

Entwicklung und Validierung eines Kultivierungssystems für Mikrogemüse in Anzuchtschalen aus Luzerneheu - Ergebnisse der Arbeitspakete 6, 7 und 9

1. Einleitung

Im Forschungsprojekt wurde ein Kultivierungssystem für Mikrogemüse entwickelt, dessen zentrale Komponente eine formgepresste Anzuchtschale aus Luzerneheu ist. Ziel war es, die biobasierte Schale nicht isoliert zu betrachten, sondern gemeinsam mit Substratmatte, Saatgut, Kultivierungsführung und Nutzerinformation zu einem funktionsfähigen Anzuchtset für die Heimkultivierung weiterzuentwickeln.

Die Bearbeitung umfasste sowohl technische als auch pflanzenbauliche und anwendungsbezogene Fragestellungen. Neben der Feuchte- und Formstabilität der Schalen wurden unter anderem geeignete Kulturen, Substratgrammaturen, Bewässerungsmethoden, Aussaatstärken, Saatgutlagerung und -portionierung, Keim- und Abdeckungsphasen sowie Anforderungen an Hygiene, Transport und Verpackung untersucht. Die Ergebnisse wurden schrittweise zusammengeführt und mit zunehmend produktnahen Schalenvarianten überprüft.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Arbeitspakete 6, 7 und 9 zusammen. Er beschreibt den Entwicklungsweg von den ersten Funktionsmusterschalen über die Musterkultivierungsschalen bis zu den finalen Demonstratorkultivierungsschalen. Abschließend wird dargestellt, wie die technischen und kultivierungsbezogenen Teillösungen in ein vollständiges Anzuchtset überführt und unter praktischen Anwendungs-, Transport- und Verkaufsbedingungen erprobt wurden.

2. Entwicklungsansatz und Einordnung der Arbeitspakete

Die Entwicklung erfolgte schrittweise in aufeinander aufbauenden Entwicklungs- und Erprobungsphasen. Neue Schalenstände wurden hergestellt, praktisch kultiviert, hinsichtlich ihrer Material- und Anwendungseigenschaften bewertet und anschließend technisch sowie kultivierungsbezogen weiterentwickelt. Die Arbeitspakete bildeten dabei aufeinander aufbauende Entwicklungsstufen.

In AP 6 wurden mit den Funktionsmusterschalen die grundsätzliche Kultivierbarkeit sowie zentrale Kultivierungsparameter untersucht. AP 7 diente der Zusammenführung der Teillösungen und der Erprobung weiterentwickelter Musterkultivierungsschalen, wobei insbesondere die Hydrophobierung und die noch bestehenden Schwachstellen bewertet wurden. In AP 9 wurden die daraus hervorgegangenen Demonstratorkultivierungsschalen und das vollständige Anzuchtset unter produktnahen Bedingungen abschließend validiert.

Die drei Schalenstufen beantworten damit unterschiedliche Entwicklungsfragen: Die Funktionsmuster prüften die grundsätzliche Machbarkeit, die Musterkultivierungsschalen dienten der gezielten Bearbeitung erkannter Schwachstellen und die Demonstratorkultivierungsschalen bildeten den finalen, produktnahen Entwicklungsstand.

3. Grundlagenversuche und Erprobung der Funktionsmusterschalen – AP 6

Das Arbeitspaket 6 bildete die erste praktische Erprobungs- und Evaluierungsstufe des Kultivierungssystems. Untersucht wurden die frühen Funktionsmusterschalen aus Luzerneheu, die als erste technische Umsetzung der Projektidee dienten. Ziel war noch nicht die Festlegung einer abschließenden Produktlösung. Vielmehr sollte geklärt werden, ob eine Kultivierung von Microgreens

in den Schalen grundsätzlich möglich ist, welche Wechselwirkungen zwischen Schalenmaterial, Substrat, Bewässerung und Pflanzenentwicklung auftreten und welche Anforderungen daraus für die folgenden Entwicklungsstufen abzuleiten sind.

Zunächst wurden die Funktionsmusterschalen unmittelbar mit konventionellen Kunststofftrays verglichen. Nachdem sich zeigte, dass die noch unzureichende Hydrophobierung einzelne Kultivierungsergebnisse überlagerte, wurden ausgewählte pflanzenbauliche Parameter zusätzlich in Referenzsystemen geprüft. Dadurch konnten materialbedingte Effekte der frühen Schalen und grundsätzliche Einflüsse von Bewässerung, Substratgrammatur, Aussaatstärke und Düngung besser voneinander getrennt werden. Die Erkenntnisse wurden anschließend wieder auf die Schalenentwicklung übertragen und in AP 7 mit den weiterentwickelten Musterkultivierungsschalen erneut aufgegriffen.

3.1 Zielsetzung Versuchslogik

Im Mittelpunkt von AP 6 standen vier miteinander verbundene Aufgabenbereiche. Erstens wurde die Funktionsfähigkeit der hydrophobierten Luzerneschalen über die Kulturperiode betrachtet. Hierzu gehörten die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufweichen und Durchnässen, die Schimmelanfälligkeit sowie der Vergleich mit Kunststofftrays. Zweitens wurden zentrale Kultivierungsparameter untersucht, insbesondere die Bewässerungsmethode, die Substratgrammatur, unterschiedliche Aussaatstärken sowie der Zeitpunkt und die Konzentration einer möglichen Düngung. Drittens wurde ein breites Spektrum an Microgreen-Kulturen erprobt, um erste kulturspezifische Unterschiede und potenziell geeignete Kulturen zu erfassen. Viertens sollten die Ergebnisse so dokumentiert werden, dass sie als Arbeitsgrundlage für die Weiterentwicklung der Schalen, die spätere Kulturdatenbank und erste Kultursteckbriefe dienen konnten.

Die Kultivierungen erfolgten unter praxisnahen Versuchsbedingungen. Definierte Saatgutmengen wurden auf Hanffasermatten unterschiedlicher Grammatur ausgebracht. Je nach Versuch wurden die Ansätze bis zur Keimung abgedeckt, Saatgut vorgequollen oder unterschiedliche Bewässerungsvarianten eingesetzt. Dokumentiert wurden Keimung, Bestandsentwicklung, Pflanzenhöhe, Biomasseertrag und qualitative Auffälligkeiten wie Durchfeuchtung, Schimmelbildung, Wurzelentwicklung und Handhabbarkeit. Neben den im Bericht dargestellten Kernversuchen wurden ergänzende Beobachtungen und Wiederholungen durchgeführt. Die nachfolgenden Abschnitte konzentrieren sich auf die Versuchsreihen, deren Ergebnisse zum jeweiligen Bearbeitungszeitpunkt am eindeutigsten dokumentiert und für die weitere Entwicklung verwertbar waren.

Tabelle 1: Versuchslogik aus AP 6

Versuchsbereich	Versuchssystem	Zentrale Fragestellung
Erste Schalenprüfung	Funktionsmusterschalen und Kunststofftrays	Grundsätzliche Kultivierbarkeit sowie Material- und Hydrophobierungseinflüsse
Bewässerung und Substrat	Kunststofftrays als Referenzsystem	Einfluss von Sprühen bzw. Eintauchen und von 450 bzw. 1.300 g/m ² Hanfmatten
Düngung	Gedüngte und ungedüngte Vergleichsvarianten	Auswirkung einer frühen und späteren Nährstoffgabe
Breite Kulturpalette	Hanfmatten in Referenztrays	Erste Einordnung unterschiedlicher Arten und Aufbau einer Kulturdatenbasis
Aussaatstärke	Standardmenge, -30 % und +30 %	Ableitung kulturspezifischer Arbeitswerte

Versuchsbereich	Versuchssystem	Zentrale Fragestellung
Zweiter Erntezyklus	Erbse nach dem ersten Schnitt	Prüfung eines verwertbaren Wiederaustriebs

3.2 Erste Erprobung der Funktionsmusterschalen

Die erste Versuchsreihe diente der direkten Gegenüberstellung der neu entwickelten, hydrophobierten Funktionsmusterschalen und handelsüblicher Kunststofftrays. Untersucht wurden Kresse und Luzerne, da beide Kulturen unterschiedliche Anforderungen an Keimung und Etablierung aufweisen. Als Substrat kamen Hanffasermatten mit 450 g/m² und 1.300 g/m² zum Einsatz. Die Bewässerung erfolgte entweder durch Sprühen oder durch Eintauchen. Für die Startphase wurden vergleichbare Bedingungen hergestellt; hierzu gehörten die Abdeckung bis zur Keimung sowie das Vorquellen der Luzerne. Bewertet wurden Keimung, Wuchshöhe, Biomasseertrag und qualitative Merkmale wie Durchfeuchtung, Schimmelbildung und der Wurzelkontakt zum Schalenmaterial.



Abbildung 1: Varianten in den Luzerne-Funktionsmusterschalen (links) und Referenzvarianten in Kunststofftrays (rechts)

Die Versuchsreihe bestätigte zunächst, dass eine Keimung und Pflanzenentwicklung in den Funktionsmusterschalen grundsätzlich möglich war. Gleichzeitig erreichten die frühen Schalen noch nicht die Ergebnisse der Referenzsysteme. In mehreren Varianten verlief die Keimung verzögert oder unvollständig. Bei Kresse blieben insbesondere schalennahe Randbereiche teilweise ohne Keimung. Auch bei der Wurzelentwicklung zeigten sich Unterschiede: Während sich in den Referenztrays ein dichtes, helles Wurzelsystem ausbildete, wurden in einzelnen Luzerneschalen verbräunte Wurzelspitzen und ein gehemmtes Wachstum beobachtet.

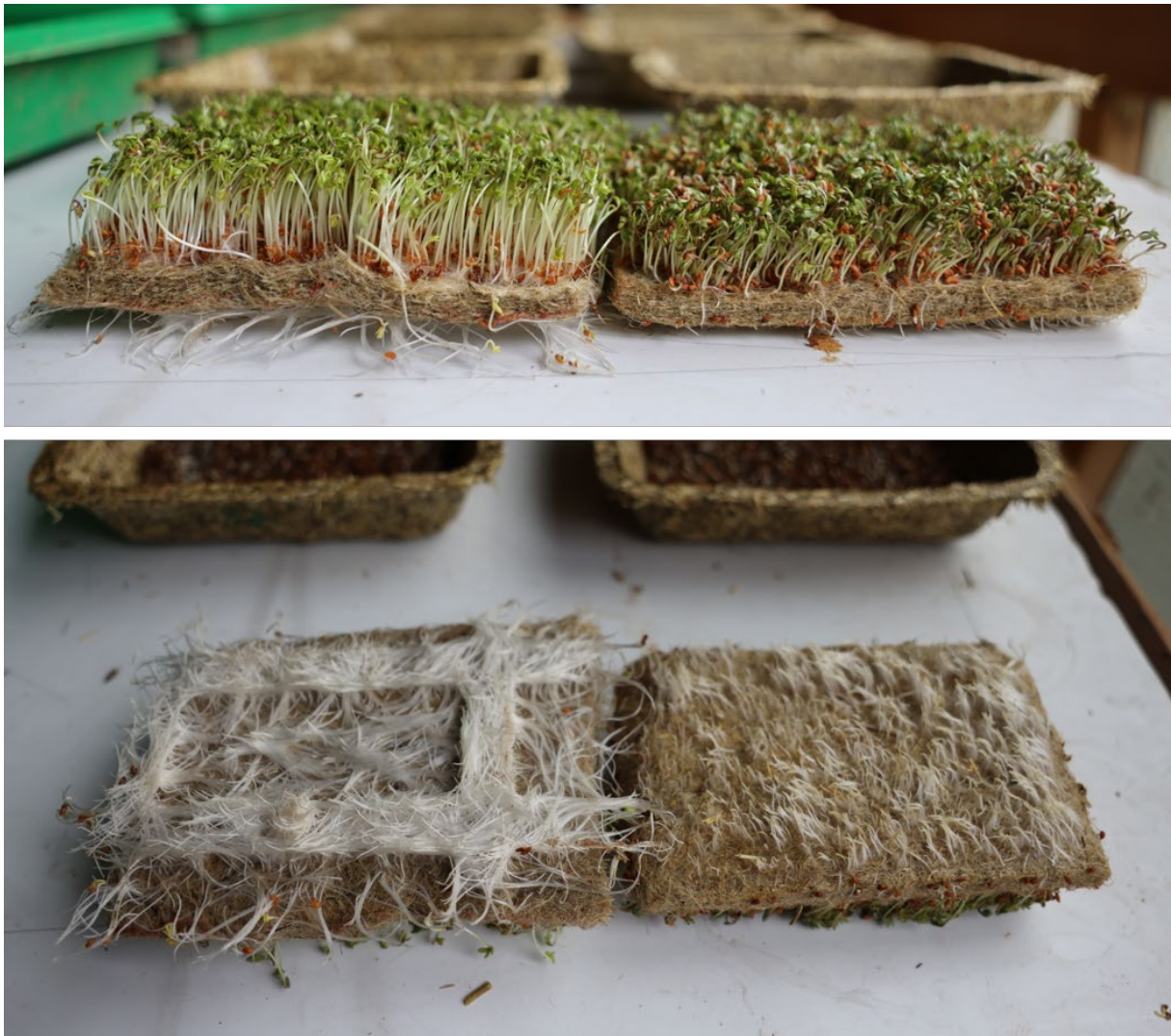


Abbildung 2: Wurzel- und Pflanzenentwicklung nach drei Tagen; Referenzvariante links, Variante aus der Luzerneschale rechts

Die Beobachtungen deuteten darauf hin, dass der direkte Kontakt mit dem damaligen Schalenmaterial oder mit aus dem Material austretenden Bestandteilen die Entwicklung beeinflusst haben könnte. Eine eindeutige stoffliche Ursache wurde in AP 6 jedoch nicht nachgewiesen. Für die weitere Entwicklung wurde deshalb festgehalten, dass der Kontakt zwischen Wurzeln, Bewässerungswasser und Luzernematerial reduziert beziehungsweise durch eine wirksamere Hydrophobierung kontrolliert werden musste. Diese Annahme war mit den weiterentwickelten Schalen erneut zu überprüfen.



Abbildung 3: Varianten in den Luzerne-Funktionsmusterschalen (links) und Referenzvarianten in Kunststofftrays (rechts) mit grundsätzlicher Keimung und Etablierung, aber großen Unterschieden

Auch die Ertragsmessungen zeigten Unterschiede zwischen den frühen Funktionsmustern und den Referenztrays. Die Kunststofftrays erreichten in dieser Versuchsreihe höhere Erträge und teilweise früher die Schnittreife. Unter den Funktionsmustervarianten lieferten vor allem die Kombination aus Eintauchen und der höheren Substratgrammatur von 1.300 g/m² vergleichsweise günstige Ergebnisse. Beim Sprühen und bei der niedrigeren Grammatur blieben die Erträge dagegen teilweise deutlich zurück; einzelne Ansätze führten zu keiner verwertbaren Ernte.

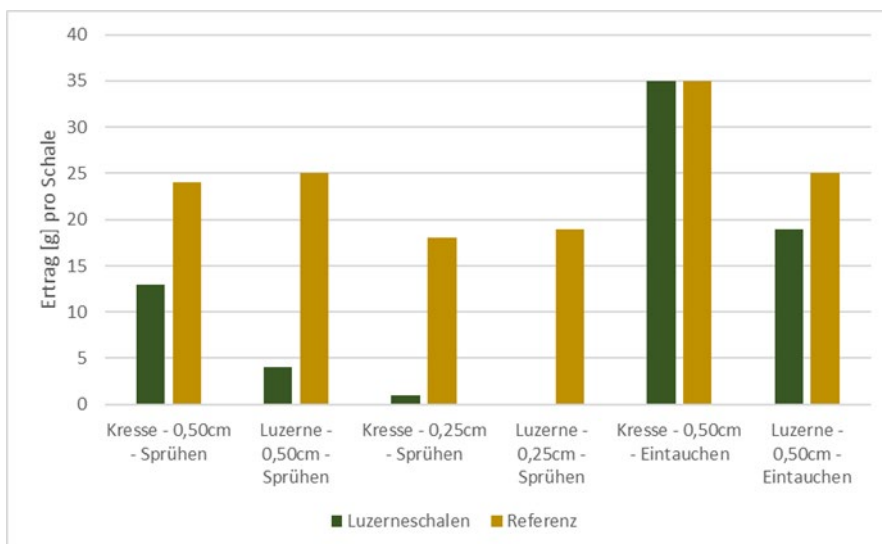


Abbildung 4: Ertrag je Schale für die Varianten in Funktionsmusterschalen und Referenztrays

Parallel wurde die begrenzte Dauerhaftigkeit der damaligen Hydrophobierung sichtbar. Mehrere Schalen nahmen bereits vor Abschluss der Kulturperiode Wasser auf, weichten lokal auf oder entwickelten Schimmel. Damit war die zentrale Funktion, die Schale während der gesamten Kultivierungsdauer formstabil und ausreichend trocken zu halten, noch nicht erreicht. Die erste Versuchsreihe erfüllte dennoch eine wichtige Funktion: Sie bestätigte die grundsätzliche Machbarkeit und zeigte zugleich konkret, welche Material- und Konstruktionsmerkmale vor einer weiteren produktnahen Bewertung verbessert werden mussten.

3.3 Prüfung von Bewässerung und Substratgrammatur

Da die Materialschwächen der Funktionsmusterschalen die erste Versuchsreihe beeinflusst hatten, wurden Bewässerungsmethode und Substratgrammatur anschließend unabhängig vom Luzernematerial in Kunststofftrays untersucht. Diese zweite Versuchsreihe war randomisiert und wurde in dreifacher Wiederholung angelegt. Verglichen wurden erneut Kresse und Luzerne auf

Hanffasermatten mit 450 g/m² beziehungsweise 1.300 g/m². Zu Beginn wurden die Matten drei Minuten eingetaucht; anschließend erfolgte die weitere Pflege entsprechend der jeweiligen Variante durch Sprühen beziehungsweise durch Wasserzugabe in das System. Erfasst wurden die Wasseraufnahme der Matten, der Ertrag bei der Ernte sowie qualitative Unterschiede im Handling und Arbeitsaufwand.

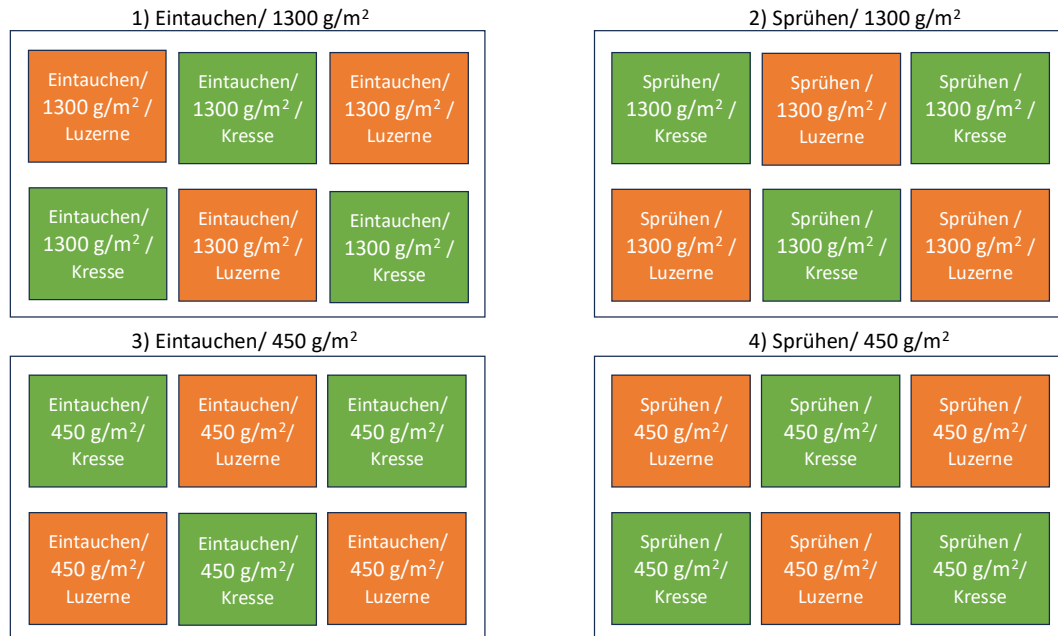


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Prüfung von Bewässerungsmethode und Substratgrammatur

Die Ertragsunterschiede zwischen den vier Kombinationen fielen in dieser Versuchsreihe gering aus. Unabhängig von der Grammatur und der Bewässerungsvariante lagen die Differenzen bei Kresse und Luzerne bei höchstens etwa 2 g je Schale. Aus diesen Daten ließ sich daher kein eindeutiger Ertragsvorteil einer einzelnen Kombination ableiten. Zugleich zeigte der Vergleich, dass die deutlich schlechteren Ergebnisse der ersten Versuchsreihe nicht allein durch die gewählte Hanfmatte oder das Gießverfahren erklärt werden konnten. Der Entwicklungsstand der Funktionsmusterschalen hatte die Kultivierung wesentlich mitbestimmt.

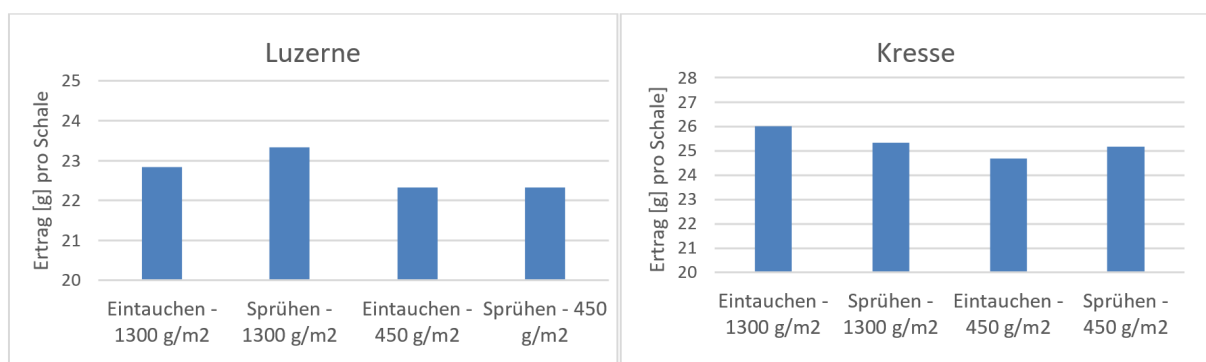


Abbildung 6: Ertragsmengen bei unterschiedlichen Bewässerungsmethoden und Substratgrammaturen

Für die weitere Systementwicklung waren vor allem die qualitativen Unterschiede relevant. Matten mit 1.300 g/m² speicherten absolut etwa 100 g Wasser. Die Matten mit 450 g/m² nahmen zwar mehr als 500 % ihres Eigengewichts auf, stellten absolut jedoch nur ungefähr 35 g Wasser bereit. Die

höhere Grammatur bot damit bei heißen und trockenen Bedingungen eine stabilere Wasserversorgung. Unter kühleren Bedingungen und bei langsamer Pflanzenentwicklung blieb Feuchtigkeit jedoch länger im System, wodurch das Risiko von Feuchtestau und Schimmelbildung anstieg. Die dünneren Matten trockneten schneller aus und erforderten entsprechend häufigere Kontrollen, konnten bei niedrigerem Wasserverbrauch der Pflanzen aber auch Vorteile bieten.



Abbildung 7: Einsatz der 1300 g/m² Grammatur im Sommer bei hohen Temperaturen und entsprechend hohem Wasserbedarf

Das Eintauchen erwies sich insbesondere für die vollständige Anfangsbefeuchtung als zuverlässig, weil die Matte gleichmäßig mit Wasser versorgt wurde. Für die laufende Pflege waren das Eintauchen beziehungsweise die Wasserzugabe in die Schale weniger arbeitsintensiv und in den Versuchen weniger fehleranfällig als ausschließliches Sprühen. Beim Sprühen konnten Samen verschoben oder ausgespült werden; zugleich war für größere Wassermengen ein höherer Arbeitsaufwand erforderlich. Für eine spielerische Anwendung, beispielsweise mit Kindern, blieb das Sprühen dennoch als anschaulicher Pflegeschritt interessant. Eine endgültige Bewässerungsempfehlung konnte an dieser Stelle noch nicht festgelegt werden, da sie mit den weiterentwickelten Schalen, unterschiedlichen Kulturen und jahreszeitlichen Bedingungen erneut geprüft werden musste.

3.4 Düngungsversuche

Ergänzend wurde untersucht, ob eine Nährstoffgabe die Etablierung oder den Ertrag der Microgreens verbessern kann. Hierzu wurden bei mehreren Kulturen gedüngte und ungedüngte Varianten verglichen. Zu Beginn der Kultur wurde eine Düngerlösung mit 100 ppm eines NPK-Düngers im Verhältnis 20-10-20 eingesetzt. Weitere Beobachtungen zur späteren Düngung wurden im Zusammenhang mit der Weiterkultivierung nach der ersten Ernte vorgenommen.

In den zu Beginn gedüngten Varianten war die Keimung bei den untersuchten Kulturen stark beeinträchtigt und blieb teilweise nahezu vollständig aus. Die ungedüngten Kontrollen etablierten sich dagegen deutlich besser. Auch eine Nährstoffgabe nach erfolgter Keimung führte unter den geprüften Bedingungen weder zu einer erkennbaren Ertragssteigerung noch zu einem verwertbaren zweiten Aufwuchs. Für den damaligen Entwicklungsstand wurde daher festgelegt, zunächst auf eine Düngung zu verzichten. Diese Festlegung bezog sich auf die getesteten Kulturen, Konzentrationen und kurzen Kulturzeiten und sollte nur bei veränderten Substraten oder deutlich längeren Kulturverfahren erneut überprüft werden.



