

## AP 4: Entwicklung eines Kultivierungssubstrates auf Basis von Luzerneheu; Untersuchung von Qualitätsparametern

Im Arbeitspaket 4 stand die Entwicklung eines Kultivierungssubstrates auf Basis von Luzerneheu im Mittelpunkt. Ziel war es, neben den im Projekt vorgesehenen Anzuchtschalen auch das eigentliche Substrat für die Aussaat von Mikrogemüse aus demselben Rohstoff herzustellen. Damit sollte ein vollständig biobasiertes und regional erzeugtes Anzuchtsystem entstehen, das Substratmatten aus Hanffasern oder anderen Materialien perspektivisch ersetzen kann.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes knüpfte unmittelbar an die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete an. Bereits im Rahmen der Fraktionierungsversuche (AP 2) wurden verschiedene Luzernefraktionen gewonnen und hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe charakterisiert. Eine Elementaranalyse zeigte deutliche Unterschiede im Stickstoffgehalt der Fraktionen. Während Blätter und Knospen mit 5,2 % besonders hohe N-Gehalte aufwiesen, konnte mit der Mittelfraktion D eine vergleichsweise stickstoffarme Fraktion (1,8 %) identifiziert werden. Diese Fraktion wurde als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Substratmatten herangezogen (vgl. siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1: Analysedaten Luzernefraktionen**

| Fraktion                        | N-Gehalt [%] | Bemerkung                     |
|---------------------------------|--------------|-------------------------------|
| Blätter & Knospen               | 5,2          | hoher Proteinanteil           |
| Stängel                         | 2,1          | mittlerer Proteinanteil       |
| A (Feinfraktion 1)              | 3,3          | —                             |
| B (Mittelfraktion 1)            | 2,6          | —                             |
| C (Feinfraktion 2)              | 2,3          | —                             |
| D (Mittelfraktion 2)            | 1,8          | ausgewählt für Substratmatten |
| D1 (Grobfraktion > 2 mm, 2. ZK) | 2,0          | —                             |

Von Beginn an war jedoch klar, dass dieses Arbeitspaket eine besondere Herausforderung darstellte. Luzerne ist ein nährstoffreiches Ausgangsmaterial, das einerseits durch seinen hohen Proteingehalt eine starke mikrobielle Aktivität begünstigt und andererseits sekundäre Pflanzenstoffe enthält, die die Keimung hemmen können. Dennoch sollten diese Schwierigkeiten systematisch untersucht werden, um die Eignung von Luzerneheu als Kultivierungssubstrat zu bewerten und im direkten Vergleich mit alternativen Materialien wie Stroh und Hanfmatten einzuordnen.

### 1. Recherche und Definition der Anforderungen

Vor der Durchführung der praktischen Versuche wurde eine umfassende Literaturrecherche zu den Anforderungen an Kultursubstrate vorgenommen. Eine zentrale Grundlage bildete die Broschüre „*Kultursubstrate im Gartenbau*“ der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE, 3. überarbeitete Auflage, 2023). Sie beschreibt sowohl die Eigenschaften torfhaltiger Substrate als auch mögliche Alternativen und benennt die Kriterien, die für eine erfolgreiche Anzucht entscheidend sind.

Auf Grundlage dieser Literatur lassen sich folgende zentrale Anforderungen für Kultursubstrate formulieren (detaillierte Tabelle zu Anforderungen Kultursubstrat siehe Anhang 1)

- Physikalische Eigenschaften:  
Ein Kultursubstrat muss ein hohes Porenvolumen mit einer ausgewogenen Porengrößenverteilung aufweisen. Nur so kann es Wasser speichern und gleichzeitig eine

ausreichende Belüftung der Wurzeln gewährleisten. Strukturstabilität über die Kulturdauer und die Wiederbenetzbarkeit nach Austrocknung sind weitere Schlüsselfaktoren.

