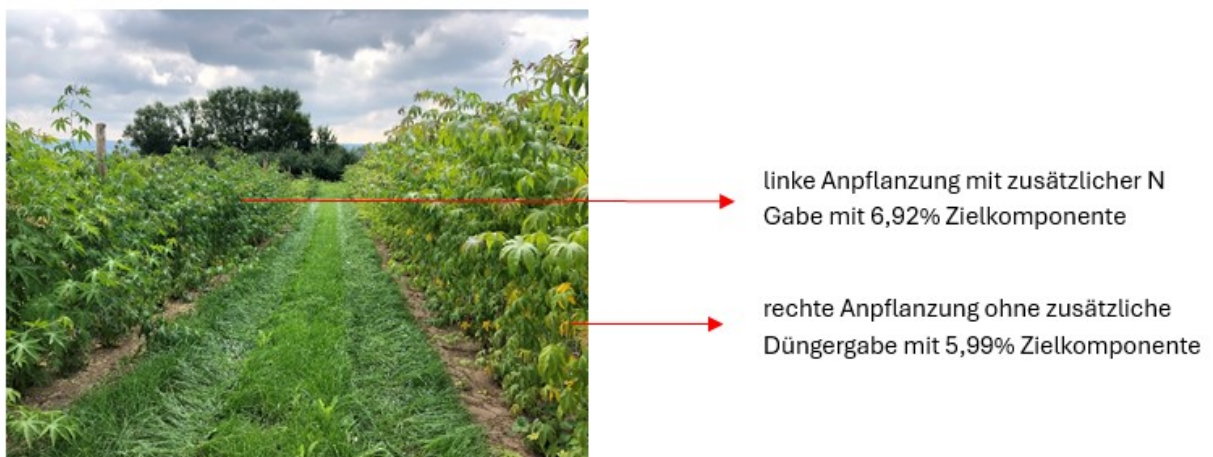


Abbildung 5: Vegetation und Gehalte an wertgebender Komponente der Blätter der asiatischen Süßteepflanze im Düngerversuch im Freilandanbau

Neben einer leichten Erhöhung des Gehaltes von 5,99% auf 6,92% konnte vor allem ein gesünderes Blattwachstum beobachtet werden. Die Pflanzen, die keine zusätzliche Düngung bekommen haben, wirken leicht mangelernährt und zeigten gelbe Blätter. Im Längenwachstum waren allerdings zwischen den Varianten keine Unterschiede zu beobachten. Ein nur mäßiger bis vernachlässigbarer Einfluss der N-Düngung auf die wertgebende Komponente konnte im Jahr 2024 auch durch die Indoor-Versuche an der HS Osnabrück bestätigt werden.

Die Ernte wurde bei der *asiatischen Süßteepflanze* mittels Mähbalken durchgeführt. Auf eine Trocknung der ganzen Pflanzen wurde bewusst verzichtet, da aus einem Vorversuch bekannt ist, dass die Ganzpflanze zu lange zum Trocknen im Wärmeschrank benötigt. Die Blätter wurden daher mit einem Kräuterernter manuell abgestreift und bei 40°C für 48h getrocknet. Es konnte im Jahr 2021 eine Blatternte von insgesamt 70kg reine Blatt-Trockenmasse für Extraktionsversuche gewonnen werden (siehe Abbildung 6). Dies beträgt auf die getrocknete Einzelpflanze 30 g Fertigware je Pflanze, bei einem Restfeuchtegehalt von ca. 10%. Auch in den Jahren 2022-2024 wurde die Freilandpflanzung in Holzminden beerntet und das Material für Extraktionsversuche verwendet. Zu Beginn des Jahres 2025 wurde die Anpflanzung allerdings umgebrochen da im Winter 2024/25 viele Pflanzen durch Kahlfröste abgestorben waren.



