

---

# Abschlussbericht

---

*Gemeinsames Projekt zwischen der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
und der  
NV-Energie-Stiftung*

*Am Campus Klein-Altendorf durch das  
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz –  
Nachwachsende Rohstoffe (Prof. Dr. Ralf Pude)*



**05.2025**

*(Online verfügbar auf der Seite des INRES – Nachwachsende Rohstoffe)*

## 1. Einleitung

Hydroponische Anbausysteme werden vielfältig als innovative und zukunftsfähige Systeme für die Produktion von hochwertigen pflanzlichen Produkten gesehen. Der teilweise vollständige Verzicht auf Nährmedien (insb. Torf) leistet dabei einen positiven Beitrag zum Klimaschutz. Das sogenannte Deep Water Culture System (DWC) lässt Pflanzen frei in eine Nährlösung wurzeln, ohne dass zusätzliche Nährmedien wie Torf, Steinwolle, Perlite oder ähnliches genutzt werden. Ein gezieltes Nährstoffmanagement der Nährlösung stellt dabei optimale Wuchsbedingungen für die Pflanzen sicher. Neben verschiedenen Makronährstoffen (N, P, K) und Mikronährstoffen (Mg, Ca, Fe) sind auch weitere Parameter von zentraler Bedeutung. So ist beispielsweise die Sauerstoffzugabe in Kombination mit der Wassertemperatur zu kontrollieren, um eine möglichst hohe Sauerstoffsättigung zu erzielen und so zur Wurzelgesundheit und Hygiene der Nährlösung beizutragen. Ebenso können verschiedene Additive der Nährlösung zugegeben werden, um Hygiene zu verbessern oder als Biostimulanz die Performanz der Pflanze zu steigern. Deep Water Culture Systeme werden oftmals mit Indoor Farming oder Vertical Farming Konzepten in Bezug gebracht, lassen sich aber auch sehr gut in Produktionssysteme unter Glas (Gewächshaus) integrieren. Dabei erlauben sie eine Vielzahl an verschiedenen Kulturpflanzen, von Blatt- und Fruchtgemüse oder Schnittkräutern, bis hin zu anspruchsvollen Arznei- oder Gewürzpflanzen. Um weitere Optimierungsstrategien für DWC Systeme zu testen wurde in den vorliegenden Versuchen mit Eichblattsalat und drei verschiedenen Minz-Genotypen der Einfluss von freier Energie auf Wachstum und Qualität der Pflanzen untersucht. Dabei wurden die folgenden drei Hypothesen aufgestellt:

1. *Die Zufuhr von freier Energie kann Düngemittel im DWC System ersetzen*
2. *Die Versuchspflanze zeigt unter Zugabe von freier Energie gesteigerte Vitalität im Vergleich zur Kontrolle*
3. *Die Zugabe von freier Energie führt zu einer Qualitätssteigerung im Vergleich zur Kontrolle*

Um diese Fragen beantworten zu können wurden für Salat und Minze insgesamt drei Versuche durchgeführt, in denen eine gedüngte Kontrolle mit einer ungedüngten Kontrolle sowie einer Variante mit Zugabe freier Energie verglichen wurde.

## 2. Material und Methode

### 2.1 Deep Water Culture System

Um den Einfluss der freien Energie auf die Pflanzen zu untersuchen wurde ein Versuchs-Setup aufgebaut, welches für alle drei Versuche identisch blieb. Hierzu wurden Wasserbecken mit einer Grundfläche von 1x1 m mit 25 cm Leitungswasser gefüllt. Alle Becken wurden mit Styropor-Schwimmkörpern ausgestattet, welche Platz für bis zu 16 Pflanzen bieten. Für die Versuche mit Salat wurden alle 16 Plätze belegt, für die Minzversuche jeweils 8. Alle Becken wurden mit 2 Sprudelsteinen (xy) durchgängig belüftet und über einen Heizstab (xy) auf eine Wassertemperatur von 21 °C beheizt. Als Dünger wurde Canna Aqua A+B (Canna Deutschland) genutzt. Der Salat-Versuch wurde dabei zu einem EC-Wert (Elektrische Leitfähigkeit / Salzgehalt in mS/cm) von 1,1 und einem pH-Wert von 5,5 eingestellt. Bei den beiden Minz-Versuchen wurden die Bedingungen variiert. In der ersten Runde lag der EC- Wert bei 1,5, im zweiten Durchlauf bei 0,9. Der pH-Wert blieb unverändert bei 5,5. Das Leitungswasser für die ungedüngte Kontrolle und die Becken mit Energiekugel lagen bei einem EC-Wert von 0,3 und einem pH-Wert im Bereich von 7,1–7,4.