- **Chemische Eigenschaften:**  
Ein geeigneter pH-Wert (ca. 5,5–7,5) sowie eine ausreichende Pufferkapazität sind notwendig, um stabile Wachstumsbedingungen sicherzustellen. Gleichzeitig sollten die Gehalte an leicht löslichen Nährstoffen und Salzen nicht zu hoch sein, da diese die Keimung hemmen können. Insbesondere überhöhte Stickstoffgehalte sind kritisch, da sie das Risiko von Schimmelbildung und mikrobieller Belastung deutlich erhöhen.
- **Biologische und hygienische Eigenschaften:**  
Substrate müssen frei von Krankheitserregern, Schädlingen, Unkrautsamen und wachstumshemmenden Stoffen sein. Organische Materialien wie Luzerneheu stellen hier eine besondere Herausforderung dar, da sie natürlicherweise mikrobielle Belastungen und sekundäre Pflanzenstoffe enthalten können, die die Keimung negativ beeinflussen.
- **Betriebliche und praktische Anforderungen:**  
Substrate sollten eine gleichbleibende Beschaffenheit, gute Lagerfähigkeit und einfache Handhabung aufweisen. Darüber hinaus gewinnen ökologische und wirtschaftliche Kriterien zunehmend an Bedeutung, etwa die regionale Verfügbarkeit der Rohstoffe sowie deren Nachhaltigkeit.

Diese Anforderungen dienen als Referenzrahmen für die Bewertung der im Projekt entwickelten Luzerne-basierten Substratmatten. Sie bilden die Grundlage, um die Versuchsergebnisse sowohl im Hinblick auf physikalische und chemische Eigenschaften als auch in Bezug auf die Praxistauglichkeit einordnen zu können.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Ausgangsmaterialien**

Für die Herstellung der Substratmatten wurde Luzerneheu aus unterschiedlichen Fraktionen genutzt. Auf Grundlage der in AP 2 durchgeführten Fraktionierung und Elementaranalyse wurde die stickstoffärmste Mittelfraktion (Fraktion D, 1,8 % N) als Hauptmaterial ausgewählt. Zusätzlich wurden folgende Vergleichssubstrate in die Versuchsreihen einbezogen:

- hofeigenes Weizenstroh (granuliert bzw. pelletiert),
- kommerzielle Hanfmatten, die als Referenzsubstrat für die Anzucht von Mikrogemüse dienen.

### **2.2 Herstellung der Substratmatten**

Die Luzernefasern wurden zu Wirtvliesen verarbeitet und in unterschiedlichen Varianten verpresst:

- Kaltpressung (Ruck-Press, ca. 20 bar, 5 Minuten),
- Heißpressung (Siempelkamp-Press, 150 °C),
- Granulierung mit anschließender Verpressung,
- Kochbehandlung der Luzerne vor der Mattenherstellung.

Darüber hinaus wurden Varianten durch Einweichen mit kaltem oder kochendem Wasser sowie durch Auswaschen von Extraktstoffen hergestellt.



**Abbildung 1: Presse der Firma Ruck zum kalten Verpressen der Wirtvliese (links) und Heißpresse von Siempelkamp, Ansicht der beheizten Pressplatten (rechts)**



**Abbildung 2: Vlieslegung für Kultursubstratmatten**

Die detaillierten Pressparameter und Abmessungen der Substratmatten sind im Anhang 2 dokumentiert.

### 3.3 Hygienisierungs- und Vorbehandlungsvarianten

Um die mikrobiologische Belastung zu reduzieren und die Substrate keimfähig zu machen, wurden verschiedene Hygienisierungsverfahren erprobt (siehe Anhang 3):

- Heißpressen,
- Einweichen mit kaltem Wasser,
- Einweichen mit kochendem Wasser,
- Kochen der Luzernefasern,
- Heißwasserbehandlung von Strohpellets,
- Extraktstoff-Auswaschung (vor der Aussaat).

### 3.4 Versuchsanlagen und Durchführung

Die Versuche gliederten sich in mehrere Stufen:

- Vorversuch (Fensterbankversuch): Erste Luzernematten wurden in Keramikschalen und in einem Mini-Gewächshaus über 10–14 Tage kultiviert. Es erfolgte eine zweimal tägliche Befeuchtung.
- Hauptversuch (Vergleich von Materialien): In einem für das Projekt eingerichteten Versuchsraum wurden sechs Varianten untersucht (Luzerne, Stroh und Hanf – jeweils mit Sprüh- oder Tauchbewässerung). Die Anzucht erfolgte in Trays mit Abdeckhauben über einen Zeitraum von 10–14 Tagen. Temperatur und pH-Werte wurden zu Beginn und am Ende erfasst, eine tägliche Sichtkontrolle sowie eine Nachbefeuchtung nach Bedarf durchgeführt.
- Hygienisierungsversuch (Vorbehandlungsvarianten): Ebenfalls im Versuchsraum wurden vier Substratvarianten getestet (Luzerne granuliert kalt, Luzerne granuliert heiß, Luzerne gekocht, Strohpellets mit kochendem Wasser). Pro Variante wurde eine definierte Menge Kressesamen ausgesät. Die Wassergaben wurden dokumentiert, tägliche Kontrollen durchgeführt.

