

AP 11 Projektbaustein: Technisches Anlagenkonzept

1. Einordnung und Zielsetzung des Projektbausteins „Technisches Anlagenkonzept“

Leitfrage:

Wie kann die im Projekt entwickelte Prozesskette zur Herstellung biobasierter Verpackungsschalen aus Luzerneheu in unterschiedliche betriebliche Strukturen integriert werden?

Der vorliegende Projektbaustein „Technisches Anlagenkonzept“ ist Bestandteil des abschließenden Arbeitspakets 11. Er dient dazu, die im Projekt entwickelten und untersuchten Einzelverfahren zu einer technisch nachvollziehbaren Gesamtprozesskette zusammenzuführen und deren Umsetzung unter unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen zu beschreiben. Während in den vorangegangenen Arbeitspaketen einzelne Prozessschritte, Werkstoffe und Produktanwendungen im Mittelpunkt standen, richtet sich der Fokus hier auf das Zusammenwirken der Teilprozesse innerhalb einer übertragbaren Herstellungstechnologie.

Die technischen Grundlagen wurden insbesondere im Arbeitspaket 2 zur Materialaufbereitung und Fraktionierung geschaffen. Dort wurde nachgewiesen, dass Luzerneheu mit vorhandener landwirtschaftlicher Technik schonend zerkleinert und anschließend in eine blattreiche Feinfraktion sowie eine faserreiche Grobfraktion getrennt werden kann. Darauf aufbauend wurden im Arbeitspaket 3 Produkt- und Designlösungen für Verpackungs- und Kultivierungsschalen entwickelt. In den weiteren Arbeitspaketen erfolgten die Ausarbeitung der Materialrezepturen, die Erprobung der Formpresstechnologie sowie die funktionale Untersuchung und Validierung der hergestellten Funktionsmuster und Demonstratorprodukte. Damit lagen zum Projektabschluss belastbare Erkenntnisse zu den wesentlichen technischen Bausteinen der Prozesskette vor.

Der Schwerpunkt dieses Projektbausteins liegt nicht auf der erneuten Entwicklung einzelner Prozessschritte oder auf der vollständigen konstruktiven Auslegung einer konkreten Produktionsanlage. Ziel ist vielmehr die Erarbeitung eines modularen technischen Systemkonzeptes, das aufzeigt, wie die im Projekt entwickelte Herstellungstechnologie in unterschiedliche landwirtschaftliche und gewerbliche Betriebsstrukturen integriert werden kann. Dabei werden verschiedene Rohstoffmengen, Betriebsgrößen, vorhandene technische Infrastrukturen, Automatisierungsgrade und Organisationsformen berücksichtigt.

Im Mittelpunkt steht die Verknüpfung der landwirtschaftlichen Rohstoffbereitstellung mit der schonenden Zerkleinerung, der Fraktionierung und den nachgelagerten produktspezifischen Verarbeitungswegen. Die Feinfraktion kann aufgrund ihres hohen Blatt- und Proteingehalts zu hochwertigen Luzernepellets verarbeitet werden. Die faserreiche Grobfraktion bildet dagegen den Ausgangswerkstoff für die Herstellung biobasierter Formpressteile, insbesondere von Verpackungs- und Kultivierungsschalen. Auf diese Weise ermöglicht die entwickelte Prozesskette eine weitgehende stoffliche Nutzung des eingesetzten Luzerneheus und verbindet mehrere Produktlinien innerhalb eines gemeinsamen technischen Systems.

Auf Grundlage dieser Prozessstruktur werden unterschiedliche betriebliche Umsetzungskonzepte entwickelt. Sie zeigen, wie die Herstellungstechnologie innerhalb eines landwirtschaftlichen Einzelbetriebes, in einer Kooperation mehrerer Betriebe oder durch die Integration in bestehende Verarbeitungsstrukturen umgesetzt werden kann. Die Konzepte unterscheiden sich dabei nicht in der grundlegenden Technologie, sondern vor allem hinsichtlich Anlagenkapazität, technischer Ausstattung, organisatorischer Zuständigkeiten und Verteilung der Wertschöpfung.

Das technische Anlagenkonzept bildet zugleich die fachliche Grundlage für die anschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Erst durch die systematische Beschreibung der erforderlichen Prozessmodule, Stoffströme und Betriebsmodelle können Investitionsbedarf, Betriebskosten, Auslastung und mögliche Erlöspotenziale der verschiedenen Umsetzungsvarianten nachvollziehbar bewertet werden. Der Projektbaustein schafft damit einen Orientierungsrahmen für die weitere praktische Umsetzung der entwickelten Herstellungstechnologie.

2. Technische Grundlagen der erzeugernahen Herstellungstechnologie

2.1 Technische Grundstruktur der Prozesskette

Leitfrage:

Welche technische Grundstruktur bildet die Basis der im Projekt entwickelten erzeugernahen Herstellungstechnologie?

Die Entwicklung einer erzeugernahen Herstellungstechnologie setzt zunächst ein grundlegendes Verständnis der technischen Prozesskette voraus. Während die vorangegangenen Projektbausteine einzelne Teilaspekte – von der landwirtschaftlichen Rohstoffbereitstellung über die Materialaufbereitung bis hin zur Entwicklung der Produkte – untersucht haben, werden diese Erkenntnisse im vorliegenden Kapitel erstmals zu einer durchgängigen technischen Gesamtprozesskette zusammengeführt. Ziel ist es, die wesentlichen technischen Zusammenhänge als Grundlage für das nachfolgend entwickelte Anlagenkonzept darzustellen.

Ausgangspunkt der Prozesskette ist Luzerneheu als nachwachsender Rohstoff. Durch eine mehrstufige Materialaufbereitung wird das Ausgangsmaterial zunächst in einen für die weitere Verarbeitung geeigneten Zustand überführt. Die anschließende Fraktionierung stellt den zentralen Prozessschritt der gesamten Herstellungstechnologie dar. Sie ermöglicht die Trennung des Materials in eine Fein- und eine Grobfraktion mit unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften und schafft damit die Grundlage für verschiedene Verwertungswege innerhalb derselben Prozesskette.

Die Feinfraktion zeichnet sich insbesondere durch ihren höheren Blattanteil sowie den daraus resultierenden erhöhten Proteingehalt aus und eignet sich für die Herstellung hochwertiger Proteinpellets. Die Grobfraktion weist dagegen einen höheren Faseranteil auf und bildet den Ausgangswerkstoff für die Herstellung biobasierter Formpressteile. Im Mittelpunkt des Projektes steht hierbei die Entwicklung biologisch abbaubarer Verpackungsschalen aus Luzerneheu. Darüber hinaus kann dieselbe Formpresstechnologie durch einen Werkzeugwechsel grundsätzlich auch zur Herstellung weiterer Formteile, beispielsweise von Kultivierungsschalen für Mikrogemüse, eingesetzt werden.

Gleichzeitig eröffnet die entwickelte Prozessstruktur eine hohe Flexibilität hinsichtlich der späteren betrieblichen Umsetzung. Abhängig von den jeweiligen Produktions- und Marktbedingungen kann die Grobfraktion vollständig oder anteilig der Formpressung zugeführt werden. Nicht für die Formpressung benötigte Materialanteile können alternativ zu proteinärmeren Pellets weiterverarbeitet werden. Dadurch wird eine möglichst vollständige stoffliche Nutzung des eingesetzten Rohstoffs ermöglicht, ohne den Schwerpunkt des Projektes – die Herstellung biobasierter Verpackungsschalen – zu verändern.

Abbildung 1 verdeutlicht den grundsätzlichen Aufbau der im Projekt entwickelten Herstellungstechnologie. Ausgehend vom Rohstoff Luzerneheu erfolgt zunächst die Materialaufbereitung mit anschließender Fraktionierung in eine Fein- und eine Grobfraktion. Die Feinfraktion dient als Ausgangsmaterial für die Herstellung hochwertiger Luzernepellets, während die Grobfraktion der Formpresstechnologie zur Herstellung biobasierter Verpackungsschalen und

Kultivierungsschalen aus Luzerneheu zugeführt wird. Die Abbildung bildet damit die technische Grundstruktur der im Projekt entwickelten Prozesskette und dient als Ausgangspunkt für die nachfolgend beschriebenen Betriebsmodelle.

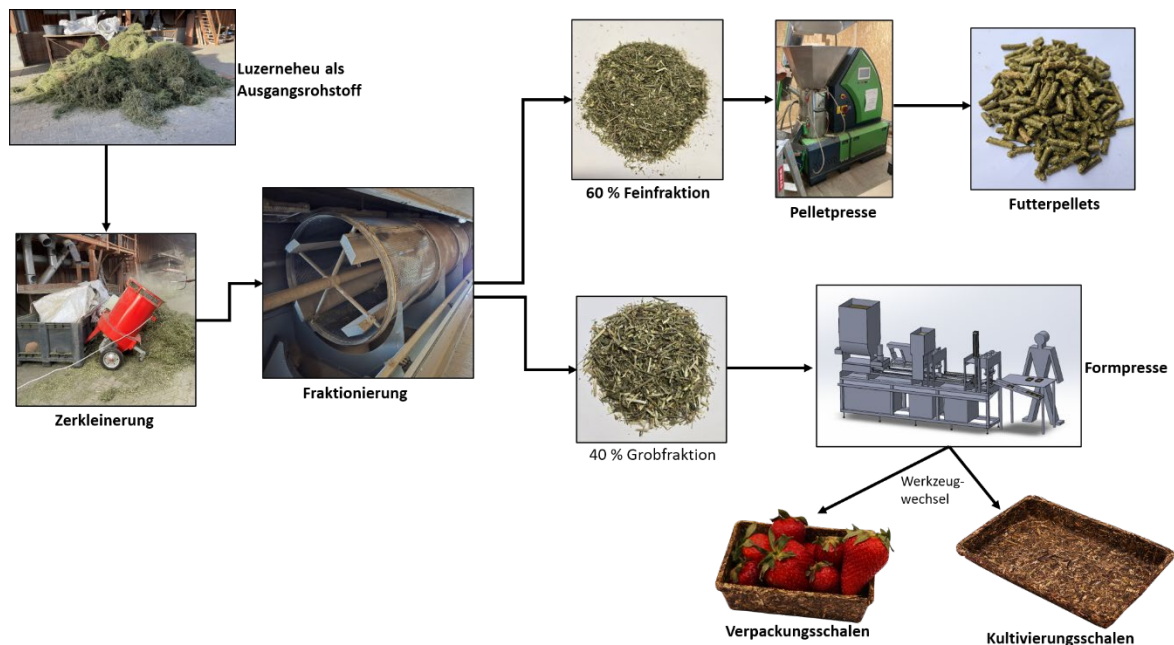


Abbildung 1: Grundlegende technische Prozess- und Stoffstromstruktur der entwickelten erzeugernahen Herstellungstechnologie.

Die folgenden Unterkapitel vertiefen die einzelnen Elemente dieser Prozesskette. Dabei werden ausschließlich diejenigen Erkenntnisse aus den vorangegangenen Projektbausteinen zusammengefasst, die für die Entwicklung des technischen Anlagenkonzeptes relevant sind. Detaillierte Versuchsbeschreibungen und experimentelle Ergebnisse werden nicht erneut dargestellt, sondern nur soweit aufgegriffen, wie sie zum Verständnis der Gesamtprozesskette erforderlich sind.

2.2 Anforderungen an den Rohstoff

Leitfrage:

Welche Anforderungen muss der eingesetzte Rohstoff erfüllen, um eine technisch stabile und reproduzierbare Verarbeitung innerhalb der entwickelten Prozesskette zu ermöglichen?

2.2.1 Luzerneheu als Ausgangsrohstoff

Die im Projekt entwickelte erzeugernahen Herstellungstechnologie basiert auf Luzerneheu als nachwachsendem Rohstoff. Die Wahl dieses Ausgangsmaterials erfolgte nicht ausschließlich aufgrund seiner pflanzenbaulichen Bedeutung, sondern insbesondere aufgrund seiner stofflichen Eigenschaften und seines Potenzials für eine mehrstufige stoffliche Nutzung. Im Gegensatz zu einer ausschließlichen energetischen oder futterbaulichen Verwertung ermöglicht Luzerneheu durch seine natürliche Materialstruktur die gezielte Auftrennung in unterschiedliche Stoffströme, die anschließend produktspezifisch weiterverarbeitet werden können. Diese Eigenschaft bildet eine wesentliche Grundlage des im Projekt entwickelten Gesamtkonzeptes.

Die detaillierte Betrachtung der landwirtschaftlichen Erzeugung, Bewirtschaftung sowie der pflanzenbaulichen Anforderungen erfolgt im Projektbaustein Landwirtschaft. Für das technische Anlagenkonzept stehen dagegen ausschließlich diejenigen Eigenschaften des Rohstoffes im

Vordergrund, welche die Auslegung der Prozesskette sowie die spätere Prozesssicherheit beeinflussen. Das vorliegende Kapitel fasst daher ausschließlich die für die technische Umsetzung relevanten Erkenntnisse zusammen und stellt die Verbindung zwischen der landwirtschaftlichen Rohstoffbereitstellung und der anschließenden technischen Verarbeitung her.

Luzerneheu besitzt einen ausgeprägten strukturellen Unterschied zwischen den blattreichen und stängelreichen Pflanzenbestandteilen. Während die Blätter einen hohen Anteil an Protein sowie weiteren wertgebenden Inhaltsstoffen aufweisen, zeichnen sich die Stängel durch ihren höheren Faseranteil und ihre größere strukturelle Festigkeit aus. Diese natürliche Differenzierung bildet die Grundlage der im Projekt entwickelten Fraktionierung. Ziel der Materialaufbereitung ist es nicht, die Pflanze vollständig zu zerkleinern, sondern die unterschiedlichen Pflanzenbestandteile so aufzubereiten, dass sie anschließend gezielt getrennt und den jeweils geeigneten Verwertungswegen zugeführt werden können.

Im Gegensatz zu vielen technischen Faserpflanzen erfolgt die stoffliche Trennung der verschiedenen Pflanzenbestandteile dabei nicht bereits während der Ernte, sondern innerhalb des nachgelagerten technischen Aufbereitungsprozesses. Dadurch bleibt die landwirtschaftliche Produktion zunächst unabhängig von der späteren Produktnutzung. Erst die technische Prozesskette entscheidet über die stoffliche Aufteilung des Rohstoffes sowie dessen weitere Verwendung. Dieses Prinzip stellt einen wesentlichen Bestandteil der entwickelten erzeugernahen Herstellungstechnologie dar und ermöglicht eine hohe Flexibilität hinsichtlich unterschiedlicher Produktpfade.

Gleichzeitig unterliegt Luzerneheu als landwirtschaftlicher Rohstoff natürlichen Schwankungen. Erntezeitpunkt, Witterungsverlauf, Trocknungsverfahren, Lagerbedingungen sowie Blattverluste während Ernte und Transport beeinflussen sowohl die stoffliche Zusammensetzung als auch die physikalischen Eigenschaften des Materials. Im Rahmen des Projektes wurde daher bewusst darauf verzichtet, die Prozesskette ausschließlich auf idealisierte Rohstoffqualitäten auszulegen. Vielmehr verfolgt das Anlagenkonzept das Ziel, unter praxisüblichen Bedingungen eine stabile und reproduzierbare Verarbeitung zu ermöglichen und natürliche Qualitätsschwankungen innerhalb definierter Grenzen auszugleichen.

Die Untersuchungen des Projektbausteins Landwirtschaft zeigen darüber hinaus, dass sich je nach Bewirtschaftung und Nutzung unterschiedliche Rohstoffqualitäten ergeben können. Gleichzeitig wurde deutlich, dass auch struktureichere beziehungsweise futterbaulich weniger hochwertige Aufwüchse nach entsprechender Trocknung grundsätzlich für eine stoffliche Nutzung geeignet sind. Damit eröffnet die entwickelte Herstellungstechnologie zusätzliche Verwertungsmöglichkeiten für Luzerneheu, ohne die hochwertige Nutzung als Futtermittel grundsätzlich in Frage zu stellen. Vielmehr ergänzt die technische Nutzung bestehende landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten um einen weiteren Absatzweg und trägt damit zu einer erweiterten Nutzung des erzeugten Rohstoffes bei.

2.2.2 Technische Anforderungen an den Rohstoff

Aus den beschriebenen Rohstoffeigenschaften ergeben sich mehrere Anforderungen an die technische Prozesskette. Für eine reproduzierbare Verarbeitung ist es erforderlich, dass der eingesetzte Rohstoff innerhalb definierter Qualitätsgrenzen bereitgestellt wird. Dabei stehen insbesondere der Feuchtegehalt, die Lagerfähigkeit, die Homogenität des Materials sowie ein möglichst geringer Fremdstoffanteil im Vordergrund. Diese Eigenschaften beeinflussen sämtliche nachfolgenden Prozessschritte und wirken sich unmittelbar auf die Prozessstabilität sowie die Qualität der erzeugten Produkte aus.

Eine ausreichende Trocknung des Luzerneheus bildet die Grundvoraussetzung für eine sichere Lagerung und eine kontinuierliche Weiterverarbeitung. Neben der Vermeidung mikrobieller Veränderungen beeinflusst der Wassergehalt insbesondere die Materialeigenschaften während der Aufbereitung. Stark schwankende Feuchtegehalte können sowohl die Zerkleinerung als auch die anschließende Fraktionierung erschweren und führen zu einer geringeren Reproduzierbarkeit der Stoffströme. Für die Auslegung des Anlagenkonzeptes ergibt sich daraus die Anforderung, den Rohstoff in einem definierten Feuchtebereich der Prozesskette zuzuführen.

Neben dem Feuchtegehalt besitzt die Homogenität des Materials eine hohe Bedeutung. Unterschiede hinsichtlich Struktur, Partikelgröße oder Blatt-Stängel-Verhältnis lassen sich im landwirtschaftlichen Betrieb nicht vollständig vermeiden. Das Anlagenkonzept muss deshalb in der Lage sein, übliche Schwankungen der Rohstoffqualität auszugleichen und dennoch eine gleichmäßige Beschickung der einzelnen Prozessmodule sicherzustellen. Ziel ist nicht die Verarbeitung eines normierten Industrierohstoffes, sondern eines nachwachsenden Naturmaterials, dessen Eigenschaften innerhalb praxisüblicher Grenzen variieren.

Ein weiterer Einflussfaktor ist der Eintrag von Fremdstoffen. Mineralische Bestandteile, Steine oder metallische Fremdkörper können die Funktionssicherheit der Aufbereitung beeinträchtigen und den Verschleiß technischer Komponenten erhöhen. Für das Anlagenkonzept ergibt sich daraus die grundsätzliche Anforderung, geeignete Vorreinigungsschritte in die Prozesskette zu integrieren. Die Entwicklung und Untersuchung entsprechender Verfahren erfolgte im Projektbaustein Materialaufbereitung und Fraktionierung. Im vorliegenden Projektbaustein werden diese nicht erneut beschrieben, sondern als technische Voraussetzung für eine robuste Anlagenkonzeption berücksichtigt.