Abbildung 6: Rohware aus getrocknetem Blattmaterial

In einem Jahreszeitenversuch konnte somit gezeigt werden, dass der Gehalt der wertgebenden Komponente im Laufe der Vegetationsperiode schwankt. Auch das Blattalter spielt eine große Rolle. So konnte in den jungen Blättern ein Gehalt von über 5 % der wertgebenden Komponente gefunden werden, während die Gehalte in den älteren Blättern deutlich unter 5 % lagen. Diese Annahme wurde auch durch die metabolomischen Studien von jungen und alten Blättern unterstützt, in welchen sich zeigt, dass sich das Metabolom von alten Blättern deutlich von jenem der jungen Blätter unterscheidet. Die Ergebnisse lassen ebenfalls den Rückschluss zu, dass das gewählte Kultursystem einen deutlichen Einfluss auf das Metabolom des Blattes haben kann. Dieses wird auch optisch bei einem stickstoffbetonten Düngeversuch sichtbar, da hier neben einer Erhöhung des Gehaltes der Zielkomponente ein deutlich gesünderes Blattwachstum beobachtet werden konnte. Weiterhin wurden Versuche zum Thema Indoor-Kultivierung, Hydroponik als alternatives Anbauverfahren, Kultivierung unter LED-Licht sowie der Applikation von Phytohormonen und Bakterienlösungen zur Optimierung der Biomasse und Maximierung wertgebender Inhaltsstoffe durchgeführt. In einem ersten kleinen Vorversuch im Jahr 2021 im Indoor-Anbau konnte erstmals unter LED-Licht kultiviert werden (Abb. 7).



Abbildung 7: Erste Kultivierung der *asiatischen Süßtee*pflanze unter LED-Licht im Agrosience Haus bei Symrise

Dieser Versuch wurde im Folgejahr 2022 wiederholt, wobei als Lichtquelle LEDs dienten, die vorwiegend im blauen Lichtspektrum lagen. Aus Versuchen mit anderen Kulturpflanzen

ist ein Stauchungseffekt bzw. eine Internodien Verkürzung mit blauem LED-Licht bekannt, wenn diese Pflanzen vorwiegend mit blauen LED-Licht belichtet wurden. Die Versuche zur LED-Kultivierung wurden zu zwei Terminen/ Bonituren mittels UHPLC Analytik auf die Gehalte der wertgebenden Komponente in den Blättern begleitet und es wurden außerdem die Pflanzenhöhe vermessen. Der gewünschte Stauchungseffekt mittels blauem LED-Licht trat in diesem Versuch nicht ein. Teilweise wuchsen die Pflanzen sogar besser im blauen LED-Licht, die Kontrolle zeige eine Höhe von 45-50cm in der zweiten Bonitur und die LED-Variante 50-55 cm. Die analysierten Gehalte der Zielkomponente zeigten eher einen Substrateffekt als einen Lichteffect, so konnten Werte 1,90-3,21 % ermittelt werden. Ein weiterer Versuch wurde in einer Hydroponischen Anlage bei Symrise im Gewächshaus durchgeführt. Hierzu wurden Pflanzen in einer NFT-Anlage (Nutrient-Film-Technologie) mit einer Flüssigdüngung in Vermiculite überführt und als Kontrolle wurden Pflanzen in Töpfe mit Erde gestellt. Ziel war hier die Überprüfung der Biomasse sowie des Gehaltes an wertgebender Komponente. Es konnte gezeigt werden, dass die Pflanzen in der NFT-Anlage eine durchschnittliche Trocken-Biomasse von 20,96% aufwiesen. Die Kontrollpflanzen wiesen hingegen eine durchschnittliche Trocken-Biomasse von 39,91% auf. Die Analysenwerte der Zielkomponente lagen bei der Kontrolle im Durchschnitt bei 2,28-5,23% und in der NFT-Anlage zwischen 3,59-4,52%. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Kontrollpflanzen in der Erde vitaler wirkten. Es wurde auch beobachtet, dass insbesondere bei der Applikation des Phytohormons Methyljasmonat in Konzentrationen von 1 mM und 10 mM eine signifikante Steigerung des Gehalts der wertgebenden Komponente in jungen Blättern erzielt werden konnte, welcher auch 7 Tage nach der letzten Methyljasmonat-Applikation signifikant höher als in unbehandelten Pflanzen war.