### 3.5 Versuchspflanzen

Als Modellpflanzen für die Mikrogemüseanzucht wurden Gartenkresse (*Lepidium sativum*) und Radies (*Raphanus sativus*) verwendet. Diese Arten sind robust, keimen schnell und werden häufig in Substratversuchen eingesetzt.

### 3.6 Erfasste Parameter

Zur Beurteilung der Substrate wurden folgende Parameter systematisch erhoben:

- Keimfähigkeit (Keimquote, Keimgeschwindigkeit),
- Wachstum und Vitalität der Pflanzen,
- Auftreten und Intensität von Schimmel,
- Wasserhaltevermögen und Wiederbenetzbarkeit,



- pH-Wert zu Beginn und Ende des Versuchs.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Vorversuch: Erste Matten aus Luzerneheu

Im Vorversuch wurden aus der stickstoffarmen Luzernefraktion (D) sowie aus Rohmaterial einfache Matten hergestellt und entweder kalt oder heiß verpresst (siehe Anhang 2). Diese Matten wurden im Heimversuch auf der Fensterbank getestet.

- Kalt verpresste Matten: Keine Keimung der Kresse und Senfsamen. Die Substrate neigten zum Austrocknen, im Inneren trat jedoch Schimmelbildung auf.
- Heiß verpresste Matten: Keimung nach 6 Tagen (Referenz Küchenpapier: 3 Tage). Das Wachstum war stark gehemmt, die Keimlinge entwickelten sich nur schwach. Nach 11 Tagen entstand ein Silagegeruch, jedoch ohne sichtbare Schimmelbildung.
- Referenz (Küchenpapier): Normale Keimung, Kresse nach 11 Tagen schnittreif.



**Abbildung 3: Variante BG (links) und Variante D (rechts) befeuchtet im ersten Versuch**

Zwischenfazit: Ohne Hygienisierung war keine Keimung möglich, allein das Heißpressen reichte nicht aus, um ein funktionsfähiges Substrat zu erhalten.

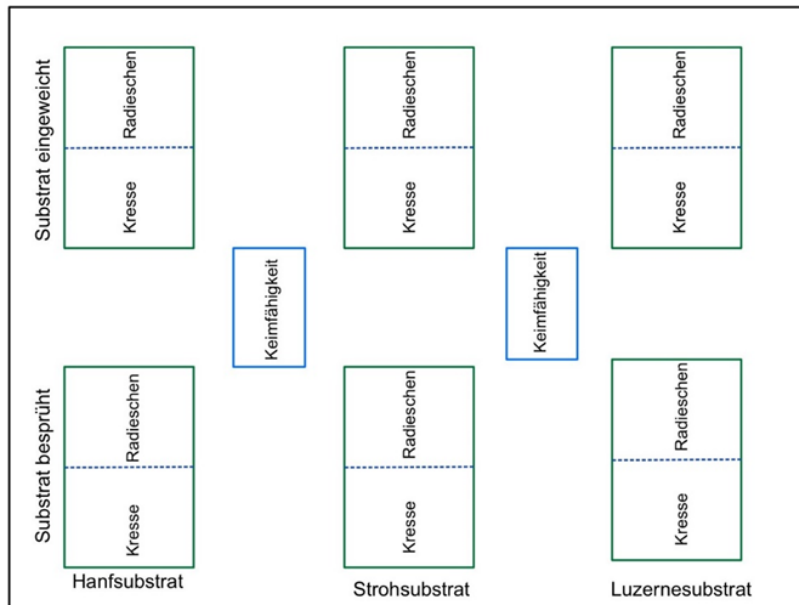
### 4.2 Hauptversuch: Vergleich von Luzerne, Stroh und Hanf