Abbildung 8: Keimung im Düngungsversuch am Beispiel der Linse

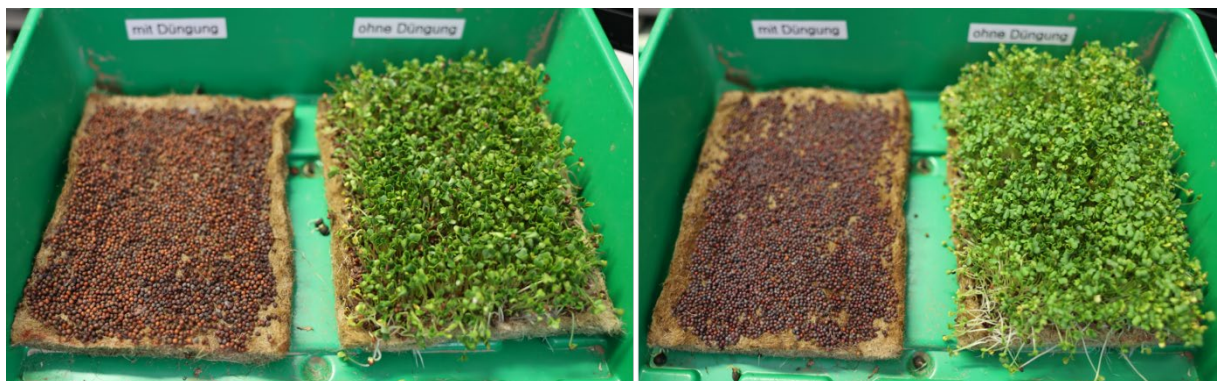


Abbildung 9: Brokkoli (links) und Grünkohl (rechts) nach fünf Tagen im Vergleich gedüngter und ungedüngter Varianten

3.5 Breite Kulturpalette und Aufbau der Kulturdatenbasis

Nach der ersten technischen Erprobung wurde die Untersuchung auf eine breitere Kulturpalette ausgedehnt. Ziel war noch keine endgültige Produktauswahl, sondern eine erste Einordnung, welche Arten auf Hanffasermatten grundsätzlich zuverlässig keimen und wachsen und bei welchen Kulturen besondere Vorbehandlungen oder Risiken zu berücksichtigen sind. Untersucht wurden Grünkohl, Brokkoli, grüne Linsen, Rotkohl, Bockshornklee, Luzerne, Senf, Nacktgerste, Quinoa, Kresse und Erbse. Ergänzend wurden eigene Ackerbohnen in einem orientierenden Versuch betrachtet. Als Substrat wurden überwiegend Hanffasermatten mit 1.300 g/m² eingesetzt. Kulturspezifisch erfolgten ein Vorquellen des Saatguts und eine Abdeckung in der Startphase. Dokumentiert wurden Keimanteil, Keimgeschwindigkeit, Wachstum, sichtbare Wurzelstrukturen, Feuchteverhalten und Schimmelbildung.



Abbildung 10: Kultivierungsbedingungen und Wachstumsverhalten verschiedener Microgreen-Arten

In dieser Versuchsreihe zeigten Grünkohl, Brokkoli, Kresse, Senf, Luzerne, Linsen und Erbsen überwiegend hohe Keimanteile von etwa 80 bis 100 % und eine grundsätzlich stabile Bestandsentwicklung. Rotkohl keimte langsamer und ungleichmäßiger, ließ aber aufgrund seiner optischen Eigenschaften weiteres Potenzial erkennen. Linsen und Erbsen benötigten längere Keimzeiten und profitierten von Vorquellen und einer geschützten Startphase. Gleichzeitig zeigten sie in den damaligen Versuchen eine vergleichsweise hohe Toleranz gegenüber zwischenzeitlich geringerer Feuchte.

Quinoa zeigte in dieser Reihe keine verwertbare Keimung und wurde wegen eines starken Schimmelbefalls verworfen. Bockshornklee keimte nur zu einem geringen Anteil, und auch die Nacktgerste entwickelte sich zunächst unzureichend. Bei den ergänzend geprüften Ackerbohnen wurden ebenfalls eine schwache Keimung und Verderb beobachtet. Diese Ergebnisse wurden jedoch nicht als endgültiger Ausschluss der Kulturen verstanden. Offen blieb, in welchem Umfang Saatgutqualität, Vorbehandlung, Abdeckung, Substrat und sonstige Kultivierungsbedingungen zu den Ergebnissen beigetragen hatten. Entsprechend wurden mehrere dieser Kulturen für spätere Wiederholungen mit angepasster Kulturführung vorgesehen.



Abbildung 11: Links Bockshornklee mit schlechter Keimung und rechts Quinoa vollkommen ungeeignet mit starkem Schimmelbefall

Auch der Umgang mit der Abdeckung wurde zunächst kulturspezifisch eingeordnet. Kresse und Senf etablierten sich unter den damaligen Bedingungen ohne Abdeckung sehr gut und reagierten in einzelnen Ansätzen ungünstig auf eine längere Abdeckung. Erbsen und Linsen benötigten dagegen eine längere Startphase und entwickelten sich nach Vorquellen und zeitweiser Abdeckung gleichmäßiger. Diese frühen Beobachtungen bildeten die Grundlage für die spätere, differenziertere Untersuchung der Blackout-Phase mit den verbesserten Schalen.

Parallel zu den Kultivierungsversuchen wurde eine interne Kultur- und Saatgutdatenbank aufgebaut. Darin wurden botanische und kultivierungsbezogene Angaben, Keim- und Kulturzeiten, Einweich- und Abdeckungsbedarf, Aussaatmengen, Bewässerungsansprüche, Bezugsquellen, Verfügbarkeit und orientierende Beschaffungspreise zusammengeführt. Die eigenen Versuchsergebnisse wurden fortlaufend ergänzt. Auf dieser Grundlage wurde mit der Ausarbeitung erster Kultursteckbriefe begonnen. Die Steckbriefe waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht als endgültige Produktinformation zu verstehen, sondern als fortzuschreibende Arbeitsstände, die mit den Muster- und Demonstratorkultivierungsschalen überprüft, angepasst und später finalisiert werden sollten.

3.6 Ermittlung kulturspezifischer Aussaatstärken

Ein weiterer Schwerpunkt war die Ermittlung geeigneter Aussaatstärken. Für Luzerne, Kresse, Senf, Rotkohl, Bockshornklee, Linse, Grünkohl und Brokkoli wurden jeweils drei Varianten angelegt: eine intern festgelegte Standardmenge, eine um 30 % reduzierte Menge und eine um 30 % erhöhte Menge. Die Vergleichsversuche erfolgten zunächst auf Hanffasermatten im Format 11 × 12 cm. Bewertet wurden Keimung, Homogenität, Wuchshöhe, Bestandsdichte und Schimmelbildung.



Abbildung 12: Standardvarianten bei der Aussaat für die Versuchsreihe zur Aussaatstärke

Am Beispiel von Grünkohl wurde die Entwicklung der drei Varianten sechs Tage nach der Aussaat vergleichend dokumentiert.

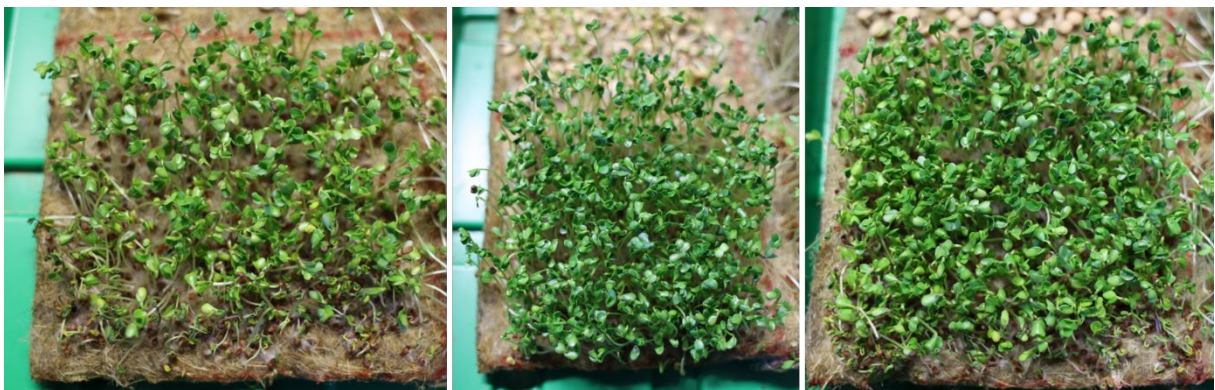


Abbildung 13: Grünkohl sechs Tage nach der Aussaat; 30% reduzierte Aussaatmenge links, Standardmenge Mitte, 30% erhöhte Aussaatmenge rechts

Die Standardmengen führten bei den meisten Kulturen zu den ausgewogensten Beständen. Die Keimlinge standen vergleichsweise gleichmäßig, ohne dass die Matten zu stark verdichtet wurden. Die um 30 % reduzierten Varianten blieben bei allen betrachteten Kulturen lückiger und heterogener. Eine um 30 % erhöhte Menge führte dagegen nicht automatisch zu einem besseren Bestand. In einzelnen Ansätzen traten stärkere Verdichtung, ungleichmäßige Entwicklung oder ein erhöhtes Schimmelrisiko auf. Brokkoli zeigte in dieser Reihe als Ausnahme eine positive Tendenz bei der höheren Saatmenge. Die Ergebnisse machten deutlich, dass Saatmengen kulturspezifisch festgelegt und mit dem jeweils verwendeten Matten- und Schalenformat abgestimmt werden müssen.

Tabelle 2: Beobachtungen zu Standardmenge, +30 % und –30 % bei ausgewählten Kulturen

	Grünkohl	Kresse	Brokkoli	Senf
Standard	Keimung etwas langsamer als Brokkoli aber hohe Keimrate Sehr gute Anzahl Pflanzen Nicht so dicht Gleichmäßig homogene Höhe Wuchshöhe: 4 cm	Sehr gute Keimung Sehr gute Anzahl Pflanzen Nicht so dicht Gleichmäßig homogene Höhe Wuchshöhe: 6 cm	Sehr gute Keimung Danach nicht verwertbar, da vertrocknet	Sehr gute Keimung Sehr gute Anzahl Pflanzen Nicht so dicht Gleichmäßig homogene Höhe Wuchshöhe: 7 cm
+30%	Teilweise Samen die nicht keimen Homogener dichter Wuchs Wuchshöhe: 2 cm	Sehr gute Keimung Homogener dichter Wuchs Wuchshöhe: 4 cm	Sehr gute Keimung Sehr gute Anzahl Pflanzen Nicht so dicht Gleichmäßig homogene Höhe Wuchshöhe: 4,5 cm	Ca. 20 % der Samen nicht gekeimt Heterogen Viele Lücken Schlecht gewachsen Wuchshöhe: 3 cm
-30%	Keimung etwas langsamer als Brokkoli aber hohe Keimrate Heterogen lückenhaft Wuchshöhe: 2 cm	Sehr gute Keimung Heterogen lückenhaft Wuchshöhe: 4 cm	Gute Keimung Heterogen lückenhaft Wuchshöhe: 4,5 cm	Heterogen aber besser als die +30% Variante Wuchshöhe: 4 cm

Aus den Versuchen wurden vorläufige Arbeitswerte für das im weiteren Verlauf verwendete Standardmattenformat von 9 × 16,5 cm abgeleitet. Diese Mengen dienten als Ausgangspunkt für die nächsten Kultivierungsstufen und waren mit dem späteren Schalenformat erneut zu validieren.

Tabelle 3: Erste abgeleitetet Aussaatstärken aus dem Versuch

Kultur	Vorläufiger Arbeitswert je Matte (9 × 16,5 cm)
Senf	4,5 g
Kresse	4,0 g
Grünkohl	4,0 g
Brokkoli	3,7 g
Luzerne	4,5 g
Rotkohl	3,4–4,4 g

3.7 Prüfung eines zweiten Erntezyklus

Da Erbsen in der Recherche wiederholt als potenziell mehrfach beerntbare Microgreen-Kultur genannt wurden, wurde die Regenerationsfähigkeit nach der ersten Ernte gesondert geprüft. Die Bestände wurden bei einer Pflanzenhöhe von etwa 27 cm geschnitten und anschließend

weiterkultiviert. Eine Variante erhielt ausschließlich Wasser, eine zweite zusätzlich eine verdünnte Düngelösung. Beobachtet wurden Wiederaustrieb, Biomassebildung und die Möglichkeit einer weiteren verwertbaren Ernte.



Abbildung 14: Prüfung eines zweiten Erntezyklus

Unter den geprüften Bedingungen entwickelte sich weder in der Wasser- noch in der Düngervariante ein nennenswerter Wiederaustrieb. Eine zweite verwertbare Ernte wurde nicht erreicht. Für die weitere Entwicklung wurde das System daher zunächst als Einmalernte-System behandelt. Die Aussage bezog sich auf die untersuchte Erbsenkultur und den damaligen Versuchsaufbau; eine allgemeine Übertragung auf sämtliche Arten und Kulturverfahren war damit nicht verbunden.

3.8 Zwischenbewertung und Anforderungen an die Weiterentwicklung

AP 6 bestätigte die grundsätzliche Machbarkeit der Kultivierung von Microgreens in einer luzernebasierten Schale. Zugleich zeigte die direkte Erprobung der Funktionsmuster, dass die damalige Material- und Abdichtungslösung für eine verlässliche Kultivierung noch nicht ausreichte. Die Durchfeuchtung, das lokale Aufweichen und die Schimmelbildung der Schalen überlagerten einzelne pflanzenbauliche Ergebnisse. Zudem wurde bei mehreren Varianten eine beeinträchtigte Wurzelentwicklung beobachtet. Aus diesem Grund war es erforderlich, die Grundmischung, die Hydrophobierung und die Trennung zwischen Kultivierungsbereich und Luzernematerial weiterzuentwickeln.

Gleichzeitig konnten in den Referenzsystemen zentrale Grundlagen für die weitere Kultivierung erarbeitet werden. Die Versuche lieferten belastbare Arbeitswerte zur Wasseraufnahme unterschiedlicher Hanfmatten, machten Vor- und Nachteile des Sprühens und Eintauchens sichtbar und zeigten, dass die geeignete Substratgrammatur von Temperatur, Verdunstung und Entwicklungsdauer der jeweiligen Kultur abhängt. Die Düngungsversuche sprachen gegen eine Nährstoffgabe zu Beginn der kurzen Microgreen-Kultur. Für die Aussaatstärke konnten kulturspezifische Ausgangswerte abgeleitet werden, die in den Folgearbeitspaketen an die weiterentwickelten Schalen- und Mattenformate anzupassen waren.

Die breite Kulturenerprobung führte zu einer ersten, noch vorläufigen Einordnung geeigneter und anspruchsvollerer Arten. Sie zeigte zugleich, dass ungünstige Ergebnisse nicht ohne weitere Prüfung allein der Kultur zugeschrieben werden konnten. Saatgutqualität, Vorquellen, Abdeckung, Feuchtführung, Substrat und Schalenmaterial wirkten zusammen. Deshalb wurden die Kulturdaten zunächst in einer internen Datenbank gesammelt und erste Steckbriefstrukturen angelegt, anstatt bereits in AP 6 endgültige Endkundenempfehlungen zu formulieren.

Aus den Versuchen ergaben sich insbesondere folgende Anforderungen für AP 7:

- Weiterentwicklung der Grundmischung und der Hydrophobierung, sodass die Schalen über die gesamte Kultivierungsdauer form- und feuchtestabil bleiben;
- Reduzierung beziehungsweise Abschirmung des unmittelbaren Kontakts zwischen Wurzeln, Bewässerungswasser und Luzernematerial;
- erneute Prüfung von Bewässerung, Abdeckung und Substratgrammatur mit den verbesserten Musterkultivierungsschalen;
- Fortführung der Kulturenerprobung bei Arten, deren Eignung aufgrund von Saatgutqualität oder noch nicht optimierter Kulturführung offenblieb;
- Validierung und Anpassung der vorläufigen Saatgutmengen im weiterentwickelten Schalen- und Mattenformat;
- Fortschreibung der internen Kulturdatenbank und schrittweise Ausarbeitung der Kultursteckbriefe.

Damit schloss AP 6 nicht mit einer bereits endgültigen Kultivierungslösung ab. Erreicht wurde vielmehr eine belastbare Ausgangsbasis für den nächsten Entwicklungsschritt: Die prinzipielle Funktion des Ansatzes war nachgewiesen, wesentliche technische Schwachstellen waren identifiziert und die zentralen pflanzenbaulichen Parameter waren so weit eingegrenzt, dass sie mit den neuen Schalen gezielt weitergeprüft werden konnten. Kapitel 4 greift diese Ergebnisse auf und beschreibt die Zusammenführung der Teillösungen sowie die Erprobung der Musterkultivierungsschalen in AP 7.

4. Zusammenführung der Teillösungen und Erprobung der Musterkultivierungsschalen – AP 7

Das Arbeitspaket 7 bildete die verbindende Entwicklungsstufe zwischen den in Kapitel 3 beschriebenen Funktionsmusterschalen und den späteren Demonstratorkultivierungsschalen. Während in AP 6 die grundsätzliche Kultivierbarkeit untersucht, zentrale pflanzenbauliche Parameter eingegrenzt und die Schwachstellen der frühen Schalen identifiziert worden waren, sollten diese Erkenntnisse nun mit einem technisch weiterentwickelten Schalenstand zusammengeführt werden.

Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Verbesserung der Hydrophobierung. Die Versuche aus AP 6 hatten gezeigt, dass die damaligen Funktionsmusterschalen während der Kultivierung Wasser aufnahmen, lokal aufweichten und unter länger anhaltender Feuchtigkeit teilweise Schimmel entwickelten. Dadurch wurden einzelne Kultivierungsergebnisse von den Materialeigenschaften der Schalen überlagert. Eine belastbare Weiterentwicklung des Kultivierungssystems setzte deshalb

voraus, den Kultivierungsbereich zuverlässiger vom wasseraufnehmenden Luzernematerial abzusichern.

Die technische Entwicklung und Herstellung der Schalenvarianten erfolgte durch den Forschungspartner TU Dresden. Vorwerk Podemus begleitete diesen Prozess, indem ausgewählte Entwicklungsstände als Musterkultivierungsschalen unter praktischen Microgreen-Kultivierungsbedingungen erprobt wurden. Die dabei beobachteten Feuchte-, Schimmel- und Handhabungsprobleme wurden an die TU Dresden zurückgemeldet und flossen in die jeweils folgenden Optimierungsschritte ein. Der Entwicklungsprozess verlief damit wiederholt nach dem Prinzip:

Technische Schalenvariante entwickeln – Musterkultivierungsschale herstellen – Kultivierung durchführen – Schwachstellen bewerten – Ergebnisse zurückmelden – Material und Konstruktion weiterentwickeln.

Neben dieser praktischen Rückkopplung wurden in AP 7 die zuvor getrennt untersuchten pflanzenbaulichen und anwendungsbezogenen Teillösungen inhaltlich zusammengeführt. Die abschließende praktische Validierung des vollständigen Systems war mit den Musterkultivierungsschalen jedoch noch nicht möglich und erfolgte erst mit den daraus entwickelten Demonstratorkultivierungsschalen.

4.1 Entwicklungsauftrag aus AP 6

Die in AP 6 untersuchten Funktionsmusterschalen bestätigten, dass eine Kultivierung von Microgreens in einem luzernebasierten Schalensystem grundsätzlich möglich ist. Gleichzeitig wurde deutlich, dass die damalige Material- und Abdichtungslösung für eine verlässliche Anwendung noch nicht ausreichte. Wasser konnte über die Schalenoberfläche sowie über Boden- und Randbereiche in das Luzernematerial eindringen. In mehreren Versuchen wurden lokale Durchfeuchtung, Aufweichen und Schimmelbildung beobachtet. Zudem deuteten einzelne Auffälligkeiten bei der Wurzelentwicklung darauf hin, dass der unmittelbare Kontakt zwischen Bewässerungswasser, Wurzeln und dem damaligen Schalenmaterial weiter reduziert werden musste.

Die ergänzenden Versuche in Kunststofftrays hatten es ermöglicht, grundlegende Einflüsse von Bewässerung, Substratgrammatur, Aussaatstärke und Kulturart unabhängig von den Materialschwächen der Funktionsmusterschalen zu untersuchen. Damit lagen für AP 7 bereits erste pflanzenbauliche Arbeitswerte vor. Diese konnten jedoch noch nicht ohne Weiteres als endgültige Kultivierungsempfehlungen übernommen werden, da ihr Zusammenspiel mit einer verbesserten Luzerneschale erneut zu überprüfen war.

Aus AP 6 ergaben sich daher insbesondere folgende Anforderungen an die nächste Entwicklungsstufe:

- Verbesserung der Grundmischung und der Feuchtebeständigkeit der Luzerneschalen,
- Herstellung einer möglichst geschlossenen Barriere zwischen Kultivierungsbereich und Luzernematerial,
- Vermeidung ungeschützter Rand-, Ecken- und Übergangsbereiche,
- erneute Prüfung von Bewässerung und Abdeckung mit den verbesserten Schalen,
- Zusammenführung von Schale, Hanffasermatte, Saatgut und Kultivierungsführung zu einem praktisch handhabbaren System.

AP 7 setzte unmittelbar an diesen Anforderungen an. Ziel war dabei noch nicht die Festlegung einer bereits seriennahen Produktlösung. Vielmehr sollte anhand weiterentwickelter Musterkultivierungsschalen geklärt werden, welche technischen Ansätze die in AP 6 erkannten Schwachstellen tatsächlich reduzieren und welche Anforderungen für die nächste Schalenstufe bestehen bleiben.

4.2 Weiterentwicklung von Grundmischung und Hydrophobierung durch die TU Dresden

Die Weiterentwicklung der Materialzusammensetzung und der Hydrophobierung erfolgte durch den Forschungspartner. Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 6 wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt, um die Wasseraufnahme des Schalenmaterials zu verringern und auf der Schaleninnenseite eine geschlossene, über die vorgesehene Kultivierungsdauer wirksame Barriere herzustellen.

Dabei wurde nicht nur die Oberflächenbeschichtung betrachtet. Parallel wurden auch die Grundmischung, die Verarbeitungseigenschaften und das Verhalten des Schalenmaterials bei Feuchtigkeit angepasst. Die Hydrophobierungsentwicklung umfasste mehrere technische Zwischenstufen, die teilweise parallel untersucht und auf Grundlage der jeweiligen Ergebnisse weiterentwickelt wurden.

Anpassung der Grundmischung und Einsatz von Kiefernharz

Kiefernharz wurde zunächst unmittelbar in die Luzerne-Grundmischung eingebracht. Es sollte die Verbindung der Luzernebestandteile unterstützen, die Nassfestigkeit erhöhen und die Wasseraufnahme des Grundmaterials reduzieren. Die Beimischung verbesserte die Materialeigenschaften, konnte allein jedoch keine vollständig wasserdichte Schale erzeugen. Das faserige und unebene Materialgefüge wies weiterhin Zwischenräume auf, über die Wasser in das Innere der Schale gelangen konnte.

Zur weiteren Verbesserung wurden durch die TU Dresden unterschiedliche pflanzliche Bindemittel und Additive untersucht. Dazu gehörten unter anderem Erbsen- beziehungsweise Lupinenschrot sowie Rapsschalen. Ziel war es, die Bindung und Oberflächenqualität zu verbessern, die Klebrigkeit der Luzerne-Kiefernharz-Mischung während der Verarbeitung zu reduzieren und das Quellverhalten unter hoher Luftfeuchtigkeit zu begrenzen. Die Anpassungen führten teilweise zu einer glatteren Oberfläche und ermöglichten einen geringeren Materialeinsatz bei nachfolgenden Beschichtungsversuchen.

Die Versuche verdeutlichten, dass eine optimierte Grundmischung zwar eine wichtige Voraussetzung für die Form- und Nassfestigkeit darstellte, für die Kultivierung jedoch zusätzlich eine eigenständige Barriere auf der Schaleninnenseite erforderlich war.

Direktbeschichtung mit Bienenwachs und Kiefernharz

Im nächsten Schritt wurden verschiedene Beschichtungsansätze für die Innenseite der Schalen untersucht. Dabei kamen Bienenwachs, Kiefernharz sowie Mischungen aus beiden Materialien zum Einsatz. Kiefernharz sollte innerhalb der Wachsmischung unter anderem als Haftvermittler wirken. In Verbindung mit einer Luzerne-Kiefernharz-Grundmischung führte die Benetzung der Oberfläche mit einer Bienenwachs-Kiefernharz-Mischung zu einer verbesserten Versiegelung.

Die Mischung wurde zunächst manuell auf die Schaleninnenseite aufgetragen. Durch Gießen und Streichen konnte grundsätzlich eine wasserabweisende Schicht hergestellt werden. Eine nachträgliche Erwärmung diente dazu, den manuellen Auftrag zu homogenisieren und Unebenheiten auszugleichen.

Die Direktbeschichtung war jedoch mit mehreren Einschränkungen verbunden. Aufgrund der rauen und unregelmäßigen Oberfläche des Heuwerkstoffs ließ sich die Schichtdicke nicht präzise einstellen. Bei einer zu dünnen Beschichtung konnten Fehlstellen und kleine ungeschützte Bereiche verbleiben. Gleichzeitig nahm das Grundmaterial einen Teil der aufgetragenen Wachsmischung auf, sodass die tatsächlich verbleibende Barrierschicht schwer vorhersehbar war. Um eine möglichst geschlossene Oberfläche zu erreichen, war beim manuellen Auftrag deshalb eine vergleichsweise große Materialmenge erforderlich.

Zusätzlich musste berücksichtigt werden, dass das Luzernematerial bei wechselnder Feuchtigkeit quellen und schwinden kann. Bei dünnen oder ungleichmäßig aufgetragenen Beschichtungen konnte diese Materialbewegung zu Rissen und einem Verlust der Wasserdichtigkeit führen.

Auch der Versuch, die Wachsmischung unmittelbar während des Press- beziehungsweise Umformprozesses einzubringen, erwies sich als technisch schwierig. Das aufgeschmolzene Wachs führte zu Verschmutzungen am Presswerkzeug. Gleichzeitig bestand ein enges Prozessfenster: Bei Temperaturen oberhalb von etwa 100 °C konnte das Bienenwachs in das Grundmaterial eindringen beziehungsweise durchschlagen, während das Kiefernharz erst bei höheren Temperaturen die für die Verarbeitung gewünschte Plastifizierung erreichte. Zudem verteilte sich das Bienenwachs-Kiefernharz-Gemisch nicht immer gleichmäßig auf der Schalenoberfläche.

Die Direktbeschichtung stellte damit einen grundsätzlich möglichen Ansatz dar, war im damaligen Entwicklungsstand jedoch weder ausreichend materialsparend noch prozesssicher.

Entwicklung von Wachstissue und Wachspapier

Um eine definiertere Wachsmenge auf die Schaleninnenseite aufzubringen, wurde anschließend die Kombination aus einem Tissue- beziehungsweise Papierträger und der Wachsmischung untersucht. Verschiedene Tissuepapiere wurden mit der erhitzten Mischung getränkt und sollten als Wachspapier während des Formprozesses mit der Luzerneschale verbunden werden.