Ein Vergleich des Anbaus im Freiland (JKI) und Indoor (Symrise) zeigte leider keine eindeutigen Tendenzen in Bezug auf eine mögliche Steigerung der Zielkomponente, so dass aus wirtschaftlicher Sicht ein Anbau lediglich im Freiland zu empfehlen ist. Auch die abschließende Untersuchung von 5 neuen Genotypen lieferte insgesamt keine signifikant höheren Gehalte als das Standardmaterial.

Im Falle von *Spilanthes* konnten ebenfalls 4 Genotypen beschafft und analysiert werden. Der Anbau erfolgte bei Symrise im Gewächshaus und Blüten sowie Blätter wurden mittels HPLC-Analyse auf ihren Gehalt an Spilanthol untersucht. Eine Beschreibung der Genotypen sieht wie folgt aus:

Bot-ID	Genotypen	Beschreibung
1321	Acmella oleracea f. Purpurea	violettes Laub und rötliche Färbung an der Blütenspitze
1322	Acmella oleracea f. viridis	grünes Laub und rötliche Färbung an der Blütenspitze
1323	Acmella oleracea f. Purpurea	leuchtend grünes Laub und ohne rötliche Färbung an der Blütenspitze
1353	Acmella oleracea (L) R.K.Jansen	leuchtend grünes Laub und ohne rötliche Färbung an der Blütenspitze

Ein Vergleich von Indoor- und konventionellem Anbau für *Spilanthes* wurde in Absprache mit dem JKI durchgeführt, um den Gehalt an Spilanthol für Blüten und Blätter für verschiedene Genotypen zu vergleichen.

Bei den Versuchen zum Indoor-Anbau zeigen die Blätter mit einem Gehalt von 0,29 bis 0,42 % einen deutlich geringeren Gehalt an Spilanthol als die Blüten, bei denen der Gehalt je nach Genotyp zwischen 1,68 und 2,78 % variiert. Ergebnisse für den Indoor-Anbau bei Symrise sind in Abbildung 8 dargestellt.

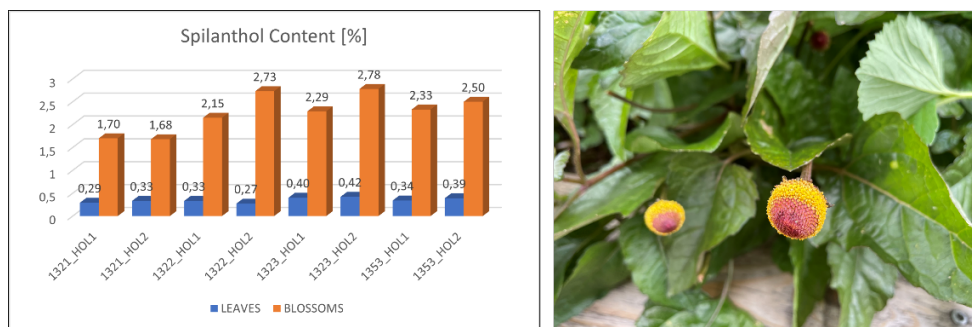


Abbildung 8: Prozentualer Gehalt an Spilanthol in Blättern und Blüten (links) bei Symrise sowie Blüten und Blätter des handelsüblichen Genotyps (rechts)

Ein Vergleich der beiden Anbau-Systeme zeigt, dass auch hier die Blätter einen deutlich geringeren Gehalt an Spilanthol aufweisen und tendenziell in beiden Systemen für alle Genotypen vergleichbar sind (0.24 – 0.56 %). Die Blüten enthalten bei beiden Kultursystemen zwischen 1.68 – 3.83 % der wertgebenden Komponente. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