In einem eigens für das Projekt eingerichteten Versuchsraum wurden sechs Substratvarianten getestet: Luzerneheu, Weizenstroh und Hanf, jeweils mit Sprüh- oder Tauchbewässerung (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Beobachtungen, pH-Wert-Messungen und Beurteilung der verschiedenen Kultursubstratvarianten**

| Kultursubstrat-varianten           | Beobachtungen                                                                                                                                                                           | pH-Wert Start | pH-Wert (10 d) | Beurteilung                                                                                               |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Luzerne granuliert eingeweicht     | Beim Einweichen in Überschuss Wasser zerfällt die Platte in grobe Teile und Fasern lösen sich ab, starkes Ausschwemmen von Extraktstoffen ersichtlich (Grünfärbung des Einweichwassers) | 6,75          | 8              | Gehemmtes Wachstum v.a. Radies, Kresse wächst leicht, Schimmelbildung an vereinzelt Stellen von Beginn an |
| Luzerne granuliert besprüht        | Nimmt Wasser langsam auf, quillt auf                                                                                                                                                    | 6,75          | 8,4            | Stark gehemmtes Wachstum, flächige Schimmelbildung von Beginn an                                          |
| Weizenstroh granuliert eingeweicht | Beim Einweichen in Überschuss Wasser quillt die Platten stark auf, leichte Ablösung einzelner Halme                                                                                     | 7,3           | 7,4            | Neigt zum Austrocknen, Wachstum in Ordnung, Schimmelbildung während des Wachstums zu beobachten           |
| Weizenstroh granuliert besprüht    | Wasseraufnahme verzögert, Tropfenbildung auf Halmfragmenten                                                                                                                             | 7,3           | 7,8            | Neigt zum Austrocknen, Wachstum in Ordnung, Schimmelbildung während des Wachstums zu beobachten           |
| Hanfmatte eingeweicht              | Leichte Einfärbung des Einweichwassers                                                                                                                                                  | 7,3           | 8,2            | Wachstum ohne Auffälligkeiten                                                                             |
| Hanfmatte besprüht                 | Bildung von Tropfen, die nach kurzer Zeit in das Material einziehen                                                                                                                     | 7,3           | 8,7            | Wachstum etwas langsamer als eingeweichte Hanfmatten                                                      |

Die Versuchsskizze ist in Abbildung 4 zu sehen.



**Abbildung 4: Versuchsskizze zweiter Versuch der Versuchsreihe zu AP 4**

- pH-Wert: Alle Substrate lagen nach 10 Tagen zwischen 7,4 und 8,2.
- Luzernevarianten: Bereits nach 2 Tagen traten deutliche Schimmelbildungen auf. Das Wachstum war stark gehemmt; nur in der eingeweichten Variante zeigte Kresse ein leichtes Wachstum.
- Weizenstrohvarianten: Keimung und Wachstum waren möglich. Allerdings trocknete das Substrat schnell aus, und die Wurzeln rissen die Struktur auf.
- Hanfmatten (Referenz): Sowohl bei Sprüh- als auch bei Tauchbewässerung ein gleichmäßiges, gesundes Wachstum. Keine Schimmelbildung.



**Abbildung 5: Versuchsaufbau Anzuchtsubstrate Versuch 2 (links), gehemmtes Wachstum auf den Luzernesubstraten bzw. Schimmelbildung im fortgeschrittenen Versuchsverlauf (rechts)**

Die Bewertung in Tabelle 3 zeigt, dass Luzerne deutlich schlechter abschnitt als Stroh und Hanf. Besonders bei den Parametern Wachstum und Schimmelbildung ergaben sich gravierende Nachteile.

**Tabelle 3: Bewertung der Anzuchtsubstrate (+++ sehr gut; ++ gut; + befriedigend; - ausreichend; - - mangelhaft; - - - ungenügend)**

|                           | Luzerne<br>gesprüht | Luzerne<br>gegossen | Stroh<br>gesprüht | Stroh<br>gegossen | Hanf<br>gesprüht | Hanf<br>gegossen |
|---------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Schimmel-<br>bildung      | +++                 | ++                  | +                 | +                 | ---              | ---              |
| Wachstum                  | ---                 | --                  | +                 | +                 | ++               | +++              |
| Wasserhalte-<br>fähigkeit | -                   | -                   | --                | --                | +++              | +++              |

Zwischenfazit: Luzerneheu erwies sich als ungeeignet, Stroh war bedingt brauchbar, Hanf hingegen zeigte die besten Eigenschaften.