### 2.2 Pflanzenmaterial

Für den Salat (Sorte: COUSTEAU RZ) wurde Saatgut der Firma Rijk Zwaan verwendet und bis zum Versuchsstart in Torfquellköpfen der Firma Jiffy genutzt und in einem Indoor Farming System bei 20 °C Raumtemperatur und 60 %rh vorgezogen. Das Pflanzenmaterial für die Pfefferminze stammt aus einer Genotypensammlung der Universität Bonn. Hier wurden Stecklinge der Sorte 'Multimentha' als Steckling in Wasser bewurzelt und als bewurzelte Jungpflanze auf die DWC Systeme umgesetzt.

### 2.3 Messparameter

Um valide Aussagen über die Vitalität der Pflanzen treffen zu können wurden verschiedene Vegetations-Indices (VIs) erhoben. Diese berechnen sich aus der spektralen Reflektanz einer Blattoberfläche im Wellenlängenbereich zwischen 380–790 nm und werden über einen Handsensor (PolyPen RP400, PSI) ermittelt. Um ein vollumfängliches Bild über den Zustand einer Pflanze zu erhalten, wurden die folgenden sieben Indizes gemessen:

1. Anthocyanin Reflectance Index 1 (ARI1):
  - Rotfärbung des Blattes
  - UV-Stress
2. Carotinoid Reflectance Index 1 (CRI1):
  - Gelb/Orange-Färbung des Blattes
3. Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI):
  - Rückschlüsse auf Chlorophyll und Photosyntheseleistung
4. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):
  - Pflanzenvitalität und allgemeiner Pflanzenzustand
  - Stress und Nährstoffversorgung
5. Photochemical Reflectance Index (PRI):
  - Lichtausnutzungseffizienz
6. Plant Senescence Reflectance Index (PSRI):
  - Alterungsprozess, der zum Absterben von Pflanzenteilen führt
7. Red-Edge Inflection Point 1 (REIP1):
  - Nährstoffverfügbarkeit und -versorgung

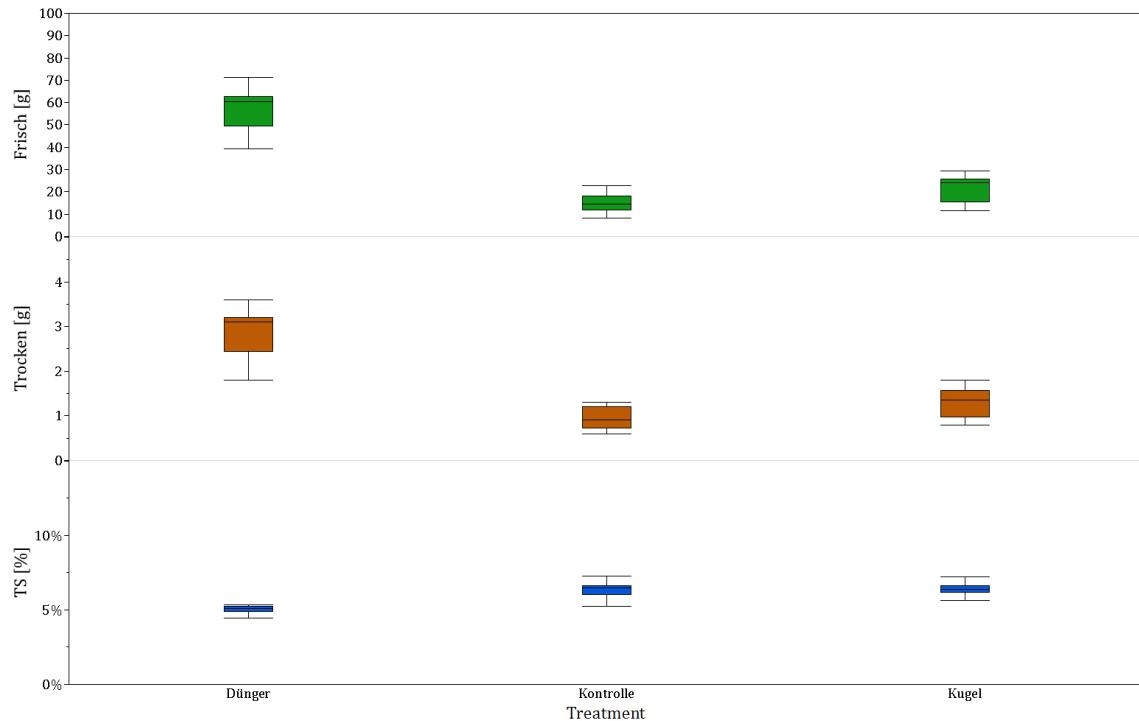
Neben den VIs wurden für alle Teilversuche Frisch- (FM) und Trockengewichte (TM), nach Trocknung bei 40 °C für 72 h, sowie Qualitätsparameter erhoben. Letztere wurden für Salat über die vermarktbare Ware bestimmt, bei der Minze über den Gehalt ätherischer Öle (ml/100 g TM). Für die Bestimmung der Ölgehalte wurde eine Wasserdampfdestillation nach dem Protokoll des Deutschen Arzneibuchs genutzt.