Darüber hinaus muss die Prozesskette unterschiedliche Formen der Rohstoffbereitstellung verarbeiten können. Landwirtschaftliche Betriebe verfügen je nach Betriebsstruktur über unterschiedliche Ernte-, Lager- und Bereitstellungssysteme. Die entwickelte Herstellungstechnologie verfolgt daher bewusst keinen auf eine einzelne Bereitstellungsform optimierten Ansatz, sondern sieht robuste und anpassungsfähige Prozessmodule vor, die verschiedene betriebliche Ausgangssituationen berücksichtigen können. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Rohstoffbereitstellung werden im nachfolgenden Kapitel näher erläutert.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Untersuchungen der vorangegangenen Projektbausteine, dass die Leistungsfähigkeit der gesamten Prozesskette wesentlich durch die Qualität des eingesetzten Rohstoffes bestimmt wird. Gleichzeitig zeigt das Projekt, dass nicht ausschließlich hochwertige Futterqualitäten für eine stoffliche Nutzung geeignet sind. Entscheidend ist vielmehr eine an die jeweiligen Rohstoffeigenschaften angepasste technische Prozessführung. Daraus leitet sich eine der zentralen Anforderungen an das entwickelte Anlagenkonzept ab: Die Prozesskette muss ausreichend robust ausgelegt sein, um natürliche Schwankungen der Rohstoffqualität auszugleichen und gleichzeitig reproduzierbare Stoffströme für die anschließende Fraktionierung, Pelletierung und Formpressung bereitzustellen.

Die beschriebenen Anforderungen bilden die Grundlage für die nachfolgend erläuterte Rohstoffbereitstellung. Diese entscheidet darüber, in welcher Form das Luzerneheu der technischen Prozesskette zugeführt wird und welche Anforderungen sich daraus für Materiallogistik, Aufbereitung und Anlagenkonzeption ergeben.

2.2.3 Technische Konsequenzen für die Anlagenauslegung

Die beschriebenen Materialeigenschaften bilden die Grundlage für die Auslegung sämtlicher nachfolgender Prozessschritte der Herstellungstechnologie. Während sich die landwirtschaftliche

Ernte an pflanzenbaulichen und witterungsbedingten Rahmenbedingungen orientiert, muss die technische Prozesskette mit den dadurch entstehenden Materialeigenschaften zuverlässig umgehen können. Ziel ist daher nicht die Erzeugung eines vollständig homogenen Rohstoffes, sondern die Entwicklung einer robusten Prozesskette, welche typische Schwankungen hinsichtlich Partikelgrößenverteilung, Blatt-Stängel-Verhältnis sowie Materialstruktur ausgleichen kann.

Aus den Rohstoffeigenschaften ergeben sich insbesondere Anforderungen an die Zerkleinerung, Fraktionierung sowie die innerbetriebliche Fördertechnik. Die Zerkleinerung muss ausreichend intensiv erfolgen, um ein reproduzierbares Partikelspektrum zu erzeugen, gleichzeitig jedoch die strukturwirksamen Faseranteile der späteren Grobfraction möglichst erhalten. Die anschließende Fraktionierung übernimmt die eigentliche stoffliche Trennung der beiden Zielströme und stellt damit einen zentralen Prozessschritt der gesamten Herstellungstechnologie dar. Die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den natürlichen Eigenschaften des Luzerneheus und den daraus entstehenden Anforderungen an die technische Prozesskette sind in Abbildung 2 zusammengefasst.

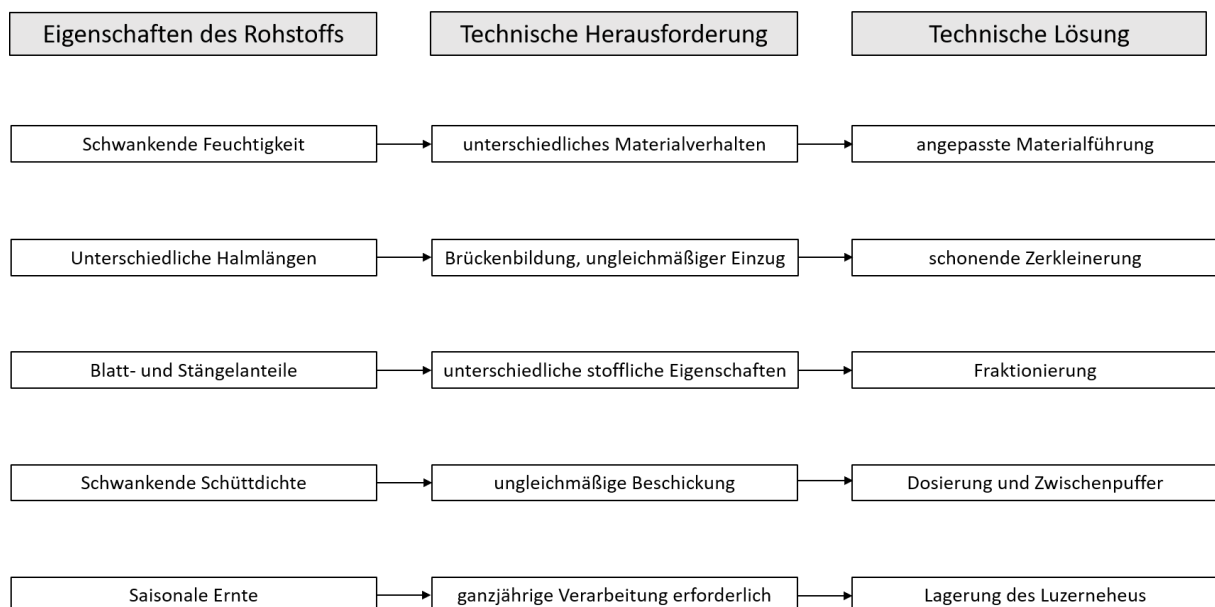


Abbildung 2: Einfluss der Rohstoffeigenschaften auf die Auslegung der technischen Prozesskette

Abbildung 2 verdeutlicht, dass die technischen Anforderungen der Prozesskette unmittelbar aus den strukturellen und stofflichen Eigenschaften des Luzerneheus hervorgehen. Die hohe Strukturvariabilität des Naturmaterials erfordert eine robuste Prozessführung, während die unterschiedlichen Eigenschaften von Blatt- und Stängelbestandteilen gezielt für die spätere Fraktionierung und produktspezifische Nutzung erhalten werden müssen.

Auch für die Materialförderung ergeben sich spezifische Anforderungen. Unzerkleinertes Luzerneheu besitzt aufgrund seiner langen und elastischen Pflanzenbestandteile ein ausgeprägtes Verhakungs- und Brückenbildungspotenzial. Erst nach der Zerkleinerung entsteht ein deutlich homogeneres Schüttgut, welches sich mit konventioneller Fördertechnik einfacher transportieren und dosieren lässt. Diese Unterschiede wurden bei der Entwicklung der Prozesskette berücksichtigt und beeinflussen die Auswahl geeigneter Förder- und Dosiersysteme.

Darüber hinaus bestimmen die Materialeigenschaften die Anforderungen an die spätere Formpresstechnologie. Während die Feinfraktion aufgrund ihres hohen Blattanteils bevorzugt der Pelletierung zugeführt wird, bildet die strukturreiche Grobfraction die Grundlage für die Herstellung biologisch abbaubarer Formpressteile. Die im Projekt entwickelte Prozesskette nutzt diese

pflanzenphysiologischen Unterschiede gezielt aus und überführt sie in zwei voneinander unabhängige stoffliche Nutzungspfade.

Die aus den Rohstoffeigenschaften abgeleiteten Anforderungen werden in Tabelle 1 den jeweils besonders betroffenen Prozessmodulen zugeordnet. Dadurch wird deutlich, an welchen Stellen der Prozesskette die natürlichen Eigenschaften des Luzerneheus bei der technischen Auslegung besonders berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 1: Ausgewählte Rohstoffeigenschaften und daraus abgeleitete technische Anforderungen

Rohstoffeigenschaft	Technische Anforderung	Relevante Prozessmodule
Hoher Faseranteil der Stängel	Schonende Zerkleinerung mit Erhalt strukturwirksamer Fasern	Materialaufbereitung, Fraktionierung
Hoher Blattanteil	Reproduzierbare Abtrennung der Feinfraktion	Fraktionierung, Pelletierung
Lange Pflanzenbestandteile	Vermeidung von Brückenbildung und Materialverhakungen	Materialbereitstellung, Fördertechnik
Schwankende Partikelgrößen	Ausreichende Prozessstabilität und reproduzierbare Stoffströme	Zerkleinerung, Fraktionierung
Natürliche Rohstoffschwankungen	Robuste Auslegung der Prozesskette	Gesamte Herstellungstechnologie

Die Gegenüberstellung zeigt, dass insbesondere die Materialaufbereitung, Fraktionierung und Fördertechnik aufeinander abgestimmt werden müssen. Ziel ist dabei nicht die vollständige Vereinheitlichung des Naturmaterials, sondern eine ausreichend robuste Prozessführung, die typische Schwankungen der Rohstoffqualität ausgleicht und reproduzierbare Stoffströme für die nachgelagerten Verarbeitungswege bereitstellt.

2.3 Rohstoffbereitstellung

Leitfrage:

Wie kann Luzerneheu unter unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen für die technische Verarbeitung bereitgestellt werden und welche Auswirkungen ergeben sich daraus für das Anlagenkonzept?

2.3.1 Formen der Rohstoffbereitstellung

Die Art der Rohstoffbereitstellung stellt eine wesentliche Schnittstelle zwischen der landwirtschaftlichen Erzeugung und der technischen Weiterverarbeitung dar. Während im Projektbaustein Landwirtschaft die Erzeugung, Ernte und Konservierung des Luzerneheus ausführlich betrachtet werden, liegt der Schwerpunkt des vorliegenden Abschnittes auf der Frage, in welcher Form das Material der technischen Prozesskette zur Verfügung gestellt werden kann und welche Anforderungen sich daraus für das Anlagenkonzept ergeben.

Grundsätzlich kann Luzerneheu in unterschiedlichen Bereitstellungsformen der Verarbeitung zugeführt werden. In der landwirtschaftlichen Praxis haben sich insbesondere Rundballen, Quaderballen sowie lose gelagertes Heu etabliert. Welche Form vorliegt, hängt maßgeblich von der betrieblichen Ausstattung, den eingesetzten Ernteverfahren sowie den vorhandenen

Lagerkapazitäten ab. Eine einheitliche Bereitstellungsform kann daher für eine erzeugernahe Herstellungstechnologie nicht vorausgesetzt werden. Beispiele für die unterschiedlichen Formen der Bereitstellung und Lagerung des Luzerneheus im landwirtschaftlichen Betrieb zeigt Abbildung 3



Abbildung 3: Bereitstellung und Lagerung von Luzerneheu bei Vorwerk Podemus als loses Heu und in Ballenform

Für das Anlagenkonzept ergibt sich daraus die grundsätzliche Anforderung, unterschiedliche Materialformen verarbeiten zu können. Das Ziel besteht nicht darin, landwirtschaftliche Betriebe an eine bestimmte Ernte- oder Lagertechnik anzupassen, sondern die technische Prozesskette so auszulegen, dass sie sich in bestehende betriebliche Abläufe integrieren lässt. Dadurch wird der Investitionsbedarf reduziert und vorhandene technische Infrastrukturen können weiterhin genutzt werden.

Die Art der Rohstoffbereitstellung wird bereits durch die vorgelagerten Ernte- und Konservierungsverfahren wesentlich beeinflusst. Schnitttechnik, Trocknungsverfahren sowie die anschließende Bergung bestimmen maßgeblich die Struktur des bereitgestellten Materials und wirken sich damit unmittelbar auf die nachfolgenden technischen Prozessschritte aus. Insbesondere Blattverluste, Verschmutzungen sowie Unterschiede hinsichtlich Ballendichte und Materiallockerung beeinflussen die Eigenschaften des später zu verarbeitenden Rohstoffes.

Für die im Projekt entwickelte Herstellungstechnologie besitzt dabei insbesondere der Erhalt eines möglichst hohen Blattanteils eine besondere Bedeutung. Da die Blattbestandteile den überwiegenden Anteil der späteren Feinfraktion bilden, wirken sich Blattverluste nicht nur auf die Rohstoffqualität, sondern unmittelbar auf die spätere Stoffstromzusammensetzung und damit auf die Ausbeute hochwertiger Proteinpellets aus. Gleichzeitig erhöhen Bodenanhaftungen oder mineralische Verunreinigungen den Verschleiß nachfolgender Aggregate und können die Prozesssicherheit beeinträchtigen.

Das Anlagenkonzept verfolgt daher bewusst den Ansatz, vorhandene landwirtschaftliche Ernteverfahren weiterhin nutzen zu können, gleichzeitig jedoch deren typische materialbedingte Schwankungen innerhalb der technischen Prozesskette auszugleichen. Die Materialaufbereitung übernimmt hierbei eine ausgleichende Funktion zwischen landwirtschaftlicher Rohstoffherzeugung und industriell orientierter Weiterverarbeitung.

Neben der eigentlichen Bereitstellungsform beeinflussen auch Ballendichte, Materiallockerung und Schüttverhalten die spätere Prozessführung. Diese Eigenschaften bestimmen insbesondere die Anforderungen an die Materialentnahme, die kontinuierliche Beschickung der Aufbereitung sowie die Dimensionierung möglicher Zwischenlager. Bereits an dieser Stelle zeigt sich, dass die Rohstoffbereitstellung nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern einen wesentlichen Einfluss auf die Auslegung der gesamten Prozesskette besitzt.

2.3.2 Trocknung und Lagerung als Voraussetzung der technischen Verarbeitung

Eine sichere und reproduzierbare Verarbeitung setzt voraus, dass das Luzerneheu nach der Ernte dauerhaft lagerfähig konserviert wird. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Trocknung und Lagerung wurden im Projektbaustein Landwirtschaft ausführlich untersucht. Für das technische Anlagenkonzept sind daraus insbesondere die Auswirkungen auf die Materialqualität sowie die spätere Prozessführung von Bedeutung.

Grundsätzlich kann Luzerneheu sowohl bodengetrocknet als auch mittels Hallentrocknung konserviert werden. Beide Verfahren ermöglichen bei fachgerechter Durchführung eine lagerfähige Konservierung des Materials, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Prozesssicherheit sowie der Gleichmäßigkeit der späteren Rohstoffqualität. Während die Hallentrocknung eine gezielte Steuerung des Trocknungsprozesses erlaubt und dadurch häufig zu einer gleichmäßigeren Restfeuchte führt, ist die Bodentrocknung stärker von den jeweiligen Witterungsbedingungen abhängig.

Für das Anlagenkonzept ergibt sich daraus jedoch keine Bevorzugung eines bestimmten Trocknungsverfahrens. Vielmehr muss die technische Prozesskette in der Lage sein, Rohstoffe aus unterschiedlichen Trocknungssystemen sicher zu verarbeiten. Entscheidend ist nicht die konkrete Art der Konservierung, sondern die Einhaltung der für eine sichere Lagerung und Weiterverarbeitung erforderlichen Materialeigenschaften. Gleichzeitig verdeutlichen die Untersuchungen, dass eine schonende Trocknung zum Erhalt der Materialstruktur beiträgt und damit günstige Voraussetzungen für die nachfolgende Aufbereitung und Fraktionierung schafft.

Auch die Lagerung besitzt einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Materialqualität. Ziel ist es, den Rohstoff über längere Zeiträume ohne nennenswerte Qualitätsverluste bereitzustellen und dadurch eine zeitliche Entkopplung zwischen Ernte und Verarbeitung zu ermöglichen. Erst diese Entkopplung erlaubt eine kontinuierliche Auslastung der technischen Prozesskette unabhängig von den saisonalen Erntezeiträumen.

Tabelle 2: Technische Anforderungen an die Rohstoffbereitstellung und Konservierung

Prozessschritt	Technische Zielsetzung	Auswirkungen auf die nachgelagerte Prozesskette
Mähen	Schonender Schnitt mit möglichst geringen Blattverlusten	Erhalt hochwertiger Blattanteile als Ausgangsmaterial der Feinfraktion
Zetten	Gleichmäßige und schonende Feldtrocknung	Reduzierung der Restfeuchte bei möglichst geringer mechanischer Belastung
Schwaden	Zusammenführung des Erntegutes	Vorbereitung einer verlustarmen Bergung
Bergen	Schonende Aufnahme und Transport	Begrenzung von Blattverlusten und Schmutzeintrag
Lagerung	Trockene und belüftete Lagerung	Sicherung einer konstanten Rohstoffqualität und ganzjährigen Anlagenbeschickung

Tabelle 2 verdeutlicht, dass bereits die einzelnen Arbeitsschritte der Rohstoffbereitstellung unmittelbar die spätere technische Verarbeitung beeinflussen. Ziel der vorgelagerten Arbeitsschritte

ist die Bereitstellung eines ausreichend trockenen, lagerfähigen und möglichst fremdstoffarmen Rohstoffes, der anschließend unmittelbar der vorgesehenen Materialaufbereitung zugeführt werden kann. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Anforderungen der späteren Herstellungstechnologie bereits während der landwirtschaftlichen Primärproduktion berücksichtigt werden sollten, um Blattverluste, Verschmutzungen sowie unnötige Qualitätsverluste möglichst gering zu halten.

2.3.3 Anforderungen an Materialfluss und innerbetriebliche Logistik

Neben der Qualität des Rohstoffes beeinflusst insbesondere dessen innerbetriebliche Bereitstellung die spätere Anlagenkonzeption. Die technische Verarbeitung beginnt nicht erst mit der Zerkleinerung des Materials, sondern bereits mit dessen Annahme, Zwischenlagerung und kontinuierlicher Zuführung zu den einzelnen Prozessschritten.

Je nach Betriebsgröße und Bereitstellungsform unterscheiden sich sowohl die Transportwege als auch die erforderlichen Umschlagprozesse erheblich. Während kleinere Betriebe häufig mit bestehenden landwirtschaftlichen Lade- und Transporttechniken arbeiten können, ergeben sich bei größeren Materialmengen höhere Anforderungen an innerbetriebliche Förder- und Puffersysteme. Das Anlagenkonzept verfolgt deshalb einen modularen Ansatz, bei dem sich die eigentliche Verarbeitungstechnologie an unterschiedliche Formen der Materialbereitstellung anpassen lässt.