Abbildung 15: Wachstissues im Verlauf der Hydrophobierung

Der Ansatz versprach eine gleichmäßigere Verteilung des Wachses und sollte zugleich die Presswerkzeuge vor direktem Kontakt mit der Wachsmischung schützen. Bei der praktischen Umsetzung traten jedoch erneut technische Schwierigkeiten auf. Bei höheren Presstemperaturen konnte das Wachs aus dem Tissue in das Luzernematerial oder auf das Werkzeug übergehen. Dadurch

verlor der Papierträger einen Teil seiner Barrierewirkung, während gleichzeitig Verschmutzungen am Werkzeug entstanden.

Besonders problematisch waren Ecken und steilere Schalenwände. Das Wachspapier passte sich dort nicht immer vollständig an die Form an und neigte beim Einpressen zu Rissen. Zudem konnte es sich in den Ecken des Halbzeugs falten und dadurch das vollständige Schließen der Schalenkontur während des Umformprozesses behindern. Aufgrund der rauen Oberfläche des Luzernematerials verband sich das Papier außerdem häufig nur an den höher liegenden Materialpartikeln mit der Schale. Zwischen Wachspapier und Luzernematerial konnten dadurch lose Bereiche und Hohlräume verbleiben.

Diese Fehlstellen waren für die spätere Kultivierung von besonderer Bedeutung. Mikrorisse, nicht vollständig anliegende Flächen und ungeschützte Randbereiche ermöglichten weiterhin das Eindringen von Wasser. Die Schale wirkte auf der Innenseite zunächst beschichtet, verfügte aber noch nicht über eine durchgehend geschlossene und über mehrere Tage wasserdichte Barriere.

Nachträglich eingelegtes beziehungsweise separat angepresstes Wachspapier

Als Reaktion auf die Schwierigkeiten beim gemeinsamen Umformen wurde untersucht, die Wachspapiere zunächst in der späteren Schalenform vorzubereiten und erst nach der eigentlichen Herstellung der Luzerneschale einzulegen oder separat anzupressen. Durch verkürzte Kontaktzeiten und niedrigere beziehungsweise angepasste Temperaturen sollte das Durchschlagen des Wachses reduziert werden.

Dabei wurden sowohl das nachträgliche Anpressen in eine bereits geformte Schale als auch das Auflegen auf das Halbzeug vor dem abschließenden Formprozess erprobt. Einzelne Wachspapiervarianten ließen sich auf diese Weise grundsätzlich applizieren. Die wesentlichen Einschränkungen blieben jedoch bestehen. Beim An- oder Einpressen konnten weiterhin Risse entstehen, und ein vollständiger flächiger Verbund mit dem unebenen Luzernematerial war nicht zuverlässig gewährleistet. Auch die dauerhafte Wasserdichtigkeit über den gesamten Kultivierungszeitraum ließ sich mit dieser Lösung nicht abschließend sicherstellen.



Abbildung 16: Fehlerhafte Wasserdichtigkeit bei den eingepressten Wachstissues und daraus resultierender Schimmel

Damit wurde deutlich, dass das Wachspapier zwar als Einlage grundsätzlich nutzbar war, für das entwickelte Kultivierungssystem jedoch selbst als materialspezifische Sonderlösung weiterentwickelt werden müsste. Handelsübliche Wachspapiere waren zwar wasserabweisend, aber nicht automatisch über mehrere Tage hinweg vollständig wasserdicht.

Ableitung einer separaten gegossenen Wachseinlage

Aus den Problemen der Direktbeschichtung sowie der eingepressten und eingelegten Wachspapiere leitete die TU Dresden schließlich einen weiteren Lösungsansatz ab. Dazu wurde eine eigenständige, trägermaterialfreie Wachseinlage aus einer Wachsmischung entwickelt. Die Wachsmischung wurde in eine separate Silikonform gegossen, durch einen passenden Stempel geformt und nach dem Abkühlen entnommen. Anschließend konnte die fertige Wachseinlage in die Luzerneschale eingesetzt werden.

Dieser Ansatz vermied mehrere Schwachstellen der vorherigen Varianten. Die wasserdichte Barriere musste nicht mehr während des Pressvorgangs mit dem rauen Luzernematerial verbunden werden. Risse in einem Papierträger, ein Durchschlagen des Wachses in das Grundmaterial und eine Verschmutzung des Presswerkzeugs konnten dadurch weitgehend vermieden werden. Gleichzeitig bildete die gegossene Einlage eine zusammenhängende innere Kultivierungsfläche, die unabhängig von der äußeren Luzerneschale hergestellt und bei Bedarf nachbearbeitet werden konnte.

Auch eine getrennte Handhabung der beiden Komponenten wurde dadurch möglich. Die Luzerneschale übernahm die tragende und gestalterische Funktion, während die Wachseinlage die Abdichtung gegenüber Bewässerungswasser sicherstellen sollte. Beide Komponenten konnten grundsätzlich voneinander getrennt werden.



Abbildung 17: Separate Wachseinlage

Die TU Dresden bewertete die separate gegossene Wachseinlage als technische Vorzugsvariante für den nächsten Entwicklungsstand. Sie ist jedoch nicht mehr den in AP 7 praktisch geprüften Musterkultivierungsschalen, sondern den später daraus hervorgegangenen Demonstratorkultivierungsschalen zuzuordnen. In Kapitel 4 wird sie deshalb als Ergebnis des technischen Entwicklungs- und Auswahlprozesses eingeführt. Ihre erfolgreiche praktische Validierung im vollständigen Kultivierungssystem wird in Kapitel 5 dargestellt.

4.3 Begleitende Kultivierungsprüfung der Musterkultivierungsschalen

Parallel zur technischen Entwicklung wurden ausgewählte Zwischenstände auf ihre praktische Eignung für die Microgreen-Kultivierung geprüft. Nicht jede von der TU Dresden untersuchte Material- oder Beschichtungsvariante wurde dabei in einer vollständigen Kultivierungsreihe eingesetzt. Geprüft wurden insbesondere solche Musterkultivierungsschalen, die aufgrund der vorangegangenen Materialtests eine Verbesserung gegenüber den Funktionsmustern erwarten ließen und in ausreichender Anzahl für praktische Versuche bereitgestellt werden konnten.

Ein zentraler Prüfstand waren Musterkultivierungsschalen mit einer Wachstissue- beziehungsweise Wachspapierlösung. Ziel war es, zu untersuchen, ob die weiterentwickelte Hydrophobierung eine Kultivierung unmittelbar in den Luzerneschalen ermöglichte und ob die Schalen den während Keimung und Wachstum auftretenden Feuchtebelastungen standhielten.

Für die Versuchsreihe wurden passend zugeschnittene Hanffasermatten in die Schalen eingesetzt und mehrere Kulturen angelegt. Die Kultivierungen wurden in Varianten mit und ohne Abdeckung durchgeführt. Während des Versuchs erfolgten regelmäßige Bewässerung, Belüftung und visuelle Kontrolle. Zusätzlich wurden Keimungsverlauf, Pflanzenentwicklung, Feuchteverhalten und Schimmelbildung dokumentiert. Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Umgebung wurden begleitend erfasst.

Die Musterkultivierungsschalen zeigten zunächst eine Verbesserung gegenüber den frühen Funktionsmustern. Die aufgebrachte Wachsschicht reduzierte den unmittelbaren Wasserkontakt mit einem großen Teil der Schalenoberfläche. Im weiteren Verlauf wurde jedoch deutlich, dass das Wachstum die Innenseite nicht vollständig und gleichmäßig abschloss. Insbesondere an den Rändern sowie an nicht vollständig anliegenden Übergängen verblieben Spalten zwischen Tissue und Luzerneschale.

Beim Besprühen und Bewässern gelangte Wasser in diese Zwischenräume. Dort konnte es nur eingeschränkt abtrocknen und wurde durch das angrenzende Luzernematerial kapillar aufgenommen. In den betroffenen Randzonen trat eine zunehmende lokale Durchfeuchtung auf. Besonders deutlich zeigte sich dieser Effekt bei den abgedeckten Varianten. Die erhöhte Luftfeuchtigkeit und das während der Keimphase entstehende Kondenswasser verstärkten den Feuchteeintrag zwischen Wachstum und Schale.

In den dauerhaft feuchten Bereichen entwickelte sich Schimmel am Luzernematerial. Dieser blieb nicht vollständig auf die äußere beziehungsweise tragende Schalenkomponente begrenzt, sondern konnte auf die Hanffasermatte und anschließend auf den Pflanzenbestand übergreifen. Unter diesen Bedingungen war eine weitere hygienisch vertretbare Kultivierung nicht möglich. Die betroffenen Ansätze wurden daher beendet beziehungsweise verworfen.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde Kresse unter realitätsnäheren Bedingungen ohne Abdeckung, bei Tageslicht und mit freierer Luftzirkulation kultiviert. Durch den Verzicht auf eine geschlossene Keimphase wurde die Kondenswasserbelastung reduziert. Die Kultivierung konnte dadurch günstiger verlaufen. Das grundlegende konstruktive Problem der nicht vollständig geschlossenen Abdichtung blieb jedoch bestehen. Wasser konnte weiterhin über Ränder und Fehlstellen in das Luzernematerial eindringen.

Die Prüfungen zeigten damit, dass die Musterkultivierungsschalen gegenüber den Funktionsmustern zwar weiterentwickelt waren, die Hydrophobierung aber noch keine ausreichend sichere Barriere über die gesamte Kultivierungsdauer gewährleistete. Entscheidend war nicht allein die Art des eingesetzten hydrophobierenden Materials. Ebenso wichtig waren eine vollständig geschlossene Oberfläche sowie die konstruktive Ausbildung von Rändern, Ecken und Übergängen.

Die Ergebnisse hatten auch Auswirkungen auf die Bewertung der Kultivierungsbedingungen. So konnte die Abdeckungsphase mit diesen Musterkultivierungsschalen noch nicht unabhängig als pflanzenbaulicher Parameter untersucht werden. Eine mögliche Schimmelbildung ließ sich nicht eindeutig der Kulturführung zuordnen, da sie zugleich durch den Feuchteeintrag in das Schalenmaterial verursacht oder verstärkt werden konnte. Gleiches galt für weiterführende Robustheits- und Bewässerungsversuche.

Die Musterkultivierungsschalen erfüllten dennoch eine wichtige Funktion im Entwicklungsprozess. Durch die praktischen Kultivierungen konnte der kritische Feuchteeintrag lokalisiert und unter realen Anwendungsbedingungen nachvollzogen werden. Die Beobachtungen wurden an die TU Dresden zurückgemeldet und bildeten eine wesentliche Grundlage für die weitere konstruktive Trennung von tragender Luzerneschale und wasserdichter Kultivierungsfläche.

Die Versuche bestätigten somit den Entwicklungsansatz: Ein technisch zunächst plausibler Beschichtungsstand wurde in der tatsächlichen Kultivierung geprüft, dabei auftretende Schwachstellen wurden identifiziert und anschließend in der nächsten Schalenstufe gezielt bearbeitet.

4.4 Festlegung auf die Heimkultivierung

Parallel zur technischen Schalenentwicklung wurde in AP 7 bewertet, ob das Kultivierungssystem für eine Heim- oder eine In-Store-Anwendung weiterentwickelt werden sollte. Unter In-Store-Kultivierung wurde dabei die Anzucht von Microgreens unmittelbar im Verkaufsraum eines Lebensmittelmarktes verstanden. Die Pflanzen würden dort heranwachsen und anschließend geerntet oder als lebende Ware angeboten.

Die Prüfung erfolgte unter technischen, organisatorischen, hygienischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Dabei wurde nicht grundsätzlich ausgeschlossen, dass eine In-Store-Kultivierung mit entsprechend ausgestatteten professionellen Systemen möglich ist. Es zeigte sich jedoch, dass dieser Anwendungsfall nicht zu dem im Projekt entwickelten einfachen und materialreduzierten Schalensystem passte.

Bereits der damalige Entwicklungsstand der Musterkultivierungsschalen war für eine Anwendung im Verkaufsumfeld nicht ausreichend. Die noch vorhandenen Schwachstellen bei Hydrophobierung und Feuchtestabilität hätten unter den Bedingungen einer kontinuierlich betreuten Kultur zu technischen und hygienischen Risiken geführt. Eine In-Store-Anwendung hätte deshalb zunächst einen deutlich weiterentwickelten und zuverlässig kontrollierbaren Schalenstand vorausgesetzt.

Darüber hinaus wären für eine gleichmäßige Kultivierung im Markt zusätzliche technische Einrichtungen erforderlich gewesen. Dazu hätten insbesondere eine konstante Beleuchtung, eine geregelte Bewässerung sowie gegebenenfalls eine Kontrolle von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftzirkulation gehört. Das entwickelte Luzerneschalen-Hanfmatte-System war jedoch als einfaches Anzuchtset und nicht als Bestandteil einer automatisierten Indoor-Farming-Anlage konzipiert.

Auch die organisatorischen Anforderungen sprachen gegen eine Fortführung dieses Ansatzes. Eine Kultivierung im Markt hätte regelmäßige Pflege, Bewässerung, Kontrolle, Reinigung und Ernte durch die Mitarbeitenden erfordert. Hierfür hätten Zuständigkeiten, Arbeitsabläufe und Vertretungsregelungen festgelegt werden müssen. Zusätzlich wäre eine Schulung der beteiligten Mitarbeitenden erforderlich gewesen. Diese zusätzlichen Aufgaben ließen sich nur schwer in die üblichen Abläufe der Filialen integrieren.

Besondere Anforderungen hätten sich zudem aus der Kultivierung und Abgabe eines frischen Lebensmittels im Verkaufsraum ergeben. Eine solche Anwendung hätte in die betrieblichen Hygiene- und Kontrollsysteme integriert werden müssen. Dazu wären unter anderem die Sicherstellung der Wasserqualität, regelmäßige Sicht- und Hygienekontrollen, dokumentierte Reinigungsabläufe, eine eindeutige Rückverfolgbarkeit sowie festgelegte Maßnahmen bei Schimmel, Schädlingsbefall oder sonstigen Auffälligkeiten notwendig gewesen. Der organisatorische und dokumentarische Aufwand wäre damit deutlich höher gewesen als beim Verkauf eines trockenen Anzuchtsets.

Auch wirtschaftlich war kein ausreichender Vorteil der In-Store-Kultivierung erkennbar. Die zusätzliche Technik, die Bereitstellung von Flächen, der Pflegeaufwand und das Risiko von Kultivausfällen hätten den Nutzen einer einfachen Kultivierung in Luzerneschalen überstiegen. Zugleich hätte sich das entwickelte System zunehmend von seiner ursprünglichen Ausrichtung als leicht zugängliches, biobasiertes Anzuchtprodukt entfernt.

Die Heimkultivierung bot demgegenüber eine deutlich bessere Passung zum Projektansatz. Das Produkt konnte trocken und ohne bereits wachsende Pflanzen zusammengestellt werden. Schalen, Substrat, Saatgut und Anleitung ließen sich als vollständiges Set konfektionieren, lagern und transportieren. Die eigentliche Kultivierung erfolgte anschließend durch die Endkunden im eigenen Haushalt.

Dadurch blieb zugleich der gewünschte DIY- und Erlebnischarakter erhalten. Aussaat, Pflege, Beobachtung des Wachstums und Ernte wurden zu Bestandteilen der Produktanwendung. Das Set unterschied sich damit bewusst von bereits fertig kultivierten Microgreens und verband die Nutzung des neuartigen Luzernematerials mit einem eigenen Anbauerlebnis.

Auf Grundlage dieser Bewertung wurde entschieden, die In-Store-Kultivierung für das entwickelte Schalensystem nicht weiterzuverfolgen. Die weitere Entwicklung konzentrierte sich auf ein trocken konfektioniertes Anzuchtset für die Heimkultivierung. Diese Grundentscheidung bildete den Rahmen für die nachfolgenden Festlegungen zu Kulturenauswahl, Saatgutportionierung, Kultivierungsanleitung, Hygiene, Verpackung und Logistik.

4.5 Zusammenführung der Anforderungen und Übergang zur Gesamtvalidierung

Neben der praktischen Prüfung der Musterkultivierungsschalen wurden in AP 7 die in AP 6 begonnenen pflanzenbaulichen und anwendungsbezogenen Arbeiten zusammengeführt. Auf Grundlage der bisherigen Kulturdaten und Versuchsergebnisse wurden unterschiedliche Kulturen hinsichtlich Robustheit, Kulturdauer und Erlebniswert eingeordnet. Daraus entstand die konzeptionelle Unterscheidung zwischen einem einfachen Basis-Set und einem stärker auf optische und geschmackliche Vielfalt ausgerichteten Vielfalts-Set.

Zugleich wurden Anforderungen an die Beschaffung, Lagerung und Portionierung des Saatguts erarbeitet. Der Aufbau einer eigenen Saatgutproduktion wurde bewertet, verschiedene Applikationsformen wurden gegenübergestellt und die vorportionierte Bereitstellung in einzelnen Saatguttütchen als bevorzugter Ansatz vorbereitet. Außerdem wurde ein vergleichender Lagerungsversuch begonnen, dessen Fortführung und abschließende Auswertung im weiteren Projektverlauf erfolgten.

Die Erkenntnisse aus Bewässerung, Substratgrammatur und jahreszeitlichen Bedingungen wurden zu einer einfachen Kultivierungslogik für die Heimkultivierung verdichtet. Anstelle einer starren Gießhäufigkeit wurde eine bedarfsgerechte Feuchtekontrolle der Hanffasermatte in den Mittelpunkt gestellt. Ebenso wurden die unterschiedlichen Anforderungen der Kulturen an Vorquellen, Abdeckung und Keimphase weiter strukturiert.

Weitere Arbeiten betrafen die Zusammenführung der Kultur- und Saatgutdaten, die Vorbereitung der Kultursteckbriefe, die Entwicklung von Hygiene- und Anwendungshinweisen sowie die Bewertung der nach der Nutzung vorgesehenen Verwertungswege. Diese Inhalte wurden in AP 7 konzeptionell bearbeitet, konnten mit dem damaligen Schalenstand jedoch noch nicht als vollständiges, zusammenhängendes Anzuchtssystem praktisch validiert werden.

Die Prüfungen der Musterkultivierungsschalen hatten gezeigt, dass insbesondere Randbereiche, Übergänge und die Verbindung zwischen Wachstissue und Luzerneschale weiterhin kritisch waren. Solange Bewässerungs- oder Kondenswasser in das Grundmaterial eindringen konnte, ließen sich einzelne Kultivierungsparameter nicht zuverlässig unabhängig von der Schalenfunktion bewerten.

Aus AP 7 wurde daher ein Anforderungskatalog für die nächste Entwicklungsstufe abgeleitet. Die Schalen mussten über die vorgesehene Kultivierungsdauer formstabil bleiben und den Kultivierungsbereich durch eine geschlossene Barriere vom Luzernematerial trennen. Gleichzeitig sollte die Lösung eine alltagstaugliche Bewässerung ermöglichen, eine kulturspezifische Abdeckungsphase tolerieren und mit den bereits erarbeiteten Hanfmatten, Saatgutmengen und Kultivierungshinweisen kombinierbar sein.

Die zentrale konstruktive Konsequenz war die Trennung von tragender Luzerneschale und wasserdichter Kultivierungsfläche durch eine separat gegossene Wachseinlage. Auf dieser Grundlage

entwickelte die TU Dresden die Demonstratorkultivierungsschalen als nächsten, produktnäheren Schalenstand.

Damit endete AP 7 nicht mit einer bereits abschließend validierten Kultivierungsschale. Das wesentliche Ergebnis bestand vielmehr in der technischen und konzeptionellen Zusammenführung der bisherigen Erkenntnisse, der Lokalisierung der noch bestehenden Schwachstellen und der Ableitung eines klaren Anforderungsprofils für die abschließende Entwicklungsstufe.

Die praktische Gesamtvalidierung erfolgte anschließend mit den Demonstratorkultivierungsschalen. Da die Entwicklungsschritte fachlich eng ineinandergreifen, werden die Ergebnisse im folgenden Kapitel nicht erneut ausschließlich nach Arbeitspaketen getrennt dargestellt. Kapitel 5 führt stattdessen die Entwicklung und Validierung der einzelnen Teilsysteme über AP 6, AP 7 und AP 9 hinweg themenbezogen zusammen.

5. Entwicklung und Validierung der Teilsysteme – AP 6, AP 7 und AP 9

5.1 Auswahl und abschließende Validierung geeigneter Kulturen

Für die Entwicklung des Anzuchtsets wurde im Projektverlauf ein breites Spektrum unterschiedlicher Microgreen-Kulturen untersucht. Dabei wurden sowohl verbreitete und als besonders robust geltende Arten als auch optisch, geschmacklich oder hinsichtlich ihrer Kulturführung speziellere Varianten einbezogen. Ziel war es, nicht nur einzelne schnell wachsende Standardkulturen auszuwählen, sondern eine belastbare Kulturenauswahl zu entwickeln, die unterschiedliche Anwendungsinteressen abdeckt und für die jeweils nachvollziehbare Kultivierungshinweise bereitgestellt werden können.

Die Vorauswahl erfolgte anhand der Ergebnisse der vorangegangenen Kultivierungsversuche und der fortlaufend aufgebauten Kultur- und Saatgutdatenbasis. Berücksichtigt wurden insbesondere die Zuverlässigkeit und Gleichmäßigkeit der Keimung, die Kulturdauer, der Bedarf an Einweichen oder Abdeckung, die Bewässerungsansprüche, die Anfälligkeit gegenüber Schimmel und Pflegeabweichungen sowie die optische und geschmackliche Attraktivität der Kulturen. Ergänzend wurde bewertet, ob sich die jeweilige Kultur für eine verständliche Endkundenanwendung und eine anschauliche Produktkommunikation eignete.

Aus dem breiteren geprüften Kulturenspektrum wurden schließlich zwölf Arten für die abschließende Validierung ausgewählt: Brokkoli, Gerste, Grünkohl, Kohlrabi, Koriander, Senf, Kresse, Linse, Luzerne, Rotkohl, Rote Beete und Radieschen. Diese Kulturen wurden nochmals in den finalen Demonstratorkultivierungsschalen angebaut. Dabei kamen das endgültige Schalen- und Hanfmattenformat sowie die im Projektverlauf erarbeiteten kulturspezifischen Aussaatmengen und Anzuchtbedingungen zum Einsatz.



Abbildung 18: Abgepackte Saatguttütchen

Die abschließenden Kultivierungen dienten nicht mehr der grundlegenden Suche nach geeigneten Kulturen. Vielmehr wurde überprüft, ob die zuvor gewonnenen Erkenntnisse im Demonstratorsystem praktisch anwendbar waren und ob für jede Kultur ausreichend belastbare Angaben für einen Kultursteckbrief vorlagen. Erfasst wurden insbesondere Einweichbedarf, Keimverlauf, Dauer und Funktion einer möglichen Abdeckung, Bewässerung, Gleichmäßigkeit des Bestands, Kulturdauer, Erntehöhe, sichtbare Besonderheiten sowie Geschmack und optische Wirkung.

Alle zwölf ausgewählten Kulturen konnten in den Demonstratorkultivierungsschalen erfolgreich kultiviert werden. Die Aufnahme in die finale Auswahl bedeutet dabei nicht, dass jede Kultur gleich schnell, gleichmäßig oder pflegeleicht wuchs. Vielmehr konnte für jede der zwölf Arten eine geeignete, kulturspezifische Vorgehensweise abgeleitet werden. Während robuste Kulturen wie Kresse, Senf, Brokkoli und Radieschen mit einer vergleichsweise einfachen Kulturführung auskamen, benötigten beispielsweise Gerste, Linse, Koriander oder Rote Beete zusätzliche Hinweise zum Einweichen, zur Dauer der geschützten Keimphase oder zur Bewässerung.