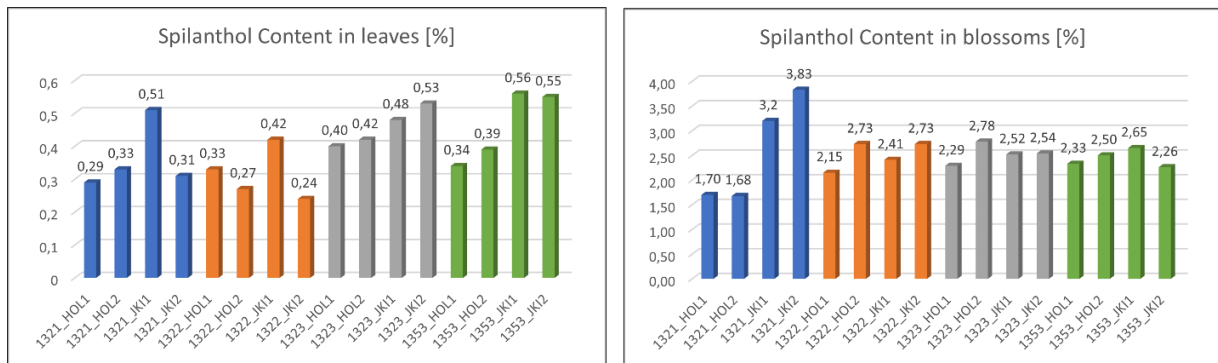


Abbildung 9: Prozentualer Gehalt an Spilanthol in Blättern (links) und Blüten (rechts) im Indoor- und Outdoor-Anbau

Im Rahmen dieser Arbeiten konnte weiterhin durch erste Analysen mittels eines Benchtop FT-NIR gezeigt werden, dass ohne aufwändige Aufarbeitung der Proben und Vermessung mittels HPLC eine Einteilung der Pflanzenorgane in Stängel, Blätter, Wurzeln und sogar eine Vorhersage des Spilantholgehaltes möglich ist. Da es sich im Laufe des Projektes jedoch gezeigt hat, dass die Qualität der Blätter und Blüten nicht ausschließlich durch den Gehalt an Spilanthol bestimmt wird, sondern hier vielmehr die Betrachtung des Metaboloms sinnvoll ist, wurden die Versuche mittels FT-NIR Messung beendet und es wurden nachfolgend eine Vielzahl an nicht-gerichteten (*non-targeted*) Analysen mittels UPLC-IMS-Q-ToF Massenspektrometrie durchgeführt. Ein allgemeiner Workflow ist in Abbildung 10 schematisch dargestellt.

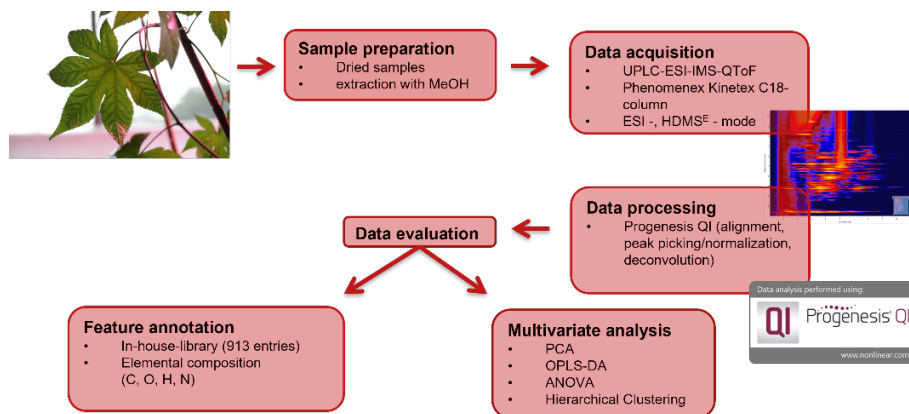


Abbildung 10: Graphische Darstellung des Workflows der durchgeführten metabolischen Studien

Die Metabolomische Studie der vier im Gewächshaus angepflanzten Genotypen der *Spilanthes* zeigt, dass sich das Metabolom der Blätter deutlich von dem der Blüten unterscheidet, welches sich auch in einem erhöhten Gehalt an Spilanthol in den Blüten niederschlägt (Abbildung 11 rechts und links oben). Ein Vergleich des Metaboloms der Blätter zeigt, dass hier kaum Unterschiede zwischen den vier Genotypen zu sehen ist.