Von besonderer Bedeutung ist dabei eine möglichst gleichmäßige Materialzuführung. Schwankungen im Materialstrom können sich auf sämtliche nachfolgenden Prozessschritte auswirken und sowohl die Aufbereitung als auch die Fraktionierung und die anschließende Produktqualität beeinflussen. Eine geeignete Materiallogistik bildet daher eine wesentliche Voraussetzung für einen stabilen Anlagenbetrieb.

Gleichzeitig zeigte sich im Projekt, dass die Rohstoffbereitstellung in hohem Maße von den individuellen Gegebenheiten des jeweiligen Betriebes abhängt. Einheitliche Lösungen lassen sich daher nur eingeschränkt ableiten. Stattdessen verfolgt das entwickelte Anlagenkonzept bewusst einen offenen Ansatz, der unterschiedliche betriebliche Ausgangssituationen berücksichtigt und vorhandene Infrastrukturen möglichst weitgehend einbindet.

Technische Umsetzungsmöglichkeiten der Materialbereitstellung

Die konkrete technische Umsetzung der Materialbereitstellung kann in Abhängigkeit von Betriebsgröße, Automatisierungsgrad und vorhandener Infrastruktur unterschiedlich erfolgen. Entscheidend ist weniger die Auswahl einzelner Maschinenfabrikate als vielmehr die zuverlässige Erfüllung der jeweiligen Prozessfunktion. Ziel ist eine kontinuierliche, möglichst störungsfreie Beschickung der nachfolgenden Materialaufbereitung bei gleichzeitig geringem Personalaufwand und möglichst einfacher Integration in bestehende landwirtschaftliche Arbeitsabläufe.

Die im Projekt betrachteten Prozessschritte lassen sich mit unterschiedlichen technischen Lösungen realisieren. Dabei eignen sich insbesondere Maschinen und Fördersysteme, welche bereits im landwirtschaftlichen Umfeld etabliert sind und sich mit vertretbarem Aufwand in eine stationäre Prozesskette integrieren lassen.

Tabelle 3: Beispiele technischer Umsetzungsmöglichkeiten der Materialbereitstellung

Prozessfunktion	Geeignete technische Lösungen	Technische Einordnung
Ballenauflösung	Stationärer Ballenauflöser, Heukran mit Dosierfunktion	Gleichmäßige Materiallockerung vor der weiteren Verarbeitung
Materialpufferung	Vorratsbunker, stationärer Ladewagen	Entkopplung diskontinuierlicher Materialanlieferung von kontinuierlicher Anlagenbeschickung
Materialdosierung	Kratzbodenförderer, Dosierwalzen	Gleichmäßige Beschickung der Materialaufbereitung
Materialförderung	Förderband, Becherwerk	Schonender Transport strukturreicher Materialien
Förderung zerkleinerter Fraktionen	Schneckenförderer, pneumatische Förderung	Geeignet nach erfolgter Zerkleinerung und Homogenisierung

Tabelle 3 zeigt beispielhafte technische Lösungen für die einzelnen Prozessfunktionen der Materialbereitstellung. Die Auswahl geeigneter Aggregate richtet sich dabei insbesondere nach der Bereitstellungsform des Rohstoffes, seinen Materialeigenschaften, dem erforderlichen Durchsatz und dem angestrebten Automatisierungsgrad. Während Ballen zunächst schonend aufgelöst und dosiert werden müssen, lassen sich die nach der Zerkleinerung entstehenden homogenen Materialströme mit konventioneller Fördertechnik deutlich einfacher transportieren.

Im Rahmen des Projektes wurde bewusst auf technische Lösungen zurückgegriffen, welche bereits im landwirtschaftlichen Umfeld verfügbar sind und sich ohne grundlegende konstruktive Änderungen in eine stationäre Prozesskette integrieren lassen. Dadurch reduziert sich der Investitionsbedarf, gleichzeitig bleibt die entwickelte Herstellungstechnologie offen für alternative Maschinenkombinationen und unterschiedliche Betriebsgrößen.

2.3.4 Ableitungen für das technische Anlagenkonzept

Aus den Untersuchungen zur Rohstoffbereitstellung ergeben sich mehrere grundlegende Anforderungen an die Auslegung einer erzeugernahen Herstellungstechnologie. Die Prozesskette muss zunächst unterschiedliche Formen der Rohstoffbereitstellung verarbeiten können, ohne dass hierfür umfangreiche Anpassungen der landwirtschaftlichen Ernte- oder Lagertechnik erforderlich werden. Gleichzeitig ist eine ausreichende Flexibilität hinsichtlich saisonaler Materialverfügbarkeit sowie unterschiedlicher Betriebsgrößen erforderlich.

Darüber hinaus wird deutlich, dass die Rohstoffbereitstellung einen wesentlichen Einfluss auf die gesamte Anlagenkonzeption besitzt. Materiallogistik, Zwischenlagerung und kontinuierliche Beschickung sind keine nachgelagerten Hilfsprozesse, sondern integrale Bestandteile einer funktionsfähigen Prozesskette. Bereits in der frühen Planungsphase müssen diese Prozessschritte berücksichtigt werden, um einen störungsarmen Betrieb sicherzustellen.

Die gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen außerdem, dass sich keine allgemein gültige Bereitstellungsstrategie ableiten lässt. Vielmehr unterscheiden sich landwirtschaftliche Betriebe hinsichtlich Ernteverfahren, Lagertechnik und Materiallogistik teilweise erheblich. Diese Heterogenität bildet eine der wesentlichen Grundlagen für die im weiteren Verlauf entwickelten Betriebsmodelle und bestätigt den modularen Aufbau des Anlagenkonzeptes.

Ein wesentlicher Vorteil des Konzeptes besteht darin, dass die Rohstoffbereitstellung auf etablierten Verfahren der Heuwerbung, Trocknung und Lagerung aufbauen kann. Speziell für die technische Nutzung entwickelte Erntesysteme sind nicht erforderlich. Dadurch können vorhandene landwirtschaftliche Infrastrukturen eingebunden, zusätzliche Investitionen begrenzt und unterschiedliche Betriebsstrukturen berücksichtigt werden.

Für die nachfolgenden Prozessschritte ergibt sich daraus die Anforderung, die Materialaufbereitung an unterschiedliche Bereitstellungsformen und praxisübliche Schwankungen der Rohstoffstruktur anzupassen. Durch eine gleichmäßige Beschickung und eine schonende Zerkleinerung wird ein reproduzierbarer Materialstrom erzeugt, der anschließend fraktioniert und den produktspezifischen Verarbeitungswegen zugeführt werden kann.

Die wesentlichen Bereitstellungsformen und die daraus resultierenden Anforderungen an die technische Übergabe des Rohstoffes sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Vergleich unterschiedlicher Bereitstellungsformen von Luzerneheu und deren Auswirkungen auf das technische Anlagenkonzept

Bereitstellungsform	Typische betriebliche Anwendung	Vorteile für die technische Verarbeitung	Anforderungen an das Anlagenkonzept
Rundballen	Häufig in Futterbau- und Gemischtbetrieben	weite Verbreitung, einfache Lagerung	Entballung und kontinuierliche Materialzuführung
Quaderballen	Größere Futterbau- und Marktfruchtbetriebe	hohe Lager- und Transportdichte	angepasste Beschickungs- und Fördertechnik
Loses Hallenheu	Betriebe mit Hallentrocknung	kontinuierliche Materialentnahme möglich	geeignete Lager- und Austragstechnik

Die Gegenüberstellung zeigt, dass sämtliche Bereitstellungsformen grundsätzlich in die entwickelte Prozesskette integriert werden können. Unterschiede ergeben sich vor allem bei der Materialentnahme, der Auflösung verdichteter Ballen und der kontinuierlichen Beschickung. Die eigentliche Materialaufbereitung und Fraktionierung bleiben davon in ihrer grundlegenden Funktion unberührt.

Die Rohstoffbereitstellung bildet damit die Schnittstelle zwischen landwirtschaftlicher Produktion und technischer Verarbeitung. Aufbauend auf diesen Rahmenbedingungen wird im folgenden Abschnitt die Materialaufbereitung betrachtet. Sie übernimmt die Aufgabe, den bereitgestellten Rohstoff in einen definierten Ausgangszustand zu überführen und bildet damit die Voraussetzung für die anschließende Fraktionierung der unterschiedlichen Stoffströme.

2.4 Materialaufbereitung

Leitfrage:

Welche Erkenntnisse aus der Entwicklung der Materialaufbereitung sind für die Auslegung der erzeugernahen Herstellungstechnologie von Bedeutung?

2.4.1 Zielsetzung der Materialaufbereitung

Die Entwicklung und experimentelle Untersuchung der Materialaufbereitung wurde im Projektbaustein Materialaufbereitung und Fraktionierung (AP2) ausführlich dokumentiert. Dort

standen insbesondere die Entwicklung geeigneter Verfahrensschritte, die Untersuchung verschiedener Aufbereitungsvarianten sowie die Ermittlung geeigneter Prozessparameter im Vordergrund. Im vorliegenden Projektbaustein werden daher ausschließlich diejenigen Erkenntnisse zusammengefasst, die für die Entwicklung des technischen Anlagenkonzeptes von Bedeutung sind.

Die Materialaufbereitung übernimmt innerhalb der entwickelten Prozesskette eine zentrale Funktion. Sie bildet die Schnittstelle zwischen der landwirtschaftlichen Rohstoffbereitstellung und der nachfolgenden stofflichen Fraktionierung. Ziel ist es, den bereitgestellten Rohstoff in einen definierten Ausgangszustand zu überführen und dadurch die Voraussetzungen für eine reproduzierbare Trennung der unterschiedlichen Pflanzenbestandteile zu schaffen.

Dabei steht nicht die möglichst intensive Zerkleinerung des Materials im Vordergrund, sondern eine materialschonende Aufbereitung. Die natürliche Differenzierung zwischen Blatt- und Stängelbestandteilen soll möglichst erhalten bleiben, da sie die Grundlage der späteren Fraktionierung bildet. Gleichzeitig muss das Material in einen Zustand überführt werden, der eine kontinuierliche Förderung sowie eine gleichmäßige Beschickung der nachfolgenden Prozessschritte ermöglicht.

Die Materialaufbereitung erfüllt damit mehrere miteinander verknüpfte Aufgaben. Neben der schonenden Zerkleinerung des Luzerneheus dient sie der Herstellung eines gleichmäßigen und reproduzierbaren Materialstromes sowie der Vorbereitung der anschließenden Fraktionierung. Sie stellt damit einen wesentlichen Baustein der gesamten Herstellungstechnologie dar.

Die Materialaufbereitung übernimmt innerhalb der Herstellungstechnologie eine zentrale Schnittstellenfunktion zwischen der landwirtschaftlichen Rohstoffbereitstellung und der Fraktionierung. Dabei erfolgt keine vollständige Standardisierung des Naturmaterials. Vielmehr werden Materialverdichtungen aufgelöst und stark schwankende Ausgangsstrukturen durch eine kontrollierte Zerkleinerung in einen ausreichend gleichmäßigen Materialstrom überführt. Gleichzeitig müssen die Unterschiede zwischen Blatt- und Stängelbestandteilen sowie insbesondere die strukturwirksamen Faseranteile der späteren Grobfraktion erhalten bleiben.

2.4.2 Aufbau der Materialaufbereitung

Aus den im Projekt durchgeführten Untersuchungen ergab sich eine mehrstufige Materialaufbereitung, deren grundsätzlicher Aufbau in Abbildung 4 dargestellt ist. Die einzelnen Prozessschritte bauen aufeinander auf und verfolgen jeweils eine klar definierte Funktion innerhalb der Gesamtprozesskette.

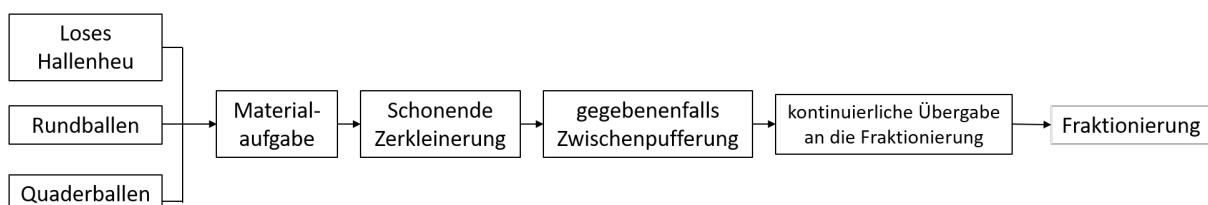


Abbildung 4: Prozessschritte der Materialaufbereitung zur Vorbereitung einer gleichmäßigen Fraktionierung

Die Materialaufbereitung beginnt mit der Übernahme des bereitgestellten Luzerneheus. Abhängig von der Bereitstellungsform erfolgt zunächst eine Materialvereinzelung beziehungsweise eine kontinuierliche Aufgabe des Rohstoffes. Ziel dieses Prozessschrittes ist die Auflösung verdichteter

Materialstrukturen und die Erzeugung eines möglichst gleichmäßigen Materialstromes für die nachfolgende Zerkleinerung.

Im Anschluss erfolgt die schonende Zerkleinerung des Luzerneheus. Ziel ist es, verdichtete und langfaserige Materialstrukturen soweit aufzuschließen, dass ein gleichmäßiger Materialstrom für die nachfolgende Fraktionierung entsteht. Dabei soll keine vollständige Vermahlung erfolgen. Vielmehr müssen die charakteristischen Unterschiede zwischen Blatt- und Stängelbestandteilen erhalten bleiben, damit diese anschließend möglichst reproduzierbar voneinander getrennt werden können.

Je nach Anlagenkonfiguration kann vor der Fraktionierung eine Zwischenpufferung mit anschließender Dosierung vorgesehen werden. Diese gleicht kurzfristige Schwankungen des Materialstromes aus und unterstützt eine kontinuierliche Beschickung der Fraktionierung. Insbesondere bei höheren Durchsatzleistungen kann dadurch eine funktionale Entkopplung von Zerkleinerung und Fraktionierung erreicht werden.

Die detaillierte technische Ausgestaltung der einzelnen Aggregate ist abhängig von der jeweiligen Betriebsgröße sowie dem späteren Anlagenkonzept und wird daher im Rahmen der Betriebsmodelle näher betrachtet.

Die einzelnen Funktionen der Materialaufbereitung können abhängig von Betriebsgröße, Durchsatz und vorhandener Infrastruktur mit unterschiedlichen technischen Lösungen umgesetzt werden. Tabelle 5 ordnet den im Projekt betrachteten Lösungen mögliche Alternativen und ihre jeweilige Funktion innerhalb der Prozesskette zu.

Tabelle 5: Technische Umsetzungsmöglichkeiten der Materialaufbereitung und Beschickung

Prozessfunktion	Im Projekt betrachtete Lösung	Mögliche Alternativen	Bewertung
Materialaufgabe und Vereinzelung	Förderband beziehungsweise manuelle Aufgabe im Versuchsbetrieb	Ballenauflöser, Kratzboden, Dosierwalzen	Auflösung verdichteter Materialstrukturen und gleichmäßige Übergabe
Zerkleinerung	Strohmühle	Schneidmühle	Einstellung einer Partikelgrößenverteilung und schonende Erzeugung einer reproduzierbaren Materialstruktur
Materialdosierung	Förderband	Kratzboden, Dosierschnecke	Gleichmäßige Anlagenbeschickung
Materialtransport	Becherwerk	Förderband, pneumatische Förderung	Schonender Materialfluss
Zwischenpufferung	im Versuch nicht als eigenständiges Modul umgesetzt	Vorratsbunker, Pufferbehälter	Ausgleich kurzfristiger Schwankungen zwischen den Prozessschritten

Die Gegenüberstellung zeigt, dass nicht ein bestimmtes Maschinenfabrikat, sondern die zuverlässige Erfüllung der jeweiligen Prozessfunktion entscheidend ist. Für die Materialaufbereitung sind insbesondere eine gleichmäßige Materialaufgabe, eine ausreichend schonende Zerkleinerung und

eine kontinuierliche Beschickung der Fraktionierung erforderlich. Die konkrete Kombination der Aggregate kann entsprechend den betrieblichen Voraussetzungen und dem angestrebten Durchsatz angepasst werden.

2.4.3 Wesentliche Erkenntnisse aus der Materialaufbereitung

Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Materialaufbereitung einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der gesamten Prozesskette besitzt. Bereits geringe Veränderungen der Materialstruktur wirken sich unmittelbar auf die nachfolgende Fraktionierung und damit auf die Qualität der entstehenden Stoffströme aus.

Im Rahmen der Versuche konnte nachgewiesen werden, dass sich eine Kombination aus Vorreinigung und schonender Zerkleinerung grundsätzlich für die Aufbereitung von Luzerneheu eignet. Gleichzeitig wurde deutlich, dass beide Prozessschritte getrennt betrachtet werden sollten, da sie unterschiedliche Aufgaben innerhalb der Prozesskette erfüllen und jeweils eigene Anforderungen an die Anlagentechnik stellen.

Auswahlkriterien der eingesetzten Aggregate

Bei der Auswahl geeigneter Aggregate wurden im Projekt nicht einzelne Maschinenfabrikate, sondern deren jeweilige Prozessfunktion bewertet. Maßgebliche Auswahlkriterien waren eine möglichst kontinuierliche Materialbeschickung, ein geringer Energiebedarf, eine robuste Verarbeitung unterschiedlich strukturierter Luzernechargen sowie eine einfache Integration in bestehende landwirtschaftliche Betriebsabläufe.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf einer möglichst materialschonenden Verarbeitung. Insbesondere während der Materialaufbereitung sollte die pflanzliche Struktur soweit erhalten bleiben, dass sowohl eine hochwertige Feinfraktion für die Pelletierung als auch eine strukturstabile Grobfraktion für die Formpresstechnologie bereitgestellt werden kann. Gleichzeitig mussten die eingesetzten Aggregate ausreichend tolerant gegenüber natürlichen Schwankungen der Rohstoffqualität sein.

Die Auswahl der Maschinen erfolgte deshalb nicht nach maximalem Durchsatz, sondern nach ihrer Eignung für eine robuste und reproduzierbare Prozessführung innerhalb einer erzeugernahen Herstellungstechnologie.

Für die im Projekt eingesetzte Versuchsanlage wurde ein Materialdurchsatz von etwa 0,2 t/h erreicht. Dieser Wert dient im vorliegenden Anlagenkonzept ausschließlich als technische Orientierungsgröße für die Dimensionierung einzelner Prozessmodule. Er stellt ausdrücklich keine Zielgröße für eine spätere Produktionsanlage dar, sondern bildet den im Projekt erreichten Entwicklungsstand der Versuchstechnik ab.