Tabelle 4: Zusammenfassende Bewertung der final validierten Kulturen

Kultur	Zentrale Erkenntnisse	Abschließende Bewertung	Setzuordnung
Brokkoli	Sehr schnelle und weitgehend gleichmäßige Keimung, zügiger Wuchs und Ernte nach etwa sechs bis sieben Tagen. Eine moderate, bedarfsgerechte Bewässerung war ausreichend; auch eine Bewässerung von oben wurde vertragen.	Sehr gut geeignet. Robuste, schnell wachsende und einfach zu vermittelnde Kultur.	Erweitertes Basis-Set
Gerste	Das Saatgut musste vor der Aussaat eingeweicht und über eine längere Keimphase abgedeckt werden. Der Aufgang verlief zunächst unregelmäßig, stabilisierte sich jedoch nach der	Geeignet mit klaren kulturspezifischen Hinweisen. Aufgrund der Vorbehandlung und längeren Kulturführung eher anspruchsvoller	Erweitertes Vielfalts-Set

	Etablierung. Eine zu lange Abdeckung erhöhte das Schimmelrisiko.		
Grünkohl	Gute Keimung, dichter Pflanzenbestand und attraktive Färbung. Nach dem zunächst langsameren Aufgang entwickelte sich die Kultur gleichmäßig und zuverlässig.	Gut geeignet. Verbindet eine robuste Kulturführung mit einer ansprechenden optischen Wirkung.	Erweitertes Basis-Set
Kohlrabi	Teilweise verzögerter und heterogener Aufgang. Eine ausreichende Feuchteversorgung von unten verbesserte die Entwicklung. Die Pflanzen blieben vergleichsweise niedrig, entwickelten sich bei angepasster Bewässerung jedoch zufriedenstellend.	Geeignet mit angepasster Bewässerungsführung. Aufgrund der besonderen Optik für ein vielfältigeres Set geeignet.	Vielfalts-Set
Koriander	Sehr lange und teilweise heterogene Keimung. Die Kultur erforderte Geduld und eine längere kontrollierte Keimphase. Gesplittetes beziehungsweise entsprechend vorbereitetes Saatgut erwies sich als grundsätzlich kultivierbar.	Als Spezialkultur geeignet, jedoch nicht für ein besonders einfaches Einsteigerset. Eine ausführliche Anleitung ist erforderlich. Anspruchsvolle Kultur.	Erweitertes Vielfalts-Set
Senf	Schnelle Keimung und anschließend sehr zügiges Wachstum. Die Kultur war nach etwa sechs bis sieben Tagen erntefähig, ließ sich bedarfsgerecht bewässern und entwickelte ein charakteristisch leicht scharfes Aroma.	Sehr gut geeignet. Robuste und schnell wachsende Kultur mit hoher Anwendungssicherheit.	Basis-Set
Kresse	Extrem schnelle Keimung und Entwicklung; Ernte teilweise bereits nach fünf bis sechs Tagen möglich. Die schleimbildenden Samen erforderten eine möglichst gleichmäßige Verteilung, anschließend war die Kulturführung unkompliziert.	Sehr gut geeignet. Besonders anfängerfreundlich und aufgrund des schnellen sichtbaren Erfolgs für die Heimkultivierung geeignet.	Basis-Set
Linse	Längeres Einweichen und eine ausreichend lange geschützte Keimphase waren erforderlich.	Gut geeignet, sofern Einweich- und Abdeckungshinweise eingehalten werden. Eher für	Erweitertes Vielfalts-Set

	Nach der Etablierung entwickelte sich ein weitgehend gleichmäßiger und hoher Bestand. Eine zu lange Abdeckung musste wegen des möglichen Schimmelrisikos vermieden werden.	interessierte oder erfahrenere Anwender.	
Luzerne	Bei geeignetem Saatgut war eine gute Keimung und Kultivierung möglich. Der Aufwuchs blieb niedriger als bei mehreren anderen Kulturen und entwickelte sich mit moderater Geschwindigkeit.	Grundsätzlich geeignet, sofern eine ausreichend keimfähige und qualitätsgesicherte Saatgutcharge verwendet wird. Aufgrund des Rohstoffbezugs besonders projektbezogen.	Erweitertes Basis-Set
Rotkohl	Langsamerer und teilweise zunächst heterogener Aufgang, anschließend jedoch gleichmäßige Entwicklung. Besonders hervorzuheben waren die intensive rötliche Färbung und die gute optische Wirkung.	Gut geeignet mit etwas längerer Kulturzeit. Besonders attraktiv für eine auf Vielfalt und Erscheinungsbild ausgerichtete Setvariante.	Vielfalts-Set
Rote Beete	Längere Keimdauer sowie Einweichen und eine ausreichend lange Abdeckung waren erforderlich. Der Aufgang war teilweise heterogen; anhaftende Samenhüllen konnten junge Pflanzen belasten. Geschmacklich zeigte die Kultur ein deutliches, typisches Rote-Beete-Aroma.	Geeignet als anspruchsvollere Spezialkultur. Erfordert klare Hinweise zu Einweichen, Keimphase und Umgang mit Samenhüllen.	Erweitertes Vielfalts-Set
Radieschen	Schnelle und überwiegend gleichmäßige Keimung, kräftiger Wuchs und ein gut erkennbares Erntefenster. Die Kultur entwickelte einen charakteristischen frischen und leicht scharfen Geschmack. Bei zu langer Kultur konnten die hohen Pflanzen teilweise umknicken.	Sehr gut geeignet. Robuste und geschmacklich attraktive Kultur mit Potenzial für eine spätere Sortimentserweiterung.	Erweitertes Basis-Set

Die Tabelle zeigt, dass sich die zwölf Kulturen nicht nur hinsichtlich ihrer Wachstumsdauer, sondern auch in Bezug auf den erforderlichen Vorbereitungs- und Pflegeaufwand unterscheiden. Diese Unterschiede wurden bewusst in die Auswahl aufgenommen. Neben besonders robusten und schnell

wachsenden Arten sollten auch Kulturen vertreten sein, die durch Farbe, Geschmack, Wuchsform oder eine speziellere Kultivierung einen zusätzlichen Erlebniswert bieten.

Für die erste Produktumsetzung wurde die Zahl der tatsächlich im Set eingesetzten Kulturen dennoch begrenzt. Die Kulturen wurden noch in die Kategorie Basis- und Vielfaltsset unterteilt. Die Kulturen im Vielfaltsset benötigen teilweise etwas mehr Aufmerksamkeit, bieten jedoch eine größere optische Abwechslung.

Abgrenzung gegenüber weiteren geprüften Kulturen

Über die zwölf final aufgenommenen Kulturen hinaus wurden im Projekt weitere Arten und Saatgutvarianten kultiviert. Nicht alle wurden in die abschließende Auswahl übernommen. Gründe hierfür waren unter anderem eine unzureichende oder sehr ungleichmäßige Keimung, wiederholte Schimmelbildung, eine für die Heimkultivierung zu störanfällige Kulturführung oder eine im Vergleich zu anderen Arten geringere Eignung für das vorgesehene Produktangebot.

Teilweise ließ sich nicht abschließend unterscheiden, ob ein unbefriedigendes Ergebnis auf die Kulturart selbst, eine ungeeignete Saatgutcharge oder noch nicht optimal angepasste Kultivierungsbedingungen zurückzuführen war. Solche Kulturen wurden nicht vorschnell als grundsätzlich ungeeignet bewertet, aber auch nicht in die finale Auswahl aufgenommen. Dies betraf beispielsweise Bockshornklee. Hier wurden im Projektverlauf stark voneinander abweichende Keim- und Kultivierungsergebnisse beobachtet. Auch durch Einweichen ließ sich keine ausreichend verlässliche und reproduzierbare Kulturführung für die Aufnahme in das abschließende Sortiment ableiten.

Bei anderen Arten fiel die Entscheidung nicht aufgrund eines eindeutigen Misserfolgs, sondern aufgrund der erforderlichen Eingrenzung des Sortiments. Für die zwölf finalen Kulturen wurde eine Mischung aus besonders robusten und verbreiteten Arten sowie einzelnen geschmacklich oder optisch spezielleren Kulturen gewählt. Dadurch konnte ein überschaubares, zugleich aber ausreichend vielfältiges Kulturportfolio für die weitere Produkt- und Kommunikationsentwicklung geschaffen werden.

Erstellung der finalen Kultursteckbriefe

Auf Grundlage der abschließenden Demonstratorversuche wurden für alle zwölf ausgewählten Kulturen Kultursteckbriefe erstellt. Die zuvor aufgebaute interne Datenbasis wurde dafür mit den finalen Beobachtungen abgeglichen und auf die Endkundenanwendung übertragen.

Die Zeitangaben werden dabei als Orientierungswerte verstanden. Licht, Temperatur, Saatgutqualität und Standort können den tatsächlichen Entwicklungsverlauf beeinflussen. Die Steckbriefe verbinden deshalb zeitliche Angaben mit sichtbaren Entwicklungsmerkmalen, anhand derer die Anwender den Kulturverlauf und den Erntezeitpunkt selbst beurteilen können.

Während der finalen Kultivierungsreihen wurden die zwölf Kulturen in den Demonstratorkultivierungsschalen fotografisch dokumentiert. Die Bilder zeigen die Kulturen im für das entwickelte System typischen Erscheinungsbild und bilden einen wesentlichen Bestandteil der Steckbriefe. Sie können darüber hinaus für Kultivierungsanleitungen, die Projektwebseite und eine spätere Kundenkommunikation verwendet werden.

Abbildung 19 zeigt exemplarisch den finalen Kultursteckbrief für Luzerne. Die vollständigen Steckbriefe der zwölf Kulturen sind im Anhang zusammengestellt und werden ergänzend auf der Projektwebseite veröffentlicht.

LUZERNE

Medicago sativa



Schwierigkeitsgrad: leicht bis mittel

Eignung für das Anzuchtset: grundsätzlich geeignet

Aussaatmenge: 4,5 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: : kleine, nierenförmige, gelblich-braune Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: nicht erforderlich, aber etwa 2–3 Tage führen zu schnellerer Keimung

Beginn der Keimung: nach etwa 2 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: guter und relativ gleichmäßiger Aufgang

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; Bewässerung durch Besprühen, auch von oben möglich

Zeit bis zur Ernte: etwa 7 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 4–5 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: mild und leicht nussig

Blätter und Stängel: kleine grüne Keimblätter mit hellen, sehr feinen Stängeln;

Samen müssen vor Ernte abgestreift werden

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Luzerne bildet zarte und mild schmeckende Microgreens. Das Saatgut kann ohne vorheriges Einweichen auf dem Substrat verteilt und zunächst abgedeckt kultiviert werden. Die Keimung beginnt nach etwa zwei Tagen und sind nach die doch etwas kleineren verzweigten Pflanzen sind nach ungefähr sieben Tagen erntereif.



Abbildung 19: Steckbrief Luzerne

Einordnung der recherchierten Saatgutpreise

Im Zusammenhang mit der Kulturenauswahl wurden auch Bezugsquellen, Gebindegrößen und orientierende Saatgutpreise recherchiert. Diese Daten dienten der internen Beschaffungsplanung, dem Vergleich potenzieller Anbieter und der späteren wirtschaftlichen Kalkulation der Anzuchtsets.

Auf eine Veröffentlichung konkreter Saatgutpreise in den Kultursteckbriefen und im vorliegenden Bericht wurde verzichtet. Saatgutpreise sind abhängig von Anbieter, Kultur, Sorte, Qualität, Gebindegröße, Bestellmenge und Einkaufszeitpunkt und können sich kurzfristig verändern. Eine Veröffentlichung würde daher lediglich eine zeitlich begrenzte Momentaufnahme darstellen. Für die öffentliche Ergebnisdarstellung sind die grundsätzliche Verfügbarkeit und die kultivierungsbezogene Eignung der jeweiligen Arten entscheidend; die konkreten Preisangaben bleiben Bestandteil der internen Produktkalkulation.

Abschließende Einordnung

Mit der Kultivierung der zwölf ausgewählten Arten in den Demonstratorkultivierungsschalen wurde die Kulturenauswahl für den vorgesehenen Produktstand abgeschlossen. Für alle aufgenommenen Kulturen konnten anwendbare Aussaat-, Keim-, Bewässerungs- und Erntehinweise abgeleitet und in finalen Steckbriefen zusammengeführt werden. Die Demonstratorschalen erwiesen sich dabei als

geeignet, sowohl besonders robuste Standardkulturen als auch anspruchsvollere und speziellere Arten erfolgreich zu kultivieren.

Damit liegt ein für die Pilotvermarktung und die weitere Produktentwicklung nutzbares Kulturportfolio vor. Die vier ausgewählten Kulturen der beiden Setvarianten ermöglichen eine klar verständliche erste Produktumsetzung. Die weiteren validierten Arten schaffen zugleich die Grundlage für spätere Sortimentserweiterungen, wechselnde Kulturkombinationen und zusätzliche Kommunikations- und Vermarktungsangebote.

5.2 Saatgutgewinnung, Beschaffung und Lagerstabilität

Die Qualität des eingesetzten Saatguts ist eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der Heimkultivierung. Da die Saatgutportionen nach der Zusammenstellung der Anzuchtsets zunächst gelagert, über den Handel vertrieben und teilweise erst mehrere Monate später durch die Endkunden verwendet werden, muss die Keimfähigkeit über einen ausreichenden Zeitraum erhalten bleiben. Gleichzeitig sind hygienische Risiken zu berücksichtigen. Insbesondere erhöhte Feuchtigkeit, ungeeignete Lagerbehältnisse oder Schädlingsbefall können die Saatgutqualität beeinträchtigen und später zu einer ungleichmäßigen Keimung, Schimmelbildung oder zum Ausfall der Kultur führen.

Die Bearbeitung dieses Themenbereichs erfolgte schrittweise über die Arbeitspakete 6, 7 und 9. Zunächst wurde geprüft, ob betriebseigenes Saatgut für die Kultivierung verwendet werden kann.



Abbildung 20: Kultivierungsversuche mit eigenem Saatgut, hier Ackerbohne

Anschließend wurden Anforderungen an die Beschaffung und Lagerung von Zukaufsaatgut entwickelt. Abschließend wurde die Lagerstabilität ausgewählter Kulturen in einem zehnmonatigen Vergleichsversuch untersucht.

Prüfung einer eigenen Saatgutgewinnung

Im frühen Projektverlauf wurde zunächst die Möglichkeit betrachtet, betriebseigenes Saatgut für die Kultivierung und perspektivisch für die Zusammenstellung der Anzuchtsets zu nutzen. Hierzu wurden unter anderem eigene Ackerbohnen und Erbsen in die Kultivierungsversuche einbezogen.

Die Ergebnisse waren jedoch nicht ausreichend zufriedenstellend und reproduzierbar. Bei den Ackerbohnen wurden eine unzureichende Keimung und ein frühzeitiger Verderb beobachtet. Auch die Versuche mit Erbsen ergaben keine hinreichend verlässliche Grundlage für die Verwendung als standardisierte Setkomponente. Zwar war eine grundsätzliche Kultivierung möglich, die Ergebnisse unterschieden sich jedoch hinsichtlich Keimung und Bestandsentwicklung und erfüllten damit nicht die Anforderungen an ein möglichst anwendungssicheres Endverbraucherprodukt.

Für die Verwendung in einem Anzuchtset reicht die grundsätzliche Keimfähigkeit des Saatguts nicht aus. Erforderlich sind vielmehr eine gleichmäßige und reproduzierbare Keimleistung, eine hygienisch einwandfreie Ausgangsqualität, eine eindeutige Chargenzuordnung sowie eine nachvollziehbare Rückverfolgbarkeit. Eine eigene Saatgutvermehrung hätte daher zusätzlich eine Aufbereitung, Keimfähigkeitsprüfung, Fremdbesatzkontrolle und gegebenenfalls mikrobiologische Untersuchungen erfordert. Der notwendige organisatorische und analytische Aufwand wird für das Konzept als nicht wirtschaftlich darstellbar eingeordnet.

Die eigene Saatgutgewinnung wurde deshalb nicht weiterverfolgt. Als Vorzugsvariante wurde der Bezug von Saatgut über spezialisierte Anbieter festgelegt, die eine für die Mikrogemüsekultivierung geeignete und nachvollziehbare Qualität bereitstellen können.

Festlegung der Beschaffungsstrategie

Für die Zusammenstellung der Anzuchtsets soll Saatgut aus dokumentierten Chargen eingesetzt werden. Bei der Auswahl der Anbieter werden insbesondere Angaben zur Keimfähigkeit, zur Herkunft und zur vorgesehenen Verwendung des Saatguts berücksichtigt. Soweit verfügbar, sollen chargenbezogene Qualitätsangaben oder Analysennachweise einbezogen werden.

Ergänzend sind bei der Warenannahme eine Sichtkontrolle sowie bei Bedarf orientierende eigene Keimtests vorgesehen. Dabei wird insbesondere auf Verklumpungen, Verfärbungen, ungewöhnlichen Geruch, sichtbare Schimmelbildung und Hinweise auf Schädlingsbefall geachtet. Die Bestellmengen sollen am erwarteten Bedarf ausgerichtet werden. Größere Preisvorteile durch hohe Abnahmemengen sind gegen das Risiko einer langen Lagerdauer und eines damit verbundenen Qualitätsverlusts abzuwägen. Vorteilhaft ist auch die Möglichkeit mangelhaftes Saatgut beim Anbieter zu reklamieren.

Die Beschaffungsstrategie wurde somit nicht allein anhand des Einkaufspreises festgelegt. Entscheidend ist vielmehr das Verhältnis aus Saatgutqualität, Lagerfähigkeit, Chargengröße, Verarbeitungszeitraum und Kultivierungssicherheit.

Untersuchung der Lagerstabilität

Zur Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Lagerungsbedingungen wurde im Mai 2025 in AP 7 ein vergleichender Lagerungsversuch angelegt. Dieser wurde über den weiteren Projektverlauf fortgeführt und im März 2026 in AP 9 nach einer Lagerungsdauer von zehn Monaten abgeschlossen.

Untersucht wurden die vier Kulturen: Kresse, Senf, Rotkohl und Brokkoli.

Verglichen wurden zwei Lagerungsvarianten:

- Korrekte Lagerung (KL): kühle, trockene und dunkle Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältnissen unter Zugabe von handelsüblichem Silicagel.
- Suboptimale Lagerung (SL): Lagerung bei Raumtemperatur und höherer relativer Luftfeuchtigkeit, teilweise mit Licht- und Luftkontakt sowie ohne Trocknungsmittel.

Für die korrekte Lagerung wurde ein Temperaturbereich von etwa 4 bis 8 °C bei möglichst geringer relativer Luftfeuchtigkeit angestrebt. Die suboptimale Variante wurde bei etwa 20 bis 25 °C und höherer Luftfeuchtigkeit gelagert. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden während des Versuchs wiederholt kontrolliert und entsprachen bei den Kontrollmessungen näherungsweise den vorgesehenen Lagerungsbereichen.

Die Keimfähigkeit wurde zu drei Zeitpunkten geprüft:

- t0: zu Beginn des Versuchs im Mai 2025,
- t5: nach fünf Monaten im Oktober 2025,
- t10: nach zehn Monaten im März 2026.

Je Kultur, Lagerungsvariante und Messzeitpunkt wurden vier Wiederholungen mit jeweils 50 Samen angelegt. Die Keimtests erfolgten auf angefeuchtetem Keimvlies unter vergleichbaren Bedingungen. Neben der Keimquote wurden sichtbare Auffälligkeiten wie Verklumpungen, Verfärbungen, Schimmelbildung und ungewöhnlicher Geruch dokumentiert. Die in Tabelle 5 dargestellten Werte geben die Spannweite der vier Wiederholungen wieder.

Tabelle 5: Ergebnisse aus dem Lagertest für Saatgut

Art	Lagerung	Keimquote t0	Keimquote t5	Keimquote t10	Bemerkungen nach t10
Kresse	korrekt	97–99 %	95–97 %	92–95 %	stabil, unkritisch
Kresse	suboptimal	97–99 %	84–90 %	72–82 %	deutlicher Rückgang, vereinzelt Oberflächenpilze
Senf	korrekt	96–98 %	94–96 %	90–94 %	stabil
Senf	suboptimal	96–98 %	82–88 %	70–80 %	deutlicher Rückgang
Rotkohl	korrekt	94–97 %	90–94 %	86–90 %	leicht empfindlicher
Rotkohl	suboptimal	94–97 %	76–85 %	58–70 %	stärkere Alterung, teilweise Schimmel
Brokkoli	korrekt	95–97 %	92–95 %	88–92 %	gute Lagerstabilität
Brokkoli	suboptimal	95–97 %	80–88 %	62–75 %	deutlicher Rückgang

Ergebnisse und Bewertung

Unter korrekten Lagerungsbedingungen blieb die Keimfähigkeit aller untersuchten Kulturen über den Versuchszeitraum weitgehend erhalten. Nach zehn Monaten lagen die Keimquoten weiterhin zwischen 86 und 95 %. Kresse und Senf erwiesen sich dabei als besonders lagerstabil. Auch Brokkoli wies nach zehn Monaten weiterhin eine hohe Keimfähigkeit auf. Rotkohl reagierte etwas empfindlicher, erreichte unter korrekten Bedingungen jedoch ebenfalls noch Keimquoten von 86 bis 90 %.

Unter suboptimalen Bedingungen zeigte sich bereits nach fünf Monaten ein deutlich stärkerer Rückgang. Nach zehn Monaten lagen die Keimquoten je nach Kultur nur noch zwischen 58 und 82 %. Besonders ausgeprägt war der Verlust bei Rotkohl und Brokkoli. Bei einzelnen Proben traten zusätzlich sichtbare Oberflächenpilze beziehungsweise Schimmelbildung auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass nicht allein das Alter des Saatguts, sondern insbesondere die Art der Lagerung über den Erhalt der Keimfähigkeit entscheidet. Während eine kühle, trockene, dunkle und luftdichte Lagerung die Saatgutqualität über mindestens zehn Monate weitgehend bewahrte, führten Wärme, erhöhte Luftfeuchtigkeit sowie Licht- und Luftkontakt zu einer beschleunigten Alterung und zu erhöhten hygienischen Risiken.

Aus dem Versuch kann keine allgemeingültige Mindesthaltbarkeit für sämtliche späteren Saatgutchargen abgeleitet werden. Die Haltbarkeit ist zusätzlich von Kultur, Sorte, Ausgangsqualität, Verpackung und konkreten Lagerbedingungen abhängig. Für eine spätere reguläre Vermarktung sind daher neben den Projektergebnissen auch die Angaben der jeweiligen Saatgutanbieter und eine chargenbezogene Qualitätssicherung zu berücksichtigen.

Schädlingsschutz

Im Projektverlauf wurde Vorratsmottenbefall als weiteres relevantes Lagerungsrisiko erkannt. Dies bestätigte, dass angebrochene Saatgutgebilde nicht offen oder lediglich in den ursprünglichen, nicht mehr vollständig verschlossenen Verpackungen gelagert werden sollten.

Angebrochene Gebinde sind daher möglichst unmittelbar in dicht schließende Behältnisse zu überführen. Lagerbereiche sollen sauber, trocken und frei von offenen Lebens- oder Futtermitteln gehalten werden. Ergänzend sind regelmäßige Sichtkontrollen und bei größeren Lagermengen ein geeignetes Schädlingsmonitoring, beispielsweise durch Pheromonfallen, vorzusehen. Auffällige oder befallene Chargen dürfen nicht für die Setproduktion verwendet werden.

Ableitungen für das Anzuchtset

Aus der Prüfung der Saatgutgewinnung und dem Lagerungsversuch wurden folgende Festlegungen für das entwickelte Anzuchtset abgeleitet:

Das Saatgut wird nicht selbst erzeugt, sondern bedarfsgerecht von spezialisierten Anbietern beschafft. Die Einkaufsmenge orientiert sich am erwarteten Absatz, damit lange Lagerzeiten vermieden werden. Angebrochene Gebinde werden trocken, dunkel, möglichst kühl und luftdicht verschlossen gelagert. Bei längerer Lagerung kann Silicagel eingesetzt werden, um Feuchtigkeitseinträge zu begrenzen.

Für die Setproduktion werden die kulturspezifisch festgelegten Saatgutmengen in einzelne Tütchen portioniert. Dadurch erhält der Endkunde eine für die jeweilige Schale geeignete Saatmenge, ohne selbst wiegen oder eine Aussaatstärke berechnen zu müssen. Die Portionierung reduziert zugleich das Risiko einer zu dünnen oder zu dichten Aussaat.

In die Produkt- beziehungsweise Kultivierungsanleitung wird der Hinweis aufgenommen, das noch nicht verwendete Saatgut kühl, trocken und lichtgeschützt aufzubewahren. Eine konkrete Haltbarkeitsangabe ist bei einer späteren Markteinführung mit den Angaben des Saatgutlieferanten, dem Packdatum und der vorgesehenen Verpackung abzustimmen.

Damit wurde der im Mai 2025 in AP 7 begonnene Themenbereich in AP 9 abgeschlossen. Als finales Ergebnis liegt eine begründete Saatgutstrategie vor, die qualitätsgesicherten Zukauf, bedarfsgerechte Chargengrößen, definierte Lagerungsbedingungen und die kulturspezifische Vorportionierung für das Endkundenset miteinander verbindet.

5.3 Samenapplikation und Saatgutportionierung

Die Art der Saatgutapplikation beeinflusst sowohl die Gleichmäßigkeit des Pflanzenbestands als auch die Schimmelanfälligkeit und die Benutzerfreundlichkeit des Anzuchtsets. Für die Heimkultivierung war dabei nicht nur eine technisch sichere Lösung erforderlich. Auch der Mitmachcharakter des Produkts sollte erhalten bleiben. Insbesondere für Familien und unerfahrene Anwender gehört das eigenständige Aussäen zum Kultivierungserlebnis und bildet einen wesentlichen Unterschied zu vollständig vorkonfektionierten Anzuchtssystemen.

Ausgangspunkt: kulturspezifische Aussaatmengen

Die in AP 6 durchgeführten Versuche zur Aussaatstärke zeigten, dass eine zu geringe Saatmenge zu lückigen und ungleichmäßigen Beständen führt. Eine überhöhte Aussaatstärke kann dagegen die Konkurrenz zwischen den Keimlingen sowie das Risiko von Feuchtestau und Schimmelbildung erhöhen. Da Samengröße, Quellverhalten und Wuchsform zwischen den Kulturen variieren, war keine einheitliche Saatmenge für sämtliche Arten möglich.

Auf Grundlage dieser Versuche wurden kulturspezifische Aussaatmengen abgeleitet und im weiteren Projektverlauf an das endgültige Schalen- und Substratformat angepasst. Die finalen Mengen werden in den Kultursteckbriefen ausgewiesen und bilden zugleich die Grundlage für die Portionierung des Saatguts.

Bewertung möglicher Applikationsvarianten

Im Projekt wurden grundsätzlich drei Varianten betrachtet:

1. lose Bereitstellung einer größeren Saatgutmenge,
2. vorgefertigte Saatpads mit fixiertem Saatgut,
3. kulturspezifisch vorportionierte Saatguttütchen.

Die Beigabe einer nicht vorportionierten Saatgutmenge wurde verworfen. Bei einer freien Dosierung durch die Endkunden besteht das Risiko, dass zu wenig oder zu viel Saatgut eingesetzt wird. Damit würde ein wesentlicher, im Projekt bereits optimierter Kultivierungsparameter wieder an die Anwender übertragen.

Saatpads könnten eine besonders gleichmäßige Verteilung des Saatguts ermöglichen. Für die entwickelte Produktlösung wurden sie jedoch nicht weiterverfolgt. Sie würden zusätzliche Herstellungs- und Verarbeitungsschritte erfordern, den Materialeinsatz erhöhen und den gewünschten DIY-Charakter des Sets reduzieren. Das eigentliche Aussäen als sichtbarer Bestandteil des Kultivierungserlebnisses würde entfallen. Für eine spätere Produktentwicklung bei sehr hohen Stückzahlen kann eine vorapplizierte Lösung erneut geprüft werden, sie stellte jedoch für den im Projekt entwickelten Demonstrator keine Vorzugsvariante dar.

Als geeignete Lösung wurden daher vorportionierte Saatguttütchen ausgewählt. Sie verbinden eine definierte Aussaatmenge mit einer weiterhin aktiven Beteiligung der Endkunden.

Praktische Umsetzung im Pilotprodukt

Für das Pilotprodukt wurden geeignete kleine Saatguttütchen beschafft. Die für die jeweilige Kultur und Schalengröße festgelegten Saatgutmengen wurden mit einer Feinwaage von Hand eingewogen und einzeln abgefüllt. Beim Ansetzen des Sets öffnet der Anwender das Tütchen und verteilt dessen vollständigen Inhalt möglichst gleichmäßig auf der angefeuchteten Hanffasermatte.