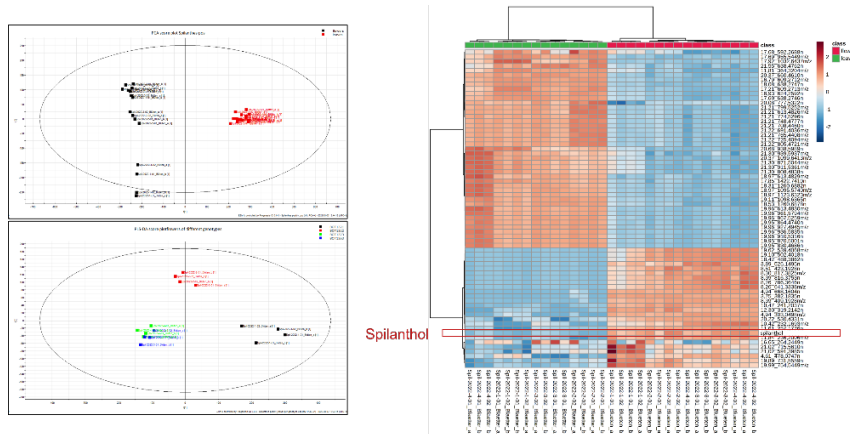


Abbildung 11: Multivariate Datenanalyse mittels PCA (links oben), PLC-DA (links unten) sowie OPLS-DA (rechts) der vier im Gewächshaus angebaute Genotypen.

Aus Abbildung 11 (links unten) hingegen geht sehr deutlich hervor, dass sich das Metabolom der Blüten je nach Genotyp deutlich unterscheidet, so dass es sinnvoll sein könnte, sich die einzelnen Genotypen in Bezug auf die Sensorik nochmals genauer

anzuschauen, falls man ausschließlich Blüten prozessieren möchte. Ein Vergleich der HPLC-Chromatogramme der Blüten und Blätter von *Spilanthes* zeigt weiterhin, dass Blätter neben einem wesentlich niedrigeren Gehalt an Spilanthol auch ein wesentlich komplexeres Spektrum an Verbindungen zeigen als die Blüten, die im Wesentlichen nur Spilanthol enthalten. Diese Erkenntnis passt zu der durchgeführten metabolomischen Studie, die zeigt, dass das Metabolom von Blättern und Blüten grundsätzlich unterschiedlich ist. Die aus den unterschiedlichen Analysen gewonnenen Erkenntnisse sind in Abbildung 12 schematisch dargestellt und zeigen, dass es sinnvoll ist, bei botanischen Materialien bzw. Extrakten immer mehr als eine Analysenart zu wählen, um die Qualität in Gänze beschreiben zu können. Ein Parameter wie der Gehalt an Spilanthol reicht hier bei Weitem nicht aus.

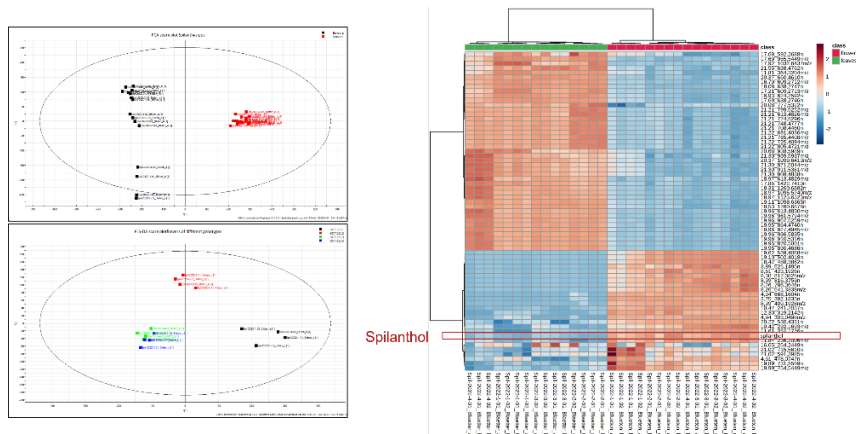


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Analysen mittels HPLC und UPLC-IMS-Q-ToF Massenspektrometrie der Blüten und Blätter von *Spilanthes*