Neben dem Materialdurchsatz wurde auch der Energiebedarf der wesentlichen Aggregate betrachtet. Die Untersuchungen zeigen, dass sowohl der Trommelvorreiniger als auch die eingesetzte Strohmühle im Verhältnis zu den nachfolgenden Prozessschritten einen vergleichsweise geringen Energiebedarf aufweisen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Materialaufbereitung zwar einen wesentlichen Einfluss auf die Prozessqualität besitzt, energetisch jedoch nicht den dominierenden Bestandteil der Gesamtprozesskette darstellt.

Darüber hinaus wurde deutlich, dass eine gleichmäßige Materialzuführung einen entscheidenden Einfluss auf die Prozessstabilität besitzt. Schwankungen innerhalb der Beschickung wirken sich unmittelbar auf die nachfolgenden Verarbeitungsschritte aus und können die Qualität der Fraktionierung beeinträchtigen. Für das Anlagenkonzept ergibt sich daraus die Anforderung, eine möglichst kontinuierliche Materialförderung sowie geeignete Puffermöglichkeiten vorzusehen.

Die für das Anlagenkonzept besonders relevanten Erkenntnisse aus der Entwicklung und Erprobung der Materialaufbereitung sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Wesentliche Erkenntnisse aus der Materialaufbereitung und deren Bedeutung für das technische Anlagenkonzept

Erkenntnis aus AP2	Bedeutung für das Anlagenkonzept
Schonende Zerkleinerung erhält die Materialeigenschaften	Voraussetzung für eine reproduzierbare Fraktionierung
Materialdurchsatz ca. 0,2 t/h (Versuchsanlage)	Technische Orientierungsgröße für die Entwicklung weiterer Anlagenkonzepte
Vergleichsweise geringer Energiebedarf der Aufbereitung	Untergeordneter Einfluss auf die späteren Betriebskosten
Gleichmäßige Materialzuführung erforderlich	Berücksichtigung geeigneter Förder- und Puffersysteme

Die Gegenüberstellung verdeutlicht, dass die wesentlichen Herausforderungen der Materialaufbereitung weniger in einem hohen Energiebedarf als vielmehr in einer stabilen und reproduzierbaren Prozessführung liegen. Insbesondere die kontinuierliche Materialzuführung und der Erhalt der stofflichen Unterschiede zwischen Blatt- und Stängelbestandteilen bilden die Grundlage für die nachfolgende Fraktionierung.

Technische Bewertung der Materialaufbereitung

Die Auswahl geeigneter Aggregate orientiert sich im entwickelten Anlagenkonzept an den Eigenschaften des Rohstoffes sowie an den Anforderungen der nachfolgenden Fraktionierung. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Erzeugung einer möglichst gleichmäßigen Partikelgrößenverteilung bei gleichzeitig geringem Energieeinsatz und möglichst geringer Schädigung der pflanzlichen Struktur.

Die Zerkleinerung die eigentliche Homogenisierung des Materials. Gleichzeitig bildet sie die Voraussetzung für eine reproduzierbare Fraktionierung und beeinflusst damit unmittelbar die stoffliche Trennung von Blatt- und Stängelanteilen.

Die Materialaufbereitung besitzt somit nicht nur eine vorbereitende Funktion, sondern bestimmt maßgeblich die Leistungsfähigkeit der gesamten nachfolgenden Prozesskette. Fehler oder Schwankungen innerhalb dieses Prozessschrittes wirken sich unmittelbar auf die Qualität der Fein- und Grobfraktion sowie auf die Prozessstabilität der Pelletierung und Formpresstechnologie aus.

Ein wesentliches Merkmal des entwickelten Anlagenkonzeptes besteht in seinem modularen Aufbau. Die einzelnen Prozessmodule sind funktional voneinander getrennt und können abhängig von den jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen durch technisch vergleichbare Aggregate ersetzt oder erweitert werden. Dadurch bleibt die Herstellungstechnologie unabhängig von einzelnen Maschinenherstellern und kann sowohl in kleinen landwirtschaftlichen Betrieben als auch in größeren Verarbeitungseinheiten umgesetzt werden.

Diese Modularität erleichtert darüber hinaus die spätere Weiterentwicklung einzelner Prozessschritte. Neue Aggregate oder technische Innovationen können in bestehende Prozessketten

integriert werden, ohne dass die grundlegende Struktur der Herstellungstechnologie verändert werden muss.

2.4.4 Ableitungen für das technische Anlagenkonzept

Aus den Untersuchungen der Materialaufbereitung lassen sich mehrere grundlegende Anforderungen für die Entwicklung einer erzeugernahen Herstellungstechnologie ableiten. Zunächst wird deutlich, dass die Materialaufbereitung als eigenständiges Prozessmodul innerhalb der Gesamtprozesskette betrachtet werden muss. Ihre Aufgabe beschränkt sich nicht auf die Zerkleinerung des Rohstoffes, sondern umfasst die gezielte Vorbereitung eines definierten Materialstromes für die anschließende Fraktionierung.

Darüber hinaus zeigen die Projektergebnisse, dass die Materialaufbereitung ausreichend robust ausgelegt werden muss, um praxisübliche Schwankungen der Rohstoffstruktur verarbeiten und gleichzeitig reproduzierbare Materialströme bereitstellen zu können. Eine modulare Auslegung der einzelnen Verfahrensschritte ermöglicht dabei eine Anpassung an unterschiedliche Betriebsgrößen und Materialmengen, ohne die grundsätzliche Prozesslogik zu verändern.

Die Materialaufbereitung bildet damit die technische Grundlage der im folgenden Kapitel beschriebenen Fraktionierung. Erst durch die gezielte Aufbereitung des Rohstoffes können die unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften von Blatt- und Stängelbestandteilen für die weitere Produktherstellung genutzt werden. Die Fraktionierung stellt damit den zentralen Prozessschritt der entwickelten Herstellungstechnologie dar und wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

2.5 Fraktionierung als Schlüsselprozess der Herstellungstechnologie

Leitfrage:

Welche Funktion übernimmt die Fraktionierung innerhalb der entwickelten Herstellungstechnologie und welche Erkenntnisse ergeben sich daraus für das technische Anlagenkonzept?

2.5.1 Bedeutung der Fraktionierung innerhalb der Prozesskette

Die Fraktionierung stellt den zentralen Prozessschritt der im Projekt entwickelten Herstellungstechnologie dar. Während die vorgelagerten Prozessschritte der Rohstoffbereitstellung und Materialaufbereitung die Voraussetzungen für eine reproduzierbare Verarbeitung schaffen, erfolgt durch die Fraktionierung erstmals die gezielte Aufteilung des Luzerneheus in stofflich unterschiedliche Materialströme. Damit bildet sie die Schnittstelle zwischen der Aufbereitung des Rohstoffes und den nachfolgenden produktspezifischen Verarbeitungswegen.

Die Entwicklung und experimentelle Untersuchung verschiedener Fraktionierungsverfahren erfolgte im Arbeitspaket 2 Materialaufbereitung und Fraktionierung. Im vorliegenden Projektbaustein werden daher ausschließlich diejenigen Erkenntnisse zusammengefasst, die für die Entwicklung des technischen Anlagenkonzeptes sowie die spätere Dimensionierung der Prozesskette von Bedeutung sind.

Grundlage der Fraktionierung ist die unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung der einzelnen Pflanzenbestandteile des Luzerneheus. Während die Blattbestandteile einen höheren Anteil an Protein und weiteren wertgebenden Inhaltsstoffen aufweisen, besitzen die Stängel aufgrund ihres höheren Faseranteils andere werkstofftechnische Eigenschaften. Ziel der Fraktionierung ist es daher nicht, das Material möglichst fein zu zerkleinern, sondern diese natürlichen Unterschiede gezielt für verschiedene Produktanwendungen nutzbar zu machen.

Die Fraktionierung stellt innerhalb der entwickelten Herstellungstechnologie den Übergang von der mechanischen Materialaufbereitung zur gezielten stofflichen Nutzung des Rohstoffes dar. Dabei

handelt es sich nicht ausschließlich um eine klassische Trennung nach Partikelgrößen. Vielmehr werden die natürlichen Unterschiede zwischen blattreichen und faserreichen Pflanzenbestandteilen genutzt, um zwei funktional unterschiedliche Stoffströme für die nachgelagerten Produktpfade bereitzustellen. Damit bestimmt die Fraktionierung sowohl die Qualität der erzeugten Fraktionen als auch die Auslegung der nachfolgenden Prozessmodule.

Gleichzeitig unterscheidet sich die Fraktionierung grundlegend von einer klassischen Siebklassierung. Ziel ist nicht ausschließlich die Trennung unterschiedlicher Partikelgrößen, sondern die gezielte Nutzung der natürlichen Unterschiede zwischen blattreichen und faserreichen Pflanzenbestandteilen. Die stoffliche Trennung bildet somit die Voraussetzung für das im Projekt entwickelte Mehrproduktsystem.

2.5.2 Erkenntnisse aus der Entwicklung der Fraktionierung

Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Qualität der Fraktionierung maßgeblich durch die vorgelagerte Materialaufbereitung beeinflusst wird. Eine gleichmäßige Materialstruktur sowie eine kontinuierliche Beschickung stellen wesentliche Voraussetzungen für reproduzierbare Stoffströme dar. Aus diesem Grund wurden Materialaufbereitung und Fraktionierung im Anlagenkonzept als aufeinander abgestimmte Prozessschritte entwickelt.

Für die im Projekt eingesetzte Versuchstechnik konnte ein Fraktionsverhältnis von etwa 60 % Feinfraktion und 40 % Grobfraktion erreicht werden. Dieses Verhältnis dient im weiteren Verlauf des Anlagenkonzeptes als einheitliche Planungs- und Berechnungsgrundlage. Es beschreibt den im Projekt erreichten Entwicklungsstand der Versuchsanlage und stellt keine allgemeingültige Zielgröße für zukünftige Produktionsanlagen dar. Abhängig von Rohstoffqualität, Prozessführung und technischer Weiterentwicklung sind grundsätzlich auch abweichende Stoffstromverhältnisse denkbar.

Die Untersuchungen zeigen zugleich, dass die Fraktionierung nicht isoliert betrachtet werden kann. Unterschiede hinsichtlich Materialfeuchte, Partikelgrößenverteilung oder Beschickungsmenge können die Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen beeinflussen. Für eine reproduzierbare Stofftrennung müssen daher insbesondere die vorgelagerte Zerkleinerung, die Materialdosierung und die kontinuierliche Beschickung funktional aufeinander abgestimmt werden. Diese Erkenntnis bildet eine wesentliche Grundlage des modularen Anlagenkonzeptes, in dem Materialaufbereitung, Fraktionierung und Materialfluss als zusammenhängendes Prozesssystem betrachtet werden.

Diese Erkenntnis war maßgeblich für die Entwicklung des Anlagenkonzeptes. Anstelle einer isolierten Optimierung einzelner Maschinen wurde bewusst eine robuste Gesamtprozessführung angestrebt, bei der Materialaufbereitung, Fraktionierung und Materialfluss gemeinsam betrachtet werden.

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes besteht darin, dass durch die Fraktionierung erstmals zwei stofflich unterschiedliche Rohstoffströme entstehen, die unabhängig voneinander unterschiedlichen Produktlinien zugeführt werden können. Damit erweitert sich die Nutzung des Rohstoffes deutlich über eine reine Einproduktstrategie hinaus und schafft die Voraussetzung für eine flexible stoffliche Verwertung.

2.5.3 Stoffströme und Produktpfade

Die durch die Fraktionierung erzeugte Feinfraktion bildet den Ausgangsstoff für die Herstellung hochwertiger Luzerneproteinpellets. Aufgrund ihres höheren Blattanteils weist sie günstige Voraussetzungen für diese Nutzung auf und stellt damit einen eigenständigen Wertstoffstrom innerhalb der Prozesskette dar.

Die Grobfraction dient dagegen als Ausgangsmaterial für die Formpresstechnologie. Im Mittelpunkt des Projektes steht hierbei die Herstellung biologisch abbaubarer Verpackungsschalen aus Luzerneheu. Durch einen entsprechenden Werkzeugwechsel können auf derselben technologischen Basis grundsätzlich auch weitere Formpressteile, beispielsweise Kultivierungsschalen für Mikrogemüse, hergestellt werden. Dadurch bleibt die entwickelte Formpresstechnologie nicht auf ein einzelnes Produkt beschränkt, sondern eröffnet zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten innerhalb derselben Prozesskette.

Gleichzeitig ermöglicht das Anlagenkonzept eine flexible Nutzung der Grobfraction. Nicht für die Formpressung benötigte Materialanteile können alternativ zu proteinärmeren Pellets weiterverarbeitet werden. Dadurch lässt sich die stoffliche Nutzung des eingesetzten Rohstoffes an unterschiedliche Markt- und Produktionsbedingungen anpassen, ohne die grundsätzliche Prozessstruktur zu verändern. Die Fraktionierung bildet somit die Grundlage einer flexiblen Stoffstromlenkung innerhalb der entwickelten Herstellungstechnologie.

Die unterschiedlichen Stoffströme sowie ihre vorgesehenen Haupt- und Alternativnutzungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

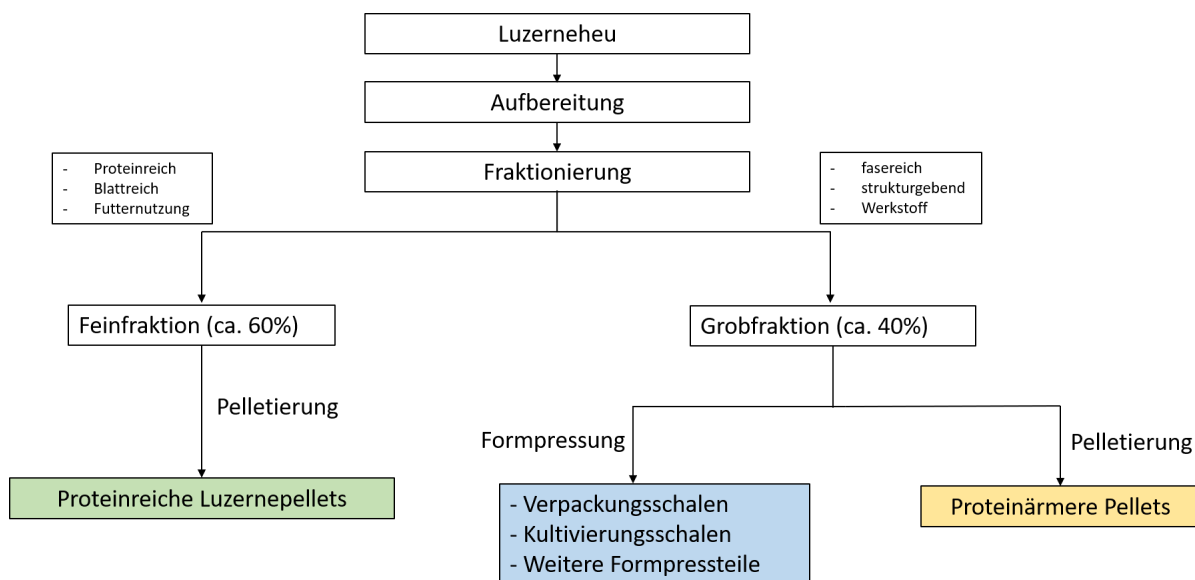


Abbildung 5: Stoffströme und Produktpfade nach der Fraktionierung des Luzerneheus

Die Abbildung verdeutlicht die Verzweigung der zuvor gemeinsamen Prozesskette in zwei produktspezifische Verarbeitungswege. Die Feinfraktion wird der Pelletierung zugeführt, während die Grobfraction als Ausgangsmaterial für die Formpresstechnologie dient, alternativ bei zu viel Material auch zu proteinärmeren Pellets. Innerhalb des Formpresspfades können durch einen Werkzeugwechsel unterschiedliche Formteile hergestellt werden. Darüber hinaus kann die mengenmäßige Aufteilung der Grobfraction abhängig von Produktionsbedarf und Absatzmöglichkeiten angepasst werden.

Die Eigenschaften sowie die vorgesehenen Verwertungswege der beiden Fraktionen sind in Tabelle 7 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 7: Eigenschaften und vorgesehene Nutzung der im Projekt entwickelten Stoffströme

Stoffstrom	Charakteristische Eigenschaften	Hauptnutzung	Weitere Nutzungsmöglichkeiten
Feinfraktion	hoher Blattanteil, proteinreich	Herstellung hochwertiger Luzerneproteinpellets	weitere stoffliche oder energetische Nutzung möglich
Grobfraktion	hoher Faseranteil, strukturreich	Herstellung biologisch abbaubarer Verpackungsschalen	Kultivierungsschalen sowie proteinärmere Pellets

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Fraktionierung zwei Fraktionen mit unterschiedlichen stofflichen Funktionen bereitstellt. Dadurch können innerhalb einer gemeinsamen Aufbereitungsprozesskette sowohl ein pelletierbarer Wertstoffstrom als auch ein faserreicher Ausgangswerkstoff für die Formpresstechnologie erzeugt werden. Die Fraktionierung bildet damit die technische Grundlage für die gekoppelte Herstellung mehrerer Produkte aus einem gemeinsamen Rohstoff.

2.5.4 Ableitungen für das technische Anlagenkonzept

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass die Fraktionierung die zentrale technische Schnittstelle der gesamten Herstellungstechnologie bildet. Sämtliche vorgelagerten Prozessschritte dienen letztlich der Vorbereitung einer reproduzierbaren Stofftrennung, während sich die Dimensionierung der nachfolgenden Prozessmodule unmittelbar aus den erzeugten Stoffströmen ableitet.

Für das Anlagenkonzept wird das mit der eingesetzten Versuchstechnik ermittelte Verhältnis von etwa 60 % Feinfraktion und 40 % Grobfraktion als einheitliche Planungsgrundlage verwendet. Diese Annahme ermöglicht eine konsistente Auslegung der nachfolgenden Prozessschritte sowie der späteren Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Gleichzeitig bleibt das Anlagenkonzept grundsätzlich offen für zukünftige technische Weiterentwicklungen, durch welche sich die Stoffstromverhältnisse verändern können.

Die Fraktionierung bestimmt darüber hinaus die grundsätzliche Architektur der entwickelten Herstellungstechnologie. An die Stelle einer linearen Prozesskette tritt ein verzweigtes Mehrproduktsystem, in dem unterschiedliche Stoffströme gezielt verschiedenen Produktlinien zugeführt werden. Diese Prozesslogik bildet die Grundlage aller im weiteren Verlauf beschriebenen Betriebsmodelle und stellt zugleich die Verbindung zwischen der technischen Prozessführung und der wirtschaftlichen Verwertung der erzeugten Produkte her.

2.6 Gesamtprozess und technische Einordnung der Prozessmodule

Leitfrage:

Wie greifen die einzelnen Prozessmodule innerhalb der entwickelten Herstellungstechnologie zusammen und welche Anforderungen ergeben sich daraus für die spätere Umsetzung in unterschiedlichen Betriebsmodellen?