### **3. Ergebnisse und Diskussion**

#### *3.1 Salatversuch*

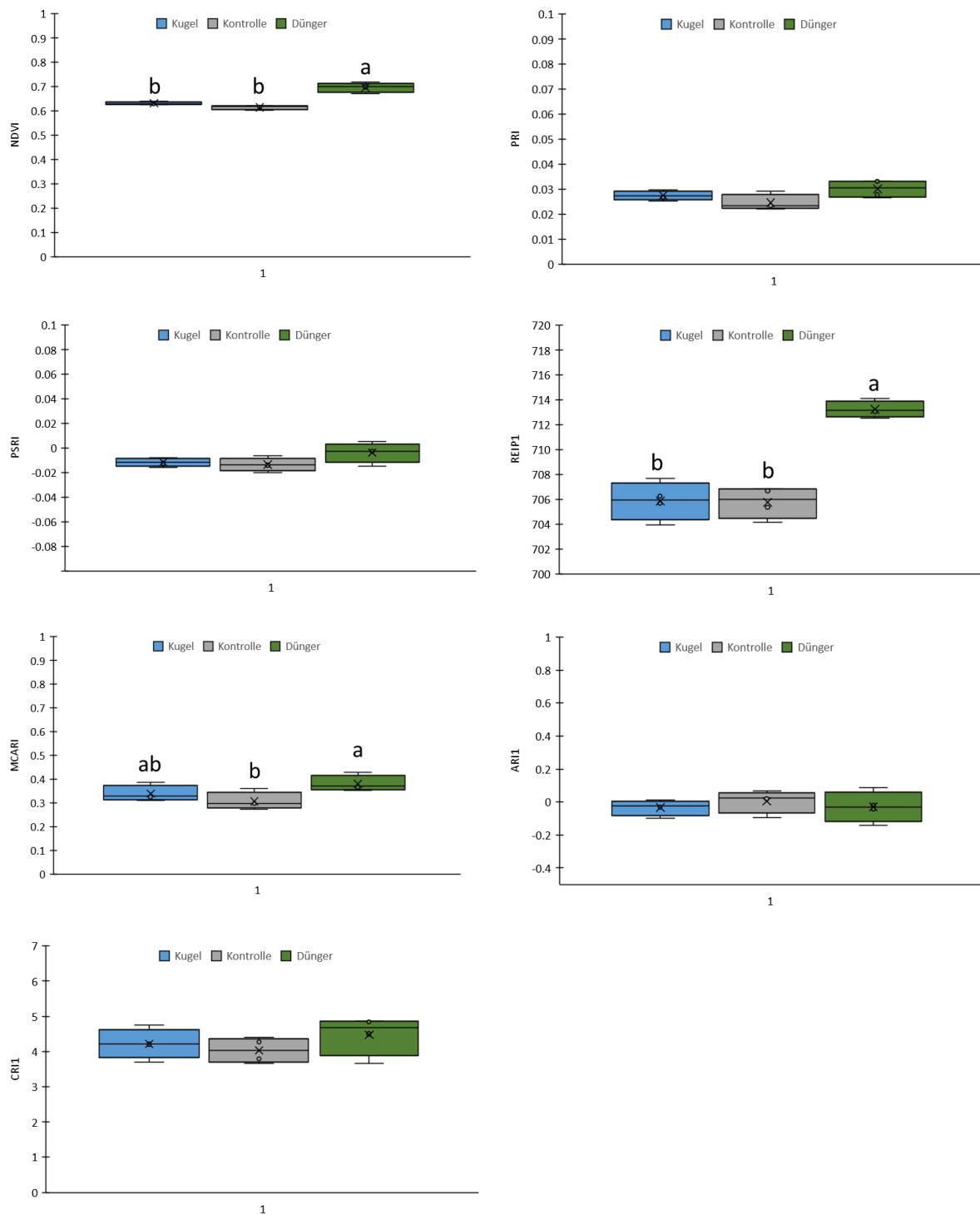
Die Klassifizierung nach vermarkbarer Ware für den Versuch ergab, dass von den jeweils 16 eingesetzten Pflanzen nach fünf Wochen Kulturdauer 14 marktreife Pflanzen aus dem Becken mit Dünger entnommen wurden. Aus keinem der ungedüngten Becken (mit und ohne aktive Energiekugel) konnte eine marktfähige Pflanze entnommen werden. In Abbildung 1 sind die Gewichte der Pflanzen aufgetragen. Hier wird deutlich, dass eine Düngung zu signifikant höheren Erträgen (frisch und trocken) führt, während es keine statistisch signifikanten Unterschiede