Die manuelle Portionierung erwies sich für die Herstellung einer Pilot- oder Kleinserie als grundsätzlich praktikabel. Sie setzt keine spezielle Abfülltechnik voraus und ermöglicht eine flexible Anpassung an unterschiedliche Kulturen und Saatgutmengen. Gleichzeitig zeigte sich, dass das genaue Einwiegen, Abfüllen und Verschließen der einzelnen Portionen einen relevanten Zeitaufwand verursacht.

Eine automatisierte Saatgutabfüllung wäre technisch grundsätzlich möglich, würde jedoch die Anschaffung oder Nutzung entsprechender Dosier- und Verpackungstechnik voraussetzen. Aufgrund der kleinen Saatgutmengen und der kulturspezifisch unterschiedlichen Samenformen wäre eine solche Lösung erst bei deutlich höheren und regelmäßig produzierten Stückzahlen wirtschaftlich sinnvoll. Für Pilotprodukte und kleinere Serien bleibt die manuelle Portionierung daher eine geeignete Vorgehensweise.

Validierung in AP 9

Die in AP 7 entwickelte Portionierungs- und Applikationslogik wurde in AP 9 praktisch umgesetzt. Die vordosierten Saatgutmengen wurden in den Demonstratorkultivierungsschalen eingesetzt und im Rahmen der finalen Kultivierungsversuche überprüft. Dabei wurde insbesondere bewertet, ob die bereitgestellte Menge eine ausreichende und möglichst gleichmäßige Bedeckung der Substratmatte ermöglicht und ob die Anwendung ohne zusätzliche Mess- oder Dosierhilfen verständlich durchführbar ist.

Damit wurde in AP 9 nicht erneut die grundsätzlich optimale Aussaatstärke ermittelt. Vielmehr wurden die aus AP 6 übernommenen und an das finale Schalenformat angepassten Mengen im vollständigen Anzuchtssystem validiert.

Tabelle 6: Prozessablauf für die Setproduktion

Prozessschritt	Umsetzung im Projekt	Perspektive bei größeren Stückzahlen
Saatguteinkauf	Bezug kulturspezifischer Chargen von spezialisierten Anbietern	Bedarfsorientierte Rahmenbestellungen
Wareneingang	Sichtkontrolle, Chargenzuordnung und bei Bedarf orientierender Keimtest	Standardisierte Wareneingangskontrolle
Portionierung	Manuelles Einwiegen mit Feinwaage	Halb- oder vollautomatische Dosierung bei ausreichender Stückzahl
Befüllung	Manuelles Einfüllen in kleine Saatguttütchen	Automatisierte Beutelzuführung und Befüllung
Kennzeichnung	Zuordnung der Tütchen zur jeweiligen Kultur und Saatmenge	Einheitliche Etiketten mit Kulturart, Saatgutmenge und gegebenenfalls Chargenangabe
Verschluss	Manuelles Verschließen der Tütchen	Kombinierter Verschluss und Kennzeichnung durch Klebeetikett
Lagerung	Kühl, trocken, dunkel und geschützt bis zur Setkonfektionierung	Chargenbezogene Lagerverwaltung

Anwendung	Vollständigen Tütcheninhalt auf der Substratmatte verteilen	Unveränderte Endkundenanwendung
-----------	---	---------------------------------

Kennzeichnung und Verschluss der Saatguttütchen

Für eine spätere standardisierte Produktion bietet es sich an, die Kennzeichnung und den Verschluss der Saatguttütchen miteinander zu verbinden. Ein selbstklebendes Etikett kann über die Öffnung beziehungsweise Verschlusskante des Tütchens angebracht werden und gleichzeitig folgende Informationen aufnehmen:

- Bezeichnung der Kultur,
- enthaltene Saatgutmenge,
- Zuordnung zur jeweiligen Schale oder Setvariante,
- gegebenenfalls Charge oder Abfülldatum.

Durch diese Doppelfunktion kann ein zusätzlicher Verschlusschritt entfallen. Gleichzeitig wird verhindert, dass die Saatgutportionen innerhalb des Sets verwechselt werden. Voraussetzung ist, dass das Etikett ausreichend haftet und das Tütchen bis zur Nutzung geschlossen hält.

Abschließende Bewertung

Die vorportionierten Saatguttütchen wurden als Vorzugsvariante für das entwickelte Anzuchtset festgelegt. Sie gewährleisten, dass die in den Kultivierungsversuchen ermittelten Saatgutmengen ohne zusätzliche Dosierung durch den Endkunden angewendet werden können. Gleichzeitig bleibt das eigenständige Aussäen als zentraler Bestandteil des Kultivierungserlebnisses erhalten.

Der Entwicklungsverlauf lässt sich damit wie folgt zusammenfassen:

- AP 6: Untersuchung kulturspezifischer Aussaatstärken und Ableitung geeigneter Saatgutmengen,
- AP 7: Bewertung möglicher Applikationsvarianten und Festlegung auf vorportionierte Saatguttütchen,
- AP 9: praktische Umsetzung im Pilotprodukt und Validierung der Portionierung in den Demonstratorkultivierungsschalen.

Als finales Ergebnis liegt eine für Pilot- und Kleinserien umsetzbare manuelle Portionierungslösung vor. Für größere Produktionsmengen wird eine teilautomatisierte Abfüllung empfohlen. Ein kombiniertes Verschluss- und Kennzeichnungsetikett stellt dabei eine geeignete Möglichkeit dar, den Konfektionierungsprozess zu vereinfachen.

5.4 Kultivierungsbedingungen: Feuchte, Temperatur und Licht

Für das entwickelte Anzuchtset war eine Kultivierungsmethode erforderlich, die unter üblichen Wohnraumbedingungen und ohne spezielle technische Ausstattung anwendbar ist. Das Set sollte auf einer Fensterbank oder an einem vergleichbaren hellen Standort genutzt werden können. Zusätzliche Beleuchtungs-, Belüftungs- oder Bewässerungssysteme waren daher nicht als Bestandteil der Produktlösung vorgesehen.

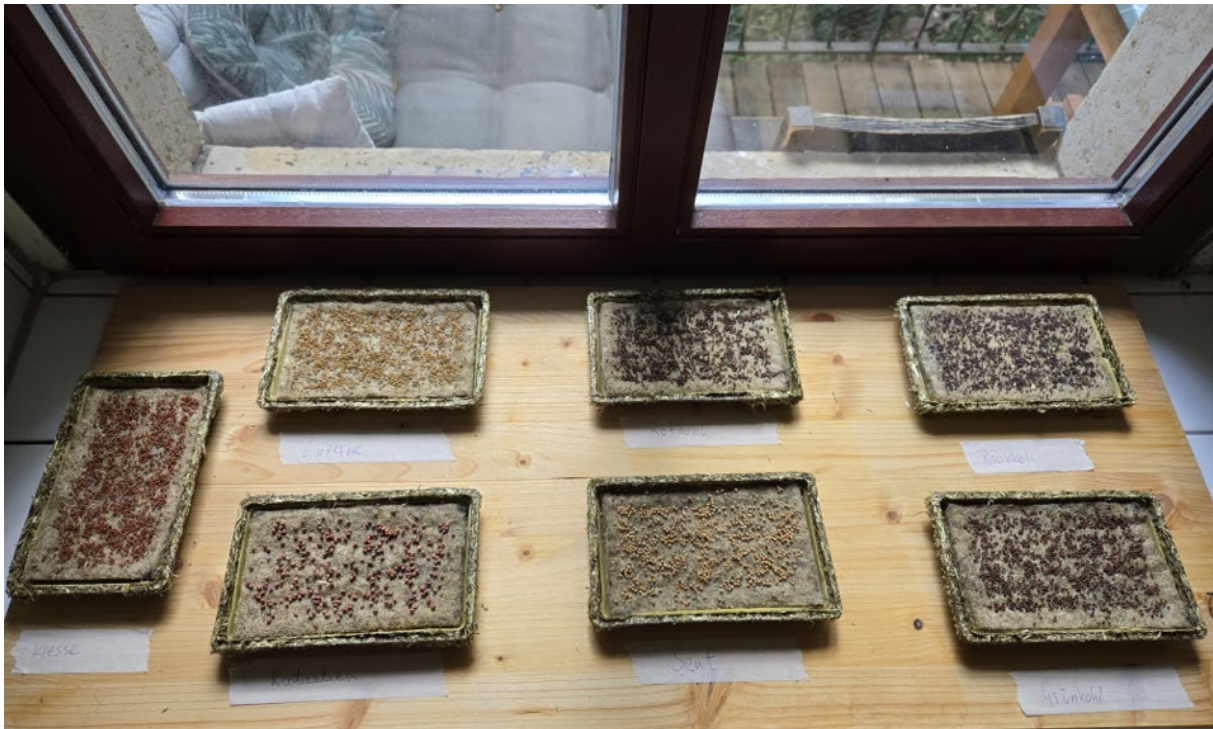


Abbildung 21: Aussaat und Kultivierung unter praxisnahen Bedingungen

Gleichzeitig zeigten die projektbegleitenden Versuche, dass die Kultivierung von Mikrogemüse ohne kontrolliertes Anbausystem stärker von den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängt, als dies bei technisch ausgestatteten Indoor-Kulturen der Fall ist. Insbesondere Tageslichtangebot, Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und Verdunstung beeinflussen Keimgeschwindigkeit, Wasserbedarf, Gleichmäßigkeit des Wachstums und Schimmelrisiko.

Entwicklung der Kultivierungsbedingungen

Bereits in AP 6 wurden unterschiedliche Bewässerungsmethoden und Substratgrammaturen untersucht. Dabei zeigte sich, dass keine starre Gießfrequenz für alle Kulturen und Jahreszeiten festgelegt werden kann. Dickere Hanffasermatten speicherten absolut mehr Wasser und konnten die Versorgung bei höheren Temperaturen länger aufrechterhalten. Unter kühleren Bedingungen verblieb die Feuchtigkeit dagegen länger im System, wodurch das Risiko von Feuchtestau und Schimmelbildung anstieg. Dünnere Matten trockneten schneller aus und erforderten entsprechend häufigere Kontrollen. Daher falls steuerbar kann je nach Zeitpunkt des geplanten Verkaufs, die Grammaturen angepasst werden. Prinzipiell muss aber auf Grundlage der Variabilität der Bedingungen klare Anweisungen bzw. Empfehlungen an den Kunden ausgesprochen werden.

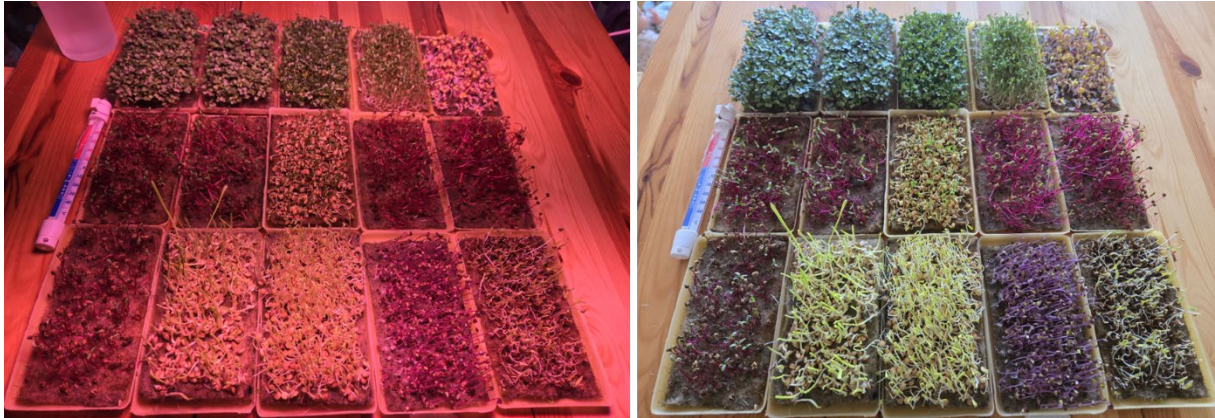


Abbildung 22: Anzucht unter LED

Auch die Bewässerungsmethode wurde im Projektverlauf angepasst. Eine gleichmäßige Anfangsbefeuchtung der Substratmatte erwies sich als wichtig für einen homogenen Aufgang. Während das Besprühen insbesondere in der frühen Keimphase möglich war, war es bei größeren Wassermengen zeitaufwendig und konnte Saatgut verschieben. Für die weitere Kulturführung wurde daher eine bedarfsgerechte Bewässerung favorisiert, bei der die Feuchtigkeit der Matte regelmäßig kontrolliert und Wasser gezielt nachgegeben wird. Festgehalten muss aber, dass gerade in der Keimphase ein komplettes Austrocknen der Substratmatte zu einem irreversiblen Totalausfall führt.

In AP 7 wurden diese Erkenntnisse zu einer möglichst einfachen Endkundenlogik zusammengeführt. Anstelle einer starren Vorgabe wie „ein- bis zweimal täglich gießen“ wurde die Feuchtekontrolle über den tatsächlichen Zustand der Substratmatte in den Mittelpunkt gestellt. Als leicht verständliche Orientierung dient die Fingerprobe: Fühlt sich die Matte noch deutlich feucht an, ist keine weitere Bewässerung erforderlich; bei beginnender Austrocknung wird Wasser nachgegeben. Dadurch kann die Pflege an Standort, Raumtemperatur und Jahreszeit angepasst werden.

Licht und jahreszeitliche Einflüsse

Für die Heimkultivierung ist ein heller Standort mit ausreichendem Tageslicht erforderlich. Die Versuche zeigten jedoch, dass sich die Bedingungen auf einer Fensterbank im Jahresverlauf deutlich verändern. Bei geringer Tageslänge und schwacher natürlicher Einstrahlung verlaufen Wachstum und Ausfärbung langsamer und teilweise weniger gleichmäßig. Bei hohen Temperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung steigt dagegen der Wasserbedarf, und das Substrat kann schneller austrocknen.

Die im Rahmen von AP 9 eingesetzte LED-Zusatzbeleuchtung war daher nicht als notwendiger Bestandteil des späteren Anzuchtsets vorgesehen. Sie wurde vor allem genutzt, weil ein Teil der abschließenden Versuchsreihen in einer lichtarmen Jahreszeit stattfand. Durch das Zusatzlicht konnten die Kulturen untereinander besser verglichen und ein ausreichend gleichmäßiger Pflanzenbestand für die abschließende Fotodokumentation erzeugt werden.

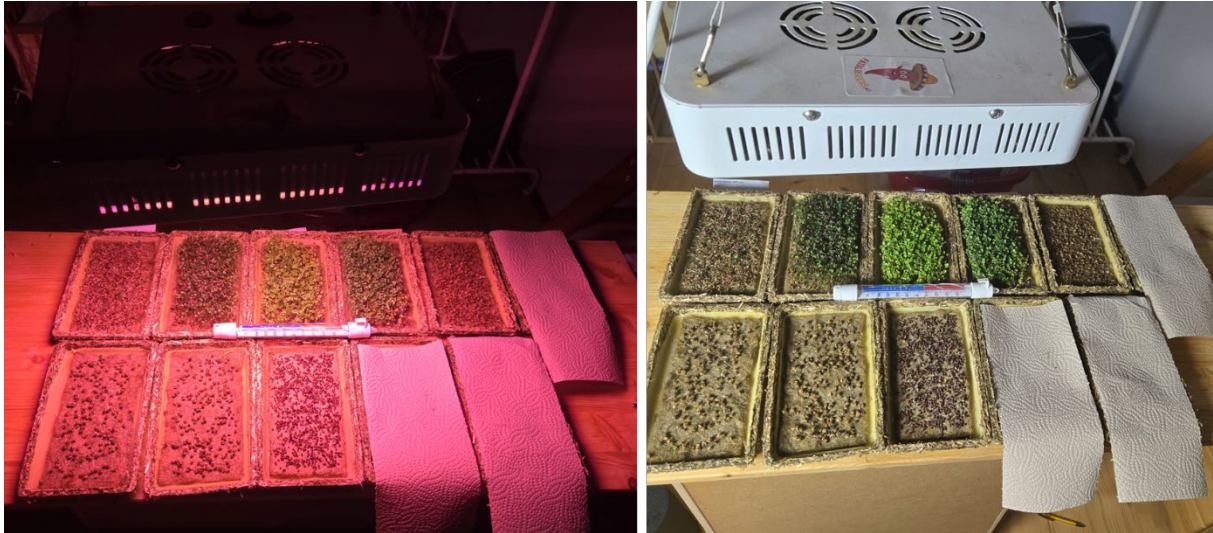


Abbildung 23: Anzucht unter LED mit Abdeckung

Die ausgeleuchteten und optisch möglichst homogenen Bestände dienten zugleich der Erstellung von Bildmaterial für Kultursteckbriefe, Produktdarstellung und spätere Kundenansprache. Für die private Nutzung ist eine derart gleichmäßige Entwicklung nicht zwingend erforderlich. Leichte Unterschiede in Pflanzenhöhe, Wuchsrichtung und Bestandsdichte sind bei einer Kultivierung auf der Fensterbank erwartbar und beeinträchtigen die grundsätzliche Nutzung nicht.

Ein eigenständiges technisches Belüftungssystem wurde nicht als Voraussetzung für die Heimkultivierung festgelegt. Entscheidend ist vielmehr ein Standort mit normaler Luftzirkulation, an dem sich keine dauerhaft hohe Feuchtigkeit unter einer geschlossenen Abdeckung oder in unmittelbarer Umgebung der Kultur ansammelt.

Validierung mit den Demonstratorkultivierungsschalen

Ein wesentlicher Fortschritt in AP 9 bestand in der abschließenden Anpassung der Schalen an die tatsächlichen Kultivierungsbedingungen. Die Demonstratorkultivierungsschalen wiesen eine flache, für die Hanffasermatten geeignete Geometrie und eine deutlich verbesserte Hydrophobierung auf.

Während frühere Funktions- und Musterkultivierungsschalen bei längerem Wasserkontakt teilweise durchfeuchteten und dadurch Schimmelbildung begünstigten, konnten die Demonstratorschalen über den vorgesehenen Kultivierungszeitraum stabil genutzt werden. Die verbesserte Abdichtung ermöglichte eine alltagstaugliche Bewässerung. Auch wenn beim Gießen Wasser seitlich auf die Schale gelangte oder sich kurzfristig auf der Schalenoberfläche befand, führte dies nicht unmittelbar zum Aufweichen oder Funktionsverlust.



Abbildung 24: Fertige Produktbilder Microgreens, einfachere Kulturen

Damit wurde eine zentrale Voraussetzung für die Heimkultivierung erfüllt: Die Anwendung setzt kein vollkommen präzises Gießen voraus. Kleinere Abweichungen bei der Bewässerung werden durch die Schalenkonstruktion toleriert. Unabhängig davon muss Staunässe vermieden werden, da dauerhaft überschüssiges Wasser weiterhin die Entwicklung von Schimmel auf Saatgut, Substrat oder Pflanzen fördern kann.



Abbildung 25: Fertige Produktbilder Microgreens, anspruchsvollere Kulturen

Saisonale Einordnung des Anzuchtsets

Die Gesamtergebnisse zeigen, dass Mikrogemüse grundsätzlich ohne umfassendes technisches Setup auf einer Fensterbank kultiviert werden kann. Gleichzeitig ist die Anwendung nicht vollständig unabhängig von Licht, Temperatur und Standort. Eine zuverlässige Heimkultivierung setzt daher eine geeignete Kulturenauswahl, eine verständliche Anleitung und eine regelmäßige Feuchtekontrolle voraus.

Aus den jahreszeitlich unterschiedlichen Versuchsbedingungen lässt sich zudem eine saisonale Positionierung des Produkts ableiten. Besonders geeignet ist das Set für Zeiträume mit ausreichendem natürlichem Licht und moderaten Raum- beziehungsweise Umgebungstemperaturen, insbesondere im Frühjahr. Dies entspricht auch der Vermarktung vergleichbarer Anzucht- und Gartenprodukte als Saisonartikel.

Eine ganzjährige Nutzung bleibt grundsätzlich möglich, kann im Winter jedoch zu längeren Kulturzeiten und weniger gleichmäßigem Wachstum führen. Das Produktversprechen sollte deshalb nicht auf eine vollständig jahreszeitenunabhängige Kultivierung ausgerichtet werden.

Ableitungen für die Endkundenanleitung

Für die Anwendung wurden folgende Grundsätze festgelegt:

- Aufstellung an einem möglichst hellen Standort, vorzugsweise auf einer Fensterbank;
- Vermeidung dauerhaft starker Hitze oder intensiver Mittagssonne;
- gleichmäßige Anfangsbefeuchtung der Substratmatte;
- weitere Bewässerung nach tatsächlichem Feuchtezustand statt nach einem starren Zeitplan;
- Vermeidung von vollständiger Austrocknung während der Keimphase;
- Vermeidung von dauerhaftem Wasserüberschuss und Staunässe;
- ausreichende natürliche Luftzirkulation;
- Berücksichtigung längerer Kulturzeiten bei geringerem Lichtangebot.

Zusätzliche LED-Beleuchtung oder technische Belüftung sind für die vorgesehene Endkundenanwendung nicht erforderlich. Sie können unter ungünstigen Winterbedingungen unterstützend eingesetzt werden, gehören jedoch nicht zum entwickelten Anzuchtset.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- AP 6: Untersuchung des Einflusses von Bewässerung, Substratgrammatur und jahreszeitlich unterschiedlichen Bedingungen auf die Kultivierung.
- AP 7: Zusammenführung der Ergebnisse zu einer einfachen, bedarfsgerechten Kultivierungslogik für die Heimkultivierung.
- AP 9: Validierung der Kultivierungsbedingungen mit den finalen Demonstratorschalen; Einsatz von LED-Licht zur Standardisierung der Winterversuche und zur Erstellung von Bildmaterial; abschließende Bestätigung der verbesserten Feuchtebeständigkeit und Alltagstauglichkeit der Schalen.

- Finales Ergebnis: Kultivierung auf einer hellen Fensterbank ohne notwendige technische Zusatzausstattung, ergänzt durch jahreszeitliche Anwendungshinweise und eine bedarfsgerechte Bewässerung.

5.5 Wachstumsverlauf und Ernteorientierung

Für die Heimkultivierung ist es wichtig, dass die Anwender die Entwicklung der Mikrogemüse nachvollziehen und den geeigneten Erntezeitpunkt selbstständig erkennen können. Im Projekt wurden deshalb während der verschiedenen Kultivierungsversuche fortlaufend Angaben zum Keimbeginn, zum Aufgang, zur Bestandsentwicklung, zur Pflanzenhöhe und zum Erntezeitpunkt dokumentiert. Diese Beobachtungen wurden zunächst in der internen Kulturdatenbasis gesammelt und im weiteren Projektverlauf in die kulturbezogenen Steckbriefe überführt.

Die Versuche zeigten jedoch, dass sich keine allgemeingültige Wachstumsgeschwindigkeit für die einzelnen Kulturen festlegen lässt. Der zeitliche Verlauf wird nicht nur durch die Kulturart und die Saatgutqualität beeinflusst, sondern auch durch Temperatur, Lichtangebot, Jahreszeit, Bewässerung und Standort. Insbesondere bei der Kultivierung auf der Fensterbank können sich dadurch Unterschiede von mehreren Tagen ergeben. Feste Angaben wie eine bestimmte Pflanzenhöhe an einem bestimmten Kulturtag eignen sich daher nur als Orientierungswerte und nicht als verbindliche Vorgabe.

Für die Endkundeninformation wurden deshalb zeitliche Angaben mit sichtbaren Entwicklungsmerkmalen kombiniert. Als grundlegende Hinweise für einen normalen Kulturverlauf gelten:

- ein erkennbarer und zunehmend gleichmäßiger Aufgang,
- eine fortschreitende Aufrichtung der Keimlinge,
- die vollständige Entfaltung der Keimblätter,
- eine artspezifisch kräftige Färbung,
- ein stabiler Bestand ohne erkennbare Fäulnis oder flächige Schimmelbildung.

Der Erntezeitpunkt wird nicht allein über eine feste Zahl von Tagen bestimmt. Maßgeblich sind der Entwicklungszustand, die gewünschte Pflanzenhöhe und das Erscheinungsbild des Bestands. Bei schnellwachsenden Kulturen wie Kresse und Senf wird die Ernte in der Regel früher erreicht als bei langsamer keimenden oder stärker differenzierten Kulturen. Die kulturspezifischen Zeitspannen und optischen Erkennungsmerkmale werden in den jeweiligen Steckbriefen aufgeführt.

Prüfung einer Mehrfachernte

Im Rahmen der Versuche wurde auch untersucht, ob nach der ersten Ernte ein weiterer nutzbarer Aufwuchs erzielt werden kann. Exemplarisch wurde dies bei Erbsen geprüft. Nach dem ersten Schnitt wurden die Bestände sowohl mit Wasser als auch in einer Variante mit später Düngung weiterkultiviert. Ein ausreichender Wiederaustrieb für eine zweite verwertbare Ernte wurde jedoch nicht erreicht.

Das entwickelte Anzuchtset wird daher als Einmalernte-System eingeordnet. Nach der Ernte werden Pflanzenreste und Substrat gemeinsam mit der Schale entsprechend der vorgesehenen Verwertungsbeziehungswise Entsorgungsempfehlung behandelt. Der Hinweis auf die einmalige Ernte wird in die Kultivierungsanleitung und die Kultursteckbriefe aufgenommen.

Abschließende Validierung in AP 9

In AP 9 wurden die zuvor erfassten Wachstums- und Ernteangaben anhand der Kultivierung in den Demonstratorschalen überprüft. Dabei wurden insbesondere der Keimverlauf, die Bestandsentwicklung, die ungefähre Erntehöhe, sichtbare Besonderheiten sowie der geeignete Erntezeitpunkt dokumentiert.

Die Ergebnisse dienten der punktuellen Aktualisierung der bereits aufgebauten Kulturdatenbasis und der abschließenden Ausarbeitung der zwölf Kultursteckbriefe. Gleichzeitig wurden repräsentative Fotografien der Kulturen in den Demonstratorschalen erstellt. Diese zeigen typische Entwicklungs- und Erntestadien und können sowohl in den Steckbriefen als auch in späteren Produktinformationen und der Kundenansprache verwendet werden.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- AP 6: fortlaufende Erfassung von Keimung, Wachstum, Erntezeitpunkt und Pflanzenhöhe sowie Prüfung einer zweiten Ernte.
- AP 7: Zusammenführung der Beobachtungen und Entwicklung einer für Endkunden verständlichen Ernteorientierung.
- AP 9: Überprüfung der Angaben in den Demonstratorschalen, Ergänzung der finalen Bilddokumentation und punktuelle Aktualisierung der Kultursteckbriefe.
- Finales Ergebnis: zwölf kulturspezifische Steckbriefe mit Zeitspannen, sichtbaren Entwicklungsmerkmalen, Erntehinweisen und Bildmaterial.