2.6.1 Zusammenführung der Prozessmodule

Die vorangegangenen Kapitel haben die technischen Grundlagen der entwickelten Herstellungstechnologie von der Rohstoffbereitstellung über die Materialaufbereitung und Fraktionierung bis zu den produktspezifischen Verarbeitungswegen beschrieben. Erst das abgestimmte Zusammenwirken dieser Prozessmodule ermöglicht jedoch eine durchgängige stoffliche Nutzung des Luzerneheus.

Die Prozesskette ist modular aufgebaut, wobei jedes Prozessmodul eine klar abgegrenzte technische Funktion übernimmt. Die Module können hinsichtlich ihrer konkreten technischen Ausführung einzeln angepasst oder durch funktionsgleiche Aggregate ersetzt werden. Ihre Auslegung muss jedoch stets unter Berücksichtigung der angrenzenden Prozessschritte erfolgen, da Schwankungen oder Veränderungen an einer Schnittstelle unmittelbar die nachfolgenden Verarbeitungsschritte beeinflussen können. Entscheidend ist daher nicht die isolierte Optimierung einzelner Aggregate, sondern ihre funktionale Abstimmung innerhalb des Gesamtsystems.

Ein wesentliches Merkmal des Anlagenkonzeptes ist die funktionale Modularisierung der Prozesskette. Einzelne Aggregate können abhängig von Durchsatz, Automatisierungsgrad und vorhandener Infrastruktur angepasst, erweitert oder durch technisch vergleichbare Lösungen ersetzt werden, ohne die grundlegende Prozessstruktur zu verändern. Ebenso können einzelne Module betrieblich gemeinsam genutzt oder durch bereits vorhandene Technik abgedeckt werden. Dadurch ist die Herstellungstechnologie nicht an eine bestimmte Anlagenkonfiguration gebunden und kann schrittweise an unterschiedliche Betriebsgrößen und Organisationsformen angepasst werden.

2.6.2 Einordnung der einzelnen Prozessmodule

Innerhalb der Gesamtprozesskette übernehmen die einzelnen Module klar definierte Funktionen. Die Rohstoffbereitstellung stellt lagerfähiges Luzerneheu zur Verfügung, während die Materialaufbereitung durch schonende Zerkleinerung und gleichmäßige Dosierung einen geeigneten Materialstrom für die Fraktionierung erzeugt. Die Fraktionierung trennt diesen in Fein- und Grobfraction und bildet damit die zentrale Verzweigung in die produktspezifischen Verarbeitungswege. Anschließend wird die Feinfraction pelletiert, während die Grobfraction der Formpressung zugeführt wird. Die Funktionsfähigkeit der Gesamtprozesskette hängt insbesondere von einer zuverlässigen Übergabe des Materials zwischen diesen Modulen ab.

Die Hauptfunktionen, wesentlichen Schnittstellenanforderungen und betrieblichen Anpassungsmöglichkeiten der einzelnen Prozessmodule sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Funktion der einzelnen Prozessmodule innerhalb der entwickelten Herstellungstechnologie

Prozessmodul	Hauptfunktion innerhalb der Prozesskette	Anforderungen an die Schnittstellen	Anpassungsmöglichkeiten
Rohstoffbereitstellung	Bereitstellung von trockenem lagerfähigen Luzerneheu	geeignete und möglichst kontinuierliche Materialübergabe	unterschiedliche Bereitstellungsformen und Lagerkonzepte
Materialaufbereitung	Schonende Zerkleinerung und Erzeugung eines gleichmäßigen Materialstromes	kontinuierliche und dosierte Beschickung der Fraktionierung	Anpassung von Aggregaten und Durchsatzleistung
Fraktionierung	Trennung in Fein- und Grobfraction	reproduzierbare Übergabe der getrennten Stoffströme	Anpassung von Trennparametern und Stoffstromverhältnissen
Pelletierung der Feinfraction	Herstellung hochwertiger Proteinpellets bzw.	ausreichend gleichmäßige Materialqualität und Dosierung	Anpassung an unterschiedliche Mengen und Pelletqualitäten

	proteinärmerer Pellets		
Formpressung der Grobfraction	Herstellung biobasierter Formpressteile	gleichmäßige Bereitstellung der Grobfraction und der Rezepturbestandteile	Werkzeugwechsel sowie Anpassung von Pressparametern und Produktformaten

Tabelle 8 verdeutlicht, dass die grundlegenden Funktionen der Prozessmodule unabhängig von der späteren Betriebsgröße bestehen bleiben. Unterschiede zwischen den betrieblichen Umsetzungen ergeben sich vor allem hinsichtlich Dimensionierung, Automatisierungsgrad, räumlicher Anordnung und organisatorischer Zuordnung der Module. Besondere Bedeutung besitzen dabei die Schnittstellen, da sie eine kontinuierliche und möglichst verlustarme Übergabe der Materialströme gewährleisten müssen.

2.6.3 Bedeutung für das technische Anlagenkonzept

Eine wesentliche Erkenntnis des Projektes besteht darin, dass sich keine allgemeingültige Anlagenkonfiguration ableiten lässt. Landwirtschaftliche Betriebe und Verarbeitungsunternehmen unterscheiden sich hinsichtlich Rohstoffverfügbarkeit, vorhandener Infrastruktur, möglicher Durchsatzleistungen, personeller Ressourcen und wirtschaftlicher Zielsetzungen teilweise erheblich. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die technische und organisatorische Umsetzung der Prozesskette.

Das entwickelte Anlagenkonzept definiert deshalb keine festgelegte Kombination konkreter Maschinen, sondern die technisch erforderlichen Funktionen und Schnittstellen der Gesamtprozesskette. Die grundlegende Prozesslogik bleibt dabei erhalten, während Dimensionierung, Automatisierungsgrad, räumliche Anordnung und betriebliche Zuordnung der einzelnen Module angepasst werden können. Prozessschritte können innerhalb eines Betriebes gebündelt, gemeinsam durch mehrere Betriebe genutzt oder in bestehende gewerbliche Verarbeitungsstrukturen integriert werden.

Die technische Grundstruktur bildet damit die gemeinsame Basis für die im folgenden Kapitel entwickelten Umsetzungskonzepte. Diese unterscheiden sich nicht hinsichtlich der grundlegenden Prozessfolge, sondern vor allem darin, wo die einzelnen Prozessmodule angesiedelt sind, wer sie betreibt und wie Rohstoff-, Zwischenprodukt- und Wertschöpfungsströme zwischen den beteiligten Akteuren organisiert werden.

3. Entwicklung betrieblicher Umsetzungskonzepte für die erzeugernahe Herstellungstechnologie

3.1 Entwicklung unterschiedlicher betrieblicher Umsetzungskonzepte

Leitfrage:

Wie kann die entwickelte technische Prozesskette unter unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen umgesetzt werden und warum wurden hierfür mehrere betriebliche Umsetzungskonzepte entwickelt?

3.1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebene technische Grundstruktur bildet die gemeinsame Grundlage für die praktische Umsetzung der entwickelten Herstellungstechnologie. Mit der Festlegung der erforderlichen Prozessmodule ist jedoch noch nicht beantwortet, wie diese unter den

unterschiedlichen technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen landwirtschaftlicher Betriebe und weiterverarbeitender Unternehmen angeordnet und betrieben werden können.

Im Projekt wurde deshalb bewusst kein starres Anlagenkonzept entwickelt. Ziel war vielmehr, die technische Prozesskette in unterschiedliche betriebliche Umsetzungskonzepte zu überführen. Dabei bleibt die grundlegende Prozesslogik erhalten, während Dimensionierung, Automatisierungsgrad, räumliche Anordnung und organisatorische Zuordnung der einzelnen Module an die jeweilige Ausgangssituation angepasst werden können.

3.1.2 Einfluss betrieblicher Rahmenbedingungen

Landwirtschaftliche Betriebe und weiterverarbeitende Unternehmen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Ausgangssituation teilweise erheblich. Relevante Unterschiede bestehen insbesondere bei der jährlich verfügbaren Rohstoffmenge, der vorhandenen Lager-, Förder- und Verarbeitungstechnik, den personellen Ressourcen sowie den vorgesehenen Produkt- und Vermarktungswegen.

Hinzu kommen unterschiedliche Möglichkeiten zur Finanzierung neuer Prozessmodule und zur Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren. Während einzelne Betriebe eine möglichst hohe eigene Wertschöpfungstiefe anstreben, bieten sich in anderen Fällen gemeinschaftlich genutzte Anlagen oder die Einbindung bestehender gewerblicher Verarbeitungsstrukturen an.

Die wesentlichen Einflussgrößen, die bei der Entwicklung der betrieblichen Umsetzungskonzepte berücksichtigt wurden, sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Wesentliche betriebliche Einflussgrößen bei der Entwicklung der Umsetzungskonzepte

Einflussgröße	Bedeutung für das Anlagenkonzept
Verfügbare Luzerneheumenge	Dimensionierung und mögliche Auslastung der Prozessmodule
Vorhandene technische Infrastruktur	Einbindung bestehender Lager-, Förder- und Verarbeitungstechnik
Investitionsmöglichkeiten	Umfang, Automatisierungsgrad und schrittweise Erweiterung der Anlagenkonfiguration
Personalverfügbarkeit	Umfang möglicher Eigenleistungen und organisatorischer Betreuungsaufwand
Vermarktungsstrategie	Schwerpunktsetzung innerhalb der vorgesehenen Produktpfade
Kooperationsmöglichkeiten	Betriebliche Verteilung und gemeinsame Nutzung einzelner Prozessmodule

Tabelle 9 zeigt, dass die Auswahl eines geeigneten Umsetzungskonzeptes nicht anhand einer einzelnen Einflussgröße erfolgen kann. Ausschlaggebend ist vielmehr das Zusammenwirken von Rohstoffbasis, vorhandener Infrastruktur, personellen und finanziellen Möglichkeiten sowie der angestrebten Wertschöpfungstiefe. Dieselbe technische Prozesskette kann daher je nach Ausgangssituation zu unterschiedlichen organisatorischen Anlagenkonfigurationen führen.

3.1.3 Entwicklung der Umsetzungskonzepte

Auf Grundlage der identifizierten Einflussgrößen wurden im Projekt drei betriebliche Umsetzungskonzepte entwickelt. Sie basieren auf derselben technischen Grundstruktur, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich des führenden Akteurs, der räumlichen und organisatorischen Zuordnung der Prozessmodule sowie der Verteilung von Investitionen, Verantwortung und Wertschöpfung.

Die drei Konzepte stellen weder unterschiedliche Technologien noch aufeinanderfolgende Ausbaustufen dar. Vielmehr handelt es sich um gleichwertige Integrationsmöglichkeiten für unterschiedliche betriebliche Ausgangssituationen. Welches Konzept im Einzelfall geeignet ist, hängt daher nicht von einer allgemeinen Rangfolge, sondern von den Voraussetzungen und Zielsetzungen der beteiligten Akteure ab.

Die Herleitung der drei Umsetzungskonzepte aus den betrieblichen Rahmenbedingungen ist in Abbildung 6 dargestellt.

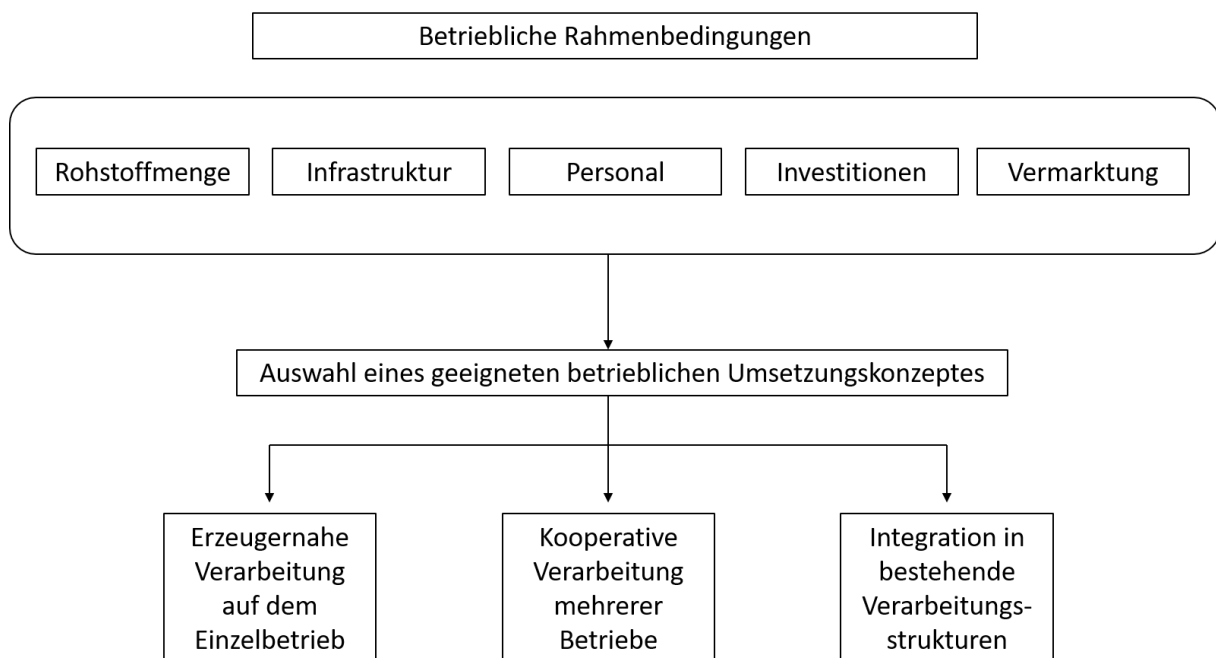


Abbildung 6: Ableitung betrieblicher Umsetzungskonzepte aus unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen

Abbildung 6 verdeutlicht, dass die drei Umsetzungskonzepte aus unterschiedlichen Kombinationen betrieblicher Rahmenbedingungen abgeleitet werden. Die technische Grundstruktur bleibt dabei unverändert; unterschiedlich sind vor allem der Ort der Verarbeitung, die beteiligten Akteure und die Zuordnung der einzelnen Prozessmodule.

3.1.4 Grundprinzip der modularen Anlagenstruktur

Die in Kapitel 2 beschriebene modulare Prozessstruktur ermöglicht die Übertragung der Herstellungstechnologie auf unterschiedliche betriebliche Organisationsformen. Die technisch erforderlichen Funktionen bleiben bestehen, können jedoch räumlich und organisatorisch unterschiedlich zugeordnet werden. Ein Prozessmodul kann innerhalb eines Einzelbetriebes

betrieben, gemeinschaftlich durch mehrere Betriebe genutzt oder in eine vorhandene gewerbliche Verarbeitungsstruktur integriert werden.

Die Modularität betrifft damit nicht nur die technische Dimensionierung der Aggregate, sondern insbesondere die Organisation der Gesamtprozesskette. Dadurch können vorhandene Gebäude und Maschinen eingebunden, neue Investitionen auf die tatsächlich benötigten Funktionen konzentriert und Verarbeitungskapazitäten an die verfügbare Rohstoffmenge angepasst werden.

Wie sich dieselben technischen Prozessmodule in den verschiedenen Betriebsmodellen organisatorisch anordnen und unterschiedlichen Akteuren zuordnen lassen, zeigt Abbildung 7.

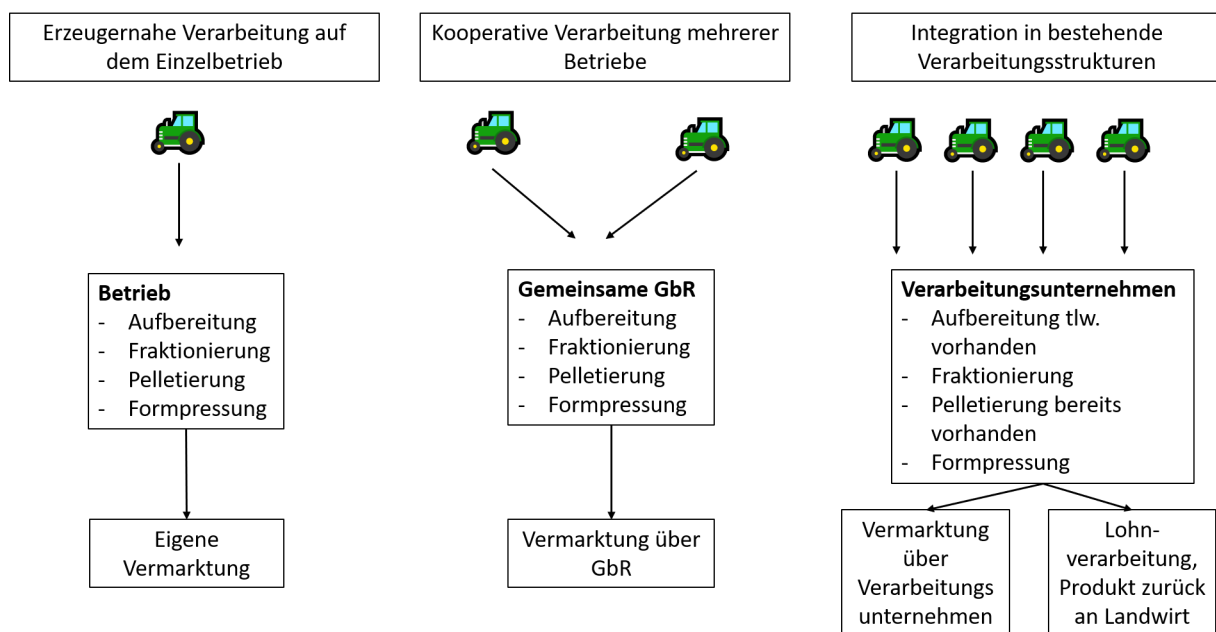


Abbildung 7: Organisatorische Umsetzung der modularen Prozesskette in verschiedenen Betriebsmodellen

Abbildung 7 verdeutlicht, dass sich die drei Betriebsmodelle nicht durch eine grundsätzlich andere technische Prozesskette unterscheiden. Maßgeblich ist vielmehr, bei welchem Akteur die einzelnen Prozessmodule angesiedelt sind und wie Rohstoff, Zwischenprodukte und Endprodukte zwischen den beteiligten Stellen weitergegeben werden. Im Einzelbetriebsmodell werden die wesentlichen Prozessschritte innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes gebündelt. Im Kooperationsmodell verteilen sich Aufgaben, Investitionen und Verarbeitungskapazitäten auf mehrere beteiligte Betriebe. Beim verarbeitungsorientierten Modell übernimmt dagegen ein bestehendes Unternehmen wesentliche technische Verarbeitungsschritte, während die landwirtschaftlichen Betriebe vor allem die Rohstoffbereitstellung sicherstellen.