zwischen ungedüngter Kontrolle und aktiver Energiekugel gab. Das Verhältnis von Frisch- zu Trockenmasse (Trockensubstanz in %) zeigt, dass der Wassergehalt in der gedüngten Variante signifikant höher lag, als in den ungedüngten Varianten.



**Abb. 1:** Frisch- und Trockenmasse zum Erntetermin nach 5 Wochen Kulturdauer bei Salat. Dünger: gedüngt; Kontrolle: keine Düngung, keine aktive Kugel; Kugel: aktive Energiekugel.

Die Untersuchungen der Vegetations-Indices zeigen, dass Vitalität und Nährstoffversorgung im gedüngten Becken signifikant über den anderen beiden Versuchsvarianten lagen. Dies wird durch NDVI und REIP1 gestützt. MCARI1 zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen Düngung und Kontrolle, jedoch keinen statistisch haltbaren Unterschied zwischen aktiver Energiekugel und Düngung oder Kontrolle. Lichtausnutzungseffizienz (PRI), Seneszenz/Alterung (PSRI), Rotfärbung (ARI1) und Gelb/Orange-Färbung (CRI1) wurden durch Düngung oder aktive Kugel nicht beeinflusst.



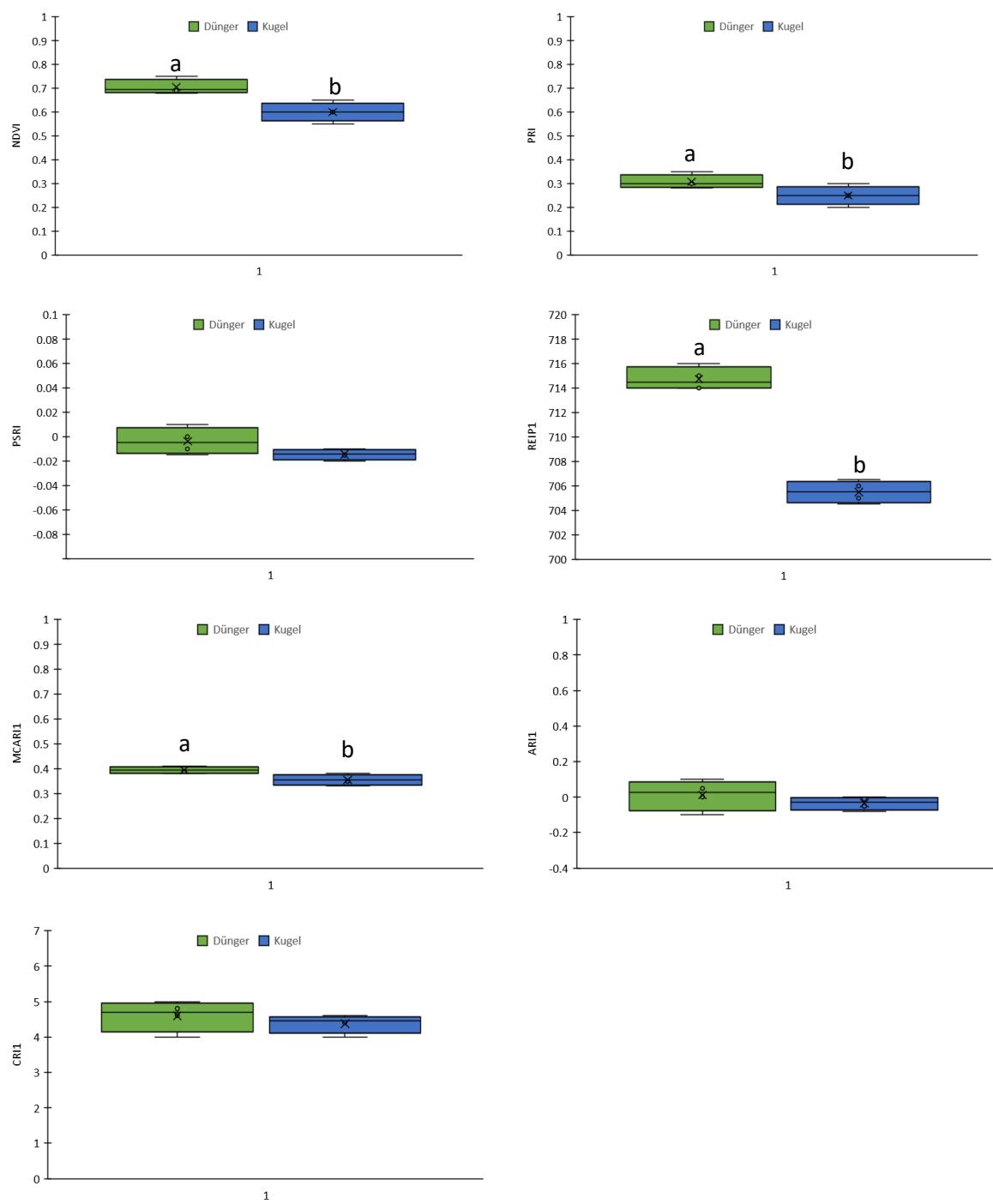
**Abb. 2:** Vegetationsindizes zum Erntetermin nach 5 Wochen Kulturdauer bei Salat. Dünger (grün): gedüngt; Kontrolle (grau): keine Düngung, keine aktive Kugel; Kugel (blau): aktive Energiekugel. Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede nach ANOVA und Tukey-HSD als Posthoc-Test ( $p \leq 0,05$ )

### *3.2 Minzversuch I*

In der ersten Versuchsreihe mit Minze erzielten die Pflanzen mit Düngung Frischgewichte zwischen 732 und 960 g. Dabei lagen die Gehalten an ätherischen Ölen bei 4,8 %. Die Pflanzen ohne Dünger (sowohl mit und ohne freie Energie) konnten keine langfristig lebensfähigen Pflanzen im System erhalten. Da in der gedüngten Variante alle Pflanzen überlebt haben, kann der Grund nicht im genutzten Pflanzenmaterial oder dem allgemeinen Aufbau der Systeme gefunden werden. Um auszuschließen, dass das Gewächshausklima im Zusammenspiel mit der freien Energie Abhängigkeiten aufweist, wurde der Versuch zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt.