#### 4.3 Hygienisierungsversuch: Vorbehandelte Substrate

Im dritten Schritt wurden vier Varianten getestet, die sich durch unterschiedliche Vorbehandlungen unterschieden (siehe Tabelle 4).

- Luzerne, kalt eingeweicht (L1): Nur 2 % der Samen keimten, deutliche Schimmelbildung. Hohe Wasserhaltefähigkeit, vermutlich durch hohen Feinporenanteil.
- Luzerne, kochend eingeweicht (L2): Keine Keimung, starke Schimmelbildung.
- Luzerne, gekocht + kalt eingeweicht (L3): 40 % Keimung nach 2 Tagen, geringer Schimmelbefall. Allerdings Austrocknung nach 48 h ohne Bewässerung.
- Strohpellets, kochend eingeweicht (S1): 90 % Keimung bereits nach 1 Tag. Allerdings schnelles Austrocknen durch hohen Grobporenanteil.

**Tabelle 4: Bewertung der hygienisierten Anzuchtsubstrate (+++ sehr gut; ++ gut; + befriedigend; - ausreichend; - - mangelhaft; - - - ungenügend)**

|                                                     | Luzerneheu<br>granuliert,<br>kaltes Wasser | Luzerneheu granuliert,<br>kochendes Wasser | Luzerneheu<br>gekocht, kaltes<br>Wasser | Strohpellets,<br>kochendes Wasser |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| Schimmel-<br>bildung                                | +++                                        | +++                                        | +                                       | --                                |
| Wachstum                                            | ---                                        | ---                                        | +                                       | ++                                |
| Wasserhalte-<br>fähigkeit<br>pflanzen-<br>verfügbar | ++                                         | ++                                         | +                                       | --                                |

Zwischenfazit: Trotz intensiver Vorbehandlung konnte Luzerne nicht in eine für die Mikrogemüseanzucht geeignete Substratform gebracht werden. Stroh zeigte zwar gute Keimergebnisse, jedoch fehlte die Wasserversorgung im oberen Bereich des Substrats.

#### 4.4 Gesamtbewertung der Ergebnisse

##### Luzerneheu:

- Hoher Stickstoffgehalt und lösliche Kohlenhydrate führten zu Schimmelbildung.



- Sekundäre Pflanzenstoffe hemmten die Keimung.
- Ungünstige Porenstruktur: überwiegend Feinporen → Totwasser.

#### **Weizenstroh:**

- Besser als Luzerne, aber instabile Struktur und geringe Wasserhaltefähigkeit.
- Austrocknungsgefahr und Schimmel während der Kultur.

#### **Hanfmatte (Referenz):**

- Gleichmäßige Keimung und gesundes Wachstum.
- Hohe Wasserhaltefähigkeit, gute Wiederbenetzbarkeit, keine relevante Schimmelbildung.

#### **Gesamtergebnis:**

Luzerneheu und Weizenstroh erwiesen sich als ungeeignet für die Kultivierung von Mikrogemüse. Hanfmatten sind als Referenz und praktische Lösung geeignet und wurden daher als Bestandteil des späteren Anzuchtsets ausgewählt.

## **5. Diskussion**

Die Versuchsreihen in Arbeitspaket 4 haben gezeigt, dass Luzerneheu erhebliche Einschränkungen als Kultivierungssubstrat für Mikrogemüse aufweist. Die Ursachen lassen sich aus drei Hauptkomplexen erklären:

#### **Chemische Zusammensetzung der Luzerne**

Luzerne enthält leicht lösliche Kohlenhydrate, die bei hoher Feuchtigkeit einen idealen Nährboden für Schimmelpilze darstellen. Parallel dazu führen hohe Stickstoffgehalte, selbst in der stickstoffärmsten Fraktion D, zu einer erhöhten mikrobiellen Aktivität. Zusätzlich wirken sekundäre Pflanzenstoffe wie Abscisinsäure keimhemmend und verlangsamen das Wachstum der Jungpflanzen. Diese Faktoren traten in allen Varianten auf und erklären sowohl die ausbleibende Keimung als auch die beobachtete Schimmelbildung.