Die Abbildung bildet damit den organisatorischen Bezugsrahmen für die folgenden Kapitel, in denen die drei Betriebsmodelle hinsichtlich ihrer technischen Ausgestaltung, ihrer betrieblichen Voraussetzungen und der jeweiligen Verteilung von Aufgaben und Wertschöpfung näher beschrieben werden.

3.2 Erzeugernahe Verarbeitung auf dem landwirtschaftlichen Einzelbetrieb

Leitfrage:

Unter welchen betrieblichen Voraussetzungen eignet sich eine vollständige Integration der entwickelten Herstellungstechnologie in einen landwirtschaftlichen Einzelbetrieb und wie kann diese technisch umgesetzt werden?

3.2.1 Zielsetzung des Umsetzungskonzeptes

Das erste im Projekt entwickelte Umsetzungskonzept sieht vor, die gesamte technische Prozesskette innerhalb eines einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes abzubilden. Sämtliche wesentlichen Verarbeitungsschritte – von der Rohstoffbereitstellung über die Materialaufbereitung und Fraktionierung bis zur Herstellung der Endprodukte – werden dabei an einem Betriebsstandort zusammengeführt. Ziel ist es, die erzeugte Biomasse möglichst vollständig betriebsintern zu verwerten und dadurch zusätzliche Wertschöpfung unmittelbar am Ort der Rohstoffherzeugung zu erschließen.

Dieses Umsetzungskonzept folgt dem Grundgedanken einer erzeugernahen Verarbeitung. Die räumliche Nähe zwischen Rohstoffproduktion und Weiterverarbeitung ermöglicht kurze Transportwege, eine direkte Kontrolle der Rohstoffqualität sowie eine enge Verzahnung zwischen landwirtschaftlicher Produktion und technischer Nutzung. Gleichzeitig verbleiben Verarbeitung, Produktherstellung und ein wesentlicher Teil der Wertschöpfung innerhalb des Betriebes.

Im Mittelpunkt steht dabei nicht die Maximierung der Produktionskapazität, sondern die Entwicklung einer technisch funktionsfähigen und modular erweiterbaren Prozesskette, welche an die betrieblichen Voraussetzungen angepasst werden kann. Das Konzept versteht sich daher ausdrücklich nicht als industrieller Produktionsansatz, sondern als mögliche Umsetzung für landwirtschaftliche Betriebe mit entsprechendem Interesse an einer eigenständigen stofflichen Nutzung ihrer Luzernebestände.

3.2.2 Typische betriebliche Ausgangssituation

Die Umsetzung innerhalb eines landwirtschaftlichen Einzelbetriebes setzt zunächst eine ausreichende und kontinuierlich verfügbare Rohstoffbasis voraus. Gleichzeitig sollte der Betrieb über geeignete Lagerkapazitäten für Luzerneheu sowie über die Bereitschaft verfügen, zusätzliche technische und organisatorische Aufgaben in die bestehende Betriebsstruktur zu integrieren. Dabei ist weniger die absolute Betriebsgröße entscheidend als vielmehr das Zusammenwirken von Rohstoffverfügbarkeit, vorhandener Infrastruktur, personellen Ressourcen und betrieblicher Zielsetzung.

Besonders geeignet erscheint dieses Umsetzungskonzept für Betriebe, die bereits heute Luzerne erzeugen und konservieren sowie über Erfahrungen im Umgang mit Futteraufbereitung und Lagertechnik verfügen. Vorhandene Maschinen und Gebäude können dabei teilweise weiterhin genutzt und in die entwickelte Prozesskette integriert werden. Dadurch lassen sich bestehende Infrastrukturen einbinden und zusätzliche Investitionen auf diejenigen Prozessmodule konzentrieren, welche für die stoffliche Nutzung neu erforderlich sind.

Darüber hinaus setzt dieses Umsetzungskonzept ein entsprechendes Interesse an einer eigenständigen Vermarktung der erzeugten Produkte voraus. Während die Proteinpellets beispielsweise als hochwertiges Futtermittel vermarktet oder betrieblich genutzt werden können, eröffnet die Formpresstechnologie die Möglichkeit zur Herstellung biologisch abbaubarer Verpackungs- und Kultivierungsschalen. Beide Produktlinien entstehen innerhalb derselben technischen Prozesskette und erweitern die Wertschöpfungsmöglichkeiten des Betriebes.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen dieses Umsetzungskonzeptes sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Typische Rahmenbedingungen einer erzeugernahen Verarbeitung auf dem landwirtschaftlichen Einzelbetrieb

Rahmenbedingung	Bedeutung für das Umsetzungskonzept
Eigene Luzerneproduktion	Sicherung einer kontinuierlichen Rohstoffversorgung
Geeignete Trocknungs- und Lagerkapazitäten	Bereitstellung eines lagerfähigen Rohstoffes
Bereitschaft zur Eigenverarbeitung	Integration zusätzlicher technischer und organisatorischer Aufgaben
Vorhandene betriebliche Infrastruktur	Nutzung bestehender Gebäude, Lager- und Fördertechnik
Interesse an zusätzlicher Wertschöpfung	Herstellung und Vermarktung eigener Produkte

Die Zusammenstellung zeigt, dass dieses Umsetzungskonzept nicht allein eine ausreichende Rohstoffmenge voraussetzt. Ebenso entscheidend sind geeignete räumliche, technische und personelle Voraussetzungen sowie die Bereitschaft, neben der landwirtschaftlichen Produktion auch Aufgaben der Verarbeitung und Vermarktung dauerhaft in den Betrieb zu integrieren

3.2.3 Technische Umsetzung innerhalb des Einzelbetriebes

Die technische Grundstruktur entspricht der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Prozesskette. Sämtliche Module werden innerhalb eines Betriebes miteinander verbunden und bilden eine durchgängige Verarbeitungslinie vom Rohstoff bis zum Endprodukt.

Nach der Bereitstellung des Luzerneheus erfolgt zunächst die Materialaufbereitung durch eine geeignete Materialaufgabe, die schonende Zerkleinerung und eine möglichst gleichmäßige Beschickung der Fraktionierung. Anschließend wird das Material in eine Fein- und eine Grobfraction getrennt. Die Feinfraction wird der Pelletierung zugeführt und zu hochwertigen Luzerneproteinpellets verarbeitet. Die Grobfraction bildet den Ausgangswerkstoff für die Formpresstechnologie und wird zur Herstellung biobasierter Verpackungs- und Kultivierungsschalen eingesetzt.

Kennzeichnende Merkmale des Einzelbetriebsmodells

- vollständige Integration der wesentlichen Prozessmodule innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes
- kurze Transport- und Materialwege zwischen Rohstoffbereitstellung und Weiterverarbeitung
- hohe Eigenständigkeit bei Rohstoffversorgung, Verarbeitung und Produktherstellung
- Einbindung vorhandener landwirtschaftlicher Gebäude und Technik
- hohe Anforderungen an Investitionen, Organisation, Personal und Anlagenauslastung

3.2.4 Stoffströme und Produktnutzung

Durch die Fraktionierung entstehen zwei stofflich unterschiedliche Materialströme, die innerhalb des Betriebes getrennten Produktlinien zugeführt werden. Die Feinfraction wird zur Herstellung hochwertiger Luzerneproteinpellets genutzt. Diese können abhängig von der betrieblichen Ausrichtung entweder im eigenen Betrieb verwendet oder extern vermarktet werden.

Die Grobfraction bildet den Ausgangsstoff für die Formpressung. Im Rahmen des Projektes lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung biologisch abbaubarer Verpackungsschalen. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass durch einen Wechsel der Formwerkzeuge auch Kultivierungsschalen für Mikrogemüse auf derselben technischen Basis hergestellt werden können. Dadurch erhöht sich die Flexibilität der Anlage, ohne dass grundlegende Änderungen an der Prozessstruktur erforderlich sind.

Nicht unmittelbar für die Formpressung benötigte Anteile der Grobfraction können alternativ zu proteinärmeren Pellets verarbeitet werden. Dadurch wird eine möglichst vollständige stoffliche Nutzung des Rohstoffes unterstützt und zugleich eine flexible Anpassung an unterschiedliche Produktionsmengen und Absatzmöglichkeiten ermöglicht.

3.2.5 Vorteile und Grenzen des Umsetzungskonzeptes

Die vollständige Integration der Prozesskette in einen landwirtschaftlichen Einzelbetrieb bietet technische und organisatorische Vorteile. Durch die unmittelbare Nähe zwischen Rohstoffproduktion und Weiterverarbeitung lassen sich Transportaufwand und Materialumschlag reduzieren. Gleichzeitig verbleiben sämtliche Verarbeitungsschritte innerhalb eines Betriebes, wodurch die Prozessführung und die Wertschöpfung weitgehend eigenständig gestaltet werden können.

Ein weiterer Vorteil besteht in der hohen Transparenz der Rohstoffqualität. Da Erzeugung, Lagerung und Verarbeitung unmittelbar miteinander verbunden sind, können Qualitätsschwankungen frühzeitig erkannt und gegebenenfalls durch Anpassungen innerhalb der Prozessführung berücksichtigt werden.

Demgegenüber stehen hohe Anforderungen an die technische Ausstattung und die Organisation der betrieblichen Abläufe. Sämtliche erforderlichen Prozessmodule müssen innerhalb des Betriebes vorgehalten, betrieben und aufeinander abgestimmt werden. Daraus ergeben sich ein vergleichsweise hoher Investitionsbedarf sowie zusätzlicher Personal- und Koordinationsaufwand. Darüber hinaus hängt die Wirtschaftlichkeit wesentlich von einer ausreichenden Auslastung der einzelnen Prozessmodule ab. Insbesondere bei begrenzten Rohstoff- oder Absatzmengen kann dies die Umsetzung erschweren.

Die wesentlichen Vor- und Nachteile des Umsetzungskonzeptes sind in Tabelle 11 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 11: Vorteile und Grenzen der erzeugernahen Verarbeitung auf dem landwirtschaftlichen Einzelbetrieb

Vorteile	Grenzen
Hoher Verbleib der Wertschöpfung im Betrieb	Vergleichsweise hoher Investitionsbedarf
Kurze Transport- und Materialwege	Hoher organisatorischer Aufwand
Direkte Kontrolle der Rohstoffqualität	Auslastung der Prozessmodule muss gewährleistet sein
Nutzung vorhandener betrieblicher Infrastruktur	Zusätzlicher Personal- und Qualifizierungsbedarf
Flexible Herstellung unterschiedlicher Produkte	Skalierung durch betriebliche Kapazitäten begrenzt

Die Gegenüberstellung zeigt, dass das Einzelbetriebsmodell vor allem für Betriebe geeignet ist, die eine hohe eigene Wertschöpfungstiefe anstreben und zugleich über eine ausreichende Rohstoffbasis, geeignete Infrastruktur sowie die erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen verfügen.

Der Vorteil der hohen Eigenständigkeit ist dabei unmittelbar mit einem entsprechend hohen betrieblichen Eigenaufwand verbunden.

3.2.6 Zwischenfazit

Die erzeugernahe Verarbeitung auf dem landwirtschaftlichen Einzelbetrieb stellt die umfassendste Form der betrieblichen Integration der entwickelten Herstellungstechnologie dar. Sämtliche wesentlichen Prozessschritte werden innerhalb eines Betriebes durchgeführt, wodurch eine hohe Eigenständigkeit bei Rohstoffbereitstellung, Verarbeitung und Produktherstellung erreicht werden kann. Gleichzeitig entstehen hohe Anforderungen an Investitionen, Organisation, Personal und die kontinuierliche Auslastung der technischen Anlagen.

Dieses Umsetzungskonzept eignet sich daher insbesondere für Betriebe mit ausreichender Rohstoffbasis, geeigneter Infrastruktur und einer langfristigen strategischen Ausrichtung auf die eigenständige Verarbeitung und Vermarktung biobasierter Produkte. Wo Rohstoffmengen, Investitionsmöglichkeiten oder personelle Ressourcen eines einzelnen Betriebes nicht ausreichen, können arbeitsteilige Lösungen Vorteile bieten. Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Abschnitt die überbetriebliche Verarbeitung innerhalb einer landwirtschaftlichen Kooperation betrachtet.

3.3 Überbetriebliche Verarbeitung in einer landwirtschaftlichen Kooperation

Leitfrage:

Unter welchen betrieblichen Voraussetzungen eignet sich eine überbetriebliche Zusammenarbeit mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe und wie kann die entwickelte Herstellungstechnologie innerhalb einer Kooperation umgesetzt werden?

3.3.1 Zielsetzung des Umsetzungskonzeptes

Nicht jeder landwirtschaftliche Betrieb verfügt über ausreichende Rohstoffmengen, Investitionsmöglichkeiten oder personelle Ressourcen, um die vollständige Prozesskette eigenständig zu betreiben. Gleichzeitig hängt die Wirtschaftlichkeit einzelner Prozessmodule wesentlich von einer ausreichenden Auslastung ab. Vor diesem Hintergrund wurde als zweites Umsetzungskonzept die überbetriebliche Zusammenarbeit mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe entwickelt.

Ziel dieses Konzeptes ist es, die Vorteile einer erzeugernahen Verarbeitung mit der gemeinsamen Nutzung technischer Infrastruktur zu verbinden. Mehrere Betriebe stellen Rohstoffmengen bereit und nutzen ausgewählte Prozessmodule gemeinschaftlich. Dadurch können Investitionen auf mehrere Partner verteilt, größere Materialmengen gebündelt und die technischen Anlagen besser ausgelastet werden.

Die technische Grundstruktur der Herstellungstechnologie bleibt auch in diesem Modell erhalten. Unterschiede gegenüber dem Einzelbetriebsmodell ergeben sich vor allem aus der organisatorischen und räumlichen Verteilung der Prozessschritte. Die Rohstoffherzeugung verbleibt bei den beteiligten Betrieben, während wesentliche Verarbeitungsschritte an einem gemeinsam genutzten Standort gebündelt werden können.

3.3.2 Typische betriebliche Ausgangssituation

Dieses Umsetzungskonzept eignet sich insbesondere für Regionen mit mehreren Luzerne erzeugenden Betrieben, deren individuelle Rohstoffmengen für eine vollständige Eigenverarbeitung nicht ausreichen oder eine ausreichende Auslastung der Anlagen nicht gewährleisten würden. Durch die Bündelung der Rohstoffmengen kann dagegen eine tragfähige Grundlage für den gemeinsamen Betrieb der Prozesskette entstehen.

Die Kooperation kann zwischen benachbarten landwirtschaftlichen Betrieben, innerhalb bestehender Erzeugergemeinschaften oder über bereits etablierte Organisationsstrukturen wie Maschinenringe umgesetzt werden. Voraussetzung ist eine verbindliche Abstimmung hinsichtlich Rohstoffqualität, Bereitstellungsmengen, Anlagenbelegung, Verarbeitung und Vermarktung. Vorhandene Gebäude und technische Infrastrukturen einzelner Betriebe können gezielt in die gemeinsame Prozesskette eingebunden werden.

Im Vergleich zum Einzelbetriebsmodell steht weniger die vollständige Eigenständigkeit eines einzelnen Betriebes als vielmehr die gemeinsame Nutzung technischer und organisatorischer Ressourcen im Vordergrund. Dadurch lassen sich individuelle Investitionen reduzieren und spezialisierte Prozessmodule wirtschaftlicher betreiben.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen dieses Umsetzungskonzeptes sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Typische Rahmenbedingungen einer überbetrieblichen Verarbeitung in einer landwirtschaftlichen Kooperation

Rahmenbedingung	Bedeutung für das Umsetzungskonzept
Mehrere Luzerne erzeugende Betriebe	Bündelung einer ausreichenden Rohstoffbasis
Bereitschaft zu verbindlicher Zusammenarbeit	Gemeinsame Organisation und Steuerung der Prozesskette
Regionale Nähe der beteiligten Betriebe	Begrenzung des Transport- und Logistikaufwandes
Gemeinsame Nutzung technischer Infrastruktur	Höhere Auslastung und Verteilung der Investitionskosten
Abgestimmte Produkt- und Vermarktungsstrategie	Bündelung und gemeinsamer Absatz der erzeugten Produkte

Tabelle 12 verdeutlicht, dass die Tragfähigkeit dieses Umsetzungskonzeptes weniger von der Größe eines einzelnen Betriebes als von der Qualität der Zusammenarbeit abhängt. Neben einer ausreichenden gemeinsamen Rohstoffbasis sind insbesondere verbindliche Zuständigkeiten, abgestimmte Qualitätsanforderungen und eine funktionsfähige Organisation der gemeinsamen Verarbeitung entscheidend.

3.3.3 Organisation der Prozesskette

Im Unterschied zum Einzelbetriebsmodell wird die Prozesskette nicht vollständig innerhalb eines Betriebes umgesetzt. Die beteiligten Betriebe erzeugen, trocknen und lagern ihr Luzerneheu zunächst eigenständig. Anschließend wird der Rohstoff an einem gemeinsamen Verarbeitungsstandort zusammengeführt oder nach abgestimmten Zeitfenstern zur Verarbeitung bereitgestellt.

Die Materialaufbereitung, Fraktionierung, Pelletierung und Formpresstechnologie werden am gemeinsamen Standort betrieben. Dadurch können zentrale Prozessmodule höher ausgelastet sowie Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten auf mehrere Partner verteilt werden. Die konkrete organisatorische Ausgestaltung kann dabei von einer gemeinsam getragenen Anlage bis zur Beauftragung eines federführenden Betriebes oder einer eigenständigen Betreibergesellschaft reichen.

Kennzeichnende Merkmale des Kooperationsmodells

- gemeinsame Nutzung zentraler technischer Prozessmodule
- Bündelung der Rohstoffmengen mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe
- Verteilung von Investitions- und Betriebskosten auf mehrere Partner
- bessere Auslastung von Materialaufbereitung, Fraktionierung, Pelletierung und Formpressung
- zusätzliche Anforderungen an Rohstofflogistik, Abstimmung, Terminplanung und Verantwortungsverteilung

3.3.4 Stoffströme und Produktnutzung

Nach der gemeinsamen Fraktionierung entstehen wie im Einzelbetriebsmodell eine Fein- und eine Grobfraktion. Die stoffliche Nutzung bleibt grundsätzlich unverändert: Die Feinfraktion wird zu hochwertigen Luzerneproteinpellets verarbeitet, während die Grobfraktion der Herstellung biobasierter Verpackungs- und Kultivierungsschalen dient.

Der wesentliche Unterschied liegt in der organisatorischen Zuordnung der erzeugten Stoffströme und Produkte. Diese können entsprechend den eingebrachten Rohstoffmengen oder vereinbarten Beteiligungsanteilen auf die Betriebe verteilt, zentral vermarktet oder teilweise für den Eigenbedarf einzelner Partner genutzt werden. Voraussetzung dafür sind transparente Regelungen zur Mengenerfassung, Qualitätsbewertung, Kostenverteilung und Erlöszuordnung.