5.6 Robustheit, Blackout-Phase und Toleranz gegenüber Pflegeabweichungen

Bei der Heimkultivierung ist nicht davon auszugehen, dass Wasserangebot, Temperatur, Licht und Standort jederzeit optimal eingestellt werden. Endkunden bewässern die Kulturen in unterschiedlicher Häufigkeit, wählen verschiedene Standorte oder führen einzelne Pflegeschritte nicht exakt nach Anleitung aus. Für die Entwicklung des Anzuchtsets war daher nicht nur die Kultivierung unter günstigen Bedingungen relevant. Ebenso musste bewertet werden, in welchem Umfang Schale, Substrat und ausgewählte Kulturen typische Abweichungen der häuslichen Anwendung tolerieren.

Erkenntnisse aus den frühen Entwicklungsstufen

Bereits bei den Funktions- und Musterkultivierungsschalen zeigte sich, dass die Feuchtführung eine zentrale Einflussgröße darstellt. Eine zu geringe oder ungleichmäßige Bewässerung führte insbesondere in den Randbereichen zu einer verzögerten beziehungsweise lückigen Keimung. Zu hohe Wassermengen und länger anhaltender Feuchtestau erhöhten dagegen das Risiko von Schimmelbildung auf Saatgut, Substrat und Schalenmaterial.

Besonders problematisch war bei den Musterkultivierungsschalen die Verbindung aus Abdeckung, Kondenswasser und noch unzureichender Abdichtung. Während der Keimphase sammelte sich Feuchtigkeit teilweise zwischen der Luzerneschale und der eingebrachten Wachstissue-Schicht. Das Wasser konnte in nicht vollständig geschützte Randbereiche eindringen und führte dort zu Durchfeuchtung und Schimmelbildung. Unter diesem Materialstand konnte die Blackout-Phase daher nicht unabhängig von der Schalenfunktion bewertet werden.

Auch die Keimphase selbst erwies sich als besonders sensibel. Das Substrat muss nach der ersten Befeuchtung möglichst gleichmäßig feucht gehalten werden. Eine zwischenzeitliche starke Austrocknung kann die Keimung beeinträchtigen, zu einem ungleichmäßigen Aufgang führen und bei

erneuter Bewässerung das Risiko von Fäulnis oder Schimmel erhöhen. Gleichzeitig ist eine dauerhafte Durchnässung zu vermeiden.

Als einfache Orientierung für die Endkunden wurde deshalb die bereits entwickelte Fingerprobe beibehalten: Ist die Substratmatte noch deutlich feucht, wird zunächst kein weiteres Wasser zugegeben. Beginnt die Oberfläche auszutrocknen, wird bedarfsgerecht nachgegossen. Eine starre Gießhäufigkeit ist aufgrund unterschiedlicher Raumtemperaturen, Lichtverhältnisse und Jahreszeiten weniger geeignet.

Überprüfung der Blackout-Phase in AP 9

Mit den finalen Demonstratorkultivierungsschalen wurde die Abdeckung während der Keimphase erneut praktisch überprüft. Dabei zeigte sich, dass eine zeitlich begrenzte Blackout-Phase bei zahlreichen Kulturen einen schnelleren und gleichmäßigeren Aufgang unterstützte. Dies galt insbesondere für Kulturen mit größeren Samen oder einer längeren Keimdauer.

Nach dem sichtbaren Aufgang wurde die Abdeckung entfernt und die Kultur an einen hellen Standort überführt. Die Blackout-Phase stellt somit keine dauerhafte Kultivierungsbedingung dar, sondern einen begrenzten Entwicklungsschritt zu Beginn der Anzucht.

Die Versuche bestätigten zugleich, dass robuste und schnell keimende Kulturen wie Kresse und Senf auch ohne ausgeprägte Blackout-Phase erfolgreich kultiviert werden können. Eine Abdeckung kann den Aufgang verbessern und vereinheitlichen, ist bei diesen Kulturen aber keine zwingende Voraussetzung. Dadurch bleibt für das Basis-Set eine besonders einfache Anwendung möglich.

Bei anspruchsvolleren oder langsamer keimenden Kulturen ist die Abdeckung dagegen stärker zu empfehlen. Die Hinweise zur Dauer und zum geeigneten Zeitpunkt des Entfernens werden kulturspezifisch in den Steckbriefen aufgeführt. Eine zu lange Abdeckung ist zu vermeiden, da die Kombination aus hoher Luftfeuchtigkeit, fehlender Luftzirkulation und bereits aufgelaufenen Pflanzen das Schimmelrisiko erhöht und zu übermäßigem Längenwachstum führen kann.

Feuchtetoleranz der Demonstratorkultivierungsschalen

Ein wesentliches Ergebnis von AP 9 war, dass die finalen Demonstratorkultivierungsschalen die mit der Blackout-Phase verbundenen Feuchtebedingungen deutlich besser tolerierten als die vorherigen Entwicklungsstände. Die flache Schalenform und die verbesserte Hydrophobierung verhinderten, dass auftretendes Kondens- oder Gießwasser unmittelbar zu einer Durchfeuchtung und zum Funktionsverlust der Schale führte.

Damit konnte die Abdeckung erstmals als eigenständiger Kultivierungsparameter bewertet werden, ohne dass das Ergebnis maßgeblich durch eine unzureichende Abdichtung der Schale überlagert wurde. Auch kleinere Abweichungen beim Gießen, beispielsweise seitlich auf die Schale gelangendes Wasser, wurden von den Demonstratorschalen toleriert.

Die Schalen sind dennoch nicht für eine dauerhafte Staunässe ausgelegt. Überschüssiges Wasser sollte vermieden werden, da unabhängig von der Materialstabilität weiterhin Schimmel auf Saatgut, Substrat oder Pflanzen entstehen kann. Die verbesserte Schale erhöht somit die Fehlertoleranz der Anwendung, ersetzt aber keine bedarfsgerechte Bewässerung.

Abdeckung als Bestandteil des Anzuchtsets

Für die spätere Produktumsetzung kann eine einfache, passend zugeschnittene Kartonaufgabe in das Set integriert werden. Diese liegt während der Keimphase auf der Substratmatte beziehungsweise über der Kultur und wird nach dem Aufgang entfernt. Im Unterschied zu einer dicht abschließenden

Haube wird die Schale nicht vollständig eingeschlossen, wodurch sich weniger Kondenswasser an den Schalenrändern sammelt.

Die Kartonauflage könnte zugleich als Informations- und Kommunikationsfläche genutzt werden. Denkbar sind beispielsweise:

- eine kurze Erklärung der Keim- und Blackout-Phase,
- ein Hinweis, wann die Abdeckung entfernt werden soll,
- die wichtigsten ersten Kultivierungsschritte,
- Projekt- oder Produktinformationen,
- ein QR-Code zu Kulturanleitungen oder weiterführenden Inhalten.



Abbildung 26: Mögliche Abdeckung direkt mit Anzuchtanleitung

Damit würde ein einfaches funktionales Hilfsmittel zugleich einen Beitrag zur Nutzerführung und Produktkommunikation leisten. Ob die Kartonauflage in jeder Setvariante zwingend erforderlich ist, kann kulturspezifisch entschieden werden. Für robuste Kulturen des Basis-Sets kann sie als unterstützende Option dienen, während sie bei anspruchsvolleren Kulturen des Vielfalts-Sets stärker empfohlen wird.

Bewertung der Robustheit

Die Versuche zeigen, dass Robustheit nicht allein als Eigenschaft der Pflanzenart betrachtet werden kann. Sie ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Kultur, Saatgutqualität, Aussaatstärke, Substrat, Schalenabdichtung und Nutzerführung.

Als besonders robust wurden Kulturen bewertet, die:

- auch ohne aufwendige Vorbehandlung zuverlässig keimen,
- kleinere Schwankungen der Feuchtigkeit tolerieren,
- nach dem Aufgang zügig weiterwachsen,
- einen gut erkennbaren Erntezeitpunkt aufweisen,

- bei angepasster Saatmenge keine erhöhte Schimmelfähigkeit zeigen.

Kresse und Senf und auch weitere Kulturen erfüllen diese Anforderungen in besonderem Maße und wurden deshalb dem Basis-Set zugeordnet. Kulturen mit längerer Keimphase, notwendigem Einweichen oder höheren Anforderungen an Abdeckung und Bewässerung können ebenfalls erfolgreich angebaut werden, benötigen jedoch ausführlichere kulturspezifische Hinweise.

Formale Stresstests mit fest definierten Temperaturabweichungen oder einem vorgegebenen vollständigen Bewässerungsausfall wurden nicht als eigenständige standardisierte Versuchsreihe durchgeführt. Die Bewertung der Toleranz beruht vielmehr auf den wiederholten Kultivierungen unter jahreszeitlich und praktisch variierenden Bedingungen. Diese ermöglichten eine realitätsnahe Einschätzung typischer Pflegeabweichungen, erlauben jedoch keine starren allgemeinen Toleranzgrenzen.

Ableitungen für die Endkundenanwendung

Für die Kultivierungsanleitung ergeben sich folgende Grundsätze:

- Substrat zu Beginn gleichmäßig befeuchten;
- während der Keimphase niemals vollständig austrocknen lassen;
- gleichzeitig Staunässe und länger anhaltenden Wasserüberschuss vermeiden;
- Abdeckung kulturspezifisch einsetzen;
- Abdeckung nach erkennbarem Aufgang entfernen;
- anschließend einen hellen Standort mit normaler Luftzirkulation wählen;
- Feuchtigkeit regelmäßig durch Berührung der Substratmatte kontrollieren;
- bei sichtbarer flächiger Schimmelbildung die Kultur nicht verzehren.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- AP 6: erste Beobachtungen zu Austrocknung, Überwässerung, Schimmel und unterschiedlichen Keimanforderungen der Kulturen.
- AP 7: Entwicklung einer einfachen Bewässerungs- und Fehlerrobustheitslogik; Identifikation der Wechselwirkungen zwischen Blackout-Phase, Kondenswasser und unzureichender Schalenabdichtung.
- AP 9: erneute Prüfung der Abdeckung mit den finalen Demonstratorschalen; Bestätigung der positiven Wirkung einer begrenzten Blackout-Phase bei zahlreichen Kulturen sowie Nachweis der verbesserten Feuchtetoleranz der finalen Schalen.
- Finales Ergebnis: kulturspezifische Abdeckungsempfehlungen, bedarfsgerechte Bewässerung über die Fingerprobe und eine optional in das Set integrierbare Kartonaufgabe als Keimhilfe und Informationsträger.

5.7 Hygiene und Lebensmittelsicherheit bei der Heimkultivierung

Einordnung des Anzuchtsets

Bei dem entwickelten Anzuchtset werden keine bereits kultivierten und unmittelbar verzehrfertigen Microgreens verkauft. Das Set besteht aus Anzuchtschalen, Substrat, Saatgut und Kultivierungsanleitung. Das verzehrbare Produkt entsteht erst durch die anschließende Kultivierung und Ernte im Haushalt des Endkunden. Die hygienische Qualität der geernteten Microgreens hängt daher nicht nur von den bereitgestellten Komponenten, sondern auch von der Lagerung des Saatguts, der verwendeten Wasserqualität, der Sauberkeit der Arbeitsmittel und der Kulturführung durch den Anwender ab.

Microgreens sind dabei von klassischen Sprossen zu unterscheiden. Sie werden in einem Substrat bis zu einem weiter fortgeschrittenen Entwicklungsstadium kultiviert und oberhalb des Substrats ohne Wurzeln geerntet. Sprossen werden dagegen in einem deutlich früheren Entwicklungsstadium geerntet und häufig einschließlich Samen und Wurzeln verzehrt. Gleichwohl werden auch Microgreens in der Regel roh gegessen, sodass ein hygienisch einwandfreier Umgang mit Saatgut, Wasser, Substrat und Ernteprodukt erforderlich ist.

Die warmen und feuchten Bedingungen während der Keimung können grundsätzlich nicht nur das Pflanzenwachstum, sondern auch die Vermehrung unerwünschter Mikroorganismen begünstigen. Eine mögliche Ausgangsbelastung des Saatguts lässt sich durch die spätere Kultivierung nicht zuverlässig ausschließen. Die Vermeidung von Verunreinigungen und die Verwendung qualitativ geeigneten Saatguts sind daher zentrale Bestandteile des Hygienekonzepts.

Hygienekonzept während der Versuchsreihen

Hygiene war im Projekt nicht nur für die spätere Endkundenanwendung relevant, sondern bereits für die Durchführung und Bewertung der Kultivierungsversuche. Im Projektverlauf wurden zahlreiche Kulturen, Schalenvarianten und Bewässerungsbedingungen parallel oder zeitlich aufeinanderfolgend untersucht. Dabei bestand das Risiko, Schimmelsporen oder andere Verunreinigungen aus einer auffälligen Kultur auf eine nachfolgende Versuchsvariante zu übertragen und dadurch die Ergebnisse zu verfälschen.

Zwischen den Versuchsreihen wurden deshalb die verwendeten Arbeitsflächen, Werkzeuge, Unterlagen und wiederverwendbaren Komponenten gereinigt. Kulturen mit sichtbarem Schimmel oder Verderb wurden aus dem Versuchsbereich entfernt und entsorgt. Bewässerungs- und Handhabungsgeräte wurden nicht ohne vorherige Reinigung zwischen auffälligen und unauffälligen Varianten gewechselt.

Diese Vorgehensweise war besonders wichtig, weil im Anzuchtssystem überwiegend Naturmaterialien eingesetzt wurden. Luzernematerial und Hanffasermatten reagieren stärker auf anhaltende Feuchtigkeit als vollständig geschlossene Kunststoffoberflächen. Schimmelbildung konnte daher sowohl durch die biologische Ausgangsbelastung als auch durch eine unzureichende Feuchtführung oder eine noch nicht ausreichend abgedichtete Schalenvariante verursacht werden. Für die Bewertung der Versuche mussten diese möglichen Ursachen möglichst voneinander getrennt werden.

Erkenntnisse aus den frühen Schalenvarianten

Bei den Funktions- und Musterkultivierungsschalen stellte insbesondere die noch unzureichende Hydrophobierung ein hygienisches Risiko dar. Wasser konnte über nicht vollständig geschützte Oberflächen und Randbereiche in das Luzernematerial eindringen. In Verbindung mit länger

anhaltender Feuchtigkeit und eingeschränkter Trocknung führte dies teilweise zu Schimmelbildung an der Schale, der Wachstissue-Einlage oder der angrenzenden Substratmatte.

Damit war nicht nur die technische Funktionsfähigkeit der Schalen beeinträchtigt. Es bestand zudem das Risiko, dass Schimmel aus dem Schalenmaterial auf das Substrat und anschließend auf die Pflanzen übergeht. Die Verbesserung der Feuchtebeständigkeit wurde deshalb als wesentliche Voraussetzung für eine hygienisch vertretbare Heimkultivierung eingeordnet.

Die Versuche zeigten zugleich, dass sichtbare Auffälligkeiten nicht immer unmittelbar als Schimmel interpretiert werden dürfen. Mehrere Kulturen bilden während der Keimung feine weiße Wurzelhaare, die von unerfahrenen Anwendern mit einem beginnenden Pilzbefall verwechselt werden können. Für die Kultivierungsanleitung ist daher eine bildlich unterstützte Unterscheidung zwischen normalen Wurzelstrukturen und tatsächlicher Schimmelbildung vorgesehen. Bestehen Zweifel oder treten flächige, sich ausbreitende Beläge, Verfärbungen oder ein auffälliger Geruch auf, soll die Kultur vorsorglich nicht verzehrt werden.

Hygienische Eigenschaften der Demonstratorkultivierungsschalen

Mit den finalen Demonstratorkultivierungsschalen wurde die Feuchtebeständigkeit deutlich verbessert. Die Schalen blieben während der vorgesehenen Kultivierungsdauer formstabil und tolerierten auch kleinere Abweichungen beim Gießen. Wasser, das beim Bewässern seitlich auf die Schale oder kurzfristig zwischen die Komponenten gelangte, führte nicht mehr unmittelbar zum Durchweichen des Luzernematerials.

Eine besondere Bedeutung hatte dabei die eingelegte Wachsschale. Ihre geschlossene und wasserabweisende Oberfläche reduzierte den direkten Kontakt zwischen Bewässerungswasser und Luzernematerial. Gleichzeitig ließ sie sich nach der Nutzung vergleichsweise einfach auswischen und reinigen.

Aus der Verwendung von Wachs darf jedoch keine antimikrobielle oder desinfizierende Wirkung abgeleitet werden. Eine solche Wirkung wurde im Projekt nicht untersucht. Der hygienische Vorteil der Wachseinlage liegt vielmehr in ihrer geschlossenen, feuchtigkeitsbeständigen und gut zugänglichen Oberfläche.

Erprobung der Wiederverwendung

Obwohl das Anzuchtset grundsätzlich für eine einmalige Kultivierung konzipiert wurde, zeigte sich in AP 9, dass die Demonstratorschalen technisch mehrfach eingesetzt werden konnten. Nach Abschluss einer Kultur wurde die verbrauchte Hanffasermatte vollständig entfernt. Schale und Wachseinlage wurden anschließend mit Wasser gereinigt, abgewischt und im Rahmen der Versuche zusätzlich mit einem geeigneten Desinfektionsspray behandelt. Danach konnten sie erneut mit einer frischen Substratmatte und neuem Saatgut verwendet werden.



Abbildung 27: Mehrmals benutzte Demonstratorkultivierungsschalen nach geeigneter Desinfektion nach der Anzucht

Die wiederholte Nutzung bestätigte die mechanische Stabilität und die gute Reinigungsfähigkeit der finalen Schalenkonstruktion. Die Hanffasermatten selbst sind dagegen nach einer Kultivierung nicht wiederverwendbar, da sie von Wurzeln durchzogen sind und Pflanzen- sowie Saatgutreste enthalten.

Da keine mikrobiologischen Untersuchungen der gereinigten Schalenoberflächen durchgeführt wurden, kann aus der praktischen Wiederverwendung jedoch kein formaler Nachweis einer hygienisch sicheren Mehrfachnutzung abgeleitet werden. Für das entwickelte Pilotprodukt bleibt daher die einmalige Nutzung die vorgesehene und kommunikativ sichere Standardanwendung.

Umfang und Grenzen der hygienischen Validierung

Während der Kultivierungsversuche erfolgte eine fortlaufende visuelle Kontrolle auf Schimmel, Fäulnis, ungewöhnliche Gerüche und sonstige Auffälligkeiten. Auch die Reinigungsfähigkeit und die praktische Wiederverwendbarkeit der finalen Schalen wurden geprüft.

Das Ergebnis der Versuche besteht aus:

- der Identifikation wesentlicher hygienischer Risiken,
- der material- und konstruktionsseitigen Reduzierung von Feuchtestau,
- der Entwicklung einer guten Hygienepraxis für Versuche und Heimkultivierung,
- der Erarbeitung konkreter Warn- und Anwendungshinweise für Endkunden.

Sollte das Produkt über die Pilot- oder Demonstratorphase hinaus regulär vermarktet werden, wären die erforderlichen mikrobiologischen und lebensmittelrechtlichen Prüfungen anhand der endgültigen Materialien, Komponenten und Produktionsprozesse festzulegen.

Gute Hygienepraxis für die Endkundenanwendung

Für die Heimkultivierung werden folgende Hygieneregeln in die Anleitung aufgenommen:

- Hände vor der Aussaat, Pflege und Ernte gründlich waschen.
- Für Aussaat und Ernte eine saubere Arbeitsfläche und saubere Hilfsmittel verwenden.
- Ausschließlich frisches Trinkwasser zur Bewässerung verwenden.
- Das Saatgut bis zur Nutzung trocken, kühl und lichtgeschützt aufbewahren.
- Die Substratmatte gleichmäßig feucht halten, aber Staunässe vermeiden.
- Die Abdeckung nach erfolgtem Aufgang rechtzeitig entfernen.
- Kulturen regelmäßig auf Schimmel, Fäulnis und ungewöhnlichen Geruch kontrollieren.
- Bei eindeutigem oder nicht sicher auszuschließendem Schimmelbefall die gesamte Kultur entsorgen und nicht verzehren.
- Für jede neue Kultivierung eine frische Hanffasermatte und eine neue Saatgutportion verwenden.

Bei einer Wiederverwendung der Schalen im privaten Haushalt müssten sämtliche Pflanzen- und Substratrete vollständig entfernt und die Oberflächen gründlich gereinigt werden. Da die hygienische Wiederverwendung im Projekt nicht mikrobiologisch validiert wurde, sollte sie in der regulären Endkundenanleitung zunächst nicht als Standardanwendung empfohlen werden.

Ernte und Vorbereitung zum Verzehr

Die Microgreens sollen mit deutlichem Abstand zur Hanffasermatte abgeschnitten werden. Damit wird vermieden, dass Substratfasern, Wurzelbereiche und feuchte Saatguteste mitgeerntet werden. Als praktische Orientierung kann ein Schnitt möglichst etwa zwei Zentimeter oberhalb der Matte angegeben werden.

Lose Samenhüllen und sonstige sichtbare Pflanzen- oder Substratrete sollten vor dem Verzehr entfernt werden. Die Samenhüllen werden nicht als eigentlicher Bestandteil des Ernteprodukts vorgesehen; ihre Entfernung dient insbesondere der besseren Produktqualität und einer möglichst sauberen Ernte.

Die geernteten Microgreens sind anschließend unter fließendem Trinkwasser gründlich abzuspülen. Durch Waschen kann eine vorhandene Keimbelastung reduziert, jedoch nicht vollständig beseitigt werden.

Die Microgreens sollten möglichst frisch nach der Ernte verzehrt werden. Bereits geerntete, gewaschene und angeschnittene Pflanzen sind nicht für eine längere ungekühlte Aufbewahrung vorgesehen.

Hinweise für besonders empfindliche Personengruppen

Amtliche Empfehlungen zum Verzicht auf rohe Keimlinge beziehen sich vor allem auf Sprossen. Microgreens sind aufgrund ihres späteren Entwicklungsstadiums, der Kultivierung auf einem Substrat und der Ernte oberhalb des Wurzelbereichs davon zu unterscheiden. Dennoch werden auch sie roh verzehrt, und eine mögliche Ausgangsbelastung des Saatguts oder eine nachträgliche Kontamination lässt sich in der Heimkultivierung nicht vollständig ausschließen.

Da im Projekt keine mikrobiologische Produktvalidierung durchgeführt wurde, wird für die Anleitung eine vorsorgliche Empfehlung vorgesehen: Schwangere, sehr junge Kinder, ältere Menschen und Personen mit geschwächtem Immunsystem sollten auf den Rohverzehr selbstgezogener Microgreens verzichten oder diese nur nach ausreichender Erhitzung verzehren. Diese Empfehlung ist als vorsorgliche Übertragung der für rohe Sprossen geltenden Hinweise auf ein ebenfalls roh verzehrtes, zu Hause kultiviertes Produkt zu verstehen und nicht als Ergebnis eines im Projekt nachgewiesenen besonderen Risikos der entwickelten Schalen. Amtliche Stellen zählen diese Personengruppen generell zu den Gruppen mit erhöhtem Risiko für schwere lebensmittelbedingte Erkrankungen und raten ihnen vom Verzehr roher Sprossen ab.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- AP 6: Erkennen hygienischer Risiken durch Feuchtigkeit, Schimmel, Saatgutqualität und mögliche Kreuzkontaminationen zwischen Versuchsvarianten; Aufbau einer hygienischen Arbeitsweise für die Kultivierungsversuche.
- AP 7: Entwicklung eines Konzepts der guten Hygienepaxis für die Heimkultivierung und Identifikation der unzureichenden Hydrophobierung als materialbedingtes Hygienierisiko.
- AP 9: praktische Überprüfung der verbesserten Feuchtebeständigkeit und Reinigungsfähigkeit der Demonstratorschalen; erfolgreiche mehrfache Nutzung einzelner Schalen und Wachseinlagen unter Versuchsbedingungen; Präzisierung der Endkundenhinweise.
- Finales Ergebnis: ein praxisbezogenes Hygienekonzept für Anzucht, Ernte und Verzehr sowie klare Grenzen der Aussagekraft aufgrund der nicht durchgeführten mikrobiologischen Laboruntersuchungen.

5.8 Verwertung nach der Nutzung und Ausschluss der Futtermittelloption

Zu Beginn des Projekts wurde geprüft, ob die Kultivierungsschalen nach ihrer Nutzung einer zusätzlichen Kaskadennutzung zugeführt und beispielsweise als Futtermittel für Nager verwendet werden könnten. Diese Überlegung bezog sich auf einen frühen Entwicklungsstand, bei dem die Schalen im Wesentlichen aus verpresstem Luzerneheu bestanden und noch keine für die spätere Funktion erforderlichen Zusatzstoffe und Einlagen enthielten.

Im Verlauf der Schalenentwicklung änderte sich die Materialzusammensetzung jedoch grundlegend. Zur Verbesserung von Bindung, Formstabilität und Feuchtebeständigkeit wurden unter anderem Kiefernharz und Erbsenpulver in die Grundmischung aufgenommen. Zusätzlich wurde eine separate Wachseinlage zur Abdichtung der Schaleninnenseite entwickelt. Damit bestand das fertige Demonstratorsystem nicht mehr ausschließlich aus einem klassischen Futtermittelrohstoff.

Vor diesem Hintergrund wurde die Nutzung der gebrauchten Kultivierungsschalen als Futtermittel fachlich verworfen. Eine Futtermittelanalyse wurde nicht mehr durchgeführt, da die Schalen weder für diesen Verwendungszweck entwickelt noch als Futtermittel in Verkehr gebracht werden sollten. Eine weiterführende Untersuchung hätte für das angestrebte Produktkonzept keinen praktischen Nutzen erbracht und zusätzlich eine umfassende Bewertung sämtlicher Bestandteile hinsichtlich ihrer futtermittelrechtlichen Eignung erfordert.

Als vorgesehene Verwertungsrichtung wurde stattdessen die biologische beziehungsweise kompostierende Verwertung weiterverfolgt. Das wurde im Projektbaustein zur Kompostierung eingehend bearbeitet.