#### **Physikalische Eigenschaften des Substrates**

Die Porenstruktur der hergestellten Luzernematten war überwiegend feinporig. Dadurch wird Wasser stark gebunden und steht den Wurzeln nicht mehr pflanzenverfügbar zur Verfügung („Totwasser“). Zwar zeigte sich in einzelnen Varianten eine hohe Wasserspeicherkapazität, diese war jedoch funktional nutzlos, da den Pflanzen die Aufnahme verwehrt blieb. Im Gegensatz dazu besaßen Strohpellets überwiegend Grobporen. Hier stand Wasser kurzfristig in großen Mengen zur Verfügung, konnte aber nicht im Wurzelraum gehalten werden. Das führte zu rascher Austrocknung und ungleichmäßiger Wasserversorgung.

#### **Hygienisierungsverfahren**

Die untersuchten Vorbehandlungen – Heißpressen, Kochen, Heißwasserbefeuchtung oder Extraktstoffauswaschung – konnten die grundlegenden Probleme nicht lösen. Zwar wurde in einzelnen Fällen der Schimmelbefall reduziert, gleichzeitig verstärkte sich jedoch die Wachstumshemmung. Offensichtlich reicht keine der getesteten Maßnahmen aus, um sowohl hygienische Anforderungen als auch pflanzenphysiologische Eignung zu vereinen.

#### **Vergleich mit Referenzsubstraten**

Die Hanfmatten erfüllten die beschriebenen Substratanforderungen in hohem Maße: Sie boten eine günstige Porenverteilung, gute Wasserhaltefähigkeit bei gleichzeitiger Belüftung, waren strukturell

stabil und zeigten keine relevante Schimmelbildung. Damit bestätigte sich ihre Eignung als Referenzmaterial und gleichzeitig als praktikable Lösung für die spätere Produktentwicklung.

### **Bedeutung für das Projekt**

Die Diskussion der Ergebnisse verdeutlicht, dass Luzerneheu aufgrund seiner Inhaltsstoffe und physikalischen Eigenschaften nicht als Substrat für die Mikrogemüseanzucht geeignet ist. Damit konnte ein wesentlicher Projektgedanke – die vollständige Nutzung von Luzerneheu sowohl für Schalen als auch für Substrat – nicht umgesetzt werden. Gleichzeitig ergab sich eine klare Entscheidungshilfe: Während die Anzuchtschalen aus Luzerneheu weiterverfolgt werden, wird für das Substrat auf bewährte Hanfmatten zurückgegriffen.

## **6. Fazit**

Die in Arbeitspaket 4 durchgeführten Untersuchungen zur Entwicklung eines Kultivierungssubstrates auf Basis von Luzerneheu zeigen, dass dieses Material für die Anzucht von Mikrogemüse nicht geeignet ist.

### **Die zentralen Gründe sind:**

- chemische Hemmstoffe: hohe Stickstoffgehalte und sekundäre Pflanzenstoffe führten zu Schimmelbildung und gehemmt keimenden Pflanzen,
- ungünstige Porenstruktur: überwiegend Feinporen führten zu Totwasser, während Grobporen (bei Stroh) zu rascher Austrocknung und fehlender Kapillarwirkung führten,
- unzulängliche Hygienisierungsverfahren: weder Heißpressen, Kochen noch Heißwasserbehandlungen konnten die mikrobiologischen und pflanzenphysiologischen Probleme lösen.

Im Vergleich dazu erwiesen sich Hanfmatten als klar überlegen: Sie erfüllten die in der Fachliteratur definierten Substratanforderungen, ermöglichten eine zuverlässige Keimung und ein gleichmäßiges Wachstum und zeigten eine hohe Wasserhaltefähigkeit bei gleichzeitig ausreichender Belüftung.

Damit konnte innerhalb von AP 4 die Nichteignung von Luzerneheu und Weizenstroh als Anzuchtsubstrat wissenschaftlich fundiert nachgewiesen werden. Für die weitere Projektarbeit ergibt sich daraus eine klare Konsequenz: Die Luzerne wird für die Herstellung der Anzuchtschalen eingesetzt, während für das Substrat auf bewährte Hanfmatten zurückgegriffen wird.