Auch nicht unmittelbar für die Formpressung benötigte Anteile der Grobfraktion können innerhalb des gemeinsamen Systems alternativ pelletiert werden. Dadurch lässt sich die Stoffstromlenkung an die gebündelte Nachfrage und die verfügbaren Absatzmöglichkeiten der Kooperation anpassen.

3.3.5 Potenziale des Umsetzungskonzeptes

Die Zusammenarbeit mehrerer Betriebe erhöht die Anforderungen an Organisation, Kommunikation und Verbindlichkeit. Rohstoffmengen, Qualitätsanforderungen, Anlieferungszeiten, Anlagenbelegung, Kostenverteilung, Produktzuordnung und Vermarktung müssen zwischen den beteiligten Partnern abgestimmt und nachvollziehbar dokumentiert werden.

Zusätzlich entstehen Transportwege zwischen den Rohstoff erzeugenden Betrieben und dem gemeinsamen Verarbeitungsstandort. Die Eignung des Modells hängt daher wesentlich von der regionalen Nähe der Partner und einer effizienten Rohstofflogistik ab. Auch unterschiedliche betriebliche Interessen oder schwankende Liefermengen können den gemeinsamen Anlagenbetrieb erschweren, sofern keine verbindlichen Regelungen bestehen.

3.3.6 Herausforderungen des Umsetzungskonzeptes

Die Zusammenarbeit mehrerer Betriebe erhöht die Anforderungen an Organisation, Kommunikation und Verbindlichkeit. Rohstoffmengen, Qualitätsanforderungen, Anlieferungszeiten, Anlagenbelegung, Kostenverteilung, Produktzuordnung und Vermarktung müssen zwischen den beteiligten Partnern abgestimmt und nachvollziehbar dokumentiert werden.

Zusätzlich entstehen Transportwege zwischen den Rohstoff erzeugenden Betrieben und dem gemeinsamen Verarbeitungsstandort. Die Eignung des Modells hängt daher wesentlich von der regionalen Nähe der Partner und einer effizienten Rohstofflogistik ab. Auch unterschiedliche betriebliche Interessen oder schwankende Liefermengen können den gemeinsamen Anlagenbetrieb erschweren, sofern keine verbindlichen Regelungen bestehen.

Die wesentlichen Potenziale und Herausforderungen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Potenziale und Herausforderungen einer überbetrieblichen Verarbeitung in einer landwirtschaftlichen Kooperation

Potenziale	Herausforderungen
Gemeinsame Nutzung technischer Infrastruktur	Hoher Abstimmungs- und Koordinationsaufwand
Verteilung von Investitions- und Betriebskosten	Verbindliche Regelung von Zuständigkeiten und Kosten
Höhere Auslastung der Prozessmodule	Organisation der Rohstoffanlieferung und Anlagenbelegung
Bündelung größerer Produktmengen	Sicherung einheitlicher Rohstoff- und Produktqualitäten
Gemeinsame Vermarktung und Arbeitsteilung	Regelung der Produktverteilung und Erlöszuordnung

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die technischen und wirtschaftlichen Vorteile des Kooperationsmodells unmittelbar von einer belastbaren organisatorischen Grundlage abhängen. Je stärker Investitionen, Anlagenbetrieb und Vermarktung gemeinsam getragen werden, desto wichtiger sind transparente Vereinbarungen über Zuständigkeiten, Leistungen, Kosten und Erlöse.

3.3.7 Zwischenfazit

Die überbetriebliche Verarbeitung bietet eine geeignete Umsetzungsform für landwirtschaftliche Betriebe, deren individuelle Rohstoffmengen oder Investitionsmöglichkeiten für eine vollständige Eigenverarbeitung nicht ausreichen. Durch die Bündelung der Rohstoffe und die gemeinsame Nutzung zentraler Prozessmodule können höhere Anlagenauslastungen erreicht und Investitionen auf mehrere Partner verteilt werden.

Die technische Grundstruktur der Herstellungstechnologie bleibt dabei erhalten. Der wesentliche Unterschied zum Einzelbetriebsmodell besteht in der gemeinsamen Organisation von Rohstofflogistik, Anlagenbetrieb, Produktverteilung und Vermarktung. Die Vorteile des Modells können daher nur dann vollständig genutzt werden, wenn die beteiligten Betriebe regional eng zusammenarbeiten und verbindliche organisatorische Regelungen treffen.

Wo weder eine einzelbetriebliche noch eine kooperative Verarbeitung sinnvoll oder gewünscht ist, kann die Einbindung bestehender gewerblicher Verarbeitungsunternehmen eine weitere Umsetzungsoption darstellen. Dieses Modell wird im folgenden Kapitel betrachtet.

3.4 Integration der Herstellungstechnologie in bestehende Verarbeitungsstrukturen

Leitfrage:

Unter welchen Voraussetzungen eignet sich die Integration der entwickelten Herstellungstechnologie in bestehende Verarbeitungsunternehmen und welche Anforderungen ergeben sich daraus für die technische Umsetzung?

3.4.1 Zielsetzung des Umsetzungskonzeptes

Das dritte Umsetzungskonzept unterscheidet sich organisatorisch deutlich von den beiden zuvor beschriebenen Modellen. Während beim Einzelbetriebs- und Kooperationsmodell wesentliche Teile der Verarbeitung innerhalb der Landwirtschaft verbleiben, richtet sich dieses Konzept an bestehende

gewerbliche oder industrielle Verarbeitungsunternehmen, welche die entwickelte Herstellungstechnologie in ihre vorhandenen Produktionsstrukturen integrieren.

Ausgangspunkt ist die Nutzung bereits vorhandener Verarbeitungs-, Lager-, Förder-, Logistik- und Vermarktungsstrukturen. In Betracht kommen insbesondere Unternehmen der Pelletproduktion, Hersteller biobasierter Verpackungen oder andere Betriebe mit Erfahrung in der Verarbeitung faserreicher Rohstoffe. Ziel ist nicht der vollständige Aufbau einer neuen Produktionsanlage, sondern die gezielte Ergänzung bestehender Strukturen um diejenigen Prozessmodule, die für die Aufbereitung, Fraktionierung und Formpressung des Luzerneheus erforderlich sind.

Die Landwirtschaft übernimmt innerhalb dieses Modells weiterhin die Erzeugung, Trocknung und Bereitstellung des Rohstoffes. Die weitere stoffliche Verarbeitung erfolgt dagegen im Verarbeitungsunternehmen. Dadurch verlagern sich technische Verantwortung, Investitionen und ein größerer Anteil der Wertschöpfung auf die nachgelagerte Verarbeitungsstufe.

3.4.2 Typische Ausgangssituation

Dieses Umsetzungskonzept eignet sich insbesondere für Regionen mit ausreichendem Rohstoffpotenzial und bereits vorhandenen gewerblichen oder industriellen Verarbeitungsstrukturen. Voraussetzung ist ein Unternehmen, das über geeignete Lager-, Förder-, Pelletier- oder Verpackungstechnik verfügt und bereit ist, seine bestehende Prozesskette um zusätzliche Module zu erweitern.

Im Unterschied zu den landwirtschaftlich geprägten Umsetzungskonzepten steht nicht die betriebsinterne Verarbeitung des Rohstoffes im Vordergrund. Die landwirtschaftlichen Betriebe liefern stattdessen Luzerneheu in vereinbarter Qualität und Menge an das Verarbeitungsunternehmen. Dieses übernimmt die weitere Verarbeitung, Produktherstellung und Vermarktung.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen dieses Umsetzungskonzeptes sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Typische Rahmenbedingungen der Integration in bestehende Verarbeitungsstrukturen

Rahmenbedingung	Bedeutung für das Umsetzungskonzept
Ausreichende und planbare Rohstoffmengen	Kontinuierliche Versorgung des Verarbeitungsunternehmens
Bestehende Verarbeitungsinfrastruktur	Nutzung vorhandener Anlagen, Gebäude und Logistik
Bereitschaft zur technologischen Erweiterung	Integration zusätzlicher Prozessmodule
Definierte Rohstoffqualität	Reproduzierbare Verarbeitung und Produktqualität
Etablierte Vermarktungs- und Vertriebsstrukturen	Absatz der erzeugten Endprodukte

Tabelle 14 zeigt, dass die Eignung dieses Modells wesentlich von der Verbindung zweier Voraussetzungen abhängt: einer verlässlichen landwirtschaftlichen Rohstoffbasis und einem Verarbeitungsunternehmen mit geeigneter technischer und organisatorischer Infrastruktur. Die Landwirtschaft bleibt dabei Rohstofflieferant, während das Unternehmen die zentrale Verantwortung für Verarbeitung und Vermarktung übernimmt.

3.4.3 Integration der Prozesskette in bestehende Anlagen

Im Gegensatz zum vollständigen Neubau einer Produktionsanlage folgt dieses Umsetzungskonzept einem modularen Integrationsansatz. Bereits vorhandene Funktionen wie Rohstoffannahme, Lagerung, innerbetriebliche Förderung, Pelletierung, Logistik oder Vermarktung können weiter genutzt werden. Ergänzt werden nur diejenigen Prozessmodule, die in der bestehenden Anlagenstruktur noch nicht vorhanden sind.

Neu zu integrieren sind insbesondere die schonende Materialaufbereitung und die Fraktionierung als Voraussetzung für die Trennung in Fein- und Grobfraktion sowie die Formpresstechnologie zur Herstellung biobasierter Verpackungs- und Kultivierungsschalen. Eine vorhandene Pelletierung kann für die Verarbeitung der Feinfraktion weiter genutzt werden. Dadurch entsteht parallel zur bestehenden Pelletproduktion ein zusätzlicher Produktpfad für Formpressteile.

Kennzeichnende Merkmale des verarbeitungsorientierten Modells

- Integration der entwickelten Prozessmodule in bestehende gewerbliche oder industrielle Anlagenstrukturen
- Nutzung vorhandener Infrastruktur für Lagerung, Förderung, Pelletierung, Logistik und Vermarktung
- gezielte Ergänzung um Materialaufbereitung, Fraktionierung und Formpressung
- Erweiterung bestehender Produktportfolios um biobasierte Formpressteile
- klare organisatorische Trennung zwischen landwirtschaftlicher Rohstofferzeugung und gewerblicher Weiterverarbeitung

3.4.4 Stoffströme und Produktnutzung

Nach der Materialaufbereitung und Fraktionierung werden die beiden Fraktionen grundsätzlich wie in den zuvor beschriebenen Modellen genutzt. Die Feinfraktion wird einer vorhandenen oder entsprechend angepassten Pelletierung zugeführt und zu hochwertigen Luzerneproteinpellets verarbeitet. Die Grobfraktion dient als Ausgangswerkstoff für die neu integrierte Formpresstechnologie.

Durch diese Ergänzung entsteht innerhalb des Verarbeitungsunternehmens eine zusätzliche Produktlinie für biobasierte Verpackungs- und Kultivierungsschalen. Bestehende Vertriebs-, Logistik- und Qualitätssicherungsstrukturen können dafür unmittelbar genutzt oder produktspezifisch erweitert werden. Das Unternehmen kann sein Produktspektrum damit verbreitern, ohne sämtliche bereits vorhandenen Prozessstufen neu aufbauen zu müssen.

Nicht für die Formpressung benötigte Anteile der Grobfraktion können abhängig von der vorhandenen Technik und den Absatzmöglichkeiten alternativ pelletiert werden. Dadurch bleibt auch in diesem Modell eine flexible Stoffstromlenkung möglich.

3.4.5 Potenziale des Umsetzungskonzeptes

Ein wesentliches Potenzial dieses Modells liegt in der Nutzung bereits vorhandener technischer und organisatorischer Strukturen. Investitionen können auf diejenigen Prozessmodule konzentriert werden, die für die neue Produktlinie tatsächlich erforderlich sind. Gleichzeitig stehen häufig bereits Erfahrungen im kontinuierlichen Anlagenbetrieb, in der Qualitätssicherung sowie in Logistik und Vermarktung zur Verfügung.

Darüber hinaus ermöglicht die Integration der Herstellungstechnologie eine Erweiterung des bestehenden Produktportfolios. Neben hochwertigen Luzerneproteinpellets können zusätzliche biobasierte Formpressteile hergestellt und über etablierte Vertriebswege vermarktet werden. Durch größere Verarbeitungskapazitäten bietet dieses Modell zudem günstige Voraussetzungen für eine überregionale Skalierung.

3.4.6 Herausforderungen des Umsetzungskonzeptes

Gegenüber den landwirtschaftlich geprägten Modellen verlagert sich die Wertschöpfung in diesem Umsetzungskonzept stärker auf das weiterverarbeitende Unternehmen. Für die beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe besteht die wirtschaftliche Beteiligung hauptsächlich in der Lieferung eines qualitätsgesicherten Rohstoffes. Ihre Erlöse hängen daher von den vereinbarten Lieferpreisen, Qualitätsanforderungen und Vertragsbedingungen ab.

Darüber hinaus setzt das Modell eine kontinuierliche und möglichst gleichmäßige Rohstoffversorgung voraus. Mengen, Feuchtegehalt, Lagerfähigkeit und weitere Qualitätsparameter müssen zwischen Landwirtschaft und Verarbeitungsunternehmen verbindlich abgestimmt werden. Gleichzeitig sind die neu hinzukommenden Prozessmodule technisch so in die bestehenden Produktionsabläufe einzubinden, dass Materialfluss, Anlagenleistung und Produktqualität zuverlässig aufeinander abgestimmt bleiben.

Die wesentlichen Potenziale und Herausforderungen sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Potenziale und Herausforderungen der Integration in bestehende Verarbeitungsstrukturen

Potenziale	Herausforderungen
Nutzung bestehender Produktions-, Logistik- und Vermarktungsstrukturen	Verlagerung eines großen Teils der Wertschöpfung zum Verarbeitungsunternehmen
Konzentration der Investitionen auf zusätzliche Prozessmodule	Landwirtschaft bleibt überwiegend Rohstofflieferant
Erweiterung des bestehenden Produktspektrums	Abhängigkeit von Lieferpreisen und vertraglichen Regelungen
Hohe Verarbeitungskapazitäten und Skalierbarkeit	Technische Integration neuer Module in bestehende Prozesse
Professionelle Qualitätssicherung und Vermarktung	Sicherstellung einer konstanten Rohstoffmenge und -qualität

Die Gegenüberstellung zeigt, dass dieses Modell besonders dort Vorteile bietet, wo bereits leistungsfähige Verarbeitungs- und Vermarktungsstrukturen vorhanden sind. Dem geringeren Bedarf an vollständig neuen Anlagen steht jedoch eine deutlich stärkere Verlagerung von Verantwortung und Wertschöpfung auf das Verarbeitungsunternehmen gegenüber.

3.4.7 Zwischenfazit

Die Integration der entwickelten Herstellungstechnologie in bestehende Verarbeitungsstrukturen stellt eine eigenständige Umsetzungsstrategie dar. Im Mittelpunkt steht nicht der Aufbau einer vollständig neuen Produktionsanlage, sondern die gezielte Ergänzung vorhandener Infrastruktur um die für Materialaufbereitung, Fraktionierung und Formpressung erforderlichen Prozessmodule.

Dieses Modell eignet sich insbesondere für Unternehmen, die bereits über geeignete Anlagen-, Logistik- und Vermarktungsstrukturen verfügen und ihr Produktspektrum um hochwertige Luzerneproteinpellets und biobasierte Formpressteile erweitern möchten. Für landwirtschaftliche

Betriebe entsteht dadurch ein zusätzlicher Absatzweg für Luzerneheu, während Verarbeitung und Vermarktung überwiegend durch das Unternehmen übernommen werden.

Gemeinsam mit dem Einzelbetriebs- und dem Kooperationsmodell zeigt dieses Konzept, dass dieselbe technische Prozessstruktur in unterschiedliche organisatorische Wertschöpfungssysteme integriert werden kann. Die drei Modelle werden im folgenden Kapitel systematisch miteinander verglichen.

3.5 Vergleich der entwickelten Umsetzungskonzepte

Leitfrage:

Wie unterscheiden sich die entwickelten Umsetzungskonzepte hinsichtlich ihrer technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und für welche betrieblichen Ausgangssituationen eignen sie sich?

3.5.1 Vergleichsgrundlage

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Umsetzungskonzepte basieren auf derselben technischen Grundstruktur der entwickelten Herstellungstechnologie. Unterschiede ergeben sich daher nicht aus der grundlegenden Prozessfolge, sondern aus der organisatorischen Einbindung der Prozessmodule, dem jeweils führenden Akteur sowie der Verteilung von Investitionen, Verantwortung, Vermarktung und Wertschöpfung.

Keines der entwickelten Umsetzungskonzepte stellt eine allgemein überlegene Lösung dar. Vielmehr handelt es sich um unterschiedliche Integrationsformen für verschiedene betriebliche Ausgangssituationen. Die Auswahl eines geeigneten Modells hängt insbesondere von der verfügbaren Rohstoffbasis, der vorhandenen Infrastruktur, den personellen und finanziellen Möglichkeiten, den Kooperationspotenzialen sowie der angestrebten Wertschöpfungstiefe ab.

Zur Orientierung bei der Auswahl eines geeigneten Umsetzungskonzeptes dient Abbildung 8.