Damit wurde die ursprünglich betrachtete Kaskadennutzung nicht ohne Prüfung aufgegeben, sondern aufgrund der während des Projekts erforderlichen Materialweiterentwicklung neu bewertet und zugunsten einer zur finalen Produktzusammensetzung passenden Verwertungsstrategie verworfen.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- Früher Projektstand: Futtermittelnutzung als mögliche Kaskadennutzung der luzernebasierten Schale betrachtet.
- AP 7: Neubewertung aufgrund der weiterentwickelten Materialzusammensetzung und Aufgabe der Futtermitteloption.
- AP 9: keine erneute Untersuchung, da die Verwendungsoption bereits begründet ausgeschlossen war.
- Finales Ergebnis: Ausrichtung auf eine geeignete biologische beziehungsweise kompostierende Verwertung statt auf eine Nutzung als Futtermittel.

5.9 Transportwürdigkeit und Lagerung des Anzuchtsets

Die Transportwürdigkeit wurde nicht ausschließlich anhand einzelner Schalen, sondern am vollständig konfektionierten Anzuchtset unter den tatsächlichen betrieblichen Logistikbedingungen geprüft. Ziel war es festzustellen, ob die Sets ohne zusätzliche Einzelverpackung vom Produktions-beziehungsweise Konfektionierungsstandort bis in die Filialen transportiert, dort gelagert und als Aktionsware präsentiert werden können.

Aufbau des transportfähigen Sets

Die Demonstratorkultivierungsschalen wurden durch die TU Dresden hergestellt und anschließend an den Standort von Vorwerk Podemus geliefert. Dort erfolgte die Zusammenstellung der vollständigen Anzuchtsets. Ein Set bestand aus:

- zwei ineinandergestellten Kultivierungsschalen,
- zwei passend zugeschnittenen Hanffasermatten,
- zwei kulturspezifisch portionierten und beschrifteten Saatguttütchen,
- einem Informations- und Anleitungsflyer mit Hinweisen zur Aussaat, Kultivierung und zum Projekt,
- einer Banderole zur Verbindung und Kennzeichnung der Setbestandteile.

Die Saatgutportionen wurden zunächst separat abgefüllt, beschriftet und bis zur Setkonfektionierung trocken zwischengelagert. Anschließend wurden Hanfmatten, Saatguttütchen und Flyer zwischen den beiden ineinandergestellten Schalen angeordnet. Die Banderole umschloss das vollständige Set und hielt die Einzelkomponenten zusammen.

Prüfung vor der Auslieferung

Vor der regulären Belieferung der Filialen wurden vollständig konfektionierte Sets orientierend auf ihre Handhabungs- und Transportstabilität geprüft. Dabei wurde insbesondere kontrolliert, ob:

- die Banderole beide Schalen ausreichend sicher zusammenhält,
- die innenliegenden Bestandteile beim Bewegen oder Drehen des Sets verrutschen oder herausfallen,

- die Schalen durch Druck oder normales Handling beschädigt werden,
- Ränder oder Ecken abbrechen,
- die Schalen nach längerer Lagerung ihre Form behalten.

Die ineinander gestellte Schalenform erwies sich dabei als vorteilhaft. Beide Schalen schlossen ausreichend eng miteinander ab, sodass die innenliegenden Hanfmatten, Saatguttütchen und Informationsmaterialien geschützt waren. Die Banderole hielt das Set zuverlässig zusammen und verhinderte ein unbeabsichtigtes Öffnen während der weiteren Handhabung.

Praxiserprobung in der betrieblichen Logistikkette

Die eigentliche Validierung erfolgte im Rahmen der Auslieferung und des Verkaufs der Pilotprodukte. Die vollständig konfektionierten Sets wurden liegend in vorhandene IFCO-Mehrwegkisten eingeordnet. Die Kisten wurden anschließend im regulären Warenverkehr gemeinsam mit anderen Produkten in den betriebseigenen Lieferfahrzeugen zu den Filialen transportiert.

Damit waren die Sets den für die bestehende Logistikkette typischen Belastungen ausgesetzt, insbesondere:

- Erschütterungen während der Fahrt,
- Stößen und Bewegungen beim Ein- und Ausladen,
- Druckbelastungen innerhalb der Transportkiste,
- mehrfachem manuellen Handling,
- zwischenzeitlicher Lagerung,
- Entnahme und Präsentation im Markt.

Die Filialen erhielten die Anweisung, die Sets nach der Anlieferung auf Beschädigungen, gelöste Banderolen oder verrutschte Inhalte zu kontrollieren. Anschließend wurden die Sets entsprechend der vorbereiteten Vorgaben zusammen mit Aufstellern als Aktionsware im Markt präsentiert und zum Verkauf angeboten.

Ergebnisse der Transportprüfung

Die Sets erreichten die Filialen in einem ordnungsgemäßen Zustand. Es wurden keine relevanten Schäden an den Schalen, keine gelösten Banderolen und keine Verluste von Setbestandteilen festgestellt. Die Hanffasermatten, Saatguttütchen und Informationsmaterialien verblieben innerhalb der ineinandergestellten Schalen.

Damit konnte bestätigt werden, dass die Kombination aus Doppelschale und Banderole für die untersuchte betriebliche Logistikkette einen ausreichenden Schutz bietet. Eine zusätzliche Einzelumverpackung war für die Auslieferung der Pilotprodukte nicht erforderlich.

Die liegende Transportweise erwies sich als besonders sicher, da sie ein seitliches Herausgleiten der Inhalte und eine unnötige punktuelle Belastung der Schalen vermied.

Stapelbarkeit und Anordnung in den Transportkisten

Die Schalen sind aufgrund ihrer Form grundsätzlich stapelbar und halten die dabei auftretenden Belastungen aus. Dies wurde sowohl anhand der Anzuchtschalen als auch anhand der konstruktiv vergleichbaren Verpackungsschalen bewertet. Für die Zwischenlagerung können die Schalen

beziehungsweise noch nicht vollständig konfektionierten Komponenten daher platzsparend gestapelt werden.

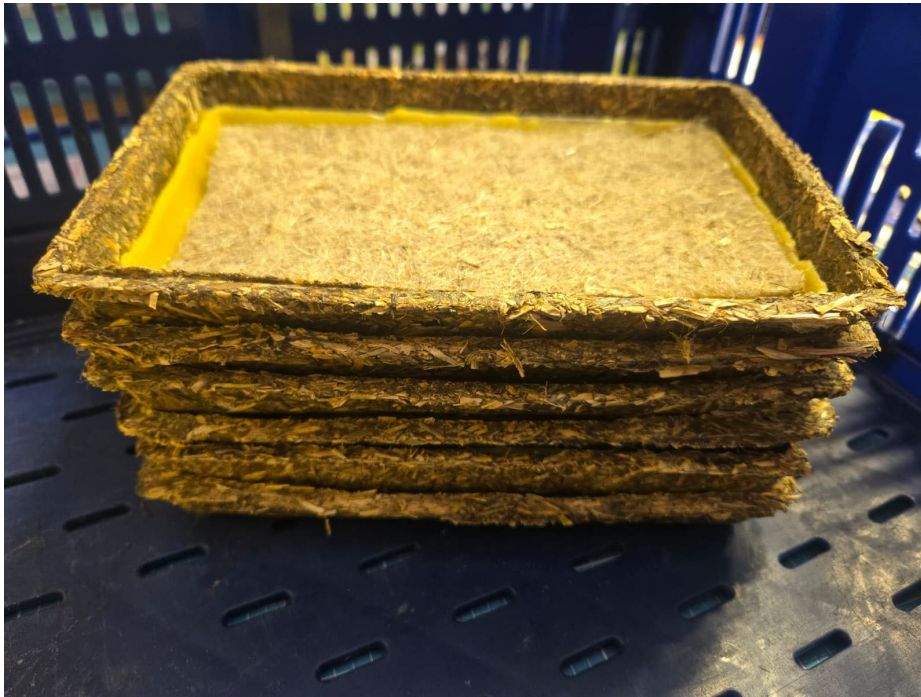


Abbildung 28: Stapelbarkeit der Anzuchtschalen

Bei den vollständigen Anzuchtsets zeigte sich jedoch, dass die glatten beziehungsweise leicht unregelmäßigen Außenflächen ein seitliches Verrutschen übereinandergestapelter Sets begünstigen können. Aus diesem Grund wurde für den Pilottransport jeweils nur eine Lage vollständiger Sets pro IFCO-Kiste verwendet.

Diese Entscheidung beruhte nicht auf einer unzureichenden Druckfestigkeit der Schalen, sondern auf der besseren Ladungssicherung und einem einfacheren Handling. Für eine spätere Belieferung größerer Stückzahlen wären mehrere Lagen grundsätzlich denkbar, sofern durch Zwischenlagen, eine angepasste Kistenbelegung oder eine formschlüssigere Anordnung ein Verrutschen verhindert wird.

Lagerstabilität

Die Sets beziehungsweise die Schalen blieben auch bei einer Lagerung über mehrere Wochen formstabil. Es wurden keine relevanten Verformungen oder Materialschäden festgestellt, solange die Lagerung unter trockenen Bedingungen erfolgte.

Die trockene Lagerung ist eine wesentliche Voraussetzung. Die Schalen sind zwar für die zeitlich begrenzte Feuchtebelastung während der Kultivierung hydrophobiert, sollen vor der Nutzung jedoch nicht dauerhaft erhöhter Luftfeuchtigkeit, Niederschlag oder direktem Wasserkontakt ausgesetzt werden. Dies gilt ebenso für die innenliegenden Hanffasermatten, die Saatgutportionen, die Banderole und den Papierflyer.

Für Lagerung und Handel wurden daher folgende Anforderungen abgeleitet:

- trocken und vor Spritzwasser geschützt lagern,
- nicht unmittelbar auf feuchten Böden oder in feuchten Lagerräumen abstellen,
- starke Temperaturschwankungen mit möglicher Kondenswasserbildung vermeiden,

- Schalen und Banderolen vor starker mechanischer Belastung schützen,
- Saatguttütchen bis zur Nutzung geschlossen halten.

Minimaler Verpackungsstandard

Die Praxiserprobung zeigte, dass für das entwickelte Pilotprodukt ein reduzierter Verpackungsaufbau ausreichend ist. Die beiden Kultivierungsschalen übernehmen gleichzeitig die Funktion der äußeren Setverpackung. Die innenliegenden Komponenten werden durch die geschlossene Doppelschalenanordnung geschützt, während die Banderole den Zusammenhalt und die Produktkennzeichnung übernimmt.



Abbildung 29: Anzuchtschale mit Banderole als einziges Verpackungselement, Frontalansicht

Als minimaler Verpackungsstandard wurde damit festgelegt:

1. zwei ineinandergestellte Kultivierungsschalen,
2. sichere Anordnung der Hanfmatten, Saatguttütchen und Informationsmaterialien im Schaleninneren,
3. ausreichend stabile Banderole zur Verbindung der beiden Schalen,
4. liegende Anordnung in einer geeigneten Mehrwegtransportkiste,
5. trockene Lagerung und Präsentation.

Eine zusätzliche Folienverpackung oder ein weiterer Einzelkarton war unter den geprüften Bedingungen nicht erforderlich. Dadurch konnten zusätzlicher Materialeinsatz, Verpackungsaufwand und Abfall vermieden werden.

Grenzen der Prüfung

Bei der Untersuchung handelte es sich um eine praxisorientierte Validierung innerhalb der tatsächlich genutzten betrieblichen Logistikkette.

Die erfolgreiche Auslieferung und Präsentation der Pilotsets zeigt, dass der gewählte Aufbau für die vorhandenen Transport- und Handelsbedingungen geeignet war. Bei einer späteren Übertragung auf längere Transportwege, Paketversand, externe Logistikdienstleister oder größere Stapelhöhen müsste die Transportverpackung erneut unter den jeweils veränderten Bedingungen bewertet werden.

Einordnung im Verlauf der Arbeitspakete

- AP 7: Ableitung der Anforderungen an ein möglichst einfaches, materialreduziertes und transportfähiges Setkonzept.
- AP 9: Konfektionierung der Pilotsets, orientierende Vorprüfung sowie praktische Validierung im regulären Transport zu den Filialen und während der Marktpräsentation.
- Finales Ergebnis: Die Doppelschale mit Banderole ist für die untersuchte betriebliche Logistikkette ausreichend transportfähig. Die Sets können liegend in IFCO-Kisten und ohne zusätzliche Einzelumverpackung transportiert werden. Für eine sichere Anordnung wurde im Pilotversuch eine Lage pro Kiste verwendet; die Schalen selbst sind grundsätzlich stapelbar und über mehrere Wochen trocken lagerstabil.

6. Anwenderbezogene Validierung des Kultivierungssystems

6.1 Vorbereitende Akzeptanzstudie zum Anzuchtset

Vor der Pilotvermarktung im Rahmen des Osterspecials wurde eine explorative Akzeptanzstudie zum damaligen produktnahen Entwicklungsstand des Anzuchtsets durchgeführt. Ziel war es, die spontane Wahrnehmung der Luzerneschalen und des vollständigen Setkonzepts durch potenzielle Endkundinnen und Endkunden zu erfassen. Im Mittelpunkt standen dabei insbesondere Materialwirkung, Optik, Haptik, wahrgenommene Stabilität, Verständlichkeit der Anwendung, DIY-Charakter und grundsätzliche Kaufbereitschaft. Die Befragung wurde im Biomarktumfeld mit insgesamt 30 Personen durchgeführt. Die vollständige Methodik und Ergebnisauswertung sind im gesonderten Bericht zur Akzeptanzstudie der Anzuchtsets dokumentiert.

Der überwiegende Teil der Befragten verfügte noch über keine eigene Erfahrung mit der Kultivierung von Microgreens. Dennoch wurde das Produktkonzept mehrheitlich als verständlich und niedrigschwellig wahrgenommen. Besonders positiv bewertet wurden die natürliche Materialwirkung der Luzerneschalen, die Abgrenzung gegenüber konventionellen Kunststoff- oder Papierprodukten sowie der DIY-Charakter des Sets. Das selbstständige Aussäen, Pflegen und Ernten wurde als wesentlicher Bestandteil des Produkterlebnisses verstanden.

Gleichzeitig lieferte die Untersuchung konkrete Hinweise für die weitere Entwicklung. Einzelne Befragte bewerteten insbesondere die Randbereiche der Schalen als unruhig oder leicht bröselig. Obwohl daraus keine unmittelbaren funktionalen Einschränkungen abgeleitet wurden, beeinflusste die Randqualität den wahrgenommenen Reife- und Qualitätseindruck des Produkts. Darüber hinaus zeigte sich, dass eine kurze und klar strukturierte Anleitung insbesondere für Personen ohne Vorerfahrung erforderlich ist.

Die Akzeptanzstudie bestätigte damit zunächst die grundsätzliche Attraktivität des Produktansatzes und identifizierte zugleich Optimierungsbedarfe bei der Oberflächen- und Randqualität sowie bei der Nutzerinformation. Die Ergebnisse flossen in die weitere Ausgestaltung der Schalen, der Banderole

und der Kultivierungsanleitung ein und bildeten eine vorbereitende Grundlage für die anschließende Pilotvermarktung.

Wichtig ist die Einordnung: In dieser ersten Studie wurde vor allem der Produkteindruck und die erwartete Anwendung bewertet. Eine eigenständige Kultivierung durch die Befragten fand noch nicht statt. Die tatsächliche Anwendbarkeit des vollständigen Sets wurde erst im Rahmen des Osterspecials untersucht.

6.2 Anwendungserprobung im Rahmen des Osterspecials

Während die vorgelagerte Akzeptanzstudie zunächst die Wahrnehmung des Produktkonzepts und die erwartete Anwendung untersuchte, wurde das vollständige Anzuchtset im Rahmen des Osterspecials erstmals unter realen Verkaufs- und Haushaltsbedingungen erprobt. Damit wurde die reine Produkteinschätzung um Rückmeldungen aus der tatsächlichen selbstständigen Kultivierung ergänzt.



Abbildung 30: Ladenpräsentation des Anzuchtsets zum Osterspecial

Von den 50 bereitgestellten Pilotsets wurden 43 verkauft. An der begleitenden Befragung nahmen zehn Käuferinnen und Käufer teil, von denen vier das Set zum Zeitpunkt der Befragung bereits selbst verwendet hatten. Im vorliegenden Bericht werden ausschließlich die für die Funktion des Kultivierungssystems relevanten Ergebnisse zusammengefasst; die vollständige Auswertung ist im gesonderten Bericht zur Konsumentenumfrage des Osterspecials dokumentiert.

Alle zehn befragten Käuferinnen und Käufer gaben an, die grundsätzliche Funktionsweise des Sets unmittelbar verstanden zu haben. Auch die sechs Personen, die das Set noch nicht eingesetzt hatten, bewerteten dessen erwartete Anwendung und die bereitgestellten Informationen durchgehend positiv. Dies bestätigt, dass die Zusammenstellung aus Doppelschale, Hanffasermatten, vorportioniertem Saatgut und Anleitung auch ohne persönliche Einweisung nachvollziehbar war.

Besonders relevant für die abschließende Validierung waren die Rückmeldungen der vier Personen mit eigener Anwendungserfahrung. Alle bewerteten die Kultivierung als einfach und hatten Freude an der Nutzung. Drei Personen waren vom Anzuchtergebnis vollständig überzeugt, eine weitere bewertete es ebenfalls positiv. Auch die Erwartungen an das Produkt wurden bei allen vier Anwenderinnen und Anwendern erfüllt oder weitgehend erfüllt. Grundsätzliche Probleme bei der selbstständigen Kultivierung wurden nicht berichtet. Damit wurde das zuvor intern entwickelte Zusammenspiel aus Demonstratorschale, Substratmatte, Saatgutportionierung und Anleitung erstmals auch unter unbeaufsichtigten Haushaltsbedingungen bestätigt.

Zusätzliche Anzuchtsets wurden durch die TU Dresden an Kolleginnen, Kollegen und Personen aus dem privaten Umfeld zur Erprobung weitergegeben. Auch aus diesen Anwendungen wurden positive Rückmeldungen zur Verständlichkeit, Handhabung und zum Kultivierungsergebnis berichtet. Da diese Rückmeldungen nicht im Rahmen einer standardisierten Befragung erfasst wurden, dienen sie ausschließlich als ergänzende qualitative Bestätigung.

Aufgrund der geringen Zahl von vier systematisch befragten Personen mit tatsächlicher Anwendungserfahrung sind die Ergebnisse nicht repräsentativ. Sie stellen jedoch eine wertvolle explorative Praxisvalidierung dar: Das entwickelte Kultivierungssystem funktionierte nicht nur unter betreuten Versuchsbedingungen, sondern konnte auch von Endkunden eigenständig verstanden und erfolgreich angewendet werden.

6.3 Öffentliche Präsentation und qualitative Praxisresonanz

Gegen Ende des Osterspecial-Zeitraums wurde das Projekt gemeinsam durch Vorwerk Podemus und die TU Dresden auf dem Kräuter- und Gartenmarkt öffentlich präsentiert. Dabei wurden sowohl der Entwicklungsprozess als auch die Anzuchtschalen und das daraus entstandene Kultivierungskonzept vorgestellt. Die Veranstaltung ermöglichte einen unmittelbaren Austausch mit Besucherinnen und Besuchern, die das Material, die Schalenform und die Produktidee direkt betrachten und Rückfragen zur Anwendung stellen konnten.



Abbildung 31: Präsentation auf dem Kräuter- und Gartenmarkt

Die Anzuchtschalen stießen auf deutliches Interesse und überwiegend positive Resonanz. Besonders häufig wurden die neuartige Nutzung von Luzerneheu, die natürliche und unmittelbar erkennbare Materialwirkung sowie die Verbindung der Schalen mit der eigenen Kultivierung von Microgreens thematisiert. Auch der DIY-Charakter des Sets und die Möglichkeit, den gesamten Prozess von der Aussaat bis zur Ernte selbst durchzuführen, wurden positiv aufgenommen.



Abbildung 32: Gespräche mit interessierten Menschen auf dem Kräuter- und Gartenmarkt

Die Gespräche ermöglichten zugleich, den Entwicklungsansatz und die Funktionsweise des Sets unmittelbar zu erläutern und Rückfragen potenzieller Anwenderinnen und Anwender aufzunehmen. Die Rückmeldungen bestätigten insbesondere, dass das ungewöhnliche Ausgangsmaterial Aufmerksamkeit erzeugt und sich das Produktkonzept anschaulich vermitteln lässt.

7. Entwicklungsstufen der Anzuchtschalen und abschließende Bewertung

7.1 Entwicklung von der Funktionsmusterschale zur Demonstratorkultivierungsschale

Die Entwicklung der Kultivierungsschalen erfolgte nicht in einem einzelnen, geradlinigen Arbeitsschritt. Vielmehr wurden die Schalen und die dazugehörige Kultivierungsmethode in mehreren aufeinander aufbauenden Entwicklungs- und Erprobungsschleifen schrittweise verbessert. Neue Schalenvarianten wurden jeweils praktisch kultiviert, hinsichtlich ihrer Material- und Anwendungseigenschaften bewertet und auf Grundlage der Ergebnisse erneut angepasst. Der Entwicklungsprozess folgte damit wiederholt dem Prinzip:

Schalenvariante herstellen – Kultivierung erproben – Schwachstellen identifizieren – technische Anforderungen ableiten – Schale und Kultivierungsmethode anpassen – erneut validieren.

Die Wiederholung vergleichbarer Versuche war erforderlich, weil nicht nur die Kulturen und Kultivierungsparameter, sondern gleichzeitig auch Materialzusammensetzung, Hydrophobierung, Schalenform und Abdichtung weiterentwickelt wurden. Hinzu kamen jahreszeitlich unterschiedliche Licht-, Temperatur- und Feuchtebedingungen, die sich auf Wasserbedarf, Wachstumsgeschwindigkeit und Schimmelrisiko auswirkten. Die Kultivierungsversuche dienten daher sowohl der Bewertung des jeweiligen Schalenstands als auch der schrittweisen Entwicklung einer unter realen Haushaltsbedingungen anwendbaren Kultivierungsmethode.

7.2 Funktionsmusterschalen: Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit

Die ersten Funktionsmusterschalen dienten dazu, die grundsätzliche Idee einer Kultivierungsschale aus Luzerneheu praktisch zu überprüfen. Im Vordergrund stand zunächst die Frage, ob sich Mikrogemüse überhaupt in einer solchen biobasierten Schale kultivieren lässt und welche Wechselwirkungen zwischen Schalenmaterial, Substrat, Bewässerung und Pflanzenwachstum auftreten.

Die Versuche bestätigten, dass eine Anzucht grundsätzlich möglich war. Gleichzeitig zeigten sich jedoch deutliche Einschränkungen. Die frühe Hydrophobierung reichte nicht aus, um die Schalen während der gesamten Kulturdauer zuverlässig vor Feuchtigkeit zu schützen. Die Schalen nahmen Wasser auf, weichten lokal durch und entwickelten unter länger anhaltender Feuchtigkeit teilweise Schimmel. Für einzelne Versuche waren deshalb ein wasserfester Untergrund oder zusätzliche Kunststofftrays erforderlich.

Darüber hinaus wurden bei einzelnen Kulturen verzögerte Keimung, beeinträchtigtes Wurzelwachstum und verbräunte Wurzelspitzen beobachtet. Dies deutete darauf hin, dass neben der reinen Feuchtebeständigkeit auch der unmittelbare Kontakt zwischen Pflanzenwurzeln und Luzernematerial berücksichtigt werden musste.

Trotz dieser Einschränkungen erfüllten die Funktionsmusterschalen ihre Aufgabe: Sie belegten die grundsätzliche technische und biologische Machbarkeit und machten zugleich sichtbar, welche Funktionen in den nächsten Entwicklungsschritten verbessert werden mussten. Parallel wurden grundlegende Kultivierungsparameter wie Bewässerungsmethode, Substratgrammatur, Aussaatstärke, Kultureneignung und Ernteverhalten untersucht.

7.3 Musterkultivierungsschalen: gezielte Bearbeitung der Schwachstellen

Auf Grundlage der ersten Versuchsergebnisse wurden die Schalen durch den Forschungspartner weiterentwickelt. In dieser zweiten Stufe standen insbesondere die Verbesserung der

Feuchtebeständigkeit und die Abschirmung des Luzernematerials gegenüber dem Kultivierungsbereich im Mittelpunkt.

Dazu wurden unterschiedliche Hydrophobierungs- und Beschichtungsansätze untersucht. Erprobt wurden unter anderem Kiefernharz, Bienenwachs, Mischungen aus Wachs und Harz sowie mit Wachs versehene Tissue-Einlagen. Gleichzeitig wurde die Grundmischung der Schalen angepasst, um eine glattere Oberfläche, eine bessere Bindung und ein geringeres Quellverhalten zu erreichen.

Die Musterkultivierungsschalen zeigten gegenüber den ersten Funktionsmustern bereits Fortschritte, machten aber erneut deutlich, dass nicht nur die Wahl des hydrophobierenden Materials, sondern auch die konstruktive Ausführung der Abdichtung entscheidend war. Bei einer mitgepressten Wachstissue-Einlage entstanden insbesondere an Rändern und Übergängen ungeschützte Bereiche. Während der Bewässerung und der abgedeckten Keimphase konnte sich dort Wasser sammeln, kapillar in das Luzernematerial eindringen und erneut Schimmelbildung auslösen.

Diese Versuchsphase war dennoch von großer Bedeutung. Sie zeigte, dass eine wirksame Lösung eine möglichst geschlossene, flächige und zugleich praktisch handhabbare Trennung zwischen Bewässerungswasser und Luzerneschale erfordert. Gleichzeitig wurden in AP 7 die zuvor untersuchten Einzelparameter zu einem Gesamtsystem zusammengeführt. Dazu gehörten die Auswahl geeigneter Kulturen, die Saatgutbeschaffung und -lagerung, die Saatgutportionierung, die Bewässerungslogik, die Blackout-Phase, die Hygieneanforderungen und die Konzeption des vollständigen Anzuchtsets.

7.4 Demonstratorkultivierungsschalen: Zusammenführung der Teillösungen

Die finalen Demonstratorkultivierungsschalen bildeten die dritte Entwicklungsstufe. Sie verfügten über eine flache, an das endgültige Hanfmattenformat angepasste Geometrie, eine optimierte Grundmischung und eine separate Wachseinlage als innere Abdichtung.