Aufgrund des wesentlich höheren Gehalts an Spilanthol, werden für die Herstellung von Extrakten aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten in erster Linie die Blüten verwendet. Ein stetig steigender Bedarf an Spilanthol-Extrakten führt jedoch dazu, dass verstärkt auch Blätter verarbeitet werden. Haupteinsatzgebiete für Spilanthol sind vor allem die kosmetische Industrie (z.B. Antifalten Cremes oder Zahnpasta), Extrakte werden aber auch zunehmend aufgrund der Schärfe und des prickelnden Effektes auf der Zunge (*tingling effect*) in Lebensmitteln und Getränken verwendet. Neben der Qualität der eingesetzten

Rohware (Anteil Blüten und Blätter) spielt auch die Wahl des Extraktionsmittels eine wesentliche Rolle für die Qualität des erhaltenen Extraktes. Da aufgrund des steigenden Bedarfes an Spilanthol-Extrakten eine ausschließliche Verarbeitung von Blüten nicht mehr gewährleistet werden kann, muss nach neuen Extraktionsverfahren gesucht werden, die die Erhaltung der Qualität von Extrakten bei gleichzeitiger Verarbeitung von Blüten und Blättern gewährleisten. Erste Versuche haben gezeigt, dass mittels CO₂-Extraktion sehr gute Resultate erzielt wurden. Bei *Spilanthes* muss die Rohstoffsituation anders betrachtet und bewertet werden als bei den Blättern der *asiatischen Süßtee*pflanze bzw. *Oregano*, da hier aktuell ausschließlich Blüten verwendet werden. In diesem Fall kann ein Indoor-Anbau mit mehrfachen Ernteperioden im Jahr zu einer gesicherten Rohstoffverfügbarkeit führen. Hinzu kommt ein weiterer Punkt, der bei der Prozessierung von *Spilanthes* nicht zu vernachlässigen ist. Der Anbau von *Spilanthes* auf Feldern erfolgt zum Teil weit weg von der Produktion des Extraktes. Die Transportkosten (Carbon-Footprint) sind hierbei ein nicht zu vernachlässigender Faktor. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Dauer zwischen Ernte und Prozessierung der Spilantholgehalt abbaut und während des Abbaus fischige Off-Noten gebildet werden, die die Qualität des Produktes nachfolgend stark einträchtigen können.

Die zerstörungs- und lösungsmittelfreie Analytik hat am Beispiel von *Oregano*, der *asiatischen Süßteeblätter* sowie *Spilanthes* gezeigt, wie leistungsfähig die Verwendung von elektronischen Nasen bzw. FT-NIR-Geräten ist, wenn sie denn gezielt eingesetzt und eine Verarbeitung der Datensätze über einen chemometrischen Ansatz erfolgt. Gerade im Fall der Ionenmobilitätsspektrometrie (IMS) konnte am Beispiel von *Oregano* gezeigt werden, dass die Bewertung von Qualität nicht nur über die konventionellen Methoden wie Gaschromatographie (GC) sowie Flüssigkeitschromatographie (LC) erfolgen kann, da mittels metabolomischer Analyse lediglich der Bereich der non-volatilen Verbindungen berücksichtigt wird. Da sich *Oregano* aber vor allem durch das volatile Profil auszeichnet, sind hierzu weitere Analysen notwendig. Bei diesen handelt es sich in erster Linie um GC-MS bzw. GC-O-MS (Gaschromatographie-Olfaktometrie-MS) Analysen, welche sehr

lange dauern und auch einen sehr gut ausgebildeten Operator benötigen. Aus diesem Grund wurde die Leistungsfähigkeit von *elektronischen Nasen* (*e-noses*) am Beispiel der Ionenmobilitätsspektrometrie (IMS) getestet. Diese Technik hat den Vorteil, dass das Probenmaterial zerstörungsfrei und schnell analysiert werden kann. Die Systeme können sehr effektiv zur Wareneingangskontrolle in den Laboren der Qualitätskontrolle verwendet werden, wo eine schnelle Analyse zur Freigabe der Ware von Nöten ist. Abbildung 13 zeigt den schematischen Aufbau einer GC-IMS, welche im Vergleich zur GC-Massenspektrometrie (MS) eine höhere Empfindlichkeit sowie Anwenderfreundlichkeit aufweist.