## **7. Anhänge**

### **Anhang 1: Detaillierte Tabelle zu Anforderungen Kultursubstrat nach BLE-Broschüre**

| Kategorie    | Anforderung                          | Bedeutung                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Physikalisch | Porenvolumen & Porengrößenverteilung | Wichtig, um ein Gleichgewicht zwischen Wasserhaltevermögen und ausreichender Belüftung zu gewährleisten. Zu viele kleine Poren führen zu Totwasser, Schimmelproblematik; zu große Poren führen zu schneller Austrocknung. |
|              | Luft- und Wasserkapazität            | Muss ausreichend Wasser speichern, aber auch                                                                                                                                                                              |

|                                         |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         |                                                                         | Sauerstoff für die Wurzeln lassen. BLE nennt spezifische Kennwerte, z. B. hoher Luftkapazitätsanteil bei gleichzeitiger Kapillaren Wasserspeicherfähigkeit.                                                                                                                  |
|                                         | Strukturstabilität / Wiederbenetzbarkeit                                | Substrate sollten nach Trocknung und Wiederbefeuchtung ihre Struktur behalten, ohne zu verklumpen oder die Poren zu verlieren. Wiederbenetzbarkeit wichtig, damit bei Trockenphasen das Substrat schnell nass wird.                                                          |
|                                         | Volumengewicht / Rohdichte                                              | Niedriges Trockengewicht hilft beim Handling und reduziert Materialbedarf; gleichzeitig darf das Substrat nicht so leicht sein, dass es sich stark setzt oder instabil ist.                                                                                                  |
| Chemisch                                | pH-Wert & Pufferung                                                     | Substrat muss einen pH-Wert haben, der Keimung und frühem Wachstum zuträglich ist. Ebenfalls notwendig: Pufferkapazität, damit der pH bei Wassergaben oder durch Inhaltsstoffe nicht stark schwankt.                                                                         |
|                                         | Salzgehalt / Elektrolytgehalt                                           | Zu hohe Salzkonzentrationen hemmen Keimung und führen zu Stress bei den Pflanzen. Vor allem relevant, wenn Materialien wie Stroh, Komposte oder ähnliche Ausgangsstoffe verwendet werden, die Salze enthalten oder aufnehmen können.                                         |
|                                         | Nährstoffgehalte – vor allem Stickstoff, Phosphor, Kalium               | Diese sollten vorhanden, aber nicht überhöht sein – vor allem Stickstoff, da zu viel Stickstoff, besonders in leicht mineralisierbarer Form, zu Schimmelbildung führen kann. Die Broschüre benennt, dass Ausgangsstoffe oft hohe Gehalte an Stickstoff und Kalium aufweisen. |
| Biologische / hygienische Anforderungen | Freiheit von wachstumshemmenden Stoffen (sekundäre Pflanzenstoffe etc.) | Luzerne enthält solche Stoffe, die die Keimung stören können. Dies muss geprüft                                                                                                                                                                                              |

|                            |                                                                  |                                                                                                                                                                       |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                  | oder reduziert werden (z. B. durch Vorbehandlung).                                                                                                                    |
|                            | Keimfreiheit von Unkrautsamen / Krankheitserregern / Schädlingen | Wichtig besonders bei Substraten, die organische Ausgangsmaterialien nutzen. Hygiene spielt eine große Rolle, weil organisches Material Mikroben oder Sporen enthält. |
| Betriebliche Anforderungen | Qualitätsbeständigkeit & Wiederholbarkeit                        | Substrate müssen in mehreren Chargen ähnlich sein, damit Ergebnisse reproduzierbar sind – entscheidend für wissenschaftliche Publikation und Produktanwendung.        |
|                            | Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe / Preis / Nachhaltigkeit        | Materialien sollten regional verfügbar sein, nachhaltig erzeugt und wirtschaftlich sein. Luzerneheu kann hier Vorteile bringen, wenn es lokal entsteht.               |
|                            | Benutzerfreundlichkeit                                           | Substrat sollte sich einfach handhaben lassen (z. B. in Aussaat-schalen, Reinigung etc.), und für Nutzer klar in der Anwendung sein.                                  |