Die eigenständige Wachseinlage erwies sich als entscheidender Entwicklungsschritt. Sie bildete eine geschlossene, wasserabweisende Kultivierungsfläche und reduzierte den direkten Kontakt zwischen Bewässerungswasser, Wurzeln und Luzernematerial. Gleichzeitig ließ sie sich unabhängig von der äußeren Schale einsetzen, herausnehmen und reinigen.



Abbildung 33: Darstellung der Zusammensetzung der Anzuchtschale

Mit diesem Schalenstand konnten die zuvor noch offenen Kultivierungsfragen unter produktnahen Bedingungen geprüft werden. Die Demonstratorschalen blieben während der vorgesehenen Kulturdauer formstabil und tolerierten die wiederholte Bewässerung sowie kleinere Anwendungsabweichungen. Auch seitlich auf die Schalen gelangendes Wasser führte nicht mehr unmittelbar zum Durchweichen oder Funktionsverlust. Die zeitlich begrenzte Abdeckung während der Keimphase konnte eingesetzt werden, ohne dass die dabei entstehende erhöhte Feuchtigkeit die Schale in der bei früheren Varianten beobachteten Weise beeinträchtigte.

Dadurch konnte die Blackout-Phase erstmals unabhängig von grundlegenden Materialproblemen bewertet werden. Bei zahlreichen Kulturen führte eine begrenzte Abdeckung zu einem schnelleren und gleichmäßigeren Aufgang. Gleichzeitig bestätigte sich, dass robuste Kulturen wie Kresse und Senf auch mit einer besonders einfachen Kultivierungsführung erfolgreich angebaut werden können.

Die abschließenden Versuche dienten zudem dazu, die in AP 6 und AP 7 aufgebauten Kulturdaten zu überprüfen und zu präzisieren. Auf dieser Grundlage wurden die Kulturen für das Basis- und Vielfalts-Set festgelegt, die kulturspezifischen Angaben für die Steckbriefe aktualisiert und repräsentative Fotografien für die Ergebnisdarstellung und spätere Kundenkommunikation erstellt.

7.5 Vom Schalenmuster zum vollständigen Anzuchtset

Die Entwicklung endete nicht bei der einzelnen Kultivierungsschale. Die Demonstratorschale wurde in ein vollständiges, endkundenorientiertes Anwendungssystem überführt.

Die finale Pilotlösung bestand aus:

- zwei ineinandergestellten Demonstratorkultivierungsschalen,
- zwei passend zugeschnittenen Hanffasermatten,
- zwei kulturspezifisch vorportionierten Saatguttütchen,
- einer Kultivierungs- und Projektinformation,
- einer Banderole als Verbindung, Kennzeichnung und äußere Gestaltung des Sets.

Die Doppelschale erfüllte dabei mehrere Funktionen gleichzeitig. Sie diente als Kultivierungsgefäß, schützte die innenliegenden Komponenten und übernahm gemeinsam mit der Banderole die Funktion der äußeren Produktverpackung. Eine zusätzliche Einzelverpackung war für die im Projekt untersuchte Logistikkette nicht erforderlich.



Abbildung 34: Entwicklung der Anzuchtschalen

Die Sets wurden am Standort von Vorwerk Podemus konfektioniert, liegend in IFCO-Kisten einsortiert und im regulären Warenverkehr zu den beteiligten Filialen transportiert. Sie erreichten die Märkte in ordnungsgemäßem Zustand und wurden dort als Aktionsware präsentiert und verkauft. Damit wurde nicht nur die Kultivierungsfunktion, sondern auch das Zusammenspiel aus Schale, Inhalt, Verpackung und betrieblicher Logistik praktisch erprobt.

7.6 Abschließende Bewertung der Entwicklungsstufen

Die drei Entwicklungsstufen lassen sich anhand ihrer jeweiligen zentralen Fragestellung zusammenfassen:

Tabelle 7: Entwicklungsstufen der Anzuchtschalen

Entwicklungsstufe	Zentrale Fragestellung	Wesentliche Erkenntnis
Funktionsmusterschale	Ist eine Kultivierung in einer Schale aus Luzerneheu grundsätzlich möglich?	Grundsätzliche Machbarkeit bestätigt; Feuchtebeständigkeit und Materialkontakt noch unzureichend
Musterkultivierungsschale	Wie können die identifizierten Schwachstellen technisch reduziert werden?	Verbesserte Hydrophobierung möglich; Randbereiche und nicht geschlossene Einlagen bleiben kritisch
Demonstratorkultivierungsschale	Funktioniert die zusammengeführte Lösung als produktnahes Kultivierungs- und Anzuchtset?	Feuchtebeständige, praktisch nutzbare Schale; erfolgreiche Kultivierung, Setkonfektionierung, Transport- und Anwendererprobung

7.7 Vorzugsvariante des Projekts

Als Vorzugsvariante für die Pilotanwendung und die weitere Produktentwicklung wurde die flache Demonstratorkultivierungsschale aus einer optimierten Luzernemischung mit separater Wachseinlage ausgewählt. Sie wird im Set als Doppelschalenlösung eingesetzt und mit zugeschnittenen Hanffasermatten, kulturspezifisch vorportioniertem Saatgut, Kultivierungsinformationen und einer Banderole kombiniert.



Abbildung 35: Validierte Anzuchtschale mit optimierter eingelegter Wachsschale

Diese Variante verbindet:

- ausreichende Form- und Feuchtestabilität während der Kultivierung,
- eine einfache Anwendung ohne notwendige technische Zusatzausstattung,
- die Möglichkeit einer kulturspezifischen Blackout-Phase,
- eine klare und kontrollierbare Saatgutdosierung,
- den Erhalt des gewünschten DIY-Charakters,
- eine materialreduzierte Verpackungslösung,
- Transportfähigkeit innerhalb der bestehenden betrieblichen Logistik,
- eine für Endkunden verständliche und positiv bewertete Anwendung.

Die Entwicklung zeigt zugleich, dass die finale Lösung nicht aus einer einzelnen technischen Verbesserung hervorging. Erst die schrittweise Abstimmung von Schalenmaterial, Abdichtung, Geometrie, Substrat, Saatgutmenge, Kultivierungsbedingungen, Anleitung und Verpackung führte zu einem funktionierenden Gesamtsystem.



Abbildung 36: Finales Anzuchtschalenset

Die Demonstratorkultivierungsschale stellt damit das zentrale technische Ergebnis der Arbeitspakete 6, 7 und 9 dar. Sie bildet einen produktnahen Entwicklungsstand, der im Projekt praktisch kultiviert, transportiert, verkauft und durch erste Endkunden angewendet wurde. Für eine reguläre Serienproduktion wären darüber hinaus insbesondere reproduzierbare Fertigungsqualität, abschließende Material- und Konformitätsbewertungen sowie gegebenenfalls weiterführende mikrobiologische Prüfungen auf Grundlage des endgültigen Produktionsprozesses erforderlich.

Anhang

Tabelle 8: Abgleich der in AP 7 angekündigten und in AP 9 abgeschlossenen Arbeiten

Ankündigung aus AP 7	Tatsächlicher Bearbeitungsstand in AP 9
Validierung der Schalenhydrophobierung	Durchgeführt und abgeschlossen. Die Demonstratorschalen waren deutlich feuchtebeständiger. Auch Abdeckung, Kondensfeuchtigkeit und seitlich auftreffendes Gießwasser wurden toleriert, ohne dass die Schalen wie frühere Entwicklungsstände unmittelbar durchweichen.
Überprüfung der Kulturenauswahl	Durchgeführt. Die vorhandene Kulturdatenbasis wurde mit den Demonstratorschalen validiert und erweitert. Final vorgesehen sind Kresse und Senf für das Basis-Set sowie Rotkohl und Kohlrabi für das Vielfalts-Set.
Repräsentative Produktfotos	Durchgeführt. Die abschließenden Kultivierungen wurden fotografisch dokumentiert. Das Material dient der Ergebnisdarstellung, den Kultursteckbriefen und der späteren Kundenansprache.
Lagerstabilität des Saatguts	Durchgeführt und abgeschlossen. Der in AP 7 im Mai 2025 begonnene Versuch wurde nach fünf Monaten zwischenbewertet und im März 2026 nach zehn Monaten abgeschlossen.
Portionierung des Saatguts	Praktisch umgesetzt und validiert. Für das Pilotprodukt wurden Saatguttütchen manuell mit einer Feinwaage befüllt.
Verpackung der Saatgutportionen	Für die Pilotphase umgesetzt; für eine Serienproduktion konzeptionell präzisiert. Als Weiterentwicklung wurde ein Etikett vorgesehen, das zugleich Kennzeichnung und Verschluss übernehmen kann.
Standardisierte Endkundenanleitung	Inhaltlich erarbeitet und durch die Anwendungserfahrungen präzisiert. Eingeflossen sind unter anderem Fingerprobe, kulturspezifische Blackout-Hinweise, Ernteorientierung, Hygiene, Waschen und Umgang mit Schimmel.
LED-Zusatzbeleuchtung	Anders umgesetzt als ursprünglich formuliert. Es erfolgte kein systematischer Vergleich mit und ohne LED. Die Beleuchtung wurde wegen der winterlichen Versuchszeit eingesetzt, um vergleichbare Kultivierungsbedingungen und gleichmäßige Bestände für die Fotodokumentation zu erhalten.
Belüftung	Nicht als eigenständiger technischer Versuch durchgeführt. Bestätigt wurde die Bedeutung normaler Luftzirkulation und des rechtzeitigen Entfernens der Abdeckung. Ein technisches Belüftungssystem ist für das Endkundenset nicht erforderlich.
Wachstumsverhalten	Fortlaufend erfasst und in AP 9 abschließend abgeglichen. Es wurden keine allgemeingültigen Wachstumsgeschwindigkeiten festgelegt, da Licht, Temperatur und Jahreszeit den Verlauf stark beeinflussen.

	Stattdessen werden Zeitspannen und sichtbare Erntemerkmale genutzt.
Kultursteckbriefe	Datenbasis validiert; finalisiert in AP 9 Die zwölf Steckbriefe wurden auf Grundlage der gesamten Versuchsreihe und der neuen Fotos fertiggestellt.
Robustheitstests	Praxisnah, aber nicht als formalisierte Stresstestreihe durchgeführt. Die Bewertung beruht auf wiederholten Kultivierungen unter unterschiedlichen jahreszeitlichen und praktischen Bedingungen sowie auf beobachteten Abweichungen bei Wasserangebot und Abdeckung.
Blackout-Phase	Durchgeführt und geklärt. Eine begrenzte Abdeckung verbesserte bei vielen Kulturen den Aufgang. Robuste Kulturen funktionieren auch ohne; die finalen Schalen tolerieren die dadurch bedingt erhöhte Feuchtigkeit während der Keimphase.
Transportwürdigkeit des Sets	Transportwürdigkeit gegeben. Unter den tatsächlichen betrieblichen Logistikbedingungen im Rahmen des Osterspecials geprüft und validiert.
Minimaler Verpackungsstandard	Banderole als Verpackung funktioniert. Dadurch minimaler Verpackungsaufwand

RADIESCHEN

Raphanus sativus



Schwierigkeitsgrad: leicht

Eignung für das Anzuchtset: sehr gut geeignet; insbesondere für den Einstieg und aufgrund des charakteristischen Geschmacks

Aussaatmenge: 4,0 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: mittelgroße, runde und schnell keimende Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: etwa 3–4 Tage beziehungsweise bis zu einem ausreichenden Aufgang

Beginn der Keimung: nach etwa 3 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: schnelle, teilweise zunächst heterogene Keimung; anschließend sehr rasches und kräftiges Wachstum Stängel knicken teilweise um

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; Bewässerung durch Besprühen oder nach der Keimung von unten

Zeit bis zur Ernte: etwa 7–8 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: vorzugsweise etwa 7–10 cm; bei größerer Höhe können die Pflanzen aufgrund der schweren Blätter umknicken

Geschmack: frisch, deutlich nach Radieschen und leicht scharf

Blätter und Stängel: große grüne, herzförmige Keimblätter mit kräftigen hellen bis sortenabhängig rötlichen Stängeln

Wurzelbild: Bildung deutlich sichtbarer feiner weißer Wurzelhaare

Radieschen sind schnell wachsende und geschmacklich charakteristische Microgreens. Das Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen auf dem Substrat verteilt und zunächst abgedeckt kultiviert. Die Keimung setzt nach etwa drei Tagen ein; bereits nach sieben bis acht Tagen sind die Pflanzen erntereif. Bei einer zu langen Kultivierung werden die Blätter zunehmend groß und schwer, wodurch die Stängel zum Umknicken neigen können.



ROTE BEETE

Beta vulgaris



Schwierigkeitsgrad: anspruchsvoll

Eignung für das Anzuchtset: geeignet; erfordert Geduld und eine sorgfältige Feuchtesteuerung

Aussaatmenge: 3,5 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: relativ große, unregelmäßig geformte und harte Samenknäuel, die mehrere Keime enthalten können

Einweichen: ja, etwa 24 Stunden

Abdunkelungsphase: etwa 6–7 Tage beziehungsweise bis deutlich sichtbare Wurzeln und Stängel ausgebildet sind

Beginn der Keimung: nach etwa 4 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: langsame und zunächst heterogene Keimung; bei zu früher Belichtung schwacher und ungleichmäßiger Aufwuchs

Bewässerung: während der Keimphase vorsichtig besprühen; anschließend möglichst von unten bewässern und Staunässe vermeiden

Zeit bis zur Ernte: etwa 14 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 3–5 cm

Geschmack: typisch erdig und deutlich nach Roter Bete

Blätter und Stängel: längliche grüne bis rötlich gefärbte Keimblätter mit auffälligen roten bis rosafarbenen Stängeln; Samenhüllen können zunächst an den Blättern verbleiben

Wurzelbild: Bildung deutlich sichtbarer feiner weißer Wurzelhaare

Rote Bete ist eine langsam keimende und vergleichsweise anspruchsvolle Microgreen-Kultur. Das Saatgut wird vor der Aussaat eingeweicht und anschließend für eine längere Zeit abgedeckt kultiviert. Die ersten Keime zeigen sich nach ungefähr vier Tagen; ein gleichmäßiger und erntefähiger Bestand entwickelt sich nach etwa 14 Tagen. Besonders charakteristisch sind die rötlichen Stängel, die länglichen Keimblätter und der ausgeprägte erdige Geschmack nach Roter Bete.



ROTKOHL



Brassica oleracea convar. capitata var. rubra

Schwierigkeitsgrad: leicht bis mittel

Eignung für das Anzuchtset: gut geeignet; insbesondere aufgrund der auffälligen rötlich-violetten Färbung

Aussaatmenge: 4,0 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: kleine, runde und dunkelbraune Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: etwa 5–6 Tage beziehungsweise bis zu einem möglichst gleichmäßigen Aufgang

Beginn der Keimung: nach etwa 3–5 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: zunächst langsame und teilweise heterogene Keimung; anschließend gleichmäßiger, eher moderater Wuchs

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; vorsichtig durch Besprühen oder nach dem Aufgang von unten

Zeit bis zur Ernte: etwa 8–10 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 4–5 cm

Geschmack: mild, feinherb und leicht kohlachtig

Blätter und Stängel: grüne bis violett überlaufene Keimblätter mit auffälligen rötlich-violetten Stängeln

Wurzelbild: Bildung feiner weißer Wurzelhaare

Rotkohl ist eine optisch besonders auffällige Microgreen-Kultur. Das Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen ausgesät und zunächst bis zu einem ausreichenden Aufgang abgedeckt kultiviert. Nach einer eher langsamen und teilweise heterogenen Keimphase entwickelt sich ein gleichmäßiger Pflanzenbestand, der nach etwa acht bis zehn Tagen erntereif ist. Charakteristisch sind die rötlich-violetten Stängel, die teilweise violett gefärbten Keimblätter und der milde, feinherbe Kohlgeschmack.



GERSTE

Hordeum vulgare



Schwierigkeitsgrad: mittel

Eignung für das Anzuchtset: geeignet; benötigt eine dichte Aussaat, ausreichende Belüftung und eine kontrollierte Feuchte

Aussaatmenge: 20 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: große, längliche Getreidekörner mit hohem Quellvermögen

Einweichen: ja, etwa 12–16 Stunden

Abdunkelungsphase: etwa 4–6 Tage beziehungsweise bis zu einer weitgehend vollständigen Keimung

Beginn der Keimung: nach etwa 4–5 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: zunächst unregelmäßige Keimung; nach der Etablierung gleichmäßiger, jedoch weniger dichter Aufwuchs als bei kleinsamigen Microgreen-Kulturen

Bewässerung: mäßig und regelmäßig; Staunässe vermeiden und auf eine gute Belüftung achten

Zeit bis zur Ernte: etwa 10–12 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 14–16 cm

Geschmack: mild getreideartig bis leicht nussig, mit einer leicht bitteren Note

Blätter und Stängel: lange, schmale und grasartige grüne Blätter

Wurzelbild: Bildung feiner weißer Wurzelhaare

Gerste bildet hohe, grasartige Microgreens und unterscheidet sich im Wuchs deutlich von den kleinsamigen Kulturen. Die Körner werden vor der Aussaat eingeweicht und relativ dicht auf dem Substrat verteilt. Nach einer zunächst teilweise unregelmäßigen Keimung entwickelt sich ein stabiler Aufwuchs, der nach etwa zehn bis zwölf Tagen geerntet werden kann. Wichtig sind eine gute Belüftung und eine kontrollierte Feuchtigkeit, da bei zu langer Einweich- oder Abdeckungsdauer Schimmel auftreten kann.



GRÜNKOHL

Brassica oleracea var. *sabellica*



Schwierigkeitsgrad: leicht

Eignung für das Anzuchtset: sehr gut geeignet; gleichmäßiger, dichter und optisch ansprechender Aufwuchs

Aussaatmenge: 4,0 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: kleine, runde und dunkelbraune Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: etwa 3–5 Tage beziehungsweise bis zu einem gleichmäßigen Aufgang

Beginn der Keimung: nach etwa 3 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: zunächst moderate, anschließend schnelle und sehr homogene Entwicklung; dichter Pflanzenbestand

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; vorsichtig durch Besprühen oder nach dem Aufgang von unten

Zeit bis zur Ernte: etwa 8 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 6 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: mild, feinherb und leicht kohlsartig

Blätter und Stängel: grüne bis blaugrüne Keimblätter mit hellen oder sortenabhängig leicht violetten Stängeln

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Grünkohl entwickelte sich zu einem dichten und gleichmäßigen Microgreen-Bestand. Das Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen auf dem Substrat verteilt und zunächst abgedeckt kultiviert. Nach ungefähr drei Tagen beginnt die Keimung; anschließend wachsen die Pflanzen schnell und homogen weiter. Nach etwa acht Tagen sind die farblich ansprechenden Microgreens erntereif und weisen einen milden, feinherben Kohlgeschmack auf.



KOHLRABI

Brassica oleracea var. *gongylodes*



Schwierigkeitsgrad: mittel

Eignung für das Anzuchtset: geeignet; bei angepasster Bewässerung grundsätzlich kultivierbar

Aussaatmenge: 3,3 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: kleine, runde und dunkelbraune Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: etwa 4–6 Tage beziehungsweise bis zu einem ausreichenden Aufgang

Beginn der Keimung: nach etwa 4–5 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: zunächst verzögerter und teilweise heterogener Aufgang; anschließend moderates, eher niedriges Wachstum

Bewässerung: vorzugsweise von unten; die Oberfläche sollte nicht dauerhaft nass gehalten werden

Zeit bis zur Ernte: etwa 9–11 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 7 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: mild, frisch und leicht kohlrartig

Blätter und Stängel: grüne, rundliche Keimblätter mit hellen bis sortenabhängig rötlich-violetten Stängeln

Wurzelbild: Bildung feiner weißer Wurzelhaare

Kohlrabi wächst zu Beginn etwas verzögert und mit teilweise ungleichmäßigen Aufgang, man muss Geduld haben, das Wachstum wird besser. Das Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen ausgesät und zunächst abgedeckt kultiviert. Eine Bewässerung von unten erwies sich als günstiger als eine dauerhafte Befeuchtung von oben und verringerte das Risiko von Schimmelbildung. Nach etwa neun bis elf Tagen waren die niedrig wachsenden Pflanzen grundsätzlich erntereif und wiesen einen milden, leicht kohlrartigen Geschmack auf.



KRESSE

Lepidium sativum



Schwierigkeitsgrad: leicht

Eignung für das Anzuchtset: sehr gut geeignet; insbesondere für den Einstieg und für kurze Kultivierungszeiträume

Aussaatmenge: 3,5 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: kleine, stark schleimbildende Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: nicht erforderlich; eine lockere Abdeckung kann anfangs der Feuchtesicherung dienen

Beginn der Keimung: nach etwa 1–2 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: sehr schnelle und gleichmäßige Keimung; unmittelbar anschließend starkes Wachstum

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; vorsichtig durch Besprühen, ohne die schleimbildenden Samen zu vernässen

Zeit bis zur Ernte: etwa 5–6 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 5–8 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: frisch, würzig und leicht scharf

Blätter und Stängel: kleine grüne Keimblätter mit hellen, feinen Stängeln

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Gartenkresse ist eine besonders schnell keimende und unkompliziert wachsende Microgreen-Kultur. Das schleimbildende Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen trocken und möglichst gleichmäßig auf dem Substrat verteilt. Die Keimung beginnt bereits nach ein bis zwei Tagen; nach etwa fünf bis sechs Tagen ist die Kresse erntereif. Die Pflanzen bilden kleine grüne Keimblätter und helle, feine Stängel und weisen den charakteristischen frischen, würzigen und leicht scharfen Kressegeschmack auf.



LINSE

Lens culinaris



Schwierigkeitsgrad: mittel

Eignung für das Anzuchtset: geeignet; wegen der größeren Saatgutmenge und der erhöhten Schimmelgefahr ist eine sorgfältige Kultivierung erforderlich

Aussaatmenge: 12 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: relativ große, flache und stark quellende Samen

Einweichen: ja, etwa 8–12 Stunden

Abdunkelungsphase: etwa 4–6 Tage beziehungsweise bis der überwiegende Teil der Samen vollständig gekeimt ist

Beginn der Keimung: nach etwa 3 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: zunächst gleichmäßige Keimung; der weitere Aufwuchs kann bei unterschiedlichen Keimstadien heterogen werden

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf, später vorzugsweise von unten bewässern

Zeit bis zur Ernte: etwa 10–11 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 12–16 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: herb und leicht bitter

Blätter und Stängel: kleine paarig angeordnete grüne Blätter an hellen, relativ kräftigen Stängeln

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Linsen bilden vergleichsweise hohe und kräftige Microgreens. Die Samen werden vor der Aussaat eingeweicht, wobei eine Dauer von etwa acht bis zwölf Stunden ausreicht. Nach ungefähr drei Tagen beginnt die Keimung; anschließend sollten die Pflanzen erst dann unter Licht gestellt werden, wenn ein möglichst großer Teil der Samen vollständig gekeimt ist. Nach etwa zehn bis elf Tagen sind die Microgreens erntereif und weisen einen herben, leicht bitteren Geschmack auf.



BROKKOLI

Brassica oleracea var. *italica*



Schwierigkeitsgrad: leicht

Eignung für das Anzuchtset: sehr gut geeignet; insbesondere für den Einstieg

Aussaatmenge: 2,5 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: kleine, runde Samen

Einweichen: nein

Abdunkelungsphase: nicht erforderlich, etwa 3–4 Tage beziehungsweise bis zu einem gleichmäßigen Aufgang sind zu bevorzugen

Beginn der Keimung: nach etwa 2–3 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: schnelle und sehr gleichmäßige Keimung; anschließend sehr rasches Wachstum

Bewässerung: mäßig und nach Bedarf; Bewässerung durch Besprühen, auch von oben gut verträglich

Zeit bis zur Ernte: etwa 6–7 Tage unter den geprüften Kulturbedingungen

Erntehöhe: etwa 7 cm, abhängig vom gewählten Erntezeitpunkt

Geschmack: mild und leicht kohlsartig

Blätter und Stängel: grüne, rundliche bis leicht herzförmige Keimblätter mit hellen, schlanken Stängeln

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Brokkoli ist eine schnell und zuverlässig wachsende Microgreen-Kultur und eignet sich besonders gut für den Einstieg. Das Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen gleichmäßig auf dem Substrat verteilt und zunächst abgedeckt kultiviert. Die Keimung setzt nach etwa zwei bis drei Tagen ein; bereits nach sechs bis sieben Tagen sind die Pflanzen erntereif. Charakteristisch sind die hellen, schlanken Stängel, die grünen Keimblätter und der milde, leicht kohlsartige Geschmack.



KORIANDER

Coriandrum sativum



Schwierigkeitsgrad: anspruchsvoll

Eignung für das Anzuchtset: geeignet; vor allem für erfahrenere Anwenderinnen und Anwender sowie für längere Kultivierungszeiträume

Aussaatmenge: 4,5 g je Anzuchtschale

Saatguteigenschaften: relativ große, gerippte Samen beziehungsweise gesplittete Samenhälften; jede Hälfte enthält einen keimfähigen Samen

Einweichen: bei gesplittetem Saatgut nein

Abdunkelungsphase: etwa 7–9 Tage beziehungsweise bis deutlich sichtbare Keime ausgebildet sind

Beginn der Keimung: nach etwa 5–7 Tagen

Keim- und Wuchsverhalten: langsame und zunächst heterogene Keimung; auch der weitere Aufwuchs erfolgt deutlich langsamer

Bewässerung: gleichmäßig feucht halten und vorsichtig besprühen; Staunässe vermeiden

Zeit bis zur Ernte: erste Pflanzen nach etwa 14 Tagen; für einen gleichmäßigeren Bestand eher 14–21 Tage einplanen

Erntehöhe: etwa 4–5 cm

Geschmack: intensiv aromatisch, zitronig-pfeffrig und leicht scharf

Blätter und Stängel: zunächst längliche grüne Keimblätter an feinen hellgrünen Stängeln; später Bildung der typischen gelappten Korianderblätter

Wurzelbild: keine Wurzelhaare

Koriander ist eine vergleichsweise langsam und ungleichmäßig keimende Microgreen-Kultur. Gesplittetes Saatgut wird ohne vorheriges Einweichen in relativ hoher Dichte auf dem Substrat verteilt und für eine längere Keimphase abgedeckt.

Die ersten Keime zeigen sich nach etwa fünf bis sieben Tagen; erste Pflanzen können ungefähr zwei Wochen nach der Aussaat geerntet werden. Charakteristisch sind die länglichen Keimblätter und das intensive, zitronig-pfeffrige Korianderaroma.