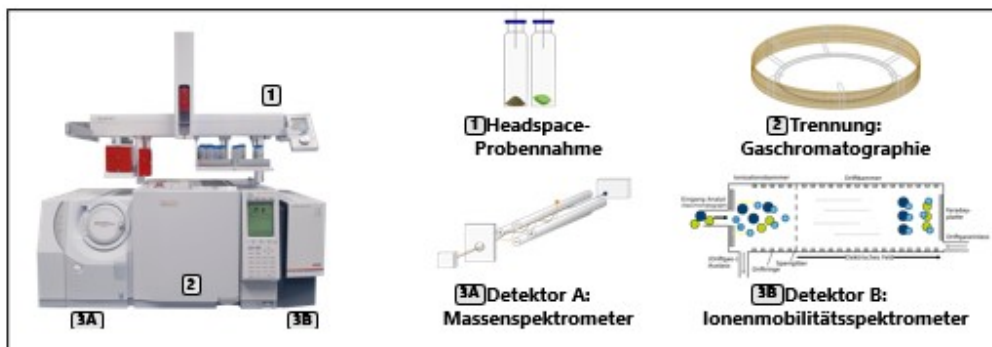


Abbildung 13: Schematischer Aufbau einer GC-IMS Einheit zur Charakterisierung von Aromaprofilen

Zur Messung der VOCs (*Volatile Organic Compounds*) wurde die Headspace-Technik verwendet. Die Trennung der Substanzen erfolgte mittels Gaschromatographie (GC). Das System besteht aus zwei Flusslinien: Eine führt zum Ionenmobilitätsspektrometer (IMS), der sich gut zur Bestimmung des Aromaprofils eignet. Die zweite Flusslinie führt zu einem Massenspektrometer (MS), dessen Spektren mithilfe der NIST-Datenbank analysiert werden, um die IMS-Signale zu identifizieren. Ein beispielhaftes GC-IMS-Chromatogramm von gerebeltem *Oregano* ist in Abbildung 14 dargestellt. Es zeigt zahlreiche Signale, die das komplexe Aroma widerspiegeln. Besonders auffällig sind Terpene und Terpinene, die sich durch ähnliche Driftzeiten kennzeichnen und größtenteils durch das MS, aber auch mit Referenzstandards identifiziert werden konnten. Das intensivste Signal stammt von

Carvacrol, einem bekannten Stoffwechselprodukt der Pflanze, das als Hauptaromastoff von *Oregano* gilt. Insgesamt konnten 45 verschiedene volatile Verbindungen identifiziert werden. Dieses zeigt, wie komplex die Zusammensetzung der VOCs von *Oregano* ist und spiegelt eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit der Methode wider. Untersucht wurden die Reproduzierbarkeit der Probenahme, die Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzenbestandteilen sowie das Aromaprofil bei verschiedenen Inkubationstemperaturen. Die erstellte Methode kann zur Bewertung der Produktqualität von *Oregano*, aber auch perspektivisch zur Aufdeckung von Verfälschungen genutzt werden und ist universell auf Kräuter anwendbar.

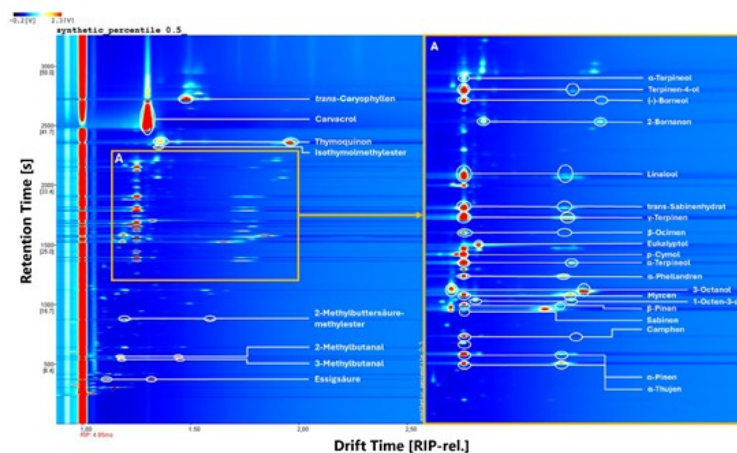


Abbildung 14: Headspace-GC-IMS-Chromatogramm von getrockneten und gerebelten *Oregano*-Blättern