## Anhang 2: Prozessparameter und Abmessungen bei Herstellung der Substratmatten

| Variante | Material             | Verfahren                      | Parameter         | Abmessungen             | Bemerkungen                        |
|----------|----------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| V1       | Luzerne, Fraktion D  | Kaltpressung                   | 20 bar, 5 min     | 10 × 10 cm <sup>2</sup> | mäßiger Zusammenhalt               |
| V2       | Luzerne, Fraktion D  | Heißpressung                   | 150 °C            | 10 × 10 cm <sup>2</sup> | hygienisiert, aber spröde          |
| V3       | Luzerne, Rohmaterial | Kaltpressung                   | 20 bar, 5 min     | 10 × 10 cm <sup>2</sup> | innere Schimmelbildung             |
| V4       | Luzerne, Rohmaterial | Heißpressung                   | 150 °C            | 10 × 10 cm <sup>2</sup> | verzögerte Keimung                 |
| V5       | Luzerne, Fraktion D  | Granulierung + Verpressung     | —                 | 20 × 20 cm <sup>2</sup> | Material quillt bei Wasseraufnahme |
| V6       | Luzerne, Fraktion D  | Kochbehandlung vor Verpressung | 130 °C, 80 s      | 20 × 20 cm <sup>2</sup> | geringe Schimmelbildung            |
| V7       | Weizenstroh          | Pelletiert                     | Einweichen 30 min | —                       | schnelle Austrocknung              |
| V8       | Hanf-matten          | kommerziell                    | —                 | Standardgrößen          | Referenzsubstrat                   |

### Anhang 3: Hygienisierungs- und Vorbehandlungsvarianten

| Variante | Vorbehandlung                                 | Saatgut | Besonderheiten                        |
|----------|-----------------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| L1       | Luzerne, Einweichen in kaltem Wasser          | Kresse  | Platte zerfällt, Auswaschung sichtbar |
| L2       | Luzerne, Einweichen in kochendem Wasser       | Kresse  | keine Keimung, starke Schimmelbildung |
| L3       | Luzerne gekocht + Einweichen in kaltem Wasser | Kresse  | 40 % Keimung, Austrocknung nach 48 h  |
| S1       | Strohpellets, Einweichen mit kochendem Wasser | Kresse  | 90 % Keimung, starke Austrocknung     |

### Weitere Bilder



Abbildung 6: Hygienisierung - Variante 1, links am 05.07 und rechts am 08.07



Abbildung 7: Hygienisierung Variante 2, links am 05.07 und rechts am 08.07



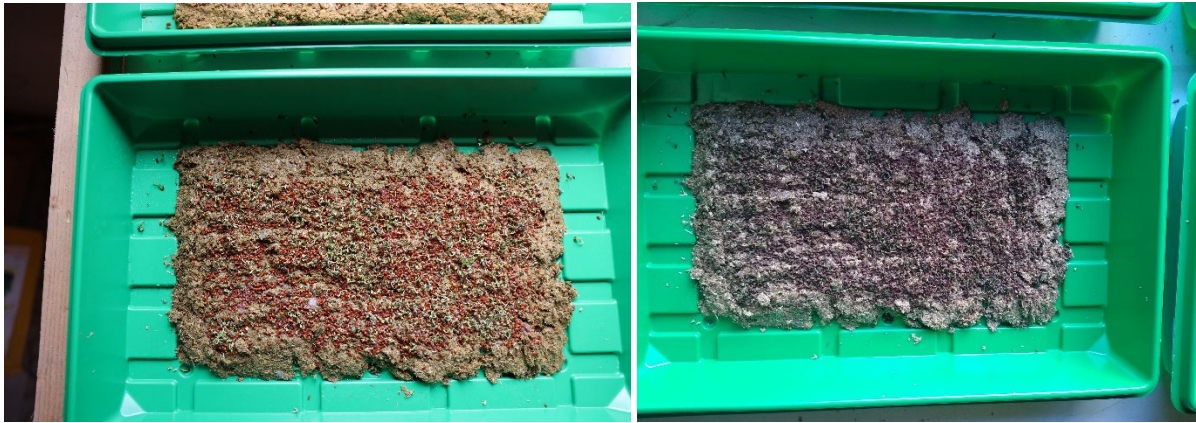


Abbildung 8: Hygienisierung - Variante 3, links am 05.07 und rechts am 08.07



Abbildung 9: Hygienisierung - Variante 4, links am 05.07 und rechts am 08.07