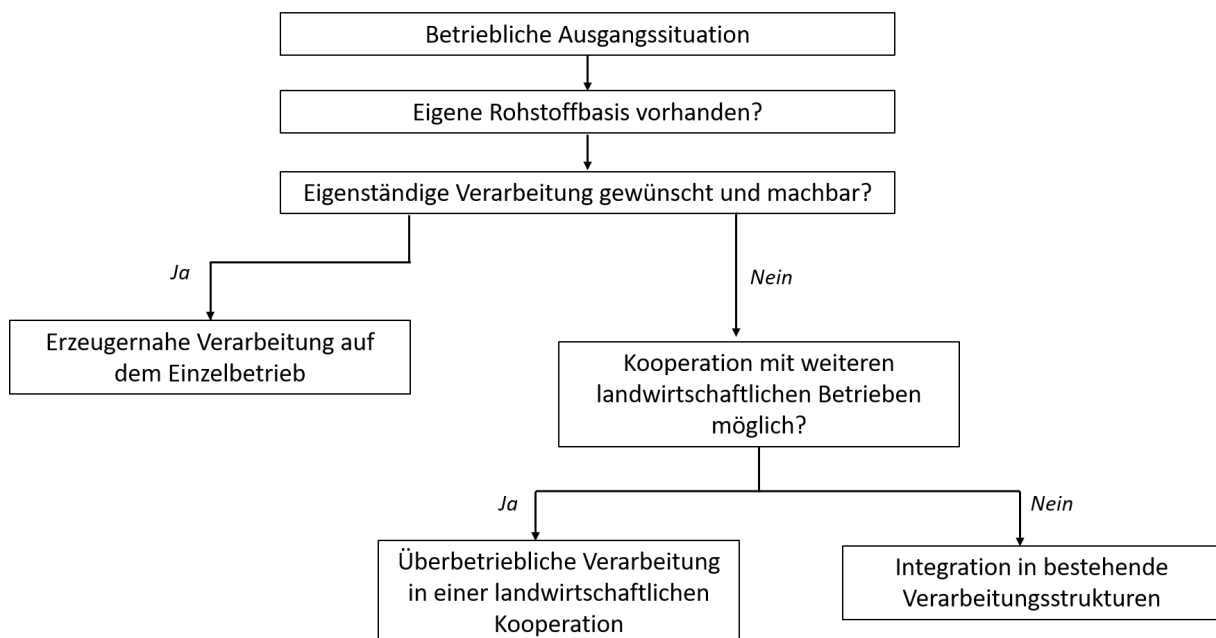


Abbildung 8: Orientierungshilfe zur Auswahl geeigneter Umsetzungskonzepte anhand betrieblicher Rahmenbedingungen

Abbildung 8 verdeutlicht, dass die Auswahl eines Umsetzungskonzeptes schrittweise aus den jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen abgeleitet werden kann. Ausgangspunkte sind insbesondere die verfügbare Rohstoffmenge, die vorhandene technische Infrastruktur, die Bereitschaft zur Eigenverarbeitung oder Kooperation sowie die angestrebte Verteilung der Wertschöpfung. Die Darstellung ist dabei als konzeptionelle Orientierungshilfe und nicht als verbindlicher Entscheidungsbaum zu verstehen.

3.5.2 Vergleich der Umsetzungskonzepte

Die wesentlichen Unterschiede der drei entwickelten Umsetzungskonzepte sind in Tabelle 16 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 16: Vergleich der entwickelten betrieblichen Umsetzungskonzepte

Themenbereich	Kriterium	Einzelbetrieb	Landwirtschaftliche Kooperation	Verarbeitungsunternehmen
Technik	Führender Akteur	Einzelner landwirtschaftlicher Betrieb	mehrere landwirtschaftliche Betriebe beziehungsweise gemeinsame Betreibereinheit	gewerbliches oder industrielles Verarbeitungsunternehmen
	Rohstoffbereitstellung	Eigene Rohstofferzeugung	Rohstoffbereitstellung durch mehrere beteiligte Betriebe	landwirtschaftliche Zulieferbetriebe
	Materialaufbereitung	betriebsintern	gemeinsamer Verarbeitungsstandort	neu integriertes oder bereits vorhandenes Prozessmodul
	Fraktionierung			neu integriertes Prozessmodul
	Pelletierung			vorhandene oder angepasste Pelletierung
	Formpressung			neu integrierte Formpresslinie
Organisation	Investitionsverantwortung	einzelner Betrieb	gemeinschaftlich oder über eine Betreibereinheit	Verarbeitungsunternehmen
	Organisation der Produktion	innerbetriebliche Steuerung	gemeinsame Koordination	betriebliche Steuerung durch das Unternehmen
	Vermarktung	eigenständig	gemeinschaftlich oder anteilig durch die Betriebe	durch das Verarbeitungsunternehmen
	Personal	betriebseigenes Personal	Personal der beteiligten Betriebe oder gemeinsames Betriebspersonal	
Wertschöpfung	Rolle der Landwirtschaft	Rohstofferzeuger, Verarbeiter und Vermarkter	Rohstofferzeuger und gemeinschaftlicher Verarbeiter	überwiegend Rohstofflieferant

	Verbleib der Wertschöpfung	überwiegend im Einzelbetrieb	überwiegend innerhalb der Kooperation	überwiegend im Verarbeitungsunternehmen
	Typische Erlösquelle der Landwirtschaft	Verkauf oder betriebliche Nutzung der Endprodukte	Beteiligung am Verkauf der gemeinsam erzeugten Produkte	Verkauf des Rohstoffes
Einsatzbereich	Typische Zielgruppe	innovationsorientierter Einzelbetrieb mit ausreichender Rohstoffbasis	Erzeugergemeinschaften, Maschinenringe	Pelletwerke, Verpackungshersteller, Faserverarbeiter
	Skalierbarkeit	durch betriebliche Rohstoff- und Anlagenkapazitäten begrenzt	Hoch	Sehr hoch

Tabelle 16 zeigt, dass die technische Grundstruktur in allen drei Modellen erhalten bleibt. Die wesentlichen Unterschiede liegen in der räumlichen und organisatorischen Zuordnung der Prozessmodule, der Investitionsverantwortung sowie der Rolle der Landwirtschaft innerhalb der Wertschöpfungskette. Mit zunehmender Verlagerung der Verarbeitung auf gemeinsame oder gewerbliche Strukturen steigen in der Regel die möglichen Verarbeitungskapazitäten, während die unmittelbare Wertschöpfungstiefe des einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes abnimmt.

3.5.3 Einordnung der Umsetzungskonzepte

Die drei Umsetzungskonzepte bilden unterschiedliche organisatorische Wege zur praktischen Umsetzung derselben Herstellungstechnologie. Das Einzelbetriebsmodell zielt auf eine möglichst hohe betriebliche Eigenständigkeit und Wertschöpfungstiefe. Das Kooperationsmodell verbindet die landwirtschaftliche Rohstoffherzeugung mit der gemeinsamen Nutzung zentraler Prozessmodule. Das verarbeitungsorientierte Modell nutzt dagegen bestehende gewerbliche oder industrielle Strukturen und verlagert einen größeren Teil der Verarbeitung und Vermarktung auf ein nachgelagertes Unternehmen.

Mit dieser Verlagerung verändert sich zugleich die wirtschaftliche Rolle der Landwirtschaft. Während der Einzelbetrieb Endprodukte herstellt und vermarktet, beteiligt sich die Landwirtschaft im Kooperationsmodell gemeinschaftlich an der Verarbeitung. Im verarbeitungsorientierten Modell beschränkt sich ihre Rolle überwiegend auf die Bereitstellung eines qualitätsgesicherten Rohstoffes. Gleichzeitig sinken für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb Investitionsbedarf und organisatorischer Eigenaufwand.

Die Auswahl eines geeigneten Modells stellt daher stets eine Abwägung zwischen eigener Wertschöpfung, Investitionsbereitschaft, verfügbarer Rohstoffmenge, organisatorischem Aufwand und gewünschter Skalierung dar.

3.5.4 Zusammenfassende Bewertung

Die drei entwickelten Umsetzungskonzepte stellen gleichwertige Integrationsmöglichkeiten für unterschiedliche betriebliche Ausgangssituationen dar. Eine allgemeingültige Empfehlung für ein

einzelnes Modell lässt sich daher nicht ableiten. Maßgeblich sind vielmehr die konkreten Zielsetzungen, Ressourcen und Kooperationsmöglichkeiten der beteiligten Akteure.

Das Projekt zeigt, dass die entwickelte Herstellungstechnologie aufgrund ihres modularen Aufbaus an unterschiedliche Betriebs- und Unternehmensstrukturen angepasst werden kann. Gerade die Trennung zwischen technisch erforderlichen Funktionen und ihrer betrieblichen Zuordnung bildet eine wesentliche Stärke des Anlagenkonzeptes. Dadurch kann dieselbe Prozesslogik sowohl in erzeugernahen als auch in kooperativen oder gewerblich geprägten Wertschöpfungssystemen umgesetzt werden.

Die wirtschaftliche Bewertung der dargestellten Umsetzungskonzepte erfolgt im separaten Projektbaustein „Wirtschaftlichkeit“, in welchem insbesondere Investitionsbedarf, Kostenstrukturen sowie mögliche Erlöspotenziale vergleichend betrachtet werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Leitfrage:

Welche Ergebnisse wurden im Projektbaustein „Technisches Anlagenkonzept“ erreicht und welche weiteren Entwicklungsschritte ergeben sich daraus?

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Projektbaustein „Technisches Anlagenkonzept“ wurden die in den vorangegangenen Arbeitspaketen entwickelten und untersuchten Verfahrensschritte erstmals zu einer durchgängigen technischen Prozesskette zusammengeführt. Diese umfasst die landwirtschaftliche Rohstoffbereitstellung, die schonende Materialaufbereitung, die Fraktionierung des Luzerneheus sowie die nachgelagerte Pelletierung und Formpressung. Auf dieser Grundlage wurde ein modular aufgebautes Anlagenkonzept entwickelt, das die technisch erforderlichen Funktionen und Schnittstellen der gesamten Herstellungstechnologie beschreibt.

Ein zentrales Ergebnis besteht in der gezielten Aufteilung des Luzerneheus in zwei stofflich unterschiedliche Fraktionen. Die blattreiche Feinfraktion kann zu hochwertigen Luzerneproteinpellets verarbeitet werden, während die faserreiche Grobfraktion als Ausgangswerkstoff für biobasierte Verpackungs- und Kultivierungsschalen dient. Die Fraktionierung bildet damit die technische Schlüsselstelle eines gekoppelten Mehrproduktsystems und ermöglicht eine weitgehende stoffliche Nutzung des eingesetzten Rohstoffes.

Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die technische Grundstruktur unabhängig von einer einzelnen Betriebsform umgesetzt werden kann. Auf Grundlage der betrieblichen Rahmenbedingungen wurden drei Umsetzungskonzepte entwickelt: die vollständige Integration in einen landwirtschaftlichen Einzelbetrieb, die gemeinschaftliche Verarbeitung innerhalb einer landwirtschaftlichen Kooperation sowie die Einbindung in bestehende gewerbliche oder industrielle Verarbeitungsstrukturen. Die Konzepte unterscheiden sich vor allem hinsichtlich Anlagenzuordnung, Investitionsverantwortung, Organisation und Verteilung der Wertschöpfung.

Damit entstand kein starrer Anlagenentwurf für einen einzelnen Anwendungsfall, sondern eine übertragbare technische und organisatorische Planungsgrundlage, die an unterschiedliche Rohstoffmengen, Betriebsgrößen, Infrastrukturen und Wertschöpfungsmodelle angepasst werden kann.

4.2 Einordnung der Ergebnisse

Das entwickelte Anlagenkonzept ist bewusst als modulares Systemkonzept und nicht als konstruktiv vollständig ausgelegte Produktionsanlage angelegt. Es beschreibt die technisch erforderlichen Prozessfunktionen, ihre Schnittstellen sowie mögliche Formen der betrieblichen Zuordnung. Dadurch bleibt die Herstellungstechnologie unabhängig von einzelnen Maschinenfabrikaten und kann an unterschiedliche Durchsatzleistungen, Automatisierungsgrade und vorhandene Infrastrukturen angepasst werden.

Eine besondere Stärke liegt in der Verbindung landwirtschaftlicher Rohstoffbereitstellung mit einer gekoppelten stofflichen Nutzung. Durch die Fraktionierung werden aus einem gemeinsamen Ausgangsrohstoff zwei Materialströme für unterschiedliche Produktlinien erzeugt. Die Herstellung von Luzerneproteinpellets und biobasierten Formpressteilen kann dadurch innerhalb eines gemeinsamen technischen Systems miteinander verbunden werden.

Gleichzeitig zeigt das Projekt, dass erzeugernahe Verarbeitung nicht zwangsläufig eine vollständige Eigenverarbeitung durch einen einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb voraussetzt. Auch kooperative und verarbeitungsorientierte Modelle können die Nähe zur landwirtschaftlichen Rohstoffbasis erhalten und zugleich höhere Verarbeitungskapazitäten oder eine bessere Nutzung bestehender Infrastruktur ermöglichen.

4.3 Grenzen der Untersuchung

Der Projektbaustein hatte das Ziel, die im Projekt entwickelten Einzelverfahren zu einer übertragbaren technischen Prozessstruktur zusammenzuführen und mögliche betriebliche Umsetzungsformen abzuleiten. Eine vollständige konstruktive Auslegung und Realisierung aller beschriebenen Anlagenvarianten war nicht Gegenstand des Vorhabens. Die entwickelten Konzepte sind daher als belastbare Planungs- und Entscheidungsgrundlage für nachfolgende Umsetzungsprojekte einzuordnen.

Die technische Erprobung erfolgte auf Grundlage der im Projekt eingesetzten Versuchstechnik und der entwickelten Funktionsmuster. Aussagen zu großtechnischen Durchsatzleistungen, dauerhaftem Mehrschichtbetrieb und vollständig automatisierten Produktionslinien wurden daraus bewusst nicht abgeleitet. Ebenso hängen die konkrete Dimensionierung, die Auswahl einzelner Aggregate und die räumliche Anlagenanordnung stets vom jeweiligen Standort und Betriebsmodell ab.

Die wirtschaftliche Bewertung, die Vermarktungsstrategien sowie die rechtliche und ökologische Einordnung wurden in eigenständigen Projektbausteinen behandelt. Im vorliegenden Anlagenkonzept werden diese Aspekte nur insoweit berücksichtigt, wie sie die technische Struktur und die Auswahl geeigneter Betriebsmodelle beeinflussen.

4.4 Ausblick

Mit dem entwickelten Anlagenkonzept liegt eine belastbare Grundlage für die Überführung der im Projekt erprobten Herstellungstechnologie in eine praxisnahe Pilotanwendung vor. Ein geeigneter nächster Entwicklungsschritt wäre der Aufbau einer modularen Pilotanlage, in der Materialaufbereitung, Fraktionierung, Pelletierung und Formpressung über längere Zeiträume als zusammenhängende Prozesskette betrieben werden können. Dadurch könnten insbesondere

Materialfluss, Schnittstellen, Durchsatzleistungen und personeller Aufwand unter realen Betriebsbedingungen weiter konkretisiert werden.

Der Übergang von den im Projekt erarbeiteten technischen Grundlagen zu einer späteren praktischen Umsetzung ist in Abbildung 9 zusammenfassend dargestellt.

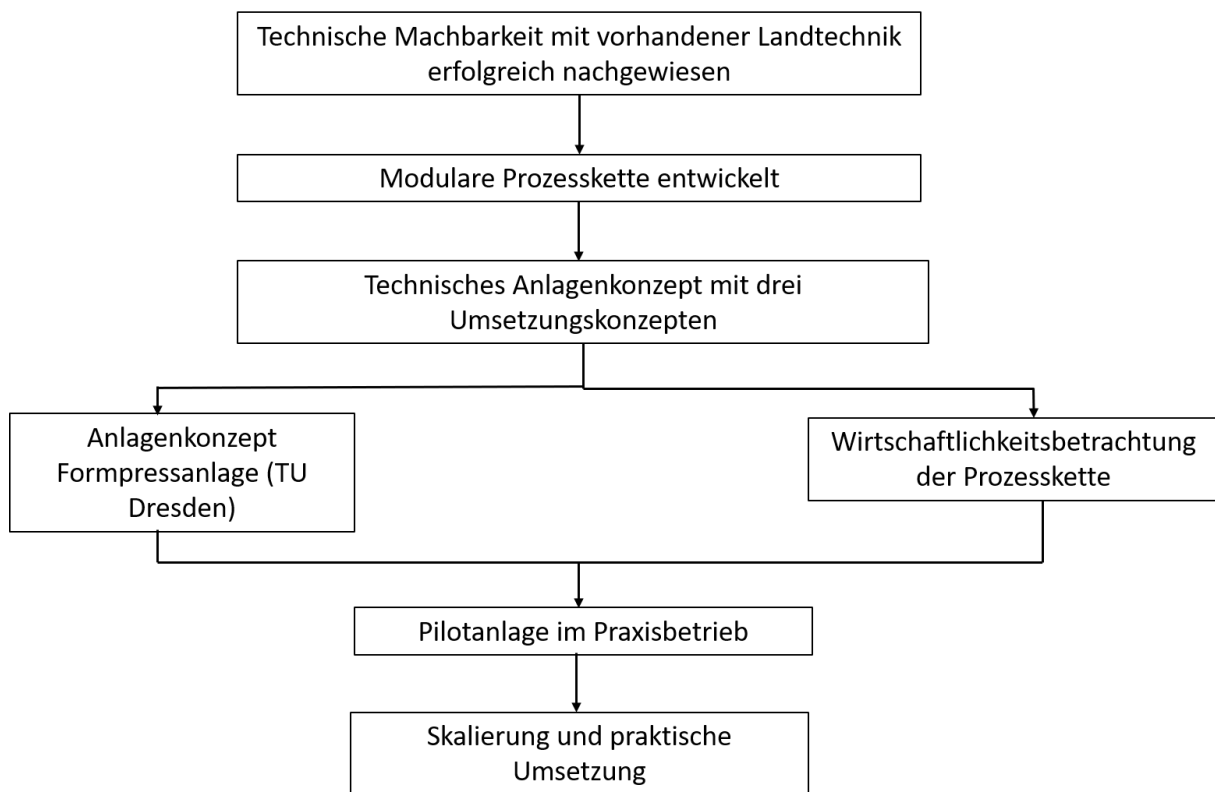


Abbildung 9: Entwicklungspfad von der technischen Machbarkeit zur praktischen Umsetzung der entwickelten Herstellungstechnologie

Die Abbildung verdeutlicht, dass mit den im Projekt entwickelten Prozessmodulen, Funktionsmustern und Betriebsmodellen bereits die wesentlichen technischen Grundlagen geschaffen wurden. Der nächste Entwicklungsschritt besteht daher nicht in einer grundlegenden Neuentwicklung der Prozesskette, sondern in ihrer Skalierung, technischen Zusammenführung und standortspezifischen Auslegung.

Weiteres Entwicklungspotenzial besteht insbesondere in der Automatisierung der Materialzuführung und Stoffstromübergabe, der Optimierung der Fraktionierungsparameter sowie der Anpassung der Formpresstechnologie an unterschiedliche Produktgeometrien und Produktionsmengen. Durch Werkzeugwechsel können neben den im Projekt entwickelten Verpackungs- und Kultivierungsschalen grundsätzlich weitere biobasierte Formteile hergestellt werden.

Die Ergebnisse der ergänzenden Projektbausteine zur Wirtschaftlichkeit, Vermarktung, ökologischen Bewertung und rechtlichen Einordnung vervollständigen die technische Betrachtung und bilden gemeinsam mit dem Anlagenkonzept eine umfassende Grundlage für weitere Pilot- und Umsetzungsprojekte. Insgesamt zeigt das Vorhaben, dass Luzerneheu nicht nur als landwirtschaftlicher Rohstoff, sondern auch als Ausgangsmaterial für neue biobasierte Produkt- und Wertschöpfungsketten genutzt werden kann.