### *3.3 Minzversuch II*

Der zweite Versuch mit Minze lieferte wieder hochwertiges Pflanzenmaterial in der gedüngten Variante, welches 934,3 g/m<sup>2</sup> lieferte. In der Kontrolle lag die Biomasse bei 6,2 g/m<sup>2</sup> und in der ungedüngten Variante mit aktiven Energiekugeln bei 28,4 g/m<sup>2</sup>. Dazu wurde in der gedüngten Variante ein Ölgehalt von 4,6 % und in der Variante mit aktiver Energiekugel von 2,8 % ermittelt. Die geringe Biomasse der Energiekugel-Variante führte wahrscheinlich durch das niedrigere Blatt-Stängel-Verhältnis zu geringeren Ölausbeuten. Da für eine Wasserdampfdestillation jedoch 20 g Einwaage notwendig ist, musste hier mit dem vorhandenen Pflanzenmaterial die Destillation durchgeführt werden. Die Pflanzenvitalität (nach Vegetations Indices) wurde durch die Zugabe von Dünger signifikant verbessert. Sowohl NDVI, PRI, REIP1 und MCARI1 deuten auf höhere Performanz in den gedüngten Pflanzen hin. Im Vergleich zu Salat konnten keine Farbveränderungen (ARI1 und CRI1) festgestellt werden. Der Abreifeprozess (Seneszenz; PSRI) war in den Pflanzen mit Dünger leicht erhöht, was für in diesem Kontext für ein schnelleres Wachstum und damit verbunden, einen schnelleren Prozess zur Blütenbildung spricht. Der Versuch zeigte deutlich, dass eine Düngung für die Produktion von hochwertigem Pflanzenmaterial sowie einer akzeptablen Ölausbeute unerlässlich ist. Dennoch konnte die freie Energie die Qualität des Pflanzenmaterials ohne Düngung im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle verbessern. Ergebnisse zur DNA-Analytik wurden von einem externen Labor durchgeführt und in einem separaten Bericht zusammengefasst.



**Abb. 3:** Vegetationsindices zum Erntetermin bei Minze. Dünger (grün): gedüngt; Kugel (blau): aktive Energiekugel. Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede nach ANOVA und Tukey-HSD als Posthoc-Test ( $p \leq 0,05$ )

#### 4. Fazit

Die Versuche mit Salat und Minze konnten zeigen, dass aktive Energiekugeln eine Düngung der Nährösung nicht ersetzen können. Dennoch zeigten sich Effekte gegenüber einer Kontrolle, welche lediglich in Leitungswasser kultiviert wurde. Diese wurden sowohl während der Kultivierung von Salat, als auch im zweiten Minzversuch beobachtet. Da in allen drei Versuchen bei ungedünfter Kontrolle und der Applikation von freier Energie keine vermarktbare Ware (bei Salat und Minze) und nur geringe Erträge erzielt wurden, ist eine genaue Aussage über die Wirkungsstärke sowie einzelne Wirkzusammenhänge nicht zu treffen. Versuche zu Applikationstechniken und damit verbunden die Einwirkung der Metalle im Becken bleiben offen und sind für eine abschließende Bewertung relevant. Dennoch konnten in zwei der drei Teilversuche Effekte durch die Applikation von freier Energie in das Wasserbecken ermittelt werden, wenngleich diese nicht als ertragsrelevant einzustufen sind. Weitere Versuche zu einer Kombination aus Düngung und freier Energie könnten die genaue Effektstärke herausarbeiten, um so quantifizierbar und belastbar die Wirkung auf Erträge und Qualitäten herauszustellen.

Abschließend lässt sich zu den oben aufgestellten Hypothesen das folgende Kurzfazit ziehen:

- 1. Die Zufuhr von freier Energie kann Düngemittel im DWC System ersetzen*

Die Versuche zeigen, dass Nährstoffe, welche über eine Düngung appliziert werden, nicht durch die freie Energie ersetzt werden können.

- 2. Die Versuchspflanze zeigt unter Zugabe von freier Energie gesteigerte Vitalität im Vergleich zur Kontrolle*

Aufbauend auf den Versuchen kann diese Hypothese bestätigt werden, da sowohl für Salat als auch Minze höhere Pflanzengesundheit erzielt wurde, als bei der unbehandelten Kontrolle.

- 3. Die Zugabe von freier Energie führt zu einer Qualitätssteigerung im Vergleich zur Kontrolle*

Eine Qualitätssteigerung konnte erzielt werden, wenngleich keiner der Versuche zu vermarktbarer Ware geführt hat.