Nach erfolgreicher Etablierung der GC-IMS Methode wurde die Leistungsfähigkeit anhand von *Origanum vulgare ssp. vulgare* unterschiedlicher Herkunft getestet.

Um das Aromaprofil vergleichen zu können, wurden diese unter kontrollierten Bedingungen in einem Gewächshaus angebaut und zu verschiedenen Zeitpunkten des Wachstums mittels GC-IMS analysiert. Es wurde darauf geachtet, dass alle Pflanzen die gleiche Bewässerung, das gleiche Licht und die gleiche Belüftung hatten. Für die Analyse des

Volatiloms wurde wieder eine Headspace-Probenahme einiger Blätter mit anschließender gaschromatographischer Trennung durchgeführt. Da es keine spezifischen Datenbanken für IMS gibt, ist es auch hier notwendig, parallel ein zusätzliches Quadrupol-Massenspektrometer für die Detektion zu verwenden, das zur Identifizierung durch Abgleich der Massenspektren mit der NIST-Datenbank verwendet werden kann. Die identifizierten Verbindungen können durch die Analyse von Referenzsubstanzen bestätigt werden, die zur Erstellung einer IMS-Datenbank für volatile Verbindungen von *Oregano* verwendet werden können. Es ist aus der Abbildung 15 sehr deutlich zu erkennen, dass *Origanum vulgare ssp. vulgare* verschiedener Herkunftsländer deutlich unterschiedlich in der Zusammensetzung des Volatiloms sein können. Das macht die Qualitätsüberprüfung in Bezug auf gleichbleibende Qualität sowie Authentizität schwierig und zeigt nochmals eindrucksvoll, dass für Wareneingangsprüfungen die richtige Festlegung der Prüfparameter sowie des Prüfumfanges essenziell ist.

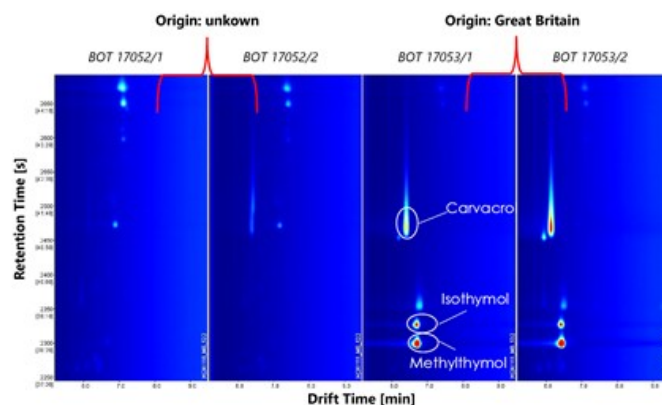


Abbildung 15: Auszug aus den GC-IMS Plots des Probenmaterials *Origanum vulgare ssp. vulgare* unterschiedlicher Herkunft

Veröffentlichungen:

Vorträge/Posterpräsentationen

1. Modestus Wigger, Phil Carbow, Ursula Telgheder, Silke Hillebrand, Stefanie

Sielemann: Headspace-GC-MS/-IMS zur Charakterisierung von *Origanum vulgare* anhand des Aromaprofils, 52. Dt. Lebensmittelchemietage, 16.09.-18.09.2024, Freising (Poster)

2. Modestus Wigger, Silke Hillebrand, Ursula Telgheder, Stefanie Sielemann: Aroma profile analysis of various *Origanum* species using Ion Mobility Spectrometry, ANAKON 2025, 10.03.-13.03.2025, Leipzig (Poster)

Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften

1. 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: Produktion von Aroma- und Gewürzpflanzen im Indoor-Farming, Ernährungsumschau (im Druck).